eoi escuela de negocios

27/7/2009

ESTUDIO DE RECUPERACIÓN DEL ESPACIO FLUVIAL Y PROPUESTA DE DEFENSA FRENTE A INUNDACIONES EN UN TRAMO DEL RÍO GUADARRAMA A SU PASO POR EL TÉRMINO MUNICIPAL DE MÓSTOLES

Autoras | Marina Blanco Flores
Marta Fernández Boyano
Tutor: Francisco Javier Sánchez Martínez

ÍNDICE

1. ANTECEDENTES 9

1.1. IMPORTANCIA EN LA DETERMINACIÓN DE ZONAS INUNDABLES 9

1.2. NORMATIVA APLICABLE 11

1.3. OBJETO DE ESTUDIO 23

2. ANÁLISIS HISTÓRICO 28

2.1. INUNDACIONES HISTÓRICAS Y ZONAS DE RIESGO POTENCIAL 28

2.2. CATÁLOGO NACIONAL DE INUNDACIONES HISTÓRICAS (CNHI) 29

2.3. SISTEMA NACIONAL DE CARTOGRAFÍA DE ZONAS INUNDABLES (SNCZI) 38

3. TECNOLOGÍA LIDAR: REALIZACIÓN DE CARTOGRAFÍA 40

3.1. FUENTES DE ERROR 43

3.2. POSTPROCESAMIENTO DE LOS DATOS LIDAR CATÁLOGO NACIONAL DE INUNDACIONES HISTÓRICAS (CNHI) 43

3.3. APLICACIONES DEL SISTEMA LIDAR CATÁLOGO NACIONAL DE INUNDACIONES HISTÓRICAS (CNHI) 44

4. ESTUDIO HIDROLÓGICO 46

4.1. INTRODUCCIÓN 46

4.2. OBJETIVO 46

4.3. RECOPILACIÓN DE DATOS 47

4.4. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN FORONÓMICA 47

4.4.1. METODOLOGÍA EMPLEADA 47

4.4.2. RESULTADOS 51

4.5. ANÁLISIS MAPA DE CAUDALES MÁX DE LA CUENCA DEL TAJO 59

4.5.1. METODOLOGÍA EMPLEADA 59

4.5.2. RESULTADOS 62

4.6. RESULTADOS ANÁLISIS FORONÓMICO *versus* MAPA CAUDALES MÁXIMOS 64

4.7. FUNCIONAMIENTO DE LA CUENCA 65

4.8. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO HIDROLÓGICO 70

5. ESTUDIO GEOMORFOLÓGICO 70

5.1. IDENTIFICACIÓN DE ECOREGIONES: PROVINCIAS Y SUBPROVINCIAS BIOGEOGRÁFICAS. ZONAS DE VEGETACIÓN DE RIBERA 71

5.2. CARACTERIZACIÓN DE LAS CUENCAS VERTIENTES 72

5.3. GEOLOGÍA DE LA CUENCA 73

5.4. RÉGIMEN DE CAUDALES 74

5.5. MORFOLOGÍA DEL CAUCE 74

5.6. CARACTERIZACIÓN DE LOS HÁBITAT FLUVIALES 75

6. ESTUDIO HIDRÁULICO 77

6.1. METODOLOGÍA EMPLEADA 77

7. DELIMITACIÓN DEL ESPACIO FLUVIAL 82

8. PROPUESTA DE ACTUACIONES 88

8.1. IMAGEN DE REFERENCIA 88

8.2. IMAGEN OBJETIVO 88

8.3. ACTUACIONES 88

9. CONCLUSIONES FINALES 100

10. BIBLIOGRAFÍA 101

ANEXO I: PERFILES Y SECCIONES TRANSVERSALES PARA LA MÁXIMA CRECIDA ORDINARIA.

ANEXO II: PERFILES Y SECCIONES TRANSVERSALES PARA LA MÁXIMA CRECIDA ORDINARIA (CEDEX).

ANEXO III: PERFILES Y SECCIONES TRANSVERSALES PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS.

ANEXO IV: PERFILES Y SECCIONES TRANSVERSALES PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 500 AÑOS.

ANEXO V: PERFILES Y SECCIONES TRANSVERSALES PARA DETERMINAR LA VÍA DE INTENSO DESAGÜE.

ANEXO VI: MAPAS

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1: Puntos conflictivos por la existencia de inundaciones (Fuente: Protección Civil).

Figura 2: Situación del Parque Regional del Curso Medio del Guadarrama.

Figura 3: Mapa de situación de la cuenca de estudio.

Figura 4: Modelo Digital del Terreno.

Figura 5: Mapa de pendientes.

