



MEMORIA DE CÁLCULO

PROYECTO PALMUCHO

OBRAS EXTERIORES

PROTECCIONES DE ENROCADOS DE LA
RIBERA DERECHA DEL RÍO BIOBÍO

04420-03-11-IIHH-MCA-001 V1

APROBADO
Res: *856 de 15.06.05*
Depto. Adm. de Recursos Hídricos
DIRECCION GENERAL DE AGUAS

MAYO 2005





Gerencia de Producción y Transporte N° 0161

Santiago, 17 de mayo de 2005

Señor
Humberto Peña Torrealba
DIRECTOR GENERAL DE AGUAS
PRESENTE

**REF.: PROYECTO CENTRAL HIDROELECTRICA PALMUCHO. ENVIA
ANTECEDENTES TECNICOS PARA LA APROBACIÓN DE LAS OBRAS.**

De nuestra consideración:

Nos referimos a su documento ORD.: N° 498, de fecha 10 de mayo de 2005, relacionado al Expediente VC-0802-32, que se refiere a la Solicitud de Aprobación de Obras Hidráulicas para el Proyecto de la Central Hidroeléctrica Palmucho, mediante el cual nos solicitan información básica y memorias de cálculo acerca del Proyecto.

Al respecto, adjuntamos a la presente, una copia de los siguientes documentos:

- Memoria de Cálculo Caverna de Máquinas, Diseño Estructural del Sostenimiento. Documento N° 04 420-03-20-IICR-MCA-001 Versión 1.
- Memoria de Cálculo Caverna de Máquinas, Bases de Diseño Estructural. Documento N° 04 420-03-30-IICR-MCA-001 Versión 1.
- Memoria de Cálculo Obras Exteriores. Protección de Enrocados de la Ribera Derecha del Río Biobío. Documento N° 04 420-03-11-IIHH-MCA-001 Versión 1.

Sin otro particular, saluda atentamente a usted,

ADM. DE RECURSOS HÍDRICOS
Oficina de Partes
Fecha: 18 MAYO 2005
N° Proceso: 252713

GIRH
E S A D

APROBADO
Res: 856 de 15.06.05
Depto. Adm. de Recursos Hídricos
DIRECCION GENERAL DE AGUAS

Rafael Mateo Alcalá
Gerente de Producción y Transporte



DIRECCION GENERAL DE AGUAS
Centro de Información Recursos Hídricos
Área de Documentación


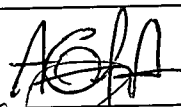
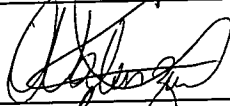
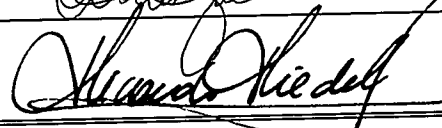
MEMORIA DE CÁLCULO

PROYECTO : PALMUCHO
OBRA : OBRAS EXTERIORES
TITULO : PROTECCIONES DE ENROCADOS DE LA RIBERA DERECHA DEL RÍO BIOBÍO.

FECHA DE EDICION : Mayo de 2005

APROBADO

Res: _____
Depto. Adm. de Recursos Hídricos
DIRECCION GENERAL DE AGUAS

		
DOCUMENTO	420 - 03 - 11 - IIHH - MCA - 001	Versión 1
EJECUTO	ARTURO JORQUERA A.	
REVISO	ALEJANDRA VALENZUELA L.	
APROBO	RICARDO RIEDEL G.	

**MEMORIA DE CÁLCULO
420 03 11 IIHH MCA 001 V1**

**PROYECTO PALMUCHO
PROTECCIONES DE ENROCADOS EN LA RIBERA DERECHA DEL RÍO
BIOBÍO**

1. INTRODUCCIÓN

El proyecto de detalles original de la Central Ralco consideró que la entrada de la galería de acceso al Desagüe de Fondo (DF) se ubicara en la ribera derecha del río Biobío a una cota elevada e inmediatamente aguas abajo de la descarga del Túnel de Desvío.

Producto de las corrientes propias del río se produjo la erosión de la plataforma de acceso al DF, debiéndose construir una nueva galería de acceso a unos 150 m aguas abajo de la ubicación anterior. Esta nueva ubicación presenta un mejor comportamiento frente a las erosiones que la ubicación original, lo que permite disminuir las protecciones asociadas.

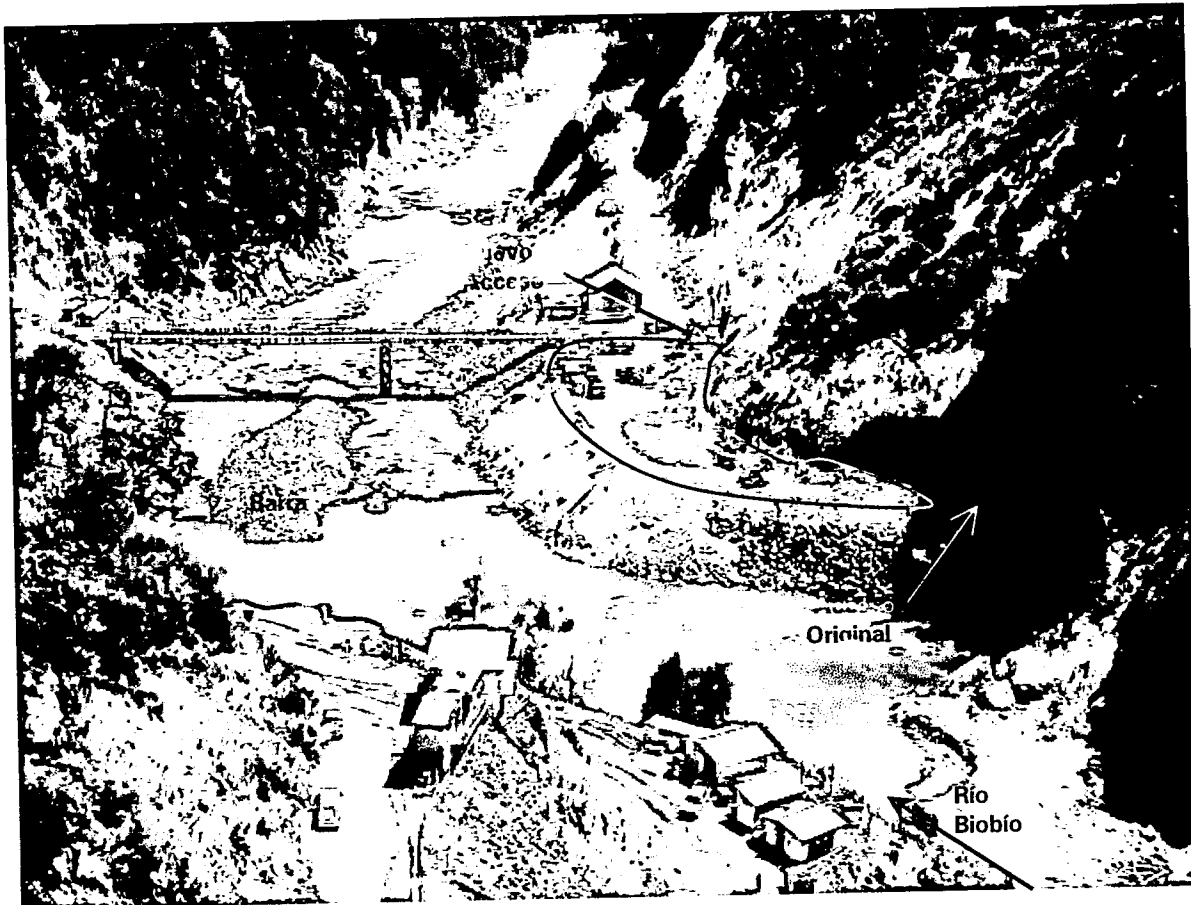
Para esta nueva ubicación se requiere realizar un estudio hidráulico en el río Biobío, de forma de poder definir la necesidad de ubicar protecciones hidráulicas considerando que frente al nuevo acceso se deba disponer de una plataforma de maniobras de un tamaño tal que permita el acceso de vehículos de gran tamaño.

