



ANEXO MI-03

MODELACIÓN HIDRODINÁMICA DEL ARROYO PANDO

**PREDIO RINCON DE PANDO
DEPARTAMENTO DE CANELONES**

MODELACIÓN HIDRODINÁMICA DEL ARROYO PANDO

Zona Pinar Norte

Informe final



ISTEC
INGENIERÍA

Noviembre 2015

1 Introducción

El presente informe resume los estudios hidráulicos e hidrológicos realizados por ISTECH Ingeniería en un tramo del Arroyo Pando (Pinar Norte) con el objetivo de:

- Analizar el comportamiento hidrológico e hidráulico del curso de agua en la zona de estudio para tormentas con períodos de retorno 2, 10 y 100 años.
- Identificación de zonas según frecuencia de inundación (períodos de retorno) y posibles usos afectados.

El desarrollo del modelo hidrodinámico se basó en el software HEC-RAS, versión 4.1. El mismo es un modelo hidráulico unidimensional creado por la USACE (United States Army Corps of Engineers), de libre distribución.

En base al manual de DINAGUA *“Inundaciones urbanas: Instrumentos para la gestión de riesgo en las políticas públicas”* se consideró que debida a las características de la futura utilización de la zona de estudio, la curva que defina el área inundable sea la curva de inundación correspondiente a un período de retorno de 100 años.

2 Información disponible

2.1 Información topográfica

2.1.1 Relevamiento en campo

Se cuenta con el relevamiento topográfico de 17 perfiles longitudinales del arroyo Pando, cuya ubicación se indica en la Figura 2.1. Se cuenta también con el relevamiento del puente ubicado en la ruta Interbalnearia y con el relevamiento de la presa existente en el arroyo. También fueron relevadas las curvas de nivel cada 0.5 m en la zona del predio

2.1.2 Modelo Digital del terreno

Se dispone de las cartas del Servicio Geográfico Militar (SGM) a escala 1/50000, con curvas de nivel cada 10 m. A su vez se cuenta con las curvas de nivel cada 10 m para el departamento de Canelones en formato shape. Estos archivos en formato shape se encuentran en la actualidad disponibles para todo usuario en la página de Infraestructura de Datos Espaciales de Uruguay (IDEuy).

A partir de las curvas de nivel cada 10 m y de las curvas cada 0.5 m relevadas en la zona del predio, se obtuvo un Modelo Digital del Terreno para la zona de interés a partir de un sistema de información geográfica (GIS). El modelo obtenido es de utilidad para determinar las manchas de inundación y complementar información de los perfiles longitudinales

2.2 Información limnimétrica

Se cuenta con la curva de frecuencia de niveles diarios en la Estación Hidrométrica 197 (Peaje Pando) de la DINAGUA, para el período comprendido entre los años 1980 y 2010 inclusive; y para la Estación Hidrométrica 22 (Pando Pte. FFCC) para el período 1927 a 1971.

A su vez se dispone de información estadística sobre los valores de niveles máximos en el puerto de Montevideo, para diferentes períodos de retorno. Estos datos serán utilizados como condición de borde del modelo en la desembocadura del arroyo al mar, como se detallará más adelante en este informe.

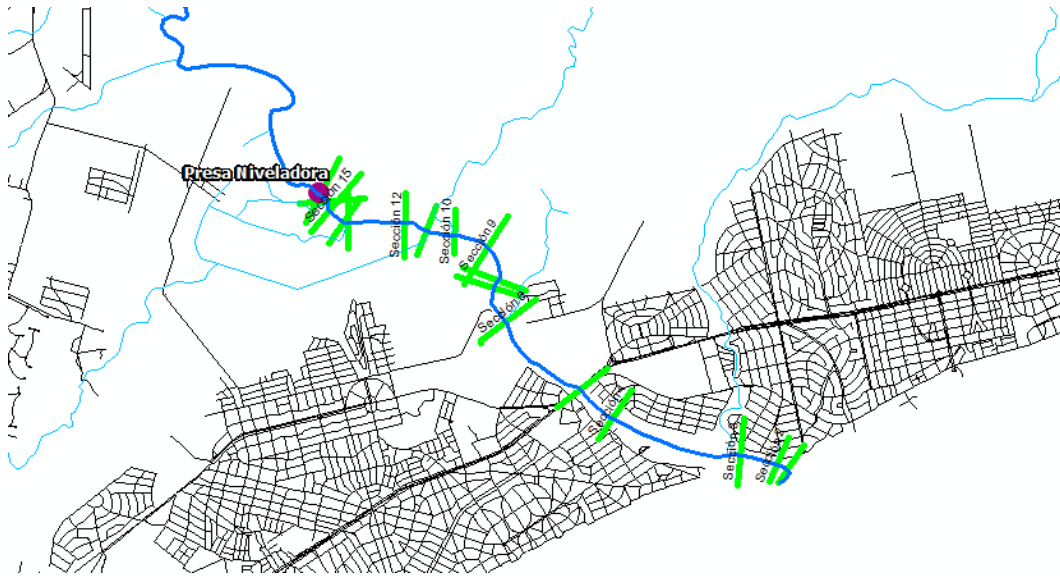


Figura 2.1 Perfiles relevados e ingresados al modelo (en verde)

3 Modelación hidrodinámica

3.1 Introducción

Para representar el comportamiento hidráulico de un río en un período de tiempo dado se puede realizar una modelación matemática del mismo. Esto consiste en la formulación y resolución numérica de las ecuaciones que gobiernan al fenómeno. Todo modelo debe tener una primera etapa de ingreso de información y esquematización considerando los procesos físicos relevantes, la geometría y las condiciones de borde. Una vez concluido esto, es necesario realizar una calibración, es decir un ajuste del modelo según datos de la realidad. Posteriormente es necesario realizar una verificación del modelo para evaluar la calidad de los resultados obtenidos. Finalmente se realizó la explotación del modelo mediante la cual se obtienen datos que son representativos del comportamiento del prototipo.

Se utilizó una modelación unidimensional, en donde la variación espacial de los parámetros se considera solamente en la dirección principal del movimiento del agua. Esta es una aproximación razonable para el caso de un río, debido a las dimensiones de la zona a modelar (decenas de kilómetros en la dirección del eje del cauce y del orden de uno o dos kilómetros en la dirección perpendicular al mismo).

Por lo tanto se utilizaron para describir al fenómeno físico, las ecuaciones unidimensionales de Saint Venant para el flujo a superficie libre. Las ecuaciones de Saint Venant resultan de la aplicación de los principios de conservación de la masa y conservación de la cantidad de movimiento integrados en la vertical, adoptando las hipótesis de fluido homogéneo incompresible, pendiente de fondo pequeña y longitudes de onda mucho mayores que la profundidad del flujo, de forma que el flujo pueda asumirse siempre con dirección paralela al fondo y por tanto puedan despreciarse las aceleraciones verticales y asumirse distribución hidrostática de presiones en la vertical.

El sistema de ecuaciones de Saint Venant constituyen un sistema de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales no lineales de tipo hiperbólico, cuya forma más clásica de resolución

numérica es utilizando alguna variante de los métodos de diferencias finitas. Una expresión típica de este sistema es:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right)}{\partial x} + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2 AR} = 0$$

En donde:

- A es el área de la sección de flujo
- q es el ingreso lateral de caudal
- α es el coeficiente de distribución de la cantidad de movimiento
- g es la aceleración gravitacional
- C es el coeficiente de rugosidad de Chezy
- R es el radio hidráulico de la sección

El modelo permite predecir la influencia sobre las variables hidráulicas, en particular los niveles de agua y caudales, así como definir zonas inundables para situaciones actuales o modificadas, frente a determinado evento de tormenta. Tiene la posibilidad de representar distintos tipos de estructuras existentes o proyectadas dentro del sistema en estudio, tales como represas, alcantarillas, vertederos, etc. El modelo puede ser también usado con fines de predicción, ya que contando con los registros pluviométricos en la cuenca del río, se puede anticipar el alcance y la duración de una crecida.

3.1.1 Software utilizado

Para la modelación hidrodinámica del arroyo Pando se utilizó el software HEC-RAS versión 4.1. HEC-RAS es un software libre desarrollado por la USACE (United States Army Corps of Engineers) que permite modelar el comportamiento hidráulico de ríos naturales, así como otros canales en situación de flujo a superficie libre.

Es un modelo unidimensional, que permite considerar tanto flujo estacionario como no estacionario. En este caso se modeló el río para flujo no estacionario. El programa resuelve mediante métodos de diferencias finitas las ecuaciones de Saint Venant para el flujo a superficie libre, en su forma unidimensional.

En particular, el HEC-RAS resuelve las ecuaciones de Saint Venant mediante un esquema de diferencias finitas implícito llamado Esquema de Diferencias Finitas Implícito de los Cuatro Puntos, también conocido como Esquema de la Caja ("box scheme") o esquema de Preissmann.

4 Procesamiento de datos e ingresos de datos al modelo

En esta etapa se procedió al procesamiento, acondicionamiento e ingreso de datos al modelo. Los datos a ingresar se separan en dos conjuntos: los datos vinculados a la descripción geométrica de la zona modelada y los datos que describen las condiciones de borde del modelo.

4.1 Procesamiento e ingresos de datos geométricos

Se procesó la información recibida de relevamientos de campo, se digitalizó e ingresó al modelo en forma de perfiles transversales. Se modeló un tramo que va desde la desembocadura en el Río de la Plata hasta 9 km aguas arriba.

4.2 Procesamiento e ingreso de condiciones de borde

Se estableció como condición de borde aguas abajo del modelo, el valor de nivel del Río de la Plata en la desembocadura del arroyo. Se utilizaron para diferentes corridas del modelo, niveles correspondientes al valor medio y a valores máximos para diferentes períodos de retorno. Estos valores de niveles se obtienen a partir de los niveles observados y estimados en el puerto de Montevideo.

La condición de borde aguas arriba del modelo fue el hidrograma de la avenida correspondiente a la cuenca afluyente de cabecera. El hidrograma se obtiene mediante una modelación hidrológica descrita a continuación.

También se ingresaron al modelo cuatro hidrogramas correspondientes a las cuencas laterales.

4.2.1 Modelo hidrológico

4.2.1.1 Método del NRCS

En la modelación hidrológica se determinaron los hidrogramas de crecida, relaciones tiempo – caudal, que simulan el aporte de las cuencas que contribuyen al tramo modelado del arroyo Pando. Se utilizó para modelar los hidrogramas de cada cuenca el método del NRCS (ex SCS) desarrollado por el Servicio de Conservación de Recursos Naturales de los EE.UU. El método tiene como referencia básica el National Engineering Handbook, Section 4, “Hydrology”, (1985 y posteriores).

El método calcula el volumen de escurrimiento de eventos extremos a partir de la precipitación, las características del suelo, cobertura de la cuenca y condiciones antecedentes de humedad. Además, propone la utilización de un hidrograma unitario triangular o adimensional para la estimación del caudal máximo y el hidrograma correspondiente al evento extremo, a partir de la precipitación efectiva.

Básicamente, se compone de tres etapas. En la primera etapa se construye una tormenta de diseño, en la segunda se calcula el escurrimiento y en la tercera etapa se determina el hidrograma de avenida a partir del hidrograma unitario.

En la primera etapa del modelo se construye una tormenta de diseño basándose en las curvas IDF (Intensidad Duración Frecuencia), a partir del Método del Bloque Alternativo en el cual se supone que la tormenta tiene una duración igual a dos veces su tiempo de concentración y se divide esa duración en doce intervalos.

A continuación se calcula la precipitación efectiva. Esta es la porción de la precipitación que no infiltrará al terreno ni es retenida en depresiones o almacenamientos superficiales al terreno, es decir la parte de la precipitación que participará del escurrimiento. Para hallar la precipitación efectiva se utiliza el método del Número de Curva. En este método se calcula la precipitación efectiva en base a la precipitación total y a las características de uso y tipo de suelo. Se define un número adimensional de curva NC, el cual ha sido tabulado en base al tipo de suelo y al uso del mismo.

La última etapa consiste en la determinación del hidrograma de avenida a partir de un hidrograma unitario. El método propone un hidrograma triangular basado en las características de la cuenca. El hidrograma triangular se define en función del tiempo de concentración y del área de la cuenca.

4.2.1.2 Cuenclas modeladas

Se debe diferenciar entre el hidrograma correspondiente a la cuenca afluyente de cabecera, el cual se ingresa como condición de borde en la sección más aguas arriba del modelo, y los hidrogramas laterales que se ingresan a lo largo del cauce.

Para el primer hidrograma, correspondiente a la cuenca de cabecera, debido a que el área de la cuenca es más grande que lo recomendado por el método del NRCS, se procedió a dividir la cuenca en subcuencas, y a transitar mediante el método de Muskingum, el caudal proveniente de las subcuencas más aguas arriba, de forma de obtener un hidrograma más representativo de la realidad.

Para implementar este modelo hidrológico se utilizó el software HEC-HMS del Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos, en su versión 4.0. El modelo calcula el hidrograma correspondiente a cada subcuenca mediante el método del NRCS antes descrito y luego mediante el método de Muskingum modela el tránsito en la cuenca.

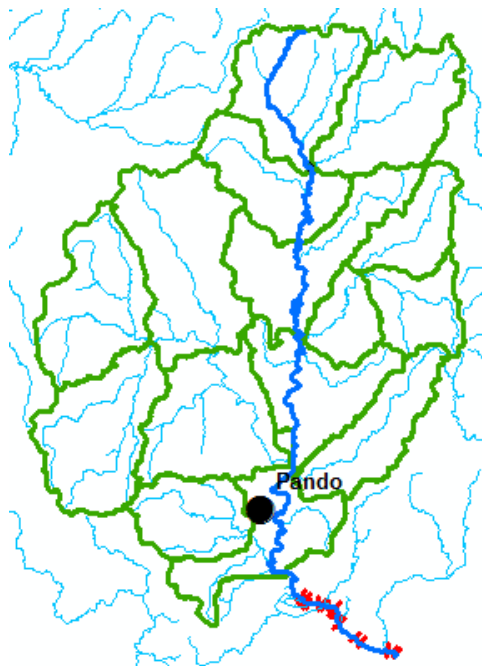


Figura 4.1 División de la cuenca de cabecera en subcuencas

El método del NRCS requiere información geomorfológica de las cuencas, así como del tipo de suelo. Para la implementación del modelo hidrológico se calculó el área de cada cuenca, la longitud del cauce principal, la pendiente del cauce principal, la unidad y grupos hidrológicos de los suelos de cada cuenca. A su vez, se calculó el tiempo de concentración de cada cuenca a partir del método de Kirpich para flujos concentrados.

$$Tc = 0.4 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

En donde:

- T_c es el tiempo de concentración (horas)
- L es la longitud hidráulica de la cuenca (en km)
- S es la pendiente (%)

Se generaron para la cuenca de cabecera los hidrogramas correspondientes a 2, 10 y 100 años de período de retorno. A continuación en las Figura 4.2, 4.3 y 4.4 se presentan las gráficas correspondientes.

