

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

**ADAPTACIÓN DEL PLANEAMIENTO DE
UNA PRESA DE ENROCADO CON CARA DE CONCRETO
SEGÚN CONDICIONES REALES DE OBRA**

Tesis para optar por el Título de Ingeniero Civil, que presentan los bachilleres:

LUIS ANGEL AGUIRRE CASTRO

ALFONSO MARTIN ALVAREZ BRAVO

ASESOR: ING. IVÁN BRAGAGNINI

Lima, junio de 2014

RESUMEN

La presente Tesis tiene como fundamentos la experiencia obtenida en el campo, el análisis y planeamiento de procesos constructivos en el relleno de la presa de enrocado de la Central Hidroeléctrica de Chaglla, identificando los principales problemas que surgieron frente al planeamiento inicial, como modificaciones en el proceso constructivo e interferencias que se presentaron a lo largo de la ejecución, se hace énfasis en las soluciones y medidas correctivas que se tomaron para cumplir con los plazos fijados por planeamiento.

Los análisis de los rendimientos se tomarán desde el inicio del relleno de presa, en setiembre del 2012, hasta octubre del 2013, aproximadamente la mitad del relleno de la presa.

Se partirá de la necesidad de la elaboración y de la ejecución del emprendimiento de la Central Hidroeléctrica de Chaglla, mencionando el contexto social y económico del área de influencia del proyecto, para luego continuar con la ingeniería básica de la estructura de embalsamiento. Para el desarrollo del proceso constructivo, se tendrán en cuenta las condiciones particulares de la obra según la dificultad de la ejecución en función de las interferencias presentadas, en particular por la disposición de materiales, creación de accesos y servicios que restringen el avance continuo del relleno. Se presentarán las consideraciones de calidad para los materiales a utilizarse en el relleno, así como también los ensayos requeridos durante la ejecución para la supervisión del proceso constructivo, garantizando un trabajo en óptimas condiciones de calidad. Además, se realizará un seguimiento de los rendimientos reales de los equipos a disposición del frente de trabajo, analizando las tendencias para tomar las correcciones y medidas necesarias, si son requeridas, para cumplir metas establecidas. Finalmente, se presentará un balance de materiales proyectado desde el mes de noviembre del 2013 hasta el final del relleno en febrero del 2015, mencionando los rendimientos necesarios para llegar a cumplir la meta propuesta.

AGRADECIMIENTOS

De forma conjunta, agradecemos a nuestro asesor, Ing. Iván Bragagnini, por la orientación, la crítica y los comentarios brindados, sin ellos no hubiese sido posible encaminar el proyecto de la forma deseada.

Agradecemos a nuestros líderes, Juan Pablo Gonzalez, Nilton Marrufo, Fabio Lemos, Jhon Quezada, y a la Organización Odebrecht, por orientarnos y permitirnos acceder a la información que nos ha llevado a realizar esta investigación.

Aguirre Castro, Luis Angel:

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento hacia mis padres, Esmeralda Castro y Lorgio Aguirre, que este trabajo de investigación también es parte de ellos y para ellos, a mis hermanos que comprendían y me apoyaban en todo momento cuando necesitaba sus palabras de motivación, no quiero dejar de mencionar también a mis primos y todos los demás de la familia, de quienes siempre escuche palabras de aliento y de sincero cariño mostrado hacia mi persona.

Alvarez Bravo, Alfonso Martin:

Agradezco a mí madre Marina Bravo y a mi abuela Corina Ramírez por todo el apoyo, la confianza y la paciencia durante esta etapa de mi vida. A mi abuelo Segundo Bravo, que desde el cielo debe sentirse orgulloso de las metas cumplidas. A mis tíos, Milton Bravo y Carlos Alvarez, y a su sus respectivas familias, por darme la oportunidad de continuar el camino elegido y depositar en mí toda sus confianzas. A mi padre Lucio Alvarez, por sus consejos profesionales. Al ingeniero Julio Alva por sus enseñanzas y oportunidades brindadas. De forma muy especial, agradezco a Pilar por estar a mi lado en todo momento, buenos y malos, y luchar conmigo cada día por alcanzar los objetivos propuestos. A Matías, la razón más grande para seguir adelante. A Joaquín, que siempre estará en mi corazón. A amigos y amigas, muchas gracias.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1	Introducción	6
CAPÍTULO 2	Objetivos, alcances y metodología	9
CAPÍTULO 3	Estado del arte	10
3.1	Generalidades de la presa	10
3.2	Finalidad de las presas	11
3.3	Principales tipos de presas y su selección	11
3.4	Investigaciones requeridas	14
3.5	Elementos principales de las presas	15
3.6	Tratamiento de la fundación	16
3.7	Análisis de percolación	17
3.8	Análisis de estabilidad	18
3.9	Análisis de tensiones y deformaciones	18
3.10	Instrumentación	19
3.11	Métodos constructivos	19
CAPÍTULO 4	Especificaciones técnicas del relleno de presa	22
4.1	Descripción general de la presa	22
4.1.1	Instrumentación de la presa	22
4.2	Materiales de relleno	24
4.2.1	Características del material seleccionado para el relleno.	24
4.2.1.1	Ensayos de laboratorio para cada material	28
4.2.2	Procedencia de los materiales.	29
4.2.2.1	Excavaciones obligatorias en superficie.	29
4.2.2.2	Excavaciones subterráneas.	29
4.2.2.3	Accesos provisionales y definitivos.	30
4.2.2.4	Explotación de canteras.	31
CAPÍTULO 5	Planeamiento y ejecución del relleno de presa	33
5.1	Primer planeamiento – Setiembre 2012:	34
5.1.1	Rendimientos teóricos	34
5.1.2	Rendimientos reales.	38
5.2	Segundo planeamiento – Febrero 2013	41
5.2.1	Rendimientos teóricos	41

5.2.2 Rendimientos reales	43
5.2.3 Dimensionamiento de equipos	44
5.3 Tercer planeamiento – Julio 2013	50
5.3.1 Análisis de restricciones	50
5.3.1.1 Modificaciones de planeamiento de la presa.	51
5.3.1.2 Trabajos superpuestos.	52
5.3.1.3 Interferencias – Equipos	54
5.3.1.4 Rendimiento de Canteras	58
5.3.2 Rendimientos reales	65
CAPÍTULO 6 Análisis y proyección de rendimientos	68
6.1 Comparativo de rendimientos bajo diferentes escenarios	68
6.2 Balance proyectado	70
6.2.1 Volumen total	70
6.2.2 Días trabajables	70
6.2.3 Fecha final de ejecución y rendimientos mínimos	71
6.2.4 Saldo de canteras y fechas de ejecución de las excavaciones obligatorias	72
6.2.5 Balance de materiales hasta febrero 2015	74
CAPÍTULO 7 Conclusiones y Recomendaciones	77
CAPÍTULO 8 Bibliografía	82

CAPÍTULO 1 Introducción:

La Central Hidroeléctrica de Chaglla es un complejo energético basado en la captación y regulación de los recursos del río Huallaga y sus afluentes. Está ubicada dentro del Departamento de Huánuco, abarcando parte de los distritos de Chinchao, Provincia de Huánuco, y Chaglla, provincia de Pachitea, en la parte centro-este del País.

En el marco del mercado energético peruano, el rápido crecimiento de la economía del país y los importantes proyectos de inversión que se desarrollarán en un corto y mediano plazo han puesto en tela de juicio la capacidad del Sistema Interconectado Central del Perú para suministrar la demanda energética que supondrá dicho crecimiento.

Se prevé que, para el 2015, con un crecimiento del PBI del 6.2%, la demanda de energía, considerando grandes proyectos de inversión y el crecimiento vegetativo de las ciudades, puede aumentar en un 10% o más¹. Además, la tendencia de los últimos años de la reserva eléctrica ha sido decreciente, siendo el ideal un 20% de margen entre oferta y demanda, aunque las proyecciones para los próximos años sitúan un margen mayor al 10% de la máxima demanda eléctrica².

Las limitaciones de los sistemas de generación eléctrica, tales como la escasez del recurso hídrico en época de estiaje, limitaciones del ducto de gas y mantenimiento de las vías de transmisión dan como resultado una reducción de la oferta eléctrica de alrededor de 1500MW³. En 2012 hubo 62 interrupciones de energía, esto genera pérdidas en productividad en varios sectores, aumentando los costos de producción, siendo las compañías emergentes las más afectadas al no contar, usualmente, con sistemas de generación alternas⁴.

Mirando al futuro, entre 2012 y 2016, el gobierno afirma que existen 40 proyectos de energía que comprenden 24 centrales hidroeléctricas, 9 estaciones térmicas y las restantes 7 pertenecen a estaciones de energía renovable, solar y eólica. Esto dará, en los primeros dos años, 1100MW adicionales de energía.

¹ Fuente: ipe.org.pe/comentario-diario/17-1-2013/mercado-electrico-en-el-peru-balance-de-corto-plazo-y-agenda-pendiente

² Fuente: cbh.org.bo/index.php?cat=345&pla=3&id_articulo=58078

³ Fuente: VERA, Rafael, Carlos PAREDES y Enzo DEFILIPPI. *Mercado Eléctrico en el Perú: Balance de Corto Plazo y Agenda Pendiente*. USMP. Lima. 2013.

⁴ Fuente: df.cl/peru-alto-riesgo-de-corte-electrico/prontus_df/2013-01-14/170654.html

La Central Hidroeléctrica de Chaglla, que será la segunda más grande del Perú, es una de las respuestas al crecimiento de la demanda energética del país.

Por otro lado, es importante destacar los efectos que tendrá esta obra en el entorno social de las poblaciones aledañas. Según datos del INEI, el 39.3% de la población pobre del país reside en Huánuco, de los cuales el 28.4% se encuentra en la Provincia de Huánuco y el 10.3% en la Provincia de Pachitea. El 8.4% de la población de la Provincia de Huánuco reside en Chinchao, de estos, el 80.4% es pobre, con una distribución del 51.4% en pobreza extrema. Por su parte, el distrito de Chaglla representa el 20.4% de la población de Pachitea, teniendo un 75.1% de pobreza, 46% en pobreza extrema⁵.

En relación al analfabetismo, el 33.6% de la población en la provincia de Huánuco es analfabeta, en Pachitea se llega al 34.9%. La mayoría de los niños no cuenta con educación inicial, 85% en el distrito de Chinchao y 79% en Chaglla, mientras que los menores de 15 años con primaria incompleta llegan al 41% y 44% en dichos distritos. Las estadísticas respecto a la desnutrición crónica llegan, en ambos distritos a 43% y 36% respectivamente.

La economía de la zona se basa en los cultivos de café, cacao y plátano, con pocas familias dedicadas a la ganadería, las cuales se encuentran mayormente en zonas altas. La gran mayoría de los poblados están ligados al narcotráfico, en especial al cultivo de marihuana y amapola.

Frente al contexto social referido anteriormente, la empresa constructora implementa diversos programas de responsabilidad social como una forma de contribuir al desarrollo de los poblados influenciados por el emprendimiento de la obra. Como parte de estos programas se encuentra el programa CREER, que tiene como fin la capacitación de pobladores de la zona en diversas tareas dentro de la obra, como puede ser el manejo de maquinaria pesada.

Dado el marco social y energético en que se desarrolla la obra, no cabe duda de la importancia y la influencia que tendrá el emprendimiento tanto para las reservas energéticas como en el modo de vida de las poblaciones influenciadas, por eso, es de vital importancia realizar un trabajo con eficiencia y eficacia, cumpliendo los estándares de calidad y las fechas propuestas, las cuales se verán

⁵ Fuente: INEI. "Mapa Pobreza Provincial y Distrital 2009". Lima. 2010

satisfactoriamente cumplidas cuando se llegue a tener un rendimiento óptimo en los procesos constructivos.



CAPÍTULO 2 Objetivos, alcances y metodología

La correcta ejecución de una obra de infraestructura implica una adecuada integración entre las diversas áreas que tienen influencia en la misma zona de trabajo, es decir, la coordinación de las labores a través de un planeamiento apropiado es de suma importancia para evitar interferencias y trabajos superpuestos que deriven en pérdidas de tiempo que pueden llegar a ocasionar sobrecostos, pérdidas de producción e incluso atrasos en las fechas de entrega.

Los objetivos de la presente tesis consisten en identificar las interferencias y cuantificar las pérdidas de producción que se dan debido a ellas y que surgen durante la ejecución del relleno de una presa de enrocado y, además, proponer un planeamiento de necesidad de materiales según las nuevas condiciones de obra.

Este estudio está referido a la construcción de la presa de enrocado de la Central Hidroeléctrica de Chaglla. La recopilación y análisis de datos de producción comienzan en setiembre del 2012 hasta octubre del 2013, periodo de tiempo en el cual, según el planeamiento inicial, el relleno de la presa estaría aproximadamente al 50% del total.

Se usarán, como herramientas de análisis, una plantilla cota-volumen en Excel y un modelo 3D en Auto CAD de la presa de donde se podrá obtener los volúmenes necesarios por tipo de material en un determinado intervalo de cotas, esto con el fin de identificar la necesidad de material para un determinado mes.

De los metrados de las excavaciones obligatorias y volúmenes estimados de aprovechamiento de canteras se realiza el balance de materiales según la necesidad mensual, teniendo en cuenta la practicabilidad según sea temporada de estiaje o de avenida.

De los reportes de producción se obtendrá el rendimiento real de las canteras y se podrá comparar con los estimados según planeamiento.

Así, con el avance real a octubre del 2013 y con la identificación de las interferencias se podrá presentar un planeamiento de requerimiento de material hasta el plazo final de la presa, en febrero 2015, y presentar alternativas al proceso constructivo con el fin de cumplir dicha fecha.

CAPÍTULO 3 Estado del arte

3.1 Generalidades de las presas:

Mayormente, los proyectos donde interviene la construcción de una represa están asociados a una gran inversión ya que, considerando la complejidad del proyecto y la función que desempeñaría la estructura, es necesario contar con una serie de especialistas en diversas ramas de ingeniería y construcción, como pueden ser: hidráulica, hidrología, geología, mecánica de suelos, estática, concreto, mecánica eléctrica, arquitectura, entre otras; donde todos ellos requerirán de estudios previos para cumplir adecuadamente sus labores.

El proyecto, en general, debe pasar por una serie de etapas entre las cuales podemos destacar las siguientes:

- Generación de idea del proyecto: Esta etapa corresponde a identificar las alternativas básicas de solución del problema, en este caso la demanda de generación de energía, visualizando una solución posible.
- Estudio del nivel del perfil: En esta fase correspondiente estudiar todos los antecedentes que permitan formar juicio respecto a la conveniencia y factibilidad técnico – económico de llevar a cabo la idea del proyecto, el perfil permite evaluar la viabilidad técnica de las alternativas propuestas, incorporar las ideas básicas, estimaciones aproximadas de los costos, te permiten tomar algunas decisiones como, profundizar los estudios, abandonar el proyecto, o postergar la ejecución del proyecto.
- Estudio de la prefactibilidad: Se consideran una serie de condiciones que determinarán las características de la presa, estas condiciones varían de acuerdo a la zona donde se ejecuta el proyecto, como puede ser la topografía, características hidrográficas e incluso situación socio-política de los centros poblados, también se realiza un análisis de colapso entre otros estudios, se requieren estimaciones aproximadas de costos y beneficios la cual identifica de forma desagregada en todos sus ámbitos, se define si es factible o no, la construcción del mismo, según las decisiones técnicas.
- Estudio de factibilidad: En esta etapa se define el tipo de represa y la ubicación de la misma, se comienzan con las expropiaciones de ser necesarias y se esquematiza el desvío del río si es el caso, así como otras actividades iniciales importantes.

3.2 Finalidad de las presas:

Una presa es construida para atender una o varias necesidades, entre las cuales son:

- Generación de energía eléctrica
- Abastecimiento de agua
- Control de avenidas
- Navegación
- Saneamiento
- Irrigación
- Control de polución y calidad del agua

3.3 Principales tipos de presas y su selección:

Las presas se pueden clasificar tanto por geometría, materiales o función. En este caso, se clasificará por el tipo de material:

- De tierra

Constituido en su mayoría por materiales finos, homogéneos o zonificados. Normalmente la impermeabilidad es dada por la arcilla compactada y la sección transversal es definida de acuerdo a los estudios de percolación generando taludes con inclinación de 1V: 2.2H a 2.5H.

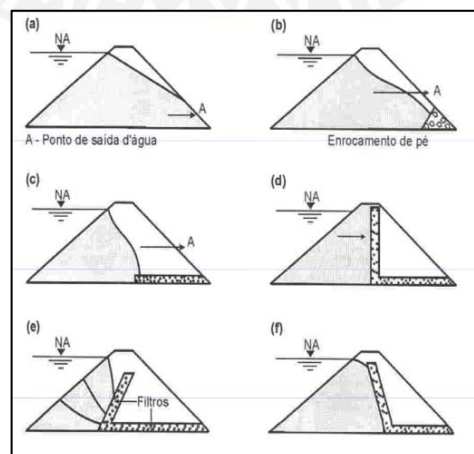


Figura 3.1⁶ Clases de presas de tierra y configuración de núcleos

- De enrocado

Constituido principalmente de rocas o piedras grandes. La impermeabilidad de este tipo de presas pasa por el uso material arcilloso o material bituminoso colocado como núcleo o disponer de una cara superior impermeable, como puede ser una cara de concreto.

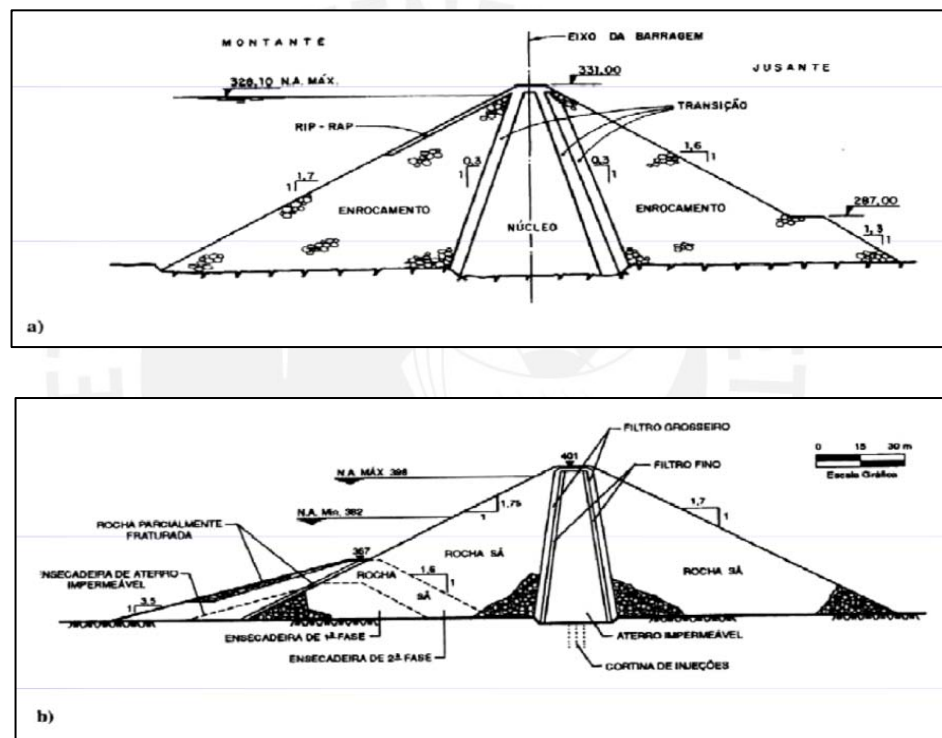


Figura 3.2⁷ Esquema de presas de enrocado

- De concreto:

Este tipo de presas pueden ser de distintos tipos: gravedad, contrafuerte, de arco.

