

# **DIMENSIONAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS PARA LA TRAVESÍA VIAL DE UN CURSO DE AGUA POR MODELACIÓN HIDRODINÁMICA**

**Pedro Enrique Gaete Arroyo<sup>1</sup>**

Palabras Clave: Hidrología vial – hidráulica – alcantarilla – modelo hidrodinámico

## **RESUMEN**

Los métodos tradicionalmente empleados en el dimensionamiento de las estructuras hidráulicas (obras de arte) para la travesía de cursos de agua enfocan el problema considerando el flujo del curso de agua en régimen permanente. Esta aproximación es correcta para los casos comunes de desagüe de micro cuencas determinadas por el terreno y la traza del camino, cuando es generalmente empleado el Método Racional, el cual provee un valor de caudal pico con el cual es dimensionada la estructura (alcantarilla tubo o celular).

Sin embargo, cuando se trata de cursos de agua permanentes, tales como arroyos, o cuencas que por su magnitud determinen que deba ser calculado un hidrograma de crecida máxima para diversos periodos de retorno, la consideración del caudal permanente, adoptando el valor del caudal pico conduce a un dimensionamiento exagerado ya que el caudal pico de una crecida, especialmente de una cuenca no muy grande, tiene poca permanencia en el tiempo.

Entonces, es más conveniente la aproximación al problema utilizando el enfoque del flujo transitorio, también llamado flujo no permanente o variado en el tiempo.

Otra mejoría en el método de calculo consiste en la utilización de algún software de calculo hidráulico por método hidrodinámico, considerando además de la geometría propia de la estructura hidráulica calculada, la conformación del cauce y de las planicies de inundación, o directamente la conformación del valle aguas arriba y aguas abajo de la obra de arte.

El cálculo de una estructura bajo las condiciones arriba expuestas es una aproximación mucho más real al problema y permite el dimensionamiento adecuado de la obra de arte.

En este trabajo se presenta el caso real de la verificación de una alcantarilla celular en la ruta V entre Yby Yau y Pedro J. Caballero, poco después del Cerro Memby, progresiva km 14, donde se busca conocer la capacidad de descarga del sistema ante un evento de precipitación con Tiempo de Recurrencia de 50 años, que causaría un hidrograma cuya descarga debería ser conducida por el sistema de alcantarillas sin sobrepaso del terraplén.

<sup>1</sup>Ingeniero Civil – Consultor de Obras Hidráulicas y vial

## **Dimensionamiento de las estructuras para la travesía vial de un curso de agua por modelación hidrodinámica**

### **Caso verificado: travesía del arroyo en la progresiva 14 + 200 de la Ruta V . Tramo Yby Yau – Pedro J. Caballero.**

#### **1. Introducción**

En la progresiva 14 + 200 aproximadamente, del tramo de la ruta V entre Yby Yau y Pedro J. Caballero, después del Cerro Memby, la travesía de un arroyo consistía originalmente de un sistema de alcantarillas de metal corrugado de 2.3 m de diámetro (2 unidades), más antiguo, combinado con una alcantarilla celular doble de 3 m x 3 m, agregado más tarde.

El estudio de caso es para conocer la capacidad de descarga del sistema ante un evento de precipitación con Tiempo de Recurrencia de 50 años, que causaría un hidrograma cuya descarga debería ser conducida por el sistema de alcantarillas sin sobrepaso del terraplén.

Las alcantarillas de metal corrugado, ya de cierta antigüedad, han experimentado deformaciones que limitan su diámetro a 1.5 m aproximadamente, por lo cual han sido ensayados tres tipos de soluciones o casos a ser verificados hidráulicamente.

Casos:

- 1- Estructuras existentes, Celular doble 3.0 m x 3.0 m y Tubos de hormigón de 1.2 m diámetro, insertados dentro de los tubos metálicos (2 líneas).
- 2- Reemplazo de las alcantarillas de metal por una celular doble de 2.5 m x 2.5 m.
- 3- Eliminación de los tubos dejando solamente la alcantarilla celular doble de 3 m x 3 m.

