

INDICE

I.	INTRODUCCIÓN.	A6.4
II.	VIALIDAD: SANEMAIENTO DE CAMINOS (AGUAS LLUVIAS).....	A6.4
II.1.	Camino Curarrehue-Puesco	A6.5
II.2.	Camino Rapel - Polcura.....	A6.10
II.3.	Conclusiones.	A6.15
III.	OBRAS DE EVACUACIÓN DE AGUAS LLUVIAS.	A6.17
IV.	OBRAS HIDRÁULICAS: DEFENSAS FLUVIALES.	A6.24
V.	OBRAS HIDRÁULICAS: OBRAS DE RIEGO (CANALES).....	A6.26
VI.	OBRAS HIDRÁULICAS: EMBALSES.	A6.27
VI.1.	Obras de Presa.	A6.27
VI.2.	Obras de Vertedero.	A6.28
VI.3.	Obras de Desvío.....	A6.28

I. INTRODUCCIÓN.

Este anexo muestra como se han obtenido las relaciones entre costos de inversión en infraestructura, en función del cambio en las variables hidrométricas de interés de las cuales dependen. Estas relaciones han sido capturadas mediante el cálculo de algunas elasticidades con el fin de ser utilizadas en las estimaciones de beneficios por mejoras en la calidad estadísticas de las mediciones de la Red Hidrométrica Nacional (RHN).

II. VIALIDAD: SANEAMIENTO DE CAMINOS (AGUAS LLUVIAS).

En los caminos no sólo es de importancia el diseño del pavimento, sino que también es relevante el diseño de obras de drenaje y saneamiento que permitan evacuar las aguas lluvia y/o permitir el paso de cauces naturales que puedan atravesarlo (desde acequias a ríos). Es así como el Manual de Carreteras de la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas, en su volumen 3, dedica el Capítulo 3.700: Diseño del Drenaje, Saneamiento, Mecánica e Hidráulica Fluvial a este tema, entregando técnicas para el cálculo de los “Caudales de Diseño” utilizados en la determinación de las obras de saneamiento del camino.

Los caudales de diseño resultan del análisis preliminar del régimen de lluvias del sector en donde se emplaza la obra, específicamente se considera la serie histórica de precipitación máxima anual en 24 horas¹. Obtenidos los caudales, éstos definen el tamaño y costo de tubos, cajones, foso, contrafoso, etc., utilizados en el drenaje del camino.

La forma como se determinó la variación de costos en función de la variación de caudales asocia la variación en costo con la variación en la geometría de las obras². Para ello se han considerado que existen únicamente obras de sección circular y rectangular y como estas secciones cambian en la medida que se aumenta el caudal en 10%. Las obras de sección circular aumentan en un 4,9% y las obras de sección rectangular, dependiendo de la longitud de la base y altura,

¹ El detalle en extenso de la obtención de los caudales de diseño se encuentra en Dirección de Vialidad, Manual de Carreteras, Volumen 3, Capítulo 3700, Sección 3702 Hidrología.

² La variación β en sección de una obra de sección circular, medida en términos porcentuales, está definida por la siguiente expresión: $\beta=(1+\alpha)^{1/2}-1$, en donde α es la variación porcentual del caudal. La misma relación para una obra de sección rectangular está dada por la expresión: $\beta=(\alpha*B)/(2*H+B)$, donde B y H corresponden a la base y altura respectivamente.

oscilan entre 2% y 4%³. A modo de simplificación se utilizó un valor de 3% para este último caso.

Luego, se clasifican los ítems de costos asociados a cada una de estas variaciones de sección y se recalcula el costo total del proyecto vial. La variación de costos en términos porcentuales sería el indicativo de un cambio en los costos al producirse un aumento en el caudal de diseño de un 10%.

En lo particular se analizaron dos caminos, uno a nivel cordillerano y el otro en la zona costera, de forma tal de observar diferencias entre ellos. Del examen de estos resultados se obtiene finalmente un valor único de la variación de costos de inversión en pavimentos en función de la variación del caudal de diseño.

II.1. Camino Curarrehue-Puesco

El análisis presentado en esta sección se ha realizado sobre los antecedentes correspondientes al proyecto de “Mejoramiento del Camino Regional Principal, Clase B, Cruce Longitudinal (Freire) -Villarrica-Paso Mamuil Malal, Rol 199-CH y Código 69B199 de la Dirección de Vialidad”⁴.

El siguiente cuadro muestra el presupuesto de gastos que arrojó el estudio de ingeniería de detalle del camino Curarrehue-Puesco. Como se aprecia, 887 millones de pesos corresponden al ítem “5600 Drenaje y Protección de la Plataforma”, equivalente a 21,8% del total del Proyecto Vial⁵, el que depende directamente de los caudales de diseño.

³ Se consideraron 3 tipos de secciones: [2,0m x 1,0m] – [2,0m x 1,5m] – [1,5m x 1,5m]. Las secciones cuadradas son un caso especial en donde B=H, y por tanto $\beta=\alpha^{*1/3}$.

⁴ Los detalles del proyecto se encuentran en Dirección de Vialidad, “Estudio de Ingeniería Mejoramiento Ruta 199-CH Curarrehue-Paso Mamuil Malal Sector Curarrehue – Puesco”

⁵ Se incluye solamente el costo del Proyecto Vial sin incluir IVA.

Cuadro N°1. Presupuesto de Gastos Camino Curarrehue-Puesco.

ITEM	DESIGNACION	PRECIO (\$)	%
5100	PREPARACION DEL AREA DE TRABAJO	59.776.896	1,48%
5200	MOVIMIENTO DE TIERRAS	1.463.950.708	36,34%
5300	CAPAS GRANULARES	514.455.642	12,77%
5400	REVESTIMIENTO Y PAVIMENTOS	468.687.514	11,63%
5500	ESTRUCTURAS Y OBRAS CONEXAS	381.484.547	9,47%
5600	DRENAJE Y PROTECCION DE LA PLATAFORMA	877.336.695	21,78%
5700	ELEMENTOS DE CONTROL Y SEGURIDAD	262.451.367	6,51%
5900	CONSERVACION	488.376	0,01%
	PROYECTO VIAL	4.028.631.745	100,00%

Fuente: Dirección de Vialidad, "Estudio de Ingeniería Mejoramiento Ruta 199-CH Curarrehue-Paso Mamuil Malal Sector Curarrehue – Puesco".

Un detalle del costo asociado a las obras de drenaje se muestra en el cuadro que sigue, distinguiéndose en él los ítems consistentes en tubos, cunetas y revestimientos de fosos y contrafosos.

