

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL
PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

**ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS
DE LA PANTALLA DE CONCRETO ARMADO CON REGLA
DESLIZANTE EN LA PRESA DE LA CENTRAL
HIDROELÉCTRICA DE CHAGLLA**

Tesis para optar el Título de **Ingeniero Civil**, que presenta el bachiller:

José Alberto Cáceres Gutiérrez

ASESOR: Iván Enrique Bragagnini Rodríguez

Lima, mayo de 2016

RESUMEN

La presente investigación es acerca de la metodología constructiva aplicada en la construcción de la pantalla de concreto armado en la central hidroeléctrica de Chaglla mediante el uso de encofrado deslizante. El documento explica como antecedente, la importancia de una pantalla de concreto armado en la elaboración de una presa. Posterior a eso, busca dar como una solución a este trabajo, el uso de una regla deslizante (variante de encofrado deslizante) afín de obtener mejores resultados que utilizando un encofrado convencional.

Se muestran los ensayos preliminares que permiten mostrar el comportamiento del concreto durante su colocación. A su vez, se muestra un ensayo de modelo reducido que permite conocer los inconvenientes y el uso que tendrá la regla durante su uso. Se detalla el proceso de ejecución realizado durante la construcción de la pantalla.

Por otra parte, se indican los metrados incurridos en la ejecución de esta actividad. Mediante los metrados y las partidas de precios unitarios se mostrarán los costos incurridos en los trabajos para la construcción de la pantalla de concreto de la presa. Con los rendimientos y metrados se obtendrá un tiempo estimado de ejecución. El cual permitirá compararlo con el tiempo real para comprobar la eficiencia del sistema utilizado.

La investigación también indicará los imprevistos ocurridos durante la ejecución de esta obra. Luego, se realizará una comparación entre el sistema adoptado en la presa de la Central Hidroeléctrica de Chaglla con el sistema adoptado en la presa del proyecto Trasvase Olmos, dado que ambas pantallas de concreto cuentan con similares características. Lo cual permitirá conocer los ahorros monetarios que hacen que el uso del sistema aplicado en Chaglla sea factible. Finalmente, después de toda la investigación se mostrarán las conclusiones y recomendaciones aprendidas de este sistema constructivo.

Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1: SITUACIÓN A INVESTIGAR

- 1.1 Antecedentes y Justificación
 - 1.1.1 Antecedentes
 - 1.1.2 Justificación
- 1.2 Objetivos
 - 1.2.1 Objetivo General
 - 1.2.2 Objetivos Específicos
- 1.3 Alcances

CAPÍTULO 2: GENERALIDADES

- 2.1 Descripción General del Proyecto
- 2.2 Descripción General de la Presa
 - 2.2.1 Pantalla de concreto de la presa

CAPÍTULO 3: ENCOFRADO DESLIZANTE APLICADO EN LA CARA AGUAS ARRIBA DE LA PRESA

- 3.1 Situación problemática
- 3.2 Herramienta constructiva adoptada: encofrado deslizante
 - 3.2.1 Concretado de dos losas simultaneas manteniendo la junta de tracción
 - 3.2.2 Peso del conjunto y facilidades en el traslado
 - 3.2.3 Sistema de distribución del concreto mediante chutes
 - 3.2.4 Andamio de albañiles y sistema de curado
 - 3.2.5 Propulsión del conjunto deslizante por gatos hidráulicos
- 3.3 Aplicación de la regla deslizante en la pantalla de la presa
 - 3.3.1 Ensayos para determinar el comportamiento del concreto
 - 3.3.2 Ensayos para determinar el comportamiento de la regla
 - 3.3.3 Descripción del proceso de aplicación final en la pantalla de concreto de la presa

CAPÍTULO 4: RENDIMIENTO DEL ENCOFRADO DESLIZANTE

- 4.1 Metrados de la pantalla de concreto
- 4.2 Programación de Actividades
 - 4.2.1 Días laborales

- 4.2.2 Rendimiento de los equipos y de la mano de obra
- 4.2.3 Cronograma de actividades
- 4.2.4 Costos
 - 4.2.4.1 Costo unitario
 - 4.2.4.2 Costo mano de obra
 - 4.2.4.3 Costo de equipos
 - 4.2.4.4 Costo de materiales
 - 4.2.4.5 Costo total
- 4.3 Imprevistos
 - 4.3.1 Falta de experiencia previa
 - 4.3.2 Disponibilidad de equipos y planta de concreto
 - 4.3.3 Clima
 - 4.3.4 Plazo de entrega
 - 4.3.5 Otros menores
- 4.4 Comparación entre tiempo real y tiempo estimado en el vaciado de la pantalla de concreto de la presa

CAPÍTULO 5: PRESA LIMON Y LA COMPARACIÓN ENTRE EL SISTEMA CONVENCIONAL Y EL SISTEMA ADOPTADO

- 5.1 Proyecto Presa Limón
- 5.2 Características que presenta la pantalla de concreto de la presa Limón
- 5.3 Diseño de mezcla del concreto empleado en la presa Limón y su evaluación estadística
- 5.4 Proceso de ejecución empleado en la pantalla de la presa Limón
 - 5.4.1 Fabricación y colocación de los sellos de cobre
 - 5.4.2 Habilitación y colocación de la armadura
 - 5.4.3 Encofrados utilizados
 - 5.4.4 Colocación de concreto
- 5.5 Costos unitarios en la construcción de la pantalla de concreto
- 5.6 Comparación entre el sistema convencional y el sistema adoptado

CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 6.1 Conclusiones
- 6.2 Recomendaciones

REFERENCIAS

GLOSARIO

- Shaft: Estructura de control similar a una chimenea de equilibrio. Sirve para regular el volumen de embalse por medio del paso de agua a través del túnel de aducción. Su construcción contempla la excavación, sostenimiento y colocación de concreto armado. El diseño se indica como la construcción de una compuerta reguladora que trabaja mediante sensores que miden la columna de agua en la presa. Estos sensores permiten elevar o mantener la compuerta con el fin de garantizar el caudal de diseño para la posterior generación de energía eléctrica.
- Presas (CFRD): Se les considera como presas de tierra. Por sus siglas en inglés *concrete face rockfill down* (CFRD), son las presas de enrocado con cara de concreto. Trabajan por gravedad ante la presión de cargas hidrostáticas.
- Bordillo extrusado: Concreto poroso extruido de baja resistencia que busca evitar la erosión del relleno de la presa. Sirve como un solado nivelante que facilita la colocación de armaduras para un posterior vaciado de losas de concreto.
- Plinto: Estructura que permite unir la pantalla de concreto con la roca. Se le considera como una losa de concreto ubicada sobre la roca. Esta anclada a la roca mediante acero corrugado de alta resistencia junto con inyecciones de mortero. Las inyecciones de contacto concreto-roca son de consolidación e impermeabilización.

INTRODUCCIÓN

El Proyecto Hidroeléctrico Chaglla se encuentra ubicado en los distritos de Chaglla y Chinchao, provincia de Pachitea en la Región Huánuco. Dicho proyecto tiene la finalidad de proveer energía al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN).

Para la construcción de la Central Hidroeléctrica Chaglla (CH-Chaglla), la empresa concesionaria Empresa Generación Huallaga S.A. firmó un contrato EPC (Ingeniería, Procura y Construcción) con Odrebrecht Perú Ingeniería y Construcción S.A.C. El contrato se realizó bajo la modalidad “Fast Track” o proceso acelerado de construcción, el cual permite la ejecución de la obra en paralelo con el diseño, ayudando principalmente en la reducción de costos debido a la disminución de tiempo de trabajo.

En esta investigación se describirá el proceso de aplicación del encofrado deslizante en la construcción de la cara de la presa de la CH-Chaglla y se mostrarán las distintas dificultades, innovaciones y lecciones aprendidas en el proyecto. Para asegurar la calidad y eficiencia de la construcción, se desarrollaron una serie de pruebas preliminares; sin embargo, como en todo proyecto, surgen cambios que alteran los plazos y resultados proyectados conforme avanza la ejecución.

Para ello, en primer lugar, se describirá la situación a investigar donde se muestren los antecedentes, la justificación, los objetivos y los alcances con el fin de delimitar el estudio.

En el segundo capítulo se presentará la información general sobre el proyecto, la cual explica con más detalle la presa (por ser el campo de acción). Se describirán las características y consideraciones más importantes con el fin de contextualizar la investigación.

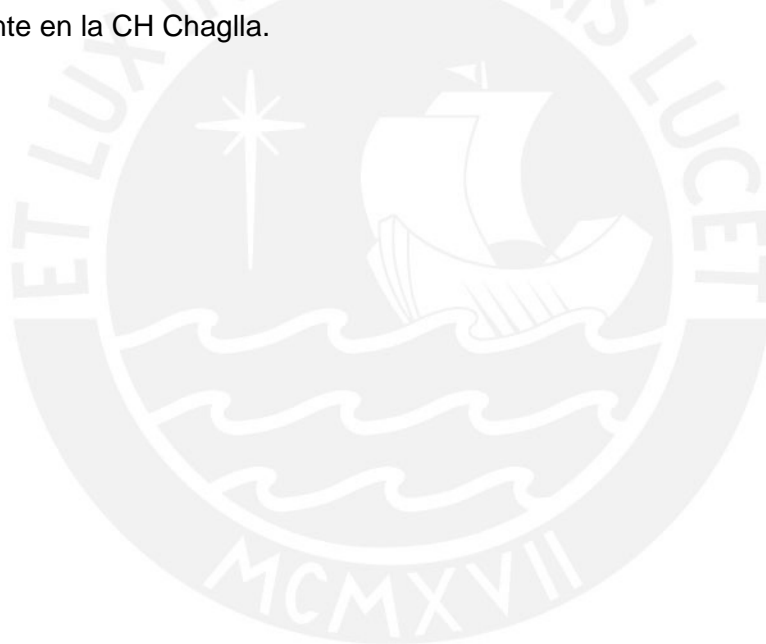
En el tercer capítulo se analizará la problemática que gira en torno al proyecto, y luego se detallará la solución adoptada explicando sus beneficios. Además, los ensayos de la regla deslizante que se realizaron para asegurar el correcto funcionamiento del sistema en la presa. Estos ensayos se basan en el comportamiento del concreto y el uso de la regla. Por último, se describirá el proceso de aplicación del encofrado deslizante en la pantalla de la presa, donde se mostrarán las consideraciones técnicas que permitan una buena construcción.

En el cuarto capítulo se especificarán los diferentes elementos que se consideraron para desarrollar la construcción de la pantalla de la presa con el objetivo

de evaluar el rendimiento del encofrado deslizante aplicado. Se describirán los metrados, la programación de las actividades, los costos asociados y los imprevistos. Además, se realizará una comparación entre los tiempos asumidos y los tiempos reales.

En el quinto capítulo se explicará sobre la Presa Limón, proyecto que utilizó el sistema de encofrado deslizante para la construcción de la pantalla de concreto. Esta información se utilizará como una comparación para mencionar si realmente el método aplicado en Chaglla es beneficioso. Dado que ambas presas fueron elaboradas por la misma empresa.

Finalmente, en el sexto capítulo se mostrarán las conclusiones derivadas de la investigación donde se resumen los hallazgos más resaltantes, así como las recomendaciones y las lecciones aprendidas en la utilización del encofrado deslizante en la CH Chaglla.



CAPÍTULO 1: SITUACIÓN A INVESTIGAR

1.1 Antecedentes y justificación

1.1.1 Antecedentes

En todo proyecto de infraestructura, una de las principales decisiones que se debe tomar es definir cómo se realizarán los procesos constructivos, ya que determinarán los resultados finales de la obra. Muchas veces se realizan modificaciones a lo planteado previamente, debido a problemas que surgen durante la construcción.

Para evitar que dichas modificaciones puedan representar mayores costos o alargamiento de plazos, es necesario realizar un buen estudio previo que ayude a simplificar el desarrollo del proyecto a fin de asegurar la eficiencia y calidad del mismo.

Si se desea trabajar con encofrados deslizantes es importante realizar una buena planificación, ya que en el Perú no es muy usual utilizar este sistema, por lo cual, considerarlos como una solución involucra un mayor análisis.

En el caso de la CH Chaglla, se optó por este mecanismo de trabajo en la elaboración de la pantalla de concreto de la presa, por ello, en este estudio se analizará el uso del encofrado deslizante en su construcción.

1.1.2 Justificación

Esta investigación tiene como finalidad analizar los motivos y condiciones del uso del sistema de encofrado deslizante en el desarrollo de la pantalla de una presa. Con esto se expondrán las dificultades que pueden surgir en su aplicación y sus posibles soluciones con el fin de que sirvan como base para asegurar su uso de una manera más eficiente en proyectos futuros.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

El objetivo general del estudio es describir y analizar los aprendizajes derivados del uso del sistema de encofrados deslizantes como una alternativa en la construcción de la pantalla de la presa de la CH Chaglla.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Describir las condiciones que permiten el uso de encofrados deslizantes en la pantalla de concreto de la presa.

- Describir los procedimientos empleados en la utilización del sistema constructivo.
- Analizar la eficiencia del sistema constructivo en la presa.
- Describir los inconvenientes presentados y las soluciones aplicadas en la ejecución del sistema constructivo.
- Comparar el sistema adoptado con otra alternativa.
- Desarrollar las lecciones aprendidas de esta experiencia.

1.3 Alcance

Se analizará la aplicación del encofrado deslizante en la pantalla de la presa de la CH-Chaglla y se mostrarán las dificultades, innovaciones y aprendizajes derivados de su uso.

En primer lugar, se describirá y analizará el proceso de aplicación del encofrado deslizante y luego se medirá el rendimiento obtenido sobre la base de sucesos y cálculos reales.

De acuerdo al análisis realizado, se expondrán las diferentes lecciones aprendidas que servirán como base para proyectos futuros que involucren el uso de encofrados deslizantes.

CAPÍTULO 2: GENERALIDADES

2.1 Descripción General del Proyecto

El 23 de diciembre de 2009, la Empresa de Generación Huallaga S.A. y el Estado, representado por el Ministerio de Energía y Minas (MINEM), firmaron un contrato de concesión para la ejecución del Proyecto Hidroeléctrico Chaglla. Consecuentemente, la Empresa de Generación Huallaga S.A. realizó un contrato EPC con Odebrecht Perú Ingeniería y Construcción S.A.C. para que se encargue de la ingeniería, procura y construcción del proyecto (Odebrecht, 2010).

La particularidad de este contrato de construcción se debe a que se dio bajo la modalidad fast track:

Este método de la construcción permite comenzar con los trabajos de ejecución de una obra antes de que haya sido elaborado el proyecto en su conjunto. Implica, por tanto, una fragmentación del proyecto en distintas fases o segmentos individualizados cuya concreta realización se hace depender de su previa concepción detallada. El proceso *fast track construction*, en definitiva, ofrece al cliente la posibilidad de iniciar la construcción de una obra mientras que se ultima la elaboración de los planos y especificaciones correspondientes a cada una de las partes en que queda fraccionado el proyecto. Entre las razones que justifican la elección del proceso *fast track construction* por parte del cliente, destacan la reducción de costes que de él se derivan por la inevitable disminución del tiempo transcurrido entre la fase de concepción y de ejecución, así como la posibilidad de incorporar al proyecto los últimos avances tecnológicos sin que esto origine, como sucede en el proceso convencional, la necesidad de introducir modificaciones en los planos y especificaciones con el consiguiente aumento de costes y retrasos en la ejecución (Hernández, 2014, p 177).

Como lo explica Hernández, en este tipo de contratos, la ingeniería en detalle y la ejecución de las obras empiezan casi en simultáneo. Esto significa que se debe realizar una ingeniería en detalle minuciosa de manera que no existan contratiempos durante la construcción y se cumpla el propósito final, el cual es la reducción de tiempo y costos. Para ello es necesario una experiencia previa que permita cuantificar el alcance del proyecto. En este caso Odebrecht construyó la Presa Limón, la cual le sirvió como base en la elaboración de la CH Chaglla.

El proyecto de la CH Chaglla está ubicado entre los distritos de Chaglla y Chinchao, en la provincia de Pachitea, Región Huánuco, a 415 km de Lima y

pertenece a la comunidad Agua Nueva. La altitud a la que se encuentra es a 1,002.00 m.s.n.m. La inversión aproximada del proyecto es de US\$ 1,200 millones.

En la figura 1 se muestra la ubicación del proyecto:

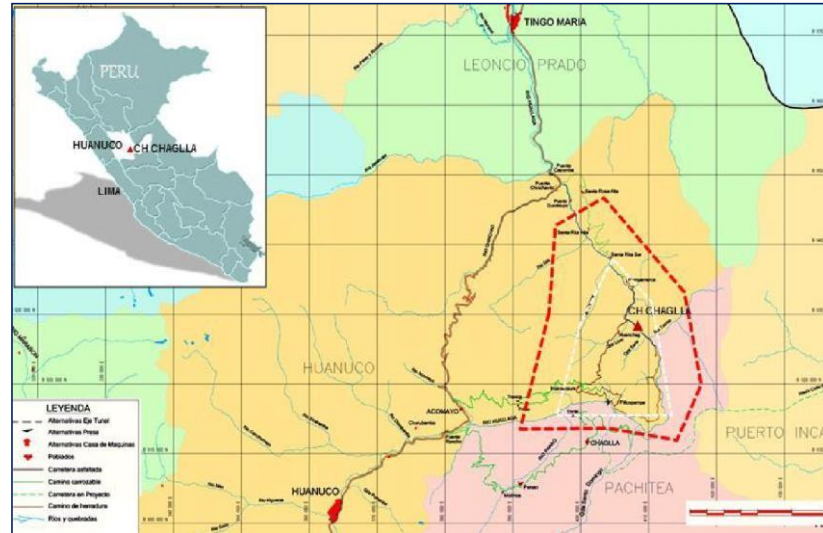


Figura 1. Ubicación del Proyecto CH-Chaglla

Fuente: Odebrecht (2015)

La principal función del proyecto es generar energía eléctrica por medio de la caída de agua a través de turbinas. Ello implica la existencia de un embalse que permita almacenar agua. Por ello, el proyecto contempla la construcción de una presa de aproximadamente 199 m de columna de agua.

La potencia instalada de la central será de 456 megawatts (MW) y 2,749.19 Gwh/ año. Las estructuras encargadas de generar la energía son dos turbinas Francis de 225 MW de potencia cada una. A su vez, se contempla la construcción de una Pequeña Central Hidroeléctrica (PCH) de 6 MW al pie de la presa y una línea de transmisión de 220 kV que proveerá la energía generada al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) (Odebrecht, 2015).

El cauce del río Huallaga permitirá la función de la central hidroeléctrica. El agua embalsada se realizará a unos 30 kilómetros aguas arriba del centro poblado de Cayumba, el cual se encuentra a 50 kilómetros de Tingo María en Línea recta y a 1.5 kilómetros debajo de la quebrada Saria.

En la figura 2 se muestra cómo será el proceso de captación de agua y la ruta que seguirá el túnel de aducción por donde pasará el agua hasta su llegada a la casa de máquinas.



Figura 2. Esquema del Proyecto CH.Chaglla

Fuente: Odebrecht (2015)

Las principales estructuras que integran la CH Chaglla son:

- Presa de enrocado con cara de concreto de 186.65 metros de altura y 273 metros de longitud de corona con 8,5 millones de cubos de roca.
- Tres Túneles Vertederos tipo baúl de 13.1 metros de diámetro con 2.4 Km en longitud total.
- Túnel de Desvío con 1.2 Km.
- Ataguía de Aguas Arriba con 68 m de alto.
- Ataguía de Aguas Abajo con 14 m de alto.
- Circuito de Generación Principal en Túnel con 14.7 Km de largo.
- Conducto Forzado con 800,00 m de extensión.
- Una Casa de Máquinas Principal con 450 MW y dos turbinas Francis.
- Una Casa de Máquinas secundaria, PCH, con 6 MW.

- Vías de acceso definitivo, constructivos y de servicio. Alcanzan en conjunto una longitud de 60 km, incluyendo 5 puentes (236 m) y 2 túneles carreteros.

La CH Chaglla contará con 368 metros de caída bruta, los cuales generarán 2,749.19 Gwh / año. La finalidad del proyecto es cubrir la demanda energética producto del crecimiento poblacional en el Perú. Asimismo, busca mejorar la Matriz Energética Nacional, la cual permitirá tener mayor cantidad de energías renovables en el país (Odebrecht, 2015).

Por otro lado, debido a que se trata de un proyecto de gran envergadura, existen muchas áreas de influencia. En primer lugar, se encuentra el mejoramiento de 40 km de vía existente en el margen derecho del río Huallaga. Asimismo, se encuentra la construcción de puentes peatonales en Santa Rita Sur, la colocación de una antena telefónica celular, así como el mejoramiento de calles y la construcción de ambientes deportivos. Además, se construyeron viviendas para los pobladores de Monterrey con el fin de mitigar los daños ocasionados por la construcción de la vía del margen izquierdo del río Huallaga (Odebrecht, 2015).

2.2 Descripción General de la Presa

La presa del CH Chaglla es de enrocado con cara de concreto y posee una altura máxima de aproximadamente 199 m y 273 m de longitud de cresta, la cual está ubicada en la elevación 1200,00 m, complementada por un parapeto de concreto con 1,0 m de altura (Intertechne, 2010, p. 91).

El eje de la presa está ubicado donde el valle se presenta encañonado y aparentemente con buenas condiciones de cimentación para una presa de enrocado con cara de concreto. También se encuentra apoyada sobre el aluvión. Previamente se realizará una limpieza del área de la fundación retirándose una capa de cerca de 1,5 m del aluvión suelto en el tramo de aguas abajo (Intertechne, 2010, p.91).

En la ubicación de la presa, el valle del río es muy angosto y posee una morfología similar a la de un cañón. Las laderas son muy abruptas, siendo la derecha más que la izquierda, lo cual es un aspecto que afecta fuertemente el diseño de la presa. De acuerdo con el informe técnico elaborado, en presas de este tipo casi siempre hay posibilidad de lanzar algún enrocado (Intertechne, 2010, p. 91).

En la figura 3 se muestra la ubicación de la presa, donde se puede apreciar la morfología descrita anteriormente:



Figura 3. Ubicación de la presa

Fuente: Odebrecht, 2015

Los materiales a utilizar en la construcción de la presa y estructuras de concreto serán principalmente los materiales del río, así como los extraídos de las excavaciones obligatorias como el túnel de aducción y túnel de desvío; los cuales corresponden a calizas, dolomitas, brechas calcáreas, etc. (Intertechne, 2010, p. 67).

En la región de la presa, se puede obtener rocas para producir arena y agregado grueso para el concreto de los depósitos aluviales existentes en el sitio de la presa y de las excavaciones obligatorias de calcáreos en el túnel de desvío. Este último es útil solamente para agregados gruesos (Intertechne, 2010, p. 68).

De acuerdo con el informe de Ingeniería Básica del proyecto (Intertechne, 2010), el relleno de la presa tendrá los siguientes materiales con sus respectivas características:

- 1A: Suelo limoso finamente arenoso o finos de trituración arena fina, no plásticos, con diámetro máximo de 0.2 cm y espesor de capa de 25 cm.
- 1B: Random, con diámetro máximo de 20 cm, sin finos y con espesor de capa de 40 cm.
- 2B: Transición única, con diámetro máximo de 7.5 cm, con porcentajes de finos menor al 8%, y con espesor de capa de 40 cm.
- 3A: Enrocamiento de roca sana, con diámetro máximo de 35 cm, con porcentaje de finos menor al 5%, y con espesor de capa de 40 cm que será definido en ejecución.
- 3B: Enrocamiento de roca sana, con diámetro máximo de 50 cm, con porcentaje de finos menor al 5%, y con espesor de capa de 60 cm que será definido en ejecución.

- 3C: Enrocamiento de roca sana, con diámetro máximo de 70 cm, con porcentaje de finos menor al 5%, y con espesor de capa de 80 cm que será definido en ejecución.
- 3D: Enrocamiento de roca sana, con diámetro máximo de 70 cm, con porcentaje de finos menor al 8%, y con espesor de capa de 80 cm que será definido en ejecución.
- 3E: Enrocamiento fino, con diámetro máximo de 50 cm, con porcentaje de finos menor al 5%, y con espesor de capa de 60 cm.
- 4: Bloques de roca sana arregladas en la cara de las aguas abajo con la cara más ancha en la horizontal, con diámetro máximo de 120 cm.
- F: Filtro, con diámetro máximo de 30 cm, con porcentaje de finos menor al 5%, y con espesor de capa de 60 cm.
- T: Colúvio areno gravoso, con diámetro máximo de 35 cm, con porcentajes de finos menor al 15%, y con espesor de capa de 40 cm que será definido en ejecución.

En la siguiente tabla se puede apreciar mejor la distribución de materiales de acuerdo a sus características.

Tabla 1. Tabla de Materiales y descripción

Zona	Material	Φ_{max} (cm)	Finos (%)	Espesor de Capa (cm)	Origen
1 ^a	Suelo limoso finamente arenoso o finos de trituración+ arena fina, no plásticos	0.20	-	25.00	Cantera de Suelo
1B	Randon	20.00	Sin Finos	40.00	Cantera de roca o excavación oblig.
2B	Transición única	7.50	<8%	40.00	Cantera colúvio areno-gravoso y planta ind.
3 ^a	Enrocamiento de roca sana	35.00	<5%	*40.00	Cantera colúvio areno-gravoso y planta ind.