En esta memoria se realizan los análisis necesarios para definir tales protecciones, recomendándose su magnitud para varios posibles caudales de diseño con sus períodos de retorno asociados.

Se incluye además en esta memoria un detalle con las obras de saneamiento especificadas para la protección de la plataforma.

En la página siguiente se muestra una fotografía de la zona en estudio.

APROBADO
Res: SGA-EX 056/2005
Depto. Adm. de Recursos Hídricos
DIRECCION GENERAL DE AGUAS



Fotografía de la zona de acceso al Desagüe de Fondo.

2. CONDICIONES DE DISEÑO

Las condiciones de diseño utilizadas en el cálculo de las protecciones de enrocados son las siguientes:

2.1 Caudales

Se analizaron diversos caudales, desde Tr 20 a Tr 1000 años. En base a los valores afluentes al embalse se procedió a correr el programa Regula de Ingendesa considerando la consigna de operación de la central Ralco (Estudio de Regulación de Crecidas), obteniéndose los siguientes caudales:

APROBADO
 Res: *DGA. EX 056/2005*
 Depto. Adm. de Recursos Hídricos
 DIRECCION GENERAL DE AGUAS

Tr	Caudal Afluyente	Caudal Efluyente (obtenido con Regula)
20	3000	2950
50	3730	3670
100	4320	4250
200	4950	4870
500	5900	5800
1000	6700	6590

Tabla N° 1. Caudales utilizados en los cálculos.

2.2 Rugosidades

Las rugosidades utilizadas para el cálculo fueron determinadas de acuerdo a las recomendaciones de Harry Barnes ("Roughness Characteristics of Natural Channels), adoptándose un valor de 0,060 para el cauce inferior y de 0,100 para las laderas del cauce que serán mojadas para las crecidas de mayor magnitud.

2.3 Cálculo de los pesos de los enrocados

Dado que los enrocados serán ubicados aguas abajo de la poza de caída del chorro del salto de esquí, ellos deberán soportar flujos de altas velocidades y elevada turbulencia. Por esta razón, se realizó una investigación de los modelos más aplicables a flujos de torrente con turbulencia, seleccionándose tres métodos:

- 1) Método del Corps of Engineers para cauces sometidos a alta turbulencia. Este método considera la expresión de Isbach mayorando el diámetro por un factor $= 1/0.86$, asociado a turbulencia alta.
- 2) Método del California Highway – Bank and Shore Protection (Stream bank structures).
- 3) Modelo de Lopardo Estellé. Para este modelo se mayoró el diámetro por el factor de Isbach de 1,30 correspondiente a la razón turbulencia alta/turbulencia normal $= (1/0,86)/(1/1.12) = 1,30$.

APROBADO

Res: *DGA EX B56/2005*
 Depto. Adm. de Recursos Mídricos
 DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

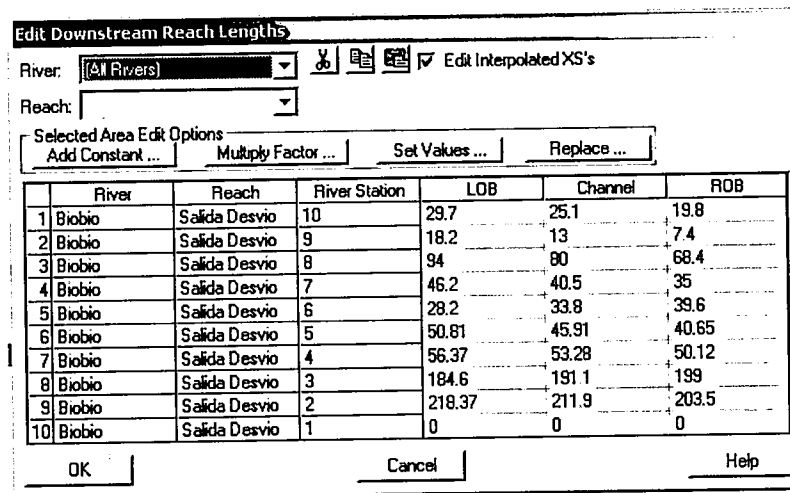
3. DESARROLLO DEL CÁLCULO

3.1. MODELO HEC-RAS

Se realizó un modelo HEC RAS de la zona de la poza en base a los perfiles topobatemétricos realizados para efectos del rebaje de la zona de control y otros perfiles que fueron recopilados de diversas fuentes.

En la Figura 2, se muestran los perfiles batimétricos considerados incluyendo la fecha en que fueron levantados.

Las distancias entre las secciones son las descritas en la Figura 1.



River	Reach	River Station	LOB	Channel	ROB
1 Biobio	Salida Desvio	10	29.7	25.1	19.8
2 Biobio	Salida Desvio	9	18.2	13	7.4
3 Biobio	Salida Desvio	8	94	80	68.4
4 Biobio	Salida Desvio	7	46.2	40.5	35
5 Biobio	Salida Desvio	6	28.2	33.8	39.6
6 Biobio	Salida Desvio	5	50.81	45.91	40.65
7 Biobio	Salida Desvio	4	56.37	53.28	50.12
8 Biobio	Salida Desvio	3	184.6	191.1	199
9 Biobio	Salida Desvio	2	218.37	211.9	203.5
10 Biobio	Salida Desvio	1	0	0	0

Figura 1. Distancia entre secciones.

Dado que en algunas zonas se aprecian distancias importantes, se interpolaron secciones ficticias para mejorar la precisión de los cálculos. En la Figura 3, se muestran las secciones reales e interpoladas.

Para el cálculo del eje hidráulico, se impuso condiciones de borde del tipo mixto, es decir, por aguas arriba y aguas abajo, adoptándose alturas normales asociadas a las pendientes de los tramos extremos.

Habiendo definido los valores anteriores se procedió a ejecutar el modelo RAS, obteniéndose los resultados descritos en la Tabla 2. En esta tabla sólo se han incluido los niveles en las secciones ubicadas frente a la zona a proteger. La sección 5 se encuentra ubicada aproximadamente al final de la plataforma, mientras que la sección 8 se ubica un poco más aguas arriba del inicio de ella.

APROBADO
 Res: *DGA EX 056/2005*
 Dpto. Adm. de Recursos Hídricos
 DIRECCION GENERAL DE AGUAS
 Mayo 2005.

