



*Estudio de ampliación de capacidad y restauración ambiental del encauzamiento del río Segura entre la AP – 7 y el puente de la carretera CV – 91 (T.T. M.M. de Formentera del Segura y Rojas, Alicante)*



Trabajo de Fin de Grado

Grado en Ingeniería Civil

**ESTUDIO DE AMPLIACIÓN DE CAPACIDAD Y RESTAURACIÓN AMBIENTAL  
DEL ENCAUZAMIENTO DEL RÍO SEGURA ENTRE LA AP – 7 Y EL PUENTE  
DE LA CARRETERA CV – 91 (T.T. M.M. DE FORMENTERA DEL SEGURA Y  
ROJALES, ALICANTE)**

**DOCUMENTO I DE III**

**TOMO II ANEJOS**

Autor:

Bibiano Hernández Cabrera

Tutor: Dr. D. Juan Bautista Marco Segura

Cotutor: D. Miguel Ángel Eguibar Galán

Valencia, 2021



# ÍNDICE

---

<b>ÍNDICE.....</b>	<b>2</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....</b>	<b>3</b>
<b>1 ANEJO HIDRUÁULICO.....</b>	<b>7</b>
<b>1.1 INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>7</b>
<b>1.2 PROGRAMAS UTILIZADOS PARA LA MODELIZACIÓN .....</b>	<b>7</b>
1.2.1 QGIS.....	8
1.2.1.1 DATOS DE PARTIDA.....	8
1.2.1.2 OBTENCIÓN DE LAS SECCIONES DEL CAUCE .....	8
1.2.2 HEC-RAS.....	11
1.2.2.1 DATOS DE PARTIDA.....	12
1.2.2.2 MODELIZACIÓN DEL CAUCE.....	13
1.2.2.2.1 INTRODUCCIÓN DE LAS SECCIONES .....	13
1.2.2.2.2 MODIFICACIÓN DE LAS MOTAS.....	15
1.2.2.2.3 INTERPOLACIÓN DE SECCIONES .....	17
1.2.2.2.4 RESULTADO EN PLANTA .....	20
1.2.2.2.5 CARACTERÍSTICAS DEL CAUCE .....	21
1.2.2.2.6 CONDICIONES DE CONTORNO.....	22
1.2.2.3 RESULTADOS EN SECCIONES INTRODUCIDAS.....	23
1.2.2.4 Resultados numéricos.....	59
1.2.2.5 Representación 3D.....	68
<b>2 ANEJO DISEÑO HIDRÁULICO DEL BY-PASS AL PUENTE CARLOS III.....</b>	<b>71</b>
<b>2.1 INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>71</b>
<b>2.2 DATOS DE PARTIDA.....</b>	<b>73</b>
2.2.1 Caudales .....	73
2.2.2 Datos del cauce.....	73
2.2.3 PUENTE CARLOS III.....	75
<b>2.3 DISEÑO BY-PASS .....</b>	<b>80</b>
2.3.1 CÁLCULO AGUAS ABAJO DEL PUENTE .....	80
2.3.2 CÁLCULO AGUAS ARRIBA DEL PUENTE.....	82
2.3.2.1 Sección potencialmente crítica del azud .....	82
2.3.2.2 Sección potencialmente crítica inmediatamente aguas abajo del puente .....	83
2.3.3 Energía específica aguas abajo .....	83
3.3.3.1 Velocidad puente en carga .....	84
2.3.3 Diseño de la ventana .....	85
<b>3 ANEJO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO.....</b>	<b>88</b>
<b>3.1 OBJETO Y ALCANCE DE ESUDIO .....</b>	<b>88</b>



<b>3.2</b>	<b>MARCO GEOLÓGICO .....</b>	<b>88</b>
<b>3.3</b>	<b>Litoestratigrafía de las formaciones afectadas. ....</b>	<b>91</b>
<b>3.4</b>	<b>Hidrogeología. ....</b>	<b>91</b>
<b>3.5</b>	<b>SISMICIDAD .....</b>	<b>93</b>
<b>3.6</b>	<b>GEOTÉCNIA.....</b>	<b>94</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

---

<b>Tabla 1 Resultados numéricos de la modelización del cauce (Fuente: propia con Hec-Ras).....</b>	<b>59</b>
<b>Tabla 2. Datos de las secciones 8773, 8743, 8598 y 9501 tras el modelado en Hec-Ras. ....</b>	<b>74</b>

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

---

<b>Ilustración 1. Superficie cartográfica y cauce del Río Segura (Fuente: propia con Qgis) .....</b>	<b>9</b>
<b>Ilustración 2. Cartografía del tramo de estudio. (Fuente: propia con Qgis).....</b>	<b>9</b>
<b>Ilustración 3. Herramienta Terrain profile. (Fuente: propia Qgis).....</b>	<b>10</b>
<b>Ilustración 4. Corte en la superficie mediante la herramienta Terrain profile. (Fuente: propia con Qgis) .....</b>	<b>10</b>
<b>Ilustración 5. Secciones transversales. (Fuente: propia con Qgis) .....</b>	<b>11</b>
<b>Ilustración 6. Eje Río Segura en Hec-Ras (Fuente: tutores del TFG).....</b>	<b>12</b>
<b>Ilustración 7. Tramo de estudio (Fuente: propia con HecRas).....</b>	<b>13</b>
<b>Ilustración 8. Sección 5168,75 introducida en Hec-Ras sin manipular. (Fuente: propia con Hec-Ras).....</b>	<b>14</b>
<b>Ilustración 9 Sección 5168,75 introducida en Hec-Ras corregida. (Fuente: propia con Hec-Ras).....</b>	<b>15</b>



<b>Ilustración 10. Editor de secciones (Fuente: propia)</b> .....	<b>15</b>
<b>Ilustración 12. Sección 6005 modificada (Fuente: propia con Hec-Ras)</b> .....	<b>16</b>
<b>Ilustración 11. Sección 6005 sin modificar (Fuente: propia con Hec-Ras)</b> .....	<b>16</b>
<b>Ilustración 13. Medición del espacio disponible. Secciones de la 6864 a la 5802.</b> .....	<b>17</b>
<b>Ilustración 13. Menú de interpolación (Fuente: propia)</b> .....	<b>18</b>
<b>Ilustración 14. Secciones 12028 y 12073 antes de la interpolación. (Fuente: propia).</b> 18	
<b>Ilustración 15. Guiado de interpolación. (Fuente: propia)</b> .....	<b>19</b>
<b>Ilustración 16. Secciones interpoladas entre las secciones 12073 y 12028. (Fuente: propia)</b> .....	<b>19</b>
<b>Ilustración 17. Planta completa. (Fuente: propia con Hec-Ras)</b> .....	<b>20</b>
<b>Ilustración 18. Detalle planta del río al paso por Formentera del Segura. (Fuente: propia con Hec-Ras)</b> .....	<b>21</b>
<b>Ilustración 19 Detalle planta del río al paso por Rojas. (Fuente: propia con Hec-Ras)</b> .....	<b>21</b>
<b>Ilustración 20. Número de Manning en tramo renaturalizado. (Fuente: propia)</b> .....	<b>22</b>
<b>Ilustración 21. Número de Manning en tramo urbano. (Fuente: propia)</b> .....	<b>22</b>
<b>Ilustración 22. Introducción condiciones de contorno. (Fuente: propia con Hec-Ras)</b> 23	
<b>Ilustración 23</b> .....	<b>23</b>
<b>Ilustración 24</b> .....	<b>68</b>
<b>Ilustración 25</b> .....	<b>69</b>
<b>Ilustración 26</b> .....	<b>69</b>
<b>Ilustración 27 Planta del by-pass integrado. (Fuente: elaboración propia)</b> .....	<b>72</b>
<b>Ilustración 28. Localización de las secciones (Fuente: elaboración propia con Illustrator)</b> .....	<b>74</b>
<b>Ilustración 29 Localización de las secciones influentes (Fuente: elaboración propia)</b> 74	
<b>Ilustración 30. Datos de las secciones influentes (Fuente: Hec-Ras)</b> .....	<b>74</b>
<b>Ilustración 31. Cota solera lateral sección 8501 (Fuente: propia con Hec-Ras)</b> .....	<b>75</b>
<b>Ilustración 33. Cotas extraídas de la escala gráfica. (Elaboración propia)</b> .....	<b>76</b>
<b>Ilustración 32. Escala gráfica puente Carlos III</b> .....	<b>76</b>
<b>Ilustración 34. Medición de la profundidad in situ.</b> .....	<b>77</b>
<b>Ilustración 35. Cotas agujeros del puente. (Fuente: propia AutoCAD)</b> .....	<b>77</b>
<b>Ilustración 36. Ancho sección crítica azud (Fuente: Visor GVA)</b> .....	<b>79</b>
<b>Ilustración 37. Ancho seccion salida del puente (Fuente: Visor GVA)</b> .....	<b>79</b>



<b>Ilustración 38. Longitud disponible para el by-pass. (Fuente: Visor GVA) .....</b>	<b>81</b>
<b>Ilustración 39. Tabla coeficientes de rugosidad (Fuente: Wikipedia («Fórmula de Manning», 2021)).....</b>	<b>81</b>
<b>Ilustración 40. Espacio disponible para la ventana lateral. (Fuente: Visor GVA) .....</b>	<b>85</b>
<b>Ilustración 41. Esquema geológico del Mediterráneo occidental (modificado de DE RUIG, 1992, en Alfaro, .....</b>	<b>88</b>
<b>Ilustración 42. Hoja geológica nº914.....</b>	<b>89</b>
<b>Ilustración 43. Hoja geológica nº914.....</b>	<b>90</b>
<b>Ilustración 45. Leyenda Hoja Geológica nº914 (Guardamar del Segura).....</b>	<b>91</b>
<b>Ilustración 44 Leyenda de la hoja geológica nº914 .....</b>	<b>91</b>
<b>Ilustración 46. Mapa 914 PATRICOVA ZONIFICACIÓN PELIGROSIDAD DE INUNDACIÓN .....</b>	<b>92</b>
<b>Ilustración 47. Mapa 914 PATRICOVA ZONIFICACIÓN RIESGO DE INUNDACIÓN .....</b>	<b>93</b>
<b>Ilustración 48. Sismicidad Rojales según NCSE-02.....</b>	<b>94</b>



*Documento nº1. Anejos*





# 1 ANEJO HIDRUÁULICO

---

## 1.1 INTRODUCCIÓN

En el presente anejo se pretende dar una visión completa del trabajo realizado para la modelización de la propuesta del cauce renaturalizado del Río Segura al paso por los términos municipales de Formentera del Segura y Rojas, en concreto, el tramo comprendido entre la intersección de la Autopista del Mediterráneo con el río y la del mismo con la carretera CV-91.

El modelado expuesto en este documento se ha realizado mediante el software HEC-RAS, versión 5.0.3, el procedimiento seguido se mostrará en los próximos apartados, así como los resultados obtenidos y el análisis y comparación de estos.

## 1.2 PROGRAMAS UTILIZADOS PARA LA MODELIZACIÓN

En este apartado se van a exponer los trabajos realizados por cada uno de los *software* que se han utilizado para la realización de este trabajo, así como los datos de los que se partía en cada uno de los programas, es decir, la recaudación de información y trabajos previos realizados para comenzar con la renaturalización del cauce.

En primer lugar, para la exportación de la superficie de las secciones transversales del río a Hec-Ras, se ha utilizado el *software* QGis versión 3.10. Gracias a la aplicación de este programa como sistema de información geográfica (GIS) se ha podido extraer las características del relieve del cauce del Río Segura para su manipulación.

Al finalizar el trabajo realizado en QGis, se ha continuado con el software Hec-Ras, el cual ha permitido, una vez introducidos los datos cartográficos, la modificación de las características del terreno (rugosidad, morfología, etc) y la simulación de diferentes planes con los que comprobar el correcto funcionamiento de la solución propuesta.



## 1.2.1 QGIS

QGIS es un Sistema de Información Geográfica (SIG) de Código Abierto licenciado bajo GNU - General Public License (Descubre QGIS, s. f.). Mediante este software se ha podido visualizar la orografía del cauce del Río Segura, desde el embalse de Abanilla hasta la desembocadura en Guardamar del Segura, además de exportarla a Hec-Ras y permitir trabajar con ella.

### 1.2.1.1 DATOS DE PARTIDA

Para comenzar a hacer uso de las diferentes herramientas que ofrece QGIS, como *software* libre, ha sido necesaria la descarga de la superficie MDT con las características cartográficas del área de estudio. Para ello, se ha utilizado una superficie cartográfica desarrollada conjuntamente por varios entes. En primer lugar, la información parte de la Confederación Hidrográfica del Segura, después la empresa privada Grupo INCLAM realizó los primeros estudios en la zona y finalmente esta información cartográfica se ha complementado con la disponible en el Plan Nacional de Ortografía Aérea (PNOA). Toda esta información ha sido suministrada por los tutores de este Trabajo de Final de Grado, quienes han tratado y mejorado la superficie antes de compartirla.

### 1.2.1.2 OBTENCIÓN DE LAS SECCIONES DEL CAUCE

En primer lugar, se ha de añadir la superficie ráster (.tiff), la cual está dotada de las características topográficas del terreno, obtenida de los vuelos fotogramétricos del territorio, para posteriormente cortar esta superficie y obtener la topografía de las secciones del río. Después, para visualizar el recorrido del cauce del Río Segura se ha de añadir el vector previamente tratado (.shx) que corresponde con su trazado. Ambas capas están georreferenciadas respecto al sistema de referencia de coordenadas al origen: EPSG:25830 – ETRS89 / UTM zone 30N.

Tras la introducción de sendas capas se obtiene el trazado del río en su superficie, queda mostrado en la Ilustración 1.

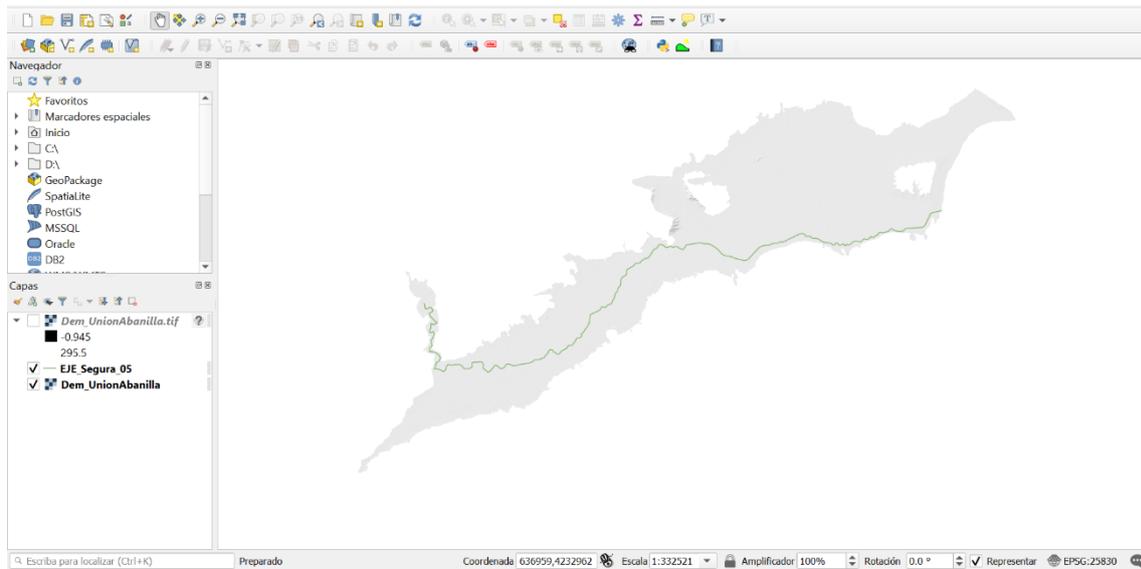


Ilustración 1. Superficie cartográfica y cauce del Río Segura (Fuente: propia con Qgis)

Ya que la finalidad de utilizar este programa es obtener las secciones del cauce en el tramo de estudio, para después poder modificarlas en Hec-Ras, el trabajo se ha de centrar en la zona comprendida entre Formentera del Segura y la desembocadura al Mar Mediterráneo, en Guardamar. Esta zona se muestra en la Ilustración 2.



Ilustración 2. Cartografía del tramo de estudio. (Fuente: propia con Qgis)

Una vez situada la zona y cargadas ambas capas, se ha hecho uso de la herramienta *Terrain Profile* (Ilustración 3) para poder hacer cortes a la capa de superficie, de forma perpendicular al transcurso del río y obtener así la topografía del terreno aledaño al cauce.

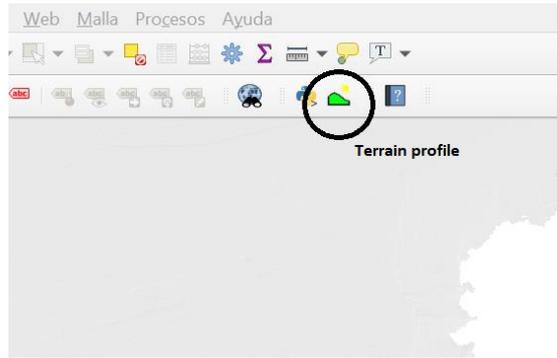


Ilustración 3. Herramienta Terrain profile. (Fuente: propia Qgis)

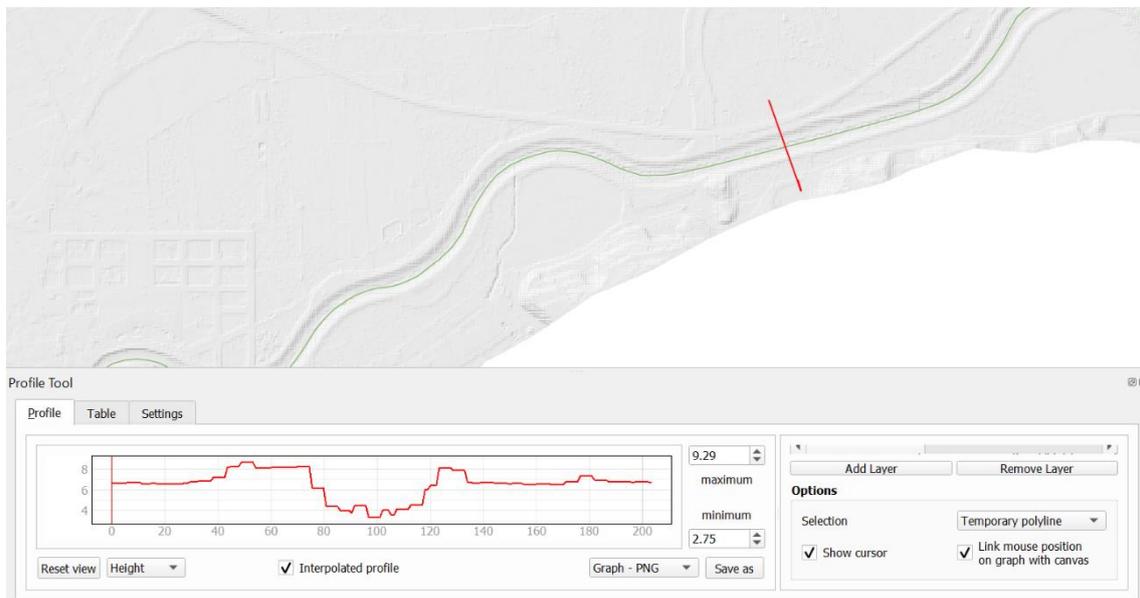


Ilustración 4. Corte en la superficie mediante la herramienta Terrain profile. (Fuente: propia con Qgis)

Se han producido cortes a lo largo de todo el tramo, teniendo en cuenta que en las zonas curvas es necesario un mayor nivel de detalle que en las rectas, ya que el terreno puede cambiar de mayor forma. En la ilustración 4 se muestra un ejemplo del corte al terreno.

A continuación, pulsando sobre la pestaña “Table” el programa ofrece el corte del terreno mediante coordenadas, las cuales se pueden copiar y pegar en Hec-Ras, teniendo en cuenta la localización de la sección. Cada corte al terreno después será una sección transversal introducida en Hec-Ras, las cuales se mostrarán en los próximos apartados.

Este paso se ha repetido a lo largo de todo el tramo de estudio, copiando todas las secciones transversales en Hec-Ras. En la Ilustración 5 se pueden observar todos los cortes que se han realizado.



Ilustración 5. Secciones transversales. (Fuente: propia con Qgis)

Se ha tenido en cuenta a la hora de realizar los cortes en el terreno varios criterios importantes:

- Realizar el corte lo suficientemente extenso para poder simular la ampliación del cauce.
- Cortes perpendiculares a la trayectoria del flujo
- La trayectoria del flujo en caso de desbordamiento, sobre todo en el interior de los meandros, para cortar siempre de forma perpendicular a la trayectoria.
- No intersectar dos secciones, pues no tendría sentido hidráulico que el flujo pase dos veces por el mismo punto.
- Tener en cuenta las redes de riego y las carreteras, para una correcta interpretación de la sección.

### 1.2.2 HEC-RAS

Los cálculos hidráulicos realizados en el presente apartado han sido llevados a cabo mediante el programa HEC RAS, desarrollado por el US Army Corps of Engineers del Hydrologic Engineering Center, ampliamente utilizado a nivel mundial. Este modelo lleva a cabo la simulación del régimen hidráulico permanente gradualmente variado en cauces abiertos naturales con contornos rígidos, por medio del Standard Step Method.

Las principales hipótesis adoptadas por el Hec-Ras son:

- Calcula perfiles en lámina libre en flujo gradualmente variado.
- Realiza un análisis unidimensional o bidimensional del flujo. En este caso se ha aplicado el módulo unidimensional.



- Considera la variabilidad de la velocidad a lo largo de una sección transversal, obteniendo la distribución de velocidades.
- Analiza el flujo para todo tipo de regímenes: Régimen subcrítico o lento, régimen supercrítico o rápido y régimen mixto.
- Localiza el resalto hidráulico, aplicando la ecuación de cantidad de movimiento.
- Trata flujo dividido y uniones.
- Analiza estructuras inmersas en el cauce de un río, como obstrucciones o puentes.

### 1.2.2.1 DATOS DE PARTIDA

En este apartado se especificará el punto del que se ha partido para comenzar con la renaturalización y ampliación del cauce. Al inicio, se contaba con el trazado del río, así como la localización de las secciones clave a introducir, a partir de los cortes al terreno producidos en QGIS. En la Ilustración 6 se puede observar lo explicado anteriormente, el trabajo previo proporcionado por los tutores de este TFG.

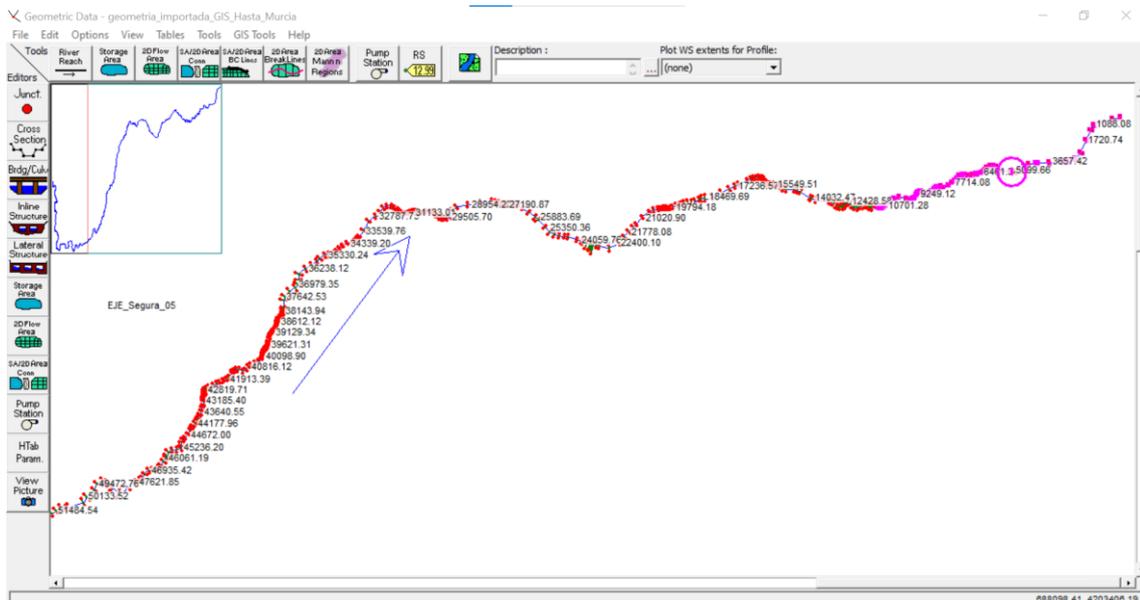


Ilustración 6. Eje Río Segura en Hec-Ras (Fuente: tutores del TFG)

Al igual que en el apartado anterior, en la siguiente ilustración se mostrará en detalle cuál es el tramo correspondiente a este trabajo.

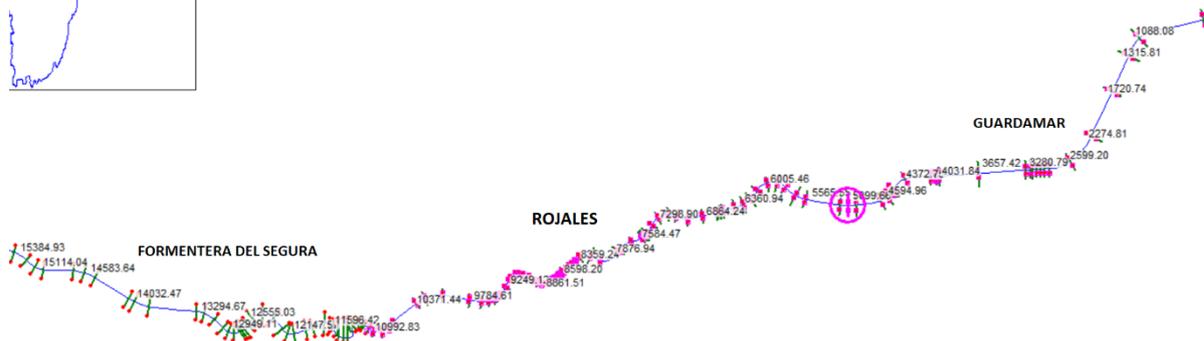
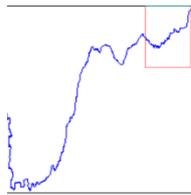


Ilustración 7. Tramo de estudio (Fuente: propia con HecRas)

### 1.2.2.2 MODELIZACIÓN DEL CAUCE

Todo lo relevante a la preparación del modelo para la obtención de resultados de la situación propuesta se mostrará a continuación. En los siguientes apartados se describirán los pasos realizados con el fin de obtener un modelo del Río Segura en situación de avenida lo más descriptivo y realista posible.

En primera instancia se mostrará el procedimiento llevado para la ampliación de las secciones, así como los criterios seguidos para ello. Después se mostrarán las condiciones de contorno y las características del cauce introducidas en el programa Hec-Ras, junto a su justificación. Estos datos, como la rugosidad, son hipótesis documentadas, ya que no se pueden conocer de una forma totalmente exacta.

#### 1.2.2.2.1 INTRODUCCIÓN DE LAS SECCIONES

El primer paso para comenzar con la modelización ha sido la introducción de las secciones en el eje del Río Segura importado en Hec-Ras. En el apartado 2.1.2 de este mismo Anejo se describió la obtención de las coordenadas a través de los cortes en el terreno en QGis, en este apartado se mostrará el resultado en Hec-Ras.

Para llevar a cabo esta tarea se ha tenido en cuenta el nombramiento de las secciones por la distancia de cada una hasta la desembocadura, en metros. Tanto en un programa como en otro, para evitar errores a la hora de introducir las.

En la Ilustración 8 se puede observar un ejemplo de lo obtenido al introducir las coordenadas de una sección, en este caso se muestra la sección 5168,75, es decir, la sección situada a 5,16 Km de la desembocadura en el Mar Mediterráneo.



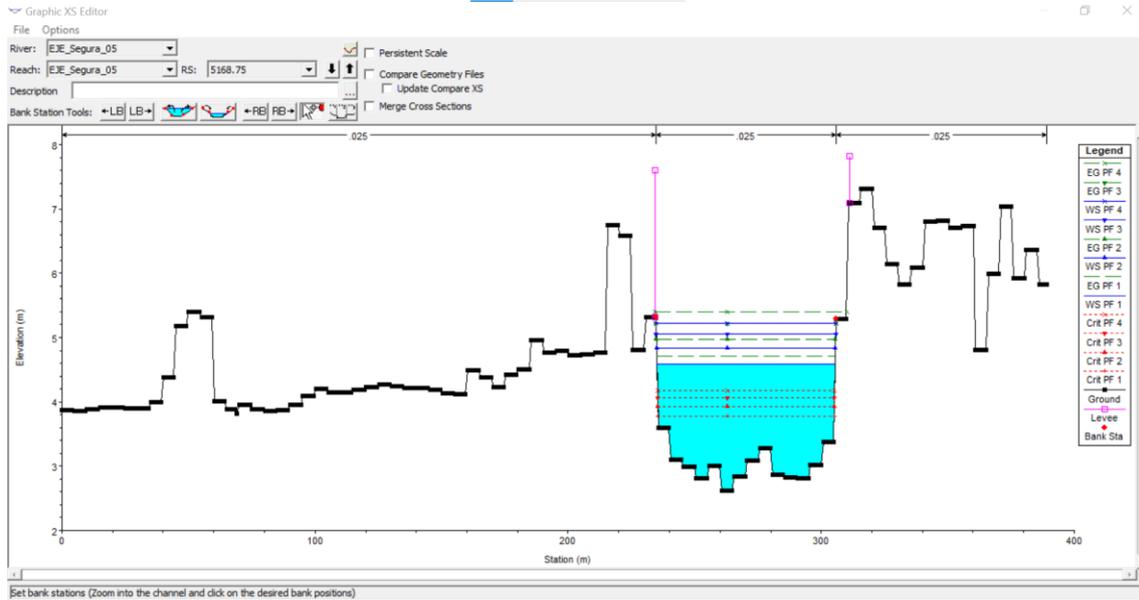


Ilustración 9 Sección 5168,75 introducida en Hec-Ras corregida. (Fuente: propia con Hec-Ras)

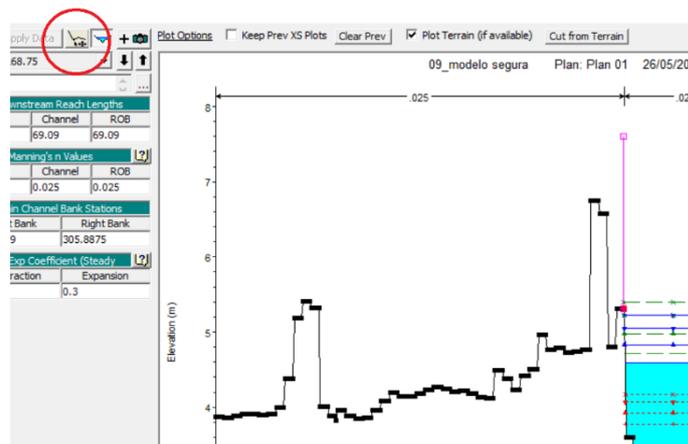
Repetiendo este procedimiento se han introducido las casi cien secciones que conforman el tramo de estudio.

#### 1.2.2.2.2 MODIFICACIÓN DE LAS MOTAS

Una vez introducidas todas las secciones se ha procedido con el desplazamiento de las motas, este procedimiento viene impulsado por el objetivo de diseñar un cauce renaturalizado y amplificado. En la memoria se explica tanto en el apartado 2.3 *Restauración fluvial* como en el 6. *Diseño en planta* la finalidad y los criterios seguidos para el desplazamiento de las motas.

En todo momento se ha tenido en cuenta el espacio realmente disponible a la hora de desplazar las motas, así como la intención de producir el menor impacto posible en cuanto al desmonte de tierras.

Para llevar a cabo este desplazamiento de motas se ha hecho uso del editor de secciones que se encuentra dentro del visor de secciones de Hec-Ras. En la ilustración 10 se muestra la ubicación de dicho editor.