Zona	Material	Φ_{max} (cm)	Finos (%)	Espesor de Capa (cm)	Origen
3B	Enrocamiento de roca sana	50.00	<5%	*60.00	Cantera de roca o excavación oblig.
3C	Enrocamiento de roca sana	70.00	<5%	*80.00	Cantera de roca o excavación oblig.
3D	Enrocamiento de roca sana	70.00	<8%	*80.00	Cantera de roca o excavación oblig.
3E	Enrocamiento fino	50.00	<5%	60.00	Excavación oblig. de túneles
4	Bloques de roca sana arreglada en la cara de aguas abajo con cara más ancha en la horizontal	120.00	-	-	Cantera de roca
F	Filter	30.00	<5%	60.00	Planta Industrial
T	Colúvio areno gravoso	35.00	<15%	*40.00	Cantera colúvio areno- gravoso y desperdicio de planta ind.

*Será definido en ejecución

Fuente: Intertechne (2010)

(Ver anexo A: Geometría de la presa)

El uso de materiales que se encuentran cerca de la obra facilita el transporte de los mismos y minimiza el impacto ambiental, ya que se aprovechan los materiales provenientes de las excavaciones obligatorias para la ejecución del proyecto total.

La presa contará con una serie de sistemas de monitoreo para llevar el control y recabar información sobre su comportamiento a lo largo de toda su vida útil. Las funciones que tiene la instrumentación son; registrar y comparar los resultados obtenidos con los cálculos teóricos de deformación, estabilidad y percolación, detectando alteraciones anormales y peligrosas, alertando sobre condiciones no

previstas de comportamiento de las estructuras y fundaciones (Intertechne, 2010, p. 61 Vol.3). El sistema de monitoreo se encuentra conformado por:

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

(Ver anexo B: Distribución de instrumentación en la losa)

2.2.1 Pantalla de concreto de la presa

La pantalla o cara de concreto es la estructura encargada de garantizar la impermeabilización en la presa. Se encuentra apoyada sobre los bordillos en la zona aguas arriba. Se le conoce como pantalla ya que es la unión de varias losas de concreto. En su diseño se debe proyectar que las losas se adapten a las deformaciones del enrocamiento. No se le considera como un soporte ante las cargas

hidrostáticas, sino como una membrana deformable e impermeable que no debe quebrarse (Barrena, C. & Cortes, J., 2011).

Se deben diseñar juntas entre las losas, de forma que estas absorban los movimientos y poder evitar que el concreto se agriete. Dichas juntas deben contener sellos que no permitan el paso del agua (Barrena, C. & Cortes, J., 2011).

El diseño de la pantalla está ligado a la deformación del enrocado, lo que implica la presencia de momentos flectores, fuerzas cortantes y cargas axiales. Por ello se considera que el espesor de la losa sea variable, basándose en la ecuación empírica que propone:

$$\text{Espesor de la losa} = 0.3 + K \times H$$

Donde K es un factor que varía entre 0.002 y 0.003 y H es la altura de la presa (Barrena, C. & Cortes, J., 2011).

El acero colocado en las losas sigue el criterio de agrietamiento por cambio de temperatura y por restricción de la deformación. En la parte central, el acero corresponde a 0.4% en sentido longitudinal y 0.3% en sentido paralelo al eje, ambos porcentajes respecto a total de acero colocado (Barrena, C. & Cortes, J., 2011).

La pantalla de concreto, en presas de enrocamiento, está sujeta a un mayor esfuerzo al final del llenado del embalse, y su deformación depende del asentamiento de las rocas y relleno ante las cargas hidrostáticas. El promedio de asentamientos admisibles que se registran en las pantallas de presas ante la carga de agua se presenta a una elevación entre 0.3-0.5 de la altura de la cortina (H) y es aproximadamente 1% de H (Sarmiento & Romo, 2011).

Debido a que la losa tiende a moverse hacia el centro del cañón (en la dirección del eje del cauce), los esfuerzos de compresión se producen en esta zona, los de tracción se dan en los extremos de la presa, cercanos a la junta perimetral y en la cresta. Por ello, el comportamiento de las losas tiende a cerrarse en las juntas estructurales centrales, mientras que en las juntas de los extremos tienden a abrirse (Sarmiento & Romo, 2011).

Los mayores desplazamientos, una vez llenada la presa, ocurrirán en la junta perimetral y dependerán de la compresibilidad del material de apoyo de la losa cercana al plinto. Si se coloca un enrocamiento compresible, ocurrirán desplazamientos verticales causando daños en los sellos a lo largo de dicho contacto (Sarmiento & Romo, 2011).

En el caso de la presa de Chaglla, en el talud aguas arriba se encuentra la pantalla impermeable (losa de concreto) de espesor variable que permite la estanqueidad de la presa.

La losa de concreto se une a la roca perimetral en la zona del cauce por medio de un plinto flotante y una pantalla impermeabilizadora que alcanza los 20 metros de profundidad. En las laderas, la unión se produce por medio de una losa perimetral de concreto armado conocida como plinto, el cual se ancla a la roca por medio de acero corrugado de alta resistencia junto con inyecciones de mortero. Desde estas, se realizarán las inyecciones de contacto concreto-roca, las inyecciones de consolidación e impermeabilización. Estas evitarán posibles filtraciones de agua en el perímetro que con el tiempo dañarán a la presa (Intertechne, 2010).

La pantalla de concreto de la presa es la estructura que estará en contacto con el agua luego de que se realice el embalse. Como ya se mencionó anteriormente, la presa tendrá una altura máxima aproximada de 199 metros y la pendiente de diseño de la cara en contacto con el agua será de (1.5H:1V). Previo a la construcción de la pantalla, se colocará una base de concreto encima del relleno. Este concreto recibe el nombre de bordillo extruido y servirá como protección del material 2B. Esta protección consiste en bloques de forma trapecial de manera que sirva como una cama para el concreto vaciado para la losa.

Dado que los bordillos se utilizan como plataforma de trabajo en la colocación de armaduras, se utilizará un concreto pobre con la siguiente dosificación:

Tabla 2. Dosificación de concreto para los bordillos extruidos

Material	Dosificación
Cemento	70 – 75 kg/m ³
Agregado de 19 mm	(3/4") 1173 kg/m ³
Arena	1173 kg/ m ³
Agua	125 litros

Intertechne (2010)

De acuerdo a los estudios realizados por parte del área de ingeniería, se elaboró un análisis estructural de la pantalla con el fin de modelarla para conocer cómo sería su comportamiento una vez puesta en funcionamiento. En análisis estructural se hizo mediante elementos finitos para prever deformaciones y rajaduras.

Los resultados del análisis estructural en la presa de acuerdo a las cargas ocasionadas por el embalse se aprecian en la figura 4:

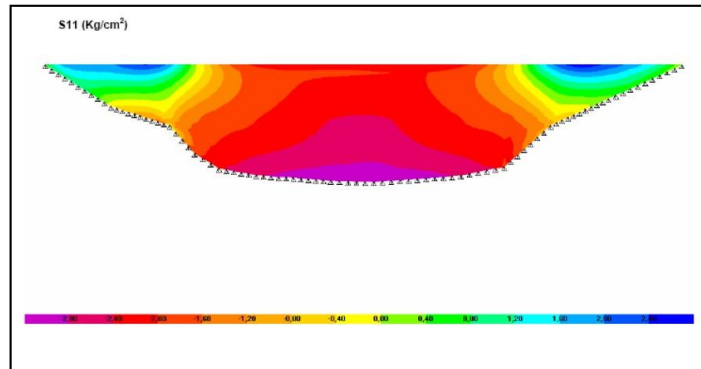


Figura 4. Distribución de esfuerzos en la pantalla de concreto de la presa con embalse lleno

Fuente: Odebrecht (2015)

Según los resultados en la imagen anterior, se puede apreciar que para valores mayores a 0 (colores del verde al azul), la pantalla tendrá esfuerzos en tracción. Por otro lado, para valores menores a 0 (colores del amarillo al morado), la pantalla estará expuesta a esfuerzos en compresión. Conforme a este análisis, se realizó una distribución de losas de concreto a lo largo de presa.

La cara de concreto de la presa consta de un total de 27 losas, de las cuales 7 son de compresión y 20 de tracción. (Ver anexo C: Distribución de losas en la pantalla de concreto)

Debido a la distribución de las losas, se tendrá la presencia de juntas (entre losa y losa). Estas serán diseñadas de acuerdo al esfuerzo al que estarán sometidas. Las juntas de compresión se colocarán entre las losas 9 a 15, mientras que las de tracción se colocarán entre las losas 1 a 8 y 16 a 27. Conforme a esto, el diseño de las juntas y su listado de materiales será el siguiente:

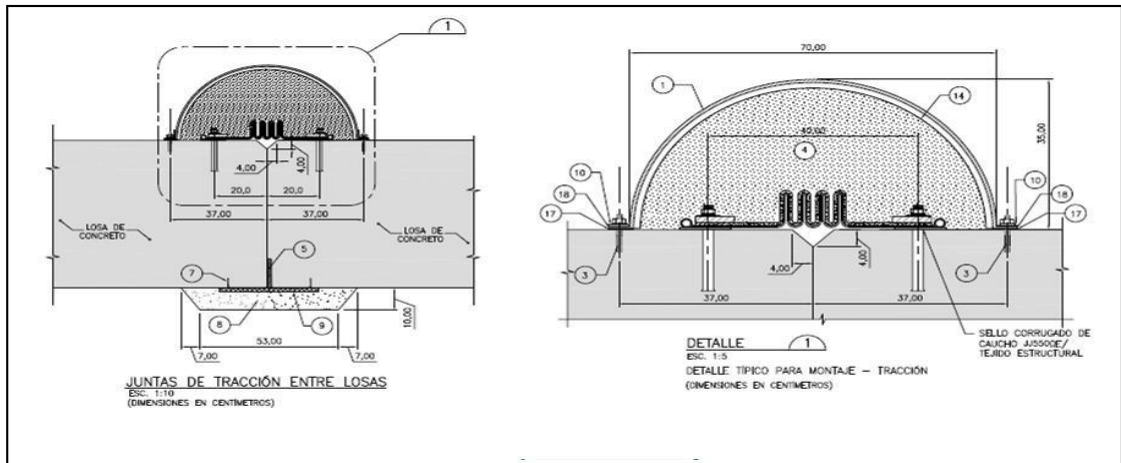


Figura 5. Detalle de juntas de tracción

Fuente: Información interna de Odebrecht. Planos del Proyecto.

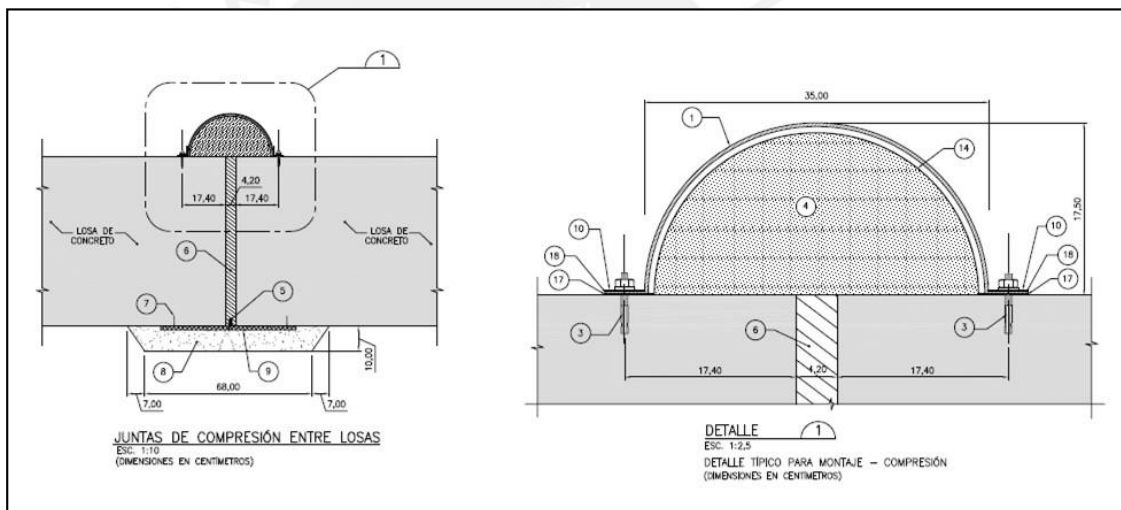


Figura 6. Detalle de juntas de compresión

Fuente: Información interna de Odebrecht. Planos del Proyecto.

Tabla 3. Listado de materiales

N°	ITEM
1	Lámina galvanizada en caliente calibre 18, con perforaciones de ¼" ϕ , distancia entre centros – 9 mm, 9 perforaciones por pulg ²
2	Perno galvanizado m20 c = 200 mm
3	Taquete expansivo galvanizado ϕ 3/8" X 3. ½" de longitud espaciado a cada 20 Cm
4	Material flyash
5	Bulbo de neopreno
6	Epdm (esp = 12 mm – perimetral / eps = 42 mm – compresión)
7	Sello de cobre # 18 (espesor nominal = 1.24 mm)
8	Apoyo de concreto
9	Banda de asiento de polivinil (1/4" x 18.5 cm – perimetral. ¼" x 38 cm – tracción. ¼" x 55 cm – compresión)
10	Platina de hierro galvanizada de ½" x 3/16", con fijación @ 25 cm y 5 cm en los extremos
11	Placa de acero galvanizado chapa a36 3" x 5/8"
12	Manta epdm esp = 5 mm anc = 120 mm
13	Sello corrugado de caucho jj550Qe
14	Geotextil fijado a lamina perforada (ajustar y fijar con costura)
15	Manta epdm con revestimiento esp = 2 mm, anc = 200 mm
16	Rodillo de nylon ϕ 25 Mm
17	Capa de adherente a base de poliuretano
18	Patín de lámina de 1 ½"
19	Tejido estructural aramida (kevlar) o similar anc = 900 mm
20	Mastique
21	Placa de acero galvanizada chapa 2" x 3/8" continua
22	Manta de protección externa del je-210
23	Material je-210

Fuente: Información interna de Odebrecht. Planos del Proyecto.

En ambas juntas se deberá colocar el sello de cobre, el cual es el encargado de impermeabilizar la junta inducida.

Las losas parten del lecho del río con un espesor variable que inicia con 0.8 metros y termina en el eje de presa con un espesor de 0.30 metros. Esta variación se da a lo largo de todas las losas independientemente de si es de tracción o compresión.

Sin embargo, según los esfuerzos a los que están sometidos, las losas tendrán un ancho diferente.

Las losas de compresión fueron diseñadas con un ancho de 15 metros. Tienen un amortiguador de caucho tipo EPDM que se coloca en el encuentro entre losas y posee un espesor de 4.2 cm y una deformación de 50% bajo un esfuerzo de 17 MPA. Además, poseen un refuerzo en malla doble con diámetros variables de 1" a 5/8", obedeciendo el criterio de los esfuerzos variables a los que se someterá la presa con su reservorio.

Por otro lado, las losas de tracción tienen un ancho de 7.5 metros y son capaces de deslizarse hasta 25 cm bajo una presión no mayor a 26 MPA. A causa de su condición no necesitan la banda de caucho EPDM. En la junta perimetral se usará una banda de espesor 1.2 cm.

3. CAPÍTULO 3: REGLA DESLIZANTE APLICADA EN LA CARA AGUAS ARRIBA DE LA PRESA

3.1 Situación problemática

Debido a que el proyecto CH-Chaglla es de gran magnitud, existen muchas actividades que se encuentran concatenadas unas a otras y al generar esa dependencia de trabajos es que se producen interferencias y demoras en cuanto a los avances de construcción. En el caso de la presa, las interferencias presentadas fueron ocasionadas por las actividades a cielo abierto y de las propias estructuras de concreto aguas arriba; tales como el vertedero, la toma del agua del túnel de aducción, y la estructura del Shaft del túnel de desvío. Todas estas actividades disminuyeron la productividad en la colocación del relleno de la presa y las excavaciones obligatorias para el plinto en ambos márgenes. Es por ello que se necesitó compensar todas las demoras ocasionadas por medio de soluciones ingenieriles haciendo dinámico el proceso constructivo de las losas de concreto en la cara de la presa y, de esta manera, poder recuperar los retrasos presentados (ODEBRECHT, 2013).

De acuerdo con la planificación y metodología de las losas de concreto, la construcción de la pantalla se llevará a cabo en dos etapas, siendo el primer nivel desde 1010,85 m hasta el nivel 1100,00 m (en esta primera etapa serán ejecutadas 7 losas de 15,00 m de ancho y 9 losas de 7,50 m de ancho) y luego de 1100,00 a 1197,50 m (en esta etapa final serán concretadas 7 losas de 15,00 m de ancho y 20 losas de 7,50 m de ancho) (ODEBRECHT, 2013).

3.2 Herramienta constructiva adoptada: encofrado deslizante

Con la finalidad de disminuir el tiempo de ejecución en el vaciado de las losas de concreto, se crearon diferentes ajustes y metodologías para que el conjunto de actividades proporcione rapidez y menor costo. Por ello, se propuso utilizar un encofrado deslizante.

El encofrado es el molde encargado de darle la forma al concreto u otro material de similares características durante el proceso de colocación hasta que éste llegue a su endurecimiento (fragua).

El encofrado deslizante es un sistema automatizado que se utiliza en la construcción de estructuras verticales, horizontales y diagonales. Estas son de secciones constantes de manera que el deslizado se reutilice con el crecimiento de la estructura. Asimismo, consiste en desplazar la forma (panel de 1-1.5 m) según la

colocación del concreto. El encofrado se cuelga por medio de caballetes metálicos a unos gatos hidráulicos, los cuales se deslizan sobre guías o rieles metálicos de deslizamiento (Edytesa, 2015).

El procedimiento consiste en elevar la forma de manera progresiva, mediante una bomba hidráulica, conforme va endureciendo el concreto. La elevación del encofrado ocurre por medio de la presión ejercida por la bomba hacia los gatos. Estos poseen abrazaderas que permiten engancharse en los rieles de deslizamiento e ir elevándose por medio de sus pistones, transmitiendo los esfuerzos del peso de la forma a la estructura de apoyo (Edytesa, 2015).

En la parte superior de la forma se debe colocar una plataforma de trabajo que permita al personal obrero poder realizar las labores de desplazamiento, colocación y vibración de concreto. La colocación de concreto se hace por capas no mayores a 1 metro y sobre concreto no endurecido con el objetivo de evitar juntas frías entre capas (Edytesa, 2015).

Con el fin de garantizar la calidad del concreto, es necesario colocar una plataforma pasarela a unos 3 o 4 metros por debajo de la plataforma de trabajo. Ello permite realizar los remates (solaqueo) que ayuden a reducir las imperfecciones en la cara expuesta, producto de la falta de vibrado. La plataforma pasarela también sirve para realizar el curado de la estructura (usualmente con curadores químicos mediante aspersores).

En la figura 7 se muestra una vista isométrica de un encofrado deslizante para uso en presas.

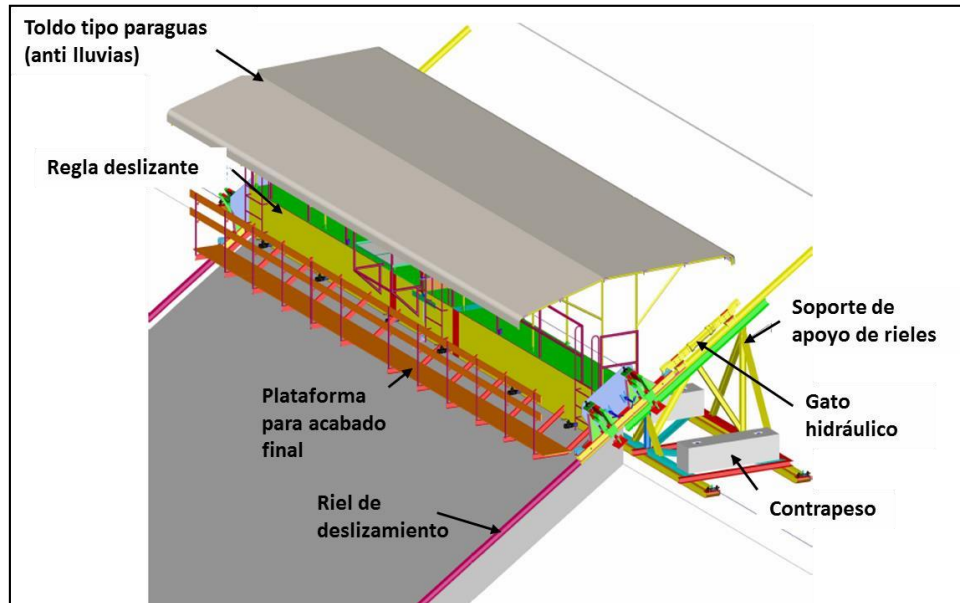


Figura 7. Detalle de encofrado deslizante

Fuente: Odebrecht

La velocidad de deslizamiento varía de acuerdo a las condiciones del proyecto y la estructura en la que se desea vaciar. Se tiene un rango aproximado entre 1.5 a 20 cm/hora para estructuras verticales. El deslizado ocurre cuando la mezcla alcanza su endurecimiento (esto se da en un lapso entre 4 a 6 horas de colocar la primera capa en el molde, evitando que las guías de deslizamiento se pandeen) (Edytesa, 2015).

Debido a que el proceso es repetitivo, se puede alcanzar un gran rendimiento con el paso de las horas. Se obtiene un promedio entre 4 a 8 metros de elevación de vaciado de concreto en estructuras verticales por día (24 horas) y en el caso de estructuras inclinadas como la cara de concreto de una presa, podemos realizar 48 metros de deslizado continuo en la jornada de trabajo diaria, velocidad que no puede ser superada por ningún otro mecanismo constructivo. (Dinescu, Sandru, & Radulescu, 1973)

A continuación se detallan los elementos de un sistema de encofrado deslizante:

- Paneles: son los tableros del encofrado propiamente dicho.
- Caballetes: para arrastrar los paneles, a los que se anclan.
- Barras de apoyo: sobre las que se transmite el esfuerzo de elevación.
- Dispositivo de elevación: normalmente gatos o crics, actúan sobre los caballetes para elevar los paneles apoyándose en las barras.

- Plataformas de trabajo: de acceso a los diversos puntos de trabajo y control.
- Redes de las diferentes instalaciones: necesarias para el funcionamiento del encofrado.

Asimismo, las ventajas del uso de encofrados deslizantes son:

- Uniformidad, homogeneidad y resistencia final del hormigón, además de la velocidad de construcción.
- Ejecución continua de la estructura, con ausencia de juntas frías, característica especialmente importante en ejecución de estructuras de almacenamiento de líquidos y gases.
- Eliminación de tiempos muertos, al realizarse todas las tareas de forma simultánea.
- Velocidad de ejecución, con rendimientos de 48 m/día.
- Acabado con mayor calidad, debido al monolitismo.
- Ahorro de materiales, debido a su estandarización y reutilización.
- Construcción de obras de gran altura sin utilización de andamios.
- Facilidad al momento de dar el acabado a la estructura.
- Elevación simultánea de estructuras pesadas (cubiertas, etc.) y elementos auxiliares (grúa torre, etc.)
- Máxima seguridad

Por otro lado, las condiciones necesarias para una correcta ejecución del sistema continuo de encofrados deslizantes son:

- Continuidad en las tareas durante el proceso de vaciado y colocación de armaduras.
- Correcta organización por parte del equipo encargado en la labor y buena disposición de materiales.
- Formación, responsabilidad y disciplina del personal a realizar las tareas
- Fabricación y montaje de encofrados con gran exactitud, con tolerancias muy estrictas.

En el caso de la CH-Chaglla, para elaborar la pantalla de la presa se pensó en una variante del encofrado deslizante, la cual se llamará regla deslizante.

Las características de la regla deslizante permitirán lo siguiente:

- Concretado de 2 losas simultáneas de 7,50 m, manteniendo la junta de tracción.

- Peso del conjunto y facilidades de traslado.
- Sistema de distribución del concreto mediante chutes.
- Andamio de albañiles y sistema de curado.
- Propulsión del conjunto deslizante mediante gatos hidráulicos.

A continuación se detallarán los beneficios de utilizar la regla deslizante en la pantalla de la presa de CH-Chaglla:

3.2.1 Concretado de dos losas simultaneas manteniendo la junta de tracción

Siguiendo las ideas anteriores para estructuras semejantes, el sistema de la regla deslizante proyectado tiene nuevas características y mejoras. La regla permitirá el concretado de dos losas de 7.50 m simultáneamente, como si fuera una losa de 15.00 m. Para esto, es necesaria la presencia de un dispositivo (cuchilla) que realice la función del corte de concreto de forma mecánica conforme es deslizado, la cual hace que la junta de contracción existente se conserve. (Ver anexo D: detalle de cuchilla)

Este artificio (innovación) permitirá reducir los tiempos de trabajo, el uso de encofrados convencionales a lo largo de la losa de concreto, y la economía final de mano de obra. A su vez reducirá costos en el uso de materiales y equipos, agregando que promoverá una mejoría en la calidad del producto, teniendo en cuenta que se busca eliminar la presencia de juntas de construcción con sus respectivos tratamientos (ODEBRECHT, 2013). (Ver anexo E: detalles de la regla deslizante)

3.2.2 Peso del conjunto y facilidades en el traslado

Debido a que se pretende utilizar la regla continuamente para ejecutar los trabajos de vaciado, será necesario diseñarla con un peso apropiado: 6.5 toneladas que permitan su desplazamiento e izaje por medio de una cama baja y grúa respectivamente. Para garantizar su durabilidad, se concibió que el material con el que sería construida debía ser de acero. La regla deberá comportarse como la unión de dos compartimientos huecos con registros de entrada y salida. Por medio de estos registros, la regla será llenada con 3.6 m³ de agua, permitiendo que esta forme un lastre, proporcionando peso y garantizando la estabilidad contra la fluctuación de la forma deslizante. Con este concepto se economiza en el uso de placas y perfil metálico (menor cantidad de acero en la fabricación), mano de obra y equipo para la colocación de otro tipo de lastre como por ejemplo, un amarrado de acero de construcción (ODEBRECHT, 2013).