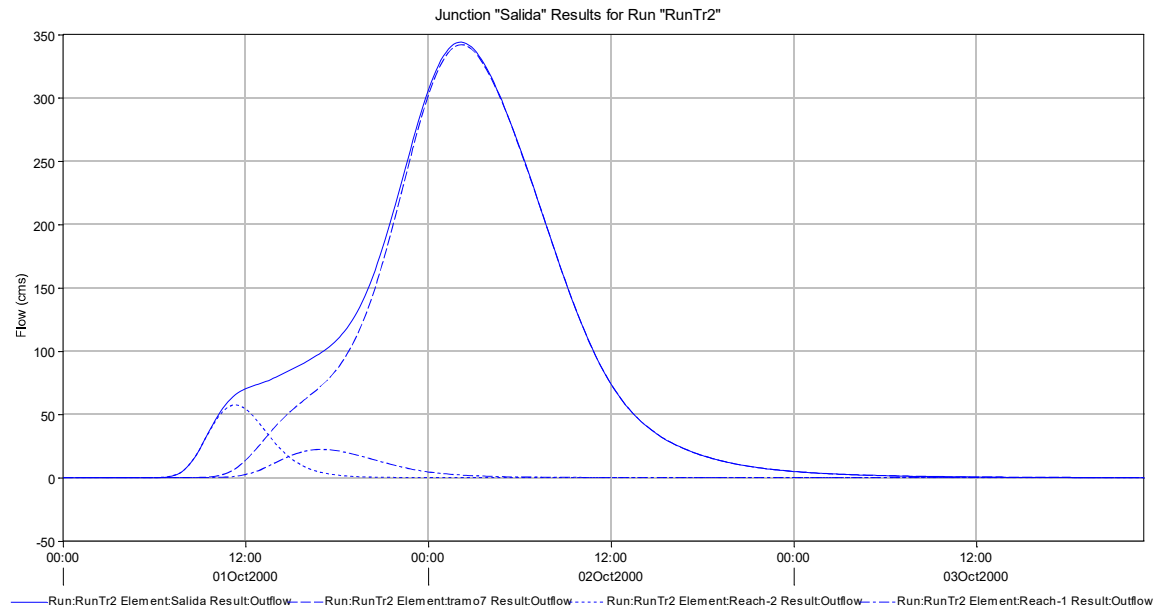


Figura 4.2 Hidrograma de cuenca de cabecera para Tr 2 años (línea continua)

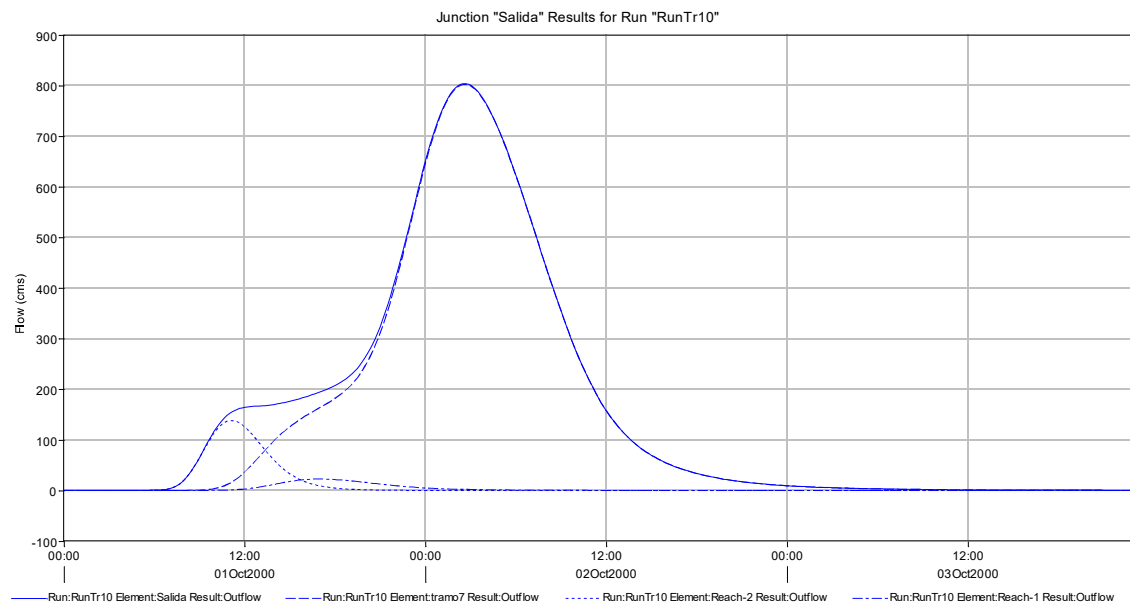


Figura 4.3 Hidrograma de cuenca de cabecera para Tr 10 años

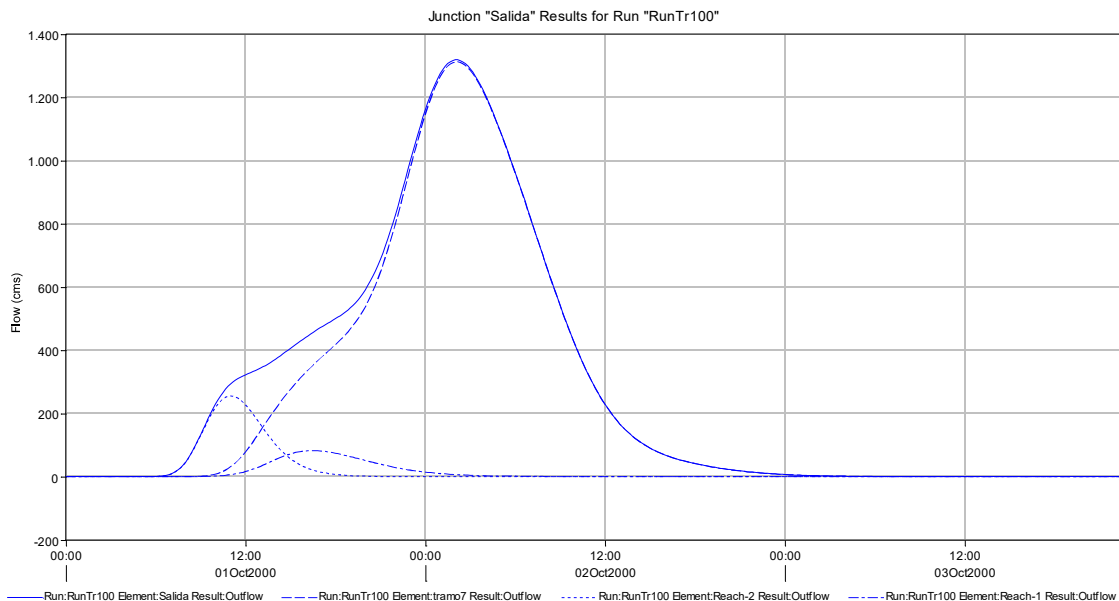


Figura 4.4 Hidrograma de cuenca de cabecera para Tr 100 años (línea continua)

Para las cuencas laterales se obtienen los hidrogramas para los períodos de retorno considerados, a partir del modelo del NRCS.

5 Calibración y verificación del modelo

Con la geometría del modelo y las condiciones de borde ingresadas se procedió a calibrar el modelo, utilizando como parámetro de calibración al número de Manning (n). El coeficiente de Manning es utilizado para la calibración hidrológica e hidráulica.

Los valores base de referencia para estimar los diferentes números de Manning se obtuvieron a partir del relevamiento de campo realizado, experiencias de trabajos anteriores y referencias bibliográficas de uso habitual.

A los efectos de verificar el modelo, se observa que no hay diarios de nivel en el Arroyo Pando que cuenten con su correspondiente información de lluvia suficientemente detallada para calibrar el modelo. Debido a esto, se procedió considerando que el caudal correspondiente a una crecida de 2 años de período de retorno, es el que llena el cauce principal con muy buena aproximación. Esta aseveración es aceptada en la bibliografía internacional, y ha sido corroborada reiteradamente en los ríos del Uruguay.

También, como forma adicional de evaluar la calibración realizada, se analizó la sensibilidad de los resultados ante variaciones del coeficiente de Manning, encontrándose que para variaciones del mismo de hasta un 20% la variación de los resultados sobre los niveles no son significativos.

Se determinó que, debido a la proximidad de la desembocadura con la zona de estudio, la condición de borde correspondiente al nivel medio en el Río de la Plata (nivel 0 oficial) introduce una inestabilidad al modelo la cual se debe al bajo tirante en el cauce en el momento en que llega el caudal correspondiente al pico del hidrograma. Por este motivo, se descartaron los resultados correspondientes a esta condición de borde, tomándose como válidos los que se corresponden a un nivel en el Río de la Plata correspondiente a 10 años de

período de retorno y superiores, quedando de esta forma la modelación del lado de la seguridad.

Como dato adicional para el caso de nivel medio en el Río de la Plata, se procedió también a la modelación en condiciones estacionarias. Con el caudal que corresponde al valor del pico de los hidrogramas modelados (2, 10 y 100 años).

Como forma de validar la modelación realizada, se compararon los valores proporcionados por el modelo en la sección correspondiente al puente de la ruta Interbalnearia, con la curva de frecuencia de niveles proporcionada por DINAGUA, constatándose la coherencia de los resultados del modelo con esa curva.

Los resultados de la calibración fueron los siguientes:

Desde la sección en la desembocadura con el Río de la Plata (sección 1) hasta la sección 6:

- Para la planicie de inundación $n = 0.035$
- Para el cauce $n = 0.023$

Desde la sección 7 hasta la sección 11:

- Para la planicie de inundación $n = 0.06$
- Para el cauce $n = 0.023$

Desde la sección 12 hasta la sección 17 (zona del predio):

- Para la planicie de inundación $n = 0.1$
- Para el cauce $n = 0.023$

6 Resultados

Se detallan a continuación los resultados obtenidos a partir del modelo hidrodinámico del arroyo Pando, para las crecientes de 2, 10 y 100 años de período de retorno. Para cada creciente se consideraron niveles diferentes en el Río de la Plata. Estos niveles son los correspondientes a períodos de retorno de 10, 50 y 100 años. Para la creciente de 2 años de período de retorno se consideró además el nivel en el Río de la Plata de 2 años de período de retorno.

Se muestra para cada condición evaluada el perfil de flujo y los niveles alcanzados en las secciones del predio: central, superior e inferior. Todas las cotas están referidas al cero oficial.

6.1 Creciente de Tr 2 años

6.1.1 Nivel en el Río de la Plata correspondiente a Tr 2 años

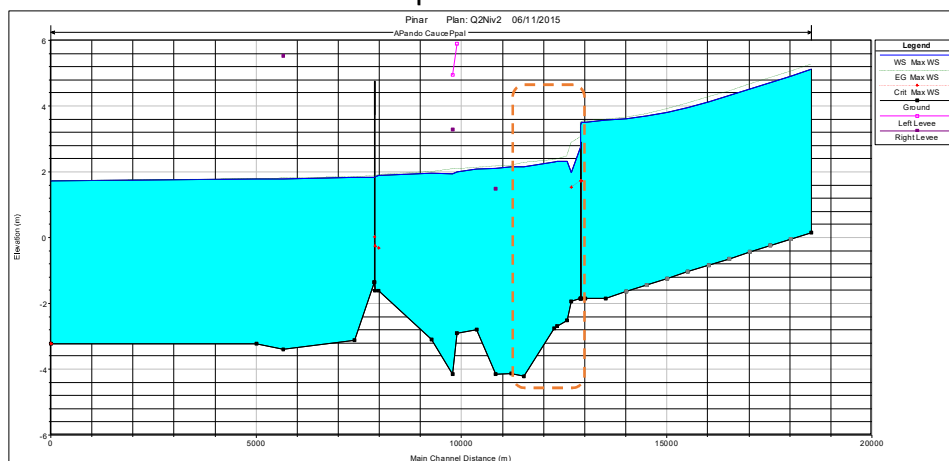


Figura 6.1 Perfil de flujo para una creciente de 2 años de período de retorno y nivel en el Río de la Plata de 2 años. En línea punteada se observa la zona correspondiente al terreno

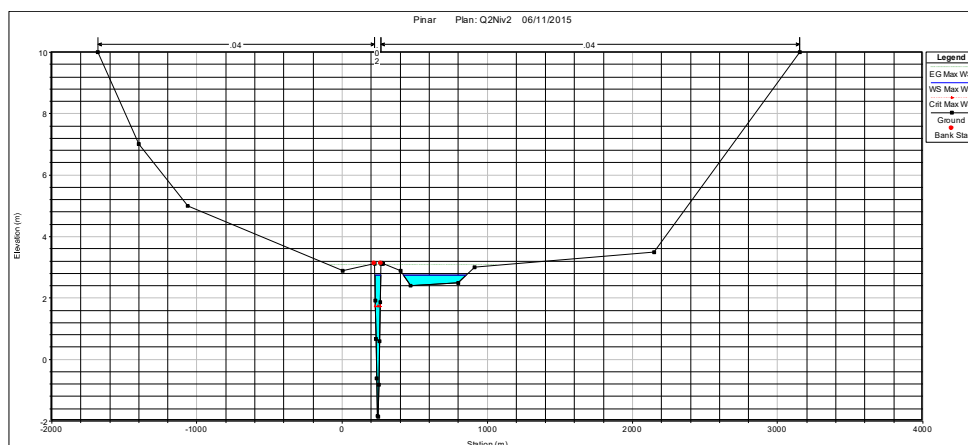


Figura 6.2 Sección superior al predio. Cota máxima 2.78 m

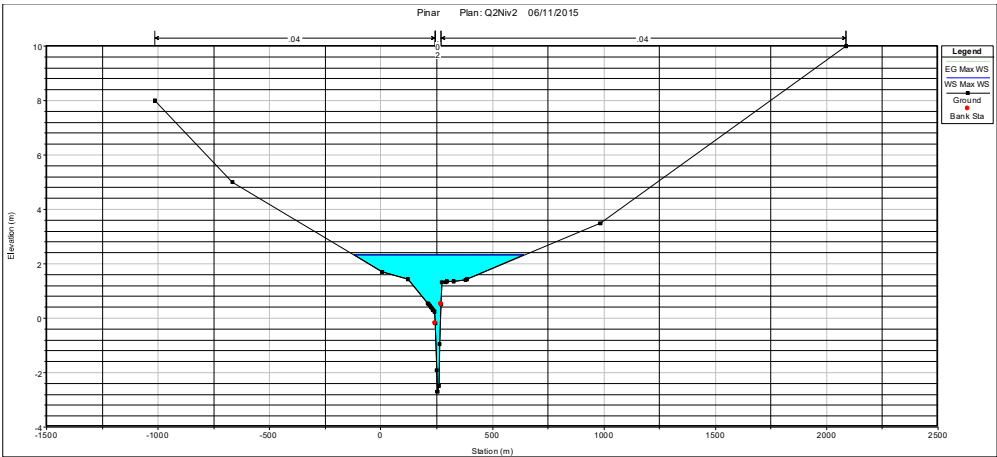


Figura 6.3 Sección inferior al predio. Cota máxima 2.43



Figura 6.4 Sección inferior al predio. Cota máxima 2.21

6.1.2 Nivel en el Río de la Plata correspondiente a Tr 10 años

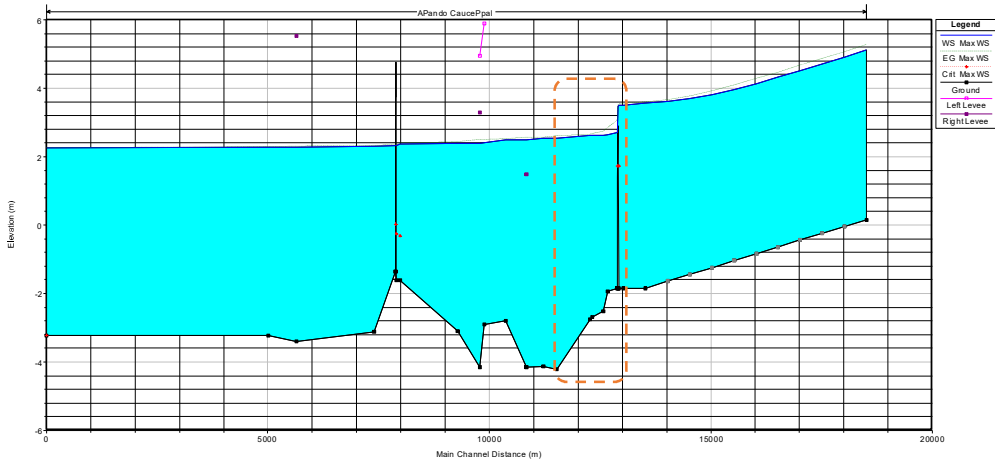


Figura 6.5 Perfil de flujo para una creciente de 2 años de período de retorno y nivel en el Río de la Plata de 10 años. En línea punteada se observa la zona correspondiente al terreno

