

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**“GESTIÓN DE PROYECTOS DE LA INGENIERÍA, PROCURA Y
PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE UNA PRESA DE CONCRETO
COMBINADA”**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR:

CARLOS LAPA ALCÁNTARA

ASESOR:

Dr. JUAN GUILLERMO RÍOS SEGURA

LIMA - PERÚ

2017

ÍNDICE

RESUMEN	3
ABSTRACT	4
PRÓLOGO	5
LISTA DE CUADROS	6
LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS	8
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	10
1.1 GENERALIDADES	10
1.1.1 Descripción general del Proyecto	10
1.1.2 Descripción general de la Presa	11
1.2 PROBLEMÁTICA	11
1.3 OBJETIVO GENERAL	11
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO	13
2.1 GENERALIDADES	13
2.2 CLASIFICACIÓN DE PRESAS	13
2.3 EVOLUCIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN DE PRESAS DE CONCRETO	18
2.4 GESTIÓN DE PROYECTOS EN LA CONSTRUCCIÓN	20
2.4.1 Metodologías de Gestión de Proyectos	21
2.4.2 Gestión de la Ingeniería	24
2.4.3 Gestión de la Procura	27
2.4.4 Gestión de la Construcción	28
2.4.5 Gestión del Comisionamiento y Puesta en Marcha	29
CAPÍTULO III: GESTIÓN DE LA INGENIERÍA DE DETALLE DE LA PRESA	31
3.1 GENERALIDADES	31
3.2 CONFORMACIÓN DEL EQUIPO HUMANO	32
3.3 EVOLUCIÓN DEL DISEÑO DE LA PRESA	34
3.4 DISEÑO DE CONCRETO	36
3.4.1 Ensayos de laboratorio	36
3.4.2 Concreto Convencional Vibrado	43
3.4.3 Concreto Compactado con Rodillo	43
3.5 REPLANTEO EN LA INGENIERÍA DE DETALLE DE LA PRESA	44
3.5.1 Incorporación de Concreto Compactado con Rodillo	44
3.5.2 Cambio en las Inyecciones	45

3.5.3	Uso elementos Prefabricados de Concreto Armado	47
3.5.4	Cambio Geométrico	48
	CAPÍTULO IV: GESTIÓN DE LA PROCURA	50
4.1	GENERALIDADES	50
4.2	ADQUISICIÓN DE MATERIALES Y EQUIPOS PARA LA PRESA	50
4.3	LOGÍSTICA	55
4.4	SERVICIOS CIVILES, HIDROMECAÑICOS E INSTRUMENTACIÓN	57
	CAPÍTULO V: PROCESOS CONSTRUCTIVO DEL DISEÑO FINAL	59
5.1	GENERALIDADES	59
5.2	PLANEAMIENTO Y PROGRAMACIÓN DE LA PRESA	59
5.2.1	Planeamiento Operativo	59
5.2.2	Programación de actividades	60
5.3	OBRAS PRELIMINARES Y COMPLEMENTARIAS	62
5.3.1	Accesos	62
5.3.2	Plantas de concreto y agregados	62
5.3.3	Obras de Desvió del río Mantaro	63
5.4	OBRAS CIVILES DE LA PRESA	66
5.4.1	Excavación y sostenimiento de talud	66
5.4.2	Elección de sistemas de vaciados de concreto	67
5.4.3	Vaciado de Concreto Convencional Vibrado	70
5.4.4	Vaciado de Concreto Compactado con Rodillo	72
5.4.5	Inyecciones de Consolidación e Impermeabilización	80
5.5	OBRAS HIDROMECAÑICAS E INSTRUMENTACIÓN DE LA PRESA	87
	CAPÍTULO VI: ANÁLISIS ECONÓMICO	92
6.1	GENERALIDADES	92
6.2	CONTROL DE COSTO Y RESULTADO ECONÓMICO	92
	CONCLUSIONES	94
	RECOMENDACIONES	95
	BIBLIOGRAFÍA	99
	ANEXOS	101

RESUMEN

El tema desarrollado en este Trabajo de Suficiencia Profesional es la “Gestión de Proyectos de la Ingeniería, Procura y Procesos Constructivos de una Presa de Concreto Combinada” del Proyecto IPC Central Hidroeléctrica Cerro del Águila de 510 MW, ubicado en la provincia de Tayacaja, departamento de Huancavelica en Perú.

En un proyecto con un contrato Llave en Mano y realizando la Ingeniería, Procura y Construcción, además de ejecutar la ingeniería de detalle a la par con la construcción, es sin duda un reto complicado. Para poder enfrentar este tipo de proyectos se debe tener una gestión robusta y dinámica a la vez, en todas las fases.

En la etapa del desarrollo de la Ingeniería de Detalle conformar un equipo especialista en el diseño de una Presa de concreto es fundamental y que además este sincronizado con el grupo de construcción. Si el desarrollo de la misma se tiene subcontratado, este debe tener cláusulas contractuales con objetivos medibles y apuntando al desarrollo de una Ingeniería de Valor para el proyecto. Además se debe considerar que en un proyecto IPC las mejores o peores decisiones de gran impacto se toman en esta etapa.

La Gestión de la Procura se dificulta cuando se desarrolla proyectos como el estudiado, que tienen una geografía agreste y distante de los puntos de abastecimiento, por lo cual su manejo adecuado y de manera oportuna es fundamental. El equipo de adquisición debe interactuar de cerca con los de ingeniería y construcción, para obtener los materiales, equipos y servicios adecuados para no generar retrasos. El manejo de almacenes es de por sí engorroso en un proyecto de gran magnitud, pero si además los procesos no están estandarizados y automatizados, el descontrol del mismo tendrá un efecto negativo multiplicador en la gestión de todo el proyecto.

La construcción en sí de la Presa de concreto, será el resultado de una buena Ingeniería y Procura a tiempo. Distinto a un proyecto típico donde el Contratista solo desarrolla la construcción, en un IPC se tiene que formar equipos con una visión más amplia y que sean conscientes que el éxito del proyecto depende de todas las fases.

Las lecciones aprendidas plasmadas en este informe, se espera sirva de guía en la ejecución de otras Presas a lo largo de la cuenca del río Mantaro o similares.

ABSTRACT

The theme developed in this Work of Professional Sufficiency is the "Project Management of Engineering, Procurement and Construction Processes of a Combined Concrete Dam" of the 510 MW Cerro del Águila Hydroelectric Power Plant EPC Project, located in the province of Tayacaja, department of Huancavelica in Peru.

In a project with a turnkey contract and performing engineering, procurement and construction, it is certainly a complicated challenge to execute the detailed engineering on a par with the construction. To be able to face this type of projects, a strong and dynamic management in all phases must be developed at the same time.

In the stage of the detail engineering development, it is fundamental to form a specialized team in the design of a concrete dam; this team has to be synchronized with the construction group. If the dam development has been assigned to a subcontractor, it must have contractual clauses with measurable objectives and aiming at the development of value engineering for the project. In addition it should be considered that in an EPC project the best or worst decisions of great impact are taken at this phase.

The procurement management is difficult when projects (like this one under study) are developed in a wild geography far from supply points, so timely and proper handling is crucial. In order to obtain materials, equipment and adequate services to avoid generating delays, the procurement team must interact closely with those of engineering and construction. The warehouse management is cumbersome in a large project, but additionally if the processes are not standardized and automated, the lack of control will have a negative multiplier effect in the management of the entire project.

The construction itself of the concrete dam will be the result of good engineering and procurement on time. Unlike a typical project where the contractor only develops construction, in an EPC project, teams with a broader vision have to be formed and they have to well aware that the success of the project depends on all phases.

The lessons learned in this report are expected to guide the execution of other dams along the Mantaro river basin or similar.

PRÓLOGO

En la actualidad en el Perú es más común ver proyectos de gran envergadura ejecutados por las empresas locales de manera independiente o consorciadas, además la forma de otorgar un contrato en función a su alcance vienen cambiando, pasando del típico alcance de ejecutar solo la Construcción, a una donde se tiene que desarrollar la Ingeniería, Procura y Construcción (IPC).

Este informe tratará de explicar cómo se desarrollará la gestión de un proyecto real IPC en sus diferentes fases, en particular en la construcción de una Presa de concreto combinada ubicado en la provincia de Tayacaja, departamento de Huancavelica, en la zona central del Perú a una altitud promedio de 1500 metros sobre el nivel del mar.

En la fase de la Gestión de la Ingeniería de Detalle se mostrará los principales problemas afrontados y las soluciones planteadas para obtener una definitiva acorde a la realidad del proyecto. También se buscará destacar la importancia de esta fase y lo gravitante que puede ser para el éxito en un proyecto IPC.

La Gestión de la Procura, cuando en el alcance le corresponde ejecutar al Contratista, será de igual relevante que las otras fases y actuarán de manera interrelacionada. Generalmente la Procura, en estos tipos de proyectos, es preponderante en el costo y su buena gestión en la adquisición de materiales, equipos y servicios influirá directamente en el resultado operativo de la obra, por lo cual en el informe se mostrará las buenas prácticas y los puntos a mejorar.

Para finalizar se estudiará el desarrollo de la gestión del Planeamiento, Programación y la elección adecuada de los Procesos Constructivos de una Presa, en la etapa de excavación, vaciado de concreto compactado con rodillo y concreto convencional, ejecución de las inyecciones, montaje hidromecánico e instrumentación. Además se incidirá en describir las situaciones particulares suscitadas y las lecciones aprendidas.

Dr. Juan G. Ríos Segura
Asesor

LISTA DE CUADROS

Cuadro N° 3.1: Alternativas presentadas por el Contratista	31
Cuadro N° 3.2: Especificaciones Técnicas del Proyecto	38
Cuadro N° 3.3: Dosificaciones Aplicadas en la Presa	40
Cuadro N° 3.4: Resistencia al Corte	41
Cuadro N° 3.5: Densidad Diseño CCR-100	42
Cuadro N° 3.6: Rendimiento de Concretos de Presa	42
Cuadro N° 3.7: Diseños de Concretos CVC Final	43
Cuadro N° 3.8: Diseños de Concretos CCR Final	43
Cuadro N° 5.1: Volumen de concreto Previsto 2014 vs Real	68
Cuadro N° 5.2: Cantidad por tipo de CCR	73
Cuadro N° 5.3: Cuadrilla Equipos-Colocación de CCR con Blondin	75
Cuadro N° 5.4: Cuadrilla Mano Obra Colocación de CCR–utilizando Blondin	75
Cuadro N° 5.5: Cuadrilla Equipos- Colocación de CCR-Camiones Volquetes	77
Cuadro N° 5.6: Cuadrilla Mano Obra-Colocación CCR-Camiones Volquetes	77
Cuadro N° 5.7: Tratamiento de la superficie	79
Cuadro N° 5.8: Profundidad y malla de perforación	82
Cuadro N° 5.9: Procedimiento en caso de lluvias	85
Cuadro N° 5.10: Tratamiento de la Superficie de la Junta de Construcción	86
Cuadro N° 5.11: Mediciones en la Presa	90
Cuadro N° 6.1: Precios unitarios del concreto de la Presa	92
Cuadro N° 6.2: Estado de Resultados del Frente Presa	93
Cuadro N° 6.3: Presupuesto meta vs real	93

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 3.1: Escenarios durante la Licitación	31
Figura N° 3.2: Planta de la Presa – Ingeniería Básica Cliente	35
Figura N° 3.3: Planta de la Presa – Ingeniería Básica Extendida	36
Figura N° 3.4: Evolución Resistencia a la Compresión del CCR en Obra	40
Figura N° 3.5: Evolución Resistencia a la Compresión del CVC en Obra	41
Figura N° 3.6: Esquema de las dos geometrías de los bloques centrales	49
Figura N° 5.1: EDT Nivel 02-Frente Presa	59
Figura N° 5.2: Programa Previsto vs Real del Frente Presa	60
Figura N° 5.3: Evolución del Volumen de Concreto	68
Figura N° 5.4: Cantidad por tipo de Concreto de la Presa	70
Figura N° 5.5: Evolución mensual del vaciado de CVC en la Presa	71
Figura N° 5.6: Evolución mensual del vaciado de CCR en la Presa	73
Figura N° 5.7: Evolución mensual del vaciado total de concreto	74
Figura N° 5.8: Elementos del Vaciado con Blondin	76
Figura N° 5.9: Vista desde aguas abajo – Sistema de Descarga	88

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

AACEi:	Association for the Advancement of Cost Engineering International
ACI:	American Concrete Institute
AEIPRO:	Asociación Española de Ingeniería de Proyectos
APM:	Association for Project Management
ASTM:	American Society for Testing and Materials
CAI:	Centro Argentino de Ingenieros
CCR:	Concreto Compactado con Rodillo
CCV:	Concreto Convencional Vibrado
CEPSI:	Comisión de Empresas Proveedoras de Servicios de Ingeniería
CFRD:	Concrete Faced Rockfill Dam
CIGB:	Commission International des Grands Barrages
CM:	Centímetros
CRM:	Consortio Río Mantaro
DC:	Después de Cristo
EDT:	Estructura de Descomposición del Trabajo
EE.UU:	Estados Unidos
EPC:	Engineering, Procurement and Construction
H:	Hora
ICOLD:	International Commission On Large Dams
IECA:	Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones
IPC:	Ingeniería, Procura y Construcción
IPMA:	International Project Management Association
KM:	Kilómetros
KN:	Kilo Newton
LCI:	Lean Construction Institute
LPDS:	Lean Project Delivery System
MM:	Milímetros
MMC:	Millones de Metros Cúbicos.
M.S.N.M.:	Metros sobre el nivel del mar
MW:	Mega Watts
M:	metro
M2:	metros cuadrados
M3:	metros cúbicos

PCP:	Planta de Concreto Principal
PMBOK:	Project Management Body of Knowledge
PMI:	Project Management Institute
PRINCE2:	Projects In Controlled Environment
S.A.:	Sociedad Anónima
SAM:	Santiago Antúnez de Mayolo
SSS:	Saturado Superficialmente Seco
T:	Tonelada
TPS:	Toyota Production System
UK:	United Kingdom
WBS:	Work Breakdown Structure

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

1.1.1 Descripción general del Proyecto

El Proyecto IPC Central Hidroeléctrica Cerro del Águila, consiste en la generación de 504 MW mediante tres turbinas Francis, más una Minicentral que aporta 10 MW, haciendo un total de 514 MW de capacidad instalada, convirtiéndose en la segunda Central Hidroeléctrica más grande del Perú a la fecha de su puesta en operación comercial el 2016.

El proyecto se encuentra ubicado en los distritos de Colcabamba y Surcubamba, en la provincia de Tayacaja, departamento de Huancavelica, alrededor de 450 km de distancia de la ciudad de Lima, capital de la república de Perú. El proyecto utiliza para su funcionamiento las aguas del río Mantaro.

El acceso a la zona se realiza desde Lima a través de una vía pavimentada denominada Carretera Central hasta la ciudad de Huancayo y a partir de ahí se conecta con la ciudad de Pampas en el departamento de Huancavelica mediante una carretera afirmada. Desde Pampas se tiene acceso a la Presa a unos 88 km (distrito Colcabamba). Asimismo existe una distancia entre Pampas y la casa de máquinas de 93 km (distrito de Surcubamba).

El Consorcio Rio Mantaro conformado por las empresas GyM S.A. (Perú) y Astaldi Spa (Italia), con una participación del 50% cada una, se adjudicaron la ejecución de la Ingeniería, Procura y Construcción de la Central Hidroeléctrica Cerro del Águila, y las estructuras fundamentales que conforman el proyecto son:

- Presa de gravedad en concreto, con una longitud de 264 m y una altura máxima de 88 m.
- Obra de Toma de 36.1 m x 32.62 m y zona de transición de 16 m
- Túnel de Desvío de 324 m
- Túnel de Carga (conducción) de aproximadamente 5,732 m (incluye obras de captación).
- Túnel de Chimenea de Equilibrio Superior de 483 m
- Túnel de Chimenea de Equilibrio Inferior de 642 m
- Túnel de Acceso Principal a Casa de Máquinas de 637 m
- Túnel de Cables y Emergencia de 249 m
- Pique de Cables de 190 m
- Túnel de descarga de 1,880 m

- Pique de Presión vertical de 246 m
- Casa de Máquinas en caverna de 86 m x 21 m x 37 m
- Caverna de Transformadores de 80 m x 12 m x 17 m
- Caverna de Ataguías de 77 m x 5.5 m x 9 m
- Caminos y accesos: 170 km de mejoramiento y 50 km de caminos nuevos.

1.1.2 Descripción general de la Presa

El proyecto está dividido en dos macros frentes de trabajo, por su ubicación geográfica, el Frente Casa de Máquinas (distrito de Surcubamba) y Frente Presa (distrito de Colcabamba), cada uno de estos frentes acumulan varias estructuras dentro de su alcance. En este informe nos enfocaremos en el Frente Presa y específicamente en la construcción de la Presa de arco-gravedad y de concreto combinado masivo (Concreto Compactado con Rodillo-CCR y Concreto Vibrado Convencional -CVC). Las obras adyacentes y/o complementarias a la Presa, que se ejecutaron son los siguientes: Obra de Toma, Túnel de Desvío, Minicentral, Túnel de Conducción, Accesos, Blondin, Plantas Industriales, Campamentos, Talles y almacenes.

1.2 PROBLEMÁTICA

En la actualidad en el país se está desarrollando múltiples proyectos de construcción de gran envergadura, que tienen como alcance la Ingeniería, Procura y Construcción (IPC), como es la Presa de la Central Hidroeléctrica Cerro del Águila. La falta de experiencia en estos tipos de proyectos, de las empresas peruanas, muchas veces las hacen fracasar por no gestionar adecuadamente la ingeniería de detalle definitiva que es la base para iniciar con la ejecución del proyecto, la gestión de la procura que tiene el reto de abastecer a tiempo y el no plantear una adecuada metodología constructiva que al final se traducen en atrasos y/o sobre costos.

1.3 OBJETIVO GENERAL

Es plantear cómo se dará la búsqueda de alternativas y soluciones frente a los retos que se presentarán en la gestión de la ingeniería de detalle, procura y construcción de la Presa de arco-gravedad y concreto combinado de la Central Hidroeléctrica Cerro del Águila, y que pueda servir a posterior como referencia para proyectos similares en nuestro país.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Plantear la estrategia para la gestión de la ingeniería de detalle, como replantear la geometría y los tipos de concreto a usar en el cuerpo de Presa, para lograr obtener una ingeniería definitiva coherente con la realidad de ejecución del proyecto.
- Diseñar la gestión de las adquisiciones y el transporte de los materiales para el cuerpo de Presa, y la elección del proveedor de servicios para las obras hidromecánicas e instrumentación.
- Plantear una metodología constructiva de la Presa de concreto combinado (CCR y CCV), mostrando las dificultades para su aplicación y las soluciones planteadas en el proyecto.

CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 GENERALIDADES

Las obras hidráulicas en el mundo datan de muchos siglos atrás, incluso los datos que maneja Yang (2006) refiere que la Presa “Sadd-el-Kafara” en Egipto fue construida entre los años 2950-2750 antes de Cristo, y el Perú no es ajeno a ello ya que la cultura Inca desarrollo grandes obras y entre ellas las hidráulicas que sirvieron para el traslado de agua mediante canales largos los cuales atraviesan una topografía agreste para irrigar extensos valles, cuyos vestigios siguen asombrando a la humanidad.

“En el Perú se empezaron a construir Presas de cal y canto en la época de la colonia, caso por ejemplo del «Dique de los Españoles» en las nacientes del río Sumbay (Arequipa), que aunque nunca se terminó por conflicto entre los interesados de ese entonces, pudo recién culminarse el año 1992 ya no según fue concebida sino como relleno de materiales sueltos. La que está represando la laguna de Ancascocha sobre el río Yauca se construyó ya en la época republicana y por último, la Presa Viconga ubicada en la cuenca alta del río Pativilca y puesta en servicio en 1982, resulta ser la última Presa de gran altura construida en tiempos modernos con albañilería de piedra” (Priale, 2003).

2.2 CLASIFICACIÓN DE PRESAS

Según el Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones podemos definir a una Presa como “una barrera fabricada a base de rocas, concreto o material suelto. Tiene la finalidad de embalsar el agua en el cauce fluvial para su posterior aprovechamiento en abastecimiento o regadío, para elevar su nivel con el objetivo de derivarla a canalizaciones de riego, para laminación de avenidas (evitar inundaciones aguas abajo de la Presa) o para la producción de energía mecánica al transformar la energía potencial del almacenamiento en energía cinética y ésta nuevamente en mecánica al accionar la fuerza del agua un elemento móvil. La energía mecánica puede aprovecharse directamente, como en los antiguos molinos, o de forma indirecta para producir energía eléctrica, como se hace en las centrales hidroeléctricas” (IECA, 2013).

Además según el mismo instituto realiza la clasificación de la siguiente manera, para lo cual primero define los términos más habituales utilizados en Presas son:

- **El embalse:** es el volumen de agua que queda retenido por la Presa.

- **El vaso:** es la parte del valle que, inundándose, contiene el agua embalsada.
- **La Presa:** propiamente dicha, cuyas funciones básicas son, por un lado garantizar la estabilidad de toda la construcción, soportando un empuje hidrostático del agua, y por otro no permitir la filtración del agua.

A continuación, según el mismo instituto, los elementos principales de una Presa son:

- **Los paramentos, caras o taludes:** Son las dos superficies más o menos verticales principales que limitan el cuerpo de la Presa, el interior o de aguas arriba, que está en contacto con el agua, y el exterior o de aguas abajo.
- **La coronación:** Es la superficie que delimita la Presa superiormente.
- **Los estribos:** Son los laterales del muro que están en contacto con la fundación contra la que se apoya.
- **La cimentación:** Es la parte de la estructura de la Presa, a través de la cual se transmiten las cargas al terreno, tanto las producidas por la presión hidrostática como las del peso propio de la estructura.
- **El aliviadero o vertederos:** Es la estructura hidráulica por la que rebosa el agua excedentaria cuando la Presa ya está llena.
- **Las compuertas:** Son los dispositivos mecánicos destinados a regular el caudal de agua a través de la Presa.
- **Descarga de fondo:** permite mantener el denominado caudal ecológico aguas abajo de la Presa y vaciar la Presa en caso de ser necesario.
- **Galerías:** Son cavidades internas que recorre el cuerpo de Presa, que es usado para las inyecciones o el sistema de drenaje, como también el manejo del sistema de instrumentación.
- **Toma o Bocatoma:** Es una estructura que se encuentra aguas arriba del eje de la Presa, y que es el punto de captación del agua por donde será derivado.

La clasificación de las Presas están sujetas a las diferentes características como:

- Su forma o manera de transmitir las cargas a las que se ve sometida.
- Los materiales empleados en la construcción.

A continuación el Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones y según (Novak, 1990) nos mencionan las diferentes formas de clasificar.

Según su forma nos dan la siguiente clasificación:

- **Presa de Gravedad:** es aquella en la que su propio peso es el encargado de resistir el empuje del agua. El empuje del embalse es transmitido hacia el suelo, por lo que éste debe ser suficientemente estable para soportar el peso de la Presa y del embalse. Constituyen las represas de mayor durabilidad y que menor mantenimiento requieren.

Dentro de las Presas de gravedad se puede tener:

- Escollera, tierra homogénea, tierra zonificada, CFRD (grava con losa de concreto), de roca. Son preferiblemente en fundación rocosa. Aceptan calidad variable y algo de intemperismo o meteorización. Se requiere protección hasta el material impermeable. Se facilita la colocación en cualquier clima y requieren materiales para núcleo, filtros, etc.

- De Concreto tipo CCR (concreto compactado con rodillo) y concreto convencional. Adecuadas en valles amplios, desde que la excavación sea menor de 5 a 10 m. Se acepta desgaste limitado de la roca. Deben chequearse las discontinuidades de la roca con relación al deslizamiento. Tienen bajos esfuerzos de contacto.

Su estructura es similar a la de un triángulo isósceles ya que su base es ancha y se va estrechando a medida que se asciende hacia la parte superior aunque en muchos casos el lado que da al embalse es casi vertical. La razón por la que existe una diferencia notable en el grosor del muro a medida que aumenta la altura de la Presa se debe a que la presión en el fondo del embalse es mayor que en la superficie, de esta forma, el muro tendrá que soportar más presión en el lecho del cauce que en la Presa incrementa su estabilidad.

- **Presa de Contrafuertes:** Como Presas de gravedad, pero mayores esfuerzos de contacto, requieren una roca de buena calidad. El ahorro de concreto con relación a las Presas de gravedad es del 40 al 60%. (Novak, 1990)
- **Presa Arco:** es aquella en la que su propia forma es la encargada de resistir el empuje del agua. Debido a que la presión se transfiere en forma muy concentrada hacia las laderas de la cerrada, se requiere que ésta sea de roca muy dura y resistente. Constituyen las represas más innovadoras en cuanto al diseño y que menor cantidad de concreto se necesita para su construcción. La primera Presa de arco de la que se

tiene noticia es la Presa de Vallon de Baume, realizada por los romanos cerca de Glanum (Francia).

- **Presa de Bóveda o de doble curvatura:** cuando la Presa tiene curvatura en el plano vertical y en el plano horizontal, también se denomina de bóveda. Para lograr sus complejas formas se construyen con concreto y requieren gran habilidad y experiencia de sus constructores que deben recurrir a sistemas constructivos poco comunes.
- **Presa Arco – Gravedad:** combina características de las Presas de arco y las Presas de gravedad y se considera una solución de compromiso entre los dos tipos. Tiene forma curva para dirigir la mayor parte del esfuerzo contra las paredes de un cañón o un valle, que sirven de apoyo al arco de la Presa. Además, el muro de contención tiene más espesor en la base y el peso de la Presa permite soportar parte del empuje del agua. Este tipo de Presa precisa menor volumen de relleno que una Presa de gravedad.
- **Mixta:** si es la combinación de varias tipologías.

Según los materiales usados en:

- **Presas de Concreto (convencional vibrado o compactado con rodillo):** son las más utilizadas en los países desarrollados ya que con éste material se pueden elaborar construcciones más estables y duraderas; debido a que su cálculo es del todo fiable frente a las producidas en otros materiales. Normalmente, todas las Presas de tipo gravedad, arco y contrafuerte están hechas de este material. En España, el 67% de las Presas son de gravedad y están hechas con concreto. La Presa de las Tres Gargantas situada en el curso del río Yangzi en China es la central hidroeléctrica y de control de inundaciones más grande del mundo. Se terminó en el año 2009.
- **Presas de Material suelto:** son las más utilizadas en los países subdesarrollados ya que son menos costosas y suponen el 77% de las que podemos encontrar en todo el planeta. Son aquellas que consisten en un relleno de tierras, que aportan la resistencia necesaria para contrarrestar el empuje de las aguas. Los materiales más utilizados en su construcción son piedras, gravas, arenas, limos y arcillas aunque dentro de todos estos los que más destacan son las piedras y las gravas. En

España sólo suponen el 13% del total. Este tipo de Presas tienen componentes muy permeables, por lo que es necesario añadirles un elemento impermeabilizante. Además, estas estructuras resisten siempre por gravedad, pues la débil cohesión de sus materiales no les permite transmitir los empujes del agua al terreno. Este elemento puede ser arcilla (en cuyo caso siempre se ubica en el corazón del relleno) o bien una pantalla de concreto, la cual se puede construir también en el centro del relleno o bien aguas arriba. Estas Presas tienen el inconveniente de que si son rebasadas por las aguas en una crecida, corren el peligro de desmoronarse y arruinarse. En España es bien reconocido el accidente de la Presa de Tous conocido popularmente como la “Pantanada de Tous”.

- **Presas de Enrocado con cara de Concreto:** este tipo de Presas en ocasiones es clasificada entre las de materiales sueltos; pero su forma de ejecución y su trabajo estructural son diferentes. El elemento de retención del agua es una cortina formada con fragmentos de roca de varios tamaños, que soportan en el lado del embalse una cara de concreto la cual es el elemento impermeable. La pantalla o cara está apoyada en el contacto con la cimentación por un elemento de transición llamado plinto, que soporta a las losas de concreto. Este tipo de estructura fue muy utilizado entre 1940 a 1950 en cortinas de alturas intermedias y cayó en desuso hasta finales del siglo XX en que fue retomado por los diseñadores y constructores al disponer de mejores métodos de realización y equipos de construcción eficientes.

Según su aplicación en:

- **Presas filtrantes o diques de retención:** Son aquellas que tienen la función de retener sólidos, desde material fino, hasta rocas de gran tamaño, transportadas por torrentes en áreas montañosas, permitiendo sin embargo el paso del agua.
- **Presas de control de avenidas:** Son aquellas cuya finalidad es la de laminar el caudal de las avenidas torrenciales, con el fin de que no se cause daño a los terrenos situados aguas abajo de la Presa en casos de fuerte tormenta.
- **Presas de derivación:** El objetivo principal de estas es elevar la cota del agua para hacer factible su derivación, controlando la sedimentación del

cauce de forma que no se obstruyan las bocatomas de derivación. Este tipo de Presas son, en general, de poca altura ya que el almacenamiento del agua es un objetivo secundario.