Dentro de este se encuentran numerosas opciones de edición. En este caso se ha hecho uso de las siguientes:

- Desplazamiento de puntos a otras coordenadas
- Eliminación de puntos
- Introducción de *Levees*
- Introducción de *Banks stations*

Mediante estas herramientas se han realizados cambios en las secciones como el mostrado en las siguientes ilustraciones:

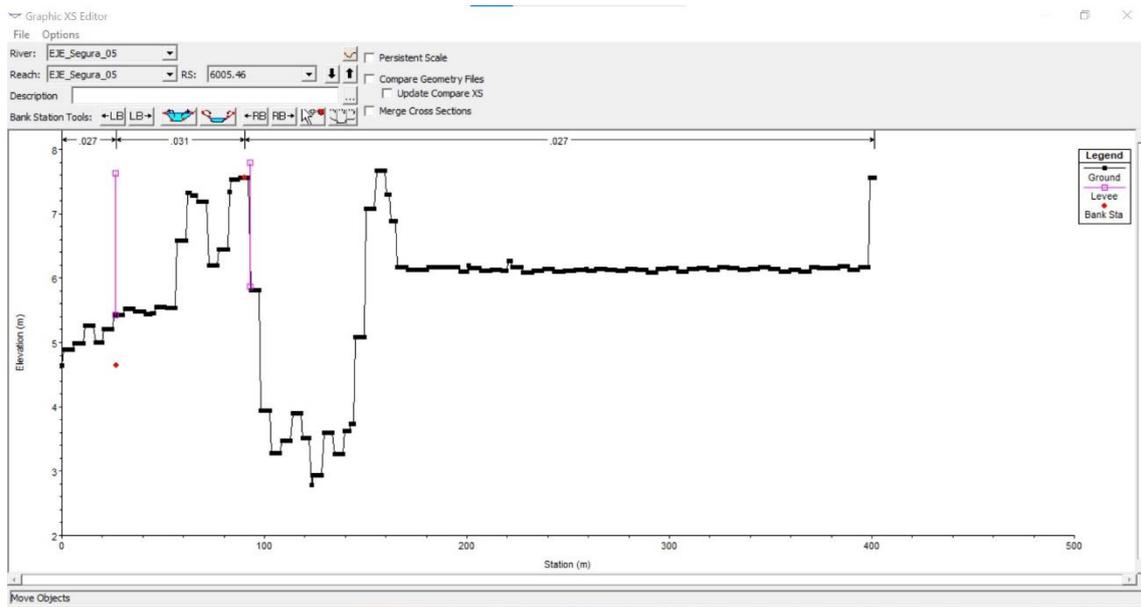


Ilustración 12. Sección 6005 sin modificar (Fuente: propia con Hec-Ras)

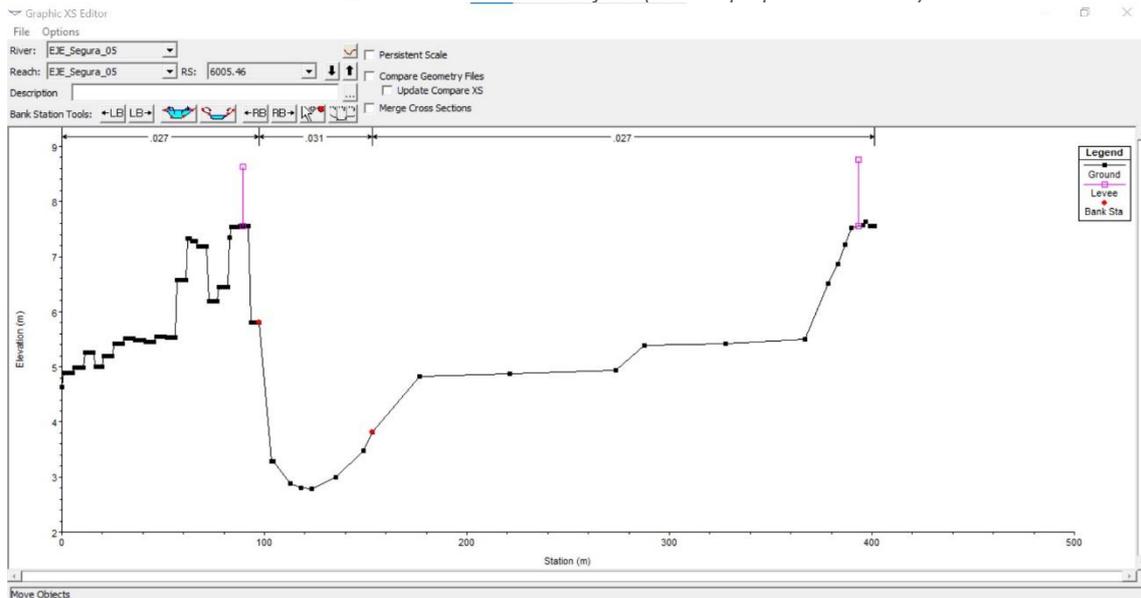


Ilustración 11. Sección 6005 modificada (Fuente: propia con Hec-Ras)



La sección mostrada en las ilustraciones anteriores corresponde a una curva, por eso se observa en la margen derecha, parte interior de la curva, una berma intermedia. Como se ha explicado en la memoria, esta doble llanura de inundación se ha diseñado con el objetivo de que, en el caso de transporte de caudal ordinario, la llanura superior sirva como zona recreativa, ya sea como carril ciclable o merenderos junto al cauce. La primera llanura de inundación se activaría en caso de avenida media, y la más alta de las dos tan solo se inundaría en caso de tener que soportar las grandes avenidas.

En la Ilustración 11 se puede observar como el cauce del río se encuentra encajonado, con muy poco espacio, a pesar de tratarse de una curva. Esta sección corresponde con uno de los meandros recortados. Sin embargo, en la Ilustración 12, la mota de la margen derecha se ha desplazado lateralmente 280 metros aproximadamente, para devolver al río la movilidad que tenía.

En la Ilustración 13 se muestran las mediciones tomadas como criterio para el espacio disponible para el desplazamiento de las motas entre las secciones 6864 y 5802.

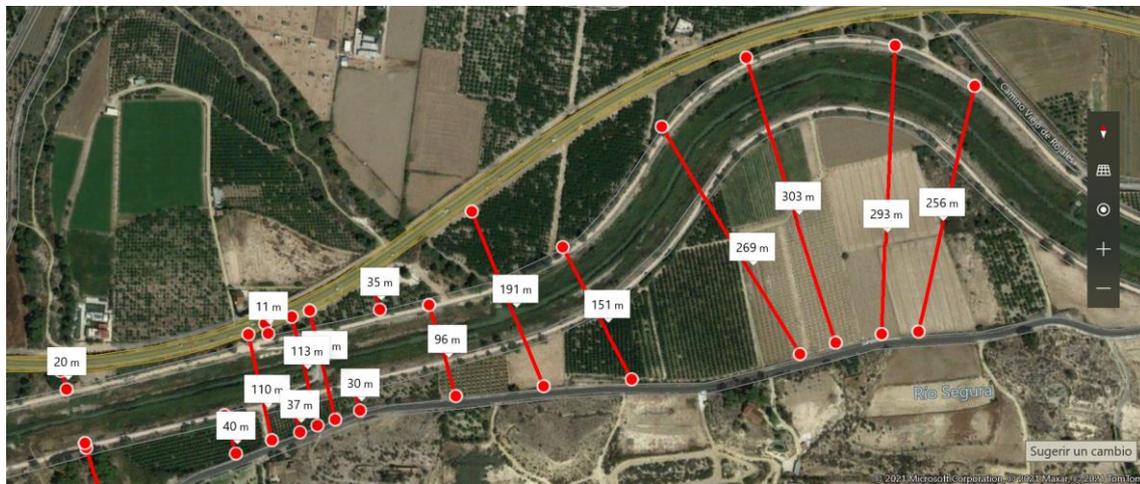


Ilustración 13. Medición del espacio disponible. Secciones de la 6864 a la 5802.

Este procedimiento se ha repetido con todas las secciones del tramo de estudio, ajustando las motas tanto izquierdas como derechas con el terreno, siguiendo el diseño en planta propuesto.

En el apartado de resultados de este mismo anejo se mostrará el resultado de todas las secciones modificadas.

#### 1.2.2.2.3 INTERPOLACIÓN DE SECCIONES

Una función muy útil de Hec-Ras es la creación de secciones intermedias interpoladas. Con la creación de estas secciones se puede observar una continuidad mayor en el eje del río. A partir de las secciones singulares de cada zona del tramo se pueden crear secciones de enlace entre las dispuestas manualmente, es decir, secciones de transición en las que cambian progresivamente las coordenadas de una sección a otra.



Esto es especialmente interesante en este caso ya que lo que se pretende es otorgar al cauce una movilidad en cuanto a su anchura, por lo tanto, esta herramienta permite enlazar la posición de las motas de dos secciones consecutivas.

Esta herramienta se puede aplicar tanto a un tramo entero, en el que se interpolan varias secciones a la vez o interpolar solo entre dos secciones. Para asegurar una correcta interpolación se han realizado las interpolaciones individualmente, entre dos secciones.

Esta herramienta se encuentra dentro del visor de secciones, en la pestaña “Tools”, y dentro de esta “XS Interpolation” > “Between 2 XS’s”. En la dirección descrita se despliega un menú como el mostrado en la Ilustración 14, en el que indicar entre qué dos secciones se desea realizar la interpolación (“Upper Riv Sta – Lower riv. Sta”) y cada cuantos metros disponer las secciones interpoladas (Maximum Distance (m)).

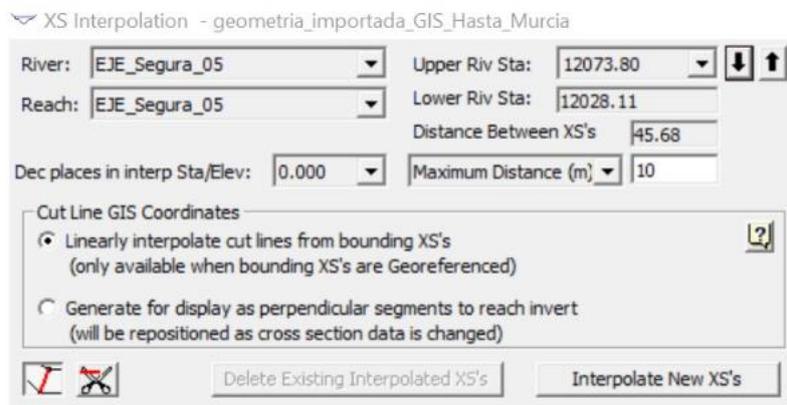


Ilustración 13. Menú de interpolación (Fuente: propia)

Además de estos parámetros, para asegurar una correcta interpolación se ha utilizado el icono de la esquina inferior izquierda, mediante el cual unir puntos manualmente para así indicar al programa cual es el recorrido de cada punto en la interpolación.

En la Ilustración 14 se muestran las secciones 12028 y 12073 antes de la interpolación.



Ilustración 14. Secciones 12028 y 12073 antes de la interpolación. (Fuente: propia)



En la Ilustración 15 se muestran estas mismas secciones con el guiado manual de desplazamiento de puntos en la interpolación.

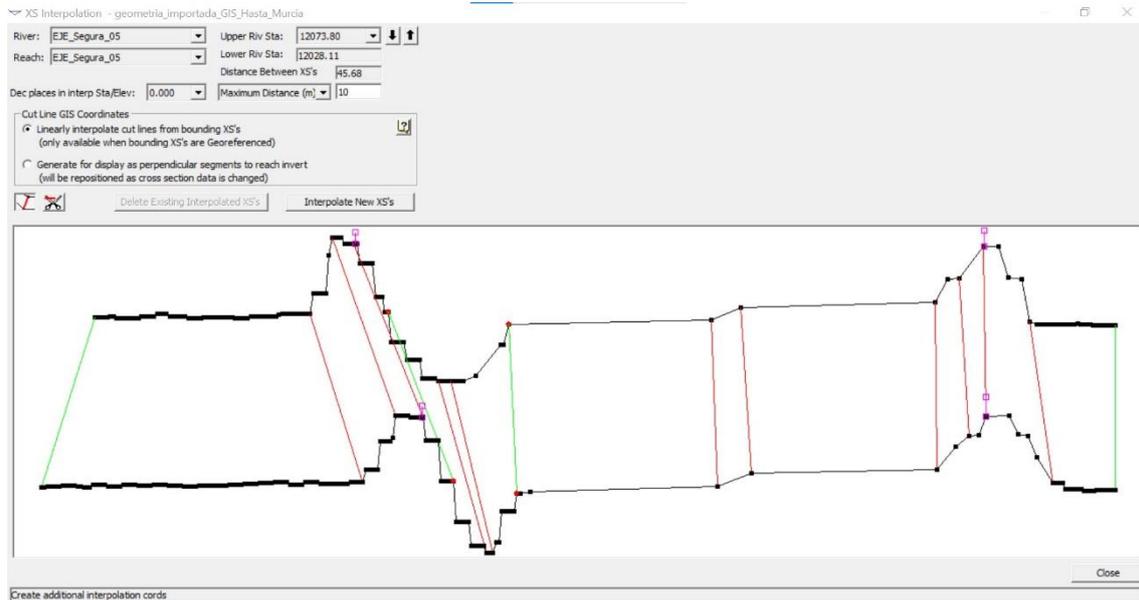


Ilustración 15. Guiado de interpolación. (Fuente: propia)

Y finalmente, en la Ilustración 16 se muestra la creación de las secciones interpoladas cada 10 metros entre las dos secciones iniciales.

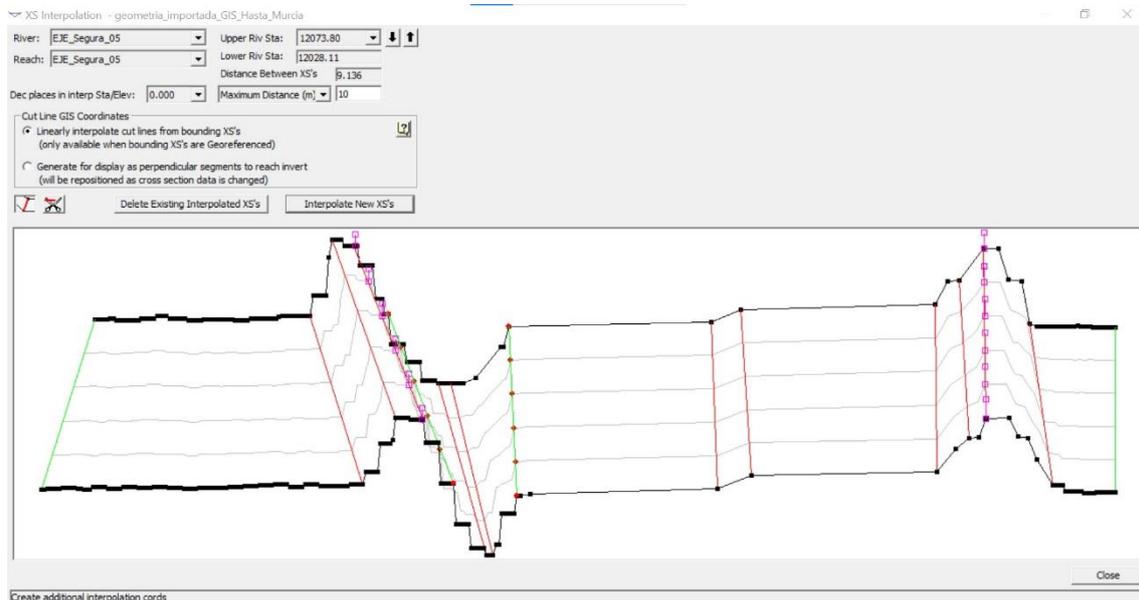


Ilustración 16. Secciones interpoladas entre las secciones 12073 y 12028. (Fuente: propia)



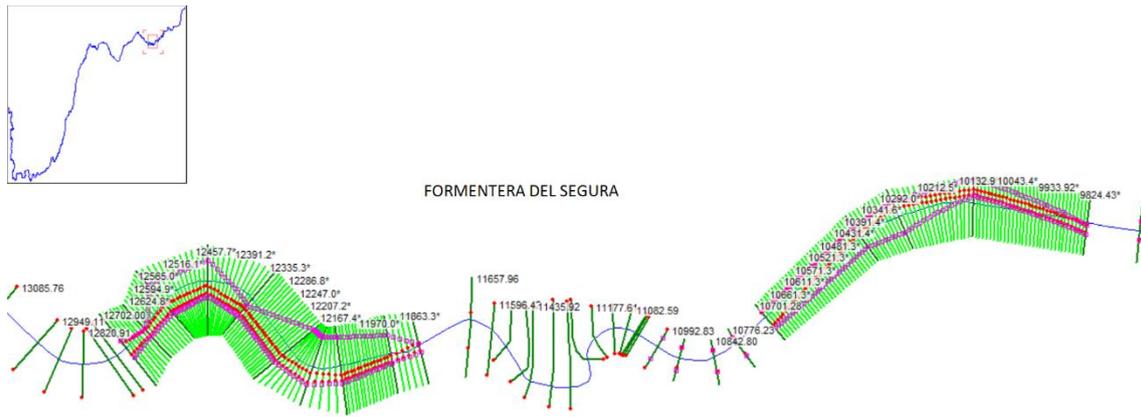


Ilustración 18. Detalle *planta* del río al paso por Formentera del Segura. (Fuente: propia con Hec-Ras)

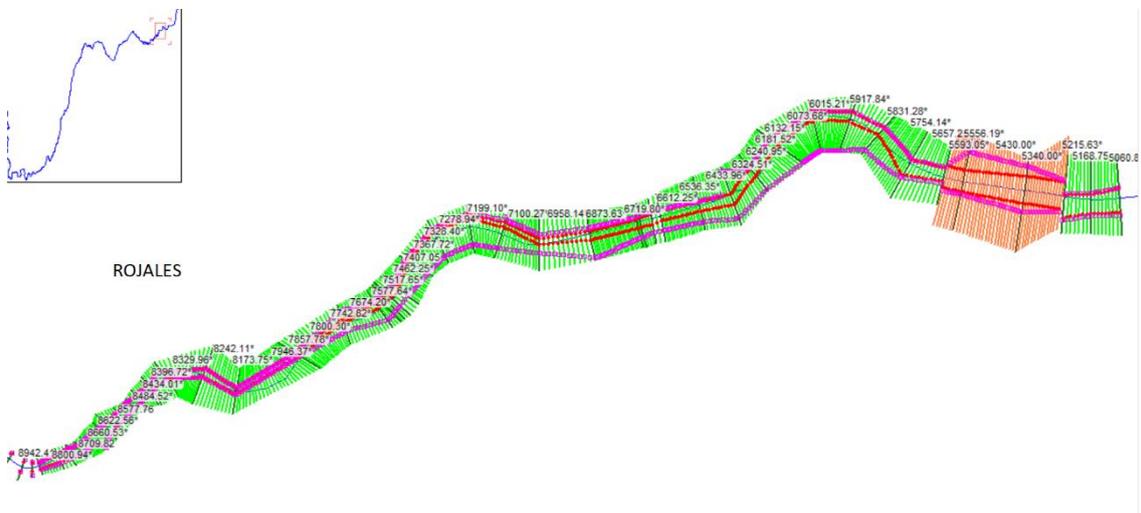


Ilustración 19 Detalle *planta* del río al paso por Rojales. (Fuente: propia con Hec-Ras)

#### 1.2.2.2.5 CARACTERÍSTICAS DEL CAUCE

Una vez acabado el diseño de las secciones transversales del cauce con el retranqueo de las motas solo queda fijar las características del cauce y las condiciones de contorno a las que está sujeto este para poder ejecutar el modelo y obtener los resultados.

En este apartado se justificarán los parámetros que han sido introducidos en el cauce. Lo relativo a las condiciones de contorno se detallarán en el siguiente apartado.

La pendiente del cauce viene impuesta por la topografía de este, extraída del Sistema de Información Geográfica, por lo tanto, no se ha de especificar en ningún momento.

El parámetro que sí se ha de modificar y tener en cuenta es la rugosidad, o número de Manning. Actualmente el cauce se encuentra completamente invadido por caña común (Arundo donax), lo que provoca que la rugosidad en el cauce sea considerablemente alta, del orden de 0,035. En la elaboración de este trabajo se cuenta con que a la hora de renaturalizar



el cauce este sea limpiado de dicha especie invasora, permitiendo tener una rugosidad de 0,025, un número más cercano al deseable en un cauce natural limpio.

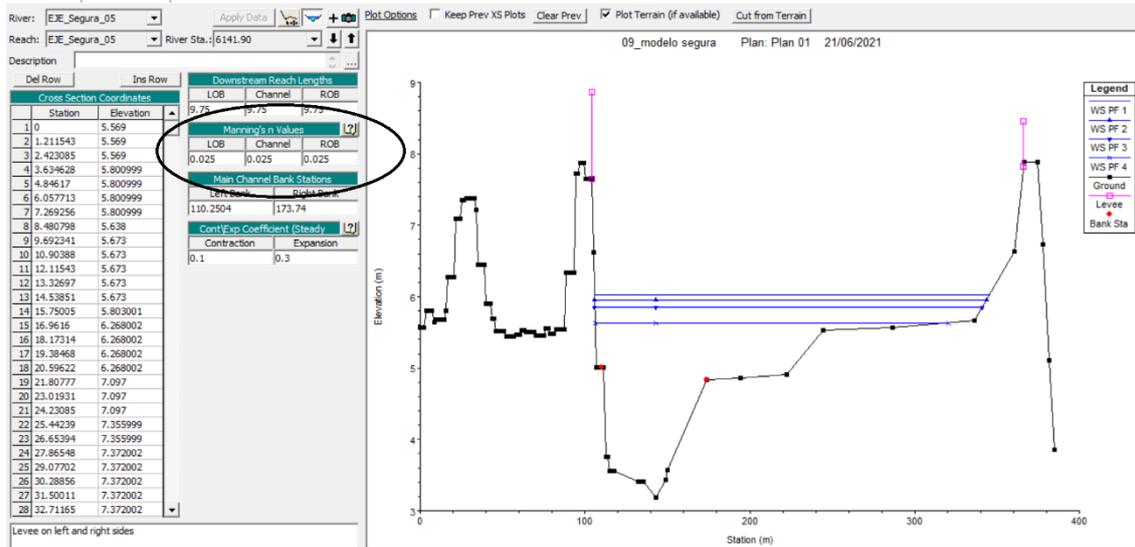


Ilustración 20. Número de Manning en tramo renaturalizado. (Fuente: propia)

Además, se diferencia entre la zona encauzada, correspondiente a los tramos del río que atraviesan los términos municipales de Formentera del Segura y Rojales de los tramos no canalizados. En los tramos de las zonas urbanas, el cauce está encauzado con hormigón, por lo que el número de Manning en esos tramos se ha fijado en 0,015.

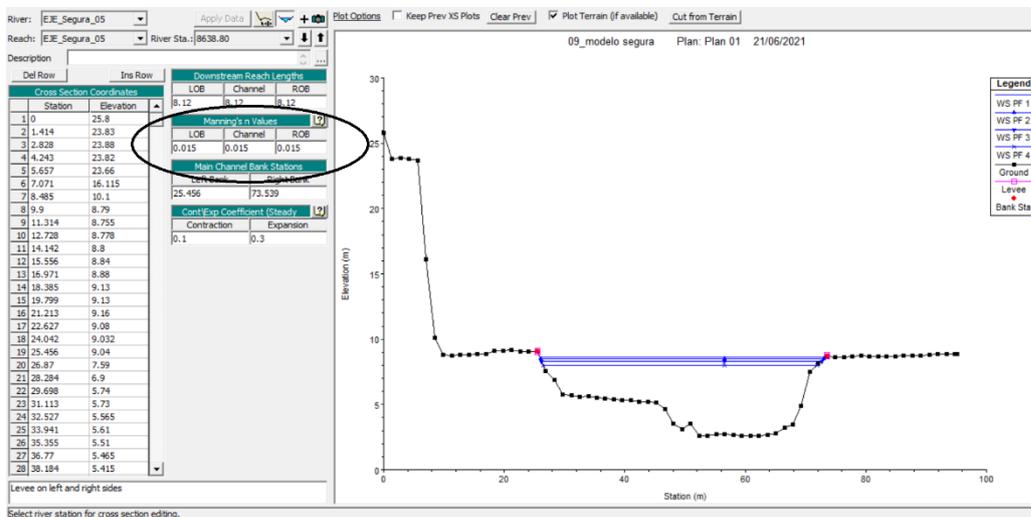


Ilustración 21. Número de Manning en tramo urbano. (Fuente: propia)

### 1.2.2.2.6 CONDICIONES DE CONTORNO

Como se ha mencionado antes, el último paso para tener listo el modelo unidimensional para ejecutarlo es fijar las condiciones de contorno bajo las que se desea comprobar el funcionamiento del modelo.



El modelo se ha condicionado por ambos extremos, en cuanto a las condiciones de contorno aguas abajo se ha tomado como referencia el propio nivel del mar en la desembocadura. Por otra parte, para las condiciones de contorno aguas arriba se ha supuesto régimen uniforme con la pendiente de la solera del cauce, es decir, las CC aguas arriba se ajustan mediante la fórmula de Manning.

De cualquier manera, cabe destacar que, dada la amplitud del modelo, y que el tramo de estudio se encuentra bastante alejado del comienzo del modelo, estas condiciones no afectan prácticamente a los resultados obtenidos.

En la siguiente ilustración se puede observar el menú y los datos introducidos al modelo en el que se definen las condiciones de contorno explicadas.

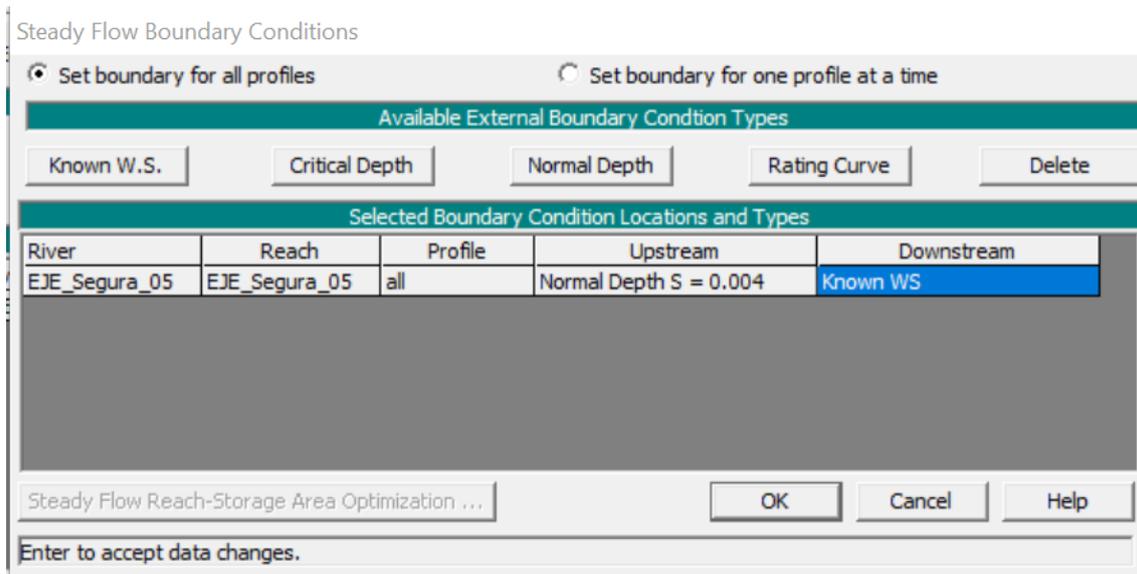


Ilustración 22. Introducción condiciones de contorno. (Fuente: propia con Hec-Ras)

El mayor condicionante para el análisis de resultados y comprobación del modelo propuesto es la introducción del caudal. En este caso se han simulado cuatro situaciones de avenida, semejantes a las registradas en los episodios de desbordamientos.

En la Ilustración 23 se pueden observar los cuatro caudales para los cuales se ha simulado el modelo: 340 m<sup>3</sup>/s, 320 m<sup>3</sup>/s, 300 m<sup>3</sup>/s y 250 m<sup>3</sup>/s.

Flow Change Location			Profile Names and Flow Rates			
River	Reach	RS	PF 1	PF 2	PF 3	PF 4
1 EJE_Segura_05	EJE_Segura_05	52339.88	340	320	300	250

Ilustración 23

### 1.2.2.3 RESULTADOS EN SECCIONES INTRODUCIDAS

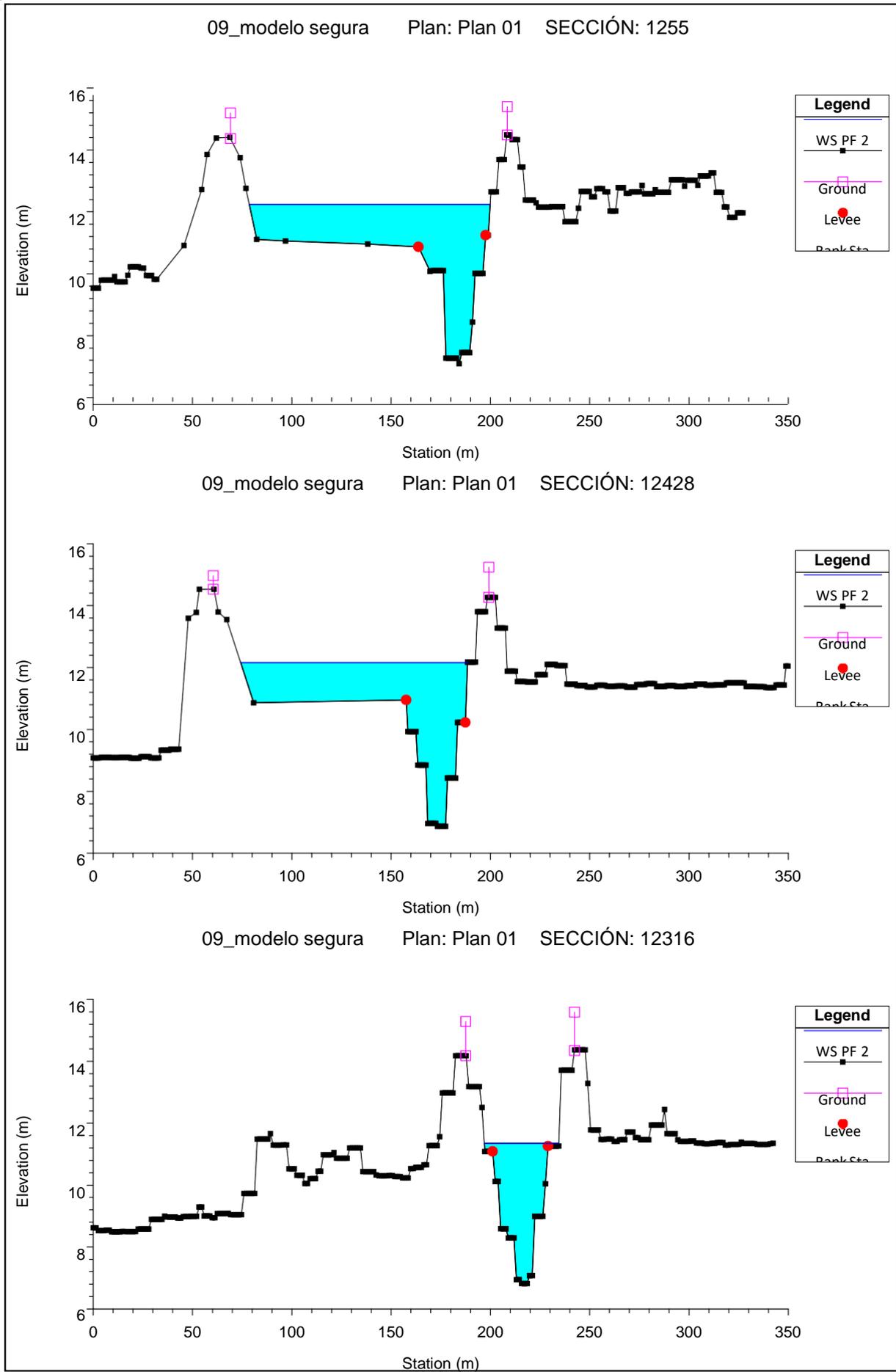


Tras ejecutar el modelo con las características anteriormente descritas se han obtenido los resultados mostrados en las siguientes ilustraciones para cada sección. Se muestra el resultado únicamente del Plan 2, el correspondiente a 320 m<sup>3</sup>/s, ya que es el caudal de diseño elegido para el diseño del By-Pass. Este caudal representa una situación de gran avenida, semejante a la que provocó las inundaciones en el mes de septiembre de 2019.

En las siguientes ilustraciones no se muestran las secciones interpoladas, solamente las diseñadas manualmente.

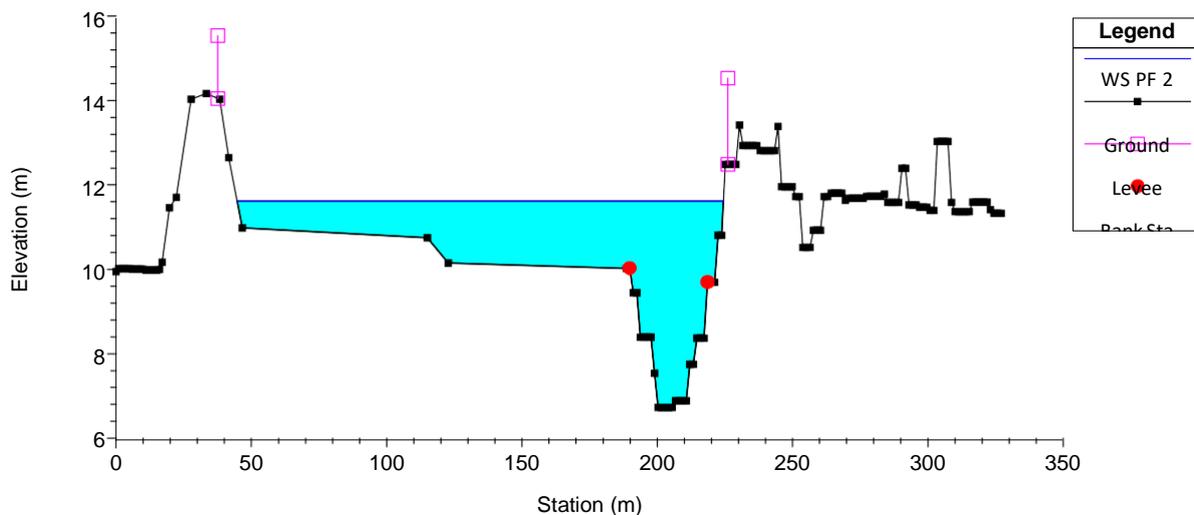
En los tramos interurbanos el cauce no se ha modificado.

Las ilustraciones comprenden desde la sección 12555 hasta la 5021, en orden decreciente.