Figura 6: Ubicación de las estaciones de aforo de la cuenca de estudio.

Figura 7: Hidrología de la cuenca de estudio.

Figura 8: Mapa climático y de precipitaciones de la Comunidad de Madrid (Fuente: www.madrid.org).

Figura 9: Mapa geológico (Fuente: IGME).

Figura 10: Mapa de usos del suelo (Fuente IDEE).

Figura 11: Mapa de usos del suelo (Fuente: Corine Land Cover).

Figura 12: Fotografía aérea de la zona de estudio, cruce entre el río Guadarrama y la carretera, en su paso por Móstoles (1946). (Fuente: gestiona.madrid.org/nomecalles/Inicio.icm?munic=092).

Figura 13: Fotografía aérea de la zona de estudio, cruce entre el río Guadarrama y la carretera, en su paso por Móstoles (1956). (Fuente: gestiona.madrid.org/nomecalles/Inicio.icm?munic=092).

Figura 14: Fotografía aérea de la zona del poblado chabolista. Cruce entre el río Guadarrama y la carretera N-V, en su paso por Móstoles (1975). (Fuente: gestiona.madrid.org/nomecalles/Inicio.icm?munic=092).

Figura 15: Fotografía aérea de la zona del poblado chabolista. Cruce entre el río Guadarrama y la carretera N-V por Móstoles (1991). (Fuente: gestiona.madrid.org/nomecalles/Inicio.icm?munic=092).

Figura 16: Fotografía aérea de la zona del poblado chabolista. Cruce entre el río Guadarrama y la autovía A-5, en su paso por Móstoles (1999). (Fuente: gestiona.madrid.org/nomecalles/Inicio.icm?munic=092).

Figura 17: Fotografía aérea de la zona del poblado chabolista. Cruce entre el río Guadarrama y el puente de la autovía A-5, en su paso por Móstoles (2001) (Fuente: gestiona.madrid.org/nomecalles/Inicio.icm?munic=092).

Figura 18: Fotografía aérea de la zona del poblado chabolista. Cruce entre el río Guadarrama y el puente de la autovía A-5, en su paso por Móstoles (2007). (Fuente: gestiona.madrid.org/nomecalles/Inicio.icm?munic=092).

Figura 19: Fotografía aérea de la zona del poblado chabolista y aguas arriba. Aumento de la presión urbanística principalmente en la margen izquierda del río Guadarrama, en su paso por Móstoles (2009). (Fuente: Google Maps).

Figura 20: Fotografía aérea de la zona del poblado chabolista. Cruce entre el río Guadarrama y el puente de la autovía A-5, en su paso por Móstoles (2009). (Fuente: Google Maps).

Figura 21: Imágenes de la situación actual del asentamiento ilegal en Móstoles, a orillas del rio Guadarrama.

Figura 22: Esquema del sistema LIDAR.

Figura 23: Sistema LIDAR helicóptero versus avión.

Figura 24: Diferentes ecos producidos.

Figura 25: Hillshade obtenido del MDT.

Figura 26: MDS y MDT respectivamente del Rio Guadarrama en el tramo de estudio.

Figura 27: Imagen de Vegetación.

Figura 28: Distribución de las estaciones de aforo en la cuenca.

Figura 29: Gráficas de las rectas de regresión de caudales instantáneos en las EA 3100.

Figura 30: Gráficas de las rectas de regresión de caudales instantáneos en las EA 3194.

Figura 31: Gráficas de las rectas de regresión de caudales instantáneos en las EA 3179.

Figura 32: Gráficas de las rectas de regresión de caudales instantáneos en las EA 3102.

Figura 33: Cronograma de las cuatro estaciones de aforo (tramo del río Guadarrama).

Figura 34: Caudales máximos medios mensuales estación de aforo 3100 (Villalba). (Fuente: CHAC).

Figura 35: Caudales máximos medios mensuales estación de aforo 3194 (Galapagar). (Fuente: CHAC).

Figura 36: Caudales máximos medios mensuales estación de aforo 3179 (Punto de cierre, Navalcarnero). (Fuente: Aplicación CHAC).

Figura 37: Caudales máximos medios mensuales estación de aforo 3102 (Bargas). (Fuente: Aplicación CHAC).

Figura 38: Gráfica de la ley de frecuencia GEV por el método de los momentos para la EA 3100. (Fuente: Aplicación CHAC).

Figura 39: Gráfica de la ley de frecuencia GEV por el método de los momentos para la EA 3194. (Fuente: Aplicación CHAC).

Figura 40: Gráfica de la ley de frecuencia GEV por el método de los momentos para la EA 3179. (Fuente: Aplicación CHAC).