⁶ Fuente: GAIOTO, Nelio. *INTRODUÇÃO AO PROJETO DE BARRAGENS DE TERRA E DENROCAMENTO*. EESC-USP. São Carlos. 2003. Pág. 1

⁷ Fuente: GAIOTO, Nelio. *INTRODUÇÃO AO PROJETO DE BARRAGENS DE TERRA E DENROCAMENTO*. EESC-USP. São Carlos. 2003. Pág. 3

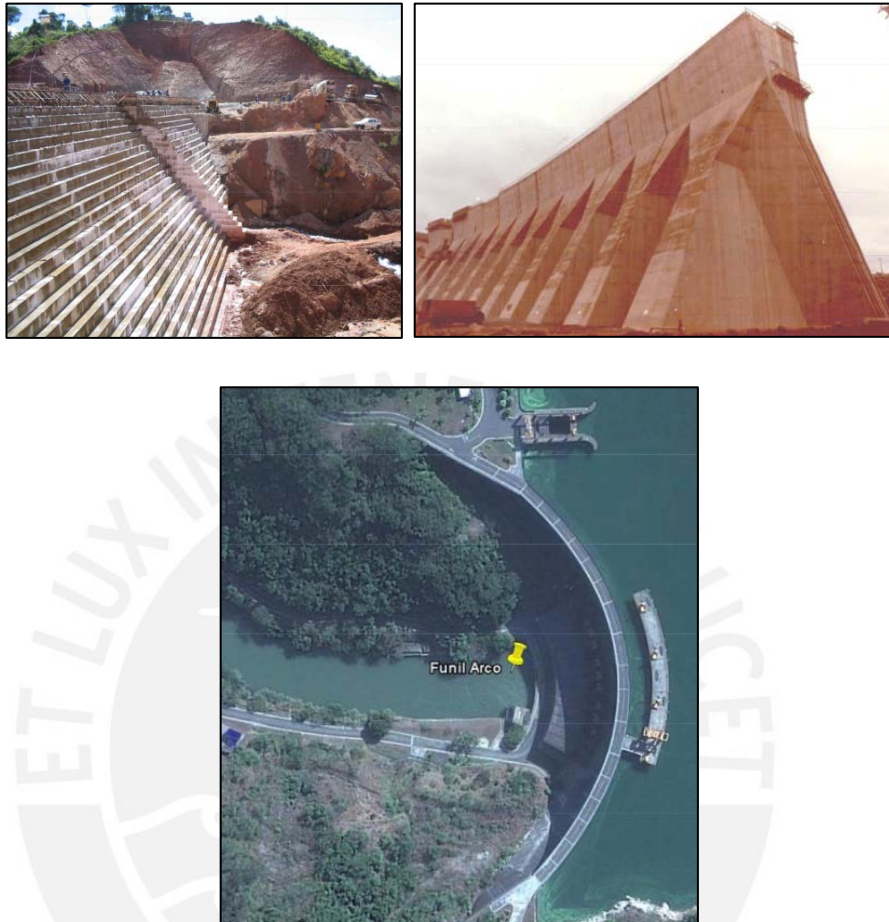


Figura 3.3⁸ Presa de gravedad, contrafuerte y de arco

Generalmente, el factor determinante en la elección del tipo de represa es el costo de construcción; sin embargo, se deben tener en consideración algunos otros factores, como los siguientes:

- Topográficos
- Geológicas/Geotécnicas
- Materiales de construcción
- Dimensiones y ubicación del vertedero
- Condiciones del medio ambiente
- Condiciones climáticas
- Experiencia de construcción

⁸ Fuente: GAIOTO, Nelio. *INTRODUÇÃO AO PROJETO DE BARRAGENS DE TERRA E DENROCAMENTO*. EESC-USP. São Carlos. 2003. Pág. 31, 35, 39.

La elección de la ubicación para la construcción de la represa es básicamente influenciada por los factores mencionados anteriormente. El primero de ellos, la topografía, busca inicialmente adaptar el eje de la represa a una zona donde el valle del río se presente más angosto, con el fin de minimizar el volumen del macizo para tener ahorros considerables de material. Las condiciones geológicas y geotécnicas determinan el tratamiento que se le debe dar a la roca según los problemas de estabilidad y percolación que se presenten, ya que estos pueden deformar la represa y traer consigo consecuencias negativas en su comportamiento de operación. Además, aún teniendo una ubicación que resulte ventajosa por requerir un menor volumen de relleno para la presa, la zona puede demandar una mejora del material rocoso que existe lo cual no compensaría la elección de la ubicación de la estructura. También, otro punto importante son los materiales ya que la distancia media de transporte es un factor que repercute en la partida del relleno, pues llevar el material desde el lugar de extracción hasta la planta de tratamiento o directamente a la ubicación de la represa influye considerablemente en los costos del proyecto.

3.4 Investigaciones requeridas:

Es necesario tener las características de la zona en que se desarrolla el proyecto por lo que es imprescindible realizar un buen estudio previo que ayudará a planificar de una mejor manera la ejecución de las labores, etapa en la cual también es necesario realizar estudios, de ser necesario. Dentro de las investigaciones necesarias para la construcción de una presa están:

- Investigaciones geológicas y geotécnicas:

Estos estudios deben de ser realizados en diversas etapas, acompañando la evolución gradualmente del proyecto. Inicialmente se hacen investigaciones previas con base en observaciones de superficie apoyadas en planos topográficos, mapas geológicos. Básicamente son realizadas para anteceder dos estudios principales: investigación de las fundaciones en el local de la construcción y la investigación sobre los materiales de construcción.

- Investigación en las fundaciones

Los parámetros que deben de ser estudiados en la zona del eje de la represa son: resistencia, permeabilidad y compresibilidad, los cuales son investigados con los siguientes puntos:

- Investigación de superficie
 - Sondajes y percusión
 - Pozos y trincheras de inspección
 - Ensayos de laboratorio
 - Sondaje sísmico
 - Ensayo de inyecciones
- Investigación de los materiales de construcción:

Según el tipo de presa a ejecutar, es importante tener la certeza de que se cuenta con el material apropiado en la zona de ubicación de la obra. Los materiales pueden ser:

- Material terroso
- Material granulares
- Arenas
- Piedras
- Materiales de enrocado

3.5 Elementos principales de las represas

Varían según el tipo de presa y el uso que se le va a dar. De forma general, una presa consta de:

- Borde libre (free board)
- Cresta
- Taludes aguas arriba y abajo
- Geometría interna de la sección
- Protección de los taludes y de cresta
- Aliviaderos
- Túnel de aducción o canal de conducción
- Chimenea de equilibrio o cámara de carga

3.6 Tratamiento de la fundación

Los materiales de fundación que presentan baja resistencia y elevada compresibilidad normalmente son retirados para la construcción del macizo de una represa. Puede suceder también que presenten características de alta permeabilidad y resistencia. Todos los materiales inadecuados para la fundación deben de ser tratados para que tengan un óptimo comportamiento durante la construcción y tiempo de operación de la presa. Algunos de los sistemas de mejoramiento de la fundación son:

- Cortina de inyección

Usado para solucionar problemas de impermeabilidad elevada en roca fracturada, este tratamiento consiste en el uso de líneas de relleno a la roca que, por medio de equipo rotativo o de roto-percusión, se aplica una cada 3 metros de espaciamiento y de profundidad variable, con presión controlada para no causar mayor fractura en la roca.

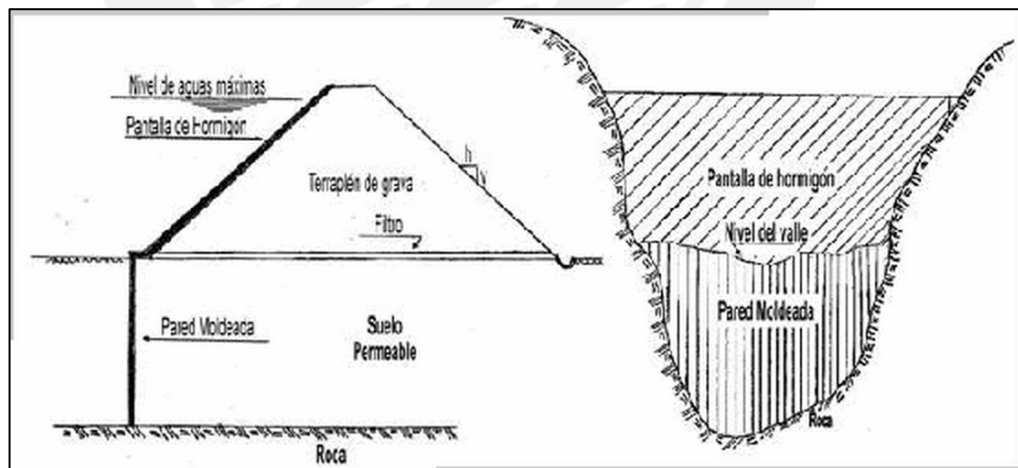


Figura 3.4⁹ Ejemplo de cortina de inyección

- Pared diafragma

⁹ Fuente: <http://dc147.4shared.com/doc/E2ZMO6tE/preview.html>

El método constructivo de este sistema es semejante al usado para el sostenimiento de excavaciones profundas. Tiene la ventaja de no introducir elementos de mayor rigidez en la fundación que pueden dar origen a una concentración de tensiones en la zona del relleno, provocando diferenciales de desplazamientos y consecuentemente la fractura de la estructura.

3.7 Análisis de percolación

Este análisis tiene como objetivo principal la estimación de los caudales de percolación, presiones neutras y subpresiones en el macizo de la represa y en la fundación.

Generalmente, la permeabilidad de la represa o del núcleo, por ser construido de manera controlada, es menor que a la de la fundación, de tal modo que los caudales que percolan por la fundación son más importantes que los que pasan por los rellenos compactados.

Los análisis de la percolación pueden ser procesadas a través de la aplicación directa de la Ley de Darcy, para flujos en régimen laminar. Se determinan las líneas de percolación y las equipotenciales que obedezcan a una correlación fundamental dada por la ecuación de Laplace, por la red de flujo o algún otro método numérico.

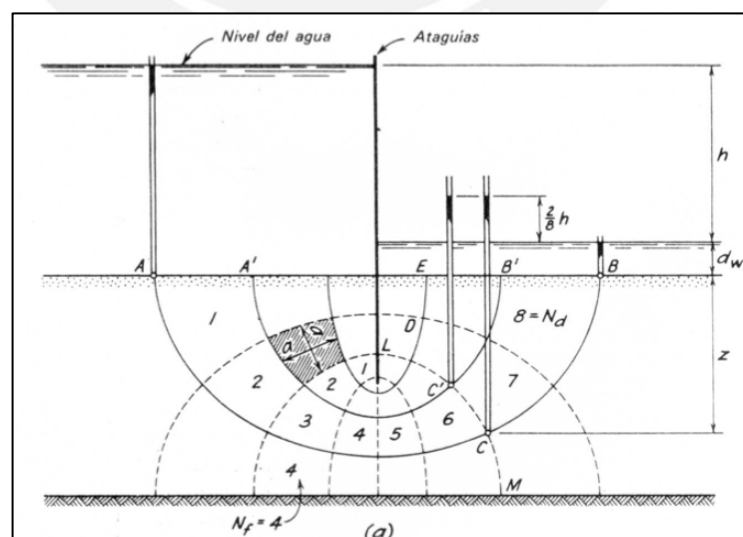
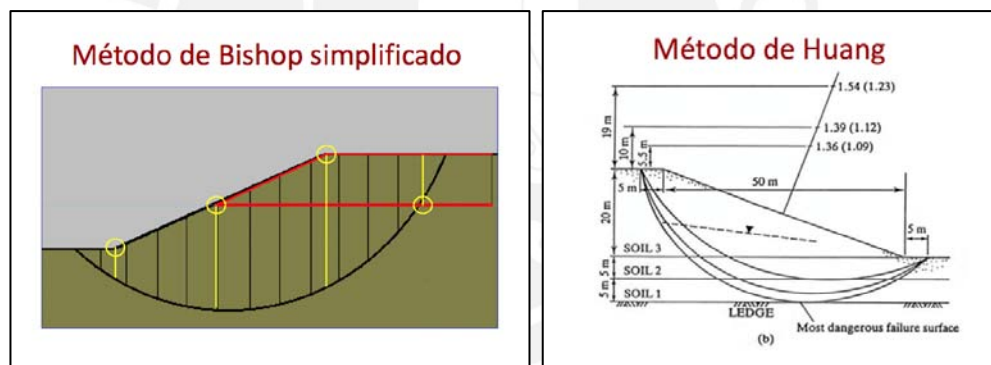


Figura 3.5¹⁰ Esquema de una red de flujo

3.8 Análisis de estabilidad

Los análisis de estabilidad intervienen en las etapas de construcción y de operación de la estructura, para estos análisis se usan métodos de equilibrio límite, como el BISHOP simplificado, SPENCER, JANBU, HUAN, todos ellos con resultados semejantes. Los software de computación creados para el estudio de estabilidad de taludes incorporan los métodos de análisis mencionados anteriormente, entre otros.

En las represas de enrocado con cara de concreto no se verifica la estabilidad debido a que no existen condiciones que conduzcan a una ruptura del macizo con este mecanismo.

Figura 3.6¹¹

3.9 Análisis de tensiones y deformaciones

Actualmente se puede utilizar una metodología cuantitativa para el análisis de los problemas de fisuramiento, debido al desarrollo en los estudios sobre los materiales, cálculo estructural del conjunto constituido por una represa y su fundición a través de elementos finitos, medidas e instrumentación adecuada.

¹⁰ Fuente: ZEGARRA, Jorge. ZAVALA, Guillermo. *Mecánica de Suelos Capítulo 4: Hidráulica de los suelos*. PUCP. Lima. 2011. Pág. 34

¹¹ Fuente: MARTINS, Rodolfo. *Apuntes de clases: Tipos de barragens*. USP. Sao Paulo. 2012. Diapositiva 7

Generalmente, el fisuramiento se presenta cuando una parte del relleno de la represa sufre los esfuerzos de tracción, provocadas por movimientos diferenciales, las distorsiones que sufre la represa depende de la geometría, y compresibilidad relativa del relleno y de la fundición; estas fisuras pueden ser paralelas y transversales al eje de la represa, de acuerdo al diferencial de los movimientos de sectores del relleno.

3.10 Instrumentación:

Actualmente la instrumentación es considerada parte esencial de todos los proyectos de grandes represas. Muchos congresos y conferencias realizadas son basados en la lectura de los datos registrados por la instrumentación.

Los instrumentos colocados entregan información sobre el comportamiento de la represa en la etapa de la construcción y, sobretodo, en la etapa de operación, de tal manera que podemos adaptarnos a una revisión del proyecto, en la etapa de operación, para realizar cambios y hacer correcciones.

Generalmente, los tipos de información obtenidos son las siguientes: presiones neutras de construcción, percolación del agua, presiones totales sobre las paredes de concreto y sobre las fundaciones, movimiento de referenciándose en puntos de control, abertura de juntas de la roca en estructura de concreto, caudal de percolación, entre otros.

- Periodicidad de las lecturas

Las lecturas deben ser realizadas inmediatamente después de su colocación, la periodicidad va a depender de los resultados y de su variación además de los factores que en ella influye, tales como la velocidad de construcción, velocidad de llenado del reservorio, entre otros.

Inicialmente se debe tener una periodicidad elevada, que gradualmente va siendo disminuida a medida que las lecturas tomen valores constantes, o variaciones poco significativas. Durante la fase del primer llenado del reservorio las lecturas deberán ser realizadas diariamente hasta que se llegue a su nivel máximo y sea corroborada la estabilización, luego pasa

ser semanal, quincenal, mensual, dependiendo del propio comportamiento de la represa.

3.11 Métodos constructivos:

Para la elección del método de constructivo de una represa, se consideran diversos factores como la extracción y procesamiento de material, transporte, espaciamiento del macizo, control de humedad y compactación, el control de calidad, entre otros.

Las variables a considerarse antes de la selección de los métodos son: disponibilidad de equipos, la forma del uso de distintos tipos de materiales, el transporte y estado de los accesos, espesuras de las capas de material etc.

Las operaciones básicas para la construcción del relleno de presa son:

- Extracción de material

Es usualmente ejecutada por medio de excavadoras, cargadores frontales, dragas etc. Cada equipo ofrece ciertas ventajas y desventajas, generalmente varios de estos equipos pueden usarse en una misma obra.

La excavación realizada por excavadoras y cargadores frontales proporciona materiales que combinan distintos tipos de suelos y, a su vez, algunas propiedades como la humedad.

Con la excavadora, además, se puede verter, desde una apropiada altura, el material para poder realizar un zarandeo por gravedad, obteniendo materiales diferenciados de acuerdo a su tamaño.

- Transporte

El transporte del material puede representar una partida considerable en el costo del relleno de la presa. La mayor parte del tiempo se intenta aprovechar las canteras más próximas al punto del relleno.

Los equipos normalmente son los camiones volquetes, camiones articulados y fajas transportadoras.

Para caminos de fácil acceso normalmente son usados los camiones volquetes, caso contrario, como en caminos de alta pendiente e irregulares, los camiones articulados tienen un mejor desempeño.

- Esparcimiento

El material en donde se va a construir la presa es lanzando en pilas y son esparcidas de tal manera que forme una capa del espesor correspondiente al tipo de material.

Los equipos más comunes para esta actividad son las motoniveladoras y los tractores de distintos tipos. La forma de realizar el esparcimiento es en dirección paralela al eje de la presa para evitar la formación de grietas y caminos preferentes para la percolación.

- Corrección de humedad

La corrección de humedad antes de su compactación debe ser hecha predominantemente en el área de extracción. En el área de la presa, por motivos de dificultad de homogenización, debe ser previsto a lo mucho solo un ajuste final, que compense la pérdida de humedad debido al transporte y lanzamiento.

Cuando existen diferencias entre la humedad natural en el área de extracción y la deseada, la corrección se hace mediante irrigación usando, por ejemplo, camiones cisterna.

- Homogenización

Esta operación es generalmente realizada antes de la compactación, para garantizar una mejor eficiencia y uniformidad de compactación.

- Compactación

Los procedimientos usados para la compactación de distintos tipos materiales, como los de un relleno de tierra y los de un enrocado, tienen diferencias claras debido a las características de estos tipos de materiales.

El tipo de equipo a ser usado y el número de pasadas dependen básicamente del tipo de material y de la espesura de la capa de compactación. Los materiales impermeables son usualmente

compactados con rodillo pata de cabra, en cuanto los materiales permeables y granulares son compactados por rodillos vibratorios, apoyados por una cisterna de irrigación.

- Desvió de río

Cuando la presa es construida en un sitio donde el valle del río es bastante amplio, este podrá ser desviado en varias etapas, orientando el paso de río para zonas más convenientes. En valles cerrados, este proceso no es practicable, el río debe de ser desviado por canales o túneles excavados en los cerros que limitan la presa.



CAPÍTULO 4 Especificaciones técnicas del relleno de presa:

4.1 Descripción general de la presa:

La presa del proyecto C.H. CHAGLLA es de tipo CFRD (*concrete face rockfill dam*), este tipo de estructura es de enrocado con cara impermeabilizante de concreto. Las dimensiones geométricas de la presa son: 199 metros de altura, 273 metros de longitud de corona, 665 metros de longitud de la base, talud aguas arriba de 1V:1.5H, los taludes aguas abajo son de 1V:1.3H y 1V:1.2H entre las bermas de acceso de 12 y 10 metros de ancho. Se tiene un volumen a rellenar de 8'454,531 metros cúbicos, divididos en materiales como: enrocado, transiciones y filtros, material impermeable y gravas.

Los materiales que conforman la presa serán provenientes de excavaciones obligatorias, como el túnel de aducción, vertederos, accesos, etc.; además de la explotación de canteras.

De los estudios hidrológicos, se calculó 7150 kilómetros cuadrados de área de captación, siendo el afluente medio anual de 146.2 metros cúbicos por segundo que provee 4610 hectómetros cúbicos de volumen. Para garantizar la sostenibilidad de los ecosistemas dependientes del río, se proyectó un caudal ecológico de 3.69 metros cúbicos por segundo. El embalse tendrá como nivel de agua máximo ordinario la cota 1196 msnm, este nivel originará 17.3 kilómetros de remanso, 375 hectómetros cúbicos de volumen de almacenamiento con 5 kilómetros cuadrados de área de embalse.

La presa será apoyada sobre el aluvión de río, el cual pasará, previamente, por la limpieza de una capa de 1.5 metros de material suelto. Para la impermeabilización de la fundación se utilizará un muro de concreto pobre (100 kg/cm^2), sobre el cual se construirá el plinto flotante. Adicionalmente, se realizarán una cortina de inyecciones a lo largo de la extensión del plinto, las cuales estarán espaciadas cada 3 metros con 20 metros de profundidad.

4.1.1 Instrumentación:

La estructura contará con una serie de sistemas de monitoreo para llevar el control y recabar información sobre el comportamiento de la presa a lo largo de su vida útil. Las funciones que tiene la instrumentación son, registrar y comparar los

resultados obtenidos con los cálculos teóricos de deformación, estabilidad y percolación, detectando alteraciones anormales y peligrosas, alertando sobre condiciones no previstas de comportamiento de las estructuras y fundaciones. Los instrumentos que cumplirán tales funciones son:

- Medidor de deformación triortogonales: Cumple con la función de medir los desplazamientos relativos entre dos puntos y son instalados en las uniones de la losa de concreto con el plinto, estos desplazamientos relativos van a ser medidos en sus 3 direcciones ortogonales.
- Puntos topográficos para la medición de asentamientos: Sirven para el control de desplazamientos verticales y horizontales, la localización de estos puntos está en la coronación y en los estribos de la presa.
- Puntos de control superficial: Instalados en la cresta y en el talud aguas debajo de la presa, utilizados para la medición de desplazamientos horizontales y verticales.
- Cajas terminales: Son pequeñas cajas de concreto que reciben los cables para la medición de las celdas de asentamiento, instaladas en la superficie del talud aguas abajo.
- Acelerógrafos: Permite registrar las aceleraciones provocadas por un sismo tanto en la roca de fundación como en la misma estructura, se colocarán uno en el coronamiento y otro en roca firme, así se obtendrá la respuesta dinámica de la estructura (presa) luego de la aceleración en la fundación.
- Piezómetro: Permite conocer el nivel de presión de agua existente en un determinado punto del cuerpo de la presa. Serán instalados en su mayoría en las capas más bajas del relleno para controlar las filtraciones provenientes de la fundación.
- Electro niveles: Permite conocer la deformada de la losa de concreto una vez flexionada, por medio de la medición de sus deformaciones angulares.
- Celdas de asentamiento: Permite la medición de asentamiento de la presa, para la supervisión y control durante los periodos de construcción, llenado de embalse y operación de la presa.

4.2 Materiales de relleno:

4.2.1 Características del material seleccionado para el relleno:

Los materiales seleccionados para el relleno de presa y aquellos que se utilizan para la elaboración de agregados para mezcla de concreto provienen, básicamente, de canteras y de excavaciones obligatorias.

