

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**UTILIZACION DE ENCOFRADOS DESLIZANTES PARA
EL REVESTIMIENTO DE PRESAS DE ENROCADO**

INFORME DE COMPETENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

GERMÁN EDUARDO MENESES RAMOS

Lima- Perú

2012

INDICE

	Pag.
RESUMEN	4
LISTA DE CUADROS	5
LISTA DE FIGURAS	6
INTRODUCCIÓN	7
CAPITULO I.- GENERALIDADES	8
1.1 ANTECEDENTES	8
1.2 JUSTIFICACION	9
1.3 OBJETIVOS DEL ESTUDIO	9
1.3.1 Objetivo general	9
1.3.2 Objetivos específicos	9
CAPITULO II.- PRESAS DE ENROCADO CON REVESTIMIENTO DE CONCRETO	10
2.1 EVOLUCIÓN DE LA CONFIGURACIÓN DE LAS LOSAS DE CONCRETO EN PRESAS	10
2.2 CONFIGURACIÓN ACTUAL DE LAS LOSAS DE CONCRETO EN PRESAS	14
2.3 CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE LAS LOSAS DE CONCRETO EN PRESAS	15
2.3.1 Dimensionamiento de la Losa de Concreto	15
2.3.2 Armadura de la Losa	16
2.3.3 Juntas	17
2.4 CARACTERÍSTICAS ADECUADAS DEL RELLENO DE PRESA PARA EL BUEN COMPORTAMIENTO DE LA LOSA DE CONCRETO	22
2.4.1 Cuerpo de la Presa	22
2.4.2 Zona de apoyo de la losa de concreto	22
2.5 REVESTIMIENTO DE CONCRETO UTILIZANDO ENCOFRADO DESLIZANTE	25

CAPITULO III.- ENCOFRADOS DESLIZANTES	28
3.1 DEFINICIÓN GENERAL DEL SISTEMA DESLIZANTE	28
3.2 ANTECEDENTES DE LA APLICACIÓN DEL SISTEMA DESLIZANTE	28
3.3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ENCOFRADO DESLIZANTE	28
3.4 IMPLEMENTACIÓN O MONTAJE DEL SISTEMA DESLIZANTE	29
3.5 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DESLIZANTE	29
3.6 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL SISTEMA DESLIZANTE	30
3.7 ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE SISTEMA DE ENCOFRADO CONVENCIONAL Y DESLIZANTE	33
CAPITULO IV.- APLICACIÓN DEL SISTEMA DESLIZANTE EN EL PROYECTO TRASVASE OLMOS	37
4.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	37
4.2 UBICACIÓN DEL PROYECTO	37
4.3 DESCRIPCIÓN DE LA PRESA DE ENROCADO	37
4.4 PLANEAMIENTO DEL PROYECTO	38
4.4.1 Rendimientos Considerados	38
4.4.2 Diseño de la cadena de construcción	40
4.4.3 Normal Tecnológica de construcción	41
4.4.4 Ciclograma de construcción	43
CAPITULO V.- PROCESO CONSTRUCTIVO	44
5.1 METODOLOGÍA CONSTRUCTIVA	44
5.1.1 Preparación de la zona de contacto	44
5.1.2 Montaje del sistema de juntas	46
5.1.3 Habilidad y colocación del acero de refuerzo	49
5.1.4 Implementación o montaje del sistema deslizante	50
5.1.5 Concreto en la losa	54
CAPITULO VI.- RESTRICCIONES Y PROBLEMAS QUE SE PUEDEN PRESENTAR DURANTE LA CONSTRUCCION DEL REVESTIMIENTO DE PRESAS DE ENROCADO	58
6.1 RESTRICCIONES QUE SE PUEDEN PRESENTAR PARA LA APLICACIÓN DEL SISTEMA	58

6.2	PROBLEMAS QUE SE PUEDEN PRESENTAR DURANTE LA APLICACIÓN DEL SISTEMA	59
	CAPITULO VII.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	61
7.1	CONCLUSIONES	61
7.2	RECOMENDACIONES	61
	BIBLIOGRAFIA	64

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es dar a conocer una metodología constructiva para el revestimiento de presas de enrocado, acorde a la propuesta actual de los diferentes especialistas en el mundo en presas de enrocado.

Esta metodología constructiva es denominada deslizante, porque permite realizar el vaciado del concreto a la vez que se le da la forma geométrica al elemento, sin tener una moldura previa y a través de un sistema mecánico.

La información de la metodología fue obtenida en base a su aplicación en el proyecto Trasvase Olmos, de donde se obtuvieron la información técnica, antecedentes, e información económica del sistema. Además de ello se conto con el aporte de personas que han trabajado con el sistema convencional y con el sistema deslizante anteriormente.

La técnica del sistema consiste en construir una estructura metálica que cumpla la función de regla de nivelación de superficie y que cuenta con dos plataformas, una para realizar el vaciado de concreto y otra para realizar el acabado de la losa. La estructura metálica se desplaza de abajo hacia arriba a través de un sistema de izaje accionada por dos winches eléctricos instalados en la corona de la presa.

También se realizó la descripción de las ventajas y desventajas del sistema, así como un análisis comparativo con respecto al sistema de encofrado convencional.

Como resultado final del presente trabajo se concluye que el sistema deslizante permite acelerar el proceso constructivo del revestimiento, así como tener una disminución de costo con respecto al sistema convencional por dos aspectos principales:

1. Ahorro en mano de obra y material de encofrado, reemplazado por la estructura metálica.
2. Disminución en la cantidad de juntas de construcción por ser un vaciado continuo.

LISTA DE CUADROS

	Pag.
Cuadro N°1. Análisis de costo unitario de revestimiento con sistema deslizante	33
Cuadro N°2. Análisis de costo unitario de revestimiento con encofrado convencional.	34
Cuadro N°3. Tren de actividades de ejecución de paño de losa con sistema	35
Cuadro N°4. Tren de actividades de ejecución un paño de losa con encofrado convencional	35
Cuadro N°5. Rendimientos de la Mano de Obra en las principales especialidades	39
Cuadro N°6. Rendimientos de los equipos utilizados en las principales especialidades	39
Cuadro N°7. Cadena de objeto para la construcción del revestimiento de la cara de concreto de la presa limón con sistema deslizante	41
Cuadro N°8. Normal Tecnológica de construcción para cada losa del revestimiento de la cara de concreto de la presa limón	42
Cuadro N°9. Diseño de mezcla utilizado para el concreto del revestimiento de la presa limón	54

LISTA DE FIGURAS	Pag
Figura N°1. Esquema tradicional de presas de enrocado	11
Figura N°2. Configuración actual del revestimiento de presas de enrocado	14
Figura N°3. Detalle de Juntas del revestimiento de la cara de la presa	21
Figura N°4. Zona de contacto entre la losa y el relleno de presa de enrocado	24
Figura N°5. Esquema general de las presas de enrocado utilizado en la actualidad	26
Figura N°6. Esquema general de la presa de enrocado y detalle de la zona de apoyo entre la losa y el relleno de presa utilizado en el proyecto Olmos	27
Figura N°7. Ciclograma de construcción para cada losa del revestimiento de la cara de concreto de la presa limón	43
Figura N°8. Trazo previo a la colocación de concreto para bordillo	45
Figura N°9. Ejecución del bordillo con la maquina estrusadora	45
Figura N°10. Esquema general del sistema de juntas utilizado en el revestimiento de la presa limón en el proyecto Trasvase Olmos	47
Figura N°11. Esquema de la junta vertical entre paños de losa	48
Figura N°12. Detalle de la zona inferior de las juntas verticales	48
Figura N°13. Detalle del sello de cobre utilizado en las juntas verticales	48
Figura N°14. Detalle de la junta perimetral entre la losa de concreto y el plinto de la presa	49
Figura N°15. Armado y colocación del acero de refuerzo de la losa de revestimiento de la presa del proyecto trasvase olmos	50
Figura N°16. Winches de 10 Tn de capacidad ubicados en la corona de la presa y mediante el cual se izo la regla metalica del sistema deslizante	51
Figura N°17. Vista en perfil del sistema deslizante	52
Figura N°18. Instalación de juntas de cobre y neopreno que van entre losas y sobre la cual se montaran las vigas del sistema deslizante	52
Figura N°19. Colocación de encofrado lateral, sobre el cual se monta el riel a través del cual se desplaza la regla deslizante	53
Figura N°20. Montaje de regla deslizante con el cual se dará el acabado final de la losa	53
Figura N°21. Colocación de concreto a través de un sistema de bombeo	56
Figura N°22. Acabado de la losa de concreto realizado de forma manual desde la plataforma del sistema deslizante	57
Figura N°23. Vista panorámica del vaciado de concreto	57

INTRODUCCIÓN

Las innovaciones en las metodologías constructivas han ido dándose de manera muy dinámica en la industria de la construcción en los últimos tiempos y en la construcción de presas de enrocado estas no han sido una excepción.

El presente trabajo representa un enfoque puntual a la innovación en el proceso constructivo de la ejecución del revestimiento de presas de enrocado.

Esto realizado a partir de mi participación a través de la empresa Odebrecht Ingeniería y Construcción en la construcción del proyecto Trasvase Olmos, proyecto de gran significación para el País y en especial para la región Lambayeque.

Como información general es importante conocer que las presas de enrocado nacen como una solución constructiva viable básicamente por la alta disposición de material de relleno ya que estos materiales no requieren de parámetros muy altos en cuanto a sus características de impermeabilidad.

Estas presas trabajan principalmente por gravedad y son complementadas por soluciones constructivas que permiten controlar los problemas de filtración y por ende su estabilidad.

Uno de los factores que tienden a alterar el estado normal de las Presas es la FILTRACION, la cual produce un desplazamiento de Flujo desde el nivel aguas arriba hacia aguas abajo en el cuerpo y/o cimentación de la Presa, esto genera la presencia de Fuerzas Hidrodinámicas, que actúan directamente sobre la fase sólida del cuerpo de la Presa, estas fuerzas generan la disminución de la estabilidad de la Presa.

Es por ello que en base a muchas revisiones e innovaciones a los diferentes sistemas constructivos que permitan controlar los problemas de filtración es que aparece el revestimiento de concreto armado con sistema de encofrado deslizante de la cara aguas arriba de la presa de enrocado, como la mejor solución y la más utilizada en la actualidad.

Este sistema constructivo permite ejecutar vaciados continuos y evita la formación de juntas frías, y por ende mitiga el problema de filtración antes mencionado.

CAPITULO I.- GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

En la década de 1920 el revestimiento de la cara de concreto estaba conformado por losas unidas a través de juntas impermeables flexibles, en sentido horizontal y vertical, con la finalidad de adaptarse a los movimientos del cuerpo subyacente de la Presa.

Durante esta época el relleno de presa de enrocado se realizaba sin compactación mecánica de las capas de relleno, es decir solo se vertía el material directamente desde los camiones en capas desde varios metros de altura, con la finalidad de obtener el mayor grado de compactación posible.

Se podía decir que para una presa de hasta 75m, el relleno bajo este método no generaba mayores asentamientos, es decir los problemas de filtración eran mínimos, pero para alturas de presa mayores a 75m el núcleo de la presa presentaba muchos vacíos como consecuencia de la no compactación adecuada de cada capa del material (Diez-Cascon & Bueno, 2001).

Esto generaba problemas considerables de filtración en la presa y como consecuencia se producían asentamiento diferenciales en el cuerpo de la presa que afectaba directamente a las losas, ya que estas eran muy rígidas como para adaptarse a los cambios bruscos de movimiento de la superficie, causa por la cual las losas se agrietaban considerablemente poniendo en riesgo la estabilidad de la presa (Diez-Cascon & Bueno, 2001).

Estos defectos producidos especialmente para presas con alturas mayores a los 75 m originó que a fines de la década de 1940 el uso de la losa de concreto armada se dejó de aplicar en el revestimiento de presas de enrocado.

Posteriormente a inicios de la década de 1960, se desarrolló el uso de un núcleo impermeable de arcilla, este núcleo presentaba un comportamiento muy tolerante a la deformidad ante los asentamientos bruscos producidos en el cuerpo de la Presa, el mayor problema para construir este tipo de presas es la poca disponibilidad del material en las zonas de ejecución, en la mayoría de los casos.

En 1965 surgió una gran innovación técnica con la aparición del Rodillo Vibratorio Liso, el cual permitió una mejora en la compactación de cuerpos de Presa y por consiguiente la reducción de los asentamientos en ellas.

Esto genero que el uso de losa de concreto en la cara aguas arriba de las presa se retomara, siendo el empleo de estas creciente desde 1970, así mismo se logro optimizar los espesores y el acero de refuerzo en las losas de concreto.

1.2 JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

En el Perú existe una proyección importante de construcción de presas de enrocado, principalmente en la construcción de centrales hidroeléctricas, por tal motivo el presente informe representa una buena alternativa de solución para manejar los problemas de filtración e inestabilidad que se presentan normalmente en las presas de enrocado.

1.3 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

1.3.1 Objetivo General

El Objetivo general del presente trabajo es dar a conocer el sistema constructivo mas practico, económico y eficaz para aplicar en los revestimientos de cara de concreto en las presas de enrocado.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Dar a conocer cuando y como aplicar este sistema constructivo
- Dar a conocer las ventajas y desventajas del sistema constructivo
- Dar a conocer los principales índices de productividad obtenidos con el sistema

CAPITULO II.- PRESAS DE ENROCADO CON REVESTIMIENTO DE CONCRETO

2.1 EVOLUCIÓN DE LA CONFIGURACIÓN DEL REVESTIMIENTO DE LAS PRESAS DE ENROCADO

Durante las últimas 4 décadas; se han introducido importantes cambios en la concepción y diseño de presas de enrocado con losa de concreto, que ha conducido a un incremento en el uso de este tipo de presas y a su adopción en presas de mayor altura.

El desarrollo tecnológico de la construcción y el uso de materiales mejor compactados y conveniente zonificación de estos dentro del cuerpo de la presa, permite construir presas con cada vez mejor comportamiento en términos de seguridad y estanqueidad.

El desarrollo de Plintos de concreto (*), con Pantallas de Inyecciones y las mejoras introducidas en la ejecución misma de la losa de la presa, como por ejemplo el abandono de losas con juntas en exceso que hacía de ellas muy articuladas, y la nueva tendencia de solo la utilización de juntas verticales han generado mejores resultados en términos de impermeabilización de la presa.

