APÉNDICE 1
ESTUDIO HIDRÁULICO E HIDROLÓGICO

1 Estudio Hidrológico del Estero Fiscal

1.1 Antecedentes Disponibles

Los antecedentes utilizados corresponden básicamente a estadísticas pluviométricas (precipitaciones máximas anuales en 24 horas) que se obtuvieron de las estaciones pluviométricas pertenecientes a la Dirección General de Aguas y de los registros solicitados a estas instituciones.

Los estudios considerados son los siguientes:

- "Precipitaciones Máximas en 1,2 y 3 días ", D.G.A Ministerio de Obras Públicas. Chile, 1991.
- "Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias del Gran Santiago", actualmente en ejecución por CADE IDEPE. DOH-MOP (Septiembre del 2000).
- "Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias del Gran Santiago – Ampliación Zona Norte- Estero las Cruces", actualmente en ejecución por CADE IDEPE. DOH-MOP (Septiembre del 2000).
- "Estudio de Ingeniería. Concesión Internacional Transporte Ferroviario de Cercanías Santiago-Melipilla". CADE IDEPE (Mayo del 2001).

1.2 Calculo de Caudales Máximos Instantáneos

El cálculo de caudales de máximos instantáneos a utilizar para los estudios de crecida en zona, se efectuó mediante el uso de métodos indirectos, los que se basan en relaciones de tipo precipitación – escorrentía, de los cuales se utilizaron dos de los existentes, estos son:

- Método Racional
- Método DGA AC
- Método Verni-King Modificado

A continuación, se presentan los cálculos efectuados por los distintos métodos señalados precedentemente.

1.2.1. Método Racional

Este es el método más utilizado en Chile para la determinación de caudales y tiene una amplia aplicación para estimar el caudal de diseño en cuencas nivo-pluviales, pero tiene la desventaja de sobrestimar los caudales en proporción al área y al suponer una escorrentía constante. Este método establece que el caudal máximo a evacuar está relacionado linealmente con la lluvia mediante la expresión:

$$Q = \frac{C * I_{tc}^{T} * A}{3{,}6} \quad (m^3 / s)$$

Dónde:

Q: Caudal en m^3/s para un determinado período de retorno.

I_{tc}^{T}: Intensidad media de la lluvia en [mm/h] para el período seleccionado y con una duración igual al tiempo de concentración. Se calculó utilizando los coeficientes generalizados de duración y frecuencia como se explicó anteriormente.

C: Coeficiente de escurrimiento de la cuenca.

A: Área aportante en [Km^2].

El coeficiente de escorrentía es función de las características del terreno con relación al tipo y uso del suelo, topografía y vegetación.

- **Área**

El área total de la cuenca, desde su nacimiento hasta la zona de ubicación del puente es de 1.93 [Km^2]

- **Tiempo de Concentración**

El tiempo de concentración se puede estimar en función de las características morfológicas de la cuenca:

a) Norma Española

$$Tc = 18 \cdot \frac{L^{0,76}}{S^{0,19}}$$

b) California Culverts Practice

$$Tc = 57 \cdot \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385}$$

c) Giandotti

$$Tc = 60 \cdot \left(\frac{4 \cdot A^{0,5} + 1,5 \cdot L}{0,8 \cdot Hm^{0,5}} \right)$$

d) SCS

$$Tc = 258,7 \cdot L^{0,8} \cdot \left(\frac{\left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0,7}}{1900 \cdot S^{0,5}} \right)$$

Siendo:

Tc: Tiempo de concentración en minutos.

L: Longitud del cauce principal de agua en Km.
H: Desnivel, en metros, desde la salida al punto más alejado de la cuenca.
Hm: Desnivel, en metros, desde la salida al punto medio de la cuenca.
S: Pendiente promedio de la cuenca.
CN: Valor de la curva de número.

Para el tiempo de concentración adoptado, se consideró el promedio de los métodos CCP y Giandotti, descartando aquellos valores que estuviesen un 30% sobre y por debajo del promedio. Finalmente se calculó y adoptó el promedio de los tiempos de concentración que quedaron dentro del rango antes señalado.

En la Tabla Nº 1.2-1 se indica el valor del tiempo de concentración adoptado, en horas, para cada uno de los sistemas que conforman este estudio.

Tabla Nº1.2-1
Áreas y Tiempo de Concentración

							Tiempos de Concentración				
Cuencas	Área Cuenca [Km^2]	Long. Cauce [Km]	Pendiente	Cota Max [m.s.n.m.]	Cota Min [m.s.n.m.]	Desnivel [m]	CCP [min]	Giandotti [min]	N. Española [min]	SCS [min]	Adoptado [min]
Principal	1.930	2.091	0.042	288.000	201.000	87.000	23.942	41.698	57.690	0.030	33

Fuente: Elaboración Propia.

- **Intensidades**

Las intensidades de diseño a utilizar en los cálculos de caudales para las diferentes cuencas corresponden a las obtenidas de las Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) elaboradas para cada una de las estaciones pluviométricas que existen en la zona. Las cuales se presentan a continuación en la siguiente imagen

Imagen Nº1.2-1
Ubicación de Estaciones Pluviométricas



Fuente: Elaboración Propia (Google Earth).

A cada una de estas estaciones se les realiza un análisis de frecuencia, con el cual se obtienen las funciones de distribución que representan cada una de estas estaciones (análisis que se presenta en anexos).

En base a la información de precipitación obtenidas, utilizando los tiempos de concentración asociados a cada cuenca. Se construyen las Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia para cada una de las 5 estaciones que se utilizaron finalmente para el análisis y obtención final, utilizando para esto una curva que tiene la siguiente expresión:

$$I(t) = A \cdot (t)^n$$

Siendo:

- I(t): Intensidad en función del tiempo medido en [mm/hrs].
- t: Tiempo medido en [hrs]
- A,n: Constantes adimensionales propias de cada curva.

Las constantes necesarias para la obtención de intensidades según los diferentes períodos de retorno, usando las curvas Intensidad Duración Frecuencia señaladas, basadas en la expresión indicada más arriba, se muestran en las siguientes tablas

Tabla Nº 1.2-2
Coeficientes Intensidades Estación Melipilla

T [Años]	A	n
2	9.8408	-0.439
5	13.823	-0.401
10	16.615	-0.389
25	20.202	-0.38
50	22.817	-0.377
100	25.512	-0.374

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla Nº 1.2-3
Coeficientes Intensidades Estación El Vergel

T [Años]	A	n
2	11.867	-0.439
5	16.669	-0.401
10	20.036	-0.389
25	24.361	-0.38
50	27.514	-0.377
100	30.764	-0.374

Fuente: Elaboración Propia.

Finalmente promediando los resultados de cada una de las estaciones presentadas anteriormente y evaluándolas en el tiempo de concentración de la cuenca, se obtienen las intensidades para los distintos periodos de retorno de la zona de extracción, las cuales se presentan a continuación en la siguiente tabla.

Tabla Nº 1.2-4
Intensidades Finales Zona de Extracción

Cuencas	Área [Km2]	T. de Conc. [min]	C(t)	Intensidad [mm/h]					
				T=2	T=5	T=10	T=25	T=50	T=100
Principal	1.930	33	0.35	14.15	19.42	23.17	28.02	31.59	35.26

Fuente: Elaboración Propia.

- **Coeficientes de Escorrentía**

El coeficiente de escorrentía asociado a cada área aportante, se determinó como la suma de los factores característicos de cada cuenca (Relieve, Infiltración, Cobertura Vegetal y Almacenamiento Superficial). Los valores recomendados de escorrentía frente a los diferentes tipos de superficies se presentan en la Tabla Nº 1.2-5.

Tabla Nº 1.2-5
Coeficientes de Escorrentía

Factor	Extremo	Alto	Normal	Bajo
Relieve	0,28-0,35 Escarpado con pendientes mayores que 30%	0,20-0,28 Montañoso con pendientes entre 10 y que 30%	0,14-0,20 Con cerros y pendientes entre 5 y 10%	0,08-0,14 Relativamente plano con pendientes mayores al 5%
Infiltración	0,12-0,16 Suelo rocoso, o arcilloso con capacidad de infiltración despreciable	0,08-0,12 Suelo arcilloso o limoso con baja capacidad de infiltración, mal drenado	0,06-0,08 Normales, bien drenados, textura mediana, limos arenosos, suelos arenosos	0,04-0,06 Suelo producto de arena u otros suelos bien drenados con alta capacidad de infiltración
Cobertura Vegetal	0,12-0,16 Cobertura escasa, terreno sin vegetación o escasa cobertura	0,08-0,12 Poca vegetación, terrenos cultivados o naturales, menos del 20% del área	0,06-0,08 Regular a buena, 50% del área con praderas o bosques, no más de	0,04-0,06 Buena a excelente, 90% del área con praderas, bosques o cobertura

Factor	Extremo	Alto	Normal	Bajo
		con buena cobertura vegetal	50% cultivado	equivalente
Almacenamiento Superficial	0,10-0,12 Despreciable, pocas depresiones superficiales, sin zonas húmedas	0,08-0,10 Baja, sistema de cauces superficiales pequeños bien definidos, sin zonas húmedas	0,06-0,08 Normal, posibilidad de almacenamiento buena, zonas húmedas, pantanos, lagunas y lagos	0,04-0,06 Capacidad alta, sistema hidrográfico poco definido, buenas planicies de inundación o gran cantidad de zonas húmedas, lagunas o pantanos

Fuente: Manual de Carreteras. Volumen Nº 3.

Las recomendaciones anteriores son representativas de tormenta con períodos de retorno de 10 años. Para coeficientes de escorrentía con períodos de retorno mayor, se amplifican los resultados por 1,1 1,2 y 1,25 para períodos de retorno de 25, 50 y 100 años respectivamente. Para períodos de retorno superiores a 100 años se asume constante el valor del coeficiente de escorrentía (valor asociado a T=100 años).

A continuación se presentan los valores adoptados para cada cuenca.

Tabla Nº 1.2-6
Coeficiente de Escorrentía Cuencas para diferentes Períodos de Retorno

Relieve	Infiltración	Vegetación	Alm. Sup.	T<10años	T=25 años	T=50 años	T=100 años
0,15	0,07	0,06	0,07	0,35	0,39	0,42	0,44

Fuente: Elaboración Propia.

- **Caudales**

Los caudales determinados por método racional, se presentan en la Tabla Nº 1.2-7. Los períodos de retorno considerados para el diseño corresponden a los descritos en la Tabla 3.702.2.B del Manual de Carreteras Vol. 3.

Tabla Nº 1.2-7
Caudales Diarios Máximos

Caudal [m^3/seg]					
T=2	T=5	T=10	T=25	T=50	T=100
2.65	3.64	4.35	5.78	7.11	8.27

Fuente: Elaboración Propia.

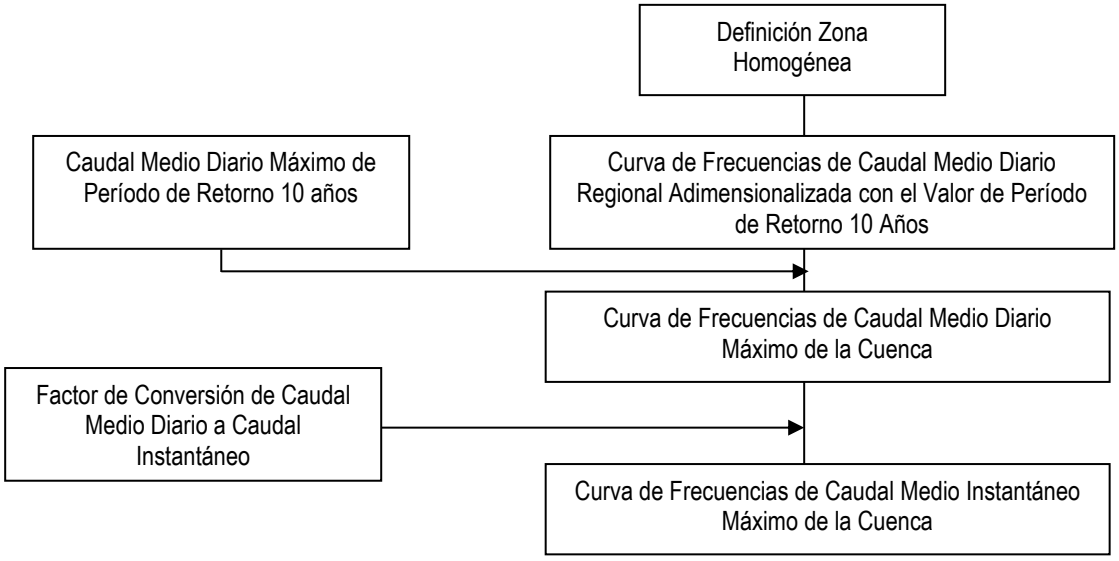
1.2.2 Método DGA-AC para Crecidas Pluviales

El método DGA-AC para crecidas pluviales, corresponde a un análisis regional de crecidas de origen pluvial, basado en series máximas anuales generadas a partir de la información de caudales medios diarios máximos e instantáneos máximos del período pluvial, de 234 estaciones de control fluviométrico.

Este método que abarca estaciones desde la IIIª a la IXª Región, es válido para cuencas pluviales o pluvionivales sin información pluviométrica y con áreas comprendidas entre 20 y 10.000 Km^2. Su uso está restringido a períodos de retorno inferiores o iguales a 100 años.