3.2.3 Sistema de distribución del concreto mediante chutes

Se tiene proyectado concretar la losa en dos etapas. De la cota 1010,85, hasta la 1100,00 y de la cota 1100,00 hasta la 1197,50. Teniendo en cuenta esto, se planeó colocar dos hileras de chutes unidas entre sí. Ambas debían partir desde la parte superior de cada etapa proyectada, de manera que el concreto sea depositado en cada una y caiga por gravedad siguiendo la pendiente de la presa (1.5H:1.V).

Debido a que el chute de los mixers llega a descargar el material hasta una altura de 1.3 metros por encima del suelo, será necesario colocar dos caballetes (uno para cada hilera) que permitan el paso del concreto hacia los chutes de la losa. Se tendrá que graduar la pendiente del chute del mixer para evitar que el concreto se desplace con elevada velocidad, lo cual podría ocasionar segregación al contacto con la armadura.

Será necesaria la presencia constante de un peón a la mitad de las hileras para evitar un posible estancamiento del concreto y rebose del material. El peón tendrá que estar con una pala garantizando el desplazamiento de la mezcla.

En la parte inferior del tramo estará el personal encargado del traslado de material a lo largo de toda la losa. El cual se hará mediante palas y moverá los chutes a las zonas ausentes de concreto (ODEBRECHT, 2013).

3.2.4 Andamio de albañiles y sistema de curado

Como parte integrante del sistema, en la parte posterior de la regla deslizante, se instalará un andamio que permita dar el acabado final de la cara de concreto deslizada. En esta plataforma los obreros podrán resanar las zonas que no quedaron del todo lisas post deslizado. A su vez, la plataforma también servirá para realizar el curado respectivo. Se tiene pensado utilizar curador químico mediante aspersores (Antisol). Con ello se garantiza calidad en el fraguado y menor mano de obra en el curado con menor consumo de agua respectivamente (ODEBRECHT, 2013).

3.2.5 Propulsión del conjunto deslizante por gatos hidráulicos

El conjunto compactado será movido a través de una bomba hidráulica que impulsa 2 gatos hidráulicos que cargan 20 toneladas de carga (c/u). Los gatos constan de mordazas de acero unidos a los perfiles H situados en el lado superior de las formas de madera laterales. Esta opción busca reducir equipos involucrados (winches) y disminuir el área de influencia por el pequeño espacio en la cresta de la presa. Dicho proceso; también, traerá un ahorro, el cual evitará la adquisición de

guinchos, cables de acero y la disminución de los traslados consumiendo menos horas de equipos (ODEBRECHT, 2013). (Ver anexo F: gatos hidráulicos)

Los resultados esperados de acuerdo a las características de la regla son:

- Disminución de plazos de los concreto rescatando parte de los retrasos
- Menos riesgo de accidentes en las diversas etapas ejecutivas
- Menor costo individual de cada etapa ejecutiva del proceso principalmente lo que se refiere a encofrados.

3.3 Aplicación de la regla deslizante en la pantalla de la presa

Con la finalidad de saber el comportamiento de la regla deslizante en la pantalla de la presa, así como de maximizar su eficiencia, se realizaron dos pruebas en un modelo reducido de 2.44 metros de ancho por 0.80 metros de alto y 3.00 metros de largo.

Debido a que las losas de compresión tienen una longitud de 15.00 metros, se diseñó la regla deslizante con esta medida. Sin embargo, las losas de tracción tienen una medida de solo 7.50 metros, por ello, se realizaron estudios sobre el uso de mecanismos que permitan la aplicación de la misma regla en dichas losas.

Por tal motivo, el principal objetivo de dichas pruebas fue disminuir los movimientos de deslizado a la mitad a través de una utilización más eficiente de la regla. Para esto, el área de Ingeniería diseñó y desarrolló un sistema en el cual se busca posibilitar la ejecución simultánea de dos losas de tracción de concreto de 7.5 metros de ancho por un método de deslizamiento a través de un dispositivo que realiza una función de cuchilla diseñada para moverse de forma ascendente, obedeciendo la pendiente de la losa de concreto.

Por otro lado, además de lo explicado anteriormente, se realizaron pruebas preliminares que sirvieron para comprobar en campo el asentamiento del concreto, su plasticidad y tiempo de inicio de fraguado. Esto permitirá que la regla deslizante se mueva y que la cuchilla deje una abertura mínima que produzca una junta inducida. A continuación se explicarán los 3 ensayos elaborados.

3.3.1 Ensayo para determinar el comportamiento de mezcla de concreto bajo una junta inducida

El ensayo se realizó siguiendo la norma: *ACI 211.1-91 "Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete"* "Práctica estándar para la selección de las proporciones de peso Normal, y Concreto masivo"

Se realizó un ajuste en el diseño de la mezcla (D-25) que permita entender y adaptarse al comportamiento del concreto durante el deslizado bajo la acción de una junta inducida, y con ello poder optimizar tiempo en los deslizados. El objetivo principal es conseguir deslizar 2 losas de tracción al mismo tiempo, dejando una junta inducida entre ambas losas.

Por ello, el centro tecnológico de concreto realizó un cronograma de actividades. A continuación se detallarán las actividades realizadas con los resultados obtenidos.

a) Tiempo de manejabilidad y mezclado

La mezcla se hizo en una máquina de 12 pie³.

b) Tiempo de espera

Simulación entre los tiempos de producción, transporte y colocación. Aproximadamente los tiempos son los siguientes:

- La planta se demora 5 minutos en la producción de 6 m³ de concreto.
- El tiempo de transporte desde la planta hasta el punto de colocación (Presa) es de 20 a 25 minutos aproximadamente.
- El tiempo de colocación por mixer es de 15 minutos

c) Moldeo al encofrado en dimensiones reducidas

Se realizaron 2 ensayos con 3 tomas de tiempo diferentes por cada ensayo. Se asumieron las siguientes dimensiones 0.75 m. de largo x 0.3 m. de ancho x 0.2 m. de alto.

- Fecha de moldeo de encofrado con retiro de planchas separadoras a 30, 60 y 90 min. (18 de marzo del 2014)
- Fecha de Moldeo de encofrado con retiro de planchas separadoras a 45, 60 y 90 min. (19 de Marzo del 2014)

d) Retirar la plancha separadora de junta

La plancha consta de 3 mm de espesor. El tiempo para retirar la plancha será a los 30, 60 y 90 min (simulación de cuchilla). Las siguientes imágenes muestran los resultados obtenidos de la junta de concreto en 3 tiempos diferentes. Se repitió el mismo procedimiento para el segundo ensayo. En la figura 8 se aprecia el procedimiento empleado



Figura 8. Retiro de plancha para el primer ensayo

Fuente: Odebrecht (2014)

e) Prueba de inserción de hoja de papel

Con esta prueba se busca la verificación del agrietamiento formando la junta inducida. Se introducirá una hoja de papel para determinar la calidad del acabado en la junta inducida. El objetivo es que la hoja de papel pueda introducirse con facilidad, sin que esta se quede atascada, producto de alguna rugosidad en las paredes. Esto demostrará en qué condiciones se encuentran las paredes luego retirar la cuchilla. Ver figura 9.



Figura 9. Inserción de hoja de papel

Fuente: Odebrecht (2014)

f) Moldeo de probetas para resistencia a los 28 días de edad

Como parte de las buenas practicas constructivas, se realizó el moldeo para un posterior ensayo de compresibilidad en las 3 probetas seleccionadas para los dos ensayos (30 min, 60 min, 90 min). Ver figura 10.

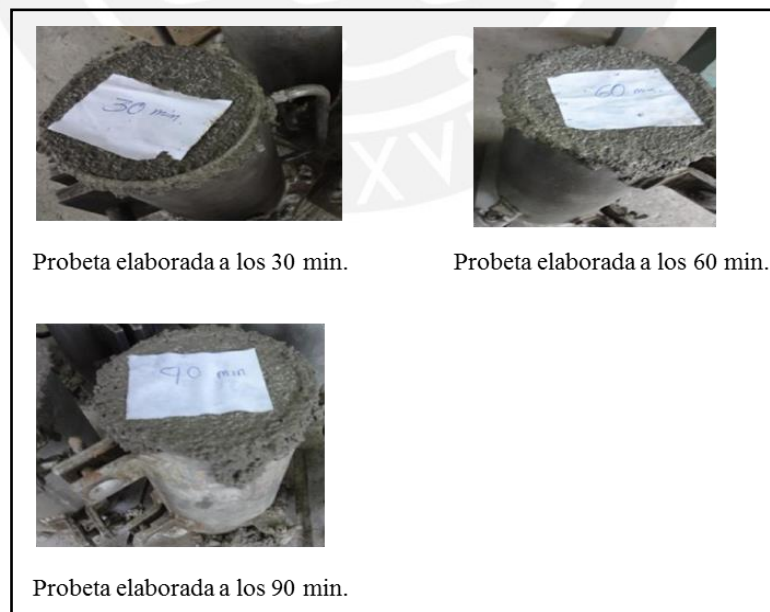


Figura 10. Probetas de concreto del primer ensayo

Fuente: Odebrecht (2014)

- g) Determinar los tiempos de fabricación, transporte, descarga y espera para deslizar

Se realizó una tabla donde se calculan los tiempos de las actividades incurridas en el proceso del uso del concreto hasta el saque de cuchilla.

Tabla 4. Tiempos de fabricación, transporte, descarga y espera para deslizar en Ensayo N° 1

ENSAYO N° 1							
Ensayo	(1)	(2)	(3)			(4)	Observación del saque
	Dosaje	Transporte	Fundir espera			Saque	
	10 minutos	20 minutos	30	60	90	Hora	
1	Ambiente: 20.5° C Concreto fresco: 23.4°C Horario 10:10	10:30	X		● 14:30	11:00	Presentó pegamento en el cuchillo y dejó la junta cerrada.
2	Ambiente: 20.5° C Concreto fresco: 23.4°C Horario 11:30	11:50		X	● 14:30	12:50	Presentó menos esfuerzo en el punto saque y mayor abertura en la junta.
3	Ambiente: 20.5° C Concreto fresco: 23.4°C Horario 14:30	14:50				● 16:20	Presentó mayor abertura en la junta y mayor facilidad en el saque.

- (1) Fabricación en la planta
- (3) Vaciado
- (4) Saque de platina
- Acabado

Fuente: Odebrecht (2014)

Tabla 5. Tiempos de fabricación, transporte, descarga y espera para deslizar en Ensayo N° 2





ENSAYO N° 2							Observación del saque
Ensayo	(1)	(2)	(3)			(4)	
	Dosaje	Transporte	Fundir espera			Saque	
	10 minutos	20 minutos	45	60	90	Hora	
1	Ambiente: 22.9° C Concreto fresco: 26.7°C Horario 13:00	13:20	• 14:05	X	X	14:05	Se pegaron ambas caras, se notó la junta de unión
2	Ambiente: 23.0° C Concreto fresco: 26.2°C Horario 14:00	14:20	X	• 15:20	X	15:20	No se pegaron ambas caras lo que permitió la inserción de la hoja de papel.
3	Ambiente: 22.8° C Concreto fresco: 26.9°C Horario 15:00	15:20	X	X	• 16:20	16:50	No se pegaron ambas caras lo que permitió insertar un alambre de 2 mm de espesor en toda la junta.

- (1) Fabricación en la planta
- (3) Vaciado
- (4) Saque de platina
- Acabado

Fuente: Odebrecht (2014)

h) Proceso de sellado de juntas después de 2 y 3 días de encofrado

Si bien el sellado de juntas representa una pequeña parte del presupuesto dentro de un proyecto de construcción, no debe considerarse como un detalle de poca importancia. Los selladores de juntas tienen un papel fundamental en el comportamiento de las estructuras, ya que evitan la inserción de aire y agua, lo cuales ocasionan daños que pueden producir reparaciones continuas. Para que un sellador pueda cumplir su función durante la vida útil de la estructura, es necesario realizar un buen tratamiento de la junta teniendo en cuenta todos los factores que pueden influir en su desgaste (SIKA).

Moldeo: 18 de marzo – Inyección: 22 de marzo	Moldeo: 19 de marzo – Inyección 22 de marzo
	
<p>Retiro de placa (30 minutos)</p>	<p>Retiro de placa (45 minutos)</p>
	
<p>Retiro de placa (60 minutos)</p>	<p>Retiro de placa (60 minutos)</p>



<p>Moldeo: 18 de marzo – Inyección: 22 de marzo</p>	<p>Moldeo: 19 de marzo – Inyección 22 de marzo</p>
	
<p>Retiro de placa (90 minutos)</p>	<p>Retiro de placa (90 minutos)</p>

Figura 11. Sellado de juntas

Fuente: Odebrecht (2014)

- i) Verificación de las caras laterales de las juntas



Figura 12. Resultado de la junta

Fuente: Odebrecht (2014)

- j) Proceso de extracción y perfilado de muestras para el cizallamiento

La prueba se hará después de 2 días de haber realizado la inyección

- La fecha de extracción fue el 24 de marzo.

Ensayo N° 1	Ensayo N° 2
	
Retiro de placa (30 minutos)	Retiro de placa (45 minutos)
	
Retiro de placa (60 minutos)	Retiro de placa (60 minutos)
	
Retiro de placa (90 minutos)	Retiro de placa (90 minutos)

Figura 13. Procedimiento de extracción y perfilado de muestras

Fuente: Odebrecht (2014)

k) Resultados del ensayo de cizallamiento

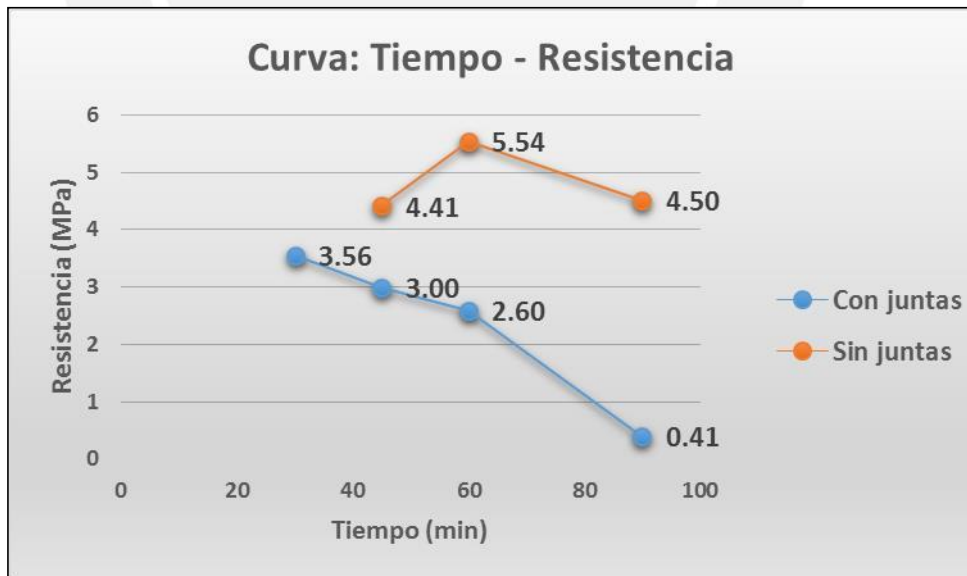
Fecha de ensayo: 27 de marzo (3 días después de la extracción)

Tabla 6. Cuadro de resultados del Ensayo N° 1

Ensayo N° 1		
Tiempos	Resistencia	
	Con juntas	Sin juntas
30 min	3.56 MPa.	-
45 min	3.00 Mpa	4.41 MPa.
60 min	2.60 MPa.	5.54 MPa.
90 min	0.41 MPa.	4.50 MPa.

Fuente: Odebrecht (2014)

Tabla 7. Curva de resultados del Ensayo N° 1



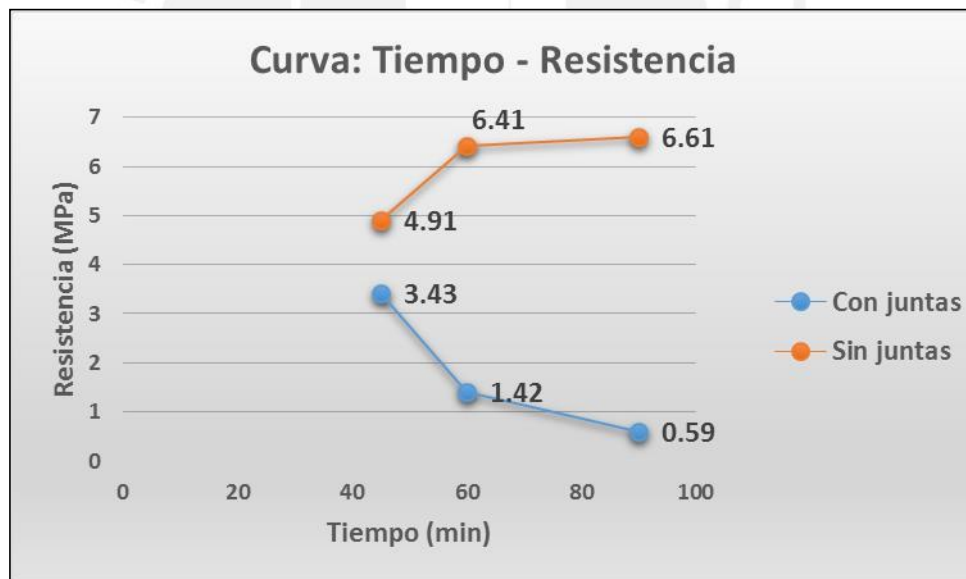
Fuente: Odebrecht (2014)

Tabla 8. Cuadro de resultados del Ensayo N° 2

Ensayo N° 2		
Tiempos	Resistencia	
	Con juntas	Sin juntas
45 min	3.43 MPa.	4.91 MPa.
60 min	1.42 MPa.	6.41 MPa.
90 min	0.59 MPa.	6.61 MPa.

Fuente: Odebrecht (2014)

Tabla 9. Curva de resultados del Ensayo N° 2



Fuente: Odebrecht (2014)






Ensayo N° 1: con junta	Ensayo N° 2: sin junta
	
Retiro de placa (30 minutos)	Retiro de placa (45 minutos)
	
Retiro de placa (60 minutos)	Retiro de placa (60 minutos)
	
Retiro de placa (90 minutos)	Retiro de placa (90 minutos)

Figura 14. Ensayo de cizallamiento

Fuente: Odebrecht (2014)

l) Diseño de mezcla D-25 para las condiciones de lanzado en la losas

Como resultado de los ensayos elaborados, el área de ingeniería diseñó una mezcla óptima que permitió obtener mejores resultados durante el vaciado en la losa de concreto en la pantalla de la presa. La dosificación es la siguiente.

Tabla 10. Dosificación del concreto D-25

Ítem	CARACTERÍSTICAS DE LOS DISEÑOS						CANTIDAD DE LOS MATERIALES							
	Código/ Tipo	Resistencia	Edad	Slump Test	DMT	Factor	Cemento Tipo 1P	Agua	Aditivos			Arenas	Grava -	Grava
									Sikament 306	Sika Aer	PlastimentTM12		ArtificialMF=3.000.20 ±	3/8"
Fc (Mpa)	(días)	(pulg)	(kg/m ³)	A/C	(kg/m ³)	(l/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	
4	D	25	28	6-8"	N/A	0.50	321	161	4.82	0.19	0.19	1070	218	694

Fuente: Odebrecht (2014)

Las conclusiones luego del ensayo fueron las siguientes:

Se consideró satisfactorio el comportamiento de la mezcla de concreto en ambos ensayos: ensayo 1 y 2 para la prueba de la inducción de la junta. A su vez; se observó que para tiempos de 30 y 45 minutos, al desplazar la cuchilla, no forma la junta de inducción. Sin embargo para los tiempos de 60 minutos, se apreció una mejoría aparente de la junta formada.

Finalmente para el caso de 90 minutos de retirada la cuchilla se logra que la junta de inducción se forme.

Es importante mencionar que al momento de realizar el concretado en la presa, se pueden realizar ajustes en la dosificación para controlar el asentamiento y fraguado de la mezcla en función de la temperatura ambiente.

3.3.2 Ensayos para determinar el comportamiento de la regla

a) Primer ensayo

La primera prueba se realizó el día 27 de marzo de 2014. Se instaló el modelo reducido de la regla deslizante.

El volumen del bloque de concreto se dividió en 3 partes: la primera y tercera con 1.10 metros y la segunda 0.80 metros de largo cada una y con una separación en el medio de 2 pulgadas en sentido longitudinal para permitir el paso de la cuchilla. La junta de cobre tuvo una de las pestañas enderezada y fue dividida en tramos de igual medida para posibilitar la remoción de los bloques de concreto separadamente por la junta inducida formada. Los compartimientos fueron cubiertos por plásticos para facilitar el desencofrado y el manipuleo de cada bloque de concreto a remover.

En la figura 15 se puede apreciar el diseño en planta del modelo reducido de la regla deslizante. Se muestran los cortes con sus respectivas dimensiones. (Ver anexo G: modelo reducido)

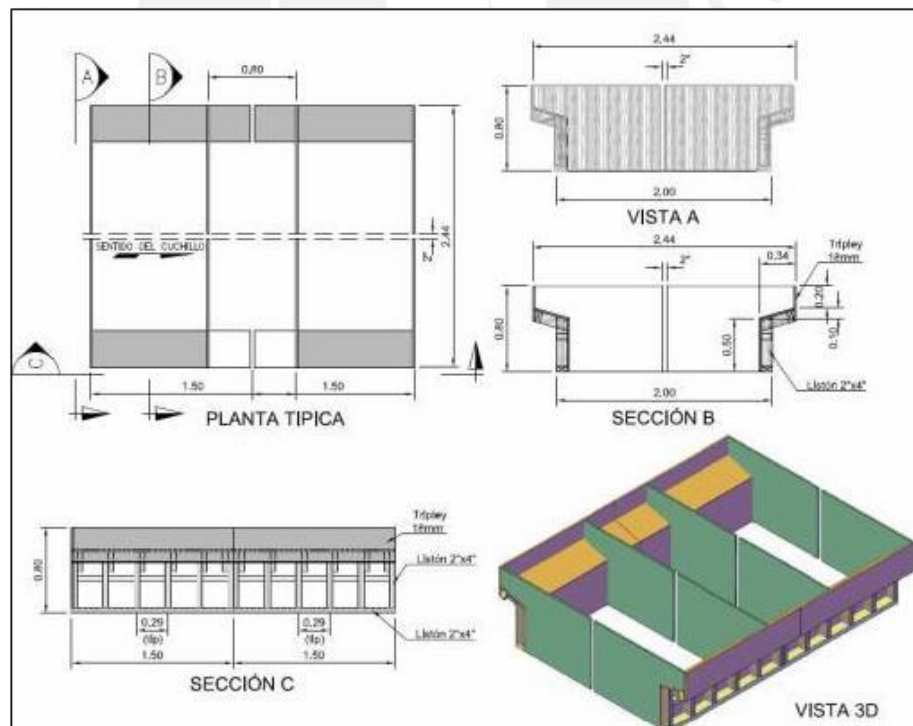


Figura 15. Modelo reducido de la regla deslizante – Primera prueba

Fuente: Odebrecht (2014)

Luego de realizar el diseño en Autocad, el taller de Maestranza implementó la regla para dar comienzo al ensayo.



Figura 16. Modelo reducido de la regla deslizante (2.44 m ancho x 0.80 m alto x 3.00 m largo) – Primera prueba

Fuente: Odebrecht (2014)



Figura 17. Vista superior del bloque de prueba – Primera prueba

Fuente: Odebrecht (2014)

Después de haberse instalado el modelo, se procedió a echar el concreto mediante un chute de 6 metros cúbicos de capacidad.

Conforme se colocaba el concreto, la regla se iba deslizando dejando una junta en el medio, ocasionada por la cuchilla. Asimismo, se realizaron ensayos de probetas y ensayos de *slump* con el fin de medir el tiempo de trabajabilidad de la mezcla (Ver figura 18).



Figura 18. Concretado y desplazamiento de la regla – Primera prueba

Fuente: Odebrecht (2014)

En la figura 19 se muestra el aspecto del concreto luego de deslizar la regla. Se puede apreciar que el acabado es liso, es decir, cumple con las expectativas que se esperaba.



Figura 19. Aspecto del acabado y detalle de la cola de golondrina para el chaflán en el tope de la junta de inducción – Primera prueba

Fuente: Odebrecht (2014)

La figura 20 muestra la junta inducida luego de la fragua del concreto. Se puede apreciar la unión entre los bloques de la derecha e izquierda. Es muy importante que esta junta quede bien definida.