(*) El plinto es una estructura de concreto armado anclada a la roca (también conocida como zapata de cimentación o zócalo de pie) y sirve para apoyar la cara de concreto y como plataforma para la inyección de la masa de roca. El plinto y la losa de concreto van unidas por medio de una junta perimetral que puede ser de cobre (ver figura 3). (Diez-Cascon & Bueno, 2001).

Inicialmente el diseño de las Losa de Concreto en Presas era fundamentalmente empírico y basado en la experiencia y el buen criterio producto de los muchos años de práctica en este tipo de obras; pero a lo largo del tiempo se realizaron mejoras en diferentes modelos prototipos que han sido la base para nuevos proyectos.

En la figura 1 se muestran las características del proyecto tradicional, que prevaleció hasta finales de los años 50 y comprende lo siguiente:

- a) Una trinchera de concreto, más conocido como rastrillo, a lo largo del pie de aguas arriba, excavada en la cimentación y con una entalladura para recibir la losa de concreto.

- b) Una pantalla de concreto relativamente gruesa, 30cm en la base más 20cm por cada 30mts de altura de presa, esta relación respondía a la siguiente formula $(0.3 + 0.0067H)$, H en metros.
- c) Una armadura de la losa de diámetro igual al 0.5% del espesor teórico, sin tener en cuenta los sobre espesores.
- d) Una cuadrícula bastante cerrada, formada por juntas horizontales y verticales en la pantalla, más una junta articulada paralela a la junta perimetral, para conseguir una pantalla flexible. Juntas abiertas, provistas de bandas de estanqueidad (impermeables) y diversos materiales de relleno, para asegurar el máximo grado de libertad en los movimientos lineales y rotacionales de las losas individuales.
- e) Un deflector del oleaje o parapeto en coronación de 1.2 m de altura.
- f) Una zona seleccionada de grandes bloques de roca dura, colocados con grúa, formando la base de apoyo de la pantalla de concreto.
- g) Zonas de material de relleno vertido en tandas de gran espesor (30 m o más), con taludes de 1.3H: 1.0V y 1.4H: 1.0V aguas arriba y aguas abajo respectivamente (próximo al ángulo de reposo).
- h) Un paramento aguas arriba curvo, al menos en una dirección y a veces en dos; para reducir la tendencia de las juntas a abrirse.

A continuación se muestra en la Fig. N°1 un esquema de la configuración típica de las presas de enrocado que se utilizo en un inicio durante la década del 1950.

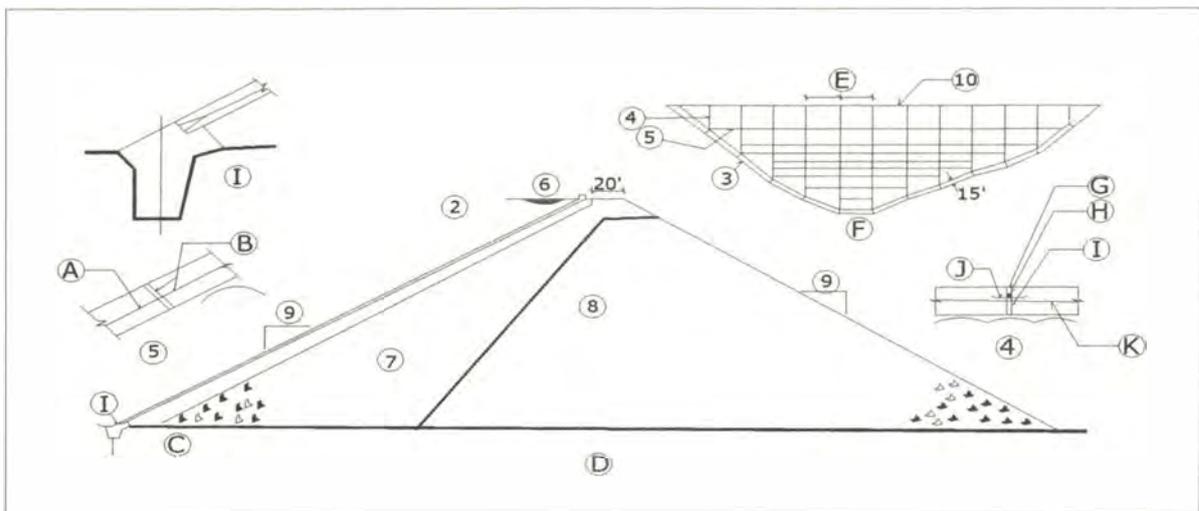


Figura N°1: Esquema tradicional de presas de enrocado (Diez-Cascon & Bueno, 2001)

- (2) : Pantalla de Concreto
- (3) : Zócalo de Pie o Plinto

- (4) : Junta Vertical
- (5) : Junta Horizontal
- (6) : Parapeto
- (7) : Roca de Gran Tamaño colocado con Grúa
- (8) : Escollera Vertida
- (9) : Talud
- (10): Eje Curvado

- (A) : Armadura
- (B) : Relleno de 1.90 cm y banda de estanqueidad en Z
- (C) : Cortina de Inyección
- (D) : Sección Transversal de la Presa
- (E) : 18 mts.
- (F) : Alzado de la Pantalla
- (G) : Mástic
- (H) : Asfalto Premoldado
- (I) : Relleno Compresible (Rastrillo)
- (J) : Lámina de Cobre en U
- (K) : Armadura

Las presas construidas con estos criterios, hasta 75 metros de altura, demostraron tener un buen comportamiento a lo largo de su puesta en servicio. Bajo esta solución constructiva, las presas de mayor altura a 75 metros han tenido problema de fisuración y de filtración; debido principalmente a deformaciones generales y movimientos de juntas.

Los excesivos movimientos de las juntas de la losa, se debían principalmente a dos factores:

- a) Inadecuada compactación y colocación de los materiales que conforman el cuerpo de la presa principalmente en la zona de asiento de la pantalla de concreto.
- b) Al sistema de juntas horizontales y verticales rellenos con material fácilmente compresible. Las características granulométricas de la escollera vertida por gravedad generaba que la presa cuente con un material de grano relativamente fino, denso y bien graduado en la parte superior, a material de grano grueso y mal graduado en la parte inferior, con un alto porcentaje de

vacíos; esto debido principalmente a que por el mismo proceso constructivo, los agregados de mayor peso específico tienden a caer primero (Diez-Cascon & Bueno, 2001).

Esta parte inferior de la presa al ser la zona más compresible del relleno y donde la presión del agua es mayor se comportaba de manera inadecuada como soporte para la pantalla de concreto, por el alto porcentaje de vacíos en esa zona y como consecuencia de ello se generaba la fisuración de los paños de losas inferiores.

Por otra parte, bajo la acción de la carga de agua, las losas están obligadas a seguir los movimientos del relleno de presa en el plano de la losa, pero como la tendencia de la escollera es a moverse hacia el centro del valle, las juntas verticales del centro de la cara de la presa, rellenas con materiales compresibles, tienden a cerrarse excesivamente, esto a su vez genera que juntas próximas a los estribos se habrán considerablemente.

Por tal motivo, este método no era el adecuado para conseguir que la presa se comporte de una manera segura, y más aun que sea un elemento adecuado de impermeabilización de la presa.

Paralelamente a la aplicación del Proceso Tradicional entre los años 1955 y 1965, surge una gran innovación tecnológica de vital importancia para la ejecución del relleno de presa, el rodillo vibratorio liso, a partir del cual se lograba mitigar los problemas de vacíos en los rellenos de presa, por causa de un mal procedimiento de compactación.

Como consecuencia de una mejor compactación, se comenzaron a ejecutar presas de enrocado con alturas mayores a los 75mts, una muestra de ello es la construcción de la presa de Nurek con 300 mts de altura, construida en la ex Unión Soviética entre los años 1961 y 1979.

El éxito conseguido en estas presas llevó a replantear el empleo de las Pantallas de Concreto, ya posibles con escollera compactadas.

Al confirmarse su buen comportamiento, su empleo es creciente desde 1970, habiéndose conseguido una notable reducción de espesores y armaduras, y alturas cada vez mayores.

Al reducirse notablemente los asentamientos posteriores con la presa ya embalsada, la losa queda considerablemente aliviada en su trabajo y en base a ello es que con el tiempo se ha ido optimizando su dimensionamiento, generando también esto una optimización en el costo.

Por otra parte, se ha comprobado que se puede prescindir de la mayor cantidad de juntas horizontales, siempre que no se generen juntas frías, y que la losa trabaja mejor en paños enteros de longitud igual a la longitud inclinada de la cara aguas arriba de la presa, es decir sin juntas horizontales en toda su longitud, solo con las juntas de construcción debidamente tratadas y que permiten a los paños tener un comportamiento individual.

2.2 CONFIGURACIÓN ACTUAL DE LAS LOSAS DE CONCRETO EN PRESAS

La última gran presa construida con el método tradicional fue la presa de New Exchequer en California, en la que la magnitud de las filtraciones demostró después de un tiempo que era necesario mejorar el diseño con el cual se contaba en ese momento.

Ya con el mejoramiento del proceso constructivo y el mayor uso de relleno compactado como cuerpo de la presa este objetivo fue conseguido, logrando grandes avances en seguridad, estabilidad, plazos de ejecución y obviamente optimización de costos.

En la actualidad el diseño del revestimiento de la cara de concreto obedece a la configuración que se muestra a continuación en la Fig. N°2.

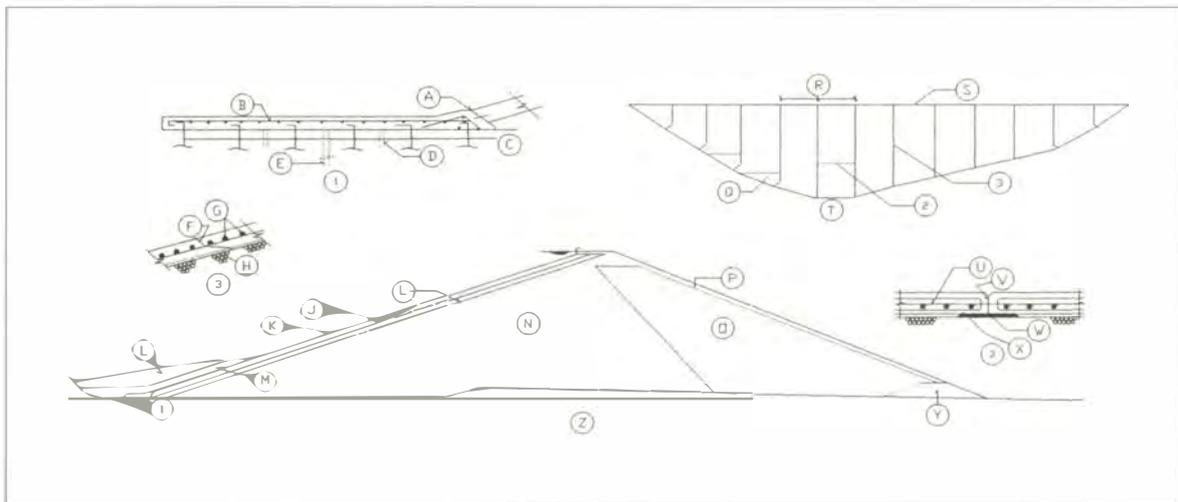


Figura N°2: Configuración actual del revestimiento de presas de enrocado
 (Diez-Cascon & Bueno, 2001).

Donde:

- (1): Zócalo de pie
- (2): Junta Horizontal
- (3): Junta Vertical

- (A): Junta Perimetral
- (B): Armadura
- (C): Barras de Anclaje
- (D): Inyecciones de Consolidación
- (E): Pantalla de Inyección
- (F): Armadura Horizontal
- (G): Con Encofrado
- (H): Junta
- (I): Zona 3 A-Roca seleccionada de tamaño pequeño, colocada en capaz del mismo espesor que en la zona 2.
- (J): Zona 2 – Roca de tamaño pequeño procesada
- (K): Pantalla de Concreto
- (L): Zona 1 – Todo Uno
- (M): Zona 1 A – Material Impermeable
- (N): Zona 3 B – Relleno de Escollera o grava sin clasificar, en capaz de 1.0 mts aproximadamente
- (O): Zona 3 C – Relleno de escollera o grava sin clasificar, en capaz de 1.5 a 2.0 mts.
- (P): Roca de Grana tamaño en el talud de aguas abajo
- (Q): Losa de Arranque
- (R): 18 mts.
- (S): Eje Recto
- (T): Alzado de la Pantalla
- (U): Armadura Horizontal
- (V): Superficie Pintada con Asfalto
- (W): Junta de Cobre
- (X): Mortero de Apoyo
- (Y): Zona 3 D – Escollera mayor de 0.30 mts
- (Z): Perfil Transversal de la Presa.

2.3 CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE LAS LOSAS DE CONCRETO EN PRESAS

2.3.1 Dimensionamiento de la Losa de Concreto

En el diseño original de las presas de enrocado la cara de concreto de la presa estaba apoyada sobre el enrocado lo que obligaba a disponer de suficiente volumen de concreto para ocupar los espacios formados por las irregularidades de la zona de contacto.

Para mejorar este detalle se adoptó generar una zona de apoyo (J y K de la figura 2), conformado por material procesado el cual contiene un 40% de arena, con la finalidad de evitar las segregaciones del material más grueso y mitigar las filtraciones.

Durante muchos años el espesor de la losa fue de 30 cm. en la parte mas alta, incrementándose hacia abajo en una relación de $0.0067H$, siendo H la carga de agua en metros. Con la adopción de la zona especial de apoyo de la losa, descrita anteriormente, se consiguió un soporte uniforme (Diez-Cascon & Bueno, 2001).

Con este cambio el espesor teórico de las losas ha estado comprendido entre $0.30 + 0.002H$ y $0.30 + 0.004H$, que corresponde a una reducción entre el 70% y el 40% del espesor de concreto con respecto al diseño original (Diez-Cascon & Bueno, 2001).

Para el caso del proyecto Traslase Olmos el espesor del revestimiento de cara de concreto estuvo dado por la siguiente fórmula: $t = 0.30 + 0.003 \cdot H$ en donde t es el espesor de la losa en metros y H es la altura de la presa también en metros (Odebrecht Ingeniería y Construcción "Expediente Técnico proyecto Traslase Olmos", 2004).

2.3.2 Armadura de la Losa de concreto

Colocar armaduras en la losa de revestimiento de la presa ha sido una práctica muy utilizada, según el método tradicional se acostumbraba a colocar dos mallas de armaduras una superior y la otra inferior cada una a ambos extremos del espesor de la losa.

