

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERIA HIDRAULICA

XIX CONGRESO CHILENO DE HIDRAULICA

**OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DE LOS ENROCADOS DE PROTECCIÓN AL PIE DE
LA BARRERA PRINCIPAL DE LA BOCATOMA CHACAYES MEDIANTE
MODELACIÓN FÍSICA**

**RODRIGO CARRASCO H.¹
CHARLES GIBBS ²
JULIO PINEDA A.³
RODRIGO PONCE S.⁴**

RESUMEN

La empresa Pacific Hydro Chile, para su proyecto hidroeléctrico Chacayes en la cuenca del río Cachapoal, en conjunto con el Instituto Nacional de Hidráulica desarrolló un estudio en modelo hidráulico de la bocatoma de la central Chacayes, actualmente en construcción. El modelo construido en escala 1:40, permitió entre otros aspectos, verificar el comportamiento de las compuertas de la barrera, verificar la eficiencia del canal desripador, evaluar la incidencia de la altura de un muro separador entre la poza y el canal desripador en los caudales de captación, optimizar el diseño de los enrocados de protección al pie de la barrera principal y estudiar el proceso de arrastre de sedimentos hacia la toma.

El presente trabajo se refiere a la modelación y ensayos realizados para optimizar el diseño de los enrocados de protección al pie de la barrera principal cuyo diseño original fue definido en la etapa de ingeniería básica. Se compara la respuesta de las obras ante la solicitación de diferentes crecidas considerando el diseño original y una configuración de menores dimensiones.

De los resultados de la modelación se concluyó que el segundo escenario se presenta técnica y económicamente como más óptimo, ya que a pesar de que el primero propone una protección conservadora que no genera deformaciones en el lecho, el diseño modificado tiene un menor costo asociado y genera deformaciones en el lecho que se encuentran dentro del rango aceptable y esperado, sin comprometer la estabilidad de la estructura, por lo que se recomendó su implementación.

¹Ingeniero Civil, Jefe Proyectos Área Hidráulica-Fluvial, Instituto Nacional de Hidráulica – mail: rcarrasco@inh.cl

²Ingeniero Civil, Director Internacional de Energías Renovables, Hatch Canadá – mail: Charlie.Gibbs@Hatch.ca

³Ingeniero Civil, Gerente de Ingeniería, Pacific Hydro Chile – mail: jpineda@pacifichydro.cl

⁴Ingeniero Civil, Ingeniero de Proyectos, Pacific Hydro Chile – mail: rponce@pacifichydro.cl

1. INTRODUCCIÓN

Pacific Hydro Chile S.A. (PHC) está desarrollando el potencial hidroeléctrico de la cuenca alta del río Cachapoal a través de la construcción de la Central Hidroeléctrica Chacayes, para cuyo funcionamiento será necesario construir dos bocatomas, la Bocatoma Chacayes sobre el río Cachapoal y la Bocatoma Cipreses sobre el río Cipreses.

Como parte del proyecto de ingeniería, PHC solicitó al Instituto Nacional de Hidráulica (INH) que mediante dos modelos físicos, estudie el comportamiento hidráulico y los procesos de mecánica fluvial que se desarrollarán en ambas bocatomas.

En este trabajo se abordan los estudios, resultados y conclusiones obtenidos de la modelación de la Bocatoma Chacayes en relación a la optimización del diseño de los enrocados de protección al pie de la barrera principal, cuyo diseño original fue definido en la etapa de ingeniería básica. En una primera etapa, se evalúa la respuesta de las obras ante la solicitación de diferentes condiciones de crecida. Posteriormente, se implementa un escenario modificado consistente en la reducción de la longitud de la protección aproximadamente en un 90%, el cual es sometido a las mismas solicitaciones del diseño original. A partir de la comparación de los resultados obtenido en ambos escenarios se evalúan las ventajas comparativas y se proponen las modificaciones correspondientes.

Se debe destacar que el estudio del modelo se basa en una ingeniería preliminar y que finalmente, dado el tipo de contrato (EPC: Engineering, Procurement and Construction), es el contratista que debe adoptar y hacer suyos las proposiciones de cambio en el diseño final.

2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

La central Chacayes, es una central de pasada ubicada en el río Cachapoal, unos 20 km al interior de la localidad de Coya, en la VI Región (FIGURA 1). La potencia instalada de la central es de 110 MW, con un caudal de diseño de 72,5 m³/s y una altura de caída neta de 160 m.

La central consta de dos bocatomas, una principal sobre el río Cachapoal y otra secundaria, sobre el río Cipreses, que desvía las aguas captadas mediante un túnel hacia la toma principal. El caudal de diseño de las bocatomas es de 72,5 m³/s y 20 m³/s, respectivamente. La aducción de la central tiene un largo total de 7,5 km, con una combinación de canales y túneles, según las condiciones del terreno. La disposición general de la central puede verse en la FIGURA 2.