El método consiste básicamente en determinar una curva de frecuencias para el caudal instantáneo máximo de la cuenca, en base al procedimiento esquematizado en el diagrama presentado en la Figura Nº 1.2-2

Figura Nº 1.2-2
Esquema de Cálculo del Método DGA-AC para
Caudales Instantáneos Máximos Pluviales



Fuente: "Manual de Cálculo de Crecidas y Caudales Mínimos en Cuencas sin Información fluviométrica" (DGA-MOP, 1995).

De acuerdo con dicho diagrama, en primer lugar debe definirse la zona homogénea a la que pertenece la cuenca en estudio. Luego se determina la curva de frecuencias de la cuenca para la variable caudal medio diario máximo. Finalmente dicha curva se convierte a la correspondiente a caudales instantáneos máximos, a través de la determinación de un factor de conversión apropiado.

a) Determinación de la Zona Homogénea

La determinación de la zona homogénea a la cual pertenece la cuenca, se determina en base a su ubicación dentro del territorio nacional. Para ello se han identificado cuatro agrupaciones principales de cuencas diferenciadas según su latitud.

En este caso la zona homogénea correspondiente es la Np.

b) Determinación de Curvas de Frecuencias Regionales

Una vez identificada la zona homogénea, se ubica la curva de frecuencia adimensional correspondiente. Las curvas a utilizar son las que se presentan en la Tabla Nº 1.2-8. En estas tablas se consignan además de la curva de frecuencia regional, las curvas envolventes superior e inferior que representan los máximos y mínimos valores encontrados en cada zona homogénea.

Tabla Nº 1.2-8
Curva de Frecuencia Regional Caudales Medios Diarios Máximos
Zona Homogénea Np Pluvial – Log Normal– Latitud 32°-35°

Periodo de Retorno	Q(t)/Q(10)
[años]	Np
2	0.18
5	0.56
10	1
20	1.61
25	1.86
50	2.77
100	3.97
200	6.37

Fuente: "Manual de Cálculo de Crecidas y Caudales Mínimos en Cuencas sin Información fluviométrica" (DGA-MOP, 1995).

c) Determinación del Caudal Medio Diario Máximo de Período de Retorno 10 años

El caudal medio diario máximo de período de retorno 10 años (Q10), es la variable usada para adimensionalizar las curvas de frecuencias regionales del método.

Para su determinación se plantean las relaciones que se incluyen a continuación, las cuales dependen de la región en que se ubique la cuenca a analizar.

III y IV Región $Q_{10} = 1{,}94 * 10^{-7}\, Ap^{0{,}776} (P_{24}^{10})^{3{,}108} \quad (m^3 / s)$

V-RM-VI Región $Q_{10} = 5{,}42 * 10^{-8}\, Ap^{0{,}915} (P_{24}^{10})^{3{,}432} \quad (m^3 / s)$

VII a IX Región $Q_{10} = 2 * 10^{-3}\, Ap^{0{,}973} (P_{24}^{10})^{1{,}224} \quad (m^3 / s)$

Donde:

Q_{10} : Caudal medio diario máximo de período de retorno 10 años, expresado en m3/s.
A_p : Área pluvial de la cuenca, expresada en Km^2.
P_{24}^{10} : Precipitación diaria máxima de período de retorno 10 años expresada en mm.

Donde, P_{24}^{10} = 123.750 [mm], obtenido del promedio de las 2 estaciones seleccionadas

Con estas relaciones es posible calcular la curva de frecuencias de caudal medio máximo de la cuenca, multiplicando los valores de la curva de frecuencia regional adimensional, obtenida de la Tabla Nº 1.3-2, por el caudal medio diario máximo de período de retorno 10 años.

En este caso,

$$Q_{10} = 5{,}42 * 10^{-8} \, Ap^{0{,}915} (P_{24}^{10})^{3{,}432} \ (m^3 / s)$$

$$Q_{10} = 2.81 (m^3 / s)$$

d) Determinación de la Curva de Frecuencia del Caudal Instantáneo Máximo

El factor de conversión (α) de caudal medio diario máximo a caudal instantáneo máximo, se determina en función de la zona homogénea a la cual pertenece la cuenca. Los valores de estos factores para cada zona homogénea se presentan en la siguiente tabla.

Tabla Nº 1.2-9
Factores de Conversión del Caudal Medio Diario Máximo a Caudal Instantáneo Máximo

Zona Homogénea	α
Dp	2,19
Ep	1,13
Fp	3,07
Gp	1,40
Hp	1,13
Ip	1,25
Jp	2,14
Kp	1,59
Lp	1,67
Mp	1,48
Np	1,87
Op	1,76
Pp	1,43
Qp	1,51
Rp	1,45
Sp	1,37
Tp	1,28
Up	1,2-1,5 (*)
Vp	1,16
Wp	1,19

Zona Homogénea	α
Xp	1,22
Yp	1,27
Zp	1,24

(*) En la zona homogénea Up se entrega un rango para los valores del factor α.
Fuente: "Manual de Cálculo de Crecidas y Caudales Mínimos en Cuencas sin Información fluviométrica" (DGA-MOP, 1995).

Finalmente, la curva de frecuencia de caudal instantáneo máximo de la cuenca se determina multiplicando la curva de frecuencias del caudal medio diario máximo por el factor de conversión α correspondiente a la zona homogénea a la cual pertenece la cuenca, en este caso la zona Np.

Tabla Nº 1.2-10
Caudal Máximo Instantáneo

Caudales [m³/s]					
T=2	T=5	T=10	T=25	T=50	T=100
0.51	1.57	2.810	5.23	7.78	11.16

Fuente: Elaboración Propia.

1.2.3 Método de Verni - King Modificado

Este método esta basado en la fórmula de Verni - King, que relaciona el caudal instantáneo máximo de una crecida con la precipitación diaria máxima y el área pluvial a través de una relación de potencias.

A la fórmula original, establecida para períodos de retorno mayores que 30 años, se le ha agregado un coeficiente empírico variable con el período de retorno, que es producto de un proceso de ajuste y calibración a los resultados de los análisis de frecuencias realizados a una total de 130 estaciones limnigráficas ubicadas entre las regiones IIIª y IXª del país ambas inclusive.

La fórmula de Verni - King Modificada tiene la siguiente forma:

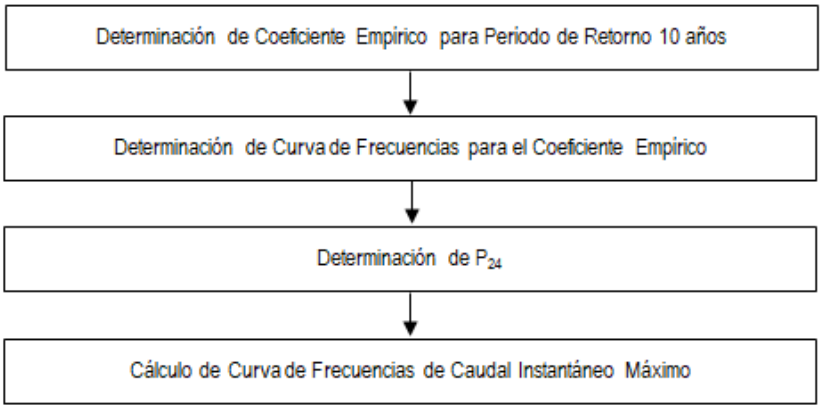
$$Q = C(T) * 0.00618 * P_{24}^{1.24} * A_p^{0.88}$$

Dónde:

- Q :Caudal instantáneo máximo asociado al período de retorno T años, expresado en m³/s.
- C(T) :Coeficiente empírico de período de retorno T años
- P_{24} :Precipitación diaria máxima asociada al período de retorno de T años expresada en mm
- Ap :Área pluvial de la cuenca, expresada en Km²

El procedimiento de cálculo consiste en determinar el coeficiente empírico del ajuste y calibración antes mencionado, el cual resulta ser función del período de retorno. Luego, se aplica la fórmula directamente. En el diagrama presentado en la Figura Nº 1.2-3 se esquematizan los pasos involucrados.

Figura Nº 1.2-3 Esquema de Cálculo del Método de Verni - King Modificado



Fuente: "Manual de Cálculo de Crecidas y Caudales Mínimos en Cuencas sin Información fluviométrica" (DGA-MOP, 1995).

a) Determinación del Coeficiente Empírico de Período de Retorno 10 años

El coeficiente empírico de período de retorno T años se obtiene a base del correspondiente coeficiente asociado a un período de retorno T= 10 años C(T10). Este último coeficiente es variable de acuerdo a la región en que se encuentra la cuenca analizada, como se indica en la siguiente tabla.

Tabla Nº 1.2-11 Coeficiente C (T=10 años)
Fórmula de Verni - King Modificada

Periodo de Retorno [años]	C(T)/C(10) V
2	0.38
5	0.84
10	1
20	1.15
25	1.22
50	1.38
100	1.59

Fuente: "Manual de Cálculo de Crecidas y Caudales Mínimos en Cuencas sin Información fluviométrica" (DGA-MOP, 1995).

b) Determinación de la Curva de Frecuencia del Coeficiente Empírico

El coeficiente empírico C(T) es función del período de retorno. Para su determinación se debe calcular primeramente el valor del factor de frecuencia C(T)/C(T=10) y luego se debe multiplicar éste por el coeficiente asociado al período de retorno de 10 años obtenido del cuadro anterior.

Tabla Nº 1.2-12 Caudales Calculados
Método Verni - King Modificado

Caudal [m³/seg]					
T=2	T=5	T=10	T=25	T=50	T=100
0.10	0.38	0.58	0.92	1.22	1.62

Fuente: Elaboración Propia

1.2.4 Resumen

Los caudales obtenidos para la zona de extracción según todos los métodos analizados en este estudio se resumen en la Tabla N° 1.2-13

Tabla Nº 1.2-13
Resumen de Caudales Máximos Instantáneos

Método Utilizado	Caudales [m³/s]					
	T=2	T=5	T=10	T=25	T=50	T=100
Racional	2.65	3.64	4.35	5.78	7.11	8.27
Verni - King	0.10	0.38	0.58	0.92	1.22	1.62
DGA AC	0.51	1.57	2.81	5.23	7.78	11.16

Fuente: Elaboración Propia

Como resultado anterior se observa como el comportamiento de los caudales resulta mayor en los obtenidos mediante el método racional, para períodos de retorno menor a 50 años. Esto era esperado debido a la característica del método de considerar que la precipitación es uniforme en toda la cuenca. En comparación con los demás métodos y observando los valores obtenidos se decide adoptar como caudal de diseño el promedio obtenido entre los métodos racional y DGA-AC, descartando los valores obtenidos por el método de Verni King Modificado, debido a que estos son demasiado menores y fuera de rango en comparación con los otros dos.

Finalmente se presenta a continuación en la siguiente tabla, los caudales adoptados para este estudio.

Tabla Nº 1.2-14
Caudales Máximos Instantáneos Adoptados

Caudales [m³/s]					
T=2	T=5	T=10	T=25	T=50	T=100
1.58	2.61	3.58	5.51	7.45	9.71

Fuente: Elaboración Propia

2 Estudio Hidráulico del Estero Fiscal

2.1 Introducción

En el presente capítulo se aborda el estudio hidráulico-fluvial del cauce en la zona de construcción de la obra, éste tiene por objetivo la determinación de las cotas de eje hidráulico así como los parámetros destinados a la velocidad del flujo tanto para las situaciones sin y con proyecto, para luego proceder a la determinación de las socavaciones asociadas al sector.

En el presente capítulo, se presentan primero, los antecedentes de ingeniería básica recopilados en terreno (topografía, perfiles transversales) que permitieron elaborar los estudios hidráulicos en cuestión. Posteriormente, a partir de los caudales obtenidos, definidos en el capítulo anterior y antecedentes de ingeniería básica, se efectuó el modelo hidráulico respectivo tanto para las situaciones sin proyecto y con proyecto. En los anexos se entregan los resultados tabulados junto con sus láminas respectivas.

2.2 Estudios Básicos.

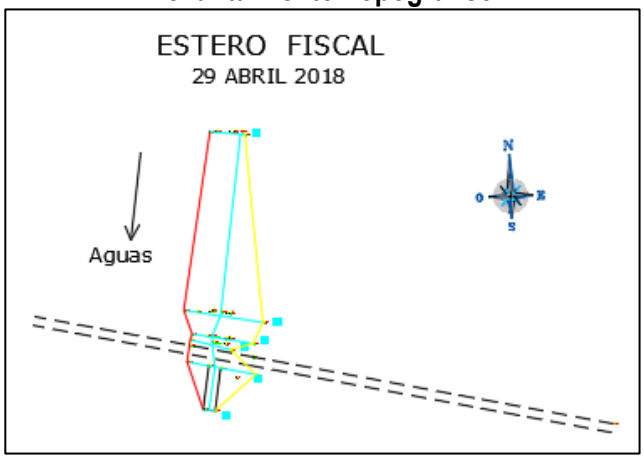
a) Topografía.

En la zona de estudio se realizó un levantamiento topográfico del Estero Fiscal incluyendo sus zonas de inundación, lo cual permitió generar los antecedentes básicos necesarios para el cálculo de los ejes hidráulicos y sus parámetros asociados.