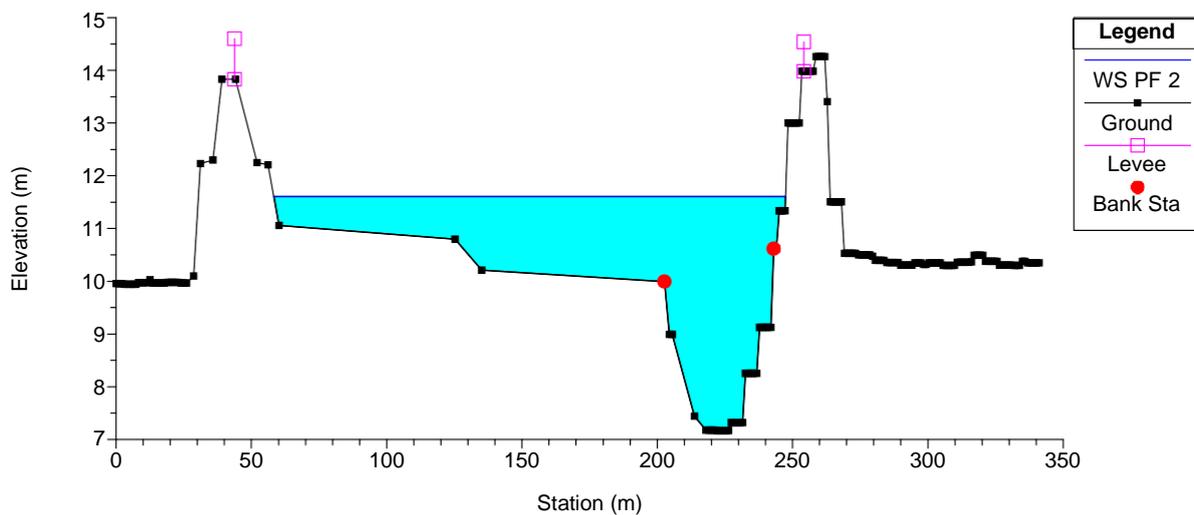




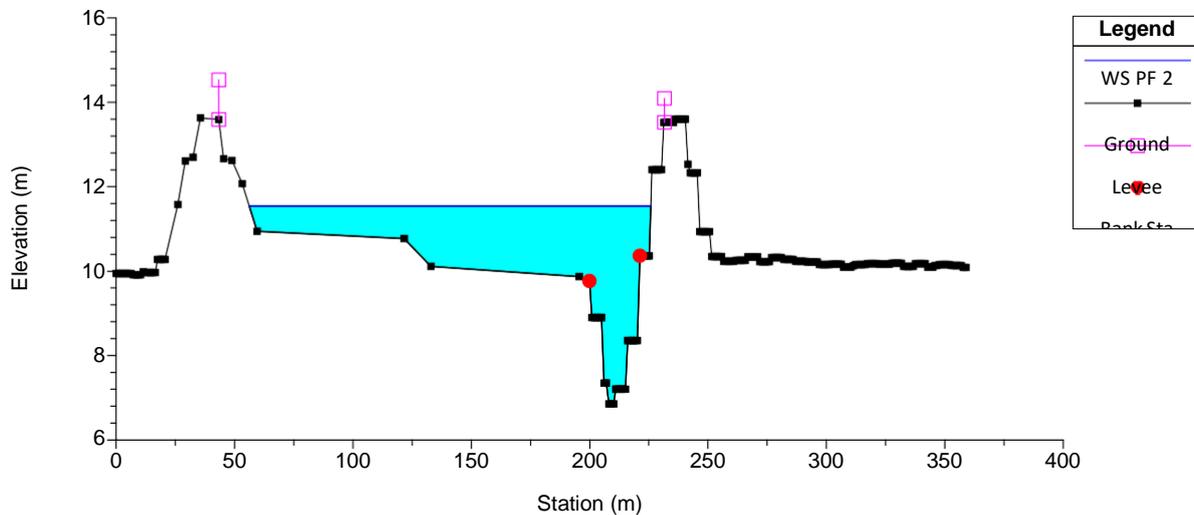
09\_modelo segura Plan: Plan 01 SECCIÓN: 12147

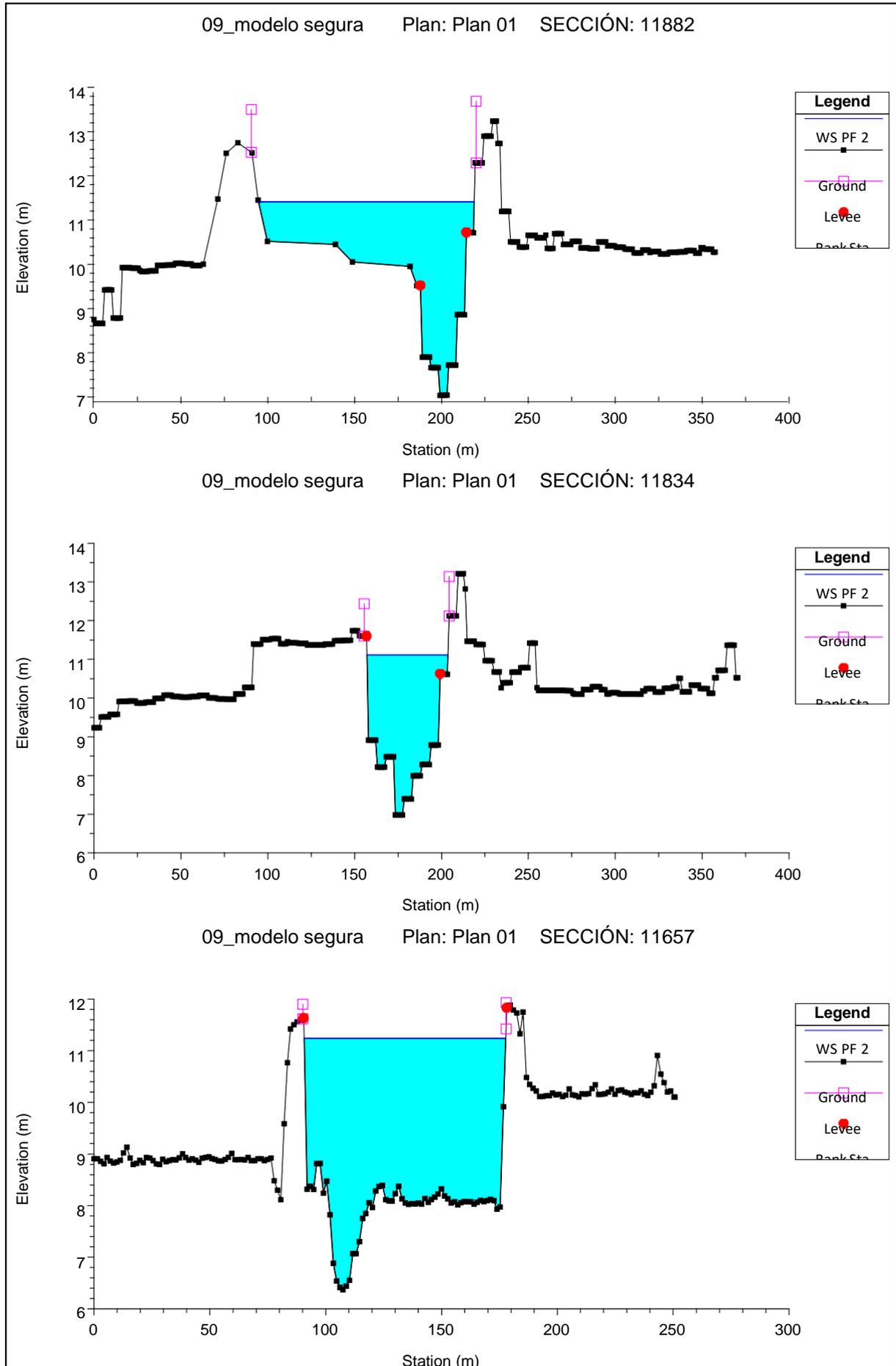


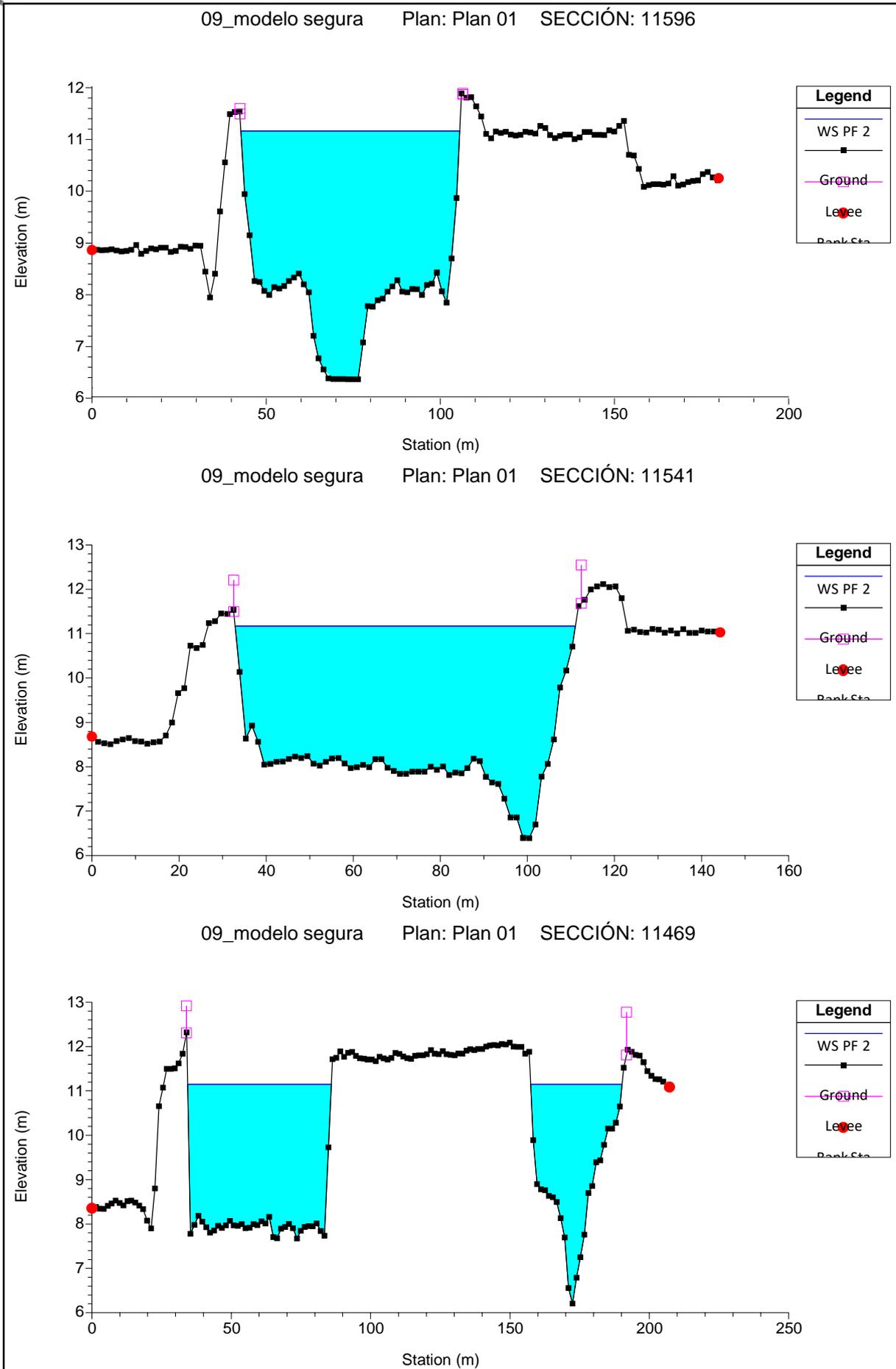
09\_modelo segura Plan: Plan 01 SECCIÓN: 12974

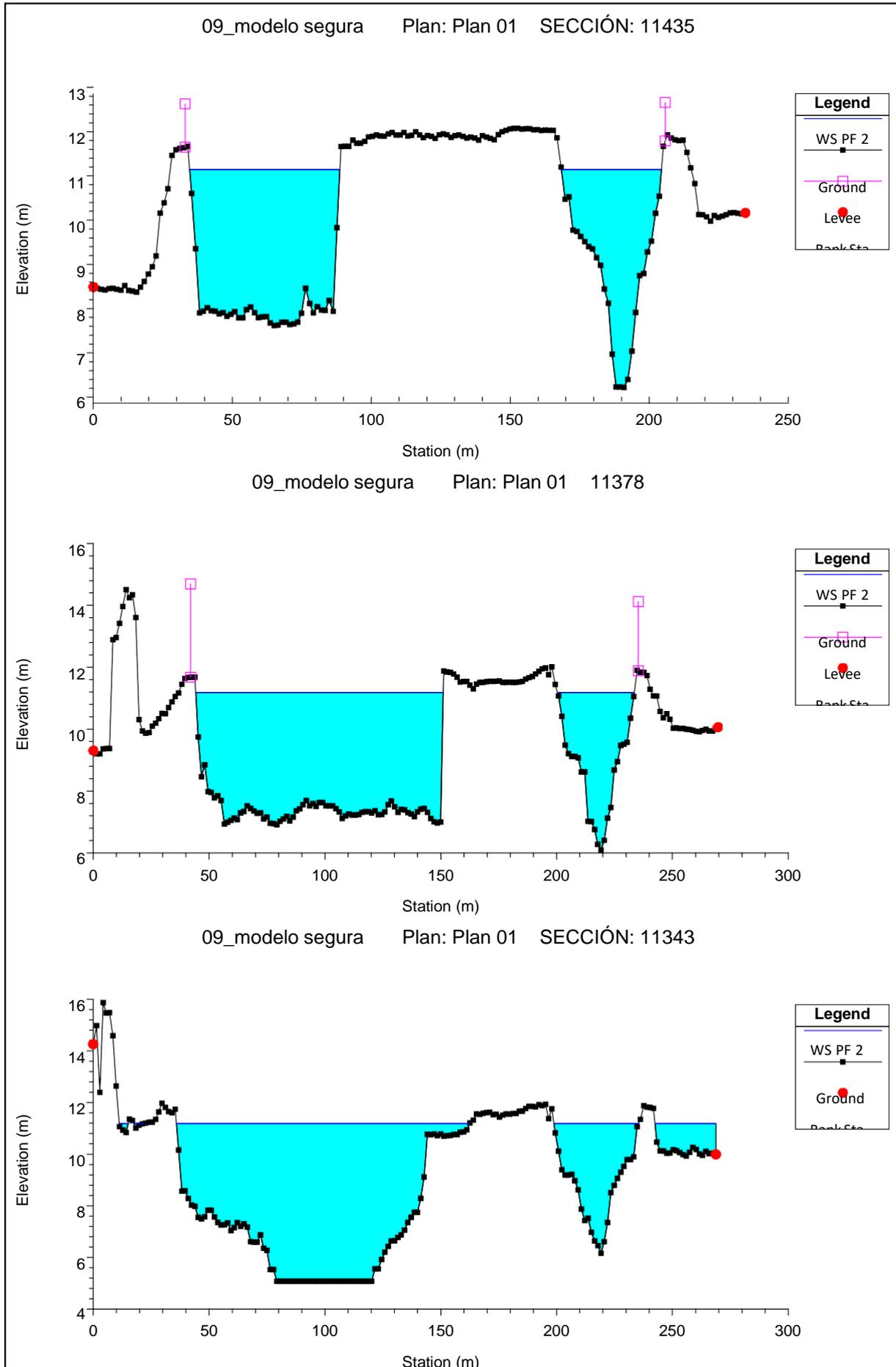


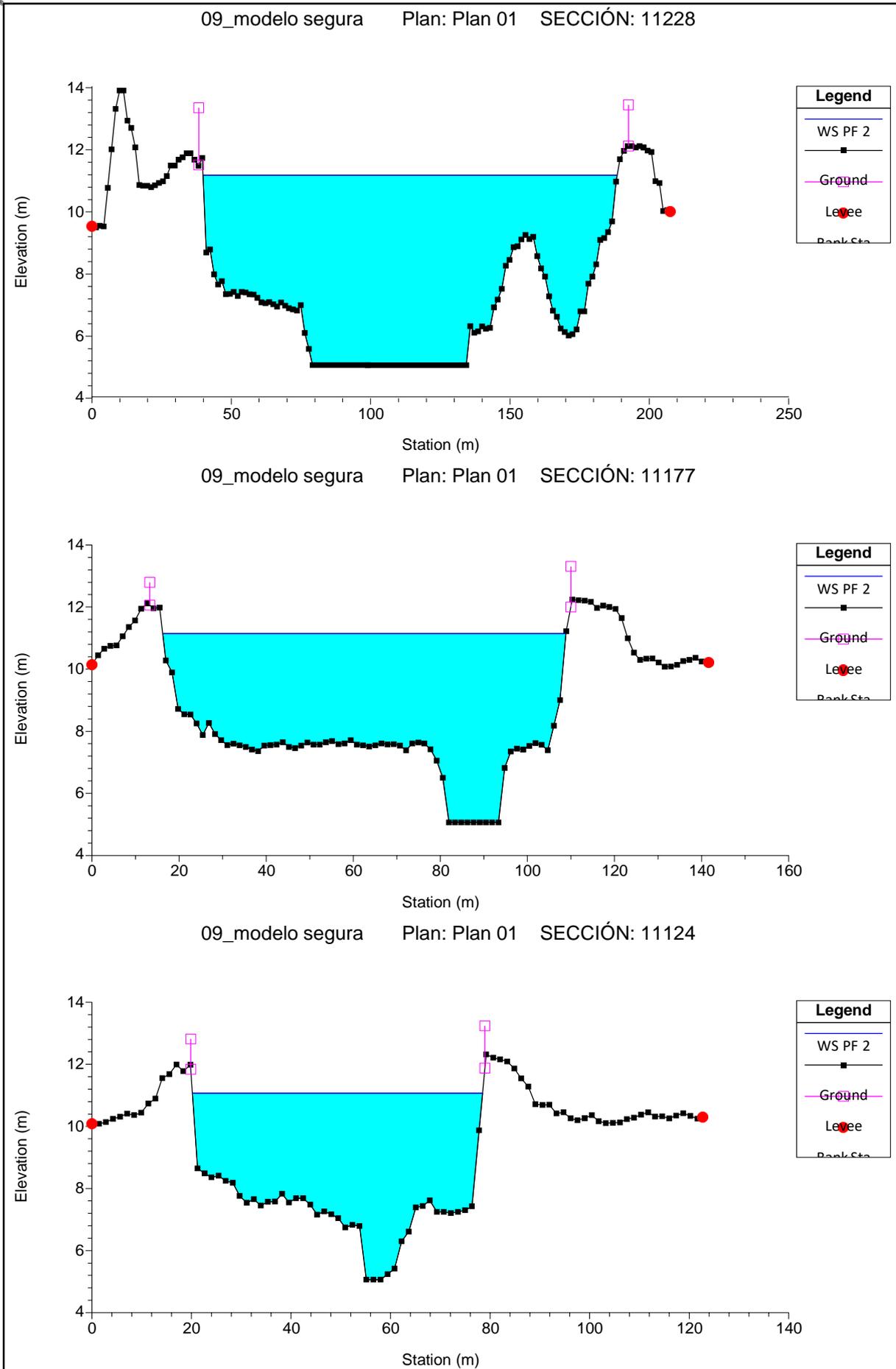
09\_modelo segura Plan: Plan 01 SECCIÓN: 12028