- **Presas de almacenamiento:** El objetivo principal de estas es retener el agua para su uso regulado en irrigación, generación eléctrica, abastecimiento a poblaciones, recreación o navegación, formando grandes vasos o lagunas artificiales. El mayor porcentaje de Presas del mundo, las de mayor capacidad de embalse y mayor altura de cortina corresponden a este objetivo.

2.3 EVOLUCIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN DE PRESAS DE CONCRETO.

En esta sección nos enfocaremos a la evolución de la Presa de concreto en el Perú, y de manera referencial en el mundo.

La primera Presa de concreto en el mundo hace referencia a los años 100 después de Cristo, según IECA (2013) “Alrededor del año 100 d.C., los Romanos fueron los primeros en construir Presas de gravedad empleando concreto y mortero, lo anterior debido a los restos encontrados en la Presa Ponte de San Mauro, que sugiere el empleo de una losa de concreto apoyada sobre una estructura de mampostería”.

Una de las primeras Presas de concreto de gran dimensión en el Perú, es el Frayle (1961, para almacenar 200 MMC, 74 m de altura), esta obra fue construida sobre el cauce del río Blanco en Arequipa (Priale, 2003). Según su forma se puede catalogar como una Presa de doble arco.

Otra de las primeras Presas de concreto gran envergadura de concreto y que funciona para la generación de electricidad, como es el caso del proyecto que es materia de estudio de este informe, es la Represa Tablachaca (1972,8 MMC, 80 m de altura); que por su forma se cataloga como Presa de arco-gravedad. Esta Presa es parte del complejo hidroeléctrico Mantaro, que comprende las centrales hidroeléctricas Santiago Antúnez de Mayolo (SAM) y Restitución. Las aguas que son captadas desde el embalse de Tablachaca son transportados mediante un túnel de 19.8 km de longitud, que a través de unas tuberías forzadas alimentan a la casa de máquinas de la central SAM, y las aguas turbinadas que se generan son transportados a la central Restitución. Actualmente la central SAM es la más grande del Perú con un potencia de 798 MW y todo el complejo suma 1008 MW.

Como podemos ver en el país se desarrollaron grandes Presas de concreto convencional, pero utilizando concreto compactado con rodillo aún son pocas. En el mundo la construcción de Presas ha ido evolucionando en sus diferentes facetas, en particular en las de concreto, se dieron cambios en sus diseños para optimizar materiales y tiempo durante la construcción. El Concreto Compactado con Rodillo (CCR) es uno de los concretos quizá más innovadores de los últimos años para la construcción de Presas, por lo económico y su rápida colocación, el cual se traduce en menor costo y plazo en la etapa de construcción. Los primeros usos del CCR en el mundo se dieron durante los años 1960 y 1970. En 1960 se realizó una de las primeras construcciones en CCR como es la Presa Shihmen en Taiwan, la Presa Alpe Gera en Italia (1961) con un concreto con cero slump y la Presa Manicouagan I en Canadá (ACI, 2011); y fue el inicio de una técnica que a la fecha está siendo utilizado cada vez más frecuente, como es caso del proyecto a estudiar en este informe.

En la búsqueda de un nuevo tipo de Presa que combinara la seguridad de las Presas de concreto y la economía de aquellas con núcleo en arcilla y caras en enrocado, se llegó al CCR. En 1970 Jerome Raphael presentó un artículo en el que proponía el uso de un nuevo material cuyo esfuerzo de corte mejorado, permitía optimizar la sección de la estructura (Martinez, 2010).

En el Perú la primera Presa de CCR se construyó en la provincia de la Oroya, departamento de Junín a una altura de 4800 m.s.n.m. El proyecto impulsado por el gobierno peruano a través de Sedapal ejecutó Marcapococha- Marca III, en la cual comprendía el represamiento para el sistema de agua potable de Lima mediante la Presa Antacoto. Este fue el primer inicio de las Presas de CCR en el país.

También se ejecutaron Presas pequeñas pertenecientes a la minera Yanacocha, en los años 2002 - 2003, en las que se utilizó para su construcción el hardfill, considerado como un tipo de CCR de muy bajo contenido de cemento (Escalaya, 2006).

Las Presas de Concreto pueden utilizar un concreto convencional vibrado o el concreto compactado con rodillo o la combinación de ambos, según las características técnicas-económicas que mejor se acomode a cada proyecto. Según el EICA "las tres premisas principales que determinan la caracterización de los concretos en masa utilizados en la construcción de Presas son: durabilidad, impermeabilidad y economía. Evidentemente, la resistencia es otro

factor a considerar, si bien, el cumplimiento de los anteriores, lleva en general asociado unas resistencias mínimas iguales o superiores a las requeridas en concretos de Presas”.

La Comisión Internacional de Grandes Presas (ICOLD/CIGB), que lleva un registro del conjunto de grandes Presas mundiales, menciona que al año 2003 existen 50,000 Presas a nivel mundial y que para ser clasificada como gran Presa, y por lo tanto estar inscrita en ese registro, una Presa debe alcanzar al menos 15 metros de altura o tener una altura de 10 a 15 metros así como un embalse de una capacidad de más de 3 millones de metros cúbicos de agua. Las Presas de materiales sueltos son las más numerosas, seguidas por las Presas de gravedad y las Presas de escollera.

El tipo más usual de Presa es la de tierra que representa el 43,7% del número total de Presas, luego vienen las Presas de gravedad (10,6% del total) y después las Presas de escollera.

Actualmente, según la ICOLD/CIGB, el 71.7% de las Presas registradas en la organización tienen un uso único, pero que existe una tendencia que cada vez más las Presas tengan un uso múltiple siendo estas un 28.3%. Siendo actualmente la agricultura la que aglomera la mayor cantidad de Presas en el mundo seguido de la centrales hidroeléctricas.

2.4 GESTIÓN DE PROYECTOS EN LA CONSTRUCCIÓN

Para entender la gestión de proyectos, iniciamos definiendo que es un proyecto. Una de las más aceptadas puede ser la que define el PMI en su Guía del PMBOK® que menciona “un proyecto es un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o un resultado único. La naturaleza de temporal de los proyectos implica que un proyecto tiene un principio y final definidos. El final se alcanza cuando se logran los objetivos del proyecto, cuando se termina el proyecto porque sus objetivos no se cumplirán o no pueden ser cumplidos, o cuando no existe necesidad que dio origen al proyecto. Asimismo, se puede poner fin a un proyecto si el cliente desea terminar el proyecto. Que sea temporal no significa necesariamente que la duración del proyecto haya ser corta. Se refiere a los compromisos del proyecto y su longevidad”.

Además en la misma guía del PMI se describe que “cada proyecto genera un producto, servicio o resultado único. El resultado del proyecto puede ser tangible o intangible”. Entonces un proyecto se convierte en algo único por estar regido al espacio y tiempo donde se ejecuta.

La gestión de un proyecto es un arte que posiblemente que a la fecha no existe una receta consensuada que nos pueda mencionar como debemos gerenciar. Según la Guía del PMBOK® nos dice que la Gestión de Proyectos “es la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas a las actividades del proyecto para poder cumplir con los requisitos del mismo”.

La dificultad en la gestión de un proyecto está en función del rubro, espacio, tiempo, tamaño, etc., donde se ejecute. Particularmente la gestión o gerencia de un proyecto de construcción es bastante compleja por la variabilidad que resulta entre una y otra.

2.4.1 Metodologías de Gestión de Proyectos

En el mundo existen organizaciones que difunden metodologías y filosofías de gestión, cuyo objetivo es mejorar los resultados de un proyecto, a continuación se detallara algunas de ellas:

- i. **Lean Construction Institute (LCI):** Difunde la corriente de la filosofía Lean Construction tiene sus inicios en las universidades de EE.UU., y que es la adaptación del Lean Production, pero aplicado específicamente a la construcción. Además el Lean Production, difundido generalmente en el rubro manufacturas, tiene sus orígenes el sistema de producción de Toyota (TPS-Toyota Production System).

En el Perú esta metodología se inició su implementación a finales de los años noventa del siglo anterior con algunas firmas constructoras del país. Los conceptos de Lean Construction o Construcción Sin Perdidas tiene herramientas importantes como el Last Planner System, Sectorización, Tren de Actividades, Buffers, Nivel General de Actividades y las cartas de balance (Guzmán, 2014).

Los principios que plantea el Lean Construction, según Koskela (2000) son:

- Reducir la variabilidad;
- Reducir los ciclos de tiempo;
- Reducción de tamaño de los lotes;
- Incrementar la flexibilidad;
- Seleccionar un enfoque de control de producción apropiado;
- Estandarizar;
- Instituir la mejora continua;
- Utilizar Gestión Visual;

- Asegurar la comprensión de los requisitos;
- Centrarse en la selección de los conceptos;
- Asegurar los requisitos de flujo descendente;
- Verificar y Validar;
- Ir y mirar por uno mismo;
- Decidir por consenso, considerar todas las alternativas;
- Cultivar una extensa red de contactos

El LCI creo Lean Project Delivery System (LPDS) o Sistema de Entrega de Proyectos Lean, impulsado por Glen Ballard, con lo cual se pretende trasladar los principios del sistema de producción de Toyota a la producción en la construcción (Castillo, 2014). De igual manera Castillo menciona que el LPDS “consiste en una serie de conceptos para la toma de decisiones, procedimientos para la ejecución de funciones, técnicas y métodos. Tiene por objetivo orientar a la ejecución de proyectos de construcción sin pérdidas. El LPDS se representa mediante un modelo que contiene fases y módulos. Cinco fases son interdependientes por lo que comparten un módulo: la definición del proyecto, diseño lean, abastecimiento lean, ejecución lean y uso. El control de la producción y la estructuración del trabajo se extienden a lo largo de las cinco fases. La evaluación post-ocupación interconecta el fin de un proyecto con el inicio del siguiente”.

En el 2014, Castillo Maguiña, en su tesis de pregrado “Inventario de Herramientas del Sistema de Entrega de Proyectos Lean (LPDS)” desarrolló un cuadro resumen donde muestra los principios de la Construcción Lean asociados a cada herramienta del LPDS (ver Cuadro N° 01 del Anexo II)

- ii. **Project Management Institute (PMI):** El PMI es una institución fundada en EE.UU. en el año 1969 y lo conforman profesionales de distintos países y rubros, en la cual también están incluidos la industria de la construcción. Una de las funciones principales del PMI es difundir las buenas prácticas que se vienen desarrollando a nivel mundial, lo cual es plasmado, en una de sus mayores contribuciones la Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK® - Project Management Body Of Knowledge). Esta guía estándar que

recomienda utilizar las buenas prácticas y que ya fueron desarrollados en otros proyectos, pero que en nuestros proyectos pueden ser adaptados en función a la realidad y así acercarnos al éxito del mismo.

El PMI, en su Quinta Edición de la Guía del PMBOK®, menciona que la Gestión de Proyectos se logra mediante la aplicación e integración adecuadas de los 47 procesos, los cuales están categorizados en cinco Grupos de Procesos, y son: Inicio, Planificación, Ejecución, Monitoreo y control, y Cierre.

Además en dicha guía se menciona que dirigir un proyecto por lo general incluye, entre otros aspectos:

- Identificar requisitos;
- Absolver las diversas necesidades, inquietudes y expectativas de los interesados en la planificación y ejecución del proyecto;
- Establecer, mantener y realizar las comunicaciones activas, eficaces y de manera colaborativa entre los interesados;
- Gestionar a los interesados para cumplir los requisitos del proyecto y generar los entregables del mismo;
- Equilibrar las restricciones contrapuestas del proyecto que incluyen, entre otras: El alcance, la calidad, el cronograma, el presupuesto los recursos y los riesgos.

El PMI actualmente está presente en el rubro de la construcción a nivel mundial y en nuestro país también muchas empresas constructoras y profesionales tiene como base las buenas prácticas que fomentan en su guía.

- iii. **Association for the Advancement of Cost Engineering International (AACEi):** La Asociación para la Promoción de la Ingeniería de Costo Internacional es de origen norteamericano, puesto que en sus inicios se desarrolló solo al país de EE.UU. que posteriormente se cambió el nombre para ser una organización de talla mundial.
- iv. **Association for Project Management (APM), UK Management:** En español Asociación para la Gestión de Proyectos del Reino Unido.
- v. **International Project Management Association (IPMA):** La Asociación Internacional para la Gestión de Proyectos en español es originaria de Suiza.
- vi. **Asociación Española de Ingeniería de Proyectos (AEIPRO).**

- vii. **Projects In Controlled Environment (PRINCE2):** Nació con un enfoque a los proyectos de informática.
- viii. **Avraham Goldratt's Institute:** Fundado por Eliyahu Goldratt, quien plateado la Teoría de Restricciones en su obra cumbre “La Meta” siguiendo base para el surgimiento y soporte de varias metodologías de producción y gestión.

En el proyecto se va utilizar algunas herramientas de la filosofía Lean Construction para la gestión de la producción y el enfoque del PMI para la gestión del proyecto en conjunto. La elección de la metodología a usar se debe principalmente porque los profesionales en el mercado de la construcción local están familiarizados con ellas y además que las empresas socias basan sus sistemas de gestión en estas dos metodologías.

2.4.2 Gestión de la Ingeniería

En la actualidad en el Perú se viene ejecutando, cada vez más, proyectos de construcción con contratos Turn Key o Llave en Mano y de alcance EPC (Engineering, Procurement and Construction) o en español IPC (Ingeniería, Procura y Construcción). En este tipo de contratos el Contratista es el encargado de realizar la Ingeniería de Detalle, y puede incluir la Ingeniería Básica en algunos casos según el CAI (2015), según la misma institución también el contratista se encarga de la fabricación, las adquisiciones, la construcción y montaje de todas las instalaciones del proyecto. Financia el trabajo del proyecto y aporta la tecnología. Realiza la dirección, integración y coordinación de todos los trabajos y proveedores.

La Gestión de la Ingeniería es un elemento vital, en cada fase que se desarrolla, más en proyectos IPC, puesto que se toman las decisiones que son más gravitantes que impactaran en el alcance, tiempo y costo del proyecto. A continuación se mostrara las fases de la ingeniería según el Centro Argentino de Ingenieros (CAI) mediante su Comisión de Empresas Proveedoras de Servicios de Ingeniería (CEPSI):

- **Visualización o Estudio de Factibilidad:** “tiene por objeto establecer si la oportunidad de negocio tiene el potencial para justificar el desarrollo de inversiones. Se presentan diferentes alternativas técnicamente factibles, ventajas y desventajas de cada una de tal manera de contar con una lista corta de opciones a analizar con más profundidad en la siguiente fase.

Durante esta fase se fijan las bases del negocio, los productos que eventualmente podrían obtenerse y su inserción o comercialización en el mercado, se proponen capacidades de procesamiento para alimentar la economía de escala y se proponen potenciales locaciones donde poder desarrollar el proyecto” (CEPSI, 2015).

Según el AACEi en esta etapa un proyecto tiene una Clase 5 de estimación de costos, el objetivo será evaluar la oportunidad de negocio.

- **Ingeniería Conceptual:** Según el CEPSI, la Ingeniería Conceptual es la fase en la cual se realiza, a partir del desarrollo de varias alternativas (llamadas Casos), la selección de la opción más conveniente para los escenarios establecidos.

La misma institución menciona también que la Ingeniería Conceptual tiene por objetivo fundamental identificar la viabilidad técnica y económica de la/las alternativas visualizadas y establecer las pautas para el desarrollo de las etapas posteriores de Ingeniería Básica o Básica Extendida y de Detalle.

El CEPSI dice que durante esta etapa se fijan los objetivos deseados por el cliente, se estudian qué tipo de tecnologías aplican, se define el marco de normas técnicas que regularán los diseños, los diferentes sistemas que serán parte del Proyecto, los requerimientos de espacio y se establecen las especificaciones técnicas conceptuales y la filosofía que es preciso seguir para definir las especificaciones detalladas posteriores.

Según el AACEi en esta etapa un proyecto tiene una Clase 4 de estimación de costos y según el CEPSI el objetivo en esta fase es evaluar la viabilidad del mismo y una aprobación preliminar del presupuesto asociado para definir luego la ejecución de las etapas siguientes (2015:17)

- **Ingeniería Básica:** Según el CEPSI tiene por objetivo completar el alcance de la alternativa seleccionada durante la fase de Ingeniería Conceptual y desarrollar un plan de ejecución del proyecto que permita en cierta medida comprometer fondos o iniciar la gestión para obtener el financiamiento requerido.

Durante esta fase se fija el alcance del proyecto de manera concreta, se establecen las capacidades y las características de los productos y servicios que genera el proyecto, se definen los aspectos relacionados

con el medioambiente y la seguridad, las filosofías operativas y la selección de materiales documentando los resultados obtenidos de forma completa y adecuada. Se establecen además las especificaciones detalladas que van a seguirse en las fases siguientes.

Se establece como la estimación de costo asociada al Proyecto en esta etapa la Clase 3 definida según la AACE N°. 18R-97 con el objetivo de solicitar la aprobación presupuestaria del proyecto (2015:18).

Esta fase de la ingeniería ya puede estar dentro del alcance del contratista IPC, los planos se tendrá que plasmar a un nivel que en algunos casos sirva para ejecutar la ingeniería de detalle, más si es un proyecto "fast track".

- **Ingeniería Básica Extendida:** Según el CEPIS esta fase se complementa el conjunto de entregables elaborados en la Ingeniería Básica y se desarrolla un plan de ejecución de proyecto que comprometa los fondos y obtenga el financiamiento requerido para la ejecución de las fases restantes del Proyecto.

Adicionalmente a lo elaborado durante la Ingeniería Básica, se desarrollan entregables y se ejecutan actividades adicionales que tienen alto impacto en la definición detallada de Alcance del Proyecto, puliendo y perfeccionando los cómputos de materiales y montaje, de tal manera de alcanzar una mayor precisión en la estimación de costos y plazos.

En particular, en esta fase, se avanza en el diseño de todos los equipos, optimización de la implantación de equipos, análisis de constructibilidad, diseño de instalaciones de servicios, sala de control, subestación eléctrica, y demás instalaciones involucradas.

Los costos y plazos de entrega de los equipos más importantes o de largo plazo de entrega son definidos en esta etapa.

Se establece como la estimación de costo asociada al Proyecto en esta etapa la Clase 2 definida según la AACEi N°. 18R-97 con el objetivo de solicitar la aprobación del proyecto

Un paquete de Ingeniería Básica Extendida completo debe permitir preparar una oferta firme para un contrato IPC sin elaboración adicional del diseño (2015:18).

- **Ingeniería de Detalle:** Esta etapa de la ingeniería será estudiada en este informe, como se mencionó líneas arriba, generalmente esta fase es

encargada al contratista en un contrato con alcance IPC. El CEPESI menciona que en esta etapa se completa el desarrollo de toda la ingeniería del proyecto al nivel de detalle constructivo. Las estimaciones económicas asociadas a la ingeniería de detalle sirven a los efectos de chequear estimaciones realizadas previamente. Se establece como la estimación de costo asociada al Proyecto en esta etapa la Clase 1 definida según la AACE N°. 18R-97 con el objetivo de retroalimentar estimaciones previas. Los entregables de la ingeniería de detalle deben ser suficientes para: el plan de compras de materiales, equipos, curva de personal, procesos constructivos, metrados, procura de equipamiento, etc.

2.4.3 Gestión de la Procura

La Gestión de la Procura o Adquisiciones del Proyecto “incluye los procesos necesarios para comprar adquirir productos, servicios o resultados que es preciso obtener fuera del equipo del proyecto. La organización puede ser la compradora o vendedora de los productos, servicios o resultados de un proyecto” (PMBOK, Quinta Edición).

Además en el PMBOK menciona que la Gestión de Procura “incluye la gestión del contrato y de control de cambios requeridos para desarrollar y administrar contratos u órdenes de compras emitidos por miembros autorizados del equipos del proyecto”. También la misma organización dice que la “Gestión de Procura incluye el control de cualquier contrato emitido por una organización externa (el comprador) que esté adquiriendo entregables del proyecto a la organización ejecutora (vendedor), así como la administración de las obligaciones contraídas por el equipo del proyecto en virtud del contrato” (2013:355).

Según el PMBOK, la Gestión de la Procura del Proyecto, se puede involucrar los siguientes procesos¹:

- **Planificar la Gestión de la Procura:** Consiste en documentar las decisiones de adquisiciones del proyecto, especificar el enfoque e identificar a los proveedores potenciales.
- **Efectuar la Procura:** En este proceso se obtiene respuesta de los proveedores, seleccionarlos y adjudicarles un contrato.

¹ PMBOK Edición 2013. PMI

- **Controlar la Procura:** El proceso de gestionar las relaciones de adquisiciones, monitorear la ejecución de contratos y efectuar cambios y correcciones según corresponda.
- **Cerrar la Procura:** En este proceso se finaliza o cierra la Procura del Proyecto.

Entonces en un proyecto IPC, después de llegar a la etapa de la Ingeniería Básica Extendida ya se puede iniciar con elaborar la planificación de la Procura del proyecto.

La cadena de suministros tiene que estar sincronizado en cada fase para poder entregar de manera satisfactoria.

2.4.4 Gestión de la Construcción

Quizá la etapa de la construcción es una de los más desarrollados en el mercado peruano, puesto que son los contratos de este tipo de alcance, los más comunes en nuestro mercado.

En esta etapa del proyecto se inicia a materializar, después de generar la ingeniería de detalle y la procura. Para la Gestión en la etapa de la Construcción existen varios corrientes de gestión descritos anteriormente. Los cuales están enfocados en procesos desde el Inicio, la Planificación, Ejecución, Monitoreo y control, y Cierre, como lo describe el PMI.

Además de los procesos antes descritos, en el PMBOK 5ta Edición nos muestra diez Áreas del Conocimiento de la Dirección de Proyectos, válidamente aplicable para la Gestión de Construcción, y son:

- Gestión de la Integración del Proyecto.
- Gestión del Alcance del Proyecto.
- Gestión del Tiempo del Proyecto.
- Gestión de los Costos del Proyecto.
- Gestión de la Calidad del Proyecto.
- Gestión de los Recursos Humanos del Proyecto.
- Gestión de las Comunicaciones del Proyecto.
- Gestión de los Riesgos del Proyecto.
- Gestión de las Adquisiciones del Proyecto.
- Gestión de los Interesados del Proyecto.

Estas diez Áreas del Conocimientos interactúan con los cinco grupos de Procesos descritos anteriormente, la cual es una base para la Gestión de la Construcción en proyectos IPC.

Adicionalmente a las Áreas descritas, en la extensión del PMBOK se describen las siguientes, que no son una metodología estándar en todos los proyectos, pero si son aplicadas en los de construcción:

- Gestión de Seguridad
- Gestión de Medio Ambiente
- Gestión de Finanzas
- Gestión de las Reclamaciones

Además de las buenas practicas que trae el PMBOK y como su extensión, que generalmente muestra el que hacer para tener proyectos exitosos, también existe otras asociaciones que explican el cómo hacer, y que además tienen bastante aceptación en el mundo de la construcción como son el Lean Construction Institute (LCI) y el AACE International.

2.4.5 Gestión del Comisionamiento y Puesta en Marcha

La Gestión del Comisionamiento el cual se puede sub-dividir en Pre-Comisionamiento y en Comisionamiento propiamente dicho; y finalmente la puesta en Marcha, son parte de la etapa de final de la Construcción sin estás no podemos decir que el proyecto está culminado, puesto que una vez finalizado estás etapas se pasa recién a la Operación del Proyecto. Estas etapas son obligatorias de ejecutar en proyectos de alta complejidad como son las Centrales Hidroeléctricas. Entonces podemos definir estas etapas del proyecto:

- **Gestión del Pre-Comisionamiento:** Es la etapa donde se verifica la calidad y el buen funcionamiento individual de los diferentes elementos que componen al sistema construido, por ejemplo, una vez finalizado el montaje de una turbina de una Central Hidroeléctrica se verificará que cada elemento que lo compone funcionara sin ninguna falla una vez que opere el sistema en conjunto. En esta fase también se cumple múltiples pasos que generalmente lo contemplan en los contratos, como inspección visual, mecánico, pruebas en sitio, etc.
- **Gestión del Comisionamiento:** La diferencia con el Pre-Comisionamiento es que en esta fase las pruebas se ejecutará a todo el sistema en conjunto en condiciones simuladas. Su objetivo es que el proyecto cumpla con el objetivo establecido en la etapa de diseño, en cuanto a calidad, niveles de potencia, etc. Esta etapa del proyecto puede ser iterativo hasta lograr la conformidad.

- **Gestión de la Puesta en Marcha:** Una vez superado la etapa de Comisionamiento se ejecutará la Puesta en Marcha del Proyecto en su conjunto. Que consiste ver el funcionamiento del sistema completo y el cual se debe dar en las mismas condiciones que cuando va Operar. Por cual se tendrá que ser verificado mediante indicadores de medición o protocolos que garanticen el buen funcionamiento y demás alcances estipulado en el contrato para esta etapa del Proyecto. Una vez evaluado el buen funcionamiento del Proyecto en un plazo determinado ingresa a la etapa de Operación, esta etapa ya está fuera del alcance de un contrato IPC.

CAPÍTULO III: GESTIÓN DE LA INGENIERÍA DE DETALLE DE LA PRESA

3.1 GENERALIDADES

Cuando la empresa Contratista ingresa a la etapa de licitación del Proyecto IPC Central Hidroeléctrica Cerro del Águila el cliente tenía una Ingeniería Básica del Proyecto, con el cual inicio el concurso. El CRM tenía que competir con otras cinco empresas y/o consorcios que pugnaban con obtener la buena pro del mismo. El CRM viendo que existían entre los postores empresas asiáticas, concluyó que no podía competir optimizando costos a la ingeniería planteada por el cliente por ello se estableció que para ganar un proyecto IPC, como esté, se tenía que hacer una revolución en la Ingeniería. Es así se logró, mediante socios estratégicos, cambios significativos que agregan Valor al producto final del cliente, entre las modificaciones se realizó:

- Reubicación del eje de la Presa y el incremento de la altura del mismo de 40 m a 88 m.
- Reducción casi del 30% de la longitud del túnel de Conducción, con lo cual se evitó que el riesgo geológico de encontrar rocas de mala calidad en el tramo inicial (por efecto de la meteorización) por estar cerca a la superficie.
- Eliminación de cuatro desarenadores, dado que al incremento de dimensiones de la Presa y su ubicación, esta cumpliría con esta función.
- Reubicación de la Casa de Máquinas, ubicado en cavernas, a un área de rocas de mejor calidad geológica, para mitigar los riesgos. Ya que lo presentado por el cliente se ubicaba en lugares donde existía fallas geológicas y relleno coluvial.
- Al modificar el eje de la Presa y aumentar la captación de mayor caudal y reubicación de la Casa de Maquinas conlleva a que se incrementara el área de las secciones del Túnel de Conducción, Pique de Presión y túnel de Descarga.

En el cuadro N° 3.1 se muestra las diferentes fases de la licitación:

Cuadro N° 3.1 Alternativas presentadas por el Contratista (Elaboración propia)

Descripción		Bases		Alternativas Presentadas por Consorcio Río Mantaro			
				1ra. Fase		2da Fase	Fase Final
		Unidad	Cantidad	A	B	C	C1
Datos Técnicos	Caudal	m ³ /s	200	200	250	200	210
	Caída Neta	m	242.68	273.88	273.88	273.88	273.88
	Potencia	MW	405	475 (480)	600	475 (480)	504 (510)

Finalmente el Valor que busca el cliente es generar una mayor potencia (más mega watts) y que además que sean rentables. Fue esa la solución que le brindo el CRM (ver Figura N° 3.1).

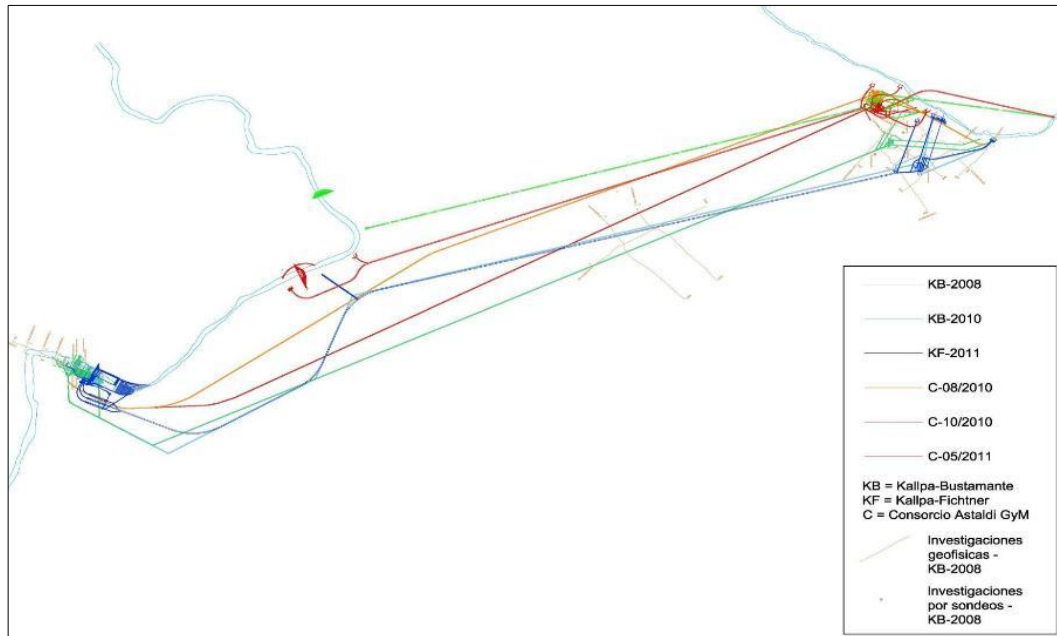


Figura N° 3.1 Escenarios durante la Licitación (Fuente: CRM)

De lo mencionado anteriormente, se nota que una de las estructuras que sufrió mayores cambios fue la Presa, el cual será estudiado en este informe.