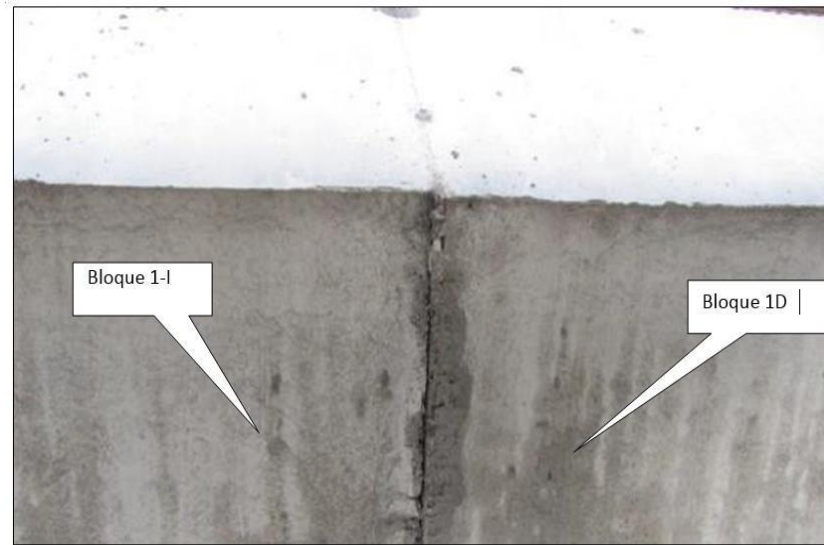


Figura 20. Junta inducida en el bloque de concreto – Primera prueba

Fuente: Odebrecht (2014)

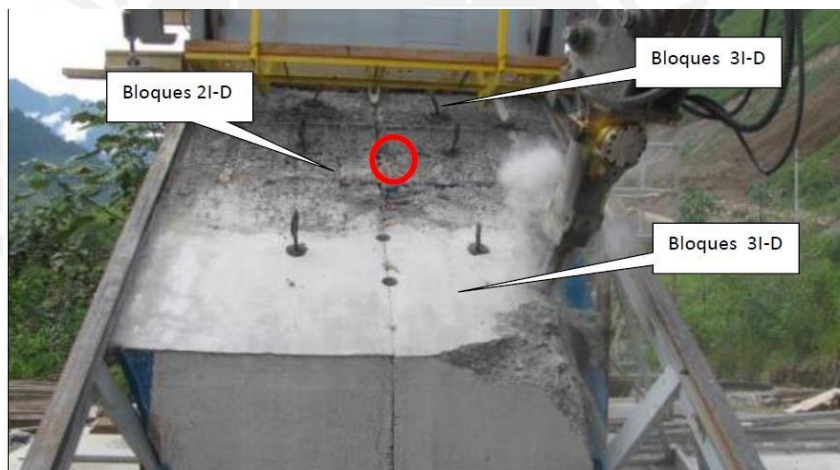


Figura 21. Bloque de prueba en demolición – Primera prueba

Fuente: Odebrecht (2014)

Luego del desencofrado, la primera prueba preliminar comprobó la eficiencia de la cuchilla para realizar la junta inducida, pues al remover los bloques, estos se desprendieron y se deslizaron de forma diferencial por la pendiente, demostrando la junta y el sello de cobre.

Los resultados obtenidos en la primera prueba se consideraron válidos pese a que se presentaron problemas mecánicos en la cuchilla, ya que tuvo dificultad de deslizarse verticalmente a causa de la falta de holgura respecto a sus correderas internas. Estas dificultades con respecto al deslizamiento vertical fueron revisadas en la segunda prueba realizada.



Figura 22. Deslizamiento de bloques de concreto – Primera prueba

Fuente: Odebrecht (2014)

Bloque 3D se desprende y se desliza de forma diferencial por la pendiente, demostrando la junta y el sello de cobre. A su vez comprueba la eficiencia de la cuchilla en la formación de la junta de inducción.

b) Segundo ensayo realizado

La segunda prueba se realizó el miércoles 30 de abril de 2014. En esta prueba se utilizó el mismo sistema reducido de la regla deslizante que se usó en el primer ensayo. La variante en este caso fue que se fijó la cuchilla a los bordes, ya que en el sistema inicial de subida la cuchilla se desplazó verticalmente por el peso propio (176 kg). Caso que no ocurrió debido a una falta de lubricación y una superficie de contacto grande entre las correderas y los bordes de la cuchilla, Esto hizo que ésta flotara mientras era deslizada.

Dicho fenómeno resultaba deficiente debido a que la cuchilla estaba apoyada en el sello de cobre y no se desplazaba verticalmente, acompañando la rampa de la losa hacia la flotación del sistema.

La solución adoptada ante este inconveniente fue abrir un espacio de 40 cm x 10 cm al costado de la regla y recortar la corredera, lo cual mejoró la posibilidad de lubricar la cuchilla. Además, se cambió el sistema de desplazamiento por tuercas y manijas volantes manuales. Este sistema deberá ser implementado con un lector métrico que podrá permitir impulsos manuales compatibles con la pendiente (1.5H:1V). (Ver anexo D: detalle de cuchilla)

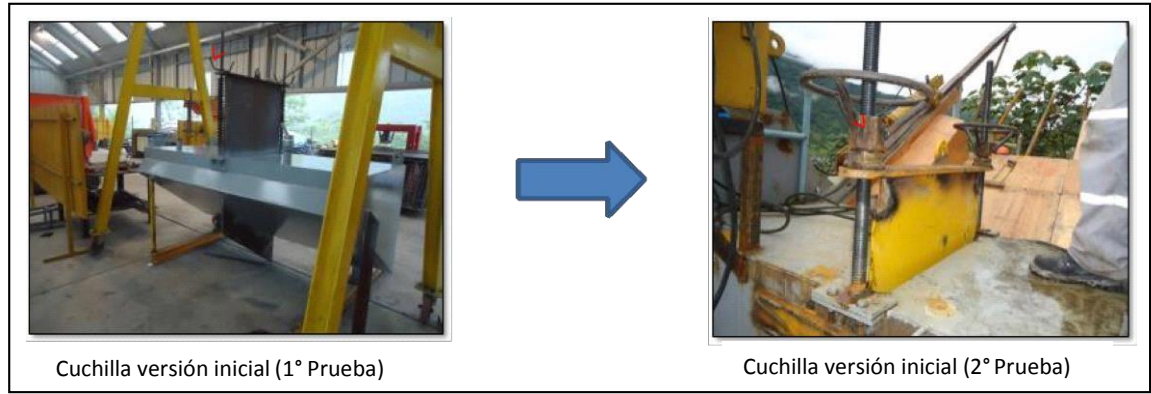
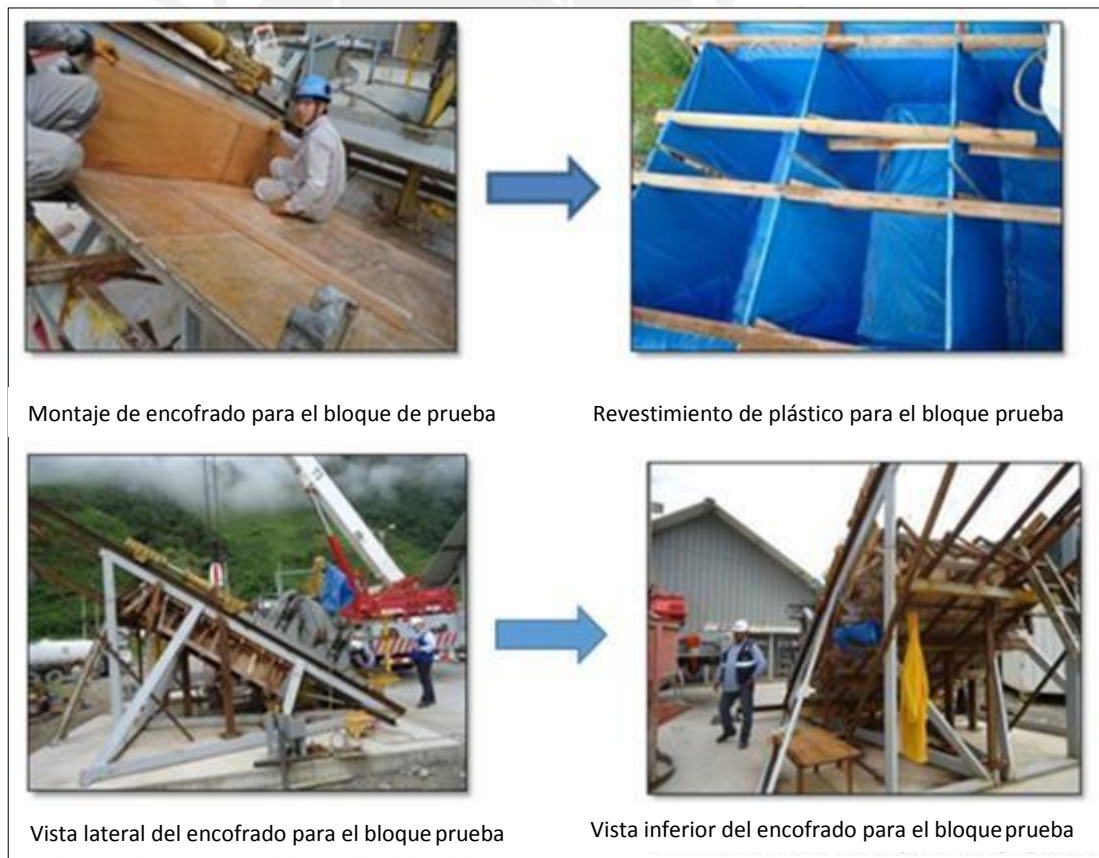


Figura 23. Mejoramiento en la cuchilla de la regla

Fuente: Odebrecht, 2014

En la figura 24 se podrá apreciar el procedimiento empleado en la elaboración del segundo ensayo reducido de la regla deslizante para determinar el comportamiento de la cuchilla mejorada puesta en funcionamiento.



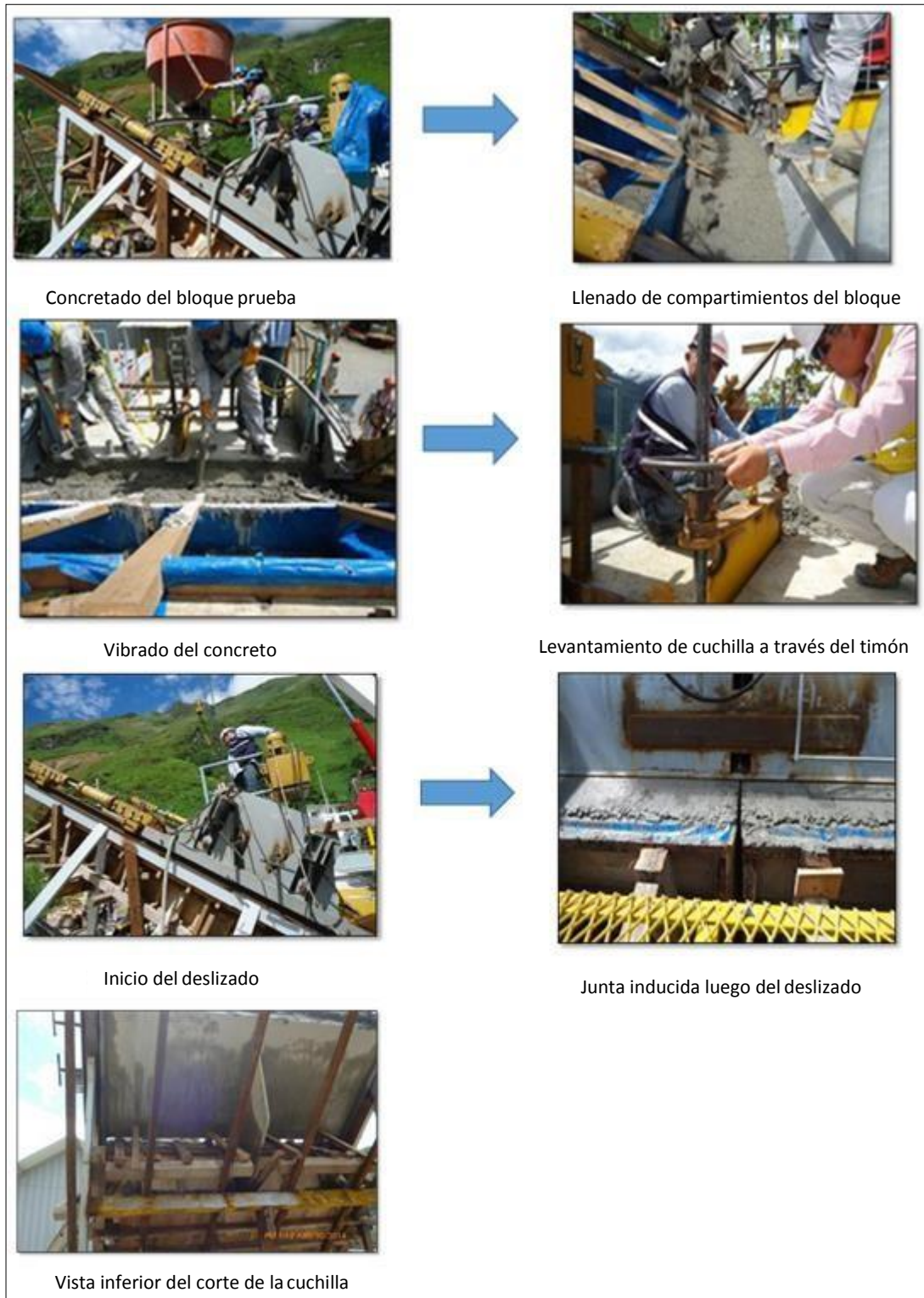


Figura 24. Procedimiento constructivo – Segunda prueba

Fuente: Odebrecht 2014

Luego de tres días de realizada la prueba de vaciado, el área de calidad del proyecto procedió a la extracción de diamantinas en las juntas inducidas para comprobar la eficiencia del proceso. En la figura 25 se muestra el proceso de extracción.



Figura 25. Extracción de diamantinas en los bloques de concreto

Fuente: Odebrecht, 2014

Las conclusiones obtenidas de este ensayo fueron que durante el proceso de vaciado se pudo observar claramente la formación de la junta inducida mientras se deslizaba la regla. También se apreció que el espesor mediano de la junta era de 3 cm. Sin embargo la confirmación de profundidad de la junta sería comprobada con la extracción de diamantina. Además de esto, la confirmación final de la eficiencia del método se dio luego de que los bloques partidos de los compartimentos concretados fueran dislocados y extraídos de la plataforma deslizante. En las imágenes se puede apreciar un mejor acabado en la junta inducida, por ello se adoptó este procedimiento para los vaciados de concreto en las losas que trabajen a tracción.

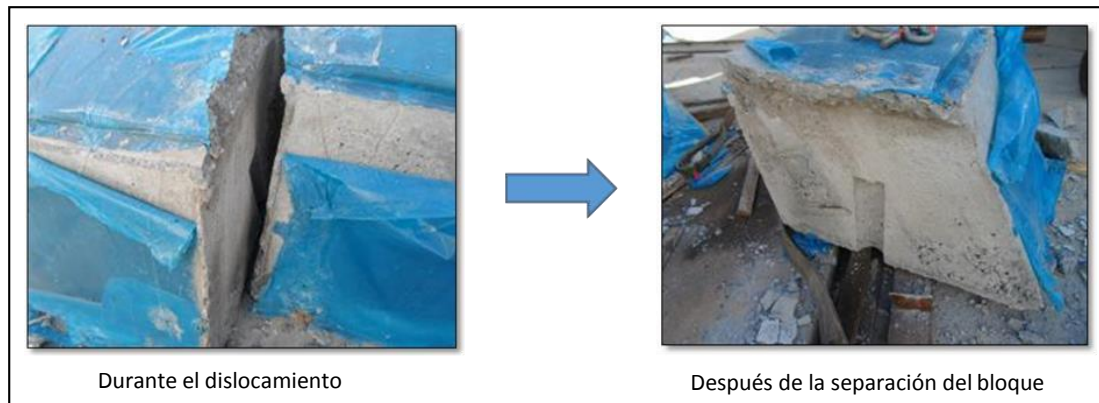


Figura 26. Aspectos de los compartimentos dislocado y separados por la junta inducida

Fuente: Odebrecht, 2014

3.3.3 Descripción del proceso de aplicación final en la pantalla de concreto de la presa

Una vez terminados los ensayos sobre el uso de la regla deslizante, el área de producción puso en marcha la construcción de la losa en la presa. Para realizar este trabajo se debía seguir los siguientes pasos:

1. Garantizar la colocación de los bordillos extruidos sobre el material 2B de la presa:

Los bordillos extruidos sirven para brindarle el soporte a la cara de concreto, protegen al material 2B y evitan así, la erosión y la segregación de la pantalla aguas arriba. Con la colocación de los bordillos se obtiene lo siguiente: (Barrena, C. & Cortes, J., 2011)

- Reducir la segregación en la pantalla
- Menor pérdida de material en la cara aguas arriba
- Protección inmediata en contra de la erosión
- Reducción de equipo de construcción
- Seguridad al personal obrero evitando trabajos en el talud de la pantalla
- Tener una superficie más limpia para la colocación de acero de refuerzo y el posterior vaciado de concreto.

Para su aplicación es necesario el uso de una maquina aborrelladora que reciba el concreto y le dé forma trapecial.

La máquina abordilladora se colocaba en el estribo derecho para el inicio del trabajo. Una vez instalada, los mixers van llegando para el depósito de la mezcla, de manera que esta avanza linealmente hasta llegar al estribo izquierdo. Las dimensiones de los bordillos y el procedimiento de colocación se pueden apreciar en la figura 27. (Ver anexo H: bordillos)

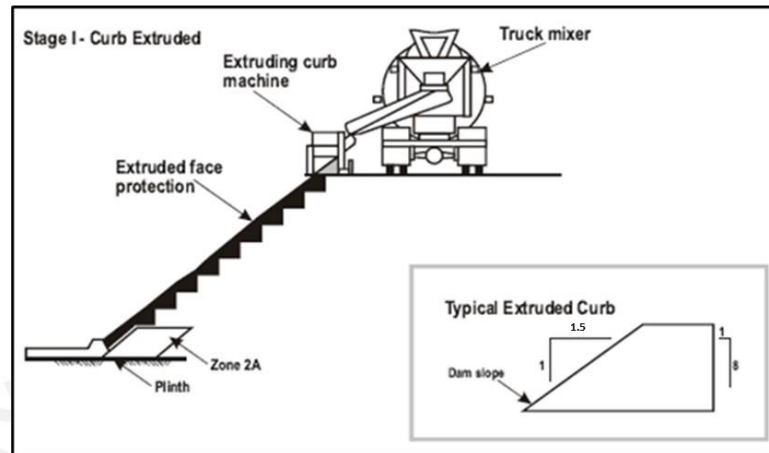


Figura 27. Colocación de bordillos en la cara de la presa

Fuente: Información interna de Odebrecht. Planos del Proyecto.

2. Vaciado del mortero de asiento en donde exista presencia de juntas

Luego de colocar los bordillos, se precede a picar las zonas donde se colocarán las juntas de compresión y de tracción. Posterior al picado, se vaciará un mortero de asiento que sirve como soporte y nivela el área de la junta. Este concreto es de 20 Mpa. Como medida de seguridad se debe colocar puntos de anclaje para evitar caídas en altura.



Figura 28. Colocación del mortero de asiento en la junta

Fuente: Propia

3. Colocación de la banda de polivinil y sello de cobre

Una vez completada la fragua del mortero de asiento, se colocará una banda de polivinil a lo largo de toda la junta. Encima de esta irá el sello de cobre. Ambos con fines de impermeabilización. Es importante sellar el contacto entre el polivinil y el sello de cobre con silicona, de lo contrario el agua podría filtrar y dañar la junta. Por tal motivo, como medida de seguridad se colocarán escaleras a lo largo de la pendiente para facilitar la colocación de los materiales.



Figura 29. Banda de polivinil y sello de cobre

Fuente: Propia

4. Verificar la correcta soldadura en los sellos de cobre

Los sellos de cobre eran fabricados en planchas de 12 metros para facilitar su transporte. Ello implicaba realizar soldaduras para alcanzar la longitud total de cada tramo. Por eso, para garantizar que la soldadura sea realizada de manera correcta se hizo un ensayo de tinte penetrante. Este está elaborado para un espesor de material de 1.2 mm y se considera no destructivo porque no daña el sello. Mediante el ensayo se pueden detectar picaduras producidas por fatiga o esfuerzos térmicos. En la figura 30 se aprecia el procedimiento del ensayo. (ISOTEC, 2015)

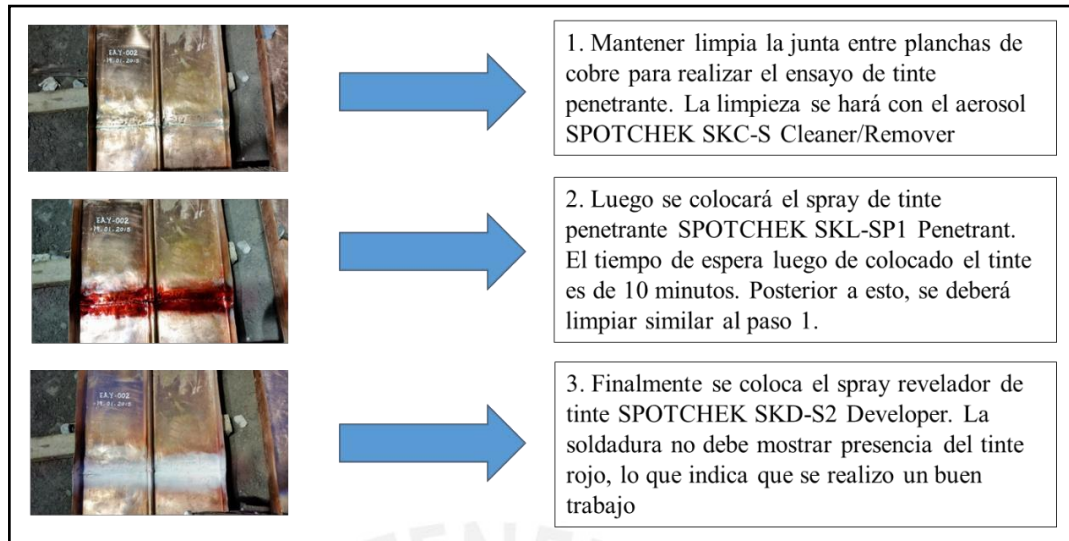


Figura 30. Ensayo de tinte penetrante

Fuente: Propia

5. Colocación de la armadura en la losa

La función de la armadura de acero es mejorar el comportamiento de la losa ante la presencia de fuerzas externas e internas. Permite soportar los esfuerzos de tracción que se generan durante la aplicación de cargas, pues de lo contrario el concreto colapsaría.

Su colocación debe seguir estrictamente las especificaciones de los planos. Se hará uso de separadores “grapas”, dados separadores y otros. La armadura debe quedar fijada con precisión, de modo que no se desplace durante el vaciado del concreto. La fijación de las barras se realiza con alambres recocidos, tratando de mantenerlas rígidamente fijas y juntas. Los dados separadores no deben exceder el recubrimiento de la superficie del concreto para no causar manchas y deterioro del concreto.

La colocación de armadura comenzó desde la parte baja (lecho del río) hasta llegar a la parte final de cada tramo. La mitad del acero se enmalla desde la parte baja y la otra mitad desde la parte superior. En la tabla 11 se aprecian los distintos tipo de acero colocados. En la tabla 12 se aprecia los empalmes asumidos entre aceros según el diámetro.

Tabla 11. Aceros colocados en la pantalla de concreto

Tipo de acero	Diámetro (pulg)
Longitudinal	1", 3/4", 1/2", 5/8"
Transversal	5/8", 3/4"
Estribos	5/8" y 3/4"
Ganchos "S"	10 mm.

Fuente: Información interna de Odebrecht Planos del Proyecto.

Tabla 12. Longitud de empalmes

Diámetro (pulg)	Longitud de empalme (m)
1"	1.7
3/4"	1.05
5/8"	0.85
1/2"	0.65

Fuente: Información interna de Odebrecht Planos del Proyecto.

**Figura 31. Armado de acero en la Losa 11^a**

Fuente: Propia

6. Colocación del encofrado lateral y riel de deslizamiento

El encofrado será colocado manualmente por medio de la cuadrilla de carpinteros. Se ubicará en los extremos laterales de los paños con el fin de encajonarlos y permitir la división entre losa y losa. Se utilizarán paneles de madera que serán fijados con cáncamos, pernos she-bolts, perfiles H y listones (Ver anexo I: encofrado lateral). Es importante que durante la colocación del encofrado no se dañe el tratamiento de junta conformada por la banda de polivinil y el sello de cobre.

Los rieles de deslizamiento serán fijados mediante grapas en la parte superior del encofrado (Ver anexo J: detalle de riel). Por temas de transporte, los rieles son de 12 metros y la unión entre ellos debe ser exacta, caso contrario los gatos no podrán deslizarse y quedarán atascados en las juntas.

El área de topografía será la encargada de fijar los puntos guías para el alineamiento del encofrado y los rieles. En la figura 32 se puede apreciar el detalle del encofrado lateral.

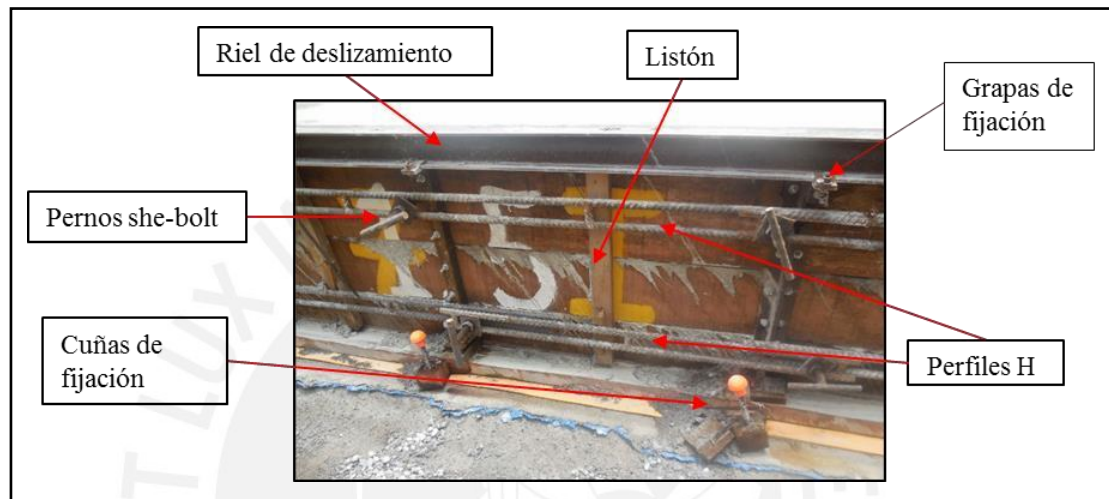


Figura 32. Encofrado lateral con riel de deslizamiento

Fuente: Propia

Al final del tramo se debe colocar un soporte metálico de apoyo para rieles (Ver anexo K: cubierta y soporte de rieles con contrapeso)

7. Colocación de caballetes en la parte superior con sus respectivas hileras de chutes

Los chutes partirán desde la parte alta de cada tramo. Serán enganchados uno a otro consecutivamente formando filas. En la figura 33 se puede apreciar la distribución de chutes a lo largo de la losa. Los caballetes y los chutes se podrán apreciar en el anexo L: distribución de chutes.