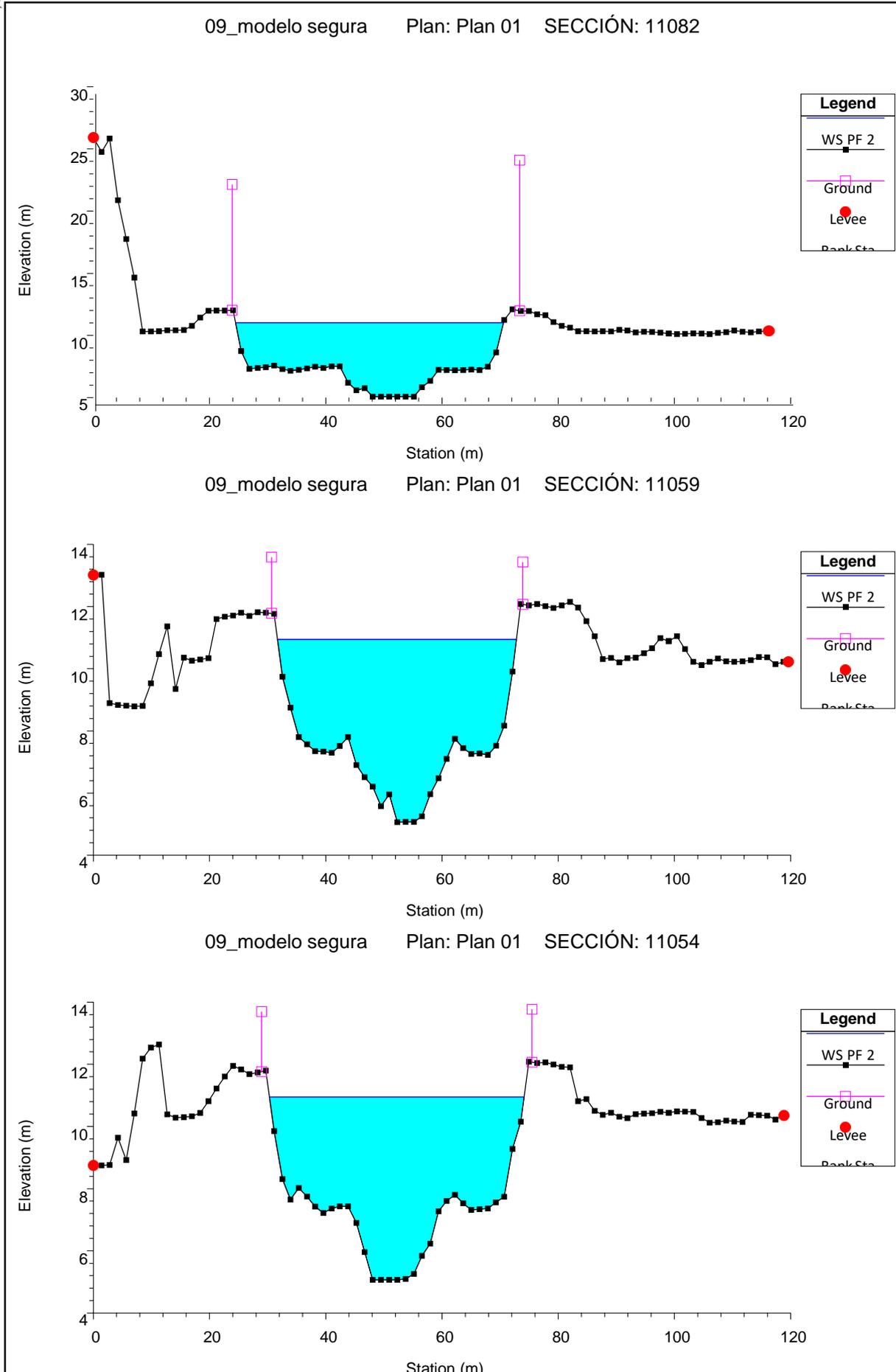


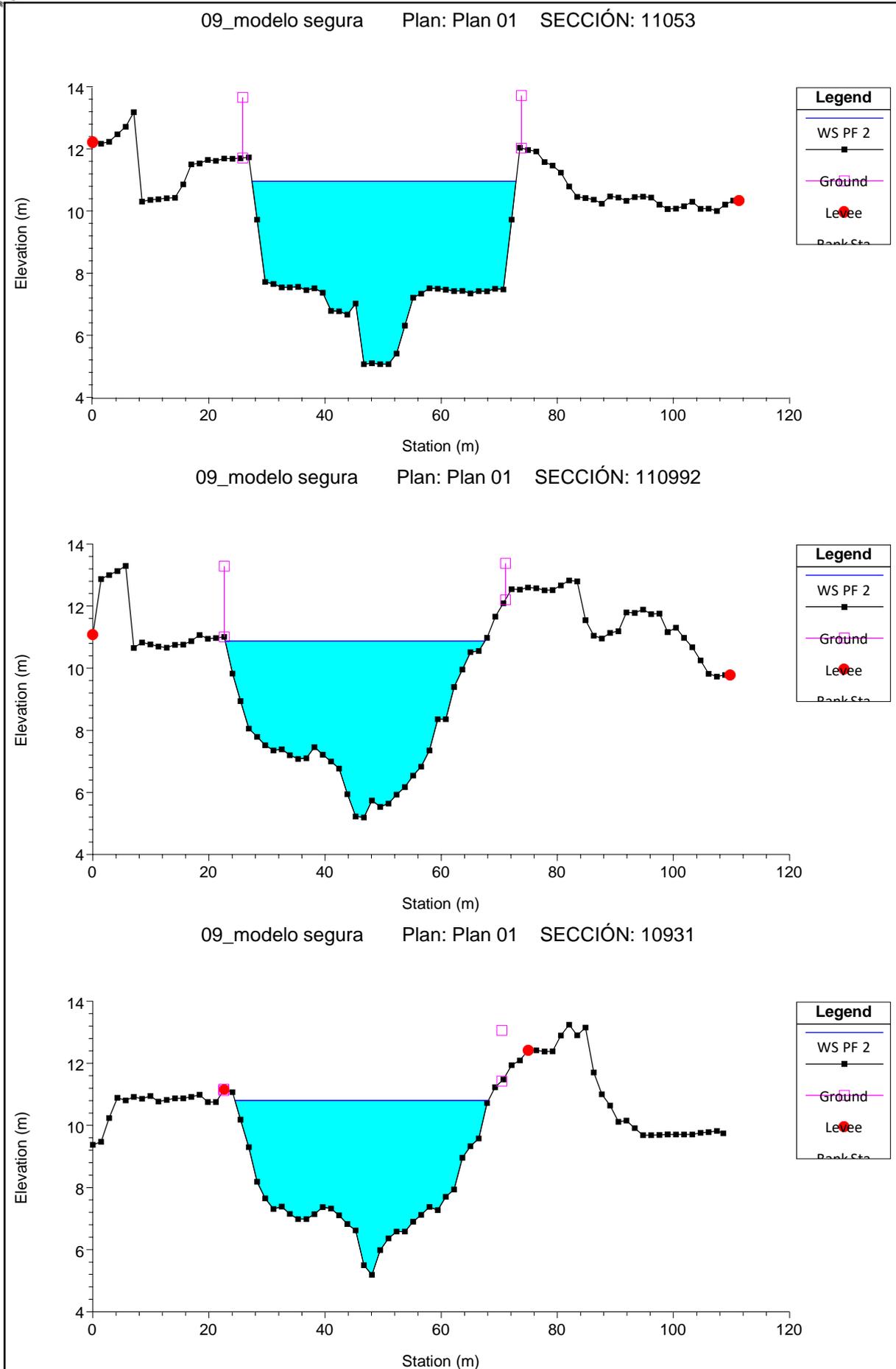


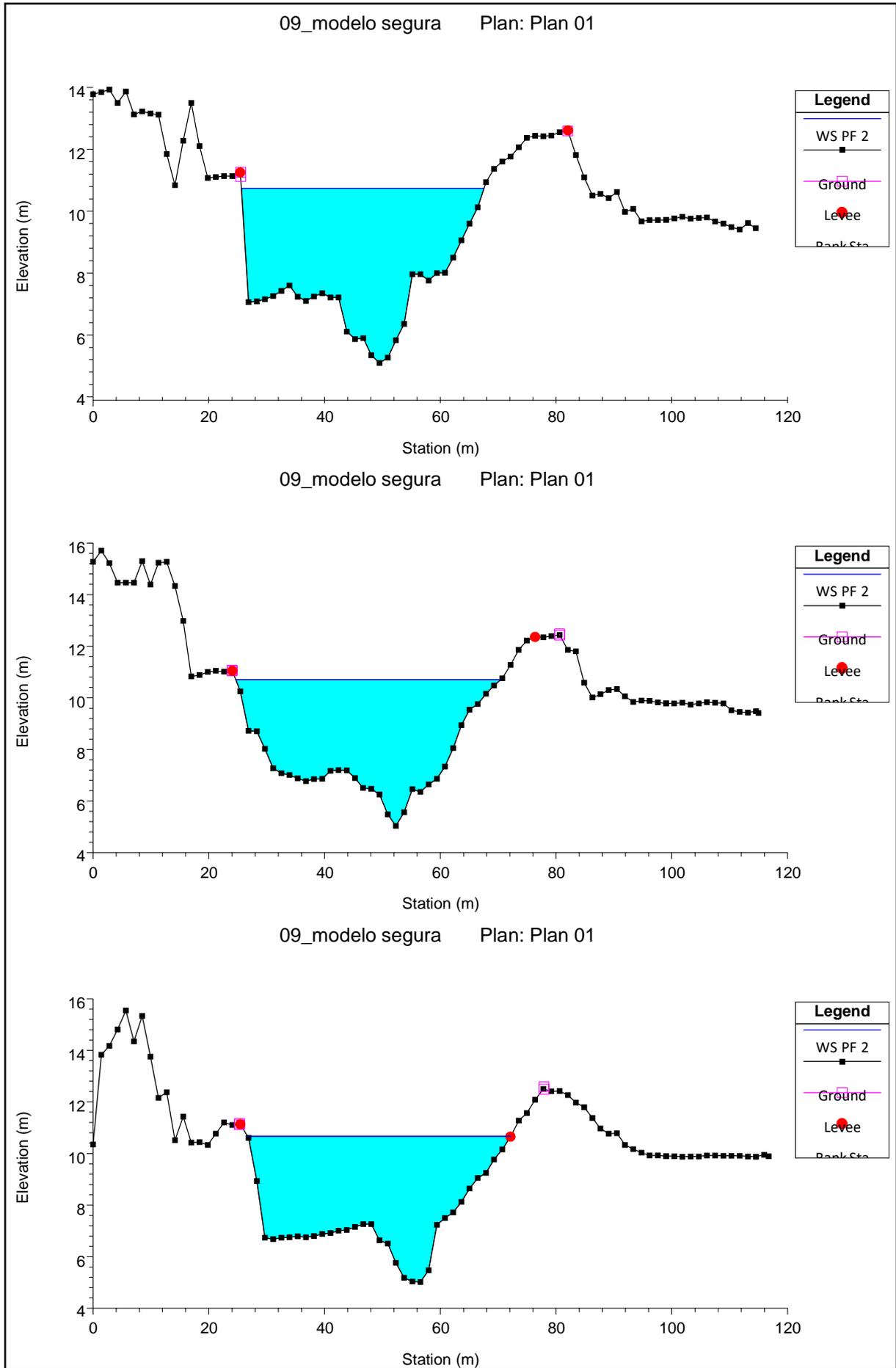


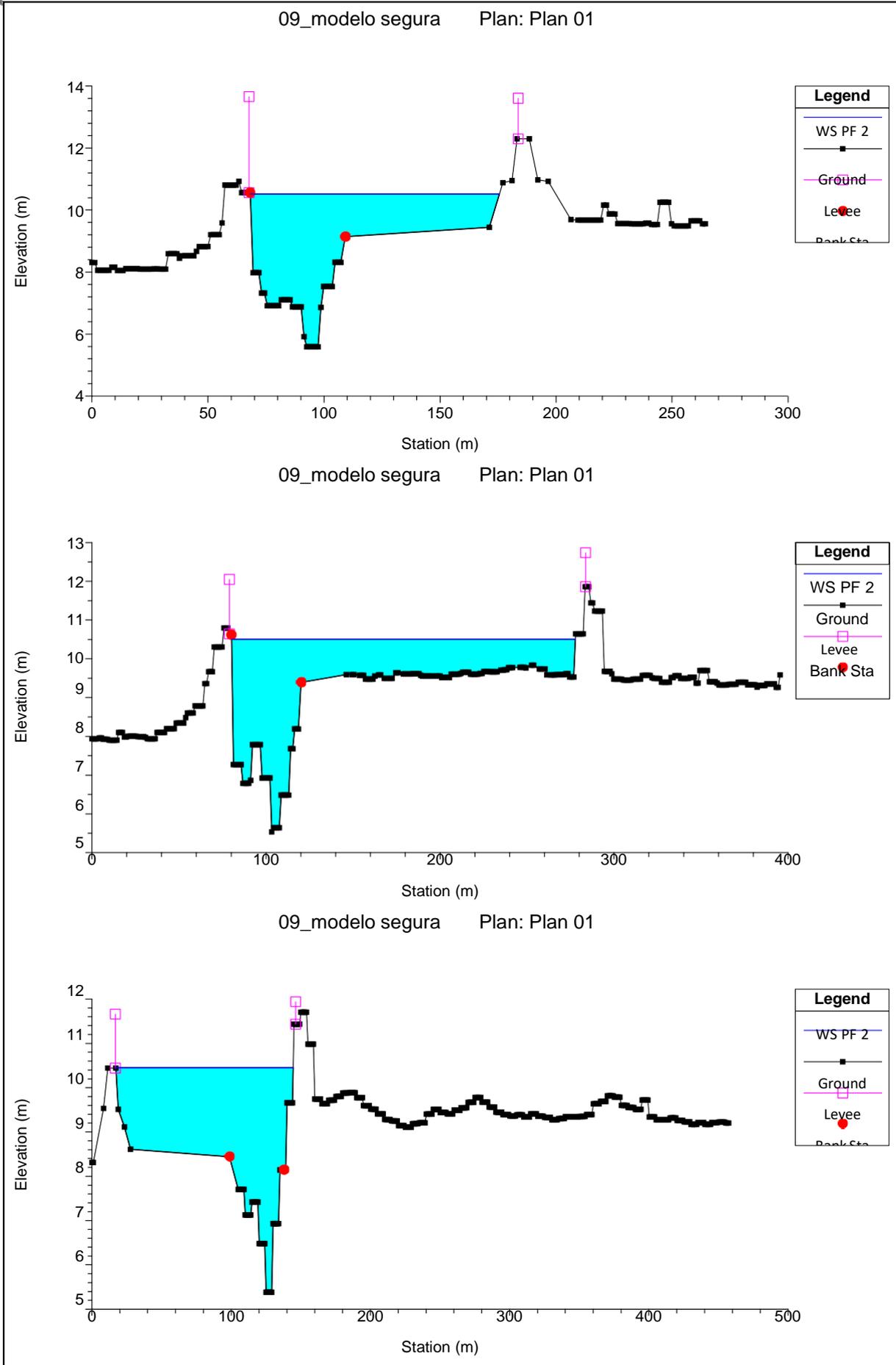


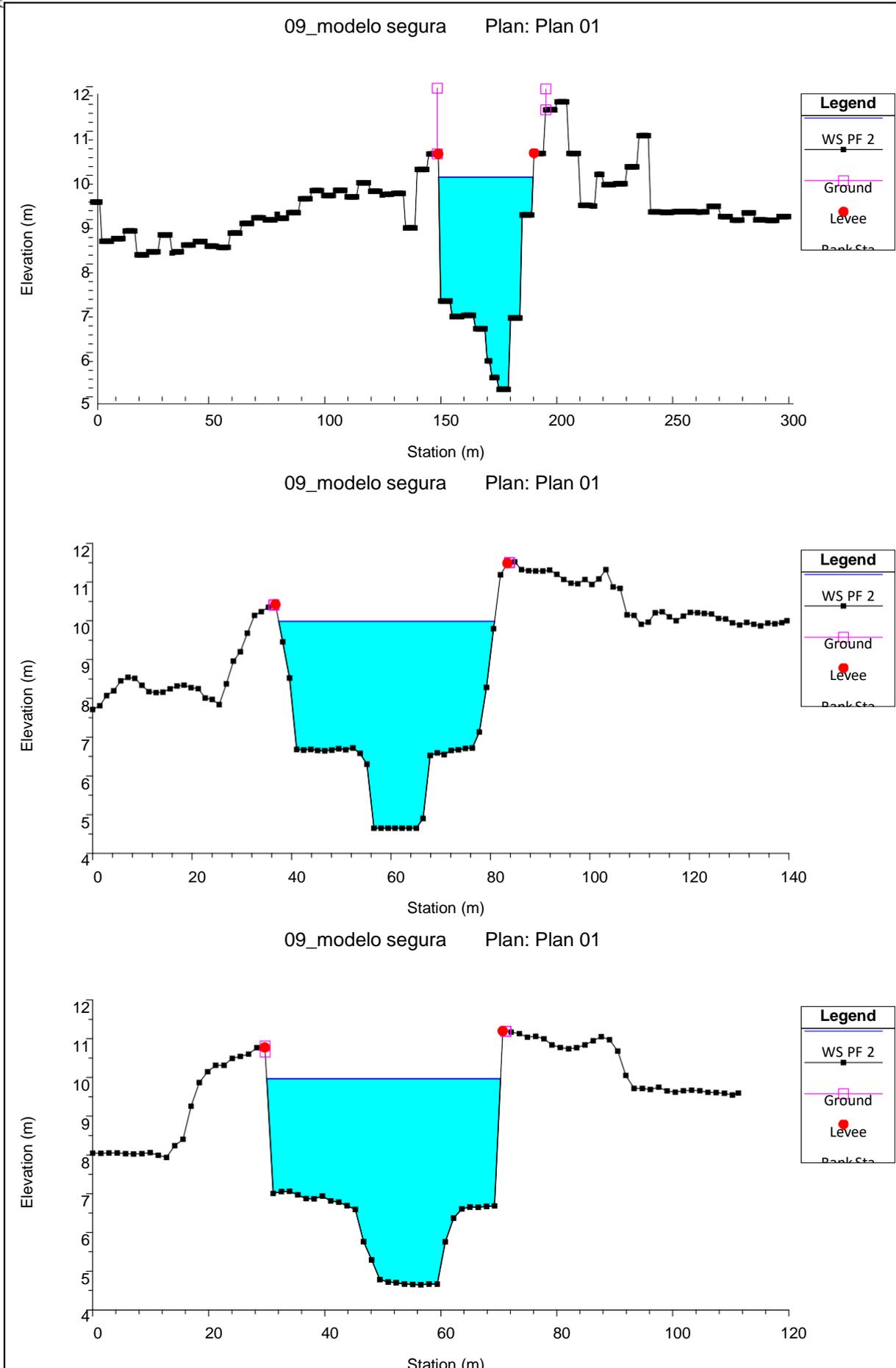


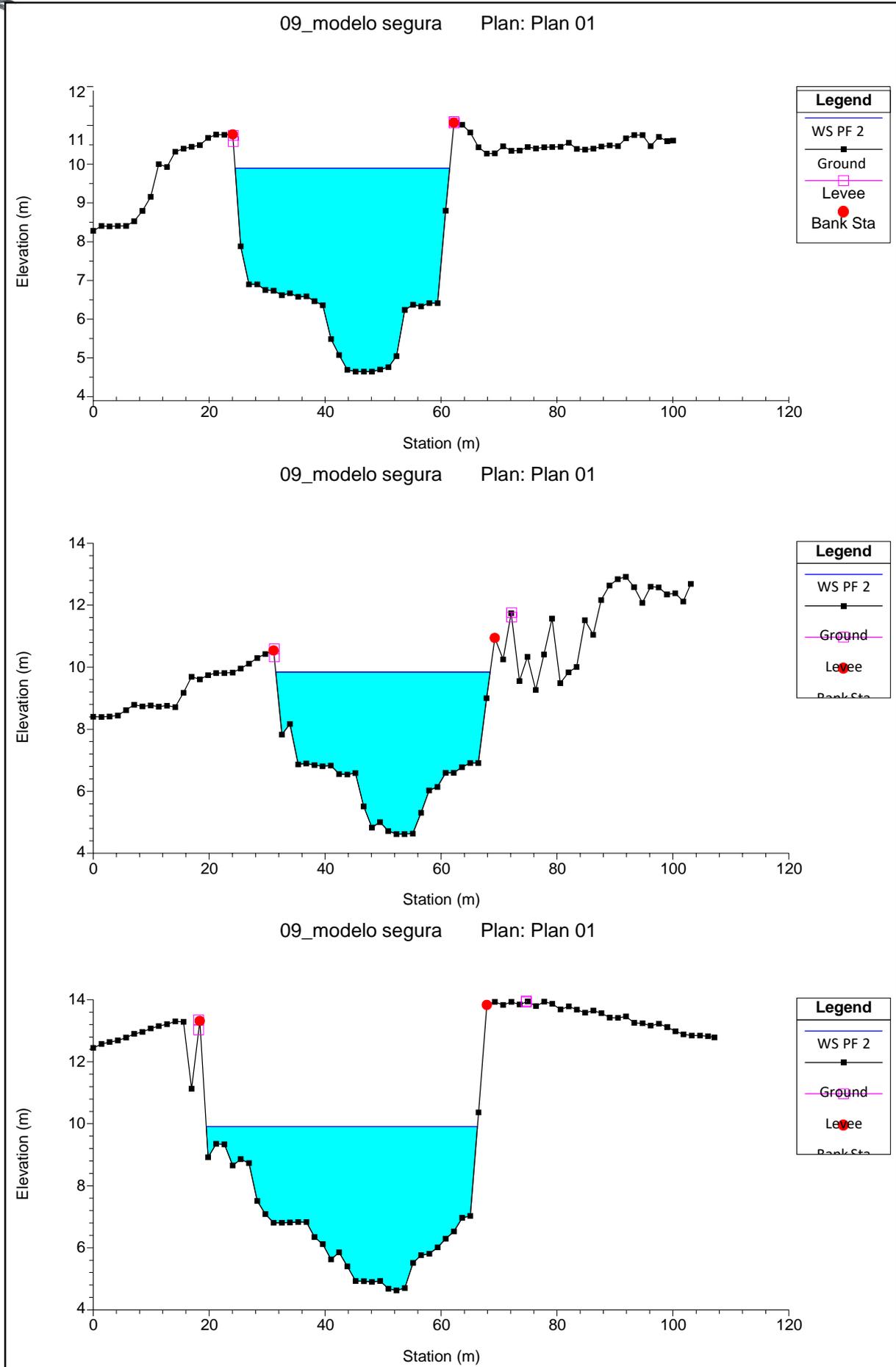


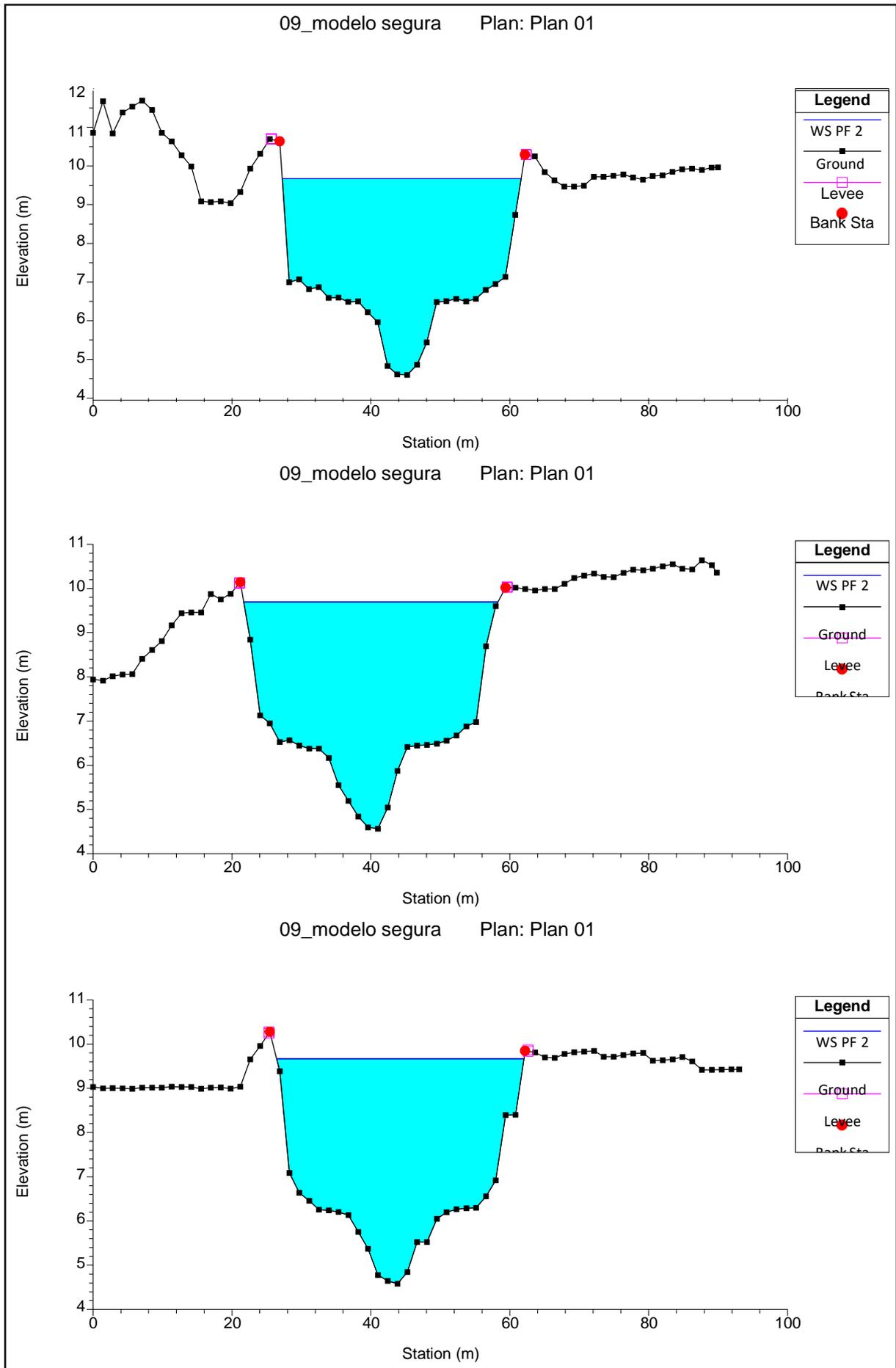


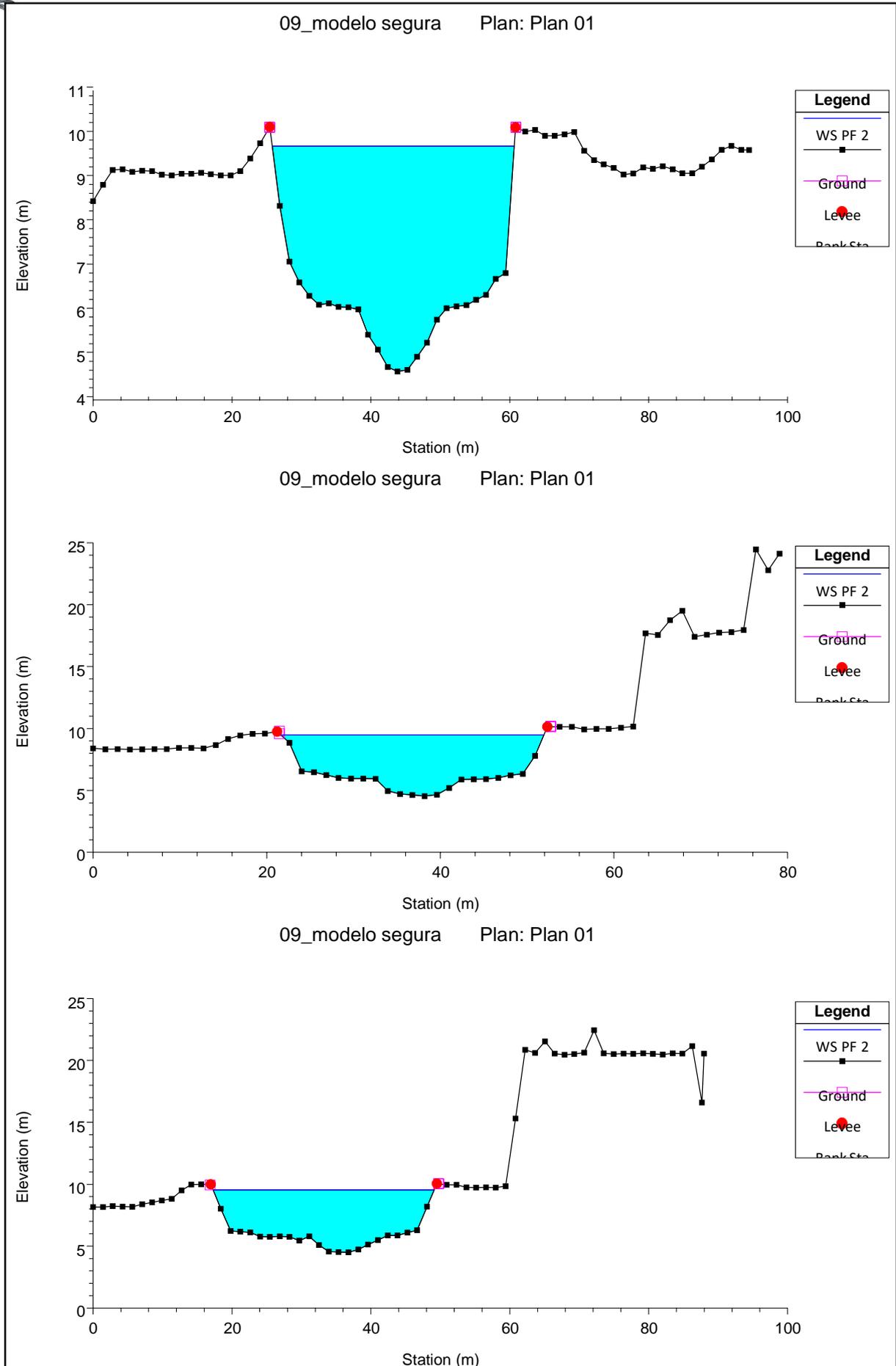


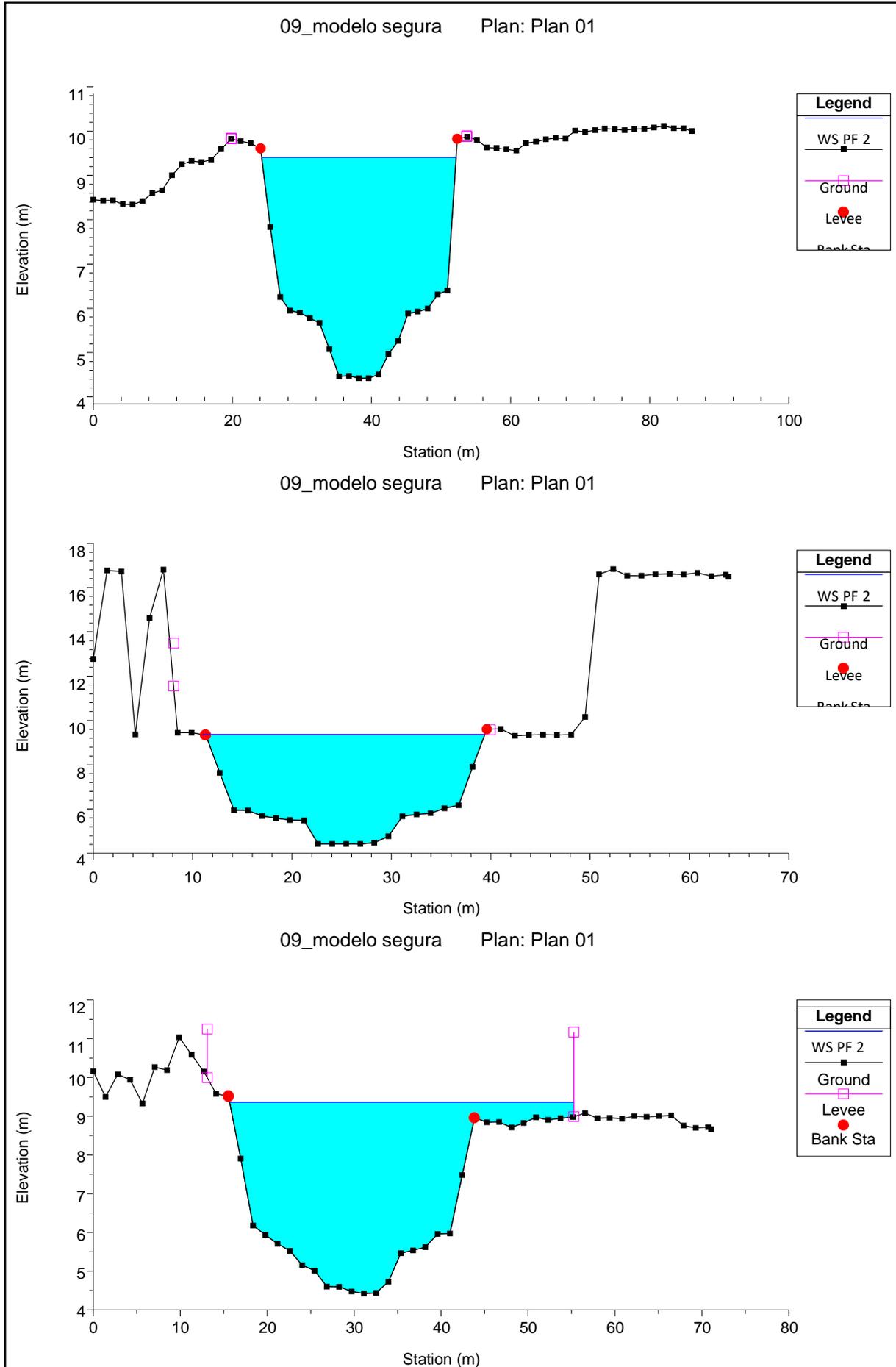


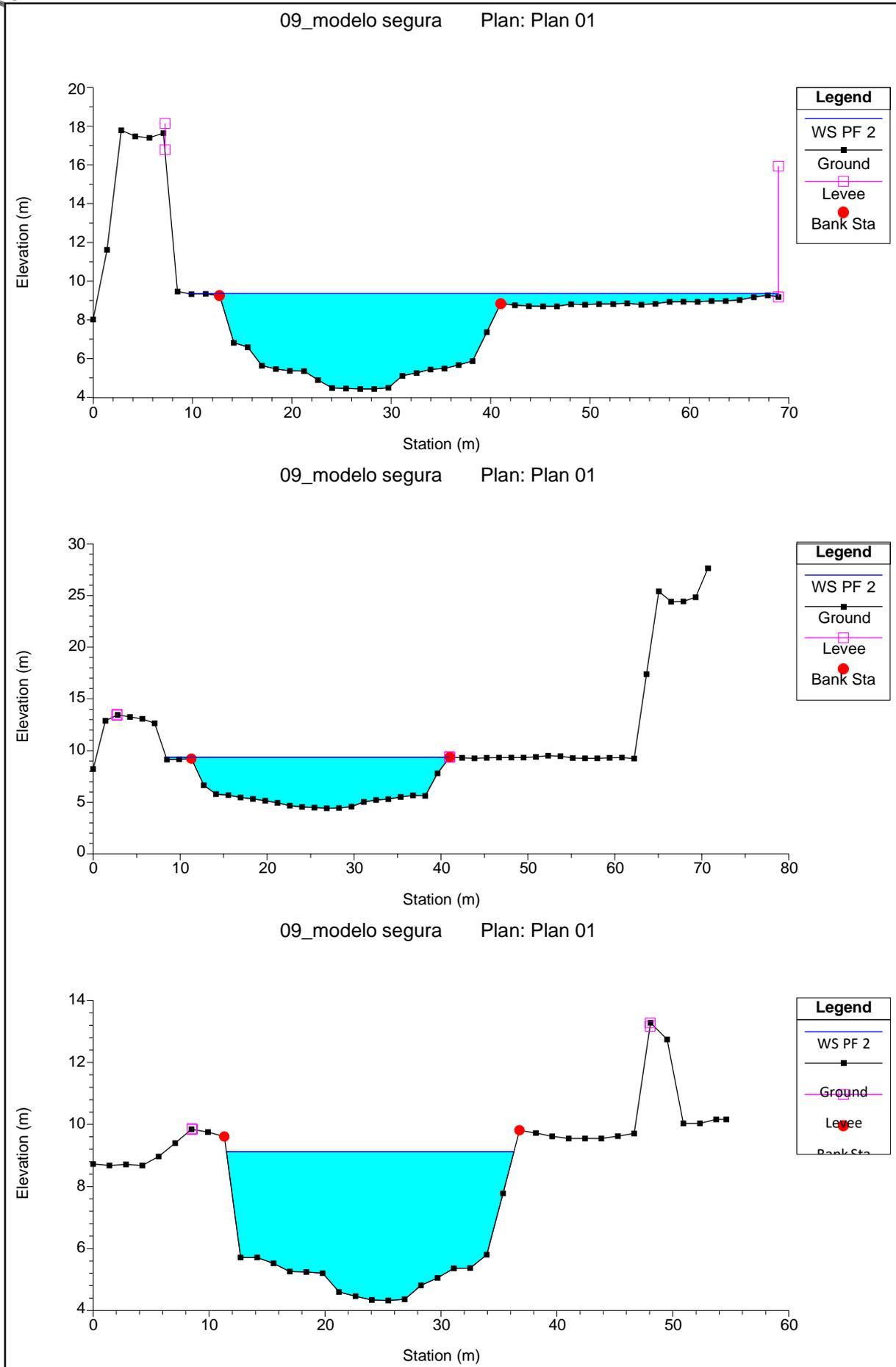


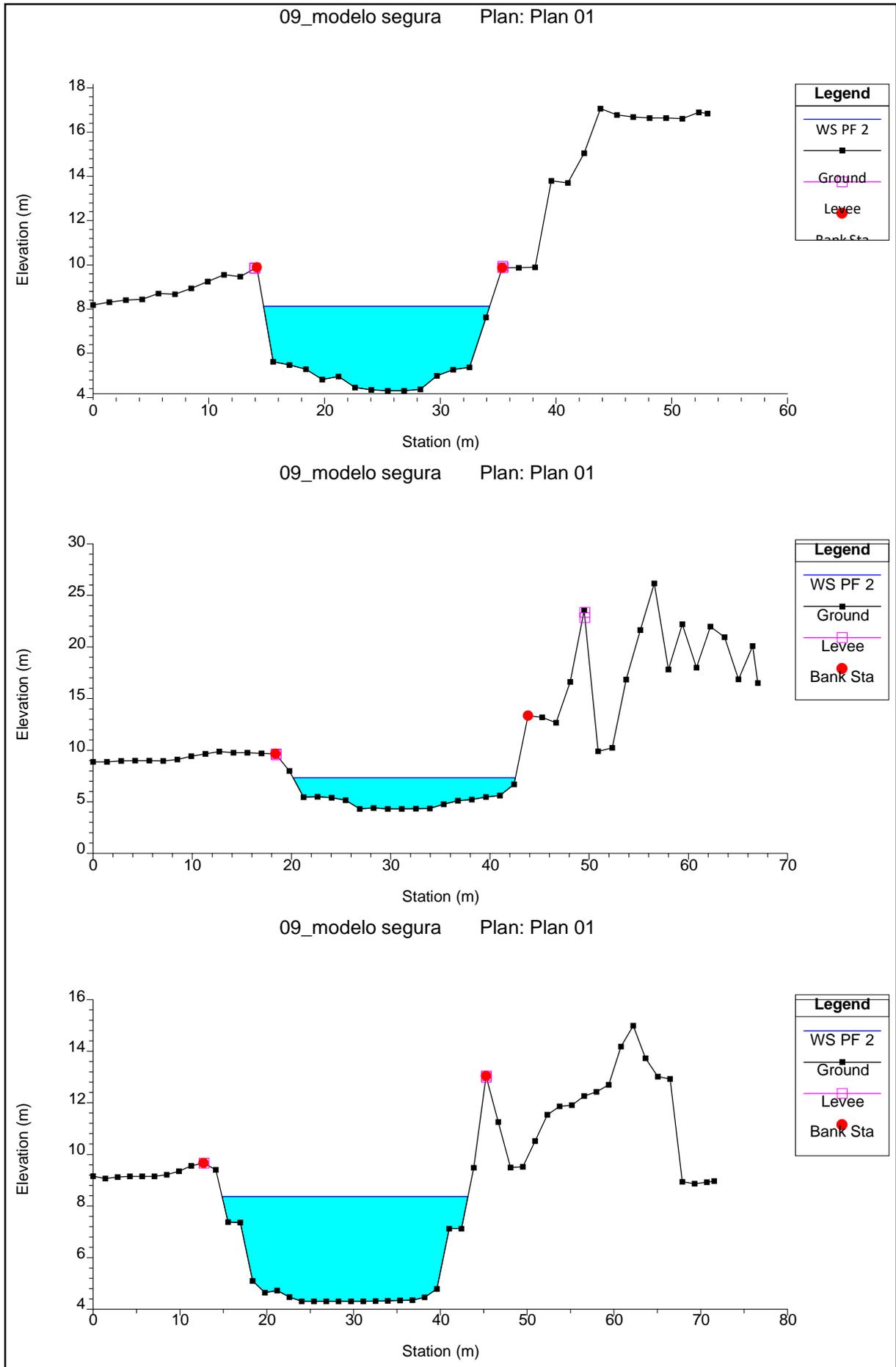


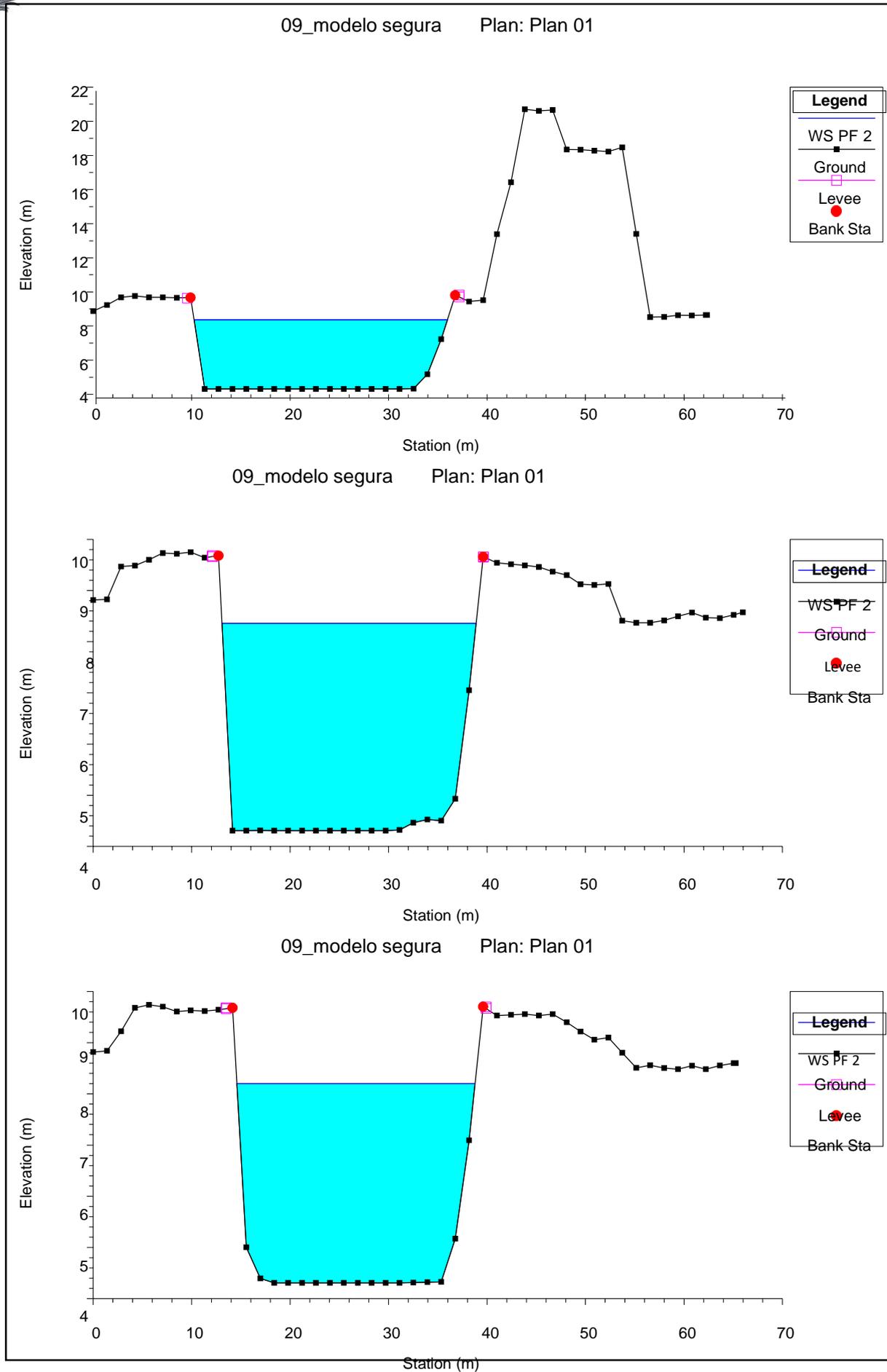


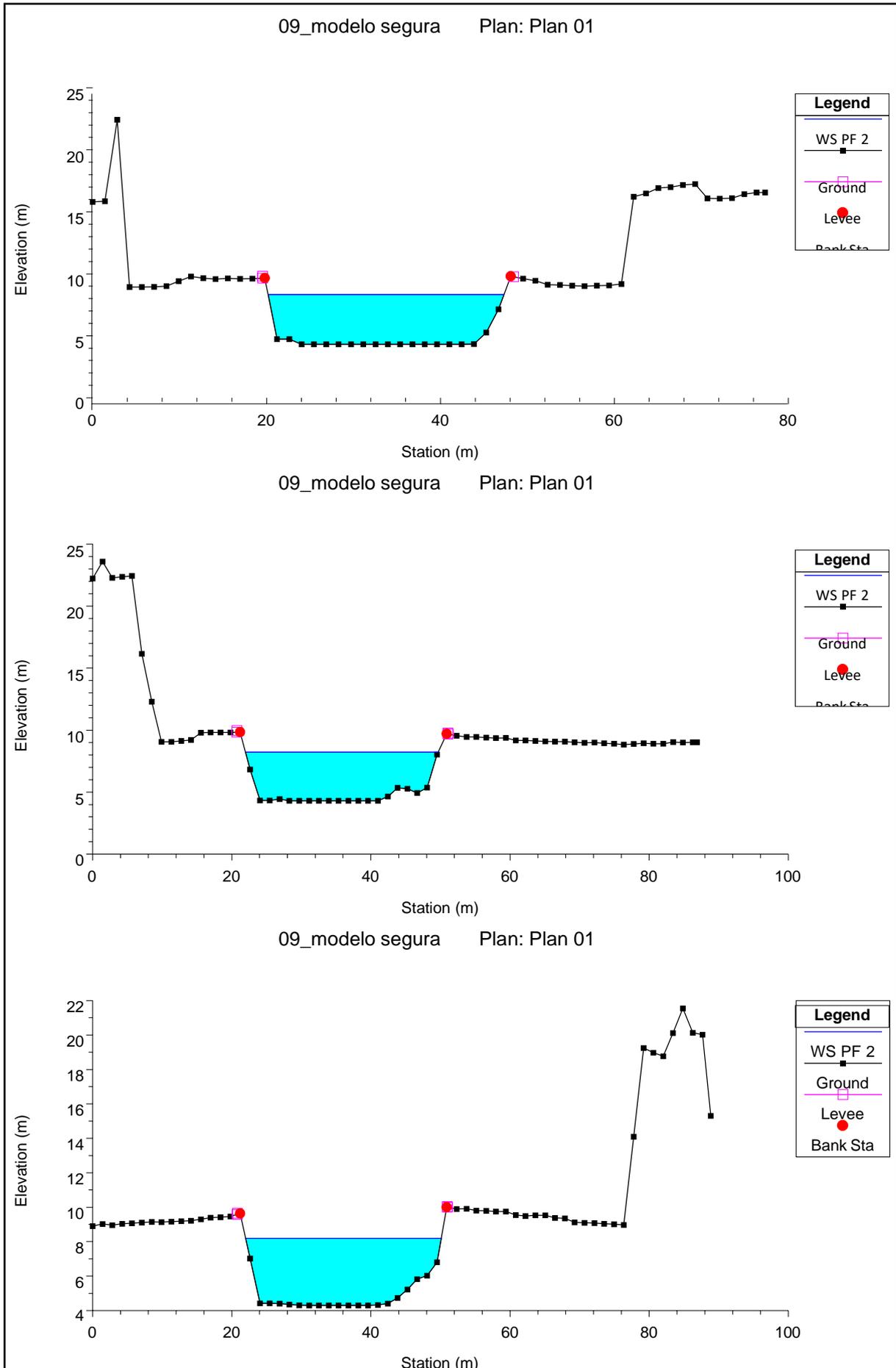


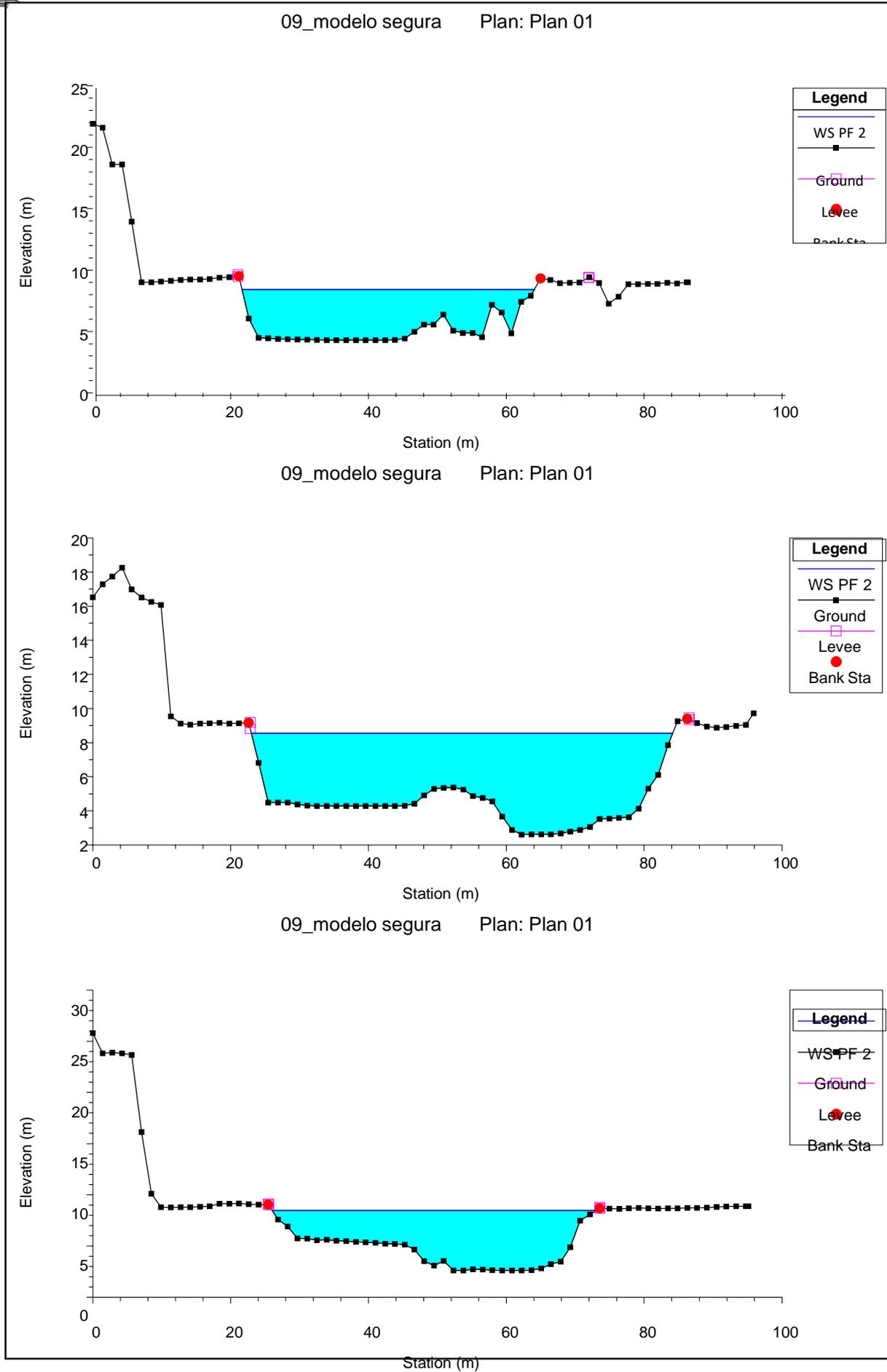


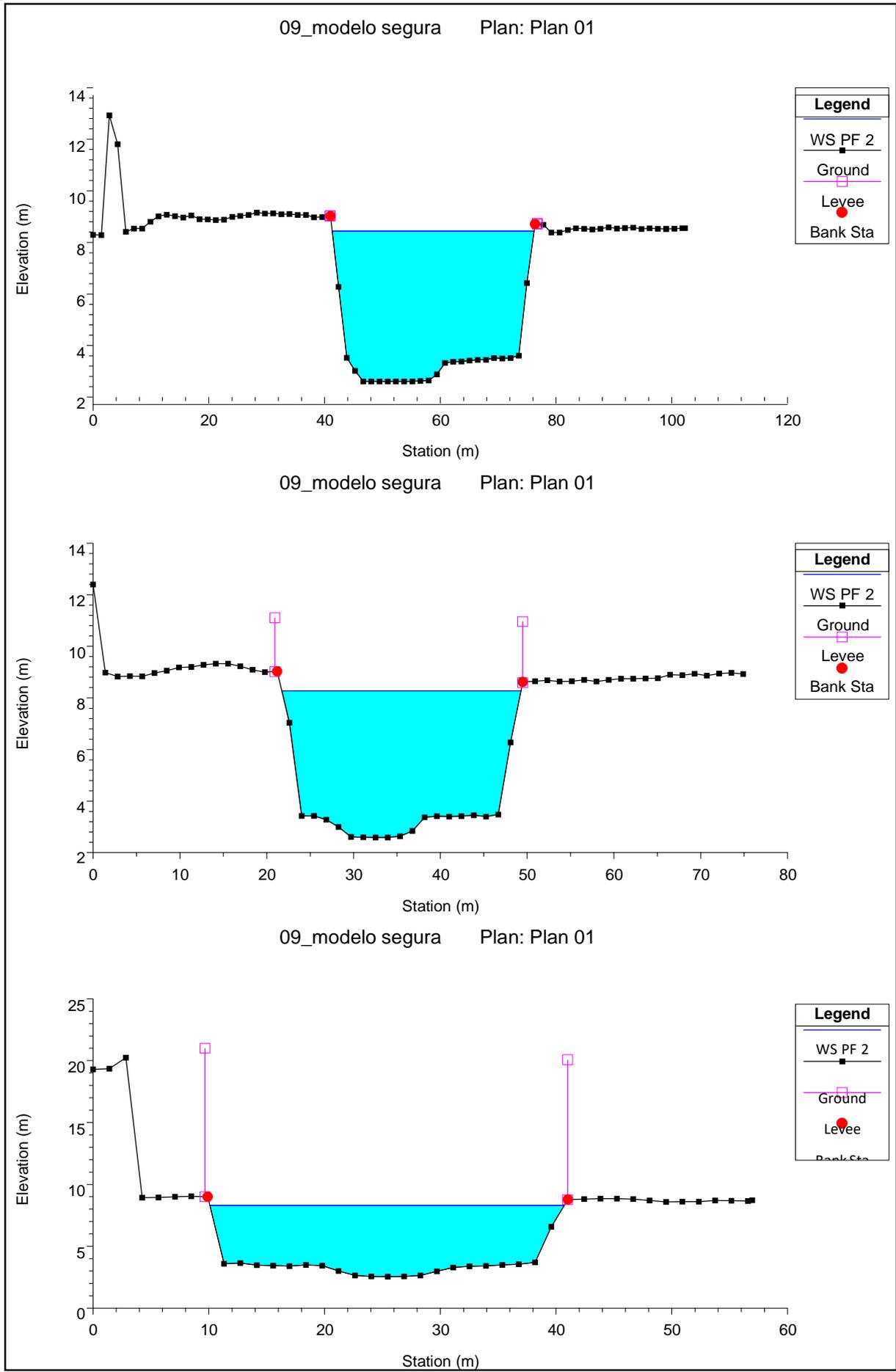


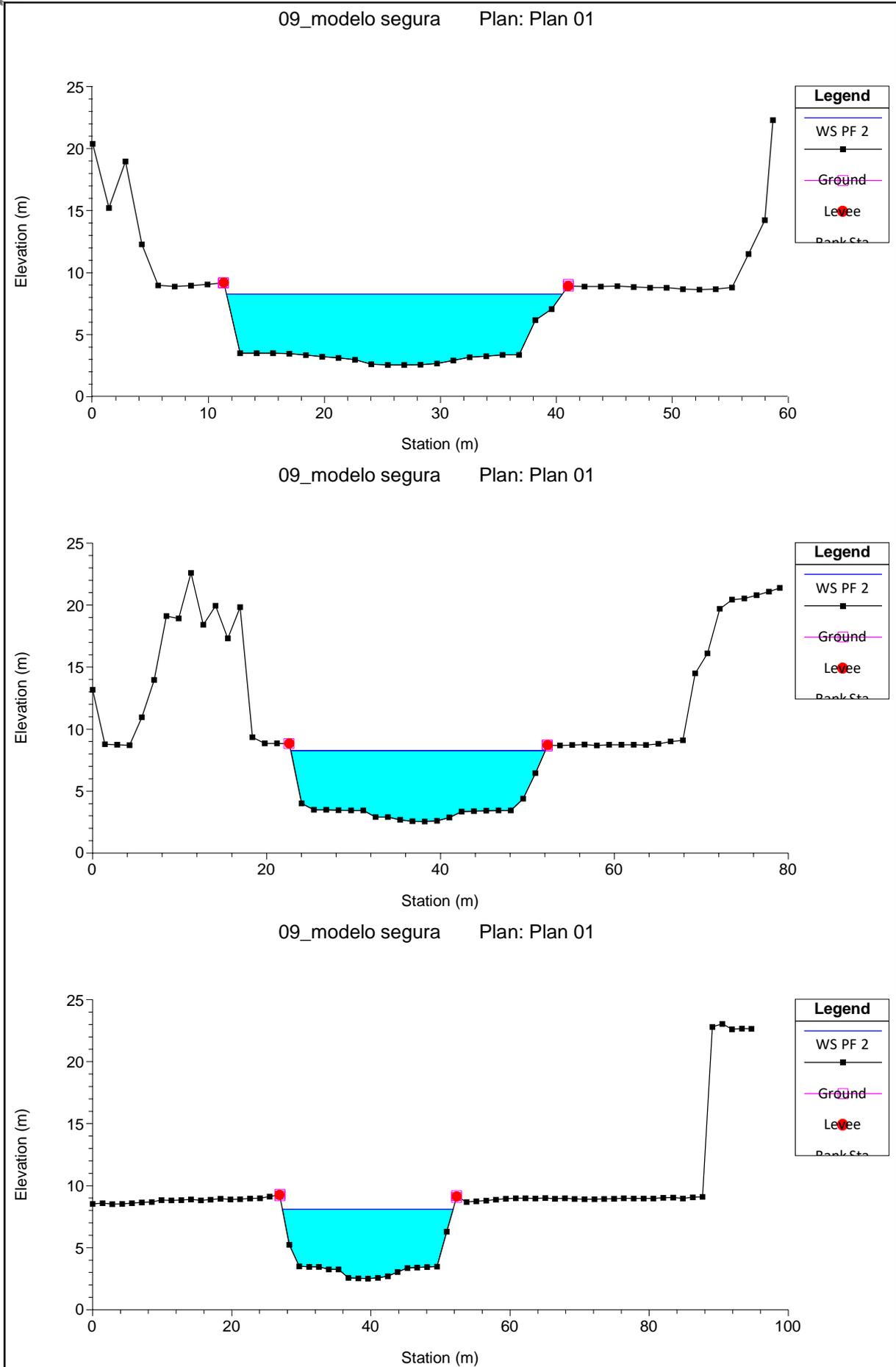


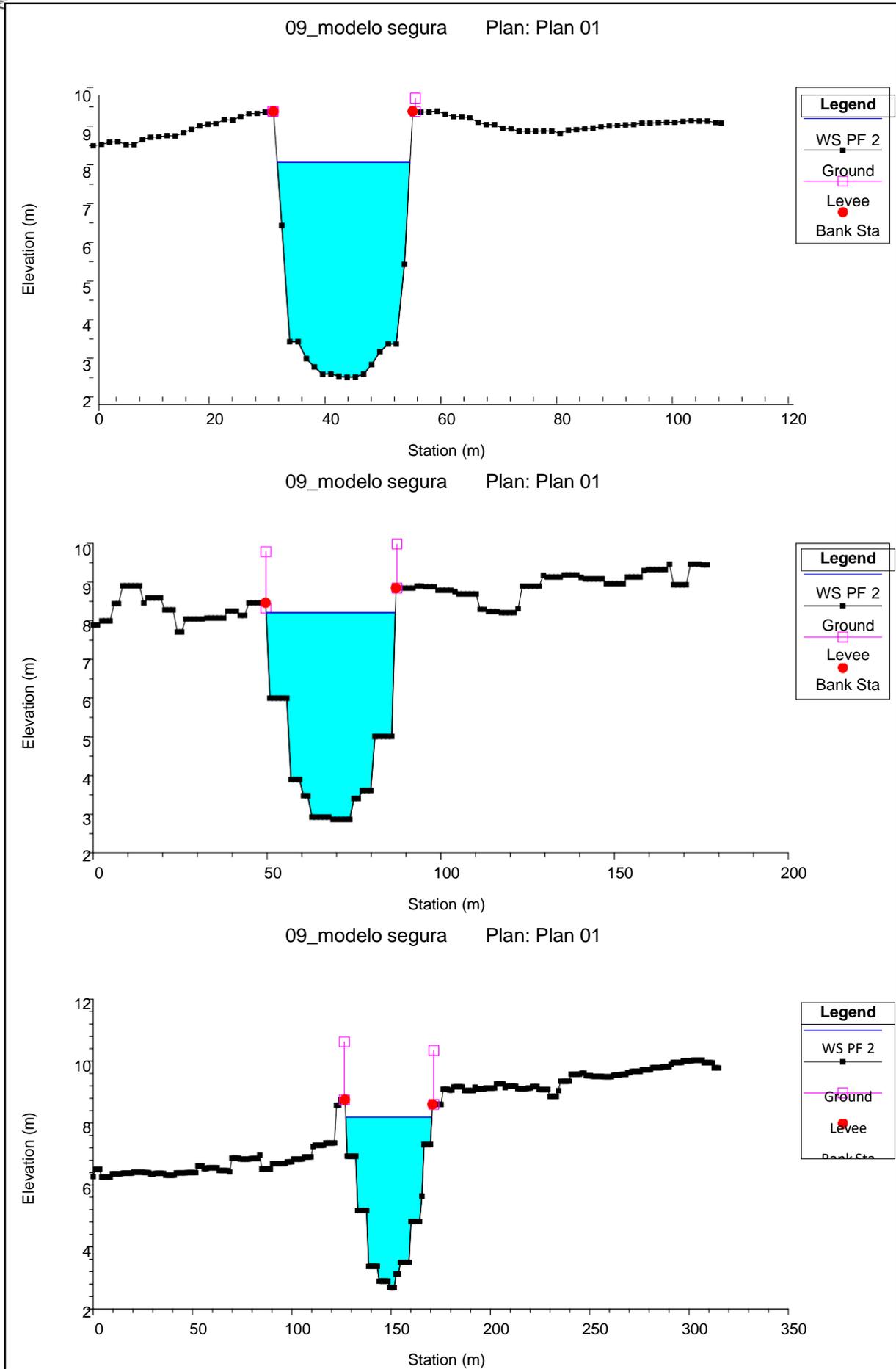


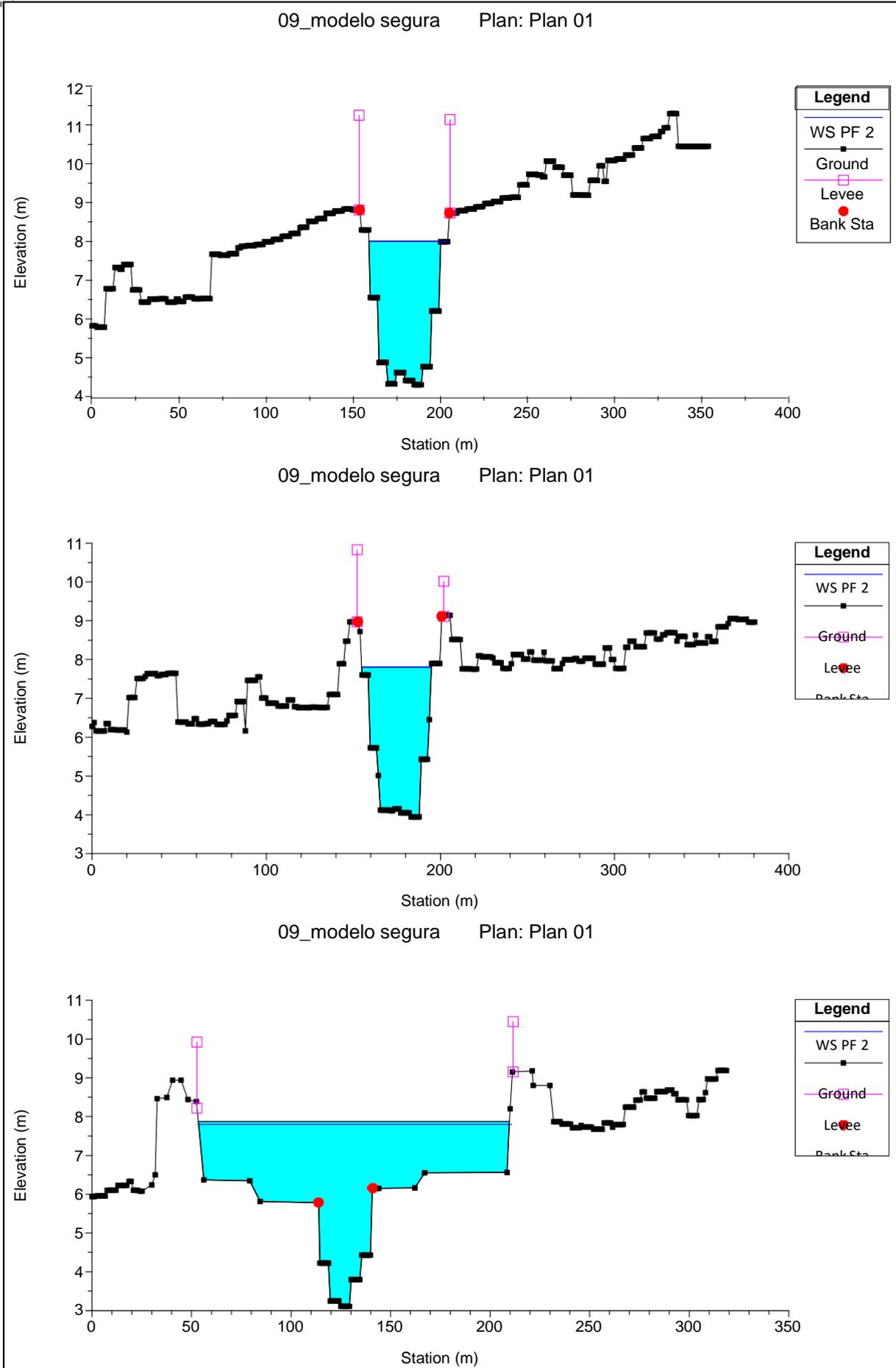


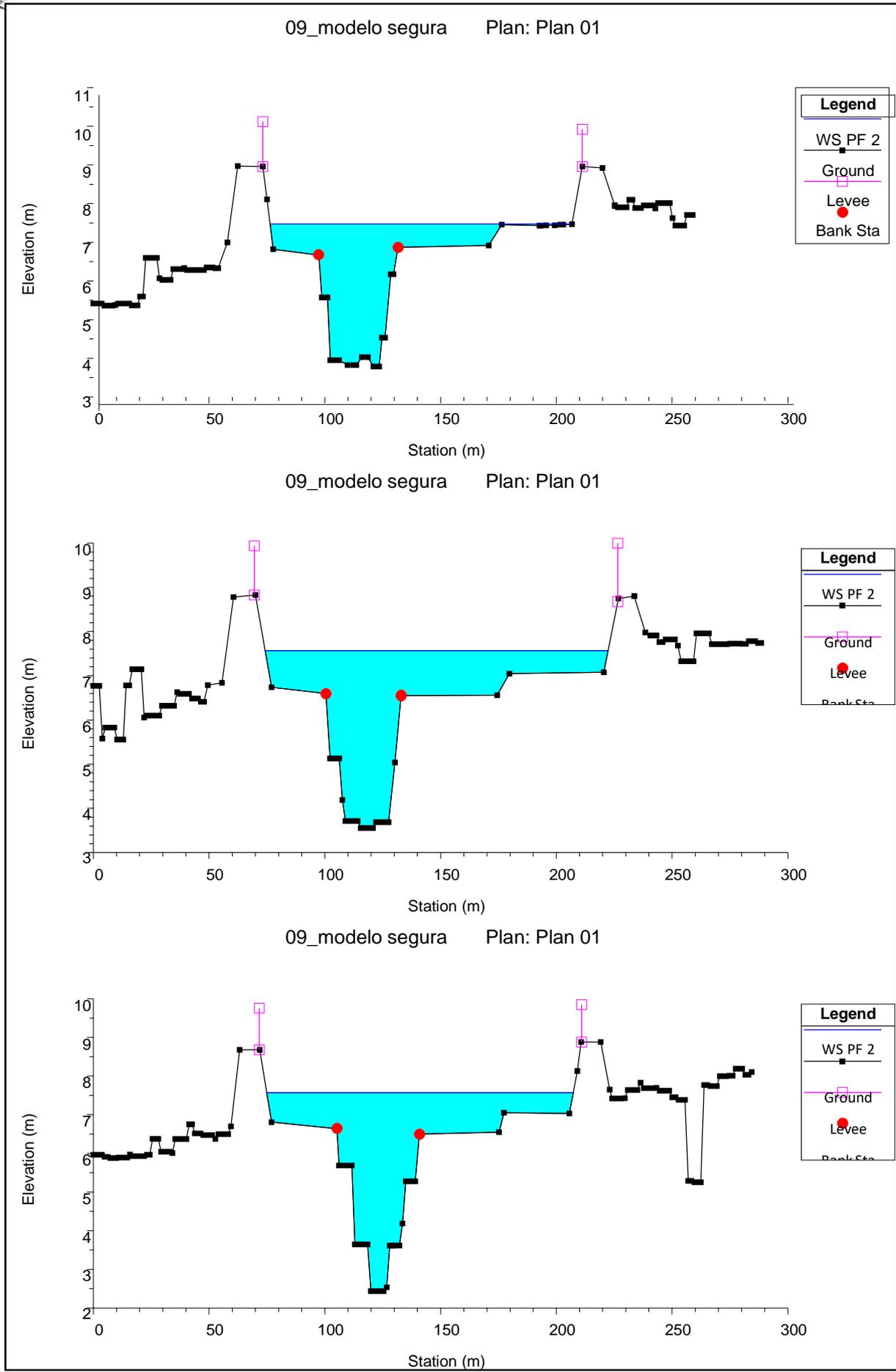


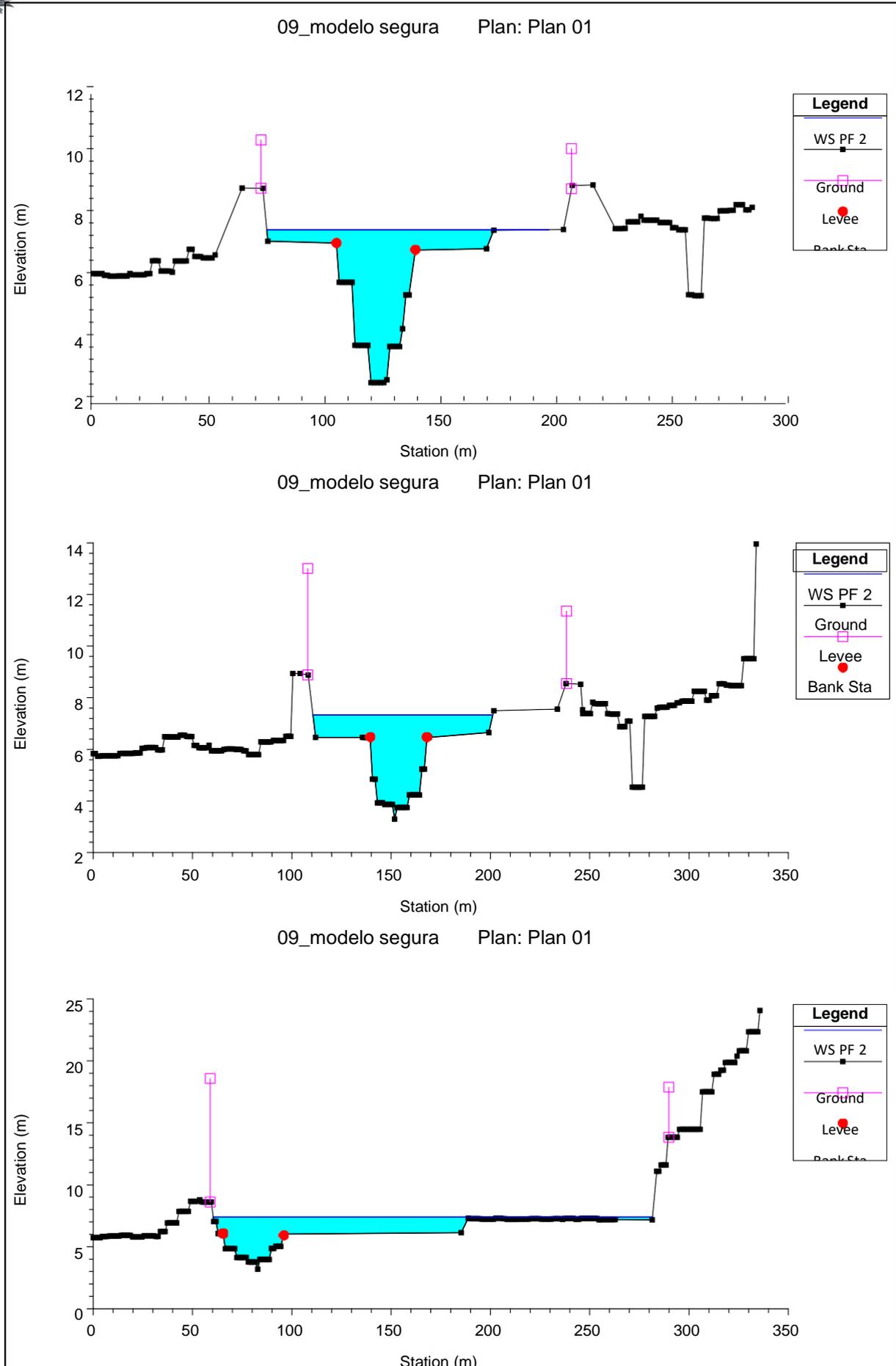


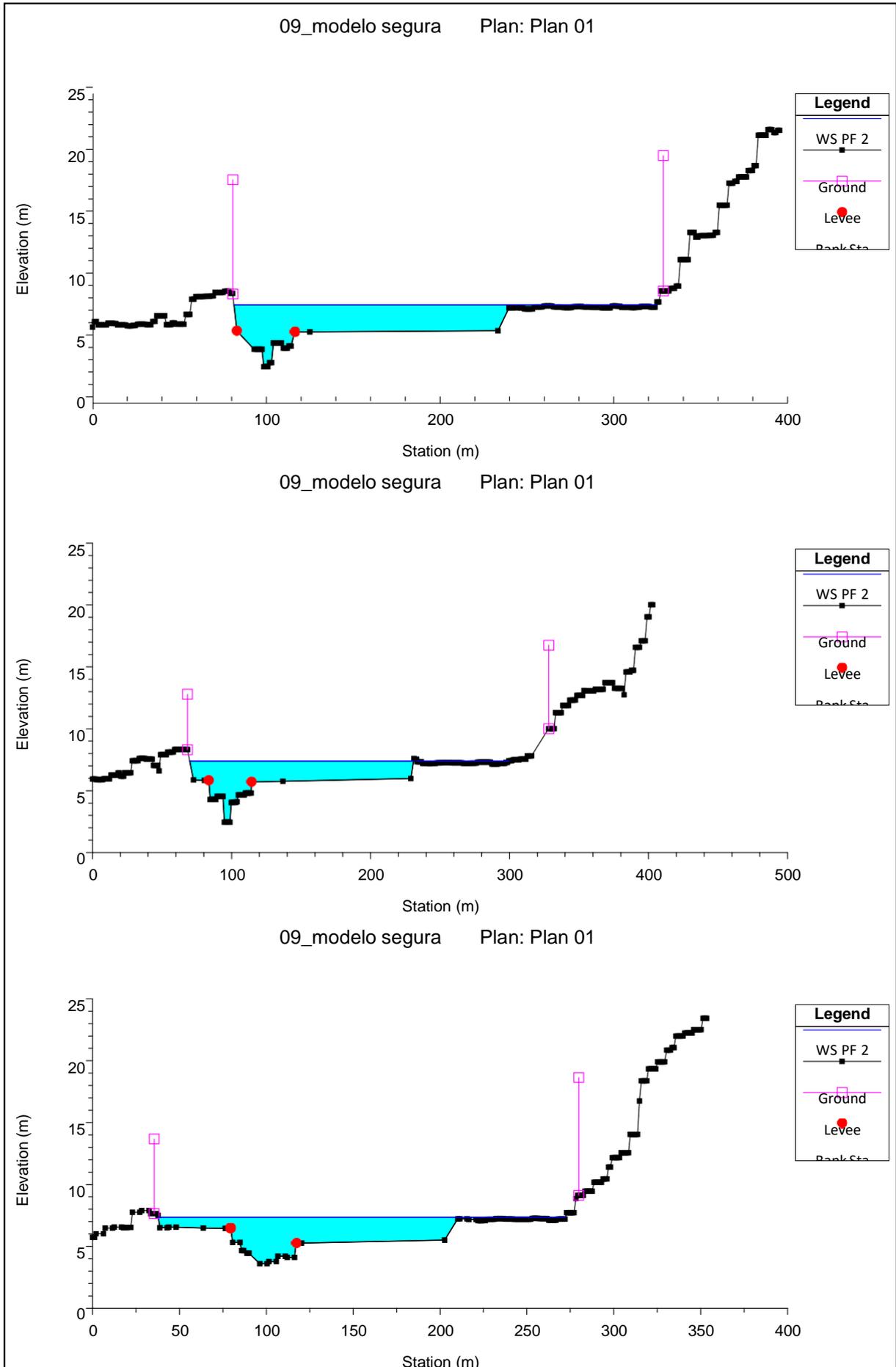


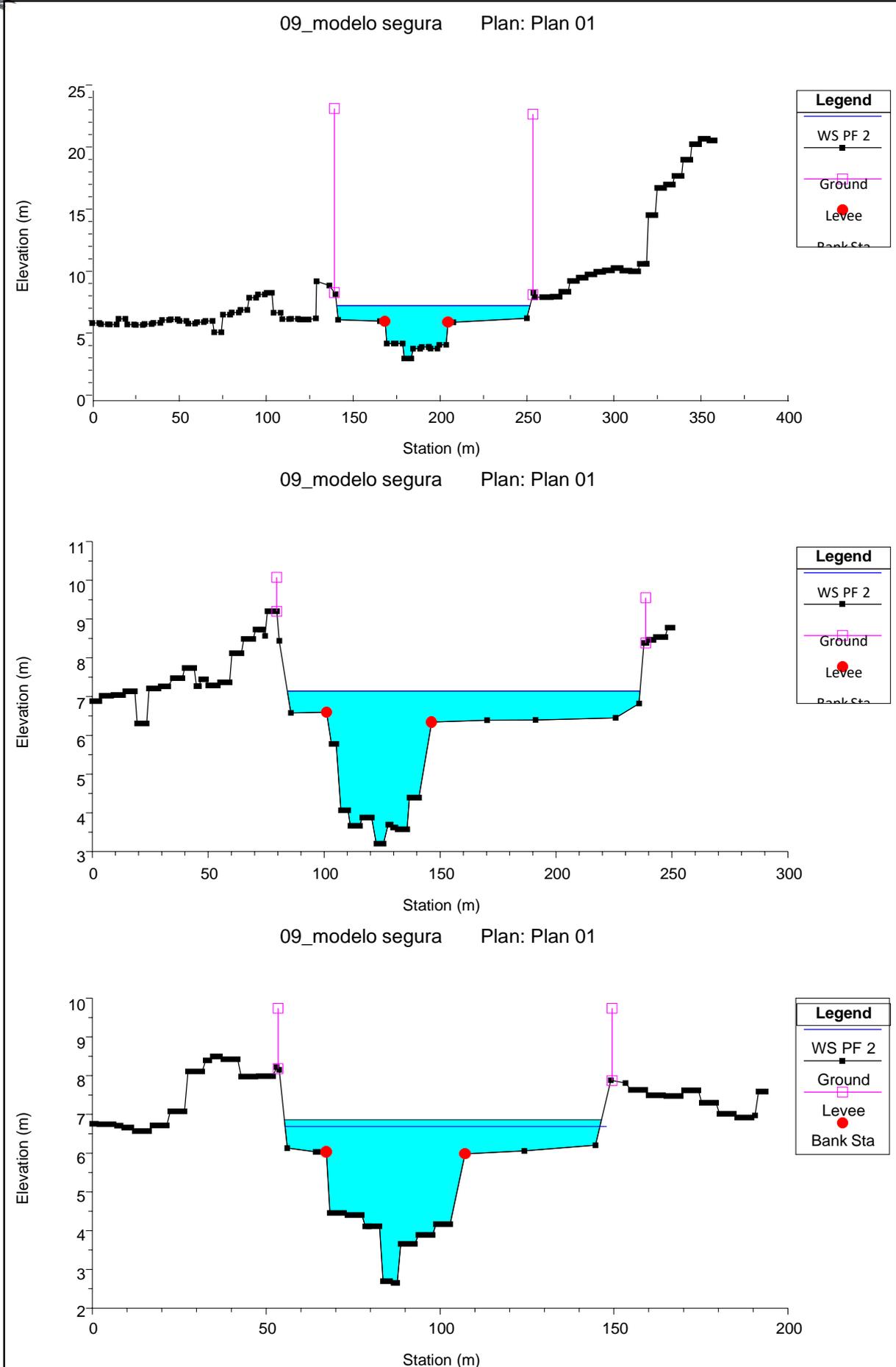


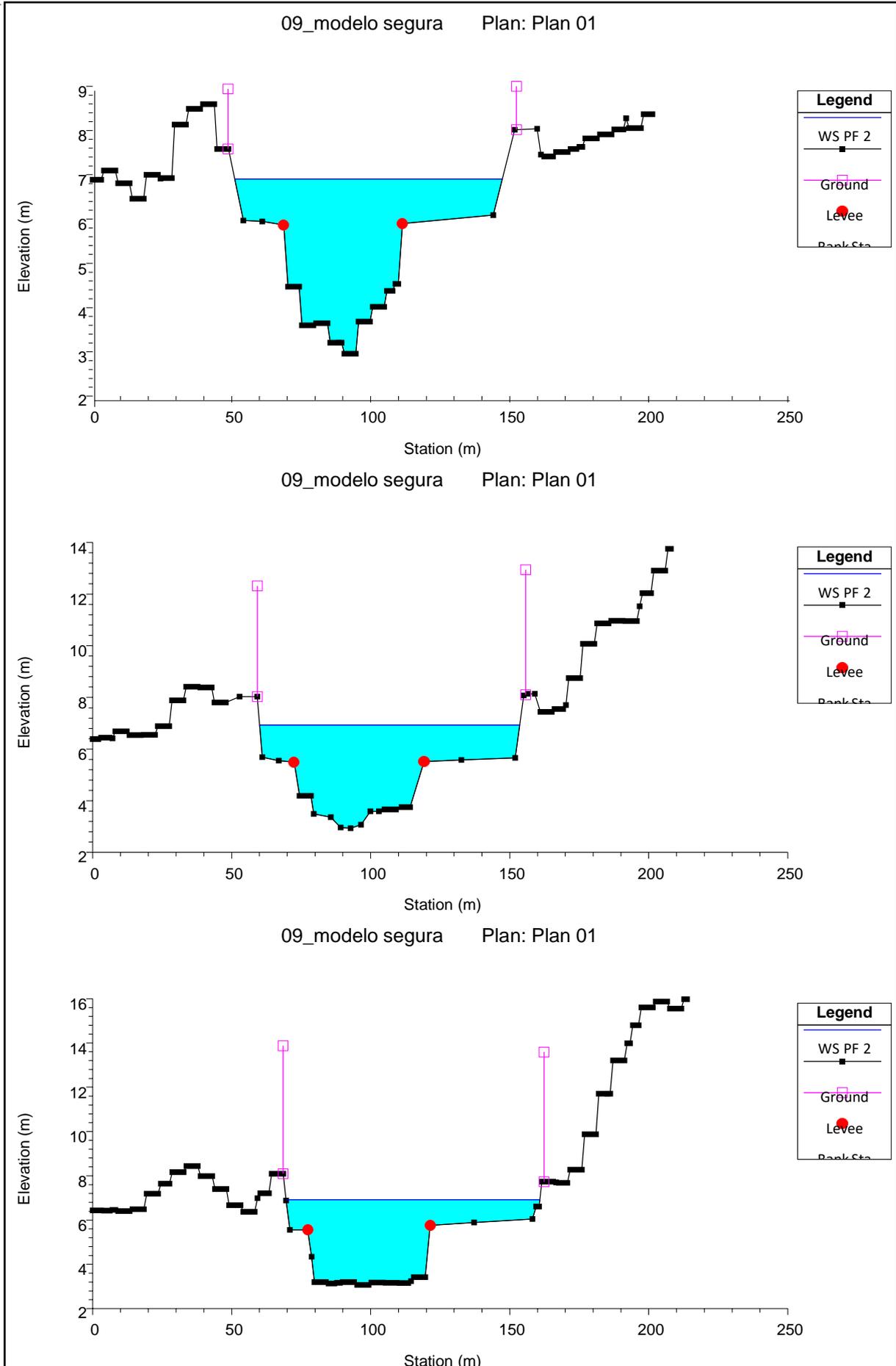


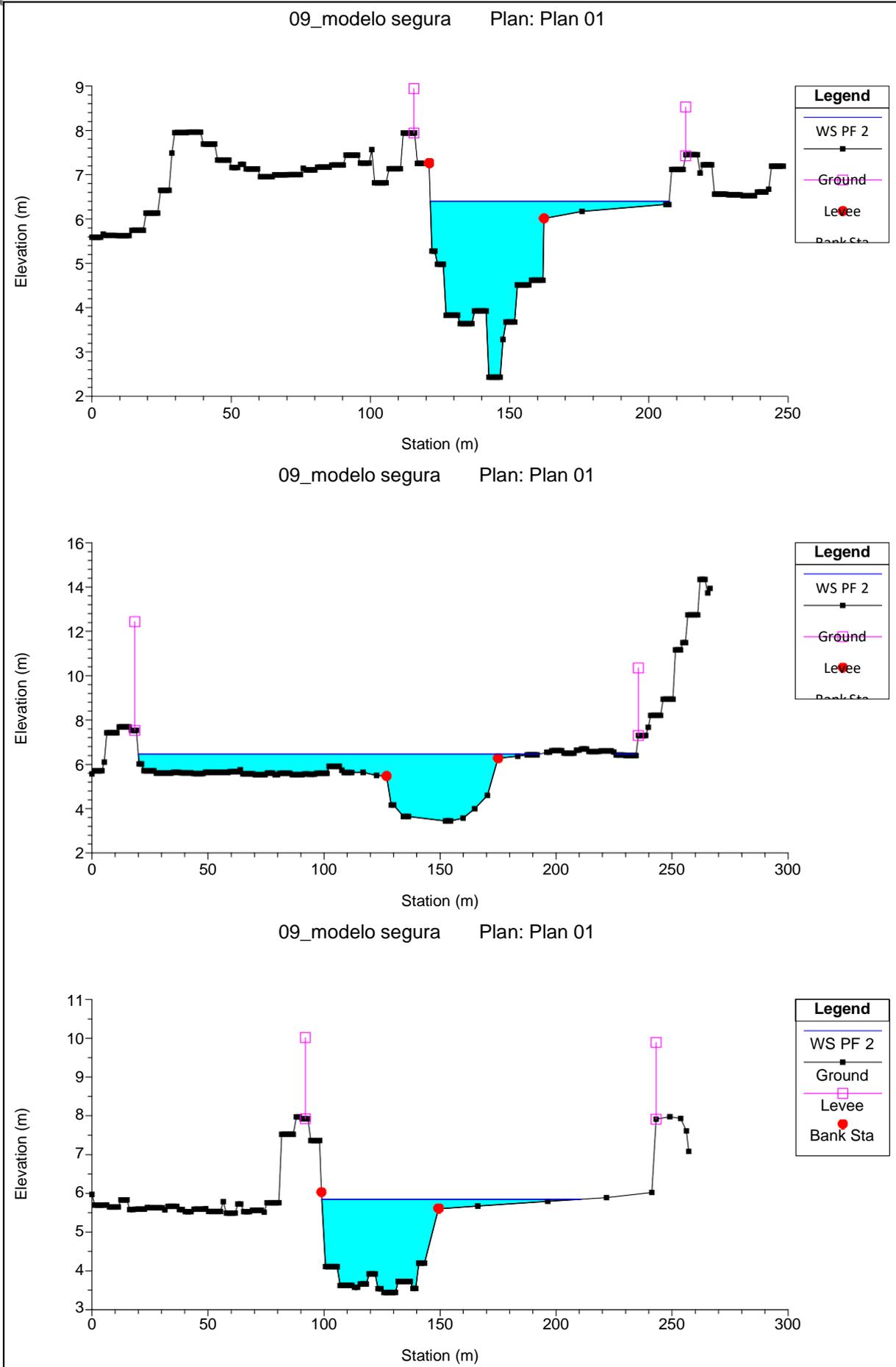


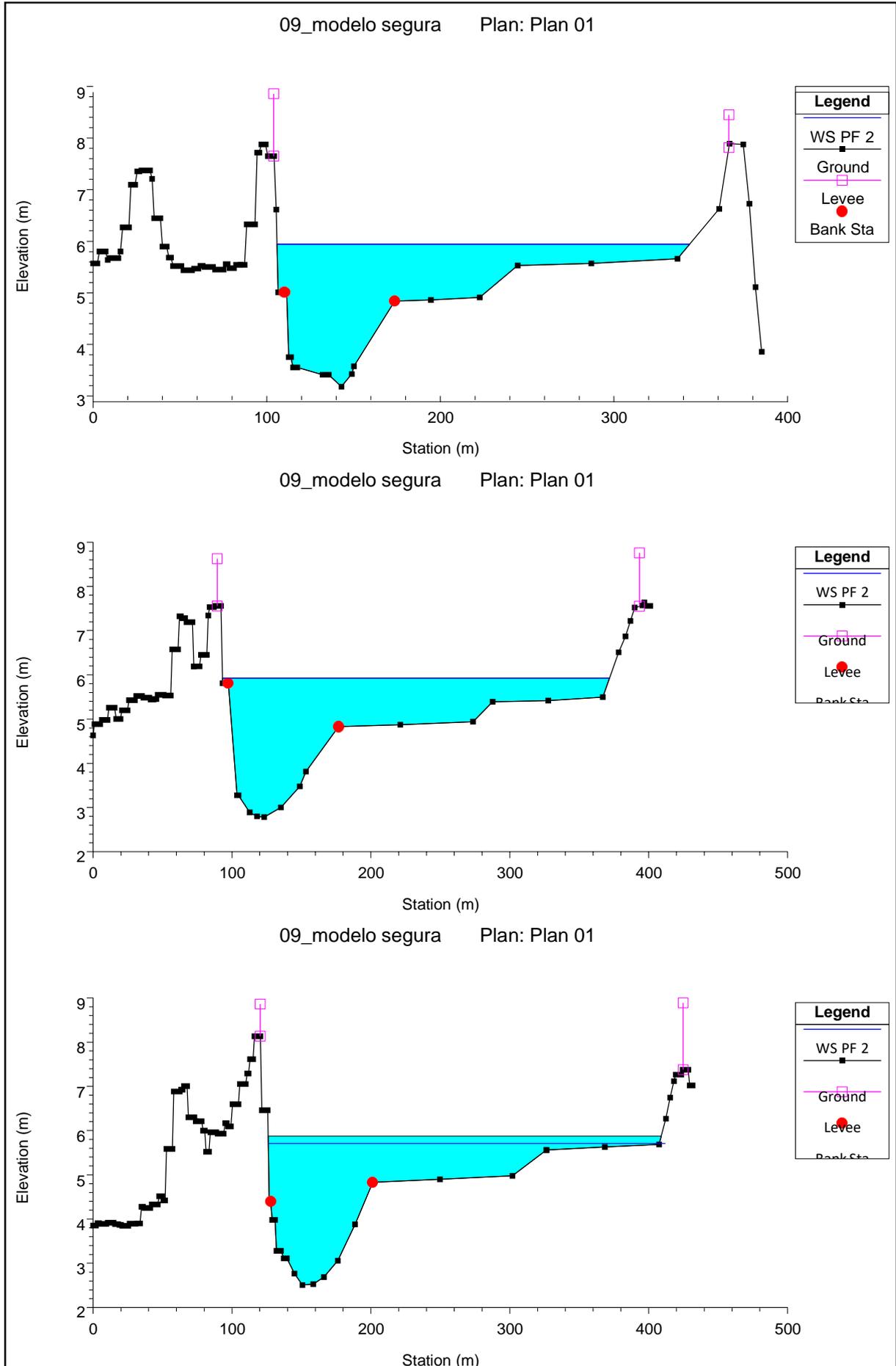


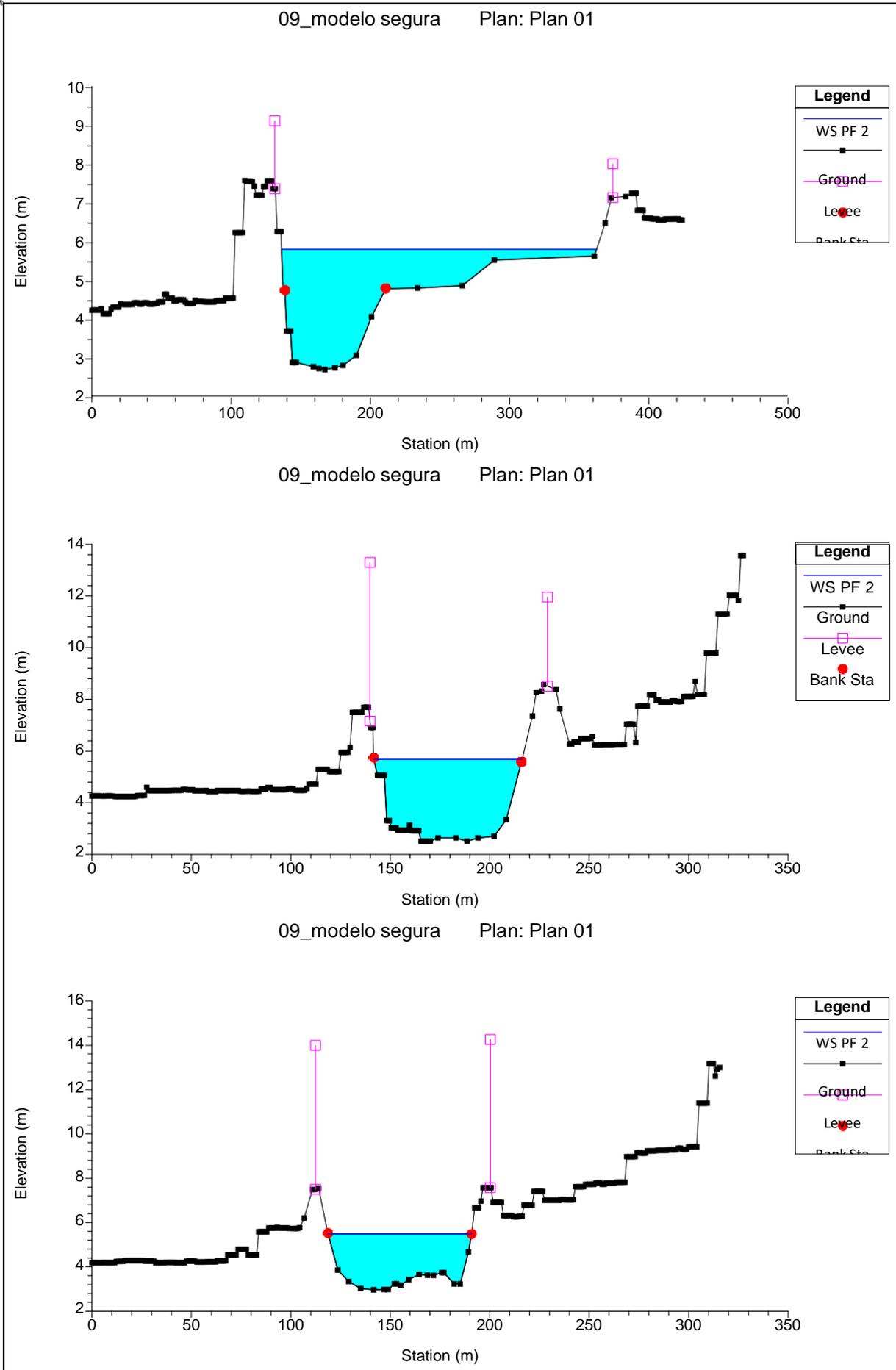


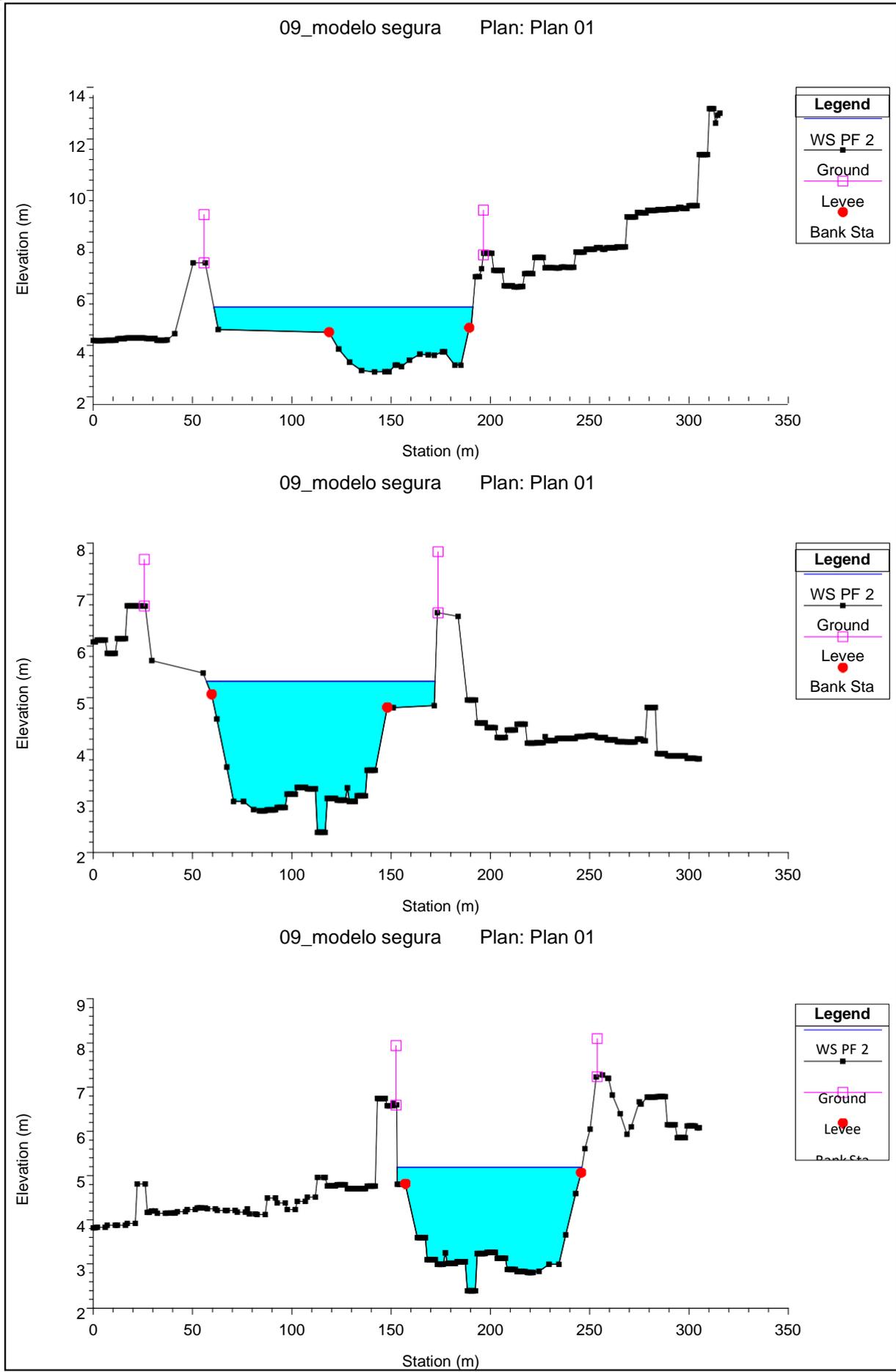


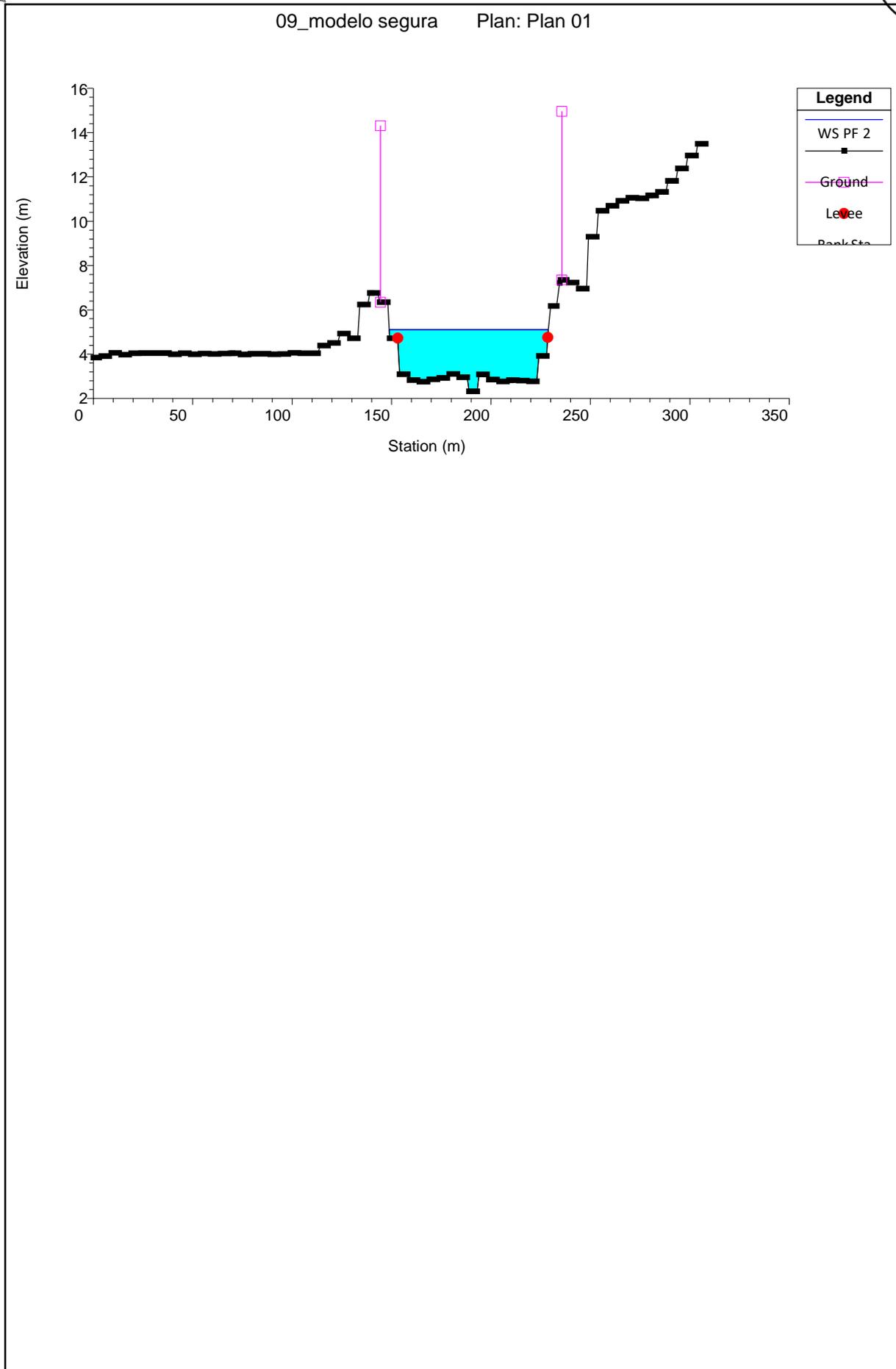














#### 1.2.2.4 Resultados numéricos

A pesar de que el resultado visual mostrado anteriormente es más lustroso y permite dar una primera impresión de si el modelo está correctamente diseñado, es más interesante observar los resultados numéricamente. En este apartado se mostrará una tabla con todos los valores numéricos de los parámetros más importantes para caracterizar el canal.

En esta ocasión se mostrarán los datos correspondientes para los tres caudales de diseño para los que se ha comprobado el modelo.

- Profile 1: 340 m<sup>3</sup>/s
- Profile 2: 320 m<sup>3</sup>/s
- Profile 3: 300 m<sup>3</sup>/s

Los parámetros que se muestran en la tabla son los siguientes:

- Profile: indica para cuál de los tres caudales de diseño se muestra la información.
- Q<sub>TOT</sub> (m<sup>3</sup>/s): caudal del perfil
- Water Surface Elevation (m): línea de agua calculada a partir de la fórmula de la energía.
- Critical Water Surface (m): línea de agua correspondiente al calado crítico.
- Energy Gradeline Elevation (m): energía del flujo en el canal
- Vel. of the Channel (m/s): media de la velocidad del flujo en el canal
- Flow Area (m<sup>2</sup>): área mojada
- Froude: número de Froude en el canal, indica el tipo de régimen.

Tabla 1 Resultados numéricos de la modelización del cauce (Fuente: propia con Hec-Ras)

River Sta	Profile	Q Total (m <sup>3</sup> /s)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	Vel Chnl (m/s)	Froude # Chl
12702	PF 1	340	12.3	11.44	12.83	3.21	0.62
12702	PF 2	320	12.2	11.34	12.7	3.14	0.61
12702	PF 3	300	12.09	11.24	12.57	3.07	0.61
12634.79	PF 1	340	12.2	11.15	12.71	3.18	0.58
12634.79	PF 2	320	12.1	11.06	12.58	3.09	0.57
12634.79	PF 3	300	11.99	10.96	12.45	3	0.56



Documento n°1. Anejos



12555.03	PF 1	340	12.37	11.5	12.51	1.88	0.33
12555.03	PF 2	320	12.24	11.44	12.38	1.91	0.34
12555.03	PF 3	300	12.11	11.38	12.26	1.94	0.35
12428.58	PF 1	340	12.3	11.36	12.44	1.96	0.32
12428.58	PF 2	320	12.16	11.3	12.31	1.99	0.33
12428.58	PF 3	300	12.02	10.71	12.18	2.02	0.35
12316.71	PF 1	340	11.43	10.85	12.24	4	0.73
12316.71	PF 2	320	11.35	10.74	12.11	3.87	0.72
12316.71	PF 3	300	11.28	10.63	11.99	3.73	0.7
12147.57	PF 1	340	11.74	10.6	11.84	1.65	0.26
12147.57	PF 2	320	11.62	10.54	11.72	1.68	0.28
12147.57	PF 3	300	11.49	10.47	11.6	1.73	0.29
12073.8	PF 1	340	11.74	9.92	11.81	1.43	0.24
12073.8	PF 2	320	11.61	9.85	11.69	1.46	0.25