Desde un inicio la sección de la armadura de la losa de concreto se ha determinado como el 0.5% de la sección teórica de losa en cada dirección para todas las presas que están entre 50 y 110 mts de altura.

La función asumida de esta armadura era, no sólo la de prevenir fisuras debido a efectos térmicos y a retracción por fraguado y otras tensiones de tracción en el

plano de la losa, sino también absorber las flexiones que pudieran producirse a causa de variaciones locales en la comprensibilidad del relleno de presa subyacente. (Odebrecht Ingeniería y Construcción “Expediente Técnico proyecto Traslase Olmos”, 2004)

La tendencia actual es colocar sólo la capa superior necesaria para absorber los efectos térmicos y como soporte. El objeto de esta armadura es reducir las fisuras a fisuras muy finas que no tengan consecuencias y entonces basta con un índice de 0.30% de acero en cada dirección a una distancia de 10 o 15 cm. de la superficie del concreto.

Normalmente se suele aumentar la cuantía de acero cerca de las juntas para prevenir que el concreto se fisure antes del llenado embalse, ya que después del llenado del embalse la junta perimetral se abre y compensa moderadamente el esfuerzo responsable del fisuramiento.

Las diferentes evaluaciones de los esfuerzos a que están sometidas las losas han demostrado que la mayor parte de ellas está sometida a esfuerzos de comprensión biaxiales y que las tensiones de tracción se desarrollan cerca del pie de la presa; estas en la coronación y próximo al perímetro son muy pequeñas y tienden a disiparse con el tiempo (Diez-Cascon & Bueno, 2001).

La armadura adicional que se coloca para contrarrestar el efecto de escarificación del concreto en las zonas de las juntas impermeables de la pantalla, se han utilizado a partir de la construcción de la presa de las Piedras en España (1967).

Para el caso del proyecto Traslase Olmos el acero de refuerzo se utilizo considerando el 0.50 % de la sección de losa en cada dirección, horizontal y vertical, y colocado en la parte media de la losa. Este refuerzo se colocó con la finalidad de absorber los esfuerzos de los requerimientos de las condiciones de carga y también los esfuerzos por retracción de fraguado y cambios térmicos.

2.3.3 Juntas

Al utilizarse el método de la compactación en capas y dado al alto grado de compactación en los rellenos de presa, se ha simplificado notablemente el sistema de juntas, abandonándose las juntas horizontales y las juntas articuladas entre el zócalo o pie de presa y la pantalla.

En la nueva concepción sólo se incluye las juntas verticales de construcción y la junta perimetral. Las juntas horizontales, salvo las constructivas, se ha suprimido del todo. Como la mayor parte de la losa trabaja a compresión en la práctica actual se ha reducido el número de juntas verticales entre losas tanto como sea posible por razones constructivas.

Los estudios realizados recomiendan una separación entre los 12 y 18 metros, siendo más utilizada una separación de 15 metros, teniendo en cuenta factores prácticos como el peso de los encofrados, en este caso deslizantes, el peso de la barra deslizante y el ritmo de colocación del concreto (Odebrecht Ingeniería y Construcción "Expediente Técnico proyecto Trasvase Olmos", 2004).

También se debe tener presente que cuanto mayor es la separación entre juntas verticales aumenta la posibilidad de que se produzcan fisuras por retracción aunque según las experiencias en este tipo de proyectos se ha demostrado que no son muy importantes, además, las juntas verticales con relleno compresible se han cambiado por juntas cubiertas con una capa de asfalto.

La menor abertura de la junta perimetral en presas recientemente construidas, se considera que es una consecuencia directa de la no utilización de material de relleno compresible en todas las juntas verticales, ya que esto originaba que las losas interiores se compriman y generen aberturas considerables en la junta perimetral.

No se ha conservado ninguna junta horizontal, excepto las juntas de construcción con armadura pasante, para el caso de los paños de losa ubicados en los márgenes del cauce.

Normalmente cuando se han utilizado juntas horizontales sin armadura pasante y con juntas de estanqueidad no se han obtenido buenos resultados, ya que es difícil que el concreto trabaje bien en esta zona de juntas.

Como no se puede absorber los momentos flectores sin armadura, cualquier ligero movimiento de rotación, que combinado a los esfuerzos de compresión a los cuales está trabajando la losa, da lugar a un fisuramiento por compresión en la zona de los bordes de la juntas.

El detalle de una junta horizontal tipo la podemos apreciar en la Fig. 3. Durante la construcción debe presentarse especial atención a la impermeabilización de la junta. La causa de filtraciones en una junta puede deberse a que tanto la construcción como la inspección no han sido adecuadas.

La colocación del concreto vibrado en la zona de juntas debe hacerse con sumo cuidado, ya que el agregado grueso tiende a depositarse en la parte baja. El encofrado deslizante no debe desplazarse en un nivel más alto que el borde de la junta, sino exactamente a su nivel, a fin de que se pueda verificar que el concreto este en contacto con toda la junta.

Las juntas verticales de contracción llegan hasta la junta perimetral a lo largo del plano de la losa. Cualquier obstáculo local que impida el movimiento de la losa de concreto en la dirección de la carga hidrostática, debe ser eliminado. La carga hidrostática que actúa sobre la losa debe ser transmitida de manera uniforme al relleno de la presa.

Los detalles de la junta perimetral entre el zócalo y la losa de concreto y de las juntas de la losa se muestran en la Fig. 3-B y 3-F. La junta perimetral merece también una atención especial debido a que esta junta no sólo se abre durante el llenado del embalse debido al asentamiento del relleno, sino que también se desplaza en otras dos direcciones:

- Perpendicular a la losa, debido al asentamiento de la presa
- En dirección del plano de la losa, debido a su movimiento por corte.

Como los movimientos de mayor intensidad se producen en la junta perimetral, se adopta un doble sistema de estanqueidad para estas, una junta de cobre o de acero situada en la parte inferior y una de PVC en el centro de la losa.

En esta junta también se coloca un relleno compresible de madera o de asfalto premoldeado, para permitir la rotación, corte y compresión.

El resto de juntas que se encuentran en la zona central de toda el área de revestimiento solo llevan la junta de cobre en la parte inferior. Para presas de altura inferior a 100 metros se puede utilizar también juntas de PVC en lugar de cobre.

Es aconsejable colocar las juntas de cobre o de acero en bandas continuas entre las fase de construcción, para de esta forma evitar soldar el cobre en obra y cada vez que esto sea necesario se debe utilizar un electrodo de fluidez elevada (con un contenido de plata mayor a 50%) para asegurar la total penetración entre las dos laminas de cobre (Odebrecht Ingeniería y Construcción “Expediente Técnico proyecto Traslase Olmos”, 2004).

La soldadura de PVC también deberá inspeccionarse para detectarse cualquier orificio en la junta.

Esto se puede realizar fácilmente por medio de un controlador de chispa, colocándose una placa de metal bajo la soldadura hecha recientemente, de forma que se genere una superficie conductora para la chispa emitida por el aparato.

La chispa, que es de alto voltaje (bajo amperaje) tratará de establecer una conexión directa con la placa metálica conductora colocada bajo la soldadura. Cuando exista algún agujero o fisura, la chispa encontrará este camino de menor resistencia y empezara a quemar la materia alrededor del orificio, marcando así la falla de soldadura. (Odebrecht Ingeniería y Construcción “Expediente Técnico proyecto Trasvase Olmos”, 2004).

En el proyecto Olmos las juntas verticales de tensión de la losa contaban con un sello inferior de cobre soldado al sello inferior de la junta perimetral y un sello de un material plástico, masilla tipo Igas Negro en la parte superior.

Las juntas verticales de compresión solo contenían un sello de cobre inferior semejante a las de las juntas de tensión.

La junta perimetral entre la losa y el plinto contenía un sello de cobre en la parte inferior, también un sello superior y masilla tipo Igas Negro.

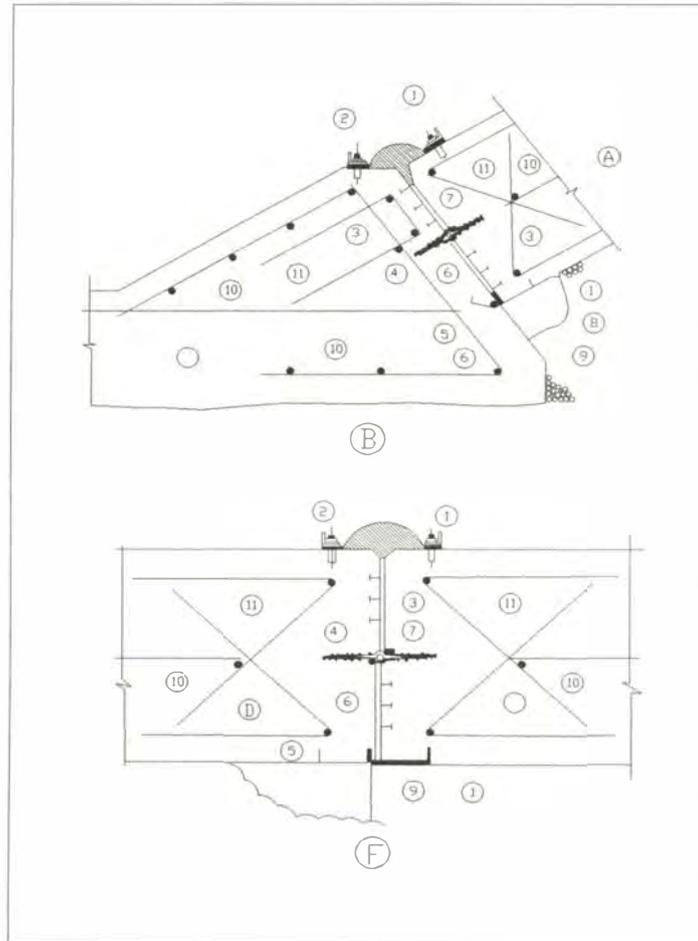


Figura N°3: Detalle de Juntas del revestimiento de la cara de la presa (Odebrecht Ingeniería y Construcción "Expediente Técnico proyecto Trasvase Olmos", 2004)

Donde:

- (1): Banda de Hypalon
- (2): Mástic
- (3): Madera Compresible
- (4): Junta de PVC
- (5): Junta de Cobre
- (6): Cilindro de Neopreno
- (7): Relleno de Styrofoam
- (8): Mezcla de Arena y Asfalto
- (9): Zona 2
- (10): Armadura
- (11): Armadura para Proteger el Concreto contra la Fisuración y para proteger las juntas de Estanqueidad.

- (A): Pantalla
- (B): Junta Perimetral entre el Plinto y la losa
- (C): Zócalo de Pie
- (D): Zócalo de Pie
- (E): Pantalla
- (F): Junta vertical entre paños de losa

2.4 CARACTERÍSTICAS ADECUADAS DEL RELLENO DE PRESA PARA EL BUEN COMPORTAMIENTO DE LA LOSA DE CONCRETO

2.4.1 Cuerpo de la Presa

El objeto de un cuerpo de presa bien compactado es que soporte la losa de concreto uniformemente y que la deformación por efectos de la carga de agua y de su propio peso sea mínima. La magnitud de los movimientos del relleno, causa principal de las filtraciones, esta en función de la altura de la presa y del módulo de compresión del relleno.

Las deformaciones de la losa, medidas perpendicularmente al plano de la misma, son inversamente proporcionales al módulo de compresibilidad del relleno de presa y para el mismo módulo, las deformaciones aumentan con el cuadrado de la altura de la presa. (Odebrecht Ingeniería y Construcción "Expediente Técnico proyecto Trasvase Olmos", 2004).

Estas evaluaciones y mediciones han dado como resultado el planteamiento de la actual de las presas de enrocado tal como se muestran en la Figuras 5 y 6.

2.4.2 Zona de apoyo de la losa de concreto

La granulometría de la zona de apoyo de la Losa, zona 2 en Fig. 4, ha ido cambiando a medida que se ha ganado experiencia en la construcción de presas de enrocado y se ha ido progresando en la concepción de este tipo de proyectos. El cambio ha consistido en utilizar áridos de menor tamaño máximo y mas finos, es decir mayor contenido de partículas inferiores a 4.76 mm y 0.074 mm (Tamices N ° 4 y 200).

En las primeras Presas, el soporte de la pantalla se confiaba a una zona de mampostería seca de gran tamaño colocada con grúas, esta práctica se

abandonó cuando comenzó a colocarse el relleno de presa en capas compactadas.

Una granulometría con tamaño máximo de 250 – 330 mm y mínimo de 50 – 75 mm, no era satisfactoria debido a que se producía un alto grado de segregación. La superficie de contacto entre el relleno y la losa no podía quedar plana y era fácil que se produjera un exceso de concreto. La aceptación de finos en los nuevos procesos constructivos han significado una importante mejora en este aspecto, pero las especificaciones no exigían un tamaño mínimo de partículas en la arena, y el bajo porcentaje de estas, eran las causantes de la segregación sustancial de las partículas más gruesas, produciendo una permeabilidad relativamente alta en esa zona.

Las especificaciones actuales tienen por objeto limitar el tamaño máximo de la piedra y conseguir una granulometría que garantice la no segregación en el momento de la puesta en obra y también incluir suficientes finos para obtener una permeabilidad aceptable.

La granulometría más recomendable para la zona de apoyo de la losa es aquella que cuente con un material cuyo tamaño máximo este entre 75 mm y 38 mm, de un 35% a un 55% de tamaño inferior a 4.76 mm, asegurando de esta manera que tendrá como media al menos un 40% de partículas de arena y de un 5% a un 15% como máximo, de material que pasa por el tamiz de 0.074 mm.

La ventaja de tener un mínimo del 10% y del 5% de material de tamaño inferior a 0.59 mm y 0.074 mm (Tamiz N ° 30 y 200) respectivamente, es que el material compactado tendrá al final una permeabilidad del orden de 1×10^{-4} cm/seg como máximo (Odebrecht Ingeniería y Construcción “Expediente Técnico proyecto Trasvase Olmos”, 2004).

Por otra parte esta granulometría también asegura que el material será estable interiormente bajo gradientes hidráulicos muy altos y compatibles con el material de relleno subyacente.

En el proyecto Olmos el material en la zona de contacto con la cara de concreto está conformado por varias zonas de transición, de las cuales la que más se encontraba hacia aguas arriba estaba compuesta con materiales del tipo 2B, con un ancho de capa de 4.0 m, compuesta por material aluvial, siendo el grano máximo en esta zona de 3”(76 mm).