Cuadro N°2. Presupuesto de Gastos en Drenaje y Protección de Plataformas Camino Curarrehue-Puesco

ITEM	DESIGNACION	PRECIO (\$)	%
601-2.A	Tubos de base plana de alta resistencia $\phi=0,80$ m	27.841.168	3,17%
601-2.B	Tubos de base plana de alta resistencia $\phi=1,00$ m	43.638.597	4,97%
601-2.C	Tubos de base plana de alta resistencia $\phi=1,20$ m	16.724.775	1,91%
602-1.A	Tubos circulares de metal corrugado $\phi=1,00$ m	9.325.800	1,06%
602-1.B	Tubos circulares de metal corrugado $\phi=1,50$ m	3.563.298	0,41%
604-2	Construcción de subdrenes	35.120.730	4,00%
605-1	Embudos para descargas de agua	13.379.100	1,52%
605-2.A	Descargas de agua en tubos corrugados media caña, $\phi=0,60$ m	26.601.120	3,03%
605-2.B	Descargas de agua en tubos corrugados media caña, $\phi=1,00$ m	4.922.075	0,56%
607-1	Soleras tipo "A"	1.209.120	0,14%
607-5	Soleras tipo "C" enterradas	6.473.844	0,74%
608-1	Soleras con zarpa de hormigón	2.696.160	0,31%
609-1	Cunetas de hormigón	152.237.800	17,35%
609-2	Cunetas de hormigón en banquetas de cortes	1.720.501	0,20%
610-1	Cunetas de hormigón, tipo badén	14.103.396	1,61%
612-1	Mallas para control de desprendimientos de taludes	24.955.600	2,84%
612-2	Rejas para contención de derrumbes	40.152.320	4,58%
613-2	Construcción de contrafosos a revestir con hormigón	14.711.728	1,68%
613-3	Construcción de canales y fosos con cotas de fondo preestablecidas	59.044.956	6,73%
614-1	Revestimiento de fosos y contrafosos	210.778.208	24,02%
616-2	Revegetación de taludes de corte con malla sombreadera y siembra de semillas	168.136.399	19,16%
	TOTAL	877.336.695	100,00%

Fuente: Dirección de Vialidad, "Estudio de Ingeniería Mejoramiento Ruta 199-CH Curarrehue-Paso Mamuil Malal Sector Curarrehue – Puesco".

Otro ítem que considera obras que dependen del caudal de diseño son las incluidas en “5500 Estructuras y Obras Conexas”, cuyo detalle se muestra en el cuadro que sigue.

Cuadro N°3. Presupuesto de Gastos en Estructuras y Obras Conexas Camino Curarrehue-Puesco

ITEM	DESIGNACION	PRECIO (\$)	%
501-1	HORMIGON GRADO H-5	5.427.480	1,42%
501-4	HORMIGON GRADO H-20	55.965.480	14,67%
501-6	HORMIGON GRADO H-30	228.476.130	59,89%
503-1	ACERO PARA ARMADURAS GRADO A63 - 42H	91.615.457	24,02%
	TOTAL	381.484.547	100,00%

Fuente: Dirección de Vialidad, “Estudio de Ingeniería Mejoramiento Ruta 199-CH Curarrehue-Paso Mamuil Malal Sector Curarrehue – Puesco”.

Estos ítems están determinados en general por la cantidad de obras de drenaje, las cuales a su vez quedan definidas por el caudal de diseño.

La clasificación de ítems por tipo de sección se presenta en el cuadro que sigue junto con los respectivos costos y según el porcentaje de aumento que aplica.

Cuadro N°4. Revalorización Gastos Afectados por Caudal.

ITEM	DESIGNACION	PRECIO (\$)	Tipo Sección	% Aumento	PRECIO FINAL (\$)
5600	DRENAJE Y PROTECCION DE LA PLATAFORMA				
601-2.A	Tubos de base plana de alta resistencia $\phi=0,80$ m	27.841.168	Circular	4,9%	29.205.385
601-2.B	Tubos de base plana de alta resistencia $\phi=1,00$ m	43.638.597	Circular	4,9%	45.776.888
601-2.C	Tubos de base plana de alta resistencia $\phi=1,20$ m	16.724.775	Circular	4,9%	17.544.289
602-1.A	Tubos circulares de metal corrugado $\phi=1,00$ m	9.325.800	Circular	4,9%	9.782.764
602-1.B	Tubos circulares de metal corrugado $\phi=1,50$ m	3.563.298	Circular	4,9%	3.737.900
604-2	Construcción de subdrenes	35.120.730	No Aplica	0,0%	35.120.730
605-1	Embudos para descargas de agua	13.379.100	No Aplica	0,0%	13.379.100
605-2.A	Descargas de agua en tubos corrugados media caña, $\phi=0,60$ m	26.601.120	Circular	2,4%	27.252.847
605-2.B	Descargas de agua en tubos corrugados media caña, $\phi=1,00$ m	4.922.075	Circular	2,4%	5.042.666
607-1	Soleras tipo "A"	1.209.120	No Aplica	0,0%	1.209.120
607-5	Soleras tipo "C" enterradas	6.473.844	No Aplica	0,0%	6.473.844
608-1	Soleras con zarpa de hormigón	2.696.160	No Aplica	0,0%	2.696.160
609-1	Cunetas de hormigón	152.237.800	Rectangular	3,0%	156.804.934
609-2	Cunetas de hormigón en banquetas de cortes	1.720.501	Rectangular	3,0%	1.772.116
610-1	Cunetas de hormigón, tipo badén	14.103.396	Rectangular	3,0%	14.526.498
612-1	Mallas para control de desprendimientos de taludes	24.955.600	No Aplica	0,0%	24.955.600
612-2	Rejas para contención de derrumbes	40.152.320	No Aplica	0,0%	40.152.320
613-2	Construcción de contrafosos a revestir con hormigón	14.711.728	Rectangular	3,0%	15.153.080
613-3	Construcción de canales y fosos con cotas de fondo preestablecidas	59.044.956	Rectangular	3,0%	60.816.305
614-1	Revestimiento de fosos y contrafosos	210.778.208	Rectangular	3,0%	217.101.554
616-2	Revegetación de taludes de corte con malla sombreadera y siembra de semillas	168.136.399	No Aplica	0,0%	168.136.399
	TOTAL	877.336.695			896.640.499
5500	ESTRUCTURAS Y OBRAS CONEXAS				
501-1	HORMIGON GRADO H-5				
	Obras asociadas a sección rectangular	3.799.236	Rectangular	3,0%	3.920.201
	Otros	1.628.244	No Aplica	0,0%	1.621.460
501-4	HORMIGON GRADO H-20				0
	Obras asociadas a sección circular	5.596.5480	Circular	4,9%	459.885
	Otros	0	No Aplica	0,0%	55.527.077
501-6	HORMIGON GRADO H-30				0
	Obras asociadas a sección rectangular	118.724.126	Rectangular	3,00%	122.285.850
	Obras asociadas a sección circular	52.163.500	Circular	4,90%	54.719.512
	Otros	57.588.504	No Aplica	0,00%	57.588.504
503-1	ACERO PARA ARMADURAS GRADO A63 - 42H	91.615.457			91.615.457
	TOTAL	381.484.547			390.458.568

Fuente: Elaboración Propia.

