



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería Civil

Estudio y diseño de una conducción verde para el encauzamiento de los caudales de crecida desbordados del río Segura al humedal de El Hondo de Elche. (T.T. M.M. de Formentera del Segura, Daya Nueva, Daya Vieja y San Fulgencio, Alicante).

DOCUMENTO I DE III
TOMO II ANEJOS

Autor:
Boscarol Orive, Samuele

Fecha: Septiembre, 2021
Tutor: Dr. D. Juan Bautista Marco Segura
Cotutor: D. Miguel Ángel Eguívar Galán

ÍNDICE

ÍNDICE.....	2
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	3
1. ANEJO HIDRÁULICO DEL CANAL DE DERIVACIÓN DE AGUA.....	4
1.1. INTRODUCCIÓN.....	4
1.2. FÓRMULAS BÁSICAS.....	4
1.3. COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING.....	4
1.4. RADIO HIDRÁULICO.....	5
1.5. PROGRAMAS EMPLEADOS EN LA MODELIZACIÓN.....	5
1.5.1. QGIS.....	5
1.5.1.1. Datos de partida.....	5
1.5.1.2. Diseño en planta.....	6
1.5.2. HEC-RAS.....	10
1.5.2.1. Datos de partida.....	10
1.5.2.2. Condiciones de contorno.....	10
1.5.2.3. Modelización del cauce.....	11
1.5.2.3.1. Inserción de las secciones.....	11
1.5.2.3.2. Interpolación de las secciones.....	11
1.5.2.3.3. Puentes.....	12
1.5.2.3.4. Resultados.....	12
1.5.2.3.4.1. Perfil longitudinal..	12
1.5.2.3.4.2. Secciones....	12
1.5.2.3.4.3. Resultados numéricos....	43
1.5.2.3.4.4. Representación 3D.....	44
2. ANEJO HIDRÁULICO DEL ALIVIADERO EN FORMA DE TECLAS DE PIANO.....	44
2.1. INTRODUCCIÓN.....	44
2.2. DATOS DE PARTIDA.....	44
2.3. CÁLCULO HIDRÁULICO.....	45
2.4. DISEÑO DEL ALIVIADERO EN FORMA DE TECLAS DE PIANO.....	47
3. ANEJO GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO.....	47
3.1. INTRODUCCIÓN.....	47
3.2. OBJETO Y ALCANCE DEL ESTUDIO.....	48
3.3. MARCO GEOLÓGICO.....	48
3.4. TOPOGRAFÍA DE LA CUENCA DEL SEGURA.....	48
3.5. EDAFOLOGÍA.....	49
3.6. HIDROGEOLOGÍA.....	50
3.7. SISMICIDAD.....	51
3.8. GEOTECNIA.....	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diseño en planta del canal de derivación. I (Fuente: QGIS, elaboración propia).....	6
Figura 2. Diseño en planta del canal de derivación. II (Fuente: QGIS, elaboración propia).....	6
Figura 3. Diseño en planta del canal de derivación. III (Fuente: QGIS, elaboración propia).....	7
Figura 4. Diseño en planta del canal de derivación. IV (Fuente: QGIS, elaboración propia).....	7
Figura 5. Diseño en planta del canal de derivación. V (Fuente: QGIS, elaboración propia).....	8
Figura 6. Diseño en planta del canal de derivación. VI (Fuente: QGIS, elaboración propia).....	8
Figura 7. Diseño en planta del canal de derivación. VII (Fuente: QGIS, elaboración propia).....	9
Figura 8. Diseño en planta del canal de derivación. VIII (Fuente: QGIS, elaboración propia)....	9
Figura 9. Diseño en planta del canal de derivación. IX (Fuente: QGIS, elaboración propia)....	10
Figura 10. Ejemplo de secciones interpoladas y un puente (Fuente: HEC-RAS, elaboración propia).....	11
Figura 11. Perfil longitudinal del canal de derivación de agua (Fuente: HEC-RAS, elaboración propia).....	12
Figura 12. Resultados numéricos (Fuente: HEC-RAS, elaboración propia).....	43
Figura 13. Representación 3D (Fuente: HEC-RAS, elaboración propia).....	44
Figura 14. Ejemplificación del Aliviadero en forma de Teclas de Piano (Fuente: Optimización geométrica de aliviaderos en tecla de piano para la mejora de su capacidad hidráulica, 2019).....	47
Figura 15. Masas de agua superficiales continentales en la CHS (Fuente: CHS, Plan Hidrológico 2015-2021, 2015).....	50

1. ANEJO HIDRÁULICO DEL CANAL DE DERIVACIÓN DE AGUA

1.1. INTRODUCCIÓN

En el siguiente anejo se explicará de dónde vienen los datos obtenidos para los posteriores cálculos del canal, sabiendo que el objetivo de éste es que pueda llegar a alcanzar los 150 m³/s que le tocarían soportar en caso de una supuesta avenida máxima. El canal que se diseñará consta de tres tramos cuyas características ya han sido explicadas previamente en la memoria.

A continuación, mostraremos distintos cálculos hidráulicos del canal de derivación de agua y los diferentes programas que han sido empleados para poder llevar a cabo todos los cálculos y lo que se ha realizado en cada uno de ellos. Los programas utilizados han sido QGIS y HEC-RAS.

1.2. FÓRMULAS BÁSICAS

La expresión básica que se emplea para los cálculos hidráulicos de los canales del encauzamiento es la ecuación de la energía de Manning, que describe el comportamiento de un flujo en lámina libre:

$$v = \frac{1}{n} * R_h^{\frac{2}{3}} * \sqrt{i}$$

donde:

- v = velocidad del fluido, en m/s
- n = coeficiente de Manning
- R_h = radio hidráulico, en m
- i = pendiente de la conducción, en tanto por uno

Para calcular el caudal que circula por un canal hay que multiplicar la velocidad del flujo por el área de la sección transversal de dicho flujo, es decir:

$$Q = A * v$$

donde:

- Q = caudal en m³/s
- A = área de la sección transversal (superficie mojada) en m²
- v = velocidad del flujo, en m/s

En nuestro caso, en función de la parte del tramo que nos encontremos obtendremos unos resultados u otros, visto que los datos dependiendo en qué parte del canal nos situemos varían.

1.3. COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING

Es un coeficiente que depende del material de construcción. Con la fórmula de Strickler podemos obtener dicho coeficiente en función del tamaño medio de la escollera para el primer tramo. El tamaño óptimo medio de la escollera se determina

en el anejo Geológico-Geotécnico (0,55 metros aproximadamente). Así que según Strickler el coeficiente de Manning en el primer tramo es de:

$$n = \frac{d_{50}^{\frac{1}{6}}}{21,1} = \frac{0,47^{\frac{1}{6}}}{21,1} \cong 0,042$$

Este sería el valor del coeficiente de Manning si la escollera fuese vertida, pero para nuestro primer tramo escogeremos escollera colocada, que tendrá un mayor tamaño medio ($d_{50} = 0,60$ metros) pero un valor de Manning inferior, visto que su rozamiento con el agua disminuye significativamente cuando ésta se coloca con mayor precisión. En consecuencia, el valor de coeficiente de Manning para este primer tramo será de 0,03.

Para el segundo y tercer tramo, como son corredores verdes ambientalmente integrados hechos con hidrosiembra se ha dado un valor del coeficiente de Manning de 0,025.

1.4. RADIO HIDRÁULICO

El radio hidráulico consiste en la división del área de una sección de un canal entre su perímetro mojado:

$$R_h = \frac{A}{P_m}$$

El máximo radio hidráulico teórico del primer tramo, teniendo en cuenta de que se trata de un canal trapecial, sería:

$$R_h = \frac{\frac{(38 + 14) * 3,5}{2}}{14 + 2 * \sqrt{12^2 + 3,5^2}} = 2,3 \text{ m}$$

En los tramos dos y tres no se puede calcular su radio hidráulico exactamente debido a que su ancho es variable, cada sección tiene las riberas derecha e izquierda distintas entre sí y además cada sección tiene unos anchos diferentes.

1.5. PROGRAMAS EMPLEADOS EN LA MODELIZACIÓN

1.5.1. QGIS

1.5.1.1. Datos de partida

El meandro del cauce original del río Segura inmediatamente aguas abajo de la autovía AP-7 será ampliado hacia el Norte para darle mayor capacidad al río, en consecuencia, el comienzo de nuestro canal de derivación de agua también se verá desplazado y su longitud se verá ligeramente reducida, visto que comienza justo después del aliviadero en forma de teclas de piano que se encuentra en la margen izquierda del río (ampliada).

1.5.1.2. Diseño en planta

Este programa ha sido empleado principalmente para realizar la propuesta en planta de la estructura y para determinar los puntos estratégicos en los que irán situadas las 52 secciones obtenidas a lo largo de todo el canal. A continuación, se muestra el diseño en orden con sus respectivas secciones:

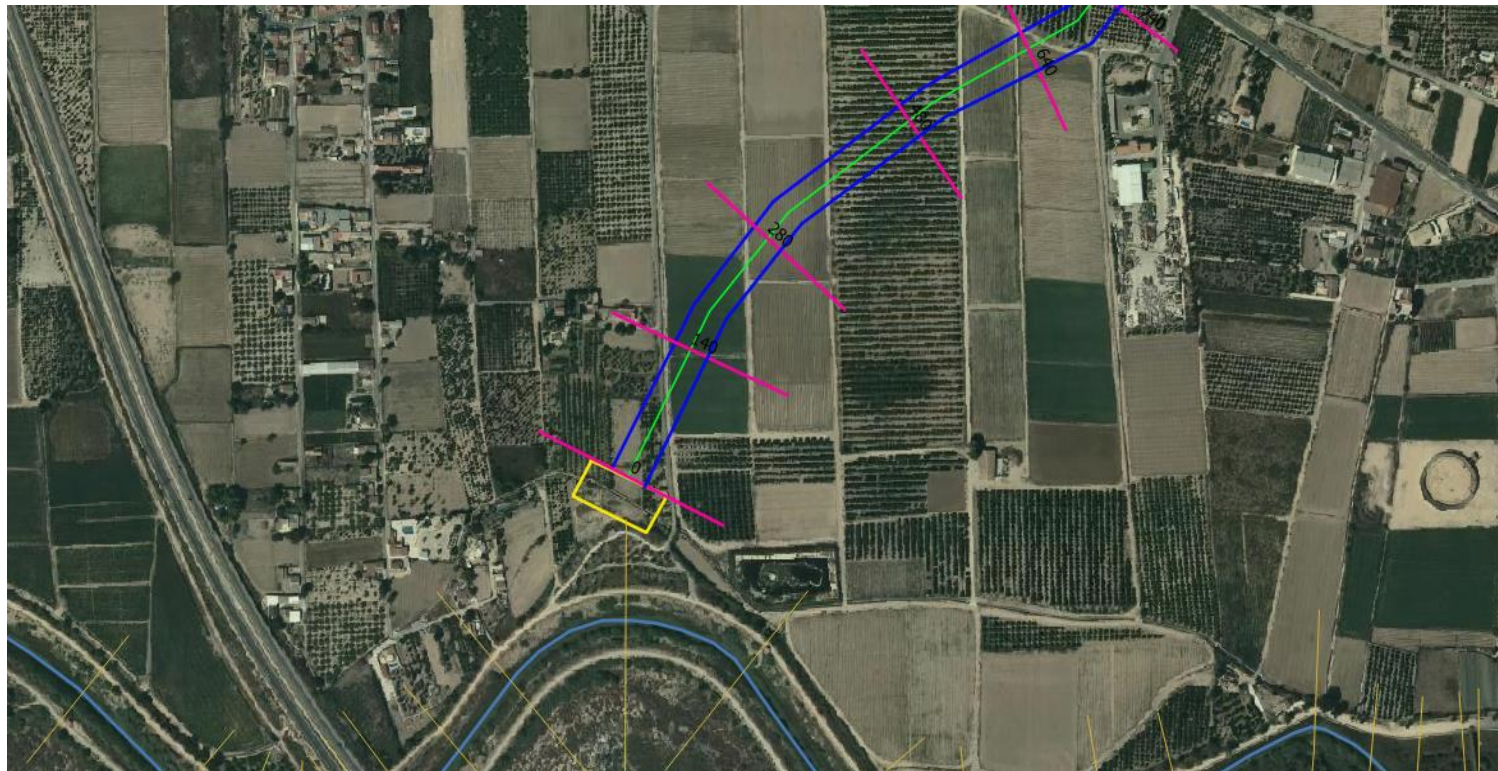


Figura 1. Diseño en planta del canal de derivación. I (Fuente: QGIS, elaboración propia).



Figura 2. Diseño en planta del canal de derivación. II (Fuente: QGIS, elaboración propia).



Figura 3. Diseño en planta del canal de derivación. III (Fuente: QGIS, elaboración propia).

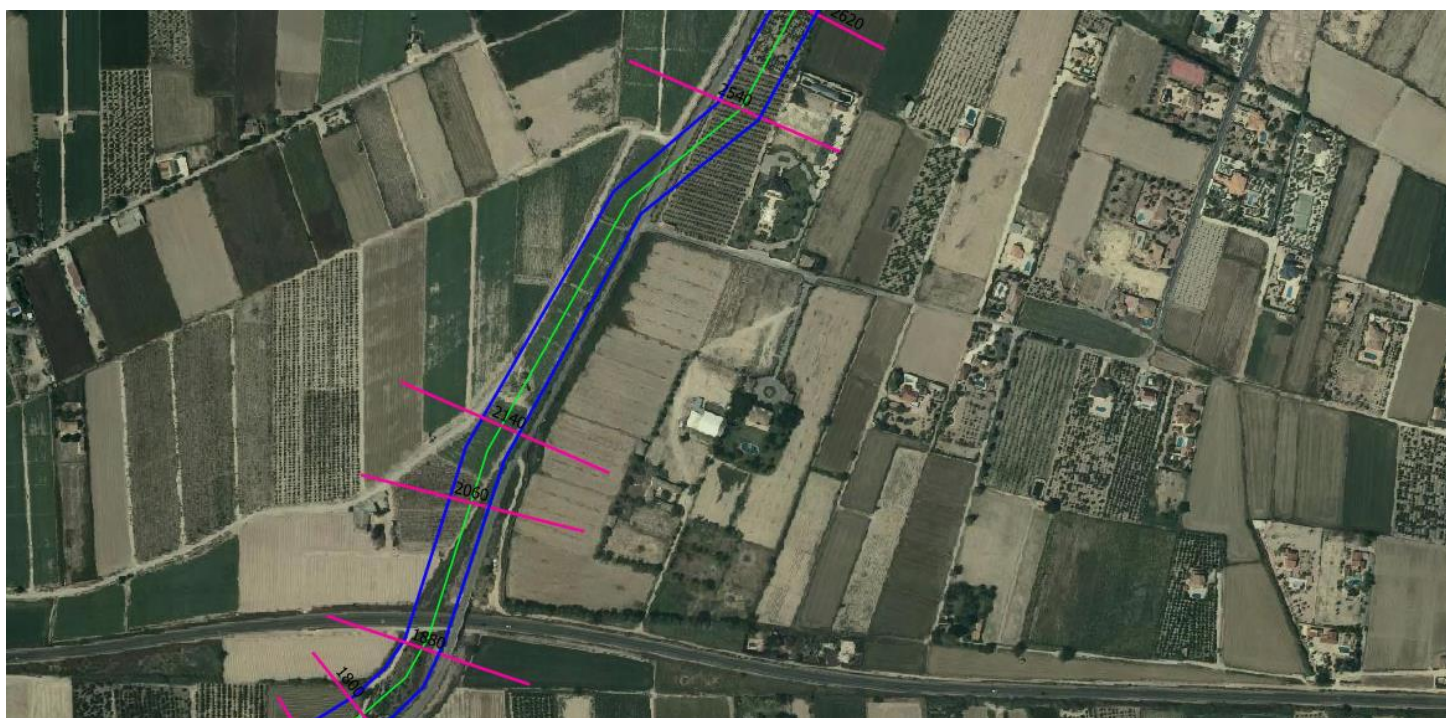


Figura 4. Diseño en planta del canal de derivación. IV (Fuente: QGIS, elaboración propia).

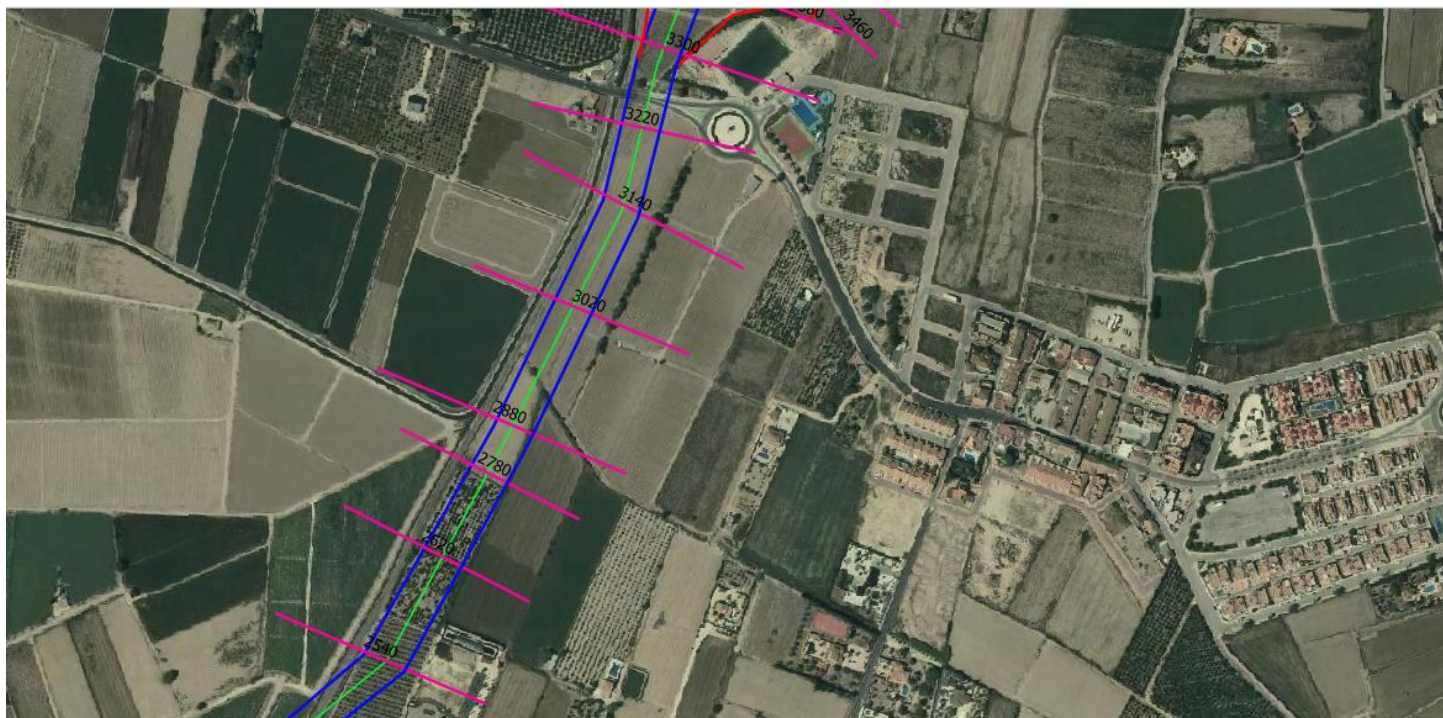


Figura 5. Diseño en planta del canal de derivación. V (Fuente: QGIS, elaboración propia).



Figura 6. Diseño en planta del canal de derivación. VI (Fuente: QGIS, elaboración propia).



Figura 7. Diseño en planta del canal de derivación. VII (Fuente: QGIS, elaboración propia).

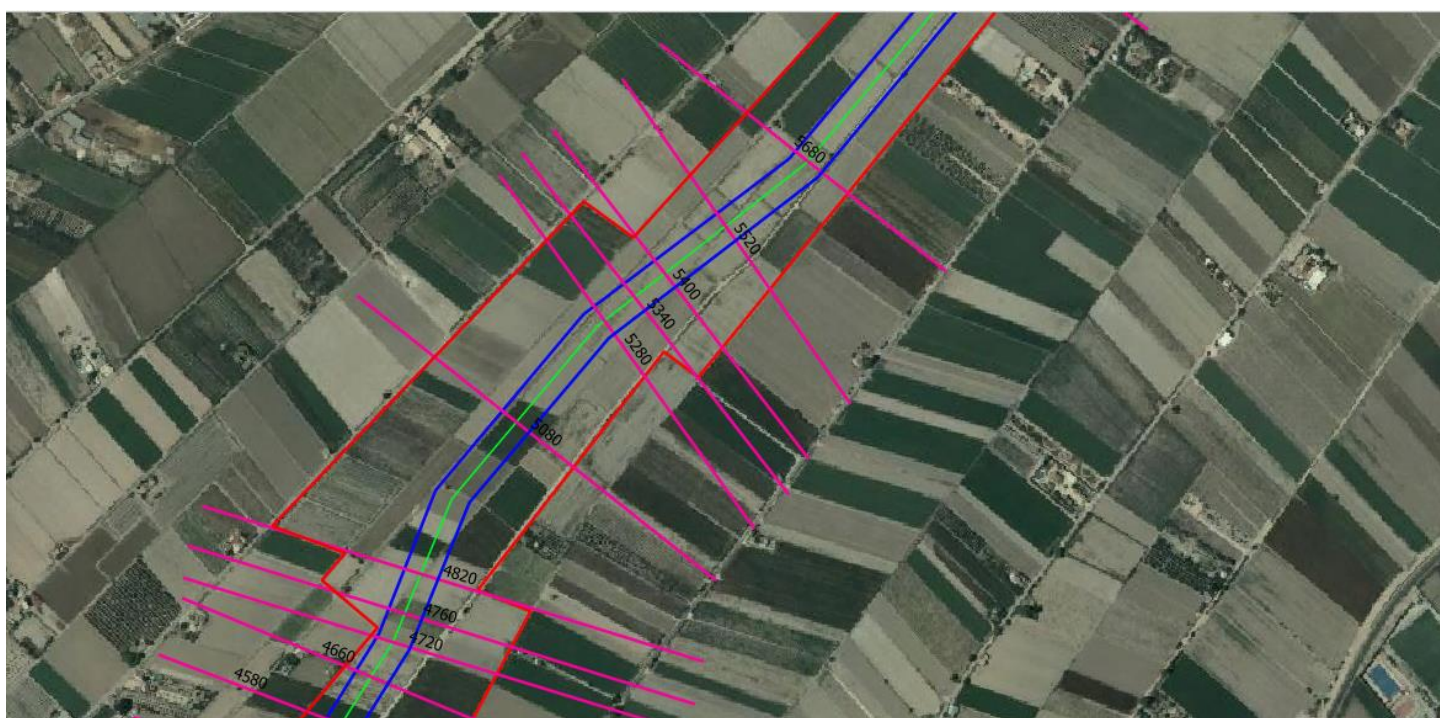


Figura 8. Diseño en planta del canal de derivación. VIII (Fuente: QGIS, elaboración propia).