Figura 41: Gráfica de la ley de frecuencia GEV por el método de los momentos para la EA 3102. (Fuente: Aplicación CHAC).

Figura 42: División en regiones con comportamiento estadístico homogéneo respecto a los caudales máximos anuales.

Figura 43: Mapa por regiones estadísticamente homogéneas en la cuenca del Tajo. Escala 1:1.568.070 (Fuente: Aplicación CauMax Tajo).

Figura 44: Zona norte de la cuenca de estudio (río Guadarrama).

Figura 45: Río Guadarrama a su paso por el término de Galapagar.

Figura 46: Río Guadarrama a su paso por Molino de la Hoz.

Figura 47: Zona centro de la cuenca de estudio (río Guadarrama).

Figura 48: Zona sur de la cuenca de estudio (río Guadarrama).

Figura 49: Esquema para la clasificación geomorfológica del tramo en estudio.

Figura 50: Biogeografía Ibérica según Rivas Martínez et al. 2003.

Figura 51: Régimen de caudales del río Guadarrama.

Figura 52: Substrato de arenas en la orilla del río Guadarrama (izqda), dunas en el lecho del río (centro), y zarzas en las orillas (dcha).

Figura 53: Formas del lecho. Vegetación de las orillas. Río Guadarrama.

Figura 54: Geometría del cauce creada a partir de la extensión HEC-GeoRAS.

Figura 55: Geometría del cauce incluyendo las secciones procedentes de la interpolación y las motas.

Figura 56: Mancha de inundación y grid de calados obtenidos para un periodo de retorno de 500 años.

Figura 57: Delimitación geomorfológica del DPH, en 1956 (izda.) y actual (dcha.).

Figura 58: Evidencias efímeras de sedimentos (arriba) y canales secundarios (abajo).

Figura 59: Evidencias efímeras: arribazones.

Figura 60: Evidencias topográficas: ondulaciones y desniveles.

Figura 61: Evidencia canal secundario: LIDAR (arriba) y ortofoto (centro). Dirección del flujo (izda.).

Figura 62: Ejemplo de perfiles transversales HEC-RAS. Determinación de la vía de intenso desagüe (ver anexo).

Figura 63: Mapa propiedades catastro, DPH delimitado por la zona roja. (Fuente: Oficina Virtual del Catastro).

Figura 64: Composición de la vegetación riparia con intrusiones de zarzas (ejemplo).

Figura 65: Bosques mixtos de ribera, tramo río Guadarrama (julio 2009).

Figura 66: Agua retenida en un canal secundario del río Guadarrama (julio 2009).

Figura 67: Imágenes de la ocupación humana de la llanura de inundación.

Figura 68: EDAR de El Soto (Móstoles).

Figura 69: Imágenes del arroyo del Soto metros antes de su desembocadura en el río Guadarrama.

Figura 70: Ortofotos: año 1956 (izda.) y actual (dcha.)

Figura 71: Imagen de las construcciones ilegales en zona de servidumbre del río Guadarrama.

Figura 72: Especies arbóreas y arbustivas más frecuentes en las orillas y riberas de los ríos. (Fuente: "Restauración de Ríos. Guía Metodológica para la elaboración de proyectos")

Figura 73: Imágenes de los residuos de origen antrópico en las orillas del río Guadarrama, en el tramo estudiado.

Figura 74: Perfiles transversales de las secciones introducidas en HEC-RAS. Perfil antes de las actuaciones propuestas (izda.) y después (dcha.).

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1: Inundaciones en la cuenca del río Guadarrama en el periodo de 1900-2009 (Fuente: CNIH).

Tabla 2: Inundaciones en la cuenca del río Guadarrama en el periodo de 1900-2009(2) (Fuente: CNIH).

Tabla 3: Características de las presas inventariadas en la cuenca de estudio en el río Guadarrama (Fuente: Inventario de presas y embalses, MARM).

Tabla 4: Localización de las estaciones de aforo de la cuenca de estudio en el río Guadarrama (de aguas arriba a aguas abajo).

Tabla 5: Estadísticas de los resultados de caudales medios mensuales en las estaciones de aforo del estudio en el río Guadarrama. (Fuente: Aplicación CHAC).

Tabla 6: Resultados de la ley de frecuencia GEV para las estaciones en estudio.

Tabla 7: Resultados de la ley de frecuencia GEV para las estaciones en estudio, para periodos de retorno bajos.

Tabla 8: Resultados caudales medios máximos anuales de un periodo de 10 años.

Tabla 9: Coeficientes de variación regionales y periodos de retorno para la máxima crecida ordinaria en las regiones estadísticas de la cuenca del Tajo.