El valor total del proyecto vial con las nuevas condiciones se presenta en el cuadro siguiente.

Cuadro N°5. Revalorización Proyecto Vial.

ITEM	DESIGNACION	PRECIO (\$)	PRECIO FINAL (\$)	%
5100	PREPARACION DEL AREA DE TRABAJO	59.776.896	59.776.896	0,00%
5200	MOVIMIENTO DE TIERRAS	1.463.950.708	1.463.950.708	0,00%
5300	CAPAS GRANULARES	514.455.642	514.455.642	0,00%
5400	REVESTIMIENTO Y PAVIMENTOS	468.687.514	468.687.514	0,00%
5500	ESTRUCTURAS Y OBRAS CONEXAS	381.484.547	390.458.568	2,35%
5600	DRENAJE Y PROTECCION DE LA PLATAFORMA	877.336.695	896.640.499	2,20%
5700	ELEMENTOS DE CONTROL Y SEGURIDAD	262.451.367	262.451.367	0,00%
5900	CONSERVACION	488.376	488.376	0,00%
	PROYECTO VIAL	4.028.631.745	4.056.909.570	0,70%

Fuente: Elaboración Propia.

La variación en costo es igual a 28 millones de pesos, equivalente a un 0,70% del total del proyecto vial. Si sólo se toma en cuenta los ítems que cambiaron de valor, esto es el ítem 5500 y el ítem 5600 (1.259 a 1.287 millones de pesos), la variación porcentual corresponde a 2,25%. El cociente entre 2,25%, cambio en costos, y 10%, cambio del caudal que provocó el cambio de costos, es igual a 0,225 (elasticidad costo-caudal), lo que implica que cada vez que el caudal se vea modificado en un 1%, el costo asociado a los ítems del proyecto vial afectados por el caudal, se verán modificados en un 0,225%.

II.2. Camino Rapel - Polcura.

El análisis presentado en esta sección se ha realizado sobre los antecedentes correspondientes al “Estudio de Ingeniería Construcción y Mejoramiento Camino Costero, Sector Santo Domingo – Pichilemu, Regiones V y VI”, Tramo Río Rapel – Polcura⁶.

⁶ Los detalles del proyecto se encuentran en Dirección de Vialidad, “Estudio de Ingeniería Construcción y Mejoramiento Camino Costero, Sector Santo Domingo – Pichilemu, Regiones V y VI”.

El siguiente cuadro muestra el presupuesto de gastos que arrojó el estudio de del camino Río Rapel - Polcura. Como se aprecia, 1.170 millones de pesos corresponden al ítem “5600 Drenaje y Protección de la Plataforma”, equivalente a 8,56% del total del Proyecto Vial⁷, el que dependen directamente de los caudales de diseño.

Cuadro N°6. Presupuesto de Gastos Camino Río Rapel-Polcura.

ITEM	DESIGNACION	PRECIO (\$)	%
5100	PREPARACION DEL AREA DE TRABAJO	35.828.384	0,26%
5200	MOVIMIENTO DE TIERRAS	10.158.885.996	74,33%
5300	CAPAS GRANULARES	676.854.388	4,95%
5400	REVESTIMIENTO Y PAVIMENTOS	429.101.134	3,14%
5500	ESTRUCTURAS Y OBRAS CONEXAS	843.570.852	6,17%
5600	DRENAJE Y PROTECCION DE LA PLATAFORMA	1.170.651.312	8,56%
5700	ELEMENTOS DE CONTROL Y SEGURIDAD	353.131.503	2,58%
	PROYECTO VIAL	13.668.023.569	100,00%

Fuente: Dirección de Vialidad, “Estudio de Ingeniería Construcción y Mejoramiento Camino Costero, Sector Santo Domingo – Pichilemu, Regiones V y VI”, Fase 4.3.a “Proyecto Definitivo con Estacado Total en Sectores con Anteproyecto”, Tramo Río Rapel – Polcura.

Un detalle del costo asociado a las obras de drenaje se muestra en el cuadro que sigue, distinguiéndose en él los ítems consistentes en tubos, cunetas y revestimientos de fosos y contrafosos.

VI”, Fase 4.3.a “Proyecto Definitivo con Estacado Total en Sectores con Anteproyecto”, Tramo Río Rapel – Polcura.

⁷ Se incluye solamente el costo del Proyecto Vial sin incluir IVA.

Cuadro N°7. Presupuesto de Gastos en Drenaje y Protección de Plataformas Camino Río Rapel-Polcura

ITEM	DESIGNACION	PRECIO (\$)	%
601-2.A	Tubos de base plana de alta resistencia $\varnothing=0,8\text{m}$	28.476.360	2,43%
601-2.B	Tubos de base plana de alta resistencia $\varnothing=1,0\text{m}$	23.451.120	2,00%
602-1.A	Tubos circulares de metal corrugado $\varnothing=0,40\text{ m}$	2.368.000	0,20%
602-1.B	Tubos circulares de metal corrugado $\varnothing=0,80\text{ m}$	8.352.000	0,71%
602-1.C	Tubos circulares de metal corrugado $\varnothing=1,00\text{ m}$	781.000	0,07%
605-1	Embudos para descargas de agua	17.034.352	1,46%
605-2.A	Descargas de agua en tubos corrugados media caña, $\varnothing=0,40\text{ m}$	140.000	0,01%
605-2.B	Descargas de agua en tubos corrugados media caña, $\varnothing=0,60\text{ m}$	59.641.700	5,09%
605-2.C	Descargas de agua en tubos corrugados media caña, $\varnothing=0,80\text{ m}$	1.800.000	0,15%
605-2.D	Descargas de agua en tubos corrugados media caña, $\varnothing=1,00\text{ m}$	4.665.600	0,40%
607-3	Soleras tipo "c"	6.319.620	0,54%
609-1	Cunetas de hormigón	341.033.600	29,13%
611-1	Rejillas para sumideros	718.200	0,06%
612-1	Protección de taludes con siembra controlada	147.000.000	12,56%
613-2	Constr. canales, fosos y contrafosos a revestir con hormigón	37.437.120	3,20%
613-3	Construcción de fosos con cotas de fondo preestablecidas	38.338.560	3,27%
614-1	Revestimiento de fosos	170.115.560	14,53%
615-1	Vertederos tipo I para el control de cárcavas	256.585.120	21,92%
615-2	Vertederos tipo II para el control de cárcavas	26.393.400	2,25%
	TOTAL	1.170.651.312	100,00%

Fuente: Dirección de Vialidad, "Estudio de Ingeniería Construcción y Mejoramiento Camino Costero, Sector Santo Domingo – Pichilemu, Regiones V y VI", Fase 4.3.a "Proyecto Definitivo con Estacado Total en Sectores con Anteproyecto", Tramo Río Rapel – Polcura.