La extensión de los 6 perfiles topobatimétricos cubriendo una longitud aproximada de cauce de 56 m.

A continuación se muestra una imagen en planta con el levantamiento y la ubicación de los perfiles transversales.

Figura 2.2-1
Levantamiento Topográfico



Fuente: Elaboración Propia

b) Hidrología.

Los caudales de diseño adoptados corresponden a los definidos en el capítulo anterior y corresponden a los caudales para crecidas de T=2 años, T=5 años, T=10 años, T=25 años, T=50 años y T=100 años de período de retorno.

Estos valores de caudales se resumen en la siguiente tabla.

Tabla Nº 2.2-1
Resumen Caudales de Modelación

Caudales [m^3/s]					
T=2	T=5	T=10	T=25	T=50	T=100
1.58	2.61	3.58	5.51	7.45	9.71

Fuente: Elaboración Propia

2.3 Análisis Hidráulico Fluvial.

El análisis hidráulico-fluvial que se presenta a continuación se efectuó mediante modelación hidráulica realizada con el software HEC-RAS Versión 5.0, (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System) desarrollado por el U.S. Army Corps of Engineers.

Este programa es el modelo matemático más utilizado en la actualidad para la resolución de regímenes permanentes (variado y uniforme) y permite simular el movimiento estacionario unidimensional (flujo unidireccional) de una corriente de agua. Esta aproximación de flujo unidireccional es válida, puesto que la componente de la velocidad en la dirección del flujo es la componente principal en la totalidad de las corrientes analizadas.

Además, el programa ofrece la posibilidad de analizar distintos tipos de régimen: lento, crítico, rápido y mixto. Para la aplicación del modelo, se hace la suposición de que el lecho es fijo.

El método de cálculo del HEC-RAS está basado en la ecuación de continuidad (conservación de la masa) y en la ecuación de conservación de la energía (unidimensional). No obstante, el método de cálculo requiere admitir la hipótesis de que la pérdida de carga por roce en una sección es la que tendría un flujo uniforme de la misma velocidad y radio hidráulico. Se consideran en el proceso las pérdidas de carga por fricción (Manning) y pérdidas de carga localizadas por contracción-expansión (coeficiente de pérdidas multiplicado por la variación de la carga de energía cinética entre secciones).

Entre sus principales características técnicas se destacan:

- Realiza el cálculo hidráulico de diversas tipologías estructurales.
- Permite la visualización gráfica de resultados y permite la edición gráfica de secciones transversales.
- Considera secciones variables (no prismáticas)
- Es posible incorporar condiciones de borde y de control arbitrarias, lo cual permite considerar tramos con distintos regímenes de escurrimiento, río y torrente, dentro de la misma red de drenaje.

- Resuelve las confluencias del cauce principal con sus afluentes (nodos) mediante los métodos de la conservación de la energía o del momentum.
- En las secciones transversales se puede definir el cauce principal y sus áreas de inundación considerando rugosidades y, por lo tanto, velocidades diferenciales.
- El modelo incluye también pérdidas por contracciones o expansiones naturales del cauce.
- A pesar de ser unidimensional incorpora los efectos de los meandros del cauce.
- Permite identificar en los perfiles el cauce principal y los secundarios.
- El programa cuenta además con subrutinas gráficas que permiten visualizar en 2 y 3 dimensiones el escurrimiento tanto en el cauce como en las obras.
- Para el caso de los puentes, el cálculo se realiza por diferentes métodos (Energía, Momentum, Ecuación de Yarnell, etc.) de acuerdo a la clase de flujo (A, B, o C) y la selección del usuario; el resultado adoptado puede ser el de un método específico elegido por el usuario, o el más desfavorable si así se selecciona.
- Cabe señalar que, de acuerdo con las recomendaciones señaladas en el HEC-RAS Hydraulic Reference Manual, en su sub-acápite denominado Parallel Bridges (dentro del capítulo 5), dada la condición de puentes paralelos cercanos para la doble calzada, la situación de ambos puede modelarse como la de un sólo puente.

Los datos básicos de partida requeridos para la modelización con HEC-RAS son de dos tipos: datos geométricos y datos de flujo estacionario. Los datos de entrada utilizados en la modelación se presentan a continuación.

- Geometría de las secciones transversales del cauce que definan los cambios representativos del mismo en el tramo analizado.
- Distancia entre secciones o perfiles transversales del cauce utilizados en el estudio (longitud de los tramos: cauce, margen izquierda y margen derecha).
- Caudal de diseño: Se utilizaron el caudal medio anual y las crecidas para períodos de retorno iguales a 5,10, 25, 50 y 100 años señaladas en la Tabla N°2.2-1.
- Condiciones de contorno: Para aguas arriba y abajo, se establece condición de altura normal con pendiente media igual a la del cauce.
- Rugosidad del cauce y de las márgenes (valores del coeficiente de rugosidad n de Manning).
- Coeficientes de pérdidas de carga por expansión y contracción.

a) <u>Coeficiente de Rugosidad.</u>

Para estimar los coeficientes de rugosidad del cauce en el tramo de estudio se empleó el método de Cowan, según lo recomendado por el Manual de Carreteras, Volumen 3, sección 3.707.104.

El método de Cowan permite determinar el coeficiente de Manning de acuerdo a las condiciones del lecho, según su material, irregularidades, vegetación, meandros, etc. El cálculo se realiza de la siguiente manera:

$$n = m \cdot (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \quad (ec.3.707.104.1 \ \ Manual \ \ de \ \ Carreteras)$$

Donde:

n0: Rugosidad base para un canal recto, uniforme, prismático y con rugosidad homogénea.
n1: Rugosidad adicional debida a irregularidades superficiales del perímetro mojado a lo largo del tramo en estudio.
n2: Rugosidad adicional equivalente debida a variación de forma y de dimensiones de las secciones a lo largo del tramo en estudio.
n3: Rugosidad adicional equivalente debida a obstrucciones existentes en el cauce
n4: Rugosidad adicional equivalente debida a la presencia de vegetación
m: Factor de corrección para incorporar el efecto de sinuosidad del cauce o presencia de meandros

Los valores adoptados como coeficientes de Manning para el cauce y zonas de inundación se muestran en la Tabla N°2.2-3, los cuales fueron obtenidos de la Tabla N°3.707.104.1.B del Manual de Carreteras, según las características observadas en terreno.

Tabla N°2.2-2
Coeficiente de Manning según Método de Cowan

CONDICIONES DEL CANAL		VALOR	
Material del Lecho	Tierra Roca Cortada Grava Fina Grava Gruesa	n_0	0,020 0,025 0,024 0,028
Grado de Irregularidad Perímetro Mojado	Despreciable Leve Moderado Alto	n_1	0,000 0,005 0,010 0,020
Variaciones de las Secciones	Graduales Alternándose Ocasionalmente Alternándose Frecuentemente	n_2	0,000 0,005 0,010 – 0,015
Efecto Relativo de las Obstrucciones	Despreciable Leve Apreciable Alto	n_3	0,000 0,010 – 0,015 0,020 – 0,030 0,040 – 0,060
Densidad de Vegetación	Baja Media Alta Muy Alta	n_4	0,005 – 0,010 0,010 – 0,025 0,025 – 0,050 0,050 – 0,100
Sinuosidad y Frecuencia de Meandros	Leve Apreciable Alto	m	1,000 1,150 1,300

Fuente: Tabla N°3.707.104.1.B Manual de Carreteras, Volumen 3.

Tabla Nº 2.2-3
Coeficientes de Rugosidad Adoptados por Método de Cowan

Estero	n_0	n_1	n_2	n_3	n_4	m	n adoptado
Estero Fiscal	0,025	0,000	0,000	0,000	0,010	1,000	0,035

Fuente: Elaboración Propia

b) Otros Parámetros Modelo HEC.

Para modelación:

- Condiciones de Borde: Altura normal con pendiente 0,00328.
- Coeficiente Resistencia de Pila Método Momentum: 1,33
- Coeficiente Forma de Pila Método Yarnell: 1,25
- Coeficientes de Contracción y Expansión en Vecindad Puente existente: 0,3 y 0,5 respectivamente.

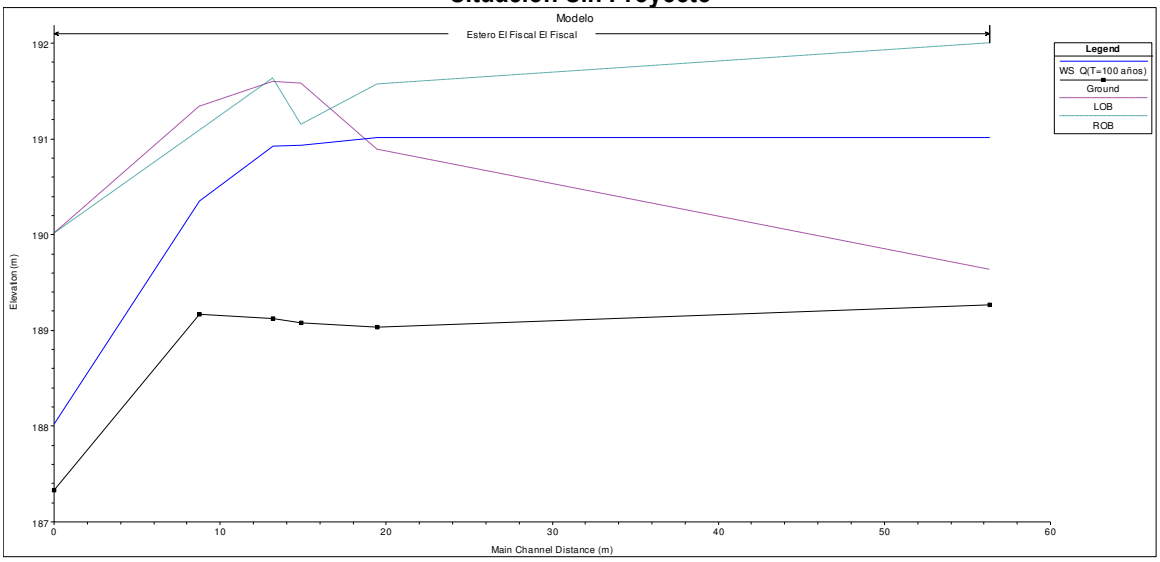
c) Cálculos y Resultados

Las salidas del modelo numérico se presentan en forma de tablas y gráficos que incluyen toda la información hidráulica de modo que facilite su revisión y comprensión.

Al final del presente apéndice (en la sección "Respaldo Modelaciones"), se entregan en detalle los resultados obtenidos del cálculo del eje hidráulico de la zona en estudio. Los resultados se presentan para los caudales medios anuales y para los caudales asociados a los períodos de retorno 5, 10, 25, 50 y 100 años como también para los caudales medios anuales.

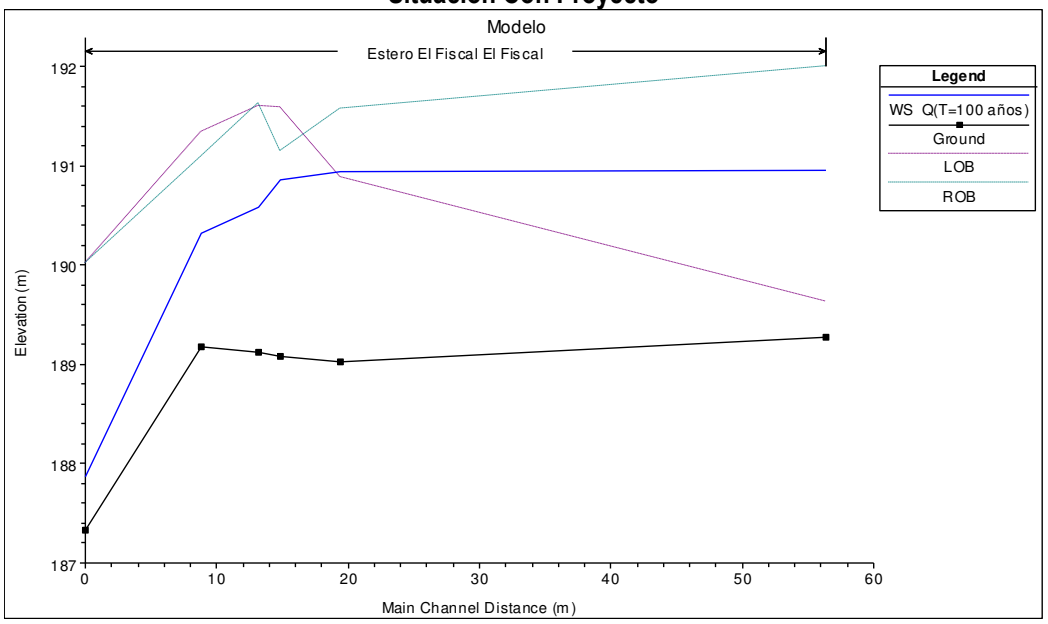
En las siguientes figuras es posible observar los ejes hidráulicos para el caudal de T=100 años en vista longitudinal, tanto para la situación sin proyecto, como para la situación con proyecto.