Figura 9. Diseño en planta del canal de derivación. IX (Fuente: QGIS, elaboración propia).

En la primera figura se puede observar dónde comienza nuestra canal de derivación de agua (más al Norte del curso actual del río Segura). También podemos observar en la novena figura que el canal termina en una zona de campos (lugar hasta el cual está prevista la ampliación del embalse del Parque Natural de El Hondo). El resto de figuras muestran el recorrido que adoptará el canal a lo largo de sus 6.680 m.

1.5.2. HEC-RAS

1.5.2.1. Datos de partida

Como el canal de derivación de agua a realizar es totalmente nuevo, los únicos datos previos que tenemos son el caudal máximo teórico que ha de soportar de $150 \text{ m}^3/\text{s}$, el cual se tendrá en cuenta a la hora de dimensionar el tamaño de la estructura.

1.5.2.2. Condiciones de contorno

Las condiciones de contorno aguas arriba son que el agua llega de una caída libre (desde el aliviadero en forma de teclas de piano) y aguas abajo es que la cota de desembocadura del agua es de 1 m (cota media estimada del agua en la futura ampliación del humedal del Parque Natural de El Hondo).

Además, sabemos que por la poca pendiente de los tramos el agua fluirá en régimen lento o subcrítico ($Froude < 1$).

1.5.2.3. Modelización del cauce

1.5.2.3.1. Inserción de las secciones

Una vez dibujadas las secciones en planta en QGIS, hay que exportar e introducir el terreno por el cual va a pasar la sección en HEC-RAS. Para ello, previamente se introduce un modelo de terreno con la altimetría de la zona y con la herramienta de corte geológico de QGIS (Terrain Profile) obtenemos la línea de terreno por la cual dibujaremos la sección correspondiente. Los datos (en forma de tabla) se obtienen en QGIS y se pegan en el editor de secciones de HEC-RAS. El siguiente paso es darle la forma de sección deseada al terreno introducido en el programa en función del tramo en el que se encuentre con las características explicadas en la memoria en el apartado 3.2.1..

1.5.2.3.2. Interpolación de las secciones

Una vez introducidas y modificadas correctamente las secciones para adecuarse al diseño de la estructura se interpola entre ellas para darle continuidad al cauce, la interpolación ha sido realizada cada 5 m a lo largo de los 6.680 m que posee el canal.

Entre las secciones que tienen puentes entre ellas, no se puede interpolar.

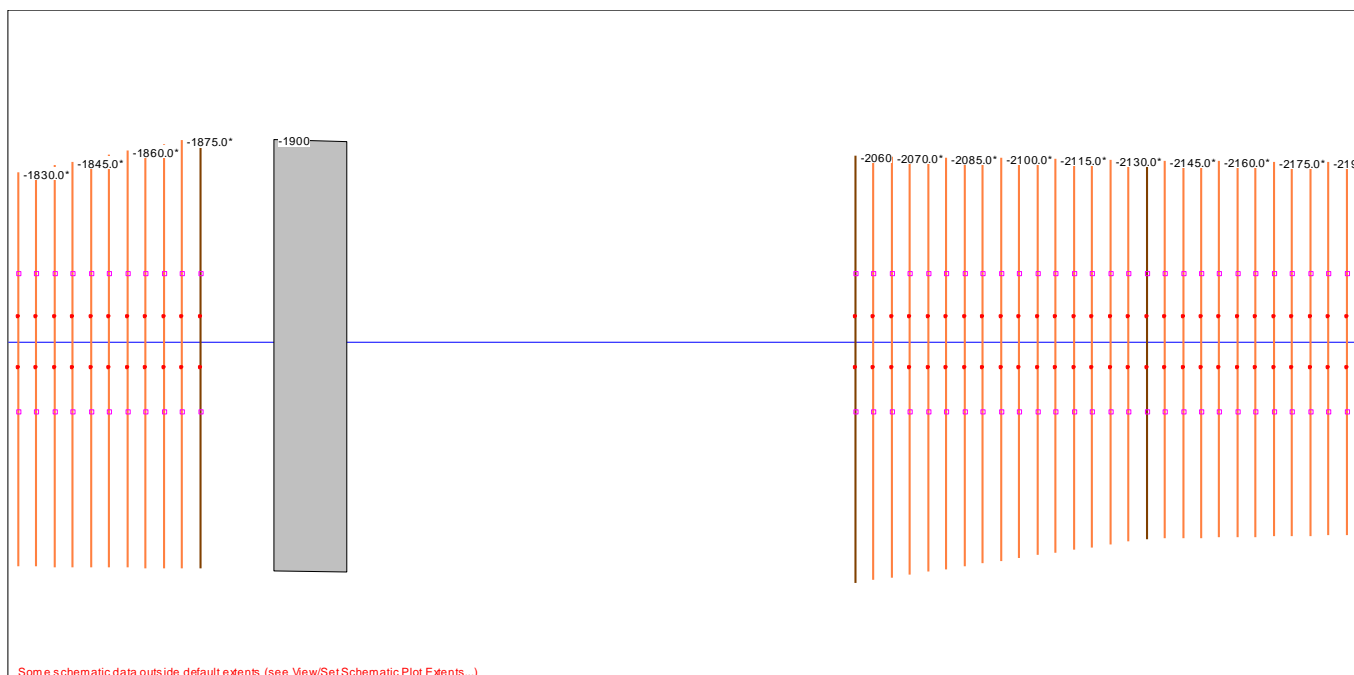


Figura 10. Ejemplo de secciones interpoladas y un puente (Fuente: HEC-RAS, elaboración propia).

1.5.2.3.3. Puentes

El canal pasa por debajo de cuatro puentes a lo largo de su recorrido hasta la ampliación del humedal del Parque Natural de El Hondo, tres de ellos pasan por encima del primer tramo y el último se encuentra entre el segundo y el tercer tramo (coincidiendo con el cambio de sección).

Los tres primeros puentes son iguales entre sí, tienen dos pilotes de 1 m de ancho justo entre la solera y el talud del canal trapezoidal y el grosor del puente es de medio metro con un talud 6H:1V en los laterales.

El último puente difiere del resto ya que las secciones entre las que está comprendido son las del segundo y tercer tramo (de mayor anchura que las del primer tramo). En consecuencia, consta de un mayor número de pilotes que comienzan justo en la parte superior del talud inferior y siguen cada 15 m hasta llegar al final de la sección; en la sección trapecial inferior hay un pilote justo en el eje del canal. Todos los pilotes tienen también de anchura 1 m.

1.5.2.3.4. Resultados

1.5.2.3.4.1. Perfil longitudinal

A continuación, se muestra lo que es el perfil longitudinal del canal de derivación de agua:

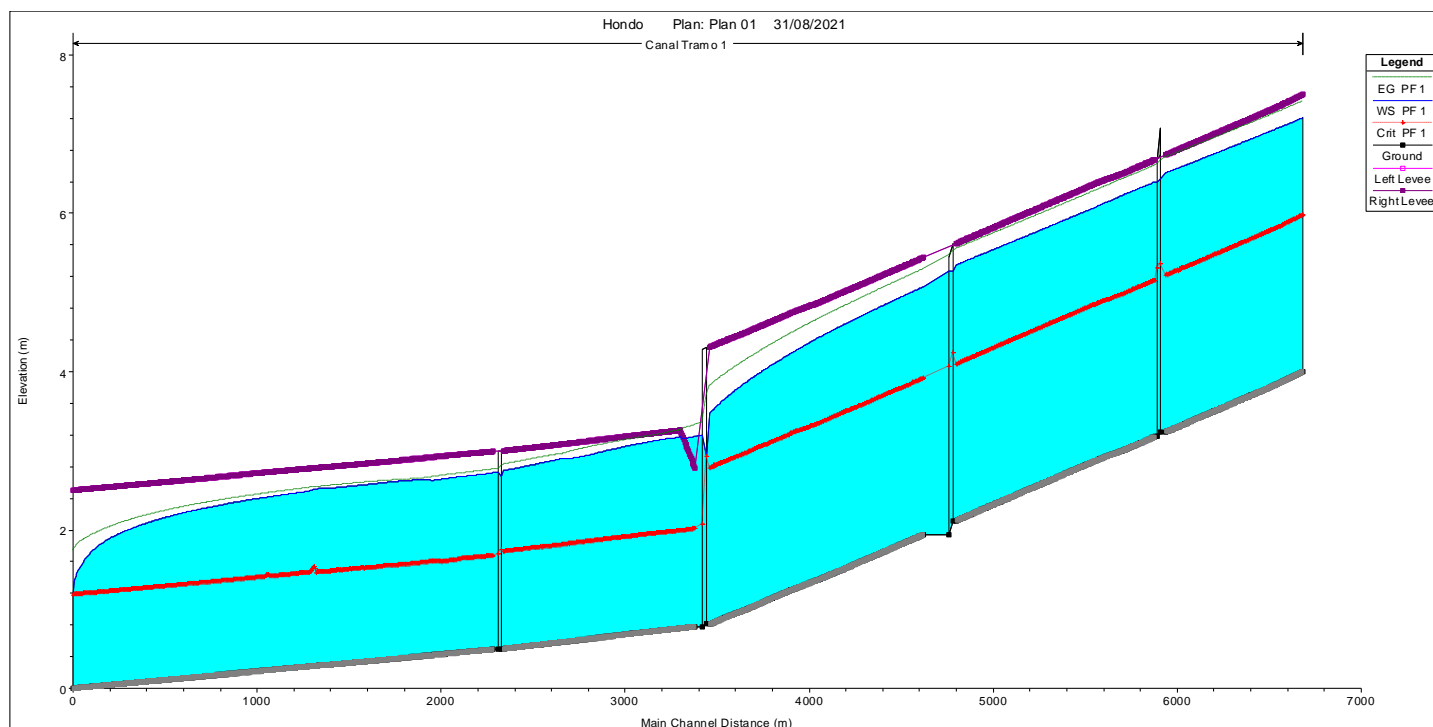
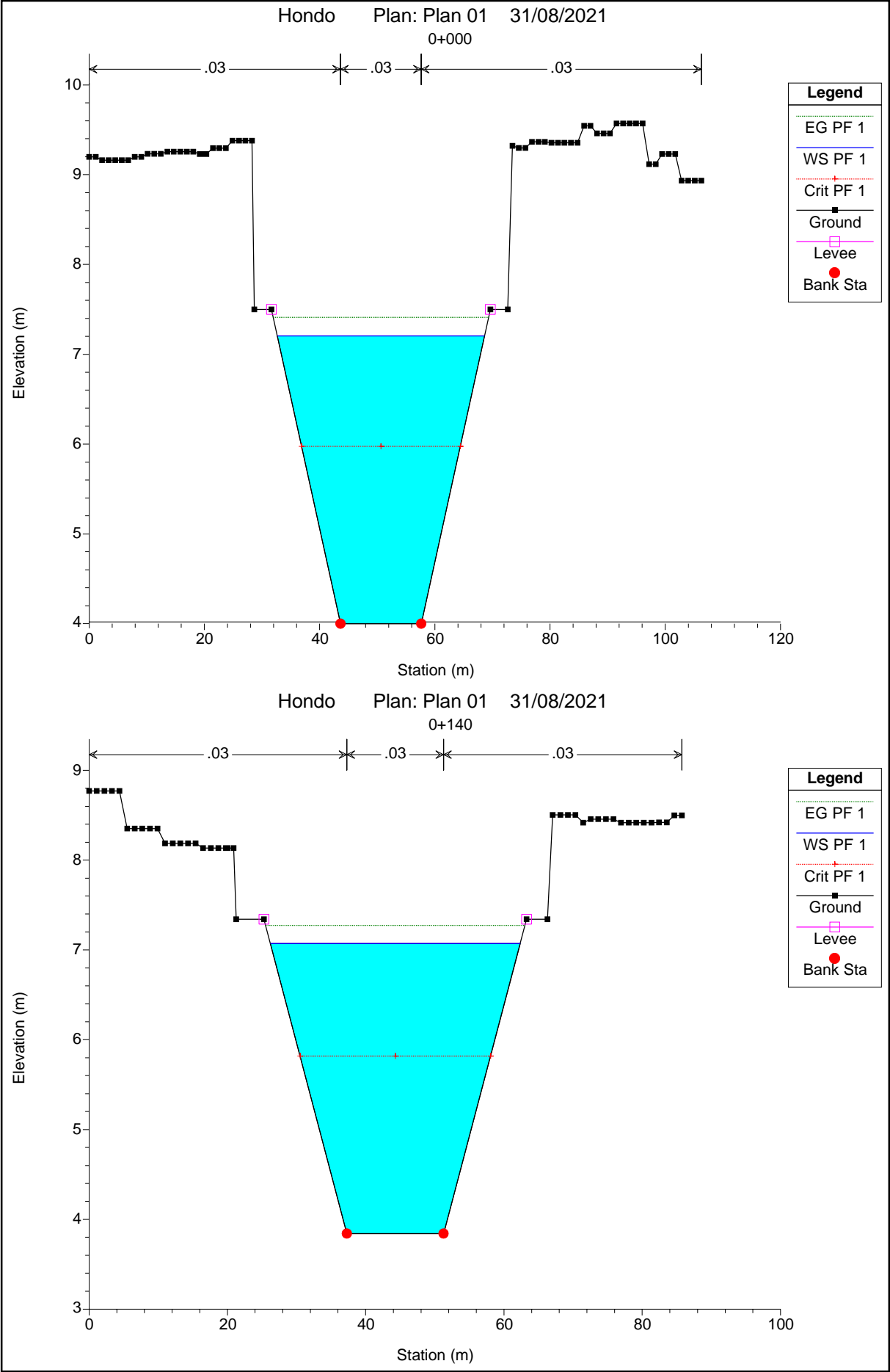
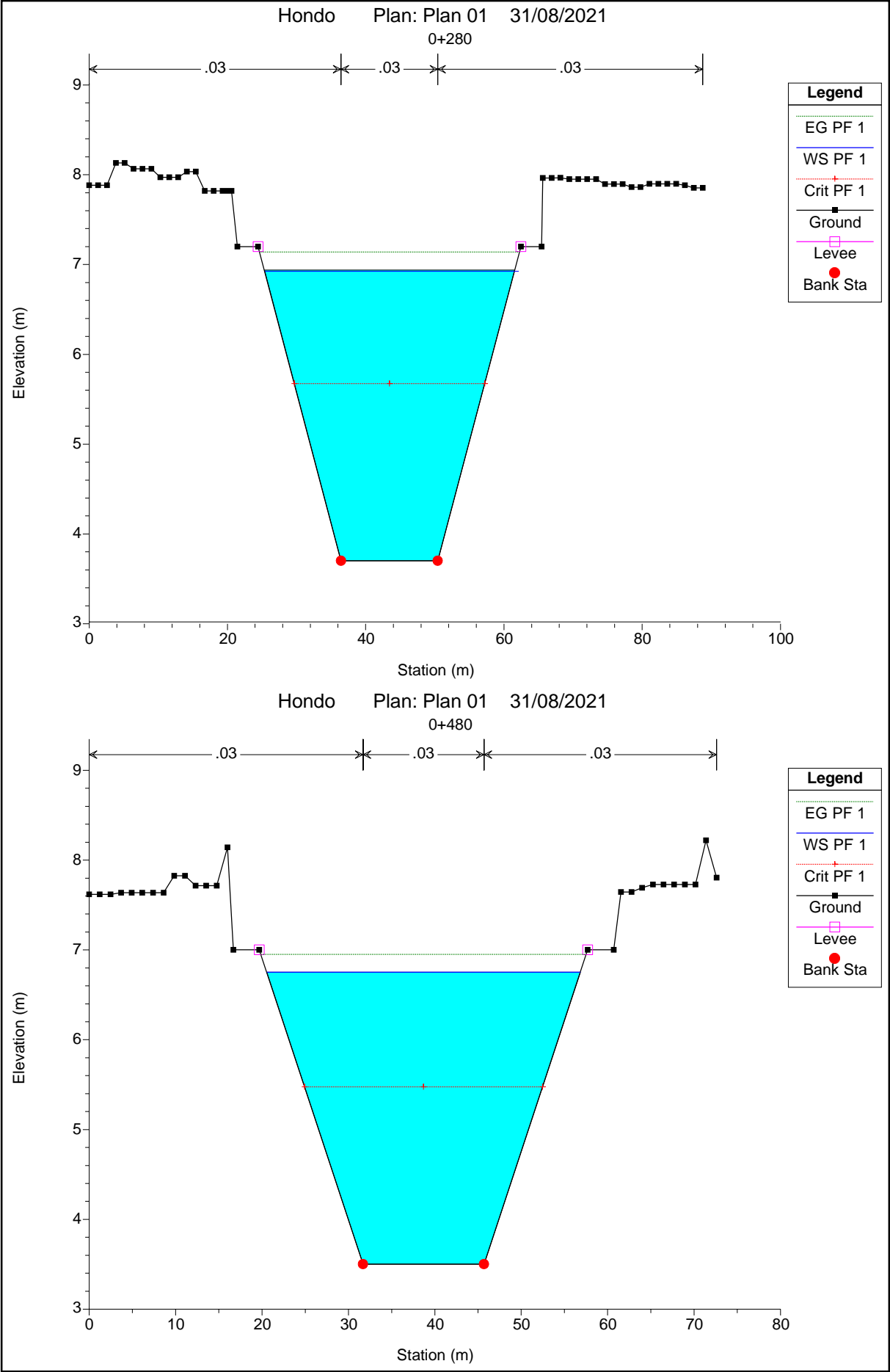


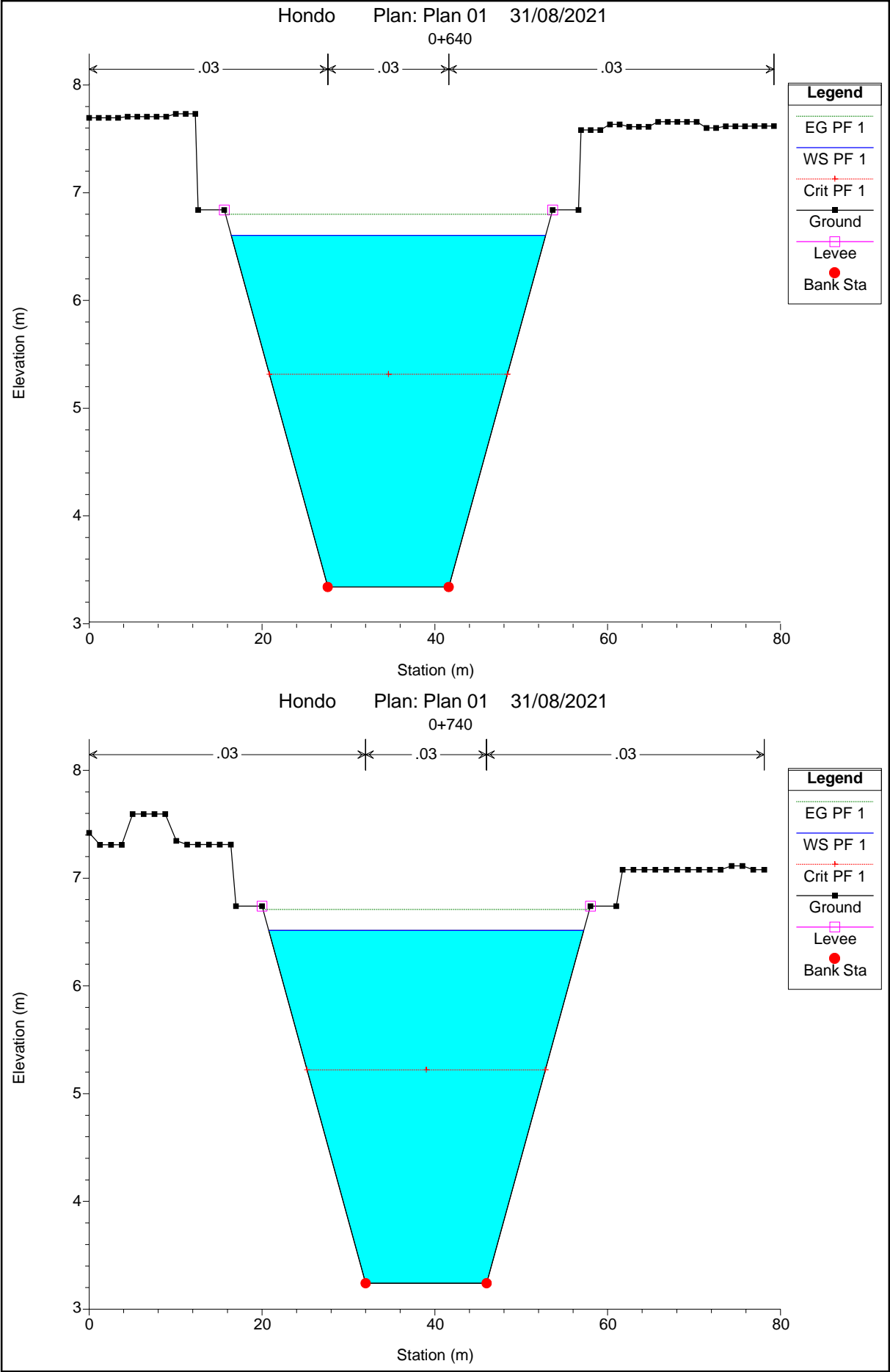
Figura 11. Perfil longitudinal del canal de derivación de agua (Fuente: HEC-RAS, elaboración propia).