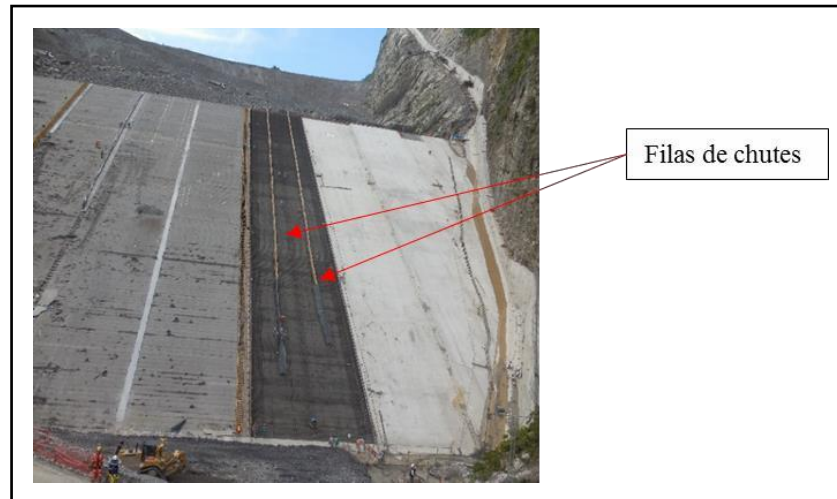


Figura 33. Distribución de chutes

Fuente: Propia

8. Ensamblaje de los gatos hidráulicos en los rieles de deslizamiento

Los 2 gatos hidráulicos serán ensamblados sobre los rieles de deslizamiento (uno para cada riel). Deben colocarse desde la parte baja y se debe asegurar que las abrazaderas estén en correcto funcionamiento, de lo contrario serán cambiadas. Como ya se mencionó anteriormente, los gatos permiten deslizar una carga de 20 toneladas (c/u). En el almacén se debe contar con 2 gatos de reserva, un tilford y una bomba hidráulica en caso exista alguna falla de alguno de los equipos. El cambio de un gato es de 20 minutos, mientras que el de una bomba hidráulica demora 30 minutos.



Figura 34. Ensamblaje de gatos hidráulicos

Fuente: Propia

9. Transporte de la regla deslizante

La regla será transportada desde el taller de Maestranza hasta el punto de inicio de vaciado (parte baja de la losa). Se utilizará un camión plataforma y grúa Madal 15500 / VW que permitirá el engranaje con los gatos hidráulicos. Posterior a esto, se llenará la regla deslizante con 3.6 m³ de agua, alcanzando un peso total de 10.1 toneladas. De esta manera, se evita un empuje de la mezcla. Luego se deberá calibrar la bomba junto con los gatos hidráulicos. La bomba trabaja a 125 bares de presión, mantiene una velocidad constante mientras se encuentra encendida y funciona con hidrolina. (Ver anexo M: bomba hidráulica)

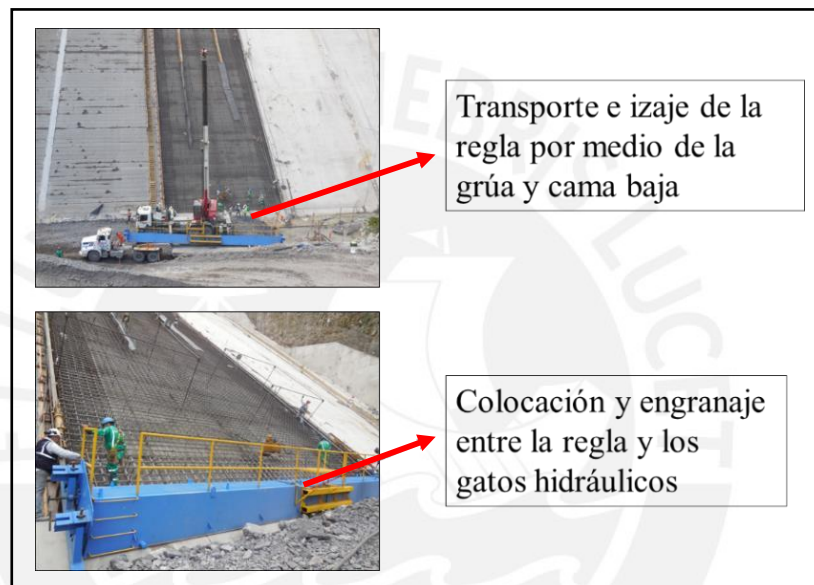


Figura 35. Colocación de la regla deslizante

Fuente: Propia

10. Inicio del concretado

El vaciado de concreto se dará desde la parte alta de cada tramo. Los mixers deberán estacionarse en reversa, de forma que su bandeja se coloque encima de los caballetes. La mezcla caerá por gravedad (talud 1.5H: 1V) hasta llegar a la regla deslizante.

En la parte baja, el personal se encargará de la distribución del concreto a lo ancho de la losa. El concreto será colocado en sub capas continuas hasta alcanzar el espesor indicado (de 0.8 m a 0.3 m). La capa superior no puede ser mayor a un metro sobre la regla para evitar un empuje y levantamiento del deslizante.

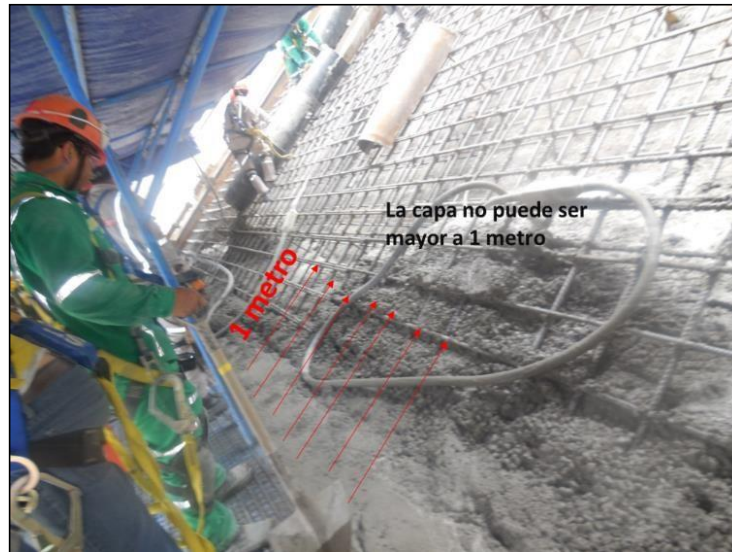


Figura 36. Vaciado de concreto en losas

Fuente: Propia

El tope de la capa de vaciado constituirá una superficie plana, conseguida solo por vibración normal con el fin de evitar la segregación del material. La vibración será realizada enseguida se ha colocado el concreto. Los vibradores (de 4" y 3") se introducirán y retirarán lentamente en el concreto, operando en posición próxima a la vertical, dejando penetrar la aguja en la capa.

La colocación de una nueva subcapa debe ser hecha durante el periodo en que el vibrador pueda penetrar por su propio peso en la subcapa inferior para que no se forme una junta que requiera tratamiento.

El efecto de vibrado no será utilizado para desplazar el concreto a lo largo del encofrado. El vibrado será de la intensidad y tiempo suficiente para compactar completamente el concreto, sin llegar a formar zonas de lechada localizadas.

Toda agua procedente de la exudación del concreto deberá ser retirada.

Con el fin de controlar el revenimiento del concreto, se harán ensayos de cono de Abrams in situ, antes de vaciar la mezcla.

Conforme la mezcla alcanza el endurecimiento, se puede deslizar la regla. Para el abastecimiento de concreto, es necesaria una comunicación constante por medio de radios entre el capataz de albañilería (parte baja) y el capataz general (parte alta). El capataz de albañilería será el encargado del manejo de la bomba hidráulica para el deslizado. El solaqueo se dará en la cola golondrina de la regla para reparar algunas imperfecciones.



Figura 37. Solaqueo de losa

Fuente: Propia

En caso exista presencia de lluvias, la regla cuenta con un toldo tipo “paraguas” que permite mantener la zona de vaciado libre de agua excedente.



Figura 38. Vaciado durante lluvia

Fuente: Propia

El curado se hará mediante aspersor químico. El líquido utilizado para este proceso será Antisol y se aplicará sobre concreto fresco luego de que este pierda trabajabilidad. Con ello, se reducirá el problema de resquebrajamiento en la superficie, producto de la retracción del concreto. (NRMCA CIP3, 2015) (Ver anexo N: Curado de la pantalla de concreto)

El tratamiento de la junta de construcción se hará al final del vaciado colocando una malla expansiva de metal (tipo gallinero). La cual permitirá tener agregado expuesto, garantizando una buena adherencia entre el concreto viejo (final del tramo 1) y el concreto nuevo (inicio del tramo 2). Con ello se controlan las grietas y permite retomar el concretado luego de la paralización. (NRMCA CIP6, 2015) (Ver anexo O: Tratamiento de junta)

11. Colocación de la banda EPDM en juntas de compresión

La banda EPDM de 42 mm de espesor fue colocada en los extremos de las losas de compresión luego de que estas alcancen su fragua final. En la figura 39 se aprecian las planchas de EPDM, las cuales tenían dimensiones de 20x100 cm. Previo a su colocación, se debía poner una capa de pegamento en la cara lateral de la losa. Luego se perforaba con pernos para garantizar una mejor adherencia. La colocación de las planchas fue consecutiva sin dejar espacios vacíos. Este elemento permitirá absorber los esfuerzos de compresión sin permitir que las losas contiguas choquen y sufran daños de agrietamiento.

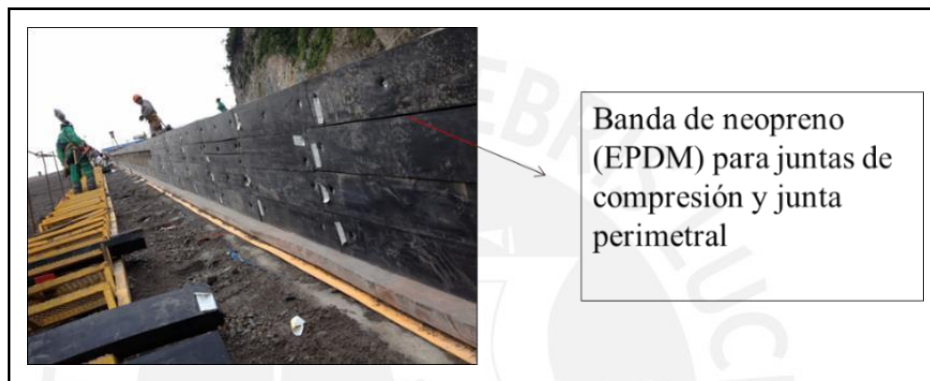


Figura 39. Colocación de EPDM para junta de compresión

Fuente: Propia

CAPÍTULO 4: RENDIMIENTO DE LA REGLA DESLIZANTE

4.1 Metrados de la pantalla de concreto

El área de producción determinó que la ejecución de las losas se realice de forma intercalada. De esta manera, con el fin de ahorrar en costos de madera, las losas ya concretadas servirán de encofrado para las losas intermedias. Siguiendo este concepto, los metrados han sido calculados desde el plinto en el lecho del río. Se obvia los volúmenes de las losas de arranque, por ser elaboradas de forma manual sin utilizar la regla deslizante.

Los metrados específicos involucran las cantidades losa por losa según el tramo al que corresponden. Su descripción se encuentra en las tablas 13 y 14. Asimismo el valor de las cotas es obtenido del anexo C: distribución de losas en pantalla de concreto.

Los metrados generales se encuentran en la tabla 15.

Tabla 13. Metrados específicos del primer tramo

Tramo 1	Cota inicial (m)	Cota final (m)	Largo (m) (1:1.5)	Ancho (m)	Peralte inicial (m)	Peralte final (m)	Concreto (m ³)	Encofrado lateral(m ²)	Encofrado deslizante (m ²)
Losa 4	1090.14	1100.00	17.78	7.50	0.59	0.56	76.60	10.21	133.32
Losa 5	1084.07	1100.00	28.72	7.50	0.60	0.56	125.51	16.73	215.39
Losa 6	1077.58	1100.00	40.42	7.50	0.62	0.56	179.28	36.81	303.14
Losa 7	1066.33	1100.00	60.70	7.50	0.65	0.56	276.09	No necesita	455.25
Losa 8	1056.86	1100.00	77.77	7.50	0.68	0.56	361.14	No necesita	583.29
Losa 9	1048.07	1100.00	93.62	15.00	0.70	0.56	885.96	59.06	1404.27
Losa 10	1021.16	1100.00	142.13	15.00	0.77	0.56	1421.83	204.19	2131.96
Losa 11	1010.85	1100.00	160.72	15.00	0.80	0.56	1641.02	109.40	2410.76
Losa 12	1010.85	1100.00	160.72	15.00	0.80	0.56	1641.02	109.40	2410.76
Losa 13	1010.85	1100.00	160.72	15.00	0.80	0.56	1641.02	No necesita	2410.76
Losa 14	1025.23	1100.00	134.79	15.00	0.76	0.56	1337.42	198.56	2021.90
Losa 15	1055.00	1100.00	81.12	15.00	0.68	0.56	756.44	50.43	1216.87
Losa 16	1064.25	1100.00	64.45	7.50	0.66	0.56	294.49	No necesita	483.37
Losa 17	1073.50	1100.00	47.77	7.50	0.63	0.56	213.86	No necesita	358.30
Losa 18	1082.75	1100.00	31.10	7.50	0.61	0.56	136.32	18.18	233.23
Losa 19	1092.00	1100.00	14.42	7.50	0.58	0.56	61.88	8.25	108.17

Fuente: Propia

Tabla 14. Metrados específicos del segundo tramo

Tramo 2	Cota inicial (m)	Cota final (m)	Largo (m) (1V:1.5H)	Ancho (m)	Peralte inicial (m)	Peralte final (m)	Concreto (m3)	Encofrado (m2)	Encofrado deslizante (m2)
Losa 2	1165.02	1197.50	58.55	7.50	0.39	0.30	151.04	20.14	439.16
Losa 3	1104.63	1197.50	167.42	7.50	0.55	0.30	533.35	71.11	1255.68
Losa 4	1100.00	1197.50	175.77	7.50	0.56	0.30	568.11	No necesita	1318.28
Losa 5	1100.00	1197.50	175.77	7.50	0.56	0.30	568.11	75.75	1318.28
Losa 6	1100.00	1197.50	175.77	7.50	0.56	0.30	568.11	75.75	1318.28
Losa 7	1100.00	1197.50	175.77	7.50	0.56	0.30	568.11	No necesita	1318.28
Losa 8	1100.00	1197.50	175.77	7.50	0.56	0.30	568.11	No necesita	1318.28
Losa 9	1100.00	1197.50	175.77	15.00	0.56	0.30	1136.22	151.50	2636.56
Losa 10	1100.00	1197.50	175.77	15.00	0.56	0.30	1136.22	No necesita	2636.56
Losa 11	1100.00	1197.50	175.77	15.00	0.56	0.30	1136.22	151.50	2636.56
Losa 12	1100.00	1197.50	175.77	15.00	0.56	0.30	1136.22	No necesita	2636.56
Losa 13	1100.00	1197.50	175.77	15.00	0.56	0.30	1136.22	151.50	2636.56
Losa 14	1100.00	1197.50	175.77	15.00	0.56	0.30	1136.22	75.75	2636.56
Losa 15	1100.00	1197.50	175.77	15.00	0.56	0.30	1136.22	75.75	2636.56
Losa 16	1100.00	1197.50	175.77	7.50	0.56	0.30	568.11	No necesita	1318.28
Losa 17	1100.00	1197.50	175.77	7.50	0.56	0.30	568.11	No necesita	1318.28
Losa 18	1100.00	1197.50	175.77	7.50	0.56	0.30	568.11	75.75	1318.28
Losa 19	1100.00	1197.50	175.77	7.50	0.56	0.30	568.11	75.75	1318.28
Losa 20	1110.38	1197.50	157.06	7.50	0.53	0.30	491.27	No necesita	1177.93
Losa 21	1132.31	1197.50	117.52	7.50	0.47	0.30	341.74	No necesita	881.42
Losa 22	1145.99	1197.50	92.86	7.50	0.44	0.30	257.28	45.57	696.46
Losa 23	1156.65	1197.50	73.64	7.50	0.41	0.30	196.15	26.15	552.33
Losa 24	1167.32	1197.50	54.41	7.50	0.38	0.30	139.09	No necesita	408.06
Losa 25	1177.99	1197.50	35.17	7.50	0.35	0.30	86.15	No necesita	263.79
Losa 26	1188.66	1197.50	15.94	7.50	0.32	0.30	37.33	11.49	119.52

Fuente: Propia

Tabla 15. Metrados totales de la presa

Descripción	Un.	Cantidad
Encofrado lateral	m2	1,904.68
Encofrado deslizante	m2	52,995.52
Colocación de concreto	m3	26,349.84

Fuente: Propia

4.2 Programación de actividades

4.2.1 Días laborables

El plazo de obra del proyecto es desde Enero del 2010 hasta Diciembre del 2015. De acuerdo a la programación, el área de producción inició los trabajos en la pantalla de concreto en setiembre de 2014 hasta Agosto del 2015. El horario de trabajo es de 12 horas por turno. Este empieza de 7 de la mañana a 7 de la noche y continúa con el horario nocturno, es decir se tiene un trabajo efectivo de 22 horas, descontando las horas de refrigerio. De acuerdo a la ley de trabajo, las primeras 8 horas laborales tienen un costo normal y las horas adicionales se considera como tiempo extra. Las primeras dos horas extras se abonan en un 60% del valor hora y a partir de la tercera hora, se abona en un 100 % del valor hora. Es importante mencionar los días feriados y domingos presentes durante las fechas de trabajo, ya que de acuerdo al régimen de construcción civil estos días tienen un costo extra a los demás. Se les considera con un costo del 100% adicional al valor hora. En la tabla 16 se aprecian los días feriados para construcción civil.

Tabla 16. Días feriados para construcción civil

Mes	Días	Descripción
Octubre 2014	08/25	Batalla de Angamos / Construcción civil
Noviembre 2014	01	Día de todos los Santos
Diciembre 2014	08/25	Día de la Inmaculada Concepción / Navidad
Enero 2015	1	Año nuevo
Marzo 2015	28/29	Jueves y Viernes Santo
Mayo 2015	1	Día del trabajo
Junio 2015	29	Día de San Pedro y San Pablo
Julio 2015	28/29	Independencia nacional
Agosto 2015	30	Día de Santa Rosa de Lima

Fuente: Descansos en días feriados de construcción civil (MINTRA)

Los días practicables de acuerdo al calendario desde las fechas de setiembre del 2014 hasta agosto del 2015 se aprecian en la figura 40.

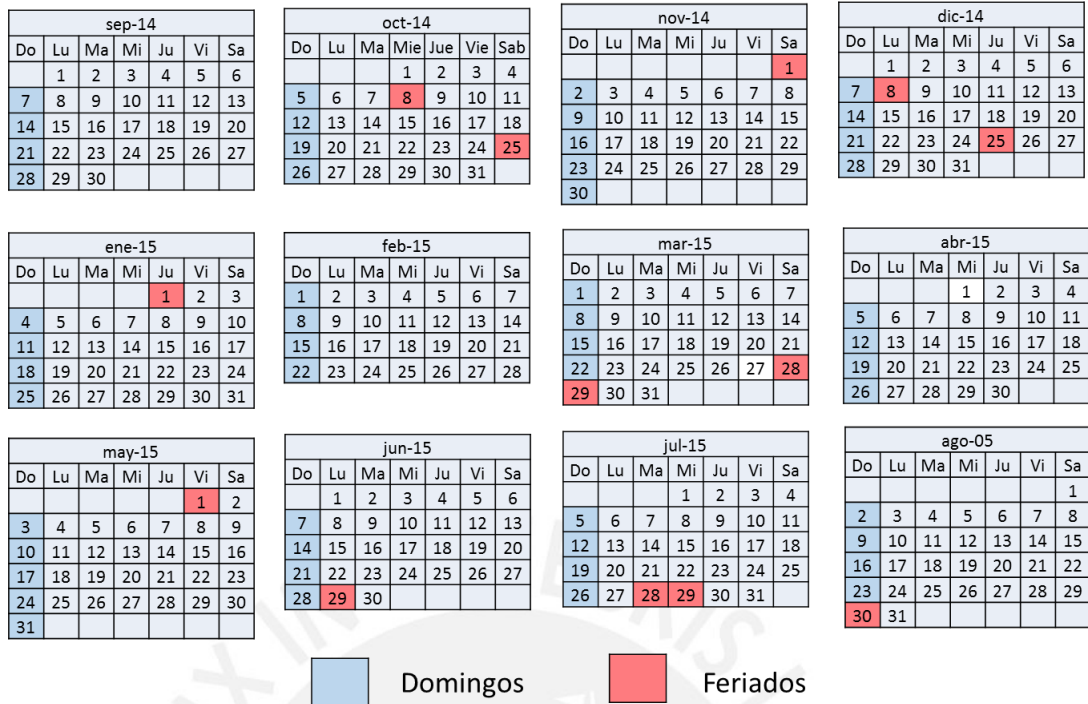


Figura 40. Calendario de días practicables

Fuente: Propia

De acuerdo a la planificación de la losa, se espera mantener un trabajo constante, lo que implica no tener paralizaciones. Por ello, en el planeamiento se pueden considerar todos los días como días practicables. Como ya se mencionó anteriormente, se trabajarán en dos turnos de 11 horas cada uno de lunes a domingo. (Ver anexo P: cronogramas)

4.2.2 Rendimiento de los equipos y de la mano de obra

Para la construcción de la pantalla de presa es necesario identificar las partes involucradas. Estas serán la mano de obra y la regla deslizante. Para este trabajo, la mano de obra abarcará los siguientes trabajos: colocación de concreto, colocación de encofrado, desencofrado lateral y colocación de la regla deslizante. En lo que respecta a equipos, el único a utilizar es la regla deslizante.

El rendimiento esperado por parte de la regla deslizante es de 1.5 metros lineales por hora.

El rendimiento de la mano de obra se explicará más adelante.

Cuadrilla para colocación de concreto

Según los datos de la planta de concreto, el rendimiento esperado, en lo que respecta a esta actividad, es de 12 m³/h (valor conservador). Al multiplicar el rendimiento por los índices de productividad podemos obtener el número de hombres por categoría que conformará la cuadrilla.

En las tablas 17 y 18 se muestran los ciclos del concreto para la pantalla de la presa. Aproximadamente el tiempo desde la fabricación hasta la colocación demora 50 minutos para 12 m³ de concreto. De esta manera, se abastece a los dos chutes ubicados en la pantalla continuamente respetando el tiempo de espera entre la descarga de concreto por chute.

Tabla 17. Ciclo de producción, transporte y colocación de concreto para la pantalla Chute 1

		Chute 1	
		Minutos	Volumen (m ³)
Primer ciclo de producción de concreto	Fabricación	5	6
	Transporte	25	-
	Vaciado	15	6
	Total	45	6

Fuente: Propia

Tabla 18. Ciclo de producción, transporte y colocación de concreto para la pantalla Chute 2

		Chute 2	
		Minutos	Volumen (m ³)
Segundo ciclo de producción de concreto	Espera	5	-
	Fabricación	5	6
	Transporte	25	-
	Vaciado	15	6
	Total	50	6

Fuente: Propia

Tabla 19. Cuadrilla para colocación de concreto**Rendimiento: 12 m3/h**

Descripción	UMed.	Índice	Cantidad
Lanz. de Concreto Autodeslizado en Talud Fck=25Mpa	m3		
Mano de Obra		1.508067	
Peón	h	0.302918	4
Oficial	h	0.050412	1
Oficial Albañil	h	0.430981	6
Oficial Soldador	h	0.006913	1
Operario	h	0.092940	2
Operario Albañil	h	0.549399	7
Operario Soldador I	h	0.002772	1
Capataz concreto	h	0.071732	1
		Total H	23

Fuente: Propia

Cuadrilla para encofrado y desencofrado de madera

De igual forma que en la colocación del concreto, de acuerdo a la experiencia, el rendimiento para esta actividad es de 1.37 m²/h. Al multiplicar este valor por los índices de productividad se obtiene el número de obreros para la cuadrilla.

Tabla 20. Cuadrilla de encofrado y desencofrado lateral**Rendimiento: 1.37 m²/h**

Descripción	UMed.	Índice	Cantidad
Encofrado y Desencofrado Plano de Madera	m²		
Mano de Obra		7.854752	
Peón	h	0.860649	2
Oficial	h	0.128002	1
Oficial Carpintero	h	2.345166	4
Oficial Soldador	h	0.005306	1
Operario	h	0.107075	1
Operario Carpintero	h	3.777407	6
Operario Soldador I	h	0.286531	1
Capataz carpintero	h	0.344616	1
		Total H	17

Fuente: Propia

Cuadrilla para colocación de la regla deslizante

El rendimiento estimado para esta actividad es de 2.2 m²/h. Al multiplicar este valor por los índices de los del personal involucrado, se tendrá la cantidad de trabajadores para esta cuadrilla.