Otro ítem que considera obras que dependen del caudal de diseño son las incluidas en “5500 Estructuras y Obras Conexas”, cuyo detalle se muestra en el cuadro que sigue.

Cuadro N°8. Presupuesto de Gastos en Estructuras y Obras Conexas Camino Río Rapel-Polcura

ITEM	DESIGNACION	PRECIO (\$)	%
501-1.A	HORMIGÓN GRADO H-5	33.691.520	3,99%
501-1.B	HORMIGÓN GRADO H-20	99.286.400	11,77%
501-1.C	HORMIGÓN GRADO H-30	470.718.420	55,80%
503-1	ACERO PARA ARMADURAS GRADO A44 - 28H	211.695.688	25,10%
508-1	REVESTIMIENTO DE MAMPOSTERÍA DE PIEDRA	16.254.184	1,93%
508-3	MAMPOSTERÍA DE PIEDRA EN SECO	11.924.640	1,41%
	TOTAL	843.570.852	100,00%

Fuente: Dirección de Vialidad, “Estudio de Ingeniería Construcción y Mejoramiento Camino Costero, Sector Santo Domingo – Pichilemu, Regiones V y VI”, Fase 4.3.a “Proyecto Definitivo con Estacado Total en Sectores con Anteproyecto”, Tramo Río Rapel – Polcura.

Estos ítems están determinados en general por la cantidad de obras de drenaje, las cuales a su vez quedan definidas por el caudal de diseño.

La clasificación de ítems por tipo de sección se presenta en el cuadro que sigue junto con los respectivos costos y según el porcentaje de aumento que aplica.

Cuadro N°9. Revalorización Gastos Afectados por Caudal.

ITEM	DESIGNACION	PRECIO (\$)	Tipo Sección	% Aumento	PRECIO FINAL (\$)
5600	DRENAJE Y PROTECCION DE LA PLATAFORMA				
601-2.A	Tubos de base plana de alta resistencia $\varnothing=0,8m$	28.476.360	Circular	4,90%	29.871.702
601-2.B	Tubos de base plana de alta resistencia $\varnothing=1,0m$	23.451.120	Circular	4,90%	24.600.225
602-1.A	Tubos circulares de metal corrugado $\varnothing=0,40 m$	2.368.000	Circular	4,90%	2.484.032
602-1.B	Tubos circulares de metal corrugado $\varnothing=0,80 m$	8.352.000	Circular	4,90%	8.761.248
602-1.C	Tubos circulares de metal corrugado $\varnothing=1,00 m$	781.000	Circular	4,90%	819.269
605-1	Embudos para descargas de agua	17.034.352	No Aplica	0,00%	17.034.352
605-2.A	Descargas de agua en tubos corrugados media caña, $\varnothing=0,40 m$	140.000	Circular	2,45%	143.430
605-2.B	Descargas de agua en tubos corrugados media caña, $\varnothing=0,60 m$	59.641.700	Circular	2,45%	61.102.922
605-2.C	Descargas de agua en tubos corrugados media caña, $\varnothing=0,80 m$	1.800.000	Circular	2,45%	1.844.100
605-2.D	Descargas de agua en tubos corrugados media caña, $\varnothing=1,00 m$	4.665.600	No Aplica	2,45%	4.779.907
607-3	Soleras tipo "c"	6.319.620	No Aplica	0,00%	6.319.620
609-1	Cunetas de hormigón	341.033.600	No Aplica	3,00%	351.264.608
611-1	Rejillas para sumideros	718.200	No Aplica	0,00%	718.200
612-1	Protección de taludes con siembra controlada	147.000.000	Rectangular	0,00%	147.000.000
613-2	Constr. canales, fosos y contrafosos a revestir con hormigón	37.437.120	Rectangular	3,00%	38.560.234
613-3	Constr. de fosos con cotas de fondo preestablecidas	38.338.560	No Aplica	3,00%	39.488.717
614-1	Revestimiento de fosos	170.115.560	No Aplica	3,00%	175.219.027
615-1	Vertederos tipo I para el control de cárcavas	256.585.120	Rectangular	0,00%	256.585.120
615-2	Vertederos tipo II para el control de cárcavas	26.393.400	Rectangular	0,00%	26.393.400
	TOTAL	1.170.651.312			1.192.990.112
5500	ESTRUCTURAS Y OBRAS CONEXAS				
501-1.a	Hormigón grado H-5				
	Obras asociadas a sección rectangular	32.325.120		3,00%	33.294.874
	Obras asociadas a sección circular	468.480	Rectangular	4,90%	491.436
	Otros	897.920	No Aplica	0,00%	897.920
501-1.b	Hormigón grado H-20				
	Obras asociadas a sección circular	17.402.100	Circular	4,90%	18.254.803
	Otros	81.884.300	No Aplica	0,00%	81.884.300
501-1.c	Hormigón grado H-30				
	Obras asociadas a sección rectangular	426.760.940	Rectangular	3,00%	439.563.768
	Obras asociadas a sección circular	20.536.120	Circular	4,90%	21.542.390
	Otros	23.421.360	No Aplica	0,00%	23.421.360
503-1	Acero para armaduras grado A44 – 28H	211.695.688			211.695.688
508-1	Revestimiento de mampostería de piedra	16.254.184			16.254.184
508-3	Mampostería de piedra en seco	11.924.640			11.924.640
	TOTAL	843.570.852			859.225.362

Fuente: Elaboración Propia.

El valor total del proyecto vial con las nuevas condiciones se presenta en el cuadro siguiente.

Cuadro N°10. Revalorización Proyecto Vial.