Las principales excavaciones obligatorias que proveerán de material para el relleno son las referentes a la implantación del vertedero, ejecución de las ventanas y del túnel de aducción, shaft y accesos.

La ubicación del proyecto abarca parte del grupo Pucará, el cual está dividido en dos unidades, P-II y P-III-IV-V. La primera unidad presenta secuencia de rocas calizas masivas y pizarrosas, calizas chertosas y brechas calcáreas. Por su parte, la unidad dos cuenta con secuencias de dolomías masivas y “tipo cebra”, calizas en bancos gruesos, nodular caliza recristalizada, margas, lodolitas y areniscas. La ubicación del proyecto dentro de estas formaciones se encuentra especificado en el **Plano 01**.

Los materiales de relleno serán, principalmente, agregado grueso de diferentes granulometrías con una cantidad muy baja de finos, tal y como se especificará más adelante. Por otro lado, la zona impermeable de la presa será conformada por material arcilloso o limoso, explotados de canteras cercanas.

Cabe resaltar que la disposición del uso de materiales de procedencia de depósitos aluviales, excavaciones obligatorias, tanto subterráneas como a cielo abierto, representa una reducción en el gasto de transporte de materiales y en el impacto ambiental de la región, ya que aprovechando las actividades mencionadas se disminuyen las áreas de botaderos.

Para el relleno de la presa los materiales especificados, con sus respectivas características, son los siguientes:

- 1A: Representa un suelo limoso finamente arenoso o, finos de trituración con arena fina, no plásticos, con diámetro máximo de 0.1 centímetro y espesor de capa suelta de 25 centímetros, no se realiza compactado. Se encuentra en contacto con la cara de concreto desde su inicio hasta la cota 1100.00.

- 1B: Material denominado “Random”, con un diámetro máximo de 20 centímetros, sin presencia de finos y con espesor de capa suelta de 40 centímetros, no es compactado. Se coloca para proteger y garantizar la estabilidad del material 1A.
- 2A: Se obtiene del proceso de trituración y/o zarandeo de roca de excavación o, en caso sea posible, de grava arenosa limosa de canteras de río, bien graduada. Posee un tamaño máximo de 1.91cm (3/4”) y un contenido de finos menor al 5%. La colocación de este material es en capas de 40 centímetros y compactado con rodillo liso vibratorio de 15 toneladas de peso mínimo de tambor en 8 pasadas o las necesarias para alcanzar los estándares de laboratorio requeridas.
- 2B: Obtenido por trituración y/o zarandeo de roca de excavación o de cauce de río, con diámetro máximo de 10 centímetros y un porcentaje de finos menor al 8%. Su colocación está comprendida por capas suelta de 40 centímetros con 8 pasadas de rodillo vibratorio liso de, mínimo, 15 toneladas de peso estático de tambor.

Tanto el material 2A y 2B no deben llegar a mezclarse con material inadecuado luego de su colocación, de lo contrario deberán ser retirados y reemplazados.

- 3A: Enrocamiento de roca sana, con diámetro máximo de 35 centímetros y un porcentaje de finos menor al 10%. El espesor de la capa suelta es de 40 centímetros, compactada luego con rodillo vibratorio liso de peso estático de tambor mínimo de 19 toneladas en 8 pasadas o las necesarias para cumplir con el peso específico establecido. Requiere una dotación de agua de 200 litros por metro cúbico de material colocado durante la descarga, esparcimiento y compactación.
- 3B: Enrocamiento de roca sana, con diámetro máximo de 50 centímetros y un porcentaje de finos no plásticos menor al 5%. El espesor de capa suelta especificada es de 60 centímetros y será compactada con rodillo liso vibratorio de pesos estático mínimo de 10.6 toneladas en 8 pasadas. En el caso del material 3B', el tamaño máximo puede llegar a los 55 centímetros. En ambos casos se requiere 200 litros de agua por metro cúbico de material colocado.

- 3C: Enrocamiento de roca sana, con diámetro máximo de 70 centímetros y porcentaje de finos no plásticos menor al 5%. El espesor de la capa está limitada a 80 centímetros, compactada con rodillo vibratorio liso de peso estático de tambor mínimo de 10.6 toneladas en 8 pasadas. La variación 3CA permite finos no plásticos hasta 10%, un tamaño máximo de 50 centímetros y una capa suelta de 60 centímetros. En el caso del 3C', el tamaño máximo será de 30 centímetros y altura de capa suelta de 40 centímetros, presencia de finos menor al 5%. Para todos los casos se requiere 200 litros de agua por metro cúbico de material colocado.
- 3D: Enrocamiento de roca sana, con diámetro máximo de 70 centímetros y porcentaje de finos no plásticos menor al 8%. El espesor de capa suelta será de 80 centímetros compactada con rodillo vibratorio liso de peso estático de tambor mínimo de 10.6 toneladas en 8 pasadas. Se requiere 200 litros de agua por metro cúbico de material colocado.
- 3E: Enrocamiento fino, con diámetro máximo de 50 centímetros y porcentaje de finos no plásticos menor al 5%. Espesor de capa de 60 centímetros compactada con rodillo vibratorio liso de peso estático de tambor mínimo de 10.6 toneladas en 8 pasadas. Se requiere 200 litros de agua por metro cúbico de material colocado.
- 4: Bloques de roca sana arregladas en la cara de las aguas abajo con la cara más ancha en la horizontal, con diámetro máximo de 120 centímetros.
- F: Filtro, con diámetro máximo de 30 centímetros y porcentaje de finos menor al 5%. El espesor de capa es de 40 centímetros cuyo esparcimiento se realizará con el uso de cargador frontal o retroexcavadora y equipo manual. La compactación se realizará con rodillo vibratorio liso de peso estático de tambor mínimo de 10.6 toneladas en 8 pasadas junto al material 2B para garantizar un traslape adecuado.
- T: Coluvió areno gravoso, con diámetro máximo de 35 centímetros y porcentaje de finos menor al 15%. EL espesor de la capa está limitado a 40 centímetros y compactada con rodillo vibratorio liso de peso estático de tambor mínimo de 10.6 toneladas en 8 pasadas.

La **Tabla 4.1** muestra un resumen de las especificaciones básicas de los materiales:

TABLA DE MATERIALES Y ZONEAMIENTO DE LA PRESA					
ZONA	MATERIAL	Ø MAX (cm)	FINOS %	ESPESOR DE CAPA	ORIGEN
1A	SUELO LIMOSO FINAMENTE ARENOSO O FINOS DE TRITURACION+ARENA FINA, NO PLASTICOS	0.20	-	25.00	Cantera de suelo
1B	RANDON	20.00	SIN FINOS	40.00	Cantera de roca o excavacion oblig.
2A	FILTRO DE TRITURACION GRADUADA	1.91(3/4")	<5%	40.00	Planta industrial
2B	TRANSICION UNICA	7.50	<8%	40.00	Cantera coluvio areno-gravoso y planta ind.
3A	ENROCAMIENTO DE ROCA SANA	35.00	<5%	40.00	Cantera coluvio areno-gravoso y planta ind.
3B'	GRAVAS NATURALES DEL CAUCE	55.00	<5%	60.00	Cantera de cauce del rio
3B	ENROCAMIENTO DE ROCA SANA	50.00	<5%	60.00	Cantera de roca o excavacion oblig.
3C	ENROCAMIENTO DE ROCA SANA	70.00	<5%	80.00	Cantera de roca o excavacion oblig.
3D	ENROCAMIENTO DE ROCA SANA	70.00	<8%	80.00	Cantera de roca o excavacion oblig.
3E	ENROCAMIENTO FINO	50.00	<5%	60.00	Exc. Obligatoria de tuneles
4	BLOQUES DE ROCA SANA ARREGLADAS EN LA CARA DE AGUAS ABAJO CON CARA MAS ANCHA EN LA HORIZONTAL	120.00	-	-	Cantera de roca
F	FILTER	30.00	<5%	60.00	Planta industrial
T	COLÚVIO ARENO GRAVOSO	35.00	<15%	40.00	cantera coluvio areno-gravoso y desperd. planta ind.

Tabla 4.1¹² Especificaciones de materiales

Los materiales mencionados tienen diferentes características, las cuales nos indican el comportamiento de estos al momento de extracción, traslado y compactación, por ello, en la **Tabla 4.2** se presentan las densidades de los materiales para diferentes condiciones, además de sus factores de conversión.

Material	Densidad			Factores de conversión		
	Banco tn/m ³	Suelto tn/m ³	Compactad o tn/m ³	Banco a Suelto	Suelto a Compactad	Banco a Compactad
1A	1.89	1.70	2.114	1.112	0.804	0.894
1B	2.125	1.87	2.3	1.136	0.813	0.924
2A	2.02	1.80	2.361	1.122	0.762	0.856
2B	2.125	1.87	2.3	1.136	0.813	0.924
3A	2.125	1.87	2.3	1.136	0.813	0.924
3B'	2.02	1.80	2.361	1.122	0.762	0.856
3B	2.709	1.80	2.262	1.505	0.796	1.198
3C	2.709	1.80	2.262	1.505	0.796	1.198
3D	2.709	1.80	2.262	1.505	0.796	1.198
3E	2.709	1.80	2.262	1.505	0.796	1.198
4	2.709	1.80	2.262	1.505	0.796	1.198
F	2.02	1.80	2.361	1.122	0.762	0.856
T	2.125	1.87	2.3	1.136	0.813	0.924

Tabla 4.2¹³ Densidades y factores de conversión de los materiales

¹² Fuente: adaptado del Balance de materiales de la Central Hidroeléctrica de Chaglla. Huánuco. 2012

¹³ Ídem

Es importante señalar que existen factores que reducen el volumen del material al momento de realizar la actividad de extracción, transformación, etc. Esto nos indica la eficiencia con la cual se realiza cada tipo de trabajo por material, por ello es necesario tener factores de desperdicio según la actividad que se realice. Los factores de desperdicio se muestran en la **Tabla 4.3**.

TIPO DE MATERIAL	ORIGEN	DESTINO	FACTOR DE DESPERDICIO
Excavaciones Obligatorias	Vertederos, tuneles, shaft, accesos.	Presa o Ataguía	10%
Gravas naturales de Rio	Explotación de cauce de Rio	Presa, Ataguía o Planta Industrial	8%
Roca	Cantera de Roca	Presa o Ataguía	8%
Material Suelto	Cantera	Presa	10%
Procesado en Planta Industrial	Materia prima par aplanta industrial	Acopio de material procesado	15%
Procesado en Planta Industrial	Acopio	Presa , Ataguía o planta de Concreto	5%

Tabla 4.3¹⁴ Factores de desperdicio para diferentes actividades

4.2.1.1 Ensayos de laboratorio para cada material:

Los ensayos a realizarse para cada tipo de material se especificarán en el **Anexo 01**, donde se consignan la norma o método de ensayo, la frecuencia del mismo, parámetros de aprobación y el tipo de prueba (físico o químico).

Además, en el **Anexo 02** se muestran las fajas granulométricas para cada tipo de material a utilizarse en la presa.

¹⁴Fuente: adaptado del Balance de materiales de la Central Hidroeléctrica de Chaglla. Huánuco. 2012

4.2.2 Procedencia de los materiales.

4.2.2.1 Excavaciones obligatorias en superficie

Las principales excavaciones obligatorias en superficie o a cielo abierto que brindarán material para el relleno de la presa son las siguientes: shaft, portales del vertedero, plinto, portal de ventana 01, accesos provisionales y Pequeña Central Hidroeléctrica, en adelante PCH.

El material obtenido de estas excavaciones se puede dividir en varios tipos: material común, que será procesado pudiéndose obtener material T; roca descompuesta que puede ser acopiada y tratada en la planta industrial para obtener material 2B, 3A y F; y roca fija, que será usada como material 3B, 3C, 3D, 3E y 4.

En la **Tabla 4.4** se muestra el material obtenido en la excavación y el uso probable según el material necesario para el relleno:

TIPO DE MATERIAL	USO PROBABLE	TIPO
Material Común	T	SUELO (TOP SOIL)
Mat. Denso o Roca Descompuesta	3B, 3C, 3D Y 3E	ROCA DESCOMPUESTA
Roca Fija	3B, 3C, 3D, 3E Y 4	ROCA FIJA
Subacuática	3C Y 3D	ROCA FIJA
Aluvión	T	ALUVIÓN
Dental	3C Y 3D	ROCA FIJA
Excav. en Roca Fija (Fund. Plinto)	3C Y 3D	ROCA FIJA

Tabla 4.4¹⁵ Uso de material proveniente de excavación en superficie

4.2.2.2 Excavaciones subterráneas

El material obtenido de las excavaciones subterráneas será clasificado según la calidad de roca encontrada durante el proceso de perforación, las cuales van de roca tipo I hasta roca tipo V.

Las principales excavaciones subterráneas que proveerán material para el relleno de presa son: túnel de aducción frente 01, 02 y 03; túnel de vertedero y ventana 01. Parte del volumen extraído en las excavaciones será destinado para la

¹⁵ Fuente: adaptado del Balance de materiales de la Central Hidroeléctrica de Chaglla. Huánuco. 2012

planta industrial para ser procesado y transformado en material 2B, 3A, F y T, mientras que el volumen restante será utilizado como material grueso.

En la **Tabla 4.5** se aprecia el uso probable según el tipo de roca encontrada en las excavaciones subterráneas.

TIPO DE MATERIAL	USO PROBABLE	TIPO
Excav. Subt. En roca Tipo I	2B, 3B, 3C, 3E Y	ROCA FIJA
Excav. Subt. En roca Tipo II	2B, 3B, 3C, 3E Y	ROCA FIJA
Excav. Subt. En roca Tipo III	2B, 3B, 3C, 3E Y	ROCA FIJA
Excav. Subt. En roca Tipo IV	2B, T Y 1B	ROCA DESCOMPUESTA
Excav. Subt. En roca Tipo V	2B, T Y 1B	SUELO
Excav. Subt. En roca Tipo Va	T Y 1B	SUELO

Tabla 4.5¹⁶ Uso de material proveniente de excavaciones subterráneas

4.2.2.3 Accesos provisionales y definitivos.

De las excavaciones para accesos, tanto provisionales como definitivos, se obtienen materiales como: top soil, que es eliminado, material excedente y roca descompuesta y fija, las cuales son acopiadas o llevadas a la planta industrial para ser transformadas en materiales de relleno como 3C, 3D y T.

En la **Tabla 4.6** se muestra el uso probable para materiales provenientes de accesos:

TIPO DE MATERIAL	USO PROBABLE	TIPO
Material suelto	T	SUELO
Roca Descompuesta	3B, 3C, 3E Y 3D	ROCA DESCOMPUESTA
Roca Fija	3B, 3C Y 3D	ROCA FIJA

Tabla 4.6¹⁷ Uso de material proveniente de excavaciones de accesos

En el **Anexo 03** se muestra el flujo de materiales obtenido por excavaciones obligatorias.

¹⁶ Fuente: adaptado del Balance de materiales de la Central Hidroeléctrica de Chaglla. Huánuco. 2012

¹⁷ Ídem

4.2.2.4 Explotación de canteras

El material explotado de las canteras que abastecerán al relleno de presa tendrá dos tipos de disposición: parte del volumen obtenido será colocado directamente en el relleno, mientras que la diferencia será acopiada según sea necesario. Los materiales gruesos que serán colocados directamente, previa verificación de la granulometría de la cantera, son: 3B, 3C, 3D, 4 y 1B.

Los materiales de canteras arcillosas limo-arenosas y areno-gravosas que serán dispuestos en el relleno de forma directa son: 1A, 2B, 3A, T.

Las canteras de río, cuya explotación está limitada a las épocas de estiaje debido al peligro que supone la extracción de material en épocas de avenida, proveerán de material 2B, 3A, F y T, los cuales pasarán por un proceso de transformación en la planta industrial donde se determinará, también, un porcentaje como material para agregados en mezclas de concreto. Se ha estimado que el volumen aprovechable en la época seca está distribuido según:

- Marzo a Octubre del 2012: 280,000m³
- Marzo a Octubre del 2013: 495,600m³
- Marzo a Junio del 2014: 249,000m³

El material extraído de las canteras de río y que será colocado directamente en el relleno de presa es el 15% del total anterior, 155,190m³ de material 3B.

No se descarta el uso de zarandas para el tratamiento del material de cantera para la obtención de material 2B, F y T.

En la **Tabla 4.7** se tiene la capacidad estimada de material para las canteras identificadas, parte de los volúmenes se destinará para la construcción de la ataguía aguas arriba, el volumen aprovechable para la presa se consignará más adelante.

La cantera 18 pasa por un estudio de análisis de riesgo por lo que aún no se ha delimitado el volumen potencial a explotar.

UBICACIÓN	MATERIAL (m3)			
	Suelo Arcilloso y Limo-Arenoso	Gravoso	Coluvio, Arenoso-Gravoso	Roca
	1A	2B, 3A	T	1B, 3B, 3C, 3D, 3E y 4
CANtera 01	23,780			
CANtera 02			1,700,000	
CANtera 10		129,823		
CANtera 12		116,161		
CANtera 18				Por definir
CANtera 19				1,687,600
CANtera 20				1,489,100
CANtera 21				360,000
CANtera 22				700,000
TOTAL	23,780	245,984	1,700,000	4,236,700

Tabla 4.7¹⁸ Volumen en banco de canteras por tipo de material

En el **Anexo 04** se presenta el flujo de material proveniente de las explotaciones de canteras, mientras que en el **Plano 02** se pueden observar la ubicación de las canteras, además de una vista general de la zona de la presa con los servicios que influyen en ella, como accesos, vertederos, entre otros.

Las canteras se dividen según su ubicación respecto al eje transversal de la presa, siendo:

- Canteras aguas arriba: Cantera 10, 12, 18, 19, 20.
- Canteras aguas abajo: Cantera 01, 02, 21, 22.

¹⁸ Fuente: adaptado del Balance de materiales de la Central Hidroeléctrica de Chaglla. Huánuco. 2012

CAPÍTULO 5 Planeamiento y ejecución del relleno de presa:

De forma global, la ejecución de la Central Hidroeléctrica de Chaglla estaba destinada para un plazo de 56 meses; sin embargo, gerencialmente se decidió adelantar las labores del túnel de desvío con el fin de reducir, idealmente, el tiempo de ejecución a 48 meses. Al momento de realizar esta reducción de tiempo, ciertos servicios, en especial los accesos, se vieron afectados en su plazo y momento de ejecución, así, cuando fue necesario explotar las canteras y llegar a los puntos de entrada y salida de vertederos, los accesos no estaban del todo desarrollados, derivando en superposición de trabajos dentro de la presa, como se verá más adelante.

Por otro lado, es necesario señalar que, durante la fase de estudio, las exploraciones *in situ* de las canteras fueron limitadas debido a que se destinó un presupuesto reducido para dichas actividades. Dado esto, dichas exploraciones y mediciones se realizaron a través de software y vistas satelitales de la zona, teniendo una baja confiabilidad de los resultados obtenidos. Aún así, a partir de los volúmenes estimados por estos métodos se procedió a realizar el balance de materiales para el primer planeamiento de setiembre del 2012.

El volumen total de relleno de presa, 8'454,531 m³, será dividido en cinco etapas, como se muestra en la **Figura 5.1**, la división de las etapas son designadas por el área de diseño e ingeniería y obedecen a un comportamiento eficiente durante la construcción de la presa, según la necesidad de acceso a la misma o a un adecuado comportamiento en caso de sismos. Los volúmenes para cada una de las etapas, y por tipo de material, se detallan en la **Tabla 5.1**. En el **Plano 03** y **Plano 04** se aprecian la distribución de materiales dentro del relleno de la presa.

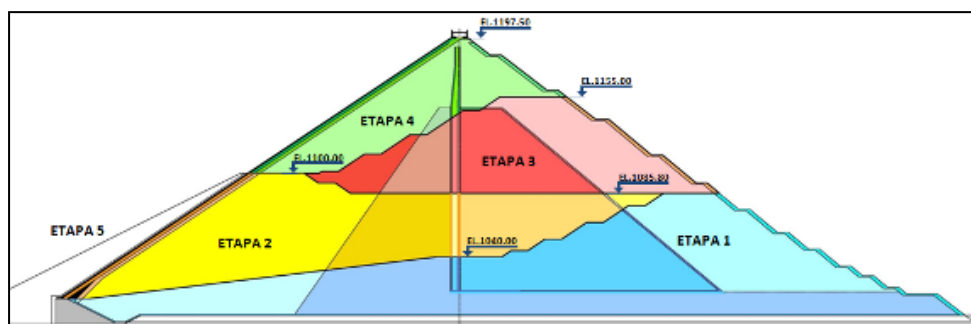


Figura 5.1¹⁹ Distribución de las etapas del relleno

¹⁹ Fuente: adaptado del Balance de materiales de la Central Hidroeléctrica de Chaglla. Huánuco. 2012

MATERIAL	ETAPA					SUBTOTAL	
	1	2A	2B	3	4		5
1A	-	-	-	-	-	22,711.00	22,711.00
1B	-	-	-	-	-	233,004.00	233,004.00
2A	-	-	676.00	-	-	-	676.00
2B	33,059.00	15,302.00	49,562.00	49,534.00	113,758.00	-	261,215.00
3A	109.00	-	39,753.00	-	82,175.00	-	122,037.00
3B	145,192.00	201,724.00	748,705.00	282,098.00	1,218,217.00	12,221.00	2,608,157.00
3B'	16,931.00	-	138,790.00	-	44,482.00	-	200,203.00
3C	531,488.00	333,349.00	9,456.00	228,676.00	35,276.00	-	1,138,245.00
3CA	118,710.00	-	-	-	-	-	118,710.00
3D	944,428.00	5,298.00	-	869,339.00	-	-	1,819,065.00
3E	89,024.00	23,925.00	-	34,087.00	417.00	-	147,453.00
4	47,196.00	-	-	65,882.00	41,487.00	-	154,565.00
F	3,833.00	17,297.00	-	33,437.00	29,776.00	-	84,343.00
T	570,848.00	344,944.00	-	624,699.00	3,656.00	-	1,544,147.00
SUBTOTAL	2,500,818.00	941,839.00	986,942.00	2,187,752.00	1,569,244.00	267,936.00	8,454,531.00

Tabla 5.1²⁰ Distribución del volumen total (m³) de relleno por etapas y materiales

Como se mencionó anteriormente, el presente estudio tiene como alcance hasta la Etapa 2 del relleno de la presa. La ejecución del mismo partió de un planeamiento inicial de propuesta donde los trabajos de relleno comenzarían en **setiembre de 2012**. Como veremos a continuación, el planeamiento inicial ha sufrido modificaciones importantes conforme fueron surgiendo nuevos servicios que interferían con el trabajo de relleno así como otros factores que se analizarán más adelante.