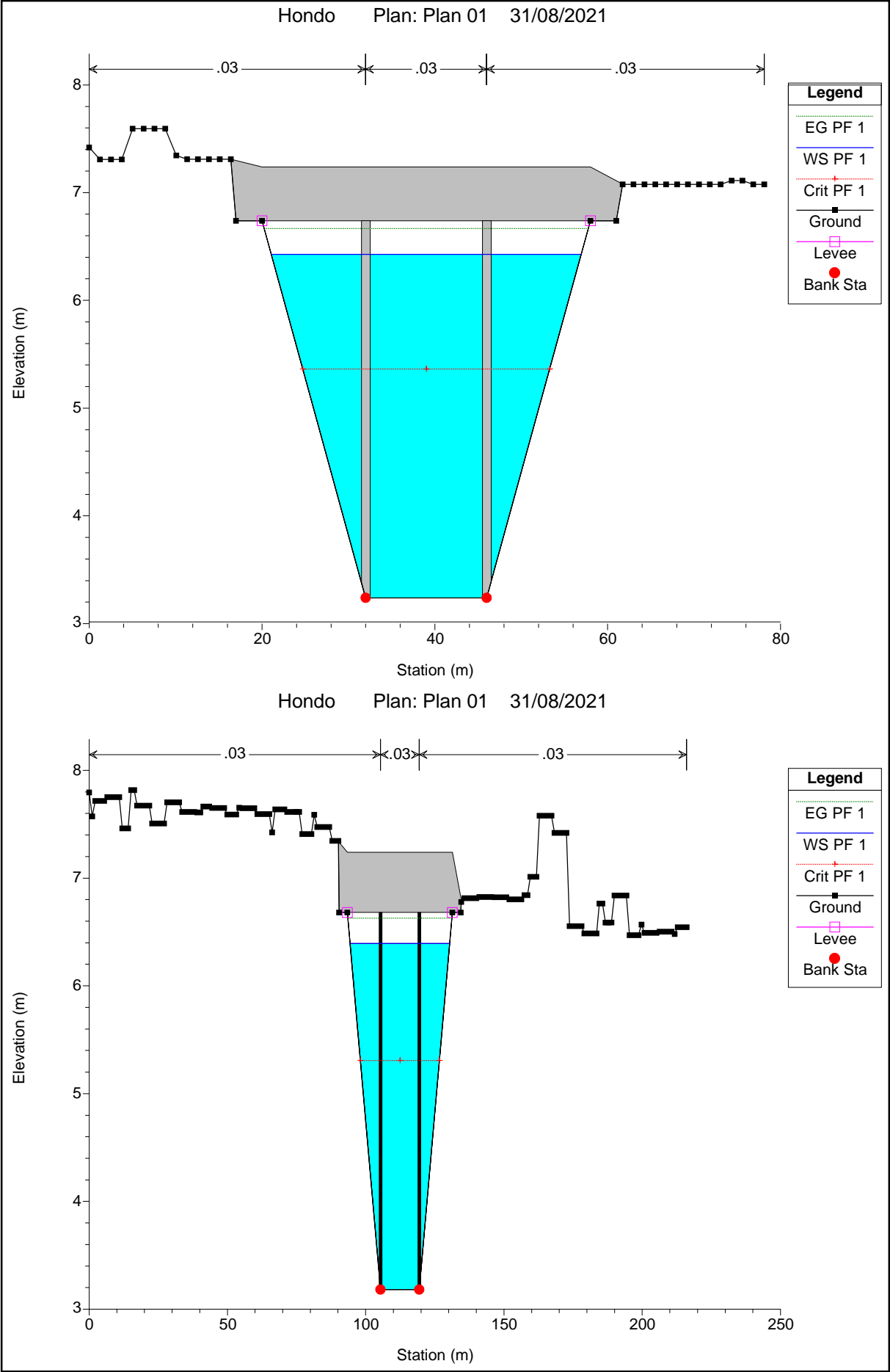
1.5.2.3.4.2. Secciones

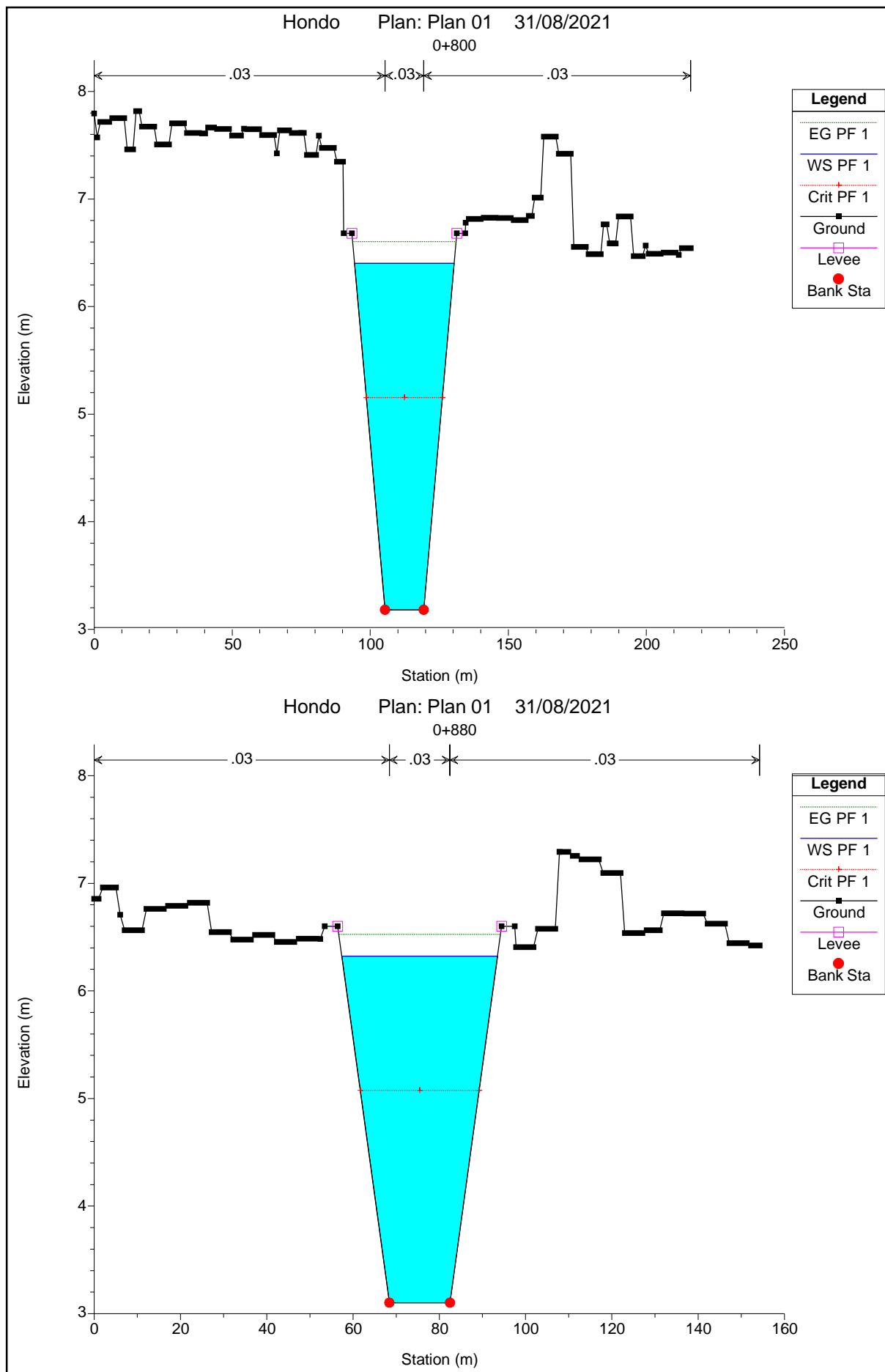
A continuación, se muestran las secciones modeladas que conforman el canal de derivación de agua (sin tener en cuenta las secciones interpoladas):