ITEM	DESIGNACION	PRECIO (\$)	PRECIO FINAL (\$)	%
5100	PREPARACION DEL AREA DE TRABAJO	35.828.384	35.828.384	0,00%
5200	MOVIMIENTO DE TIERRAS	10.158.885.996	10.158.885.996	0,00%
5300	CAPAS GRANULARES	676.854.388	676.854.388	0,00%
5400	REVESTIMIENTO Y PAVIMENTOS	429.101.134	429.101.134	0,00%
5500	ESTRUCTURAS Y OBRAS CONEXAS	843.570.852	859.225.362	1,86%
5600	DRENAJE Y PROTECCION DE LA PLATAFORMA	1.170.651.312	1.192.990.112	1,91%
5700	ELEMENTOS DE CONTROL Y SEGURIDAD	353.131.503	353.131.503	0,00%
	PROYECTO VIAL	13.668.023.569	13.706.016.879	0,28%

Fuente: Elaboración Propia.

La variación en costo es igual a 38 millones de pesos, equivalente a un 0,28% del total del proyecto vial. Si sólo se toma en cuenta los ítems que cambiaron de valor, esto es el ítem 5500 y el ítem 5600 (2.014 a 2.052 millones de pesos), la variación porcentual corresponde a 1,89%. El cociente entre 1,89%, cambio en costos, y 10%, cambio del caudal que provocó el cambio de costos, es igual a 0,189 (elasticidad costo-caudal), lo que implica que cada vez que el caudal se vea modificado en un 1%, el costo asociado a los ítems del proyecto vial afectados por el caudal, se verán modificados en un 0,189%.

II.3. Conclusiones.

Los análisis presentados en las secciones anteriores mostraron como encontrar la variación en los costos de diseño de pavimentos en función del agua que hay que “eliminar” de los caminos. Se consideró un aumento de un 10% del caudal de diseño calculando cuales serían los cambios en costos, cuyos resultados se resumen en el siguiente cuadro.

Cuadro N°11. Resumen Variación de Costos de Inversión Pavimentos en Función de un Cambio de un 10% en el Caudal de Diseño.

Tipo de Camino	Δ Costo(Δ 10% Q)	Elasticidad
Camino Cordillerano	0,70%	0,07
Camino Costero	0,28%	0,03
Promedio	0,49%	0,05

Fuente: Elaboración Propia.

En el caso que fuera posible distinguir entre caminos cordilleranos y caminos costeros, sería posible aplicar las elasticidades específicas a cada caso. En ausencia de esta discriminación se considera tomar el valor medio de 0,05.

III. OBRAS DE EVACUACIÓN DE AGUAS LLUVIAS.

El diseño de soluciones de aguas lluvias pasa por el análisis de las precipitaciones máximas anuales que se producen en 24 horas, las que a su vez, junto con la geografía y grado de urbanización, definen los caudales que este tipo de obras deben ser capaces de recolectar.

Las soluciones son de distinta naturaleza, distinguiéndose principalmente colectores y canalizaciones. Los primeros están asociados a la recolección de aguas lluvias en zonas urbanas, y se destacan por ser, en general, conducciones en tuberías de concreto. Los segundos cumplen más bien funciones de transporte hacia cauces receptores de aguas⁸.

La relación entre costos de inversión y caudales⁹, se ha obtenido analizando proyectos concebidos en los estudios de Planes Maestros de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias para distintas ciudades del país que han considerado sensibilización en su tamaño. En particular, se recurrió a proyectos que fueron concebidos en los Planes Maestros de las ciudades de Concepción, Talcahuano, Quillota y San Pedro de la Paz, y que en algunas de las soluciones propuestas analizaron costos para diferentes períodos de retorno, típicamente 2, 5 y 10 años.

El cuadro que sigue muestra un resumen con los proyectos estudiados los que han sido agrupados en 4 categorías¹⁰, que surgen de la inspección gráfica de los datos. Los valores monetarios se han expresado en moneda de octubre de 2006, previo ajuste por IPC.

⁸ También existen obras destinadas a mejorar los cuerpos receptores existentes (ríos o canales).

⁹ Se han utilizado caudales máximos por considerarse representativos del tamaño de las obras que se diseñan.

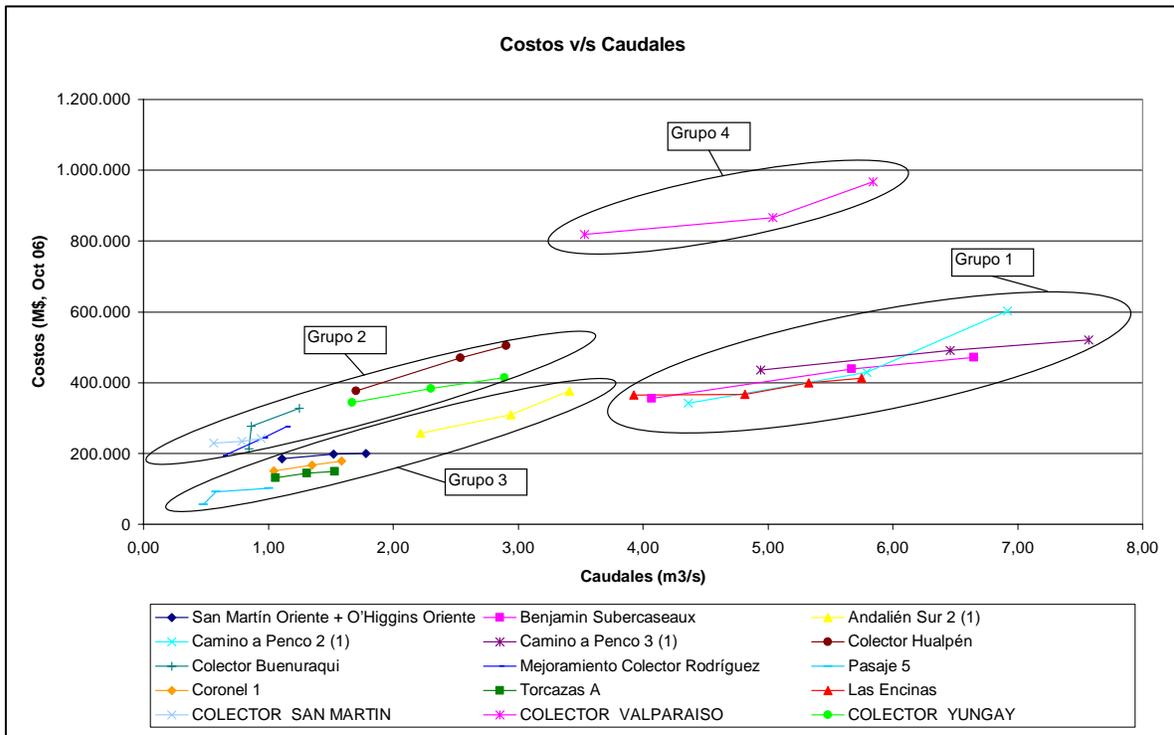
¹⁰ En rigor son 3 grupos, el último está conformado por un solo proyecto.