#### **2. Estudio Hidrológico**

En el estudio hidrológico se ha determinado la cuenca de drenaje confinada por el terraplén y las divisorias de agua conformadas por las curvas de nivel con equidistancia de 10 m, resultando los siguientes parámetros geométricos: (Anexo 2)

Área : 51.33 km<sup>2</sup>

Altitudes en la cuenca : de 184.4 m a 410 m

Desnivel adoptado en el curso principal : 125 m

Longitud adoptada del curso principal : 9 km

Pendiente media del curso principal : 0.0139 m/m, aproximadamente 14 m/km

Con estos valores, resulta un tiempo de concentración de casi 2 horas (1.97 h).

Ha sido adoptada la curva de Intensidad - Duración - Frecuencia de Concepción.

Para el cálculo del hidrograma ha sido adoptado el método del Hidrograma Unitario Triangular, con Número de Curva, del Servicio de Conservación de Suelos de los EUA.

El número de curva adoptado es el valor CN : 64.

Con estos parámetros, el hidrograma para el TR de 50 años tiene un pico de 184 m<sup>3</sup>/s. (Anexo 3)

#### **3. Estudio Hidráulico**

Sometiendo la estructura a la verificación hidráulica en flujo permanente considerando exclusivamente las dimensiones de la alcantarilla y sus parámetros geométricos e hidráulicos, en todos los tres casos mencionados se sobrepasa la altura del terraplén aplicando el caudal pico del hidrograma calculado ( $Q_{max} = 184 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

Ante esta situación, se procede a realizar el estudio hidráulico en un modelo hidrodinámico donde ha sido representado un trecho de 250 m aguas abajo de la alcantarilla y 2500 m aguas arriba de la misma (ver esquema en la perspectiva del anexo 5), a fin de considerar el importante efecto de almacenamiento en el vaso conformado por el terraplén de la ruta y el valle hacia aguas arriba.

Como mencionado arriba, han sido considerados tres casos:

1. Celular doble 3.0 m x 3.0 m y Tubos de Ho Ao de 1.2 m diámetro (2 líneas)
2. Celular doble 3.0 m x 3.0 m y Celular doble 2.5 m x 2.5 m.
3. Celular doble 3.0 m x 3.0 m solamente.

#### 4. Resultados de las simulaciones en el modelo matemático hidrodinámico

**Caso 1:** Celular doble 3.0 m x 3.0 m y Tubos de metal corrugado de 1.2 m diámetro (2 líneas)

El nivel máximo alcanzado es de 188.26 m, sin sobrepaso por encima del terraplén, cuya rasante esta en la cota 188.40 m.

El tiempo de permanencia del nivel por encima del borde superior de la entrada de la alcantarilla celular 3 m x 3 m (187.4 m) es de 5 h 30 min. Caudal instantáneo máximo evacuado es de 77 m<sup>3</sup>/s.

**Caso 2:** Celular doble 3.0 m x 3.0 m y Celular doble 2.5 m x 2.5 m.

Nivel máximo alcanzado es de 188.00 m, sin sobrepasar encima del terraplén.

El tiempo de permanencia del nivel por encima del borde superior de la entrada de la alcantarilla celular 3 m x 3 m es de 3 h 30 min (2 horas menos que en el caso anterior).

El caudal instantáneo máximo evacuado es de 100 m<sup>3</sup>/s.

En esta configuración, el hidrograma de pico máximo soportado por el sistema sin sobrepaso por el terraplén es de unos 200 m<sup>3</sup>/s, correspondiente a TR 60 años.

**Caso 3:** Celular doble 3.0 m x 3.0 m solamente.

El nivel máximo alcanzado sobrepasa el terraplén.

El tiempo de permanencia del nivel por encima del borde superior de la entrada de la alcantarilla celular 3 m x 3 m es de unas 6 h, siendo sobrepasado el nivel del terraplén durante 1 h.

El caudal instantáneo máximo evacuado previo al instante de sobrepaso del terraplén es de 66 m<sup>3</sup>/s, caudal bastante inferior al pico del hidrograma que llega posteriormente.

#### 5. Conclusiones

El caso 3, con solamente la alcantarilla celular 3 m x 3 m tampoco verifica las condiciones de seguridad con el hidrograma correspondiente a 50 años de recurrencia, en régimen variado.

Los casos 1 y 2 que no verifican considerando el caudal pico en régimen permanente, en cambio sí verifican en el régimen variado o transitorio, variando solamente pocos cm en el nivel alcanzado aguas arriba y más notablemente en el tiempo de permanencia de los niveles de remanso, cuando aplicamos el hidrograma y el régimen variado con la morfología del valle aguas arriba del camino.