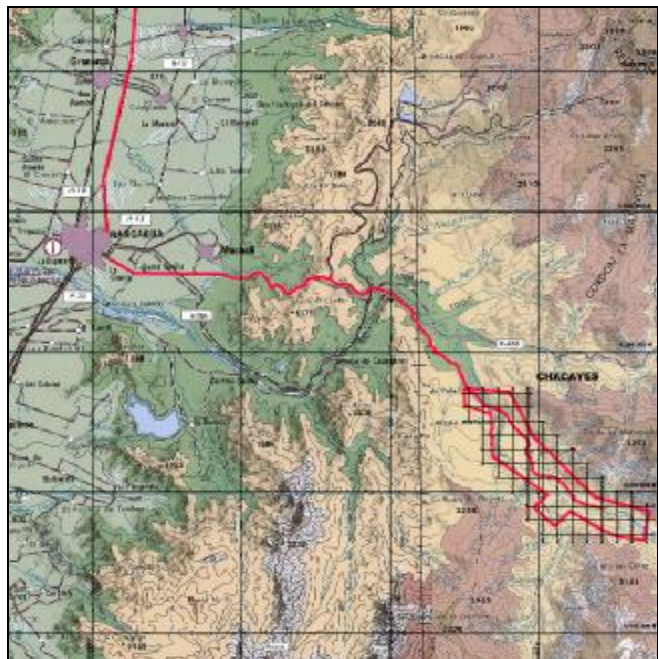


FIGURA 1: UBICACIÓN PROYECTO CHACAYES

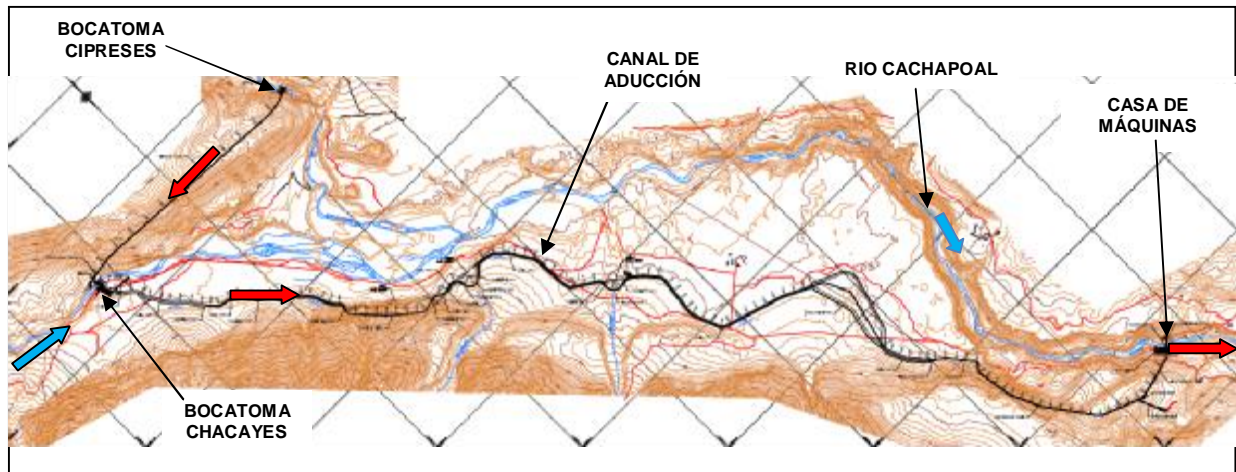


FIGURA 2: DISPOSICIÓN PROYECTO CHACAYES

La bocatoma Chacayes es la principal obra de captación de la central Chacayes. Su emplazamiento es en la zona cordillerana del río Cachapoal (cota en la poza: 1.110,0 m.s.n.m.). Comprende una barrera principal móvil de cinco compuertas (64 m de largo) diseñada para un período de retorno de 1:500 (1.014 m³/s), una obra de toma (4 vanos de captación, 20% de esviaje respecto del eje de la barrera) y un desarenador (141 m de largo, 4 naves). La entrega se realiza al canal de aducción Chacayes mediante un vertedero frontal de pared gruesa ubicado en el extremo de aguas abajo del desarenador (FIGURA 3). Aguas abajo de la barrera principal se ha dispuesto un enrocado de protección con el objeto de cubrir el lecho natural y evitar socavaciones que pudieran comprometer la estabilidad de las obras.

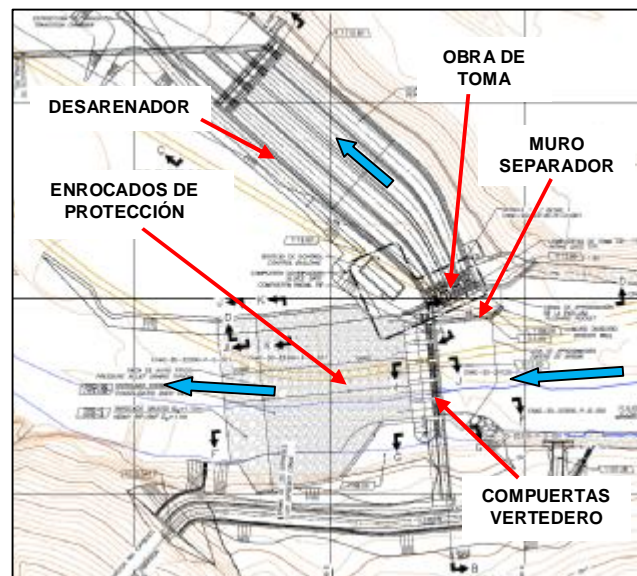


FIGURA 3: PLANTA GENERAL BOCATOMA CHACAYES

El diseño de la protección contempla un enrocado de 95 m de largo, que dispuesto en todo el ancho del lecho, está formado por 3 tramos:

- El primer tramo, de 45 m de largo, está conformado por un enrocado consolidado con hormigón, con un tamaño propuesto para las rocas de 0.6 m de diámetro y 600 kg de peso. La pendiente de este tramo es de 5%.
- El segundo tramo, de 30 m de largo, también está conformado por un enrocado consolidado con hormigón, con el mismo tamaño y peso de las rocas que el tramo anterior. La pendiente de este tramo es de 1,7%.
- El tercer tramo, de 20 m de largo, es de enrocado no consolidado y su pendiente es de 0,6%. La graduación de las rocas que lo conforman es la siguiente:

Diámetro [mm]	Masa [kg]	Porcentaje Menor al Tamaño
1250	4100	100%
1100	2500	50%
900	1500	15%
700	680	0%

TABLA 1: GRANULOMETRÍA ENROCADO NO CONSOLIDADO, DISEÑO ORIGINAL

3. MODELO FÍSICO

En el modelo físico de esta bocatoma se realizaron principalmente los siguientes análisis:

- a) Diagnóstico del funcionamiento hidráulico de las obras de evacuación de crecidas y de toma.
- b) Control del ingreso de sedimentos a la obra de toma.
- c) Análisis de los fenómenos asociados al comportamiento mecánico fluvial de los cauces.
- d) Estudio de la socavación al pie de las obras proyectadas.
- e) Obras de protección del conjunto de obras de la bocatoma.
- f) Verificación de capacidad hidráulica en condiciones de crecida.
- g) Curvas de descarga de compuertas de vertedero y compuerta desripiadora.
- h) Verificación de incidencia de altura muro del separador entre la poza y canal desripiador, en la distribución de caudales de toma.
- i) Verificación de incidencia de altura muro del separador entre la poza y canal desripiador, en la eficiencia del desripiador.

Como se señaló anteriormente, en este trabajo se abordará la modelación de los puntos d) y e) del listado precedente.

3.1. ANÁLISIS DE SEMEJANZA PARA DEFINIR LA ESCALA DEL MODELO FÍSICO

Para determinar la escala del modelo hidráulico, se consideraron aspectos y/o restricciones propias de la modelación física de escurrimientos en superficie libre y arrastre de sedimentos, tales como: semejanza hidráulica, semejanza friccional, turbulencia del escurrimiento, condición de arrastre crítico, representación de la curva granulométrica, disponibilidad de capacidad de bombeo, otros factores (disponibilidad de espacio físico en laboratorio, facilidades para la experimentación, observación y medición de los ensayos y facilidad de la construcción, etc.)

Luego del análisis teórico correspondiente se concluye que las restricciones de escala establecen que $\lambda_L \leq 54$ (Turbulencia) y $\lambda_L \geq 36$ (Capacidad de Bombeo). La escala $\lambda_L = 40$ satisface todas las restricciones y atiende a las sugerencias relacionadas con la disponibilidad de espacio, por lo que fue este valor el considerado para la construcción del modelo. Una vez establecida la escala geométrica y a partir de las relaciones que se desprenden del análisis de semejanza se determinaron las escalas de las demás variables fundamentales.

De esta forma, se pueden calcular los valores del resto de las variables involucradas en el análisis de semejanza. A continuación se presentan otras consideraciones adoptadas:

- El acrílico ($n = 0,009$), material en el que fueron especificadas las obras a escala, representa un material cuyo coeficiente de Manning equivalente es $n \approx 0.017$, valor adecuado para un hormigón como el que se utilizará en prototipo para la materialización de las obras.
- En el modelo, los valores de los adimensionales Re y Re^* fueron del orden de 40.000 y 150 respectivamente, asegurando las condiciones de turbulencia y arrastre crítico.
- Según la escala adoptada y considerando para el material fluvial del modelo un tamaño límite de grano de 0,1 mm, se pudo representar un 95,5% de la curva granulométrica.
- El caudal máximo de crecida en prototipo ($Q = 1.176 \text{ m}^3/\text{s}$) quedó representado en el modelo por un caudal de aproximadamente 116 lt/s, valor inferior a la capacidad máxima de bombeo del laboratorio.

3.2. MODELO FÍSICO REDUCIDO

El modelo a escala reducida, 1:40, es de aproximadamente 24 m de longitud y 4,5 m de ancho, representando en lecho móvil un total de 550 y 180 m de largo y ancho del cauce, respectivamente. La morfología del cauce en lecho móvil es representada mediante 15 secciones transversales entre las cuales se dispone el material fluvial de modelo, el cual es compactado y rasado para una adecuada representación de la topografía del terreno.

En la ribera izquierda del río, aproximadamente 50 m aguas arriba de la barrera de la bocatoma, se contempla la entrega de las aguas captadas por la bocatoma Cipreses que son conducidas hasta la cuenca del río Cachapoal mediante un túnel de aproximadamente 3 km de largo.

Algunas vistas generales de las obras pueden verse en la FIGURA 4, obtenida de la modelación 3D. Esta modelación fue realizada como una herramienta de apoyo tanto para la interpretación de los planos en la etapa de conceptualización y construcción del modelo físico, como para la presentación de los resultados en las etapas de explotación del modelo.