Tabla 21. Cuadrilla de colocación y uso de regla deslizante

Rendimiento: 2.2 m²/h

Descripción	UMed.	Índice	Cantidad
Encofrado Autodeslizado para Superficie Inclinada	m²		
Mano de Obra		0.634100	
Peón	h	0.079807	1
Oficial	h	0.012148	1
Oficial Carpintero	h	0.201973	1
Oficial Montador	h	0.048194	1
Oficial Soldador	h	0.019437	1
Operario	h	0.016960	1
Operario Carpintero	h	0.210158	1
Operario Soldador I	h	0.032042	1
Capataz carpintero	h	0.009877	1
Rigger	h	0.001168	1
Operario Montajista - M	h	0.002336	1
		Total H	11

Fuente: Propia

4.2.3 Cronograma de actividades

A continuación, se muestran los tiempos estimados para los trabajos involucrados en la construcción de la pantalla de la presa. Es importante mencionar que solo se toma en cuenta las losas elaboradas con regla deslizante. Por ello, las losas 1 y 27 quedan descartadas del análisis. Para el cálculo de duraciones se emplearon los rendimientos ya mencionados

Tabla 22. Duración de actividades según rendimiento

N° de orden	N° de losa	Descripción	Producción	Cantidad	Duración
1	10 (tramo 1)	Colocación de encofrado lateral	1.37 m ² /h	204.19 m ²	149 hrs
		Colocación de regla deslizante	2.2 m ² /h	15.00 m ²	7 hrs
		Colocación de concreto	12 m ³ /h	1421.83 m ³	118 hrs
2	11 (tramo 1)	Colocación de encofrado lateral	1.37 m ² /h	109.40 m ²	80 hrs
		Colocación de regla deslizante	2.2 m ² /h	15.00 m ²	7 hrs
		Colocación de concreto	12 m ³ /h	1641.02 m ³	137 hrs
3	12 (tramo 1)	Colocación de encofrado lateral	1.37 m ² /h	109.40 m ²	80 hrs
		Colocación de regla deslizante	2.2 m ² /h	15.00 m ²	7 hrs
		Colocación de concreto	12 m ³ /h	1641.02 m ³	137 hrs

N° de orden	N° de losa	Descripción	Producción	Cantidad	Duración
4	14 (tramo 1)	Colocación de encofrado lateral	1.37 m2/h	198.56 m2	145 hrs
		Colocación de regla deslizante	2.2 m2/h	15.00 m2	7 hrs
		Colocación de concreto	12 m3/h	1337.42 m3	111 hrs
5	15 (tramo 1)	Colocación de encofrado lateral	1.37 m2/h	50.43 m2	37 hrs
		Colocación de regla deslizante	2.2 m2/h	15.00 m2	7 hrs
		Colocación de concreto	12 m3/h	756.44 m3	63 hrs
6	13 (tramo 1)	Colocación de encofrado lateral	1.37 m2/h	0.00 m2	0 hrs
		Colocación de regla deslizante	2.2 m2/h	15.00 m2	7 hrs
		Colocación de concreto	12 m3/h	1641.02 m3	137 hrs
7	9 (tramos 1 y 2)	Colocación de encofrado lateral	1.37 m2/h	210.56 m2	154 hrs
		Colocación de regla deslizante	2.2 m2/h	15.00 m2	7 hrs
		Colocación de concreto	12 m3/h	2022.18 m3	169 hrs
8	11 (tramo 2)	Colocación de encofrado lateral	1.37 m2/h	151.50 m2	111 hrs
		Colocación de regla deslizante	2.2 m2/h	15.00 m2	7 hrs
		Colocación de concreto	12 m3/h	1136.22 m3	95 hrs
9	13 (tramo 2)	Colocación de encofrado lateral	1.37 m2/h	151.50 m2	111 hrs
		Colocación de regla deslizante	2.2 m2/h	15.00 m2	7 hrs
		Colocación de concreto	12 m3/h	1136.22 m3	95 hrs
10	10 (tramo 2)	Colocación de encofrado lateral	1.37 m2/h	0.00 m2	0 hrs
		Colocación de regla deslizante	2.2 m2/h	15.00 m2	7 hrs
		Colocación de concreto	12 m3/h	1136.22 m3	95 hrs
11	5 y 6 (tramos 1 y 2)	Colocación de encofrado lateral	1.37 m2/h	205.04 m2	150 hrs
		Colocación de regla deslizante	2.2 m2/h	15.00 m2	7 hrs
		Colocación de concreto	12 m3/h	1441.01 m3	120 hrs
12	12 (tramo 2)	Colocación de encofrado lateral	1.37 m2/h	0.00 m2	0 hrs
		Colocación de regla deslizante	2.2 m2/h	15.00 m2	7 hrs
		Colocación de concreto	12 m3/h	1136.22 m3	95 hrs
13	7 y 8 (tramos 1 y 2)	Colocación de encofrado lateral	1.37 m2/h	0.00 m2	0 hrs
		Colocación de regla deslizante	2.2 m2/h	15.00 m2	7 hrs
		Colocación de concreto	12 m3/h	1773.45 m3	148 hrs
14	14 (tramo 2)	Colocación de encofrado lateral	1.37 m2/h	75.75 m2	55 hrs
		Colocación de regla deslizante	2.2 m2/h	15.00 m2	7 hrs
		Colocación de concreto	12 m3/h	1136.22 m3	95 hrs
15	3 y 4 (tramos 1 y 2)	Colocación de encofrado lateral	1.37 m2/h	81.32 m2	59 hrs
		Colocación de regla deslizante	2.2 m2/h	15.00 m2	7 hrs
		Colocación de concreto	12 m3/h	1178.06 m3	98 hrs
16	15 (tramo 2)	Colocación de encofrado lateral	1.37 m2/h	75.75 m2	55 hrs
		Colocación de regla deslizante	2.2 m2/h	15.00 m2	7 hrs
		Colocación de concreto	12 m3/h	1136.22 m3	95 hrs
17	2 (tramo 2)	Colocación de encofrado lateral	1.37 m2/h	20.14 m2	15 hrs
		Colocación de regla deslizante	2.2 m2/h	15.00 m2	7 hrs
		Colocación de concreto	12 m3/h	151.04 m3	13 hrs
18	26 (tramo 2)	Colocación de encofrado lateral	1.37 m2/h	11.49 m2	8 hrs
		Colocación de regla deslizante	2.2 m2/h	15.00 m2	7 hrs
		Colocación de concreto	12 m3/h	37.33 m3	3 hrs

N° de orden	N° de losa	Descripción	Producción	Cantidad	Duración
19	22 y 23 (tramo 2)	Colocación de encofrado lateral	1.37 m2/h	71.72 m2	52 hrs
		Colocación de regla deslizante	2.2 m2/h	15.00 m2	7 hrs
		Colocación de concreto	12 m3/h	453.43 m3	38 hrs
20	24 y 25 (tramo 2)	Colocación de encofrado lateral	1.37 m2/h	0 m2	0 hrs
		Colocación de regla deslizante	2.2 m2/h	15.00 m2	7 hrs
		Colocación de concreto	12 m3/h	225.24 m3	19 hrs
21	18 y 19 (tramos 1 y 2)	Colocación de encofrado lateral	1.37 m2/h	177.93 m2	130 hrs
		Colocación de regla deslizante	2.2 m2/h	15.00 m2	7 hrs
		Colocación de concreto	12 m3/h	1334.42 m3	111 hrs
22	16 y 17 (tramos 1 y 2)	Colocación de encofrado lateral	1.37 m2/h	0 m2	0 hrs
		Colocación de regla deslizante	2.2 m2/h	15.00 m2	7 hrs
		Colocación de concreto	12 m3/h	1644.57 m3	137 hrs
23	20 y 21 (tramo 2)	Colocación de encofrado lateral	1.37 m2/h	0 m2	0 hrs
		Colocación de regla deslizante	2.2 m2/h	15.00 m2	7 hrs
		Colocación de concreto	12 m3/h	833.01 m3	69 hrs

Fuente: Propia

El tiempo total estimado para cada actividad se presenta en la tabla 23.

Tabla 23. Duración de actividades

	Unidad	Volumen/ Área	Tiempo (hrs)	Días
Colocación de encofrado lateral	M2	1,904.68	1,390.00	58
Colocación de regla deslizante	M2	345.00	157.00	7
Colocación de concreto	M3	26,349.84	2,196.00	96

Fuente propia

4.2.4 Costos

A continuación, se mostrarán las tablas de costos involucrados en las diferentes actividades para la elaboración de la pantalla de concreto de la presa.

4.2.4.1 Costos unitarios (US\$)

Los precios unitarios de las actividades incurridas en la elaboración de la pantalla de concreto de la presa Chaglla se pueden observar a continuación. Todos los costos se encuentran en dólares.

Tabla 24. Costos unitarios para encofrado y desencofrado lateral

Código	Descripción	UMed.	Índice	Costo Unitario (US\$)	Costo Total (US\$)
86120	Encofrado y Desencofrado Plano de Madera	m²	0.000000	0.00	99.04
	Mano de Obra		7.854752		48.03
11067012	Peón	H	0.860649	4.41	3.80
12020000	Oficial	H	0.128002	5.70	0.73
12020140	Oficial Carpintero	H	2.345166	5.05	11.83
12020350	Oficial Soldador	H	0.005306	5.48	0.03
13030000	Operario	H	0.107075	8.53	0.91
13031000	Operario Carpintero	H	3.777407	6.49	24.51
13061667	Operario Soldador I	H	0.286531	5.70	1.63
15050140	Capataz carpintero	H	0.344616	13.30	4.59
	Material				34.83
20120020	Alambre negro # 16	Kg	4.823182	0.65	3.14
20120021	Alambre negro # 8	Kg	0.964636	0.76	0.73
20210112	Derivación Acero Carbono	Un	2.113518	1.85	3.92
20210315	Disolvente Thiner Acrílico	Un	0.003376	7.31	0.02
20210674	-Perno Hexagonal 3/8-- X 1.1/2-- Hilo -	Un	0.096464	0.26	0.03
20305337	-Disco De Corte Para Amoladora De 4.5---	Un	0.249841	1.21	0.30
20305358	Lija Para Metal	Un	0.024116	0.33	0.01
20305476	Enrejado Viga Perfil H4 X 13Lb	Un	0.000000		4.43
21905003	Soldadura Supercito de 1/8.	Kg	0.084406	2.64	0.22
22500001	Clavos varios	Kg	0.627014	0.71	0.45
22999038	Listón de Madera Tornillo 1-1/2 X 10 X 10	p2	6.028978	1.38	8.32
23800015	Cinta aislante 3m scoth 1600 color negro	Un	0.012058	0.90	0.01
25908365	Tomacorriente Industrial Trifásico De 3X32+T	UN	0.005788	69.46	0.40
26400019	Herramientas y Utensilios	us\$	0.164900	4.31	0.71
26726245	Cordón Flexible Cobre 3 X 14	M	0.048232	2.05	0.10
26726340	Adhesivo Pvc Cemento Pvc Transparente Re	PC	0.000482	22.26	0.01
26726344	Cinta Adhesiva Masking Tape 1 X 25M	PC	0.340613	0.32	0.11
26726389	Paño Limpieza Trapo Cosido	KG	0.033762	0.70	0.02

Código	Descripción	UMed.	Índice	Costo Unitario (US\$)	Costo Total (US\$)
26726401	Enchufe Industrial Macho Aéreo 2 X 16A +	UN	0.009646	8.62	0.08
26726809	-Disco Corte Para Acero 7-- X 1/8-- X 7/8---	PC	0.096464	1.74	0.17
26726838	Derivación Acero Carbono /Tubo Cuadrado	UN	0.024116	16.93	0.41
26726906	Equipo P/ Soldadura /Coolmate 3 Recircu	UN	0.000000		0.79
26727036	Cepillo Rotatoria Circular De Acero Tren	UN	0.002412	13.59	0.03
26727038	Mazo /Comba De Bronce C/Mango D/Madera 2	UN	0.009646	0.63	0.01
26727522	Abrazadera Cseg-0220Am (Wb1) Cable Seg 1/8 Diam	UN	0.007235	14.50	0.10
26727526	Disco Corte Disco De Corte De 1/8 X 7 Marca Tyro	UN	0.048232	1.79	0.09
27526011	Cinta masketing	Un	0.004823	1.23	0.01
29001010	Material de desgaste	us\$	30.87953 6	0.33	10.08
29999999	K de Piezas	VB	0.131673	1.00	0.13
	Amortización				0.26
42671071	Perforatriz Neumática - Bbc 34W	dp/ms	0.000482	55.00	0.03
43470070	Maquina Soldadora - Cst280	dp/ms	0.029942	7.53	0.23
	Equipamientos				2.89
08151800	Camión Plataforma con Grúa 4x2 de 12-15 tn. Madal	H	0.039653	48.03	1.90
08151810	Camión Plataforma con grúa 6x4 de 30-32tn. (madal	H	0.010370	73.27	0.76
08181500	Tracto camión 6x4 con Cama Baja - 3 ejes 45t. Scan	H	0.002251	61.57	0.14
08412210	Grúa hidráulica sobre llantas Telescópica 50 t- (R	H	0.000482	136.90	0.07
08652115	Tractor agrícola de neumático (New Holland 8430DT	H	0.000289	64.35	0.02
	Otras Reversiones				13.03
300130	Taller Industrial	Hh	0.016881	13.09	0.22
322050	Encofrado Plano en Triplay Resinado 18mm	m ²	0.176750	31.34	5.54
322090	Cimbra de Madera	m ³	0.074705	94.35	7.05
322110	Cuñas de Madera	p2	0.026367	1.96	0.05
322130	Encofrado Plano en Triplay Resinado 4mm	m ²	0.008219	21.22	0.17

Fuente: Información interna de Odebrecht. Modificada por el autor.

Tabla 25. Costos unitarios para la colocación de la regla deslizante

Código	Descripción	UMed.	Índice	Costo Unitario (US\$)	Costo Total (US\$)
86130	Encofrado Autodeslizado para Superficie Inclinada	m²	0.000000	0.00	6.86
	Mano de Obra		0.634100		3.48
11067012	Peón	H	0.079807	4.24	0.34
12020000	Oficial	H	0.012148	5.54	0.07
12020001	Rigger	H	0.001168	5.15	0.01
12020140	Oficial Carpintero	H	0.201973	4.97	1.00
12020300	Oficial Montador	H	0.048194	4.93	0.24
12020350	Oficial Soldador	H	0.019437	5.23	0.10
13030000	Operario	H	0.016960	5.81	0.10
13031000	Operario Carpintero	H	0.210158	6.04	1.27
13061667	Operario Soldador I	H	0.032042	6.28	0.20
15050140	Capataz carpintero	H	0.009877	13.88	0.14
15500110	Operario Montajista - M	H	0.002336	6.34	0.01
	Material				1.30
20210112	Derivación Acero Carbono	Un	0.031610	6.16	0.19
20210285	Cable P/ Maquina Soldadura Miller 2	M	0.007079	8.65	0.06
20210682	Derivación Acero Carbono /Tubo Cuad	Un	0.000106	50.78	0.01
20210692	Derivación Acero Carbono /Platina A	Un	0.000354	17.89	0.01
20305108	Argomix	m3	0.002336	10.76	0.03
20305476	Enrejado Viga Perfil H4 X 13Lb	Un	0.003009	141.62	0.43
21905003	Soldadura Supercito de 1/8.	Kg	0.002655	2.77	0.01
21905006	Acetileno	Kg	0.001168	10.10	0.01
21905007	Oxigeno	m3	0.005274	3.14	0.02
26400019	Herramientas y Utensilios	us\$	0.142750	0.33	0.05
26400021	Materiales herramientas utensilios e instrumentos	us\$	0.015947	0.95	0.02
26726125	DERIVACION ACERO CARBONO /CANAL U A-36	UN	0.000000		0.02
26726141	DERIVACION ACERO CARBONO /PLANCHA ACERO	UN	0.000000		0.08
26726192	DERIVACION ACERO CARBONO /TUBO RECTANGUL	UN	0.000000		0.01
26726337	Derivación Acero Carbono Juego De Caña P	UN	0.000035	271.15	0.01

Código	Descripción	UMed.	Índice	Costo Unitario (US\$)	Costo Total (US\$)
26727422	Alambre Soldadura Exatub 71N1 De 16Mm X Rollo 15K	UN	0.000142	75.87	0.01
26727522	Abrazadera Cseg-0220Am (Wb1) Cable Seg 1/8 Diam	UN	0.002478	26.25	0.07
26728077	Unidad Automática /Motofreno Trifásico Tipo Standar 220-380-440V	Und	0.000035	1,603.55	0.06
27900001	Materiales varios	us\$	0.000991	9.27	0.01
27900017	Materiales Varios Consumo	us\$	0.106316	0.65	0.07
29001010	Material de desgaste	us\$	0.178264	0.43	0.08
29999999	K de Piezas	VB	0.044832	1.00	0.04
	Sub contratista				0.85
32040010	SC - Encofrados TEMEC	US\$	0.167196	1.37	0.23
32040020	SC - Encofrados ULMA	US\$	0.278236	1.00	0.28
36000870	Permisos-Licencias Expedientes Autorizaciones	us\$	0.155749	1.00	0.16
39999999	Provisiones Subcontratistas	Vb	0.000000		0.18
	Amortización				0.01
49600204	Winche De Arrastre - Cr-111 - Jsc Equipos Min	dp/ms	0.014159	0.89	0.01
	Gastos Generales				0.05
54000012	Mantenimiento y reparos de Equipos	Vb	0.000000		0.02
59000005	Otros gastos con terceros	Vb	0.000000		0.03
	Equipamientos				0.74
08025517	Bomba de Concreto 50-70 m3/h (BP 550/BSA 100)	H	0.001416	98.12	0.14
08132800	Camión carrocería 4x2 Doble cabina 2-3 t (JMC/Kia	H	0.000693	28.38	0.02
08151800	Camión Plataforma con Grúa 4x2 de 12-15 tn. Madal	H	0.003469	46.21	0.16
08151810	Camión Plataforma con grúa 6x4 de 30-32tn. (madal	H	0.000345	73.05	0.03
08181500	Tracto camión 6x4 con Cama Baja - 3 ejes 45t. Scan	H	0.000944	28.68	0.03
08412100	Grúa Madal de 30 ton. sobre camión Scania 6 x 4 (P	H	0.000784	42.69	0.03
08412210	Grúa hidráulica sobre llantas Telescópica 50 t- (R	H	0.001639	193.97	0.32
08637000	Compresora aire diésel portátil 760pcm (AC XA 420)	H	0.000186	47.50	0.01
	Otras Reversiones				0.43
300130	Taller Industrial	Hh	0.034088	12.62	0.43

Fuente: Información interna de Odebrecht. Modificada por el autor.

Tabla 26. Costos unitarios para la colocación de concreto

Código	Descripción	UMed.	Índice	Costo Unitario (US\$)	Costo Total (US\$)
86140	Lanz. de Concreto Autodeslizado en Talud Fck=25Mpa	m³	0.000000	0.00	110.47
	Mano de Obra		1.508067		9.08
11067012	Peón	H	0.302918	4.16	1.26
12020000	Oficial	H	0.050412	5.38	0.27
12020150	Oficial Albañil	H	0.430981	4.97	2.14
12020350	Oficial Soldador	H	0.006913	3.89	0.03
13030000	Operario	H	0.092940	6.74	0.63
13030120	Operario Albañil	H	0.549399	6.75	3.71
13061667	Operario Soldador I	H	0.002772	5.40	0.01
15050150	Capataz concreto	H	0.071732	14.41	1.03
	Material				1.44
20210285	Cable P/ Maquina Soldadura Miller 2	M	0.003261	9.03	0.03
20210290	Adhesivo Sellador Sikadur 31 Compon	Un	0.001174	6.81	0.01
20210718	Motor Vibrador Motor Eléctrico 2.2	Un	0.000098	2,078.57	0.20
20305301	Capuchones De Plástico Color Naranja Para Varilla	Un	0.000000		0.01
20305318	Conector P/ Cable Soldadura	Un	0.000652	13.77	0.01
20305800	Vibrador Interno Mod:Iren 65 Wacker Neuson 65Mm	Un	0.000082	1,370.67	0.11
20310184	Vibradora para Concreto	Un	0.000065	2,202.89	0.14
21905006	Acetileno	Kg	0.001174	9.90	0.01
22450001	Cemento Portland Tipo Ico	Kg	0.381093	0.13	0.05
22801000	Fleje Cobre DHP LAF ASTM S-152 1.2mm	M	0.005262	93.68	0.49
26400019	Herramientas y Utensilios	us\$	0.031109	2.08	0.06
26718172	Disco Corte Diamantado De 7	Un	0.000652	47.63	0.03
26718182	Perfil Estructurado De Pvc Sika	Un	0.000489	428.98	0.21
26726335	Cuerda /Soga Driza 3/4 Nylon	M	0.022825	0.36	0.01
26726809	-Disco Corte Para Acero 7-- X 1/8-- X 7/8---	PC	0.003587	1.79	0.01
26727522	Abrazadera Cseg-0220Am (Wb1) Cable Seg 1/8 Diam	UN	0.000848	14.58	0.01
26727525	Válvula Esfera V11-32Ge Valv Esférica Bce P/Total	UN	0.029427	0.55	0.02

Código	Descripción	UMed.	Índice	Costo Unitario (US\$)	Costo Total (US\$)
27900000	Materiales consumo varios	Vb	0.080964	0.32	0.03
	Equipamientos				8.88
08025517	Bomba de Concreto 50-70 m3/h (BP 550/BSA 100)	H	0.000098	109.69	0.01
08026205	Bomba de Inyección de cemento para pernos (putzmei	H	0.005217	1.68	0.01
08099710	Cargador Frontal sobre llantas 4.0 m3 - CAT 966H-	H	0.000270	99.07	0.03
08111000	Camión Mezclador 7m3 - (VW 26.260/Liebher)	H	0.216510	36.18	7.83
08111010	Camión Mezclador 4m3 (VW 17.210 / Baryval)	H	0.001169	45.88	0.05
08132800	Camión carrocería 4x2 Doble cabina 2-3 t (JMC/Kia	H	0.004099	28.38	0.12
08151800	Camión Plataforma con Grúa 4x2 de 12-15 tn. Madal	H	0.003729	36.76	0.14
08151810	Camion Plataforma con grúa 6x4 de 30-32tn. (madal	H	0.001299	73.43	0.10
08181500	Tracto camión 6x4 con Cama Baja - 3 ejes 45t. Scan	H	0.000318	45.16	0.01
08412100	Grúa Madal de 30 ton. sobre camión Scania 6 x 4 (P	H	0.000818	28.68	0.02
08412210	Grúa hidráulica sobre llantas Telescópica 50 t- (R	H	0.002875	187.28	0.54
08637000	Compresora aire diésel portátil 760pcm (AC XA 420)	H	0.000456	34.65	0.02
	Otras Reversiones				91.06
300130	Taller Industrial	Hh	0.024961	12.39	0.31
320120	Concreto Producido en Neo 120 Fc=16Mpa	m ³	0.001891	74.19	0.14
320130	Concreto Producido en Neo 120 Fc=35Mpa	m ³	0.000391	101.00	0.04
320160	Mortero Simple p/ regularización. Neo 120 (argamasa)	m ³	0.000668	154.85	0.10
320180	Concreto Producido en Neo 120 Fc=25Mpa	m ³	1.022943	88.29	90.31
320240	Concreto Producido en Neo 120 Fc=20 (3/8)Mpa	m ³	0.000978	80.71	0.08
320340	Concreto Producido en Neo 70 Fc=25Mpa	m ³	0.000391	109.53	0.04
320440	Mortero Simple p/ regularización. Neo 70 (argamasa)	m ³	0.000033	156.39	0.01
325080	Reparación Daños Menores Equipos - Presa	Gl	0.000016	1,852.44	0.03

Fuente: Información interna de Odebrecht. Modificada por el autor.

Tabla 27. Costos unitarios para cada actividad

Código	Descripción	Unidad	Costo unitario real (US\$)
86120	Encofrado lateral	m2	99.04
86130	Encofrado deslizante	m2	6.86
86140	Colocación de concreto	m3	110.47

Fuente: Propia

4.2.4.2 Costo de la mano de obra

El costo de la mano de obra se aprecia en la tabla 28.

Tabla 28. Costos de la mano de obra (Aplicación)

DESCRIPCIÓN	UMed.	C. Unitario (US\$)	Cantidad Total	Costo Total (US\$)
Mano de Obra	vb			515,162.74
Encofrado y Desencofrado Plano de Madera	US\$/m2	48.03	1,904.68	91,481.78
Encofrado Auto deslizado para Superficie Inclinada	US\$/m2	3.48	52,995.52	184,424.41
Lanz. de Concreto Auto deslizado en Talud Fck=25Mpa	US\$/m3	9.08	26,349.84	239,256.55

Fuente: Información interna de Odebrecht. Modificada por el autor.

4.2.4.3 Costo de equipos**Tabla 29. Costo de equipamientos**

DESCRIPCIÓN	UMed.	C. Unitario (US\$)	Cantidad Total	Costo Total (US\$)
Equipamientos	vb	vb		278,707.79
Transporte Encofrado Plano de Madera	US\$/m2	2.89	1,904.68	5,504.53
Transporte Encofrado Auto deslizado Superficie Inclinada	US\$/m2	0.74	52,995.52	39,216.68
Transporte de Concreto Auto deslizado en Talud Fck=25Mpa	US\$/m3	8.88	26,349.84	233,986.58

Fuente: Información interna de Odebrecht. Modificada por el autor.