12073.8	PF 3	300	11.48	9.76	11.57	1.48	0.25
12028.11	PF 1	340	11.68	10.77	11.79	1.92	0.32
12028.11	PF 2	320	11.54	10.77	11.67	2.01	0.34
12028.11	PF 3	300	11.4	10.74	11.54	2.12	0.37
11882.95	PF 1	340	11.56	10.83	11.72	2.09	0.35
11882.95	PF 2	320	11.42	10.77	11.59	2.16	0.37
11882.95	PF 3	300	11.26	10.45	11.45	2.24	0.39
11834.04	PF 1	340	11.26	10.05	11.6	2.61	0.48
11834.04	PF 2	320	11.12	9.98	11.45	2.58	0.48
11834.04	PF 3	300	10.97	9.9	11.3	2.55	0.49
11657.96	PF 1	340	11.39	9.12	11.46	1.15	0.2
11657.96	PF 2	320	11.24	9.07	11.31	1.13	0.2
11657.96	PF 3	300	11.09	9.02	11.16	1.11	0.2
11596.42	PF 1	340	11.31	9.24	11.44	1.58	0.27
11596.42	PF 2	320	11.16	9.18	11.29	1.55	0.27
11596.42	PF 3	300	11.02	9.12	11.14	1.52	0.27
11541.63	PF 1	340	11.32	9.23	11.41	1.35	0.24
11541.63	PF 2	320	11.17	9.18	11.26	1.33	0.24
11541.63	PF 3	300	11.02	9.12	11.11	1.31	0.24
11469.45	PF 1	340	11.3	9.3	11.39	1.35	0.25
11469.45	PF 2	320	11.15	9.25	11.24	1.33	0.25
11469.45	PF 3	300	11	9.2	11.09	1.32	0.26



11435.92	PF 1	340	11.29	9.19	11.38	1.28	0.24
11435.92	PF 2	320	11.15	9.14	11.23	1.26	0.24
11435.92	PF 3	300	11	9.07	11.08	1.25	0.24
11378.74	PF 1	340	11.33	8.25	11.35	0.67	0.11
11378.74	PF 2	320	11.18	8.22	11.2	0.66	0.11
11378.74	PF 3	300	11.03	8.18	11.05	0.64	0.11
11343.53	PF 1	340	11.34		11.35	0.5	0.09
11343.53	PF 2	320	11.19		11.2	0.49	0.09
11343.53	PF 3	300	11.04		11.05	0.48	0.09
11228.19	PF 1	340	11.33	6.62	11.35	0.48	0.07
11228.19	PF 2	320	11.19	6.57	11.2	0.47	0.07
11228.19	PF 3	300	11.04	6.52	11.05	0.45	0.07
11177.61	PF 1	340	11.3	8.37	11.34	0.94	0.15
11177.61	PF 2	320	11.15	8.32	11.19	0.92	0.15
11177.61	PF 3	300	11	8.27	11.04	0.9	0.15
11124.98	PF 1	340	11.21	8.75	11.33	1.49	0.24
11124.98	PF 2	320	11.07	8.69	11.18	1.46	0.24
11124.98	PF 3	300	10.93	8.62	11.03	1.42	0.24
11082.59	PF 1	340	11.16	8.54	11.31	1.72	0.27
11082.59	PF 2	320	11.02	8.47	11.16	1.67	0.26
11082.59	PF 3	300	10.88	8.39	11.01	1.62	0.26
11059.53	PF 1	340	11.07	8.87	11.29	2.08	0.33
11059.53	PF 2	320	10.94	8.78	11.15	2.03	0.33
11059.53	PF 3	300	10.8	8.7	11	1.97	0.33
11054.54	PF 1	340	11.09	8.82	11.29	1.97	0.32
11054.54	PF 2	320	10.95	8.73	11.14	1.92	0.31
11054.54	PF 3	300	10.81	8.65	10.99	1.86	0.31
11053.93	PF 1	340	11.1	8.85	11.28	1.9	0.31
11053.93	PF 2	320	10.96	8.77	11.13	1.85	0.3
11053.93	PF 3	300	10.82	8.69	10.99	1.8	0.3
10992.83	PF 1	340	11.01	8.96	11.25	2.16	0.37
10992.83	PF 2	320	10.87	8.88	11.1	2.12	0.37
10992.83	PF 3	300	10.73	8.79	10.95	2.07	0.36
10931.3	PF 1	340	10.94	9.13	11.2	2.26	0.39
10931.3	PF 2	320	10.81	9.04	11.06	2.21	0.39
10931.3	PF 3	300	10.67	8.95	10.91	2.16	0.38



Documento n°1. Anejos



10842.8	PF 1	340	10.88	9.05	11.14	2.28	0.39
10842.8	PF 2	320	10.74	8.97	11	2.23	0.38
10842.8	PF 3	300	10.61	8.88	10.85	2.18	0.38
10776.23	PF 1	340	10.84	8.98	11.09	2.22	0.39
10776.23	PF 2	320	10.7	8.89	10.95	2.18	0.39
10776.23	PF 3	300	10.57	8.8	10.8	2.14	0.39
10701.28	PF 1	340	10.81	8.83	11.04	2.14	0.37
10701.28	PF 2	320	10.67	8.74	10.89	2.09	0.36
10701.28	PF 3	300	10.54	8.65	10.75	2.04	0.36
10371.44	PF 1	340	10.67	9.03	10.8	1.76	0.3
10371.44	PF 2	320	10.52	8.95	10.65	1.78	0.31
10371.44	PF 3	300	10.37	8.87	10.51	1.81	0.32
10262.27	PF 1	340	10.66	9	10.75	1.53	0.26
10262.27	PF 2	320	10.5	8.92	10.6	1.6	0.28
10262.27	PF 3	300	10.34	8.84	10.45	1.7	0.3
10093.18	PF 1	340	10.62	9.13	10.68	1.32	0.23
10093.18	PF 2	320	10.45	9.09	10.52	1.34	0.24
10093.18	PF 3	300	10.28	9.04	10.36	1.37	0.25
9784.61	PF 1	340	10.14	8.55	10.46	2.49	0.44
9784.61	PF 2	320	9.96	8.47	10.28	2.48	0.45
9784.61	PF 3	300	9.78	8.38	10.09	2.47	0.46
9673.97	PF 1	340	10.17	8.1	10.39	2.09	0.35
9673.97	PF 2	320	9.99	8.02	10.2	2.07	0.35