Finalmente el CRM se adjudicó el proyecto con una Ingeniería Básica distinta al del cliente

3.2 CONFORMACIÓN DEL EQUIPO HUMANO

Una vez que fue adjudicado el Proyecto IPC al CRM, como se mencionó con una Ingeniería Básica distinta a la que propuso el cliente, el contratista inicio la ejecución de una Ingeniería Básica Extendida o Consolidado de las diferentes obras definitivas del proyecto, como un paso previo a la Ingeniería de Detalle; esto al ser una proyecto “fast-track” y Llave en Mano, se debía comenzar su construcción inmediatamente, por lo cual las definiciones del alcance, plazos, costos, financiamiento, procesos de constructabilidad, Procura etc, se tenía que realizar lo antes posible, por lo cual se optó por tener una Ingeniería Básica Extendida. Para la Ingeniería Básica (etapa de licitación) se tenía una primera empresa sub-contratista de ingeniería la cual fue reemplazada por otra que dentro de su alcance debía realizar la Ingeniería Básica Extendida, Ingeniería de Detalle o Ejecutivo y el acompañamiento técnico durante la construcción hasta la

puesta en marcha. La empresa encargada, con matriz en Suiza, es pionero en el diseño de Presas de concreto. Esta sub-contratista de ingeniería se encargará de ejecutar la Ingeniería de Detalle de todas las obras civiles permanentes del proyecto y el acompañamiento de las mismas; las estructuras permanentes son:

- Presa.
- Túnel de Conducción.
- Túnel de Desvío.
- Minicentral.
- Caverna de Casa de Maquinas.
- Pique de Presión.
- Chimeneas de Equilibrio.
- Túnel de Descarga.
- Otras obras subterráneas y superficiales.

La ejecución de la ingeniería de detalle de las obras complementarias y la supervisión del sub-contratista será por parte del CRM. Las estructuras complementarias son las siguientes:

- Accesos permanentes y provisionales.
- Puentes.
- Plantas Industriales de Concreto y Trituración.
- Laboratorios, Talleres y Almacenes, Campamentos etc.

Finalmente la estructura del área de Ingeniería del Frente Presa y del Proyecto en general fue según el organigrama (ver Figura N° 05 del Anexo III)

El equipo de obra encargado de desarrollar la Ingeniería de Detalle tuvo las siguientes restricciones y ventajas como grupo humano:

- Los socios que conforman al CRM, al ser uno de Italia y el otro de Perú, existe marcadas diferencias de las culturas de país (idioma, calidad de vida, costumbres, etc.) como de empresa (ritmo de trabajo, sistemas de gestión, etc.), lo cual toma un tiempo para que trabajen de manera sincronizada.
- El sub-contratista al ser europeo tiene algunas normas y/o simbologías son distintas a las americanas, al cual los ingenieros peruanos están acostumbrados, por ende para su entendimiento y seguimiento resulta algo más dificultoso.

- La ventaja de que uno de los socios del CRM es europeo, igual que el sub-contratista de ingeniería, ayuda a engranar el trabajo de manera más fácil, sea por el dominio del mismo idioma o similitud de estilos de trabajo.
- Al ser un proyecto Llave en Mano y “Fast Track” a la vez, se tiene que conformar equipos altamente especializados en Centrales Hidroeléctricas o específicamente en Presas y que sean de primer nivel; lo cual es dificultoso encontrar en el medio peruano. La curva de aprendizaje de estos profesionales retrasa, sino perjudica, el buen performance de los entregables.

3.3 EVOLUCIÓN DEL DISEÑO DE LA PRESA

Como se comentó párrafos arriba, el cliente en la etapa de licitación presento una Presa de concreto de 40 metros de altura, aguas arriba del eje final de la misma que desarrollo el CRM. El contratista ejecutó durante la licitación una Ingeniería Básica de la Presa, cambiando el eje de la Presa por ende las dimensiones tanto en altura, longitud de la cresta y volumen de la misma. Entonces podemos resumir la evolución del diseño de la Presa de la siguiente manera:

- **Ingeniería Básica – Etapa de Licitación (Cliente):** Se Presenta una Presa de Gravedad de Concreto Convencional Vibrado, de una altura de 40 m., ubicado aguas arriba del eje real de la Presa.
- **Ingeniería Básica – Etapa de Licitación (CRM):** En esta etapa el contratista presentó, en la etapa final de licitación, un proyecto distinto a las bases del cliente. Se cambió la ubicación de la Presa, moviendo el eje hacia aguas abajo, con lo cual las dimensiones y características cambiaron siendo una Presa de 80 metros de alto y a base de concreto convencional vibrado con un proceso constructivo a base de bloques (ver Figura N° 3.2).

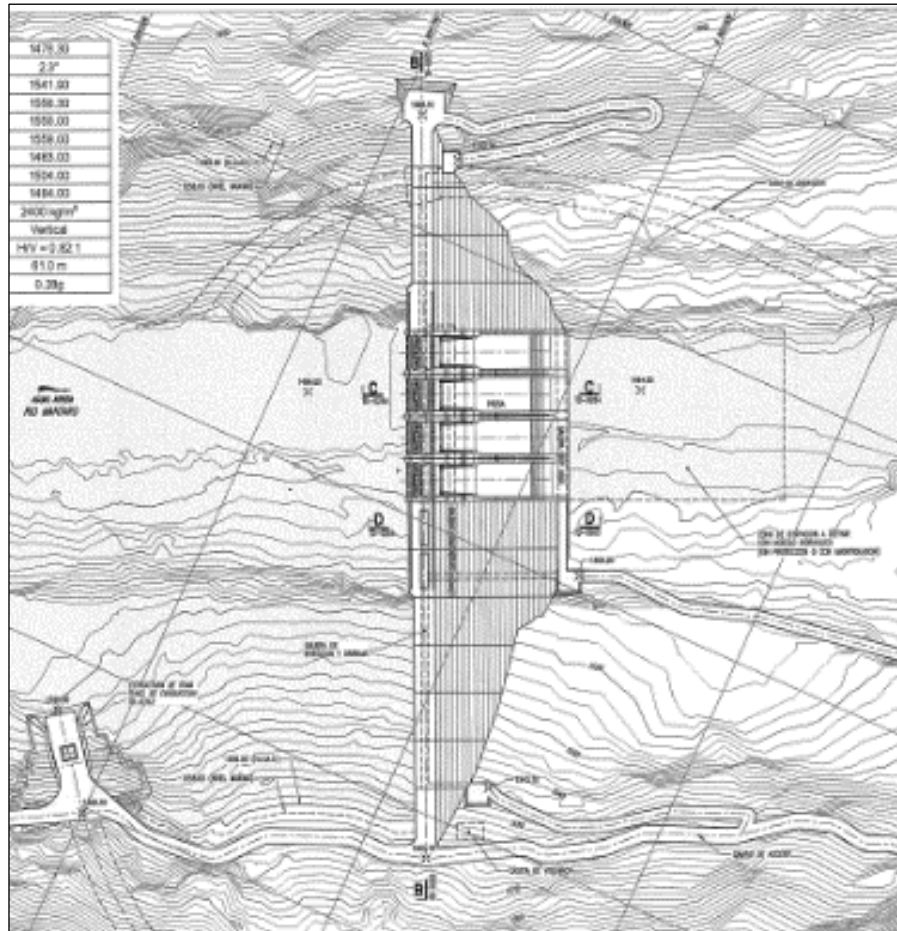


Figura N° 3.2 Planta de la Presa – Ingeniería Básica Cliente (Fuente: CRM)

- **Ingeniería Básica Extendida (CRM):** Para poder ejecutar acciones como la gestión de la procura de las obras hidromecánicas de la Presa, como los blindajes y compuertas de las descargas de fondo, compuertas radiales de los vertederos y otros, se elaboró una Ingeniería Básica Extendida donde finalmente se definió la geométrica de la Presa de concreto convencional vibrado (ver Figura N° 3.3).

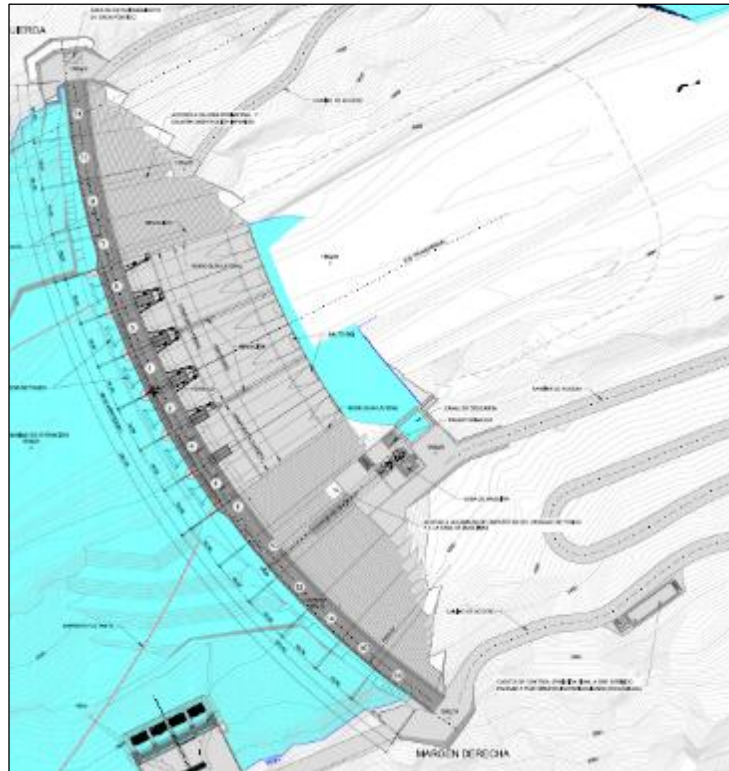


Figura N° 3.3 Planta de la Presa – Ingeniería Básica Extendida (Fuente: CRM)

- **Ingeniería de Detalle Inicial (CRM):** En esta etapa se conservó como base los lineamientos del diseño de la Ingeniería Básica Extendida, pero se elevó a un nivel de Ingeniería de Detalle o para construcción. Para lo cual se implementó los sistemas auxiliares como los equipos de transporte y vaciado de concreto, planta de concretos etc.
- **Ingeniería de Detalle Final (CRM):** Al tener retrasos en la construcción de las obras precedentes para ejecutar las obras de la Presa, como son los accesos, se decidió modificar la Ingeniería de Detalle Inicial. Los principales cambios se refieren a la introducción de un Concreto Compactado con Rodillo que aumentará la velocidad de vaciado, la ejecución de inyecciones desde galerías, utilización de elementos prefabricados y otros.

3.4 DISEÑO DE CONCRETO

3.4.1 Ensayos de laboratorio

Siendo el concreto el elemento principal y utilizado de manera masiva en la ejecución del cuerpo de Presa, se estudiará los ensayos necesarios de

laboratorio. En primer lugar se realiza la selección de las canteras a utilizar con los siguientes estudios:

- **Estudios Geológicos y Litoestratigráfica:** Consiste en estudiar la geología de la zona de canteras sobre la base de los levantamientos y observaciones en sitio y a la secuencia litoestratigráfica de la zona de la cantera en la margen izquierda del río Mantaro la cual comprende 3 formaciones, una el substrato rocoso y 2 depósitos superficiales cuaternarios (ver Figura N° 06 del Anexo IV).
- **Estudios Geomecánicos de los Sistemas de Discontinuidades del Macizo Rocos:** En el macizo rocoso de la cantera se llevó a cabo un levantamiento geomecánico con la finalidad de mapear los sistemas de discontinuidades encontradas. El grado de alteración del macizo rocoso expuesto es de moderado a alto ya que en gran parte se observa suelo residual.
- **Sondeos y Ensayos en la Zona de Cantera:** Para investigar las propiedades geomecánicas y geotécnicas de la roca de la zona de canteras se efectuaron tres perforaciones (longitud total de 91.10 m)

Al finalizar los estudios en la zona canteras, donde se extraerán los agregados para la Presa, el CRM concluye lo siguiente:

- En la zona de canteras se encuentran 3 formaciones evidentes en las que se observan tanto el depósito aluvial como el macizo rocoso aflorante que corresponde al Batolito Villa Azul. Los dos depósitos aluviales de clastos y deposiciones de alta y baja energía correspondientes a los depósitos aluviales.
- Los sistemas de discontinuidades tendrán que ser evaluados constantemente mientras se vayan realizando los trabajos de desbroce y excavación para evitar deslizamientos o caídas de bloques por estabilidad.
- Según el estudio, evaluación de los sondeos, se precisa que la roca es Regular de Clase III.

Las especificaciones técnicas del proyecto solicitaban según el siguiente cuadro N° 3.2:

Cuadro N° 3.2 Especificaciones Técnicas del Proyecto (CRM, 2015)

Tipo	RCC 1	RCC 2	CVC 1	CVC 2
Aplicación	Concreto compactado con rodillo	Concreto compactado con rodillo	Concreto masivo vibrado	Concreto masivo vibrado
Resistencia Característica	15 MPa	12 MPa	15 MPa	25 MPa
Edad (Días)	180	180	180	180
Agregados	0-50 mm	0-50 mm	0-50 mm	0-50 mm
Contenido de cementos puzolánicos	Para cumplir las propiedades	Para cumplir las propiedades	Para cumplir las propiedades	Para cumplir las propiedades
Tiempos de endurecimiento	Min. 4h, max. 16 h	Min. 4h, max. 16 h	-	Min 4h, max 8h
Consistencia	Vebé 20-25 sec.	Vebé 20-25 sec.	Slump 50-90 mm	Slump 50-90 mm
Aditivos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reductores de agua y retardadores del fraguado ▪ Incorporadores de aire 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reductores de agua y retardadores del fraguado ▪ Incorporadores de aire 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reductores de agua ▪ Incorporadores de aire 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reductores de agua ▪ Incorporadores de aire
Densidad	> 2300 kg/m ³	> 2300 kg/m ³	> 2300 kg/m ³	> 2300 kg/m ³
Permeabilidad				< 1*10 ⁻⁹ m/s/m carga hidráulica

Para los cuales plantea realizar ensayos preliminares de los materiales del concreto. En cuanto al cemento se realizará los siguientes ensayos:

- Clase de cemento.
- Análisis químico completo de cada cemento.
- Granulometría.
- Superficie específica (Blaine).
- Calor de Hidratación.
- Curva de fraguado (ASTM C403)

Para los agregados:

- Granulometría (ASTM C33, C136).
- Cantidad de partículas planas y alargadas (ASTM D4791).
- Gravedad específica y absorción sobre agregado grueso y fino (ASTM C127, C128).
- Prueba de desgaste Los Ángeles sobre agregado grueso y fino (ASTM C535, ASTM C131) Ensayo de resistencia a los sulfatos (ASTM C88)
- Reactividad a los álcalis y sílice (ASTM C227, ASTM C289).
- Presencia de piritita

Para las mezclas preliminares de Concreto Compactado con Rodillo (CCR), se plantea estos ensayos:

- Prueba de consistencia (ASTM C143)

- Prueba de consistencia vibrada (ASTM C1170)
- Masa unitaria (ASTM C138)
- Resistencia a compresión (ASTM C39), con 3 (2) muestras cilíndricas.

Y finalmente para la mezcla final de concreto se propone el siguiente listado de pruebas:

- Prueba de consistencia (ASTMC143)
- Prueba de consistencia vibrada (ASTMC1170)
- Masa unitaria (ASTMC138), dos valores/determinación
- Absorción (ASTMC642)
- Resistencia a compresión (ASTMC39) a los 7, 28, 60, 90 y 180 días
- Resistencia a atracción (ASTMC496) a los 28 y 60 días para un total de 6 probetas/mezcla.
- Reactividad a los álcalis y sílice (ASTM C227)
- Medición del módulo elástico de Young (ASTM 469), 2 probetas/mezcla
- Coeficiente de expansión térmica (ASTMC157), 3 valores/determinación (Se utilizarán datos Bibliográficos)
- Calor específico, 3 valores/determinación (Se utilizarán datos Bibliográficos)
- Conductividad térmica, 3 valores/determinación (Se utilizarán datos Bibliográficos)
- Permeabilidad (EN12'390-8, USACECRD-C-48 o equivalente) a 60 o 90 días (solo para el concreto de cara aguas arriba, CVC-2) y 60 días (todos los hormigones), 2 probetas/mezcla.
- Deformación por fluencia lenta (creep) a 365 días, 3 probetas/mezcla (Se utilizarán datos Bibliográficos)
- Contracción (ASTMC512) a 365 días, 3 probetas/mezcla (Se utilizarán datos Bibliográficos)
- Calor de hidratación (ASTMC531) (Se utilizarán datos del primer Terraplén y Bibliográficos)

Y finalmente de los ensayos de laboratorio se obtuvo las dosificaciones (ver cuadro N° 3.3) a ser aplicadas durante la construcción:

Cuadro N° 3.3 Dosificaciones Aplicadas en la Presa (CRM, 2015)

Tipo	RCC 1	RCC 2	CVC 1	CVC 2
Aplicación	Concreto compactado con rodillo	Concreto compactado con rodillo	Concreto masivo vibrado	Concreto masivo vibrado
Resistencia Característica (MPa)	15	12	15	25
Resistencia Promedio en Control (MPa)	15 < fcj < 19	12 < fcj < 14	15 < fcj < 19	25 < fcj < 30
Edad (Días)	180	180	180	180
Consistencia/ Asentamiento	VeBé 20+5 sec.	VeBé 20+5 sec.	Slump 100+ 25mm	Slump 100+ 25mm
Cemento (kg/m³)	130	100	200	280
Agua (kg/m³)	130± 2 (*)	132 ± 2 (*)	190 ± 5 (*)	185± 5 (*)
Arena (kg/m³)	1095	1104	985	948
Agregado [25-5 mm] (kg/m³)	795	815	605	565
Agregado [50-25 mm] (kg/m³)	275	275	400	380
Aditivos	Retardador (**)	Retardador (**)	Plastificante (***) Retardador (**)	Plastificante (***) Retardador (**)
Densidad Teórica (kg/m³)	2430 + 20	2430 + 20	2380 + 20	2380 + 20

Durante la ejecución de la Presa se desarrollaron los diferentes ensayos planteados en las especificaciones técnicas, los cuales pasaron dichos requerimientos. En el siguiente Figura N° 3.4 se muestra el comparativo de los ensayos a compresión del Concreto Compactado con Rodillo (CCR):

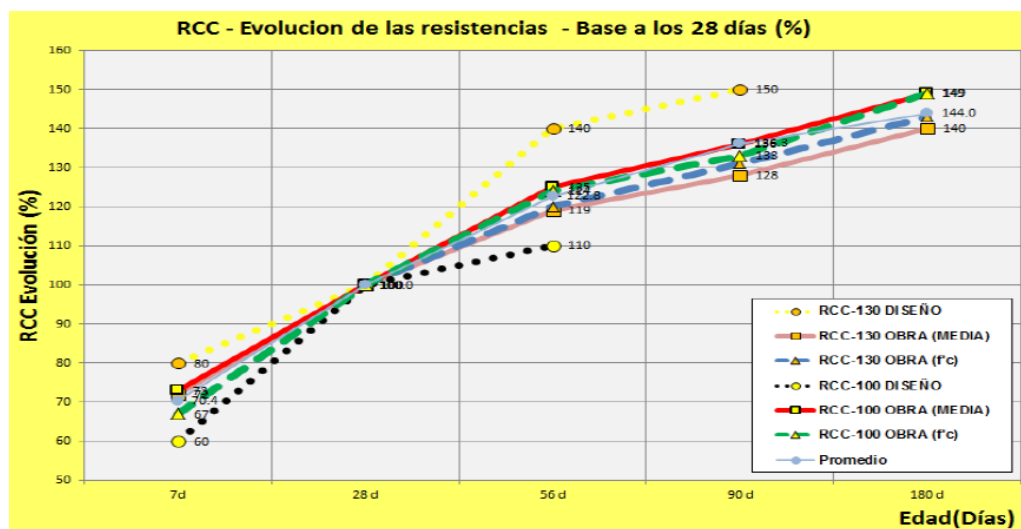


Figura N° 3.4 Evolución de las Resistencia a la Compresión del CCR en Obra (Fuente: CRM)

La Figura N° 3.5 es el resultado de los ensayos a compresión del Concreto Convencional Vibrado (CVC), de las muestras tomados en estado fresco en campo, durante la colocación de concreto en el cuerpo Presa:

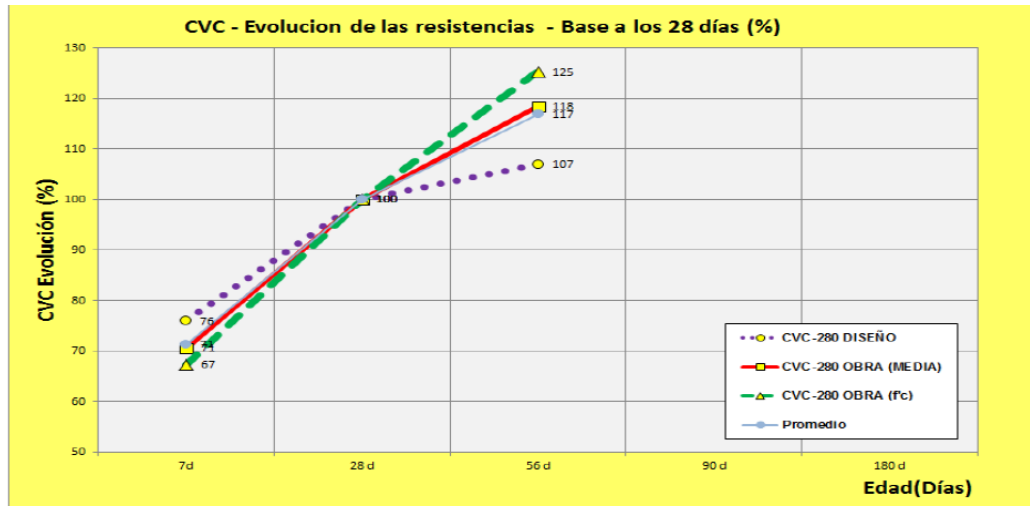


Figura N° 3.5 Evolución de las Resistencia a la Compresión del CVC en Obra (Fuente: CRM)

Además se realiza la extracción de Núcleos de concreto endurecido de la Presa, estas campañas de toma de muestras se realiza para verificar las características de concreto en sitio.

Los resultados obtenidos de la Primera Campaña de Extracción de testigos de concreto es según el cuadro N° 3.4:

Cuadro N° 3.4 Resistencia al Corte (CRM, 2015)

Identificación	Altura h (cm)	Carga de Rotura (kg)	Area de corte (cm ²)	Resistencia al corte (kg/cm ²)	Promedio kg/cm ²	Promedio KPa
RCC-100-2	6.2	4995	114.5	43.62	39.5	3874
RCC-100-2	6.1	3846	108.9	35.31		
RCC-130-2	6.2	2586	117.3	22.05	27.1	2658
RCC-130-2	6.3	3768	117.3	32.12		
CVC-280-1	6.1	9005	117.3	76.77	78.8	7728
CVC-280-1	6.2	9474	117.3	80.77		

Los valores de Resistencia al Corte obtenidos son superiores a los encontrados en otros proyectos.

De igual manera, el CRM concluye que los valores de permeabilidad cumplen con los valores típicos según la Norma ACI 207.5R -11.

Otra de las características estudiados en esta fase es la densidad de los distintos tipos de concretos vaciados tanto CVC y CCR. A continuación en el Cuadro N° 3.5, se muestra la Densidad de un tipo de concreto CCR:

Cuadro N° 3.5 Densidad Diseño CCR-100 (CRM, 2015)

RCC 12 MPa (DISEÑO RCC-100)									
Nº CAPA	PESO (kg)	DIAMETRO (mm) 1	DIAMETRO (mm) 2	DIAMETRO PROMEDIO (mm)	ALTURA (mm) 1	ALTURA (mm) 2	ALTURA PROMEDIO (mm)	Volumen (cm ³)	Densidad (Kg/m ³)
42 y 41	11524.0	142.6	142.8	142.7	299.5	299.7	299.6	4791.6	2405
45 y 44	11419.3	142.4	142.6	142.5	303.0	305.0	304.0	4848.4	2355
47 y 46	11624.9	142.7	142.8	142.8	300.0	301.0	300.5	4809.4	2417
48	11832.8	141.4	141.6	141.5	303.5	303.7	303.6	4774.3	2478
49	11860.9	142.8	143.0	142.9	304.0	303.8	303.9	4874.0	2434
51 y 50	11479.2	143.0	143.0	143.0	302.0	301.0	301.5	4842.3	2371
53	11612.0	142.3	142.5	142.4	301.9	302.1	302.0	4809.7	2414
55 y 54	11645.9	142.7	142.8	142.8	299.0	300.0	299.5	4793.4	2430
59 y 58	11493.0	142.6	142.8	142.7	300.2	300.4	300.3	4802.8	2393
60	11609.4	143.0	142.7	142.9	301.0	303.0	302.0	4840.1	2399
61	11436.3	142.8	142.5	142.7	302.0	300.0	301.0	4810.6	2377
63 y 62	11600.2	142.7	142.6	142.7	300.3	300.3	300.3	4799.4	2417
64	11182.6	142.7	142.5	142.6	298.0	299.0	298.5	4767.3	2346
66 y 65	11101.5	142.6	142.8	142.7	299.5	299.7	299.6	4791.6	2317
66	11072.1	142.9	143.0	143.0	302.0	301.0	301.5	4838.9	2288
DENSIDAD DE CONCRETO								Promedio kg/m ³	2389
								Mínimo kg/m ³	2288
								Máximo kg/m ³	2478

Las conclusiones del CRM respecto al rendimiento de los ensayos a la Resistencia a la Compresión Axial Simple el cual está expresada en MPa/(kg/m³), que resulta entre la división del valor obtenido en el ensayo a compresión (MPa) entre el peso en un metro cubico de concreto del componente cementante (Kg/m³). El resultado en mención es según el Cuadro N° 3.6 y la Figura N° 10 del Anexo IV:

Cuadro N° 3.6 Rendimiento de Concretos de Presa (CRM, 2015)

	RENDIMIENTO MPa/(Kg/m³)		
	CCR (15 MPa)	CCR (12 MPa)	CVC (25 MPa)
Probetas (180 días)	0.17	0.16	0.12
Núcleos (60 a 160 días)	0.14	0.15	0.10
Media Estimada (180 días)	0.12	0.14	0.10

Por lo que el CRM concluye, después de realizar los ensayos respectivos de los diferentes tipos de concretos utilizados en el vaciado de la Presa, que las resistencias axiales simples cumplen ampliamente lo requerido por las especificaciones técnicas.

El CRM para lograr resultados óptimos en toda la etapa de las obras de concreto en el cuerpo de la Presa, contrato a un asesor externo de reconocida trayectoria internacional (distinto al sub-contratista de ingeniería) el cual acompañó desde la Ingeniería de Detalle Final hasta la culminación de los vaciados y ensayos del concreto masivo tanto como CVC y CCR.

3.4.2 Concreto Convencional Vibrado

Los diseños de concretos fueron analizados y estudiados en Laboratorio del CRM con debida anticipación, de esa manera obtener datos confiables para la ejecución definitiva y construcción de la Presa.

Para el CVC se utilizó los siguientes diseños finales (ver cuadro N° 3.7):

Cuadro N° 3.7 Diseños de Concretos CVC Final (CRM, 2015)

Diseños	TIPO DE CEMENTO	RESISTENCIA COMPRESIÓN 180 DÍAS(f'c)	TAMAÑO MAXIMO DE AGREGADO	CEMENTO	AGUA	ARENA (0-5)	GRAVA 1" (5-25)	GRAVA 2" (25-50)	ADITIVO RETARDADOR DE FRAGUA - IMIX RB 100	ADITIVO PLASTIFICANTE MEGAFLOW	PESO UNITARIO TEORICO	SLUMP
Y-CVC-280-1	ANDINO IP	25	50	280	199	923	550	370	0.90	3.6	2327	4" +-1.5"
Y-CVC-280-2	ANDINO IP	25	50	280	185	948	565	380	0.60	2.8	2361	5" +-1"

Los aditivos en mención tienen las siguientes funciones:

- **Megaflow:** Aditivo plastificante de alto rango, para mejorar la docilidad y mantener baja la relación agua/cemento.
- **IMIX RB-100:** Aditivo retardador de fragua, que ayuda a mantener trabajable y proporciona mayor tiempo en colocado, además de controlar la elevación de temperatura por calor de hidratación.