3.3. CALIBRACION DEL MODELO

Con el lecho modelado se realizó la calibración hidráulica y sedimentológica para distintos gastos. La modelación hidráulica consideró verificaciones de sus ejes hidráulicos. Con esta calibración se garantiza la semejanza del resto de las variables del escurrimiento, tales como la distribución de velocidades, las velocidades de frotamiento en los granos, las presiones hidrostáticas, los cambios de dirección, la turbulencia, las ondas superficiales y las pérdidas de carga singulares, etc.

La calibración sedimentológica, basada en los análisis de sedimento tanto teóricos como realizados in situ, permitió simular en el modelo a escala el gasto sólido del cauce ante diferentes condiciones de crecida. Mediante pruebas iterativas con diferentes tasas de transporte sólido, se obtuvo un comportamiento en equilibrio tanto de los sedimentos que circulan por el cauce como de la morfología del lecho. El aporte de gasto sólido se efectuó en el modelo con un equipo especial que entregó el material de arrastre al escurrimiento. La curva granulométrica del lecho y del sedimento transportado se preparó en la misma escala geométrica del modelo.

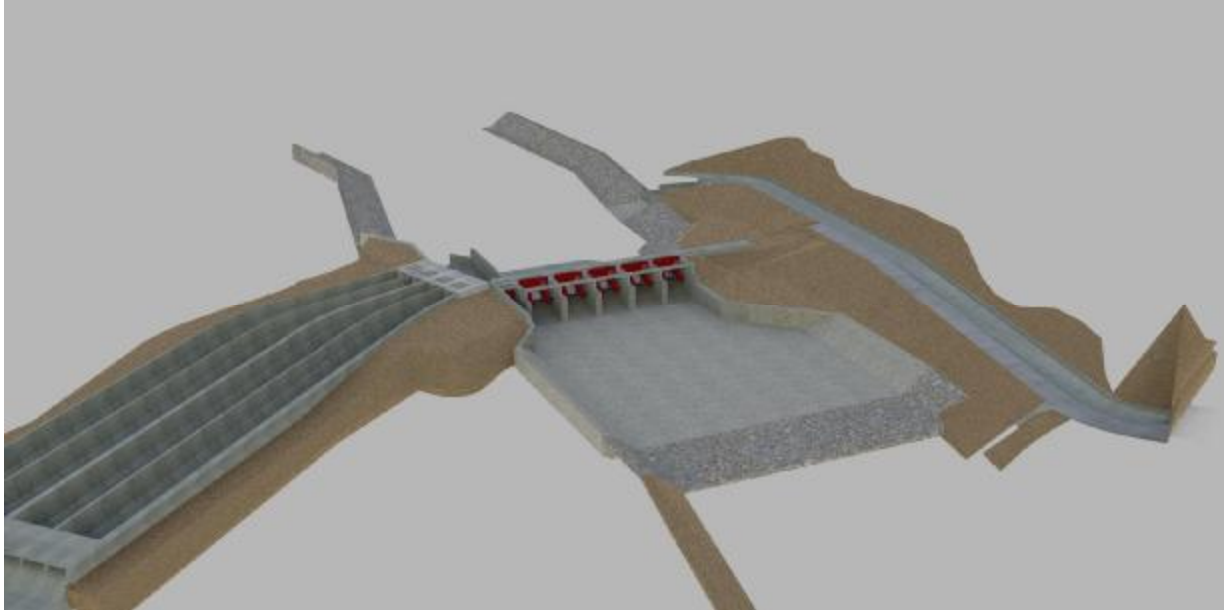


FIGURA 4: MODELACIÓN 3D BOCATOMA CHACAYES



FIGURA 5: MODELO FÍSICO BOCATOMA CHACAYES

4. DIAGNÓSTICO DEL PROYECTO ORIGINAL

4.1. DEFINICIONES PRELIMINARES

Durante situaciones de crecida, en que el caudal afluente en el río Cachapoal es mayor al caudal de captación de la Bocatoma Chacayes ($72,5 \text{ m}^3/\text{s}$), es frecuente que como producto de la evacuación de agua a altas velocidades a través de la barrera principal se produzcan socavaciones

en el lecho de aguas abajo de la misma. La función de los enrocados de protección es justamente cubrir el lecho natural para evitar que esta socavación alcance una profundidad en que comprometa la fundación tanto de los machones centrales en que se apoyan las compuertas radiales como de los muros de contención laterales de aguas abajo.

Para efectuar el estudio de socavaciones al pie de la bocatoma se realizaron análisis comparativos entre la situación original del proyecto y una modificación del mismo, de manera de poder definir la alternativa más óptima. Uno de los aspectos a definir para abordar el análisis lo constituyó la determinación de las condiciones de operación de la bocatoma ante eventos de crecida (TABLA 2), lo cual se definió en base a las curvas de descarga de las 5 compuertas que forman la barrera principal y de la compuerta desripiadora.