Cuadro N°12. Costos Colectores Aguas Lluvias v/s Caudales Máximos.

Grupo	Plan Maestro	Obra	Caudal (m ³ /s)	Costo (M\$ Oct-06)
1	Concepción	Benjamín Subercaseaux	4,07	354.926
1	Concepción	Benjamín Subercaseaux	5,67	438.798
1	Concepción	Benjamín Subercaseaux	6,65	472.143
1	Concepción	Camino a Penco 2	4,36	342.588
1	Concepción	Camino a Penco 2	5,79	428.687
1	Concepción	Camino a Penco 2	6,92	601.991
1	Concepción	Camino a Penco 3	4,94	434.998
1	Concepción	Camino a Penco 3	6,46	491.489
1	Concepción	Camino a Penco 3	7,57	520.731
1	San Pedro	Las Encinas	3,93	364.428
1	San Pedro	Las Encinas	4,82	367.232
1	San Pedro	Las Encinas	5,33	399.157
1	San Pedro	Las Encinas	5,75	411.794
2	Talcahuano	Colector Hualpén	1,70	376.129
2	Talcahuano	Colector Hualpén	2,54	469.424
2	Talcahuano	Colector Hualpén	2,90	503.867
2	Talcahuano	Colector Buenuraqui	0,84	212.790
2	Talcahuano	Colector Buenuraqui	0,86	276.514
2	Talcahuano	Colector Buenuraqui	1,25	328.081
2	Talcahuano	Mejoramiento Colector Rodríguez	0,64	192.526
2	Talcahuano	Mejoramiento Colector Rodríguez	0,96	244.736
2	Talcahuano	Mejoramiento Colector Rodríguez	1,14	275.384
2	Quillota	Colector San Martín	0,56	228.780
2	Quillota	Colector San Martín	0,79	233.728
2	Quillota	Colector San Martín	0,94	241.866
2	Quillota	Colector Yungay	1,67	344.155
2	Quillota	Colector Yungay	2,30	382.871
2	Quillota	Colector Yungay	2,89	414.432
3	Concepción	San Martín Oriente + O'Higgins Oriente	1,11	185.547
3	Concepción	San Martín Oriente + O'Higgins Oriente	1,52	198.170
3	Concepción	San Martín Oriente + O'Higgins Oriente	1,78	199.930
3	Concepción	Andalién Sur 2	2,22	256.262
3	Concepción	Andalién Sur 2	2,94	309.813
3	Concepción	Andalién Sur 2	3,41	376.476
3	San Pedro	Pasaje 5	0,48	55.915
3	San Pedro	Pasaje 5	0,58	91.618
3	San Pedro	Pasaje 5	1,00	101.564
3	San Pedro	Coronel 1	1,05	150.300
3	San Pedro	Coronel 1	1,35	166.238
3	San Pedro	Coronel 1	1,59	178.003
3	San Pedro	Torcasas A	1,06	131.190
3	San Pedro	Torcasas A	1,31	144.154
3	San Pedro	Torcasas A	1,53	148.347
4	Quillota	Colector Valparaíso	3,53	817.898
4	Quillota	Colector Valparaíso	5,04	865.846
4	Quillota	Colector Valparaíso	5,84	966.871

Fuente: Elaboración Propia basándose en resultados de los estudios de Planes Maestros de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias de las ciudades de Concepción, Talcahuano, Quillota y San Pedro de la Paz.

Cuadro N°13. Costos Colectores Aguas Lluvias v/s Caudales Máximos.



Fuente: Elaboración Propia.

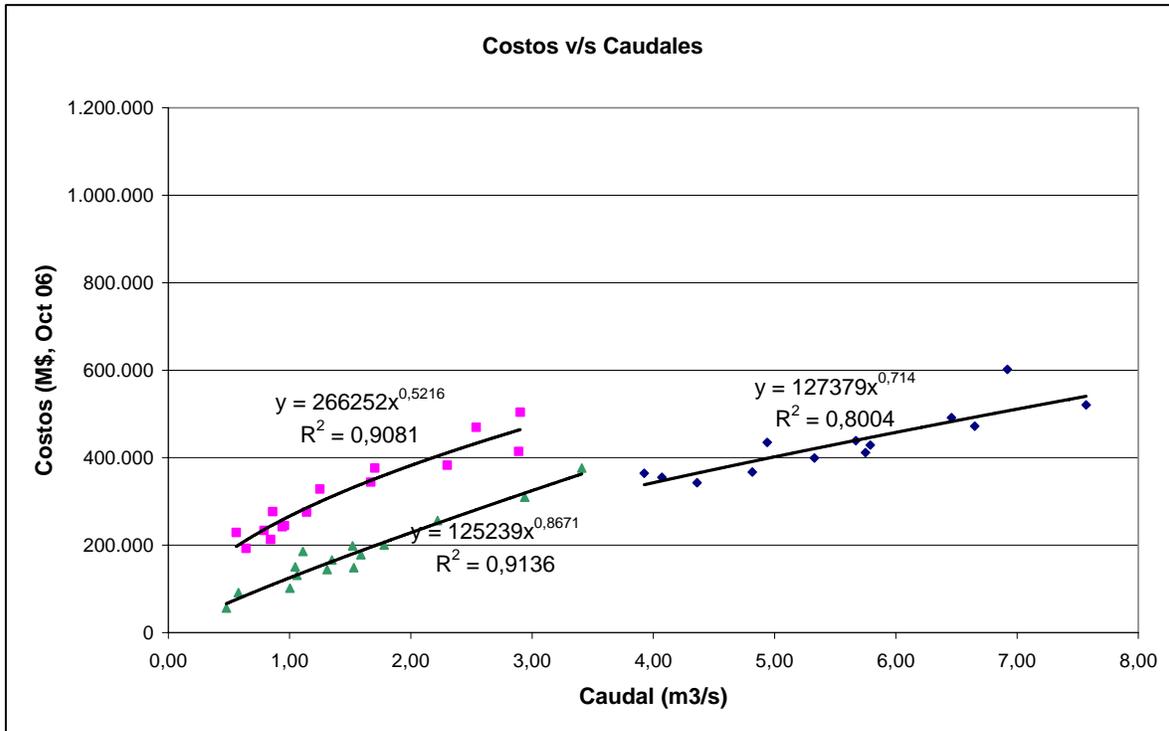
Para cada grupo, a excepción del 4,¹¹ se procedió realizar un ajuste log-log de la forma siguiente:

$$(1) \ln(\text{Costos}) = \alpha + \beta * \ln(\text{Caudal})$$

De esta manera el coeficiente β entrega en forma directa una medida de elasticidad entre la variable inversión y los caudales de diseño.