Otra ventaja importante del dimensionamiento en régimen variado es la aproximación al tiempo de permanencia de determinados niveles de inundación causados por la interposición del camino y de la estructura hidráulica, imposibles de determinar considerando solamente el caudal pico en régimen permanente.

Los anexos ilustran algunas características de los casos simulados, donde son presentados perfiles transversales y longitudinales, así como también una perspectiva del camino con las alcantarillas y el valle inferior y el superior modelados.

La verificación de estructuras hidráulicas viales empleando métodos de modelación matemática hidrodinámica requiere mayor volumen de información, prácticamente en tres dimensiones, necesitando mayor tiempo de elaboración y evaluación de los resultados del modelo, pero permite una aproximación más certera a la problemática planteada, que resulta en un dimensionamiento más acorde con la situación.

Alcantarillas de metal corrugado existentes, diámetro 2.3 m

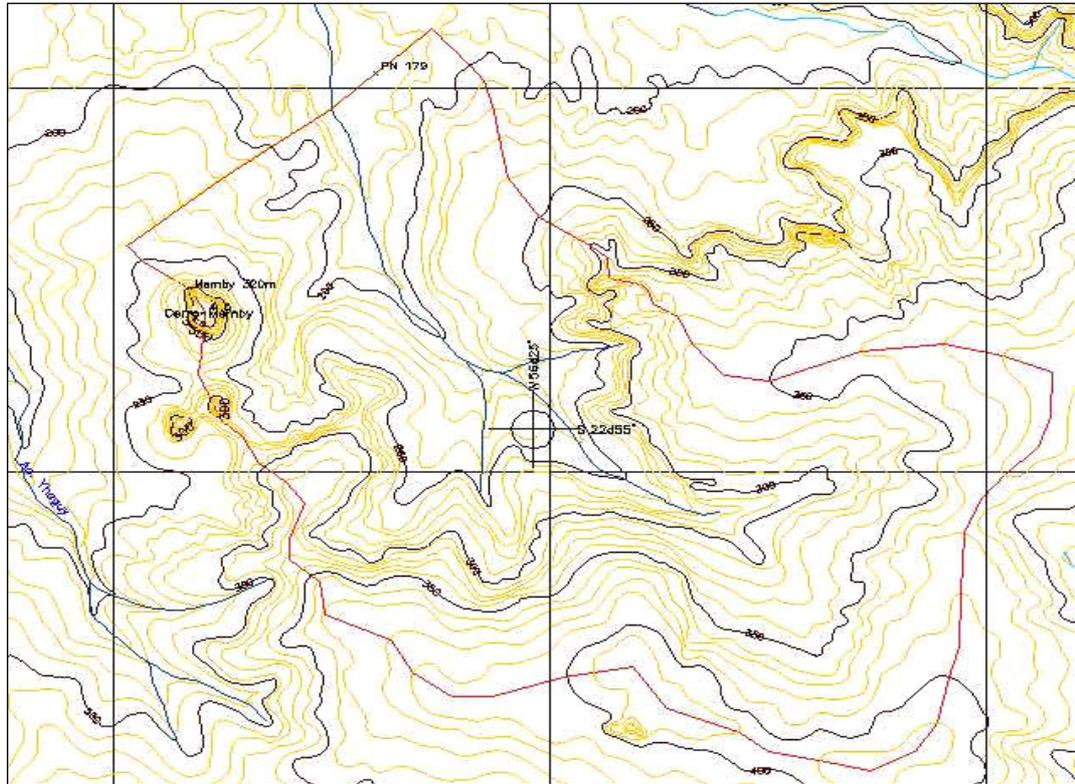


Alcantarilla celular doble existente (3 m x 3 m) – Progr: 14+285 y 14+286



Estudio Hidrológico - Parámetros

TRAMO: RUTA V - YBY YAÚ - PJC  
CUENCA ARROYO - Prog. 14 + 100



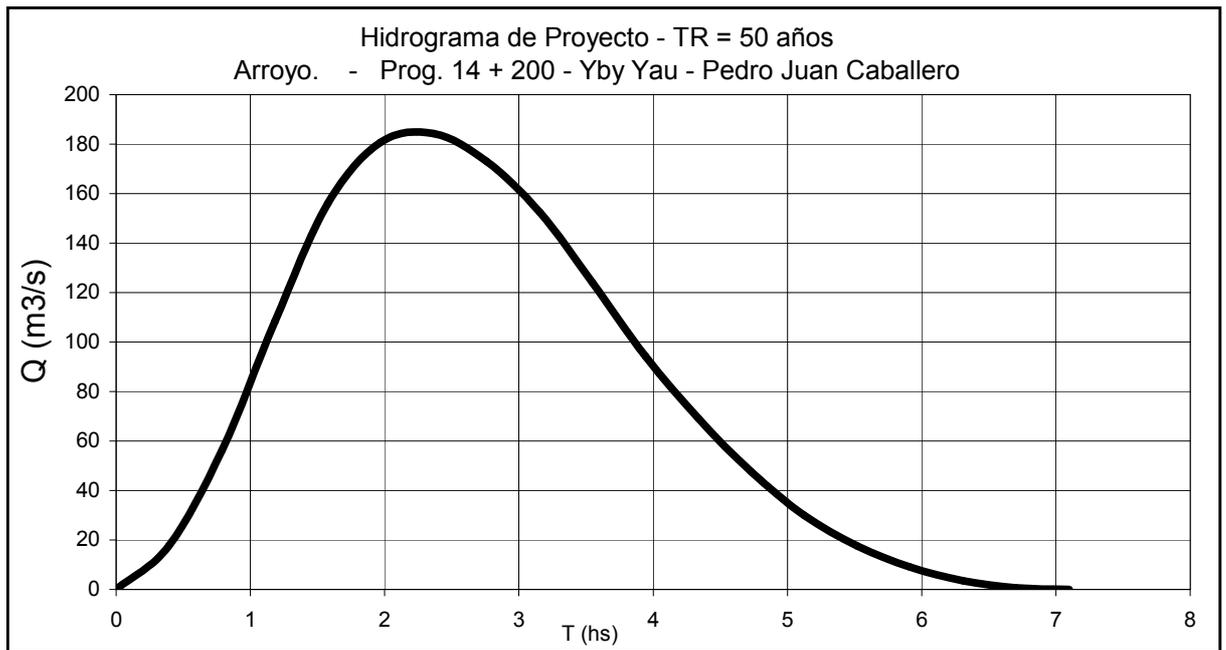
**Cálculo del Hidrograma de Proyecto**

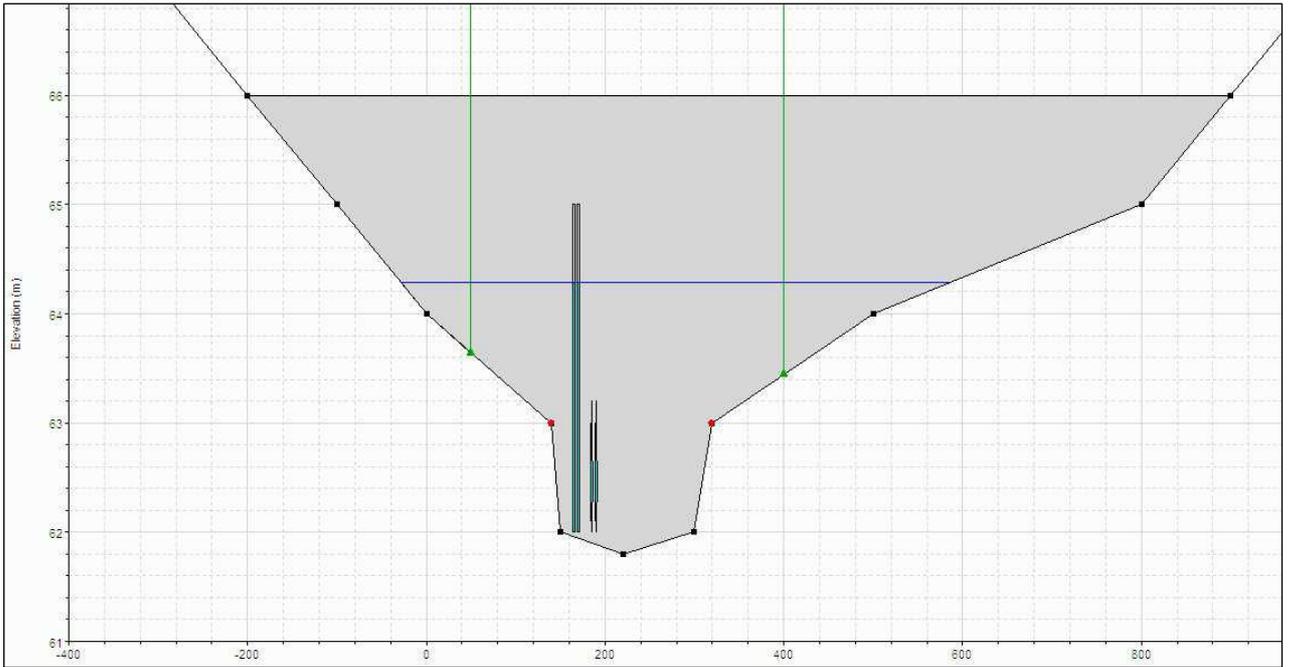
LUGAR DE LA OBRA DE CRUCE : ruta Yby Yau - Pedro Juan Caballero