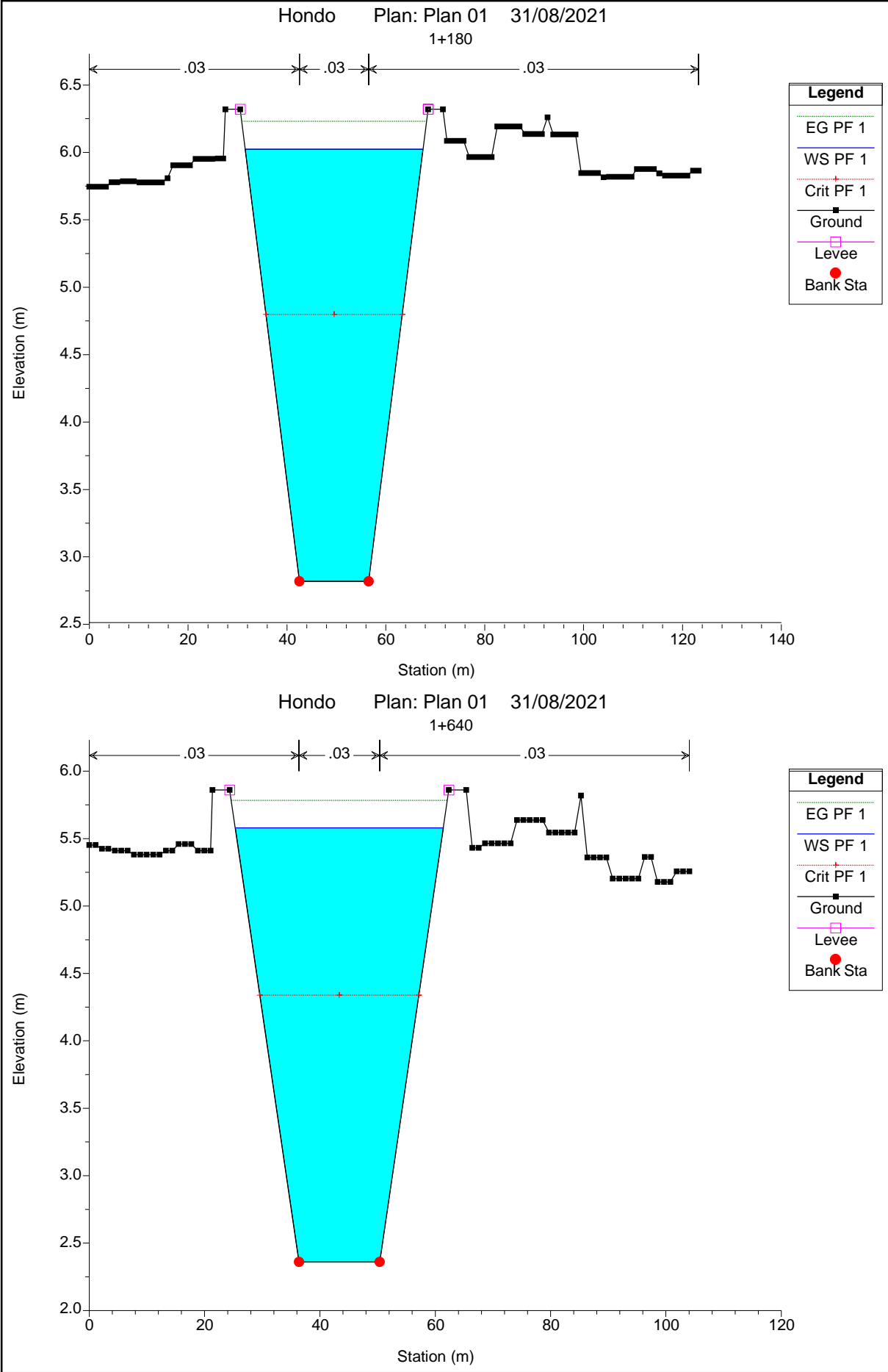


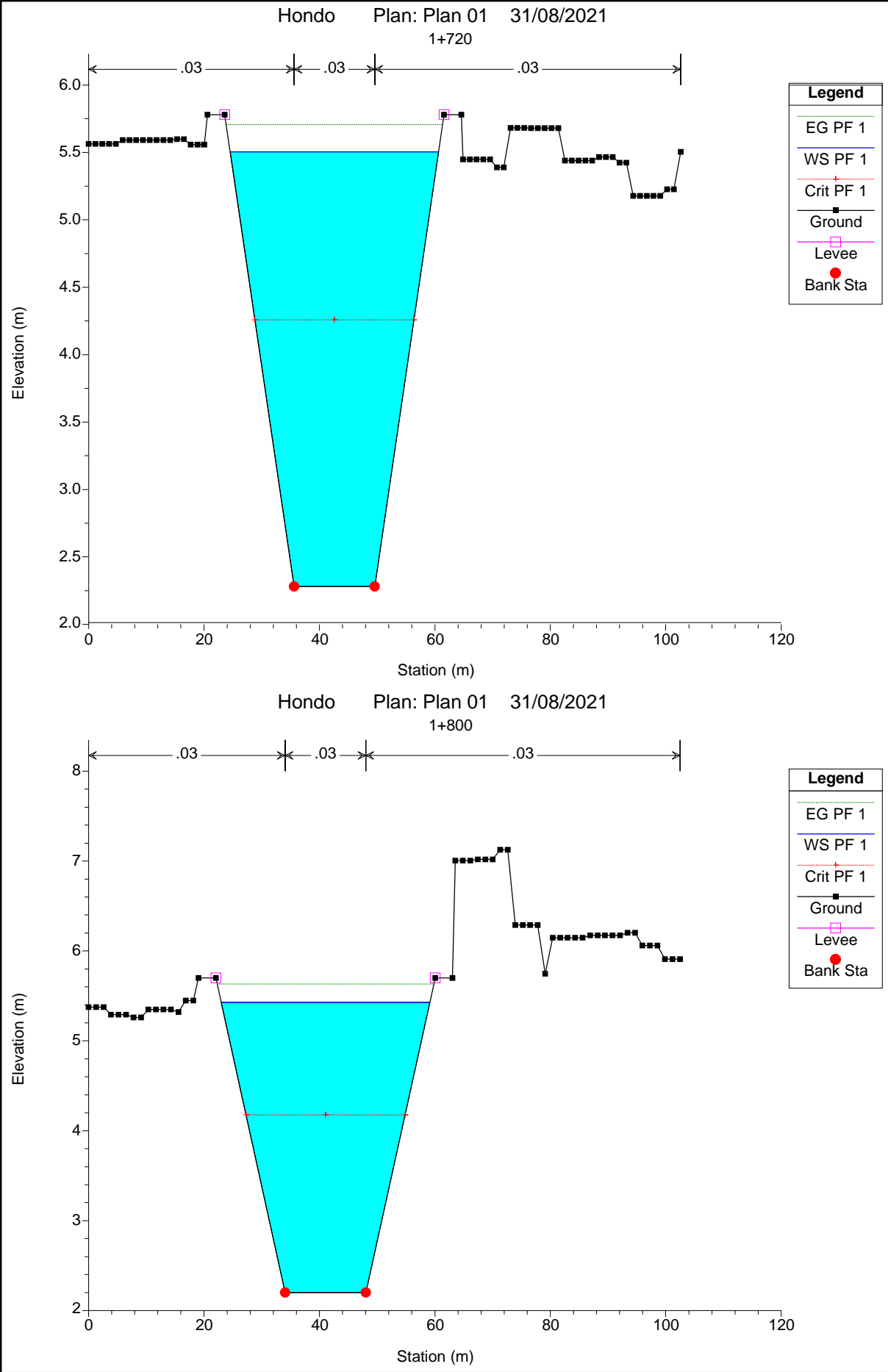


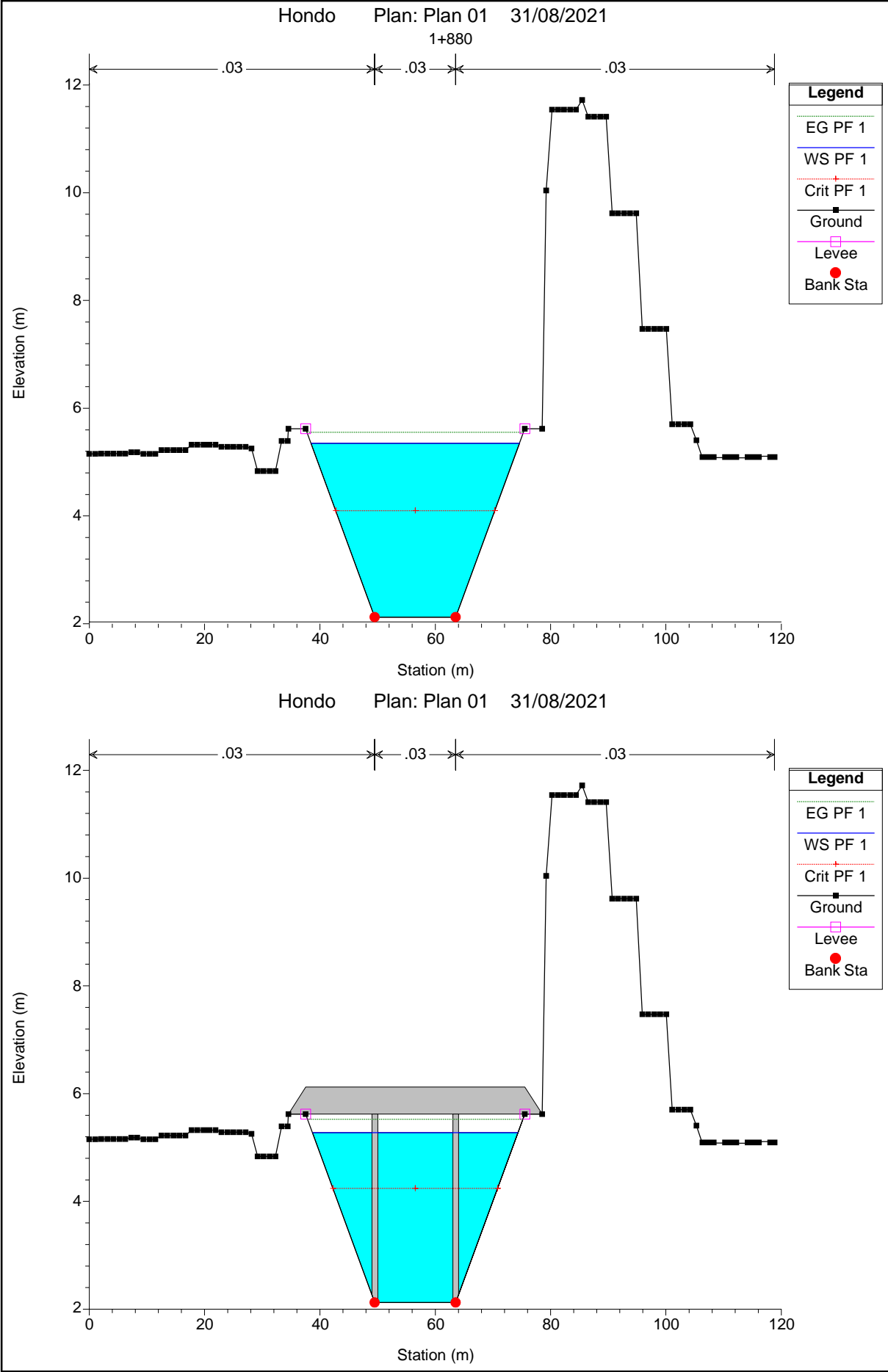


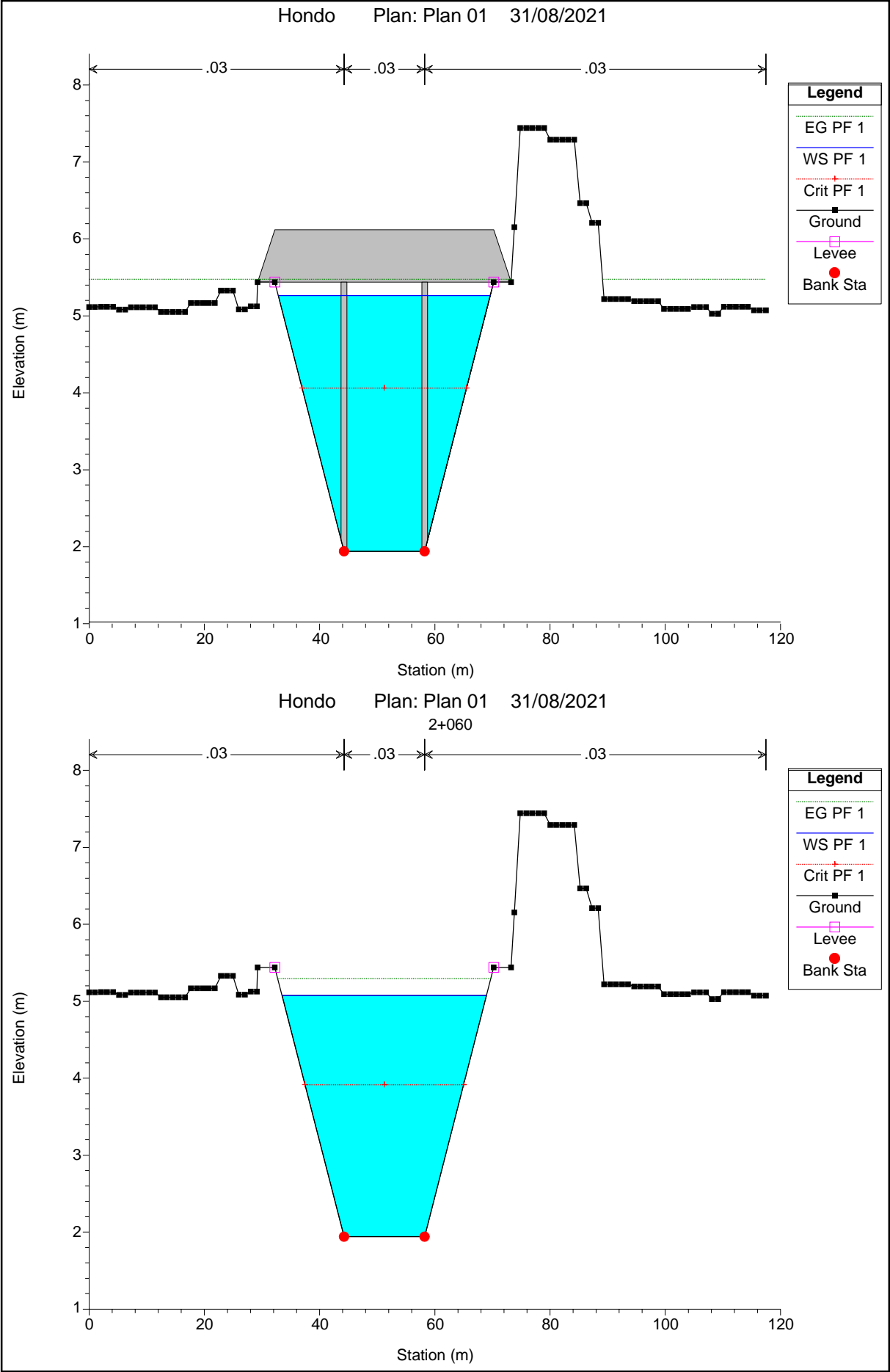


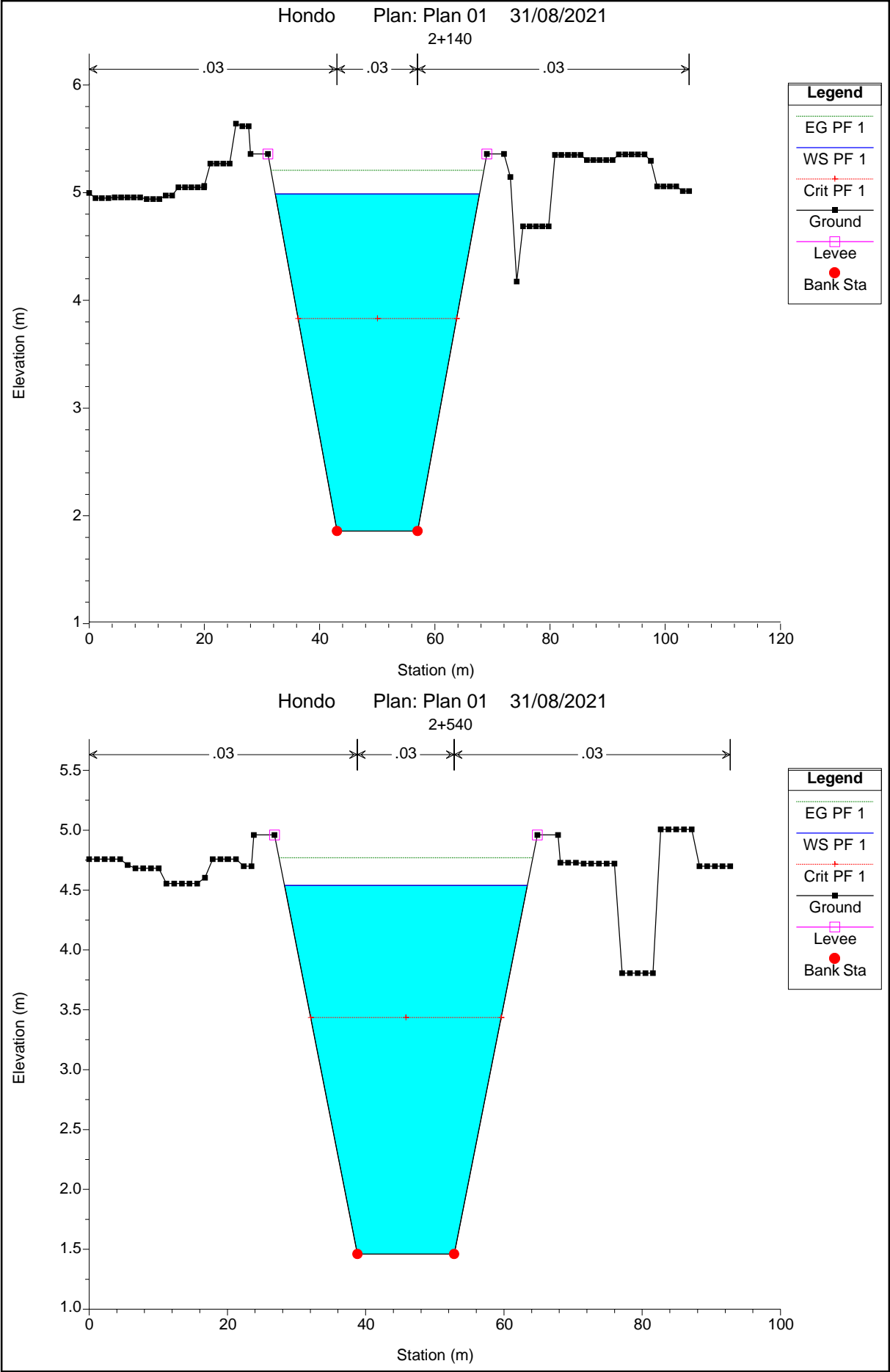


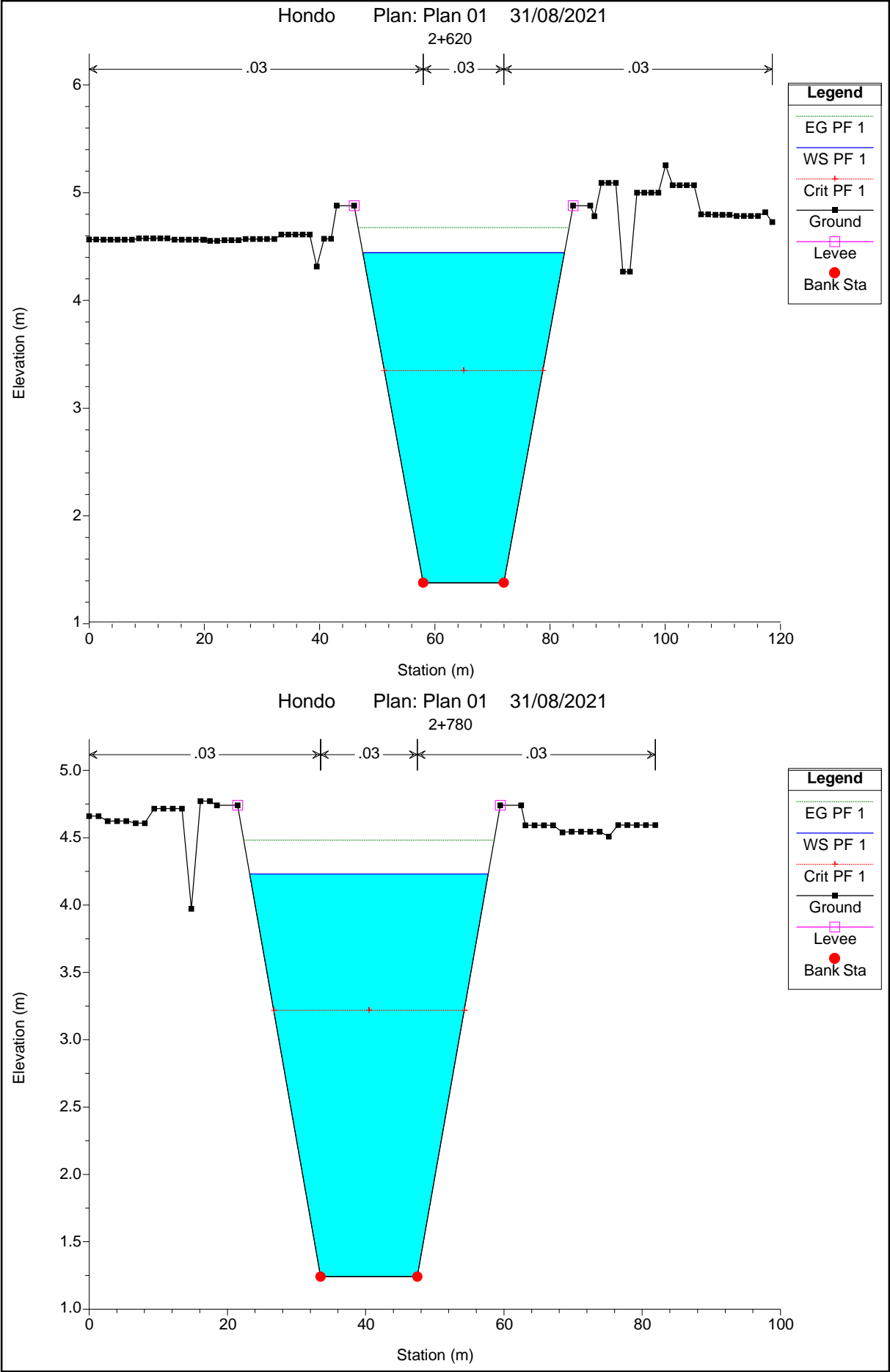


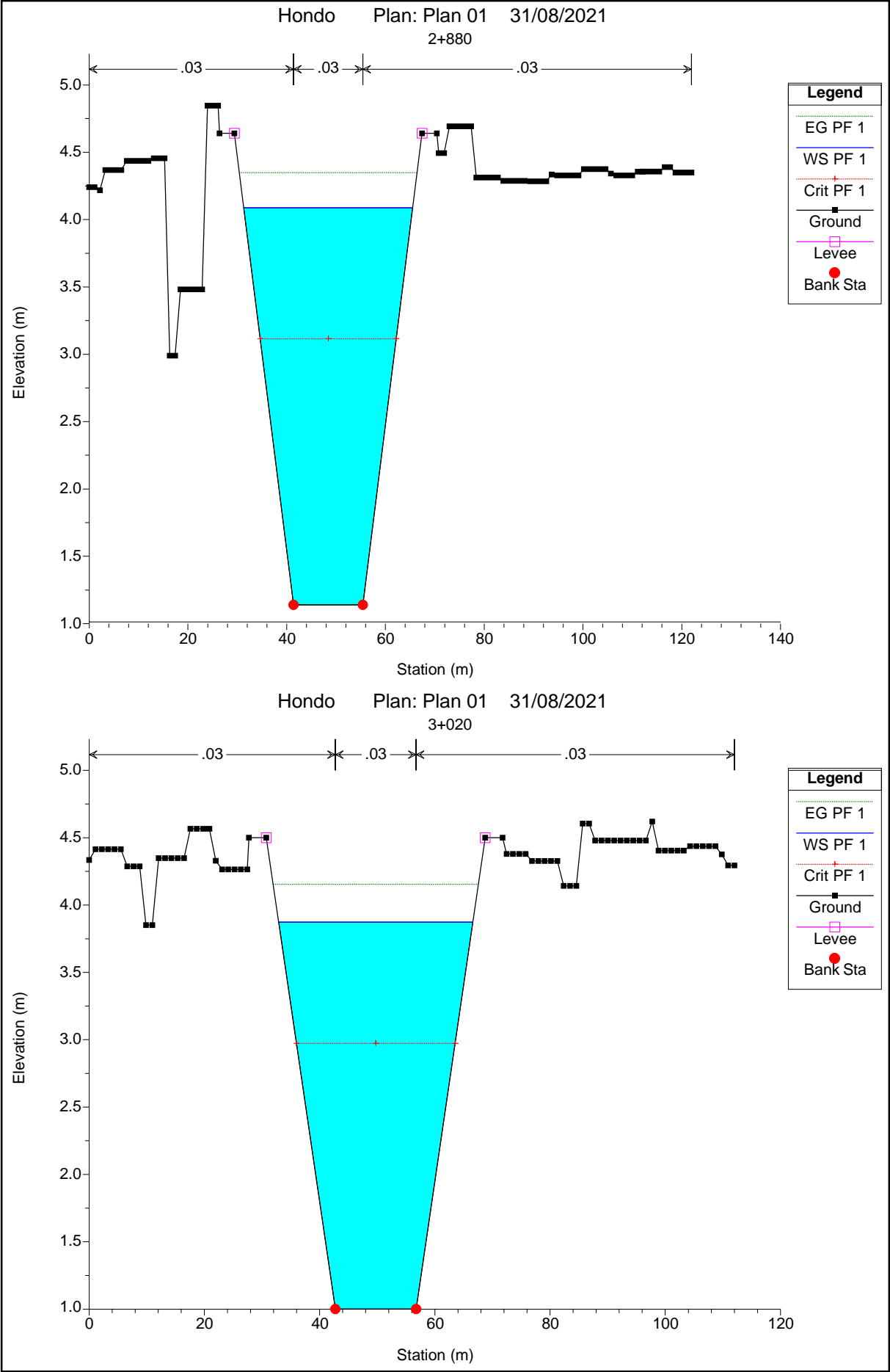


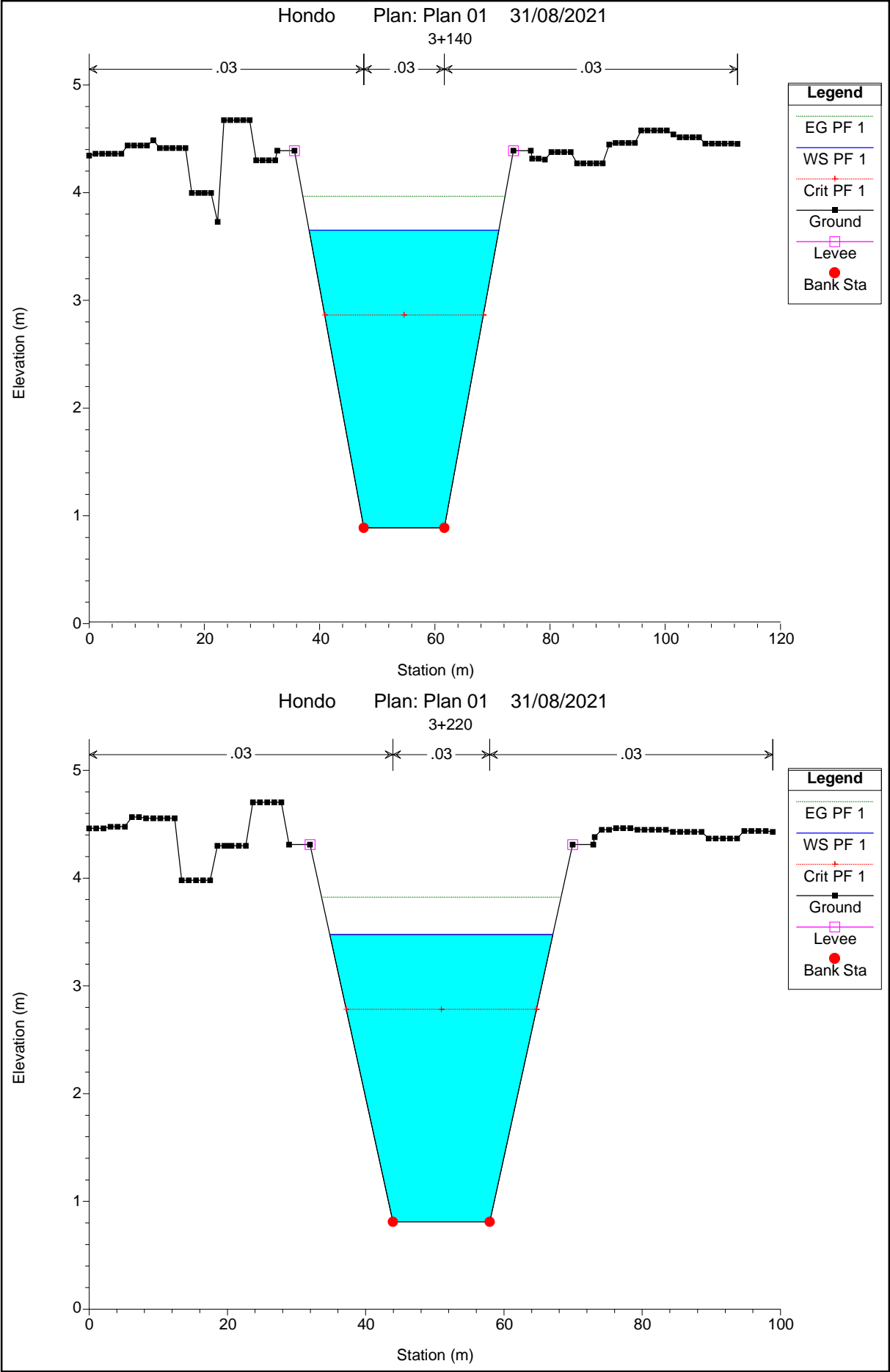


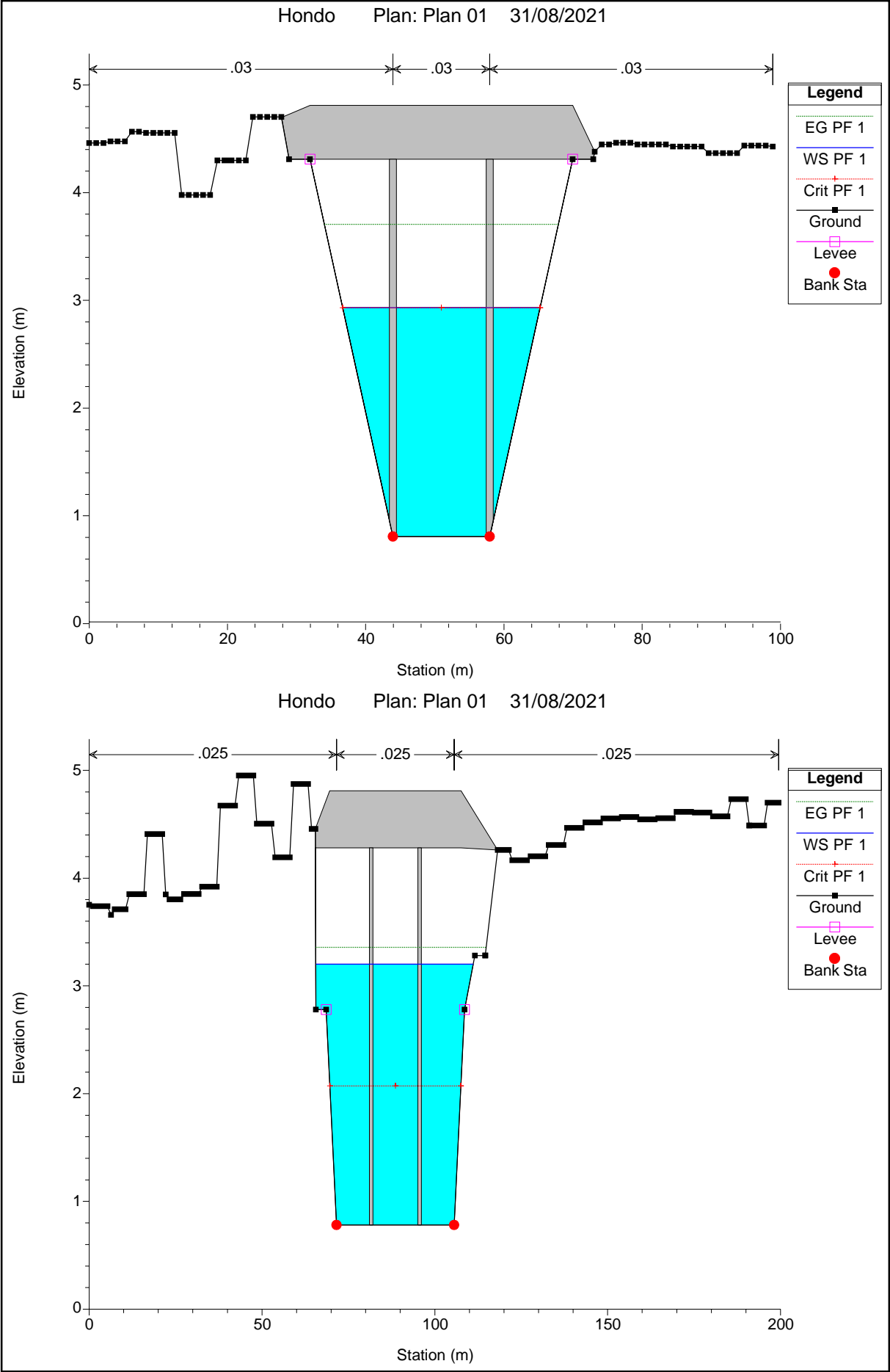


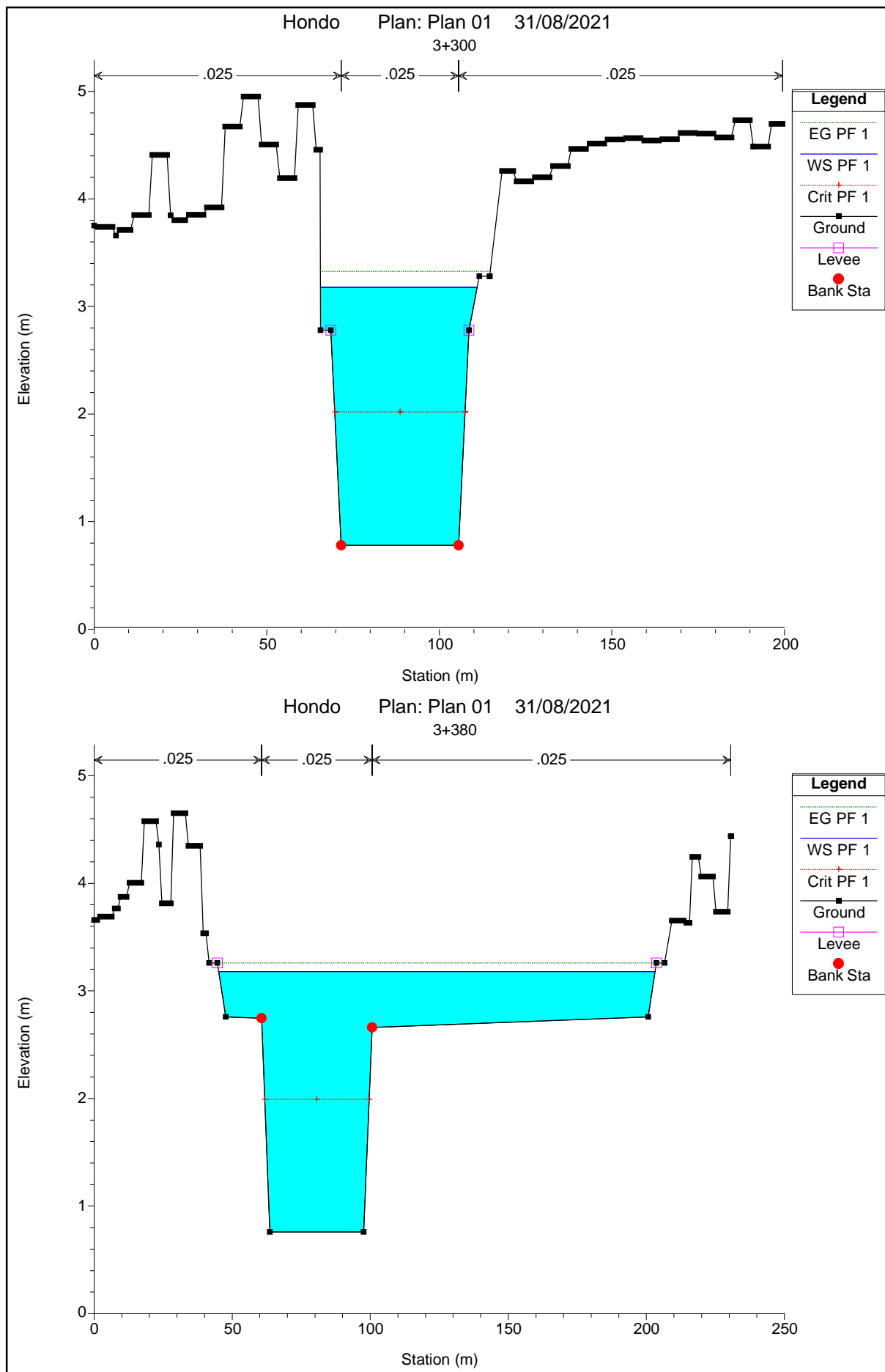


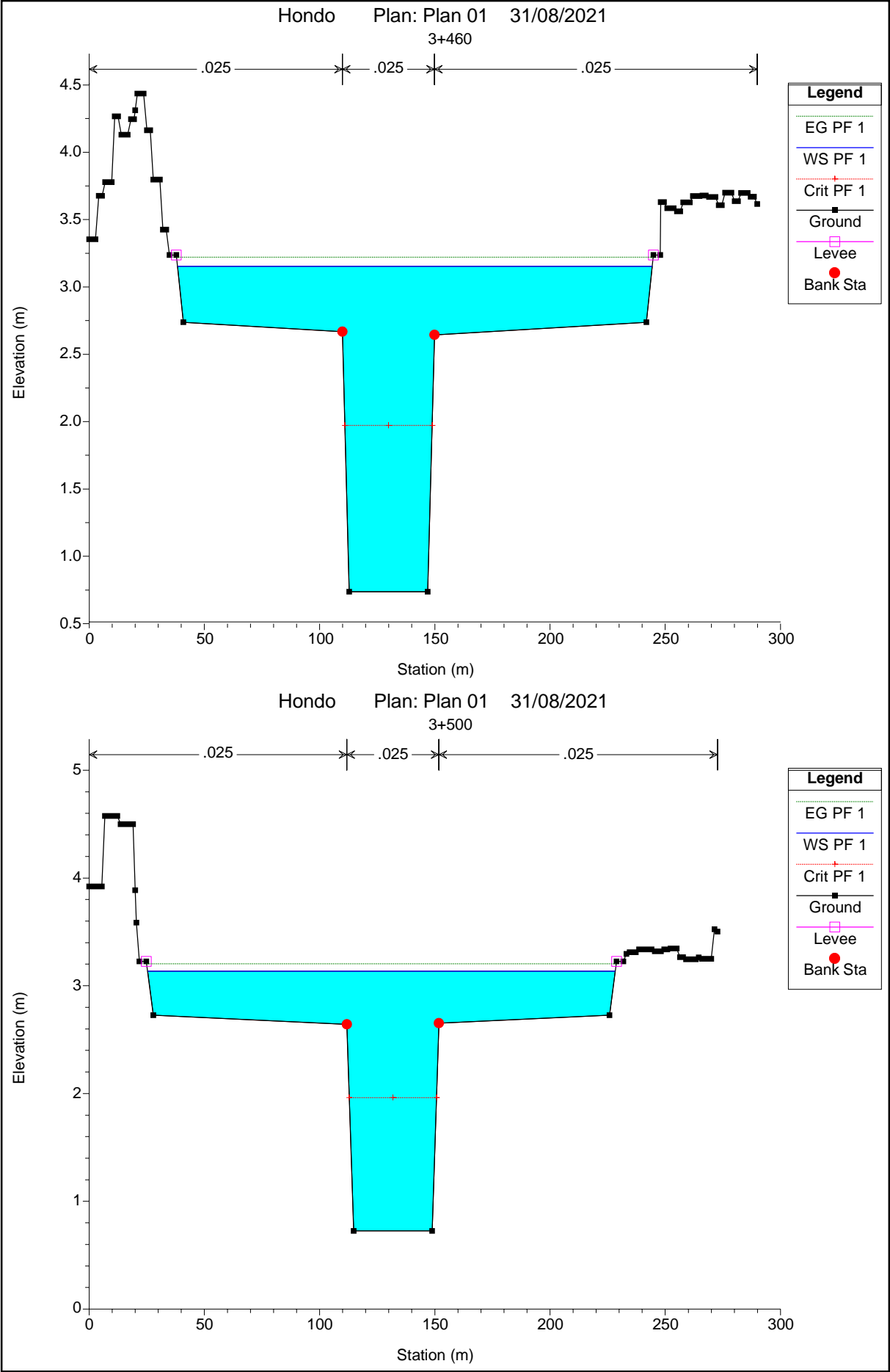


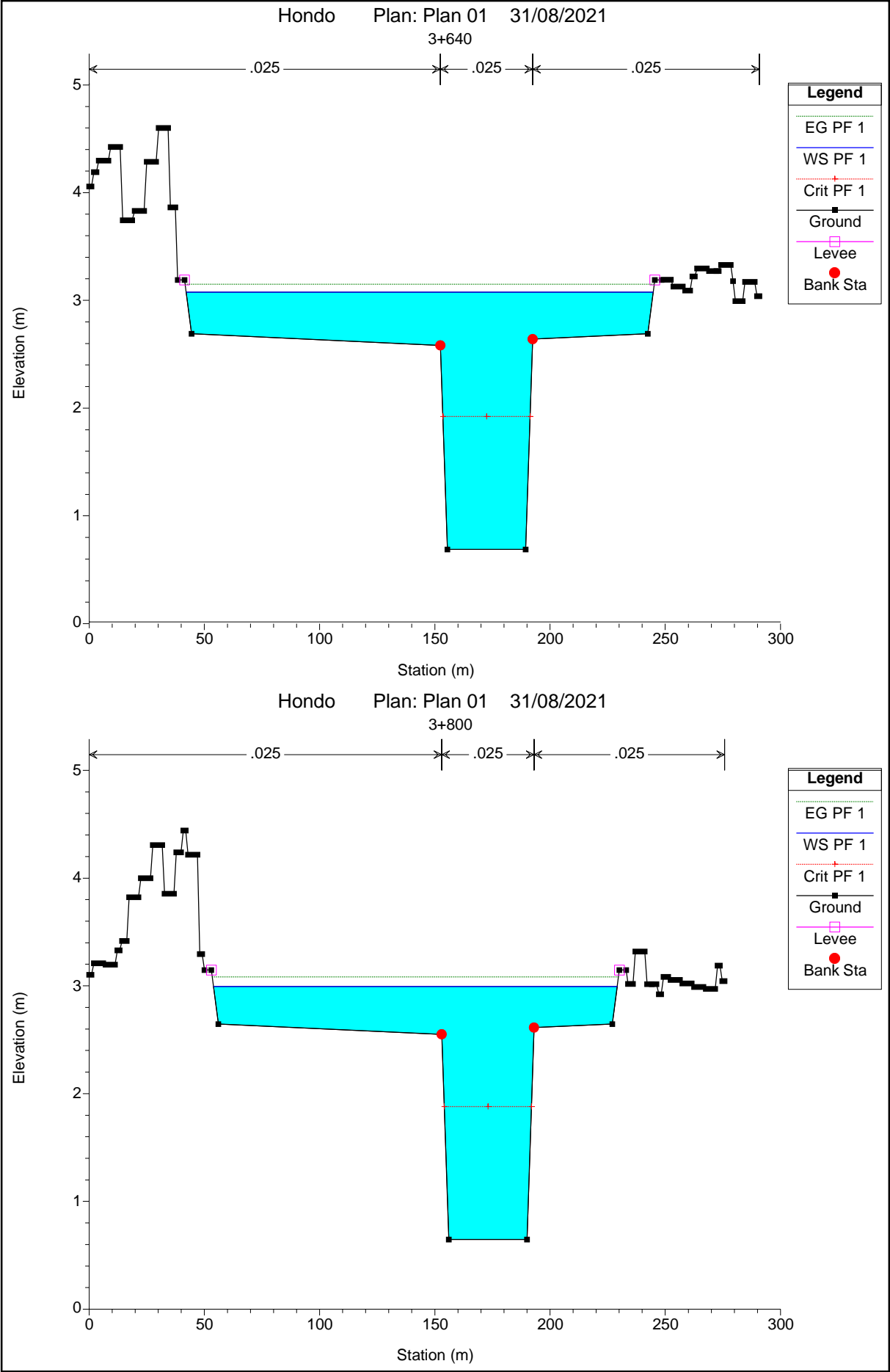


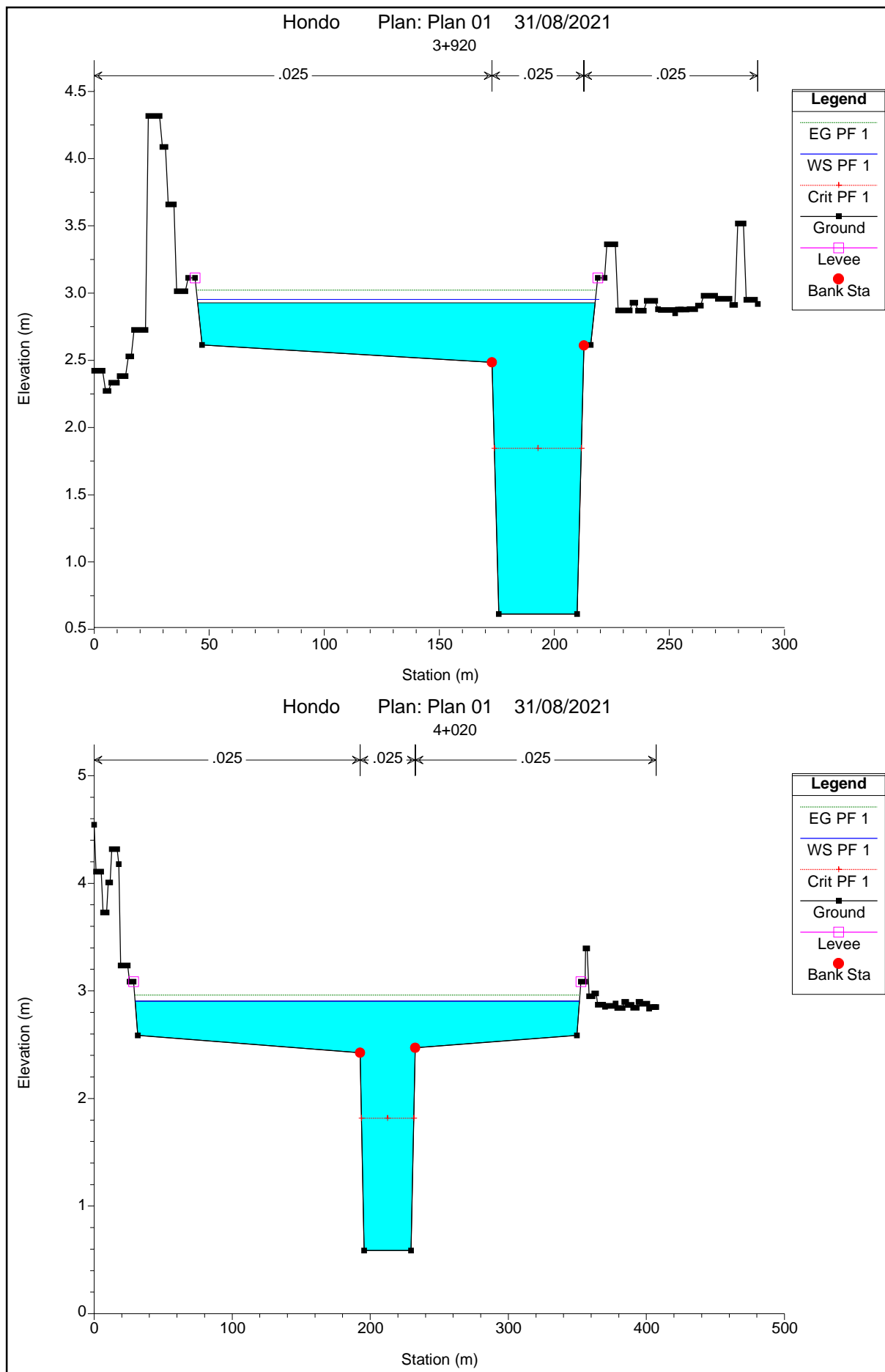


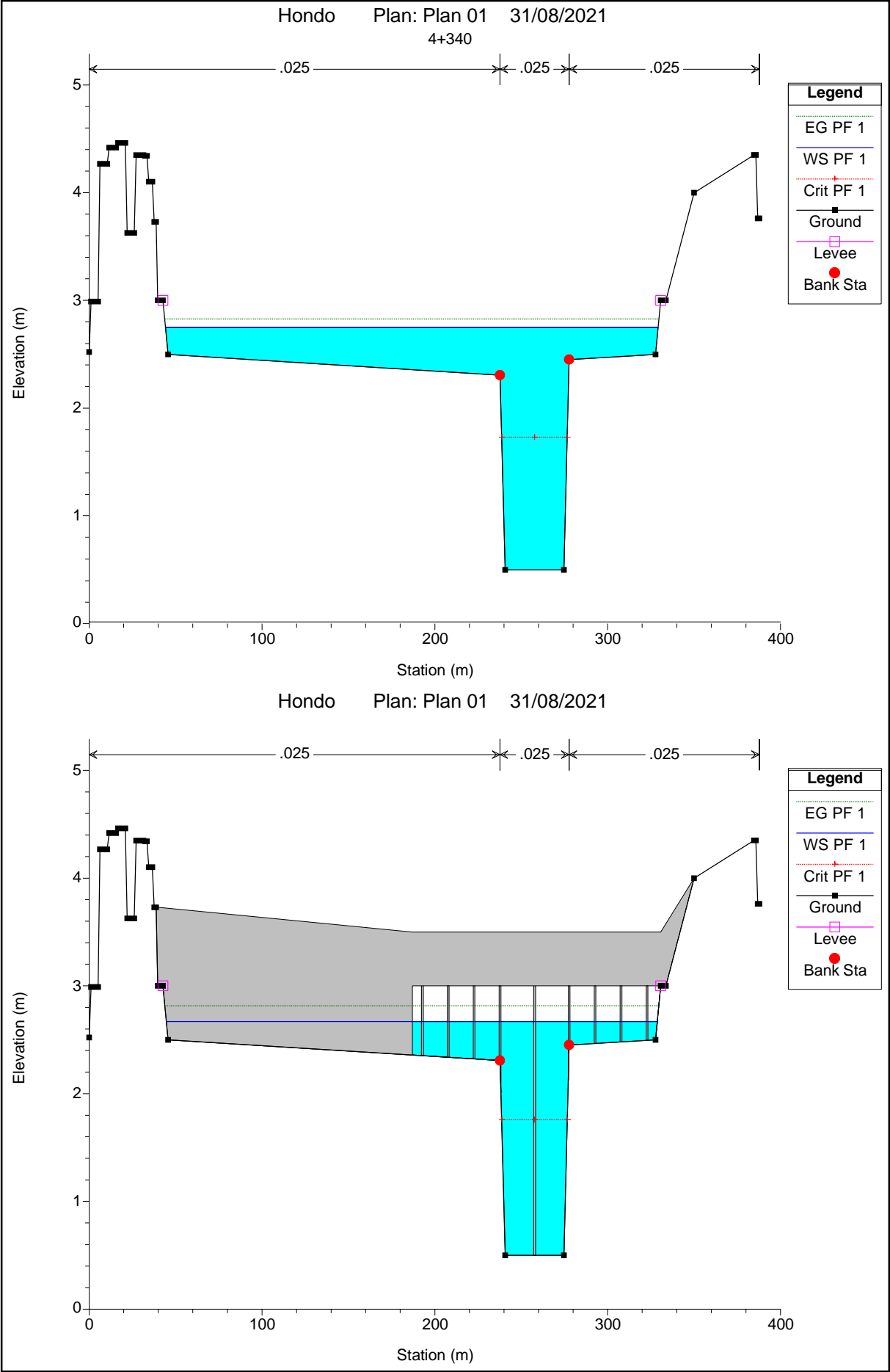


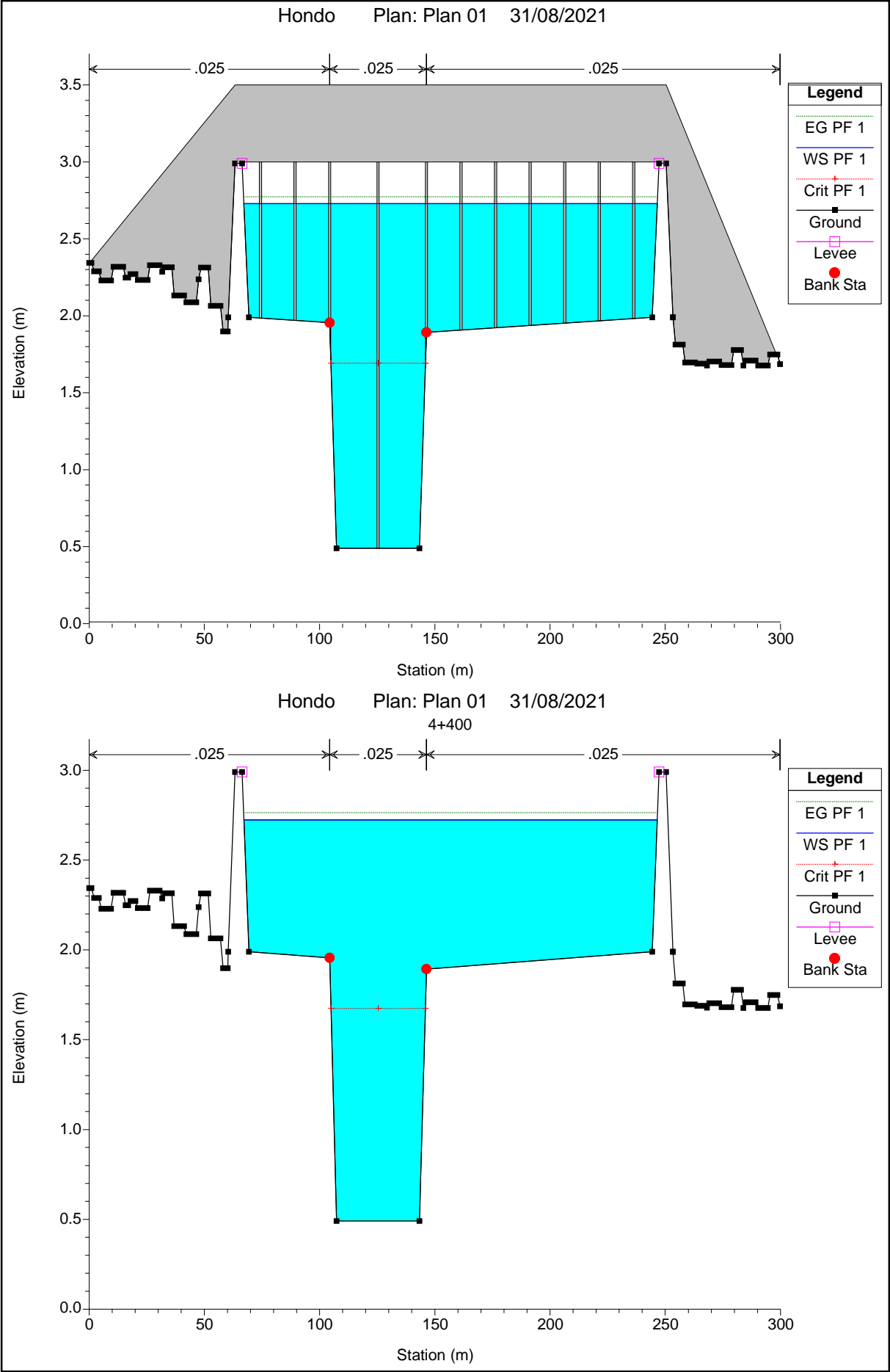


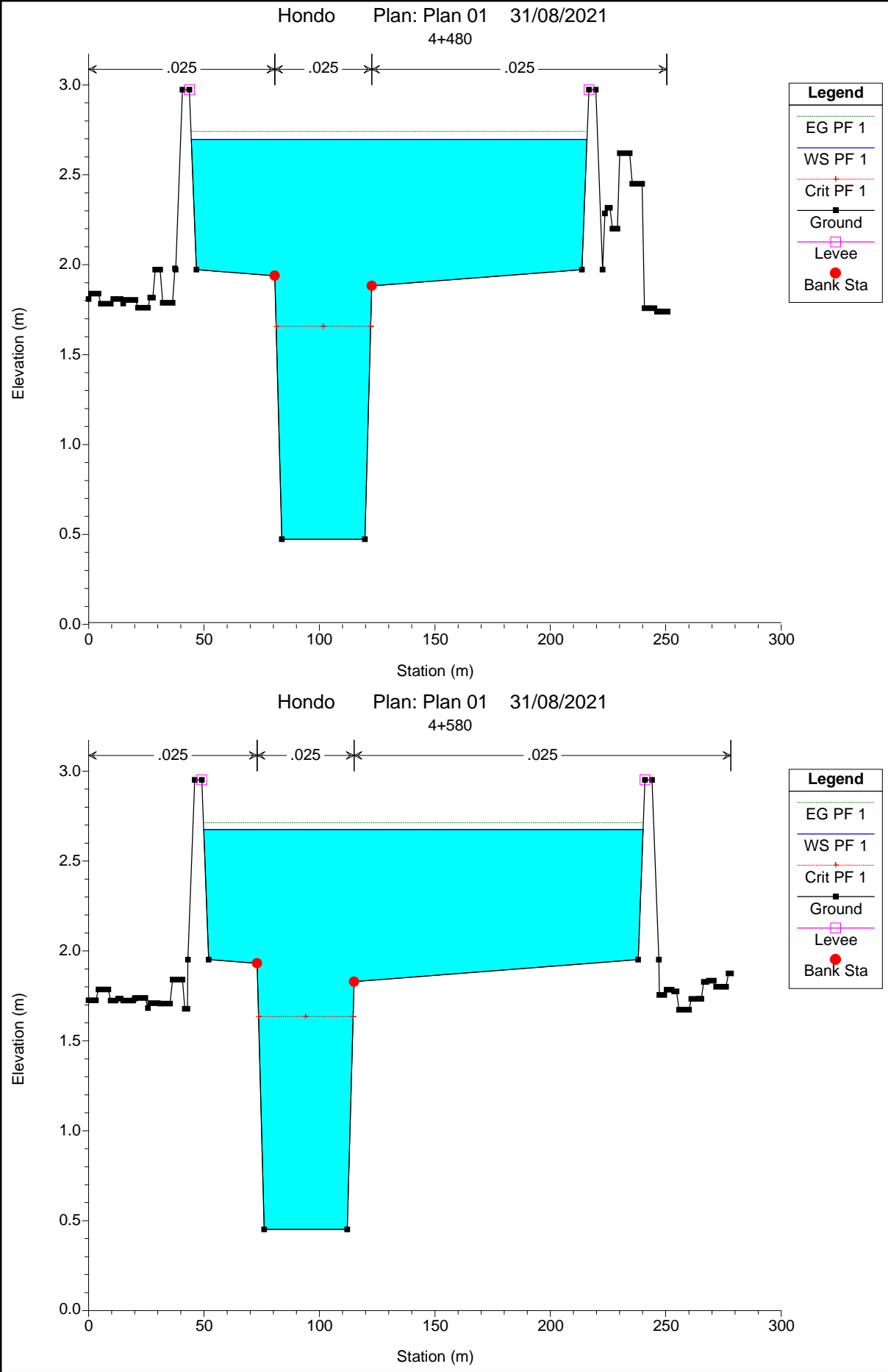


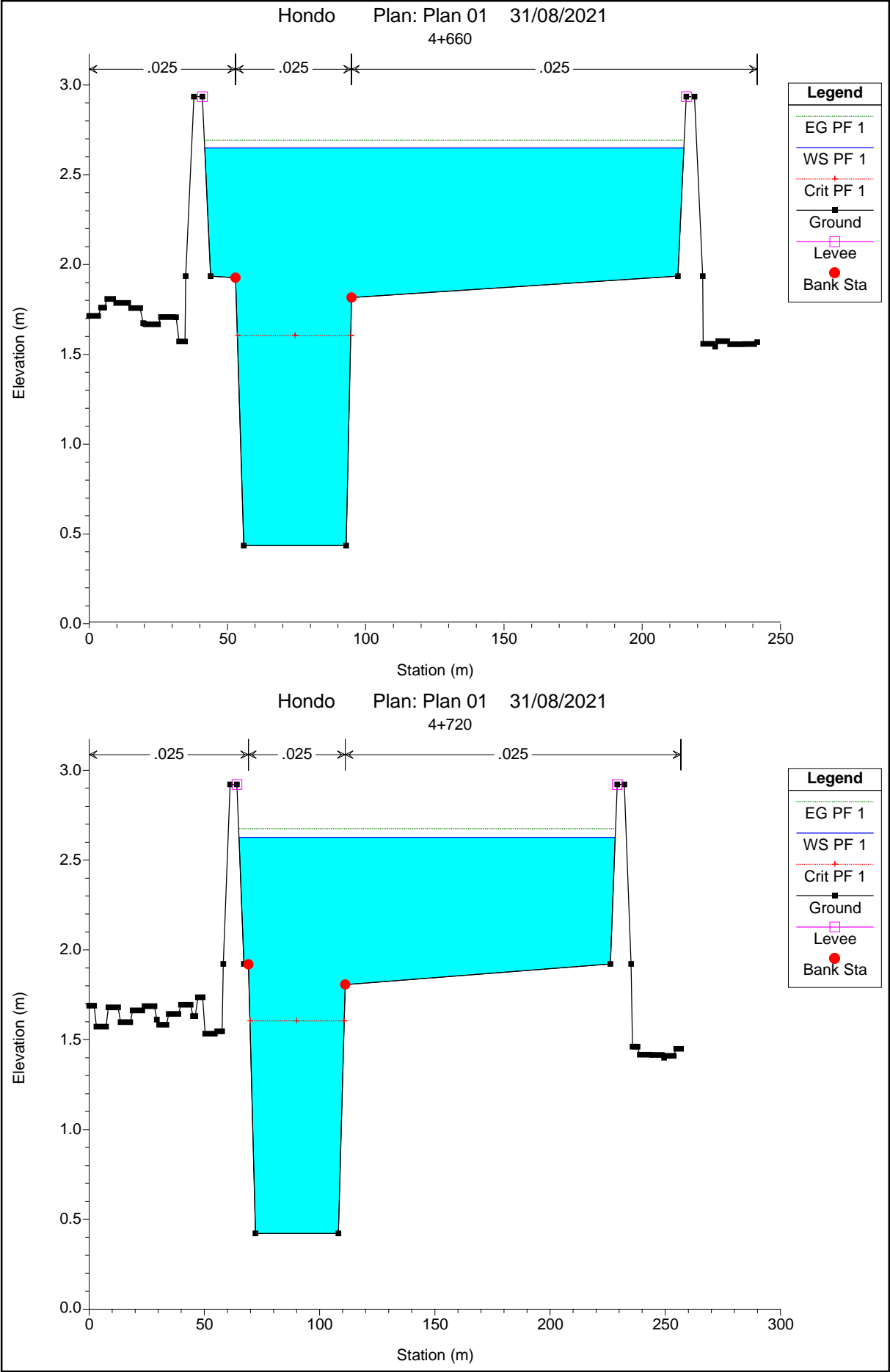


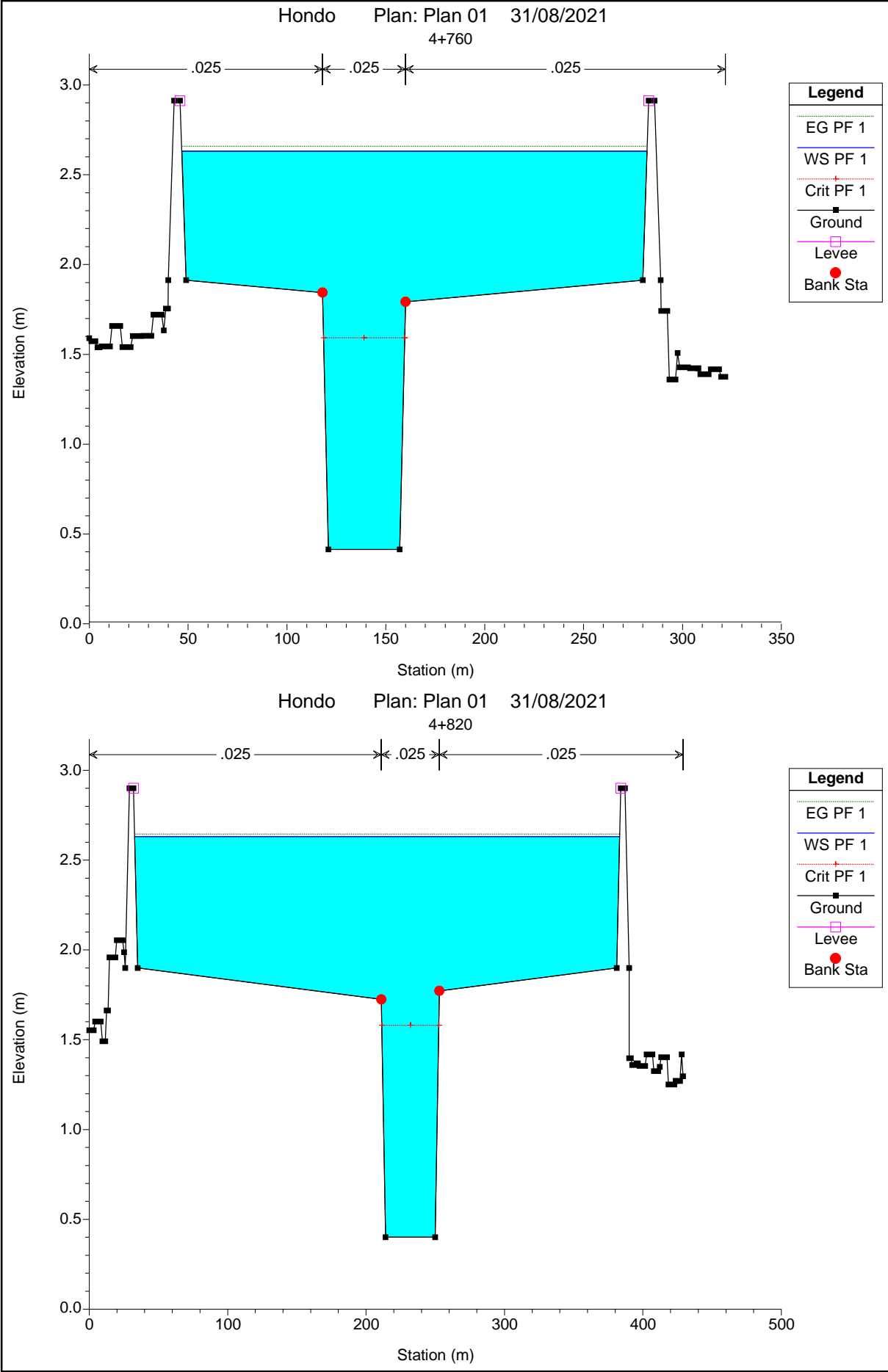


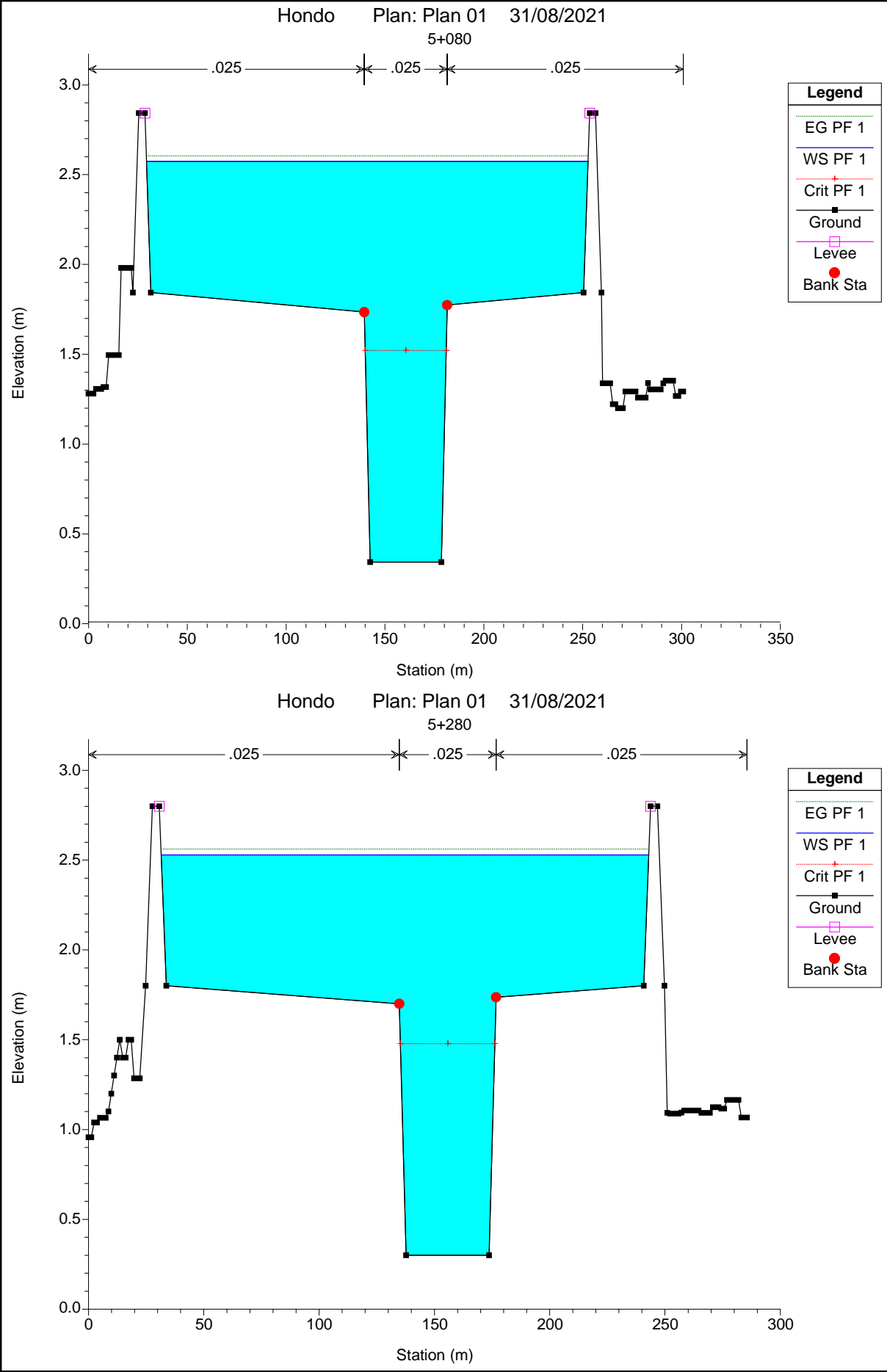


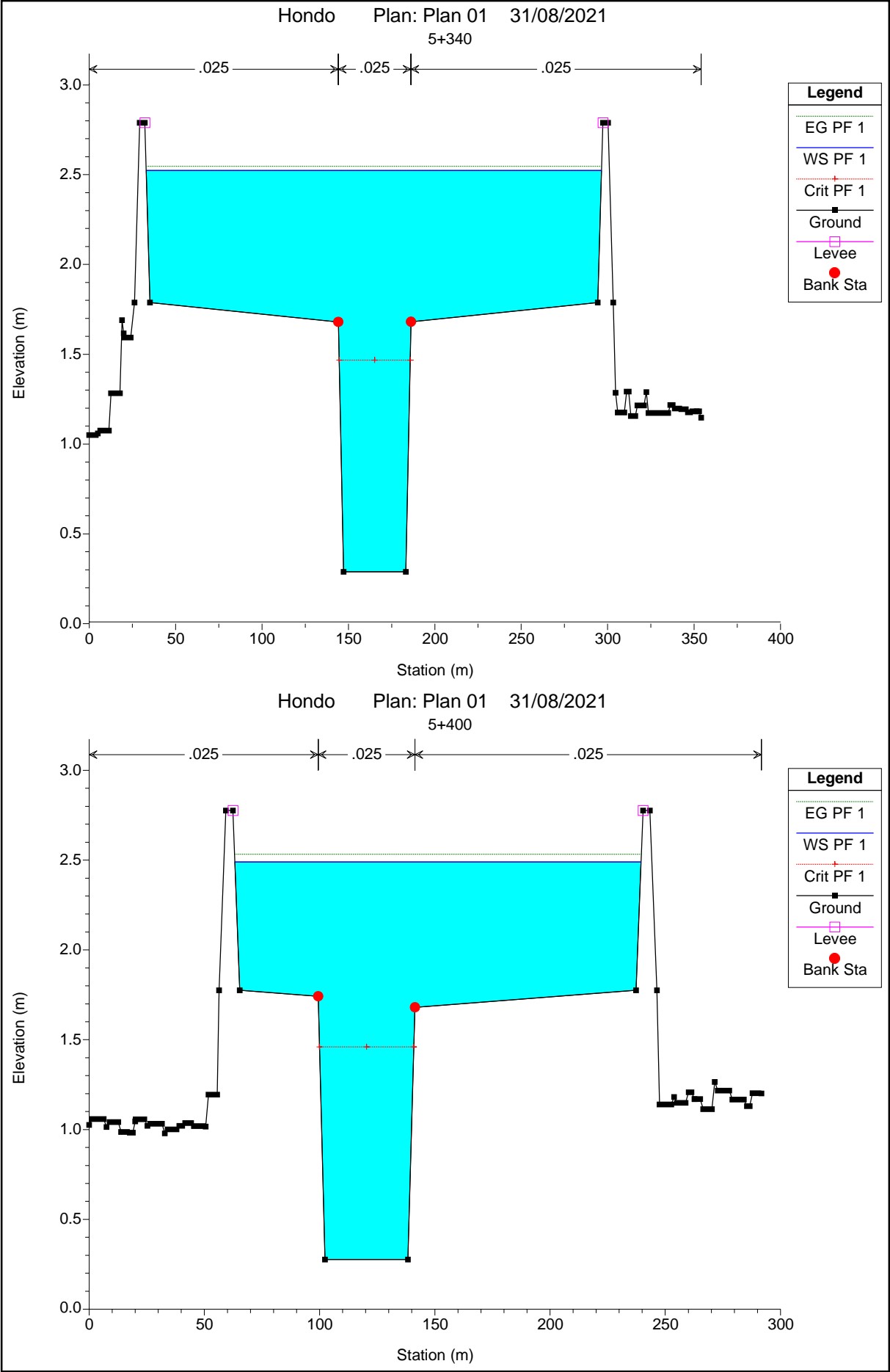


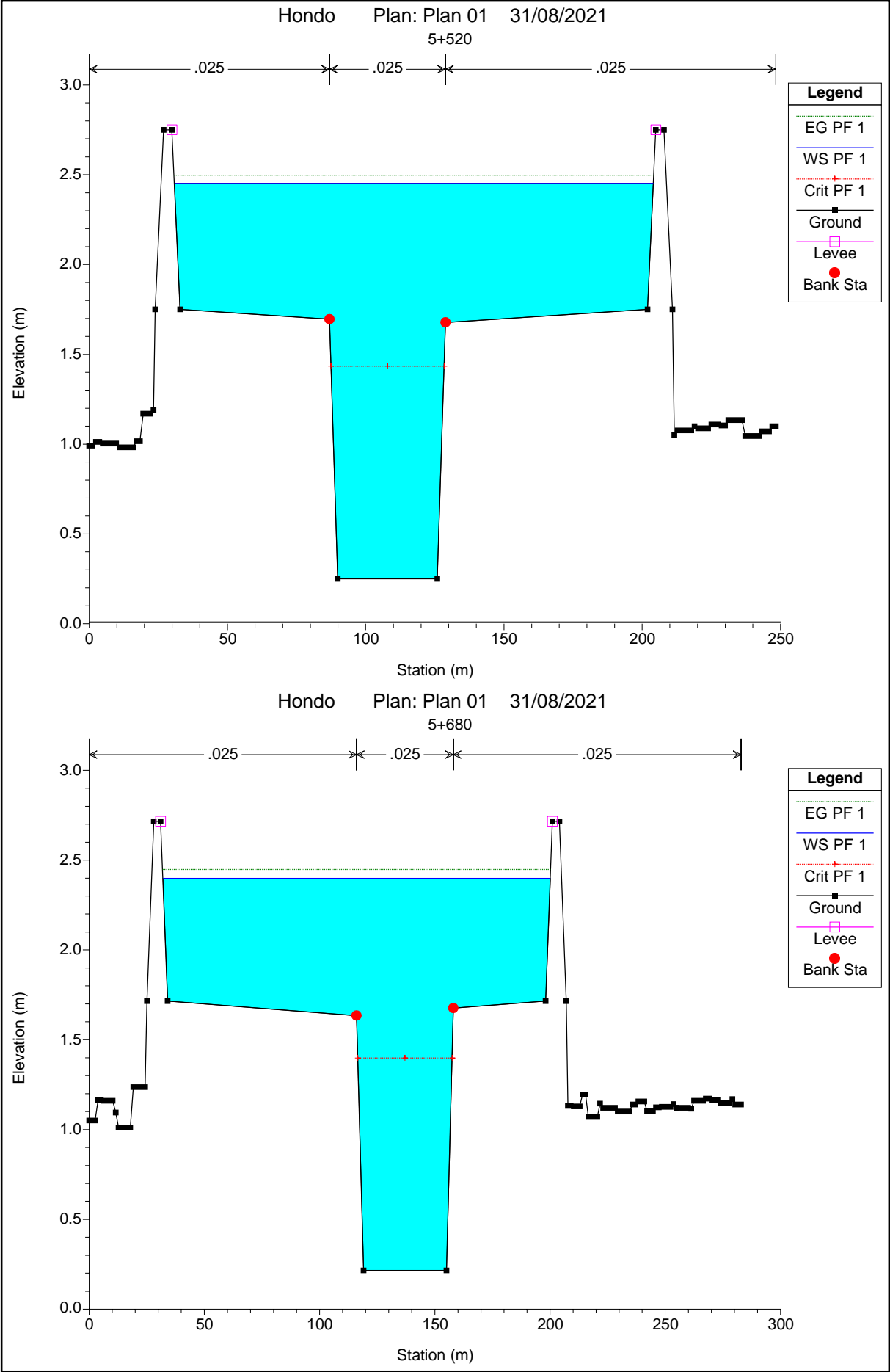


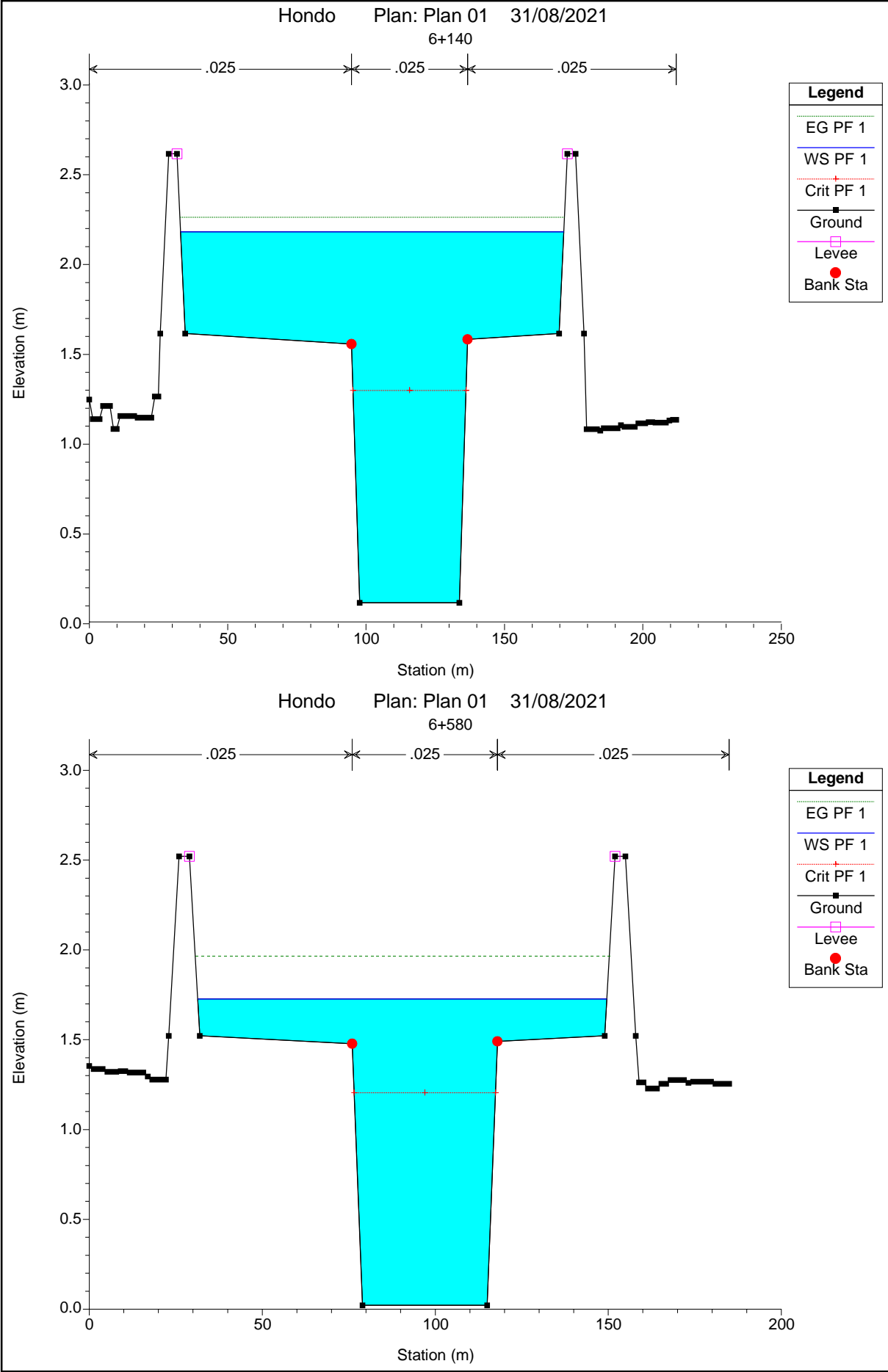


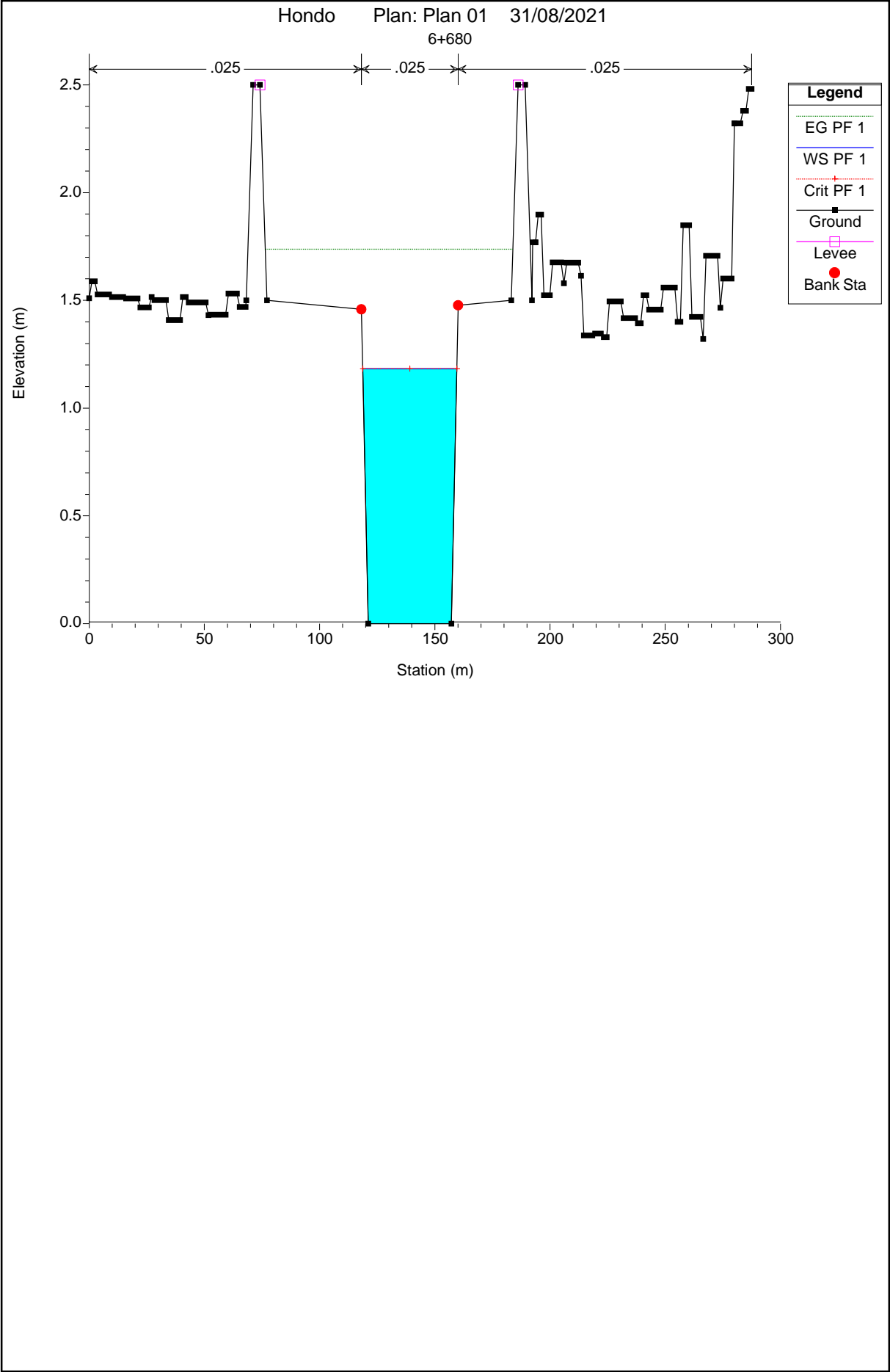












1.5.2.3.4.3. Resultados numéricos

Reach	River Sta	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
Tramo 1	0	150.00	4.00	7.21	5.98	7.41	0.000969	2.26	80.13	35.99	0.40
Tramo 1	-140	150.00	3.84	7.07	5.82	7.27	0.000940	2.23	81.01	36.15	0.40
Tramo 1	-280	150.00	3.70	6.94	5.68	7.14	0.000930	2.23	81.33	36.21	0.39
Tramo 1	-480	150.00	3.50	6.75	5.48	6.95	0.000915	2.21	81.80	36.30	0.39
Tramo 1	-640	150.00	3.34	6.61	5.32	6.80	0.000901	2.20	82.26	36.39	0.39
Tramo 1	-740	150.00	3.24	6.51	5.22	6.71	0.000890	2.19	82.62	36.46	0.39
Tramo 1	-780	Bridge									