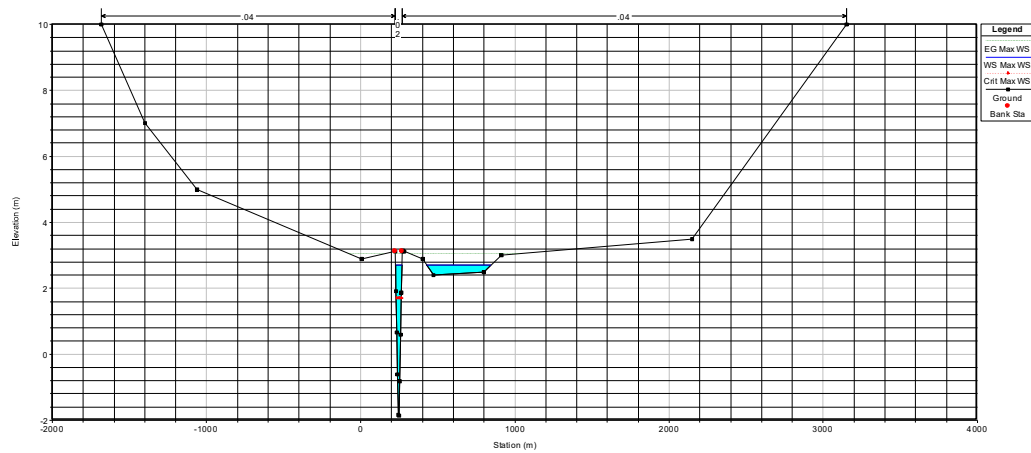


Figura 6.6 Sección superior al predio. Cota máxima 2.93 m

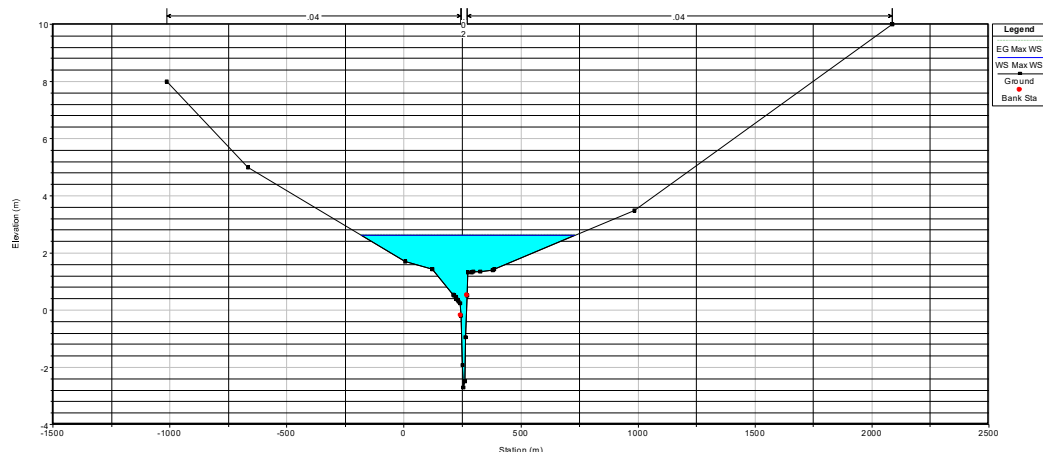


Figura 6.7 Sección central al predio. Cota máxima 2.72 m

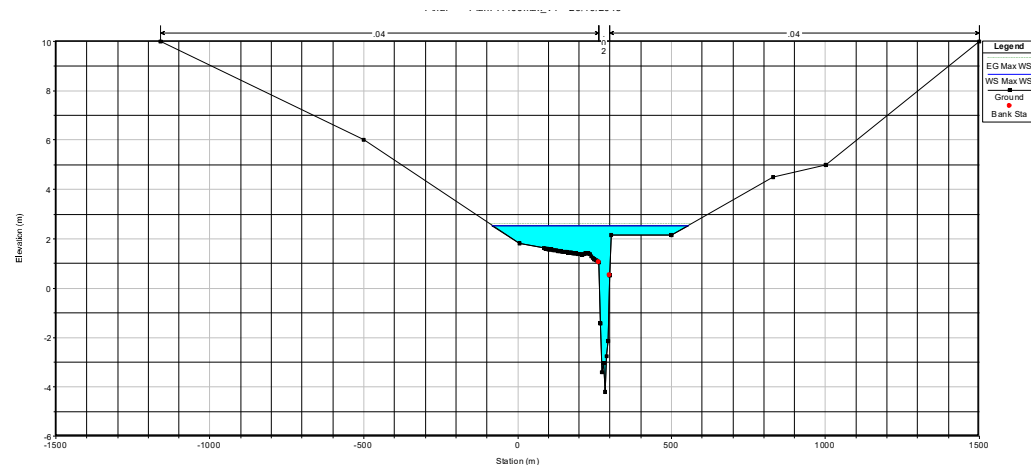


Figura 6.8 Sección inferior al predio. Cota máxima 2.58

6.1.3 Nivel en el Río de la Plata correspondiente a Tr 50 años

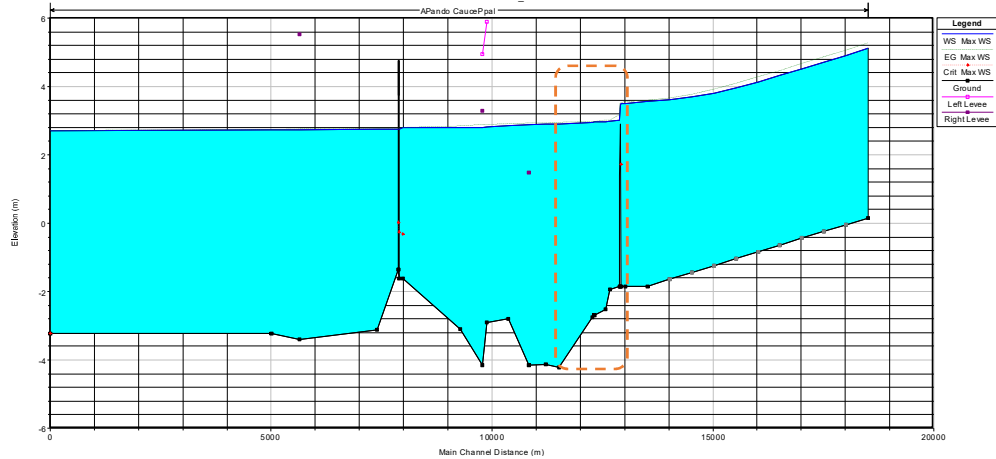


Figura 6.9 Perfil de flujo para una creciente de 2 años de período de retorno y nivel en el Río de la Plata de 50 años
En línea punteada se observa la zona correspondiente al terreno

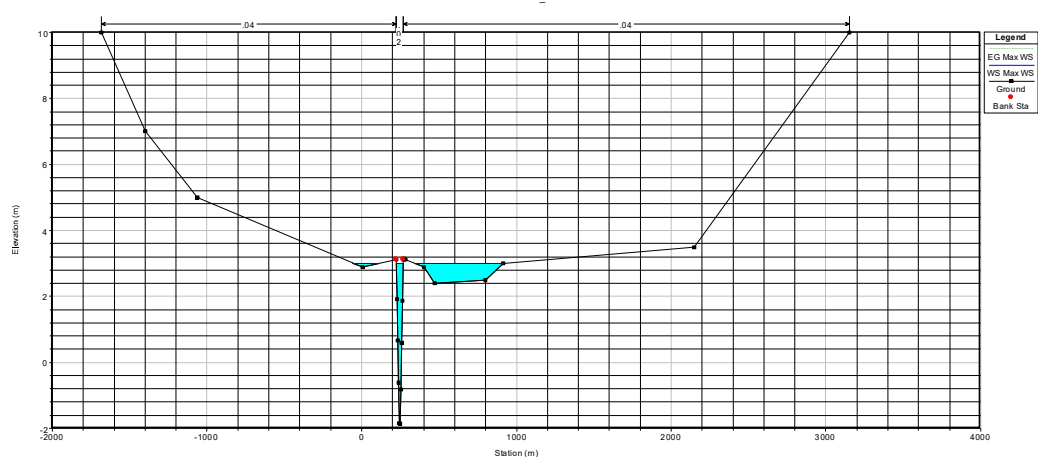


Figura 6.10 Sección superior al predio. Cota máxima 3.00 m

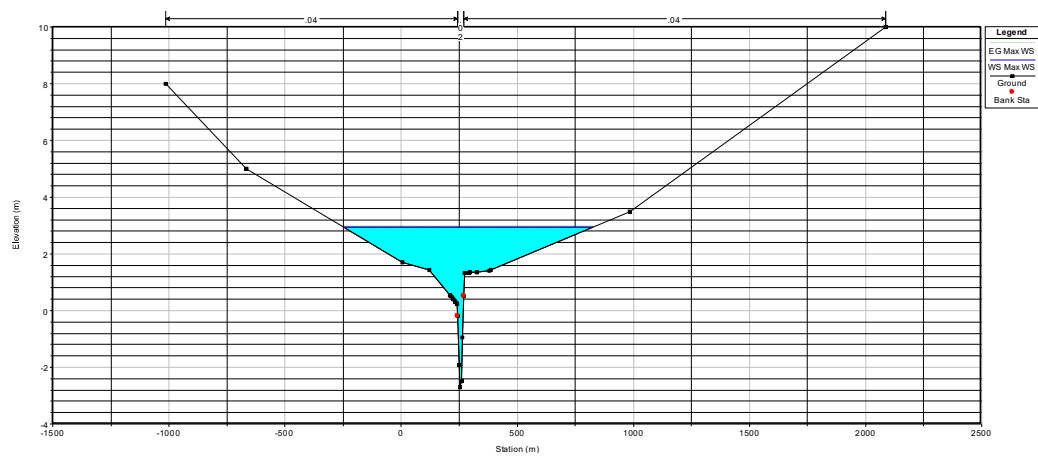


Figura 6.11 Sección central al predio. Cota máxima 2.96 m

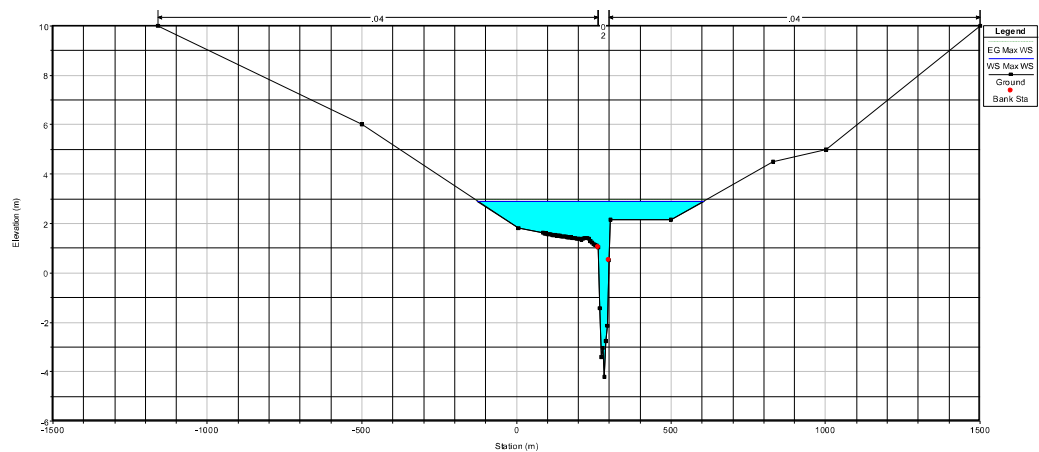


Figura 6.12 Sección inferior al predio. Cota máxima 2.91 m

6.1.4 Nivel en el Río de la Plata correspondiente a Tr 100 años

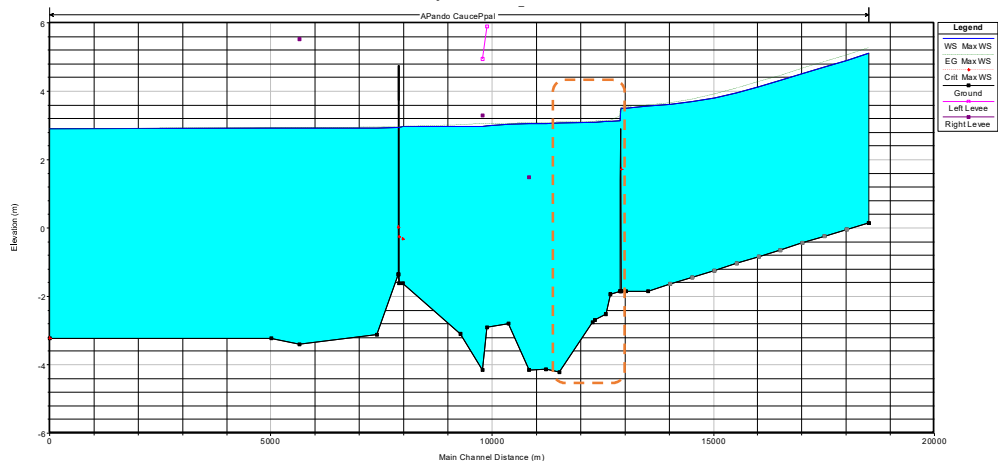


Figura 6.13 Perfil de flujo para una creciente de 2 años de período de retorno y nivel en el Río de la Plata de 100 años
En línea punteada se observa la zona correspondiente al terreno