5.1 Primer planeamiento – Setiembre 2012:

5.1.1 Rendimientos teóricos:

El planeamiento inicial para el relleno de presa realizado en setiembre de 2012, tanto para volúmenes de relleno totales como para volúmenes requeridos por tipo de material, se muestran en las siguientes tablas:

²⁰ Fuente: adaptado del Balance de materiales de la Central Hidroeléctrica de Chaglla. Huánuco. 2012

PLANEAMIENTO MENSUAL SETIEMBRE				
Mes	Volumen requerido	Volumen acumulado	Días según planeamiento	Rendimiento teórico
sep-12	1,735.00	1,735.00	24	72.29
oct-12	4,686.00	6,421.00	19	246.63
nov-12	45,124.00	51,545.00	18	2,506.89
dic-12	86,419.00	137,964.00	17	5,083.47
ene-13	207,740.00	345,704.00	16	12,983.75
feb-13	216,151.00	561,855.00	15	14,410.07
mar-13	425,622.00	987,477.00	16	26,601.38
abr-13	469,256.00	1,456,733.00	18	26,069.78
may-13	475,434.00	1,932,167.00	25	19,017.36
jun-13	489,064.00	2,421,231.00	24	20,377.67
jul-13	492,022.00	2,913,253.00	23	21,392.26
ago-13	487,308.00	3,400,561.00	25	19,492.32
sep-13	460,188.00	3,860,749.00	24	19,174.50
oct-13	402,289.00	4,263,038.00	19	21,173.11

Tabla 5.2²¹ Planeamiento Inicial Setiembre 2012, volúmenes geométricos en metros cúbicos

Material	sep-12	oct-12	nov-12	dic-12	ene-13	feb-13	mar-13
Mat 1A	-	-	-	-	-	-	-
Mat 1B	-	-	-	-	-	-	-
Mat 2A	-	-	-	-	-	-	-
Mat 2B	634	564	692	547	792	12,716	8,295
Mat 3A	-	-	-	-	109	-	-
Mat 3B	922	3,764	6,327	16,295	48,728	43,487	42,547
Mat 3C	-	-	17,304	62,288	156,419	103,466	89,190
Mat 3D	-	-	-	-	-	28,706	126,335
Mat 3E	179	358	20,320	6,670	-	12,773	4,277
Mat 4	-	-	481	619	1,692	3,628	5,149
Mat F	-	-	-	-	-	197	2,667
Mat T	-	-	-	-	-	11,177	147,162

Material	abr-13	may-13	jun-13	jul-13	ago-13	sep-13	oct-13
Mat 1A	-	-	-	-	-	-	-
Mat 1B	-	-	-	-	-	-	-
Mat 2A	-	-	-	-	-	-	-
Mat 2B	9,919	7,906	6,595	15,392	17,603	17,196	20,317
Mat 3A	-	-	-	5,170	7,967	11,558	15,057
Mat 3B	53	26,750	64,332	180,184	216,323	324,750	277,543
Mat 3C	49,593	7,011	34,660	166,913	96,617	31,383	28,597
Mat 3D	177,115	216,419	281,201	34,813	-	309	4,989
Mat 3E	4,803	3,504	1,374	1,526	2,255	1,077	808
Mat 4	7,972	10,724	14,609	2,320	-	-	-
Mat F	2,655	-	-	7,631	5,681	2,222	1,763
Mat T	217,145	203,119	86,292	78,074	140,862	71,693	54,315

Tabla 5.3²² Volúmenes geométricos requeridos por tipo de material, en metros cúbicos

²¹ Elaboración propia

²² Elaboración propia

Material	Total	%
Mat 1A	-	0%
Mat 1B	-	0%
Mat 2A	-	0%
Mat 2B	119,169	3%
Mat 3A	39,862	1%
Mat 3B	1,252,004	29%
Mat 3C	843,440	20%
Mat 3D	869,887	20%
Mat 3E	59,924	1%
Mat 4	47,196	1%
Mat F	22,816	1%
Mat T	1,009,840	24%

Tabla 5.4²³ Volumen (m³) y porcentaje por tipo de material

En el **Anexo 05** se puede ver el Diagrama de Gant constituido para este primer planeamiento. Se observa que el plazo final el relleno de la presa es en noviembre del 2014.

Para obtener este planeamiento se tomaron los registros de rendimientos de obras anteriores y se consideraron los días trabajables a partir de los estudios hidrológicos de la zona. Los días practicables mostrados en la **Tabla 5.2** se refieren a los trabajos de relleno de la presa. Otras actividades, como las excavaciones obligatorias, poseen sus propios días practicables debido a la diferencia en los procesos productivos.

Durante los primeros meses, los trabajos se concentraron en limpieza y preparación de la zona de relleno, además de iniciar la explotación de las canteras destinadas al servicio. Por otro lado, al ser época de precipitaciones altas, los rendimientos en los trabajos de movimiento de tierras se ven afectados por disposiciones de seguridad si las condiciones no son las adecuadas.

Para obtener la contribución de cada cantera y de cada excavación obligatoria se realiza un balance de materiales partiendo de los volúmenes y metrados estimados, respectivamente.

En el caso de las canteras, si bien se tenía un estimado inicial mostrado en la **Tabla 4.7**, los volúmenes sufrieron modificaciones pues parte de las canteras se destinaron para la construcción de las ataguías y otras lograron ser ampliadas

²³ Elaboración propia

ligeramente. En la **Tabla 5.5** se muestran los nuevos volúmenes estimados para las canteras.

	Inicial	Estimado post Ataguía
CANTERA 01	20,680	22,711
CANTERA 02	1,700,000	1,214,718
CANTERA 10	129,823	35,521
CANTERA 12	116,161	91,456
CANTERA 19	1,687,600	1,656,119
CANTERA 20	1,489,100	1,604,119
CANTERA 21	360,000	-
CANTERA 22	700,000	804,240

Tabla 5.5²⁴ Nuevos volúmenes en banco para canteras, en metros cúbicos²⁵

En el **Anexo 06** se aprecia el balance de materiales del planeamiento de setiembre del 2012. A continuación, la **Tabla 5.6** muestra el total de material requerido por lugar de procedencia, mientras que el **Gráfico 5.1**²⁶ muestra el porcentaje de contribución de los mismos.

Planificado	Total (m ³)
Cantera 1	-
Cantera 2	478,659
Cantera 10	29,539
Cantera 12	58,228
Cantera 19	1,181,388
Cantera 20	630,018
Cantera 21	-
Cantera 22	229,763
Cantera Río	60,298
Planta Industrial	94,079
Propio	11,663
Ventana 1	122,636
PCH	5,425
Túnel de Desvío: Shaft	49,090
Portal de Entrada	709,917
Vertederos Túneles	65,769
Portal de Salida	511,944
Frente 01	25,721
Total	4,264,137.82

Tabla 5.6²⁷ Distribución de materiales por lugar de procedencia

²⁴ Elaboración propia

²⁵ Hay que precisar que las modificaciones a las canteras se realizaron cuando las ataguías aún se encontraban bajo construcción.

²⁶ Ventana 1 hace referencia al Frente 02 y Frente 03 de la excavación del túnel de aducción, está unión facilitará la comparación con los reportes de producción debido a que en estos no se precisa de qué frente llega el material que sale por Ventana 1.

²⁷ Elaboración propia

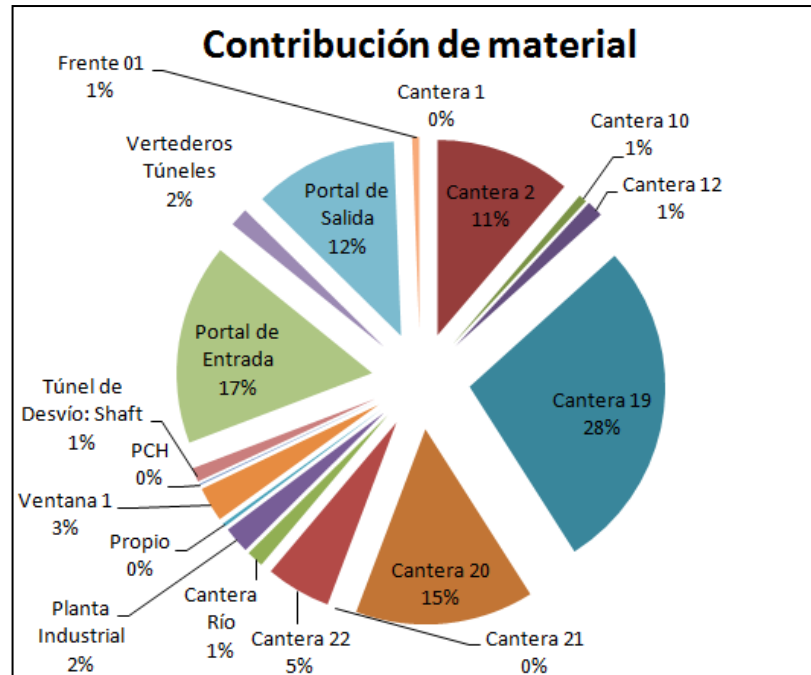


Gráfico 01²⁸ Porcentaje de contribución de material por lugar de procedencia

Como se observó en la **Tabla 5.6** la mayor parte de material en este lapso de tiempo es proveniente de cantera de rocas (materiales 3B, 3C y 3D) de allí la importancia de las canteras 19 y 20. Además, es preciso señalar la gran contribución que hacen las excavaciones de los portales de los vertederos, tanto de entrada como de salida (29%). Por otro lado, al no necesitarse materiales finos, como el 1A, la cantera 1 no es utilizada en esta etapa; en tanto, el material obtenido de la excavación de la PCH y de la excavación propia en la presa, como es el plinto, será acopiado y utilizado en caso sea necesario.

En el caso de la cantera 21, esta no se consideró en el balance debido a que su explotación comprometería el acceso inicial a la presa. Una vez concluido el ACP 29, su explotación sería más factible; sin embargo, la excavación de la PCH comienza en abril de 2013 y se vería afectada por la explotación de la cantera 21 pues está por encima de la central, como se observa en el **Plano 02**.

5.1.2 Rendimientos reales:

El primer análisis se llevará a cabo con los rendimientos de producción hasta enero de 2013 pues se observó que no se llegaba a cumplir los volúmenes esperados.

²⁸ Elaboración propia

El volumen ejecutado real hasta enero de 2013 se muestra en la siguiente tabla, tanto en forma global como segregada por tipo de material:

VOLUMEN EJECUTADO REAL				
Mes	Volumen colocado m ³	Volumen acumulado real m ³	Días reales trabajados	Rendimiento real m ³ /día
sep-12	-	-	0	-
oct-12	85,231.39	85,231.39	23	3,705.71
nov-12	23,811.15	109,042.54	16	1,488.20
dic-12	18,882.71	127,925.25	9	2,098.08
ene-13	64,531.32	192,456.57	14	4,609.38

Tabla 5.7²⁹ Volumen ejecutado hasta enero de 2013

Material	Setiembre		Octubre		Noviembre	
	Ejecutado	Planificado	Ejecutado	Planificado	Ejecutado	Planificado
1A	-	-	-	-	-	-
1B	-	-	-	-	-	-
2A	-	-	121.54	-	-	-
2B	-	634.00	-	564.00	-	692.00
3A	-	-	-	-	-	-
3B	-	922.00	-	3,764.00	-	6,327.00
3C	-	-	64,138.89	-	23,072.46	17,304.00
3D	-	-	-	-	-	-
3E	-	179.00	18,963.51	358.00	-	20,320.00
4	-	-	392.43	-	738.69	481.00
F	-	-	-	-	-	-
T	-	-	1,615.02	-	-	-
Total	0.00	1,735.00	85,231.39	4,686.00	23,811.1	45,124.0

Material	Diciembre		Enero	
	Ejecutado	Planificado	Ejecutado	Planificado
1A	-	-	-	-
1B	-	-	-	-
2A	-	-	-	-
2B	-	547.00	-	792.00
3A	-	-	-	109.00
3B	-	16,295.00	-	48,728.00
3C	18,848.09	62,288.00	64,531.32	156,419.00
3D	-	-	-	-
3E	-	6,670.00	-	-
4	34.63	619.00	-	1,692.00
F	-	-	-	-
T	-	-	-	-
Total	18,882.7	86,419.0	64,531.3	207,740.0

Tabla 5.8³⁰ Comparativo por material colocado por mes

De la tabla anterior se observa lo siguiente:

²⁹ Elaboración propia

³⁰ Elaboración propia

- El mes de septiembre no se realizó relleno en la presa pues los trabajos se enfocaron en la limpieza y desbroce de la zona de trabajo, además de la conformación de accesos.
- El acceso a la presa en los primeros meses fue un tema crítico, pues la vía hacia el portal del túnel de desvío se encontraba en la cota 1021 y era, en ese entonces, el único que llegaba hasta el eje de la presa.
- Además, dada la necesidad de tener oficinas de producción y almacenes tanto para las áreas de explanaciones como para obras civiles se decidió realizar un relleno de material definitivo a la altura del eje de la presa, desde la cota de fondo hasta el nivel del ACP - 11, contando, además, con dos rampas de acceso hasta el lecho de la presa.
- Este relleno explica la cantidad de material colocado en el mes de octubre que difiere totalmente con el planificado. El uso de los materiales T y 3C comprenden la distribución de los materiales en la sección del eje de la presa donde se realizó este relleno, tal y como se ha mostrado anteriormente en el **Plano 03**.
- Exceptuando el mes de octubre, los meses siguientes no se logró completar la meta propuesta para el relleno de la presa principalmente por la escasez de material lo que es consecuencia de una baja explotación de las canteras. En el **Gráfico 5.2** se observa la marcada diferencia entre el volumen requerido por material y el volumen colocado.

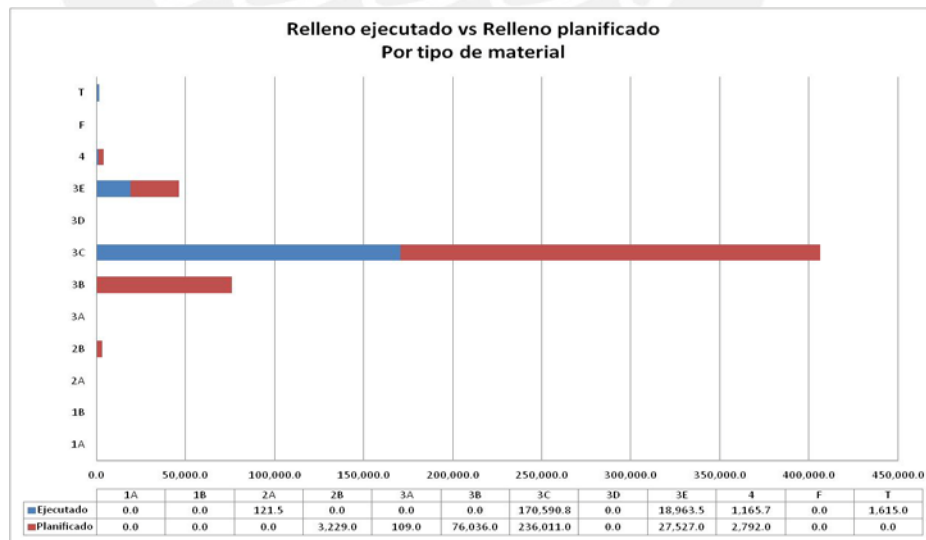


Gráfico 5.2³¹ Volúmenes de material colocado y planificado

Los volúmenes faltantes, entre lo ejecutado y lo planificado, son:

³¹ Elaboración propia

- Setiembre, margen negativo de 1,735 metros cúbicos.
- Octubre, saldo a favor de 80,545.3 metros cúbicos.
- Noviembre, margen negativo de 21,312.9 metros cúbicos.
- Diciembre, margen negativo de 67,536.3 metros cúbicos.
- Enero, margen negativo de 143,208.7 metros cúbicos.
- El volumen faltante acumulado hasta el enero del 2013 es 153,247.6 metros cúbicos de material de relleno, que implica un replanteo del planeamiento inicial.

Más adelante se analizarán las restricciones que impiden tener el rendimiento esperado de las canteras y el consecuente avance en el relleno de la presa.

5.2 Segundo planeamiento – Febrero 2013

5.2.1 Rendimientos teóricos:

De acuerdo a los avances realizados hasta el mes de enero y viendo que no se estaba cumpliendo con las metas planificadas se realiza un ajuste del volumen y, por orden gerencial, se extiende la fecha de culminación del relleno de la presa hasta finales de enero del 2015. Estos cambios se indican en el Diagrama de Gant correspondiente al nuevo planeamiento, mostrado en el **Anexo 07**. En las siguientes tablas se observan los nuevos volúmenes requeridos por el planeamiento de febrero de 2013.

PLANEAMIENTO FEBRERO 2013				
Mes	Volumen requerido m ³	Volumen acumulado planificado m ³	Días según planeamiento	Rendimiento teórico m ³ /día
sep-12	16,448.00	16,448.00	24	685.33
oct-12	90,835.00	107,283.00	19	4,780.79
nov-12	18,171.00	125,454.00	18	1,009.50
dic-12	12,439.00	137,893.00	17	731.71
ene-13	65,281.00	203,174.00	16	4,080.06
feb-13	359,668.00	562,842.00	15	23,977.87
mar-13	443,675.00	1,006,517.00	16	27,729.69
abr-13	510,605.00	1,517,122.00	18	28,366.94
may-13	523,318.00	2,040,440.00	25	20,932.72
jun-13	540,742.00	2,581,182.00	24	22,530.92
jul-13	497,531.00	3,078,713.00	23	21,631.78
ago-13	487,318.00	3,566,031.00	25	19,492.72
sep-13	460,186.00	4,026,217.00	24	19,174.42
oct-13	403,381.00	4,429,598.00	19	21,230.58

Tabla 5.9³² Segundo Planeamiento Febrero 2013

Material	Setiembre 2012	Octubre 2012	Noviembre 2012	Diciembre 2012	Enero 2013	Febrero 2013	Marzo 2013
	16,448	90,835	18,170	12,440	65,281	359,668	443,675
MAT 1A	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
MAT 1B	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
MAT 2A	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
MAT 2B	1,563.20	628.00	156.0	90.0	355.0	636.0	14,690.0
MAT 3A	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	109.0	0.0
MAT 3B	7,848.30	12,410.00	4,170.3	2,880.0	15,462.0	76,753.0	42,547.0
MAT 3C	403.00	56,046.00	13,705.0	9,366.0	48,932.0	277,382.0	204,658.0
MAT 3D	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	88,467.0
MAT 3E	6,468.00	21,059.00	0.0	0.0	0.0	0.0	22,694.0
MAT 4	165.50	692.00	139.0	104.0	532.0	4,788.0	5,149.0
MAT F	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	1,178.0
MAT T	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	64,292.0

Material	Abril 2013	Mayo 2013	Junio 2013	Julio 2013	Agosto 2013	Septiembre 2013	Octubre 2013
	510,604	523,318	540,742	497,531	487,316	460,184	403,381
MAT 1A	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
MAT 1B	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
MAT 2A	0.0	0.0	0.0	676.0	0.0	0.0	0.0
MAT 2B	5,176.0	4,470.0	5,295.0	13,866.0	15,348.0	16,125.0	19,525.0
MAT 3A	0.0	0.0	0.0	5,170.0	7,967.0	11,558.0	15,057.0
MAT 3B	53.0	26,750.0	64,332.0	179,508.0	216,322.0	324,749.0	277,555.0
MAT 3C	39,705.0	0.0	31,924.0	163,217.0	91,725.0	29,085.0	26,854.0
MAT 3D	218,467.0	264,306.0	332,866.0	40,322.0	0.0	309.0	4,989.0
MAT 3E	19,431.0	13,949.0	5,424.0	6,746.0	9,411.0	4,443.0	3,323.0
MAT 4	7,972.0	10,724.0	14,609.0	2,320.0	0.0	0.0	0.0
MAT F	2,655.0	0.0	0.0	7,631.0	5,681.0	2,222.0	1,763.0
MAT T	217,145.0	203,119.0	86,292.0	78,075.0	140,862.0	71,693.0	54,315.0

Tabla 5.10³³ Planeamiento Febrero 2013 por materiales

³² Elaboración propia

³³ Elaboración propia

Los nuevos volúmenes de los meses iniciales, setiembre a enero, obedecen a un ajuste realizado según el volumen real ejecutado, es decir, se trató, a través del uso de la plantilla cota-volumen, aproximar el volumen planificado al real ejecutado y el déficit de volumen fue distribuido a los meses siguientes, con un saldo de 16,448 metros cúbicos en el mes de setiembre que debería ser subsanado con la programación de trabajos los días domingo según sea necesario.