UBICACION DE PERFILES

SIN/ESCALA

APROBADO
 Res: *AGA. EX B56/2005*
 Depto. Adm. de Recursos Hídricos
 DIRECCION GENERAL DE AGUAS

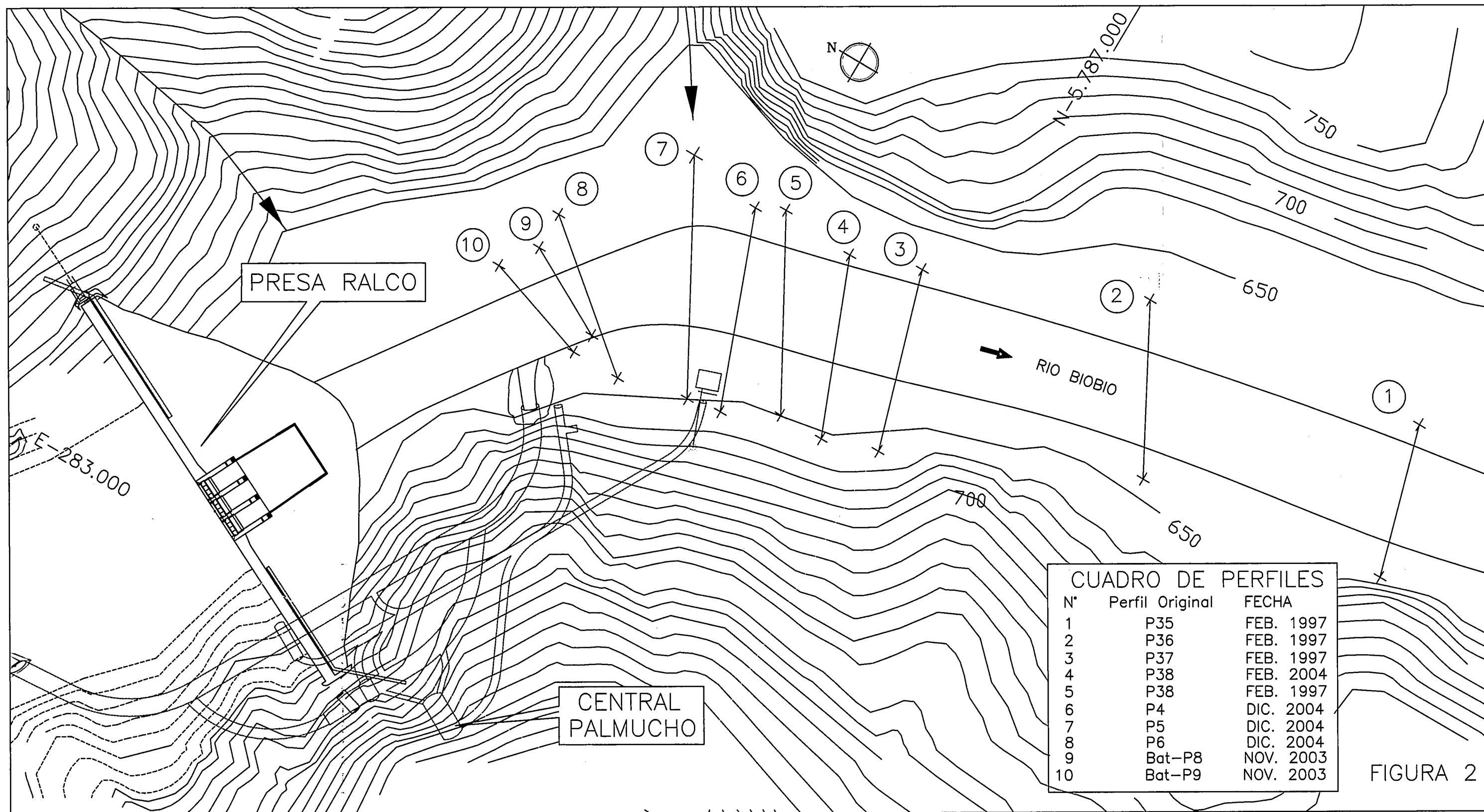


FIGURA 2

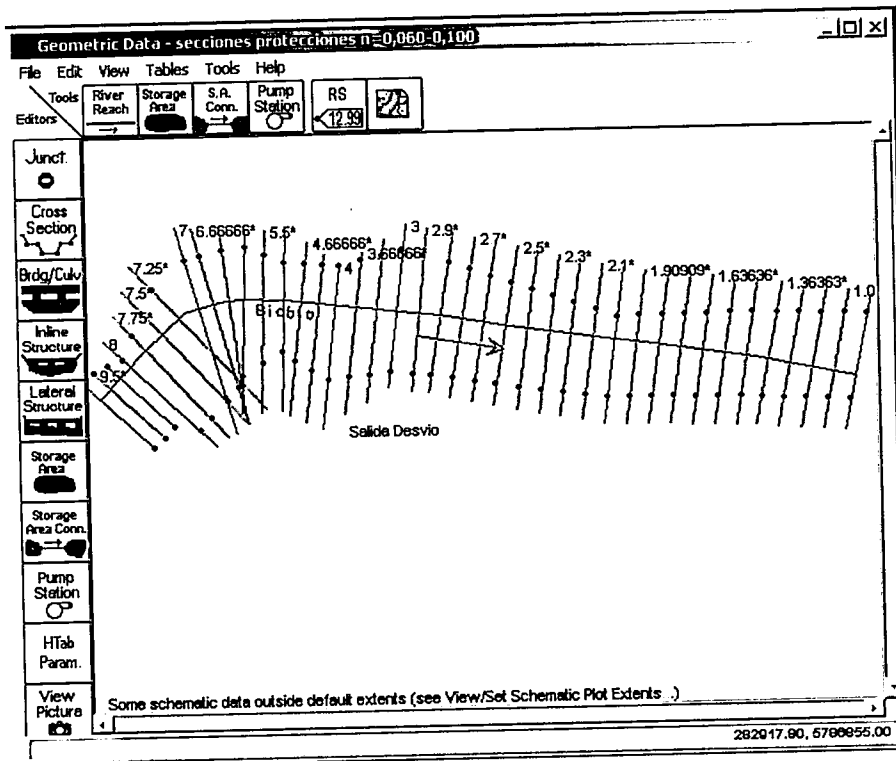


Figura 3. Secciones reales e interpoladas utilizadas en el cálculo.

Tabla 2. Características hidráulicas en secciones frente a enrocados.