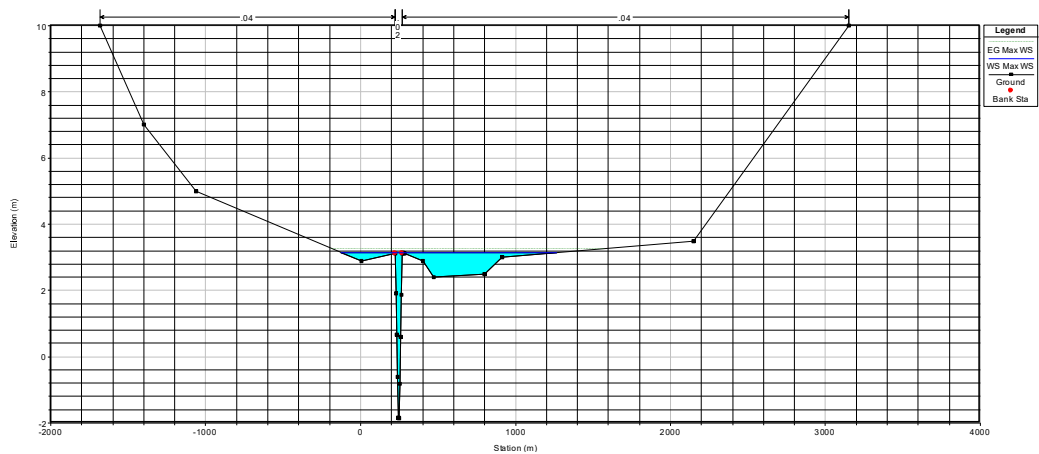


Figura 6.14 Sección superior al predio. Cota máxima 3.28

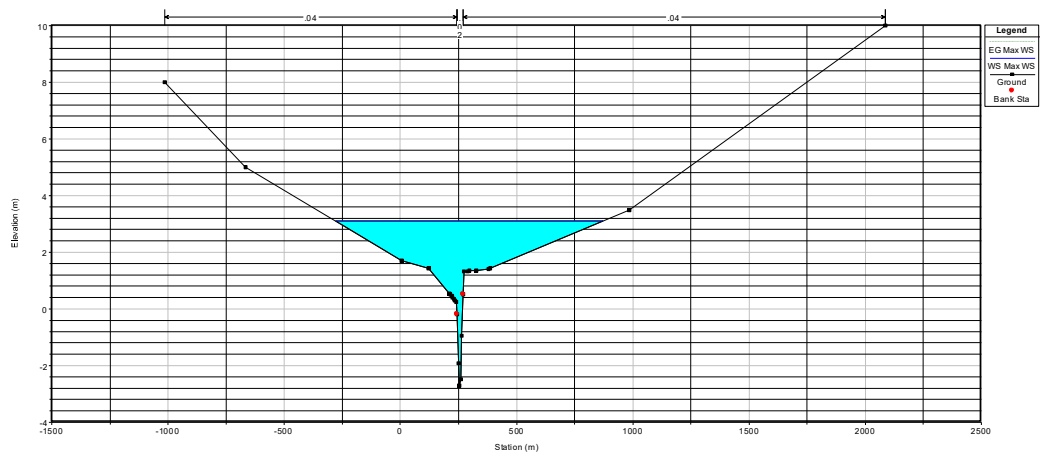


Figura 6.15 Sección central al predio. Cota máxima 3.17

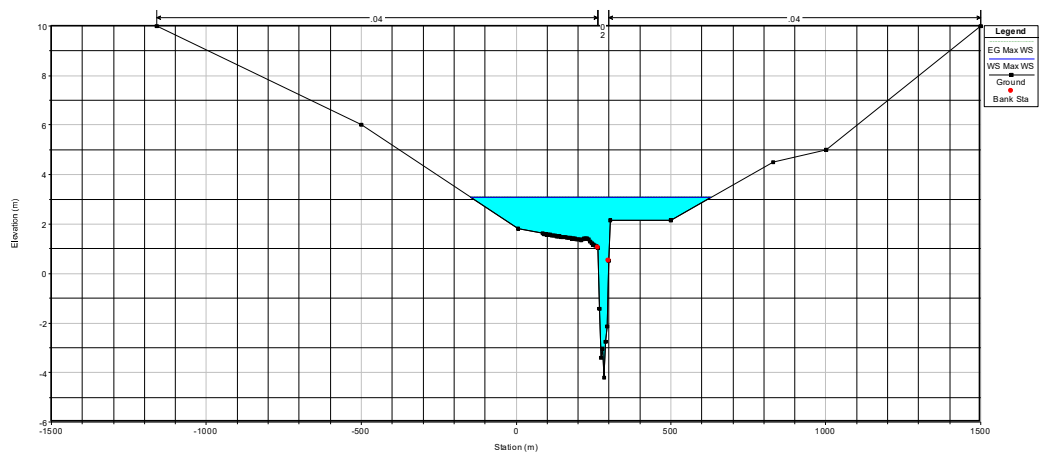


Figura 6.16 Sección inferior al predio. Cota máxima 3.10

6.2 Creciente de Tr 10 años

6.2.1 Nivel en el Río de la Plata correspondiente a Tr 10 años

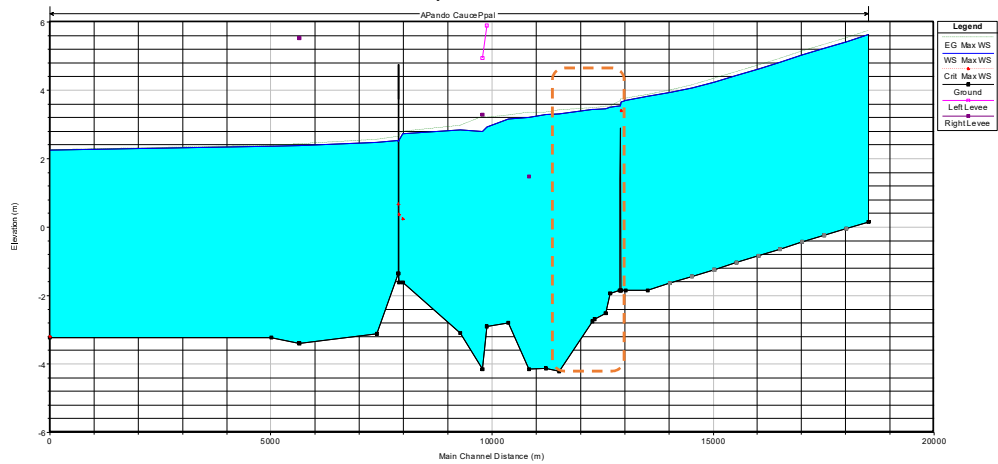


Figura 6.17 Perfil de flujo para una crecien de 10 años de periodo de retorno y nivel en el Río de la Plata de 10 años
En línea punteada se observa la zona correspondiente al terreno

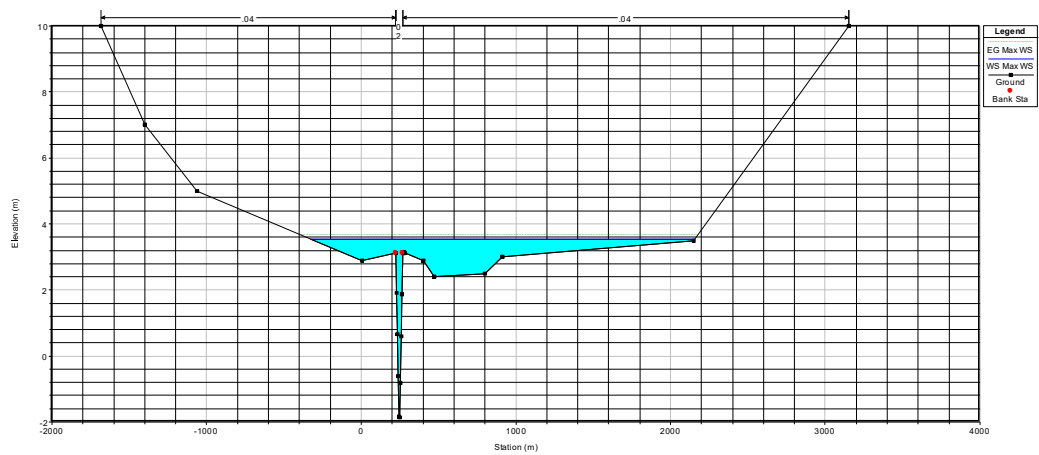


Figura 6.18 Sección superior al predio. Cota máxima 3.80

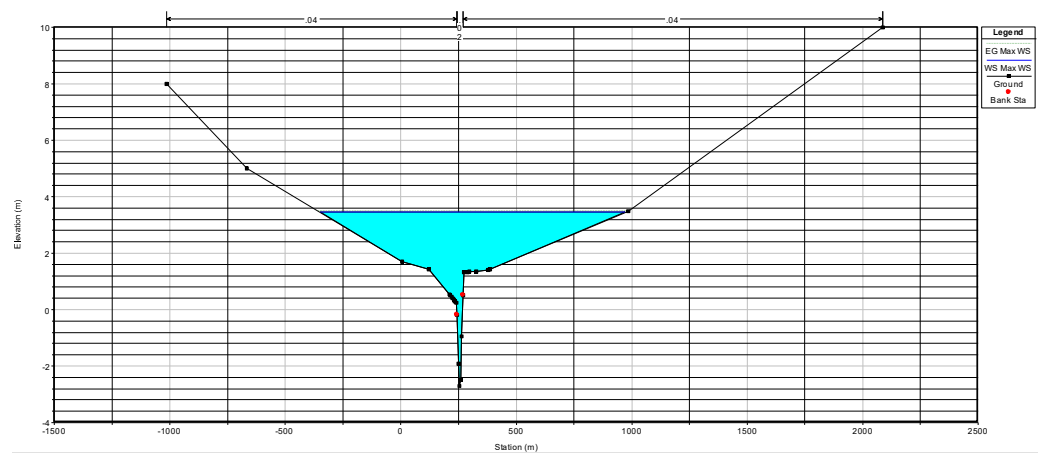


Figura 6.19 Sección central al predio. Cota máxima 3.61 m

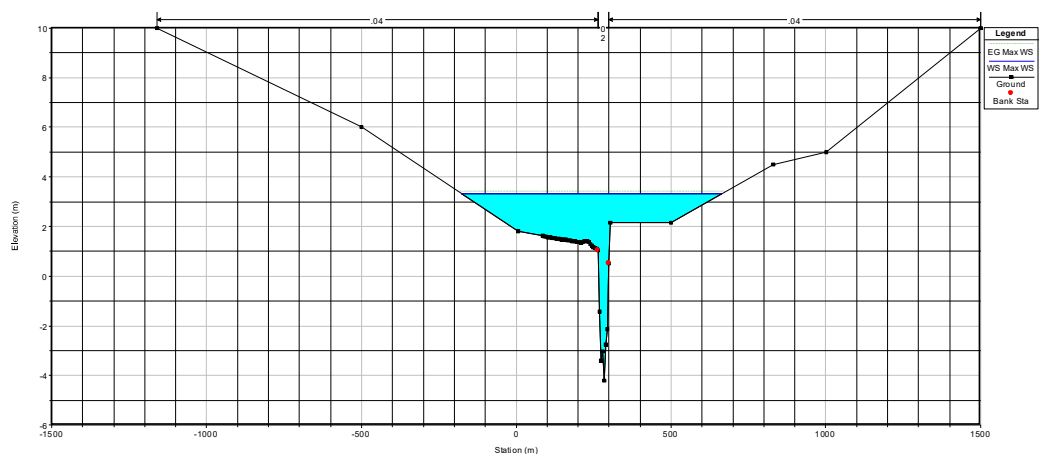


Figura 6.20 Sección inferior al predio. Cota máxima 3.35

6.2.2 Nivel en el Río de la Plata correspondiente a Tr 50 años

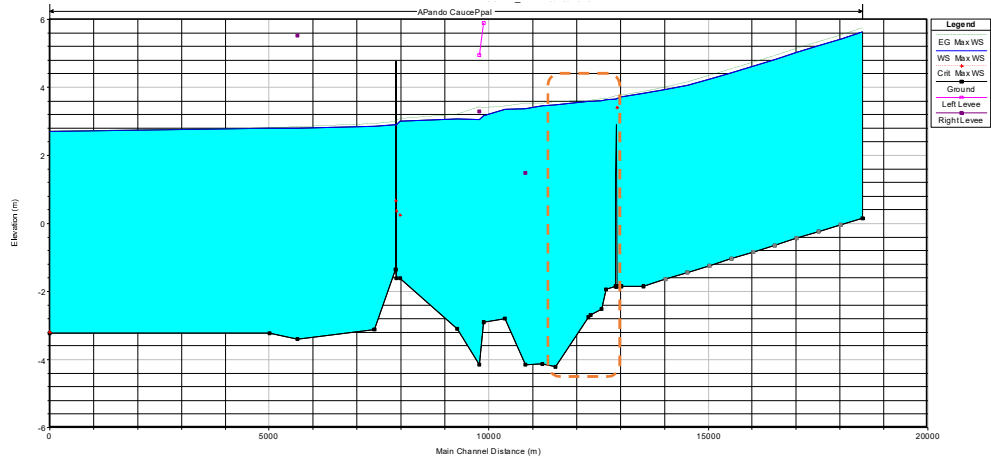


Figura 6.21 Perfil de flujo para una crecida de 10 años de período de retorno y nivel en el Río de la Plata de 50 años. En línea punteada se observa la zona correspondiente al terreno

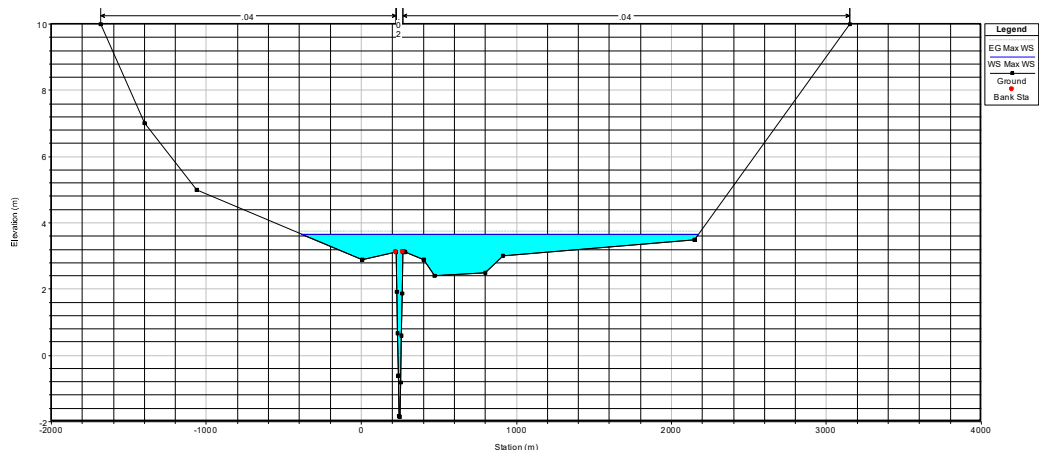


Figura 6.22 Sección superior al predio. Cota máxima 3.88

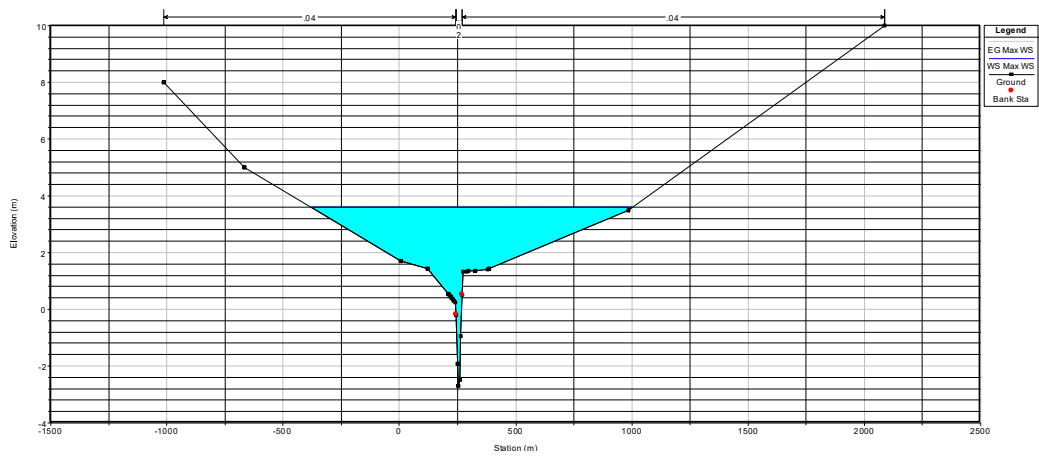


Figura 6.23 Sección central al predio. Cota máxima 3.72

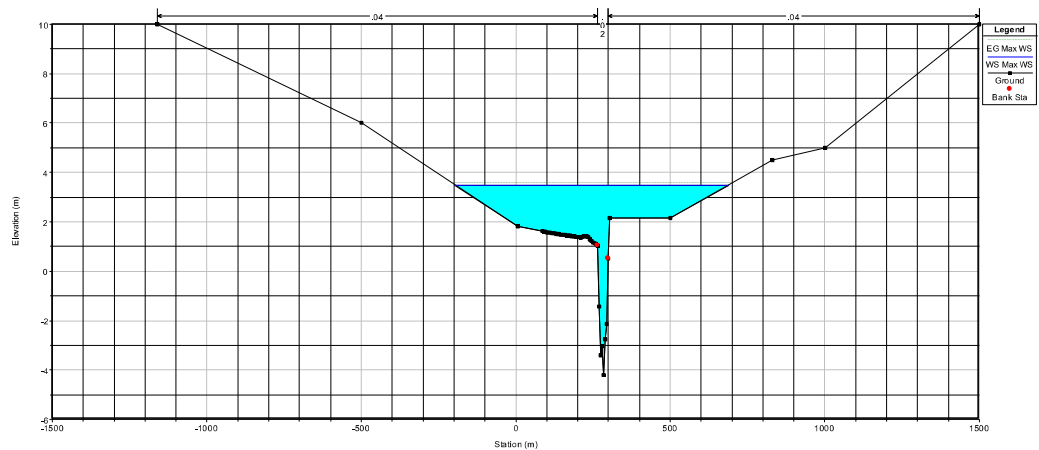


Figura 6.24 Sección inferior al predio. Cota máxima 3.52

6.2.3 Nivel en el Río de la Plata correspondiente a Tr 100 años

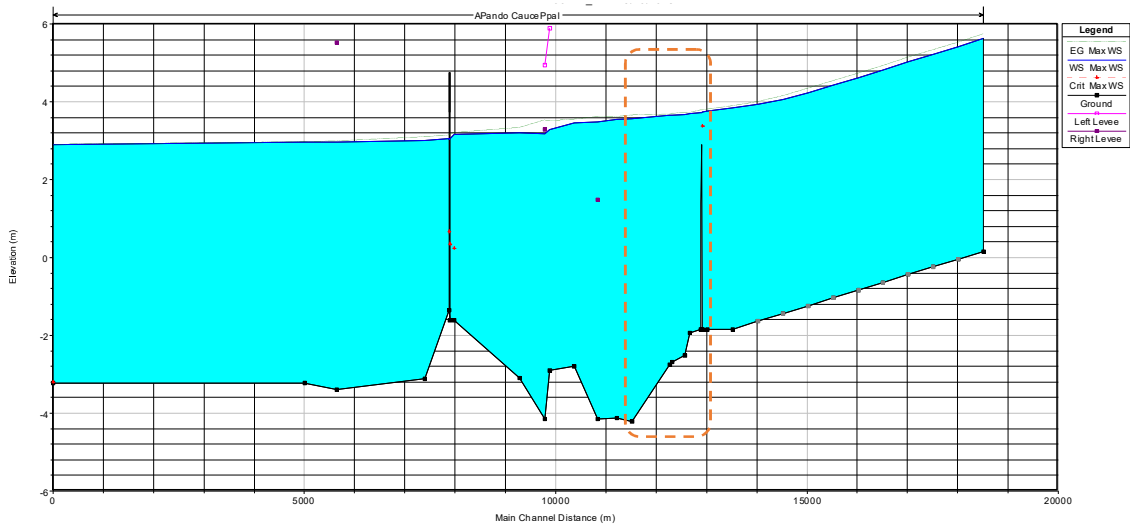


Figura 6.25 Perfil de flujo para una creciente de 10 años de período de retorno y nivel en el Río de la Plata de 100 años. En línea punteada se observa la zona correspondiente al terreno