Figura 2.2-2
Perfil Longitudinal Eje Hidráulico – T=100 años
Situación Sin Proyecto



Fuente: Elaboración Propia

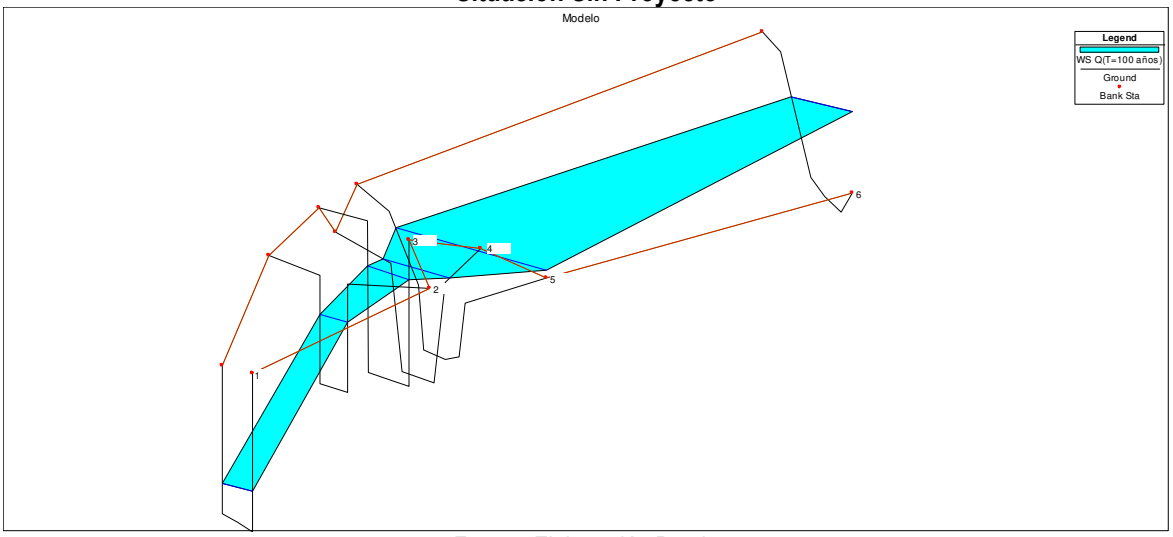
Figura 2.2-3
Perfil Longitudinal Eje Hidráulico – T=100 años
Situación Con Proyecto



Fuente: Elaboración Propia

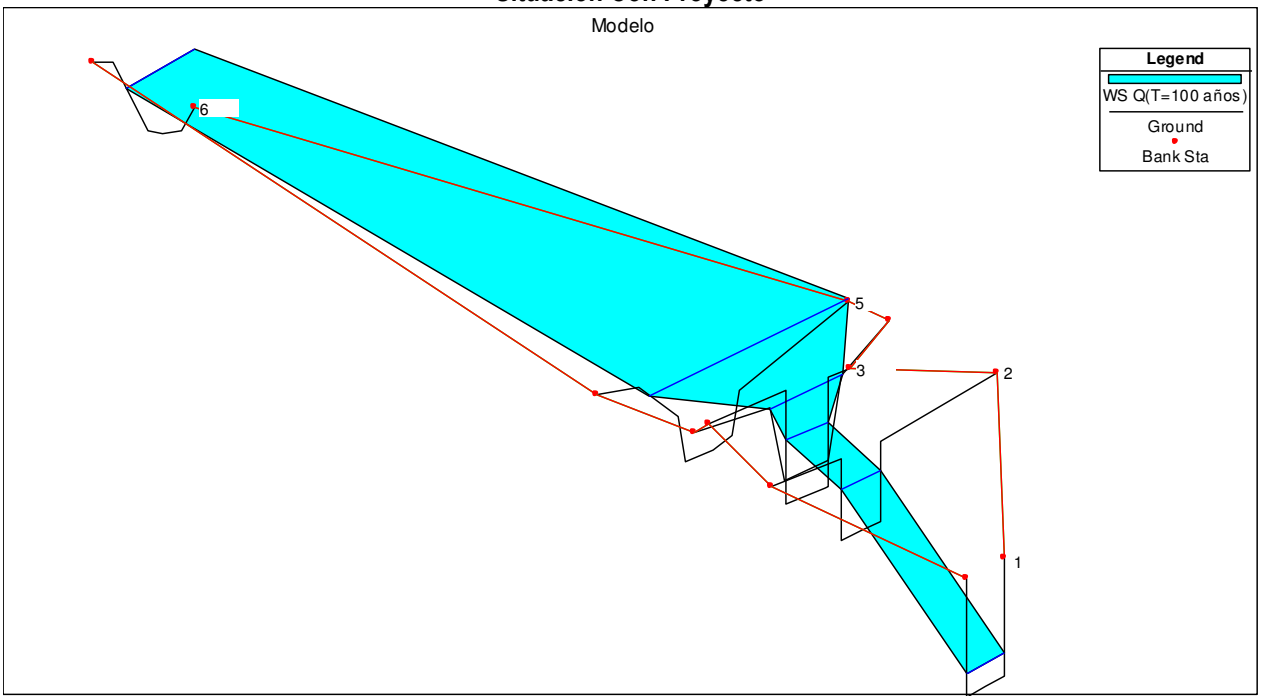
De igual manera se presentan a continuación en las siguientes figuras, una vista isométrica del estero Fiscal en la zona de proyecto para cada el caudal de T=100 años.

Figura 2.2-4
Vista Isométrica Eje Hidráulico – T=100 años
Situación Sin Proyecto



Fuente: Elaboración Propia

Figura 2.2-5
Vista Isométrica Eje Hidráulico – T=100 años
Situación Con Proyecto



Fuente: Elaboración Propia

Finalmente se presentan a continuación en las siguientes tablas, las alturas de escurrimiento para el caudal de T=100 años, para las situaciones “Sin Proyecto” y “Con Proyecto”.

Tabla Nº 2.2-4
Eje Hidráulico – T=100 años
Situación Sin Proyecto

Perfil	Periodo de Retorno	Q Total (m^3/s)	Cotas			Altura Escurrimiento (m)	Velocidad (m/s)	Área de Escurrimiento (m^2)	Ancho Superficial (m)	Froude
			Fondo (m)	Escurrimiento (m)	Critica (m)					
6	T=100 años	9.71	189.27	191.01	190.42	1.74	1.62	5.99	4.79	0.46
5	T=100 años	9.71	189.03	191.01	190.04	1.98	0.83	11.71	12.84	0.28
4	T=100 años	9.71	189.08	190.93	190.10	1.85	1.42	6.85	5.73	0.41
3	T=100 años	9.71	189.12	190.93	189.99	1.81	1.41	6.91	3.85	0.34
2	T=100 años	9.71	189.17	190.35	190.35	1.18	3.42	2.84	2.4	1.01
1	T=100 años	9.71	187.33	188.02	188.59	0.69	6.64	1.46	2.44	2.74

Fuente: Elaboración Propia

Tabla Nº 2.2-5
Eje Hidráulico – T=100 años
Situación Con Proyecto

Perfil	Periodo de Retorno	Q Total (m^3/s)	Cotas			Altura Escurrimiento (m)	Velocidad (m/s)	Área de Escurrimiento (m^2)	Ancho Superficial (m)	Froude
			Fondo (m)	Escurrimiento (m)	Critica (m)					
6	T=100 años	9.71	189.27	190.95	190.42	1.68	1.7	5.72	4.72	0.49
5	T=100 años	9.71	189.03	190.94	190.04	1.91	0.89	10.86	12.69	0.31
4	T=100 años	9.71	189.08	190.85	190.10	1.77	1.5	6.47	4.68	0.41
3	T=100 años	9.71	189.12	190.58	190.27	1.46	2.66	3.64	2.5	0.7
2	T=100 años	9.71	189.17	190.32	190.32	1.15	3.38	2.88	2.5	1
1	T=100 años	9.71	187.33	187.86	188.48	0.53	7.32	1.33	2.5	3.21

Fuente: Elaboración Propia

3 Calculo de Socavaciones.

3.1 Aspectos y Parámetros Generales.

a) Aspectos Generales.

La erosión de una obra como la que se tiene en el presente proyecto, se analiza como erosión potencial y tiene carácter de estimación. Los procesos y componentes de la erosión analizados en el caso de la situación con proyecto corresponden al fenómeno de socavación general.

Socavación General: Se dice que un cauce experimenta un proceso de socavación general cuando ocurre una profundización de su lecho en un determinado tramo, debido a un desequilibrio entre la taza de salida de sedimento desde dicho tramo y la taza de entrada de sedimento al mismo. Este desequilibrio ocurre por un aumento local del arrastre provocado por el estrechamiento de sección donde la corriente se acelera.

b) Antecedentes Geotécnicos.

A continuación se entregan los resultados del análisis de la macrogranulometría:

Tabla Nº 3-1 - Diámetros Característicos Lecho Estero Fiscal.

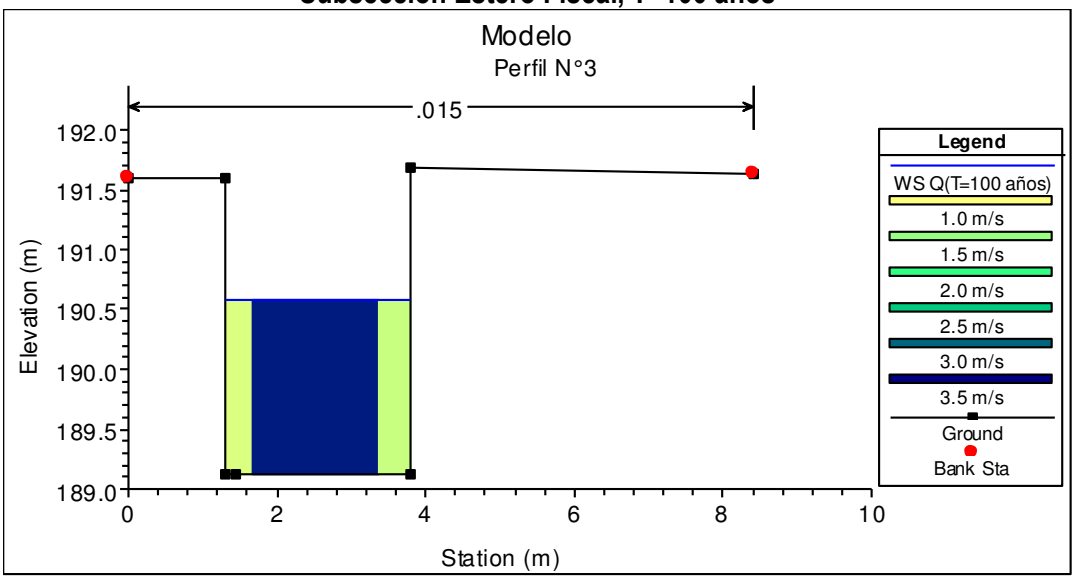
Diámetros Característicos		
D65	35.66	[mm]
D84	63.07	[mm]
D50	19.06	[mm]
D16	1.48	[mm]
Dm	24.61	[mm]

Fuente: Elaboración Propia

c) Antecedentes Hidráulicos

Se han obtenido las subsecciones del modelo elaborado con HEC-RAS. Cada subsección posee los antecedentes de cotas de agua, velocidades, caudales y otros, las que servirán de input para el cálculo de las socavaciones. A continuación, a modo ilustrativo, se muestran gráficamente las subsecciones del estero para T=100 años

Figura N°3-1
Subsección Estero Fiscal, T=100 años



Fuente: Elaboración Propia

3.2 Socavación General.

La socavación general del Estero Fiscal, fue determinada por los métodos de Lischtvan-Levediev y Neill, a continuación se describen ambos procedimientos.

a) Método de Lischtvan-Levediev

El procedimiento es muy conservador y se puede aplicar a lechos fluviales que no tienen material suficiente para acorazarse. Por lo tanto es aplicable a los ríos de pendientes moderadas y de granulometría extendida. El método supone que durante el "peak" de la crecida, se llega a una condición de equilibrio en que el aumento del área mojada debido a la socavación del lecho, disminuye la velocidad del escurrimiento a un valor tal que el proceso erosivo se detiene.

La hipótesis fundamental sobre la cual se basa el método establece que la distribución transversal de caudales de una sección se mantiene invariable durante todo el desarrollo erosivo.

Para sedimentos no cohesivos:

$$hsocj = \left(\frac{qj}{0.68 \times \beta \times D^{0.28} \times \psi} \right)^{\frac{1}{\chi+1}}$$

Dónde:

hsocj : Altura de escurrimiento en la franja socavada j, en (m).
qj : Caudal por unidad de ancho, en (m3/m/s)
D : Diámetro representativo del sedimento del lecho en (mm).
γs : Peso volumétrico del material seco en ton/m3.
β : Coeficiente en función de la probabilidad de excedencia, tabla 3.707.405.A.
ψ : Coeficiente que considera influencia del sedimento en suspensión, según tabla 3.707.405.B.
c : Parámetro de la fórmula de arrastre crítico según tabla 3.707405.B.

La socavación de la franja o subsección j, queda definida como:

$$S_j = hsocj - h_j$$

Dónde:

Sj : Socavación en la sección j, en (m).
hj : Profundidad máxima del escurrimiento en (m).

Los resultados de socavación obtenidos con este método, para periodo de retorno 100 años se muestran a modo informativo para una de las 6 subsecciones en la Tabla N°3-2 y en la tabla siguiente un resumen con todas las secciones analizadas, finalmente en el Anexo "Socavaciones" se presenta el detalle de los cálculos realizados.