4.2.4.4 Costo materiales

Tabla 30. Costo de la fabricación de materiales (otras reversiones)

DESCRIPCIÓN	UMed.	C. Unitario (US\$)	Cantidad Total	Costo Total (US\$)
Fabricación	vb			2,447,022.48
Fabricación de encofrado plano de madera	kg	13.03	1,904.68	24,817.98
Fabricación de regla deslizante	m ²	0.43	52,995.52	22,788.07
Fabricación de Concreto	m ³	91.06	26,349.84	2,399,416.43

Fuente: Información interna de Odebrecht. Modificada por el autor.

Tabla 31. Costo de los materiales empleados para la aplicación

DESCRIPCIÓN	UMed.	C. Unitario (US\$)	Cantidad Total	Costo Total (US\$)
Materiales	vb			173,704.95
Materiales para encofrado plano de madera	kg	34.83	1,904.68	66,340.00
Materiales para regla deslizante	m ²	1.30	52,995.52	68,894.18
Materiales para Concreto	m ³	1.46	26,349.84	38,470.77

Fuente: Información interna de Odebrecht. Modificada por el autor.

4.2.4.5 Costo total

El costo total realizado de la fabricación más la aplicación se aprecia en la tabla 32.

Tabla 32. Costos Realizados (Fabricación + aplicación)

DESCRIPCIÓN	UMed.	C. Unitario (US\$)	Cantidad Total	Costo Total (US\$)
Código LOSA DE CONCRETO		vb		3,463,055.60
86120 Encofrado y Desencofrado Plano de Madera	US\$/m ²	99.04	1,904.68	188,639.51
86130 Encofrado Auto deslizado para Superficie Inclinada	US\$/m ²	6.86	52,995.52	363,549.27
86140 Lanz. de Concreto Auto deslizado en Talud Fck=25Mpa	US\$/m ³	110.47	26,349.84	2,910,866.82

Fuente: Información interna de Odebrecht. Modificada por el autor.

4.3 Imprevistos

Durante los trabajos en la pantalla de concreto se encontraron dificultades en los procesos de elaboración de la losa. A continuación, se explicarán los problemas presentados y las soluciones adoptadas.

4.3.1 Falta de experiencia previa

El uso de encofrados deslizantes aplicados en la cara de concreto de presas es una metodología constructiva poco utilizada en nuestro país. Por ello, con el fin de evitar problemas que generen re trabajos y costos adicionales, la presencia de personal especializado era de mucha importancia.

Si bien, el proceso de colocación del concreto resulta simple, esta actividad es repetitiva a lo largo de la construcción de la pantalla. Por tal motivo, es necesario una buena comunicación por parte de todos los involucrados; en especial, del encargado de la bomba hidráulica y del capataz abastecedor de concreto para garantizar un acabado de calidad.

Al tratarse de una actividad masiva, se esperaba que el personal encargado tenga una baja productividad al inicio de los trabajos. Pero, con el tiempo, aumente su curva de aprendizaje alcanzando los rendimientos esperados.

Esto se pudo apreciar en el desarrollo de la losa N° 10, losa con la que se dio inicio al concretado en la pantalla. Se observó falta de comunicación por parte del encargado de la bomba hidráulica y el personal albañil encargado del vibrado. Al deslizar la regla muy rápidamente y no contar con una mezcla correctamente vibrada, se produjeron pequeñas cangrejeras que tuvieron que ser resanadas al instante. Por otro lado, también se apreció falta de comunicación entre el capataz de concreto (parte alta) y el encargado de bomba. Esto produjo que la mezcla llegara o muy fluida o muy espesa. Cabe mencionar que también demora el proceso de colocación de concreto.

En el caso de las losas en tracción, también se apreciaron problemas con el uso de la cuchilla. El personal demoró más tiempo de lo establecido (90 minutos) para garantizar la formación de la junta inducida.

Todos estos inconvenientes fueron solucionados con el aprendizaje continuo.

4.3.2 Disponibilidad de equipos y planta de concreto

El proyecto cuenta con gran disponibilidad de equipos, pero, a su vez posee gran cantidad de frentes de trabajo y esto hace que la demanda de maquinarias aumente. Por ello, al inicio de los trabajos en la losa se tuvo inconvenientes en cuanto a la disponibilidad de grúas y cama bajas que transporten fierro, madera y la regla deslizante. Esto produjo tiempos muertos que retardaron los trabajos previstos. Como solución, cada frente elaboró su planificación semanal para evitar interferencias por el uso de estas herramientas. Con esto, se redujo las paralizaciones por falta de equipos de transporte.

Por otra parte, la planta de concreto también cuenta como una restricción en los trabajos. Ella será la encargada de la continuidad del vaciado al momento de ejecutar la pantalla.

La construcción de la presa se dio casi al mismo tiempo que los vertederos, lo cual produjo que la disponibilidad de concreto estuviera afectada ya que ambas estructuras son parte de la ruta crítica. Los vertederos son estructuras que, al igual que la losa, demandan de grandes cantidades de concreto para su construcción. Era de mucha importancia que la planta de concreto administre correctamente los mixers para la colocación de mezcla porque en muchos casos se tenían vaciados en simultáneo para las dos estructuras. Como se mencionó anteriormente, la planta demora 5 minutos en la producción de 6 m³ de mezcla. El tiempo de transporte desde la planta hasta la presa es de 20 a 25 minutos y el vaciado demora 15 minutos aproximadamente. Si solo se concentraran los trabajos en el vaciado de la pantalla, la producción para una hora del ciclo sería la que indica la tabla 33 y 34.

Tabla 33. Ciclo de producción de concreto para 1 hora - Chute 1

		Chute 1	
		Minutos	Volumen (m3)
Primer ciclo de producción de concreto	Fabricación	5	6
	Transporte	25	-
	Vaciado	15	6
	Total	45	6
		Minutos	Volumen (m3)
Tercer ciclo de producción de concreto	Espera	10	-
	Fabricación	5	6
	Transporte	25	-
	Vaciado	15	6
	Total	55	6

Fuente: Propia

Tabla 34. Ciclo de producción de concreto para 1 hora - Chute 2

		Chute 2	
		Minutos	Volumen (m3)
Segundo ciclo de producción de concreto	Espera	5	-
	Fabricación	5	6
	Transporte	25	-
	Vaciado	15	6
	Total	50	6
		Minutos	Volumen (m3)
Cuarto ciclo de producción de concreto	Espera	15	-
	Fabricación	5	6
	Transporte	25	-
	Vaciado	15	6
	Total	60	6

Fuente: Propia

Como se aprecia en la tabla anterior, para el cuarto ciclo de producción se tendría un tiempo total de 1 hora y se estaría vaciando 24 m³ de mezcla. El rendimiento aumentaría al doble ya que serían 24 m³ colocados por cada hora de trabajo. Esto reduciría notablemente el tiempo de construcción de la pantalla.

Tabla 35. Comparación de duraciones de acuerdo a rendimientos asumidos

Rendimiento 12m³/h	Volumen	Tiempo (hrs)	Días
Colocación de encofrado lateral	1904.68	1390	58
Colocación de regla deslizante	345.00	157	7
Colocación de concreto	26349.81	2196	96

VS

Rendimiento 24m³/h	Volumen	Tiempo (hrs)	Días
Colocación de encofrado lateral	1904.68	1390	58
Colocación de regla deslizante	345.00	157	7
Colocación de concreto	26349.81	1098	48

Fuente Propia

4.3.3 Clima

Para saber cómo se comporta el clima en el proyecto CH-CHaglla, se requirió a las estaciones meteorológicas de Tingo María, Carpís y Huánuco. Si bien estas no se encuentran dentro del área de influencia del proyecto, todas están en la misma región y son representativas de ambientes climáticos ecológicos existentes. Es importante mencionar que el lapso de tiempo que duró la construcción de la pantalla de concreto fue de setiembre de 2014 a agosto de 2015 (1 año de construcción).

En cuanto a la temperatura de acuerdo a las estaciones, se tienen los siguientes datos mensuales:

Tabla 36. Temperatura mensual en Huánuco (°C)

T °	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Prom
Max.	26.3	26.3	26.2	27.0	27.1	26.1	25.8	26.2	26.8	27.3	27.3	27.1	26.6
Prom.	20.5	20.6	19.7	20.6	20.6	19.9	19.3	20.4	20.8	21.2	21.3	20.4	20.4
Min.	14.1	13.9	14.0	13.3	12.4	10.7	9.7	11.0	12.6	13.7	14.3	14.3	12.8

Fuente: (MINEM, 2015)

Tabla 37. Temperatura mensual en Carpish (°C)

T °	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Prom
Max.	17.6	17.8	17.7	18.8	19.4	19.4	19.0	19.8	19.6	19.4	19.2	17.4	18.8
Prom.	14.1	14.2	14.1	14.6	14.6	14.4	13.9	14.6	14.7	14.8	14.9	14.2	14.4
Min.	11.1	11.0	10.8	11.0	10.3	9.8	9.3	9.9	10.3	10.8	11.1	11.1	10.54

Fuente: (MINEM, 2015)

Tabla 38. Temperatura mensual en Tingo María (°C)

T °	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Prom
Max.	29.4	29.2	29.1	30.0	29.8	29.6	29.8	30.5	30.6	30.4	30.4	29.1	29.8
Prom.	24.2	24.1	23.9	24.3	24.1	23.6	23.5	24.2	24.4	24.5	24.7	24.0	24.1
Min.	20.8	20.7	20.6	20.7	20.2	19.7	19.2	19.7	19.7	20.4	20.8	20.7	20.3

Fuente: (MINEM, 2015)

Tabla 39. Humedad relativa mensual (%)

Estación	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Prom
Huánuco	68.6	68.4	70.7	65.2	63.2	54.3	62.4	60.1	61.0	66.1	66.1	69.9	64.7
Tingo María	83.2	83.7	84.6	82.8	82.0	82.8	80.4	80.0	78.5	81.2	81.2	83	82.0
Carpís	91.8	91.7	91.3	90.3	88.4	86.0	85.5	85.2	85.5	87.4	88.8	92.2	88.7

Fuente: (MINEM, 2015)

Durante el día, la temperatura fluctuaba los 28° C; mientras que en la noche, bajaba a 24 ° C. Estas temperaturas permiten trabajar con el concreto sin tener inconvenientes. Sin embargo, a la mezcla se le adicionaba PlastimentTM12, el cual es un aditivo plastificante y retardante de fragua, exento de cloruros.

Con respecto a la precipitación mensual de acuerdo a las estaciones, se tienen los siguientes datos:

Tabla 40. Precipitación mensual en Huánuco (mm)

P.p	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
Max.	171.5	188.9	190.9	70.0	34.0	30.1	55.0	41.0	52.6	109.0	133.3	169.3	1245.6
Prom.	54.8	78.0	67.6	30.1	11.4	4.8	5.2	6.5	13.0	31.6	47.3	52.4	402.7
Min.	0.3	16.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	12.0	31.3

Fuente: (MINEM, 2015)

Tabla 41. Precipitación mensual en Carpish (mm)

P.p	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
Max.	456.2	333.7	475.2	360.4	237.4	212.8	303.3	144.9	215.6	385.0	315.4	415.0	3854.9
Prom.	259.8	245.2	326.6	208.2	133.4	98.1	118.2	103.3	136.6	226.9	201.7	290.0	2348.0
Min.	146.4	120.2	242.4	70.6	41.2	20.4	40.8	61.6	68.9	127.2	100.4	186.7	1226.8

Fuente: (MINEM, 2015)

Tabla 42. Precipitación mensual en Tingo María (mm)

P.p	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
Max.	526.8	590.1	593.9	308.4	415.5	316.0	236.0	249.7	216.9	391.7	500.1	598.1	4943.2
Prom.	366.6	411.9	428.4	231.5	216.1	150.0	158.8	107.0	176.6	259.0	344.2	467.3	3317.4
Min.	239.6	257.2	300.6	117.3	99.7	12.4	55.8	41.6	118.5	134.9	127.3	301.2	1806.1

Fuente: (MINEM, 2015)

Durante noviembre, diciembre, enero febrero y marzo, se presentó gran intensidad de precipitación. Por tal motivo, se diseñó la cubierta tipo paraguas en la regla para evitar el contacto del agua de lluvias con la mezcla. Sin embargo, en ocasiones la lluvia venía con mucha intensidad. Esto ocasionaba paralización en los trabajos de vaciado, pues el concreto podía verse afectado por la presencia de agua excedente, alterando sus propiedades mecánicas.

Las paralizaciones fueron de hasta 40 minutos, tiempo en que se iba drenando el agua excedente fuera de la zona de vaciado.

4.3.4 Plazo de entrega

La entrega de la losa de concreto no podía pasar de Agosto del 2015. El problema radicaba en culminar con los trabajos de relleno de la presa para poder continuar con el vaciado. Esta actividad predecesora limitaba los trabajos de la pantalla, ya que sin la culminación de esta, era imposible poder avanzar. Por ello, el área de producción de obras civiles, le exigía al equipo de movimiento de tierras que agilicen la colocación y compactación de relleno en la presa. En el planeamiento anexado, se observa que existe una brecha de tiempo entre el vaciado de la primera losa y la segunda losa. Esto se debe a que se comenzó colocando relleno en el estribo derecho y se perdió continuidad en la margen izquierda.

4.3.5 Otros menores

Debido al constante uso de los gatos hidráulicos, en más de una ocasión se presentaron fallas por parte de esta herramienta. Esto produjo paralizaciones por parte del equipo de producción para reparar o cambiar de gato. El tiempo empleado en la reparación demoraba aproximadamente de 10 a 15 minutos, mientras que el tiempo de cambio de gato demoraba entre 25 a 30 minutos. Sin embargo, esto no afectó en gran medida el vaciado, pues, el concreto cuenta con un tiempo de fragua de 3 a 4 horas. Tiempo que permite solucionar imprevistos menores.

Se presentaron también dificultades en los empalmes de rieles de deslizamiento. Al no estar completamente liso el empalme, las abrazaderas se atascaban sin permitir que la regla no pueda levantarse. Ante estos problemas, los soldadores se encargaban de mejorar la junta de empalmes entre rieles y esto les permitía continuar con el deslizado. El tiempo por paralizaciones referido a este problema era de 20 minutos y se presentó en un 5% de empalmes a lo largo de las losas.

Como parte de la política de seguridad implantada en el proyecto, se debían respetar todos los protocolos de seguridad. Esto indicaba que ante la presencia de algún accidente, por más pequeño que fuese, se debía paralizar el trabajo para identificar las causas. Las paralizaciones por temas de seguridad fueron por actitudes sub estándar y no llegaron ni al 1% del tiempo de exposición.

4.4 Comparación entre tiempo real y tiempo estimado en el vaciado de la pantalla de concreto de la presa

En la tabla número 43 se aprecia una comparación entre el tiempo programado y el tiempo real en el vaciado de las losas. Se detalla también, el orden en el que fueron realizadas, así como los días involucrados.

Tabla 43. Comparación de tiempos de ejecución

Orden de ejecución	N° de Losa ejecutada	Programación según rendimiento (días)	Programación Mensual (días)	Duración real (días)
1	10 (tramo 1)	5	5	5
2	11 (tramo 1)	6	5	4
3	12 (tramo 1)	6	4	3
4	14 (tramo 1)	5	4	4
5	15 (tramo 1)	3	3	3
6	13 (tramo 1)	6	4	3
7	9 (tramo 1)	7	5	3
8	11 (tramo 2)	4	4	4
9	13 (tramo 2)	4	4	4
10	10 (tramo 2)	4	4	3
11	5 y 6 (tramos 1 y 2)	5	4	5
12	12 (Tramo 2)	4	4	4
13	7 y 8 (tramos 1 y 2)	6	4	5
14	14 (tramo 2)	4	4	4
15	3 y 4 (tramos 1 y 2)	4	4	4
16	15 (tramo 2)	4	2	4
17	2 (tramo 2)	1	6	4
18	26 (tramo 2)	1	1	1
19	22 y 23 (tramo 2)	2	3	3
20	24 y 25 (tramo 2)	1	2	2
21	18 y 19 (tramos 1 y 2)	5	3	3
22	16 y 17 (tramos 1 y 2)	6	3	3
23	20 y 21 (tramo 2)	3	2	3
	TOTAL	96	84	81

Fuente: Propia

Se puede apreciar que los totales de días programados según rendimiento y mensual superan al total de días ejecutados reales. Ello indica que el procedimiento aplicado cumplió con el objetivo de minimizar el tiempo de trabajo. Se pudo disminuir en 3 días en comparación a la programación mensual y en 9 días en comparación a la planificación según rendimiento. Si consideramos que estamos trabajando en un proyecto de gran magnitud, cada día menos de trabajo simboliza un ahorro considerable.

CAPÍTULO 5: PRESA LIMÓN Y LA COMPARACIÓN ENTRE EL SISTEMA CONVENCIONAL Y EL SISTEMA ADOPTADO

La empresa Odebrecht se encargó, también, de la elaboración del proyecto Trasvase Olmos. Este contemplaba la construcción de una presa de gravedad con cara de concreto (CFRD), llamada presa Limón. Dado que esta presa presenta características similares a la de Chaglla, se va a realizar una comparación entre las metodologías aplicadas en la elaboración de ambas pantallas de concreto con el fin de conocer cuál de los dos procesos resulta más rentable para su construcción. Por ello, será necesario introducir información acerca de la presa Limón. (Castellares, Tassi, Cáceres & Paz, 2009)

5.1 Proyecto Presa Limón

La presa Limón es la estructura que permite realizar el embalse de agua por medio de la afluencia del río Huancabamba. Su función principal es derivar agua hacia la costa peruana a través del Túnel Trasandino, propiciando desarrollo agroindustrial en la región Lambayeque del Perú. (Castellares, Tassi, Cáceres & Paz, 2009)

Similar a la presa de Chaglla, en el pie del talud aguas arriba, la losa de concreto se apoya sobre el plinto. El cual posee un ancho, en el cauce del río, de 6 m; en los flancos de la presa, de 3 m; y su altura está entre 0.6 a 1.04 m. La presa está conformada por material aluvial natural que servirá de relleno. La pendiente de sus taludes también es (1.5H:1V). Con ello, se garantiza la estabilidad de la presa para condiciones estáticas, así como ante la presencia de sismos. (Castellares et al., 2009)

La Presa Limón en su primera etapa posee las siguientes características:

- Cota de la corona de la Presa: 1,123 msnm
- Cota de remanso máximo: 1,120 msnm
- Cota del Plinto 1,084 msnm
- Longitud de la Presa en la corona: 332 m.
- Ancho de la corona: 10 m.
- Altura máxima de la Presa: 43 m.
- Espesor de la losa de concreto en el talud aguas arriba: 0.55 a 0.42 m.
- Volumen útil del embalse: 30 MMC
- Volumen muerto del embalse: 14 MMC
- Volumen total del embalse: 44 MMC

En una segunda etapa la Presa Limón será sobre elevada y tendrá las siguientes características:

- Cota de la corona de la Presa: 1,162 msnm
- Cota de remanso máximo: 1,160 msnm
- Cota del Plinto 1,084 msnm
- Cota del volumen muerto: 1,132 msnm
- Altura máxima de la Presa: 78 m.
- Volumen útil del embalse: 111 MMC
- Volumen muerto del embalse: 80 MMC
- Volumen total del embalse: 191 MMC

El diseño del espesor de la pantalla de concreto de la presa en el talud aguas arriba para la primera etapa se realizó considerando las solicitudes de la segunda etapa. (Castellares et al., 2009). (Ver anexo Q: sección de la presa Olmos)

5.2 Características que presenta la pantalla de concreto de la presa Limón 1ra. Etapa

El primer tramo de la presa Limón cuenta con 22 losas. Entre ellas existen 21 juntas verticales, de las cuales, 8 son de tracción y se ubican 5 en la margen derecha, y 3 en la margen izquierda. Además, cuenta con 13 juntas de compresión en el tramo central de la pantalla y una junta perimetral entre la pantalla y la cara de concreto de 401.54 m de longitud. (Castellares et al., 2009) (Ver anexo R: distribución de losas tramo 1 Olmos)

El espesor de las losas también es variable y va desde 0.55 m en el nivel más bajo de contacto con el río (cota 1084.44) hasta los 0.42 m. en la parte superior ubicado al nivel de la corona de la presa (cota 1123). Similar a Chaglla, el ancho de las losas es de 15 metros, a excepción de las 2 extremas (N°1 y N° 22) que tienen un ancho de 16 y 16.17 m respectivamente. (Castellares et al., 2009)

En cuanto al diseño del concreto, las losas poseen una resistencia a la compresión a 28 días de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$. Por su parte, la armadura de acero se encuentra distribuida en la parte central con una malla de 1" con espaciamientos de 0.20 m x 0.20 m. El objetivo de la armadura es la de reducir las micro fisuras y de esta manera minimizar las filtraciones de agua. En las juntas verticales, la cuantía de acero aumenta con la finalidad de prevenir que el concreto se desconche antes del llenado del embalse. (Castellares et al., 2009)

La losa de concreto se encuentra apoyada en el talud aguas arriba encima de un concreto poroso extrusado, el cual está construido con encofrado deslizante. De igual forma, la losa también fue hecha con encofrado deslizante. (Castellares et al., 2009)

5.3 Diseño de mezcla del concreto empleado en la presa Limón y su evaluación estadística

La losa fue realizada con un concreto de resistencia a la compresión $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2 = 20.6 \text{ Mpa}$ a los 28 días de edad.

El diseño de mezcla utilizado para el concreto se muestra en la tabla número 44.

Tabla 44. Dosificación del concreto en la pantalla de la presa Limón

Material	Dosificación
Cemento	295 kg
Agua	171 kg
Arena	957 kg
Grava	968 kg
Sikament 290 N	3.75 lt

Fuente: Información interna de Odebrecht.

El slump del concreto se encontraba entre las 3 y 6 pulgadas. Según los resultados de los ensayos de compresión de concreto, se obtuvo un valor promedio de 26.3 Mpa para una edad a 28 días de edad. Este valor superó a los 20.6 Mpa que se tenía como diseño base, dando una desviación estándar de 1.39 Mpa, la cual fue calificada como excelente. A su vez, el coeficiente de variación en la prueba fue de 2.52 %, y también fue calificada como excelente. (Castellares et al., 2009)

5.4 Proceso de ejecución empleado en la pantalla de la presa Limón

5.4.1 Colocación de los sellos de cobre

De igual forma que en la presa de Chaglla, en Olmos se colocaron sellos de cobre a lo largo de toda la junta perimetral en contacto con el plinto y en la losa de concreto. La función es garantizar la impermeabilidad de la losa. La forma de estos sellos de cobre permite el libre movimiento de las partes en contacto sin perder su objetivo de impermeabilizar la junta.

En la parte superior de la junta perimetral se instaló sello bituminoso protegido con PVC flexible y en las juntas verticales de tracción fueron instalados, también, sellos elásticos previstos en el proyecto.

Las consideraciones que se tomaron para la protección del sello de cobre durante el vaciado de concreto fueron las siguientes: (Castellares et al., 2009)

- Colocación de madera en la junta perimetral con el plinto;
- Limpieza del sello y remoción de cualquiera material grasoso;
- Correcta ubicación de los sellos de cobre;
- Presencia de todos los elementos constituyentes (bulbo de neopreno y relleno de poliuretano).
- Inspección visual final de verificación

Debido a las irregularidades propias del concreto poroso extrusado, fue necesario la colocación de una capa de mortero regularizador, el cual sirva como apoyo uniforme para los sellos de cobre en las juntas verticales. A diferencia de la presa de Chaglla, en Olmos se utilizó una banda de neopreno entre el mortero de asiento y el sello de cobre. En las siguientes fotografías se observa la colocación del sello de cobre. (Castellares et al., 2009)

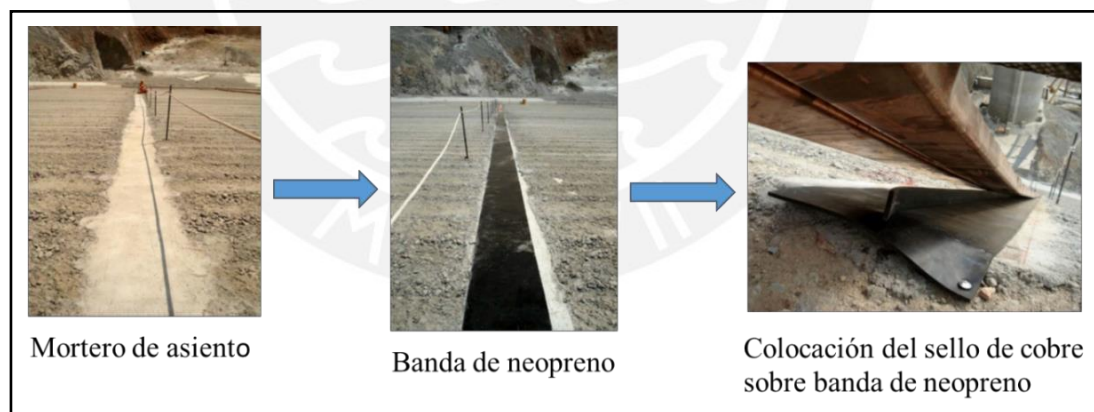


Figura 41. Colocación del sello de cobre

Fuente propia

5.4.2 Habilitación y colocación de la armadura

El taller del campamento Oriente fue el encargado en la distribución de acero para la losa. La mayoría del acero colocado está constituido por barras rectas, excepto los fierros cercanos a las juntas, los cuales requerían un trabajo especial. Para la colocación de acero fue necesario realizar insertos fijos en los bordillos a manera de que sirvan de soporte de la armadura transversal. Sobre la armadura transversal se colocó la armadura longitudinal y sobre esta última las otras transversales. (Castellares et al., 2009). (Ver anexo U: habilitación de armaduras - Olmos)

5.4.3 Encofrados utilizados

Los encofrados utilizados fueron encofrados verticales y encofrados deslizantes.

a) Encofrados laterales verticales

Similar a Chaglla, se utilizaron encofrados laterales confeccionados en obra para una altura variable de acuerdo con el espesor de la losa y fueron fijados a la estructura de sustentación de los rieles del encofrado deslizante. La colocación y montaje de los encofrados se realizó de manera manual. Para ello, se colocaron escaleras laterales ubicadas adyacentes a las juntas verticales de los paños. Para una mejor distinción de herramientas se enumeró en secuencia los encofrados identificando el lado de instalación (derecho u izquierdo). Luego de cada concretado a los encofrados se les realizaba una adecuada limpieza a fin de quedar listos para una nueva instalación en los siguientes vaciados. (Castellares et al., 2009) (Ver anexo S: Encofrado lateral Olmos)

b) Encofrados deslizante

Durante el vaciado de losa de concreto se utilizó un encofrado tipo regla deslizante hecho a base de estructura metálica. El peso del encofrado deslizante es de 7 toneladas y se desliza sobre rieles apoyados en la estructura de soporte de los encofrados laterales o sobre el concreto de los paños adyacentes ya vaciados. (Castellares et al., 2009)

En lo que respecta a la estructura metálica, fue desarrollada para permitir la ejecución de las actividades relacionadas al concretado. Cuenta con 2 plataformas con las siguientes funciones:

La plataforma superior posee un ancho suficiente que permite la movilización del personal obrero para realizar la vibración y distribución de la mezcla recibida. En

esta plataforma se encuentra, también, el sistema de control de los 2 winches eléctricos que jalan el encofrado deslizante. (Castellares et al., 2009)

La plataforma inferior es donde trabajan los albañiles para dar el acabado final de la losa. En esta plataforma, también, se puede realizar el trabajo de curado.