La primera condición de operación, definida en base a antecedentes de operación de otras bocatomas, tiene que ver con la decisión de mantener la captación en condiciones de crecida. Habitualmente durante una crecida, el río arrastra gran cantidad de sedimentos y material flotante de grandes dimensiones (troncos, basura, etc.). Bajo estas condiciones, se decidió que la captación sería suspendida a partir de un caudal afluente de 300 m³/s (Período de retorno ≈ 10 años). Esta decisión condiciona enormemente la operación de las compuertas durante las grandes avenidas, ya que para caudales superiores a este valor ya no es necesario mantener una cota en la poza para captar 72,5 m³/s, simplificando el curso de acción ante tales eventos.

Período de Retorno [años]	1	2	10	100	250	500
Caudal Afluente [m ³ /s]	88	158	314	679	854	1014
Caudal de Captación [m ³ /s]	72.5	72.5	0	0	0	0
Caudal Evacuado [m ³ /s]	15.5	85.5	314	679	854	1014
Apertura Desripiadora [m]	0.51 (15%)	3.4 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	5.26 (100%)
Apertura Compuerta 1 [m]	0 (0%)	0 (0%)	5.26 (100%)	5.26 (100%)	5.26 (100%)	5.26 (100%)
Apertura Compuerta 2 [m]	0 (0%)	0 (0%)	5.26 (100%)	5.26 (100%)	5.26 (100%)	5.26 (100%)
Apertura Compuerta 3 [m]	0 (0%)	0 (0%)	5.26 (100%)	5.26 (100%)	5.26 (100%)	5.26 (100%)
Apertura Compuerta 4 [m]	0 (0%)	0 (0%)	5.26 (100%)	5.26 (100%)	5.26 (100%)	5.26 (100%)
Apertura Compuerta 5 [m]	0 (0%)	0.526 (10%)	5.26 (100%)	5.26 (100%)	5.26 (100%)	5.26 (100%)

TABLA 2: CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LA BOCATOMA EN CRECIDAS

Considerando a priori el efecto despreciable que tendrá la crecida anual (88 m³/s) sobre los enrocados tanto originales como modificados, de acuerdo a las condiciones de operación definidas para su manejo, se ha decidido omitir los ensayos de diagnóstico para tal caudal, analizándose solo los caudales con período de retorno 2, 10, 100, 250 y 500 años.

4.2. DESCRIPCION DE PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTALES

Para efectuar los ensayos de diagnóstico del enrocado original con cada uno de los caudales de crecida definidos en la TABLA 2, se estableció una metodología experimental común. El lecho del río, constituido por el material fluvial que representa la granulometría del cauce, se mantuvo como lecho móvil en el sector de aguas abajo de la bocatoma, ya que es en esta zona donde se espera que se produzca la socavación, y se reconstituyó reproduciendo la topografía original del cauce. En la zona de aguas arriba de la bocatoma, se representó la topobatimetría del lecho mediante el mismo material fluvial, pero se fijó mediante barniz, de modo que no sufriera deformaciones originadas del escurrimiento. En cada ensayo, el modelo se operó sin aporte de sedimentos, ya que de esta forma se somete a los enrocados a una situación más desfavorable.

Antes del inicio de cada experiencia se ajustaron las aperturas de las compuertas de acuerdo a las condiciones de operación definidas en la TABLA 2.

Los ensayos se iniciaron inundando el modelo desde aguas abajo, con el objeto de que al momento de la entrada del caudal afluyente no se produzcan degradaciones del lecho de aguas abajo. En el vertedero aforador del caudal afluyente se ajustó el gasto de entrada según el valor de la crecida correspondiente. Una vez ajustado el caudal y teniendo el modelo completamente inundado, se esperó unos minutos para que el agua en circulación alcanzara toda la extensión del modelo. Luego, se procedió a levantar la condición de inundación desde aguas abajo de manera que el cauce principal, inicialmente elevado al nivel de inundación, comience a circular por sobre el lecho móvil del modelo.

Una vez logrado este ajuste, se definió el tiempo de ajuste en 1 hora, tiempo durante el cual se observó atentamente el comportamiento de los enrocados, registrando fotográficamente los cambios más significativos. Finalizado el ensayo, se procedió a inundar nuevamente el modelo desde aguas abajo, a suprimir la alimentación y a vaciar lentamente el estanque, de manera de evitar degradaciones por vaciado.

Con el modelo seco, se realizó una observación cualitativa del lecho resultante, registrando fotográficamente su condición. En el caso que la socavación producida aguas abajo de los enrocados fuera considerable, se efectuaría un levantamiento topográfico del lecho.

4.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS EXPERIMENTALES

De acuerdo con el procedimiento definido el punto anterior, se presentan a continuación algunos ejemplos de los resultados obtenidos. Como factor común en todos los ensayos, se aprecia que las degradaciones del enrocado son prácticamente despreciables y solo se limitan al tramo no consolidado. Además, el lecho no sufre ninguna deformación.