Tabla N°3-2
Socavación General Estero Fiscal
Perfil N°3 – Con Proyecto

Plan: Plan 02 Estero El Fiscal El Fiscal RS: 3 Profile: Q(T=100 años)							Aguas Abajo		
Subsección Nº	Kilometraje subsección (m)		Caudal Qi (m^3/s)	Área Ai (m^2)	Perímetro bi (m)	Altura Escurrimiento hj (m)	Velocidad vi (m/s)	Altura Escurrimiento con Socavación hj (m)	Socavación Sj (m)
	Inicial	Final							
1	0.00	1.68	0.65	0.55	1.84	1.46	1.18	0.28	0.00
2	1.68	3.36	8.24	2.45	1.68	1.46	3.37	2.12	0.66
3	3.36	5.04	0.81	0.64	1.90	1.46	1.27	0.33	0.00
Socavación Máxima									**0.66**

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°3-3
Socavación General Resumen - Estero Fiscal

N° Perfil	Socavación General Sin Proyecto [m]	N° Perfil	Socavación General Con Proyecto [m]
1	1.58	1	1.48
2	0.00	2	0.00
3	0.00	3	0.66
4	0.00	4	0.00
5	0.00	5	0.00
6	0.00	6	0.04
Promedio	0.26	Promedio	0.36

Fuente: Elaboración Propia

b) Método de Neill.

El método de Neill compara la velocidad crítica, es decir, la velocidad límite que produce arrastre de las partículas, en la sección angosta del puente proyectado con la velocidad producida por el escurrimiento.

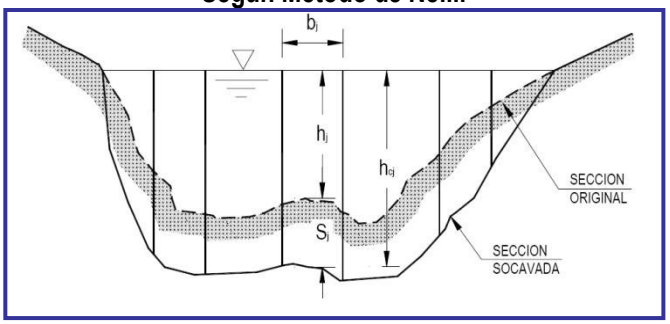
$$\frac{vc_i}{\sqrt{gh_i}} = 2.03\left(\frac{h_i}{D}\right)^{-0.4}$$

En que:

vc_i : velocidad crítica de arrastre
h_i : ancho o perímetro mojado de la subsección
g : aceleración de gravedad
D : diámetro característico del lecho

La metodología de cálculo consiste en determinar la sección de escurrimiento que se produciría si la velocidad del cauce se iguala a la velocidad crítica de movimiento de la partícula media. Esta superficie menos la que produce el escurrimiento real, condiciona la altura de socavación a partir del ancho del cauce. La Figura 3-2 muestra el esquema para el cálculo de socavación general.

Figura 3-2 Esquema para el Cálculo de Socavación General Según Método de Neill.



Fuente: Manual de Carreteras.

Se analizó la totalidad de las secciones del estero. Los resultados de socavación obtenidos con este método, para período de retorno de 100 años se muestran a modo informativo el perfil N°3 en la Tabla N°3-4 y en la tabla a continuación de esta, el resumen con las socavaciones obtenidas para cada perfil, en el Anexo "Socavaciones" se presenta el detalle de los cálculos realizados.

Tabla N°3-4
Socavación Estero Fiscal - Período de retorno T=100

Plan: Plan 02 Estero El Fiscal El Fiscal RS: 3 Profile: Q(T=100 años)							Aguas Arriba			
Subsección Nº	Kilometraje subsección (m)		Caudal qi (m^3/s)	Área Ai (m^2)	Perímetro bi (m)	Altura Escurrimiento hj (m)	Velocidad vi (m/s)	Velocidad Critica vci (m/s)	Altura Escurrimiento con Socavación hcj (m)	Socavación Sj (m)
	Inicial	Final								
1	0.00	1.68	0.35	0.55	1.84	1.46	1.18	1.68	0.21	0.00
2	1.68	3.36	4.90	2.45	1.68	1.46	3.37	2.51	1.95	0.49
3	3.36	5.04	0.43	0.64	1.90	1.46	1.27	1.75	0.24	0.00
Socavación Máxima										**0.49**

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°3-5
Resumen de Socavación General Estero Fiscal

N° Perfil	Socavación General Sin Proyecto [m]	N° Perfil	Socavación General Con Proyecto [m]
1	1.42	1	1.31
2	0.00	2	0.00
3	0.00	3	0.49
4	0.00	4	0.00
5	0.00	5	0.00
6	0.00	6	0.00
Promedio	0.24	Promedio	0.30

Fuente: Elaboración Propia

c) Valor de Socavación General Adoptado.

Los valores de socavación entregados por ambos métodos de cálculo difieren muy poco en orden de magnitud para el período de retorno de 100 años, obteniendo en promedio para la situacion con proyecto, una socavación general de 0.36 metros para Lichtvand y de 0,30 metros para Neill, en consecuencia y de acuerdo a lo recomendado en el numeral 3.707.405(3) del Volumen N°3 del Manual de Carreteras se adoptan como valor de socavación general para el estero 1 metro.

Respaldo de Modelaciones

Situación Sin Proyecto - T=2 Años

Perfil	Periodo de Retorno	Q Total (m3/s)	Cotas			Altura Escurrimiento (m)	Velocidad (m/s)	Área de Escurrimiento (m2)	Ancho Superficial (m)	Froude
			Fondo (m)	Escurrimiento (m)	Critica (m)					
6	T=2 años	1.58	189.27	189.71	189.75	0.44	1.98	0.8	3.16	1.26
5	T=2 años	1.58	189.03	189.72	189.37	0.69	0.73	2.16	3.6	0.3
4	T=2 años	1.58	189.08	189.71	189.41	0.63	0.84	1.88	3.4	0.36
3	T=2 años	1.58	189.12	189.71	189.38	0.59	0.7	2.25	3.82	0.29
2	T=2 años	1.58	189.17	189.52	189.52	0.35	1.87	0.84	2.4	1.01
1	T=2 años	1.58	187.33	187.54	187.77	0.21	5.3	0.3	2.44	4.85

Situación Sin Proyecto - T=5 Años

Perfil	Periodo de Retorno	Q Total (m3/s)	Cotas			Altura Escurrimiento (m)	Velocidad (m/s)	Área de Escurrimiento (m2)	Ancho Superficial (m)	Froude
			Fondo (m)	Escurrimiento (m)	Critica (m)					
6	T=5 años	2.61	189.27	190.01	189.87	0.74	1.44	1.81	3.57	0.65
5	T=5 años	2.61	189.03	189.93	189.48	0.90	0.89	2.93	3.8	0.32
4	T=5 años	2.61	189.08	189.91	189.53	0.83	1.01	2.59	3.61	0.38
3	T=5 años	2.61	189.12	189.92	189.48	0.80	0.86	3.03	3.82	0.31
2	T=5 años	2.61	189.17	189.66	189.66	0.49	2.2	1.18	2.4	1
1	T=5 años	2.61	187.33	187.61	187.91	0.28	5.61	0.46	2.44	4.11

Situación Sin Proyecto - T=10 Años

Perfil	Periodo de Retorno	Q Total (m3/s)	Cotas			Altura Escurrimiento (m)	Velocidad (m/s)	Área de Escurrimiento (m2)	Ancho Superficial (m)	Froude
			Fondo (m)	Escurrimiento (m)	Critica (m)					
6	T=10 años	3.58	189.27	190.19	189.97	0.92	1.46	2.45	3.78	0.58
5	T=10 años	3.58	189.03	190.10	189.58	1.07	0.99	3.6	4.23	0.34
4	T=10 años	3.58	189.08	190.08	189.63	1.00	1.11	3.22	3.78	0.39
3	T=10 años	3.58	189.12	190.08	189.57	0.96	0.97	3.68	3.83	0.32
2	T=10 años	3.58	189.17	189.78	189.78	0.61	2.45	1.46	2.4	1
1	T=10 años	3.58	187.33	187.67	188.02	0.34	5.83	0.61	2.44	3.71

Situación Sin Proyecto - T=25 Años

Perfil	Periodo de Retorno	Q Total (m3/s)	Cotas			Altura Escurrimiento (m)	Velocidad (m/s)	Área de Escurrimiento (m2)	Ancho Superficial (m)	Froude
			Fondo (m)	Escurrimiento (m)	Critica (m)					
6	T=25 años	5.51	189.27	190.49	190.13	1.22	1.5	3.68	4.16	0.51
5	T=25 años	5.51	189.03	190.42	189.74	1.39	1.01	5.43	7.5	0.38
4	T=25 años	5.51	189.08	190.38	189.80	1.30	1.26	4.39	4.1	0.39
3	T=25 años	5.51	189.12	190.38	189.72	1.26	1.14	4.81	3.83	0.33
2	T=25 años	5.51	189.17	189.98	189.98	0.81	2.83	1.94	2.4	1.01
1	T=25 años	5.51	187.33	187.79	188.22	0.46	6.15	0.9	2.44	3.24

Situación Sin Proyecto - T=50 Años

Perfil	Periodo de Retorno	Q Total (m3/s)	Cotas			Altura Escurrimiento (m)	Velocidad (m/s)	Área de Escurrimiento (m2)	Ancho Superficial (m)	Froude
			Fondo (m)	Escurrimiento (m)	Critica (m)					
6	T=50 años	7.45	189.27	190.75	190.28	1.48	1.56	4.76	4.47	0.48
5	T=50 años	7.45	189.03	190.71	189.89	1.68	0.93	8.05	10.6	0.34
4	T=50 años	7.45	189.08	190.64	189.95	1.56	1.35	5.52	4.37	0.38
3	T=50 años	7.45	189.12	190.65	189.85	1.53	1.28	5.83	3.84	0.33
2	T=50 años	7.45	189.17	190.16	190.16	0.99	3.13	2.38	2.4	1.01
1	T=50 años	7.45	187.33	187.90	188.40	0.57	6.4	1.16	2.44	2.96

Situación Sin Proyecto - T=100 Años

Perfil	Periodo de Retorno	Q Total (m3/s)	Cotas			Altura Escurrimiento (m)	Velocidad (m/s)	Área de Escurrimiento (m2)	Ancho Superficial (m)	Froude
			Fondo (m)	Escurrimiento (m)	Critica (m)					
6	T=100 años	9.71	189.27	191.01	190.42	1.74	1.62	5.99	4.79	0.46
5	T=100 años	9.71	189.03	191.01	190.04	1.98	0.83	11.71	12.84	0.28
4	T=100 años	9.71	189.08	190.93	190.10	1.85	1.42	6.85	5.73	0.41
3	T=100 años	9.71	189.12	190.93	189.99	1.81	1.41	6.91	3.85	0.34
2	T=100 años	9.71	189.17	190.35	190.35	1.18	3.42	2.84	2.4	1.01
1	T=100 años	9.71	187.33	188.02	188.59	0.69	6.64	1.46	2.44	2.74

Situación Con Proyecto - T=2 Años

Perfil	Periodo de Retorno	Q Total (m3/s)	Cotas			Altura Escurrimiento (m)	Velocidad (m/s)	Área de Escurrimiento (m2)	Ancho Superficial (m)	Froude
			Fondo (m)	Escurrimiento (m)	Critica (m)					
6	T=2 años	1.58	189.27	189.71	189.75	0.44	1.98	0.8	3.16	1.26
5	T=2 años	1.58	189.03	189.69	189.37	0.66	0.77	2.05	3.57	0.32
4	T=2 años	1.58	189.08	189.67	189.41	0.59	0.9	1.76	3.36	0.39
3	T=2 años	1.58	189.12	189.63	189.46	0.51	1.25	1.26	2.5	0.56
2	T=2 años	1.58	189.17	189.51	189.51	0.34	1.84	0.86	2.5	1.01
1	T=2 años	1.58	187.33	187.43	187.67	0.10	6.2	0.26	2.5	6.2

Situación Con Proyecto - T=5 Años

Perfil	Periodo de Retorno	Q Total (m3/s)	Cotas			Altura Escurrimiento (m)	Velocidad (m/s)	Área de Escurrimiento (m2)	Ancho Superficial (m)	Froude
			Fondo (m)	Escurrimiento (m)	Critica (m)					
6	T=5 años	2.61	189.27	189.99	189.87	0.72	1.52	1.72	3.54	0.69
5	T=5 años	2.61	189.03	189.89	189.48	0.86	0.94	2.78	3.76	0.35
4	T=5 años	2.61	189.08	189.86	189.53	0.78	1.07	2.43	3.56	0.41
3	T=5 años	2.61	189.12	189.79	189.60	0.67	1.56	1.67	2.5	0.61
2	T=5 años	2.61	189.17	189.65	189.65	0.48	2.18	1.2	2.5	1.01
1	T=5 años	2.61	187.33	187.49	187.81	0.16	6.42	0.41	2.5	5.09