Tramo 1	-800	150.00	3.18	6.40	5.15	6.60	0.000952	2.24	80.65	36.08	0.40
Tramo 1	-880	150.00	3.10	6.32	5.08	6.53	0.000950	2.24	80.71	36.09	0.40
Tramo 1	-980	150.00	3.00	6.23	4.98	6.43	0.000944	2.24	80.88	36.13	0.40
Tramo 1	-1100	150.00	2.90	6.11	4.87	6.31	0.000970	2.26	80.10	35.98	0.40
Tramo 1	-1180	150.00	2.82	6.02	4.80	6.23	0.000971	2.26	80.07	35.97	0.40
Tramo 1	-1640	150.00	2.36	5.58	4.34	5.78	0.000952	2.24	80.63	36.08	0.40
Tramo 1	-1720	150.00	2.28	5.50	4.26	5.71	0.000947	2.24	80.78	36.11	0.40
Tramo 1	-1800	150.00	2.20	5.43	4.18	5.63	0.000942	2.24	80.93	36.14	0.40
Tramo 1	-1880	150.00	2.12	5.35	4.10	5.55	0.000939	2.23	81.05	36.16	0.40
Tramo 1	-1900	Bridge									
Tramo 1	-2060	150.00	1.94	5.07	3.92	5.29	0.001061	2.32	77.55	35.49	0.42
Tramo 1	-2140	150.00	1.86	4.99	3.83	5.21	0.001069	2.33	77.32	35.45	0.42
Tramo 1	-2540	150.00	1.46	4.54	3.44	4.77	0.001139	2.38	75.59	35.11	0.43
Tramo 1	-2620	150.00	1.38	4.44	3.35	4.68	0.001163	2.40	75.02	35.00	0.44
Tramo 1	-2780	150.00	1.24	4.23	3.22	4.48	0.001277	2.47	72.54	34.51	0.46
Tramo 1	-2880	150.00	1.14	4.09	3.12	4.35	0.001351	2.52	71.08	34.22	0.47
Tramo 1	-3020	150.00	1.00	3.87	2.97	4.15	0.001496	2.61	68.51	33.70	0.49
Tramo 1	-3140	150.00	0.89	3.65	2.86	3.97	0.001744	2.74	64.85	32.94	0.53
Tramo 1	-3220	150.00	0.81	3.48	2.78	3.82	0.002003	2.87	61.72	32.29	0.56
Tramo 1	-3240	Bridge									
Tramo 1	-3300	150.00	0.78	3.18	2.02	3.33	0.000588	1.74	91.63	45.43	0.36
Tramo 1	-3380	150.00	0.76	3.18	1.99	3.26	0.000407	1.37	144.44	158.03	0.29
Tramo 1	-3460	150.00	0.74	3.15	1.97	3.22	0.000360	1.29	165.33	205.98	0.27