River Sta	Q	Total	Min Ch	EI	W.S.	Elev	Max	Chl	Dpth	Vel	Chnl	Vel	Left	Vel	Right	E.G.	Slope	Hydr	Radius	Shear	Chan	Shear	Total
	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/m)		(m)	(N/m2)	(N/m2)	(N/m2)	(N/m2)	
8	2950	598.46	606.28	7.82	5.75										0.012069	5.56	658.33	658.33					
7	2950	596.17	605.8	9.63	4.94										0.008751	5.63	483.42	483.42					
6	2950	596.46	605.34	8.88	5.03										0.007884	6.26	484.18	484.18					
5	2950	591.75	605.64	13.89	3.54	0.52	1	0.002128	8.5	206.18	177.28												
River Sta	Q	Total	Min Ch	EI	W.S.	Elev	Max	Chl	Dpth	Vel	Chnl	Vel	Left	Vel	Right	E.G.	Slope	Hydr	Radius	Shear	Chan	Shear	Total
	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/m)		(m)	(N/m2)	(N/m2)	(N/m2)	(N/m2)	
8	3670	598.46	607.35	8.89	6.07										0.011335	6.33	704.09	704.09					
7	3670	596.17	607.03	10.86	5.1										0.00796	6.35	495.58	495.58					
6	3670	596.46	606.59	10.13	5.25										0.007248	7.12	506.37	506.37					
5	3670	591.75	606.89	15.14	3.91	0.68	1.15	0.002236	9.28	242.56	203.6												
River Sta	Q	Total	Min Ch	EI	W.S.	Elev	Max	Chl	Dpth	Vel	Chnl	Vel	Left	Vel	Right	E.G.	Slope	Hydr	Radius	Shear	Chan	Shear	Total
	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/m)		(m)	(N/m2)	(N/m2)	(N/m2)	(N/m2)	

River Sta	Q. Total	Min Ch El	W.S. Elev	Max Chl Dpth	Vel Chnl	Vel Left	Vel Right	E.G. Slope	Hydr Radius	Shear Chan	Shear Total
8	4250	598.46	608.18	9.72	6.29	0.15		0.010782	6.87	732.51	726.36
7	4250	596.17	607.96	11.79	5.2			0.007313	6.96	499.24	499.24
6	4250	596.46	607.53	11.07	5.41			0.006871	7.75	522.44	522.44
5	4250	591.75	607.82	16.07	4.18	0.78	1.25	0.002303	9.84	269.69	222.19
River Sta	Q. Total	Min Ch El	W.S. Elev	Max Chl Dpth	Vel Chnl	Vel Left	Vel Right	E.G. Slope	Hydr Radius	Shear Chan	Shear Total
	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/m)	(m)	(N/m2)	(N/m2)
8	4870	598.46	609.04	10.58	6.48	0.31		0.010275	7.33	757.66	738.74
7	4870	596.17	608.92	12.75	5.28			0.006748	7.58	501.65	501.65
6	4870	596.46	608.48	12.02	5.56			0.006559	8.37	538.07	538.07
5	4870	591.75	608.76	17.01	4.44	0.87	1.37	0.002358	10.41	296.72	240.84
River Sta	Q. Total	Min Ch El	W.S. Elev	Max Chl Dpth	Vel Chnl	Vel Left	Vel Right	E.G. Slope	Hydr Radius	Shear Chan	Shear Total
	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/m)	(m)	(N/m2)	(N/m2)
8	5800	598.46	610.29	11.82	6.73	0.47		0.009603	7.97	787.16	750.87
7	5800	596.17	610.29	14.12	5.4			0.00605	8.5	504.04	504.04
6	5800	596.46	609.81	13.35	5.76			0.006319	9.06	561.32	561.32
5	5800	591.75	610.07	18.32	4.78	1.02	1.51	0.002425	11.22	334.66	266.88
River Sta	Q. Total	Min Ch El	W.S. Elev	Max Chl Dpth	Vel Chnl	Vel Left	Vel Right	E.G. Slope	Hydr Radius	Shear Chan	Shear Total
	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/m)	(m)	(N/m2)	(N/m2)
8	6590	598.46	611.28	12.82	6.92	0.57		0.009155	8.48	811.3	761.64
7	6590	596.17	611.37	15.2	5.49			0.005645	9.19	508.84	508.84
6	6590	596.46	610.88	14.42	5.89			0.006029	9.71	574.23	574.23
5	6590	591.75	611.11	19.36	5.05	1.14	1.62	0.00247	11.87	364.82	287.52

En esta tabla se han incluido los siguientes parámetros:

- River Sta.* : Número del perfil
- Q. Total* : Caudal analizado
- Min Ch El* : Cota mínima de fondo en cada sección.
- WS Elev* : Cota del eje hidráulico o nivel de aguas.
- Max Chl Dpth* : Altura máxima de aguas en cada sección
- Vel Chnl, left, right*: Velocidades en subsección central, izquierda y derecha.
- EG Slope* : Pendiente del plano de carga J.
- Hydr Radius* : Radio hidráulico sección completa
- Shear Chan* : Esfuerzo de corte en la sección central
- Shear Tot* : Esfuerzo de corte en la sección completa.

En la Figura 4 se muestra un perfil longitudinal del río incluyendo los diversos caudales analizados.

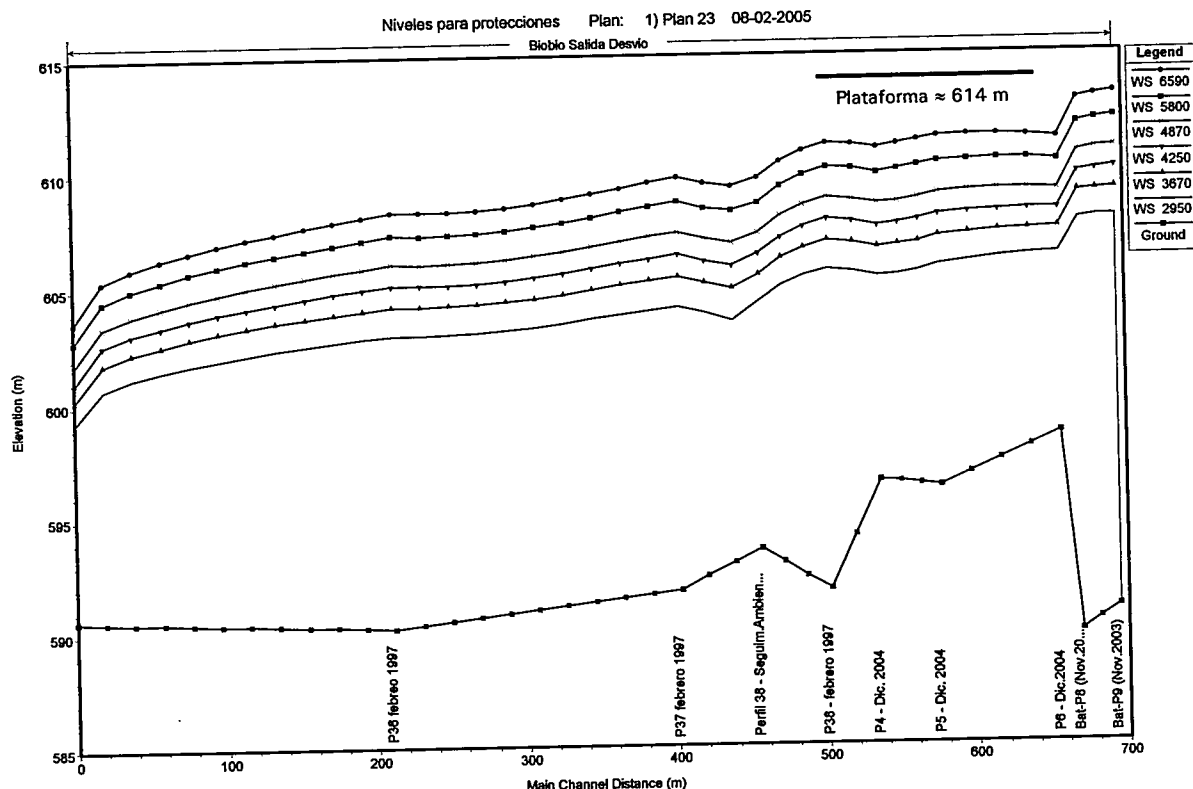


Figura 4. Niveles hidráulicos para diferentes caudales.
 La plataforma se ubica aproximadamente en la flecha indicada.