Tabla 10: Localización de las estaciones de aforo de la cuenca (de aguas arriba a aguas abajo).

Tabla 11: Resultados de la aplicación CauMax para las cuatro estaciones de aforo en estudio (de aguas arriba a aguas abajo).

Tabla 12: Resultados caudal máxima crecida ordinaria, aplicación CauMax para las cuatro estaciones de aforo en estudio.

Tabla 13: Resultados de la aplicación CauMax para las cuatro estaciones de aforo en estudio, para periodos de retorno bajos.

Tabla 14: Resumen estudio hidrológico de la zona objetivo en el río Guadarrama.

Tabla 15: Comparación medias de los caudales medios registrados antes y después de 1977 en las estaciones aguas abajo del embalse de Las Nieves.

Tabla 16: Listado de los embalses de la cuenca del río Guadarrama.

Tabla 17: Valores de la n de Manning para el tramo en estudio.

1. ANTECEDENTES

1.1. IMPORTANCIA EN LA DETERMINACIÓN DE ZONAS INUNDABLES

España es un país en el que la incidencia de las inundaciones ha supuesto y supone un capítulo a tener en cuenta de manera muy especial en todas las políticas asociadas con la gestión del agua, la ordenación del territorio, la conservación del medio ambiente y el desarrollo sostenible.

En España, las inundaciones suponen el peligro natural de mayor importancia, por la recurrencia y las importantes pérdidas producidas año tras año. La irregularidad de las precipitaciones asociadas al clima mediterráneo, la eventualidad de fenómenos de gota fría, junto a la ocupación de cauces con cursos de agua de caudal irregular con construcciones, da lugar a una exposición al riesgo muy elevada. Esta ocupación de las llanuras fluviales ha sido mucho más acentuada en los últimos años, derivada del crecimiento urbano y de los núcleos medios que acompaña al despoblamiento rural. La falta de consideración del riesgo en las políticas de planeamiento urbanístico y municipal, han llevado particularmente al incremento de la exposición y la vulnerabilidad de las ciudades medias y pequeñas.

A pesar de que la pluviometría en España no es abundante, en ocasiones se presentan precipitaciones que en pocas horas alcanzan valores superiores al promedio anual, tal y como sucede en algunas zonas del litoral mediterráneo. En consecuencia, la gran desproporción entre los caudales ordinarios y extraordinarios de un río hace que el problema de las inundaciones revista en España una especial gravedad.

Aunque las crecidas son, en su origen, un problema hidrológico, en su desarrollo sobre zonas de actividad humana, se convierten en un problema territorial, con amplias repercusiones socioeconómicas.

Los terrenos aluviales contiguos a los ríos son llanos y fértiles y la actividad humana ha tendido a localizarse tradicionalmente en ellos.

Así, los daños materiales ocasionados por las crecidas podrían interpretarse como el coste por la ocupación de unos terrenos cuya extensión superficial es muy reducida, pero cuyo valor territorial es muy importante, pues, con frecuencia, el corredor fluvial articula la ubicación de las ciudades, la infraestructura de regadíos, las vías de comunicación, etc.

En las zonas inundables, la intervención humana ha supuesto la modificación artificial de la respuesta del llano de inundación por las construcciones, cultivos (que cambian la rugosidad natural), obstrucciones de las vías de comunicación y otros obstáculos que son capaces incluso de desviar la inundación hacia lugares que, de no mediar esta intervención humana, no la habrían sufrido.

Por ello, cada vez es mayor la conciencia social, acorde con la opinión científica, de que los ríos deben permanecer en su estado natural sufriendo los procesos de crecidas y estiajes que conforman su fisonomía y la de los ecosistemas a los que sirve de soporte. La inundación de los terrenos colindantes con los cauces es una parte importante de la dinámica fluvial que resulta preciso preservar en la medida de lo posible.

La forma de obtener los niveles de protección más adecuados frente a inundaciones consiste en la combinación de medidas estructurales y no estructurales. En España, al igual que en muchos otros países, se han venido empleando, de forma tradicional, las medidas estructurales, consistentes en la realización de obras de infraestructura, fundamentalmente embalses de laminación y encauzamientos. De hecho, una proporción muy importante de las inversiones previstas en los Planes de cuenca se destina a este tipo de actuaciones.

En los últimos años, sin embargo, han comenzado a emplearse las medidas denominadas no estructurales. Éstas, a diferencia de las estructurales, no actúan sobre la avenida en sí, alterando sus características hidrológicas o hidráulicas, sino que modifican la susceptibilidad de la zona inundable frente a los daños por inundación. Este tipo de medidas, por tanto, no evitan los riesgos de inundación, pero pueden conseguir mitigar sus efectos.