Situación Con Proyecto - T=10 Años

Perfil	Periodo de Retorno	Q Total (m3/s)	Cotas			Altura Escurrimiento (m)	Velocidad (m/s)	Área de Escurrimiento (m2)	Ancho Superficial (m)	Froude
			Fondo (m)	Escurrimiento (m)	Critica (m)					
6	T=10 años	3.58	189.27	190.15	189.97	0.88	1.55	2.31	3.74	0.63
5	T=10 años	3.58	189.03	190.06	189.58	1.03	1.05	3.41	3.92	0.36
4	T=10 años	3.58	189.08	190.03	189.63	0.95	1.18	3.03	3.73	0.42
3	T=10 años	3.58	189.12	189.92	189.71	0.80	1.78	2.01	2.5	0.63
2	T=10 años	3.58	189.17	189.76	189.76	0.59	2.42	1.48	2.5	1.01
1	T=10 años	3.58	187.33	187.55	187.92	0.22	6.59	0.54	2.5	4.52

Situación Con Proyecto - T=25 Años

Perfil	Periodo de Retorno	Q Total (m3/s)	Cotas			Altura Escurrimiento (m)	Velocidad (m/s)	Área de Escurrimiento (m2)	Ancho Superficial (m)	Froude
			Fondo (m)	Escurrimiento (m)	Critica (m)					
6	T=25 años	5.51	189.27	190.45	190.13	1.18	1.57	3.51	4.11	0.54
5	T=25 años	5.51	189.03	190.36	189.74	1.33	1.1	5.01	6.88	0.41
4	T=25 años	5.51	189.08	190.31	189.80	1.23	1.33	4.14	4.03	0.42
3	T=25 años	5.51	189.12	190.16	189.91	1.04	2.13	2.59	2.5	0.67
2	T=25 años	5.51	189.17	189.96	189.96	0.79	2.79	1.97	2.5	1
1	T=25 años	5.51	187.33	187.65	188.12	0.32	6.87	0.8	2.5	3.87

Situación Con Proyecto - T=50 Años

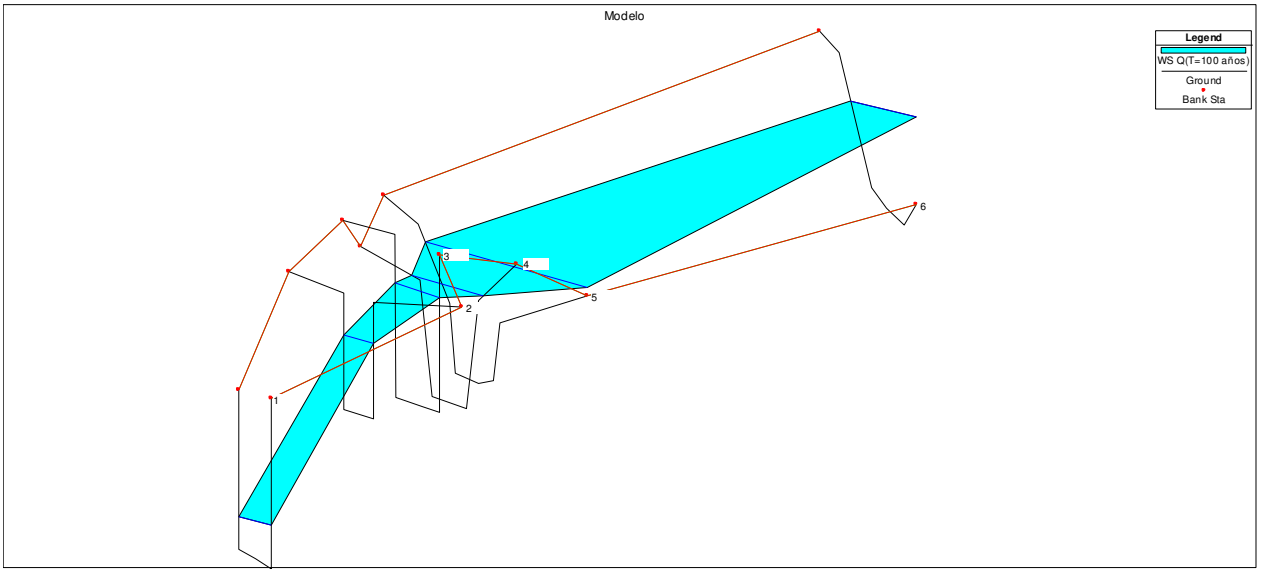
Perfil	Periodo de Retorno	Q Total (m3/s)	Cotas			Altura Escurrimiento (m)	Velocidad (m/s)	Área de Escurrimiento (m2)	Ancho Superficial (m)	Froude
			Fondo (m)	Escurrimiento (m)	Critica (m)					
6	T=50 años	7.45	189.27	190.70	190.28	1.43	1.64	4.55	4.41	0.52
5	T=50 años	7.45	189.03	190.64	189.89	1.61	1.01	7.39	9.91	0.37
4	T=50 años	7.45	189.08	190.57	189.95	1.49	1.43	5.22	4.3	0.41
3	T=50 años	7.45	189.12	190.36	190.08	1.24	2.41	3.1	2.5	0.69
2	T=50 años	7.45	189.17	190.13	190.13	0.96	3.09	2.41	2.5	1
1	T=50 años	7.45	187.33	187.75	188.29	0.42	7.09	1.05	2.5	3.49

Situación Con Proyecto - T=100 Años

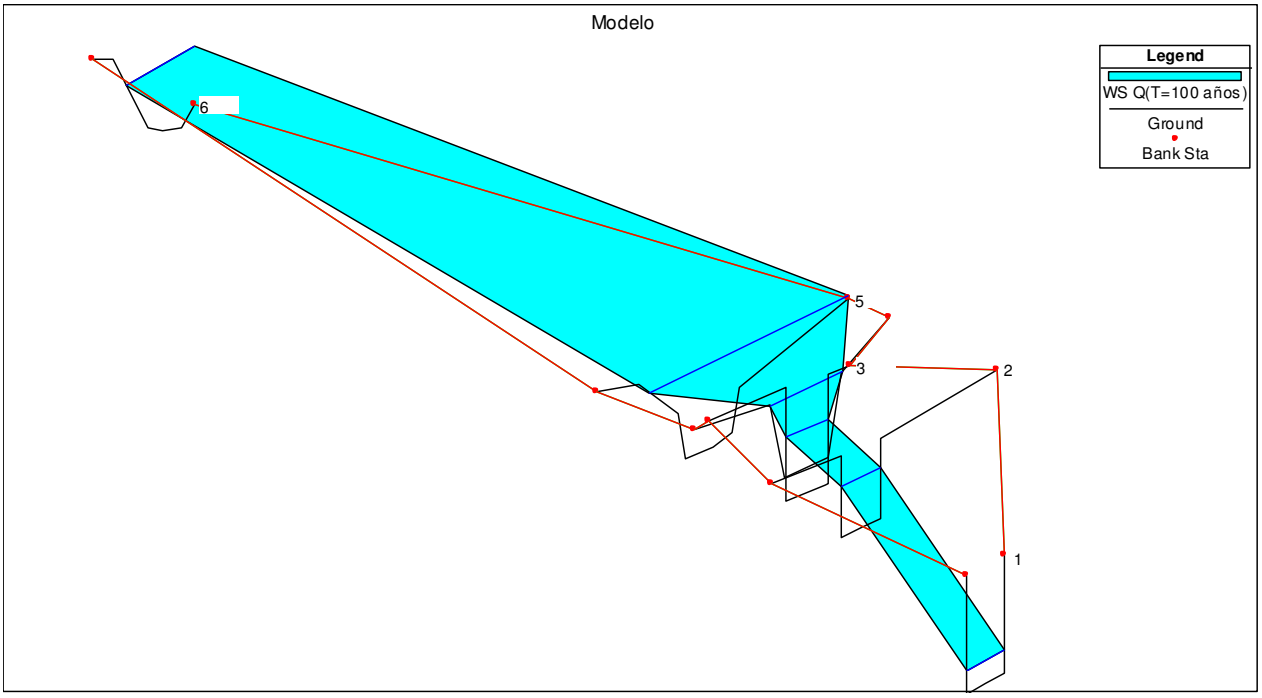
Perfil	Periodo de Retorno	Q Total (m3/s)	Cotas			Altura Escurrimiento (m)	Velocidad (m/s)	Área de Escurrimiento (m2)	Ancho Superficial (m)	Froude
			Fondo (m)	Escurrimiento (m)	Critica (m)					
6	T=100 años	9.71	189.27	190.95	190.42	1.68	1.7	5.72	4.72	0.49
5	T=100 años	9.71	189.03	190.94	190.04	1.91	0.89	10.86	12.69	0.31
4	T=100 años	9.71	189.08	190.85	190.10	1.77	1.5	6.47	4.68	0.41
3	T=100 años	9.71	189.12	190.58	190.27	1.46	2.66	3.64	2.5	0.7
2	T=100 años	9.71	189.17	190.32	190.32	1.15	3.38	2.88	2.5	1
1	T=100 años	9.71	187.33	187.86	188.48	0.53	7.32	1.33	2.5	3.21