3.2 DEFINICIÓN DE LA ZONA A PROTEGER.

Aún cuando la plataforma existente frente al DF es de gran magnitud, sólo se requiere proteger una parte de ella, acordándose que en principio la zona a proteger sería la necesaria para permitir el tránsito de camiones hacia el Desagüe de Fondo de la central Ralco y la Caverna de Máquinas de la central Palmucho. El resto de la plataforma, constituida sólo por desechos de las excavaciones, no sería protegida, siendo eventualmente, erosionada por las crecidas del río.

De acuerdo con lo analizado arquitectónicamente se requiere una distancia no menor a 20 m y no mayor a 30 m entre la entrada al acceso a la caverna y el borde de la plataforma para permitir que sólo con un radio de giro puedan acceder los camiones hacia el interior del DF. La magnitud final de esta

plataforma debería oscilar entre estas magnitudes, según los requerimientos de las protecciones.

De acuerdo con los requerimientos de espacio del diámetro definidos en el punto 3.4 y con un perfil tipo de los enrocados, se adoptó finalmente un ancho mínimo de plataforma de 25 m.

3.3 LANZAMIENTO DEL CHORRO DEL SALTO DE ESQUÍ.

Dado que se analizaron caudales de elevada magnitud, ellos deberán ser evacuados a través del vertedero de seguridad de la presa, siendo de interés conocer el punto de impacto de los chorros, pues ello ayudará a definir las trayectorias de los flujos erosivos y con ello mejor definir la ubicación de las protecciones.

Para el cálculo del lanzamiento del chorro se debe conocer el eje hidráulico en el rápido de descarga. Para ello se calculó, mediante el método de la altura potencial, los niveles asociados a un caudal de Tr 1000 años.

Para afinar la determinación de la trayectoria del chorro se calibró el modelo de lanzamiento con un dato real extraído de mediciones realizadas en la central Pangue ($Q=230$ m³/s, L chorro 86 m entre las cotas 430 y 407,5 m). Esta medición permitió calibrar el coeficiente K de resistencia del aire a un valor de 0,85. Dado que ambos vertederos son similares se adoptó este último valor para los cálculos del lanzamiento del vertedero de Ralco.

En base a estos parámetros se determinó la trayectoria del chorro la que fue luego confrontada con los niveles batimétricos para determinar el punto de impacto, resultando la cota 590 m y una distancia de 160 m desde el labio de salida del salto de esquí.

En base a la posición del punto de impacto se determinó luego la socavación total producida, para verificar que la fosa de socavación no llegase a comprometer las laderas a proteger. La cota de socavación obtenida fue de 583 m, no existiendo influencia sobre las laderas a proteger.

3.4 CÁLCULOS DE LOS PESOS DE LOS ENROCADOS.

Como se explicó en el punto 2.1, se analizaron caudales de crecida de períodos de retorno entre 1:20 a 1:1000 años.

El resultado de los modelos descritos en el punto 2, se adjunta en la Tabla N° 3. Dados los elevados valores mostrados por el primer modelo, sólo se consideraron los 2 últimos. Se incluyen en esta tabla los valores asociados a enrocado suelto (Peso total) y a enrocado consolidado (Peso/3) adoptándose un valor medio para las secciones 5,6,7 y 8 considerando un enrocado consolidado.

En las últimas columnas de la tabla se entregan los valores recomendados. Se adoptó un caudal de diseño de 1:1000 años.

Es importante tener presente que estos valores fueron considerando la geometría del cauce a diciembre de 2004. A esta fecha el río mostraba una barra de sedimentos, que fueron depositados ahí por la remoción de los materiales del fondo del río bajo el punto de impacto del chorro del salto de esquí.

Se aprecia la gran dispersión de valores según los métodos considerados y las secciones de cálculo utilizadas.

Ante la gran importancia que reviste la plataforma de acceso a la central se adoptó, en forma conservadora, un peso promedio de los enrocados igual a 1400 kg consolidado, lo que equivale a un enrocado de aproximadamente 1,0 m de diámetro. Este enrocado se ubicó en forma regular frente a la plataforma.

De acuerdo con los niveles mostrados en la Tabla N° 2, los niveles hidráulicos en las secciones 5 a 8 varían entre la cota 610,8 y la 611,4 m aproximadamente. De acuerdo con estos niveles, se adoptó una cota de coronamiento de enrocados a la 613,5 m y una cota máxima de coronamiento de muro perimetral a la 614,30 m. La cota de plataforma junto al muro resultó variable entre la 614,25 a la 613,65 m. De esta manera, la revancha mínima de los niveles de agua máximos con respecto a la plataforma es mayor a 2,0 m.

Se adoptó un talud 1.4:1, valor estable para enrocados consolidados. El talud efectivo resulta ser más tendido pues se agregó una terraza intermedia de 3,0 m, la que también es útil para facilitar la construcción de la protección.

TABLA 3. CÁLCULO DEL PESO DE LOS ENROCADOS PARA DIFERENTES CAUDALES.