Cabe mencionar estos aditivos vienen en presentaciones en polvo (sacos de 25 kg), la idea fue encontrar un aditivo que nos ayude a disminuir la cantidad de viajes de trasladar hasta la obra (del Puerto del Callao a Huancavelica). Por la cantidad a usar en la Presa, esta estrategia resultar ser bastante beneficiosa. Puesto que un aditivo en presentación líquida contiene agua y esto aumenta el volumen a transportar, por ende mayores costos en flete.

3.4.3 Concreto Compactado con Rodillo

Los diseños de los diferentes tipos de diseños de Concreto Compactado con Rodillo utilizados en la construcción de la Presa se muestran en el Cuadro N° 3.8:

Cuadro N° 3.8 Diseños de Concretos CCR Final (CRM, 2015)

Diseños	TIPO DE CEMENTO	RESISTENCIA COMPRESIÓN 180 DÍAS(f'c)	TAMAÑO MAXIMO DE AGREGADO	CEMENTO	AGUA	ARENA (0-5)	GRAVA 1" (5-25)	GRAVA 2" (25-50)	ADITIVO RETARDADOR DE FRAGUA - IMIX RB 100	PESO UNITARIO TEORICO	CONSISTENCIA VeBe
Codigo		Mpa	mm	Kg/m3	Kg/m3	Kg/m3	Kg/m3	Kg/m3	Kg/m3	Kg/m3	segundos
Y-RCC-140-1	ANDINO IP	15	50	140	138	1298	653	223	2.00	2454	15-30
Y-RCC-130-2	ANDINO IP	15	50	130	129	1065	775	275	2.00	2376	15-30
Y-RCC-120-1	ANDINO IP	12	50	120	137	1310	659	222	2.00	2450	15-30
Y-RCC-120-2	ANDINO IP	12	50	100	132	1084	755	275	2.00	2368	15-30

De igual manera que en el CVC, el CCR se utiliza el aditivo Imix RB-100, con la misma finalidad de ahorrar en fleje del transporte a obra.

En cuanto donde aplicar un CCR de 15 MPa o 12 MPa, se debe principalmente a las características hidráulicas y estructurales que las diferencia. Por ejemplo un CCR de capacidad de 15 MPa es utilizado en zonas más externas, contiguas a las de un CVC, mientras que el CCR de capacidad de 12 MPa se utiliza en la parte central o núcleo del cuerpo de Presa.

3.5 REPLANTEO EN LA INGENIERÍA DE DETALLE DE LA PRESA

Durante la elaboración de la Ingeniería de Detalle, se realizó varias modificaciones a las primeras versiones aprobadas para ejecución. A continuación se describirá algunos de los casos más resaltantes por su impacto en plazo y/o costo de la Presa.

3.5.1 Incorporación de Concreto Compactado con Rodillo

Quizá este cambio fue el más significativo desde la parte de ingeniería, costo y plazo. Como se mencionó la Ingeniería de Detalle inicial contemplaba una Presa a base de concreto convencional en su totalidad, el cual faltando pocos meses para su ejecución se modificó incluyendo, cerca del 50% de su volumen, Concreto Compactado con Rodillo (CCR). A continuación se lista los motivos de dicho cambio:

- La ejecución de la Presa tenía previsto comenzar, y finalmente terminar, con serios atrasados, puesto que las obras complementarios como son los accesos (carreteras) estaban muy retrasados por diferentes motivos.
- Los resultados operativos proyectados del CRM a fin del proyecto estaban por debajo del presupuesto meta, y una de las estructuras que tenía un gran impacto era la Presa, ya que desde la primera estimación (después de ganar la licitación) hasta la obtención de la Ingeniería Básica inicial sufrió un aumento considerable en el volumen de concreto.
- El ingreso de un nuevo Gerente de Proyecto con amplia experiencia en Presas de CCR.

Las soluciones que el CRM ejecutó son las siguientes:

- Contratación de un consultor externo especialista en Presas de concreto (CCR) que refuerce el trabajo ejecutado por el área de ingeniería del CRM y la subcontratista de Ingeniería.
- Se replanteó la Ingeniería de Detalle de la Presa, incluyendo un CCR, que tenga más del 50% del volumen del total de concreto.

A raíz de las soluciones planteadas, se tienen las consecuencias de este replanteo en el diseño de la Presa:

- Reducción del tiempo de ejecución del vaciado de concreto, por lo tanto de la Presa.
- Ahorro de costo en la producción (disminución del porcentaje de cemento) y colocación del concreto masivo (aumento de la velocidad) en el cuerpo de Presa.
- Disminución de las áreas de encofrados, por lo tanto menor alquiler de encofrados.
- Sub-utilización de los equipos de colocación de concreto, porque ya se había comprado en función a la Ingeniería de Detalle inicial el cual contemplaba CVC en toda la estructura y su construcción sería por bloques.

Las lecciones aprendidas de esta modificación a la Ingeniería de Detalle inicial, de incluir CCR en la Presa, son las siguientes:

- El Blondin o grúa con cables, es eficiente cuando se realiza el vaciado solo en CVC pero más no con el CCR. Por lo cual si se tiene una Presa mixta (CVC y CCR en cantidades similares), es mejor idear otros equipos más convencionales como bombas de concreto (para CVC) y fajas (para el CCR) y torres grúas para el traslado de materiales (acero, encofrado etc.). Porque al elegir utilizar Blondin será difícil recuperar el valor de rescate (venta) una vez concluido los trabajos, ya que son bastante caros, al ser equipos generalmente fabricados con especificaciones particulares para cada proyecto.
- No se debe limitar el uso del CCR solo por no ser tan conocido en el Perú, ya que con un buen equipo de ingeniería su aplicación es sencilla, con grandes beneficios tanto en costo como en plazo.

3.5.2 Cambio en las Inyecciones

Los tratamientos de la roca en la zona de apoyo de una Presa se dividen en tres grandes grupos: por una parte los tratamientos de consolidación, ejecutados para mejorar la estabilidad, deformación e, incluso, la resistencia del terreno excavado; tratamientos de impermeabilización, para reducir la permeabilidad natural del mismo y tratamientos de drenaje, para reducir el efecto de las presiones intersticiales sobre el cimientado de la Presa.

Por los retrasos de las actividades precedentes a las inyecciones de consolidación (excavación, concreto de nivelación) se modificó la etapa donde se debe ejecutar y desde donde se realizaran las perforaciones, a continuación las causas que motivaron dicha variación:

- Retrasos en la ejecución de la Presa y las inyecciones de consolidación estaban en la ruta crítica en la construcción de la Presa, porque la Ingeniería de Detalle inicial planteó ejecutar antes de los vaciados masivos de concreto.
- Se encontró, mientras se avanzaba la excavación, un lecho rocoso de menor calidad del previsto, tanto en los estribos como la zona de cimentación, el cual podía demorar las inyecciones.

Las soluciones son:

- Quitar las actividades de las inyecciones de consolidación de la ruta crítica, modificando su punto de aplicación y sin ser predecesora del vaciado masivo de concreto, eso se evitó mediante la construcción de galerías en el cuerpo de Presa.

Los efectos debido a los cambios y soluciones adoptados son:

- Disminución del plazo de ejecución de la Presa, al retirar las inyecciones de consolidación de la ruta crítica.
- Incrementar galerías internas dentro de la Presa, el cual interfirieron con las actividades del vaciado masivo de concreto, pero el impacto fue menor que si se dejaba las inyecciones en la ruta crítica.
- Cambio de la metodología de perforación y aumento de longitud de los taladros, porque se elevó la cota. Por lo que el tiempo de ejecución de las inyecciones de consolidación se extendieron frente al diseño inicial.

Las lecciones aprendidas de este replanteo son:

- Realizar un análisis del impacto técnico, económico y de plazo, que resulta cambiar el procedimiento convencional en cuanto a la aplicación de las inyecciones de contacto, que generalmente es antes de iniciar el vaciado masivo, a uno aplicado desde las galerías internas.
- Tener en cuenta que el riesgo de no cumplir las pruebas o las especificaciones técnicas son más altas, porque se tiene menor espacio para manipular los equipos de perforación e inyección de lechada de cemento. Además tener en cuenta que los ángulos de perforación de

taladros se va incrementar sustancialmente para cubrir la superficie de inyección, que de igual manera la altura.

- Al generar más galerías de inyección, se va afectar la velocidad de vaciado del concreto masivo, más si es CCR, que es más efectivo su aplicación cuando tienen mayor superficie para ser extendido.

3.5.3 Uso elementos Prefabricados de Concreto Armado

Otra de las contribuciones para optimizar plazo y costo fue el usar elementos prefabricados, básicamente vigas de concreto armado, para cubrir las descargas de fondo, coronamiento de los pilares de compuertas, galerías perimetrales e inyecciones y otras estructuras. Esta modificación fue motivada por lo siguiente:

- Retraso en el inicio de las obras de concreto en Presa.
- Aumento de galerías interiores en el cuerpo de la Presa
- Buscar ahorro en plazo y costo, en las zonas de interferencia.

La solución planteada por el CRM (2014) fue lo siguiente:

- Utilizar vigas prefabricadas, para lo cual se construyó un taller de fabricación cercano a la zona de Presa, en vez de vaciar las vigas en sitio que es un proceso más lento (tanto el vaciado y fraguado).

A raíz de los cambios y soluciones planteadas, resulto lo siguiente:

- Reducción del tiempo en el techado de cavidades en la Presa, por lo tanto la disminución del plazo de ejecución de la Presa en total.
- Ahorro en costo frente a la fabricación en sitio, ya que la planta de fabricación de elementos prefabricados era rentable por la cantidad de vigas a utilizar en su mayoría de dimensiones similares, por lo que su producción era continua. También se evitó utilizar complejos sistemas de encofrado y andamios para el vaciado en sitio, ya que las galerías llegaban en algunos casos a superar los diez metros de altura.
- No se interrumpió el vaciado continuo del concreto masivo, evitando así tener equipos y personal en espera (stand by); como también contribuyendo a reducir el plazo de ejecución de la Presa.

Las lecciones aprendidas de la implementación de vigas prefabricadas son los siguientes:

- La interrelación entre elementos prefabricados y los concretos masivos es amigable, ya que están lista al instante para recibir carga.
- Si la cantidad de elementos prefabricados es grande, tener en cuenta que es necesario un área adecuada para montar la planta de fabricación, y

está sea masiva y continua. Además para poder apilar una vez alcanzado su resistencia de diseño.

3.5.4 Cambio Geométrico

Los principales motivos para que exista un cambio geométrico en el cuerpo de la Presa se dio por razones geo-estructurales. Esto debido al momento de la excavación se encontró la roca de la calidad sugerida para la cimentación de la Presa, según el expediente técnico, cotas inferiores del proyectado. Causando que la cimentación sea más profunda y amerite una revisión estructural por la nueva configuración.

A continuación se describe las causas del cambio en la geometría de la Presa:

- Esta actualización fue motivado porque se encontró una mala calidad de roca en el nivel (cota 1480 m.s.n.m.) de la cimentación que la Ingeniería de Detalle indicaba, principalmente en los bloques centrales.
- El anterior punto, obligó que la excavación sea más profunda (sobre-excavación) hasta llegar a la cota 1472 m.s.n.m., donde se encontró roca firme de la calidad que se especifica en el proyecto.
- La calidad de roca en los estribos en la cota indicada en el proyecto no fueron los adecuados para el apoyo de la Presa, por lo que se generó sobre-excavaciones en diferentes niveles tanto en la margen izquierda y derecha del río Mantaro.

De acuerdo a lo expuesto en los puntos anteriores, se planteó la siguiente solución:

- Al incrementar la altura de la Presa, llevó a modificar la cimentación, añadiendo un tacón (aguas abajo) para cumplir con las normas en cuanto a la estabilidad de la estructura. En la figura N° 3.6 se muestra el esquema de las dos geometrías de los bloques centrales. En el lado izquierdo la sección A antigua con el paramento recto en el tacón de aguas abajo según el proyecto inicial, en el lado derecho la sección B nueva y efectiva con tacón de aguas abajo con paramento inclinado.

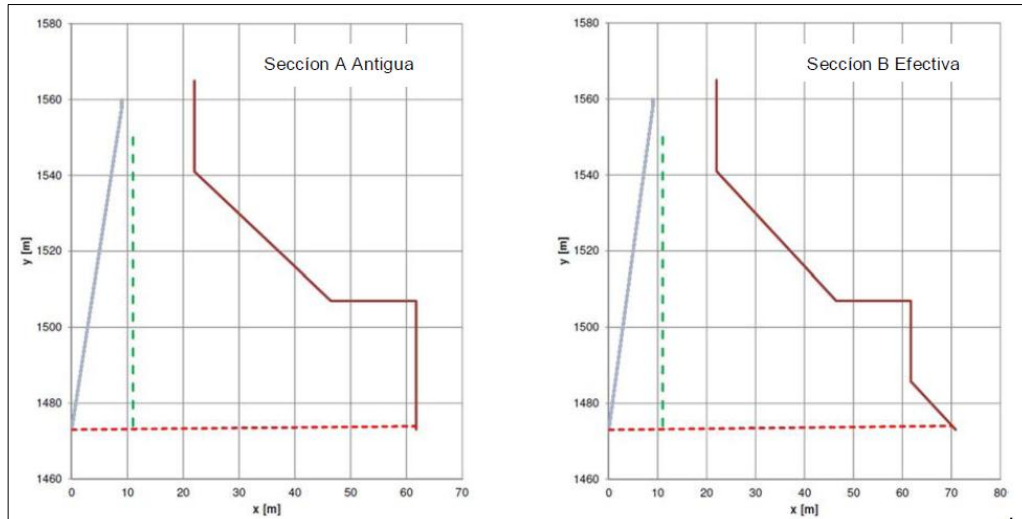


Figura N° 3.6 Esquema de las dos geometrías de los bloques centrales. (Fuente: CRM)

Las consecuencias de estos cambios son los siguientes:

- Incremento de la altura de la Presa en 8 metros aproximadamente.
- Aumento de volumen de excavación que significa mayores horas maquinas, horas hombre, aumento de material explosivos y mayor área del lecho rocoso a limpiar, mayor volumen de concreto y en general el incremento de costo del proyecto al ser un contrato llave en mano.
- Retraso en el plazo de la ejecución de la Presa, al estar la excavación y vaciado de concreto el ruta crítica de dicha estructura.

A continuación se brinda algunas recomendaciones, para este proyecto en particular, que nos sirva como lecciones aprendidas:

- En el análisis de riesgos económico y de plazo se debe considerar la parte geomecánica, ya que los estudios en esta especialidad manejan cierta incertidumbre en sus resultados.
- Desde la parte contractual se debe incluir y/o buscar involucrar al cliente en las cláusulas del contrato, al momento de repartir los riesgos geomecánicos.
- Cualquier cambio en la geométrica de la Presa, debe ameritar una revisión geo-estructural para verificar si cumplen las normas vigentes de diseño.

CAPÍTULO IV: GESTIÓN DE LA PROCURA

4.1 GENERALIDADES

Para iniciar el desarrollo de este capítulo, es necesario recordar que el Proyecto tiene un alcance IPC, por lo cual el CRM es el encargado de liderar la Procura. Además el Proyecto se desarrolló en el distrito de Colcabamba, provincia de Tayacaja, departamento de Huancavelica – Perú. La distancia aproximada, por vía terrestre, entre Lima y a la zona de construcción de la Presa es 450 km.

Además los equipos y materiales, principales, sean importados o nacionales vienen desde la capital del país.

Además el diseño y construcción de la Presa se traslapan y por lo cual la Procura en algunos casos inicia antes de tener una Ingeniería de Detalle.

4.2 ADQUISICIÓN DE MATERIALES Y EQUIPOS PARA LA PRESA

En primer lugar se ejecuta un Programa de Aprovisionamiento de Materiales, Equipos y Subcontratos, el cual está preparado en función al cronograma de trabajo del Proyecto. El CRM implementó en su sistema de gestión, para garantizar un control adecuado, los siguientes procedimientos:

- Evaluación preliminar de los proveedores de los materiales permanentes pedidos por contrato, en referencia a la complejidad y características del producto o servicio entregado.
- Definición y revisión de los documentos de compra antes de la emisión.
- Pruebas, controles y ensayos sobre los productos entregados.

Además las compras se realizaran en base a una Listado General de Proveedores elaborado por el CRM y alimentado por la base de data de los socios, donde se indica los datos, características y es está apto o no para ser invitado a participar en una licitación.

También el CRM implantó un control de las adquisiciones de los materiales principales, entre ellos está los permanentes, el cual consiste en elaborar secuencialmente lo siguiente:

- **Pedido de Obra (PDO):** Este documento en formato Excel (con numeración correlativa por especialidad), es emitido por el Superintendente del área interesada, es Aprobado electrónicamente por el Gerente del área interesada y enviado por correo electrónico al Jefe de Procura (JP). Este documento se genera ante la necesidad de efectuar la compra de materiales, productos, equipos, etc.

El PDO emitido es revisado por el JP y enviado al Almacén, quien verifica la disponibilidad de lo requerido en los almacenes de cada sector (stock). En caso de Disponibilidad, el JP autoriza al Almacén para que entregue lo solicitado y cierra el ítem del PDO. En caso de No Disponibilidad, se autoriza al Almacén para que genere en el sistema de base de datos BAAN la Solicitud de Compra (SC) y comunica al área de Compras. Los PDO generados para materiales permanentes y maquinarias, serán gestionados de acuerdo a instrucciones particulares definidas por el Gerente del Proyecto (GP) y el CTA y en estos casos el PDO es Solicitado por el Responsable de Materiales permanentes y Aprobado por el Jefe de Ingeniería (JI) y para Maquinarias solicita el Jefe de Equipos (JE) y aprueba el GP.

El PDO debe de contener toda la información necesaria para la correcta identificación del producto, y todo lo requerido al respecto como especificaciones, normas técnicas, planos, códigos, fabricante, etc. Así mismo, la elaboración de los PDO debe estar organizada de acuerdo a tipos de materiales y/o necesidades, evitando consignar en un solo formato distintos tipos de materiales. El Jefe de Almacenes revisa y mantiene actualizado un registro de PDO emitidos/atendidos.

- **Solicitud de Compra (SC):** Almacén revisa los PDO generados y compila aquellos que requieren materiales de similares características; y en caso de No Disponibilidad prepara la SC en el software BAAN, asignando un código único a cada material/ítem solicitado según el software BAAN. Al culminar el registro del PDO, el sistema genera un número de SC. La SC debe contener la información suficiente para la correcta identificación del pedido. Para repuestos urgentes solicitados para maquinaria parada (break down), las compras pueden ser solicitadas poniendo en la SC la nota "Maquina Parada" para apresurar el envío. El responsable de Almacén revisa y actualiza el registro de los SC emitidos y envía semanalmente una copia del registro al Jefe de Administración, el JP y GP.
- **Orden de Compra (OC):** Para la emisión de la OC, el JP cumple con la búsqueda de mercado para obtener la mejor cotización, posteriormente se hace la tabulación de las mismas y la elección final que tiene que ser

documentada por medio de la emisión del “Criterio Comparativo de Selección” o la “Comparación de Ofertas” según sea el caso.

Las OC emitidas y con el sustento adjunto son aprobadas en función al monto.

Si la compra de materiales, productos, equipos, etc. es mayor de los límites previstos en los poderes del GP y/o mayor de los límites previstos en el Presupuesto de Proyecto, la aprobación del CTA es necesaria.

La OC debe ser identificada con numeración progresiva, un código para rápida identificación, la descripción del producto, la cantidad, las condiciones comerciales del mismo, el Centro de Costos para control interno y toda la información aplicable.

El comprador se asegurará que el Proveedor reciba y confirme la orden.

El expeditor revisa y mantiene actualizado un registro de todas las OC emitidas en el registro “Situación de Órdenes de Compra Locales” con la indicación de los que están cerrados y envía cada semana una copia a ADM/GP.

En el caso de compra por motivos de “emergencia o en el caso de compras menores” ADM revisará y autorizará esta compra directa por caja chica; estas compras deberán ser sustentadas ante el GP.

- **Solicitud de Transporte:** Para el traslado de materiales, maquinarias, repuestos, etc., son emitidos, según las necesidades, por los funcionarios interesados y aprobados por el Jefe de Procura e informados al GP. Se requiere la aprobación del GP antes que sean gestionados.

Tanto para los materiales y equipos se utiliza los procedimientos antes mencionados.

Entre los materiales suministrados tanto para la excavación de cimentación y producción de concreto (450 mil m³) son:

- **Cemento:** Por el volumen del concreto a utilizar en el cuerpo de la Presa, se realizó un contrato con la única cementera que existe en la zona centro del país, por ser la más cercana, para que se pueda abastecer en la presentación a granel. Para lo cual se realizó la compra de 36 camiones tipo bombona con una capacidad de 30 toneladas, los cuales transportaban en promedio 28 t netos. Además se subcontrató el abastecimiento de concreto a granel, para satisfacer la demanda en picos

del vaciado. La forma de pago fue por tonelada puesto en obra, el cual era verificado mediante una balanza electrónica instalado al ingreso a la zona de descarga.

También se utilizó cemento en bolsas, para las inyecciones de consolidación e impermeabilización. Los cuales son transportados por plataformas de 30 t. (700 bolsas).

- **Aditivos:** Los aditivos retardante de fragua y plastificante fueron importados de Europa, por resultar más económico pese a los procesos de importación y transporte. Puesto que estos tenían una presentación en polvo (sacos de 25 kg) y resulta menos peso que un aditivo liquidado, el cual contiene una proporción de agua. Para realizar un transporte de 450 km y en grandes cantidades la diferencia es sustancial, entre transportar un aditivo en polvo a uno líquido.
- **Acero corrugado:** En un inicio la adquisición del acero se realizó de una productora nacional, pero para el pedido masivo se optó por importar, ya que era más económico el precio unitario puesto en obra, además que las especificaciones técnicas en ambos casos cumplían con las normas internacionales.

La mayor parte del concreto armado en la Presa está en los pilares de los vertederos; cuando se inició con la procura para la importación del acero se tenía una ingeniería básica extendida, por lo que el metrado se obtuvo por medio de la cuantía preliminar. Además para que la importación sea más rentable se mencionó que la compra debería ser en un solo lote. El resultado fue que se adquirió mayores cantidades a lo que especificaba la ingeniería de detalle final. Que se terminó rematando el sobrante, además que el mal almacenaje un grupo fue como chatarra.

- **Explosivos:** La Procura de este tipo de material es especializado, puesto que requiere cumplir con múltiples disposiciones gubernamentales para su compra, transporte, almacenamiento etc. Se utilizó para excavación de las fundaciones de la Presa y explotación de las canteras para la producción de agregados finos y grueso del concreto. Por la gran cantidad a utilizar en el Proyecto se optó por tener un polvorín principal en la ciudad de Pampas, y otro polvorín secundario en los frentes de trabajo para almacenar los residuos de cada pedido.

Para la adquisición de los equipos a utilizar en las diferentes fases de la construcción de la Presa, se basó en programa master vigente, además se tenía una ingeniería básica extendida, aún no se contaba con la Ingeniería de Detalle final. Los principales equipos comprados fueron:

- **Blondin:** Este equipo es una grúa con poleas y cuerdas, el cual tiene implementado un balde de una capacidad de 9 m³, adicional se le puede acoplar un gancho para izar o transportar diferentes materiales y/o equipos hasta 30 t. de peso. Es un equipo muy versátil y de gran uso si fuera solo una Presa de concreto convencional. Esta compra se realizó antes de incluir el CCR en el diseño de la Presa, puesto que su fabricación es único por cada proyecto y toma proceso largo. Por lo cual su utilización no fue al 100% efectiva.
- **Plantas Industriales:** Se realizó la compra de una planta trituradora de agregados de tres fase de chancado (primaria, secundaria y terciaria) con lo cual se obtiene tanto el agregado grueso y fino. Además se compró una planta de concreto con una capacidad teórica de producción de 500 m³/hora de concreto y el cual estaba equipado con una planta de hielo para controlar el calor terminado del concreto masivo. La procura se ejecutó antes de tener la ingeniería de detalle final.
- **Camiones Bombona:** Para el transporte masivo de cemento a granel se realizó el arrendamiento financiero (leasing) de 36 unidades de camiones bombona, con una capacidad de carga de 30 toneladas de cemento. Los cuales alimentan directamente a los silos de la planta de concreto.
- **Camión Barredor:** Se ejecutó la compra antes de las pruebas a escala en campo, ya durante la ejecución se comparó su rendimiento versus una escobilla mecánica montada en un manicargador, resulta esta última un mejor rendimiento de barrido/m². Por lo cual el camión barredor nunca se utilizó, se podría decir que fue una mala adquisición.
- **Otros equipos:** También se ejecutó la compra de grúas telescópica, bombas de concreto, tractores sobre oruga, excavadora sobre orugas, camiones volquetes convencionales y roqueros, rodillos, perforadora hidráulica vertical (rock drill) y equipos de inyección.

A continuación se mencionará las principales dificultades que se presentaron y las soluciones efectuadas para la Procura de los materiales y equipos:

- Falta de una Ingeniería de Detalle a tiempo, para definir las cantidades y características específicas de los material y/o equipos.

Para cubrir esta necesidad se trabajó con la Ingeniería Básica extendida. Pero lo cual no fue suficiente ya que en algunos casos se falló al determinar la cantidad del producto, como fue en la adquisición del acero corrugado.

- Contar con cemento de manera constante para la producción masiva de concreto, teniendo en cuenta que la distancia entre el punto de abastecimiento (Tarma) hasta la Presa (Colcabamba) es aproximadamente 250 km, es complicado. Además se necesita una flota de más de 40 camiones bombonas y la disponibilidad de la planta de producción de cemento al momento de la carga, ya que al ser el único proveedor se tiene paradas por espera en la carga y existe mucha variabilidad.

Al no encontrar una subcontratista con la flota suficiente para abastecer y garantizar la demanda del equipo de construcción, la solución fue realizar un arrendamiento financiero para adquirir 36 camiones bombonas e implementarlos con un Sistema de Posicionamiento Global (sus siglas en ingles GPS), para ser monitoreado en el tramo de los 250 km de recorrido, además de nombrar a un responsable con la función exclusiva de la gestión del transporte del cemento.

Las lecciones aprendidas que se puede rescatar de este subcapítulo son:

- Al requerir la compra de un equipo especial para la colocación y tratamiento del CCR debe ser validado por más de un especialista, como en el caso de un equipo para la limpieza de la superficie de concreto en estado endurecido para luego colocar otra capa de CCR, puesto que según sus experiencias sugerirán la compra. En este caso se demostró que la compra de un camión barredor fue una equivocación, porque tiene menor rendimiento que una escobilla mecánica montado en un minicargador.

4.3 LOGÍSTICA

Parte principal en la cadena de suministros es la Logística que llevado a cabo de manera eficaz, eficiente y oportuna la compra, transporte, almacenaje y distribución de los materiales y equipos necesarios para la ejecución del Proyecto, nos asegura los flujos de producción no paren.

Por la magnitud y ubicación geográfica la gestión del transporte y almacenes es complicada. El principal problema fue el transporte de los componentes del concreto, por ser en grandes volúmenes, como es el cemento. A continuación se listará los desafíos enfrentados en los 250 km de recorrido y las soluciones planteadas:

- Al tener una sola vía para transporte pesado entre (Huancayo-Presa), se vio interrumpida el paso de los camiones bombonas por los trabajos de pavimentación de más de un año entre las ciudades de Huancayo y Pampas-Tayacaja. Además cabe resaltar que estos riesgos de interrupción lo asume el contratista sin posibilidad de reclamo hacia el cliente.

Para solucionar dicho inconveniente se sincronizo la llegada, de los camiones, a tiempo en la ventana que ofrecían para el tránsito (una hora) durante todo el día. Este procedimiento se aplicó tanto en ida y vuelta. Además se creó puntos de descansos cercanos al punto de bloqueo de la vía, ya que una vez esté libre ser los primeros en lograr el paso.

- Teniendo una flota cerca de 50 camiones bombonas, distribuidos en grupos de seis, el tránsito es intenso. Además al ser gran tramo de la ruta es no pavimentada el problema social que se enfrenta por el paso entre poblaciones urbanas y rurales, ante la posible contaminación ambiental sea sonora, tráfico o generación de polvo, es casi inevitable.

La solución fue implementar cisternas de agua para el regado de la vía no pavimentada, para el control de polvo en los puntos donde existan poblaciones alrededor de la carretera, pese a que eran vías nacionales y el trabajo le corresponde al estado. Además se implementó las políticas estrictas del respeto a las comunidades al dar siempre preferencia en el paso a vehículos menores, animales, peatones etc, más allá de las normas vigentes.

Otros de los retos es la gestión de almacenes, a continuación se describe alguno de ellos:

- No culminar la construcción a tiempo del almacén principal de la Presa, ocasiono de no contar con espacio para almacenar cercana a la zona de operación, en la etapa inicial de la construcción.

Para solucionar se creó almacenes satélites, entre ellas en la ciudad de Pampas, la principal de todas, que sirvió para la descarga de los

materiales que llevaban en grandes volúmenes, y que luego eran trasladados a los otros almacenes satélites en vehículos de menor dimensión.