Tramo 1	-3500	150.00	0.73	3.13	1.96	3.21	0.000371	1.30	162.29	202.90	0.28
Tramo 1	-3640	150.00	0.69	3.08	1.92	3.15	0.000389	1.33	159.02	202.65	0.28
Tramo 1	-3800	150.00	0.65	2.99	1.88	3.08	0.000468	1.44	139.51	175.16	0.31
Tramo 1	-3920	150.00	0.61	2.93	1.85	3.02	0.000497	1.47	136.01	172.77	0.32
Tramo 1	-4020	150.00	0.59	2.91	1.82	2.96	0.000345	1.23	196.13	321.82	0.27
Tramo 1	-4140	150.00	0.55	2.85	1.79	2.92	0.000410	1.33	172.06	274.51	0.29
Tramo 1	-4200	150.00	0.54	2.82	1.77	2.89	0.000440	1.37	166.47	278.33	0.30
Tramo 1	-4340	150.00	0.50	2.75	1.73	2.83	0.000461	1.39	164.74	284.99	0.31
Tramo 1	-4350	Bridge									
Tramo 1	-4400	150.00	0.49	2.72	1.67	2.76	0.000258	1.05	193.97	179.40	0.23
Tramo 1	-4480	150.00	0.47	2.70	1.66	2.74	0.000277	1.09	185.95	171.35	0.24
Tramo 1	-4580	150.00	0.45	2.68	1.64	2.71	0.000243	1.02	202.70	190.34	0.22
Tramo 1	-4660	150.00	0.43	2.65	1.60	2.69	0.000269	1.07	188.65	173.29	0.23
Tramo 1	-4720	150.00	0.42	2.63	1.61	2.67	0.000295	1.12	179.04	163.24	0.25
Tramo 1	-4760	150.00	0.41	2.63	1.59	2.66	0.000197	0.92	235.65	235.31	0.20
Tramo 1	-4820	150.00	0.40	2.63	1.58	2.65	0.000108	0.68	337.32	350.39	0.15
Tramo 1	-5080	150.00	0.34	2.57	1.52	2.60	0.000203	0.93	228.70	223.39	0.20
Tramo 1	-5280	150.00	0.30	2.53	1.48	2.56	0.000218	0.97	218.35	211.37	0.21
Tramo 1	-5340	150.00	0.29	2.52	1.47	2.55	0.000163	0.84	262.66	263.41	0.18
Tramo 1	-5400	150.00	0.28	2.49	1.46	2.53	0.000276	1.08	188.14	176.28	0.24
Tramo 1	-5520	150.00	0.25	2.45	1.43	2.50	0.000293	1.11	182.85	173.21	0.24
Tramo 1	-5680	150.00	0.22	2.40	1.40	2.45	0.000316	1.15	176.13	168.09	0.25