Corps of Engineers Cauces sometidos a alta turbulenc (indep.efecto talud)	California Highway - Bank and shore Protection Stream-bank estructuras						Lopardo-Estellé Taludes de enrocados con D mayorado según Isbach									Peso (ton) Promedio	Peso/3 Peso (ton)	Valores adoptados D(m)	
	Talud 1.1:1		Talud 1.5:1		Talud 2:1		Talud 1.1:1			Talud 1.5:1			Talud 2:1			Q = 2950 (1:20)			
D50 (m) Isbach	Peso (ton)	D (m)	Peso (ton)	D (m)	Peso (ton)	D (m)	Peso (ton)	A	D (m)	Peso (ton)	A	D (m)	Peso (ton)	A	D (m)	Peso (ton)			
1.38	3.66	1.20	2.39	0.94	1.16	0.81	0.74	0.84	1.79	7.980	0.90	1.44	4.158	0.94	1.27	2.826	2.7	0.9	APROBADO Res: <u>NA.GX.856/2005</u> Depto. Adm. de Recursos Hídricos DIRECCION GENERAL DE AGUAS
1.02	1.47	0.88	0.96	0.70	0.47	0.60	0.30	0.84	1.02	1.489	0.90	0.82	0.776	0.94	0.72	0.527	0.6	0.2	
1.06	1.64	0.92	1.07	0.72	0.52	0.62	0.33	0.84	1.13	1.978	0.90	0.91	1.031	0.94	0.80	0.701	0.8	0.3	
0.52	0.20	0.45	0.13	0.36	0.06	0.31	0.04	0.84	0.31	0.043	0.90	0.25	0.022	0.94	0.22	0.015	0.0	0.0	
Corps of Engineers Cauces sometidos a alta turbulenc (indep.efecto talud)	California Highway - Bank and shore Protection Stream-bank estructuras						Lopardo-Estellé Taludes de enrocados con U mayorada según Isbach									Peso (ton) Promedio	Peso/3 Peso (ton)	Valores adoptados D(m)	
	Talud 1.1:1		Talud 1.5:1		Talud 2:1		Talud 1.1:1			Talud 1.5:1			Talud 2:1			Q = 3670 (1:50)			
D50 (m) Isbach	Peso (ton)	D (m)	Peso (ton)	D (m)	Peso (ton)	D (m)	Peso (ton)	A	D (m)	Peso (ton)	A	D (m)	Peso (ton)	A	D (m)	Peso (ton)			
1.54	5.07	1.34	3.31	1.05	1.61	0.90	1.03	0.84	1.98	10.719	0.90	1.59	5.585	0.94	1.40	3.796	3.6	1.2	
1.09	1.78	0.94	1.16	0.74	0.56	0.64	0.36	0.84	1.06	1.657	0.90	0.85	0.863	0.94	0.75	0.587	0.7	0.2	
1.15	2.12	1.00	1.39	0.79	0.67	0.68	0.43	0.84	1.20	2.387	0.90	0.96	1.244	0.94	0.85	0.845	1.0	0.3	
0.64	0.36	0.55	0.24	0.44	0.11	0.38	0.07	0.84	0.40	0.092	0.90	0.33	0.048	0.94	0.29	0.033	0.1	0.0	
Corps of Engineers Cauces sometidos a alta turbulenc (indep.efecto talud)	California Highway - Bank and shore Protection Stream-bank estructuras						Lopardo-Estellé Taludes de enrocados con U mayorada según Isbach									Peso (ton) Promedio	Peso/3 Peso (ton)	Valores adoptados D(m)	
	Talud 1.1:1		Talud 1.5:1		Talud 2:1		Talud 1.1:1			Talud 1.5:1			Talud 2:1			Q = 4250 (1:100)			
D50 (m) Isbach	Peso (ton)	D (m)	Peso (ton)	D (m)	Peso (ton)	D (m)	Peso (ton)	A	D (m)	Peso (ton)	A	D (m)	Peso (ton)	A	D (m)	Peso (ton)			
1.65	6.28	1.43	4.10	1.13	1.99	0.97	1.27	0.84	2.10	12.918	0.90	1.69	6.730	0.94	1.49	4.575	4.4	1.5	
1.13	2.00	0.98	1.31	0.77	0.63	0.66	0.41	0.84	1.08	1.744	0.90	0.87	0.909	0.94	0.76	0.618	0.8	0.3	
1.22	2.54	1.06	1.66	0.83	0.80	0.72	0.51	0.84	1.25	2.738	0.90	1.01	1.426	0.94	0.89	0.970	1.1	0.4	
0.73	0.54	0.63	0.35	0.50	0.17	0.43	0.11	0.84	0.48	0.154	0.90	0.39	0.080	0.94	0.34	0.054	0.1	0.0	
Corps of Engineers Cauces sometidos a alta turbulenc (indep.efecto talud)	California Highway - Bank and shore Protection Stream-bank estructuras						Lopardo-Estellé Taludes de enrocados con U mayorada según Isbach									Peso (ton) Promedio	Peso/3 Peso (ton)	Valores adoptados D(m)	
	Talud 1.1:1		Talud 1.5:1		Talud 2:1		Talud 1.1:1			Talud 1.5:1			Talud 2:1			Q = 4870 (1:200)			
D50 (m) Isbach	Peso (ton)	D (m)	Peso (ton)	D (m)	Peso (ton)	D (m)	Peso (ton)	A	D (m)	Peso (ton)	A	D (m)	Peso (ton)	A	D (m)	Peso (ton)			
1.76	7.51	1.52	4.90	1.20	2.38	1.03	1.52	0.84	2.20	14.869	0.90	1.77	7.747	0.94	1.56	5.266	5.1	1.7	
1.17	2.20	1.01	1.43	0.79	0.70	0.68	0.44	0.84	1.09	1.779	0.90	0.87	0.927	0.94	0.77	0.630	0.8	0.3	
1.29	3.00	1.12	1.95	0.88	0.95	0.76	0.61	0.84	1.31	3.095	0.90	1.05	1.612	0.94	0.92	1.096	1.3	0.4	
0.82	0.78	0.71	0.51	0.56	0.25	0.48	0.16	0.84	0.56	0.243	0.90	0.45	0.126	0.94	0.40	0.086	0.2	0.1	
Corps of Engineers Cauces sometidos a alta turbulenc (indep.efecto talud)	California Highway - Bank and shore Protection Stream-bank estructuras						Lopardo-Estellé Taludes de enrocados con U mayorada según Isbach									Peso (ton) Promedio	Peso/3 Peso (ton)	Valores adoptados D(m)	
	Talud 1.1:1		Talud 1.5:1		Talud 2:1		Talud 1.1:1			Talud 1.5:1			Talud 2:1			Q = 5800 (1:500)			
D50 (m) Isbach	Peso (ton)	D (m)	Peso (ton)	D (m)	Peso (ton)	D (m)	Peso (ton)	A	D (m)	Peso (ton)	A	D (m)	Peso (ton)	A	D (m)	Peso (ton)			
1.89	9.42	1.64	6.15	1.29	2.98	1.11	1.91	0.84	2.34	17.702	0.90	1.88	9.223	0.94	1.65	6.269	6.1	2.0	
1.22	2.51	1.06	1.64	0.83	0.80	0.72	0.51	0.84	1.10	1.869	0.90	0.89	0.974	0.94	0.78	0.662	0.9	0.3	
1.39	3.70	1.20	2.42	0.95	1.17	0.81	0.75	0.84	1.38	3.634	0.90	1.11	1.893	0.94	0.98	1.287	1.5	0.5	
0.96	1.21	0.83	0.79	0.65	0.38	0.56	0.24	0.84	0.67	0.422	0.90	0.54	0.220	0.94	0.48	0.149	0.3	0.1	
Corps of Engineers Cauces sometidos a alta turbulenc (indep.efecto talud)	California Highway - Bank and shore Protection Stream-bank estructuras						Lopardo-Estellé Taludes de enrocados con U mayorada según Isbach									Peso (ton) Promedio	Peso/3 Peso (ton)	Valores adoptados D(m)	
	Talud 1.1:1		Talud 1.5:1		Talud 2:1		Talud 1.1:1			Talud 1.5:1			Talud 2:1			Q = 6590 (1:1000)			
D50 (m) Isbach	Peso (ton)	D (m)	Peso (ton)	D (m)	Peso (ton)	D (m)	Peso (ton)	A	D (m)	Peso (ton)	A	D (m)	Peso (ton)	A	D (m)	Peso (ton)			
2.00	11.13	1.74	7.27	1.36	3.53	1.18	2.25	0.84	2.44	20.135	0.90	1.96	10.490	0.94	1.73	7.131	7.0	2.3	1.400 Consolidado 1.00
1.26	2.78	1.09	1.81	0.86	0.88	0.74	0.56	0.84	1.12	1.942	0.90	0.90	1.012	0.94	0.79	0.688	0.9	0.3	1.400 Consolidado 1.00
1.45	4.23	1.26	2.76	0.99	1.34	0.85	0.86	0.84	1.42	3.957	0.90	1.14	2.062	0.94	1.00	1.402	1.7	0.6	1.400 Consolidado 1.00
1.07	1.68	0.92	1.10	0.73	0.53	0.63	0.34	0.84	0.77	0.637	0.90	0.62	0.332	0.94	0.55	0.226	0.4	0.1	1.400 Consolidado 1.00

En la Figura 5, se muestra un corte típico de la solución.