Adicionalmente al material de relleno en la zona de contacto se implemento la utilización de una capa adicional denominada capa de bordillo, este fue un

elemento fabricado de concreto de baja resistencia y de forma prismática de 0.30 m de alto, y se vaciaba de manera longitudinal a todo lo largo de la cara aguas arriba de la presa.

Como el rodillo vibratorio no puede desplazarse cerca del borde del talud de aguas arriba de la zona 2B de la figura 4, esta zona exterior no puede compactarse eficientemente en tandas horizontales, es por ello que esta zona es completada por los bordillos para poder darle el talud requerido a la presa aguas arriba.

En la figura 4 que se muestra a continuación se aprecia un esquema típico de la zona de contacto entre relleno y la losa de concreto, las franjas de sección triangular entre la zona 2B y la losa de concreto representan a los bordillos de concreto que permiten dar la superficie plana a la cara aguas arriba del relleno.

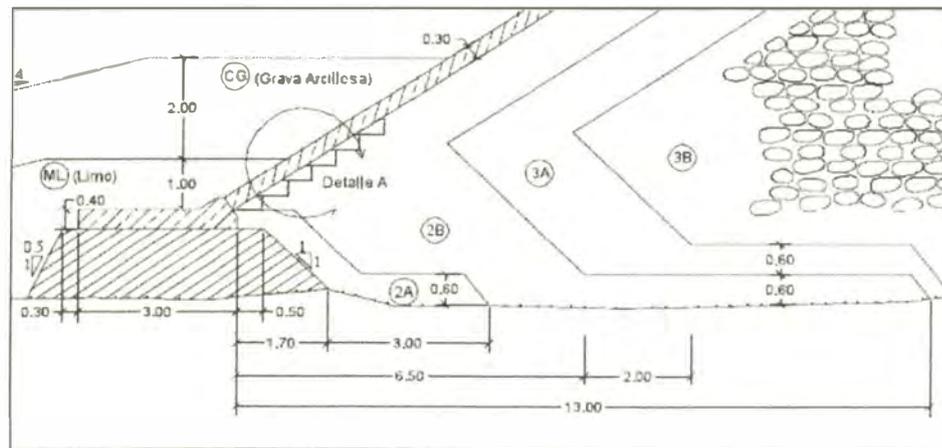


Figura N°4. Zona de contacto entre la losa y el relleno de presa de enrocado (Odebrecht Ingeniería y Construcción "Expediente Técnico proyecto Traslase Olmos", 2004)

Algunas de las ventajas de la adopción de esta zona especial para el apoyo de la pantalla son:

- La zona actúa como una barrera semipermeable (en el límite inferior del rango semipermeable) asegurando que las fugas totales a través de la presa no sean excesivas aun en el caso en que se produzcan en la pantalla grandes fisuras, como consecuencia de un sismo.
- Como la granulometría de esta zona se aproxima bastante a la de un filtro se pueden colmatar las fugas a través de la pantalla o de las juntas,

vertiendo bajo agua limo o arena fina no lavada sobre las fugas. La reparación se hace rápidamente y sin tener que bajar el nivel del embalse.

2.5 REVESTIMIENTO DE CONCRETO UTILIZANDO ENCOFRADO DESLIZANTE

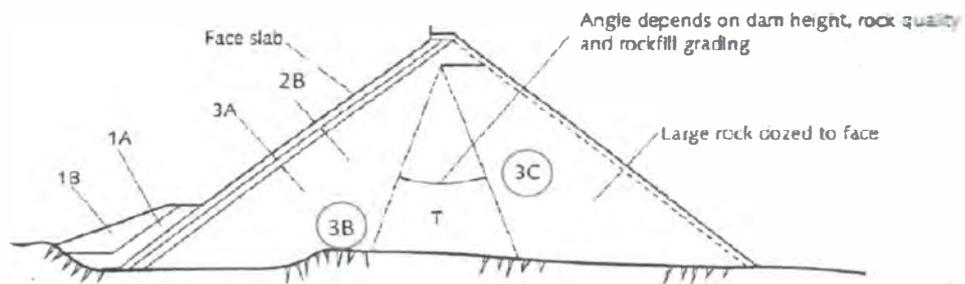
La utilización de encofrados deslizantes para el vaciado de concreto de la losa, es una consecuencia natural al haberse eliminado la antigua disposición de losas en forma de cuadrícula muy articuladas.

El colocado del concreto de las losas principales se realiza normalmente y con éxito, utilizando un encofrado deslizante mecanizado y continuo para evitar que se generen juntas horizontales en lo posible, en el vaciado de concreto solo debe de tomarse muy en cuenta la velocidad y el compactado del concreto.

Una exigencia fundamental es que no debe permitirse que el encofrado deslizante se levante. Es recomendable tener la plataforma de trabajo desde donde se realiza el vibrado a unos 50 cm de la regla niveladora de concreto del sistema deslizante para impedir que la vibración del concreto ocasione el levantamiento del encofrado por empuje del concreto.

Se aconseja que el curado del concreto se continúe hasta que la losa quede cubierta por el agua del embalse, con el fin de minimizar el efecto de retracción por fraguado, esta práctica no impide que se produzcan algunas pequeñas fisuras de retracción horizontales, que no representan una amenaza para la estructura.

Normalmente se especifica claramente que la resistencia a la compresión a los 28 días del concreto sea de 210 kg/cm², un concreto de resistencia más elevada no es recomendable ya que este tendrá un mayor contenido de cemento, y por ende esto generaría un mayor riesgo de fisuramiento por retracción.



1A - Suelo impermeable

1 B - Relleno común

2B - Zona de Transición

3A - Zona de Transición

3B - Enrocado cont. max. finos 5% / tamaño máx. 40 cm

3C - Enrocado cont. Max. Finos 12% / tamaño máx. 40 cm

Figura N°5. Esquema general de las presas de enrocado utilizado en la actualidad (Nenad, 2008)

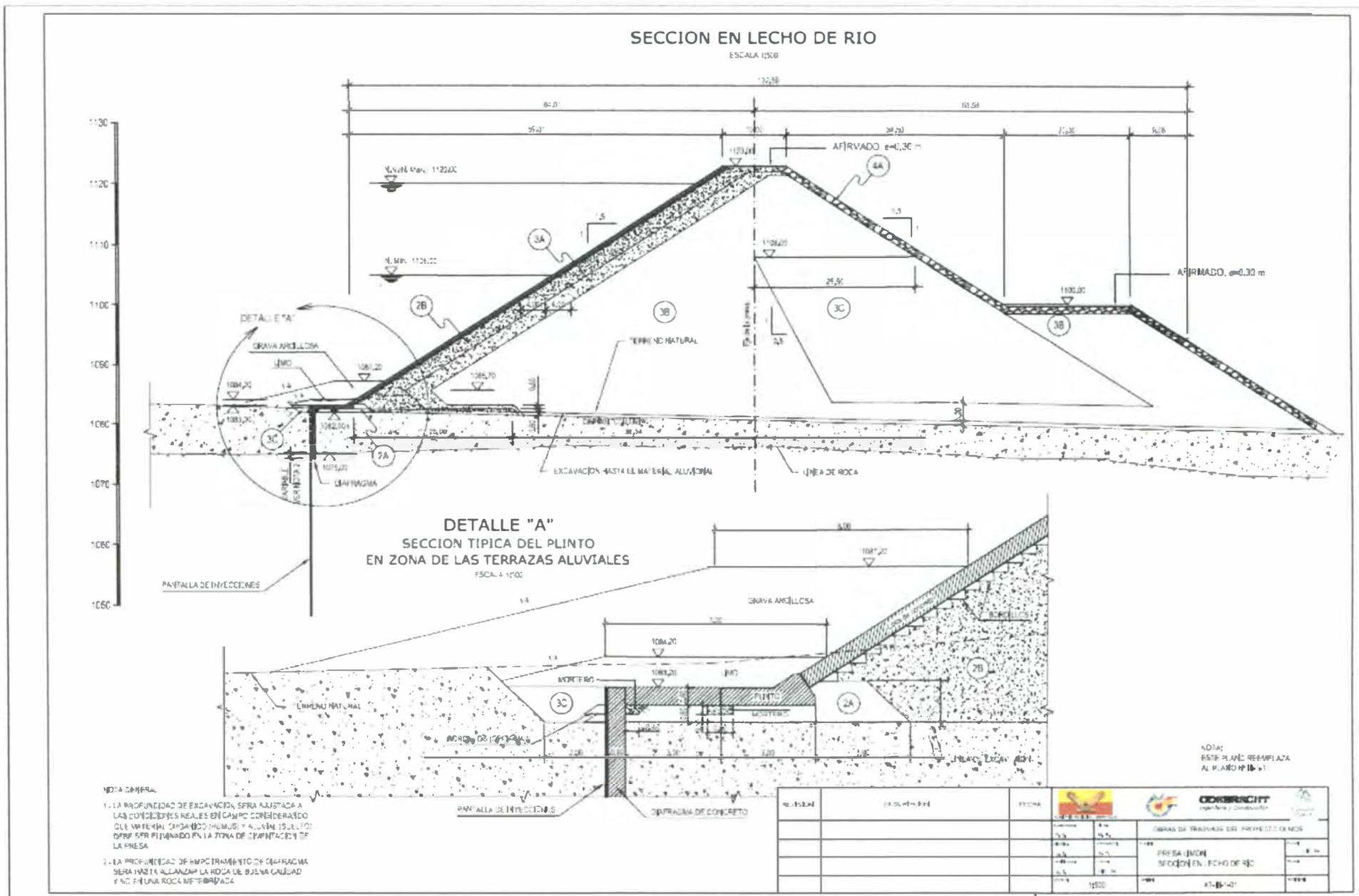


Figura N°6. Esquema general de la presa de enrocado y detalle de la zona de apoyo entre la losa y el relleno de presa utilizado en el proyecto Olmos. (Odebrecht Ingeniería y construcción “Expediente Técnico del Proyecto Traslase Olmos - Volumen III”, 2004).

CAPITULO III.- ENCOFRADOS DESLIZANTES

3.1 DEFINICIÓN GENERAL DEL SISTEMA DESLIZANTE

El encofrado deslizante es un trabajo en cadena que generalmente, solo se puede aplicar a figuras prismáticas en las que las paredes son uniformes y de espesor constante, encofrando un tramo de altura determinada (generalmente un metro) y accionando o moviendo este encofrado a través de gatos hidráulicos o un sistema de poleas según sea el caso.

Este sistema no solo permite economizar el costo del encofrado, sino también el proceso de colocación de concreto y es muy ventajosa para estructuras que tienen la función de impermeabilizar puesto que con este sistema se logra obtener el menor número de juntas de construcción (Llave, 1992).

3.2 ANTECEDENTES DE LA APLICACIÓN DEL SISTEMA DESLIZANTE

La técnica se utilizaba a principios del siglo XX para la construcción de silos y elevadores de granos. El encofrado deslizante vertical se basa en las propiedades de rápido fraguado del concreto que requiere un equilibrio entre el aumento de la resistencia inicial y la viabilidad (Arqhys, 2009)

3.3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ENCOFRADO DESLIZANTE

Se conoce con el nombre de encofrado deslizante a una técnica de construcción de obras de concreto armado o pretensado sin juntas frías, donde los procesos de armado, encofrado, vaciado de concreto y desencofrado son realizados de forma simultánea y continua y no de forma secuencial como se desarrolla en las técnicas habituales de construcción (Edytesa, 2003)

Consisten en la utilización de solo un módulo de encofrado que se desplaza de forma continua mediante diferentes mecanismos de izaje, tales como los gatos hidráulicos o neumáticos, winches eléctricos, etc. (Besomi, 2009)

Estos mecanismos producen unas elevaciones pequeñas y dan un movimiento constante al encofrado. La velocidad de elevación se modera según el tiempo de curado necesario para que la parte inferior pueda ir aguantando el encofrado y de tal manera que el concreto no se quede completamente seco y evite el deslizamiento del encofrado. (DOKA, 2005)

Este es un sistema que se utiliza principalmente para construcciones de estructuras verticales u horizontales de sección constante o sensiblemente

similares, tales como silos, columnas, reservorios, pozos verticales en túneles, Chimeneas, aunque en la actualidad está siendo muy utilizada para el revestimiento de presas de enrocado.

Generalmente son de doble cara, de pequeña altura (1.00 m x 1.20 m) con la misma forma geométrica que la estructura a construir. La implementación de este sistema demanda espacio para la instalación de andamios, equipamiento, etc.

3.4 IMPLEMENTACIÓN O MONTAJE DEL SISTEMA DE ENCOFRADO DESLIZANTE

Este encofrado de fabricación exacta y rígida, se monta sobre el terreno, soportado por unos caballetes metálicos desmontables por piezas y de poco peso, cuya altura libre será la máxima posible para facilitar la colocación de la armadura horizontal; sobre estos caballetes se colocan unos aparatos de elevación, generalmente hidráulicos, que trepan a través de tubos o barras metálicas de diferentes diámetros, según la capacidad de los elementos de elevación, que transmiten la carga a la cimentación. (Edytesa, 2003)

3.5 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE ENCOFRADO DESLIZANTE

Una vez que el sistema está instalado se procede a colocar el concreto de manera progresiva y a medida que este endurece, se levanta el encofrado a intervalos de tiempos pequeños (4 / 8 min.), con carreras cortas de elevación, del orden de 2 a 3 cm. (Pinao, 2001)

Los gatos hidráulicos están diseñados para trepar por medio de impulsos y están dotados de dispositivos especiales para controlar el nivel, garantizando la suavidad y el levantamiento uniforme del encofrado deslizante.

Todos los gatos hidráulicos están conectados a un grupo motobomba que trabaja automáticamente por medio de impulsos desde un instrumento de control que puede ajustarse a cualquier velocidad de deslizamiento deseada. (PERI, 2007).

La colocación del concreto, acero de refuerzo, montaje de puertas, ventanas, placas etc., se hace progresivamente a medida que se eleva el encofrado desde una plataforma de trabajo que se encuentra al nivel del borde superior en ambas caras del encofrado.

De estas plataformas cuelgan otras que se emplean para el control y repaso de la superficie. Todo el peso de las plataformas y del encofrado deslizante, carga a través de los gatos en las barras de trepa; éstos permanecen en el concreto hasta que finaliza el deslizamiento, pudiendo después ser retirados al disponer de una camisa exterior que se eleva junto con el encofrado y que deja por debajo de éste el hueco fraguado donde se alojan en toda la altura las mencionadas barras de trepa (Edytesa, 2003).