9673.97	PF 3	300	9.8	7.94	10.02	2.04	0.35
9583.15	PF 1	340	10.15	8.03	10.37	2.11	0.34
9583.15	PF 2	320	9.97	7.96	10.19	2.08	0.34
9583.15	PF 3	300	9.78	7.87	10	2.05	0.34
9537.24	PF 1	340	10.08	8.12	10.36	2.34	0.38
9537.24	PF 2	320	9.9	8.03	10.17	2.31	0.38
9537.24	PF 3	300	9.72	7.95	9.98	2.27	0.38
9494.53	PF 1	340	10.02	8.33	10.34	2.51	0.42
9494.53	PF 2	320	9.84	8.25	10.16	2.48	0.42
9494.53	PF 3	300	9.66	8.16	9.97	2.46	0.43
9493.03	PF 1	340	10.1	8	10.31	2.05	0.35
9493.03	PF 2	320	9.91	7.92	10.12	2.04	0.36
9493.03	PF 3	300	9.73	7.84	9.94	2.02	0.36



9462.81	PF 1	340	9.86	8.53	10.28	2.88	0.5
9462.81	PF 2	320	9.68	8.44	10.1	2.87	0.51
9462.81	PF 3	300	9.49	8.34	9.91	2.85	0.52
9438.74	PF 1	340	9.88	8.4	10.26	2.72	0.47
9438.74	PF 2	320	9.7	8.31	10.07	2.7	0.48
9438.74	PF 3	300	9.51	8.22	9.88	2.69	0.49
9347.8	PF 1	340	9.85	8.27	10.22	2.69	0.46
9347.8	PF 2	320	9.67	8.18	10.03	2.67	0.46
9347.8	PF 3	300	9.49	8.08	9.84	2.65	0.47
9249.12	PF 1	340	9.85	8.1	10.18	2.57	0.42
9249.12	PF 2	320	9.66	8.01	9.99	2.55	0.43
9249.12	PF 3	300	9.48	7.92	9.8	2.51	0.43
9210.51	PF 1	340	9.67	8.27	10.15	3.08	0.52
9210.51	PF 2	320	9.49	8.17	9.96	3.06	0.53
9210.51	PF 3	300	9.3	8.07	9.77	3.02	0.53
9175.93	PF 1	340	9.72	8.04	10.11	2.78	0.46
9175.93	PF 2	320	9.54	7.94	9.92	2.75	0.46
9175.93	PF 3	300	9.35	7.84	9.73	2.71	0.46
9141.23	PF 1	340	9.59	8.1	10.09	3.14	0.51
9141.23	PF 2	320	9.41	7.99	9.9	3.1	0.51
9141.23	PF 3	300	9.23	7.89	9.71	3.05	0.52
9091.22	PF 1	340	9.55	8.11	10.07	3.19	0.52
9091.22	PF 2	320	9.37	8	9.87	3.15	0.53
9091.22	PF 3	300	9.19	7.88	9.68	3.11	0.53
9016.27	PF 1	340	9.55	8.04	10.02	3.05	0.5
9016.27	PF 2	320	9.36	7.93	9.83	3.05	0.51
9016.27	PF 3	300	9.17	7.82	9.64	3.03	0.52
8942.41	PF 1	340	9.58	7.96	9.97	2.85	0.46
8942.41	PF 2	320	9.37	7.85	9.78	2.89	0.47
8942.41	PF 3	300	9.17	7.74	9.59	2.91	0.49
8893.64	PF 1	340	9.55	7.77	9.95	2.81	0.45
8893.64	PF 2	320	9.36	7.66	9.76	2.8	0.46
8893.64	PF 3	300	9.18	7.56	9.56	2.76	0.46
8861.51	PF 1	340	9.29	7.98	9.92	3.5	0.57
8861.51	PF 2	320	9.12	7.87	9.73	3.44	0.57
8861.51	PF 3	300	8.95	7.74	9.53	3.39	0.57



Documento n°1. Anejos



8837.98	PF 1	340	8.25	8.24	9.8	5.52	1
8837.98	PF 2	320	8.13	8.11	9.62	5.4	0.99
8837.98	PF 3	300	8	7.97	9.43	5.28	0.99
8773.16	PF 1	340	7.38	7.92	9.52	6.47	1.35
8773.16	PF 2	320	7.33	7.8	9.31	6.23	1.31
8773.16	PF 3	300	7.19	7.68	9.17	6.23	1.35
8743.79	PF 1	340	8.5	7.44	9.12	3.48	0.6
8743.79	PF 2	320	8.37	7.29	8.96	3.41	0.6
8743.79	PF 3	300	8.24	7.18	8.8	3.32	0.59
8715.54	PF 1	340	8.5	7.16	9.09	3.4	0.55
8715.54	PF 2	320	8.37	7.05	8.93	3.31	0.54
8715.54	PF 3	300	8.24	6.94	8.77	3.21	0.54
8709.82	PF 1	340	8.49	7.18	9.08	3.41	0.56
8709.82	PF 2	320	8.36	7.07	8.92	3.32	0.55
8709.82	PF 3	300	8.23	6.96	8.76	3.22	0.54
8706.99	PF 1	340	8.32	7.32	9.06	3.82	0.64
8706.99	PF 2	320	8.2	7.21	8.9	3.72	0.63
8706.99	PF 3	300	8.09	7.09	8.75	3.6	0.62
8694.29	PF 1	340	8.45	7.1	9	3.29	0.54
8694.29	PF 2	320	8.32	6.99	8.84	3.2	0.53
8694.29	PF 3	300	8.2	6.89	8.69	3.1	0.52
8662.32	PF 1	340	8.36	7.22	8.96	3.44	0.58
8662.32	PF 2	320	8.23	7.11	8.81	3.35	0.58
8662.32	PF 3	300	8.11	7.01	8.65	3.25	0.57
8655.14	PF 1	340	8.33	7.26	8.94	3.47	0.59
8655.14	PF 2	320	8.2	7.16	8.79	3.38	0.59
8655.14	PF 3	300	8.08	7.05	8.63	3.29	0.58
8649.55	PF 1	340	8.57	6.82	8.83	2.29	0.39
8649.55	PF 2	320	8.43	6.73	8.69	2.25	0.39
8649.55	PF 3	300	8.29	6.64	8.54	2.19	0.39
8641.43	PF 1	340	8.7	5.61	8.78	1.26	0.19
8641.43	PF 2	320	8.55	5.54	8.63	1.23	0.19
8641.43	PF 3	300	8.41	5.48	8.49	1.19	0.19
8638.8	PF 1	340	8.61	6	8.77	1.77	0.28
8638.8	PF 2	320	8.47	5.92	8.62	1.73	0.28
8638.8	PF 3	300	8.34	5.84	8.48	1.68	0.27