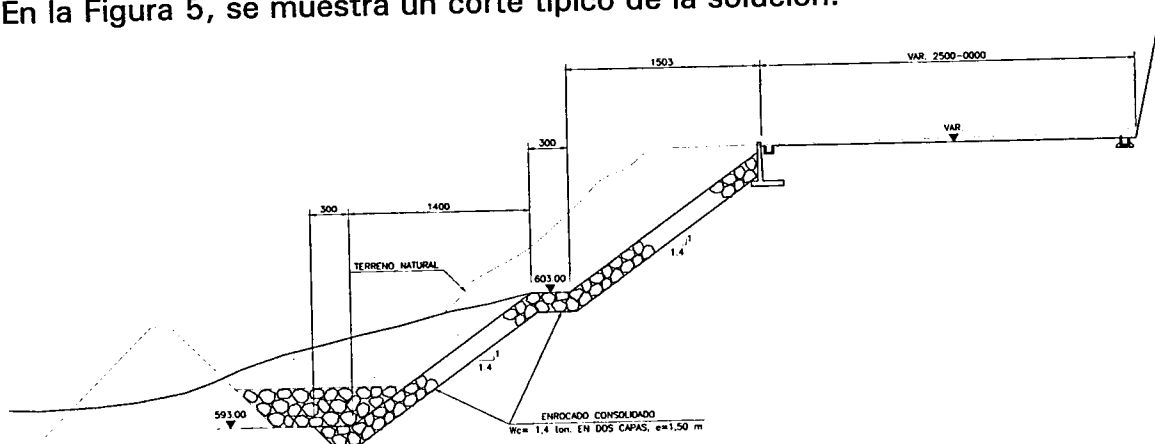


Figura 5. Sección tipo de la doble capa de enrocados para proteger la ribera derecha del río Biobío

Se deberán considerar 2 capas y su colocación deberá hacerse de acuerdo con el ítem de "Protecciones Hidráulicas" incluidos en la Especificaciones Técnicas del Contrato CPL-20. En el Anexo 1 se incluyen los planos de proyecto con mayores detalles respecto a las obras exteriores de la central.

3.5 VARIACIÓN DE LOS PESOS DE LOS ENROCADOS CONSIDERANDO LA POSIBLE EXTRACCIÓN DE LA BARRA.

La generación de la central Palmucho considera aprovechar la caída existente entre el embalse y la cota de descarga de la central. La cota de descarga de la central se ha definido como la cota de energía existente a la salida de los difusores. La salida de los difusores se encuentra a su vez al inicio del túnel de conexión de Palmucho al túnel de desvío de la Central Ralco.

El túnel de desvío de la central Ralco se encuentra ahogado por las cotas que le impone el río Biobío, las que a su vez son función de la condición impuesta por la cota de salida de la poza existente sobre la fosa de socavación del río (en los planos de proyecto se puede apreciar la geometría de esta zona).

De acuerdo con lo explicado, la altura de caída de la central será necesariamente función de la cota de la barra del río la que varía en forma permanente según sea la magnitud de los caudales vertidos y el tiempo que el chorro del salto de esquí impactará al lecho. A la fecha de edición de esta memoria sólo se han evacuado caudales menores, previéndose que en el futuro

APROBADO

se evacuen caudales mucho mayores que incrementarán la magnitud de la fosa y con ello modificarán el tamaño y forma de la barra.

Así, si en el futuro se decide ganar altura de caída, puede extraerse parte o la totalidad de la barra con el objeto de deprimir los niveles del río y con ellos las cotas de energía en la restitución. Esta ganancia estará limitada por la eventual condición de crisis que puede producirse en la boca de salida del túnel de desvío de la central Ralco.

A raíz de lo anterior, se modeló que influencia podría tener sobre los enrocados el extraer la barra, adoptándose en forma arbitraria una cota tentativa igual a la 594,0 m (la barra actual se encuentra entre las cotas 596 y 598 m). Para ello se cortaron los perfiles ubicados en la barra a dicha cota. En la Figura 6 se muestran comparativamente los resultados obtenidos.

No se observan variaciones importantes entre los niveles para ambos casos. Esto es esperable por cuanto proporcionalmente la barra deja de ser importante cuando las secciones de escurrimiento crecen a las magnitudes que requieren los grandes caudales calculados. No sucede lo mismo con caudales pequeños como el caudal normal de generación de 27,1 m³/s. En ese caso si se aprecian diferencias importantes.

En todo caso, la construcción de Palmucho no considera como prioritaria la extracción inmediata de la barra, por lo que los niveles válidos para la definición de enrocados son los asociados a la situación "con barra".