5.2.2 Rendimientos reales:

De forma similar al planeamiento anterior, se realizó el análisis de rendimientos hasta junio del 2013 debido a que la producción no alcanzaba los volúmenes requeridos y era necesario tomar nuevas decisiones. En los siguientes cuadros se mostrará el avance real mes a mes y el comparativo con los volúmenes planificados:

Material	Setiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre		Enero	
	Ejecutado	Planificado	Ejecutado	Planificado	Ejecutado	Planificado	Ejecutado	Planificado	Ejecutado	Planificado
1A	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1B	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2A	0.00	0.00	121.54	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2B	0.00	1,563.20	0.00	628.00	0.0	156.0	0.0	90.0	0.0	355.0
3A	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3B	0.00	7,848.30	0.00	12,410.00	0.0	4,170.3	0.0	2,880.0	0.0	15,462.0
3C	0.00	403.00	64,138.89	56,046.00	23,072.5	13,705.0	18,848.1	9,366.0	64,531.3	48,932.0
3D	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3E	0.00	6,468.00	18,963.51	21,059.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	0.00	165.50	392.43	692.00	738.7	139.0	34.6	104.0	0.0	532.0
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
T	0.00	0.00	1,615.02	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Total	0.00	16,448.00	85,231.39	90,835.00	23,811.1	18,170.0	18,882.7	12,440.0	64,531.3	65,281.0

Material	Febrero		Marzo		Abril		Mayo		Junio	
	Ejecutado	Planificado	Ejecutado	Planificado	Ejecutado	Planificado	Ejecutado	Planificado	Ejecutado	Planificado
1A	0.0	0.0	0.0	0.0	15,691.7	0.0	2,005.2	0.0	874.4	0.0
1B	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2A	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2B	695.5	636.0	2,746.7	14,690.0	8,110.5	5,176.0	17,576.7	4,470.0	9,018.2	5,295.0
3A	0.0	109.0	47.2	0.0	412.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3B	10,653.3	76,753.0	39,750.6	42,547.0	148,822.5	53.0	132,040.5	26,750.0	134,279.6	64,332.0
3C	84,579.8	277,382.0	54,789.9	204,658.0	98,095.5	39,705.0	79,616.7	0.0	22,934.0	31,924.0
3D	0.0	0.0	0.0	88,467.0	0.0	218,467.0	29,201.3	264,306.0	49,561.3	332,866.0
3E	0.0	0.0	0.0	22,694.0	0.0	19,431.0	17,128.3	13,949.0	49,353.6	5,424.0
4	277.0	4,788.0	530.9	5,149.0	1,061.9	7,972.0	2,839.3	10,724.0	692.5	14,609.0
F	0.0	0.0	0.0	1,178.0	0.0	2,655.0	1,535.8	0.0	2,839.6	0.0
T	0.0	0.0	0.0	64,292.0	5,116.2	217,145.0	141,167.3	203,119.0	190,608.3	86,292.0
Total	96,205.6	359,668.0	97,865.3	443,675.0	277,310.8	510,604.0	423,111.0	523,318.0	460,161.4	540,742.0

Tabla 5.11³⁴ Volúmenes ejecutados reales hasta junio 2013, en m³

Los volúmenes mensuales ejecutados a partir del mes de febrero y marzo varían considerablemente a comparación de los meses anteriores; sin embargo,

³⁴ Elaboración propia

recién a partir del mes de mayo se comienza a producir un volumen cercano a lo planificado lo cual es consecuencia de la facilidad de transporte de material debido al mejoramiento en la calidad de los accesos y una mayor explotación de las canteras. Aún así, a pesar de una considerable mejora en el rendimiento, no se llega a tener la producción esperada en el planeamiento de febrero.

Las condiciones hasta marzo siguieron siendo las mismas que en enero, incluso a pesar de mostrar un planeamiento reajustado, esperando cambiar la situación enfrentada en los primeros meses de actividad, no se consiguieron debido a la falta de material y esto era causado por los pocos accesos para lograr una explotación de canteras adecuada.

Para subsanar la falta de material, se comenzó a enfocar cierta cantidad de recursos a la búsqueda de nuevas canteras y culminar los accesos, sacrificando rendimientos de relleno, los cuales, una vez solucionado parte de los problemas mencionados anteriormente, comenzaron a mejorar, teniendo, por ejemplo, un aumento del 183% de producción en el mes de abril en comparación con el mes de marzo y un aumento del 52.6% comparando mayo y abril. Estos meses coinciden también con la época de estiaje o bajas precipitaciones.

5.2.3 Dimensionamiento de equipos:

Conjuntamente con la elaboración del planeamiento de febrero y con los volúmenes mensuales establecidos, se realizó un dimensionamiento de equipos para el relleno de presa con el fin de identificar los equipos que serán necesarios conforme se vaya avanzando con el servicio, esto ayudará a realizar, de forma oportuna, los requerimientos de maquinaria al área pertinente, debido a temas contractuales, como alquiler o compra de los equipos, los cuales deben mantener una curva de adquisición y desmovilización adecuada, esto permitirá tener un mejor control y manejo de los recursos.

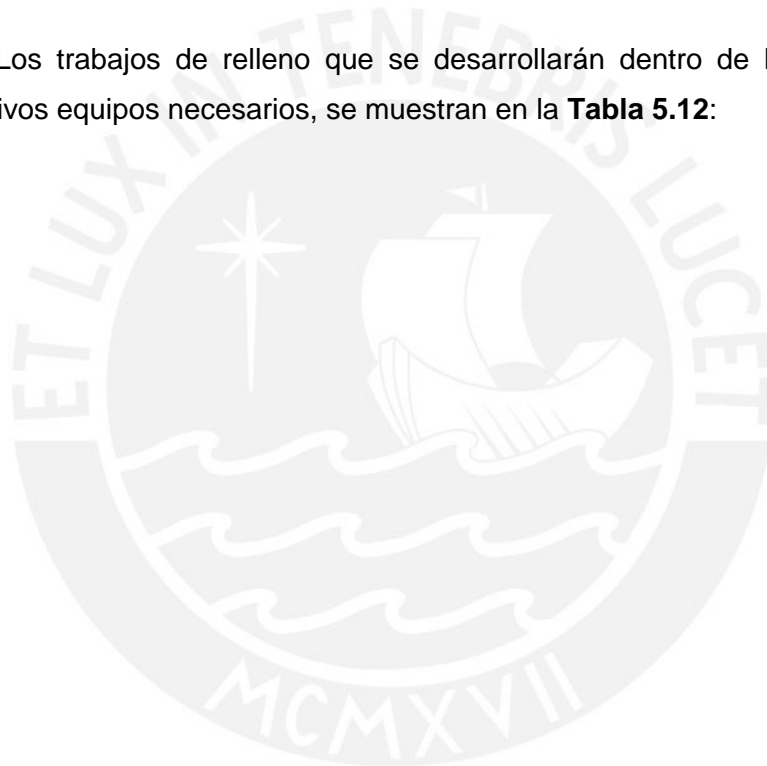
Para el dimensionamiento de los equipos según el planeamiento general de la presa se utilizará la ecuación **Ec 01**:

$$\# \text{ Equipo} = \frac{\text{Índ} \times \text{Vol}}{\text{Días} \times \# \text{Trn} \times \text{Hrs}} \quad \text{Ec 01}$$

Donde:

- $\acute{I}nd$ (H/m^3): Valores índices obtenidos de las composiciones para los diferentes servicios a ejecutarse durante el relleno. Es la inversa de la productividad del equipo.
- Vol (m^3): Volumen a colocar por mes y por tipo de material.
- $Días$: Cantidad de días trabajables según planeamiento.
- $\#Trn$: Número de turnos que se desarrolla en el frente de trabajo. En el relleno de presa se trabaja a doble turno.
- Hrs : Horas de trabajo por turno. En el caso del relleno de presa cada turno dura 10hrs.

Los trabajos de relleno que se desarrollarán dentro de la presa, con los respectivos equipos necesarios, se muestran en la **Tabla 5.12**:



Servicio	Índice
Relleno compactado del tipo 1A	
Motoniveladora 180hp (CAT 140H- Volvo 940)	0.005000
Tractor sobre Orugas 180-200 hp (CAT D6T)	0.005555
Rodillo Compactador liso vibratorio 10t. (CAT CS-533E)	0.006250
Rodillo Compactador liso vibratorio Tandem CAT CB-214E	0.018518
Placa Compactadora Vibrat. Dynapac CM-20 7HP	0.050000
Relleno compactado del tipo 1B	
Motoniveladora 180hp (CAT 140H- Volvo 940)	0.005000
Tractor sobre Orugas con ripper 280-310 hp (CAT D8T)	0.005556
Rodillo Compactador liso vibratorio 10t. (CAT CS-533E)	0.006250
Rodillo Compactador liso vibratorio Tandem CAT CB-214E	0.020000
Rodillo Compactador liso vibratorio 15 ton (CAT CS 74)	0.050000
Relleno compactado del tipo 2B	
Motoniveladora 180hp (CAT 140H- Volvo 940)	0.005000
Tractor sobre Orugas con ripper 280-310 hp (CAT D8T)	0.002857
Rodillo Compactador liso vibratorio 10t. (CAT CS-533E)	0.006250
Rodillo Compactador liso vibratorio Tandem CAT CB-214E	0.018519
Placa Compactadora Vibrat. Dynapac CM-20 7HP	0.045455
Relleno compactado del tipo 3A	
Tractor sobre Orugas 180-200 hp (CAT D6T)	0.004000
Rodillo Compactador liso vibratorio 10t. (CAT CS-533E)	0.006250
Rodillo Compactador liso vibratorio 15 ton (CAT CS 74)	0.004000
Relleno compactado del tipo 3B	
Tractor sobre Orugas con ripper 280-310 hp (CAT D8T)	0.002857
Rodillo Compactador liso vibratorio 10t. (CAT CS-533E)	0.006250
Rodillo Compactador liso vibratorio 15 ton (CAT CS 74)	0.004000
Relleno compactado del tipo 3C	
Tractor sobre Orugas 180-200 hp (CAT D6T)	0.004000
Tractor sobre Orugas con ripper 280-310 hp (CAT D8T)	0.002857
Camion Cisterna de Agua 18000L 6x4 - VW 31.260E- Volvo N-10	0.002500
Rodillo Compactador liso vibratorio 10t. (CAT CS-533E)	0.006250
Rodillo Compactador liso vibratorio 15 ton (CAT CS 74)	0.004000
Relleno compactado del tipo 3E - Enrocamiento Fino	
Tractor sobre Orugas con ripper 280-310 hp (CAT D8T)	0.002540
Rodillo Compactador liso vibratorio 10t. (CAT CS-533E)	0.000775
Rodillo Compactador liso vibratorio 15 ton (CAT CS 74)	0.002100
Relleno compactado del tipo 3D	
Tractor sobre Orugas 180-200 hp (CAT D6T)	0.004000
Tractor sobre Orugas con ripper 280-310 hp (CAT D8T)	0.002857
Rodillo Compactador liso vibratorio 10t. (CAT CS-533E)	0.006250
Rodillo Compactador liso vibratorio 15 ton (CAT CS 74)	0.004000
Relleno compactado del tipo F	
Tractor sobre Orugas 180-200 hp (CAT D6T)	0.005000
Cargador Frontal sobre llantas 4.0 m3 - CAT 966H- Volvo L150F	0.008333
Camion Cisterna de Agua 18000L 6x4 - VW 31.260E- Volvo N-10	0.003333
Rodillo Compactador liso vibratorio 10t. (CAT CS-533E)	0.006667
Rodillo Compactador liso vibratorio 15 ton (CAT CS 74)	0.005000
Relleno compactado del tipo 4	
Tractor sobre Orugas 180-200 hp (CAT D6T)	0.006250
Excavadora hidraulica de orugas 30-35t (330CL- EC360B)	0.010000
Relleno compactado del tipo T	
Tractor sobre Orugas con ripper 280-310 hp (CAT D8T)	0.002857
Rodillo Compactador liso vibratorio 10t. (CAT CS-533E)	0.006250
Rodillo Compactador liso vibratorio 15 ton (CAT CS 74)	0.004000

Tabla 5.12³⁵ Índices de equipos para los servicios de la presa

³⁵ Elaboración propia, basado en composiciones de servicios de la Central Hidroeléctrica de Chaglla.

Utilizando los volúmenes por tipo de material a rellenar por mes, especificados anteriormente en la **Tabla 5.9**, calcularemos la cantidad de equipos necesarios para cada servicio, siguiendo la **N.01**, obteniéndose los resultados mostrados en la **Tabla 5.13**.

EQUIPOS	2013												2014												2015	
	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	ene	feb	
Rodillo Compactador liso vibratorio 10t. (CAT CS-533E)	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	4	2	2	1	0	0	1	0	
Rodillo Compactador liso vibratorio 15 ton (CAT CS 74)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	10	9	5	0	0	1	0	
Rodillo Compactador liso vibratorio Tandem CAT CB-214E	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	4	4	2	0	0	0	0	
Placa Compactadora Vibrat. Dynapac CM-20 7HP	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	2	1	1	0	0	0	0	
Tractor sobre Orugas 180-200 hp (CAT D6T)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
Tractor sobre Orugas con ripper 280-310 hp (CAT D8T)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	1	1	0	0	1	0	
Cargador Frontal sobre llantas 4.0 m3 - CAT 966H- Volvo L150F	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	
Excavadora hidraulica de orugas 30-35t (330CL-EC360B)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	
Motoniveladora 180hp (CAT 140H- Volvo 940)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	
Camion Cisterna de Agua 18000L 6x4 - VW 31.260E- Volvo N-10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	
	20	20	20	21	21	22	22	22	22	22	23	23	23	23	23	23	23	19	22	19	12	0	0	3	0	

Tabla 5.13³⁶ Requerimiento de equipos para cada mes

El dimensionamiento realizado para cada mes es representado por la cantidad de equipos a usarse según planeamiento, mas en campo no necesariamente se realiza el pedido en su totalidad ya que estos índices son un relatorio y una estadística histórica de obras anteriores lo cual no necesariamente se va a cumplir, por lo tanto, la cantidad de equipos es cercana a lo planificado teniendo siempre una variabilidad, tanto mayor como menor.

Para ejemplificar lo mencionado anteriormente, se va a realizar el dimensionamiento con los volúmenes planeados en el mes de marzo del 2013, utilizando solo los materiales predominantes.

³⁶ Elaboración propia

Días practicables	16
Mes de relleno	MARZO
Total del mes	443,675.00
MAT 2B	14,690.00
MAT3B	42,547.00
MAT 3C	204,358.00
MAT 3D	88,467.00
MAT T	6,492.00
MAT 3E	2,270.00

Tabla 5.14³⁷ Volúmenes predominantes, en m³, para marzo de 2013

De acuerdo a la fórmula mostrada anteriormente, teniendo los índices de cada equipo para su respectiva partida, relleno de cada material, el volumen mensual a rellenar, las cantidades de guardias, días practicables del mes y la cantidad de horas por guardia, se podrá obtener el número de equipos para cada actividad correspondiente. En el **Anexo 08** se aprecian los cuadros intermedios por tipo de material donde se calcularon los equipos requeridos.

La cantidad de número de equipos obtenido para cada material se suma para obtener el total de equipos que se requiere, el redondeo se realiza a criterio de los responsables, en este caso se redondeará al número mayor. Temas contractuales pueden modificar la elección del equipo, como puede ser el modelo, siempre que se cumplan con los requerimientos de potencia u otra característica que afecte el desempeño del equipo durante el proceso de relleno.

En la **Tabla 5.15** se aprecian los equipos totales y el redondeo realizado.

³⁷ Elaboración propia

EQUIPO	CANTIDAD	TOTAL
Motoniveladora 180hp (CAT 140H- Volvo 940)	0.208664773	1
Tractor sobre Orugas con ripper 280-310 hp (CAT D8T)	3.52689596	4
Rodillo Compactador liso vibratorio 10t. (CAT CS-533E)	7.407116477	8
Rodillo Compactador liso vibratorio Tandem CAT CB-214E	0.772852585	1
Placa Compactadora Vibrat. Dynapac CM-20 7HP	1.896971449	2
Rodillo Compactador liso vibratorio 15 ton (CAT CS 74)	4.6770625	5
Tractor sobre Orugas 180-200 HP (CAT D6T)	2.32225	3
Camión Cisterna de Agua 18000L 6x4 - VW 31.260E- Volvo N-10	1.45140625	2

Tabla 5.15³⁸ Equipos totales para el mes de marzo 2013

Si comparamos la tabla anterior con el resultado de la **Tabla 5.13** nos daremos cuenta que hay una marcada diferencia en cuando a la cantidad de equipo que se requiere, como se ve en el cuadro comparativo:

EQUIPO	Tabla 5.13	Tabla 5.15
Motoniveladora 180hp (CAT 140H- Volvo 940)	1	1
Tractor sobre Orugas con ripper 280-310 hp (CAT D8T)	3	4
Rodillo Compactador liso vibratorio 10t. (CAT CS-533E)	5	8
Rodillo Compactador liso vibratorio Tandem CAT CB-214E	1	1
Placa Compactadora Vibrat. Dynapac CM-20 7HP	1	2
Rodillo Compactador liso vibratorio 15 ton (CAT CS 74)	4	5
Tractor sobre Orugas 180-200 HP (CAT D6T)	2	3
Camión Cisterna de Agua 18000L 6x4 - VW 31.260E- Volvo N-10	1	2

Tabla 5.16³⁹ Comparativo de totales de equipos

³⁸ Elaboración propia

³⁹ Elaboración propia

La diferencia más grande se da en el rodillo compactador de 10 toneladas, según el análisis aislado para el mes de marzo se necesitarían 8 rodillos, mientras que en el análisis global se consideraron solo 5, esto se explica en que la cantidad de equipos que se requieran en obra no puede variar bruscamente de un mes a otro y tener picos aislados en cada mes, se debe tener un crecimiento controlado de equipo y luego una desmovilización apropiada de los mismos. Entonces, si bien para el mes de marzo idealmente se necesitaban 8 rodillos, para los meses siguientes el número requerido es mucho menor, por lo que no es factible comprar o alquilar 3 rodillos más solo por un mes, entonces se opta tener una cantidad reducida y constante de 5 rodillos, los cuales deberán dividirse más área de trabajo y horas de trabajo para cumplir con el relleno previsto.

Estos equipos solo están destinados para el relleno de presa. La explotación de canteras cuenta con su propio requerimiento de equipos aunque de darse el caso se pueden movilizar equipos de la presa para ayudar a otros servicios, como puede ser el mantenimiento de accesos.

5.3 Tercer Planeamiento – Julio 2013:

Este tercer planeamiento, a diferencia de los anteriores, no trae consigo una distribución específica de materiales que aportan a un volumen total mensual, más bien, se parte de la premisa de llegar a cumplir un volumen propuesto total especificado bajo ciertos criterios expuestos más adelante.

También, se procederá a analizar los rendimientos de producción hasta octubre del 2013, además de identificar las interferencias que afectaron al relleno de presa durante estos meses. Esta información servirá para plantear, en el siguiente capítulo, la distribución y requerimiento de material proyectado hacia el final de la presa.

5.3.1 Análisis de restricciones:

Teniendo en cuenta que el área donde se desarrolla el relleno de presa es estrecha y existente varios servicios llevándose a cabo en las cercanías, como la excavación de vertederos, excavación de PCH, excavación y concretado del plinto,

conformación de accesos y transporte de materiales e insumos; es de esperarse una importante interferencia entre los servicios a ejecutarse. A continuación se analizará cuán influyente han sido estas interferencias en el relleno de presa.

5.3.1.1 Modificaciones del planeamiento de la presa:

El planeamiento inicial fue modificado debido a circunstancias de la obra, las cuales son los trabajos realizados en paralelo, el atraso de obras que manejan la ruta crítica para el relleno de la presa, los trabajos previos que deben de realizarse para la ejecución del relleno llámese excavación del plinto, creación de accesos, excavación de túnel del vertedero, excavación del portal de salida del vertedero entre otros.

Actividades como las mencionadas son factores que impiden que el avance se ejecute como se realizó en la planificación inicial, ya sea en setiembre del 2012 o la modificada en febrero del 2013.

A partir de julio del 2013, se realizó una modificación a la configuración de las etapas debido al retraso en la ejecución del plinto y de los accesos para los vertederos, como se verá más adelante. La nueva configuración de las etapas trajo consigo variaciones en los volúmenes de las mismas como se ve en el **Plano 05**⁴⁰

Adicional a las modificaciones de las etapas se realizó un nuevo Diagrama de Gant con las nuevas fechas de ejecución de los servicios, incluyendo una ampliación al plazo final de la presa hasta comienzos de abril del 2015. Este nuevo diagrama se puede apreciar en el **Anexo 09**.