¹¹ Se excluyó del análisis por contener sólo tres puntos.

Cuadro N°14. Costos Colectores Aguas Lluvias v/s Caudales Máximos. Ajuste Log-Log por Grupo.



Fuente: Elaboración Propia.

El gráfico muestra los ajustes que se realizaron a los datos por grupo¹², cuyos resultados se muestran en el siguiente cuadro resumen.

Cuadro N°15. Elasticidades según Grupo de Proyectos

Grupo	Elasticidad
Grupo 1	0,71
Grupo 2	0,52
Grupo 3	0,87

Fuente: Elaboración Propia.

Se considera adecuado tomar un valor de elasticidad igual a 0,7, cifra del grupo 1, y que se encuentra entre los grupos 2 y 3.

¹² Los ajustes pueden considerarse buenos si se considera que los R^2 son mayores a 0,8.

Esta cifra indica que por cada punto porcentual que se varíen las lluvias de diseño, los costos de inversión se verán modificados en un 0,7%.

Adicionalmente se utilizó la comparación de caudales y costos según el período de retorno del proyecto que analiza Stappung (2000)¹³ para soluciones de aguas lluvias del Plan Maestro del Gran Santiago, y cuyos resultados se presentan en los siguientes cuadros.

Cuadro N°16. FACTOR DE AUMENTO DEL CAUDAL

Período de Retorno	Proyecto							
	Las Vizcachas	Zanjón de la Aguada	Santiago Norte	Gran Avenida	Canal San Carlos Oriente	Puente Alto	Colombia	Grecia-Quilín
2	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
5	1,70	-	1,70	1,34	2,40	1,30	1,40	1,50
10	2,20	1,60	2,30	1,60	3,40	1,50	1,60	1,80
20	2,60	-	2,70	-	4,50	-	-	-
25	-	-	2,80	1,84	-	1,80	1,80	-
50	3,20	2,60	3,40	2,10	6,30	1,97	2,06	-
100	3,70	3,10	-	2,30	8,00	-	2,30	-

Fuente: Stappung Ruff, Carlos Andrés. "Período de Retorno de Diseño de Sistemas de Aguas Lluvias en Chile", 2000, Tabla 9.1.

Cuadro N°17. FACTOR DE AUMENTO DEL COSTO

Período de Retorno	Proyecto							
	Las Vizcachas	Zanjón de la Aguada	Santiago Norte	Gran Avenida	Canal San Carlos Oriente	Puente Alto	Colombia	Grecia-Quilín
2	1,00	1,00	-	1,00	-	1,00	1,00	1,00
5	1,13	-	-	1,40	-	1,15	1,17	1,16
10	1,25	1,26	-	1,70	-	1,23	1,25	1,31
20	1,45	-	-	-	-	-	-	-
25	-	-	-	2,00	-	1,34	1,38	-
50	1,62	1,45	-	2,30	-	1,40	1,46	-
100	-	1,98	-	2,56	-	-	1,55	-

Fuente: Stappung Ruff, Carlos Andrés. "Período de Retorno de Diseño de Sistemas de Aguas Lluvias en Chile", 2000, Tabla 9.2.

¹³ Stappung Ruff, Carlos Andrés. "Período de Retorno de Diseño de Sistemas de Aguas Lluvias en Chile", 2000, publicado en el sitio Web: http://www2.ing.puc.cl/~iing/ed429/periodo_de_retorno_de_diseno_de_.htm.

A partir de las cifras de los cuadros anteriores, es posible construir elasticidades costo-caudales como el cociente entre el factor de aumento de costos y el factor de aumento de caudal, ambos expresados en términos de porcentaje. Estos resultados se muestran a continuación.

Cuadro N°18. Cálculo de Elasticidades

Período de Retorno	Proyecto					
	Las Vizcachas	Zanjón de la Aguada	Gran Avenida	Puente Alto	Colombia	Grecia-Quilín
5	0,1857		1,1765	0,5000	0,4250	0,3200
10	0,2083	0,4333	1,1667	0,4600	0,4167	0,3875
20	0,2813					
25			1,1905	0,4250	0,4750	
50	0,2818	0,2813	1,1818	0,4124	0,4340	
100		0,4667	1,2000		0,4231	
Elasticidad Media	0,2393	0,3938	1,1831	0,4493	0,4347	0,3538
Nota: Valores contruidos como el cociente entre los factores de aumento de costos y el factor de aumento de caudal expresado en términos de porcentaje. Luego la elasticidad se obtiene como: $(\text{Factor Costo} - 1)/(\text{Factor Caudal}-1)$						

Fuente: Elaboración Propia.

Como se aprecia del cuadro, las elasticidades medias de cada uno de los proyectos se encuentran entre 0,24 y 1,18. No obstante, al menos 4 de los 6 proyectos se sitúan entre 0,35 y 0,45.

Cuadro N°19. Elasticidades Medias por Proyecto

Proyecto	Elasticidad Media
Las Vizcachas	0,2393
Zanjón de la Aguada	0,3938
Gran Avenida	1,1831
Puente Alto	0,4493
Colombia	0,4347
Grecia- Quilín	0,3538
Promedio	0,5090

Fuente: Elaboración Propia.

El valor medio de las elasticidades de estos proyectos es de 0,51, lo que significa que un aumento de un 1% en los caudales de diseño, impacta en un 0,51% en los costos de inversión.

Esta cifra es menor al 0,7 que se obtuvo del análisis realizado a proyectos de planes maestros de otras ciudades.

Finalmente, se ha adoptado un valor medio entre ambos resultados lo que se consideraría representativo de los proyectos de aguas lluvias del país. Dicho valor para la elasticidad costo-caudal es de 0,6.

IV. OBRAS HIDRÁULICAS: DEFENSAS FLUVIALES.

El diseño de las obras de defensas fluviales, y por ende sus costos, tiene estrecha relación con los caudales máximos que escurren por las riberas de los cauces que se quieren controlar.