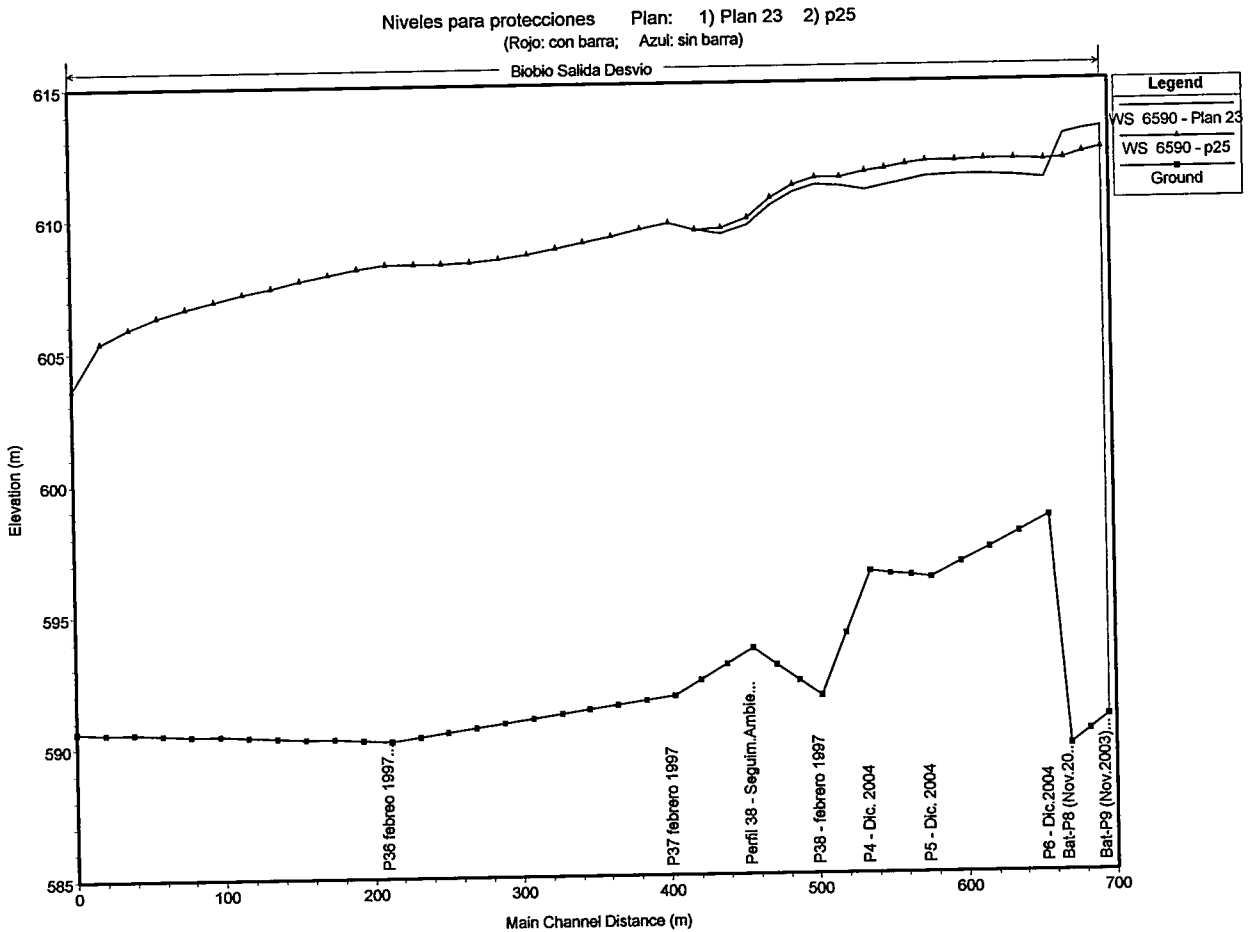


Figura 6. Influencia de la barra de sedimentos en los niveles hidráulicos.

3.6 VARIACIÓN DE LOS NIVELES CONSIDERANDO LA FORMA FINAL ADOPTADA POR LOS ENROCADOS.

Dado que los niveles hidráulicos fueron realizados en base a perfiles batimétricos del cauce actual del río, sin considerar los enrocados, fue necesario revisar los niveles hidráulicos que podrían obtenerse al correr el modelo hidráulico considerando la nueva geometría impuesta por la construcción de las protecciones.

Para ellos se modificó la geometría de cálculo y se ajustaron los coeficientes de rugosidad asociados a las zonas con enrocados. En la Figura 7 se muestran comparativamente los resultados obtenidos.

APROBADO

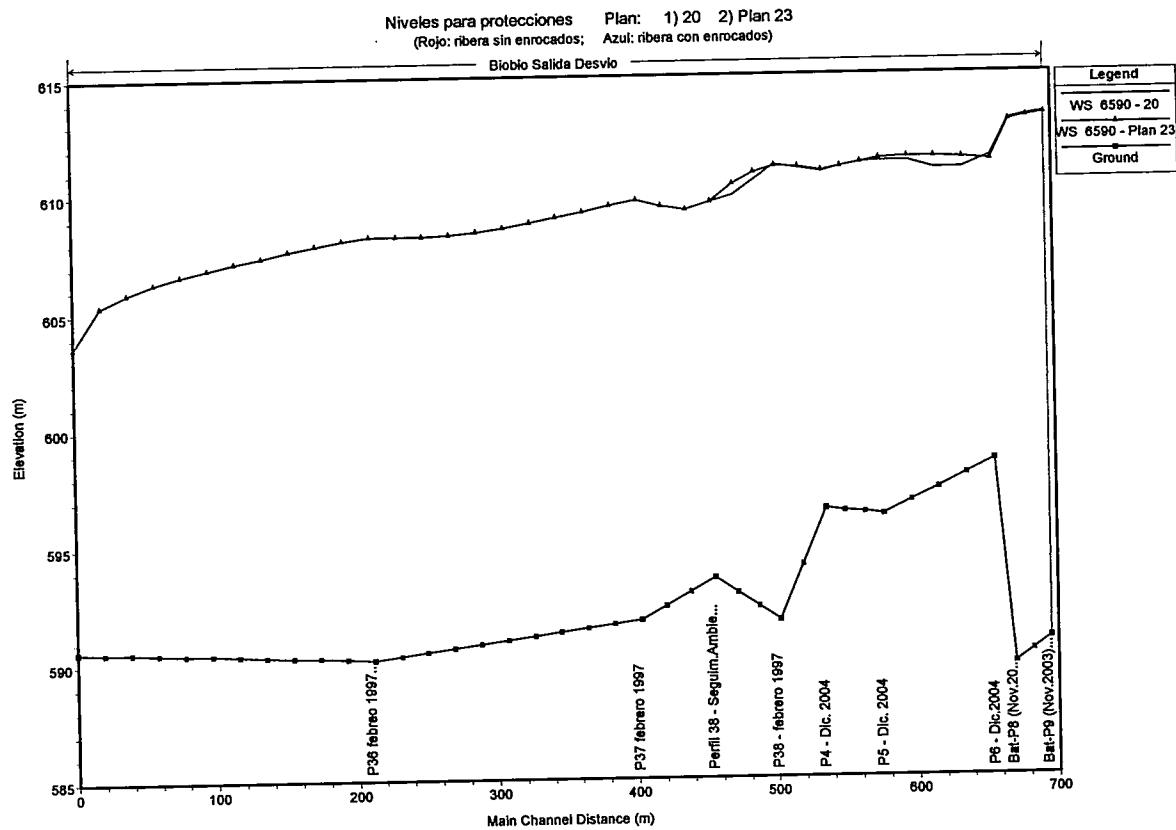


Figura 7. Variación de niveles considerando el lecho actual y la geometría que se tendrá al implementar los enrocados de protección (con color rojo la ribera sin enrocados y con azul la ribera con enrocados)

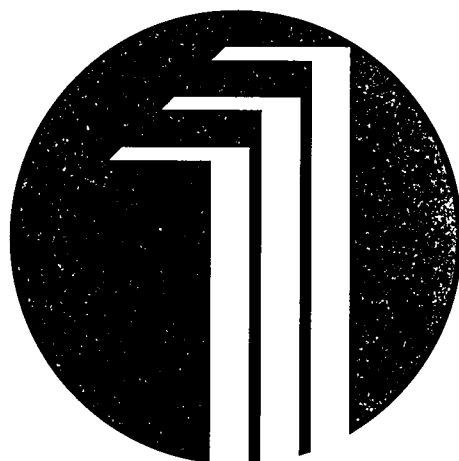
De acuerdo a lo observado en la Figura 7, la incorporación de los enrocados peralta los niveles hidráulicos, pero en forma muy menor no requiriéndose ajustar las cotas de ellos. Esta comparación ha sido realizada suponiendo la mantención de la barra actual de sedimentos.

APROBADO

CENTRO DE INFORMACION DE RECURSOS HIDRICOS



3 5617 00006 6233



EMPRESA DE INGENIERIA INGENDESA S.A.

SANTA ROSA N° 76
FONO: (56-2) 630 8000
FAX: (56-2) 635 4070
Santiago - CHILE