8598.2	PF 1	340	8.57	5.41	8.76	1.92	0.27
8598.2	PF 2	320	8.44	5.32	8.62	1.85	0.27
8598.2	PF 3	300	8.31	5.22	8.47	1.78	0.26
8577.76	PF 1	340	8.4	5.91	8.74	2.58	0.38
8577.76	PF 2	320	8.28	5.8	8.6	2.49	0.37
8577.76	PF 3	300	8.16	5.69	8.46	2.4	0.36
8502.12	PF 1	340	8.44	5.72	8.7	2.27	0.33
8502.12	PF 2	320	8.31	5.62	8.56	2.19	0.32
8502.12	PF 3	300	8.19	5.52	8.42	2.11	0.31
8501.41	PF 1	340	8.39	5.78	8.7	2.44	0.36
8501.41	PF 2	320	8.27	5.68	8.56	2.36	0.35
8501.41	PF 3	300	8.16	5.57	8.42	2.27	0.34
8467.62	PF 1	340	8.39	5.84	8.69	2.43	0.36
8467.62	PF 2	320	8.27	5.74	8.55	2.34	0.35
8467.62	PF 3	300	8.15	5.63	8.41	2.25	0.34
8425.61	PF 1	340	8.21	6.12	8.66	2.98	0.44
8425.61	PF 2	320	8.1	6	8.52	2.87	0.43
8425.61	PF 3	300	8	5.89	8.39	2.75	0.42
8424.82	PF 1	340	8.16	6.08	8.66	3.11	0.46
8424.82	PF 2	320	8.06	5.96	8.52	2.99	0.44
8424.82	PF 3	300	7.97	5.83	8.38	2.86	0.43
8359.24	PF 1	340	8.32	6.08	8.57	2.18	0.34
8359.24	PF 2	320	8.21	5.88	8.43	2.11	0.33
8359.24	PF 3	300	8.1	5.79	8.31	2.03	0.32
8232.35	PF 1	340	8.31	6.03	8.54	2.12	0.35
8232.35	PF 2	320	8.19	5.94	8.41	2.06	0.35
8232.35	PF 3	300	8.08	5.85	8.28	1.99	0.34
8124.91	PF 1	340	8.12	6.94	8.49	2.69	0.52
8124.91	PF 2	320	8.01	6.87	8.36	2.64	0.52
8124.91	PF 3	300	7.9	6.78	8.24	2.57	0.49
7876.94	PF 1	340	7.89	6.7	8.32	2.88	0.54
7876.94	PF 2	320	7.81	6.61	8.21	2.79	0.53
7876.94	PF 3	300	7.73	6.52	8.1	2.69	0.52
7714.08	PF 1	340	7.97	6.75	8.04	1.41	0.22
7714.08	PF 2	320	7.87	6.7	7.94	1.4	0.22
7714.08	PF 3	300	7.77	6.34	7.84	1.39	0.22



Documento n°1. Anejos



7584.47	PF 1	340	7.62	6.64	7.95	2.72	0.49
7584.47	PF 2	320	7.47	6.55	7.84	2.81	0.52
7584.47	PF 3	300	7.4	6.45	7.74	2.71	0.51
7563.98	PF 1	340	7.7	6.47	7.89	2.17	0.37
7563.98	PF 2	320	7.57	6.37	7.77	2.24	0.39
7563.98	PF 3	300	7.47	6.27	7.68	2.25	0.4
7549.54	PF 1	340	7.7	6.22	7.87	2.05	0.35
7549.54	PF 2	320	7.57	6.13	7.76	2.08	0.36
7549.54	PF 3	300	7.48	6.04	7.66	2.07	0.36
7536.44	PF 1	340	7.53	6.24	7.85	2.62	0.45
7536.44	PF 2	320	7.39	6.15	7.73	2.68	0.47
7536.44	PF 3	300	7.33	6.05	7.64	2.54	0.45
7508.25	PF 1	340	7.46	7.02	7.8	2.86	0.51
7508.25	PF 2	320	7.33	6.95	7.69	2.9	0.52
7508.25	PF 3	300	7.24	6.87	7.6	2.88	0.53
7407.05	PF 1	340	7.5	6.74	7.64	2.08	0.38
7407.05	PF 2	320	7.4	6.69	7.56	2.14	0.39
7407.05	PF 3	300	7.3	6.65	7.43	1.94	0.36
7298.9	PF 1	340	7.53	5.94	7.57	1.19	0.2
7298.9	PF 2	320	7.44	5.91	7.49	1.2	0.21
7298.9	PF 3	300	7.34	5.88	7.38	1.16	0.2
7189.12	PF 1	340	7.48	6.45	7.54	1.39	0.24
7189.12	PF 2	320	7.39	6.41	7.46	1.39	0.25
7189.12	PF 3	300	7.29	6.38	7.35	1.4	0.25
7090.4	PF 1	340	7.45	6.07	7.51	1.35	0.24
7090.4	PF 2	320	7.36	6.04	7.42	1.36	0.25
7090.4	PF 3	300	7.27	6	7.33	1.38	0.25
6967.53	PF 1	340	7.3	6.35	7.45	1.95	0.34
6967.53	PF 2	320	7.22	5.87	7.37	1.92	0.33
6967.53	PF 3	300	7.13	5.78	7.28	1.89	0.33
6864.24	PF 1	340	7.23	5.95	7.4	1.98	0.36
6864.24	PF 2	320	7.14	5.86	7.31	1.98	0.37
6864.24	PF 3	300	7.05	5.75	7.22	1.98	0.38
6662.03	PF 1	340	6.95	6.02	7.24	2.51	0.47
6662.03	PF 2	320	6.86	5.93	7.14	2.48	0.47
6662.03	PF 3	300	6.77	5.84	7.05	2.45	0.48



6649.16	PF 1	340	7	5.69	7.2	2.14	0.38
6649.16	PF 2	320	6.91	5.62	7.11	2.11	0.38
6649.16	PF 3	300	6.82	5.54	7.01	2.07	0.38
6613.14	PF 1	340	7.02	5.42	7.16	1.76	0.31
6613.14	PF 2	320	6.93	5.34	7.07	1.72	0.3
6613.14	PF 3	300	6.84	5.27	6.97	1.68	0.3
6611.35	PF 1	340	7.01	5.12	7.16	1.83	0.3
6611.35	PF 2	320	6.92	5.05	7.06	1.78	0.3
6611.35	PF 3	300	6.83	4.97	6.97	1.73	0.3
6461.34	PF 1	340	6.49	5.88	7	3.2	0.65
6461.34	PF 2	320	6.4	5.8	6.9	3.16	0.65
6461.34	PF 3	300	6.32	5.72	6.8	3.1	0.64
6360.94	PF 1	340	6.55	5.94	6.7	1.92	0.38
6360.94	PF 2	320	6.46	5.87	6.61	1.94	0.39
6360.94	PF 3	300	6.36	5.47	6.52	1.96	0.4
6260.76	PF 1	340	5.9	5.58	6.46	3.33	0.75
6260.76	PF 2	320	5.85	5.51	6.38	3.25	0.75
6260.76	PF 3	300	5.79	5.44	6.3	3.15	0.73
6141.9	PF 1	340	6.03	5.29	6.15	1.71	0.36
6141.9	PF 2	320	5.94	5.24	6.07	1.74	0.38
6141.9	PF 3	300	5.86	5.19	5.99	1.77	0.39
6005.46	PF 1	340	6.01	4.75	6.07	1.22	0.25
6005.46	PF 2	320	5.92	4.69	5.99	1.23	0.25
6005.46	PF 3	300	5.83	4.63	5.9	1.24	0.26
5888.63	PF 1	340	5.97	4.51	6.03	1.29	0.25
5888.63	PF 2	320	5.88	4.45	5.95	1.3	0.26
5888.63	PF 3	300	5.79	4.39	5.86	1.31	0.26
5802.6	PF 1	340	5.91	4.52	6.01	1.46	0.29
5802.6	PF 2	320	5.83	4.46	5.92	1.47	0.29
5802.6	PF 3	300	5.73	4.4	5.83	1.47	0.3
5657.22	PF 1	340	5.75	4.24	5.91	1.74	0.34
5657.22	PF 2	320	5.68	4.18	5.82	1.69	0.34
5657.22	PF 3	300	5.6	4.12	5.74	1.63	0.33
5565.55	PF 1	340	5.56	4.77	5.83	2.28	0.51
5565.55	PF 2	320	5.49	4.71	5.74	2.22	0.5
5565.55	PF 3	300	5.42	4.66	5.66	2.16	0.5



5500	PF 1	340	5.57	4.86	5.72	1.82	0.4
5500	PF 2	320	5.49	4.82	5.64	1.81	0.4
5500	PF 3	300	5.41	4.77	5.55	1.79	0.41
5300	PF 1	340	5.4	4.31	5.55	1.71	0.37
5300	PF 2	320	5.32	4.26	5.46	1.68	0.37
5300	PF 3	300	5.24	4.21	5.37	1.65	0.37
5168.75	PF 1	340	5.27	4.31	5.45	1.87	0.42
5168.75	PF 2	320	5.19	4.26	5.36	1.83	0.42
5168.75	PF 3	300	5.1	4.21	5.27	1.8	0.42
5099.66	PF 1	340	5.18	4.21	5.39	2	0.43
5099.66	PF 2	320	5.1	4.15	5.3	1.95	0.42
5099.66	PF 3	300	5.02	4.1	5.21	1.9	0.42
5021.94	PF 1	340	5.11	4.16	5.31	1.96	0.43
5021.94	PF 2	320	5.03	4.11	5.22	1.92	0.42
5021.94	PF 3	300	4.95	4.04	5.13	1.87	0.42

### 1.2.2.5 Representación 3D

Como ya se ha explicado en repetidas ocasiones, el software Hec-Ras trabaja de manera unidimensional, aunque es capaz de proporcionar esquemas aproximadas tanto en 2D, como el plano en planta, como en 3D.

A continuación, se mostrarán algunas ilustraciones de la simulación en 3D, aunque hay que recalcar que los resultados obtenidos no han sido calculados de esta manera.

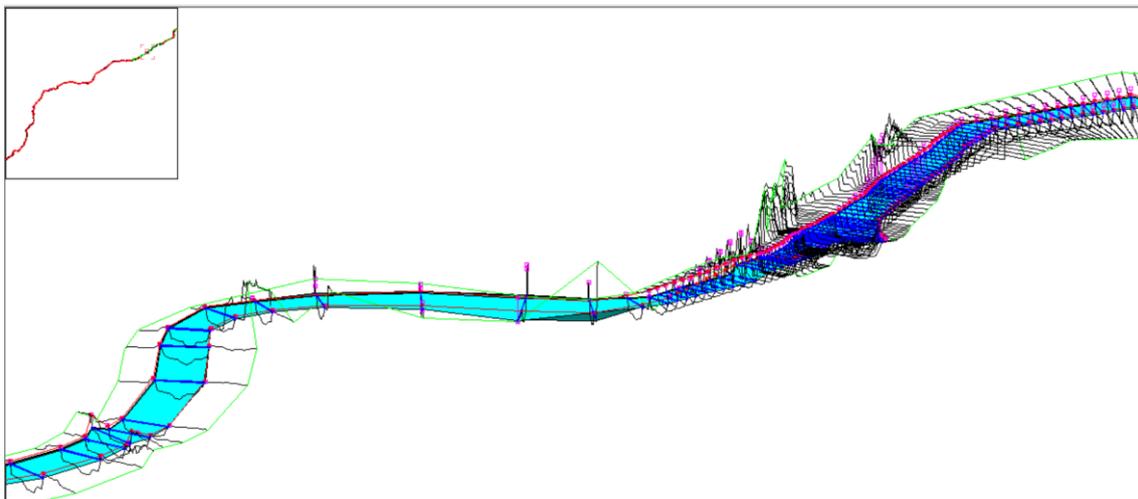


Ilustración 24

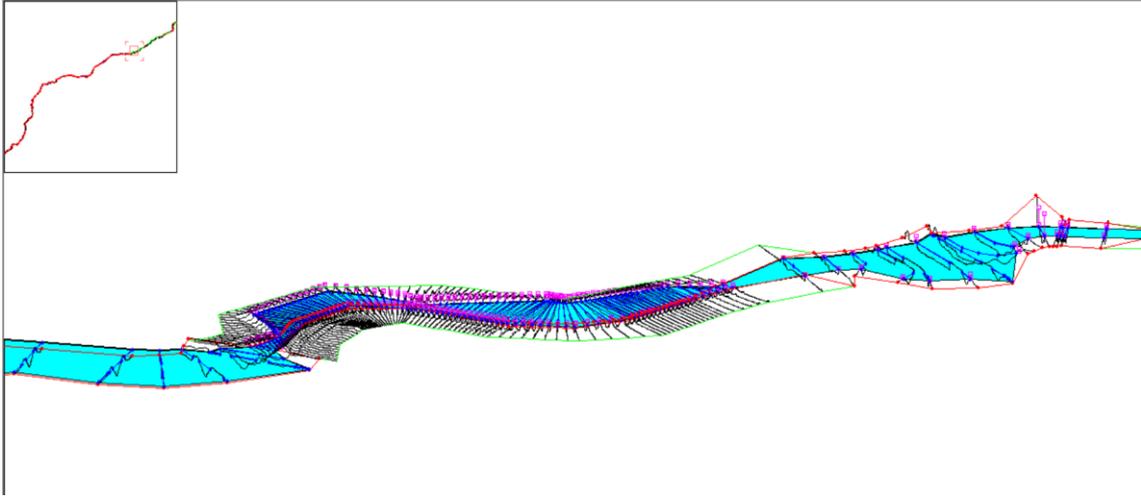


Ilustración 25

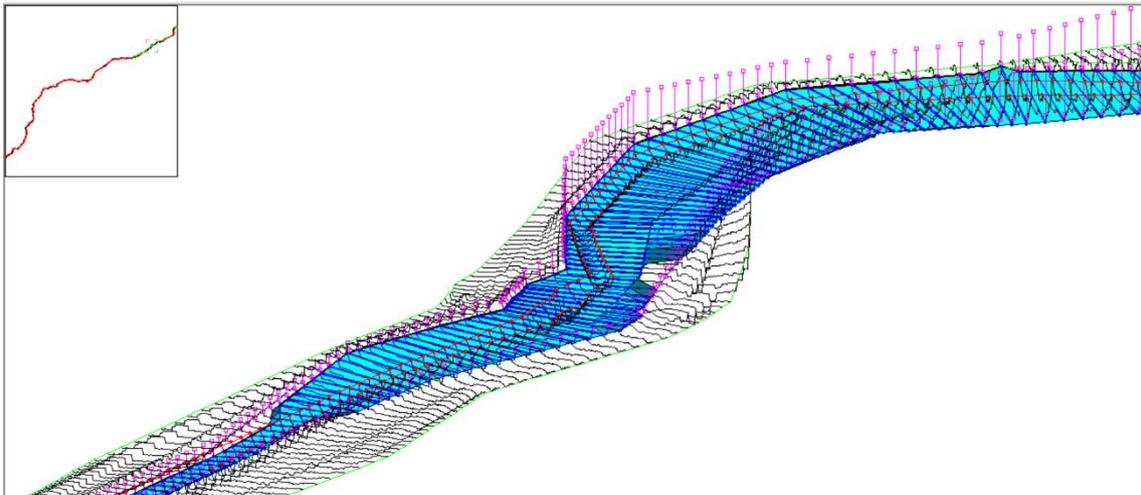


Ilustración 26



*Documento nº1. Anejos*





## 2 ANEJO DISEÑO HIDRÁULICO DEL BY-PASS AL PUENTE CARLOS III

---

### 2.1 INTRODUCCIÓN

En el presente anejo se va a mostrar la metodología seguida para el cálculo hidráulico y diseño del by-pass al puente del siglo XVIII Carlos III, situado en el centro histórico de Rojas.

Esta obra viene motivada por la necesidad de aliviar parte del caudal transportado por el Río Segura en épocas de crecida, dado que el diseño del encauzamiento en la zona urbana de Rojas del siglo pasado y el caudal admisible por el puente no son compatibles.

Se planteará el diseño final del by-pass, una estructura enterrada de tipo colector, como un marco enterrado de hormigón armado, el cual transcurrirá paralelamente al cauce principal salvando el puente de Carlos III. La embocadura será tipo aliviadero lateral, con el fin de disponer la máxima longitud de desagüe posible. El agua vertida caerá en una rampa en dirección longitudinal con el by-pass, para ayudar al agua a ser evacuada manteniendo la altura de velocidad. Circulará durante 200 metros y concluirá con el reintegro al Río Segura después del azud.

Esta obra está diseñada para colaborar con la ampliación y renaturalización del cauce aguas abajo del puente, por lo tanto, algunos de los datos que se utilizan para el diseño (profundidades, calados, energías, etc) son los obtenidos en el modelo bidimensional modificado de Hec-Ras, el cual se explica en el anejo hidráulico.

En la Ilustración 1 se puede observar un esquema de la planta del by-pass con la cual hacerse una vista aproximada de la obra.

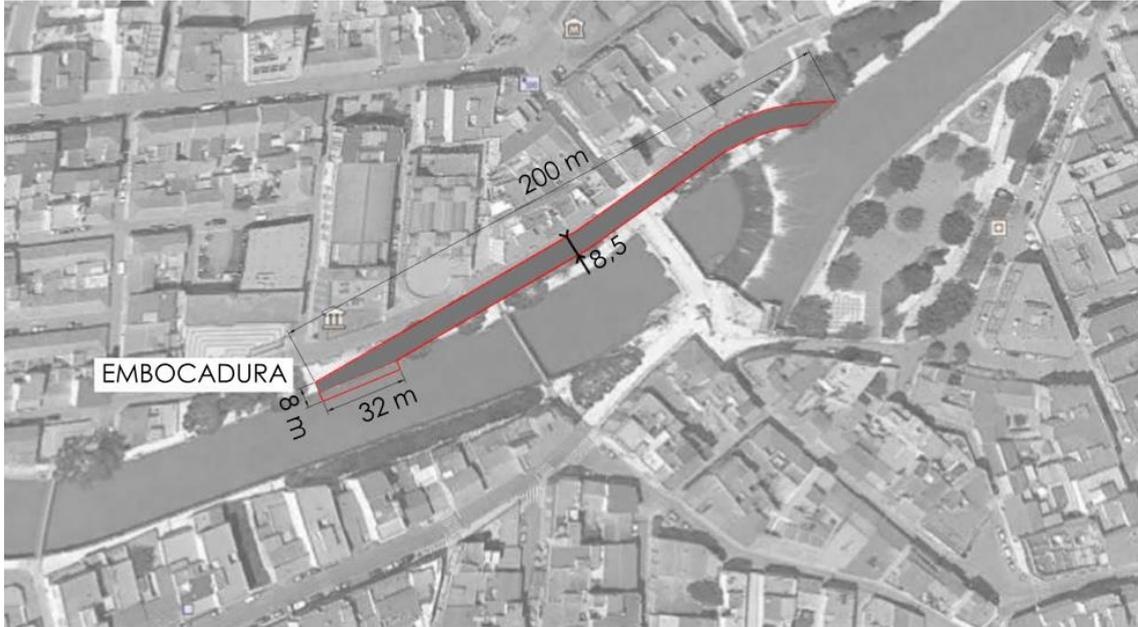


Ilustración 27 Planta del by-pass integrado. (Fuente: elaboración propia)

El primer paso llevado a cabo para comenzar con el cálculo del by-pass ha sido la toma de datos del puente, del azud y del cauce, los cuales se mostrarán a continuación detalladamente.

El procedimiento seguido para el diseño del by-pass pasa por dos fases:

- CÁLCULO AGUAS ABAJO DEL PUENTE CARLOS III: mediante la línea de agua impuesta aguas abajo del puente, igualando energías entre el cauce principal y la desembocadura del by-pass, se obtiene el calado en el by-pass para el cual la velocidad a la que circulará el agua en el interior de este sea adecuada. Con estos datos se podrá obtener la pendiente óptima del canal, y por lo tanto, la cota de la lámina de agua en la embocadura del by-pass, a partir de la cual obtener la cota inferior de la ventana de alivio.
- CÁLCULO AGUAS ARRIBA DEL PUENTE CARLOS III: dado que en situación de avenida el puente entra en carga, se ha de ver si el calado aguas arriba viene impuesto por la energía aguas debajo del puente (régimen lento) o si alguna de las secciones críticas que se explicarán después condicionan el calado aguas arriba del puente, una vez esclarecido si la transición se resuelve en régimen lento o régimen rápido se podrá obtener la energía del agua para determinar la cota a la que ha de estar la parte superior de la ventana de alivio.

En resumen, el labio inferior de la embocadura viene dictado por las condiciones hidráulicas aguas abajo del puente, y el labio superior por las condiciones aguas arriba del puente.

En los siguientes apartados se explicará de forma numérica y más detallada lo anteriormente descrito.



## 2.2 DATOS DE PARTIDA

En este apartado se recogerán todos los datos iniciales e información necesarios para el cálculo y diseño del by-pass.

### 2.2.1 Caudales

El caudal de diseño se ha fijado a partir de varias pruebas iterativas, descartando varias combinaciones posibles. Finalmente se ha concluido que el caudal de diseño serán  $320 \text{ m}^3/\text{s}$ , simulando una situación de avenida semejante a la ocurrida en septiembre de 2019. Del total del volumen proyectado, el puente de Rojales hará frente a  $197 \text{ m}^3/\text{s}$ , los cuales se han calculado que pueden pasar en carga sin riesgo de desbordamiento y los  $123 \text{ m}^3/\text{s}$  restantes serán aliviados por el by-pass.

La elección del reparto de estos volúmenes se ve justificada por las dimensiones posibles del by-pass, teniendo en cuenta el espacio disponible entre el río y el bloque de edificios al otro lado de la calzada, y por la búsqueda de transiciones en régimen lento, el cual permite un cálculo fiable y riguroso.

### 2.2.2 Datos del cauce

Los datos del cauce han sido obtenidos a partir del modelado del cauce en Hec-Ras, es decir, los datos como “Láminas de agua” o “Energías” son los correspondientes al Río Segura tras haber sido modificado, desplazando lateralmente sus motas, y para un caudal de diseño de  $320 \text{ m}^3/\text{s}$ .

En la siguiente Ilustración se muestra la localización de las cuatro secciones importantes para el diseño del by-pass. Estas secciones vienen denominadas por su distancia en metros a la desembocadura.



Posteriormente se indicarán las características de estas cuatro secciones.



Ilustración 29 Localización de las secciones influentes (Fuente: elaboración propia)

A continuación, en la Ilustración 30, se muestran los datos de las secciones extraídos del modelo bidimensional en Hec-Ras. Los datos de las secciones de interés se encuentran subrayados en amarillo.

HEC-RAS Plan: Plan2 River: EJE_Segura_05 Reach: EJE_Segura_05 Profile: PF 2												
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
EJE_Segura_05	8773.16	PF 2	320.00	4.31	7.33	7.80	9.31	0.003307	6.23	51.35	22.39	1.31
EJE_Segura_05	8743.79	PF 2	320.00	4.31	8.37	7.29	8.96	0.000628	3.41	93.93	28.30	0.60
EJE_Segura_05	8715.54	PF 2	320.00	4.31	8.37	7.05	8.93	0.000536	3.31	96.78	25.73	0.54
EJE_Segura_05	8709.82	PF 2	320.00	4.31	8.36	7.07	8.92	0.000546	3.32	96.32	25.82	0.55
EJE_Segura_05	8706.99	PF 2	320.00	4.31	8.20	7.21	8.90	0.000715	3.72	86.04	24.19	0.63
EJE_Segura_05	8694.29	PF 2	320.00	4.31	8.32	6.99	8.84	0.000500	3.20	100.03	27.11	0.53
EJE_Segura_05	8662.32	PF 2	320.00	4.31	8.23	7.11	8.81	0.000589	3.35	95.52	27.70	0.58
EJE_Segura_05	8655.14	PF 2	320.00	4.30	8.20	7.16	8.79	0.000600	3.38	94.59	28.12	0.59
EJE_Segura_05	8649.55	PF 2	320.00	4.30	8.43	6.73	8.69	0.000281	2.25	142.50	42.42	0.39
EJE_Segura_05	8641.43	PF 2	320.00	2.61	8.55	5.54	8.63	0.000054	1.23	260.80	61.14	0.19
EJE_Segura_05	8638.80	PF 2	320.00	2.61	8.47	5.92	8.62	0.000121	1.73	185.28	47.04	0.28
EJE_Segura_05	8598.20	PF 2	320.00	2.61	8.44	5.32	8.62	0.000114	1.85	172.59	34.89	0.27
EJE_Segura_05	8577.76	PF 2	320.00	2.59	8.28	5.80	8.60	0.000235	2.49	128.30	27.55	0.37
EJE_Segura_05	8502.12	PF 2	320.00	2.56	8.31	5.62	8.56	0.000175	2.19	145.82	30.63	0.32
EJE_Segura_05	8501.41	PF 2	320.00	2.56	8.27	5.68	8.56	0.000209	2.36	135.72	28.98	0.35

Ilustración 30. Datos de las secciones influentes (Fuente: Hec-Ras)

En la siguiente tabla se resumen los datos de interés de estas secciones:

SECCIÓN	DESCRIPCIÓN	COTA SOLERA (m)	LÍNEA DE AGUA (m)	ENERGÍA (m)
8773	Embocadura del by-pass	4,31	7,33	9,57
8743	Sección inmediata antes del puente	4,31	6,50	9,37
8598	Sección inmediata salida del azud	2,61	8,57	8,76
8501	Desembocadura del by-pass	2,56	8,39	8,7

Tabla 2. Datos de las secciones 8773, 8743, 8598 y 9501 tras el modelado en Hec-Ras.



Otro parámetro importante es la cota del lateral de la base de la solera en zona de desembocadura del by-pass, ya que hay que tener en cuenta que el reintegro se produce por el lado izquierdo del cauce, y no directamente en el punto medio. En la Ilustración 31 se muestra la cota especificada anteriormente, obtenida del modelado en Hec-Ras.

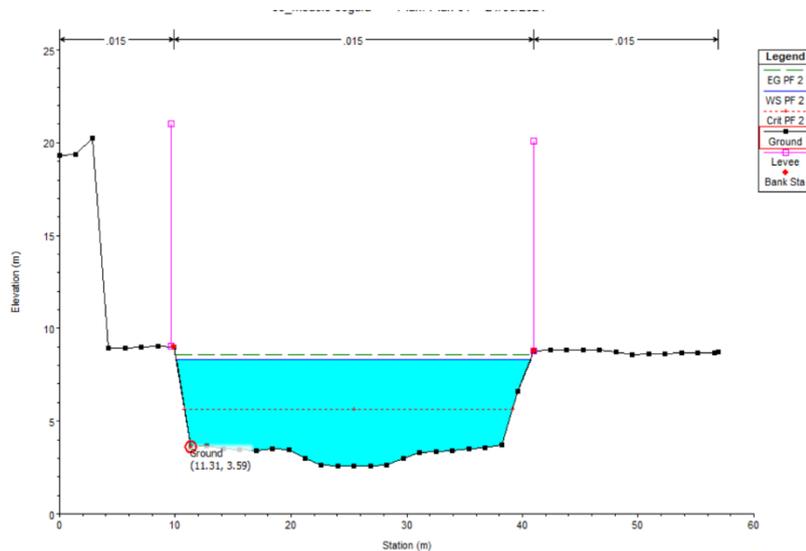


Ilustración 31. Cota solera lateral sección 8501 (Fuente: propia con Hec-Ras)

Por lo tanto:

- Cota del lateral de la solera (desembocadura del by-pass): 3,59 m.

Este dato se utilizará en el apartado 3.1 para el cálculo aguas abajo del puente.

### 2.2.3 PUENTE CARLOS III

En este apartado se pretenden recoger los parámetros utilizados para determinar el volumen admisible por el puente, así como las secciones críticas que este produce y merecen un estudio más detallado.

Dada la antigüedad del puente no existen base de datos de las que extraer su parametrización, por lo que las medidas pueden estar ligeramente desviadas de lo realmente existente, se puede suponer un orden de magnitud del error de entre 1 y 5 centímetros.

El primer paso para recopilar las medidas del puente ha sido fotografiarlo y mediante la escala dispuesta en el puente, visible en la Ilustración 2, obtener todas las medidas posibles de la parte visible del puente, se dejan indicadas en la Ilustración 3.



Ilustración 33. Escala gráfica puente Carlos III



Ilustración 32. Cotas extraídas de la escala gráfica. (Elaboración propia)

Después de esta acotación, es necesario saber la profundidad real existente dentro del azud, para saber exactamente la altura de los ojos del puente, dado que en el modelo de Hec-Ras esta medida puede verse alterada por la presencia del puente, tras buscarla en distintas bases de datos se midió *in situ* con una mancuerna, una cuerda y un metro.



Ilustración 34. Medición de la profundidad in situ.

Tras esta toma de datos, los tres agujeros del puente quedan acotados como se muestra en la Ilustración 35:

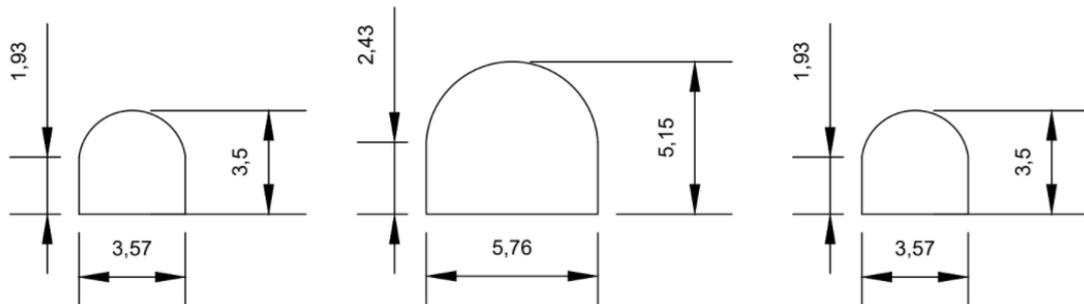


Ilustración 35. Cotas agujeros del puente. (Fuente: propia AutoCAD)

Una vez obtenidas las cotas, se procede al cálculo del área total:

- Arcos menores:

$$A1: \pi * \frac{1,57^2 + 1,785^2}{4} = 4,44 \text{ m}^2$$



$$A2: 1,93 * 3,57 = 6,89 \text{ m}^2$$

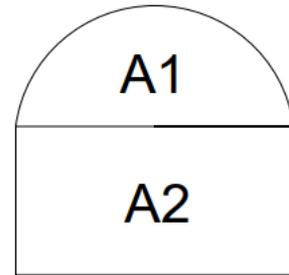
$$A_{TOT1} = 4,44 + 6,89 = 11,33 \text{ m}^2$$

- Arco mayor:

$$A1: \pi * \frac{2,88^2 + 2,72^2}{4} = 12,325 \text{ m}^2$$

$$A2: 5,76 * 2,43 = 14,00 \text{ m}^2$$

$$A_{TOT2} = 12,325 + 14 = 26,325 \text{ m}^2$$



Resultando el área total de los ojos del puente:

$$A_{TOT.Puente} = 2 * 11,33 + 26,325 = 48,985 \text{ m}^2 \approx \underline{49 \text{ m}^2}$$

Además, se ha de parametrizar el azud, tanto el ancho de las secciones potencialmente críticas como la profundidad dentro del azud, ya que al igual que en el puente, la profundidad obtenida del modelado no es fiable por la afección del puente.

Suponiendo un corte transversal al azud, las cotas de la solera son las mostradas en el siguiente esquema:



- Cota A: 5,27 m.
- Cota B: 6,38 m.
- Cota C: 4,30 m.

Siendo la cota A la más cercana al puente, la cota B el punto de inflexión del azud, a partir del cual el azud deja de almacenar agua y la cota C la del cauce.

El ancho de las secciones críticas se ha medido en planta en el Visor GVA utilizando la herramienta "Medir".



Se muestra a continuación la Ilustración 36 en la que se observa la medición del ancho en la posible primera sección crítica, la salida del azud, en la que el agua ha de sortear la primera pendiente y caer.

- Ancho sección crítica azud: 37.50 m.



Ilustración 36. Ancho sección crítica azud (Fuente: Visor GVA)

En la Ilustración 37 se muestra la medición de la segunda posible sección crítica, la sección inmediatamente después de la salida del puente.

- Ancho sección crítica salida del puente: 23,50 m.



Ilustración 37. Ancho seccion salida del puente (Fuente: Visor GVA)



## 2.3 DISEÑO BY-PASS

Como se ha mencionado anteriormente el diseño del by-pass pasa por dos fases: cálculo aguas abajo del puente, para determinar la cota de la parte inferior de la ventana y cálculo aguas arriba del puente, para determinar la cota de la parte superior de la ventana. Además, en el procedimiento, se determinará la pendiente óptima para la cual la velocidad de reintegro del caudal del by-pass al cauce principal sea lo más semejante posible a la velocidad con la que circula el agua del río, para evitar resaltos hidráulicos y secciones críticas. El objetivo es que en todo momento las transiciones discurran en régimen lento.

### 2.3.1 CÁLCULO AGUAS ABAJO DEL PUENTE

El primer paso para obtener las características del by-pass es igualar ccción 8.502, definida en el apartado anterior, y la sección última del by-pass. Los parámetros del by-pass utilizados para este procedimiento han sido elegidos por prueba y error, tras descartar otras mediciones al final del proceso, aquí directamente se realizarán los cálculos con las medidas definitivas.

La energía específica que posee el agua del canal en la sección 8.502 se obtiene por la diferencia entre la energía total de la sección menos la cota de la solera más próxima a la pared izquierda.

$$H_{8.502} = 8,56 - 3,59 = 4,97 \text{ m.}$$

Después, siguiendo la ecuación de Bernoulli, se iguala esta energía con la del by-pass. Se dispone en el by-pass un **ancho de sección de 8,50 metros**.

$$4,97 = Y + \frac{123^2}{8,5^2 * 2 * 9,82 * Y^2} \rightarrow Y = 4,42 \text{ m.}$$

- Siendo Y el calado en el interior del by-pass en la desembocadura.
- Siendo 123m<sup>3</sup>/s el caudal de diseño para el by-pass.

Una vez obtenido el calado, se puede calcular la velocidad del flujo en el canal:

$$V = \frac{123}{4,42 * 8,5} = 3,274 \text{ m/s}$$

Y el radio hidráulico, como la división entre el área y el perímetro mojado:

- Área = 4,42 \* 8,5 = 37,57 m<sup>2</sup>
- Perímetro mojado = 8,5 + 2 \* 4,42 = 17,34 m

$$R_H = \frac{37,57}{17,34} = 2,17 \text{ m}$$



A partir de este, se puede obtener la pendiente del canal, suponiendo una **longitud total de 200 metros**. Esta longitud viene justificada por el espacio disponible para la ejecución del by-pass, se ha tratado de aminorar en lo posible la afección a la zona, ya que está protegida históricamente (puente, azud y noria) y en los alrededores del río se encuentran plantados arboles antiguos, los cuales el by-pass sortearía. En la Ilustración 38 se muestra la medición del espacio disponible mediante el Visor GVA.