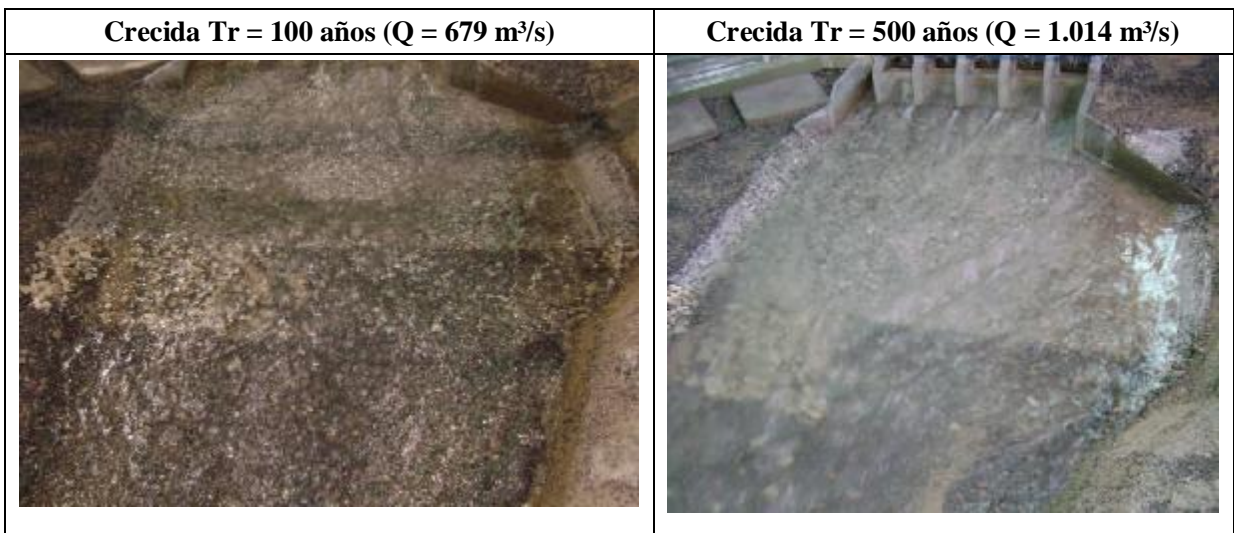


FIGURA 6: RESULTADOS ENSAYOS DE DIAGNÓSTICO ENROCADOS ORIGINALES

A partir de estos resultados, y considerando la posibilidad de que sea el proyecto original el que se implemente en definitiva, se recomendó contemplar en la operación de la bocatoma procedimientos de reacondicionamiento y reposición del enrocado no consolidado de su extremo

de aguas abajo, los cuales deberían materializarse en forma posterior a eventos de crecidas con período de retorno igual o superior a 10 años.

5. DIAGNÓSTICO DEL PROYECTO MODIFICADO

5.1. DESCRIPCIÓN DE MODIFICACIONES

En vista de los resultados favorables obtenidos a partir de los ensayos de diagnóstico de los enrocados originales, se propuso modificar sus dimensiones de manera generar un diagnóstico sobre una obra de protección menos conservadora.

La modificación propuesta contempló la construcción, inmediatamente aguas abajo del término de los vanos de la barrera principal, de una protección de fondo consistente en un enrocado de 10 m de longitud con la misma pendiente de 5% que tiene el primer tramo de los enrocados originales, y que termina en un diente en 45° que se prolonga hasta el fondo fijo del modelo (cota de relleno). La profundidad definitiva de este talud será determinada en base a las máximas socavaciones que se obtengan de los ensayos de crecidas.

Se considera que el enrocado sea del tipo consolidado con hormigón, con un tamaño propuesto para las rocas de 0.6 m y 600 kg de peso. La disposición de las rocas se especifica en forma tal de ofrecer al flujo la mayor resistencia posible y reducir su velocidad.

Una vez materializadas estas modificaciones, se procedió a realizar los ensayos de diagnóstico de las obras modificadas. La metodología utilizada es exactamente la misma que se describió en el punto 4.2.

5.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS EXPERIMENTALES

A continuación se esquematizan los resultados experimentales obtenidos. En ellos se muestra la extensión máxima de la degradación del lecho tanto en planta como en corte.

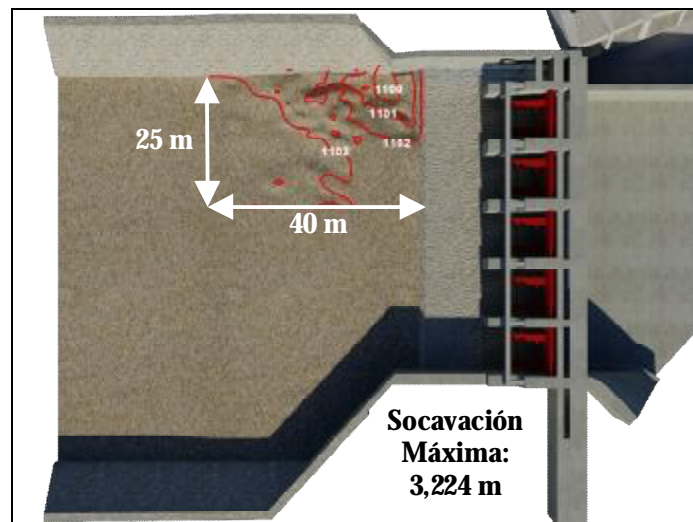


FIGURA 7: CRECIDA CON PERÍODO DE RETORNO 2 AÑOS ($Q = 158 \text{ m}^3/\text{s}$)