Para encontrar la relación existente entre los costos de inversión y los caudales de diseño de las Defensas Fluviales se recurrió al documento "Evaluación Técnico-Económica de Proyectos de Defensa Fluvial". Análisis de su Aplicabilidad Basado en Dos Casos de Estudio", en el cual se realizó una revisión crítica sobre la metodología de evaluación en proyectos de defensas para los ríos Cachapoal y estero Lampa, presentando entre otras materias, costos de por obras de defensa fluvial para distintos caudales de diseño.

El siguiente cuadro resume los resultados que se publicaron en los estudios antes mencionados.

Cuadro N°20. Costos de Defensas Fluviales según Caudal de Diseño.

Río	Caudal (m3/s)	Costo (MM\$, Jul 87)
Cachapoal	110	422,00
	1600	499,00
	1870	714,00
Lampa	410	164,00
	860	399,00
	1190	447,00

Fuente: Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica, VIII Congreso Nacional, "Evaluación Técnico-Económica de Proyectos de Defensa Fluvial. Análisis de su Aplicabilidad Basado en Dos Casos de Estudio".

Debido a la escasa información se ha procedido a tomar las variaciones de entre valores y calcular de esta manera una elasticidad que resulte representativa a cada situación. Esto se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro N°21. Elasticidad Costo Caudal de Diseño.

Río	Caudal (m3/s)	Costo (MM\$, Jul-87)	$\Delta\%$ Caudal (1)	$\Delta\%$ Costo (2)	Elasticidad (2)/(1)
Cachapoal	110	422,00			
	1600	499,00	1355%	18%	0,01
	1870	714,00	17%	43%	2,55
Lampa	410	164,00			
	860	314,00	110%	91%	0,83
	1190	442,00	38%	41%	1,06

Fuente: Elaboración propia.

De examinar los datos, se desecha el caso de Cachapoal por entregar señales muy diferentes. Tomando como valor representativo lo que ocurre en promedio con las elasticidades del caso Lampa. En consecuencia el valor a utilizar es de 0,9, considerado algo alto. Esto quiere decir que un variación de un 1% en el caudal de diseño produce un 0,9% de variación en los costos de inversión.

V. OBRAS HIDRÁULICAS: OBRAS DE RIEGO (CANALES).

El diseño de las obras de riego, y en consecuencia los costos de inversión, dependen de los caudales que se requiera distribuir. Para encontrar la relación que existe entre caudales de diseño y costos de inversión, medidos en términos de elasticidad, se procedió a utilizar información contenida en el Estudio de Factibilidad del Embalse Punilla. En él se consideran obras de entrega a riego, diseñadas y costeadas para distintos tamaños, según se muestra en el cuadro siguiente.

Cuadro N°22. Costos en Obras de Entrega a Riego v/s Caudales de Diseño – Embalse Punilla.

Caudal m3/s	Costo MM\$ (sep 2000)	Costo Unitario MM\$/(m3/s)	$\Delta\%$ Caudal (1)	$\Delta\%$ Costo (2)	Elasticidad (2)/(1)
76,10	6.026	79,2			
106,58	12.100	113,5	40,05%	100,81%	0,40
137,01	21.813	159,2	28,55%	80,28%	0,36
151,97	26.887	176,9	10,92%	23,26%	0,47
156,15	28.340	181,5	2,75%	5,40%	0,51
Promedio					0,43

Elaboración Propia en base al presupuesto del Embalse Punilla.

En el cuadro se incluyen además los costos unitarios, las variaciones porcentuales al pasar de un tamaño a otro y el cociente entre dichas variaciones como una medida de elasticidad.

Del cuadro se aprecia que la elasticidad promedio es de 0,43. Esto quiere decir que un variación de un 1% en el caudal de diseño produce un 0,43% de variación en los costos de inversión.

VI. OBRAS HIDRÁULICAS: EMBALSES.

El diseño de embalses distingue tres obras importantes: Presa, Vertedero y Obras de Desvío. Cada una de estas obras depende de una variable de diseño que está íntimamente relacionada con las características hidrológicas de la zona en que se emplaza la obra. La Presa se diseña para un cierto volumen de agua embalsado, el vertedero y las obras de desvío para una crecida de cierto caudal (o período de retorno).

En esta sección se encuentra una la relación entre las variables de diseño y costos de inversión, medidos en términos de elasticidad, utilizando información contenida en el Estudio de Factibilidad del Embalse Punilla que contiene información para diferentes tamaños de obra.

VI.1. Obras de Presa.

El cuadro que sigue muestra para diferentes volúmenes de agua embalsada el costo de la presa. Para cada caso se ha calculado la variación porcentual que se produce al pasar de un tamaño en el costo de inversión y en el volumen embalsado. El cociente entre ambas cifras entrega la medida de elasticidad.

Cuadro N°23. Costos en Obras de Presa v/s Volúmenes de Diseño – Embalse Punilla.

Volumen Embalsado MMm3	Costo MM\$ (sep 2000)	Costo Unitario \$/m3	$\Delta\%$ Volumen (1)	$\Delta\%$ Costo (2)	Elasticidad (2)/(1)
232	7.069	30,49			
396	10.090	25,47	70,9%	42,7%	0,60
634	13.543	21,35	60,1%	34,2%	0,56
917	18.389	20,06	44,5%	35,8%	0,80
Promedio					0,66

Elaboración Propia en base al presupuesto del Embalse Punilla.

Del cuadro se advierte una elasticidad promedio de 0,66. Esto quiere decir que un variación de un 1% en el caudal de diseño produce un 0,66% de variación en los costos de inversión.

VI.2. Obras de Vertedero.

Cuadro N°24. Costos en Obras de Vertedero v/s Volúmenes de Diseño – Embalse Punilla.

Caudal m3/s	Costo MM\$ (sep 2000)	MM\$/(m3/s)	$\Delta\%$ Caudal (1)	$\Delta\%$ Costo (2)	Elasticidad (2)/(1)
5.051	10.344.344	2.048			
4.952	9.699.218	1.959	-1,96%	-6,24%	0,31
4.866	9.239.221	1.899	-1,74%	-4,74%	0,37
Promedio					0,34

Elaboración Propia en base al presupuesto del Embalse Punilla.

Del cuadro se advierte que la elasticidad promedio es de 0,34. Esto quiere decir que un variación de un 1% en el caudal de diseño produce un 0,34% de variación en los costos de inversión.

VI.3. Obras de Desvío.

Se utilizó los datos para las obras de riego suponiendo que tienen similar comportamiento. Este resultado se mostró en la sección anterior, con una elasticidad media de 0,43. Como ya se dijo, esto quiere decir que un variación de un 1% en el caudal de diseño produce un 0,43% de variación en los costos de inversión.