Tramo 1	-6140	150.00	0.12	2.18	1.30	2.26	0.000505	1.39	138.42	138.40	0.32
Tramo 1	-6580	150.00	0.02	1.73	1.20	1.94	0.001487	2.09	84.19	118.23	0.53
Tramo 1	-6680	150.00	0.00	1.18	1.18	1.74	0.006009	3.30	45.45	40.84	1.00

Figura 12. Resultados numéricos (Fuente: HEC-RAS, elaboración propia).

1.5.2.3.4.4. Representación 3D

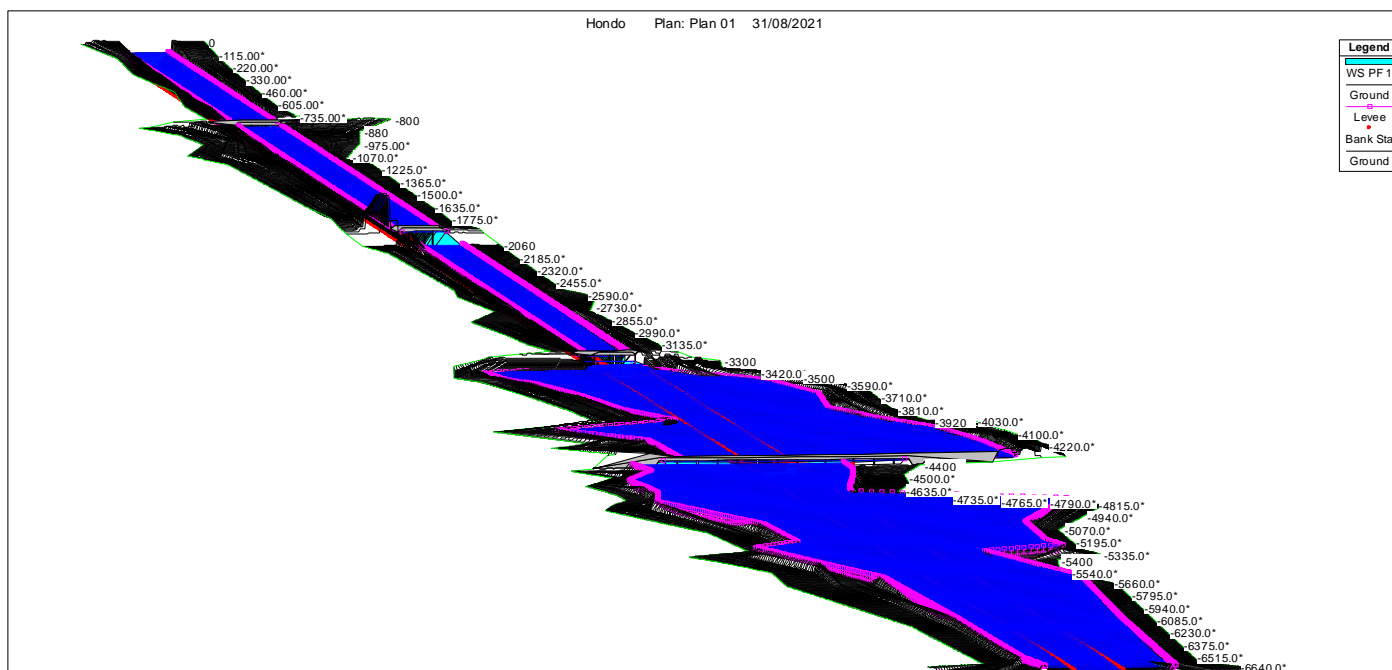


Figura 13. Representación 3D (Fuente: HEC-RAS, elaboración propia).

2. ANEJO HIDRÁULICO DEL ALIVIADERO EN FORMA DE TECLAS DE PIANO

2.1. INTRODUCCIÓN

En este anejo se pretende determinar los cálculos hidráulicos referidos al aliviadero en formas de teclas de piano. A continuación, se exponen los siguientes apartados: Datos de partida, Cálculo Hidráulico y Diseño del Aliviadero en forma de Teclas de Piano.

2.2. DATOS DE PARTIDA

El caudal para el cual se va a diseñar el aliviadero ha de ser el mismo que el máximo admitido por el canal de derivación de agua, es decir, 150 m³/s.

La curvatura del meandro en el que se encuentra localizada nuestra obra será despreciada a efectos de cálculo (la tomaremos como un segmento rectilíneo), visto que ampliarán el cauce original del río para darle más capacidad y la mota izquierda se verá desplazada hacia el Norte en ese meandro en concreto, y en consecuencia, se verá disminuida notablemente la acentuación de dicha curvatura. La anchura de la mota es de 1 m.

2.3. CÁLCULO HIDRÁULICO

En el siguiente apartado se describirán los cálculos hidráulicos realizados sobre el Aliviadero en forma de Teclas de Piano.