En cuanto a los volúmenes mensuales requeridos, gerencialmente se decidió que las metas propuestas en los planeamientos anteriores no eran, en ese momento, posibles de alcanzar, tal y como estaba sucediendo. El no cumplimiento con las metas afectaba al personal ya que se había instalado una política de bonificación a las cuadrillas siempre que cumplan con las metas pactadas en sus respectivas áreas. Así, se decidió, establecer como metas globales de producción las especificadas en la **Tabla 5.17**.

⁴⁰ Para el análisis de rendimientos hasta octubre del 2013 se comparará con los volúmenes totales del planeamiento de setiembre de 2012. Más adelante; sin embargo, se utilizarán los nuevos volúmenes.

PLANEAMIENTO MENSUAL JULIO				
Mes	Volumen requerido m ³	Volumen acumulado m ³	Días planificados	Rendimiento teórico m ³ /día
sep-12	16,448.00	16,448.00	24	685.33
oct-12	90,835.00	107,283.00	19	4,780.79
nov-12	18,171.00	125,454.00	18	1,009.50
dic-12	12,439.00	137,893.00	17	731.71
ene-13	65,281.00	203,174.00	16	4,080.06
feb-13	359,668.00	562,842.00	15	23,977.87
mar-13	443,675.00	1,006,517.00	16	27,729.69
abr-13	510,605.00	1,306,517.00	24	12,500.00
may-13	523,318.00	1,656,517.00	25	14,000.00
jun-13	540,742.00	2,156,517.00	25	20,000.00
jul-13	500,000.00	2,656,517.00	25	20,000.00
ago-13	350,000.00	3,006,517.00	24	14,583.33
sep-13	400,000.00	3,406,517.00	25	16,000.00
oct-13	400,000.00	3,806,517.00	25	16,000.00

Tabla 5.17⁴¹ Volúmenes mensuales definidos a partir de julio 2013

5.3.1.2 Trabajos superpuestos:

Como se ha venido diciendo anteriormente, dentro del área del relleno de la presa o sobre la misma se efectuarán diversos servicios que podrán afectar el rendimiento y el proceso constructivo del relleno conforme se vayan ejecutando. Los servicios que se han identificado como los potenciales a ocasionar interferencias están registrados en la **Tabla 5.18**. Estos servicios son los que idealmente se deberían ejecutar durante el período de análisis de este trabajo, habiendo otros servicios que dependen de estos pero que se ejecutarán más adelante y que no se están considerando en la siguiente tabla.

Servicios		Fechas según planeamiento	
Accesos		Fecha de Inicio	Fecha de Fin
ACP 29	Empalme puente aguas abajo con corona ataguía aguas abajo	11/10/2012	10/12/2012
ACP 29	Construcción de medios puentes en ACP 29	12/02/2013	16/04/2013
ACP 18	Empalme cresta de la ataguía con Portal Shaft	10/12/2012	15/02/2013
ACP 18A	Empalme Portal Shaft con Portal de entrada Vertedero	16/02/2013	15/04/2013
ACP 18B	Empalme ACP18A con Presa en Elev. 1100	11/03/2013	06/05/2013
ACP 43A	Acceso a cresta de excavación del Portal de Salida del Vertedero	22/08/2012	18/02/2013
Plinto		Fecha de Inicio	Fecha de Fin
Plinto Horizontal		22/05/2013	21/06/2013
Excavación Plinto MD - Hasta cota 1100		10/05/2012	18/09/2013
Concreto Plinto MD - Hasta cota 1100		05/06/2013	09/10/2013
Excavación Plinto MI - Hasta cota 1100		18/04/2012	21/05/2013
Concreto Plinto MI - Hasta cota 1100		05/06/2013	12/09/2013
Cortina de Inyecciones MD - Hasta cota 1100		18/07/2013	08/01/2014
Cortina de Inyecciones MI - Hasta cota 1100		18/07/2013	08/01/2014
Concreto de bordillo (2.5 bordillos por día) - Hasta cota 1100		10/07/2013	01/11/2013
Losa de Presa - Hasta cota 1100		04/11/2013	14/02/2014
Instrumentación			
Piezómetros		Variable según nivel de la presa	
Celdas de asentamiento		Variable según nivel de la presa	
Casetas de control		Variable según nivel de la presa	

Tabla 5.18⁴² Servicios con incidencia dentro de la presa

⁴¹ Elaboración propia

⁴² Elaboración propia

Los trabajos de accesos son los más delicados pues de ellos depende liberar el margen izquierdo, con la construcción del ACP 29, y alcanzar los puntos de inicio para las banquetas de los vertederos y túnel de aducción. El primer retraso se dio con el ACP 29 debido, principalmente, con cambios en la ingeniería de los medios puentes que conforman el acceso. Luego, el ACP 18 y sus ramales, en el margen izquierdo, como se muestra en el **Plano 02**, tuvieron retrasos en su ejecución por lo que se comenzaron a realizar en paralelo con el relleno de presa y la excavación del plinto, generando paralizaciones en diversas áreas del frente de trabajo por temas de seguridad, debido a la posible caída de material pudiendo ocasionar así algún accidente, impidiendo que se realicen actividades en casi la mitad del área del eje transversal de la presa. Los trabajos se limitaban a los materiales aguas abajo del eje de la presa utilizando solo las canteras aguas debajo de la presa, todas las canteras que quedaban luego de la ataguía aguas arriba no trabajan o se limitaban a preparar material para el turno noche, en el caso de que no se continúen ejecutando los accesos en dicho turno.

Los trabajos realizados en el plinto, estructura que se tiene que trabajar antecediendo al relleno de la presa y que cuenta con los servicios predecesores de desbroce, excavación, concretado e inyecciones (mejoramiento de roca) de la zona delimitada para el plinto, se retrasó por problemas de ingeniería y excavación de roca, sobretodo en el margen izquierdo, donde tenían la interferencia de los ACP's 18. Al retrasarse la ejecución del plinto, se postergó también el concretado del bordillo, servicio necesario para tener la interfaz entre el relleno y la cara de concreto, el bordillo es indispensable para continuar con la actividad del relleno.

Por otro lado, la instrumentación es una actividad que no permite trabajos cercanos a donde se están ejecutando la preparación del área y montaje de los diversos instrumentos, debido a la sensibilidad los mismos. Si bien las labores de instrumentación interrumpen los trabajos dentro de la presa, no son tan significativos como para cuantificarlos, debido a que, si bien el área de la presa es relativamente confinada, siempre había posibilidad de enfocar los trabajos de relleno a una zona que no afecte con los trabajos de instrumentación.

En la **Tabla 5.19** se aprecian las fechas reales de ejecución de los trabajos referidos anteriormente y que entran dentro del tiempo de análisis del presente estudio.

Servicios		Ejecución	
Accesos		Fecha de Inicio	Fecha de Fin
ACP 29	Empalme puente aguas abajo con corona ataguía aguas abajo	nov-12	ene-13
ACP 29	Construcción de medios puentes en ACP 29	feb-13	may-13
ACP 18	Empalme cresta de la ataguía con Portal Shaft	ene-13	-

Tabla 5.19⁴³ Fechas de ejecución de los servicios de interferencia

Se observa que los servicios ejecutados se limitaron a la construcción de los accesos necesarios para llegar a los puntos de las excavaciones obligatorias.

Otro servicio no considerado en las fechas anteriores (debido a que es un servicio continuo durante el relleno) pero muy importante es el abastecimiento de agua para la compactación de los materiales de enrocado. Como se vio en las especificaciones de los materiales, se necesita cierta cantidad de agua para tener un material libre de finos. Este trabajo se realiza utilizando cisternas de agua las cuales pueden llegar a dificultar el flujo de los volquetes en ciertos momentos debido a la gran cantidad de equipos que puede llegar a tener el área de la presa. No se llega a cuantificar efectivamente esta interferencia, aunque sus pérdidas no son significativas, aunque debe ser un servicio planificado de forma adecuada pues puede ocasionar algún accidente dentro de la zona de trabajo debido a la congestión de maquinaria.

5.3.1.3 Interferencias en equipos

Dada la magnitud del volumen de relleno que se ejecutará, un factor importante es el buen estado y el continuo trabajo de la maquinaria pesada. Para verificar esto se aplicó la estrategia de realizar el seguimiento de equipos para identificar las actividades no contributivas de las mismas. Considerando que todo equipo tiene planificado, cada cierto tiempo, su respectivo mantenimiento, existen circunstancias donde el equipo falla, ya sea por motivos mecánicos, motivos eléctricos y/o falta de operador, de tal manera que se pierden horas efectivas de trabajo, las cuales son importantes de cuantificar pues se relacionan a un volumen de material de relleno no ejecutado.

Esta estrategia es ejecutada a partir del mes de mayo teniendo el detallado mes a mes de horas de equipos paradas. En el **Anexo 10** se muestran las horas

⁴³ Elaboración propia

paradas por equipos y la distribución de las mismas según los diferentes motivos de paralización.

La cuantificación de material no relleno debido a estas paradas operativas se realizará con base al rendimiento de un equipo madre, en este caso será una excavadora CAT 336D L, debido a que corresponde a una excavadora estándar utilizadas en obra. Del **Anexo 11** al **Anexo 13** se muestran las especificaciones de esta excavadora obtenidas del Manual de Caterpillar.

Para cuantificar los metros cúbicos que no se llegaron a explotar de las canteras y que potencialmente se pudo colocar en el relleno, se utilizará los factores de transformación de la **Tabla 4.2**, mostrada anteriormente, tomando como referencia el material de mayor demanda para luego obtener el volumen del relleno no ejecutado.

Continuando con el Manual de Caterpillar, el rendimiento de una excavadora hidráulica depende de: la carga útil media del cucharón (en metros cúbicos), tiempo medio del ciclo (en minutos) y la eficiencia del trabajo; datos que se utilizarán para hallar la producción de una máquina según la **Ec. 02**⁴⁴:

$$m^3/H = (\text{ciclos en una hora}) \times (\text{carga útil del cucharón})$$

$$\text{Ciclos en una hora} = \frac{60\text{min}}{\text{tiempo del ciclo}}$$

$$\text{Carga útil media del cucharón} = \text{Capacidad colmada} \times \text{Factor de llenado}$$

$$m^3 \text{ reales/hora} = m^3/H \times \text{Factor de eficiencia} \quad \text{Ec 02}$$

Cabe mencionar que los rendimientos proporcionados por el manual van de acuerdo a condiciones ideales, las cuales *in situ* nunca se consigue, por ello se estima un factor de eficiencia según las características de la obra y del servicio.

Se conoce el ciclo de una excavadora consta de 4 partes: carga del cucharón, giro con carga, descarga del cucharón, giro sin carga. Existen, además, una serie de condiciones que son asumidas para determinar el ciclo del equipo, como son: inexistencia de obstáculos en la ruta de circulación, condiciones de

⁴⁴ CATERPILLAR. *Manual de Rendimiento*. Caterpillar Inc. Illinois. 2012. Edición 42. Pág. 4-208

trabajo más que favorables, operador con habilidad normal y posibilidad de realizar un giro con ángulo de 60 grados a 90 grados.

Para el cálculo del ciclo de la excavadora CAT 336D L se utilizarán la **Tabla 5.20**, donde se aprecian un rango de tiempo que va desde las mejores condiciones hasta las más desfavorables.

TABLA PARA CALCULAR TIEMPOS DE CICLO														
TIEMPO DE CICLO	TAMAÑO DE MÁQUINA													TIEMPO DE CICLO
	307C 308D CR CR SB	311D	M313D 312D	M315D M316D 315D L	M318D 319D L 319D LN	M322D 320D 320D RR 321D CR 323D	324D	328D LCR	329D	336D	345D	365C L	385C	
10 SEG.								N/D						0,17 min
15								N/D						0,25 min
20 SEG.								N/D						0,33 min
25														0,42 min
30 SEG.														0,50 min
35														0,58 min
40 SEG.														0,67 min
45														0,75 min
50 SEG.														0,83 min
55														0,92 min
60 SEG.														1,0 min

N/A = No aplicable

Tabla 5.20⁴⁵ Cálculo de tiempos de ciclos para una excavadora

Así, para un modelo CAT 336D L, se tomará un promedio de 0.33min.

Como consideraciones al trabajo de extracción se tienen las dadas por el mismo manual. Estas pautas ayudan a mejorar la producción si es que se dan las condiciones para realizarlas. En el **Anexo 14** se detallan las recomendaciones extraídas del Manual de Caterpillar.

Por otro lado, la carga útil del cucharón está estimada en 2.5m³, con este dato y el tiempo del ciclo se podrá hallar el rendimiento, en metros cúbicos por hora, de la excavadora. Entonces, se utilizará la **Tabla 5.21** brindada por el mismo manual.

⁴⁵ CATERPILLAR. *Manual de Rendimiento*. Caterpillar Inc. Illinois. 2012. Edición 42. Pág. 4-204

Metros cúbicos por hora de 60 minutos*																							
TIEMPOS DE CICLO CALCULADOS		CARGA ÚTIL CALCULADA DEL CUCHARÓN** – METROS/YARDAS CÚBICOS SUELTOS																			TIEMPOS DE CICLO CALCULADOS		
Tiempo de ciclo																					Ciclos por min.	Ciclos por hora	
Segundos	Min.	0,2	0,3	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9	3,1	3,3	3,5	4,0			
10,0	0,17																					6,0	360
11,0	0,18																					5,5	330
12,0	0,20	60	90	150	210	270															5,0	300	
13,3	0,22	54	81	135	189	243	297	351	405	459	513	567	621	675	729	783	837	891	945	1.080		4,5	270
15,0	0,25	48	72	120	168	216	264	312	360	408	456	504	552	600	648	696	744	792	840	960		4,0	240
17,1	0,29	42	63	105	147	189	231	273	315	357	399	441	483	525	567	609	651	693	735	840		3,5	210
20,0	0,33	36	54	90	126	162	198	234	270	306	342	378	414	450	486	522	558	544	630	720		3,0	180
24,0	0,40	30	45	75	105	135	165	195	225	255	285	315	345	375	405	435	465	495	525	600		2,5	150
30,0	0,50	24	36	60	84	108	132	156	180	204	228	252	276	300	324	348	372	396	420	480		2,0	120
35,0	0,58	20	31	51	71	92	112	133	153	173	194	214	235	255	275	296	316	337	357	408		1,7	102
40,0	0,67					81	99	177	135	153	171	189	207	225	243	261	279	297	315	360		1,5	90
45,0	0,75									133	148	164	179	195	211	226	242	257	273	312		1,3	78
50,0	0,83																			312		1,2	72

Estimador de Eficiencia en la Obra	
Tiempo de trab./h	Eficiencia
60 Min	100 %
55	91 %
50	83 %
45	75 %
40	67 %

Tabla 5.21⁴⁶ Rendimiento por hora de una excavadora

De la tabla anterior y con los datos obtenidos líneas arriba se obtiene un rendimiento de 450 m³/H, el cual debe ser afectado por un factor de eficiencia que, para el caso, será de 83% considerando un tiempo de trabajo efectivo de 50min en una hora, así se obtiene un rendimiento estimado de 373.5 m³/H.

Una vez definido el rendimiento estimado de la excavadora y con los datos de horas paradas anteriormente establecidos se podrá cuantificar la producción no realizada. Cabe resaltar que las horas de parada que se utilizan para el cálculo del volumen no incluyen las horas de mantenimiento programadas.

El volumen hallado deberá pasar por los factores de conversión de banco a suelto y de suelto a compactado, en este caso se utilizarán los factores para un material proveniente de canteras de roca, como puede ser el material 3B. se determinan estos factores por tener un volumen considerable dentro del relleno de la presa.

En la **Tabla 5.22**⁴⁶ se detalla el cálculo del volumen no extraído debido a las interferencias en los equipos.

⁴⁶ CATERPILLAR. *Manual de Rendimiento*. Caterpillar Inc. Illinois. 2012. Edición 42. Pág. 4-210

Rendimiento (m³/H)	373.5
Factor banco a suelto	1.505
Factor suelto a compactado	0.796

MES	HORAS	VOLUMEN EN BANCO m³	VOLUMEN SUELTO m³	VOLUMEN COMPACTADO m³
Mayo	108	40,338.0	60,708.7	48,324.1
Junio	372	138,942.0	209,107.7	166,449.7
Julio	432	161,352.0	242,834.8	193,296.5
Agosto	592	221,112.0	332,773.6	264,887.8
Septiembre	121	45,193.5	68,016.2	54,140.9
Octubre	118	44,073.0	66,329.9	52,798.6
TOTAL	1743	651,010.5	979,770.8	779,897.6

Tabla 5.22⁴⁷ Volumen de relleno no producido por interferencias de equipos

Podemos observar que el volumen no producido, de mayo a octubre, es de 779'897 m³, siendo un valor importante equivalente a casi dos meses de producción si lo comparamos con los volúmenes estimados para dichos meses según el planeamiento de febrero de 2013.

5.3.1.4 Rendimiento de Canteras.

Anteriormente, en la **Tabla 5.6** se mostraron los volúmenes de relleno y la contribución de cada lugar de procedencia de material, según el planeamiento de setiembre del 2012, para facilitar el análisis, se mantendrán estos estimados como referencia para la comparación con la producción real.

Ahora, con los reportes de producción se puede obtener la distribución del volumen ejecutado por tipo de cantera y por material de relleno, retratada en la **Tabla 5.23:**

Cantera	Material										Total		
	1A	1B	2A	2B	3A	3B	3C	3D	3E	4		F	T
1	-	-	-	-	-	496.31	1,200.37	-	-	323.18	-	-	2,019.85
2	139.90	-	-	2,923.55	-	213,273.08	84,787.53	97,656.86	1,373.50	2,885.50	2,386.58	416,971.03	822,397.53
19	10,165.78	-	-	22,704.65	-	26,869.78	301,580.92	62,188.30	67,555.33	3,381.81	-	36,839.06	531,285.61
20	-	-	-	459.75	-	15,858.71	32,490.73	113,423.23	5,620.95	2,654.66	-	43,829.64	214,337.68
21	-	-	-	-	-	1,108.03	2,977.84	36,541.97	-	1,962.14	-	6,306.85	48,896.83
22	4,406.72	-	-	-	-	1,038.78	61,438.07	11,230.37	-	242.38	-	290,268.24	368,624.55
Accesos	-	-	-	-	-	14,957.50	33,207.03	59,698.59	5,378.57	1,489.67	-	35,311.10	150,042.46
Acopio	291.45	-	121.54	341.87	-	98,418.63	6,809.78	2,250.69	-	4,062.78	-	-	112,296.74
Río	-	-	-	5,493.44	47.15	431,378.65	57,202.15	136,553.40	2,620.03	2,481.53	-	4,090.61	639,866.98
Planta Ind.	5,024.60	-	5,071.49	29,780.87	-	4,963.06	2,920.13	15,986.54	-	-	11,468.86	-	75,215.55
Propio	-	-	-	176.83	-	2,066.02	23,395.63	4,882.27	7,190.67	877.19	-	860.56	39,449.16
Ventana 1	-	-	-	-	-	412.60	103,314.47	1,165.74	-	277.01	173.13	-	105,767.34
Total	20,028.44	-	5,193.03	61,880.95	459.75	913,743.02	609,175.91	540,412.22	90,016.06	20,533.97	13,855.45	834,901.47	3,110,200.28

Tabla 5.23⁴⁸ Volumen de material extraído por procedencia y por tipo de material

⁴⁷ Elaboración propia

⁴⁸ Elaboración propia

El porcentaje de participación de cada cantera se muestra en el **Gráfico 5.3**:

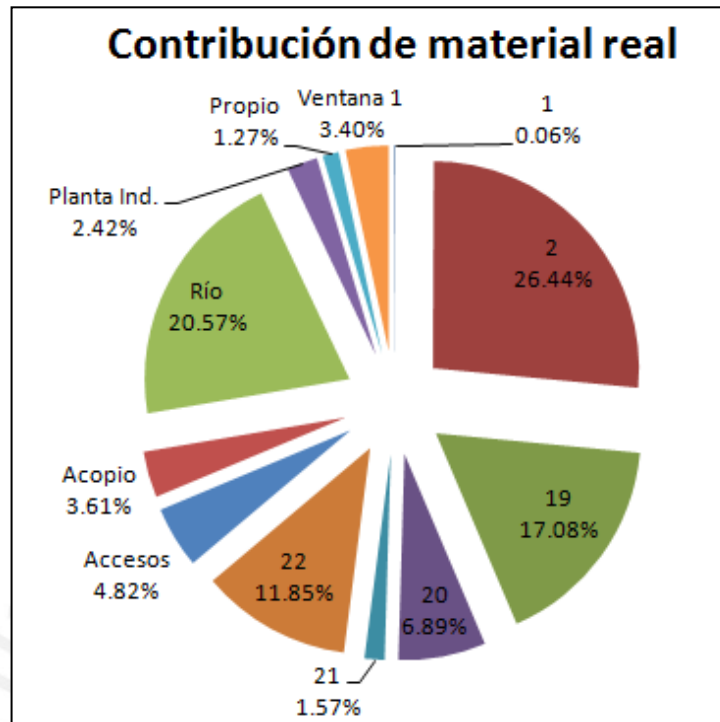


Gráfico 5.3⁴⁹ Contribución de material según el lugar de procedencia

Se observa que los mayores aportes de material son provenientes de la cantera 2, cantera de río y cantera 19, mientras que las excavaciones obligatorias apenas tienen una participación menor a través de la Ventana 1, accesos y material propio. Para entender cuán significativo es el aporte de cada uno es necesario comparar los volúmenes ejecutados con los planificados en setiembre de 2012.