Vista Isométrica – Modelación

Vista Isométrica Eje Hidráulico – T=100 años
Situación Sin Proyecto

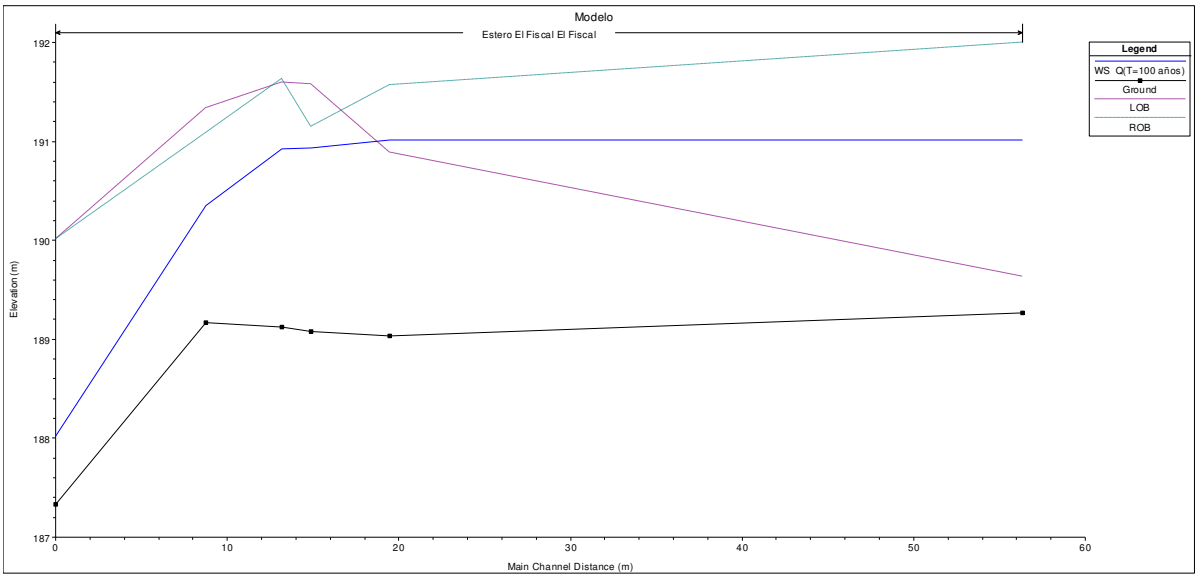


Vista Isométrica Eje Hidráulico – T=100 años
Situación Con Proyecto

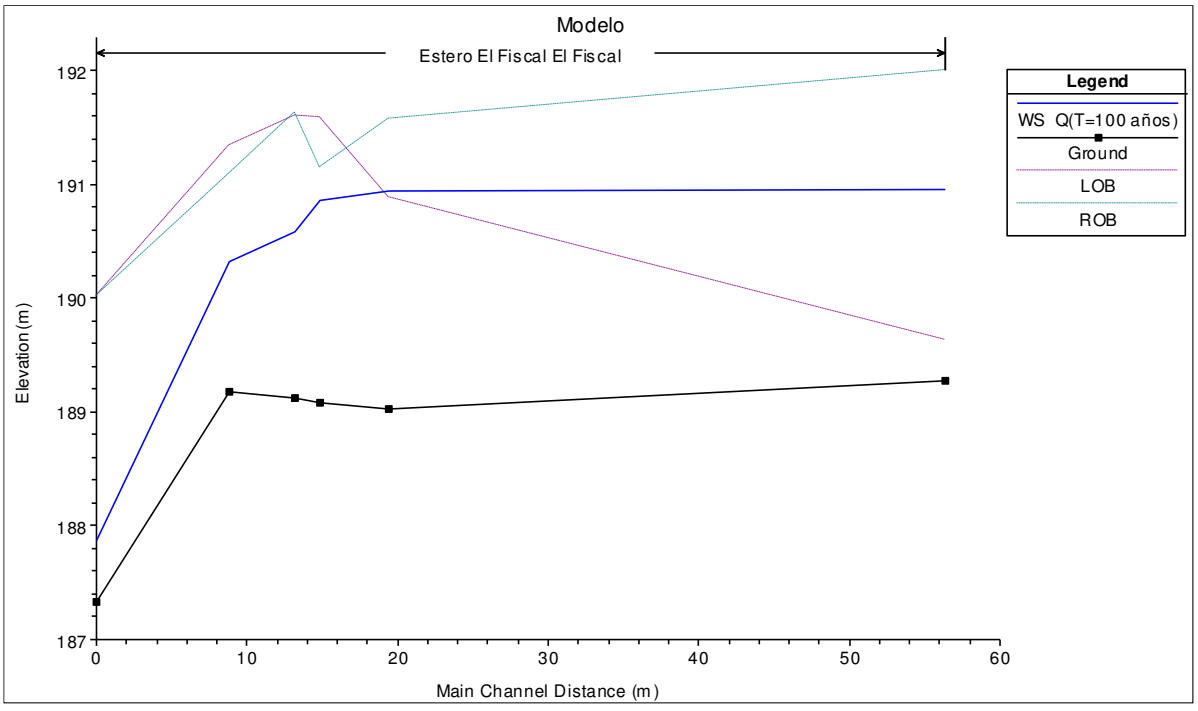


Perfil Longitudinal

Perfil Longitudinal Eje Hidráulico – T=100 años
Situación Sin Proyecto

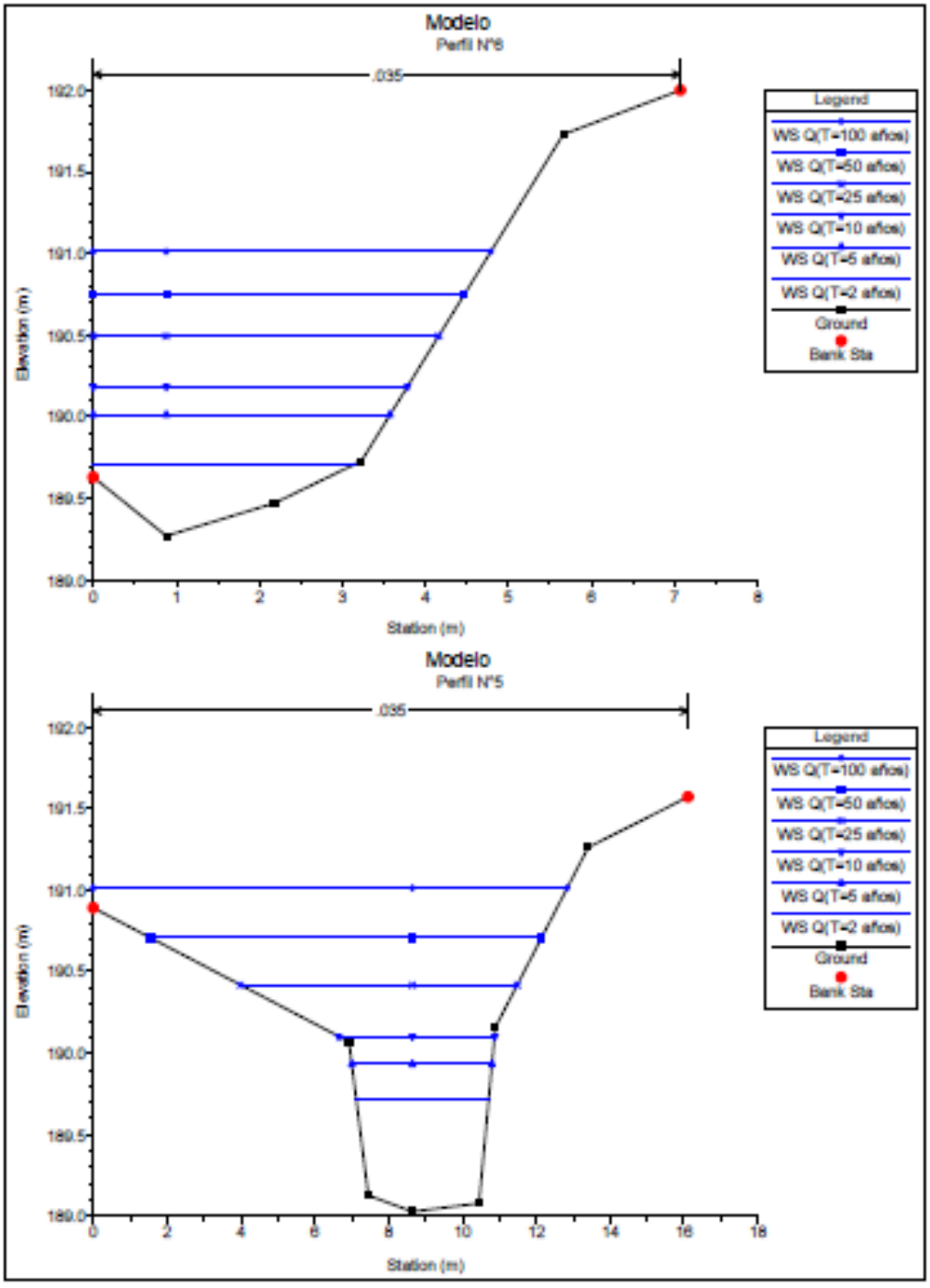


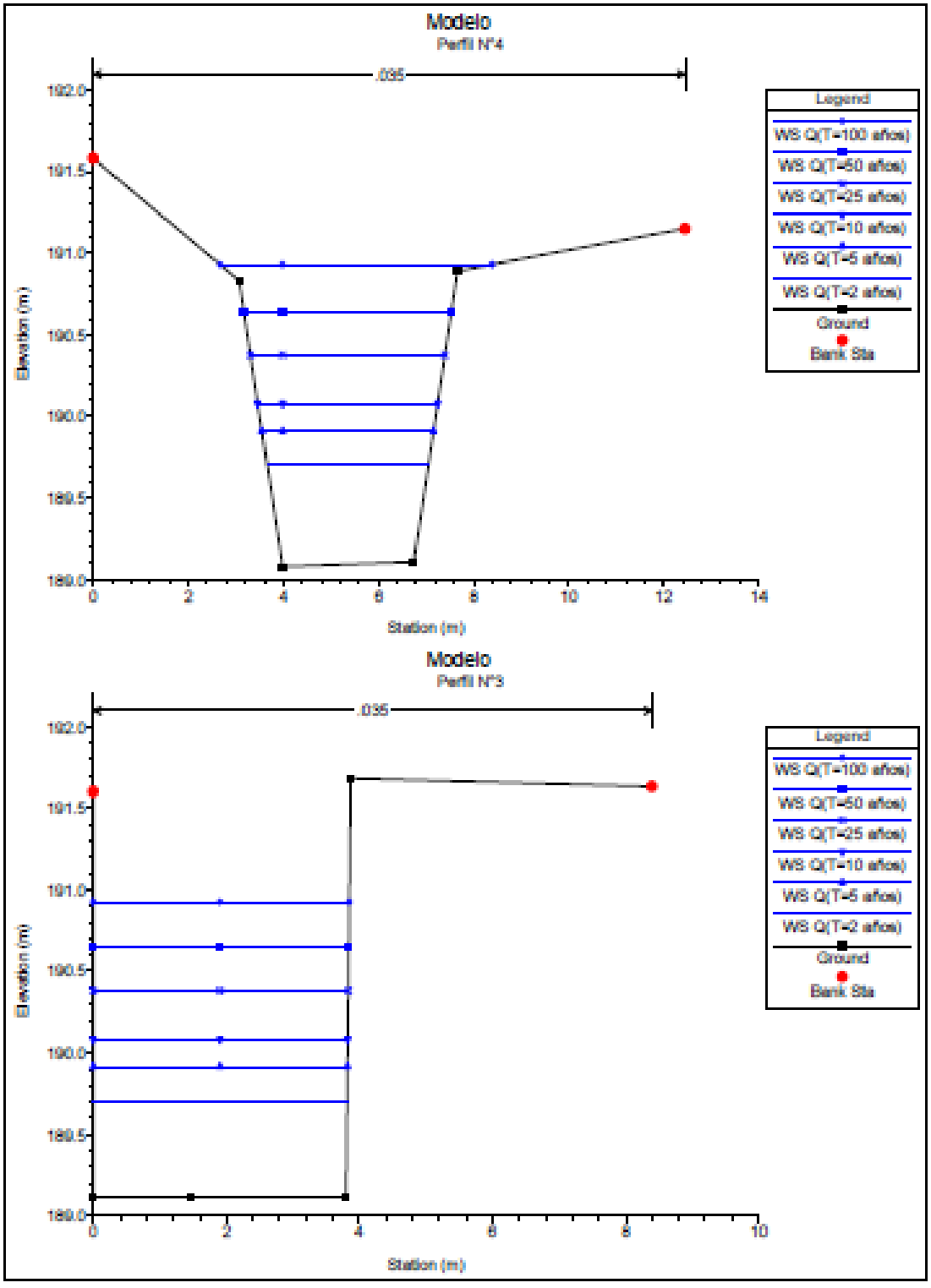
Perfil Longitudinal Eje Hidráulico – T=100 años
Situación Con Proyecto