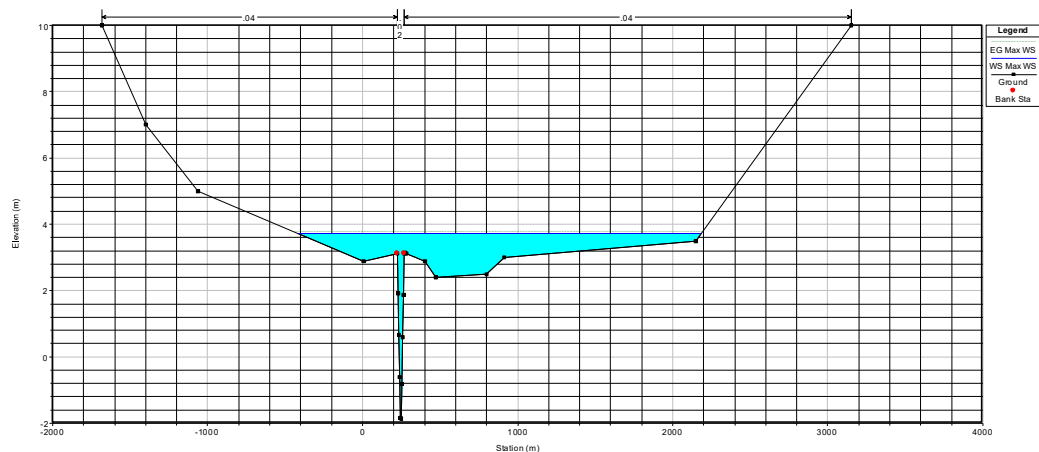


Figura 6.26 Sección superior al predio. Cota máxima 3.93 m

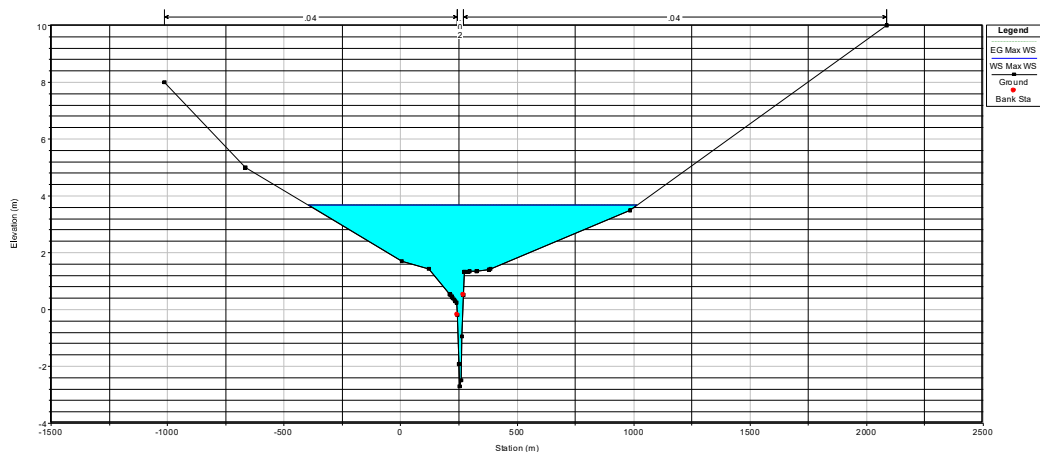


Figura 6.27 Sección central al predio. Cota máxima 3.79

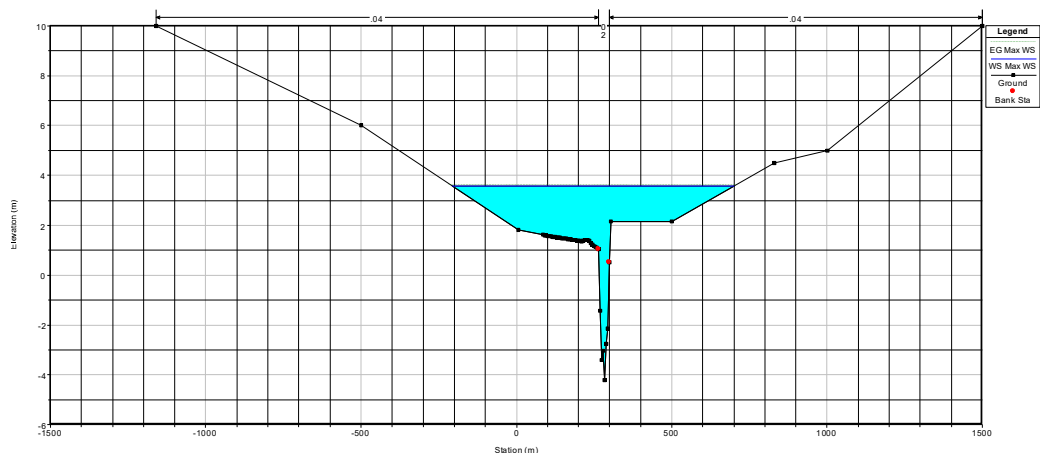


Figura 6.28 Sección inferior al predio. Cota máxima 3.61 m

6.3 Creciente de Tr 100 años

6.3.1 Nivel en el Río de la Plata correspondiente a Tr 10 años

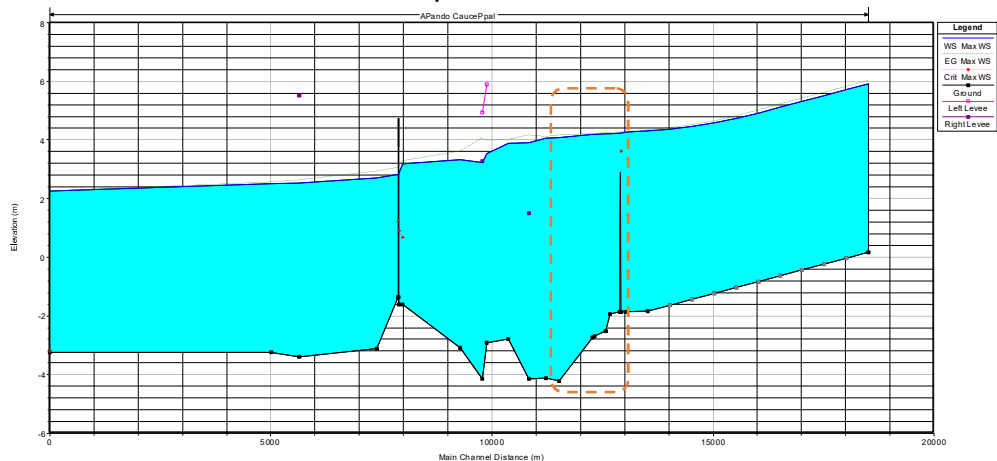


Figura 6.29 Perfil de flujo para una creciente de 100 años de periodo de retorno y nivel en el Río de la Plata de 10 años En línea punteada se observa la zona correspondiente al terreno

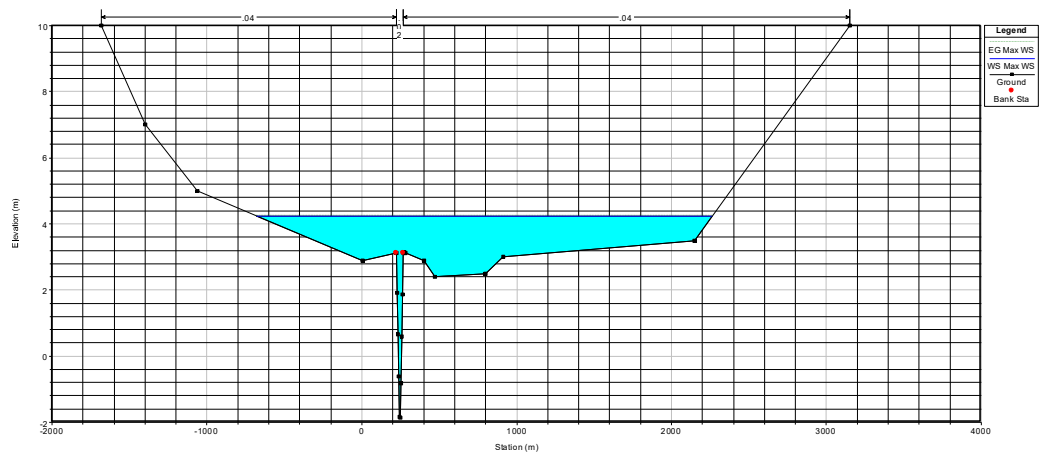


Figura 6.30 Sección superior al predio. Cota máxima 4.50

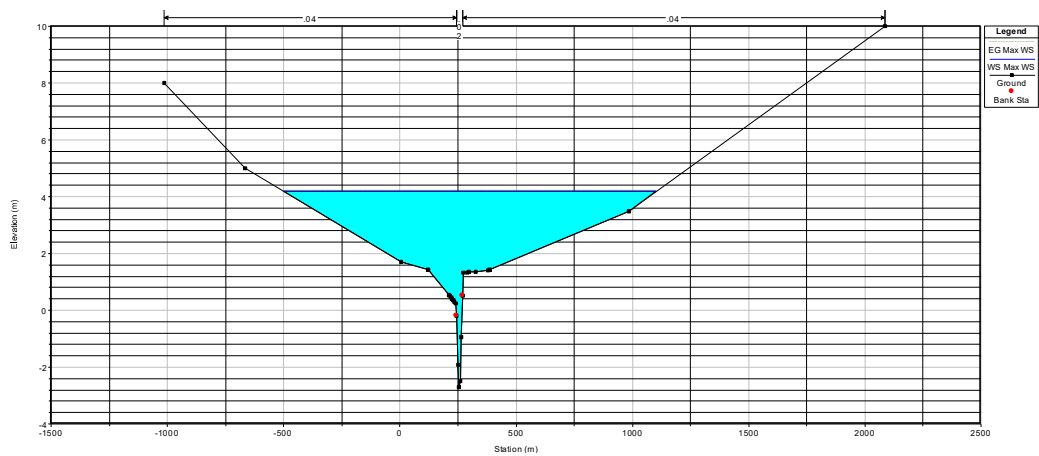


Figura 6.31 Sección central al predio. Cota máxima 4.38 m

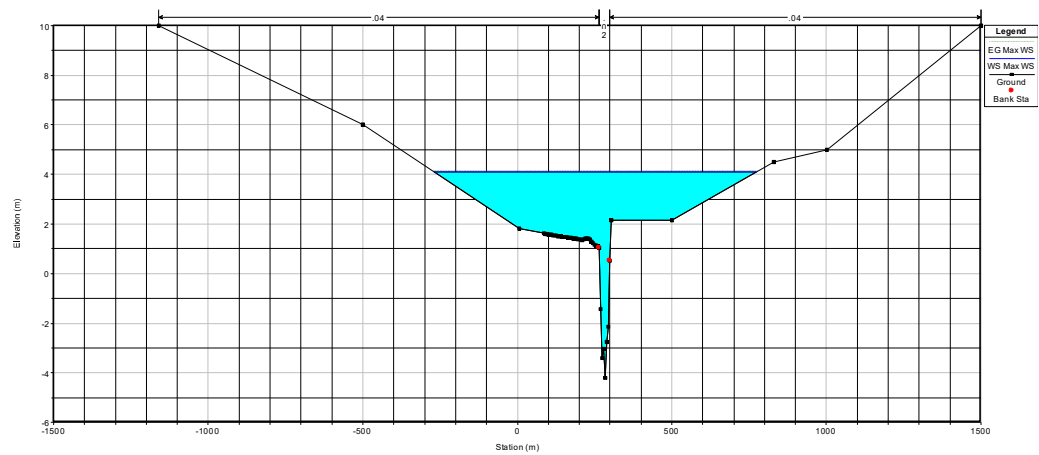


Figura 6.32 Sección inferior al predio. Cota máxima 4.14

6.3.2 Nivel en el Río de la Plata correspondiente a Tr 50 años

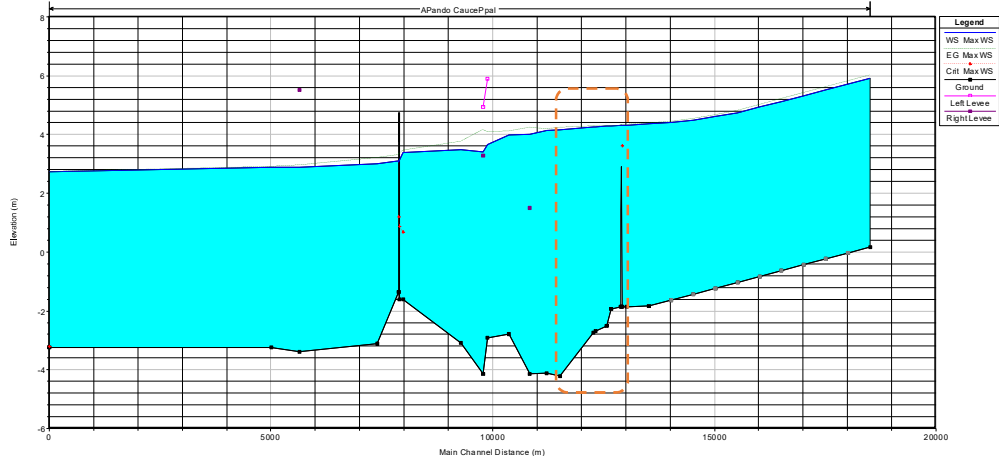


Figura 6.33 Perfil de flujo para una crecida de 100 años de período de retorno y nivel en el Río de la Plata de 50 años. En línea punteada se observa la zona correspondiente al terreno