- Por el gran volumen de materiales utilizados, ocasionó que la actualización del stock de materiales y el control en la salida de los mismos, no se realice de manera eficiente y oportuna, generando en muchos casos la ruptura del flujo de la producción. Pese a que se tiene ya establecidos procedimientos en Plan de Gestión del Proyecto y la utilización de software para el manejo de la base de data.

La solución de dio creando un listado restringido de personas estratégicas para el retiro de materiales de almacén, llamado firmas autorizadas, para garantizar que los responsables de las estructuras tengan bajo control la solicitud de los diferentes materiales.

Las lecciones aprendidas en este subcapítulo son lo siguiente:

- Se debe contemplar o distribuir los riesgos en cuanto a las interrupciones de las vías, que no sea fuerza mayor, entre el Cliente o colocar clausulas en el contrato donde se pueda compensar en situaciones ajenas al contratista. Además que tener planes de contingencia ante eventos que afecten el transporte de materiales y equipos.
- En lo posible se debe contar un almacén adecuado desde el arranque de las obras, ya que no contar con ellas será muy difícil mantener el flujo de producción sin interrupciones.

4.4 SERVICIOS CIVILES, HIDROMECÁNICOS E INSTRUMENTACIÓN

Otro de los aspectos importantes en la Gestión de la Procura es la subcontratación o adquisición de servicios de terceros a la organización. El CRM para la ejecución de los trabajos de encofrado, las obras mecánicas para regular la parte hidráulica y el control, durante la operación, de estabilidad, filtración y otros, con instrumentos mecánicos y electrónicos de la Presa, decidió subcontratar puesto que no es el giro de su negocio realizar estas actividades y además que existe empresas especializadas y más eficientes en el mercado nacional y mundial.

A continuación mencionaremos algunas dificultades para la gestión de estos servicios y las soluciones planteadas:

- Al momento de cerrar el contrato con el proveedor no se tenía la Ingeniería de Detalle por lo cual definir el alcance real del suministro de encofrado se volvió tedioso.

La solución planteada fue generar un contrato a precios unitarios, alquiler de cada elemento por día. El alcance general del contrato no fue de manera muy específica, además de implementar un flujo de comunicaciones con el área de ingeniería, para que inmediatamente se tenga la Ingeniería de Detalle se traslade al proveedor de encofrados para la fabricación de los elementos.

- El cierre de los servicios Hidromecánicos se realizaron con la Ingeniería de Detalle de la Presa aún por concluir, corriendo muchos riesgos. Se planteó que cualquier modificación de la Presa solo debía ser en las obras civiles, puesto que el tiempo de fabricación de los elementos mecánicos (compuertas, blindajes) toman bastante tiempo.

Las lecciones aprendidas en la subcontratación de servicios especializados son las siguientes:

- Al definir el alcance del contrato para los servicios Hidromecánicos e Instrumentación de la Presa, debe ser un IPC para que el riesgo sea asumido por el especialista. Además la finalización del alcance, de los subcontratos, debe concluir después de que dichos trabajos sean aceptados por parte del Cliente al Contratista principal. Que generalmente son aceptados después de una prueba completa de toda el sistema de la central hidroeléctrica, por lo que la finalización del montaje hidromecánico, instalación de la instrumentación y pruebas focalizadas, no significa que ya este el trabajo concluido al 100%.

CAPÍTULO V: PROCESOS CONSTRUCTIVO DEL DISEÑO FINAL

5.1 GENERALIDADES

El alcance final a ejecutar consistía en construir una Presa de concreto combinado o mixto entre CVC y CCR en total acumulan aproximadamente 450 mil metros cúbicos y 88 m de altura. Esta Presa será la encargada de embalsar al río Mantaro, para luego ser transvasada mediante un túnel de conducción de 6 km de longitud y cerca de 100 m² de sección, y entregada por un pique vertical de 10 m. de diámetro hasta llegar a una Casa de Maquinas en caverna la cual acoge a tres unidades de generación compuesta por 03 turbinas Francis. Las 03 unidades son capaces de generar 504 MW de potencia instalada. El alcance es IPC, con un contrato a suma alzada o llave en mano y la Ingeniería de Detalle y la construcción de traslapan (“fast track”). La ubicación de la Presa está ubicada en el distrito de Colcabamba, provincia de Tacayaca, departamento de Huancavelica, a una distancia aproximada, por vía terrestre, de 450 km desde Lima capital de Perú.

5.2 PLANEAMIENTO Y PROGRAMACIÓN DE LA PRESA

5.2.1 Planeamiento Operativo

Para ejecutar el Planeamiento Operativo del proyecto y por ende de la construcción de la Presa, se elaboró una Estructura de Descomposición del Trabajo (EDT), o Work Breackdown Structure (WBS) en inglés, que servirá como base para identificar el alcance de las actividades a un nivel de poder cuantificar e identificarlos para las diferentes etapas de la gestión. A partir de la EDT se podrá elaborar la Estructura de Descomposición de la Organización (EDO) donde se asignaran los responsables de cada actividad.

A continuación mostramos la EDT en Nivel 02 (ver Figura N° 5.1) de la construcción de la Presa:

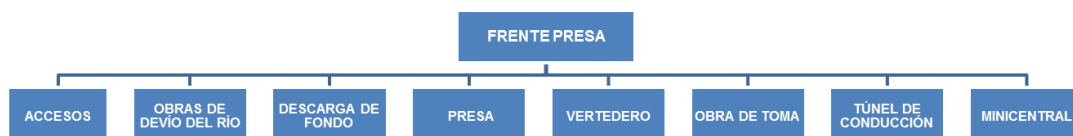


Figura N° 5.1 EDT Nivel 02-Frente Presa (Fuente: Propia)

5.2.2 Programación de actividades

El proyecto se inició las actividades en el mes de noviembre del 2011, con las obras preliminares tanto en los Frente Presa y Casa de Maquinas. En la figura N° 5.2 se podrá visualizar la programación de línea base elaborada al inicio del proyecto. A continuación se muestra un comparativo entre el programa previsto versus el real (ver figura N° 5.2).

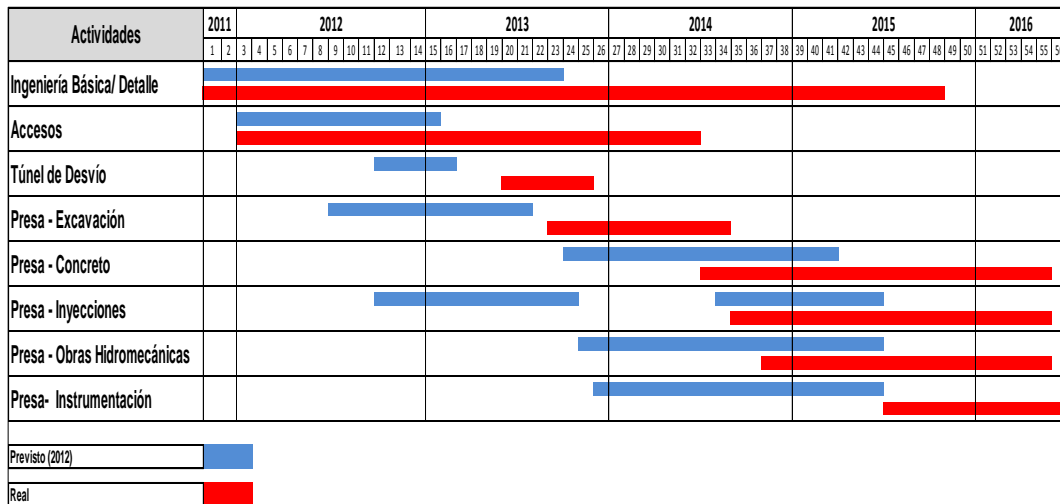


Figura N° 5.2 Programa Previsto vs Real del Frente Presa (Fuente: Propia)

La programación de línea base desarrollada al inicio de la obra, fue concebida antes de tener la Ingeniería de Detalle final en muchas de las actividades importantes o en su defecto con una ingeniería ejecutiva mal planteada. Además de la mala evaluación de los riesgos que posteriormente impactaron en el plazo. Una vez ya detectado el retraso y ante la inminente desfase de la ruta crítica se decidió cambiar la ingeniería y por ende el proceso constructivo de la Presa. Las principales causas del desfase fueron:

- No tener un estudio adecuado geotécnico del área donde se desarrollaría la vía de acceso principal a la zona de Presa.
- Retrasos de permisos arqueológicos y liberación de terrenos donde pasa el eje de la vía.

A raíz de dichos evento desencadenó el comienzo tardío de las obras en sí de la Presa, que al final tuvo un retraso de doce meses calendarios.

Las dificultades que enfrentó el equipo del CRM al momento de desarrollar el Planeamiento y Programación de las obras del Frente Presa y las soluciones dadas fueron:

- No contar con una ingeniería de detalle en muchas de las estructuras importantes. Por lo cual se optó basarse en una ingeniería básica y en algunos casos con una ingeniería de detalle preliminar.
- Tener mucha variabilidad en las estrategias constructivas, por múltiples factores endógenos y exógenos. Como los retrasos en las obras preliminares, en la obtención de licencias y/o permisos, múltiples frentes de trabajos de manera paralela, ubicación geográfica complicada, dificultades de centralizar comunicación por estar distantes las estructuras (hasta un día de viaje con camioneta).

Se estableció personal de soporte cercano a las diferentes estructuras para obtener la situación real de manera oportuna e interactuar con los ejecutores finales.

- No tener una base de datos histórica con ratios adecuados para ejecutar una buena programación y además de contar con el soporte fluido de los especialistas. Por lo que se realizó múltiples reuniones de planificación y programación con los diferentes responsables, además siempre guiados por Gerente de Proyecto.
- Tener dificultad de enfrentar a un equipo de trabajo con diferentes culturas de trabajo y vida, por tener empresas socias de diferentes continentes.

Para mitigar dicho efecto cultural, se conformó equipos mixtos (de ambas empresas) y así se logró tener la empatía con los distintos equipos de trabajo.

Las lecciones aprendidas, en este subcapítulo de Planeamiento y Programación son:

- Cuando aún existe muchas indefiniciones en la ingeniería no se podrá elaborar una adecuada EDT.
- En la programación de las actividades se recomienda la metodología del Último Planificador (Last Planner) para mitigar la variabilidad de un proyecto complejo con el estudiado.
- Si se quiere implementar una metodología de gestión o herramienta, como por ejemplo la del Último Planificador se va encontrar gran resistencia en el equipo objetivo, más si solo una de las empresas predica dicho sistema de gestión. Por lo cual si el gerente de proyecto no se involucra en ello será casi imposible que funcione.

5.3 OBRAS PRELIMINARES Y COMPLEMENTARIAS

5.3.1 Accesos

El acceso en si no es parte del funcionamiento de la Presa o la central Hidroeléctrica, pero como no existe un vía terrestre al punto de construcción de las estructuras claves del proyecto; la construcción de las carreteras se vuelve parte de la ruta crítica.

El retraso en la excavación y relleno en la construcción de las vías era evidente, por lo cual se modificó la estrategia de la secuencia construcción, de la siguiente manera:

- La estrategia inicial fue culminar el acceso principal hasta la zona de Presa, para luego realizar la apertura de vías internas para los diferentes puntos (estribos de Presa, túnel de desvío etc.). Pero por el retraso considerable se ejecutó un plan de aceleración que consistía en el traslado de equipos de excavación por vía aérea (helicóptero de 10 t. de capacidad) y así iniciar la construcción de los accesos internos sin necesidad de culminar la vía principal.
- Se incrementó cuadrillas de excavación, en la carretera principal, en diferentes progresivas, algunos de ellos fueron implementados con equipos por vía aérea.

El alcance era entregar una vía lastrada con material seleccionado, por lo cual se separó en dos etapas, la primera de ellas fue en terminar la excavación hasta un nivel de transitabilidad de los equipos para la excavación de la Presa, traslados de materiales, equipos de perforación para los túneles y otros. Y la segunda etapa consistió en culminar la excavación y relleno hasta el nivel de la rasante y con los anchos solicitados.

5.3.2 Plantas de concreto y agregados

La construcción de una planta de concreto y de producción de agregados grueso y fino es fundamental cuando se necesita construir una Presa de 450 mil m³ de concreto.

Una vez habilitado el tránsito vía terrestre hasta la zona de Presa se comenzó con la construcción de las plataformas donde se alojan las plantas industriales. El proceso constructivo que se desarrolló fue:

- Excavación masiva (algunos acaso con explosivos) para el área de chancado primaria, secundario y terciario de agregados. De igual manera para el área de la Planta de Concreto.

- Una vez culminado la excavación, se construye las losas de concreto armado donde se va montar las estructuras mecánicas.
- El montaje electromecánico consiste en ensamblar todas las piezas de las plantas y posteriormente realizar el comisionamiento del sistema de producción agregados y producción de concreto de manera individual, y si es positivo, se realizará todo el sistema en conjunto (trituradora y concreto).
- Culminado el comisionamiento se realiza las pruebas en condiciones reales y si cumple se continúa con la producción de concreto sino, se desechan y se vuelve al paso anterior.

5.3.3 Obras de Desvío del río Mantaro

Este sistema de obras su función es desviar el curso del río Mantaro, de manera temporal, para permitir la construcción del cuerpo de la Presa.

Consistió en la construcción de dos ataguías ubicadas aguas arriba y abajo del eje de la Presa y construcción de un túnel de 325 m de longitud, de una sección tipo herradura de 103 m² de área transversal, ubicado en la margen izquierda del río Mantaro.

Etapas 01: Construcción del Túnel de Desvío

Una de los hitos importantes para poder avanzar con los trabajos de la Presa, es el desvío del río Mantaro, para ello se realiza por medio de un túnel, el cual atravesara desde aguas arriba hacia aguas abajo, por debajo del macizo rocoso del estribo izquierdo. El proceso constructivo es de la siguiente manera:

- Una vez concluidos los accesos hacia el ingreso y salida túnel, se comenzara con la excavación de los portales.
- En este caso se utilizará perforadoras manuales e hidráulicas verticales para la excavación inicial utilizando explosivos, debido a que no se tenía disponibilidad de equipos más especializados en la zona.
- Una vez concluido con la excavación de los portales, se procederá con el sostenimiento de los mismos.
- El trabajo de sostenimiento del portal de ingreso (aguas arriba del eje de la Presa) es la más complicada porque será la que recibirá directamente al río, se utilizará micro-pilotes, concreto lanzado (shotcrete) con malla electrosoldada o fibra metálica y pernos de anclaje, los cuales se colocaran en el contorno del portal según las especificaciones técnicas.

- Mientas en el portal de salida se utilizara para el sostenimiento con shotcrete, malla electrosoldada y pernos en un área mínima, mientras la gran parte solo será sostenido con pernos y malla.
- Luego de tener listo los portales de túnel, se iniciara con la excavación en si del Túnel de Desvío por ambos portales, hacia el encuentro. Se utilizará una perforadora hidráulica horizontal automática de 03 brazos (Jumbo), puesta que la sección del túnel es de 10 m x 11 m.
- El mayor tramo de los 325 m a excavar se ejecutó desde agua abajo (portal de salida) puesto que ante el riesgo de un desborde del río inunde el área de trabajo (portal de ingreso). El otro punto de porque atacar por aguas abajo es que las obras de concreto (de las rejas) del portal de ingreso se traslapan y generan interferencia.
- Para realizar los trabajos de sostenimiento del túnel, se tiene que recibir el mapeo geológico después de cada voladura, en donde indicara que tipo de sostenimiento corresponde a dicho tramo.

Etapa 02: Construcción de Ataguías

Las ataguías serán un dique capaz de lograr que el río se desvíe en su totalidad o lo suficiente para permitir la ejecución de las obras de excavación y concreto del cuerpo de Presa. Se seguirá los siguientes pasos:

- Se iniciara por la ataguía ubicada aguas arriba, para desviar en su totalidad el caudal del río.
- Se atacara por el margen derecho del río, para lo cual se utilizará equipos pesados como camiones volquetes, excavadoras y tractores sobre orugas.
- Una vez conformado los accesos cercanos al eje longitudinal de la ataguía, se debe iniciar la construcción lazando material rocoso de gran tamaño, que serán trasladado por camiones volquetes y acomodados por una excavadora o tractor sobre oruga, dependiendo de la etapa en que se encuentre; siempre se iniciara de la orilla derecha, y se irá avanzando por tramos hacia el otro extremo por tramos, asegurando tramo parcial no sea susceptible a ser arrastrado.
- Después de acumular material rocoso de tamaño, lo suficiente para no ser arrastrado por el caudal del río, se continuará con el relleno utilizando

material de granular de menor dimensión. Posterior también se utilizará concreto para impermeabilizar la cara aguas arriba.

- Luego de terminar la construcción de la ataguía aguas arriba, y este quede conforme a las especificaciones técnicas; se procederá con la ejecución de la ataguía aguas abajo el cual tendrá un similar proceso constructivo que la primera, con la diferencia que no tendrá mayor dificultad ya que está detrás de la corriente que descarga por el túnel de Desvío.

Las dificultades que se encontró y soluciones dadas durante la ejecución de las obras preliminares y complementarias a la Presa, fueron:

- Falta de un estudio geotécnico adecuado para la construcción de la carretera, lo que conlleva a realizar trazos por lugares complejos como zonas rocosas o con fallas geológicas, cuando existía la posibilidad de ir por tramos adyacentes con mejores condiciones, generando sendos retrasos en plazo y sobrecostos. La solución fue realizar una ingeniería en paralelo con la construcción.
- Retrasos en la liberación de zonas arqueológicas y la compra adicional de terrenos para el ancho de vía por los cambios del eje de vía, el cual fue asumido por el contratista. Para lo cual se conformó un equipo de Gestión Predial, distinto al equipo de Relaciones Comunitarias, el cual fue responsable de la tasación y compra de los terrenos particulares y/o comunales.
- El espacio para montar una planta de concreto de gran dimensión, en una zona de pendientes pronunciadas es reducido y complicado. La planta de concreto debía estar ubicado cerca de la Presa para optimizar los tiempos en el colocación del concreto, por lo cual siempre estuvo expuesto a caídas de las rocas de una cobertura de macizo rocoso de más de dos mil metros. Por lo que para seguir operando se tuvo que instalar barreras dinámicas con la finalidad de contener las rocas que cayeran.

De la ejecución de las obras preliminares y complementarias a la Presa, se pueden obtener las siguientes lecciones aprendidas:

- No se debe subestimar los estudios técnicos, como los geológicos, geotécnicos y geomecánicos en la construcción de los accesos, solo por no ser parte del sistema de generación eléctrica. Ya que al surgir un

retraso afectará toda la ruta crítica del proyecto y por ende la producción energética.

- Cuando el caudal del río Mantaro disminuye en temporada baja, es factible trabajar la excavación del túnel de desvío desde aguas arriba, implementado un dique adecuado para prevenir la inundación. Por lo tanto se puede constituir dos cuadrillas de excavación tanto por aguas arriba y abajo, que generalmente es más factible por la última.

5.4 OBRAS CIVILES DE LA PRESA

5.4.1 Excavación y sostenimiento de talud

El proceso de excavación de la fundación de la Presa se inició una vez que los accesos a estos puntos se culminaron. A continuación se muestra la secuencia constructiva adoptada:

Etapas 01: Excavación y sostenimiento de Estribos

Los trabajos de excavación se iniciaron por los estribos (derecho e izquierdo), utilizando excavadoras y tractores sobre orugas para corte de material suelto y roca fracturada, mientras para roca fija se utilizó perforadoras verticales (Rock Drill) para ejecutar los taladros y posterior voladura. La secuencia constructiva es la siguiente:

- Se inició por el estribo derecho, ya que el acceso principal ingreso por el margen derecho del río Mantaro, mientras que para el inicio del estribo izquierdo se tuvieron que montar un puente y completar los accesos
- Se procedió con la eliminación de material suelto que cubría el área a excavar, producto de la excavación del acceso Fa6.
- La secuencia de excavación se realizó de la cota más alta hacia el punto más bajo, generando banquetas.
- Si la roca es de una calidad mala y las especificaciones lo indican, se colocarán los pernos de sostenimiento entre 6 a 9 m. de longitud. de manera perpendicular al talud. Una vez concluido el sostenimiento continuar con la excavación de los niveles inferiores.
- Evitar en lo posible tirar el material excavado a la parte inferior del área que comprende la fundación de la Presa, ya que finalmente se tendrá que retirar antes de continuar con la excavación, haciendo improductivo el proceso.

- Las voladuras que se van a realizar deben ser controladas, porque que de lo contrario están van a fracturar y generar sobre-excavación en las fundaciones.
- Una vez que se llegó hasta el perfil de la roca competente según las especificaciones técnicas, se procederá a repetir el ciclo.
- No se debe generar cuñas o porciones del macizo rocoso en forma de punta, que puede alterar estructuralmente a la Presa.

Etapas 02: Excavación de la Cimentación

Después de garantizar que la caída de material producto de la excavación de los estribos no se suscitará hacia la zona de la cimentación se procederá con su excavación, según la siguiente metodología:

- Eliminar todo el material excavado de los estribos, mediante volquetes “roqueros” de 15 m³ y excavadoras sobre orugas.
- Se retirara todo el material suelto del lecho, para dar inicio con la perforación de los taladros utilizando perforadoras hidráulicas verticales, para ejecutar las voladuras controladas.
- Evitar la sobre-excavación innecesaria y no generar superficies deformes, que generen dificultad para la limpieza de la roca antes del vaciado del concreto.

5.4.2 Elección de sistemas de vaciados de concreto

El planeamiento de la ejecución del vaciado del cuerpo de Presa estuvo siempre plagado de incertidumbre, por no tener una Ingeniería de Detalle definitiva a tiempo. Es así que en Figura N° 5.3 se muestra como fueron evolucionando los volúmenes en los diferentes cambios de ingeniería, y se iba ajustando en función a la mayor información que se obtenía.

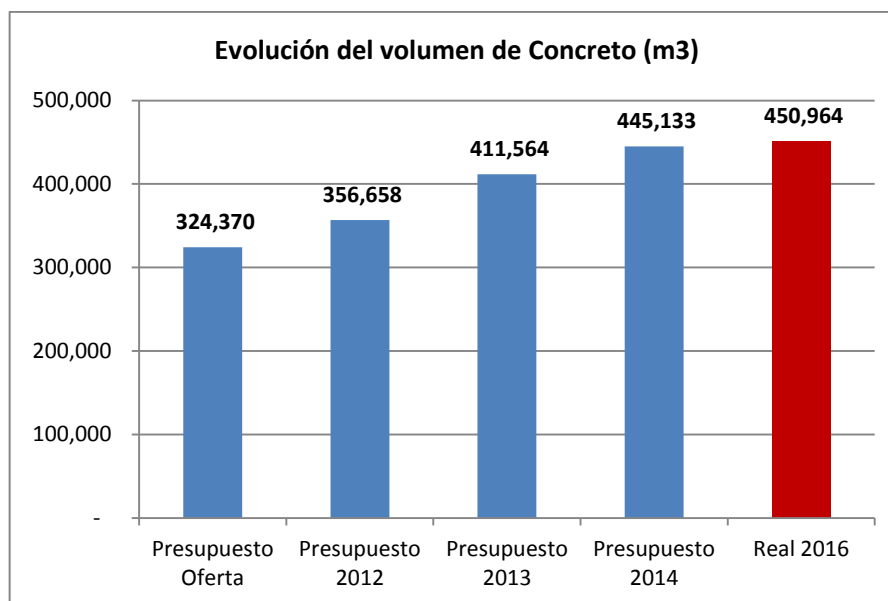


Figura N° 5.3 Evolución del Volumen de Concreto (Fuente: Propia)

Al ser un proyecto donde la ingeniería de detalle es paralelo con la construcción; los planos definitivos no estaban completos aun cuando se iniciaron el vaciado (julio 2014). Es así que el planeamiento actualizado que se realizó en el mes de octubre del 2014, sufrió variaciones en la cantidad total y principalmente por el tipo de diseño (ver cuadro N° 5.1), que al final el volumen de CCR termino siendo menor al de CVC contrario al previsto en la ingeniería elaborada el 2014.

Cuadro N° 5.1 Volumen de concreto Previsto 2014 vs Real (Elaboración propia)

Tipo	f'c Promedio (Mpa)	Volumen Previsto 2014 (m3)	Volumen Real(m3)	Brecha (m3)
HCR1	CCR(15MPa)	80,219	62,427	17,792
HCR2	CCR(12MPa)	176,755	129,043	47,712
HCV1	CCV(15MPa)	26,144	19,181	6,963
HCV1 Dental	CCV(15MPa)	7,881	5,780	2,101
HCV2	CCV(25MPa)	102,437	183,423	-80,987
HCV3	CCV(30MPa)	48,315	47,241	1,074
Prefabricados		3,383	3,869	-486
Total		445,133	450,964	-5,830

También durante la ejecución se fue reemplazando el CCR por el CVC por proceso constructivo, por las siguientes causas:

- Al tener las galerías dentro del cuerpo de Presa, y éstas no estaban del todo definidas generaron áreas que restringían el ingreso de los equipos como el tractor y rodillo.
- La facilidad de colocar y vibrar el CVC frente al CCR, se eligió vaciar la primera en áreas reducidas para acelerar el proceso constructivo, utilizando el sistema Blondin.

La elección del sistema de vaciado se definió antes de iniciar el vaciado, como se comentó en capítulos anteriores, el sistema Blondin fue adquirido pensando que la totalidad del concreto de la Presa sería CCV. Al modificar la ingeniería se incluyó un CCR, por lo que se utilizó los sistemas de vaciado en función a la fase en que se encontraba el vaciado:

- **Fase 01 – Concreto de Nivelación o Dental:** Esta fase comprende la nivelación del terreno excavado, se utiliza CVC, la metodología del vaciado de concreto es mediante bombas de concreto y Blondin. Las bombas de concreto son efectivas en esta fase por la poca altura que existe, más no el Blondin tiene que descender una gran altura.
- **Fase 02 (cotas 1474 – 1493.60 m.s.n.m.):** Esta fase se utilizó un vaciado masivo de CCR con volquetes y en las zonas donde correspondía ejecutar CCV se utilizó el sistema Blondin y bombas de concreto.
- **Fase 03 (cotas 1493.60 - 1505 m.s.n.m.):** En este tramo de la Presa está ubicado las descargas de fondo, por lo que existe gran interferencia y la gran parte fue utilizar vaciado de CVC con Blondin. Y en el tramo menor de la margen derecha se utilizó volquetes para el CCR.
- **Fase 04 (cotas 1505 – 1532 m.s.n.m.):** Predominó el CCR, por lo que se implementó el sistema de vaciado mediante chutes en combinación con volquetes y Blondin. En áreas menores de CVC se utilizó exclusivamente Blondin.
- **Fase 05 (cotas 1532 – 1536.5 m.s.n.m.):** Esta fase está marcado por el inicio de la construcción de los pilares de concreto armado y la interferencia con la galería de inspección superior, por lo que el concreto utilizado fue exclusivamente CVC y el sistema de vaciado fue mediante Blondin.
- **Fase 06 (Cotas 1536.5 – 1547 m.s.n.m.):** El vaciado del concreto para los pilares de los vertederos fue exclusivo con Blondin, en las zonas

laterales de igual manera el CCR su vaciado con Blondin, ya no se utilizó volquetes porque existía interferencias para su traslado e ingreso.

- **Fase 07 (cotas 1547 – 1560 m.sn.m):** Esta fase comprende la zona de coronación de la Presa, donde el concreto es exclusivamente CVC y el sistema utilizado fue el Blondin.

5.4.3 Vaciado de Concreto Convencional Vibrado

En la Presa más del 50% del volumen real de concreto colocado fue CVC, tanto como concreto masivo simple, concreto armado y elementos prefabricados.

La composición por tipo de concreto de la Presa real resulto según la figura N° 5.4:

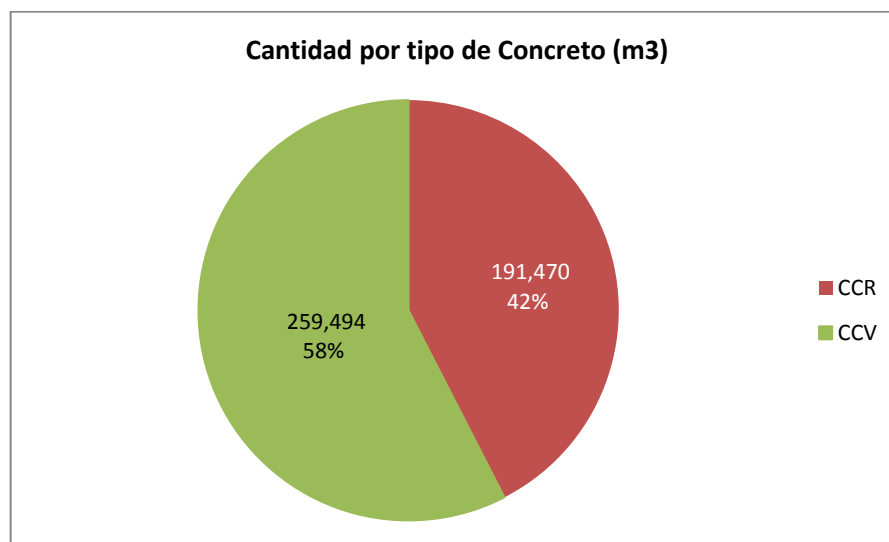


Figura N° 5.4 Cantidad por tipo de Concreto de la Presa (Fuente: Propia)

La evolución mensual del vaciado del CVC se puede visualizar en la figura N° 5.5, dicho vaciado inicio el 09 de julio 2014 con el concreto de nivelación en la fundación.