La operación una vez iniciada es continua, teniendo previsto dos o tres turnos de trabajo. Las interrupciones en el deslizamiento del encofrado son posibles adoptando las medidas apropiadas.

La velocidad de deslizamiento estará totalmente determinada por dos condiciones:

a) Fraguado del concreto en el que intervienen el tipo de cemento utilizado, la temperatura de su puesta en obra y la temperatura y humedad del medio ambiente.

b) Medios empleados:

- Central de concreto y taller para la preparación del sistema.
- Grúas, bombas de concreto, vibradoras, canaletas, etc. para puesta en obra del concreto y acero de refuerzo.
- Personal para la distribución y el vibrado del concreto, montaje de armaduras, colocación de huecos, placas y demás elementos incorporados al concreto.
- Medios auxiliares para el curado y la terminación del concreto.
- Accesos a las plataformas de trabajo.

3.6 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL SISTEMA DESLIZANTE

En este punto se tratarán las principales ventajas y desventajas que presenta el sistema de encofrados deslizantes para el revestimiento de presas; alineados con el objetivo principal del presente informe, es recomendable que estos aspectos sean muy tomados en cuenta a la hora de evaluar el beneficio/costo de la aplicación de este sistema constructivo en la construcción de presas, considerando además que la construcción de estas estructuras llevan consigo una complejidad inherente y un costo elevado de por sí.

Ventajas del sistema deslizante

- Juntas de construcción:

Las juntas de construcción, a diferencia de los sistemas trepantes y auto trepantes de encofrados, representan una ventaja para los encofrados deslizantes. Esto es porque al ser un proceso continuo, no se producen juntas frías, por lo que la resistencia final de la estructura será mayor.

Además no se debería recurrir a morteros o epoxicos para su tratamiento, la idea es evitar que ello ocurra con un buen plan de contingencia del trabajo a realizar, la única forma de tener juntas frías usando este sistema es por un problema de detención del sistema deslizante, lo que no ocurre en la mayoría de los casos.

- Menores recursos utilizados:

Dada que la metodología de construcción con sistemas deslizantes es repetitiva, y que básicamente es un sistema mecanizado, esto genera altos índices de productividad por la rapidez con la se ejecuta la construcción y como consecuencia se logran economías en recursos como mano de obra y materiales.

- Buen acabado de la losa:

La velocidad con la que se desplaza el sistema deslizante y las amplias plataformas con las que cuenta permite que la terminación o acabado del elemento sea realizado de forma adecuada y que como resultado se obtengan las superficies requeridas para el fin de la losa.

- Reutilizaciones del equipo:

Los materiales y elementos utilizados como la estructura metálica, los winches los encofrados laterales y demás elementos con una adecuada limpieza y mantenimiento permiten que estos sean reutilizados en otra obra.

Desventajas del sistema deslizante:

- Mano de obra especializada:

Como este sistema no es una técnica muy utilizada en el país, y el revestimiento de presas no es un trabajo que se realiza frecuentemente es necesario tener en

obra técnicos expertos que puedan solucionar y prever todo tipo de problemas que puedan ocurrir, en el caso particular del proyecto Olmos, este sistema fue implementado por personas que han participado en varios de estos proyectos de este tipo en diferentes países.

- Armado y montaje precisos:

Los problemas de desplomes de la estructura están directamente relacionados con el correcto armado y montaje de las piezas de sistema. Si el sistema deslizante no está debidamente montado se producirán problemas de desplome desde el inicio de la elevación de la estructura.

- Inversión de tiempo considerable en la revisión antes y durante de la elevación del sistema:

Antes de partir con el izado de la estructura deslizante, se debe revisar y probar cada componente para evitar parar la obra en reiteradas ocasiones. Además, se necesita tener un duplicado en obra de cada componente del sistema, porque los repuestos de estas no se encuentran con facilidad en el mercado.

La diferencia con el sistema autotrepante o con el sistema tradicional es que generalmente la revisión del encofrado del sistema tradicional se realiza hasta antes del colocado de concreto y durante el vaciado se realiza una inspección; en cambio con el sistema deslizante por ser un método dinámico la revisión también lo es, por ello que la supervisión del sistema requiere de una mayor inversión en recursos y tiempo para inspección constante.

- Limitación dependiendo de la forma geométrica de la estructura:

Este sistema es utilizado generalmente para estructuras que tengan un forma lineal, porque está fundamentada en el desplazamiento de un sistema, si la estructura presenta forma curva o recortes no es posible usar este sistema. Hasta hace unos años el espesor de los muros también era una limitante, no se recomendaba aplicar el sistema en muros de más de 15cm de espesor, hoy ello ha sido superado básicamente mejorando el diseño de la estabilidad del sistema.

3.7 ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE SISTEMA DE ENCOFRADO CONVENCIONAL Y DESLIZANTE

El análisis realizado comprende dos aspectos relevantes a la hora de tomar la decisión de elegir el sistema de encofrado a utilizar, el costo y el plazo de ejecución.

A continuación se presenta los cuadros comparativos en costo y plazo de ambos sistemas de encofrado.

3.7.1 Evaluación económica

La evaluación económica fue realizada en función al análisis de costos unitarios por m² para cada tipo de encofrado.

Costo por m² del sistema deslizante:

Cuadro N°1. Análisis de costo unitario de revestimiento con sistema deslizante (Elaboración propia)

Recurso		Cuadrilla	Cantidad	P.U. (US\$)	Parcial
Mano de Obra					4.628
Capataz	hh	1.000	0.044	6.719	0.299
Operario	hh	8.000	0.356	5.600	1.991
Oficial	hh			4.867	0.000
Peón	hh	12.000	0.533	4.385	2.339
Materiales					58.603
Concreto premezclado	m ³		0.515	112.222	57.738
Encofrado lateral	m ²		0.067	12.963	0.864
Equipos y herramientas					7.222
Sistema deslizante	kg		0.295	3.519	1.037
Bomba impulsora de concreto	m ³		0.490	11.111	5.444
Winches	día	2.000	0.007	100.000	0.741

US\$/m² de revestimiento de Presa de enrocado

70.453

Costo por m² de encofrado con sistema convencional:

Cuadro N°2. Análisis de costo unitario de revestimiento con encofrado convencional (Elaboración propia).

Recurso		Cuadrilla	Cantidad	P.U. (US\$)	Parcial
Sub Partida de Encofrado					14.217
Mano de Obra					11.207
Cuadrilla encofrado	hh		1.800	6.226	11.207
Materiales					1.268
Desmoldante para metal	kg		0.08	1.48	0.118
calugas separadoras	nr		4.00	0.10	0.397
pino dimensionado	pg		0.15	4.32	0.648
clavos	kg		0.10	1.05	0.105
Equipos y herramientas					1.743
Encofrado	m2		1.067	1.633	1.743
Sub Partida de Concreto (*)					139.358
Mano de Obra					10.080
Cuadrilla de concreto	hh		1.6	6.3	10.080
Materiales					117.833
Concreto premezclado	m3		1.050	112.222	117.833
Equipos y herramientas					11.444
Bomba impulsora de concreto	m3		1.030	11.111	11.444

US\$/m2 de revestimiento de Presa de enrocado

82.50

(*) En un metro cuadrado de losa hay 0.49 m3 de concreto.

El sistema convencional tiene un mayor costo de 12.05 Dólares por metro cuadrado, los cuales están distribuidos de la siguiente forma:

Diferencia costo de Mano de Obra: 11.52 US\$/m2

Diferencia costo de materiales: 0.40 US\$/m2

Diferencia costo de equipos y herramientas: 0.13 US\$/m2

La mayor diferencia en costo radica básicamente porque con el sistema deslizante se prescinde de la cuadrilla de encofrado.

Así mismo el sistema convencional genera aproximadamente un 40% más de juntas de construcción, puesto que para ejecutar bajo este sistema se recomienda como máximo una altura de 15m.

3.7.2 Evaluación del plazo de ejecución

La evaluación del plazo de ejecución entre uno y otro sistema se hizo evaluando las actividades requeridas para ejecutar un paño completo de losa desde el fondo de presa hasta la corona, es por ello que para el caso del sistema convencional se considera la construcción en tres tramos o etapas.

Para el caso de la aplicación del sistema deslizante un paño se ejecutaría en 9 días de acuerdo al siguiente tren de actividades.

Cuadro N°3. Tren de actividades de ejecución de paño de losa con sistema deslizante (Elaboración propia).

Descripción de la actividad	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Trazo y replanteo de juntas	x								
Colocación de mortero en zona de juntas		x							
Colocación del acero de refuerzo			x	x					
Colocación del sello de cobre y encofrado lateral					x	x			
Instalación del sistema deslizante y vaciado de concreto							x	x	
Desencofrado lateral de la losa									x

Para el caso de la aplicación del sistema convencional, estaría se realiza en 3 tramos o etapas de acuerdo a lo mencionado tal como se muestra a continuación:

Cuadro N°4. Tren de actividades de ejecución un paño de losa con encofrado convencional (Elaboración propia).

Descripción de la actividad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Trazo y replanteo de juntas	x														
Colocación de mortero en zona de juntas		x													

CAPITULO IV.- APLICACION DEL SISTEMA DESLIZANTE EN EL PROYECTO TRASVASE OLMOS

4.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Para el presente informe tomaremos como referencia el proyecto Trasvase Olmos, en el cual se construyó una presa de enrocado de una altura de 43 metros y revestida con cara de concreto, el revestimiento estuvo conformado por 22 paños o losas de aproximadamente 72 metros de longitud inclinada, cada losa tenía en la cota superior un espesor de 42 cm y en la parte inferior un espesor variable llegando hasta 55 cm en la cota correspondiente al lecho del río.

El sistema utilizado para la ejecución de este revestimiento fue el de encofrado deslizante, el cual permitió que se ejecutara cada paño de manera continua e ininterrumpida, para la ejecución de este revestimiento se fabricó dentro del proyecto una regla metálica el cual formaba parte del sistema deslizante.

Los paños que se encontraban ubicados en la ladera derecha del Plinto fueron ejecutados usando encofrado convencional ya que por su forma irregular no permitía el deslizado de la regla.

4.2 UBICACIÓN DEL PROYECTO

El Proyecto Trasvase Olmos se encuentra ubicada sobre el lecho del río Huancabamba a la altura del lugar denominado "Limón", en el distrito de San Felipe, provincia de Jaen, en el Departamento de Cajamarca.

4.3 DESCRIPCIÓN DE LA PRESA DE ENROCADO DEL PROYECTO OLMOS

El cuerpo de presa ha sido conformado colocando relleno de materiales aluviales naturales con grano máximo hasta 400 mm. Aguas arriba del eje de la presa se colocó relleno de materiales aluviales 3B roca proveniente de las excavaciones, los mismos que contienen hasta 5%, como máximo, de partículas finas arcilloso-limosas (menores de 0.074 mm), considerando que esta zona deberá ser permeable.

Con el fin de lograr una construcción lo más eficaz de la presa, aguas abajo de su eje, hasta la cota 1,108 m.s.n.m., fue prevista la zona 3C en la cual se colocaron los materiales aluviales y materiales rocosos provenientes de excavación del aliviadero y la bocatoma, que contienen hasta 12% de fracciones

menores de 0.074 mm. En la base del material 3C se ha previsto la capa de 3 m de espesor conformada por materiales permeables 3B, a fin de permitir el drenaje de agua del cuerpo de la presa hacia el pie de aguas abajo.

En el talud de aguas abajo de la presa está prevista la zona 4A para proteger el talud contra la erosión, de 2 m de ancho, en la cual se colocó el material de grava de grano grueso y roca del tamaño de 76.2 hasta 500 mm.

En la parte posterior de la losa de concreto se utilizaron los bordillos de 0.30 m de alto, con el propósito de una construcción más eficaz de la presa.

Los bordillos, como se menciona en el capítulo II de este informe representan el límite de aguas arriba para el relleno de las zonas de transición 2B y 3A, del ancho de 4.0 m cada una, en las cuales se colocó material aluvial, siendo el grano máximo en la zona 2B limitado a 3" (76 mm), y en la zona 3A en 8" (203 mm). (Odebrecht – Expediente Técnico Proyecto Tránsito Olmos, 2004)

En la corona de la presa se colocó material afirmado en un espesor de 30 cm.

4.4 PLANEAMIENTO DEL PROYECTO

4.4.1 Rendimientos Considerados

Un tema fundamental al momento de analizar en forma global la ejecución de una obra específica es el de tener conceptos claros sobre la metodología de trabajo y que cada parte integrante del equipo conozca al detalle sus responsabilidades y su función en el trabajo.

Para el caso de la ejecución de una losa de revestimiento de una presa de enrocado, el cual es un trabajo poco común con muchas dificultades y donde no existe mucha información histórica de productividades o rendimientos, la productividad está definida por la velocidad con que se suministre el concreto.

Esta a su vez está totalmente relacionada al calidad del producto final, también está definida por la buena operatividad del sistema deslizante y sobre todo por la experiencia y calidad del personal en trabajos de concreto.

A continuación mostramos las productividades y rendimientos finalmente obtenidos en este tipo de trabajo.

Mano de Obra

Cuadro N°5. Rendimientos de la Mano de Obra en las principales especialidades obtenidas en la construcción de la cara de concreto de la presa Limón en el proyecto Olmos (Elaboración propia).

PARTIDA	PROD.(HH/UND)
CONCRETO (M3)	1.04
ENCOFRADO LATERAL (M2-ENC)	1.56
ENCOFRADO DESLIZANTE (M2-SUP)	0.09
ACERO (TON)	32.27

En este cuadro podemos ver el índice de Mano de Obra, del cuadro podemos conocer los rendimientos de cada partida o actividad:

- . Concreto : El rendimiento en este caso es de 0.96 m3/hh
- . Encofrado : El rendimiento en este caso es de 0.64 m2/hh
- . Encofrado deslizante : El rendimiento en este caso es de 10.94 m2/hh
- . Acero : El rendimiento en este caso es de 0.03 Ton/hh

En conclusión podemos obtener como dato final que para ejecutar un metro cubico de losa de revestimiento de presa en las condiciones de este proyecto se necesito 3.76 horas hombre.

Equipos

Cuadro N°6. Rendimientos de los equipos utilizados en las principales especialidades obtenidas en la construcción de la cara de concreto de la presa Limón en el proyecto Olmos (Elaboración propia).