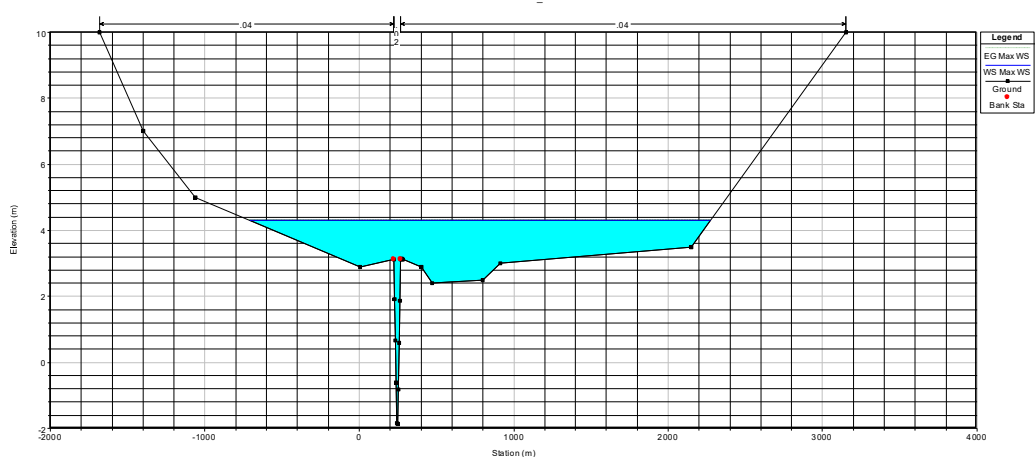


Figura 6.34 Sección superior al predio. Cota máxima 4.55

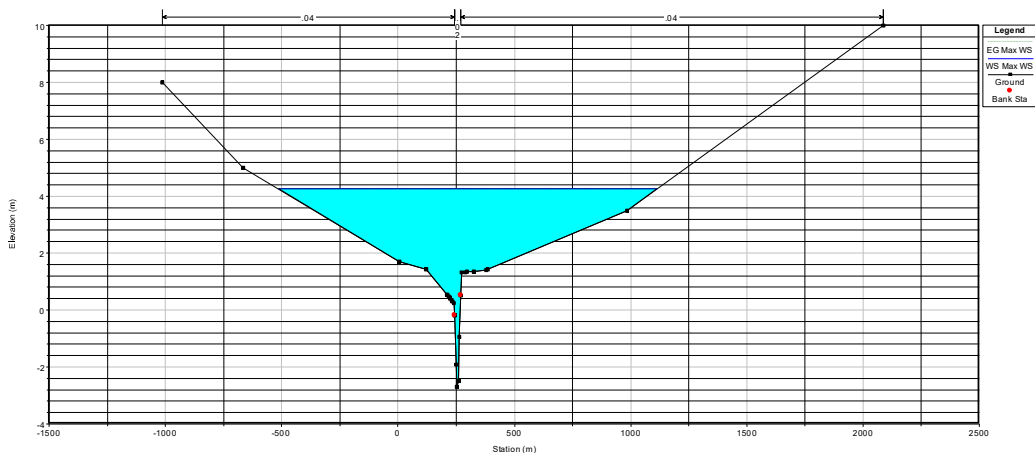


Figura 6.35 Sección central al predio. Cota máxima 4.44 m

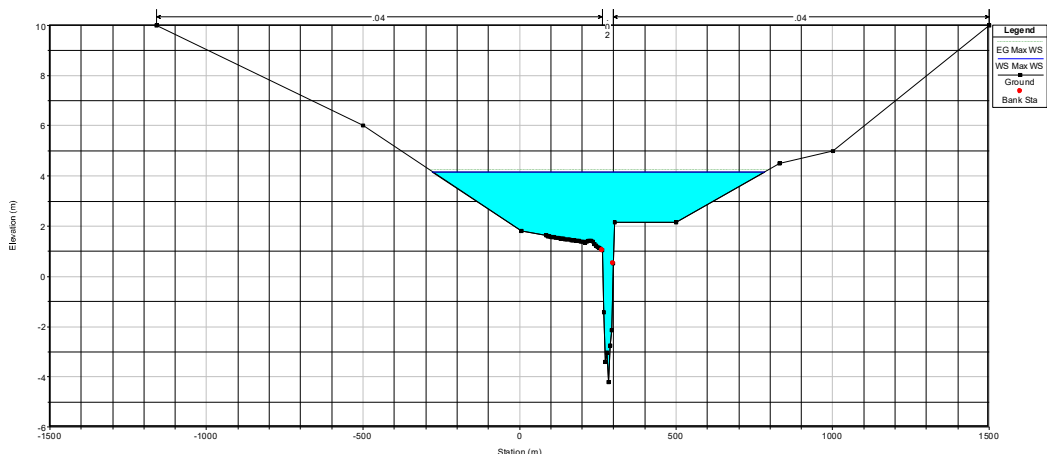


Figura 6.36 Sección inferior al predio. Cota máxima 4.22

6.3.3 Nivel en el Río de la Plata correspondiente a Tr 100 años

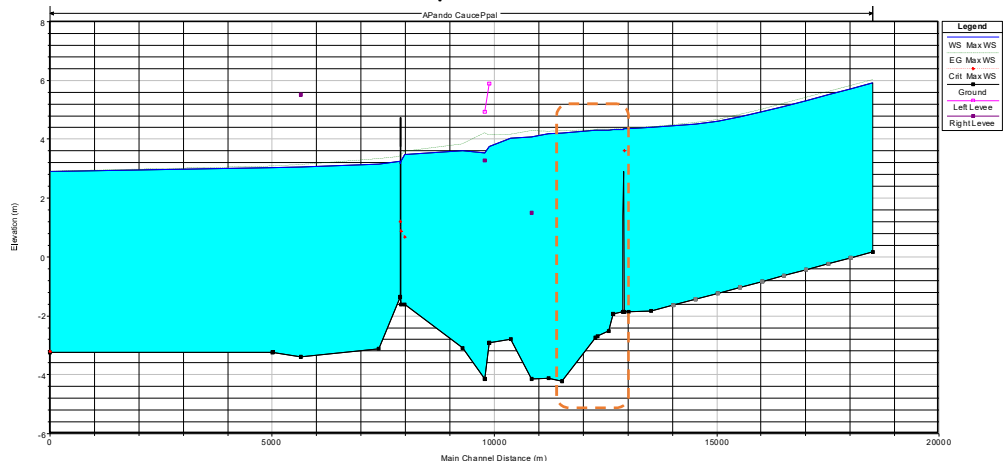


Figura 6.37 Perfil de flujo para una crecida de 100 años de período de retorno y nivel en el Río de la Plata de 100 años. En línea punteada se observa la zona correspondiente al terreno

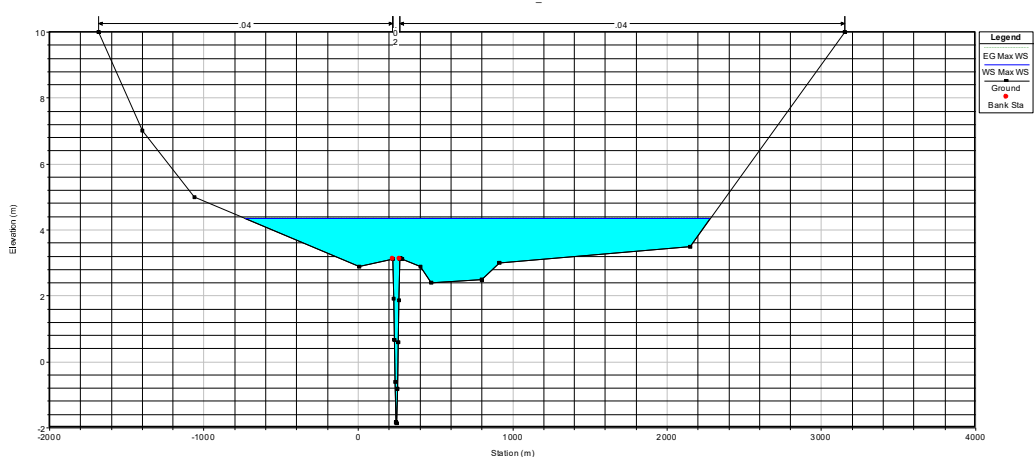


Figura 6.38 Sección superior al predio. Cota máxima 4.59

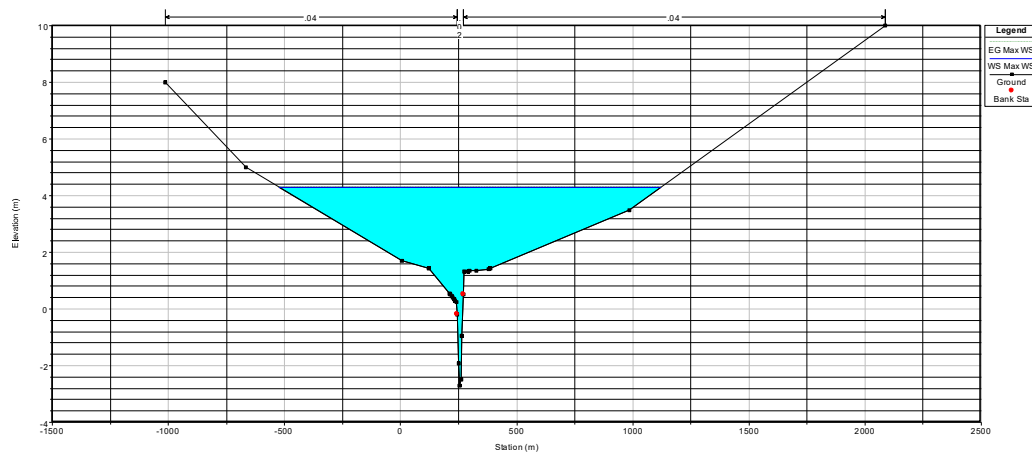


Figura 6.39 Sección central al predio. Cota máxima 4.48

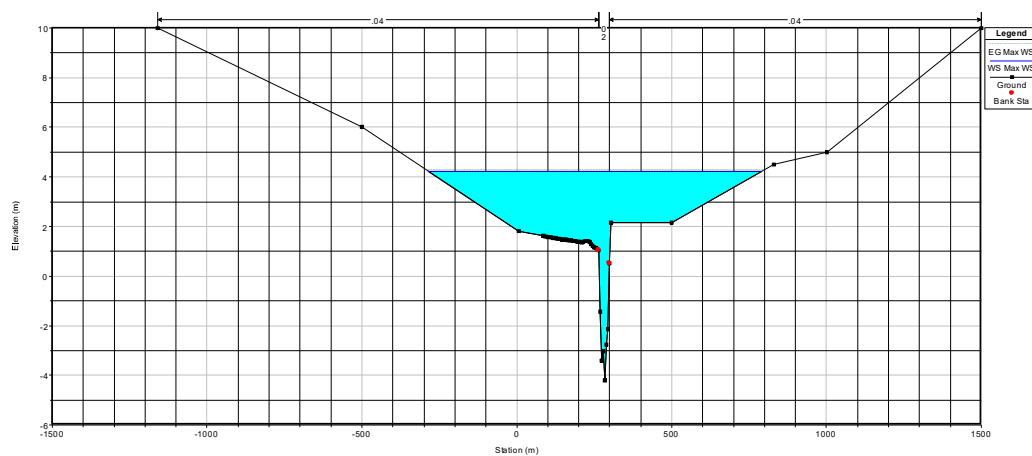


Figura 6.40 Sección inferior al predio. Cota máxima 4.28

6.4 Resumen

Se presentan a continuación los resultados de valores de niveles en la zona media del predio, obtenidos por el modelo hidrodinámico. En primer lugar se presentan las cotas de los niveles obtenidos en la zona del predio para los diferentes períodos de retorno de las condiciones de borde consideradas. Cada una de las tablas siguientes muestra los resultados correspondientes a una creciente del mismo período de retorno para tres diferentes niveles del Río de la Plata. Todas las cotas están referidas al cero oficial.

Creciente de Tr 2 años	
Cota (m)	Tr Río de la Plata
2.43	2
2.72	10
3.03	50
3.17	100

Creciente de Tr 10 años	
Cota (m)	Tr Río de la Plata
3.61	10
3.72	50
3.79	100

Creciente de Tr 100 años	
Cota (m)	Tr Río de la Plata
4.38	10
4.44	50
4.48	100

El valor correspondiente a los 100 años de período de retorno para el hidrograma de cabecera (de acuerdo al criterio recomendado por DINAGUA) y para 100 años de período de retorno en el nivel en el Río de la Plata (para ubicar los resultados del lado de la seguridad), es el que se sugiere como valor de nivel para definir el área inundable. Este nivel es de **4.48 m**. En base a esta cota se dibujó en la zona del predio el contorno del área inundada bajo este nivel. En la Figura 6.41 se aprecia esta curva sobre la foto satelital del terreno obtenida de la aplicación Google Earth.

A modo de referencia, la cota máxima obtenida con el modelo estacionario es 5.12 m.

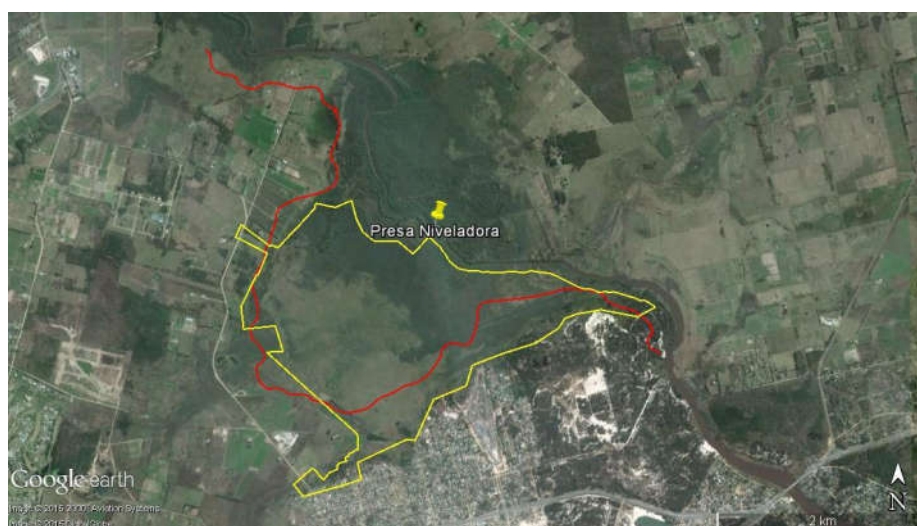


Figura 6.41 Curva correspondiente a la máxima inundación (en rojo). Límites del terreno en amarillo

7 Cota mínima recomendada para construcción

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos a partir de la modelación, se recomienda una cota mínima del terreno para la construcción.

De acuerdo a los criterios de uso habitual, esta cota mínima de construcción se obtiene considerando un margen de seguridad de 0.5 m por sobre la cota que define el área inundable para Tr 100 años (4.48 m, ver capítulo 6.4).

Por lo tanto, con este criterio la cota mínima de construcción recomendada es por lo tanto no inferior a **4.98 m** ($4.48 \text{ m} + 0.5 \text{ m}$) respecto al cero oficial.

A modo de referencia, se observa que la cota máxima obtenida con el modelo estacionario (caudal máximo circulando en régimen permanente) es 5.12 m, por lo que en una interpretación conservadora del lado de la seguridad, la cota mínima de construcción sería 5.62m

8 Estudio de alternativas

Se estudió el ancho del cauce a partir del cual, si se modificara la planicie de inundación, los efectos en los niveles del arroyo serían despreciables, con el objetivo de delimitar la zona del predio en la cual se podría rellenar y aumentar la cota del mismo sin alterar el comportamiento del curso de agua.

Para estar del lado de la seguridad, previendo el escenario más desfavorable, se estudiaron los efectos producidos si el cauce se alterara en ambas márgenes del arroyo, no solamente en el predio en estudio. Se analizó en primer lugar la situación en que la planicie de inundación quedara limitada a 300 m a ambos lados del cauce (por ejemplo por efecto de la construcción de un dique o de un relleno del terreno natural). En segundo lugar se consideró que el ancho de la planicie de inundación se redujera a 600 m para cada lado del cauce.