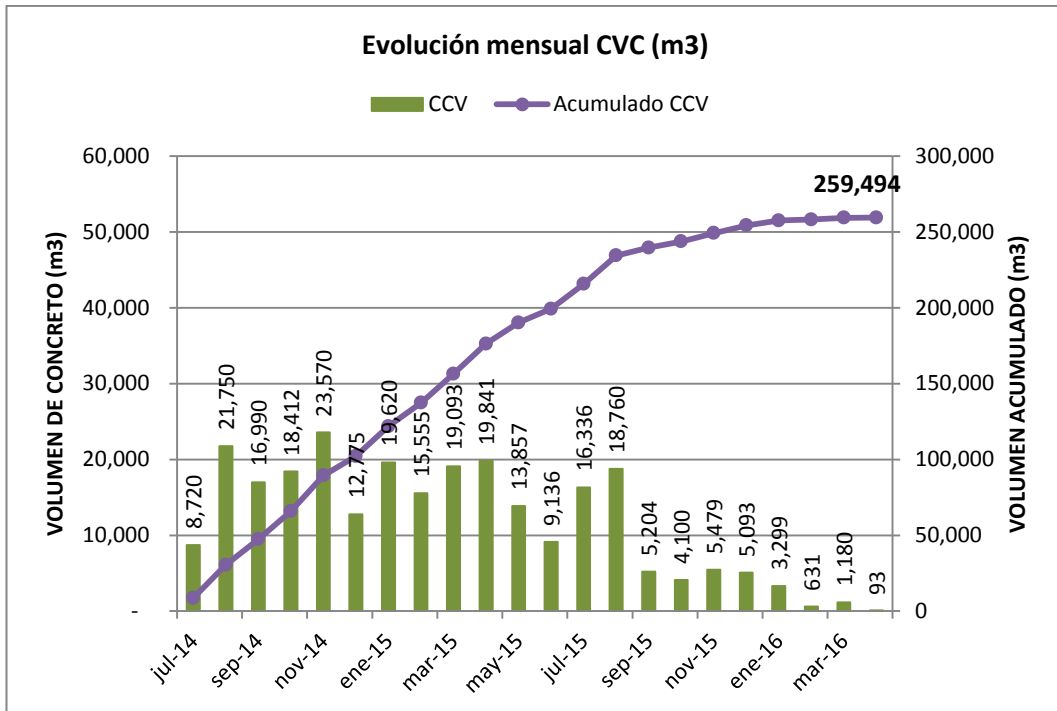


Figura N° 5.5 Evolución mensual del vaciado de CVC en la Presa (Fuente: Propia)

Cabe mencionar que el agregado grueso y fino utilizado en la producción del CVC, fue extraído de las canteras previamente seleccionadas y validadas por el CRM, que posteriormente fueron procesados con un chancado primario, secundario y terciario, y trasladados mediante una faja eléctrica hasta la Planta de Concreto Principal (PCP) donde se realizó la mezcla todo el concreto utilizado en el cuerpo de la Presa.

La metodología del vaciado del CVC masivo simple y armado es según el siguiente procedimiento:

- Antes de iniciar el proceso vaciado del concreto de nivelación, la roca debe estar limpia y su geometría debe cumplir con las especificaciones técnicas.
- Si la estructura es de concreto armado, como en pilares y muros, se instalará el acero corrugado; el cual fue previamente habilitado en el taller.
- Luego se instalará el encofrado mecanizado, verificado que cumpla con las especificaciones requeridas quedara liberado, y se procederá el vaciado de concreto.

- Para el vaciado con bomba de concreto telescópica, será alimentado desde la PCP mediante camiones mixer. La bomba de concreto debe estar lo más cerca posible al punto de vaciado.
- El sistema de vaciado con Blondin radial, será alimentado mediante fajas desde la PCP hasta una tolva y posteriormente a un silo bus el cual alimentara el balde del Blondin en la bahía de carga. Una vez que balde se encuentra cargado será guía mediante el sistema de cuerdas hasta el punto solicitado. El Blondin radial tiene un alcance a cualquier punto de la Presa independientemente de la distancia horizontal o altura.
- Independiente de la metodología de vaciado, el concreto colocado se deberá consolidar mediante vibración, hasta obtener la mayor densidad posible, de manera que quede libre de cavidades producidas por partículas de agregado grueso y burbujas de aire, y que cubra totalmente las superficies de los encofrados y los materiales embebidos. Durante la consolidación, el vibrador se deberá operar a intervalos regulares y frecuentes, en posición casi vertical y con su cabeza sumergida profundamente dentro de la mezcla.
- No se deberá colocar una nueva capa de concreto, si la precedente no está debidamente consolidada.
- Las estructuras serán curadas mediante el empleo de agua para prevenir la pérdida de humedad. Y de igual manera de los elementos verticales una vez retirado el encofrado se realizará el tratamiento del curado.

Para acelerar el proceso constructivo también se prefabrico vigas de concreto armado los cuales fueron instalados en los techos de las descargas de fondos, galerías y base de la losa de coronación. El proceso de fabricación e instalación fueron los siguientes:

- El concreto fue provisto desde la PCP hasta un taller montado cerca de la Presa, donde se realizó la fabricación en serie, haciendo un total de 3,869 m³ en vigas prefabricadas.
- El traslado hasta el pie de la Presa fue realizado por un camión grúa, y luego elevado mediante el Blondin hasta el punto correspondiente. Una vez instalado estaba listado para soportar las cargas muertas y dinámicas según el diseño.

5.4.4 Vaciado de Concreto Compactado con Rodillo

La producción total de CCR se dio en la Planta de Concreto Principal (PCP) o Definitiva, el primer vaciado de Concreto Compactado con Rodillo (CCR) se dio el 21 de agosto del 2014, posterior al inicio del vaciado de CCV que fue el 09 de julio del 2014.

A continuación se muestra la cantidad mensual vaciado de CCR (ver figura N° 5.6):

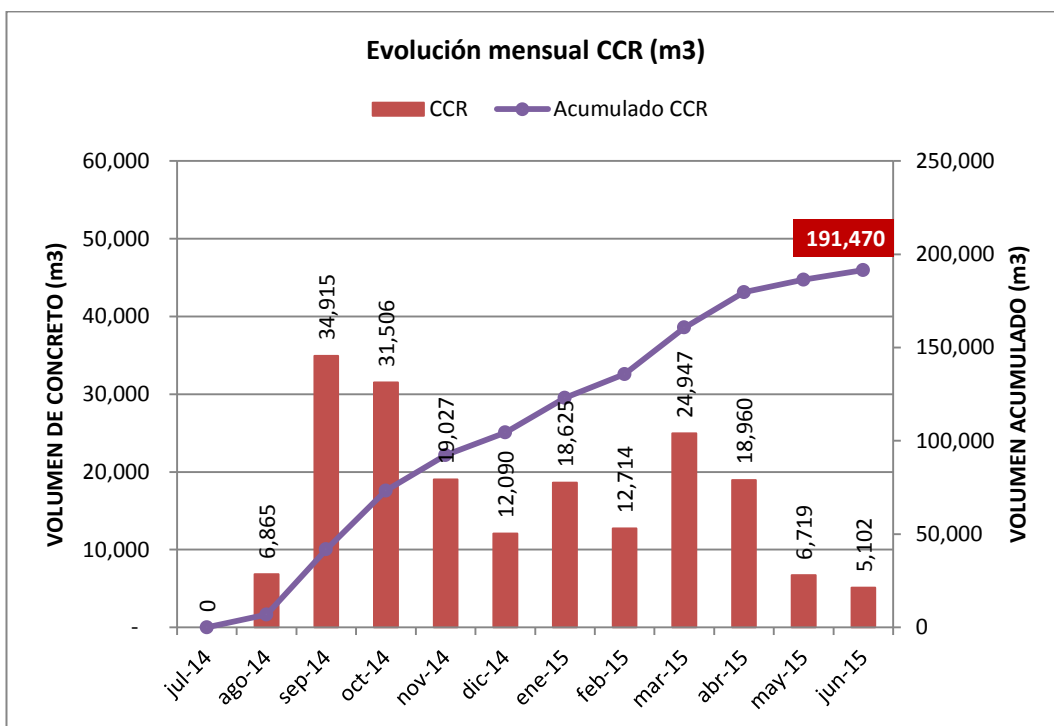


Figura N° 5.6 Evolución mensual del vaciado de CCR en la Presa (Fuente: Propia)

En total se tiene 191,470 m³ de CCR en el cuerpo de Presa (ver cuadro N° 5.2), siendo la producción en planta de 197,799 m³, generando un 3.2 % de desperdicio total (en la producción, transporte, de calidad etc.).

Cuadro N° 5.2 Cantidad por tipo de CCR (Elaboración propia)

Descripción	Und.	Metrado Actualizado Total
CCR (TOTAL)		191,470
CCR(12MPa)	m3	129,043
CCR(15MPa)	m3	62,427

El comportamiento frente al total de concreto colocado se muestra en la figura N° 5.7:

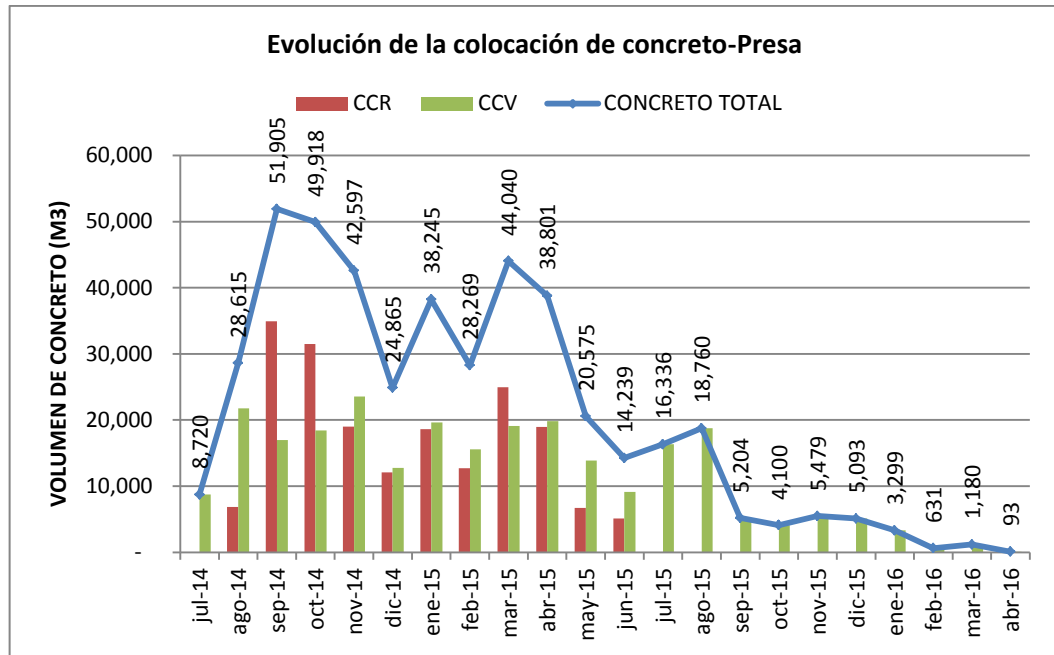


Figura N° 5.7 Evolución mensual del vaciado total de concreto (Fuente: Propia)

El proceso constructivo se ejecutará en varias etapas, a continuación se detalla las más importantes:

Etapa 01: Producción del CCR

La producción del CCR, en su totalidad, se dio en la Planta de Concreto Principal (PCP), según el siguiente proceso:

- Los agregados producidos en las canteras, son tratados según el diámetro requeridos en la planta trituradora primaria, para luego pasar a la trituradora secundaria y finalmente a la trituradora terciaria, donde se acumulará los conos de agregados según la necesidad de producción.
- Desde la planta trituradora terciaria, tanto los agregados finos y gruesos, son transportados mediante una faja hasta la PCP.
- A los mezcladores llegan todos los materiales del concreto, incluido el agua proveniente de la planta de hielo.

Etapa 02: Colocación del CCR

El vaciado del CCR se efectuara de dos maneras mediante Blondin y/o Camión Volquete. La colocación del concreto utilizando el sistema Blondin tiene el siguiente procedimiento:

- El concreto es producido en la PCP y transportado mediante una faja hacia una tolva ubicada en la bahía de carga (cerca al eje de la Presa);

desde dicha tolva se alimenta al silo bus (vagón) el cual a su vez hace lo mismo sobre el balde del Blondin.

- Una vez que el Blondin este abastecido de concreto en la zona de la bahía de carga, este se dirigirá hacia el área indicada para la colocación del concreto en el cuerpo de la Presa. Tanto en la zona de carga como en la de recepción existen un operario maniobrista direccionando los movimientos del balde.
- Se debe tener en consideración que la caída libre del CCR será como máximo 3 m.

Para colocación del CCR se tiene las siguientes cuadrillas reales de equipos (ver cuadro N° 5.3) y mano de obra utilizada (ver cuadro N° 5.4), en el sistema de vaciado con Blondin:

Cuadro N° 5.3 Cuadrilla Equipos- Colocación de CCR con Blondin (Elaboración propia)

Equipos	Marca	Modelo	Cantidad	Actividad
Silo Bus			1	Abastecer al Blondin
Blodin			1	Colocación de concreto
Tractor sobre orugas	CATERPILLAR	D5K	1	Tendido de material
Rodillo Liso	CATERPILLAR	CS-533E	1	Compactación
Rodillo doble con estación	WACKER NEUSON	RD12A-90	1	Compactación complementario
Minicargador con cepillo	CATERPILLAR	246D	1	Limpieza de la superficie

Cuadro N° 5.4 Cuadrilla Mano de Obra Colocación de CCR – utilizando Blondin (Elaboración propia)

Categoría	Cantidad	Actividad
Capataz	1	Supervisión
Operario	1	Operar Silo bus
Operario	1	Operar Blondin
Peón	2	maniobristas de Blondin
Operario	4	Equipos pesados

Cabe mencionar para el proceso de colocado del CCR mediante el sistema Blondin, los trabajos se ejecutaron en dos turnos (Día y noche); en cada turno

con dos cuadrillas de equipos (exceptuando el silo bus y blondin) y la mano de obra.

En la figura N° 5.8 se observa la ubicación del sistema de vaciado con el Blondin radial.



Figura N° 5.8 Elementos del Vaciado con Blondin (Fuente: Propia)

El otro sistema de colocación del CCR mediante camiones volquetes se desarrollará según los siguientes procesos:

- El concreto es producido en la PCP y transportado mediante una faja hacia una tolva ubicada en la bahía de carga (ubicado en la margen derecha); desde dicha tolva se alimenta directamente al chute el cual a su vez hace lo mismo a los volquetes que esperan sobre la Presa.
- La otra de abastecer CCR a los camiones volquetes es directamente de la PCP, los cuales ingresarán al cuerpo de Presa por el margen izquierdo del río Mantaro.
- Luego que los camiones volquetes estén cargados del CCR, por cualquiera de las dos maneras, se dirigirán a la zona indicada en el cuerpo de Presa a vaciar el concreto, y posterior a ello iniciará el proceso de tendido.

Las cuadrillas de equipos (ver cuadro N°5.5) y mano de obra (ver cuadro N°5.6) para la colocación del CCR mediante camiones de volquetes son:

Cuadro N° 5.5 Cuadrilla Equipos- Colocación de CCR - Camiones Volquetes (Elaboración propia)

Equipos	Marca	Modelo	Cantidad	Actividad
Chute			1	Abastecer al volquete
Volquete	MERCEDES BENZ	ACTROS- 3344K	2	Colocación de concreto
Tractor sobre orugas	CATERPILLAR	D5K	1	Tendido de material
Rodillo Liso	CATERPILLAR	CS-533E	1	Compactación
Rodillo doble con estación	WACKER NEUSON	RD12A-90	1	Compactación complementario
Minicargador con cepillo	CATERPILLAR	246D	1	Limpieza de la superficie

Nota: El número de volquetes en promedio se incrementa a seis (06) si es abastecido directamente por PCP.

Cuadro N° 5.6 Cuadrilla Mano de Obra- Colocación de CCR - Camiones Volquetes (Elaboración propia)

Categoría	Cantidad	Actividad
Capataz	1	Supervisión
Operario	6	Equipos pesados

Nota: El número de operarios de equipos pesados se incrementa a diez (10) si los volquetes son abastecidos directamente por PCP.

Etapa 03: Tendido del CCR

Una vez colocado el CCR en el área solicitante de la Presa, se procederá a extender el material para obtener capas de 30 cm después de ser compactados, utilizando un tractor sobre orugas y existirá cuatro (04) peones con palas complementado el tendido.

Cabe mencionar que la elección de un tractor D5 frente a un D6 se debió netamente por la versatilidad del primero. Aunque parezca redundante mencionar del porque no utilizar una motoniveladora en vez de un tractor, es importante aclarar, que es principalmente porque el tractor ayuda en la compactación profunda inicial (por el peso y las orugas) y mientras que la

motoniveladora no y además esta última genera segregación del CCR, lo cual no es adecuado.

Etapa 04: Compactación del CCR

Se utiliza rodillos de 10.84 toneladas (peso en orden de trabajo) y con una fuerza centrífuga máxima de 234 kN y una mínima 133 kN y para las zonas de compactación donde el rodillo principal no pueda ingresar se utilizara un rodillo pequeño de doble tambor de una tonelada (peso en orden de trabajo). Se seguirá el siguiente procedimiento:

- Una vez esparcido adecuadamente el CCR, ingresa el rodillo principal en modo estático la primera pasada (esta es la que compacta hasta la profundidad de 30 cm), y a posterior se realizará en modo vibratorio.
- La compactación empezará en un plazo de 20 minutos tras la colocación del CCR y terminará dentro de un plazo máximo de 60 minutos desde la producción del CCR. En la práctica la compactación se dio hasta 03 horas (en el día) y 07 horas (en la noche) después del esparcido, pero primero se recomponía la humedad (rociado con agua) para iniciar la compactación. Depende mucho de la temperatura del ambiente el tiempo máximo de espera.
- La dirección de la compactación será paralela al eje de la Presa o perpendicular a la dirección del río. Si no se tiene mucho espacio en la dirección más larga para el recorrido del rodillo.
- El número total de pasadas será realizado hasta llegar al %mínimo de compactación requerida ($\geq 96\%$ y ningún punto $< 92\%$), cuya densidad será verificada con el densímetro nuclear, con una frecuencia de 6 puntos a mitad de profundidad de la capa por cada 500 m³ de CCR compactados. En esta Presa se logró la compactación requería con 01 pasada en modo estático y 04 vibradas.
- Finalmente se terminará una vez obtenido capas de 30 cm. compactadas (con una tolerancia de ± 2 cm) y que cumplan con los controles de calidad.
- Se puede hacer 02 capas (cada una de 30 cm) sin ningún apoyo lateral, siempre y cuando el vaciado sea continuo, lo óptimo es que no pase como máximo de 07 horas para colocar la segunda capa, si es más se debe seguir los tratamientos de las especificaciones técnicas.

- Se recomienda que la capa de CCR esté por encima del CVC, para que este último sea más fácil al momento de vibrar.

Etapa 04: Curado y Protección del CCR

Se desarrollará de la siguiente manera:

- Después de que el CCR se ha colocado y compactado, la superficie de la capa debe ser curada y protegida al igual que para el concreto colocado por métodos convencionales.
- El inicio del curado se deberá ejecutar una vez que el concreto “pierde brillo” superficial o pasada las 07 horas aproximadamente después del compactado, depende de la temperatura del ambiente, en este proyecto tuvo una temperatura promedio de 27 centígrados en el día.
- El curado durante la construcción se ha realizado mayormente con mangueras de mano en modo rocío (sin aplicar presión), generalmente este método se utiliza para proyectos de cualquier tamaño. También se utilizó, de manera limitada, el curado con cisterna de 1200 litros, pero se puede utilizar hasta de 4000 litros.
- La capa final de CCR debe ser curada durante un período adecuado de tiempo, más de 14 días.
- La superficie debe ser mantenida en una condición húmeda, o al menos para evitar la pérdida de humedad.
- Una superficie ligeramente inclinada ayudará a drenar el agua libre y acelerar el reinicio de las operaciones de colocación.
- Durante la colocación de CCR, una lluvia ligera puede ser tolerada siempre que el equipo no registre barro en el CCR o comienza a conducir la humedad en la superficie, dañando así el material compactado. El daño es evidente cuando el rodillo comienza a recoger material en el tambor; en este caso la colocación debe ser detenida.

Etapa 05: Juntas en el CCR

En el cuerpo de Presa consideramos 03 tipos de juntas:

Juntas Horizontales: El tratamiento de la junta depende del tiempo de vaciado entre capas, de acuerdo a lo indicado (ver cuadro N° 5.7):

Cuadro N° 5.7 Tratamiento de la superficie (CRM, 2015)

Intervalo de tiempo entre capas consecutivas	Tratamiento
Colocación hasta 8 horas después de terminada.	Soplete de aire húmedo y colocación de nueva capa de concreto.
Colocación entre 8 y 24 horas después de terminada.	Cepillo mecánico, aire húmedo y colocación de nueva capa de concreto.
Colocación de 24 horas y antes de 7 días después de terminada.	Cepillo mecánico, aire húmedo, aplicación de mortero de pega y colocación de nueva capa de concreto.
Condición para colocación después de 7 días desde la capa terminada.	Cepillo mecánico, aire húmedo, aplicación de mortero de pega y colocación de nueva capa de concreto.

El tratamiento de la superficie de la capa fría, dependiendo de la condición de la superficie, se ejecutará con soplete de aire húmedo o cepillo mecánico. A posterior se realizará la limpieza con agua y/o aire, con el objetivo de eliminar las partículas sueltas en la capa.

Cuando la junta ha sido tratada en una condición posterior a las 24 horas, se colocará una capa de mortero (mortero de pega), cuyo diseño debe ser aprobado previamente por Laboratorio.

Juntas Verticales: Con el objetivo de inducir las fisuras generadas por contracción del CCR se realizará un corte a distancias determinadas de acuerdo a planos/ficha técnica. Dicho corte será realizado con ayuda de una retroexcavadora con barra vibrante, para insertar en la junta un material plástico de acuerdo a especificación técnica.

Junta de unión entre CCR y CCV: Éste punto de unión se realizará de acuerdo a planos, considerando que el contacto entre ambos concretos debe ser inclinado garantizando la unificación entre ambos mediante el vibrado (cuando ambos concretos están en estado fresco) o con un tratamiento semejante a una junta horizontal (previa compactación de la zona inclinada).

5.4.5 Inyecciones de Consolidación e Impermeabilización

Los tratamientos fundamentales de la roca en la zona de apoyo de una Presa son los tratamientos de consolidación, ejecutados para mejorar la estabilidad, deformación e, incluso, la resistencia del terreno excavado; tratamientos de impermeabilización, para reducir la permeabilidad natural del mismo y tratamientos de drenaje, para reducir el efecto de las presiones intersticiales sobre el cimiento de la Presa².

² Informe CRM: Pantalla de Impermeabilización del Cimiento de la Presa

El procedimiento constructivo aplicado por el CRM en la ejecución de las Inyecciones de Consolidación con lechada de cemento en la Presa, es según lo siguiente:

- Las inyecciones de consolidación se realizarán en roca por debajo del nivel de fundación por medio de taladros verticales o inclinados según indicación de los planos, hasta la profundidad de 8.00 metros en roca.
- Los taladros estarán colocados con una retícula de 6.00 m x 6.00 m o 6.50 m x 6.50 m, en todo el ancho de la Presa (perforaciones primarias). Una segunda malla de perforaciones será ubicada intercalada en tresbolillo a 3.00 m o 3.25 m de distancia de la anterior (perforaciones secundarias). Considerando que la ubicación real puede diferir hasta 15 cm de la ubicación teórica.
- Las perforaciones adicionales (perforaciones terciarias o cuaternarias) son aplicados en función de las absorciones de los taladros anteriores, siguiendo el criterio de cierre establecido en las Especificaciones Técnicas.
- Una vez terminada la perforación se procederá a aplicar aire a presión mediante el equipo de perforación para la remoción de los detritos del interior de cada taladro. Posteriormente y antes del inicio de la inyección se descenderá hasta el fondo una manguera o tubería circulando agua a presión hasta obtener un reflujó claro; en el caso que no se pueda obtener agua de retorno por pérdidas a través de las fisuras de la roca, se hará trabajar la bomba con su máxima capacidad por un mínimo de cinco minutos o como sea indicado por las ET con una presión de 5 bares como máximo.
- La mezcla de inyección, será preparada en la planta constituida por un mezclador de alta revoluciones, agitador y bomba de inyección de lechadas de cemento. La lechada se preparará en el mezclador de alta turbulencia por un tiempo mínimo de dos (2) minutos, para la combinación apropiada de agua /aditivo / cemento.
- La lechada de cemento será enviada a los taladros de inyección a través de una línea (conducto) constituida por mangueras y tubos metálicos de diámetro variable de 1" a ½". Disponiéndose de una línea doble (línea de ingreso y línea de retorno para el control de la presión de inyección).

- Las inyecciones se realizarán por el método “ascendente”, o sea inyectando desde el fondo hasta la parte superior del taladro, en tramos de 3.00 a 10.00 m de longitud. En los casos de presentarse el derrumbe de las paredes del pozo durante la perforación, se procederá a la inyección del taladro por el método “descendente”.
- En la boca de cada taladro se instalará un dispositivo de control digital de presión y caudal en tiempo real (datalogger), dispuesto con válvulas para el control de los parámetros de inyección. Dicho equipo contará con una pantalla en la que se apreciarán los parámetros de inyección en tiempo real.
- El control de calidad de los trabajos de inyección considera un monitoreo diario de los valores de sedimentación, fluidez (cono Marsh) y peso específico, asimismo se tomarán muestras para la comprobación de la resistencia a la compresión simple. Dicho control se realizará discriminando el taladro en donde se realizó el muestreo y el diseño de mezcla muestreada.

Las Inyecciones de Impermeabilización o también conocidas como Inyecciones de “cortina” se desarrollarán de la siguiente manera:

- Las Inyecciones de Impermeabilización se realizarán en roca por debajo del nivel de fundación, a través de barrenos con una inclinación hacia aguas abajo y un rumbo según los planos.
- Los barrenos estarán ubicados en un eje paralelo al eje longitudinal de la Presa, tal como indican los planos, y distribuidos según el cuadro N° 5.8:

Cuadro N°5. 8 Profundidad y malla de perforación (CRM, 2013)

Orden de la Perforación	Espaciamiento (m)	Profundidad máxima y mínima (m)
Primaria (obligatoria)	6.0	50-20
Secundaria (obligatoria)	6.0	45-15
Terciaria	3.0	Variable
Cuaternaria	1.5	Variable

- Podrán ejecutarse perforaciones adicionales (perforaciones terciarias y cuaternarias) en función de las absorciones de los agujeros anteriores, siguiendo el criterio de cierre establecido en las Especificaciones Técnicas.

- Las perforaciones de inyección se harán con un diámetro mínimo de 76 mm. Para tal cometido se utilizará una perforadora hidráulica Beretta T43 para los barrenos de inyección sin recuperación de testigos
- Una vez terminada la perforación se circulará agua a presión para remover los detritos de perforación, hasta obtener un reflujo claro; en el caso que no se pueda obtener agua de retorno por pérdidas a través de las fisuras de la roca, se hará trabajar la bomba con su máxima capacidad por un mínimo de cinco minutos.
- Los barrenos serán perforados en forma continua hasta el final de la perforación e inyectados en etapas de 5 a 10 metros (tal y como se indica en Especificaciones Técnicas) en forma ascendente. En caso que se presente desmoronamiento de las paredes de la perforación o grandes pérdidas de agua durante la perforación, será inyectado de forma descendente en etapas sucesivas.
- La mezcla de inyección, será preparada en la planta constituida por un mezclador de alta turbulencia marca CLIVIO, modelo TM 260^a o similar, agitador marca CLIVIO, modelo 5MA o similar (provisto con una malla tamiz N° 100 en el ingreso al agitador desde la mezcladora de alta turbulencia) y un inyector vertical. La lechada se preparará en el mezclador de alta turbulencia por un tiempo mínimo de dos (2) minutos, para la combinación agua / aditivo / cemento.
- La lechada de cemento será enviada a los agujeros de inyección a través de una línea (conducto) constituida por mangueras y tubos metálicos de diámetro 3/4". Disponiéndose de una línea doble (línea de ingreso y línea de retorno para el control de la presión de inyección).
- En la boca de cada agujero se instalará un dispositivo de control digital de presión y caudal en tiempo real (datalogger), dispuesto con válvulas para el control de los parámetros de inyección.
- El control de calidad de los trabajos de inyección considera un monitoreo diario de los valores de sedimentación, fluidez Marsh y peso específico, asimismo se tomarán muestras para la comprobación de la resistencia a la compresión simple. Dicho control se realizará discriminando el taladro en donde se realizó el muestreo y el diseño de mezcla muestreada.