Ilustración 38. Longitud disponible para el by-pass. (Fuente: Visor GVA)

Diseñamos la pendiente para lograr un régimen uniforme a caudal máximo ya que optimiza el aprovechamiento hidráulico de la sección.

Además, se ha tomado como coeficiente de rugosidad 0,015; el recomendado para superficies de hormigón en canales. («Fórmula de Manning», 2021)

Tabla del coeficiente de rugosidad  $n$  de Manning

Material del revestimiento	Ven Te Chow <sup>3</sup>	I. Carreteras <sup>4</sup>
Metal liso	0,010	-
Hormigón	0,014	1/60 - 1/75
Revestimiento bituminoso	-	1/65 - 1/75
Terreno natural en roca lisa	0,035	1/30 - 1/35
Terreno natural en tierra con poca vegetación	0,027	1/25 - 1/30
Terreno natural en tierra con vegetación abundante	0,080	1/20 - 1/25

Ilustración 39. Tabla coeficientes de rugosidad (Fuente: Wikipedia («Fórmula de Manning», 2021))

Por lo tanto, la pendiente queda definida:

$$I_0 = \frac{3,27^2 \times 0,015^2}{2,17^3} = 0,00086$$

La cual, multiplicada por la longitud total del by-pass, 200 metros, da el desnivel entre la embocadura y la desembocadura.

$$\text{Desnivel} = 0,00086 * 200 = 0,17 \text{ m} = 17 \text{ cm}$$



Por lo tanto, sumando el desnivel a la cota de la solera, más el calado dentro del by-pass, obtenida anteriormente, se obtiene la cota a la que estará la lámina de agua en la embocadura, impuesta aguas abajo.

$$\text{Cota lámina de agua en la embocadura} = (3,59 + 0,17) + 4,42 = 8,18 \text{ m.}$$

Por lo tanto, 8,18 metros es la cota máxima a la que se puede poner la parte inferior de la ventana de desagüe, para que exista vertido libre y por tanto el caudal quede fijado y controlado.

## 2.3.2 CÁLCULO AGUAS ARRIBA DEL PUENTE

En primer lugar, hay que comprobar si alguna de las dos posibles secciones críticas resulta activa. Por lo tanto, hay que comprobar si alguno de los dos ensanchamientos produce que la lámina de agua que proviene del puente en carga tiene más energía que la impuesta aguas abajo por el río. De forma simplificada, hay que comprobar si alguna de las secciones produce que no se anegue el flujo proveniente del puente.

Como en todo momento, se comenzará comprobando desde aguas abajo hacia aguas arriba.

El caudal para el que se comprueba es el diseñado para pasar por el puente:  $197 \text{ m}^3/\text{s}$

### 2.3.2.1 Sección potencialmente crítica del azud

Para un ancho de 37,5 m:

- Caudal por longitud:  $q = \frac{197}{37,5} = 5,25 \text{ m}^2/\text{s}$
- Calado crítico:  $Y_c = \left(\frac{5,25^2}{9,82}\right)^{\frac{1}{3}} = 1,41 \text{ m}$
- Energía específica crítica  $H = \frac{3}{2} * 1,41 = 2,12 \text{ m}$

Por lo tanto, sumando la energía específica crítica más la cota de la solera en el punto más alto del azud se obtiene:

- $E = 2,12 + 6,38 = 8,5 \text{ m}$

Esta energía resultante es inferior a la energía impuesta aguas abajo por el calado en la sección 8598 ( $8,5 < 8,57$ ), el flujo al cambiar de sección en el azud queda anegado por la lámina de agua impuesta aguas abajo, por lo tanto, con el puente en presión, la sección del azud no produce cambio de régimen de lento a rápido. **Se mantiene el régimen lento.**



### 2.3.2.2 Sección potencialmente crítica inmediatamente aguas abajo del puente

Para un ancho de 23,5 m:

- Caudal por longitud:  $q = \frac{197}{23,5} = 8,38 \text{ m}^2/\text{s}$
- Calado crítico:  $Y_c = \left(\frac{8,38^2}{9,82}\right)^{\frac{1}{3}} = 1,927 \text{ m}$
- Energía específica crítica:  $H = \frac{3}{2} * 1,927 = 2,89 \text{ m}$

Por lo tanto, sumando la energía crítica más la cota de la solera en la salida del puente:

- $E = 2,89 + 5,27 = 8,16 \text{ m}$

Esta energía resultante es inferior a la energía impuesta aguas abajo por el calado en la sección 8598 ( $8,16 < 8,57$ ), el flujo al cambiar de sección en la salida del puente queda anegado por la lámina de agua impuesta aguas abajo, por lo tanto, con el puente en presión, aguas debajo de este no se produce cambio de régimen de lento a rápido. **Se mantiene el régimen lento.**

Una vez comprobadas las dos secciones que tenían potencial para producir un cambio de régimen, y ver que ninguna de las dos produciría un aumento de energía en el flujo mayor que la energía impuesta aguas abajo del azud, se puede proceder al cálculo de la elevación del flujo aguas arriba del puente con las condiciones del flujo aguas abajo. Esto se hace para terminar el diseño de la ventana de la embocadura, en concreto la cota superior del marco.

### 2.3.3 Energía específica aguas abajo

En primer lugar, ha de determinarse la energía que posee el flujo en la sección inmediata a la salida del puente. Para esto se ha de obtener la diferencia entre la energía impuesta aguas abajo en la sección 8598 y la cota de la solera de la sección inmediata a la salida del puente, resultando:

- $H = 8,57 - 5,27 = 3,30 \text{ m}$ .

Después, despejando del trinomio de Bernoulli, se obtiene el calado correspondiente a la energía 3,30 m al salir del puente:



$$- \quad 3,3 = y + \frac{197^2}{23,15^2 * 2 * 9,82 * y^2} \rightarrow y = 2,86 \text{ m}$$

A partir de este calado ya se puede obtener la velocidad a la que se encuentra el flujo a la salida del puente:

$$- \quad V = \frac{197}{23,5 * 2,86} = 2,93 \text{ m/s}$$

Y finalmente obtener la altura de velocidad,

$$- \quad hv = \frac{v^2}{2 * g}$$

Sustituyendo la velocidad anteriormente calculada y la aceleración de la gravedad se obtiene.

$$- \quad hv = 0,437 \text{ m}$$

### 3.3.3.1 Velocidad puente en carga

Se asume que el puente se halla en carga, quedando así del lado de la seguridad. En las precipitaciones de 2019, quedaron apenas 10 cm. de la clave en el vano principal.

$$- \quad V_{\text{puente}} = \frac{197}{49} = 4,02 \text{ m/s}$$

\*Siendo 49 el área de paso del puente anteriormente calculada, en m<sup>2</sup>.

Procediendo de forma análoga a la anterior, se calcula la altura de velocidad, para comprobar cuánto subiría la lámina de agua sobre los orificios del puente estando este en presión para el caudal seleccionado.

$$- \quad hv = 0,82 \text{ m}$$

Restando a la altura de velocidad provocada por el estrechamiento de los ojos del puente la correspondiente a la sección del ensanchamiento, se obtiene la pérdida de carga del puente por el cambio de sección de salida.

$$- \quad \Delta h = 0,82 - 0,437 = 0,383 \text{ m}$$

Se añade un 10% de la altura de velocidad producida por el estrechamiento del puente como factor correctivo por pérdidas de embocadura:

$$- \quad \text{Pérdidas} = 0,1 * 0,82 = 0,082 \text{ m}$$

Sumándolo a lo anterior se obtiene: 0,383 + 0,082 = 0,465 m



Finalmente, sumando este incremento producido por los cambios de sección a la energía del flujo ( $E=8,57$  m), la cual viene impuesta desde aguas abajo, se obtiene la cota a la que se encontraría la lámina de agua.

- Cota final =  $8,57 + 0,465 = 9,035$  m

Esta cota está por debajo de la cota a la que se encuentra la carretera (sin pretil) que transcurre paralelamente al río en la zona en la que se está diseñando el by-pass, por lo tanto, las medidas escogidas hasta el momento permiten el correcto funcionamiento de este. La cota de la carretera se ha obtenido mediante el Visor GVA, y corresponde a la cota 9,1 m.

### 2.3.3 Diseño de la ventana

En este apartado se concluirán los cálculos necesarios para el diseño del by-pass, en concreto, se demostrará el porqué de la elección de las dimensiones finales propuestas para este, elegidas tras varios descartes en los que las condiciones anteriormente comprobadas no se cumplían.

Por razones hidráulicas y constructivas el labio por el que ha de verter el agua el cauce principal al by-pass queda definido en 30 metros útiles. En la siguiente ilustración se muestra el correcto acople de esta longitud en el entorno, permitiendo que los árboles aledaños no tengan que ser eliminados ni alterados.

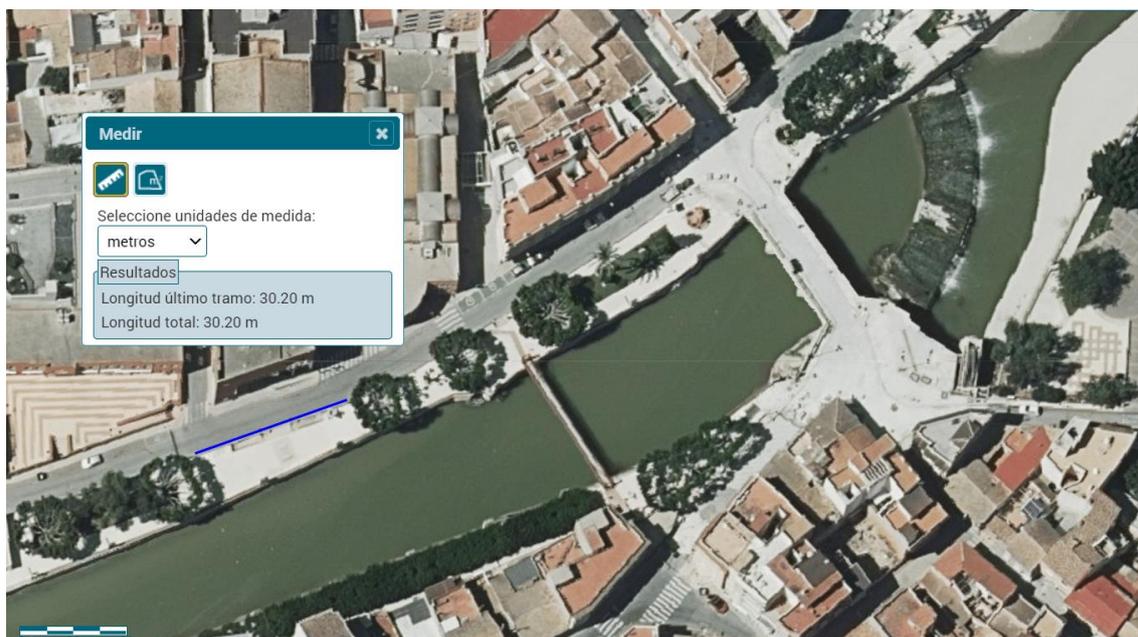


Ilustración 40. Espacio disponible para la ventana lateral. (Fuente: Visor GVA)

Por lo tanto, para una longitud de 30 metros y un caudal de  $123 \text{ m}^3/\text{s}$ :

- Caudal específico:  $q = \frac{123}{30} = 4,1 \text{ m}^2/\text{s}$



- Calado crítico:  $Y_c = \left(\frac{4,1^2}{9,82}\right)^{\frac{1}{3}} = 1,2 \text{ m}$
- Energía específica crítica:  $1,2 * \frac{3}{2} = 1,80 \text{ m}$

Esto quiere decir que la apertura necesaria para que el volumen de agua aliviado por el by-pass sea  $123 \text{ m}^3/\text{s}$  ha de ser 1,20 metros, y que, dado que la energía crítica es de 1,80m la parte inferior del marco ha de estar a 1,80 metros de la cota de la carretera sin pretil. Por lo tanto, si la cota de la carretera contigua al cauce está a la cota 9,1m, la cota inferior de la ventana habrá de estar a la cota 1,80 m.

Estas dimensiones se pueden observar en el Documento nº2, plano 3.1.

Lo ideal para este tipo de aliviaderos es conseguir un vertido aireado por las dos caras, en régimen lento, pero habiendo hecho las comprobaciones pertinentes se ha descartado esta opción puesto que el vertedero aliviaría muy poco caudal, escasamente  $45 \text{ m}^3/\text{s}$ , un tercio de los  $123 \text{ m}^3/\text{s}$  que se necesitan aliviar.

Dado esto, se ha diseñado un vertedero de pared gruesa, con sección crítica, en la que el flujo no se anegaría y sería capaz de aliviar los  $123 \text{ m}^3/\text{s}$  proyectados.



*Estudio de ampliación de capacidad y restauración ambiental del encauzamiento del río Segura entre la AP – 7 y el puente de la carretera CV – 91 (T.T. M.M. de Formentera del Segura y Rojas, Alicante)*





### 3 ANEJO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

#### 3.1 OBJETO Y ALCANCE DE ESTUDIO

En el presente anejo se pretende caracterizar geológica y geotécnicamente las diferentes zonas por las que transcurre el proyecto de ampliación de capacidad y restauración ambiental del encauzamiento del río Segura entre la AP – 7 y el puente de la carretera CV – 91 (T.T. M.M. de Formentera del Segura y Rojas, Alicante).

El trabajo se desarrolla en dos fases: estudio geológico y estudio geotécnico. Para el análisis de estos se ha consultado información existente en lo referente a ensayos y estudios en las inmediaciones al río Segura en la zona urbana de Rojas. Se ha podido contar con la información proporcionada por la Conselleria de Territori i Habitatge de la Generalitat Valenciana en el Plan de acción territorial del corredor del Río Segura.

El estudio geológico ha tenido por objeto determinar la naturaleza del terreno a lo largo del río, definiendo la litología, características y condiciones de las secciones existentes.

#### 3.2 MARCO GEOLÓGICO

El área de estudio se localiza en la Cordillera Bética, cordillera que comprende el conjunto de montañas y valles, situados en el sector más occidental de las Cadenas Alpinas Mediterráneas, formando un cinturón montañoso ubicado al sur y al sureste de la Península Ibérica. Tiene una longitud, dentro de la Península, de 600 kilómetros y una anchura de casi 200 kilómetros, que disminuye en su extremo oriental donde desaparece bajo el Mediterráneo para volver a emerger en las Islas Baleares. Está limitada al norte por la Meseta Ibérica y al Sur por el mar Mediterráneo.

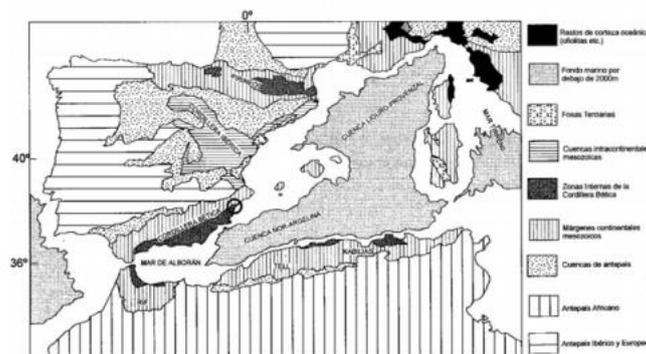


Ilustración 41. Esquema geológico del Mediterráneo occidental (modificado de DE RUIG, 1992, en Alfaro,

Si se atiende meramente a las características geológicas, la Cordillera Bética pertenece al sistema Alpino, en concreto al Orogéneso Premediterráneo, que ocupa desde el Estrecho de Gibraltar hasta Asia Menor. En el Orogéneso Premediterráneo, la Cordillera Bética es un



elemento con características similares en su extensión, como la estructura de cabalgamientos y mantos de corrimientos, mayoritariamente de edad terciaria, y el desarrollo de un metamorfismo regional. Atendiendo a las posiciones relativas respecto al margen exterior de la Cordillera Bética se pueden distinguir claramente dos grandes conjuntos, con características litológicas y estructuras bien diferenciadas: Zonas Externas Béticas y Zonas Internas Béticas.

Dentro del ámbito de la Cordillera Bética se encuentran, además, unas cuantas depresiones o cuencas interiores rellenas por depósitos recientes, que se originaron esencialmente por procesos de fracturación tardía respecto a la edificación de la estructura fundamental de pliegues y cabalgamientos.

El área de estudio está ocupada por las depresiones postectónicas Neógeno – Cuaternarias de la Vega Baja del Segura, Cubeta de Torrevieja y el sector oriental del Campo de Cartagena (Cubeta de S. Pedro del Pinatar) individualizadas a partir del Mioceno superior (MONTENAT, Ch. 1977) y que se localizan en el extremo más oriental de la Cordillera.

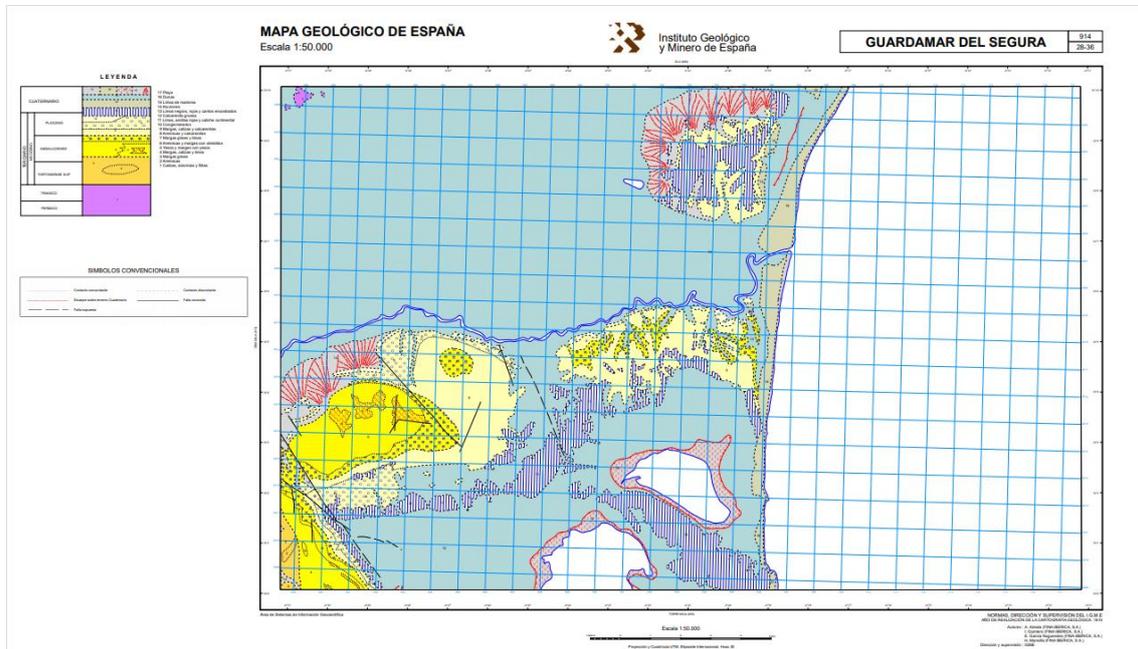


Ilustración 42. Hoja geológica nº914

La zona sometida a estudio se sitúa en la Unidad Geológica de la Vega del Segura. El relleno sedimentario de las depresiones engloba materiales que van desde el mioceno superior hasta el cuaternario.

Los depósitos neógenos consisten, fundamentalmente, en conglomerados, margas, areniscas y calcarenitas; las margas presentan abundancia de yeso en el mioceno terminal, por otra parte, los depósitos cuaternarios están constituidos por conglomerados, gravas, arenas, limos y arcillas con restos de materia orgánica, depositados en medios sedimentarios aluviales, coluviales, fluviales, lagoonales y litorales.

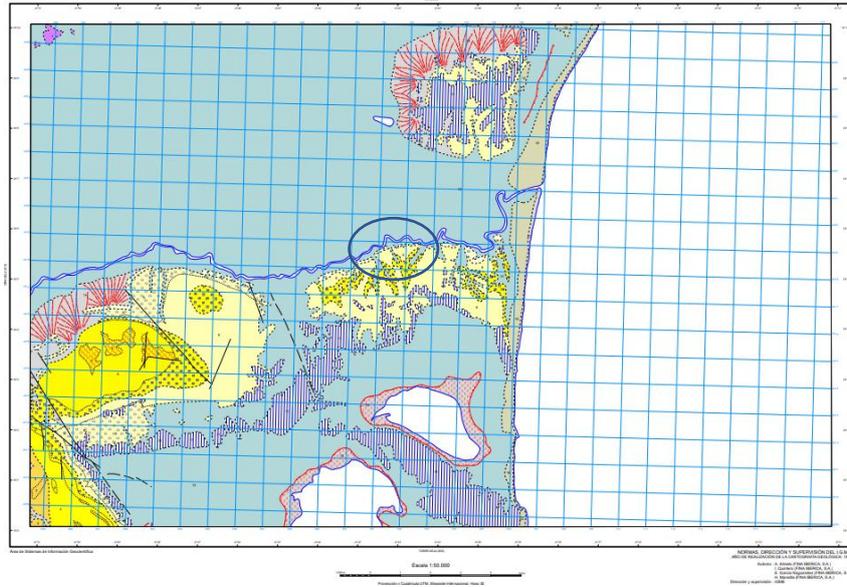


Ilustración 43. Hoja geológica nº914

Geológicamente la zona de estudio presenta una depresión intramontañosa de las cordilleras Béticas, concretamente de la Zona Interna. La Zona Bética está constituida mayoritariamente por terrenos correspondientes a un zócalo paleozoico al que acompaña una cobertura mesozoica y, localmente, terciaria, con facies someras, que es en general reducida y discontinua.

Además, esta zona se encuentra en un substrato antiguo, mesozoico-terciario tectonizado de estilo Alpino. En la capa superior de este substrato se dispone de forma discordante un considerable relleno de materiales neógenos y cuaternarios, no afectados por las principales deformaciones, los cuales constituyen la Vega baja del Segura. Es en esta cobertura donde se sitúa la zona de actuación, de hecho, es la zona donde por su cercanía al río Segura, los estratos cuaternarios alcanzan su mayor espesor, encontrando limos y arcillas recubiertos de una amplia cubierta vegetal, resultado de la fuerte acción humana en la Vega Baja por los cultivos tradicionales de la Huerta de Orihuela:

- Aluvial: Limos y Arcillas con niveles de gravas. Aparecen zonas más o menos encostradas.
- Coluvial-aluvial: Limos con cantos heterométricos y angulosos al pie de los relieves.

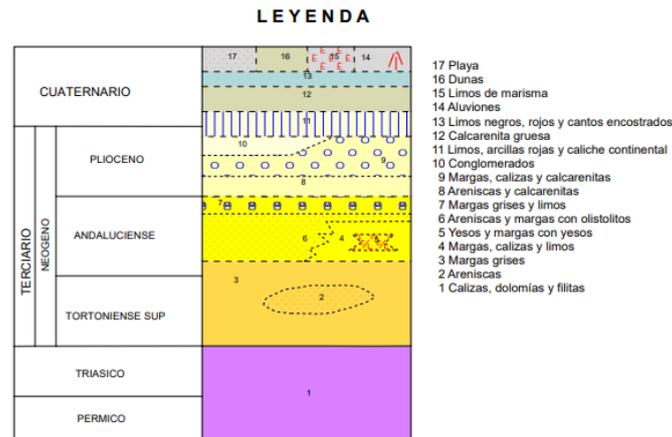


Ilustración 45 Leyenda de la hoja geológica nº914

Ilustración 44. Leyenda Hoja Geológica nº914 (Guardamar del Segura)

### 3.3 Litoestratigrafía de las formaciones afectadas.

La zona de estudio se desarrolla en su totalidad sobre materiales pertenecientes al Cuaternario, de la gran llanura aluvial del Río Segura, encontrándose materiales de tipo detrítico de origen aluvial sobre los que se ha desarrollado una cobertura de terreno vegetal y cultivo, dado su alto contenido en mineralización.

En las zonas adyacentes a las márgenes del río, los depósitos existentes son del Cuaternario aluvial, compuesto por arcillas y limos de color marrón con algunos trazos arenosos o gravas. El espesor de la tierra vegetal suele presentar una potencia de 50 cm o superior.

### 3.4 Hidrogeología.

La totalidad del trazado pertenece a la Unidad Hidrogeológica 07.24 Vega Media y Baja de Segura, en la zona IX Sur de Alicante, en el Dominio Nº5 “Vegas del Segura” de la Cuenca Hidrográfica del Segura.

Los acuíferos de esta zona se sitúan sobre el Cuaternario aluvial previamente descrito. Se distingue un acuífero libre en las arenas y limos y otro más profundo confinado o semiconfinado donde predominan las gravas. Este segundo acuífero, el más profundo, se encuentra comunicado con otros acuíferos profundos, todos de similares características, siendo estas mejores que el acuífero superior, con el que no tienen conexión alguna.

El acuífero denominado “Acuífero Cuaternario Superficial”, el superior, se extiende a lo largo de toda la zona llegando hasta el mar. Presenta un espesor que oscila entre 3 y 20 m. Su nivel piezométrico se sitúa entre 1 y 3 m.

La única zona con riesgo hidrogeológico se encuentra en las proximidades al cauce del Río Segura, por las grandes crecidas y desbordamientos. Según el Plan de Acción Territorial contra Riesgos de Inundación de la Comunidad Valenciana (PATRICOVA) en su última publicación, del



año 2015, al norte del río se observa un Nivel 2 de riesgo por peligrosidad de inundación (frecuencia media (100 años) y calado alto (>0.8 m)), correspondiendo con la zona de cultivos, así como en el interior de los meandros. En la zona urbana, correspondiente con el término municipal de Rojasles, queda indicado como zona con peligrosidad geomorfológica.

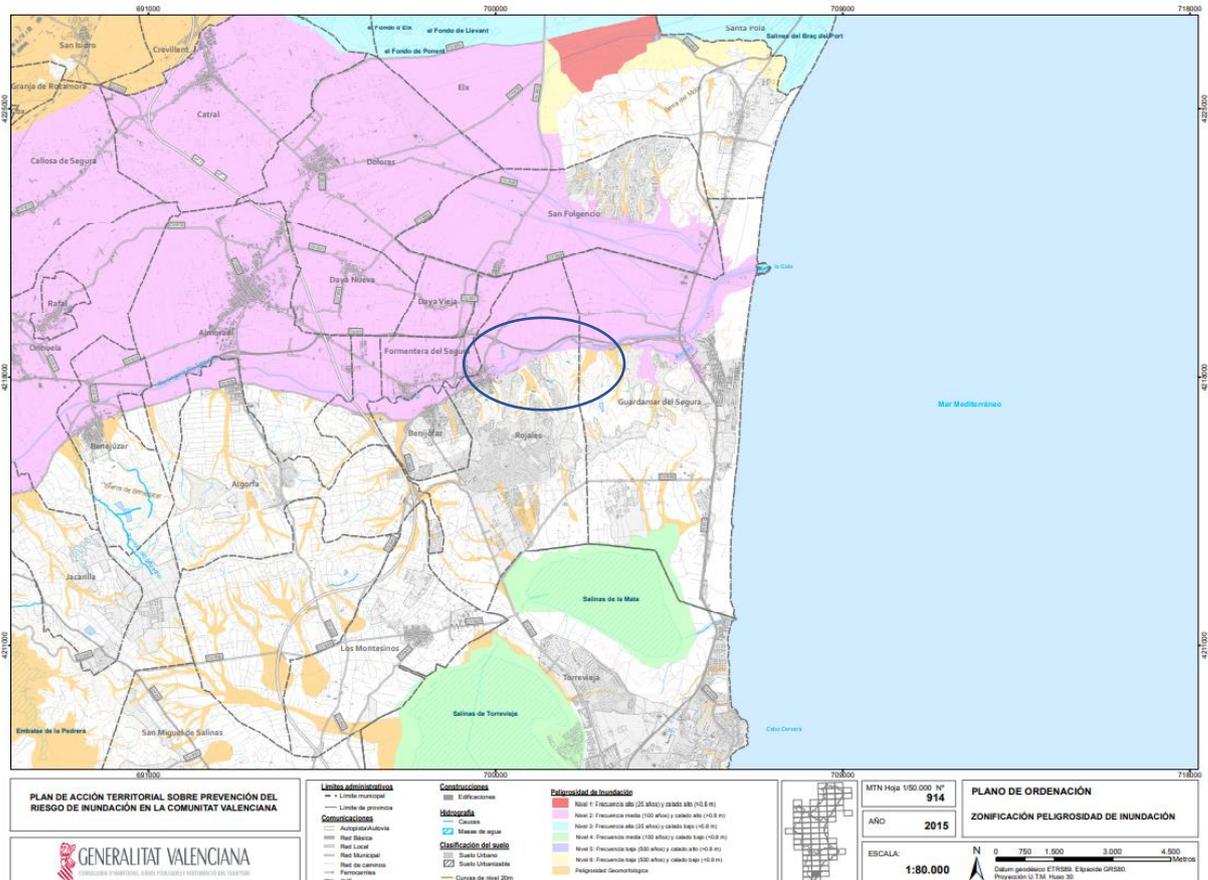


Ilustración 46. Mapa 914 PATRICOVA ZONIFICACIÓN PELIGROSIDAD DE INUNDACIÓN

Entendiendo como diferencia entre riesgo y peligrosidad que el peligro es una condición ó característica intrínseca que puede causar lesión o enfermedad, daño a la propiedad y/o paralización de un proceso, y que el riesgo es la combinación de la probabilidad y la consecuencia de no controlar el peligro, en la Ilustración 6 se muestra la zonificación del riesgo de inundación en la zona de estudio, extraída del el Plan de Acción Territorial contra Riesgos de Inundación de la Comunidad Valenciana (PATRICOVA) de 2015. En esta ocasión el riesgo en la zona de estudio se eleva a “Muy alto” en algunas zonas cercanas al núcleo urbano, en las que el río atraviesa Rojasles, y “Alto” en las que el río está rodeado de cultivos y no de edificaciones.





Municipio	$a_b/g$	$K$
Orihuela	0,16	(1,0)
Orxeta	0,09	(1,0)
Parcent	0,07	(1,0)
Pedreguer	0,06	(1,0)
Pego	0,07	(1,0)
Penàguila	0,07	(1,0)
Petrer	0,09	(1,0)
Pilar de la Horadada	0,12	(1,0)
Pinoso	0,09	(1,0)
Planes	0,07	(1,0)
Poblets, Els	0,06	(1,0)
Polop	0,08	(1,0)
Quatretondeta	0,07	(1,0)
Rafal	0,16	(1,0)
Ràfol d'Almúnia, El	0,07	(1,0)
Redován	0,16	(1,0)
Relleu	0,08	(1,0)
<b>Rojales</b>	<b>0,15</b>	<b>(1,0)</b>
Romana, La	0,11	(1,0)
Sagra	0,07	(1,0)
Salinas	0,08	(1,0)
San Fulgencio	0,16	(1,0)
San Isidro	0,15	(1,0)

Ilustración 48. Sismicidad Rojales según NCSE-02.

Dadas las características existentes en la dinámica aluvial del Río Segura, formaciones arcillosas muy plásticas, con algunos niveles arenosos o gravas, se considera conveniente adoptar un coeficiente C correspondiente a un terreno tipo IV (Suelo granular suelto o cohesivo blando, con una velocidad de propagación de las ondas elásticas transversales  $V_s$  200 m/s)

### 3.6 GEOTÉCNIA

Las propiedades geotécnicas que se encuentran en la zona de estudio, perteneciente al bajo Segura, se han extraído principalmente de los ensayos realizados por ADIF para su Proyecto Modificado del Proyecto de Obras de Plataforma de la Línea de Alta Velocidad Madrid-Levante, Tramo Orihuela-Colada de la Buena Vida. Al final del documento se adjuntan los resultados de los ensayos anteriormente mentados.

El estudio por parte de ADIF data de 2010 y abarca toda la zona, con los suficientes sondeos para poder asegurar que en los niveles profundos (en torno a 40 metros) se encuentran estratos de materiales Pliocuaternarios, los cuales se encuentran muy consolidados, gracias a la acumulación de arrastre hacia la cuenca sedimentaria y su consolidación en períodos de cientos/miles de años.

En los primeros 30 metros se pueden observar dos estratos de aproximadamente 10 metros de espesor de materiales arcillosos, separados entre sí por un estrato de potencia similar de material arcilloso.



Se puede deducir la siguiente columna estratigráfica:

- Material Aluvial QI1 (arcillosos)

Se divide en dos niveles:

Nivel 1: capa superficial, espesor medio de 2 metros; formado por materiales fundamentalmente de rellenos arcillo limosos con cantos y tierras vegetales, por encima del nivel freático, con apariencia compacta.

Nivel 2: Entre -2 y -8 metros. Materiales fundamentalmente arcillosos, de permeabilidad baja o muy baja. Muy flojos, con resistencia a la perforación (CPTU por punta)  $\leq 10$  kg/cm<sup>2</sup>. NSPT  $\leq 10$

- Material Aluvial QI2-3 (limosos y arenosos)

Nivel 3: Entre -8,00 y -32,00 metros con espesor medio de 24-29 metros. Está formado por una sucesión alterna de materiales arcillolimosos y arenolimosos, con permeabilidad muy variable, de baja a media/alta, y de consistencia variable, siendo su resistencia a la perforación oscilante entre 10-20 kg/cm<sup>2</sup> en los niveles más arcillosos y mayor de 20 kg/cm<sup>2</sup> en los niveles más arenosos.

- Material Aluvial QI3 (arenosos)

Nivel 4: Entre -32 y -35 metros, con espesor medio de 2-3 metros. Está formado por materiales fundamentalmente arenosos y arenolimosos, con permeabilidad variable, media o incluso media-alta, al igual que su consistencia, con mejores niveles de resistencia a la perforación: CPTU  $\geq 20$  kg/cm<sup>2</sup> en los niveles más arenosos. En cuanto a los valores del SPT, se han encontrado  $10 \leq \text{NSPT} \leq 30$ , hasta la cota de -35 metros de media.

- Material Pliocuatenario PQ1-2

Nivel 5: A partir de -35,00 metros, hasta el final del sondeo, con materiales fundamentalmente arenosos de permeabilidad variable igualmente de baja a media-alta y consistencia variable, con una alta resistencia a la perforación, con valores superiores a 50 kg/cm<sup>2</sup> en los niveles más arenosos y los niveles con gravas y valores en el ensayo SPT de NSPT  $\geq 30$ , desde la cota de -35 metros de media.