PROGRESIVA:	14 + 100	CURSO DE AGUA:	Arroyo		
<b>CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA</b>					
Area de la Cuenca: A (Km2) =	51.33	Desnivel: H (m) =	125.00		
Longitud del Cauce: L (Km) =	9.00	Pendiente Media: i (m/m) =	0.01389		
<b>PARÁMETROS DEL HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR</b>					
Tiempo de Concentración: Tc (hs) =	1.97	Tiempo Base: Tb (hs) =	3.69		
Tiempo al Pico: Tp (hs) =	1.38	Tiempo Unitario: ΔT (hs) =	0.39		
Tiempo de Bajada ( Tr (hs) =	2.30	Caudal Máximo Unitario: qp (m3/s) =	77.36		
<b>PARÁMETROS DE PRECIPITACIÓN</b>					
Tiempo de Recurrencia: Tr (años) =	50	Número de Curva: NC =	64		
		Valor S del Método del SCS (cm) =	14.29		
<b>PRECIPITACIÓN EFECTIVA</b>					
Δ T (hs)	I (mm/h)	P (cm)	P' (cm)	Pe (cm)	Δ Pe (cm)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	174.51	6.88	6.67	0.80	0.80
0.79	115.06	9.07	8.79	1.74	0.94
1.18	86.90	10.28	9.96	2.36	0.62
1.58	70.29	11.09	10.74	2.80	0.45
1.97	59.28	11.69	11.32	3.15	0.35
2.37	51.40	12.16	11.78	3.43	0.28
2.76	45.48	12.55	12.16	3.67	0.24
3.15	40.85	12.89	12.48	3.87	0.21