PARTIDA	PROD.(HM/UND)
CONCRETO (Camión Mezclador) (M3)	0.08
ENCOFRADO (sistema deslizante)(M)	0.67

ACERO (Cam. Grúa) (TON)	0.0662
-------------------------	--------

Se muestra el índice de productividad de los equipos líderes en cada una de las partidas que conforman el trabajo, se puede conocer a partir de estos datos los rendimientos de los principales equipos:

- . Camión Mezclador : El rendimiento en este caso es de 11.8 m³/hm
- . Camión Grúa : El rendimiento en este caso es de 15.10 Ton/hm
- . Sistema deslizante : El rendimiento del sistema deslizante en este caso fue de 1.5 m de losa inclinada por hora

A partir de estos rendimientos y conociendo el volumen por cada uno de los paños que es de 510.00 m³ y con el rendimiento obtenido en este caso por el camión mezclador podemos afirmar que se necesita de 2 días con doble turno de 12 horas cada uno trabajados de manera ininterrumpida para completar un paño de la losa.

El método utilizado para el encofrado de la losa fue determinante ya que permitió un ahorro considerable de tiempo en mano de obra y en material ya que se redujo considerablemente el área a ser encofrada con el método tradicional o convencional.

4.4.2 Diseño de la cadena de construcción

Para este caso el objeto de construcción es un conjunto de 22 unidades de losa de concreto armado, es decir que el objeto de construcción es lineal ya que el frente de trabajo es abierto. La cadena de construcción que mejor se adecua en este caso es la rítmica con nivelación de los ritmos más lentos al más acelerado, la cadena de construcción consta de una cadena especializada: Losa de concreto armado.

Los procesos componentes de la cadena especializada son los siguientes:

1. Trazado de juntas y replanteo
2. Colocación de mortero sobre juntas
3. Colocación de acero de refuerzo
4. Colocación de sello de cobre y encofrado lateral de la losa
5. Colocación del sistema deslizante y vaciado de concreto
6. Desencofrado lateral de la losa

Ahora definamos la normal tecnológica, el parámetro tecnológico y el parámetro de tiempo.

Para ello utilizaremos las siguientes formulas:

$$\zeta = (N-1 + \text{suma}(C-1)) \times K + \text{suma}(Tt)$$

$$T_{cp} = (N + \text{suma}(C-1)) \times K + \text{suma}(Tt)$$

$$T_{spt} = M \times K$$

$$T = \zeta + T_{spt}$$

Ecuación 1. Calculo de la duración del ciclo Tecnológico de la cadena de construcción.

Donde:

ζ Duración del ciclo tecnológico

N Número de procesos

C Factor de multiplicidad

K Modulo de ciclicidad

M Número de unidades de producción

Tt Tiempo tecnológico

Tcp Tiempo de ciclo de producción

Para nuestro caso los valores son los siguientes:

Cuadro N°7. Cadena de objeto para la construcción del revestimiento de la cara de concreto de la presa limón con sistema deslizante (Elaboración propia).

M	N	K	suma (C-1)	Tt	ζ	Tcp
22	6	1	7	0	8	9

4.4.3 Normal Tecnológica de construcción del revestimiento de la Presa de enrocado del Proyecto Olmos.

CICLOGRAMA DE LA CADENA DE OBJETO (CO) DE CONSTRUCCION DE 22 LOSAS DE CONCRETO PARA REVESTIMIENTO DE LA PRESA DEL PROYECTO TRASVASE OLMOS

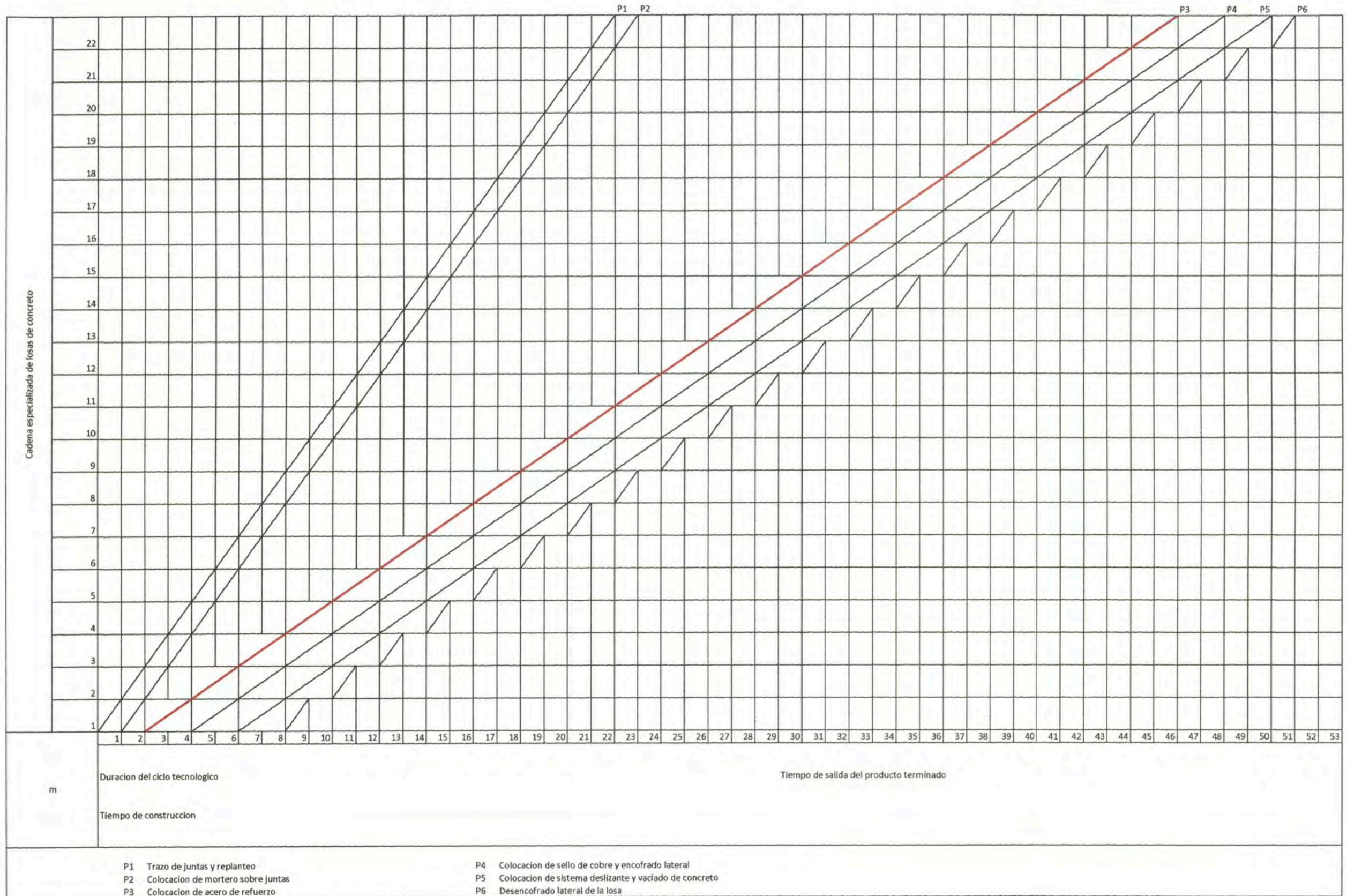


Figura N°7. Ciclograma de construcción para cada losa del revestimiento de la cara de concreto de la presa limón

CAPITULO V PROCESO CONSTRUCTIVO

5.1 METODOLOGÍA CONSTRUCTIVA

La construcción del revestimiento de la presa como se menciona anteriormente se hizo a través de la construcción de 22 losas de concreto, antes de la colocación de concreto en cada losa se realizaban trabajos previos los cuales mencionamos a continuación:

5.1.1 Preparación de la zona de contacto

La zona que estará en contacto con la losa de concreto recibe el nombre de Bordillo el cual es ejecutado conforme se va ejecutando la elevación del cuerpo de la presa, este está conformado por un concreto pobre, para la construcción del bordillo se utiliza una maquina llamada estrusadora.

Como se menciona el capítulo II del presente informe este tiene como finalidad servir principalmente de apoyo uniforme a la losa así como ser la zona de transición entre el cuerpo de la presa y la losa.

Debido a que la elevación de la presa se realiza mucho antes que el concreto de la losa la zona de contacto entre ambas formada por el Bordillo sufre la acción del medio ambiente y se va degradando hasta el concreto del bordillo, esto también permitido gracias a que el concreto utilizado en los bordillos es un concreto pobre.

Para mantener una buena zona de apoyo se realiza la marcación de puntos topográficos sobre la superficie de los bordillos para verificar que esta tenga el talud correspondiente, este trabajo también sirve para evitar la sobre utilización de concreto del revestimiento de la presa.



Figura N°8. Trazo previo a la colocación de concreto para bordillo (Proyecto Trasvase Olmos)



Figura N°9. Ejecución del bordillo con la maquina estrusadora (Proyecto Trasvase Olmos)

5.1.2 Montaje del sistema de juntas

La impermeabilidad de la losa, se lograra mediante la utilización de un sello de cobre el cual deberá ser instalado a lo largo del contacto entre el plinto y la losa de concreto, en las juntas verticales entre los paños.

Esta etapa del proceso constructivo es realizada inmediatamente después de la preparación de la zona de contacto (bordillos), luego se realiza la marcación de los puntos topográficos correspondientes a la posición de las juntas que son colocadas cada 15 mts.

Estos sellos de cobre permiten el libre movimiento de las partes en contacto, en la zona de contacto entre el plinto y la losa, el sello de cobre debe ser instalado durante el vaciado del plinto.

Para el vaciado de la losa se deberán tomar en cuenta los siguientes cuidados relacionados al sello de cobre:

- Colocación de madera en el plinto;
- Limpieza del sello y remoción de cualquiera material grasoso;
- Inspección visual;
- Corrección del ángulo de dobladura;
- Presencia de todos los elementos constituyentes (bulbo de neopreno y relleno de poliuretano).

En las juntas verticales, se aplica el sello de cobre arriba de una capa de mortero y entre el mortero y el sello se coloca una banda de polivinilo.

Entre los paños de arranque ubicado en las laderas están previstas juntas de construcción horizontales convencionales, sin sellos y con el refuerzo pasante, que deberán ser limpias y tratadas antes del vaciado de los paños adyacentes.

A continuación mostramos un esquema de la distribución de juntas en la losa de revestimiento de la presa limón en el proyecto Traslase Olmos.

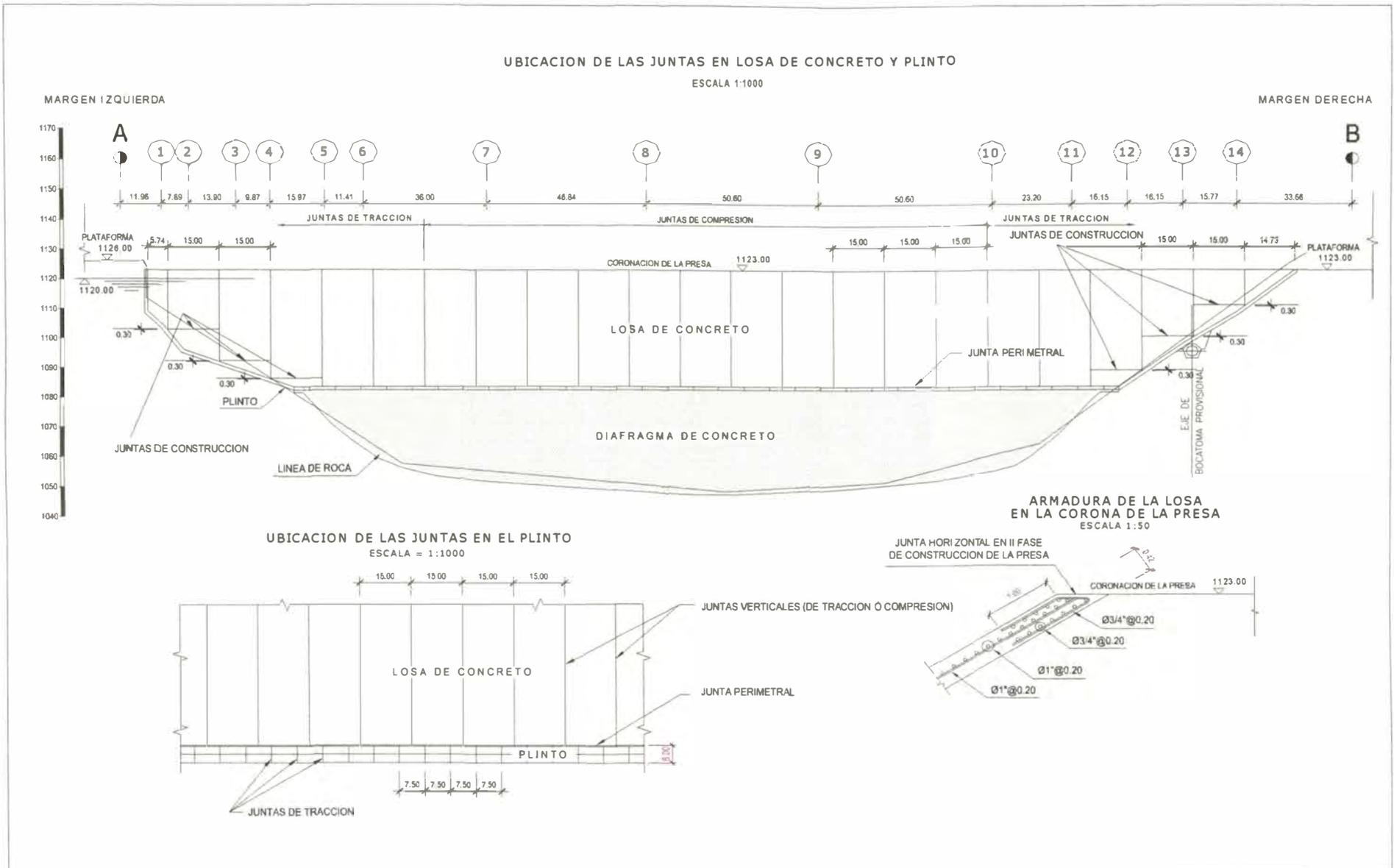


Figura N°10. Esquema general del sistema de juntas utilizado en el revestimiento de la presa limón en el proyecto Traslase Olmos