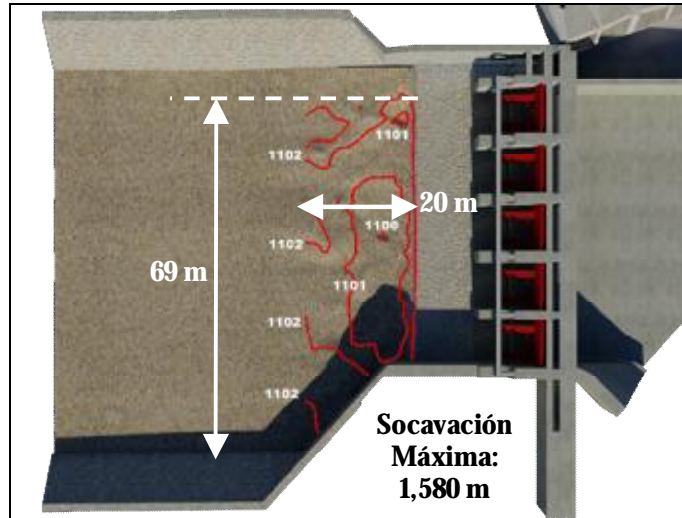


FIGURA 8: CRECIDA CON PERÍODO DE RETORNO 10 AÑOS ($Q = 314 \text{ m}^3/\text{s}$)

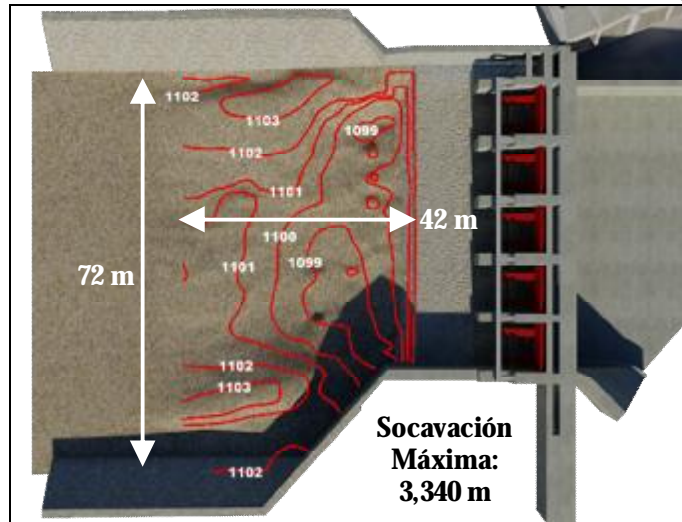


FIGURA 9: CRECIDA CON PERÍODO DE RETORNO 100 AÑOS ($Q = 679 \text{ m}^3/\text{s}$)

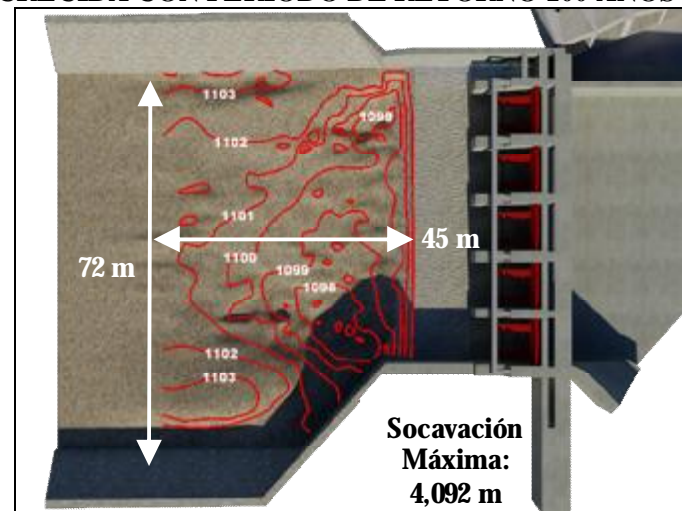


FIGURA 10: CRECIDA CON PERÍODO DE RETORNO 250 AÑOS ($Q = 854 \text{ m}^3/\text{s}$)

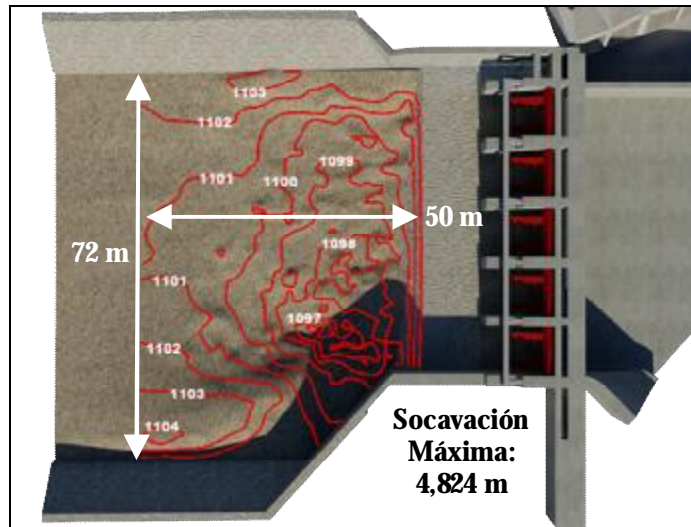


FIGURA 11: CRECIDA CON PERÍODO DE RETORNO 500 AÑOS ($Q = 1.014 \text{ m}^3/\text{s}$)

En las imágenes presentadas, se aprecia que para el caso de la crecida bianual se produce una gran socavación del lecho del río, lo cual no se verifica para las crecidas inmediatamente superiores. Esta diferencia se explica por la gran sollicitación que sufre el lecho como producto de la evacuación de la crecida bianual a través de una sola compuerta (compuerta desripiadora), lo cual no ocurre en las crecidas de 10 años y superiores, que evacúan el caudal afluente repartido entre las 6 compuertas de la bocatoma (5 compuertas de la barrera principal más la compuerta desripiadora).