A continuación listaremos los problemas más resaltantes y las soluciones adoptadas en obra, respecto a los temas tratados en el Subcapítulo 5.4 “Obras Civiles de la Presa”:

- En las obras de represamiento, el tema de infiltración es un problema recurrente, y si esto no se logra controlar de manera adecuada puede traer consecuencias catastróficas para la Presa. Por lo cual el drenaje entre los dos waterstops (selladores de agua) instalados en la cara aguas arriba de la Presa, que requería el diseñador era un tubo de concreto poroso de un diámetro de 10 cm., por lo cual su fabricación e instalación tomaban tiempo e generaban interferencia.

La solución dada fue la instalación provisional de una tubería metálica de diámetro de 10 cm. Y el cual era retirado después que el concreto alcanzase suficiente cohesión.

- Los tramos del Presa, durante la construcción, usados como rampa de accesos para los equipos (volquetes, rodillo, tractor etc.) quedaron dañados y no cumpliendo con la geometría del cuerpo de la Presa de concreto.

La solución planteada por el CRM, fue la colocación e inyección de pernos de anclaje de un diámetro de 25 mm y longitud de 6 m. Además para la separación de cada bloque la instalación de una doble banda hidro-expansiva en todo el perímetro de contacto.

- Las múltiples estructuras del cuerpo de Presa, como las galerías de inyecciones e inspección, limitan el uso del CCR por generar interferencia en la principalmente la etapa de compactación.

La solución adoptada fue colocar CVC al contorno de las cavidades, que a su vez genera más áreas de contacto CCR-CCV que lo planificado. Por lo cual se utiliza para esas áreas estrechas el rodillo de una tonelada.

- Al estar en una zona ceja de selva alta peruana, las lluvias están presentes en gran parte del año. Si no son tratadas de manera adecuada puede ser un problema serio que afecte la calidad del CCR.

La solución planteada en función a las condiciones reales fue establecer el siguiente lineamiento (ver cuadro N° 5.9):

Cuadro N° 5.9 Procedimiento en caso de lluvias (CRM, 2015)

Condición	Acciones a realizar
Inicio lluvia	Extendido y compactado del material descargado en la Presa hasta alcanzar la densidad mínima exigida.
Con lluvia	Paralización de los trabajos si la lluvia supera los 5mm/h y en evaluación con lluvia menor de 5mm/h. (Terminar de compactar hasta la densidad mínima el material extendido).
Al finalizar lluvia	Antes de reiniciar las labores, se procederá al secado de la superficie de todas las zonas encharcadas y se pasará escobilla mecánica o similar hasta retirar todo el material suelto y lavado por la lluvia.

En caso de iniciada la lluvia con una intensidad mayor de 5 mm/h y no se haya podido extender el material, se evaluará la saturación del mismo entre Laboratorio y Calidad para ver su posible utilización.

- Una vez puesta en operación las descargas de fondo, en la temporada alta, el concreto de segunda fase instalada entre la pared de concreto armado y el blindaje de metálico de las descargas de fondo, fallaron por la presión del agua. De manera progresiva iniciaron a inclinarse hasta 20 cm en la parte superior.

La solución para restablecer el contacto entre el concreto de 1º y 2º fase en las descargas de fondo de la Presa que presentaron un desplazamiento, considerable, como por ejemplo por las descargas de los bloques 1,3 y 5 se usaron anclajes activos definitivos tensados a 70 t (o 70% de la carga ultima). Además de realizar inyecciones detrás de todos los blindajes, entre el concreto de primera fase y segunda fase, con lechada de cemento por lo primeros 3,0 m y con mortero para los restantes 6.0 m.

Las lecciones aprendidas durante la ejecución de las obras de Excavación, producción y colocación de Concreto y las Inyecciones son:

- Las voladuras que se realicen tanto en la fundación y los estribos de la Presa tienen que ser controladas, porque de lo contrario se generan sobre-excavaciones y detritos, que incrementarán el volumen de concreto y la demoran en el tratamiento de la superficie rocosa (limpieza, instalación de pernos de anclaje, mallas electrosoldadas etc.).

- Si se construcción de los acceso a los estribos es por cotas superiores a estos, en lo posible evitar lanzar el material excedente sobre el área del cuerpo de la Presa, porque se realizará un re-trabajo al tener que eliminar para proceder con la excavación para la Presa en sí.
- El tratamiento de la juntas de construcción (entre capa y capa) es fundamental en una Presa de concreto. Pero se debe tener en cuenta que se tiene que realizar en función al tipo de concreto utilizado y resistencia al momento de la aplicación. Por esos se recomienda tomar estas pautas brindadas por el CRM (ver cuadro N° 5.10), para el proyecto en estudio:

Cuadro N° 5.10 Tratamiento de la Superficie de la Junta de Construcción (CRM, 2015)

Intervalo de tiempo entre capas consecutivas	Tratamiento CCR	Tratamiento CVC
Capa terminada	Dejar compactada y plana. .	Vibrar, dejar plana. No limpiar con cepillo mecánico.
Colocación hasta 8 horas después de terminada.	Soplete de aire húmedo y colocación de nueva capa de concreto.	Soplete de aire húmedo y colocación de nueva capa de concreto.
Colocación entre 8 y 24 horas después de terminada.	Cepillo mecánico, aire húmedo y colocación de nueva capa de concreto.	Corte verde (Green cut), condición SSS, y colocación de nueva capa.
Colocación de 24 horas y antes de 7 días después de terminada.	Cepillo mecánico, aire húmedo, aplicación de mortero de pega y colocación de nueva capa de concreto.	Corte verde (Green cut), condición SSS, y colocación de nueva capa.
Condición para colocación después de 7 días desde la capa terminada.	Cepillo mecánico, aire húmedo, aplicación de mortero de pega y colocación de nueva capa de concreto.	Aplicación de agua a presión hasta obtener una textura adecuada, condición SSS, y colocación de nueva capa.

- El uso del sistema Blondin es efectiva siempre y cuando la Presa es de CVC en su totalidad o gran proporción, pero si es una combinada entre CCR y CVC lo recomendable será utilizar sistemas de volquetes, fajas, chutes y bombas de concreto para el vaciado. Y para el transporte de materiales instalar torres grúas. Además en el análisis de costo-beneficio

se debe considerar que la venta residual del Blondin es complicado ya que su fabricación es única para cada Presa, en cambio los equipos como las torres grúas o bombas de concreto son comerciales.

- En la etapa del planeamiento operativo se debe considerar la construcción de varias vías de accesos provisionales, a diferentes cotas, para poder lograr el ingreso de los camiones volquetes cargados de CCR.
- Durante la Inyección de Contacto se dé el caso de fuga de lechada a superficie o comunicación de la lechada con otros taladros (agujeros), se suspenderá la inyección para obturar la pérdida.
- Considerar que los estudios de geológicos y geomecánicos no tendrán un detalle suficiente, si es se desarrolla en paralelo a la construcción, para determinar la cantidad de taladros a ejecutar para las inyección. Si en los estudios indican que será suficiente con un grado cuatro estos pueden llegar hasta un grado séptimo.
- Si se decide que las Inyecciones de Contacto se realizará desde galerías internas, se debe considerar que la temperatura dentro de ellas serán elevadas y por lo que es necesario contemplar la instalación de un sistema de ventilación adecuado para no afectar la salud de los trabajadores.

5.5 OBRAS HIDROMECÁNICAS E INSTRUMENTACIÓN DE LA PRESA

El Montaje Hidromecánico es instalado en el cuerpo de la Presa para cumplir la función de regular la hidráulica del embalse. Las estructuras que se tiene en la Presa son:

- Dos (02) Compuertas Clapeta (ver figura N° 5.9) que son el primer órgano de descarga de la Presa. Se utilizan para mantener constante el nivel del embalse cuando el caudal entrante es mayor que el caudal turbinado y permiten evacuar el material flotante que, de lo contrario, sería succionado por la obra de toma. Cuando su volumen de descarga no es suficiente comenzará la operación de las cuatro (04) Compuertas Radiales (ver figura N° 5.9).
- Seis descargas de fondo en Presa con una sección de 4.6 m x 6 m hacia aguas arriba y 6.0 m x 9.2 m aguas abajo del río Mantaro (ver figura N° 5.9). Entre todas tiene un caudal de desagüe de 4560 m³/s.



Figura N° 5.9 Vista desde aguas abajo – Sistema de Descarga (Fuente: Propia)

El montaje de los Blindajes de Acero de las descargas de fondo de la Presa, fueron ejecutados según la siguiente secuencia constructiva:

- Los Blindajes y Compuertas previamente fueron fabricados en talleres especializados fueran del Perú, para luego ser trasladados y ser ensamblados en un taller instalado cercado a la Presa.
- Los elementos ensamblados, del Blindaje de acero, fueron adecuados de manera que puedan ser transportados, un tramo vía terrestre hasta un punto cercano, del margen derecho de la Presa, para luego ser trasladado por el Blondin hasta la boca de la descarga de fondo, en función a la ubicación que le corresponde a cada elemento sea aguas arriba o abajo. Posterior a ello eran montados en un riel (embebido en la base) hasta su posición definitiva.
- Una vez ubicados correctamente los elementos de blindaje, se procederá a soldar para formar dos cuerpos monolíticos uno antes de las compuertas (aguas arriba) y el otro después (aguas abajo).

La instalación de las Compuertas de las Descargas de Fondo se ejecutó de la siguiente manera:

- Antes de montar las compuertas de las descargas de fondo, se tendrá instalado previamente un puente grúa con una capacidad de 40 toneladas.
- Por medio de un camión remolque los elementos serán transportados desde el taller hasta la zona de carga del Blondin.
- Las piezas desde la zona de carga serán posicionados en la plazoleta de descarga sobre un carro deslizante sobre rieles por medio de la grúa Blondin.

- El carro con sobre las piezas será ingresado dentro del túnel hasta llegar debajo de la grúa de la descarga de fondo de 40 t.
- Antes será montado el marco de las compuertas aguas arriba y después el marco aguas abajo.
- Montaje de la viga de umbral.
- Montaje de los marco de sellos y de las vigas dintel.
- Montaje del elemento del blindaje entre las compuerta.
- Montaje del marco de la compuerta aguas abajo.
- Finalización de montaje del blindaje de la descarga de fondo después de la compuerta (aguas abajo).
- Posicionar la caja inferior sobre el marco por medio de la grúa de la descarga de fondo.
- Y luego trasladar la Compuertas en sí para ser encajonados.
- Finalmente se realizaran múltiples pruebas para dar por finalizado.

La instalación de las Compuertas Clapeta y Radiales se ejecutó de la siguiente manera:

- Antes de iniciar su traslado, se debe verificar si están embebidos correctamente los fijadores en el concreto de las pilas. Además de concluir con la instalación de las vigas post-tensadas. También el montaje del puente grúa ubicado en la corona de la Presa, debe estar operativo.
- Los elementos serán trasladados vía terrestre, que previamente fueron ensamblados en el taller cercano a la Presa, hasta la ubicación correspondiente de los vertederos.

La instrumentación de la Presa tiene los siguientes objetivos³:

- Prevenir con suficiente antelación, y por tanto evitar, que una situación futura pueda acarrear roturas, accidentes e incidencias no deseadas.
- Controlar ciertos parámetros que tengan una influencia importante en el comportamiento y seguridad de la Presa.
- Reducir las incertidumbres sobre las hipótesis simplistas realizadas, de forma que pueda aumentar la confianza sobre el comportamiento futuro.
- Economizar, o al menos racionalizar, la construcción y/o explotación partiendo de datos reales medidos “en sitio”.

³ CRM: Manual de Operación y Mantenimiento de la Presa- 2016

- Conocer, desde una información real, el comportamiento satisfactorio o no de la Presa construida o en explotación.

El sistema de Auscultación de la Presa, que es el conjunto de actividades destinadas a conocer su comportamiento real, cuenta con instrumentos instalados con el objetivo medir ciertas magnitudes de eventos externos e internos a la Presa, en el cuadro N° 5.11 se puede visualizar el resumen ejecutado por el CRM:

Cuadro N° 5.11 Mediciones en la Presa (Fuente: CRM)

Auscultación	Variable de monitoreo	Instrumentación en la Presa
Control de variables externas	Meteorología y medio ambiente	Pluviógrafo (precipitaciones)
		Termohigrómetros (temperatura y humedad relativa)
		Termómetro de aire
	Embalse de agua	Termómetro de agua
		Medidor de nivel del agua en el embalse (carga hidrostática)
Sismología	Acelerógrafo (efectos sísmicos en estructura como aceleraciones y desplazamientos)	
Control de variables internas	Hidráulica	Células de presión y piezómetros (subpresiones bajo el cimiento de la Presa)
		Caudalímetros (infiltración de agua a través del cuerpo de la Presa)
	Deformaciones	Medidores de juntas (desplazamientos relativos entre bloques, movimientos en juntas y fisuras)
		Extensómetros (desplazamiento relativo de cimentación)
		Péndulo invertido y monitoreo topográfico (desplazamientos)
	Térmica	Termómetros (variaciones térmicas en el concreto)

Las lecciones aprendidas del subcapítulo Obras Hidromecánicas e Instrumentación de la Presa, son:

- El vaciado de concreto de segunda etapa será ejecutado con las siguientes precauciones para evitar distorsiones y/o desplazamientos de las piezas:
 - Velocidad máxima = 0.3 metros por hora.
 - Altura máxima de cada capa = 2 metros
 - Tiempo de espera entre dos capas = 24 horas (tiempo estimado para tener consistencia, puede variar según el tipo de concreto adoptado).

- Después del vaciado del concreto, de todos los elementos del blindaje hacer las inyecciones de contacto.
- Durante el vaciado de concreto se debe evitar el contacto de los vibradores a las piezas de la compuerta y sujetadores. Los encofrados empleados deberán ser auto-soportadas y no se deben lijar o transmitir cargas a las piezas de las compuertas.
- Para dar por finalizado la instalación de las obras hidromecánicas, las pruebas positivas individuales de cada elemento no garantizan su funcionamiento, en el comisionamiento sistemático de la central hidroeléctrica y su posterior aceptación por parte del Cliente serán finalmente lo que validan un avance del 100%.

CAPÍTULO VI: ANÁLISIS ECONÓMICO

6.1 GENERALIDADES

Uno de los objetivos de una empresa contratista es la utilidad económica que va obtener en un proyecto. Si el resultado se encuentra por debajo del objetivo meta planteado al inicio del proyecto, se puede catalogar que fue un fracaso la gestión del mismo.

Para llevar un buen manejo económico se tiene que elaborar una línea base o un presupuesto meta, con el que se pueda comprar durante la ejecución. Cualquier variación o cambio debe ser registrado y justificado.

6.2 CONTROL DE COSTO Y RESULTADO ECONÓMICO

En el cuadro N° 6.1 se puede visualizar los costos directos de los diferentes tipos de concretos utilizados en la Presa. Cabe mencionar que estos costos incluyen la producción y colocación del concreto, mas no incluye los costos de encofrado y acero corrugado. De dicho cuadro se puede concluir que el costo directo del concreto hasta la etapa de colocación resulta 81.42 dólares por metro cubico de concreto.

Cuadro N° 6.1 Precios unitarios del concreto de la Presa (Elaboración propia)

Tipo de Concreto (f'c Mpa)	Volumen Real(m3)	Costo Parcial (USD)	Precio Unitario (USD/m3)
CCR(12MPa)	129,043	8,091,000	62.70
CCR(15MPa)	62,427	4,213,000	67.49
CCV(15MPa)	24,961	1,976,000	79.16
CCV(25MPa)	183,423	16,857,000	91.90
CCV(30MPa)	51,110	5,580,000	109.18
Total promedio	450,964	36,717,000	81.42

El cuadro N° 6.2 podemos visualizar la venta directa versus el costo real directo al finalizar las obras, estos montos no comprenden los costos indirectos, gastos financieros ni impuestos.

Cuadro N° 6.2 Estado de Resultados del Frente Presa (Elaboración propia)

	Venta Directa (USD)	Costo Directo (USD)	Utilidad Bruta (USD)
Acceso Principal	11,294,000	19,071,000	-7,777,000
Obras de Desvío	8,141,000	6,587,000	1,554,000
Presas Obras Civiles	73,202,000	51,988,000	21,214,000
Presas-Excavación	2,059,000	3,699,000	-1,640,000
Presas-Inyección	3,610,000	3,410,000	200,000
Presas-Concreto	67,533,000	44,879,000	22,654,000
Presas-Instrumentación	743,000	354,000	389,000
Presas-Hidromecánica	31,631,000	30,127,000	1,504,000
Blindajes Descarga de Fondo	3,031,000	7,064,000	-4,033,000
Compuertas Descarga de Fondo	17,677,000	14,434,000	3,243,000
Capletas y Compuertas radiales	10,923,000	8,630,000	2,293,000

Como se observa el resultado al nivel de costos directos es favorable, esto debido a que en la etapa de licitación y adjudicación existía muchos riesgos ya que se licitaba en base a una Ingeniería Básica, principalmente el geológico, por lo que el margen de ganancia considerados para la Presa fue del orden del 30%; pero el CRM al momento de realizar el presupuesto meta, al inicio del proyecto, el costo considerado para la estructura de las obras civiles de la Presa (excavación, inyecciones y concreto) fue según el cuadro N° 6.3:

Cuadro N° 6.3 Presupuesto meta vs real (Elaboración propia)

	Presupuesto Meta (USD)	Costo (USD)	Brecha (USD)
Presas Obras Civiles	46,227,000	51,988,000	-5,761,000

Esta brecha se dio principalmente por los siguientes motivos:

- Brecha negativa de -17,586,000 dólares por mayores metrados, por la mayor dimensión de la Presa final pasando de 324,370 m³ (presupuesto meta) a 450,964 m³ de concreto final.
- Brecha positiva de 11,825,000 dólares; por tener mejores rendimientos debido al cambio de tipo de concreto (del CVC a CCR). Porque al inicio se contemplaba utilizar concreto convencional en todo el cuerpo de la Presa.

CONCLUSIONES

- La modificación de la Ingeniería de Detalle, realizando el cambio de una Presa de CVC a una mixta de CVC y CCR, resultó positiva, ya que está última al tener mejor rendimiento en la colocación ayudo a mitigar el retraso y reducir los costos directos por tener menor contenido de cemento.
- El replantear la Ingeniería de Detalle en paralelo con la construcción es complejo, por lo que tener un equipo con la capacidad de realizar una ingeniería de valor es fundamental. El cambio planteado de modificar el procedimiento de las inyecciones y la utilización de elementos prefabricados fueron determinantes en cuanto a la recuperación del plazo.
- La ubicación geográfica del Proyecto, fue gravitante al momento de ejecutar la logística del transporte de materiales y equipos para la Presa. Por lo que el impacto de no compartir riesgos de manera adecuada con el Cliente respecto a las interrupciones de las vías, y que son ajenas a la responsabilidad del contratista, fue perjudicial para el CRM.
- La realización de la Procura a tiempo, en un proyecto con alcance IPC, es una necesidad. Por lo que contar con una Ingeniería de Detalle a tiempo es fundamental; pero tomando ciertas consideraciones y riesgos se puede ejecutar con una Ingeniería Básica Extendida. En algunos casos realizar esta acción trajo como consecuencia adquisiciones no tan acertadas para la obra.
- El subcontratar el servicio especializado de montaje Hidromecánico e Instrumentación fue buena; puesto que se cumplió con los plazos, calidad y no se incrementó los costos. Estos resultados se da siempre y cuando también sea otorgado con un alcance igual y solidario al contrato principal (Contratista-Cliente).
- Al realizar las excavaciones de roca de los estribos y fundación de la Presa, utilizar explosivos es el procedimiento más adecuado y convencional, pero si estos no se ejecutan de manera controlada fracturaran la roca, disminuyendo su la calidad y generando sobre-excavaciones, y a que posterior se traducen en un mayor volumen de concreto.

- La utilización del sistema Blondin para el vaciado de CCR no es el más adecuado, porque tiene una capacidad limitada de carga para abastecer áreas extensas, teniendo en cuenta que el CCR necesita ser extendido y luego ser compactado. El uso para el vaciado de CVC es efectiva, recordando que fue concebida para este tipo de concreto, ya que el CVC se utiliza no solo en el vaciado masivo sino en estructuras con poco espacio.
- Para el tratamiento de las superficies de un CCR y CVC, en un vaciado no continuo de la siguiente capa, se demostró que se debe utilizar distintos procedimientos en función del tipo de concreto, además considerar su resistencia al momento de aplicar.
- El contratista demostró que es factible realizar la inyecciones de contacto en paralelo con el vaciado de concreto de la Presa, cumpliendo con las especificaciones técnicas; pero tener en cuenta que al cambiar el procedimiento convencional conlleva a generar más galerías interiores y por ende mayor interferencia con el vaciado de concreto masivo y con lo cual se limita el uso del CCR.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda contar con un equipo de Ingeniería con alta experiencia en el diseño y construcción de Presas de concreto, capaz de realizar Ingeniería de Valor. En un proyecto IPC y “fast track” el área de diseño debe ser una de las importantes.
- Se recomienda que al momento de licitar un proyecto Llave en Mano, y donde tienes que realizar la ingeniería y construcción casi en simultaneo, y con un alcance IPC; se tiene que ejecutar el estudio geomecánico con la mayor rigurosidad del caso. Que la inversión que se realice en esta etapa serán retribuidos en las siguientes que son más sensibles a cualquier cambio, por ser más costosas las modificaciones. Además desde la parte contractual se debe incluir y/o buscar involucrar al cliente en las cláusulas del contrato, al momento de repartir los riesgos geomecánicos
- Se recomienda tener en cuenta que el Blondin o grúa con cables, es eficiente cuando se realiza el vaciado solo en CVC pero más no con el CCR. Por lo cual si se tiene una Presa mixta (CVC y CCR en cantidades similares), es mejor idear otros equipos más convencionales como bombas de concreto para la colocación del CVC, fajas para el CCR y torres grúas para el traslado de materiales (acero, encofrado etc.). Porque será difícil obtener el valor de rescate del Blondin (venta) una vez concluido los trabajos, ya que es bastante caro, al ser un equipo generalmente fabricado con especificaciones particulares para cada proyecto.
- Se recomienda no limitar el uso del CCR solo por no ser tan conocido en el Perú, ya que con un buen equipo de ingeniería su aplicación es sencilla, con grandes beneficios tanto en costo como en plazo.
- Se recomienda el uso de elementos prefabricados en la construcción de una Presa de concreto, donde se tiene un sistema de producción de concreto masivo, porque la realización de vigas de concreto armado prefabricadas es muy sencillo; puesto que éstas son de dimensiones mucho menores comparado a otras estructuras, y no interfiere en el abastecimiento de concreto.
- Se recomienda que un proyecto donde la Ingeniería de Detalle se traslapan con la fase de construcción, más conocidos como “fast track”,

se debe considerar en lo posible tener la ingeniería ejecutiva antes de la adquisición de los materiales y/o equipos que tiene una incidencia alta respecto a los costos y/o plazo. Por ejemplo lo sucedido en la adquisición del Blondin que fue concebido cuando la Ingeniería Básica extendida indicaba que el concreto en la Presa sería el 100% convencional que al final fue combinado con CCR; o la importación del acero corrugado en un lote de aproximadamente de 7,000 toneladas, y que al terminar la Ingeniería de Detalle definitiva resultó que solo era necesario la mitad de lo comprado, dicha procura una gran pérdida, ya que al revender fue ofertado a la mitad del precio de compra.

- Se recomienda que al requerir la compra de un equipo especial para el tratamiento del CCR debe ser validado por más de un especialista, como en el caso de un equipo para la limpieza de la superficie de concreto en estado endurecido para luego colocar otra capa de CCR, puesto que según sus experiencias sugerirán la compra. En este caso se demostró que la compra de un camión barredor fue una equivocación (el cual nunca fue utilizado), porque tiene menor rendimiento que una escobilla mecánica montado en un minicargador.
- Se recomienda que la Gestión de un Almacén, en un proyecto de gran magnitud, donde el manejo de materiales es en gran cantidad y con una alta rotación, debe ser automatizada todo sus procesos y no ser gestionado como la de una obra pequeña o mediana envergadura. Por ejemplo la gestión debe ser similar a los de un almacén industrial o comercial, porque al final su implementación será beneficiosa, frente a los sobrecostos que puede generar en la etapa de construcción.
- Se recomienda que durante el desarrollo del contrato con el proveedor de encofrados mecanizados, se debe plantear realizar liquidación intermedias preferentemente al cierre de cada valorización (por ejemplo cada mes), porque si se realiza en periodos prolongados o al final de la prestación de servicios, existe una gran posibilidad de pagar sobrecostos por traslapar pagos tanto de alquiler y reposición de elementos que se hayan perdido o dañado. Además evaluar la compra, y no el alquiler, de elementos que se usaran por periodos prolongados.
- Se recomienda tener en consideración que si se requiere implementar una metodología de gestión o herramienta, como por ejemplo la del

Último Planificador se encontrará gran resistencia en el equipo objetivo, más si solo una de las empresas, en un consorcio, predica dicho sistema de gestión. Si el gerente de proyecto no se involucra en ello será casi imposible que funcione.

- Se recomienda tomar en cuenta que los ratios obtenidos en obras anteriores por lo socios y la amplia experiencia de los responsables del proyecto, pueden ser dañinos si no son canalizados y adecuados a la realidad del proyecto. Cabe recordar que un proyecto se desarrolla en tiempo y espacio distinto a otro, por lo que siempre será único.
- Se recomienda cuando la topografía donde se va ejecutar la construcción de una carretera es pronunciada, se debe evaluar al detalle el ancho de vía que el Cliente que otorgará al Contratista. Puesto que es casi inevitable que no ocurra algún tipo de deslizamiento del material excavado fuera del área de servidumbre; por lo tanto el riesgo de sufrir paralizaciones de las comunidades es alta, así la negociación se realice para la compra o compensación por las afectaciones, estos procedimientos tomaran un tiempo, suficiente para dejar en espera a las cuadrillas de equipos y mano de obra.
- Se recomienda que la ubicación de la planta de trituradora para la producción de agregado grueso y fino debe ser ubicado en función a un estudio de la corriente del viento. Puesto que al realizar el chancado se produce gran cantidad de polvo y que si el viento se dirige sobre la dirección de la Presa, se corre el riesgo de contaminar el concreto fresco y generar sobre costo o hasta paradas innecesarias
- Se recomienda que los trabajos de resane de fisuras del concreto aguas arriba, o en general de todas las obras claves en la impermeabilización de la Presa, debe ser ejecutado antes del embalse y lo más minucioso posible. Porque posterior a ello será muy complicado, puesto que el proceso de vaciado y llenado de la Presa (88 m de altura) puede tomar hasta 45 días. Lo que significa que se tendrá paralizado la producción de la central hidroeléctrica en dicho periodo, y las multas al Contratista sería muy elevadas.

BIBLIOGRAFÍA

1. ACI Committee 207. "Report on Roller-Compacted Mass Concrete", ACI 207.5R-11, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan-2011.
2. Andriolo, Francisco R. "Concrete: Use in a Sustainable Way", Primera Edición. Andriolo Engenharia. Sao Paulo-2014.
3. Association for the Advancement of Cost Engineering International (AACEi). "Cost Estimate Classification System – As Applied In Engineering, Procurement, and Construction for the Process Industries". AACE International Recommended Practice No. 18R-97. Virginia - 2005.
4. Autoridad Nacional del Agua (ANA). "Inventario de Presas en el Perú", Primera Edición, ANA, San Isidro, Lima – 2016.
5. Castillo Maguiña, Inés. "Inventario de Herramientas del Sistema de Entrega de Proyectos Lean". Tesis para optar el título de Ingeniera Civil. Biblioteca Facultad de Ciencias e Ingeniería PUCP. Lima – 2014.
6. Chipana Soto, Adolfo. "Implementación de un Sistema de Gestión de Control de Costos Basado en la Metodología del PMI para Proyectos Tipo IPC". Informe de Suficiencia Profesional para Optar el título de Ingeniero Civil UNI-FIC. Biblioteca UNI-FIC. Lima-2015.
7. Cisneros Porras, William Freddy. "Procesos Constructivos, Planeamiento y Programación de la Presa y Canal de Derivación – Andaychagua Alto". Tesis de Pregrado para Optar el título de Ingeniero Civil UNI-FIC. Biblioteca UNI-FIC. Lima-2003.
8. Comisión de Empresas Proveedoras de Servicios de Ingeniería (CEPSI). "Alcances de la Ingeniería", Centro Argentino de Ingenieros (CAI), Buenos Aires-2015.
9. Consorcio Río Mantaro. "Especificaciones Técnicas del Proyecto Hidroeléctrico Cerro del Águila", CRM, Lima -2013.
10. Consorcio Río Mantaro. "Informe Técnico características de los Concretos colocados en la Presa", CRM, Lima – 2015.
11. Consorcio Río Mantaro. "Manual de Operación y Mantenimiento de la Presa", CRM, Lima - 2016.
12. Consorcio Río Mantaro. "Tipologías Hormigón Masivo Presa", CRM, Lima - 2013.
13. Comisión Internacional de Grandes Presas (ICOLD/CIGB). "Las Presas y el Agua en el Mundo". Primera Edición, ICOLD-CIGB. Paris – 2007.