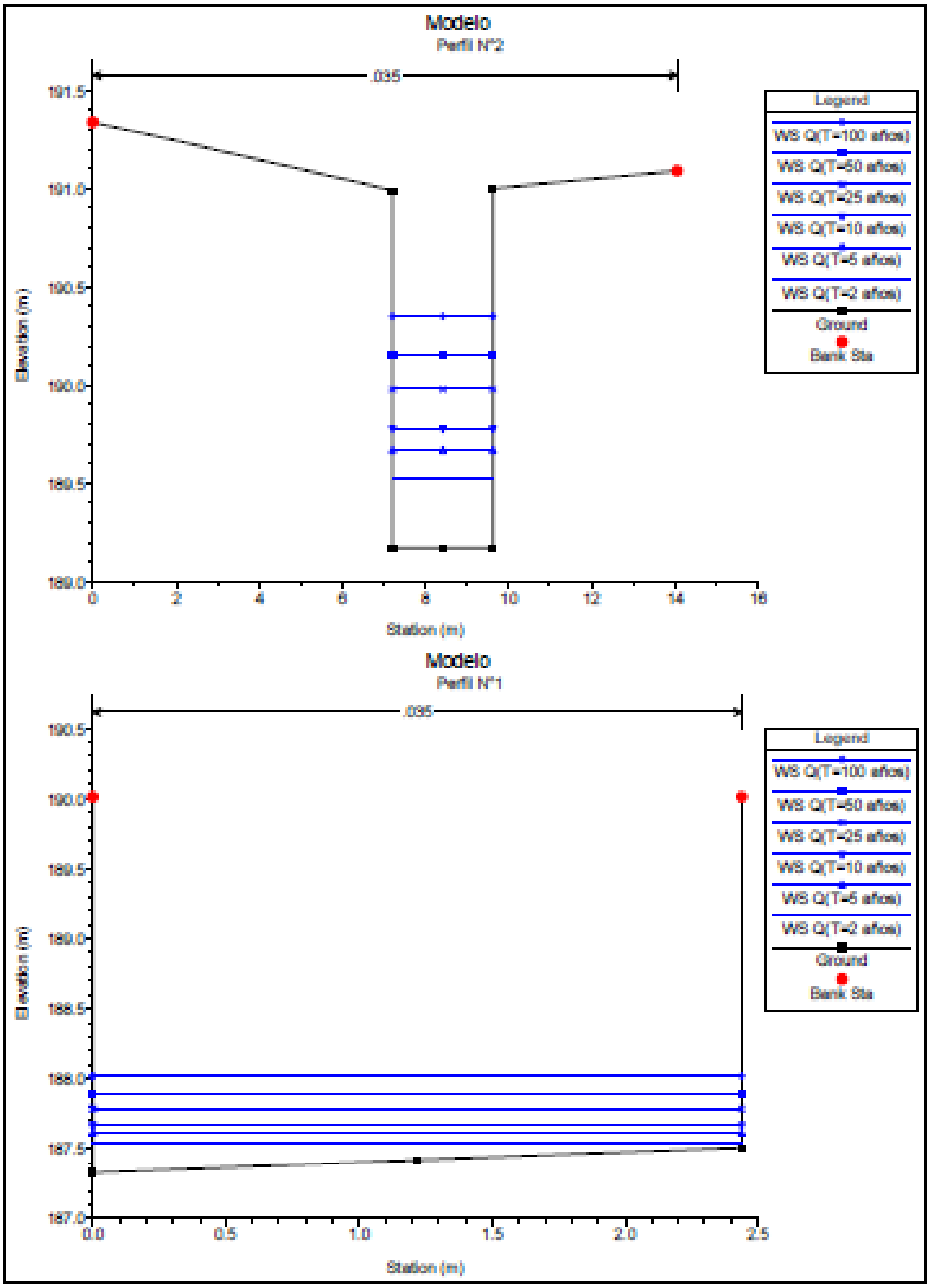


Perfiles Transversales

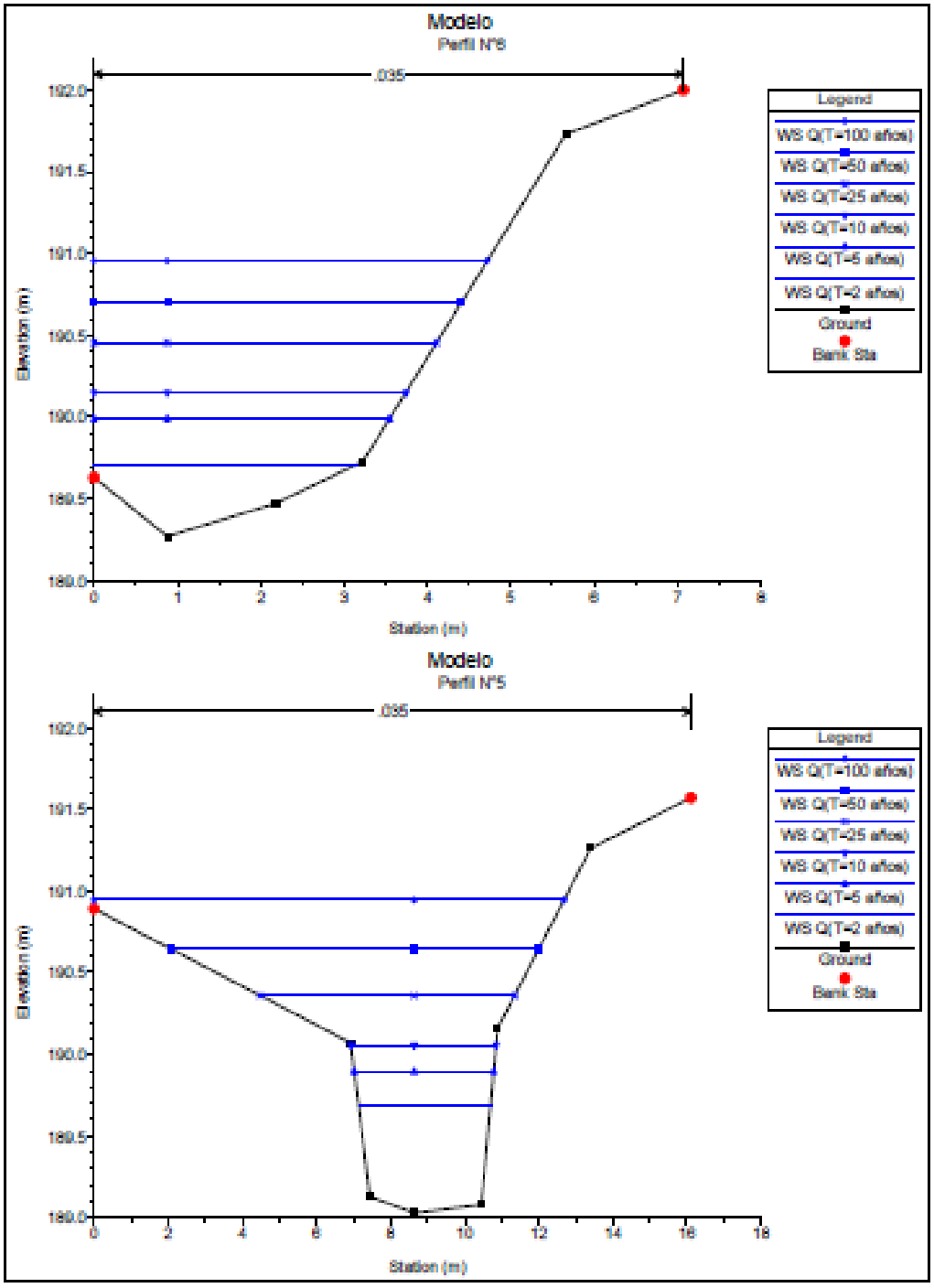
Situación - Sin Proyecto

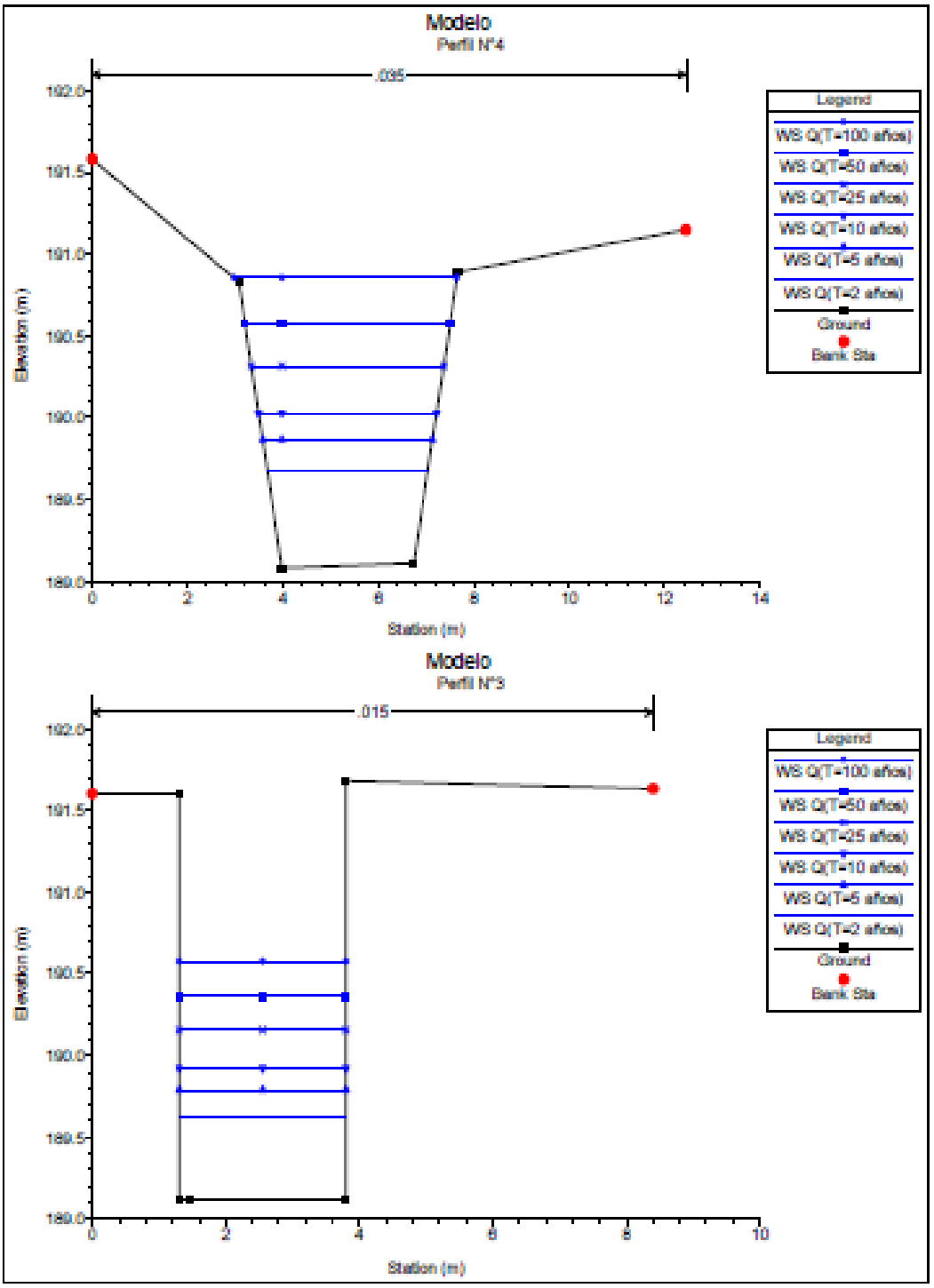


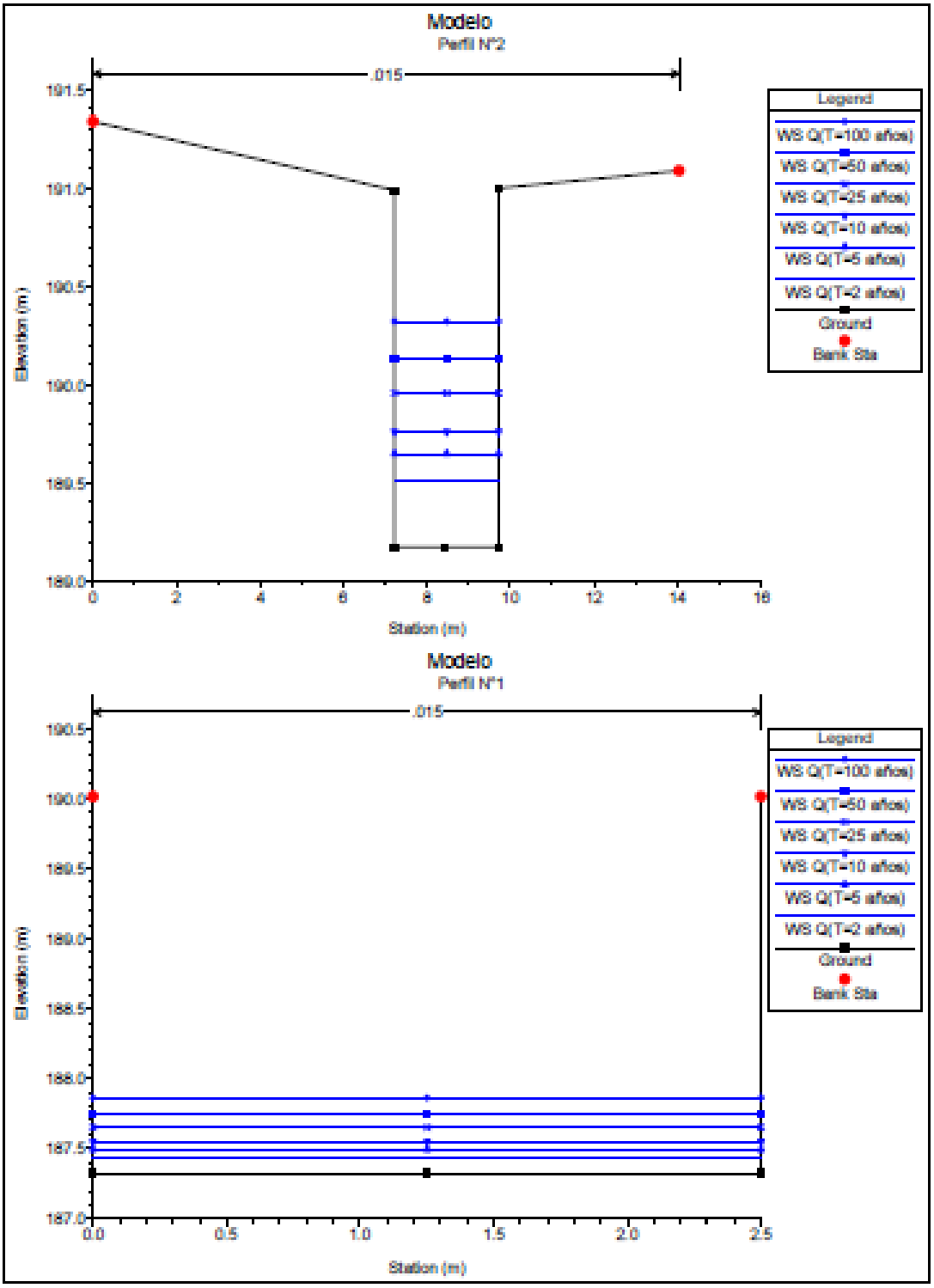

Modelo
Perfil N°4
.035
192.0
191.5
191.0
190.5
190.0
189.5
189.0
Elevation (m)
0
2
4
6
8
10
12
14
Station (m)
Legend
WS Q(T=100 años)
WS Q(T=50 años)
WS Q(T=25 años)
WS Q(T=10 años)
WS Q(T=5 años)
WS Q(T=2 años)
Ground
Bank Sta
Modelo
Perfil N°3
.035
192.0
191.5
191.0
190.5
190.0
189.5
189.0
Elevation (m)
0
2
4
6
8
10
Station (m)
Legend
WS Q(T=100 años)
WS Q(T=50 años)
WS Q(T=25 años)
WS Q(T=10 años)
WS Q(T=5 años)
WS Q(T=2 años)
Ground
Bank Sta


Modelo
Perfil N°2
.035
191.5
191.0
190.5
190.0
189.5
189.0
Elevation (m)
0
2
4
6
8
10
12
14
16
Station (m)
Legend
WS Q(T=100 años)
WS Q(T=50 años)
WS Q(T=25 años)
WS Q(T=10 años)
WS Q(T=5 años)
WS Q(T=2 años)
Ground
Bank Sta
Modelo
Perfil N°1
.035
190.5
190.0
189.5
189.0
188.5
188.0
187.5
187.0
Elevation (m)
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
Station (m)
Legend
WS Q(T=100 años)
WS Q(T=50 años)
WS Q(T=25 años)
WS Q(T=10 años)
WS Q(T=5 años)
WS Q(T=2 años)
Ground
Bank Sta

Situación Con Proyecto




Modelo
Perfil N°4
.035
192.0
191.5
191.0
190.5
190.0
189.5
189.0
Elevation (m)
0
2
4
6
8
10
12
14
Station (m)
Legend
WS Q(T=100 años)
WS Q(T=50 años)
WS Q(T=25 años)
WS Q(T=10 años)
WS Q(T=5 años)
WS Q(T=2 años)
Ground
Bank Sta
Modelo
Perfil N°3
.015
192.0
191.5
191.0
190.5
190.0
189.5
189.0
Elevation (m)
0
2
4
6
8
10
Station (m)
Legend
WS Q(T=100 años)
WS Q(T=50 años)
WS Q(T=25 años)
WS Q(T=10 años)
WS Q(T=5 años)
WS Q(T=2 años)
Ground
Bank Sta


Modelo
Perfil N°2
.015
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q(T=100 años)
WS Q(T=50 años)
WS Q(T=25 años)
WS Q(T=10 años)
WS Q(T=5 años)
WS Q(T=2 años)
Ground
Bank Sta
Modelo
Perfil N°1
.015
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q(T=100 años)
WS Q(T=50 años)
WS Q(T=25 años)
WS Q(T=10 años)
WS Q(T=5 años)
WS Q(T=2 años)
Ground
Bank Sta