En primer lugar, definiremos lo que es un módulo y calcularemos su desarrollo (distancia de su recorrido en metros) para así calcular cuántos de éstos han de implantarse en la estructura en función de la cantidad de agua posible calculada para la teórica avenida máxima ($150 \text{ m}^3/\text{s}$) y para la cual se diseña todo el conjunto de las actuaciones, tanto la ampliación del cauce principal del río Segura, así como el aliviadero y el canal de derivación de agua.

Un módulo es, y en consecuencia su desarrollo consiste, en la suma de todos los lados de una tecla de piano por los que evacúa agua y el ancho de su tecla colindante.

En el caso de nuestro aliviadero, la suma de todos los lados del módulo propuesta es de:

$$L = 7 + 7 + 2,5 + 2 = 18,5 \text{ m}$$

Siendo ambos 7 los dos lados mayores por los que descarga agua del rectángulo, el 2,5 es el ancho de la tecla que sobresale y el 2 es el ancho de la tecla que no.

A continuación, hay que despejar la siguiente fórmula para saber el caudal que ha de evacuar cada metro lineal sabiendo que la longitud en línea recta de nuestro aliviadero propuesta es de 36 m, que ha de estar centrada con el ancho del canal de derivación de agua (38 m) y que la máxima avenida propuesta son $150 \text{ m}^3/\text{s}$:

$$Q_T = m * Q_m$$

$$150 = 36 * Q_m$$

$$Q_m = 4,16 \text{ m}^3/\text{s}$$

Este resultado de aliviación de agua por metro es razonable dentro de los parámetros establecidos, ahora hay que comprobar que la altura de agua sobre el aliviadero (H) no sea desproporcionada.

Para dicho cálculo necesitaremos determinar distintos parámetros previos (para los cuales también necesitaremos la altura de agua sobre el aliviadero [H]) para la obtención del coeficiente de caudal equivalente (v) por unidad de longitud fluvial del aliviadero, que multiplicado por el caudal desaguado por el vertedero en pared delgada convencional (Q_0) obtenemos el caudal aliviado por cada metro (Q_m), que ha de ser igual a $4,16 \text{ m}^3/\text{s}$.

Parámetros a obtener para el cálculo del coeficiente de caudal equivalente por unidad de longitud fluvial del aliviadero (v):

- La longitud frontal de desagüe de cada módulo (W) es de:

$$W = 2,5 + 2 = 4,5 \text{ m}$$

- Coeficiente multiplicador primario “ δ ”:

$$\delta = \left[\frac{\frac{L - W}{W}}{\frac{H}{P_i}} \right]^{0,9} = \left[\frac{\frac{18,5 - 4,5}{4,5}}{\frac{H}{7,5}} \right]^{0,9} = \frac{17,029}{H^{0,9}}$$

Donde “H” es el término final a obtener y “ P_i ” es la altura libre de agua en la entrada, que en el caso de avenida máxima de 150 m³/s la altura en el cauce principal del río Segura en ese punto de su trayecto es de 7,5 m.

- A continuación, calcularemos los coeficientes correctores secundarios, que son los siguientes:
 - El coeficiente corrector “w” debido a la relación de anchura de los caudales de entrada y salida:

$$w = \left[\frac{w_i}{w_0} \right]^{0,05} = \left[\frac{2,5}{2} \right]^{0,05} = 1,0112$$

- El coeficiente “p” debido a la relación entre las alturas libres de entrada y salida, la tomamos igual a 1 quedando del lado de la seguridad, ya que “ P_0 ” es variable pero como mínimo es igual a “ P_i ”:

$$p = \left[\frac{P_0}{P_i} \right]^{0,25} = 1$$

- El coeficiente corrector “b” debido a los voladizos de entrada y salida en relación con la suma de ambos más el ancho del muro:

$$b = \left[0,3 + \frac{B_i + B_0}{B} \right]^{-0,5} = \left[0,3 + \frac{3 + 3}{7} \right]^{-0,5} = 0,93$$

- El coeficiente corrector “a” debido a la altura del parapeto:

$$a = 1 + \left[\frac{R_0}{P_0} \right]^2 = 1 + \left[\frac{0,5}{7,5} \right]^2 = 1,004$$

- Finalmente, con todos los parámetros anteriores obtenemos “v”, que es el coeficiente de caudal equivalente por unidad de longitud fluvial del aliviadero:

$$v = 1 + 0,24 * \delta * (wpba)$$

A continuación, multiplicamos el coeficiente de caudal equivalente por unidad de longitud fluvial del aliviadero “v” por el caudal desaguado por el vertedero en pared delgada convencional “ Q_0 ” y obtenemos el caudal aliviado por cada metro “ Q_m ”, que como sabemos que ha de ser 4,16 m³/s, la única incógnita que nos queda (que es el dato que queremos obtener para saber si es un despropósito en altura o no) es “H” que es la altura de agua sobre nuestro aliviadero.

El caudal desaguado por el vertedero en pared delgada convencional “ Q_0 ” equivale a la siguiente expresión:

$$Q_0 = 0,42 * \sqrt{2 * g} * H^{\frac{3}{2}}$$

En consecuencia, sabiendo el caudal aliviado por cada metro “ Q_m ”, despejamos la altura de agua sobre nuestro aliviadero “ H ”:

$$\begin{aligned} Q_m &= 4,1\hat{6} = v * Q_0 = (1 + 0,24 * \delta * (wpba)) * 0,42 * \sqrt{2 * g} * H^{\frac{3}{2}} \\ &= \left(1 + 0,24 * \frac{17,029}{H^{0,9}} * (1,0112 * 1 * 0,93 * 1,004) \right) * 0,42 * \sqrt{2 * g} * H^{\frac{3}{2}} \\ &\rightarrow H = 0,345 \text{ m} \end{aligned}$$

Con el valor obtenido de la ecuación anterior podemos justificar que el valor de la altura de agua sobre nuestro aliviadero “ H ” es proporcional a la estructura diseñada.

2.4. DISEÑO DEL ALIVIADERO EN FORMA DE TECLAS DE PIANO

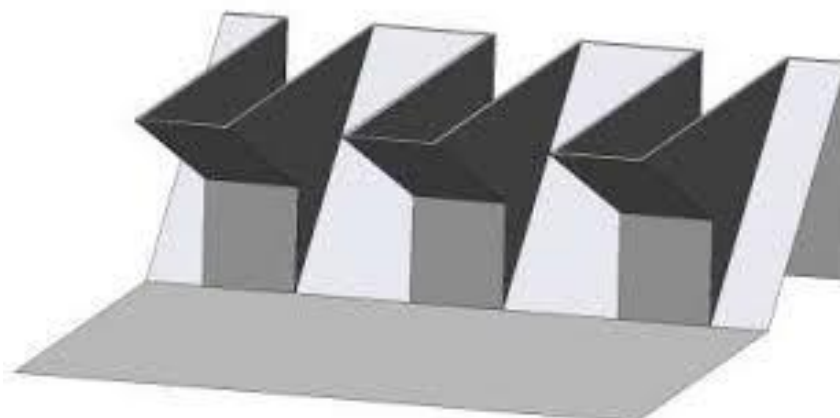


Figura 14. Ejemplificación del Aliviadero en forma de Teclas de Piano (Fuente: Optimización geométrica de aliviaderos en tecla de piano para la mejora de su capacidad hidráulica, 2019).

3. ANEJO GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO

3.1. INTRODUCCIÓN

En el siguiente anejo se pretende explicar cómo es el lugar de nuestra obra y cómo ésta se verá afectada por el entorno en el que se encuentra situada en lo que a la litología, estratigrafía, topografía y sismicidad se refiere.

Además, se adjuntarán los cálculos geotécnicos referidos a la influencia de la escollera del primer tramo sobre el terreno.

3.2. OBJETO Y ALCANCE DEL ESTUDIO

El principal objetivo del estudio es determinar la manera en que la geología y la geotecnia de la zona afectan al canal de derivación de agua, con el fin de determinar:

- La litoestratigrafía y estructura de las formaciones afectadas.
- Topografía
- Edafología y excavabilidad de los terrenos.
- Hidrogeología.
- Sismicidad.
- Geotecnia.

3.3. MARCO GEOLÓGICO

La gran mayor parte de los terrenos del entorno del canal de derivación de agua presentan usos del suelo agrícola dedicados a cultivos de regadío. Para la selección del emplazamiento del canal de derivación de agua se han tenido en cuenta las siguientes condiciones:

- La derivación del agua antes de llegar a la localidad de Rojales.
- La menor expropiación posible de terrenos.
- La menor distancia a la ampliación del humedal del Parque Natural de El Hondo.
- El mayor alejamiento de los núcleos de población.

En la sucesión estratigráfica de Rojales se pueden distinguir cuatro conjuntos litológicos o formaciones para los cuales se mantienen las denominaciones originales. Todos ellos pueden reconocerse en el entorno de la localidad de Rojales:

- Formación de las Margas de Hurchillo
- Formación de Areniscas de Rojales
- Formación de Areniscas y Margas Versicolores
- Formación de Conglomerados del Segura

De las cuatro, nos centraremos en la que se encuentra nuestra obra, la Formación Areniscas de Rojales. La sucesión estratigráfica de Rojales presenta una edad Plioceno inferior muy alto. Los materiales son de naturaleza margosa y caliza (Montenat, 1973).

3.4. TOPOGRAFÍA DE LA CUENCA DEL SEGURA

Topográficamente la Cuenca del Segura es un territorio de gran variedad orográfica en el cual alternan las montañas con valles, depresiones y llanuras, con cotas máximas por encima de los 2.000 m. La zonificación en altura ofrece en términos generales una distribución en la cual el 18% de superficie se sitúa por debajo de los 200 m de altitud; el 40% se encuentra bajo los 500 m de altitud y el 81% bajo la cota 1.000 m sobre el nivel del mar. Las sierras superan con frecuencia los 1.000 m, y los altiplanos, con alturas comprendidas entre 500 y 1.000 m, se extienden por el Noroeste, con topografía suave, y pendientes acusadas en los bordes. Entre las alineaciones montañosas surgen valles, corredores, depresiones, que, correspondiéndose con los cursos fluviales, no llegan a 500 m de altitud. Por debajo de los 200 m de cota solo aparecen suaves llanuras con pendientes débiles.

La Demarcación Hidrográfica del Segura se encuentra casi en su totalidad dentro del dominio geológico de las Cordilleras Béticas. Solo en su parte norte se encuentran materiales de la cobertera tabular que ocultan los terrenos más antiguos del zócalo herciniano de la Meseta, los cuales constituyen, a su vez, la base del conjunto Bético. Las Cordilleras Béticas, al igual que sucede con la mayoría de las cordilleras alpinas, presentan dos grandes conjuntos de características netamente diferentes: Zonas Externas y Zonas Internas:

- Las Zonas Externas se localizan geográficamente al Norte y están formadas fundamentalmente por materiales del mesozoico-terciarios depositados en un margen de plataforma continental y plegados, posteriormente, por la orogenia alpina, sin que el zócalo rígido sea afectado de manera importante por ésta.
- Las Zonas Internas, situadas al sur, están formadas en su mayor parte por rocas metamórficas o que han sufrido algún principio de metamorfización. Corresponden, en su mayor parte a dominios paleogeográficos diferentes a los de las Zonas Externas y están relacionados con la placa africana. Por otra parte, los materiales paleozoicos están afectados por la orogenia alpina de manera importante.

3.5. EDAFOLOGÍA

La naturaleza, limitación de uso y capacidad productiva de los suelos presentes en la Demarcación Hidrográfica del Segura es consecuencia de las características climáticas, fisiográficas, geológicas y litológicas descritas, así como de los factores ecológicos (vegetación y actividad antropogénica) que acompañan al suelo en su desarrollo. La topografía representa un papel importante en cuanto a la precipitación efectiva, dado que en la zona las lluvias torrenciales, y su consiguiente proceso de escorrentía directa, representan una parte importante de la precipitación total. La humedad del suelo tiene escasa variación en toda la cuenca, presentándose dos regímenes diferentes, según la Soil Taxonomy: Árido y Xérico. Esto implica que, dentro de los factores edafogenéticos, la roca madre es la que más ha influido en las características actuales de los suelos. En general, su escasa consistencia y la abierta vegetación que los cubre facilitan la formación de surcos de erosión y, por agregación, de redes de drenaje abundantemente ramificadas. La diversidad geológica y litológica no está siempre acompañada por diversidad edafológica, si bien la combinación de los distintos paisajes, relieves, climas y sustratos geológicos ha dado lugar a suelos de muy diversa naturaleza. Por otra parte, el déficit hídrico produce frecuentemente aumentos del nivel de sales en los horizontes altos, y aún los suelos formados sobre rocas silíceas son frecuentemente básicos o salinos.

A partir de las coberturas Corine Land Cover de 2000 se ha analizado la diferente tipología de usos del suelo presentes en la Demarcación Hidrográfica del Segura. Así, el 52,1% del suelo de la cuenca se encuentra cultivado, el 45,2% del suelo de la cuenca tiene categoría forestal o de zonas seminaturales, el 2,1% del suelo tiene carácter artificial, el 0,4% se encuentra ocupado por masas de agua y el 0,2% de la superficie se encuentra ocupado por humedales.

Para nuestra obra, como su excavación es relativamente poco profunda, únicamente tendremos en cuenta para la excavabilidad la parte superior del terreno (la edafología), la litografía y estratigrafía no influyen a efectos prácticos en la obra.

3.6. HIDROGEOLOGÍA

Hidrogeológicamente, la complejidad geológica mostrada anteriormente, da lugar a la existencia de numerosos acuíferos de mediana y pequeña extensión, con estructuras geológicas frecuentemente complejas y atormentadas, y que contribuyen apreciablemente al sostenimiento de los caudales naturales de los ríos.

Desde un punto de vista fluvial la Demarcación Hidrográfica del Segura está dominada por el río Segura, como único río principal, y el conjunto de sus afluentes. El resto de los cauces son ramblas efímeras directas al mar con una respuesta hidrológica muy irregular condicionada por los aguaceros sobre sus cuencas vertientes. La producción fundamental de recursos hídricos se concentra en la cabecera de la cuenca (ríos Segura y Mundo hasta su confluencia). Aguas abajo de esta confluencia, los cauces de la margen izquierda son, en general, ramblas sin aportaciones permanentes y con un marcado carácter torrencial (ramblas del Judío, Moro,...) mientras que los de la margen derecha son, en general ríos propiamente dichos (Moratalla, Argos, Quípar, Mula, Guadalentín), con caudales exigüos pero permanentes.

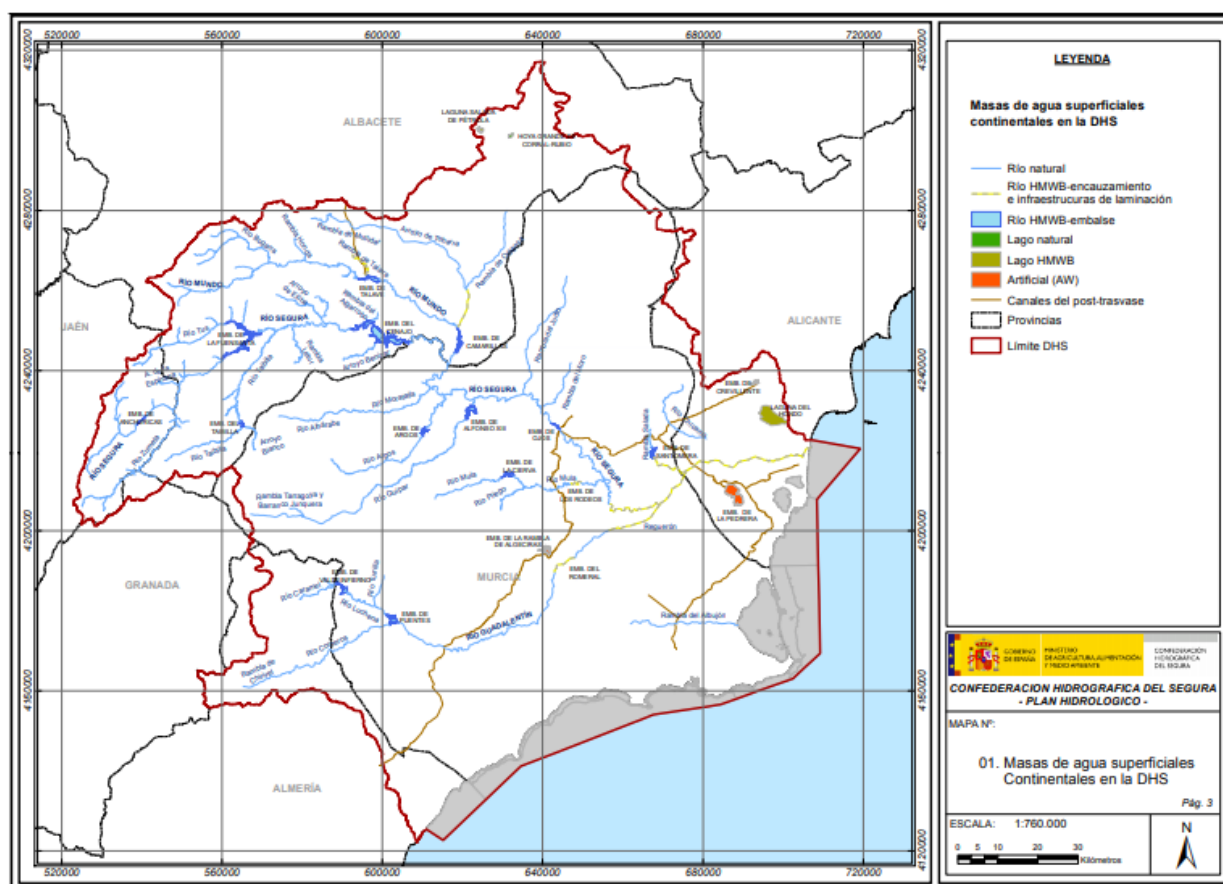


Figura 15. Masas de agua superficiales continentales en la CHS (Fuente: CHS, Plan Hidrológico 2015-2021, 2015)

3.7. SISMICIDAD

La comarca del Bajo Segura está considerada, después de Granada, como la segunda zona sísmica de la Península Ibérica. La Vega Baja constituye el foco sísmico más relevante del sureste español.

Se distinguen tres importantes núcleos sísmicos en la comarca: el de Torrevieja, el de Rojas y el de Benejúcar, siendo este último el más importante.

Los núcleos de Benejúcar y Rojas están situados en la línea sismo-tectónica del Bajo Segura. Estos núcleos contienen dos fallas:

- La de Benejúcar-Benijófar que procede del hundimiento del bloque septentrional en época post-pliocénica
- La falla de Guardamar, originada por el desplazamiento de bloques menos acentuados.

El núcleo de Torrevieja se sitúa en el extremo sur de la falla de su mismo nombre que cruza a la de Guardamar y está delimitado por la fosa tectónica de la Rambla de Benferri, así como por diversas pequeñas fallas en Hurchillo y Los Montesinos.

Entre los núcleos sísmicos periféricos a la comarca, aunque de muy inferior intensidad y frecuencia, es de señalar el formado por la línea del Sangonera (Murcia), que se extiende desde Lorca (Murcia) hasta Callosa de Segura, afectando a la comarca del Bajo Segura en su último segmento.

Los focos sísmicos del Bajo Segura son convulsionados con una frecuencia de 10-12 sacudidas ligeras al año.

El 21 de marzo de 1829 se produjo un fuerte terremoto con epicentro comprendido entre los núcleos urbanos de Benejúcar, Rojas y Torrevieja, que originó la destrucción de algunas localidades de la comarca y graves daños en las restantes poblaciones. El terremoto fue más violento en las orillas del río Segura debido a la facilidad de propagación de las ondas sísmicas en el terreno aluvial y algo menos en los lugares apartados de sus riberas.

Después de este sismo, el segundo en importancia registrado en la comarca fue el de 1909, que ocasionó la destrucción de la pedanía oriolana de Torremendo. Salvo estos dos seísmos reseñados, acontecidos en época moderna, ninguno de los registrados hasta nuestros días ha ocasionado daños de consideración en la zona.

3.8. GEOTECNIA

En el siguiente apartado determinaremos si es posible elaborar un muro de escollera colocada en el primer tramo del canal de derivación de agua.

El peso de los bloques de escollera rondará entre los 300-500 kg con peso específico entorno a las 2,6 Tn/m³ y el talud que adoptan las secciones en esa zona es de 12H:3,5V, un talud suficientemente estable para que no se produzca ningún vuelco o desprendimiento.

Los cálculos geotécnicos corresponden con el tamaño de escollera que ha de colocarse en el primer tramo donde el canal adopta una forma trapezoidal. Para ello, calcularemos el tamaño medio de dicha escollera (d_{50}) en función del calado (D) y la velocidad media

del agua (v) según la fórmula del U.S. Army Corp of Engineers (1970) para escollera vertida:

$$d_{50} = \frac{\tau_w * v^2}{C_C * (\tau_s - \tau_w) * \left(32,6 * \log \frac{11,1 * D}{d_{50}}\right)^2} = \frac{1 * 2,5^2}{1 * (2,6 - 1) * \left(32,6 * \log \frac{11,1 * 2,5}{d_{50}}\right)^2} \cong 0,47 \text{ m}$$

Donde:

d_{50} = Tamaño medio escollera

C_C = Coeficiente de seguridad = 1

τ_w = Peso específico del agua = 1 Tn/m³

τ_s = Peso específico de la escollera = 2,6 Tn/m³

v = Velocidad media del flujo en dicho tramo = 2,5 m/s

D = Calado medio en dicho tramo = 2,5 m