Los volúmenes, tanto planificados como ejecutados son comparados en la **Tabla 5.24**:

⁴⁹ Elaboración propia

Procedencia	Total planificado	Total ejecutado	Diferencia
Cantera 1	-	2,019.85	-2,019.85
Cantera 2	478,659.42	822,397.53	-343,738.11
Cantera 10	29,539.26	-	29,539.26
Cantera 12	58,228.12	-	58,228.12
Cantera 19	1,181,387.58	531,285.61	650,101.97
Cantera 20	630,018.46	214,337.68	415,680.78
Cantera 21	-	48,896.83	-48,896.83
Cantera 22	229,763.41	368,624.55	-138,861.14
Cantera Río	60,298.42	639,866.98	-579,568.55
Planta Industrial	94,079.08	75,215.55	18,863.53
Propio	11,663.38	39,449.16	-27,785.78
Ventana 1	122,635.63	105,767.34	16,868.30
PCH	5,424.55	-	5,424.55
Túnel de Desvío: Shaft	49,090.05	-	49,090.05
Portal de Entrada	709,916.93	-	709,916.93
Vertederos Túneles	65,768.68	-	65,768.68
Portal de Salida	511,944.13	-	511,944.13
Frente 01	25,720.70	-	25,720.70
Acopio	-	112,296.74	-112,296.74
Accesos	-	150,042.46	-150,042.46
Total	4,264,137.82	3,110,200.28	1,153,937.54

Tabla 5.24⁵⁰ Comparativo entre los volúmenes planificados y ejecutados según lugar de procedencia⁵¹

De la tabla anterior se desprende que:

- Los valores en fondo verde representan la sobre-contribución de material por parte de la cantera respecto al volumen planificado. Se observa que, si bien en el planeamiento no se consideró la cantera 1, cantera 21, acopios y accesos, estos contribuyen de cierta manera al relleno.
- Por parte de los accesos, su aporte se da principalmente porque parte de los ellos se comenzaron a ejecutar durante el relleno de la presa, mientras que en el caso de los acopios son, en parte del material obtenido de cantera de río meses antes del comienzo de la presa, el cual fue acopiado en las inmediaciones del complejo de Chulla, tal y como se puede apreciar en el **Plano 02** El material acopiado estaba destinado principalmente a la producción de la planta industrial; sin embargo, al no tener disponibilidad de material 3B, principalmente, se dispuso su uso con ciertas limitaciones. Parte del acopio representa un pequeño volumen de material 4 destinado al enrocado aguas abajo, este material se iba acopiando en las diferentes

⁵⁰ Elaboración propia

⁵¹ Diferencia = Planificado - Ejecutado

- canteras de donde era obtenido pues se tratan de bolones de gran tamaño los cuales no podían ser acopiados dentro de la presa por falta de espacio.
- En cuanto a las canteras, en la 01 quedaba un saldo de material que no se llegó a explotar durante la ejecución de las ataguías; mientras que, en el caso de la cantera 21 al retrasarse la ejecución de los portales de salida del vertedero y la excavación de la PCH se decidió utilizarla.
 - Continuando con los lugares sobre-explotados, las canteras 2 y 22 presentaban mayores condiciones para sus explotaciones debido a contar con un área más grande y a una calidad de roca que no necesitaba el proceso de voladura pues con el uso de excavadoras y tractores D8T se fragmentaban fácilmente. En el caso de la cantera 2, parte del material se zarandeaba por gravedad, dejándolo caer hacia la quebrada Lluto, de donde se recuperaba el material más grueso.
 - En el caso del material propio, la sobre-excavación se da debido al tipo de material de los hastiales de la presa, siendo necesario limpiar todo material orgánico y fino hasta llegar a roca sólida, se tuvo entonces una mayor cantidad de material que remover.
 - La explotación de las canteras de río se extendió en varios lugares aguas abajo, teniendo hasta 3 puntos de carguío y aprovechando la temporada de estiaje que trajo consigo abundante cantidad de material, parte del cual fue explotado en las canteras aguas arriba de la presa y que, una vez en el flujo, formaron playas a la altura del puente presa y cerca de la quebrada Lluto.
 - Por el lado de los déficits de explotación, destacan las excavaciones obligatorias, todas retrasadas debido a los accesos. Tan solo en la excavación de los portales de entrada y salida de los vertederos se dejó de colocar $1'221,861\text{m}^3$, volumen con el cual se hubiera alcanzado la meta de relleno.
 - Respecto a la cantera 19, surgieron problemas geológicos durante su expansión por lo que fue necesario realizar accesos adicionales a zonas más altas para recomenzar el banquetado de la cantera. Caso similar el de la cantera 20, con la diferencia de que para esta cantera el acceso, ACP 18, se retraso en su ejecución.

Además, es importante comparar los volúmenes totales por material colocados en el relleno con los previstos en el planeamiento, esta comparación se muestra en la **Tabla 5.25**:

Material	Planificado m ³	Ejecutado m ³	Diferencia m ³
Mat 1A	-	20,028	-20,028.44
Mat 1B	-	-	-
Mat 2A	-	5,193	-5,193.03
Mat 2B	119,169	61,881	57,288.10
Mat 3A	39,862	460	39,401.88
Mat 3B	1,252,004	913,743	338,260.81
Mat 3C	843,440	609,176	234,264.06
Mat 3D	869,887	540,412	329,475.16
Mat 3E	59,924	90,016	-30,092.21
Mat 4	47,196	20,534	26,662.34
Mat F	22,816	13,855	8,960.32
Mat T	1,009,840	834,901	174,938.54
Total	4,264,138	3,110,200	1,153,938

Tabla 5.25⁵² Comparativo entre volúmenes de materiales planificados y ejecutados

De la tabla anterior se tiene:

- Se resalta 1'153,938 metros cúbicos que no se ejecutaron en el plazo fijado.
- Los volúmenes registrados para los materiales 1A y 2A se explican en el uso que se les da en el área de instrumentación. Estos materiales rodean a los instrumentos colocados, como piezómetros o celdas de asentamientos, pues debido a su sensibilidad pueden verse dañados por el material grueso que componen la presa. Además, el material 1A se utilizó como interfaz entre el muro del plinto y el relleno de presa en una franja de 1m de ancho, como se ve en la **Figura 5.3**, mientras que el material 2A también es utilizado para subsanar las oquedades presentes en los hastiales de la presa.

⁵² Elaboración propia



Figura 5.3⁵³ Ubicación del material 1A en la interfaz del muro del plinto con el relleno de presa

- Según el **Plano 03**, el material 3E sirve, primeramente, como mejoramiento del lecho antes de comenzar con el relleno del material 3C, luego trabaja como un interfaz hacia el material T. El importante incremento en este material se explica porque se produjo una sobre-excavación en el lecho del río, además, aguas arriba, en la ubicación del muro del plinto, era necesario subir de nivel antes de empezar a colocar el material 3B, por lo que también se utilizó material 3E.
- Los déficits de materiales se deben al retraso de las excavaciones obligatorias y las incidencias en las canteras. Además, había escasez de material 3B y 3D, el primero se solucionaba parcialmente con el uso del acopio de Chulla mientras que el segundo dependía de la calidad de roca que se encontraba en las canteras. En ocasiones, incluso, fue necesario mezclar materiales finos con materiales gruesos para llegar a la granulometría que requiere el material. Por otro lado, existía exceso de material T pero que no se colocaba pues la diferencia de cotas en las zonas de la presa iba incrementándose de tal forma que podría dificultar el acceso de volquetes, además de afectar la estabilidad de los rellenos.

En el **Anexo 15** se detallan las comparaciones de cada cantera con los volúmenes producidos mensualmente. La comparación se realiza frente al planeamiento de setiembre de 2013 del cual se cuenta con el balance de materiales y de procedencia.

Por otro lado, el aporte de las canteras según su ubicación es el siguiente:

⁵³ Fuente propia

Mes	Días trabajados	19	20	Total	Rendimiento
sep-12	0	-	-	-	-
oct-12	23	51,004.10	-	51,004.10	2,217.57
nov-12	16	19,494.44	-	19,494.44	1,218.40
dic-12	9	-	-	-	-
ene-13	14	60,953.30	-	60,953.30	4,353.81
feb-13	24	47,011.10	1,431.21	48,442.31	2,018.43
mar-13	23	17,884.72	1,569.71	19,454.43	845.84
abr-13	26	68,628.21	611.73	69,239.94	2,663.07
may-13	28	84,794.97	196.21	84,991.18	3,035.40
jun-13	27	76,664.40	27,350.16	104,014.56	3,852.39
jul-13	28	63,613.83	57,136.25	120,750.08	4,312.50
ago-13	30	3,090.34	56,820.34	59,910.68	1,997.02
sep-13	29	3,127.88	69,222.07	72,349.95	2,494.83
oct-13	30	35,018.31	-	35,018.31	1,167.28
	307			745,623.29	2,428.74

Tabla 5.26⁵⁴ Rendimiento y aporte de las canteras aguas arriba, en m³ y m³/día

Mes	Días trabajados	2	21	22	Total	Rendimiento
sep-12	0	-	-	-	-	-
oct-12	23	-	-	-	-	-
nov-12	16	-	-	-	-	-
dic-12	9	-	-	-	-	-
ene-13	14	-	-	-	-	-
feb-13	24	34,487.50	-	-	34,487.50	1,436.98
mar-13	23	35,619.24	-	21,779.75	57,398.99	2,495.61
abr-13	26	63,753.86	242.38	33,841.93	97,838.17	3,763.01
may-13	28	48,617.21	3,925.51	160,738.98	213,281.70	7,617.20
jun-13	27	91,275.40	1,696.67	152,263.89	245,235.96	9,082.81
jul-13	28	210,082.28	2,044.50	-	212,126.78	7,575.96
ago-13	30	174,966.32	5,233.21	-	180,199.53	6,006.65
sep-13	29	124,694.43	10,938.00	-	135,632.43	4,676.98
oct-13	30	38,901.30	24,816.55	-	63,717.84	2,123.93
	307				1,239,918.91	4,038.82

Tabla 5.27⁵⁵ Rendimiento y aporte de las canteras aguas abajo, en m³ y m³/día

Se observa que el rendimiento de las canteras aguas arriba empieza a decaer considerablemente a partir de agosto del 2013, fecha en la cual se retoma con mayor fuerza el ACP 18, tiempo en el cual, estas canteras eran explotadas únicamente en el turno noche.

Por otro lado se observa que las canteras aguas abajo comenzaron a producir material a partir de febrero del 2013, teniendo rendimientos muy bajos debido a que el ACP 29, con sus medios puentes, aún no se encontraban concluidos, una vez que el accesos permitió un paso continuo de volquetes de ida y vuelta se alcanzaron rendimientos hasta seis veces mayores que el inicial.

⁵⁴ Elaboración propia

⁵⁵ Elaboración propia

Comparando los volúmenes aportados por las canteras, se tiene que aquellas ubicadas aguas arriba aportaron 40% más de material con un rendimiento acumulado de casi el doble que aquellas ubicadas aguas arriba.

5.3.2 Rendimientos reales:

El volumen de relleno colocado a la fecha del planeamiento inicial es de 3'110,200 m³, los cuales han sido colocados como se muestra en la **Tabla 5.28** y **Gráfico 5.4**:

Mes	Mensual			Acumulado		
	Día	Noche	Total	Día	Noche	Total
oct-12	44,045	41,187	85,231	44,045	41,187	85,231
nov-12	12,246	11,565	23,811	56,291	52,752	109,043
dic-12	10,076	8,807	18,883	66,367	61,559	127,925
ene-13	26,039	38,493	64,531	92,405	100,051	192,457
feb-13	47,536	48,670	96,206	139,941	148,721	288,662
mar-13	31,828	66,037	97,865	171,769	214,759	386,527
abr-13	126,486	150,825	277,311	298,255	365,583	663,838
may-13	210,594	212,517	423,111	508,849	578,100	1,086,949
jun-13	207,219	252,943	460,161	716,068	831,043	1,547,111
jul-13	223,244	248,318	471,562	939,312	1,079,361	2,018,673
ago-13	165,029	196,874	361,903	1,104,342	1,276,235	2,380,576
sep-13	183,488	221,684	405,172	1,287,829	1,497,919	2,785,748
oct-13	155,193	169,260	324,452	1,443,022	1,667,178	3,110,200

Tabla 5.28⁵⁶ Volumen de material ejecutado, en m³, incluyendo la contribución de cada turno de trabajo

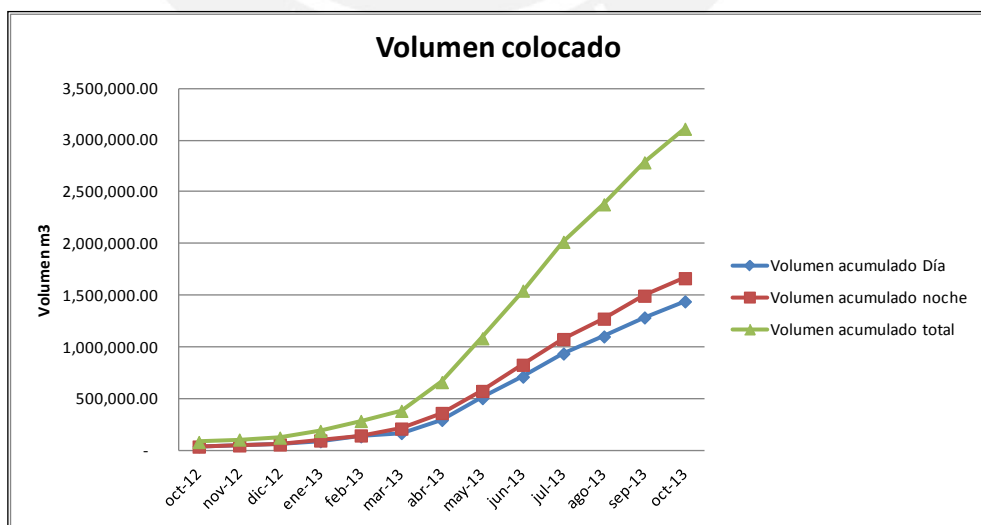


Gráfico 5.4⁵⁷ Curva de volumen colocado total y por turnos

⁵⁶ Elaboración propia

Se observa que la diferencia acumulada entre los turnos de trabajo es de 224,156m³, la cual se debe principalmente a que durante la noche hay menos servicios ejecutándose de forma paralela al relleno de presa, por lo que el paso de volquetes se vuelve más fluido, haciendo un ciclo más eficiente. Sin embargo, la disponibilidad de material afecta a ambos rendimientos pudiéndose tener una mayor cantidad de volumen colocado.



⁵⁷ Elaboración propia

CAPÍTULO 6 Análisis y proyección de rendimientos

6.1 Comparativo de rendimientos bajo diferentes escenarios:

A continuación se realizará un repaso global de lo acontecido hasta octubre de 2013, entender este escenario ayudará al posterior análisis de materiales y servirá para confeccionar un nuevo balance con el fin de cumplir las metas propuestas.

El planeamiento inicial de setiembre se modificó según las condiciones en las que se encontraba la ejecución del relleno de presa para el mes de febrero del 2013.

Quedaba claro que, como se vio anteriormente, las canteras no rendían el material planificado (existía escasez de materiales) y el desarrollo del ACP-18 significó limitar los trabajos durante el día al relleno aguas abajo de la presa con material proveniente de las canteras aguas abajo. Además, la ampliación de las canteras fue un tema delicado pues las negociaciones para la expropiación de terrenos son más complicadas, en temas económicos, cuando la obra ya está en marcha, así hubieron retrasos en la liberación de terrenos, sobretodo en Cantera 19.

Dado este escenario, a partir del mes de julio se empezó a modificar las metas mensuales de relleno haciéndolas más accesibles de lograr según los rendimientos que se habían registrado en los meses anteriores. Las metas mensuales se irían aumentando conforme se vayan estableciendo condiciones que lleven hacia una explotación más óptima de las canteras y exista un mejor flujo de volquetes, es decir, mejores accesos y mayor cantidad de material.

Se llegó a un pico de $500,000\text{m}^3$ de material requerido mensual luego del cual se tuvo que disminuir debido a que se retomó la prioridad de los accesos, tanto ACP-18 como hacia los vertederos y la posterior ejecución del portal de entrada y salida de los mismos. El ACP-18 cobró tanta importancia que llegó incluso a paralizar las labores aguas arriba del eje de la presa en ambos turnos de trabajo, perdiendo así la posibilidad de explotar las canteras aguas arriba. Si bien el material obtenido de los accesos era utilizado, mayor es el retraso que ocasionaba ya que el material caía sobre el acceso de la ataguía aguas arriba y obligaba a hacer limpieza para permitir el paso de maquinaria y moviéndose hacia las zonas superiores.

A continuación se mostrará un cuadro comparativo entre el volumen mensual del planeamiento inicial de setiembre, el planeamiento de febrero, el mensual modificado de julio y el volumen ejecutado real.

Mes	PLANEAMIENTO MENSUAL SETIEMBRE				PLANEAMIENTO MENSUAL FEBRERO			
	Volumen requerido	Volumen acumulado	Días según planeamiento	Rendimiento teórico	Volumen requerido	Volumen acumulado	Días según planeamiento	Rendimiento teórico
sep-12	1,735.00	1,735.00	24	72.29	16,448.00	16,448.00	24	685.33
oct-12	4,686.00	6,421.00	19	246.63	90,835.00	107,283.00	19	4,780.79
nov-12	45,124.00	51,545.00	18	2,506.89	18,171.00	125,454.00	18	1,009.50
dic-12	86,419.00	137,964.00	17	5,083.47	12,439.00	137,893.00	17	731.71
ene-13	207,740.00	345,704.00	16	12,983.75	65,281.00	203,174.00	16	4,080.06
feb-13	216,151.00	561,855.00	15	14,410.07	359,668.00	562,842.00	15	23,977.87
mar-13	425,622.00	987,477.00	16	26,601.38	443,675.00	1,006,517.00	16	27,729.69
abr-13	469,256.00	1,456,733.00	18	26,069.78	510,605.00	1,517,122.00	18	28,366.94
may-13	475,434.00	1,932,167.00	25	19,017.36	523,318.00	2,040,440.00	25	20,932.72
jun-13	489,064.00	2,421,231.00	24	20,377.67	540,742.00	2,581,182.00	24	22,530.92
jul-13	492,022.00	2,913,253.00	23	21,392.26	497,531.00	3,078,713.00	23	21,631.78
ago-13	487,308.00	3,400,561.00	25	19,492.32	487,318.00	3,566,031.00	25	19,492.72
sep-13	460,188.00	3,860,749.00	24	19,174.50	460,186.00	4,026,217.00	24	19,174.42
oct-13	402,289.00	4,263,038.00	19	21,173.11	403,381.00	4,429,598.00	19	21,230.58
Mes	PLANEAMIENTO MENSUAL JULIO				VOLUMEN EJECUTADO REAL			
	Volumen requerido	Volumen acumulado	Días planificados	Rendimiento teórico	Volumen colocado	Volumen acumulado real	Días reales trabajados	Rendimiento real
sep-12	16,448.00	16,448.00	24	685.33			0	
oct-12	90,835.00	107,283.00	19	4,780.79	85,231.39	85,231.39	23	3,705.71
nov-12	18,171.00	125,454.00	18	1,009.50	23,811.15	109,042.54	16	1,488.20
dic-12	12,439.00	137,893.00	17	731.71	18,882.71	127,925.25	9	2,098.08
ene-13	65,281.00	203,174.00	16	4,080.06	64,531.32	192,456.57	14	4,609.38
feb-13	359,668.00	562,842.00	15	23,977.87	96,205.57	288,662.14	24	4,008.57
mar-13	443,675.00	1,006,517.00	16	27,729.69	97,865.33	386,527.47	23	4,255.01
abr-13	510,605.00	1,517,122.00	18	28,366.94	277,310.83	663,838.30	26	10,665.80
may-13	523,318.00	2,040,440.00	25	20,932.72	423,111.04	1,086,949.35	28	15,111.11
jun-13	540,742.00	2,581,182.00	24	22,530.92	460,161.44	1,547,110.79	27	17,043.02
jul-13	500,000.00	3,081,182.00	23	21,739.13	471,562.26	2,018,673.05	28	16,841.51
ago-13	350,000.00	3,431,182.00	25	14,000.00	361,903.14	2,380,576.19	30	12,063.44
sep-13	400,000.00	3,831,182.00	24	16,666.67	405,171.73	2,785,747.92	29	13,971.44
oct-13	400,000.00	4,231,182.00	19	21,052.63	324,452.36	3,110,200.28	30	10,815.08

Tabla 6.1⁵⁸ Comparativo de volúmenes planificados y ejecutados

En el **Anexo 16** se aprecia la gráfica de volúmenes acumulados planificados y reales donde se visualiza de mejor forma la diferencia de los volúmenes finales.

Los análisis anteriores y los rendimientos obtenidos servirán para realizar un nuevo balance de materiales y planeamiento de requerimiento de material hasta la fecha final del plazo de ejecución.