Estudio Hidrológico - Hidrograma

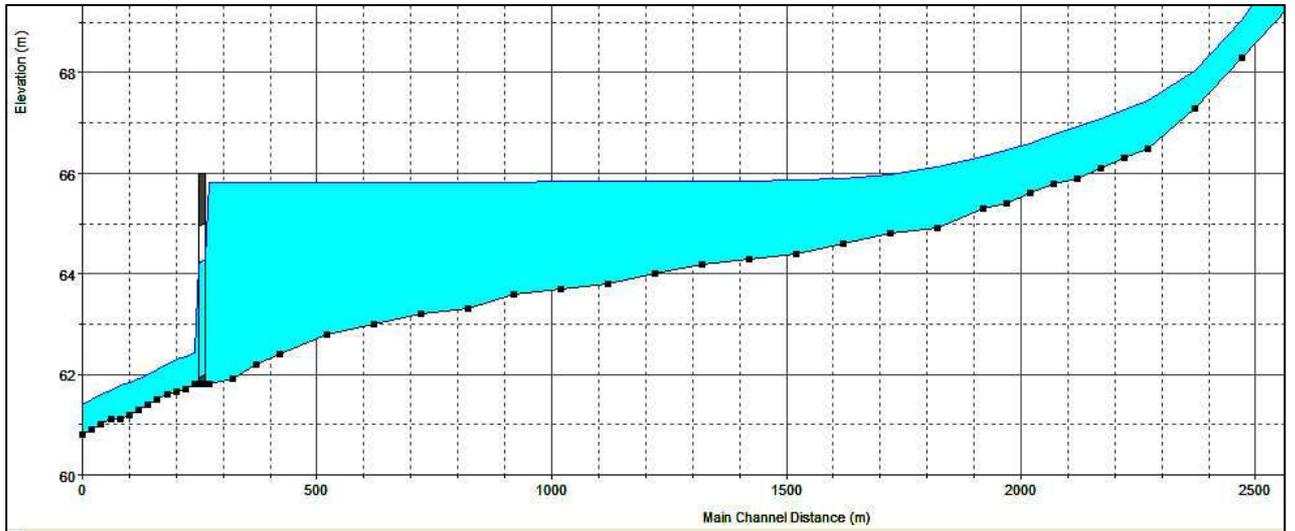
HIDROGRAMA DE PROYECTO - Ao. - TR = 50 AÑOS											
$\Delta T$	$q_i$	Precipitación Efectiva									Q
(hs)	(m3/s)	0.80	0.94	0.62	0.45	0.35	0.28	0.24	0.21	0.18	(m3/s)
0.00	0.00	0.00									0.00
0.39	22.10	17.72	0.00								17.72
0.79	44.20	35.44	20.76	0.00							56.20
1.18	66.31	53.16	41.52	13.63	0.00						108.31
1.58	70.74	56.72	62.29	27.26	9.85	0.00					156.11
1.97	57.50	46.10	66.45	40.88	19.70	7.65	0.00				180.79
2.37	44.27	35.49	54.02	43.62	29.55	15.29	6.23	0.00			<b>184.20</b>
2.76	31.04	24.88	41.59	35.46	31.52	22.94	12.46	4.21	0.00		173.07
3.15	17.80	14.27	29.15	27.30	25.63	24.47	18.70	8.43	4.54	0.00	152.49
3.55	4.57	3.66	16.72	19.14	19.73	19.90	19.95	12.64	9.09	3.21	124.03
3.94	0.00	0.00	4.29	10.98	13.83	15.32	16.22	13.49	13.63	6.42	94.17
4.34	0.00		0.00	2.82	7.93	10.74	12.48	10.96	14.55	9.63	69.11
4.73	0.00			0.00	2.03	6.16	8.75	8.44	11.83	10.28	47.49
5.13	0.00				0.00	1.58	5.02	5.92	9.10	8.36	29.98
5.52	0.00					0.00	1.29	3.39	6.38	6.43	17.50
5.92	0.00						0.00	0.87	3.66	4.51	9.04
6.31	0.00							0.00	0.94	2.59	3.53
6.70	0.00								0.00	0.66	0.66
7.10	0.00									0.00	0.00





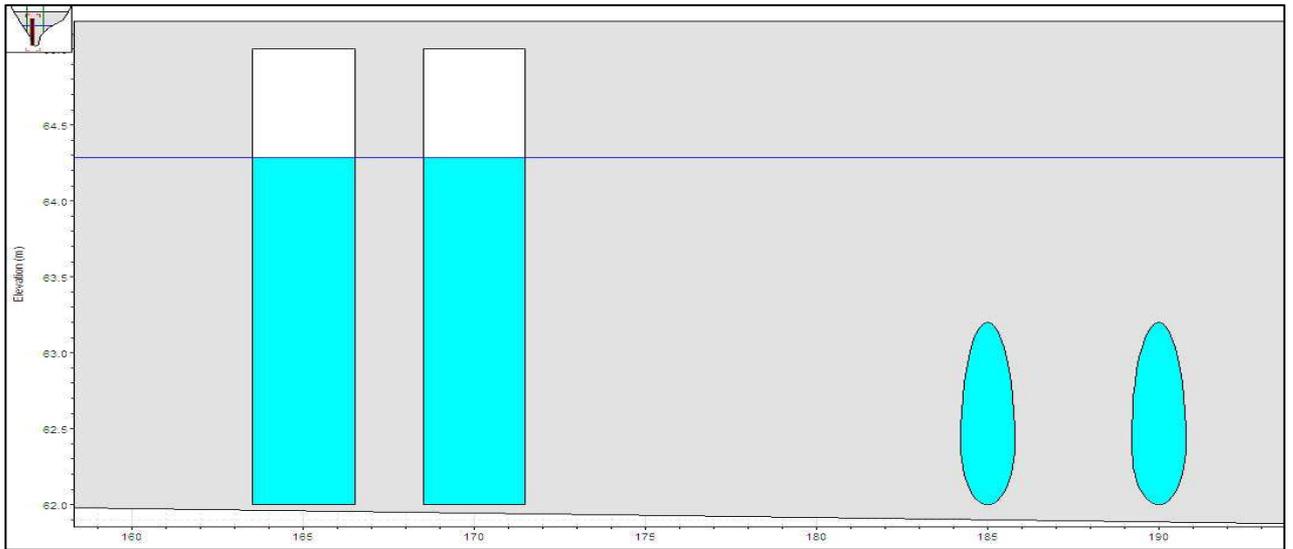
Perfil transversal adoptado en el valle en correspondencia con el terraplén.