En el caso de 300 m de amplitud de la planicie de inundación se obtuvo que la cota de inundación correspondiente a la situación de diseño elegida, pasó de 4.48 m a 4.52 m. Para el caso de 600 m de separación esa cota se mantiene en 4.48 m.

9 Anexos

9.1 Relevamiento topográfico

A continuación se muestran las secciones transversales obtenidas en el relevamiento topográfico e ingresadas al modelo.

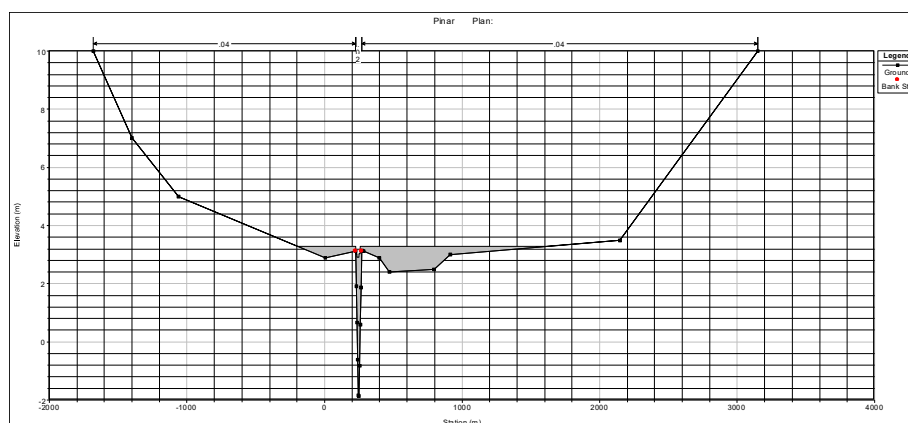


Figura 9.1 Sección 17 con la represa

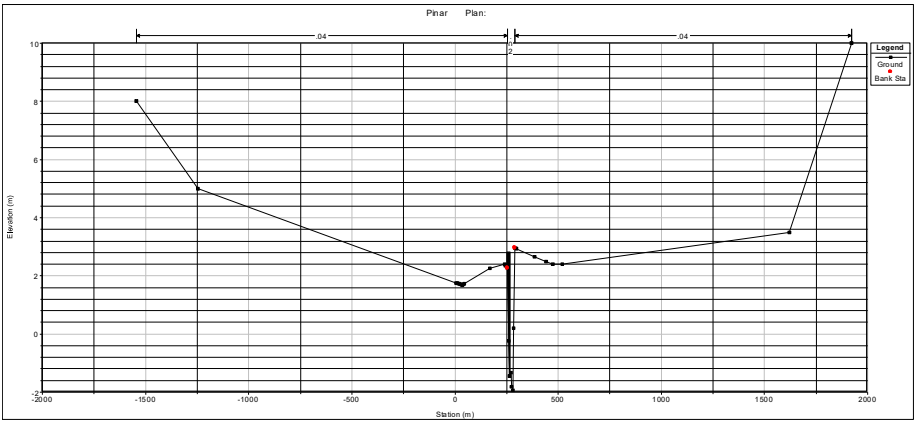


Figura 9.2 Sección 16

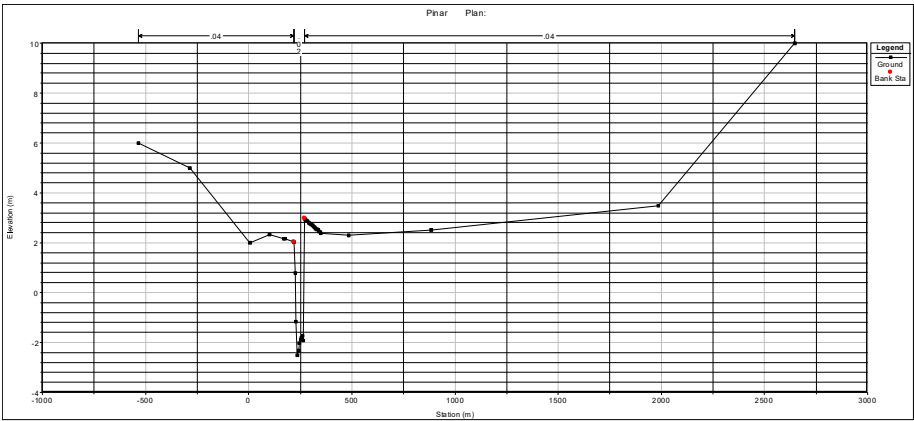


Figura 9.3 Sección 15

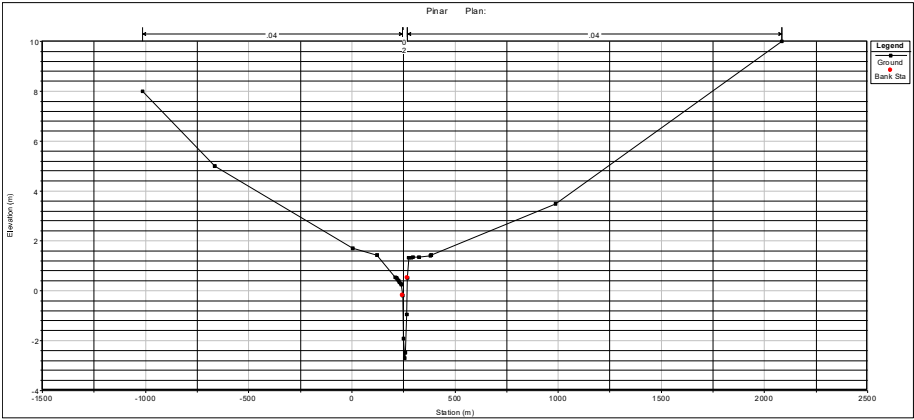


Figura 9.4 Sección 14

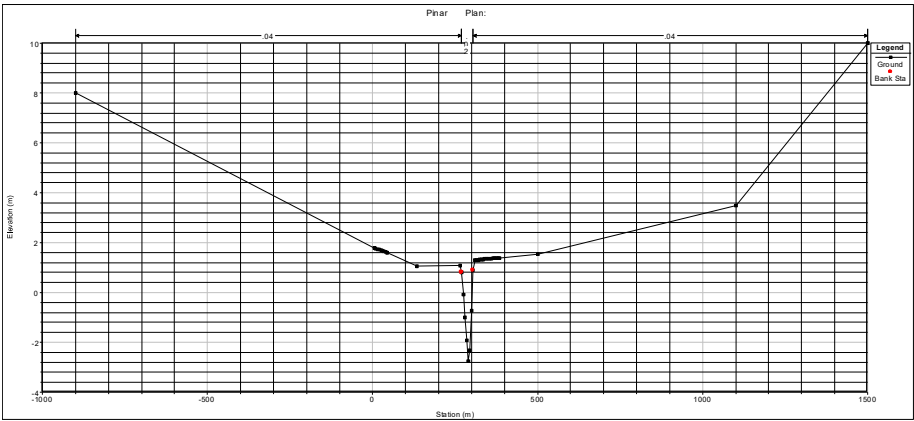


Figura 9.5 Sección 13

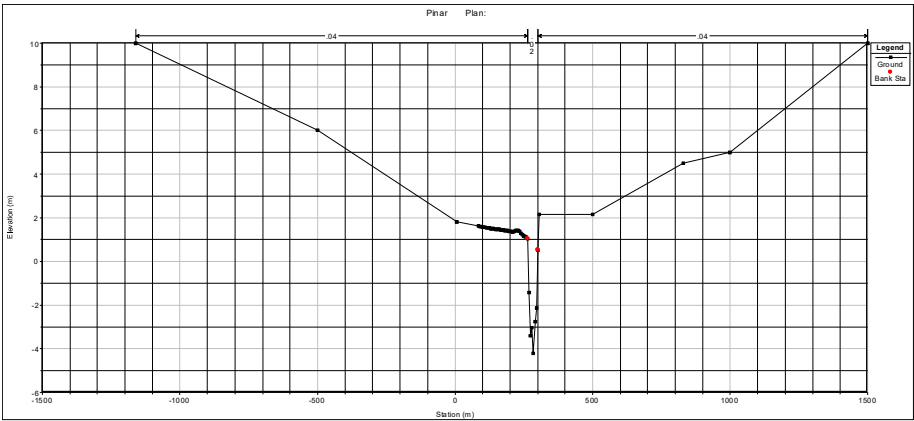


Figura 9.6 Sección 12

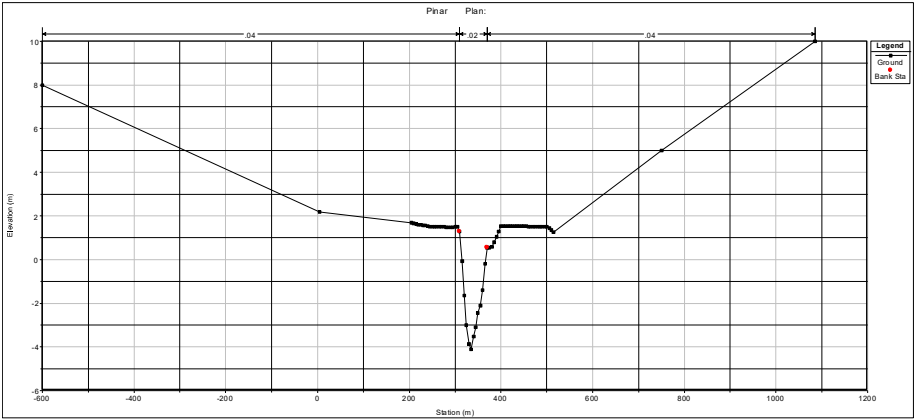


Figura 9.7 Sección 11

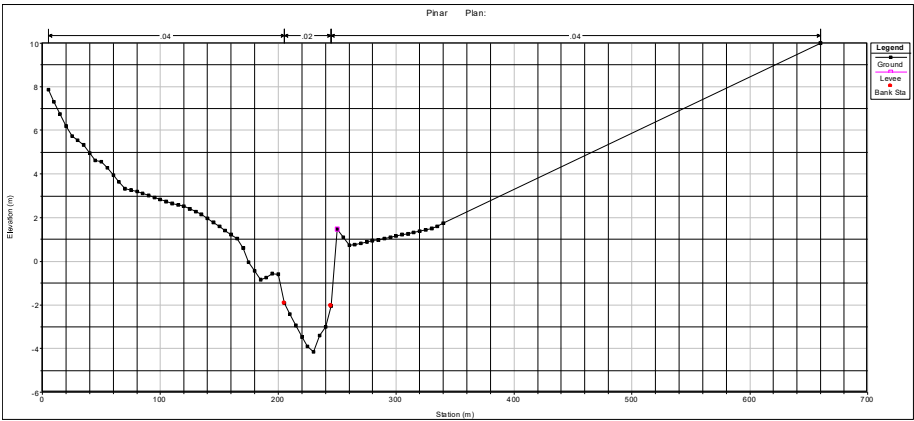


Figura 9.8 Sección 10

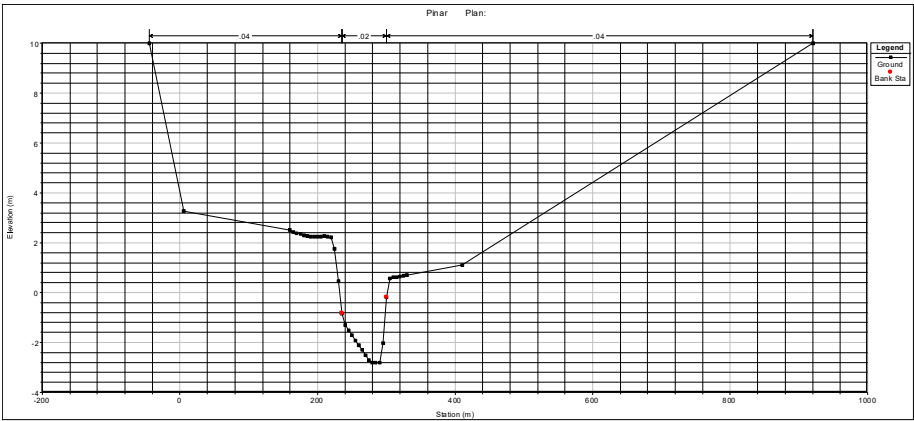


Figura 9.9 Sección 9

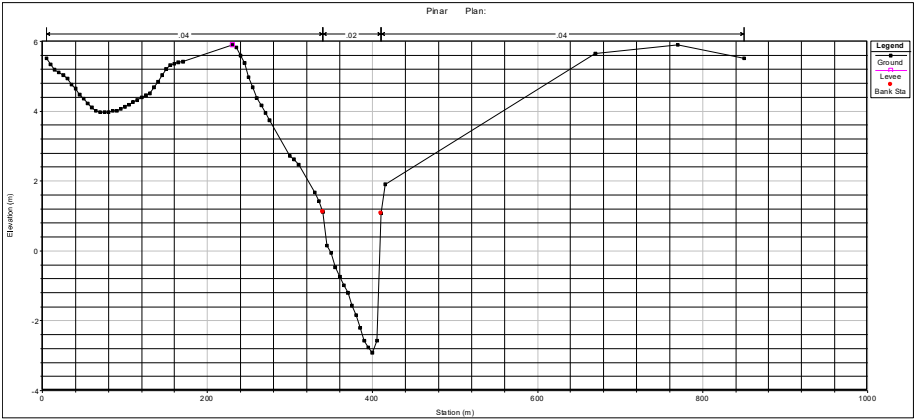


Figura 9.10 Sección 8

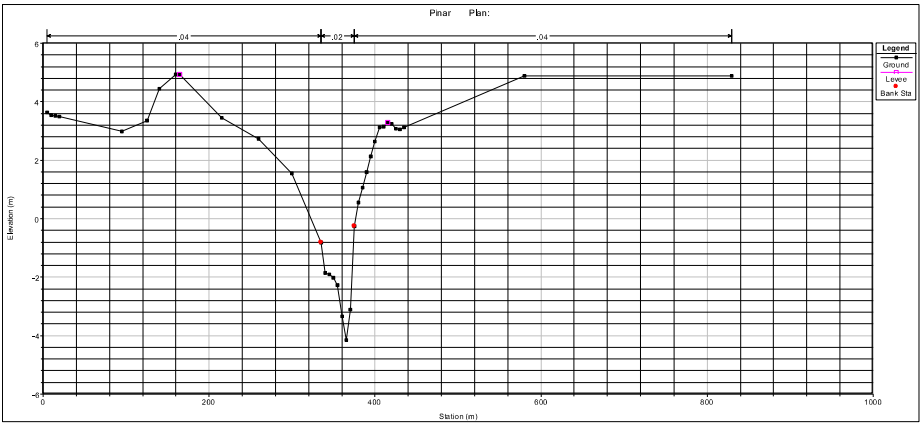


Figura 9.11 Sección 7

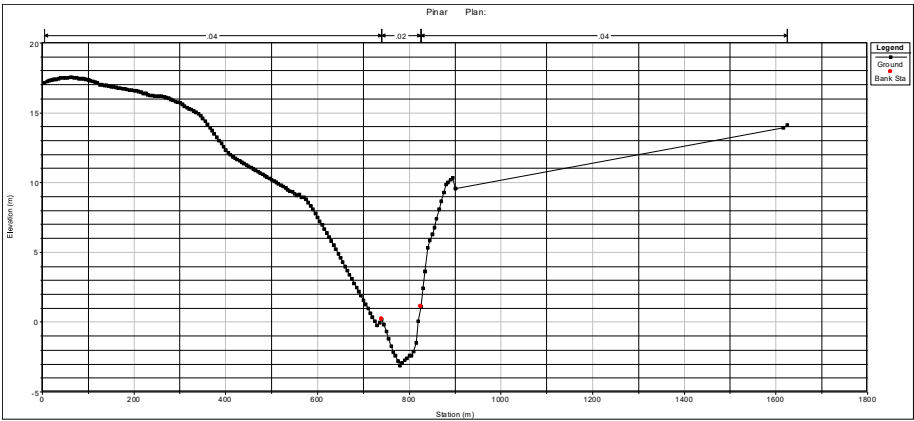


Figura 9.12 Sección 6

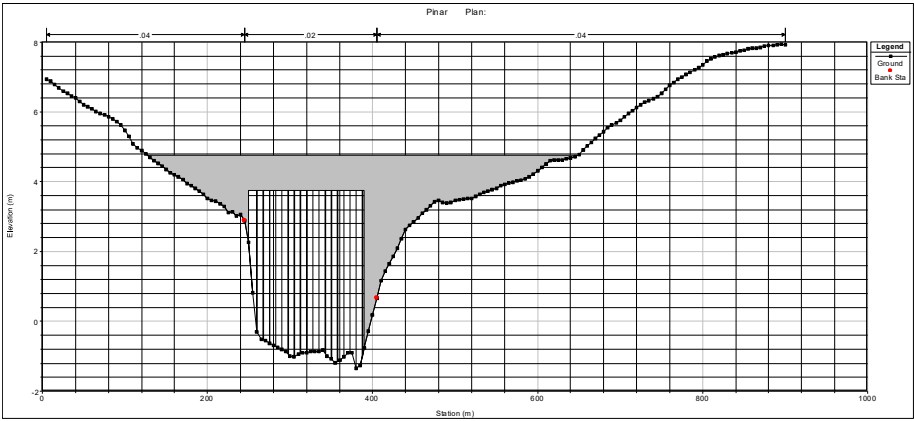


Figura 9.13 Sección 5 Con puente de ruta Interbalnearia

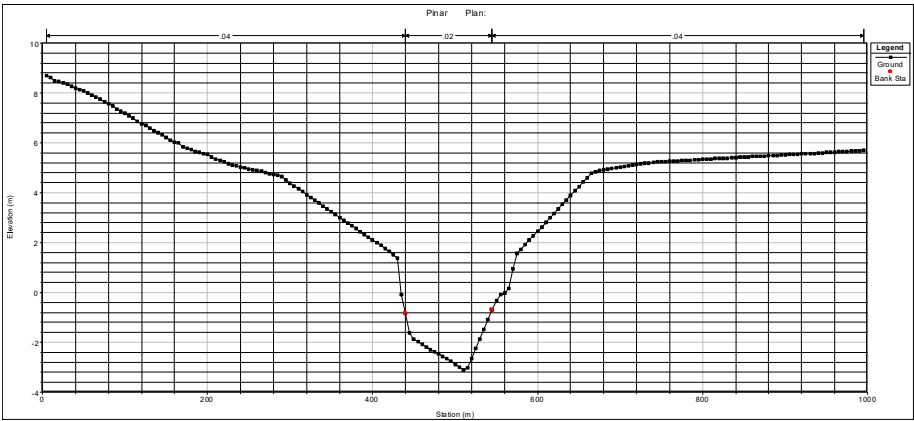


Figura 9.14 Sección 4

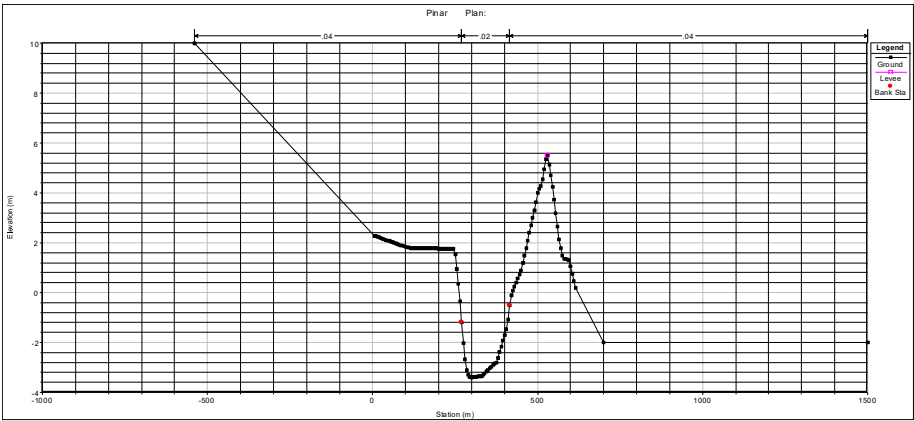


Figura 9.15 Sección 3

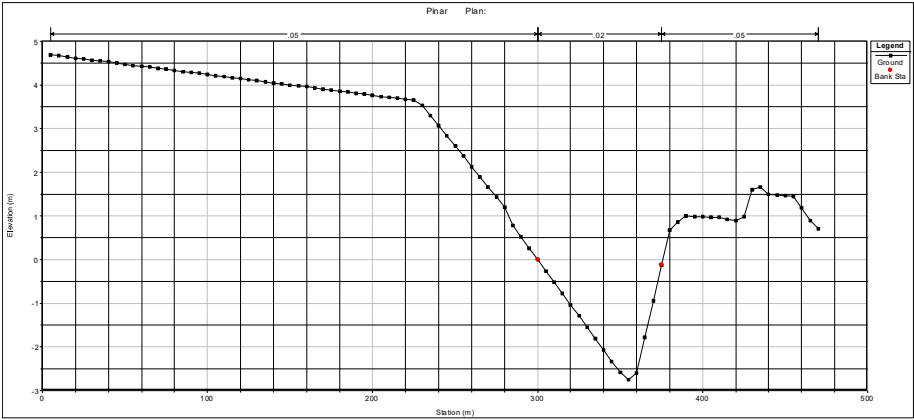


Figura 9.16 Sección 2

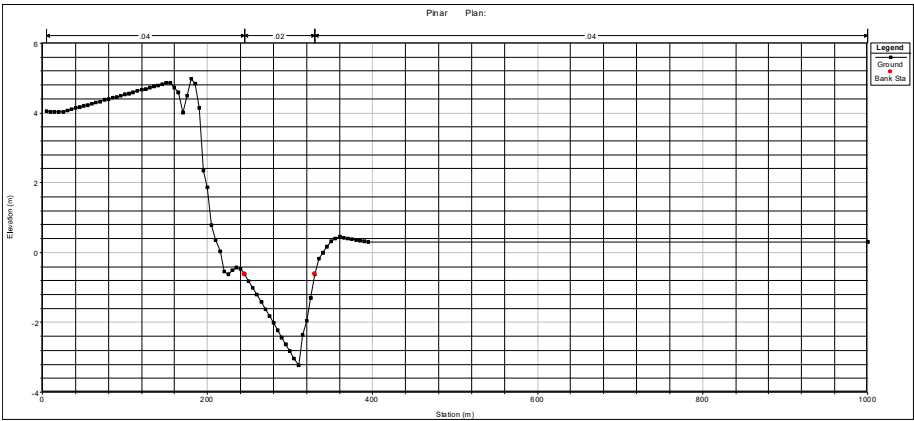


Figura 9.17 Sección 1

9.2 Información limnimétrica

A continuación se detalla la información limnimétrica utilizada para la implementación del modelo hidrodinámico.

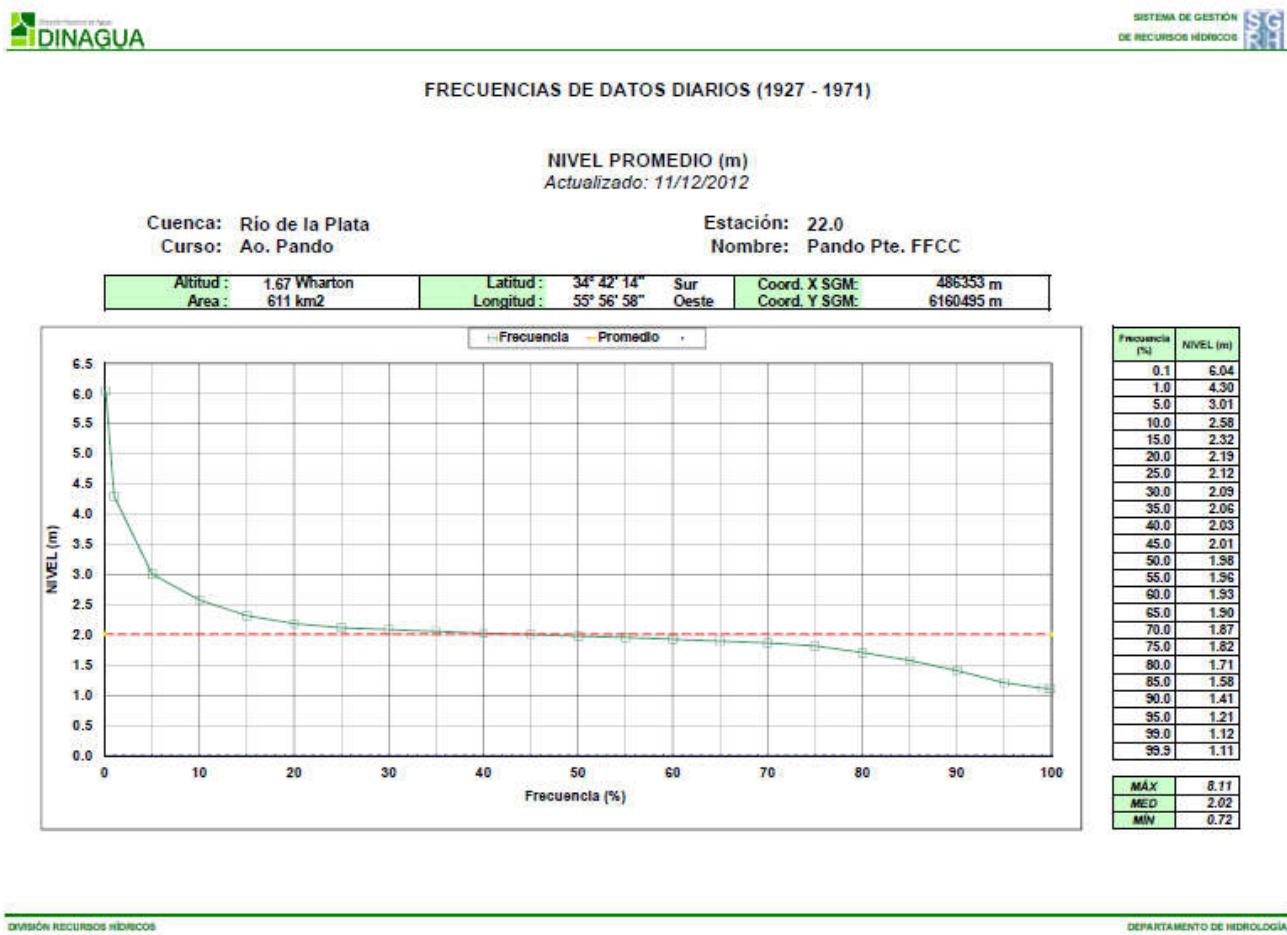


Figura 9.18 Curva de frecuencia de niveles diarios en la Estación Hidrométrica 22 (Pando Puente FFCC)

FRECUENCIAS DE DATOS DIARIOS (1980 - 2010)

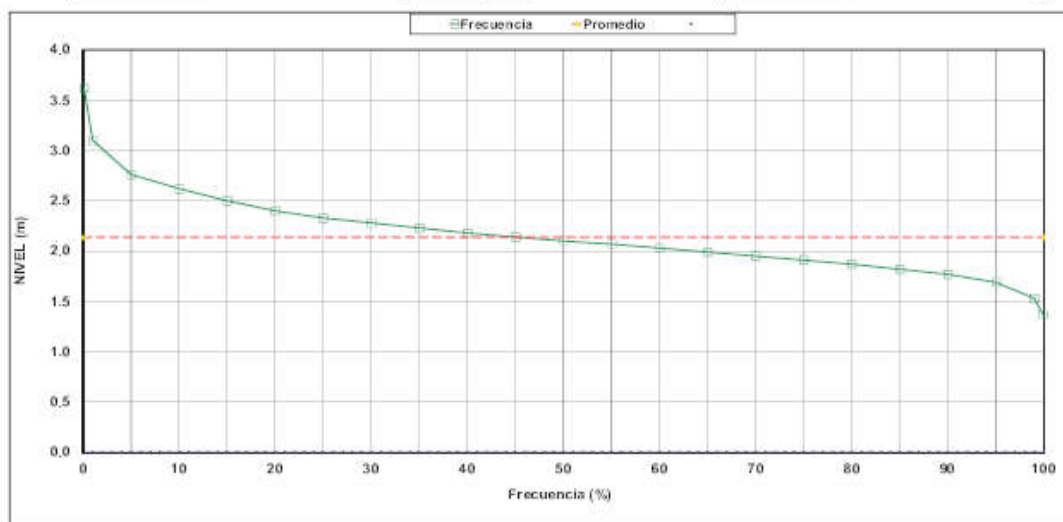
NIVEL PROMEDIO (m)

Actualizado: 13/01/2015

Cuenca: Río de la Plata
Curso: Ao. Pando

Estación: 197.0
Nombre: Peaje Pando

Altitud : 1.03 Wharton	Latitud : 34° 47' 13"	Sur	Coord. X SGM: 491699 m
Area : 768 km2	Longitud : 55° 53' 28"	Oeste	Coord. Y SGM: 6151274 m



Frecuencia (%)	NIVEL (m)
0.10	3.62
1.00	3.10
5.00	2.76
10.00	2.62
15.00	2.50
20.00	2.40
25.00	2.33
30.00	2.28