La regla es traccionada a través de 2 winches eléctricos instalados en la corona de la presa (elevación 1123.00 msnm). Ambos se encontraron en perfectas condiciones para garantizar la ejecución del trabajo sin riesgo de accidentes. Como se mencionó anteriormente, los winches son controlados desde la plataforma superior del encofrado deslizante solo por el encargado de esta labor. (Castellares et al., 2009) (Ver anexo T: encofrado deslizante - Olmos)

5.4.4 Colocación de concreto

La planta de concreto ubicada a 200 metros aguas debajo de la presa fue la encargada de dosificar y abastecer la mezcla de concreto. El transporte hasta el punto de aplicación se dio por medio de camiones Mixers de 7 m³ de capacidad. (Castellares et al., 2009)

Para los trabajos de vaciado de losas se utilizó una bomba estacionaria, la cual fue abastecida por los Mixers. En la primera fase se realizaron las losas desde la 1 a la 8, estas están ubicadas en la margen derecha, y la bomba de concreto estuvo ubicada a inmediaciones del plinto. (Castellares et al., 2009)

En la segunda fase se trabajó en el cuerpo central y margen izquierda de la presa, longitud comprendida entre las losas 9 a 22. En este caso, la bomba se ubicó en la corona de la presa, debido a que el desvío del río y el relleno de presa culminado permitían un acceso más rápido por el talud aguas abajo. (Castellares et al., 2009)

El lanzamiento de concreto se realizó de manera homogénea en el frente de la regla deslizante. (Castellares et al., 2009)

Durante el proceso de vibrado de concreto se tuvo cuidado en no dañar los sellos de cobre así como de garantizar la adherencia entre el concreto de los bordillos y el concreto de cada paño sin presencia de cangrejas. Para evitar que la regla deslizante flote o sea levantada por acción de la mezcla colocada, se colocó el sobrepeso requerido constituido por varillas de acero. (Castellares et al., 2009)

Previo al vaciado, se humedecieron los frentes con nebulizadores para evitar el desecamiento del concreto.

El acabado se realizó por medio de la plataforma inferior. El equipo de albañiles utilizó planchas de pulir manuales de madera. No estaba permitido adicionar agua y cemento para este trabajo, puesto que esta práctica origina la formación de una costra con alto contenido de cemento que ocasiona la aparición de fisuras superficiales. También conocido como “piel de cocodrilo”. (Castellares et al., 2009)

Para el curado de concreto se utilizó un aspersor de agua y en ocasiones curador químico anti-sol. (Ver anexo V: curado de losa en Olmos)

5.5 Costos unitarios en la construcción de la pantalla de concreto (US\$)

Los índices de productividad se encuentran en las siguientes tablas:

Tabla 45. Costos unitarios para la colocación de concreto en losa

Insumos			Composición Unitaria		
Código	Descripción	UMed.	Índice Realiz.	C. Unit. Realizado	C. Total Realizado
2331	Concreto de losa	M3			77.94
	Mano de Obra		1.28065		6.88
1106614	Oficial Albañil	H	0.27097	4.63	1.25
1106701	Peón	H	0.02396	3.18	0.08
1206245	Operario Albañil	H	0.71336	5.14	3.66
1306033	Operario Eléctrico Semi-Especializado (Mont)	H	0.00645	4.35	0.03
1306166	Operario Soldador I	H	0.06452	5.05	0.33
1405302	Operario Bomba Shotcretera	H	0.02258	4.9	0.11
1505213	Capataz Concreto	H	0.17512	7.5	1.31
1654129	Aux.Administrativo Producción	H	0.00369	30.58	0.11
	Material				1.75
2010011	Cemento Tipo -I en Bolsa (P/KG)	KG	0.95968	0.13	0.13
2030191	Antisol - Normalizado x 220 KG	KG	0.15	0.44	0.07
2080010	Mangueras Varias	VB	0.11521	3.06	0.35
2280035	Barrenos Varios	US\$	0.00046	87.71	0.04
2640001	Herramientas y Utensilios	US\$	0.50	1.00	0.5
2790001	Materiales Varios de Consumo	US\$	0.00092	75.98	0.07
2790009	Materiales Varios Construcción Civil	US\$	0.00092	403.62	0.37
2792000	Materiales Diversos de Seguridad Industrial&Medicina&Meio Ambiente	US\$	0.23041	0.97	0.22

Insumos			Composición Unitaria		
Código	Descripción	UMed.	Índice Realiz.	C. Unit. Realizado	C. Total Realizado
	Gastos Generales				0.04
5001502	Flete Diversos	GLB			0.04
	Fam. Equipamientos				10.86
2550	Bomba de concreto Schwings BP-550HDD 60	H	0.04101	65.09	2.67
9661	Cargador Neum.Volvo L120 190 HP Roca	H	0.00599	35	0.21
11100	Camión Mezclador VW 26260 7m3 275 HP	H	0.18525	33.24	6.16
16320	Camión grúa M.B. Madal L1418-51 180 HP 10	H	0.00023	28.23	0.01
18120	Camión semitrayler 50 T SC T112E 6x4 305	H	0.00415	132.5	0.55
41350	Grúa llantas 30 T	H	0.00415	117.66	0.49
42300	Winche Eléctrico	MES	0.02857	23.76	0.68
64500	Compresora Port. A.C. XA-350 763 PCM	H	0.0023	38.99	0.09
	Otras Reversiones				58.41
9050	Taller Mecánica	H	0.01659	9.47	0.16
9055	Taller Industrial	H	0.10461	8.32	0.87
9075	Taller eléctrico	H	0.10922	8.62	0.94
9201	Martillos	M3	0.00046	464.61	0.21
9205	Eqp.menores concreto	M3	0.00092	732.62	0.68
9540	Fabricación de Concreto f c=210 kg/cm2	M3	0.99147	55.67	55.2
9550	Fabricación de Concreto f c=280 kg/cm2	M3	0.00645	53.67	0.35

Fuente: Información interna de Odebrecht. Modificada por el autor.

Tabla 46. Costos unitarios para encofrado deslizante de losa

Insumos			Composición Unitaria		
Código	Descripción	UMed.	Índice Realiz.	C. Unit. Realizado	C. Total Realizado
2332	Encofrado Deslizante LOSA	M2			10.77
	Mano de Obra		0.58466		2.79
1106614	Oficial Albañil	H	0.14091	4.62	0.65
1106701	Peón	H	0.12909	3.55	0.46
1206203	Operario Carpintero	H	0.02753	4.44	0.12
1206203	Operario Carpintero III	H	0.03737	5.86	0.22
1306170	Operario Soldador II	H	0.17036	4.79	0.82
1505203	Capataz Carpintero	H	0.07586	6.73	0.51

Insumos			Composición Unitaria		
Código	Descripción	UMed.	Índice Realiz.	C. Unit. Realizado	C. Total Realizado
1565214	Oficial Carpintero	H	0.00354	3.9	0.01
	Material				0.7
2040611	Barras Metálicas Varias	VB	0.00303	95.01	0.29
2070116	Pernos Varios	VB	0.08838	0.66	0.06
2610001	Cable de Acero y Accesorios	M	0.00101	165	0.17
2790009	Materiales Consumo Taller	US\$	0.13561	1.31	0.18
	Subcontratista				0.38
3101011	Alquiler de Winche eléctrico 20 ton	MES	0.00074	520.00	0.38
	Amortización				2.73
4800101	Depre_Encofrado Deslizante face bp	M2	1.00	2.73	2.73
	Gastos Gerais				0.07
5001502	Flete Diversos	GLB			0.07
	Equipamientos				3.8
9661	Cargador Neum.Volvo L120 190 HP Roca	H	0.00025	35	0.01
16320	Camión grúa M.B. Madal L1418-51 180 HP 10	H	0.00354	29.38	0.10
18120	Camión semitrayer 50 T SC T112E 6x4 305	H	0.00227	104.12	0.24
41220	Grúa Neum. Villares 22 VG 22 T 125 HP	H	0.05289	46.84	2.48
41350	Grúa llantas 30 T	H	0.00391	85.16	0.33
42300	Winche Eléctrico	MES	0.01414	45.33	0.64
	Otras Reversiones				0.3
9055	Taller Industrial	H	0.02247	9.2	0.21
9075	Taller eléctrico	H	0.01162	7.44	0.09

Fuente: Información interna de Odebrecht. Modificada por el autor.

Tabla 47. Costos unitarios para encofrado lateral de losa

Insumos			Composición Unitaria		
Código	Descripción	UMed.	Índice Realiz.	C. Unit. Realizado	C. Total Realizado
2333	Encofrado Lateral LOSA	M2			600.00
	Mano de Obra		12.68846		63.59
1106701	Peón	H	1.51587	3.55	5.38
1206203	Operario Carpintero	H	4.05442	4.75	19.26
1206203	Operario Carpintero III	H	3.29932	6.63	21.88
1306166	Operario Soldador I	H	1.92517	4.52	8.71
1505203	Capataz Carpintero	H	0.35627	6.73	2.4
1565214	Oficial Carpintero	H	1.53741	3.87	5.96

Insumos			Composición Unitaria		
Código	Descripción	UMed.	Índice Realiz.	C. Unit. Realizado	C. Total Realizado
	Material				462.06
2040671	Igol Imprimante	KG	0.34014	1.65	0.56
2050001	Sello de Cobre 500 x 1 mm	M	2.0619	69.8	143.92
2050002	Banda de Polivinil 400 x 6 mm	M	2.0619	15.5	31.96
2050003	Igas negro 30 x 30 mm	M	2.0619	4.6	9.48
2050004	Neopreno 50 x 8 mm	M	2.0619	4.25	8.76
2050005	Poliuretano 80 x 25 mm	M	2.0619	69.15	142.58
2060291	Acero para Anclajes	KG	0.03	0.91	0.03
2070116	Pernos Varios	VB	2.04082	0.55	1.12
2080010	Alambres Varios	KG	2.72109	1.32	3.59
2251478	Bobina cobre	M	1.29027	72.38	93.39
2350001	Clavos Varios	KG	0.04	1.08	0.04
2640001	Herramientas y Utensilios	US\$	0.07	1.00	0.07
2790001	Materiales Varios de Consumo	US\$	0.11	1.00	0.11
2790009	Materiales Varios Construcción Civil	US\$	0.97959	14.99	14.68
2790009	Materiales Consumo Taller	US\$	2.32313	4.54	10.54
2943412	Acetileno Industrial	KG	0.1034	8.34	0.86
2943412	Oxigeno	M3	0.19048	1.94	0.37
	Gastos Gerais				3.43
5001502	Flete Diversos	GLB			3.43
	Equipamientos				19.00
16320	Camión grúa M.B. Madal L1418-51 180 HP 10	H	0.30952	28.79	8.91
64500	Compresora Port. A.C. XA-350 763 PCM	H	0.20408	49.45	10.09
	Otras Reversiones				51.92
9025	Central de Enconfrado	M2	1.2517	41.48	51.92

Fuente: Información interna de Odebrecht. Modificada por el autor

Tabla 48. Costos unitarios para cada actividad

Código	Descripción	Unidad	Costo unitario real US\$
2331	Colocación de concreto	m3	77.94
2232	Encofrado deslizante	m2	10.77
2333	Encofrado lateral	m2	600.00

Fuente: Propia

5.6 Comparación entre el sistema convencional y el sistema adoptado

Por medio de los costos unitarios y los metrados mencionados en Chaglla y Olmos, se puede realizar una tabla comparativa entre los costos incurridos para las actividades de vaciado de concreto, encofrado con madera y encofrado con regla deslizante.

Tabla 49. Comparación de costos de la Presa Limón y la Presa CH-Chaglla

AHORROS PRINCIPALES							
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	INSUMO		ENCOFRADO CONVENCIONAL		ENCOFRADO UTILIZADO	
		CANT.	UNID.	COSTO (US\$)		COSTO (US\$)	
				UNIT.	TOTAL	UNIT.	TOTAL
2233	Encofrado y Desencofrado Plano de Madera sistema convencional (Presa Limón)	1,905	m2	600.00	1,142,808		
86120	Encofrado y Desencofrado Plano de Madera sistema innovado (CH-Chaglla)	1,905	m2			99.04	188,640
2232	Encofrado deslizante convencional con winches (Presa Limón)	52,996	m2	10.77	570,762		
86130	Encofrado Auto deslizado para Superficie Inclinada sistema innovado con gatos hidráulicos (CH-Chaglla)	52,996	m2			6.86	363,549
2331	Lanz. de Concreto Auto deslizado en Talud Fck=20.6Mpa (Presa Limón)	26,350	m3	77.94	2,053,707		
86140	Lanz. de Concreto Auto deslizado en Talud Fck=25Mpa (CH-Chaglla)	26,350	m3			110.47	2,910,867
Total					3,767,276		3,463,056

Fuente: Propia

De acuerdo a los resultados de la tabla, se aprecia que el procedimiento empleado en la presa CH-Chaglla ahorra los costos en un 8.08 % en comparación al procedimiento aplicado en la presa Limón. Es importante mencionar que en la presa de Chaglla se utiliza un concreto de mayor resistencia (25 Mpa) en comparación al de la presa Limón (20.6 Mpa). El trabajar con un concreto de mayor resistencia encarece los costos, sin embargo el costo total en la construcción de la pantalla es menor. Lo que indica que se tiene una estructura más barata con mayor resistencia.



CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- En el rubro de la construcción existen muchas variables que pueden alterar los trabajos en la elaboración de proyectos. Por ello, es muy importante realizar un planeamiento detallado para cada actividad, el cual deberá pasar por revisiones constantes y anticipadas. De esta forma se optimizarán los trabajos y se reducirán los tiempos involucrados en su ejecución.
- El procedimiento aplicado en la CH-Chaglla se puede utilizar en la construcción de otras losas de concreto para presas CFRDs. En el caso de Olmos, todavía no se construye el segundo tramo de la Presa Limón. Por ello se propone aplicar el método utilizado en Chaglla para construir de una forma rápida y económica la segunda parte de la presa Limón.
- Cuando se trabaja en un proyecto de gran magnitud, es de mucha importancia manejar correctamente los recursos (materiales, equipos y mano de obra). Por tal motivo, es necesario coordinar con las diferentes frentes de trabajo para lograr una optimización de estos y evitar paralizaciones ante la falta de alguno.
- Es de mucha importancia definir el proceso constructivo a aplicar en la construcción de una estructura. Este proceso debe estar fundamentado mediante cálculos y ensayos que comprueben su eficiencia. Con ello; se tendrá un mejor orden, se reducirán los costos incurridos y los tiempos empleados. En el caso de la CH-Chaglla fue válido el ensayo del modelo reducido para saber cómo sería el uso de la regla durante proceso de vaciado. A su vez, analizar el comportamiento del concreto bajo una junta inducida permitió la dosificación óptima para alcanzar la fragua después de 90 minutos ante la presencia de una cuchilla.
- La regla deslizante empleada en Chaglla cumple con sus objetivos de reducir los tiempos y costos de trabajo para la construcción de la pantalla de concreto. Al comparar los tiempos de programación según rendimiento con la duración real se observa que la cantidad de días se redujo en 15. De igual forma si se compara el tiempo de la programación mensual con la duración real, se observa que la

cantidad de días se redujo en 3. Por otra parte si comparamos los costos incurridos en la construcción de la presa Chaglla, se observa una reducción del 8.08 % en los costos en comparación al procedimiento constructivo en la presa Limón. Lo que indica que el sistema adoptado en el proyecto CH-Chaglla es el más eficiente.

- Dadas las condiciones de la pantalla de concreto, se pueden realizar vaciados en simultáneo. Esto quiere decir que la pantalla al contar con una gran área de trabajo permite colocar más de una regla deslizante para diferentes losas. Lo que significa reducir los tiempos en la construcción de la pantalla.
- La planta de concreto es un cuello de botella en la elaboración de la losa, ya que restringe los rendimientos de colocación de concreto para la pantalla. Reduce a la mitad el volumen colocado por hora (de 24 m³/h a 12 m³/h). Esto se debe a que existe una demanda de mezcla por parte de los otros frentes de trabajo.
- Es de mucha importancia investigar las condiciones climáticas en el lugar en donde se pretende construir. En este caso, Chaglla presenta gran intensidad de lluvias en casi todo el año, lo que podría afectar el resultado de la mezcla. Por ello, es válido el diseño del toldo tipo paraguas en la regla deslizante. De esta manera, se pudo reducir la cantidad agua excedente por lluvias.
- Los trabajos en la pantalla de concreto cumplen con sus plazos establecidos. Además, se logró concluir el trabajo en menor tiempo del esperado y a un costo menor que el invertido en el proyecto Trasvase Olmos.
- Al trabajar en una estructura repetitiva, se logra una curva de aprendizaje por parte de la mano de obra, dando como resultado una producción en menor tiempo. Por ello, a mayor número de días de concretado continuo, el volumen de vaciado aumentaba.
- El detalle de la cuchilla para la regla deslizante cumplió con su objetivo de vaciar dos losas de tracción en simultáneo. La cuchilla no presentó problemas en cuanto a su uso durante el vaciado.
- El utilizar los encofrados deslizantes como una solución para los trabajos en la pantalla de la presa implica de un amplio conocimiento por parte del área encargada, ya que este sistema constructivo no es muy usual en nuestro medio. En el caso de CH-Chaglla se manejó

correctamente el uso de esta herramienta y los resultados se ven reflejados en las tablas anteriores.

6.2 Recomendaciones

- De acuerdo a la planificación de la losa, el tiempo que duró su construcción fue de octubre a julio (10 meses). Sin embargo, el cálculo de duraciones indica que el tiempo de construcción es de 160 días como máximo (6 meses). Este aumento de tiempo se debió a que el relleno de la presa no estaba totalmente culminado. La losa 10 inicia en octubre y se retomaron los trabajos con la losa 11 en enero. Se recomienda para la ejecución de pantallas impermeables de losas, que las actividades predecesoras queden culminadas con el fin de poder tener trabajos continuos en las actividades posteriores.
- Es de mucha importancia hacer un análisis de restricción de actividades, ya que si no se culminan estas, se forman cuellos de botella que demoraran el tiempo de construcción y por ende encarecerán el proyecto.
- Se recomienda hacer una retroalimentación luego de cada actividad con el objetivo de corregir las cosas que se hicieron erróneamente y reforzar las cosas productivas.
- Resulta indispensable una constante comunicación con los demás frentes de trabajo para estar informado de lo que ocurre en el campo constructivo. De esta manera, se podrá coordinar mejor el manejo de recursos.
- Se debe ajustar los plazos de entrega de acuerdo a la metodología constructiva aplicada. Es importante realizar hitos de entrega que avalen el constante desarrollo de la actividad.
- Se debe analizar si resulta rentable el tener una planta de concreto adicional. Con ello se puede tener mejores índices de productividad.
- Se recomienda analizar la aplicación de la metodología del *Lean Construction* en la construcción de pantallas de concreto para presas CFRD, ya que, al tratarse de actividades repetitivas podrían sectorizarse los trabajos para manejar mejor los tiempos de ejecución. De esta manera se tendrá una construcción sin pérdidas.

REFERENCIAS

- Barrena, C. & Cortes, J. (2011) Construcción de la cortina de enrocamiento con cara de concreto P.H la Yesca (Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F) Recuperado de <file:///C:/Users/Csa/Downloads/Construcci%C3%B3n%20de%20la%20cortina%20ECC%20del%20P.H.%20La%20Yesca.pdf>
- Baya, R. J. & Ledezma, F. A. (2015) *Análisis estructural de la pantalla de concreto de una presa de enrocado de gran altura tipo concrete face rockfill dams (CFRD) empleando para la modelación el software ansys- caso comparativo presa Misicuni*. Recuperado de <http://casa.fcyt.umss.edu.bo/fernandoledezma/05%20Articulo%20Civil%20Pr esa%20Misicuni.pdf>
- Briones, J. A. (2008). Estudio comparativo del diseño de la presa de tierra Limón del proyecto Olmos con pantalla de concreto versus núcleo de material arcilloso (Tesis de licenciatura, Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú) Recuperado de <https://ingenieriahidraulica.files.wordpress.com/2011/06/tc3a9sis-de-grado-estudio-comparativo-de-presas-del-proyecto-olmos-jorge-briones-zevallos.pdf>
- Castellares, V & Tassi, P & Cáceres, E & Paz, R (2009). *Informe Técnico: Ejecución de la cara de concreto de la Presa Limón del proyecto Traslase Olmos*. Lima, Perú.
- Edytesa (2015), Encofrados Deslizantes. Recuperado de http://www.edytesa.com/recursos/doc/Area_descarga/Documentacion_Tecnica/3614_306306201010110.pdf
- Hernández, A. (2014). *Los contratos internaciones de construcción Llave en Mano*. Recuperado de <http://bucserver01.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/6007/Hernandez,%20Aurora,%202014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- IECA (2013). Presas de hormigón. Recuperado de <https://www.ieca.es/Uploads/docs/Presas.pdf>
- Intertechne (2010). CH Chaglla Proyecto Básico. Volumen I.

- ISOTEC (2015). *Tintes penetrantes*. Recuperado de <http://www.isotec.com.co/portal2/index.php?id=56>
- MINEM (2015). *Línea base socio ambiental- EG Huallaga*. Recuperado de <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGGAE/ARCHIVOS/estudios/EIAS%20-%20electricidad/EIA/EIA%20HUALLAGA%20-%20MODIFICACION%20DE%20LA%20C.H.%20CHAGLLA/4.1-4.2%20final.pdf>
- MINTRA (2015). *Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo: Descansos en días feriados de Construcción Civil*. Recuperado de <http://www.mintra.gob.pe/mostrarTemaSNIL.php?page=2&codTema=32&tip=20>
- NRMCA (2015). *CIP 3 – Resquebrajamiento de las superficies de concreto*. Recuperado de <http://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/cip3es.pdf>
- NRMCA (2015). *CIP 6 – Juntas en el concreto. Losas sobre el suelo*. Recuperado de <http://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/cip6es.pdf>
- ODEBRECHT (2010). *Contrato de Construcción de la Central Hidroeléctrica Chaglla. Tomo I: Contrato EPC*.
- ODEBRECHT (2013). *Innovación en el sistema de deslizante para la cara de concreto-un nuevo concepto. Proyecto Central Hidroeléctrica Chaglla: Odebrecht Ingeniería y construcción*.
- ODEBRECHT (2014). *Ensayo modelo reducido para deslizado de la cara de concreto de la presa. Proyecto Central Hidroeléctrica Chaglla: Odebrecht Ingeniería y construcción*.
- ODEBRECHT (2014). *Informe del concreto D-25, para la losa del plinto de la presa. Proyecto Central Hidroeléctrica Chaglla: Odebrecht Ingeniería y construcción*
- ODEBRECHT (2015). *Central Hidroeléctrica Chaglla*. Recuperado de <http://www.odebrecht.com.pe/negocios/infraestructura/obras-actuales/central-hidroelectrica-chaglla>

- ODEBRECHT (2009). *Ejecución de la cara de concreto de la presa Limón del proyecto trasvase Olmos*. Proyecto trasvase Olmos: Odebrecht Ingeniería y construcción.
- Sarmiento, N., Romo, M. (2011). *Esfuerzos de compresión en la cara de concreto en presas de enrocamiento de gran altura*. Recuperado de <http://geoserver.ing.puc.cl/info/conferences/PanAm2011/panam2011/pdfs/GE011Paper883.pdf>
- SIKA. *Tecnología y conceptos para el sellado de juntas*. Recuperado de file:///C:/Users/Csa/Downloads/Tecnologia_Conceptos_Sellado_Juntas.pdf