Entre las medidas no estructurales más empleadas pueden destacarse los sistemas de previsión y alerta (SAIH), ya implantados en una parte importante del territorio español, o la ordenación de zonas inundables. Esta última aún se halla escasamente desarrollada, como demuestran las escasas referencias que a ella se hacen en los Planes de cuenca. Para su aplicación se precisa la elaboración de mapas de riesgo.

La determinación pues, de zonas inundables y su ordenación, es una técnica de gestión de defensa ante las avenidas. Su objeto es detectar áreas con riesgo de sufrir daños por inundación con vistas a adoptar medidas de defensa y/o preparar planes de emergencia, o bien para evitarlos en áreas de futuro desarrollo mediante un adecuado plan territorial.

La forma de evitar que surjan más puntos conflictivos, o se agraven los existentes, es ordenar el futuro desarrollo de las áreas inundables. Esto se consigue limitando los usos del suelo de acuerdo con la peligrosidad en cada zona y respetando unas vías de desagüe suficientes para el paso de los caudales de crecida. Constituiría en sí una medida no estructural que reduce o palia los daños/impactos que la avenida produciría.

La combinación de medidas propuestas, estructurales y no estructurales, aportan soluciones ante este tipo de situaciones. Por una parte, se pretende llegar al buen estado del sistema fluvial (Directiva Marco del Agua), y por otra, disminuir el riesgo que se produce ante los fenómenos naturales de inundación (Directiva sobre evaluación y gestión del riesgo de inundaciones).

Figura 1: Puntos conflictivos por la existencia de inundaciones (Fuente: Protección Civil).

1.2. NORMATIVA APLICABLE

DIRECTIVA MARCO DEL AGUA (2000/60/CE):

- ✓ **Artículo 1.e)**: "*El objeto de la presente Directiva es establecer un marco para la protección de las aguas superficiales continentales, las aguas de transición, las aguas costeras y las aguas subterráneas que contribuya a paliar los efectos de las inundaciones y sequías*".
- ✓ **Artículo 4.3.a) IV)**: "*Los Estados miembros podrán calificar una masa de agua superficial de artificial o muy modificada, cuando: a) los cambios de las características hidromorfológicas de dicha masa que sean necesarios para alcanzar su buen estado ecológico impliquen considerables repercusiones negativas en la regulación del agua, la protección contra las inundaciones, el drenaje de terrenos*".
- ✓ **Artículo 4.6.**: "*El deterioro temporal del estado de las masas de agua no constituirá infracción de las disposiciones de la presente Directiva si se debe a causas naturales o de fuerza mayor que sean excepcionales o no hayan podido preverse razonablemente, en particular graves inundaciones y sequías prolongadas, o al resultado de circunstancias derivadas de accidentes que no hayan podido preverse razonablemente cuando se cumplan…*".
- ✓ **Artículo 11.3.l)**: "*Las medidas básicas son los requisitos mínimos que deberán cumplirse y consistirán en cualesquiera medidas necesarias para prevenir pérdidas significativas de contaminantes procedentes de instalaciones industriales y para prevenir o reducir los efectos de las contaminaciones accidentales, por ejemplo como consecuencia de inundaciones,…".*
- ✓ **Artículo 11.5**: "*Cuando los datos en virtud de actividades de seguimiento u otros datos indiquen que probablemente no se lograrán los objetivos establecidos en el artículo 4 para una masa de agua, el Estado miembro velará porque: cuando esas causas resulten de circunstancias debidas a causas naturales o de fuerza mayor que sean excepcionales y no hayan podido preverse razonablemente, en particular graves inundaciones y sequías prolongadas, el Estado...".*
- ✓ **Anexo II 2.4.)** "*Examen de la incidencia de los cambios en los niveles de las aguas subterráneas. Los Estados miembros también determinarán las masas de agua subterránea para las que se deberán especificar objetivos inferiores de conformidad con el artículo 4, entre otras razones atendiendo a la consideración de las repercusiones del estado de la masa de agua en: la regulación hidrológica, protección contra inundaciones y drenaje…*"

DIRECTIVA 2007/60/CE, DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, DE 23 DE OCTUBRE DE 2007, RELATIVA A LA EVALUACIÓN Y GESTIÓN DE LOS RIESGOS DE INUNDACIÓN:

El objetivo de esta Directiva es crear un marco común que permita evaluar y reducir en la Unión Europea (UE) los riesgos de las inundaciones para la salud humana, el medio ambiente, los bienes y las actividades económicas.