35.00	2.23
40.00	2.18
45.00	2.14
50.00	2.10
55.00	2.07
60.00	2.03
65.00	1.99
70.00	1.95
75.00	1.91
80.00	1.87
85.00	1.82
90.00	1.77
95.00	1.69
99.00	1.53
99.90	1.37

MÁX	3.62
MED	2.14
MÍN	1.37
% FALT	51.67

Figura 9.19 Curva de frecuencia de niveles diarios en la Estación Hidrométrica 197 (Peaje Pando)

Niveles máximos en Montevideo	
Período de retorno (años)	Nivel (0 Oficial, m)
200	3.10
100	2.91
50	2.72
10	2.26
2	1.73

Figura 9.20 Niveles máximos en el puerto de Montevideo

9.3 Relevamiento fotográfico

A continuación se presentan algunas de las fotografías obtenidas en el momento de la visita al arroyo Pando (17 de agosto de 2015).



Figura 9.21 Zona próxima a la desembocadura en el Río de la Plata



Figura 9.22 Zona próxima a la desembocadura en el Río de la Plata



Figura 9.23 Zona próxima a la desembocadura en el Río de la Plata. Margen derecha



Figura 9.24 Puente sobre la ruta Interbalnearia



Figura 9.25 Puente sobre la ruta Interbalnearia



Figura 9.26 Aguas arriba del puente sobre ruta Interbalnearia. Margen derecha



Figura 9.27 Aguas arriba del puente sobre ruta Interbalnearia.



Figura 9.28 Aguas arriba del puente sobre ruta Interbalnearia. Se observa bifurcación del arroyo



Figura 9.29 Zona del predio. Margen izquierda del arroyo



Figura 9.30 Zona del predio



Figura 9.31 Zona del predio



Figura 9.32 Zona del predio. Próxima a represa niveladora



Figura 9.33 Represa niveladora



Figura 9.34 Zona del predio inmediatamente aguas debajo de represa. Margen derecha del arroyo

9.4 Información en formato digital

Se presenta en formato digital (CD anexo a este informe) como Anexo 4 los datos del relevamiento topográfico que incluye las secciones transversales, información limnimétrica empleada y las fotos tomadas en la visita.

Como Anexo 5 se presentan los resultados del modelo (archivos PDF con información gráfica, archivos de texto con información numérica y archivo .avi con video de la simulación de la crecida de 100 años de período de retorno y nivel en el Río de la Plata de 100 años de período de retorno).

Como Anexo 6 se presenta en formato kmz y DWG las siguientes curvas de inundación:

- Tr 100 años, nivel en el Río de la Plata de 100 años
- Tr 10 años, nivel en el Río de la Plata de 10 años
- Tr 2 años, nivel en el Río de la Plata de 10 años