Según el lugar de procedencia de material se podrá entender dónde ocurre el déficit de material:

⁵⁸ Elaboración propia

Planificado	Total	Porcentaje
Canteras Aguas Arriba	1,899,173	44.54%
Canteras Aguas Abajo	708,423	16.61%
Planta Industrial	94,079	2.21%
Cantera Río	60,298	1.41%
Excavaciones Obligatorias	1,502,164	35.23%
Acopio	-	0.00%
Total	4,264,138	100.00%

Ejecutado	Total	Porcentaje
Canteras Aguas Arriba	745,623	23.97%
Canteras Aguas Abajo	1,241,939	39.93%
Planta Industrial	75,216	2.42%
Cantera Río	639,867	20.57%
Excavaciones Obligatorias	295,259	9.49%
Acopio	112,297	3.61%
Total	3,110,200	100.00%

Tabla 6.2⁵⁹ Volumen de material, en m³, según lugar de procedencia y porcentaje de participación

Del cuadro anterior, lo más resaltante es la escasa contribución de las excavaciones obligatorias al material de relleno, siendo solo el 20% de volumen planificado el que se logró explotar.

6.2 Balance proyectado:

6.2.1 Volumen total de la presa:

Se utilizará como volumen total el propuesto en la modificación de las etapas de la presa, según el **Plano 05**. El nuevo volumen será de 8'456,201m³.

6.2.2 Días trabajables:

Se considerarán los siguientes días trabajables a partir de noviembre del 2013, obtenidos de los estudios hidrológicos de la zona.

⁵⁹ Elaboración propia, utilizando como volúmenes planificados aquellos considerados por el planeamiento de setiembre 2012.

Mes	Días trabajables
nov-13	18
dic-13	17
ene-14	15
feb-14	15
mar-14	16
abr-14	18
may-14	25
jun-14	24
jul-14	23
ago-14	25
sep-14	24
oct-14	19
nov-14	18
dic-14	17
ene-15	16
feb-15	19

Tabla 6.3⁶⁰ Días trabajables a febrero del 2015

6.2.3 Fecha final de ejecución y rendimientos mínimos:

Se tomará como fecha final el propuesto por el planeamiento de julio del 2013, el cual consigna como límite el 03 de marzo del 2015. Para el balance, se tomará febrero del 2015 como último mes trabajable.

En la **Tabla 6.4** se muestra el rendimiento mínimo diario hacia la fecha final.

Metrado Global m ³	8,456,201
Días totales planificados	604
Rendimiento ideal m ³ /día	14,000
Metrado Actual Realizado m ³	3,110,200
Días trabajados reales	310
Rendimiento real m ³ /día	10,033
Saldo de relleno m ³	5,346,001
Fecha final	03/03/2015
Días trabajables	258
Rendimiento mínimo m ³ /día	20,721

Tabla 6.4⁶¹ Rendimiento mínimo esperado para completar el servicio

Se precisa que:

- Los días totales planificados son los días trabajables acumulados por cada mes de relleno, descontando los meses de noviembre y diciembre del 2015,

⁶⁰ Elaboración propia, basado en Balance de materiales de la Central Hidroeléctrica de Chaglla. Huánuco. 2012

⁶¹ Elaboración propia

luego de completar la etapa 4, pues se llevan a cabo labores de concreto y no de relleno de presa.

- El rendimiento ideal representa un valor promedio con el cual se debió haber ejecutado el relleno de presa para cumplir las metas establecidas.
- Los días trabajables reales se obtienen del recuento de reportes de producción. Se incluyen todos los días trabajados, como domingos e incluso feriados donde hubo labores.
- El rendimiento real se puede tomar como un resumen de todos los rendimientos ejecutados mostrados en tablas anteriores, muy por debajo del rendimiento ideal.
- Los días trabajables representan el total de días disponibles desde noviembre del 2013 hasta la fecha final de ejecución, descontando los meses de diciembre y enero, luego de concluir la etapa 4, por lo que se explicó anteriormente, además de descontar el mes de febrero, pues el saldo a rellenar en dicho mes es muy bajo.
- El rendimiento mínimo se expresa como aquel rendimiento diario necesario para completar el relleno en las fechas establecidas. Este rendimiento sí puede ser alcanzado según mejoren las condiciones de las canteras y se desarrollen las excavaciones obligatorias.

6.2.4 Saldo de canteras y fechas de ejecución de las excavaciones obligatorias:

Necesariamente se tiene que contar con el volumen disponible de las canteras para poder realizar el balance de materiales. También es importante contar con las fechas de las excavaciones obligatorias pues, como se ha visto anteriormente, son volúmenes importantes en el relleno.

Los saldos de las canteras se muestran en la **Tabla 6.5**, mientras que las fechas de las excavaciones obligatorias se encuentran en la **Tabla 6.6**.

	Estimados a octubre	Ejecutado a octubre	Saldo de canteras
CANTERA 01	22,711	2,020	-
CANTERA 02	1,214,718	822,398	392,320
CANTERA 19	1,656,119	531,286	1,124,833
CANTERA 20	1,604,119	214,338	1,389,781
CANTERA 21	360,000	48,897	311,103
CANTERA 22	804,240	368,625	435,615

Tabla 6.5⁶² Saldo de canteras, volúmenes en banco en metros cúbicos

⁶² Elaboración propia

	Inicio	Fin
Túnel de desvío: Shaft	jun-14	oct-14
Vertedero: Portal Entrada	ene-14	sep-14
Vertedero: Túneles	sep-14	dic-15
Vertedero: Portal salida	ene-14	ene-15
T Aducción: Frente 01	jul-14	sep-15
T Aducción: Frente 02	sep-12	ago-14
T Aducción: Frente 03	sep-12	ago-14
PCH	dic-13	ene-14

Tabla 6.6⁶³ Fechas de comienzo y final de las excavaciones obligatorias

Para las canteras, se eliminó la cantera 01, explotada en su mayoría durante la ejecución de las ataguías. En el caso de las excavaciones obligatorias, parte de la ejecución del túnel de aducción no contribuirá al relleno por tener un comienzo retrasado, lo mismo sucede en el caso de los túneles de vertederos. En la **Tabla 6.6** se puede observar las consecuencias de los retrasos en los accesos que llevaban al punto de inicio de cada una de las excavaciones.

Caso aparte son los estimados para la cantera de río. Al lograr explotar nuevas zonas en el cauce del río, se decidió estimar el volumen que se podría obtener durante el año 2014, así, se identificaron tres canteras importantes, aguas arriba y debajo de la presa y aguas debajo de la cantera Lluto, los resultados de los volúmenes estimados, en el período de abril a mayo del 2014, se dan en la **Tabla 6.7**:

Ubicación	Largo m	Ancho	Profundidad	Volumen en banco (m ³)
Aguas Arriba Presa	1200	20	4	96,000
Aguas abajo Presa	1200	30	4	144,000
Aguas Abajo Lluto	4200	24	3	302,400
			Total	542,400

Tabla 6.7⁶⁴ Volumen estimado de explotación de cantera de río

El volumen obtenido puede ser explotado a partir de marzo, si se dan las condiciones de seguridad. Utilizando rendimientos históricos de la empresa en excavación en cauces de río se obtiene el porcentaje de volumen extraíble, lográndose confeccionar la **Tabla 6.8**:

⁶³ Elaboración propia

⁶⁴ Elaboración propia

Rendimiento	17%	30%	34%	17%	2%
Mes	mar-14	abr-14	may-14	jun-14	jul-14
Abril-Mayo 2014	92,208	162,720	184,416	92,208	10,848

Tabla 6.8⁶⁵ Volúmenes mensuales aprovechables de cantera de río, en metros cúbicos

La explotación de estas canteras será íntegramente para el relleno de presa y proveerán de material 3B, pudiéndose acopiar los volúmenes no aprovechados mensualmente si fuese posible.

6.2.5 Balance de materiales hasta febrero del 2015:

El detallado del balance de materiales se presenta en el **Anexo 17**. A continuación se muestran los volúmenes mensuales y rendimientos esperados hasta el final del relleno. Además, se consigna la producción de cada cantera y excavaciones obligatorias.

Mes	PLANEAMIENTO HASTA FEBERO 2015			
	Volumen requerido	Volumen acumulado	Días planificados	Rendimiento teórico
nov-13	346,528	346,528	18	19,251.55
dic-13	333,182	679,710	17	19,598.92
ene-14	328,729	1,008,438	15	21,915.26
feb-14	322,502	1,330,940	15	21,500.13
mar-14	332,277	1,663,217	16	20,767.29
abr-14	402,112	2,065,329	18	22,339.56
may-14	525,367	2,590,696	25	21,014.69
jun-14	524,928	3,115,624	24	21,872.00
jul-14	485,330	3,600,954	23	21,101.31
ago-14	501,759	4,102,714	25	20,070.38
sep-14	480,665	4,583,379	24	20,027.72
oct-14	392,806	4,976,185	19	20,674.01
nov-14	351,195	5,327,380	18	19,510.85
dic-14	-	5,327,380	17	0.00
ene-15	-	5,327,380	16	0.00
feb-15	12,221	5,339,601	19	643.20

Tabla 6.9⁶⁶ Planeamiento propuesto hasta febrero de 2015⁶⁷

En el planeamiento propuesto se ha buscado un rendimiento máximo de 22,000 m³/día, teniendo en cuenta que el mayor rendimiento alcanzando en los meses anteriores fue de 17,000 m³/día y considerando que líneas arriba se calculó

⁶⁵ Elaboración propia

⁶⁶ Elaboración propia

⁶⁷ Para los meses anteriores se ajustó el volumen total ejecutado al volumen mensual, obteniendo así que el volumen total acumulado para los meses de noviembre 2013 a febrero 2015 es, a la práctica, igual al volumen real por ejecutar

un rendimiento mínimo de 20,000 m³/día, el valor propuesto supone una mejora aproximada del 30% de producción, equivalente a realizar alrededor de 430 viajes⁶⁸ de relleno adicionales por día, cifra alcanzable una vez se obtenga material de las excavaciones obligatorias.

Lugar de Procedencia	Total m ³	Porcentaje
Cantera 2	333,504	6.25%
Cantera 19	1,007,182	18.86%
Cantera 20	1,209,033	22.64%
Cantera 22	459,599	8.61%
Cantera Río	431,750	8.09%
Planta Industrial	142,764	2.67%
Frente 01	38,716	0.73%
Frente 02	43,763	0.82%
Frente 03	49,874	0.93%
PCH	5,425	0.10%
Túnel de Desvío: Shaft	49,090	0.92%
Portal de Entrada	952,212	17.83%
Vertederos Túneles	31,180	0.58%
Portal de Salida	585,508	10.97%
Total	5,339,600.00	100.00%

Tabla 6.10⁶⁹ Participación de las canteras y excavaciones obligatorias en el relleno de presa

Se observa la importancia de ejecutar los portales de vertederos, los cuales representan aproximadamente el 28% del total a ejecutar. Se destacan, además, las canteras 20 y 19, con más del 40% de participación en el relleno, aún con la consideración de encontrarse aguas arriba de la presa, considerando que es una restricción en los ciclos de viaje, este volumen importante de participación se debe a que no fueron del todo aprovechadas anteriormente, por lo que cuentan con un volumen de material importante para aportar.

Sin embargo; se sabe que la cantera 2 posee un potencial mayor debido a las facilidades que ofrece al contar con un área grande de maniobrabilidad y explotación, además de no presentar interferencias respecto al transporte por

⁶⁸ Considerando que cada volquete trasporta 11.6 metros cúbicos de material, volumen geométrico, dividiendo el rendimiento por el volumen: 22,000 m³/día = 1897 viajes de volquetes; 17,000 m³/día = 1466 viajes de volquetes

⁶⁹ Elaboración propia

encontrase aguas abajo de la presa y de contribuir con otra clase de materiales, además del material T. La cantera 2 podría significar un respaldo para el relleno de la presa ya que, como se ven en el balance, las canteras son, prácticamente, utilizadas en su totalidad, dejando muy poco saldo para respaldar circunstancias no contempladas.



CAPÍTULO 7 Conclusiones y Recomendaciones

Del trabajo realizado, se concluye:

- El buscar adelantar la fecha de culminación del proyecto adelantando los trabajos del desvío del río afectó en gran medida al planeamiento específico de los servicios de la presa, esto debido a que no se prestó la atención debida a trabajos menores pero muy importantes, como son los accesos. Estos determinan el inicio de las excavaciones obligatorias y una mejor explotación de las canteras. Cuando se dispuso el comienzo de relleno, los accesos simplemente no estaban listos. Así que, su ejecución, al mismo tiempo que el del relleno de presa, iba a incurrir en interferencias, pues la ubicación de los mismos influye directamente al paso de los volquetes y, al no poder comenzar las excavaciones obligatorias, se perdió gran cantidad de material que no pudo ser explotado.
- La falta de estudios más completos de las canteras y materiales disponibles, en la fase de inicial del proyecto, llevó a un cálculo errado de los volúmenes aprovechables para el relleno de presa. Se tuvo, a lo largo de los meses de estudio, escasez de material por falta de área de explotación en las canteras. Esto, sumando a la clausura de la cantera 18 por temas de seguridad y sin la posibilidad de contar con el material proveniente de las excavaciones obligatorias, hicieron imposible llegar a cumplir las metas propuestas mensualmente. Además, a raíz de la falta de estudios, se observó que las canteras podían proveer de materiales que no estaban previstos en el planeamiento inicial, como se puede apreciar, por ejemplo, en la **Tabla 5.8**, causando sobrexplotaciones de las canteras que podrían haber comprometido su rendimiento futuro.
- Como se vio en las **Tablas 5.26** y **5.27**, la ubicación de las canteras no ayudó a tener un mayor rendimiento de relleno, pues canteras como a 19 y 20, aguas arriba de la presa, que en algún momento eran las que más aportaban al relleno, no podían proveer del material diario posible pues la ataguía aguas arriba se encontraba cerrada por los trabajos en los accesos 18's y esa es la única vía de acceso a la presa desde esa zona.

- La falta de personal para el manejo de maquinaria y la disponibilidad de la misma afectó también el relleno de presa, pues, sumado a la escasez de material, el poco volumen que se podía obtener no era totalmente aprovechado por no contar con excavadoras suficientes para cargar material, como se observa en la **Tabla 5.22** donde se estima un volumen no explotado de 779 897 m³.
- Durante el turno noche se logró ejecutar un mayor volumen de relleno debido a que ocurren menos interferencias pues los servicios que se ejecutan son más restringidos. Además, como estrategia, durante el día se preparaba material para el turno noche debido a no poder contar con toda el área de la presa para ejecutar el relleno.
- La falta de planos para la ejecución del muro del plinto imposibilitó rellenar de forma pareja toda el área de la presa, quedando la zona aguas arriba a un nivel más bajo la zona aguas abajo, pues hasta que no se terminaron los trabajos de concreto no se podía realizar el relleno como estaba previsto.
- Las épocas de altas precipitaciones afecta los trabajos de extracción de material pues hace más riesgosa la maniobrabilidad de la maquinaria. Sin embargo, al no tener un rendimiento diario constante por falta de material, no se pudo llegar a una conclusión sobre cuánto varía la producción en épocas de avenidas y de bajas precipitaciones. Coincidió que, durante la época de bajas precipitaciones los accesos estaban en mejor estado y más completos y las canteras habían sido ampliadas.
- La seguridad es un factor fundamental en todo tipo de obra de ingeniería, en este caso en la excavación a tajo abierto, de tal forma que se llegó a cancelar las labores en la Cantera 18 debido a accidentes que acontecieron durante su explotación. Nada justifica arriesgar la vida del personal en trabajos riesgosos y situaciones inestables.
- La expropiación de las áreas de las canteras debe ser previsto con anterioridad ya que la renegociación de los terrenos con la obra ya iniciada incurre en retrasos y en un mayor costo de terreno para la empresa.
- Se concluye que, para un mejor desarrollo de los servicios es necesario tener bien definidos los volúmenes aprovechables, los materiales que se

pueden obtener de cada lugar de procedencia, tener accesos listos y amplios para un paso fluido de los volquetes, una mejor ubicación de las canteras y personal y maquinaria suficiente para tener siempre movimiento de volquetes y de equipos.

Recomendamos:

- De acuerdo al monto a invertir en una obra como esta, se debe de considerar un porcentaje representativo para la realización de los estudios previos, de tal manera que el margen de error al corroborarse la información *in-situ* sea mínima. Sabemos que siempre existirán algunas variaciones de la ingeniería básica desarrollada en un anteproyecto respecto a la realidad encontrada en campo, las cuales no ocasionarían un desfase en lo planeado y lo ejecutado si se cuenta con un panorama más amplio de la realidad de la zona, consiguiendo así los objetivos trazados desde un inicio de programación de las obras.
- La elección de las canteras, básicamente por estrategia de transporte de material, en medida que se pueda deberían estar ubicadas aguas abajo de la presa, para evitar el paso de equipamientos por la ataguía, ocasionando así un difícil traslado y tomando mayores tiempos en el ciclo de transporte.
- Factor importante es la comunicación con las áreas de apoyo, en este caso con el área de calidad, el trabajo conjunto que se realiza es imprescindible debido a que el área de control de calidad verifica las condiciones y características del material colocado, de tal manera que si, por algún motivo, no es conforme el material lanzado, se tendría que retirar, teniendo así un retrabajo lo cual implica un mayor costo y pérdida de tiempo.
- Es importante dar a conocer las especificaciones técnicas de los materiales a los mismos trabajadores de campo, es decir, informarles y darles charlas sobre sus propias actividades a realizar, la falta de información puede provocar tomar malas decisiones por parte de los trabajadores, los cuales por temas de rutina tienden a tener ideas preconcebidas del trabajo a realizar, sabiendo que en este caso del relleno cada tipo de material es distinto y su tratamiento y proceso constructivo es diferente, es delicado e

imprescindible el conocimiento de estos procesos, de esta forma disminuiríamos el margen de error en el relleno de la presa.

- La reprogramación y ajuste de valores para obtener nuevas metas y sean alcanzables por producción motivan al personal a cumplirlas y así mejorar la productividad ya que el cumplimiento de estas metas son bonificadas y sabemos que en construcción civil es común el uso de esta estrategia para obtener mejores resultados en campo.
- En la curva de obtención de equipamiento, el tema contractual juega un papel importante. En un inicio, las actividades comienzan básicamente con la cantidad de equipos mínimos para la ejecución inicial de los trabajos, a medida que se mantenga el ritmo de trabajo y aumenten las metas de producción, que es lo normal de acuerdo a lo que se avanza en la explotación del material, la cantidad de equipos va aumentando, de tal forma que llegue a un tope de cantidad que lo mantiene hasta donde el rendimiento demandado lo requiera, poco a poco se van desmovilizando los equipos a medida que se está por terminar los trabajos, sabemos que de un mes a otro no se puede dejar de tener una cantidad de equipos considerables, de tal forma se elige esta estrategia con una curva de obtención y desmovilización de equipos.
- Es preferible tener los accesos como prioridad en un comienzo de la obra, pues de ellos depende una mejor movilización de los equipos y el llegar a alcanzar los puntos iniciales para los trabajos de excavación y explotación.
- Es necesario tener un esquema de explotación de canteras y planos de banqueteo definidos antes de comenzar la extracción de material. Esto no se hizo en la cantera 19 y tuvo que ser paralizada un tiempo por temas de seguridad que derivaron de una mala secuencia de explotación.
- Para tener un respaldo al balance propuesto, sería conveniente analizar la seguridad de la cantera 18 pues es un material aceptable y de volumen considerable que ayudaría en caso hayan más retrasos en las excavaciones obligatorias.
- Para futuras obras con condiciones similares, sería apropiado extender el análisis de rendimientos a la época de precipitaciones y estiaje del año

2013-2014 pues se contará con una producción más constante diariamente que será posible estudiar y analizar.



BIBLIOGRAFÍA

- AYALA, F. J. AMDREU, F. J. *Manual de Ingeniería de Talúdes*. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid. 2006
- BARRAGAN, Jorge. *Explotación a Cielo Abierto de Materiales de Construcción*. Ecuador. 2007
- CATERPILLAR. *Manual de Rendimiento*. Caterpillar Inc. Illinois. 2012. Edición 42
- C.H. CHAGLLA. *Balance de materiales*. Huánuco. 2012
- CHERNÉ, Juan y Andrés GONZÁLEZ. *Movimiento de Tierras*.
- GAIOTO, Nelio. *Introdução ao projeto de barragens de terra e enrocamento*. EESC-USP. São Carlos. 2003
- GONZÁLES DE VALLEJO, Luis. Mercedes FERRER y Luis ORTUÑO. OTEO, Carlos. *Ingeniería Geológica*. PEARSON EDUCATION. Madrid. 2002
- MARTINS, Rodolfo. *Apuntes de clases: Tipos de barragens*. USP. Sao Paulo. 2012.
- MATERÓN, Bayardo. Manoel FREITAS y Paulo TEIXEIRA. *Barragens de Enrocamento com Face de Concreto*. Oficina de Textos. Brasil. 2009
- NOVITZKY, Alejandro. *Transporte y extracción en minas y a cielo abierto*. Yunque. Buenos Aires. 1966
- ROJO, Julián. *Manual de Movimiento de Tierras a Cielo Abierto*. Fueyo Editores. España. 2010.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR BUREU OF RECLAMATION. *Design of Small Dams*. 3era Edición. USA. 1987.
- VERA, Rafael, Carlos PAREDES y Enzo DEFILIPPI. *Mercado Eléctrico en el Perú: Balance de Corto Plazo y Agenda Pendiente*. USMP. Lima. 2013
- WATZKO, Aires. *Barragens de Enrocamento com Face de Concreto no Brasil*. Universidad Federal de Santa Catarina. Florianópolis, Brasil. 2007.
- ZEGARRA, Jorge, Guillermo ZAVALA. *Mecánica de Suelos Capítulo 4: Hidráulica de los suelos*. PUCP. Lima. 2011