La socavación durante la evacuación de crecidas superior a un período de retorno de 1 en 10 años varía entre 1,6 m y 4,8m para una crecida de 1 en 500 años, con una influencia hacia aguas abajo de entre 20 y 50 m respectivamente. A continuación se presenta un gráfico que resume los resultados de profundidad de socavación al pie del enrocado en función del caudal.

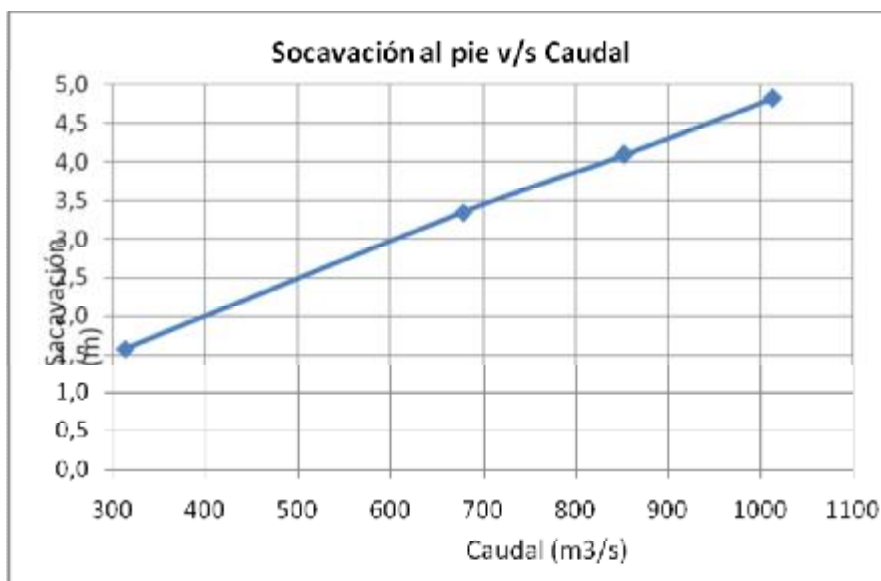


FIGURA 12: SOCAVACIÓN EN FUNCIÓN DEL CAUDAL EVACUADO

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES

Como conclusión del estudio de socavaciones al pie de la bocatoma, se debe mencionar que el sistema de evacuación conformado por 5 compuertas en la barrera principal, más la compuerta desripiadora, constituye un mecanismo muy eficiente para evacuar el caudal de crecida. Lo anterior se comprobó en forma experimental en cada ensayo realizado, ya que las observaciones no detectaron alturas cercanas al coronamiento de los machones centrales.

Respecto del comportamiento de los enrocados de aguas abajo, se concluye que el proyecto original contempla la implementación de una protección conservadora que no genera deformaciones en el lecho. Sin embargo, su construcción conlleva un costo elevado dadas sus dimensiones. Por el contrario, el enrocado modificado que se plantea en el punto 5.1, al ser de dimensiones menores, tiene un costo asociado más bajo y genera deformaciones en el lecho que se encuentran dentro de los rangos normales esperados, sin comprometer la estabilidad de la estructura. Bajo este escenario, se determina que la protección modificada es más óptima desde el punto de vista técnico – económico y se recomienda su implementación.

De los resultados experimentales, se aprecia que la zona afectada por la socavación alcanza una extensión longitudinal máxima de 50 m y una extensión transversal que abarca todo el ancho del lecho (53 m al comienzo del enrocado consolidado y 72 m en el lecho natural). La máxima socavación vertical alcanza aproximadamente los 4,8 m. En base a esto último, se recomienda que la profundidad del diente sea de al menos 6 m.

Cabe destacar que las socavaciones observadas en el modelo sólo entregan un orden de magnitud de la degradación que puede sufrir el lecho ante eventos de crecidas. A pesar de que el lecho fue modelado con una granulometría en reducción geométrica, la cohesión de los granos, el grado de compactación del lecho y su nivel de acorazamiento, constituyen variables con las cuales no es posible lograr semejanza en este tipo de modelos. Debido a lo anterior, la socavación que se registra en el modelo será mayor a la que se espera se produzca en el prototipo, dando un grado de seguridad importante a las decisiones tomadas a partir de estos resultados.

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Alejandro Lopez, con quien iniciamos este trabajo, en el Instituto Nacional de Hidráulica.

REFERENCIAS

ASCE, 2008. Sedimentation Engineering: Processes, Measurement, Modeling and Practice. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice N°110. U.S.A.

Instituto Nacional de Hidráulica, 2008. Modelo Físico – Hidráulico Bocatoma Chacayes. Chile