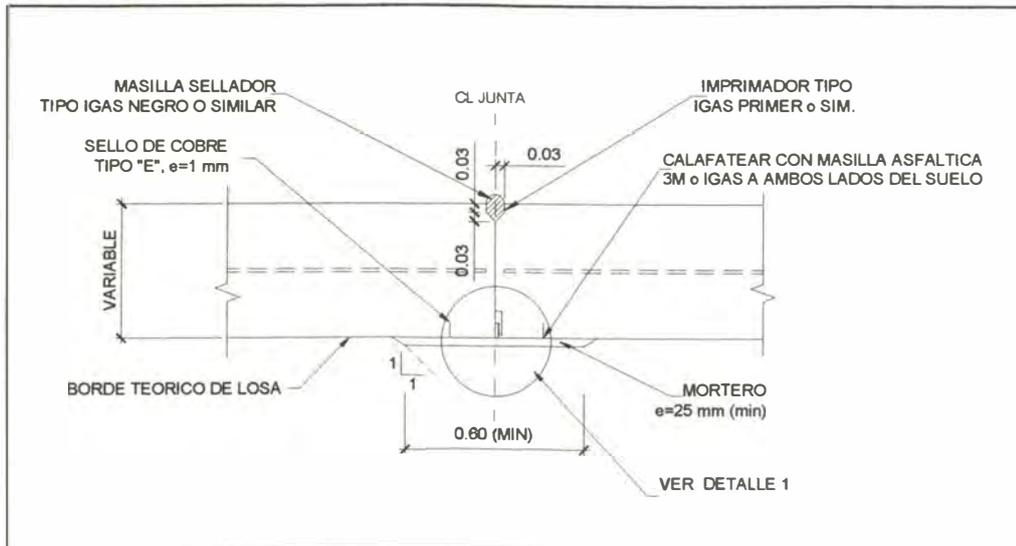


Figura N°11. Esquema de la junta vertical entre paños de losa
DETALLE 1

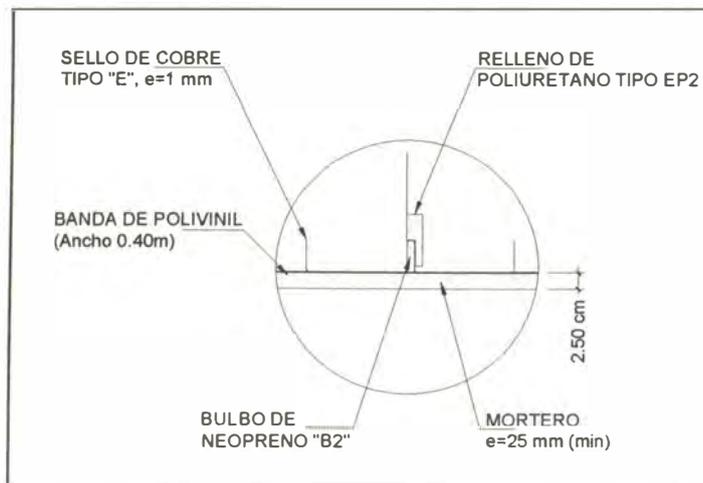


Figura N°12. Detalle de la zona inferior de las juntas verticales

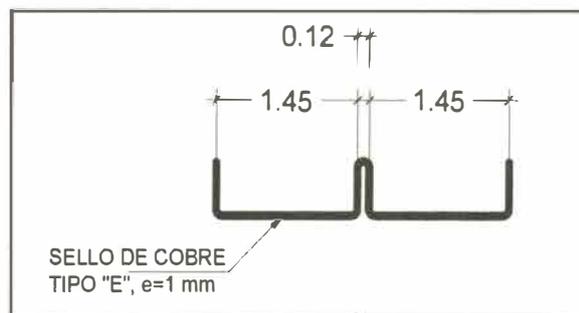


Figura N°13. Detalle del sello de cobre utilizado en las juntas verticales

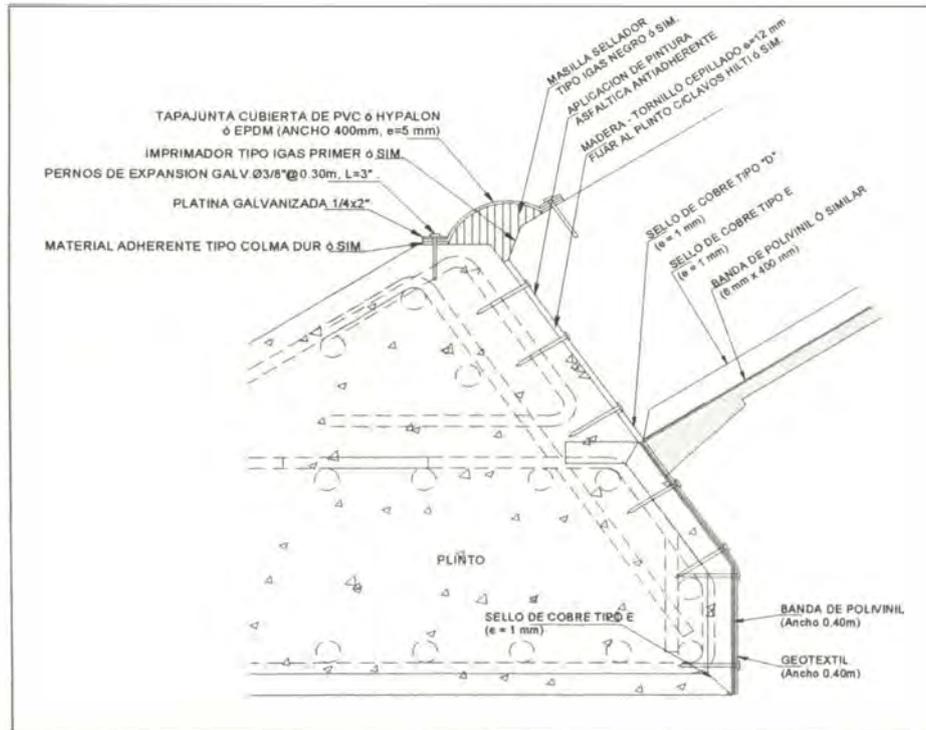


Figura N°14. Detalle de la junta perimetral entre la losa de concreto y el plinto de la presa.

5.1.3 Habilitación y colocación del acero de refuerzo

La losa de concreto posee una armadura de acero estructural ($f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$) distribuida en una malla de 1" con espaciamiento de $0.20 \text{ m} \times 0.20 \text{ m}$ ubicada en la parte central de la sección.

El objeto de esta armadura es reducir la fisuración a micro fisuras a fin de minimizar las filtraciones, la armadura no absorberá esfuerzos de gran magnitud ya que el objeto de la misma es ayuda en dar una mayor seguridad en el aspecto de durabilidad a la losa más no de resistencia a la Compresión.

Cerca de las juntas de estanqueidad aumenta la cuantía de acero para prevenir que el concreto se escarifique antes del llenado del embalse.

Para la colocación de acero de refuerzo de la losa, fueron utilizados insertos metálicos fijos en el concreto de los bordillos cuya función es la de servir de apoyo para la armadura transversal.

Sobre esta armadura transversal se apoyará la armadura longitudinal y, sobre esta última, las otras transversales. La colocación de la armadura se realizó de manera completamente manual, el personal encargado de la colocación de la

armadura utilizo escaleras de madera hechas en obra y colocadas de acuerdo al avance de los trabajos.



Figura N°15. Armado y colocación del acero de refuerzo de la losa de revestimiento de la presa del proyecto trasvase olmos (Proyecto Trasvase Olmos).

5.1.4 Montaje del sistema deslizante

El revestimiento de la cara de concreto de la presa del proyecto trasvase Olmos requirió un sistema de encofrado deslizante distinto al común pero específico cuando se trata de ejecutar este tipo de trabajos, ya que estas se realizan sobre superficies inclinadas.

Para la ejecución de la losa de revestimiento de Concreto de la Presa del proyecto trasvase Olmos fue utilizado un encofrado deslizante del tipo regla, conformado por un sistema de vigas metálicas, la cual fue diseñada y construida para cumplir con las características particulares que tiene la losa de revestimiento, la cual es inclinada y a su vez contaba con espesor variable.

La regla, que tenía aproximadamente 7 toneladas de peso, se deslizó sobre rieles apoyados arriba de la estructura de soporte de los encofrados laterales verticales para las losas primarias o arriba del concreto de los paños adyacentes para las losas secundarias, llámense losas primarias a las losas ejecutadas en la primera fase y losas secundarias aquellas ejecutadas en la segunda fase.

La estructura metálica que soporto el encofrado deslizante fue desarrollado para permitir las actividades de nivelado, vibrado, acabado y fraguado del concreto teniendo dos plataformas horizontales para acopio del personal que desarrolla el vaciado de concreto.

El tipo de concreto y la velocidad de vaciado generó un empuje menor al peso del encofrado más el peso del personal que trabaja en la plataforma, de esta forma se evitó que al momento del vaciado del concreto, la regla se levante y más por el contrario se obtuvo un acabado y avance uniforme.

El conjunto de regla deslizante y rieles estaban traccionados e izados a través de winches, los cuales tenían una capacidad de 10 TN y se encontraron instalados en la corona de la presa.

A continuación se muestran dos esquemas que representan el sistema deslizante utilizado para el revestimiento de la presa del proyecto trasvase Olmos.

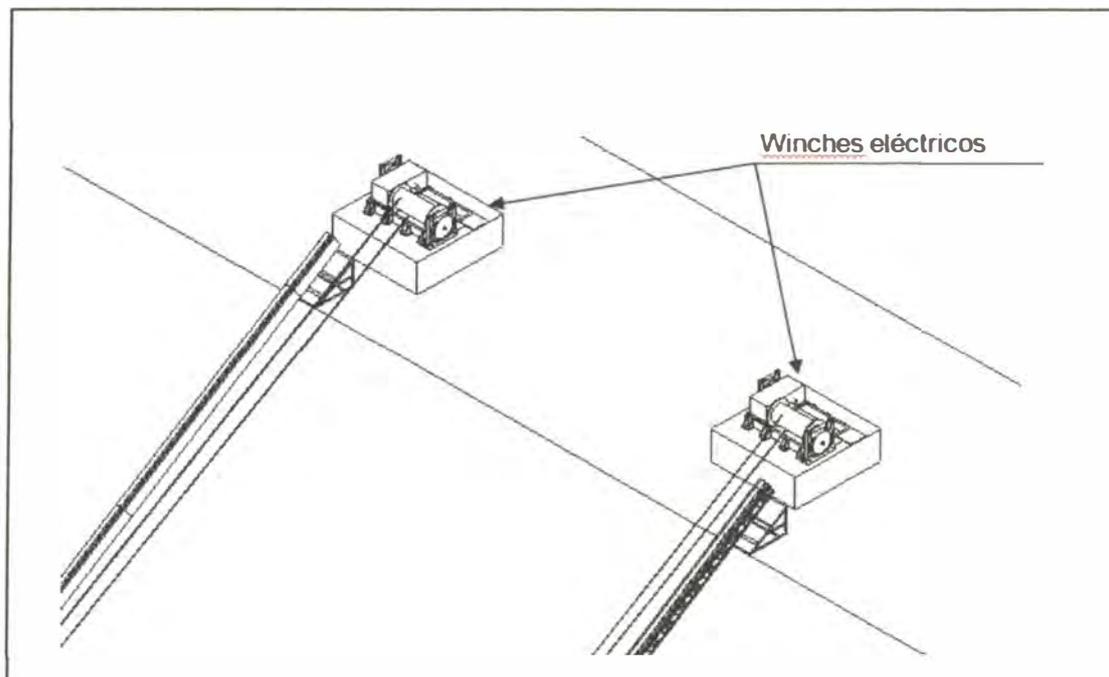


Figura N°16. Winches de 10 Tn de capacidad ubicados en la corona de la presa y mediante el cual se izo la regla metálica del sistema deslizante (Proyecto Trasvase Olmos).

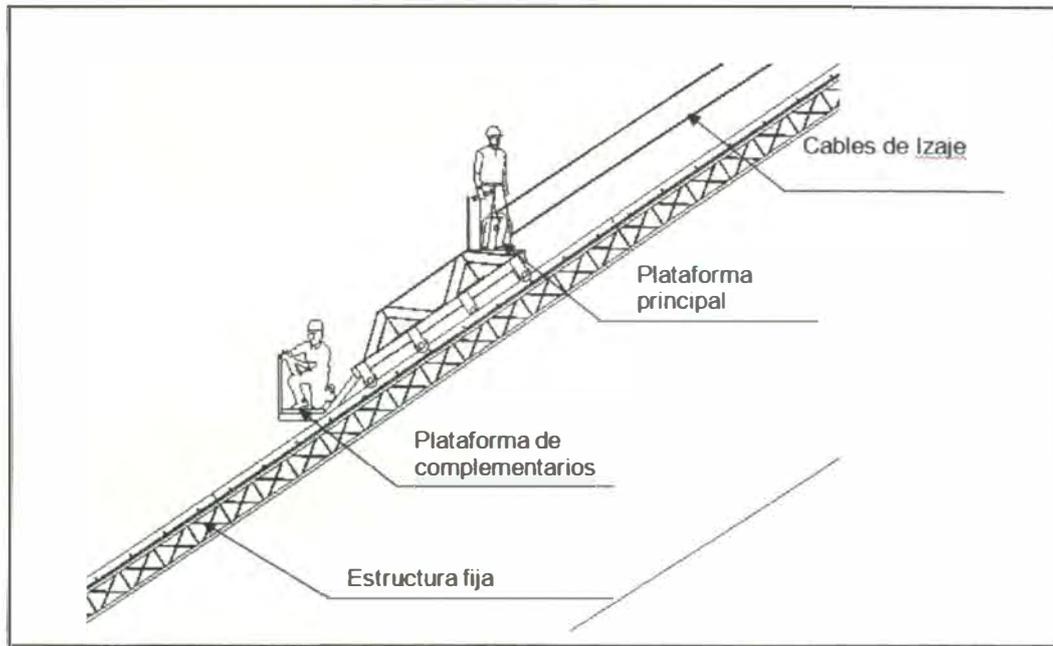


Figura N°17. Vista en perfil del sistema deslizante (Proyecto Trasvase Olmos).

Seguido se muestran imágenes de todas las etapas realizadas para el montaje del sistema deslizante hasta el vaciado de la losa de concreto.



Figura N°18. Instalación de juntas de cobre y neopreno que van entre losas y sobre la cual se montaran las vigas del sistema deslizante. (Proyecto Traslase Olmos)



Figura N°19. Colocación de encofrado lateral, sobre el cual se monta el riel a través del cual se desplaza la regla deslizante. (Proyecto Traslase Olmos)



Figura N°20. Montaje de regla deslizante con el cual se dará el acabado final de la losa (Proyecto Traslase Olmos).