14. Escalaya Advíncula, Miriam Rosanna. "Diseño de Concreto Compactado con Rodillo utilizando conceptos de Compactación de Suelos". Tesis de Postgrado para Optar el grado de Maestro en Ciencias con Mención en Ingeniería Geotécnica UNI-FIC. Biblioteca UNI-FIC. Lima-2006.
15. Guzmán Tejada, Abner. "Aplicación de la filosofía Lean Construction en la Planificación, Programación y Control de Proyectos". Tesis para optar el título de Ingeniera Civil. Biblioteca Facultad de Ciencias e Ingeniería PUCP. Lima – 2014.
16. Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA). "Presas de Hormigón", IECA, Madrid – 2013.
17. Koskela, Lauri. "An exploration towards a production theory and its application to construction", Tesis doctoral. Technical Research Centre of Finland. Espoo – 2000.
18. Lunarejo Carrasco, Perci Adrian. "Concretos Compactados por Rodillo. Tesis para Optar el título de Ingeniero Civil UNI-FIC". Biblioteca UNI-FIC. Lima-2000.
19. Martinez, Bernardo. "Tecnología y Conceptos en Concreto Compactado con Rodillo". CEMEX. Ciudad de México - 2010
20. Novak, P., Moffat, A.I.B., Nalluri, C. y Narayanan, R. "Hydraulic Structures". Unwin Hyman Ltda. London – 1990.
21. Priale Jaime, Alonso. "Las Obras Hidráulicas de Concreto en el Perú", ASOCEM, Lima - 2003
22. Project Management Institute (PMI). "Guía de los Fundamentos de la Dirección de Proyectos (PMBOK)", Quinta Edición, PA-PMI. Pensilvania-2013.
23. Yang, Heloisa, et al. "The History of Dams". University California Davis. California-2006

ANEXOS

ANEXO I: Datos estadísticos de las Presas en el mundo

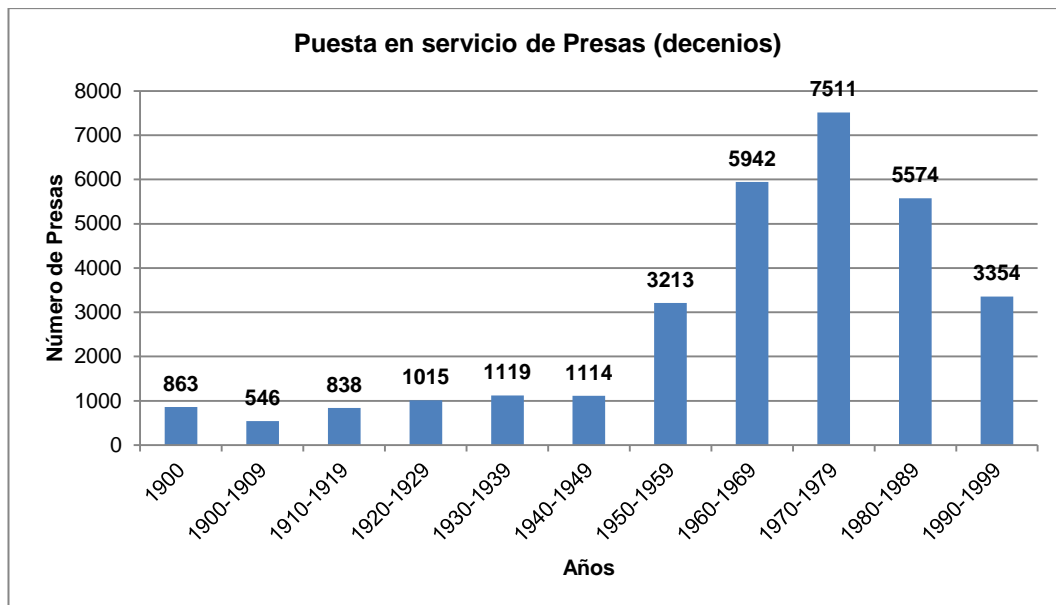


Figura N° 01 Puesta en servicio de Presas en el mundo (Fuente: CIGB)

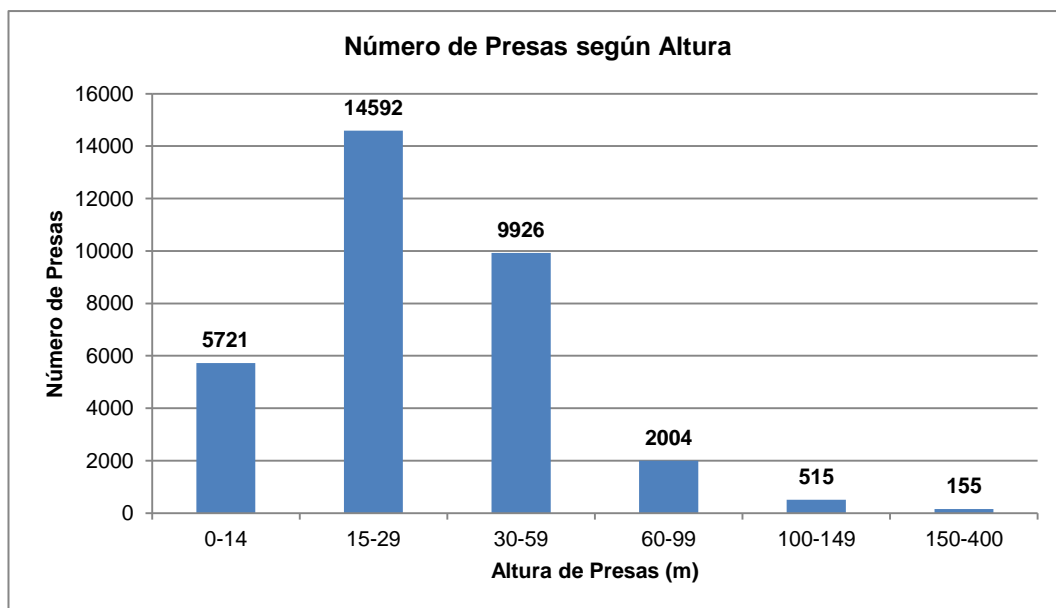


Figura N° 02 Número de Preas según su Altura en el mundo (Fuente: CIGB)

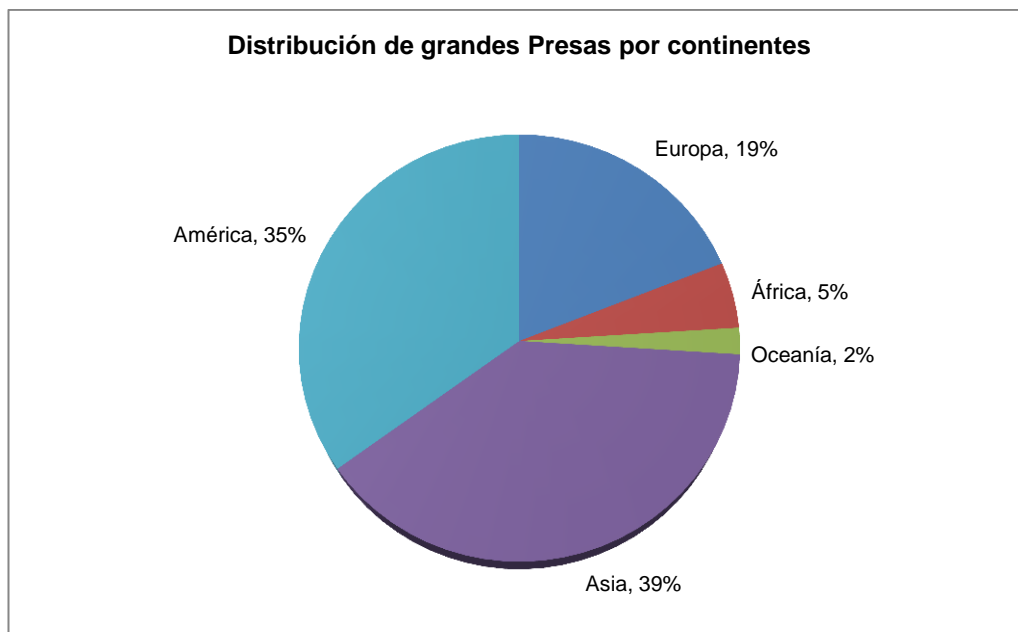


Figura N° 03 Distribución de grandes Presas por continente (Fuente: CIGB)

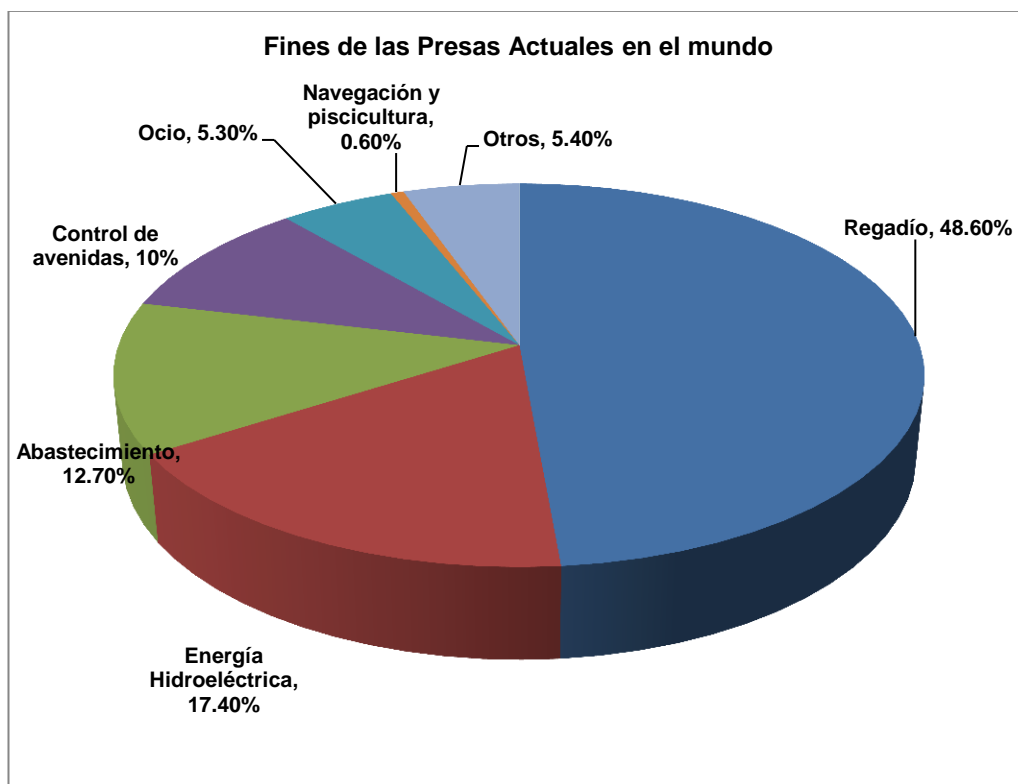


Figura N° 04 Distribución según fines de las Presas en el mundo (Fuente: CIGB)

ANEXO II: Herramientas del Sistema de Entrega de Proyectos Lean

Cuadro N° 01 Inventario de Herramientas del LPDS (Castillo, 2014)

FASE	NOMBRE DE LA HERRAMIENTA	PRINCIPIO
DEFINICIÓN DEL PROYECTO	MATRIZ DE SELECCIÓN DEL EQUIPO DE DISEÑO	Cultivar una red de contactos
	CUADERNO DE DISEÑO	Reducir los ciclos de tiempos - Estandarizar - Asegurar la comprensión de los requisitos
	MATRIZ DE NECESIDADES Y VALORES DEL INVERSIONISTA	Asegurar la comprensión de los requisitos - Decidir por consenso, considerar todas las opciones
	MATRIZ DE NECESIDADES Y VALORES DEL USUARIO FINAL	Asegurar la comprensión de los requisitos - Decidir por consenso, considerar todas las opciones
	BASE DE DATOS Y REPOSITORIOS	Instituir la mejora continua
	MATRIZ DE ALINEACIÓN DE PROPÓSITOS DESPLIEGUE DE LA FUNCIÓN DE CALIDAD (QFD)	Asegurar la comprensión de los requisitos Instituir la mejora continua
DISEÑO LEAN	REPORTE A3	Verificar y Validar
	ESTACIONAMIENTO	Centrarse en la selección de los conceptos
	MATRIZ DE RESPONSABILIDADES	Seleccionar un enfoque de control de producción apropiado
	TABLA DE ENTRADAS Y SALIDAS	Asegurar la comprensión de los requisitos
	LISTA DE TAREAS	Verificar y Validar
	LISTA DE CHEQUEO	Verificar y Validar
	SOLICITUD DE INFORMACIÓN (RFI)	Reducir la variabilidad - Asegurar la comprensión de los requisitos
CONSTRUCTIBILIDAD EN EL DISEÑO	Reducir la variabilidad - Reducción de tamaño de lotes - Seleccionar un enfoque de control de producción apropiado - Diseñar el sistema de producción para el flujo y el valor	
ABASTECIMIENTO LEAN	CENTROS LOGÍSTICOS	Reducir los ciclos de tiempos - Diseñar el sistema de producción para el flujo y el valor.
	5 "S"	Estandarizar
	MATRIZ MULTICRITERIO	Decidir por consenso, considerar todas las opciones.
	MAPEO DE LA CADENA DE VALOR	Instituir la mejora continua
EJECUCIÓN LEAN	KANBAN	Seleccionar un enfoque de control de producción apropiado
	FIRST RUN STUDIES	Reducir la variabilidad - Seleccionar un enfoque de control de producción apropiado - Instituir la mejora continua - Utilizar Gestión Visual - Asegurar la comprensión de los requisitos
	NIVEL GENERAL DE ACTIVIDAD	Reducir los ciclos de tiempo
	CARTA BALANCE	Reducir los ciclos de tiempo
	CUADRO COMBINADO DE TRABAJO ESTANDARIZADO	Diseñar el sistema de producción para el flujo y valor
	POKA YOKE	Diseñar el sistema de producción para el flujo y valor
	MANUALES DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS	Asegurar la comprensión de los requisitos
ANDON	Diseñar el sistema de producción para el flujo y valor	
USO	ONE TOUCH HANDLING	Reducir los ciclos de tiempo
	EVALUACIONES POST- OCUPACIÓN	Instituir la mejora continua
	MANUAL DEL CLIENTE	Asegurar la comprensión de los requisitos
	FORMULARIO DE ASISTENCIA TÉCNICA	Ir y mirar por uno mismo - Cultivar una extensa red de contactos
CONTROL DE PRODUCCIÓN	PLAN DE INSPECCIONES PERIÓDICAS	Reducir los ciclos de tiempo
	DIAGRAMA DE FLUJO Y TIEMPO DE ENTREGA DE LAS ACTIVIDADES	Diseñar el sistema de producción para el flujo y valor
	PLANIFICACIÓN MAESTRA	Diseñar el sistema de producción para el flujo y valor
	PLANIFICACIÓN POR FASES	Diseñar el sistema de producción para el flujo y valor
	PLANIFICACIÓN LOOKAHEAD	Diseñar el sistema de producción para el flujo y valor
	PLAN DE TRABAJO SEMANAL	Diseñar el sistema de producción para el flujo y valor
	PORCENTAJE DE PLAN CUMPLIDO (PPC) RAZONES DE NO CUMPLIMIENTO	Instituir la mejora continua Instituir la mejora continua
LÍNEAS DE BALANCE	Diseñar el sistema de producción para el flujo y valor	
TRABAJO ESTRUCTURADO	5 WHYS	Centrarse en la selección de los conceptos
	BUFFERS	Reducir la variabilidad

ANEXO III: Organigrama del área de Ingeniería del Proyecto

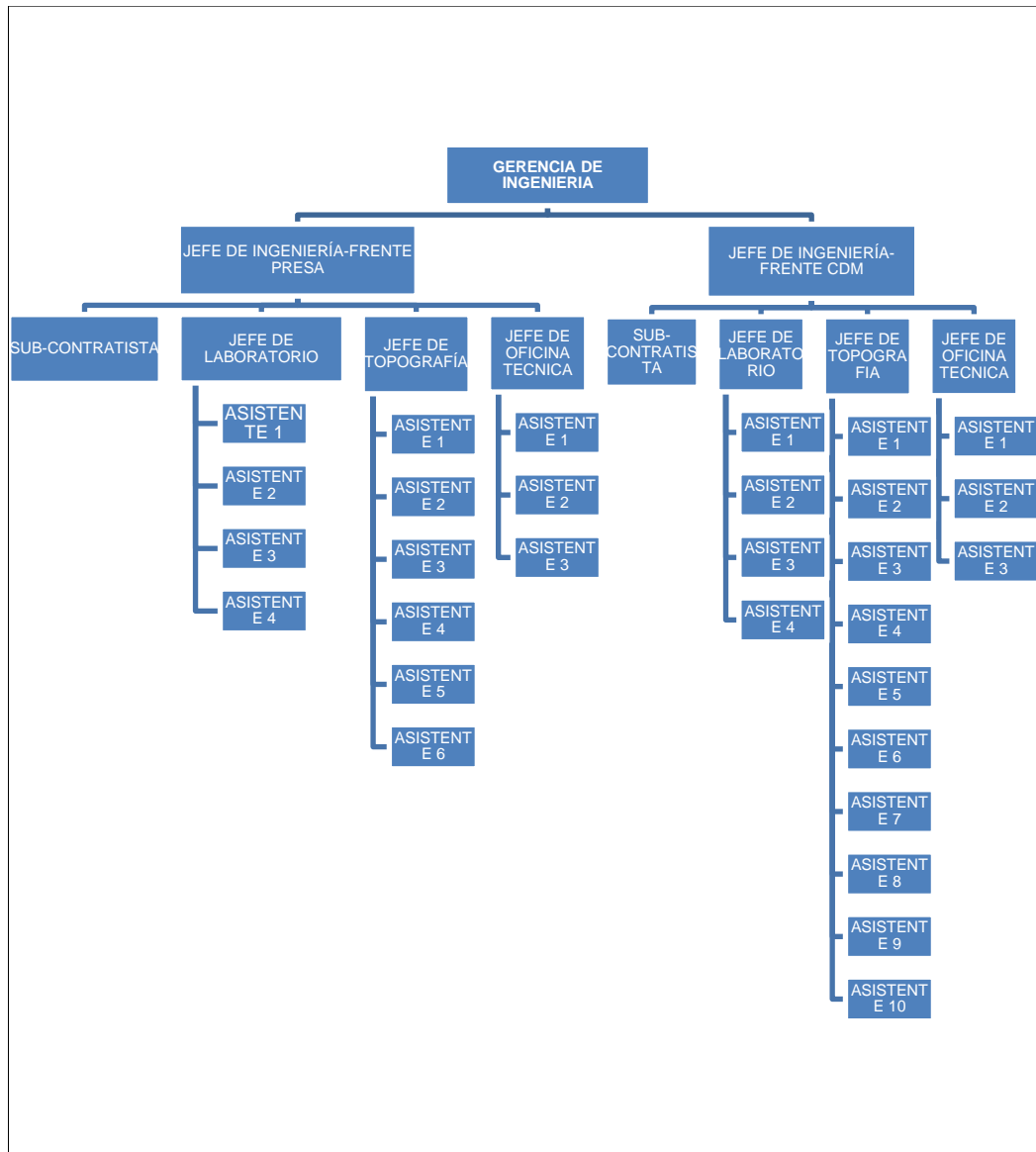


Figura N° 05 Organigrama del área de Ingeniería del Proyecto (Elaboración propia)

ANEXO IV: Resultados de estudios para el Diseño de Concreto

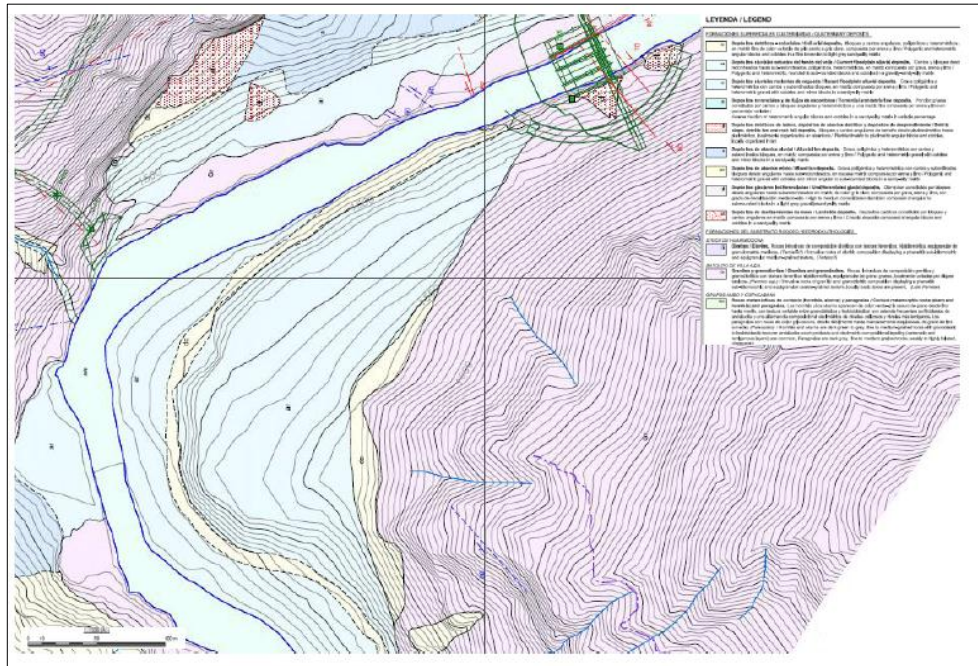


Figura N° 06 Geología y litología de la Zona de Cantera (Fuente: CRM)

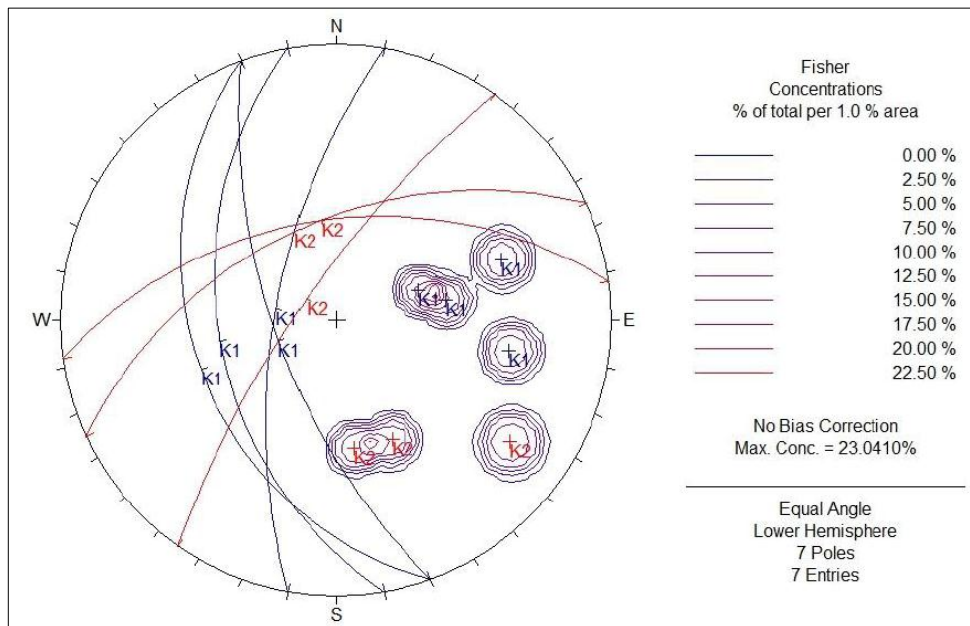


Figura N° 07 Estereograma del sistema de discontinuidades (Fuente: CRM)

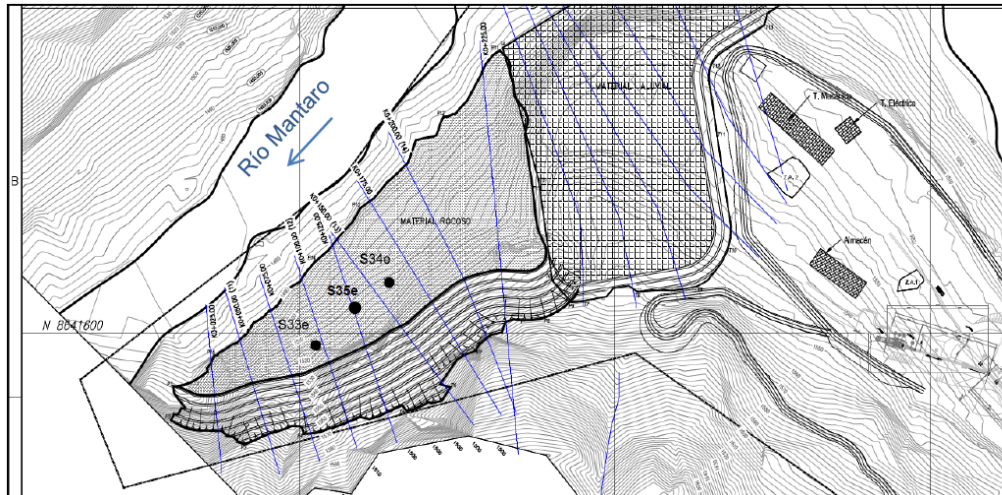


Figura N° 08 Ubicación de los Sondeos (Fuente: CRM)



Figura N° 09 Extracción de Núcleos de CCV y CCR – Primera Campaña (Fuente: CRM)

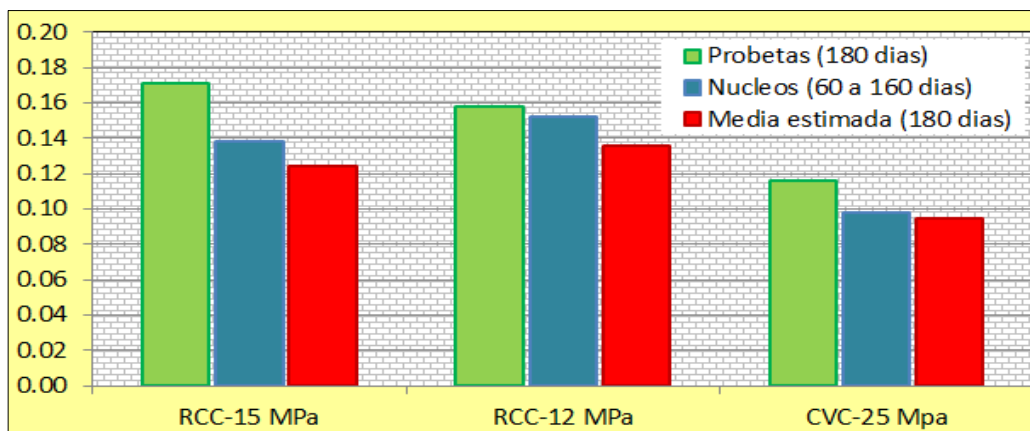


Figura N° 10 Datos Estadísticos de Rendimiento MPa/(Kg/m³) (Fuente: CRM)

ANEXO V: Panel Fotográfico de los Procesos Constructivos



Figura N° 11 Construcción de Ataguías Aguas Arriba (Fuente: Propia)



Figura N° 12 Construcción de Ataguías Aguas Abajo (Fuente: Propia)



Figura N° 13 Estribo derecho de la Presa antes de excavar (Fuente: CRM)



Figura N° 14 Excavación final del estribo derecho de la Presa (Fuente: Propia)



Figura N° 15 Excavación inicial del estribo izquierdo de la Presa (Fuente: Propia)



Figura N° 16 Excavación final del estribo izquierdo de la Presa (Fuente: Propia)



Figura N° 17 Excavación inicial del fondo de Presa (Fuente: Propia)



Figura N° 18 Excavación final del fondo de Presa (Fuente: Propia)



Figura N° 19 Colocación del CCR con Blondin (Fuente: Propia)



Figura N° 20 Camión Volquete alimentado desde el Chute (Fuente: Propia)



Figura N° 21 Camión Volquete alimentado desde la PCP (Fuente: Propia)



Figura N° 22 Camión Volquete colocando CCR (Fuente: Propia)



Figura N° 23 Tractor D5 extendiendo CCR (Fuente: Propia)



Figura N° 24 Extendiendo complementario manual del CCR (Fuente: Propia)



Figura N° 25 Rodillo liso de 10 t compactando CCR (Fuente: Propia)



Figura N° 26 Rodillo Tandem compactando CCR (Fuente: Propia)



Figura N° 27 Zona de junta entre CVC y CCR (Fuente: Propia)



Figura N° 28 Retroexcavadora realizando la junta de contracción (Fuente: Propia)



Figura N° 29 Junta de contracción (Fuente: Propia)



Figura N° 30 Limpieza de la superficie con aire húmedo (Fuente: Propia)



Figura N° 31 Limpieza de la superficie con minicargador con cepillo mecánico (Fuente: Propia)



Figura N° 32 Aplicación de mortero de pega (Fuente: Propia)