En torno al contexto de la Directiva es importante mencionar que entre 1998 y 2004, Europa sufrió más de 100 inundaciones importantes que causaron unos 700 muertos y obligaron al desplazamiento de alrededor de medio millón de personas y que ocasionaron unas pérdidas económicas, cubiertas por seguros, de por lo menos 25.000 millones de euros.

La mayor parte de las cuencas hidrográficas de Europa están compartidas entre varios países. Resulta por ello más eficaz emprender una acción a escala comunitaria, ya que con ella es posible evaluar mejor los riesgos y coordinar las distintas medidas adoptadas por los Estados miembros.

Antes de que esta Directiva fuera propuesta, la Comisión emprendió un amplio proceso de consultas con las partes interesadas y recabó la opinión de numerosos expertos, particularmente en hidrología y geología, así como de autoridades locales y regionales y de compañías de seguros.

La Directiva cubre todo tipo de inundaciones, desde las que afectan a riberas y zonas costeras de la UE, hasta las ocasionadas en medio urbano por la escorrentía o por la saturación de la red de evacuación de aguas.

Las medidas contempladas para la prevención y gestión de los riesgos se organizan por demarcaciones hidrográficas. Estas demarcaciones, que pueden abarcar varias cuencas hidrográficas, son las que se establecen en la Directiva marco del agua. Las medidas prevén principalmente la realización de una evaluación preliminar de los riesgos, la confección de mapas de las zonas de riesgo y la elaboración de planes de gestión de las inundaciones.

Su entrada en vigor fue el 26/11/2007 con un plazo de trasposición para los Estados miembros con fecha 25/11/2009.

Se debe proceder a una evaluación preliminar en la que los Estados miembros deben proceder no después del 22 de diciembre de 2011 dicha evaluación preliminar de los riesgos por cada demarcación o porción de demarcación hidrográfica situada en su territorio. Dicha evaluación ha de incluir, entre otra información, los datos referentes a la ubicación de las cuencas hidrográficas dentro de las demarcaciones, a las inundaciones sufridas en el pasado, a la probabilidad de inundaciones futuras y a las consecuencias que se prevea pueden tener éstas.

Basándose en esa evaluación, los Estados miembros deben clasificar cada cuenca hidrográfica como «zona de riesgo potencial significativo» o como «zona sin riesgo potencial significativo». Tanto la evaluación como la clasificación resultante de ella deben ponerse a disposición del público y han de revisarse, por primera vez no después del 22 de diciembre de 2018 y, subsiguientemente cada seis años.

Por otro lado, los Estados miembros deben cartografiar todas las zonas de riesgo confeccionando mapas que delimiten y clasifiquen esas zonas según su nivel de riesgo (alto, medio o bajo), y que indiquen los daños potenciales que pueda ocasionar una inundación a la población local, a los bienes y al medio ambiente.

Estos mapas, que deben quedar establecidos no después del 22 de diciembre de 2013, tienen que ponerse a disposición del público y han de revisarse cada seis años.

Cada Estado miembro debe elaborar y aplicar a nivel de demarcación hidrográfica un plan de gestión de los riesgos de inundación. Si la zona considerada se sitúa en varios países, los Estados miembros tienen que cooperar con el fin de llegar, en la medida de lo posible, al establecimiento de un solo plan de gestión.

Los planes deben fijar un nivel de protección adecuado para cada cuenca hidrográfica, subcuenca o franja litoral, y han de establecer medidas que permitan respetar ese nivel de protección.

Las medidas de gestión deben encaminarse a reducir el riesgo de inundaciones y la amplitud de las consecuencias que puedan tener éstas. Su objetivo ha de ser la prevención, la protección y la preparación, y en su elaboración han de tenerse en cuenta todos los aspectos pertinentes, como la gestión del agua y del suelo, la ordenación del territorio, los usos de la tierra y la protección de la naturaleza. Estas medidas no deben traer consigo un aumento del riesgo de inundación en países vecinos, a menos que hayan sido coordinadas y que los Estados miembros interesados hayan acordado una solución.

Los planes de gestión deben contener cierto número de datos (particularmente, el grado de protección que ofrezcan y las medidas que contemplen), así como mapas que representen los riesgos de inundación en presencia. En el caso de los planes posteriores, ha de incluirse una evaluación de los avances realizados desde la aplicación del plan anterior.

Los «mapas de riesgo de inundación» y los «planes de gestión» deben ajustase a la Directiva marco del agua, especialmente en lo que se refiere a la caracterización de las cuencas hidrográficas y a los planes de gestión de éstas, así como a los procedimientos de consulta y de información al público.