Obs: La cota de 65 m del modelo es equivalente a la cota 187.4 m del prototipo. (+122.4 m)

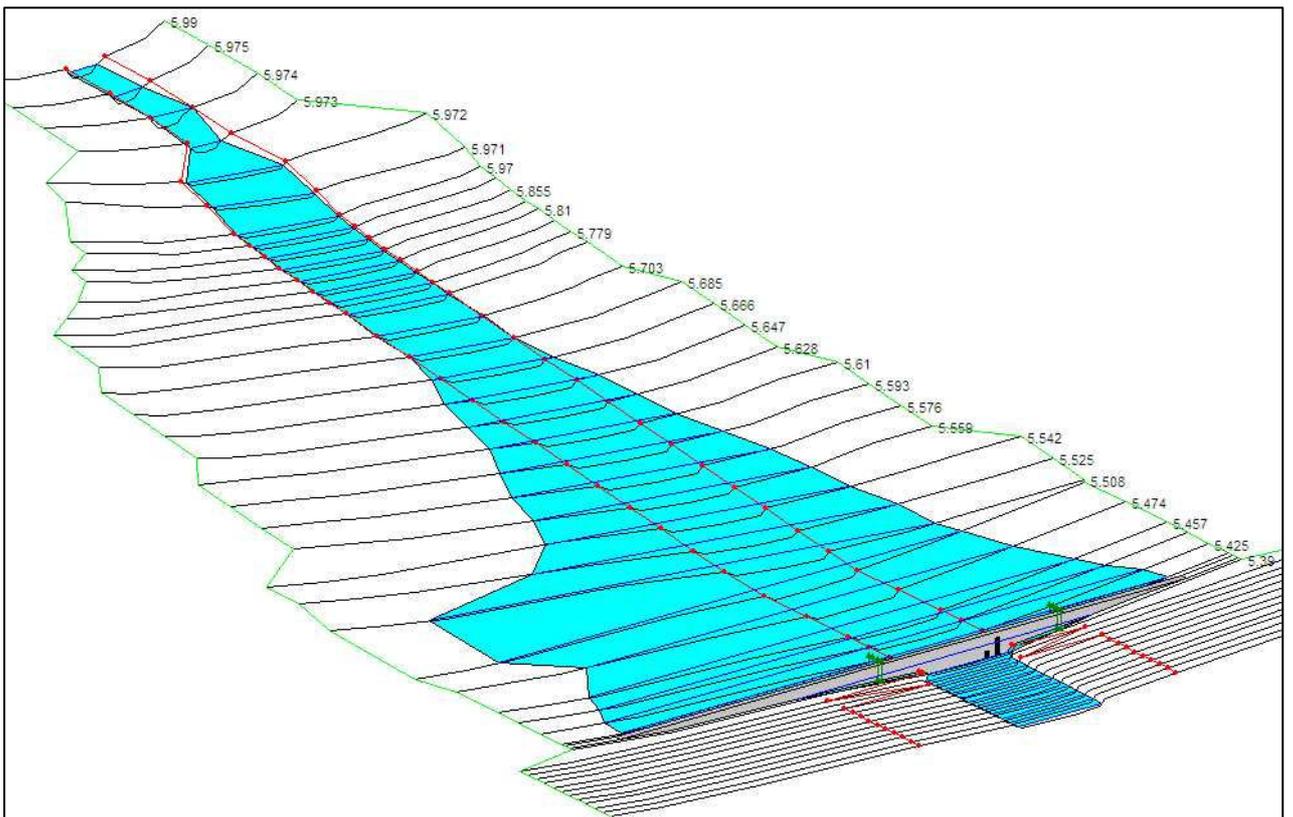


Perfil longitudinal por el curso principal - Caso 1: la elevación máxima del remanso aguas arriba del terraplén alcanza a 65.86 m (188.26 m en el prototipo)

Estudio Hidráulico



Esquema de la solución adoptada en el Caso 1 : Celular doble 3 m x 3 m con Tubo doble 1.2 m diámetro



Esquema en perspectiva del modelo con el remanso aguas arriba del terraplén.