5.1.5 Concreto en la losa

Esta es la última etapa dentro del proceso de ejecución del revestimiento de la cara de la presa, en esta etapa las características físicas del concreto, así como el procedimiento de colocación son de suma importancia, puesto que esto garantizara la impermeabilidad de la losa.

A continuación describiremos el diseño de mezcla considerado para que la losa cumpla su función, así mismo describiremos como se realizo la producción del concreto para la losa de la presa del proyecto Olmos y que consideraciones se tomaron a la hora de colocar el concreto.

El Diseño de Mezcla utilizado para la elaboración del concreto para la Losa de la presa fue preparado y analizado en el laboratorio de la obra; el diseño utilizado es el siguiente:

Cuadro N°9. Diseño de mezcla utilizado para el concreto del revestimiento de la presa limón (Proyecto Traslase Olmos).

DOSIFICACION EN M3		
Cemento	295.00	kg.
Agua	171.00	kg.
Agregado Fino	957.00	kg.
Agregado Grueso (1/2")	968.00	kg.
Sikament 290 N	3.75	Lts.

El diseño fue ajustado con la finalidad de atender las necesidades del proceso de vaciado del concreto, es decir que se obtenga la trabajabilidad adecuada para que no presente dificultades al sistema de encofrado deslizante.

Para tal fin se trabajo con una relación A/C=0.58 y con slump = 3" a 6".

Otra de las características principales del concreto es que debe alcanzar una resistencia no menor a la de 210 Kg/cm² a los 28 días, otro de los datos importantes es referente a la permeabilidad de la mezcla ya que este concreto es sumergido, la permeabilidad alcanzada con este diseño fue de 3.64x10⁻⁷ cm/seg.

A efectos de conseguir una mezcla con mayor trabajabilidad y una menor relación A/C se utilizo en el diseño el SIKAMENT 290N aditivo producido por

SIKA, este aditivo permitió tener un concreto más fluido sin presentar problemas de exudación y segregación, así como un acabado final de muy buena calidad.

Producción del concreto

Para la producción del concreto se utilizó una planta de concreto dosificadora de 30m³/hora de producción, constituida de dos silos de cemento de 45 m³ implementados con todo el sistema de fluidificación de cemento y filtros de mangas para evitar la contaminación ambiental, una balanza de cemento, 3 transportadores helicoidales, 1 bomba de agua con medidor de caudal, tolvas de agregados con banda transportadora para dosificar los agregados y cargar directamente al camión mezclador.

La capacidad de esta planta garantiza que el vaciado se realice de manera continua. Cabe mencionar además que los agregados para el concreto fueron obtenidos de una cantera ubicada en la zona de proyecto y procesada en la chancadora ubicada cerca a la planta de concreto.

El cemento fue suministrado por la empresa Pacasmayo y almacenado en tres silos de 90 toneladas cada uno.

El agua utilizada para el concreto fue obtenida del curso de agua del río Huancabamba y almacenada en un pozo tubular.

Colocación del concreto

El transporte de concreto se realizó a través de camiones mezcladores (mixer) con los que se contaba en la Obra.

Para el colocado de concreto en los diferentes paños se utilizó una bomba estacionaria alimentada por los Mixer ubicada a nivel del terreno.

El lanzamiento del concreto fue efectuado de manera homogénea y a razón de 11m³/hora en el frente de la regla deslizante.

El vibrado del concreto fue efectuado cuidadosamente para no dañar los sellos de cobre, garantizar la unión entre el concreto de los bordillos y el concreto del paño, para eliminar los vacíos del concreto y para no permitir que la regla deslizante se eleve.

El acabado del concreto se realizó por un equipo de albañiles ubicados en la plataforma de la regla deslizante con la utilización de planchas de pulir manuales de madera.

Para el curado del concreto se utilizo cura química anti-sol, esta se realizo con la mayor prontitud posible para evitar la evaporación del agua del concreto y de paso aprovechar la utilización de las plataformas de la regla deslizante.

A continuación mostramos imágenes del momento de la colocación del concreto, el cual fue bombeado desde el pie de la presa, las imágenes muestran las etapas de colocación, nivelación y compactación del concreto así como la realización del acabado superficial.



Figura N°21. Colocación de concreto a través de un sistema de bombeo (Proyecto Traslase Olmos).



Figura N°22. Acabado de la losa de concreto realizado de forma manual desde la plataforma del sistema deslizante (Proyecto Trasvase Olmos).



Figura N°23. Vista panorámica del vaciado de concreto (Proyecto Trasvase Olmos).

CAPITULO VI.- RESTRICCIONES Y PROBLEMAS QUE SE PUEDEN PRESENTAR DURANTE LA CONSTRUCCION DEL REVESTIMIENTO DE PRESAS DE ENROCADO

6.1 RESTRICCIONES QUE SE PUEDEN PRESENTAR PARA LA APLICACIÓN DEL SISTEMA

Los revestimientos de cara de presa cuanto más longitud inclinada tienen más complicaciones y restricciones pueden presentar, ya que la razón del sistema es generar la menor cantidad de juntas a la losa puesto que su función es básicamente la de impermeabilizar la presa.

Ello genera la necesidad de realizar vaciados continuos, y para realizar vaciados continuos los recursos utilizados deben de intervenir de manera continua, es decir el planeamiento de cómo se utilizaran los recursos y que planes de contingencia se manejen son de suma importancia para poder lograr obtener un producto con los óptimos estándares de calidad.

Este tipo de trabajo depende de tres aspectos fundamentales:

- 1.- La organización y planificación de las cuadrillas de mano de obra que trabajaran en turnos diferentes.
- 2.- La disponibilidad mecánica necesaria de los equipos que intervienen en el proceso constructivo, tales como planta de concreto, camiones mezcladores de concreto, la bomba de impulsión del concreto, los vibradores para la compactación del concreto, los winches mecánicos que permiten desplazar la regla niveladora del concreto.

Para que ello no represente una restricción es importante manejar un plan de contingencia, el cual está conformado primero por un equipo de profesionales con experiencia en este tipo de trabajos y preparados para resolver cualquier inconveniente, y que están pendiente de la realización de los mantenimientos preventivos de los equipos o sistemas que se utilizaran durante el proceso constructivo.

Segundo punto importante es manejar como parte de la contingencia la disponibilidad de equipos en stock disponibles para el reemplazo de cualquier equipo que pueda fallar e interrumpir el proceso constructivo.

- 3.- El factor climático es también un aspecto a considerar, la recomendación principal para mitigar este aspecto es realizar estos trabajos en los periodos que

no son de lluvia, para ello es importante que este aspecto forme parte del plan integral del proyecto total.

Pero ante la ocurrencia de lluvias es importante manejar los implementos necesarios para que esto no genere paralizaciones, generalmente los sistemas deslizantes están preparados para la colocación de cobertores en caso de lluvias.

6.2 PROBLEMAS QUE SE PUEDEN PRESENTAR DURANTE LA APLICACIÓN DEL SISTEMA

A continuación se describen los problemas más comunes para tener en cuenta si se quiere utilizar un sistema deslizante en la construcción de una estructura vertical.

- Desniveles durante el desplazamiento del sistema deslizante:

Los desniveles que se producen por el movimiento horizontal de la plataforma mientras se está deslizando. Estos movimientos pueden ser producidos por: viento, presiones del concreto fresco, diferencias de cargas a lo largo de la plataforma, entre otros.

Como estos factores siempre están presentes en la realización de estos trabajos, la forma de mitigar estos factores es a través del control de velocidad de la colocación del concreto, así como constante control topográfico del elemento a ejecutar a través de los puntos de control topográfico previamente colocados.

- Endurecimiento del concreto:

La velocidad de deslizado en gran medida va a depender directamente de la velocidad de fraguado que tenga el concreto y esta, a su vez, de la temperatura de trabajo. En consecuencia, a menor temperatura, más lento es el endurecimiento y menor la velocidad de deslizado que se puede alcanzar.

Es por ello que durante el día se alcanzan mayores velocidades que durante la noche. Para el caso específico del proyecto Olmos la temperatura más baja de la zona no significó un problema porque en general la zona presenta un clima cálido por ello se obtuvo velocidades hasta de 1.5 m/hora.

- Trabajabilidad del concreto:

La baja trabajabilidad del concreto puede generar que se produzcan arrastres de las piedras del concreto durante el deslizado y como consecuencia se produzcan cangrejas, para ello es importante el monitoreo del control de la trabajabilidad del concreto y la utilización de plastificantes que te permitan tener la mejor trabajabilidad sin alterar la relación a/c de la mezcla.

- Pobre recubrimiento de armaduras:

Esto más que un problema presentado, es un problema que puede ocurrir y que hay que tomar en cuenta, y se produce por una inadecuada colocación del fierro o por la falta de separadores para la armadura.

Cuando ocurre esto, la armadura se pega a la superficie del molde o regla deslizante y pierde su recubrimiento mínimo, en estos casos solo queda reparar el recubrimiento con mortero, asegurando así el mínimo recubrimiento de la armadura.

Para evitar ese problema se debe controlar la colocación de los separadores. Se pueden aumentar sus dimensiones o colocar de manera más tupida o junta.

- Detención del sistema deslizante:

El sistema de encofrados deslizantes tiene la característica de ser continuo. Si se detiene la elevación del sistema, el concreto se endurece y la estructura del sistema puede quedar adherida al concreto. Antes de continuar con la elevación o desplazamiento del sistema, hay que preocuparse por liberar al sistema deslizante del concreto.

La causa principal de una detención prolongada es por desperfectos mecánicos o eléctricos del sistema, es por ello que se debe contar con repuestos para reemplazar los dispositivos dañados; ello tiene que formar parte del análisis de restricciones que se debe realizar antes del inicio de la actividad y que se maneja frecuentemente a través de los denominados check list.

Ya que la detención del sistema además del daño que puede generar a la estructura misma del sistema deslizante también puede producir una junta fría de concreto, por lo que antes de reanudar la puesta en marcha del sistema deslizado hay que tratar la junta, ya sea con un mortero de adherencia o con un epóxico.

CAPITULO VII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

Las conclusiones obtenidas de la realización del presente trabajo son las siguientes:

- 1.- El ejecutar la losa de Concreto Armado en la cara aguas arriba de la presa de enrocado con sistema deslizante permite obtener la mejor condición posible de impermeabilidad de la presa de enrocado.
- 2.- El proceso constructivo permite disminuir el plazo de ejecución por paño con respecto al sistema convencional.
- 3.- El costo del m² colocado del revestimiento bajo el sistema deslizante es menor con respecto al sistema convencional.
- 4.- Los índices de productividad son mejores con respecto al sistema convencional dado que la ejecución del vaciado es continuo.
- 5.- La reducción de juntas como consecuencia del sistema reduce el costo de juntas con respecto a ejecutar la losa de manera convencional.

7.2 RECOMENDACIONES

Las recomendaciones para la aplicación del sistema constructivo son las siguientes:

1. Ejecutar este trabajo durante el periodo seco, dado que el ejecutarlo en época de lluvias puede encarecer el costo al requerir algún implemento adicional de protección.
2. Se debe cuidar en todo momento que el colocado de concreto de cada paño sea de forma continua y con una velocidad constante, para ello la producción de concreto también debe ser continua y constante, para evitar la presencia de juntas frías.

3. Tener un plan de contingencia que contemple las siguientes cuatro situaciones posibles:
 - 1° Que uno o los dos winches que utiliza el sistema queden inoperativos, en ese caso contar con dos winches de reserva.
 - 2° Que la bomba de impulsión de concreto se malogre, para ello se debe contar con una bomba de concreto de reserva o de caso contrario contar canaletas para ejecutar el vaciado por gravedad desde la parte superior de la presa.
 - 3° Contar con mantas de protección ante la presencia de eventuales lluvias.
 - 4° Como caso extremo si por alguna razón la planta de concreto quedase inoperativo temporalmente, se recomienda realizar una junta de construcción similar a la vertical.
4. Una consideración importante a tener es que para realizar o utilizar este tipo de metodología constructiva se necesita tener un soporte técnico capacitado y de igual forma una logística preparada para responder ante cualquier contingencia, en este proyecto se contaba con un taller mecánico conformado por personas calificadas y que daban el soporte requerido ante cualquier evento no previsto.
5. Establecer una velocidad de vaciado que permita tener una buena trabajabilidad del concreto y que permita realizar un buen acabado, para este caso nosotros optamos por una velocidad de vaciado de 1.2m/hora que equivale a una producción de la planta de concreto de 8.5 m³/hora, con esto la planta de concreto podía atender los otros frentes sin ningún problema.
6. La ejecución del concreto en forma de damero permite dar un mejor tratamiento a las juntas y aprovechar las losas ejecutadas como encofrado lateral y de esta forma ahorrar el tiempo de preparación del

encofrado, y sin ocasionar dificultad a la utilización des sistema deslizante.

BIBLIOGRAFÍA

- Arqhys, portal de arquitectura y construcción (<http://www.arqhys.com>)
- Besomi Molina, Marco (2009), Comparación técnica y económica entre moldajes auto trepantes y otros tipos de moldajes especializados para su uso en construcción de edificios, Tesis de la Universidad de Chile, Facultad de Ciencias y Matemáticas. Departamento de Ingeniería Civil.
- Diez-Cascon, Joaquin & Bueno, Francisco, “Ingeniería de Presas”, Universidad de Catanabria, España, Agosto 2001.
- DOKA, “Manual de encofrado auto trepante DOKA SKE 50 y SKE 100”, Septiembre de 2005. 36p.
- DOKA, “Manual de encofrado marco DOKA Framax Xlife”, Julio de 2007. 112p.
- Encofrados Especiales y Técnicas Especiales S.A. (<http://www.edytesa.es>), España. 2003
- Koljensik, Nenad. Consideraciones en la construcción de presas con cara de concreto. <http://www.siric.org>.
- Odebrecht Ingeniería y Construcción “Expediente Técnico proyecto Traspase Olmos”, Volumen III, 2004.
- Llave Espinoza, Alberto (1992), Silos de Concreto: Enfoque Constructivo, El Ingeniero Civil N° 80, 20-24, Set.-Oct 1992.
- Otaegui, MT: “Encofrados, innovacion sin moldes”, Revista BIT, Noviembre de 2006.
- PERI, “Self-Climbing Technology”, Marzo de 2008. 27p.
- PERI, “Manual de operaciones de Automatic Climbing System ACS 100”, Septiembre de 2007. 83p.
- Pinao Elera, Erik (2011), Aplicación de encofrados deslizantes en estructuras verticales, Tesis de la Pontificia Universidad Católica del Perú.