Toda parte interesada tiene derecho a participar de forma adecuada en la elaboración de los planes de gestión. Éstos deben completarse y ponerse a disposición del público no después del 22 de diciembre de 2015, y han de revisarse cada seis años.

TEXTO REFUNDIDO DE LA LEY DE AGUAS, RDL 1/2001:

Definen las zonas inundables, y zonifican y restringen usos en determinadas áreas de las riberas, tales como el cauce (dominio público hidráulico) y las zonas de servidumbre y policía (márgenes).

- ✓ **Artículo 11**: Son zonas inundables:

"*1. Los terrenos que puedan resultar inundados durante las crecidas no ordinarias de los lagos, lagunas, embalses, ríos o arroyos, conservarán la calificación jurídica y la titularidad dominical que tuvieren.*

2. Los Organismos de cuenca darán traslado a las Administraciones competentes en materia de ordenación del territorio y urbanismo de los datos y estudios disponibles sobre avenidas, al objeto de que se tengan en cuenta en la planificación del suelo y, en particular, en las autorizaciones de usos que se acuerden en las zonas inundables.

3. El Gobierno, por Real Decreto, podrá establecer las limitaciones en el uso de las zonas inundables que estime necesarias para garantizar la seguridad de las personas y bienes. Los Consejos de Gobierno de las Comunidades Autónomas podrán establecer, además, normas complementarias de dicha regulación".

- ✓ **Artículo 42.1.g.n**: sobre los Planes Hidrológicos:

"*1. Los planes hidrológicos de cuenca comprenderán obligatoriamente:*

Un resumen de los Programas de Medidas adoptados para alcanzar los objetivos previstos, incluyendo: Los criterios sobre estudios, actuaciones y obras para prevenir y evitar los daños debidos a inundaciones, avenidas y otros fenómenos hidráulicos".

- **REGLAMENTO DEL DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO (RD 849/1986, de 11de abril):**

- ✓ **Artículo 14:**

"1. Los terrenos que puedan resultar inundados durante las crecidas no ordinarias de los lagos, lagunas, embalses, ríos o arroyos conservarán la calificación jurídica y la titularidad dominical que tuvieran.

2. El Gobierno, por Decreto, podrá establecer las limitaciones en el uso de las zonas inundables que estime necesarias para garantizar la seguridad de las personas y bienes. El Consejo de Gobierno de las Comunidades Autónomas podrá establecer, además, normas complementarias de dicha regulación (Artículo 11 del Texto Refundido).

3. Se consideran zonas inundables las delimitadas por los niveles teóricos que alcanzarían las aguas en las avenidas cuyo período estadístico de retorno sea de quinientos años, a menos que el Ministerio de Medio Ambiente, a propuesta del Organismo de cuenca fije, en expediente concreto, la delimitación que en cada caso resulte más adecuada al comportamiento de la corriente".

Este Reglamento es modificado por el Real Decreto 9/2008, de 11 de enero, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico (RDPH), aprobado por RD 849/1986, de 11 de abril (BOE nº 14, de 16/01/08)".

La gestión del riesgo, uno de los aspectos fundamentales a abordar y objeto de la modificación del RDPH que persigue como objetivo la protección de las personas y los bienes, y del medio ambiente, a través de la modificación de la normativa sobre inundaciones y de la introducción de un nuevo título relativo a la seguridad de presas, embalses y balsas.

- *ARTÍCULO ÚNICO. MODIFICACIÓN DEL REGLAMENTO DEL DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO, APROBADO POR EL REAL DECRETO 849/1986, DE 11 DE ABRIL.*

- ✓ **Dos.** El artículo 4 queda redactado del siguiente modo:

«*1. Álveo o cauce natural de una corriente continua o discontinua es el terreno cubierto por las aguas en las máximas crecidas ordinarias (artículo 4 del texto refundido de la Ley de Aguas). La determinación de ese terreno se realizará atendiendo a sus características geomorfológicas, ecológicas y teniendo en cuenta las informaciones hidrológicas, hidráulicas, fotográficas y cartográficas que existan, así como las referencias históricas disponibles.*
2. Se considerará como caudal de la máxima crecida ordinaria la media de los máximos caudales anuales, en su régimen natural producidos durante diez años consecutivos, que sean representativos del comportamiento hidráulico de la corriente y que tengan en cuenta lo establecido en el apartado 1.»

✓ **Tres**. El artículo 6 queda redactado del siguiente modo:

«1. *Se entiende por riberas las fajas laterales de los cauces públicos situadas por encima del nivel de aguas bajas y por márgenes los terrenos que lindan con los cauces.*

2. La protección del dominio público hidráulico tiene como objetivos fundamentales los enumerados en el artículo 92 del texto refundido de la Ley de Aguas. Sin perjuicio de las técnicas específicas dedicadas al cumplimiento de dichos objetivos, las márgenes de los terrenos que lindan con dichos cauces están sujetas en toda su extensión longitudinal:

a) A una zona de servidumbre de cinco metros de anchura para uso público, que se regula en este reglamento.
b) A una zona de policía de cien metros de anchura, en la que se condicionará el uso del suelo y las actividades que en él se desarrollen.

✓ **Cuatro.** El artículo 7 queda redactado del siguiente modo:

«1. La zona de servidumbre para uso público definida en el artículo anterior tendrá los fines siguientes:
a) Protección del ecosistema fluvial y del dominio público hidráulico.

b) Paso público peatonal y para el desarrollo de los servicios de vigilancia, conservación y salvamento, salvo que por razones ambientales o de seguridad el organismo de cuenca considere conveniente su limitación.

c) Varado y amarre de embarcaciones de forma ocasional y en caso de necesidad.

2. Los propietarios de estas zonas de servidumbre podrán libremente sembrar y plantar especies no arbóreas, siempre que no deterioren el ecosistema fluvial o impidan el paso señalado en el apartado anterior.
Las talas o plantaciones de especies arbóreas requerirán autorización del organismo de cuenca.
3. Con carácter general no se podrá realizar ningún tipo de construcción en esta zona salvo que resulte conveniente o necesaria para el uso del dominio público hidráulico o para su conservación y restauración. Solo podrán autorizarse edificaciones en zona de servidumbre en casos muy justificados.
Las edificaciones que se autoricen se ejecutarán en las condiciones menos desfavorables para la propia servidumbre y con la mínima ocupación de la misma,

tanto en su suelo como en su vuelo. Deberá garantizarse la efectividad de la servidumbre, procurando su continuidad o su ubicación alternativa y la comunicación entre las áreas de su trazado que queden limitadas o cercenadas por aquélla.»

- ✓ **Cinco**. El artículo 9 queda redactado del siguiente modo:

"1. En la zona de policía de 100 metros de anchura medidos horizontalmente a partir del cauce quedan sometidos a lo dispuesto en este Reglamento las siguientes actividades y usos del suelo:

a) Las alteraciones sustanciales del relieve natural del terreno.

b) Las extracciones de áridos.

c) Las construcciones de todo tipo, tengan carácter definitivo o provisional.

d) Cualquier otro uso o actividad que suponga un obstáculo para la corriente en régimen de avenidas o que pueda ser causa de degradación o deterioro del estado de la masa de agua, del ecosistema acuático, y en general, del dominio público hidráulico.

2. Sin perjuicio de la modificación de los límites de la zona de policía, cuando concurra alguna de las causas señaladas en el artículo 6.2 del Texto Refundido de la Ley de Aguas, la zona de policía podrá ampliarse, si ello fuese necesario, para incluir la zona o zonas donde se concentra preferentemente el flujo, al objeto específico de proteger el régimen de corrientes en avenidas, y reducir el riesgo de producción de daños en personas y bienes. En estas zonas o vías de flujo preferente sólo podrán ser autorizadas por el organismo de cuenca aquellas actividades no vulnerables frente a las avenidas y que no supongan una reducción significativa de la capacidad de desagüe de dicha vía".

La **zona de flujo preferente** es aquella zona constituida por la unión de la zona o zonas donde se concentra preferentemente el flujo durante las avenidas, o vía de intenso desagüe, y de la zona donde, para la avenida de 100 años de periodo de retorno, se puedan producir graves daños sobre las personas y los bienes, quedando delimitado su límite exterior mediante la envolvente de ambas zonas.

Se entiende por **vía de intenso desagüe** la zona por la que pasaría la avenida de 100 años de periodo de retorno sin producir una sobreelevación mayor que 0,3 m, respecto a la cota de la lámina de agua que se produciría con esa misma avenida considerando toda la llanura de inundación existente. La sobreelevación anterior podrá, a criterio del organismo de cuenca, reducirse hasta 0,1 m cuando el incremento de la inundación pueda producir graves perjuicios o aumentarse hasta 0,5 m en zonas rurales o cuando el incremento de la inundación produzca daños reducidos.

"3. La modificación de los límites de la zona de policía, cuando concurra alguna de las causas señaladas en el apartado 2 del presente artículo, solo podrá ser promovida por la Administración General del Estado, autonómica o local. (…).

4. La ejecución de cualquier obra o trabajo en la zona de policía de cauces precisará autorización administrativa previa del organismo de cuenca, sin perjuicio de los supuestos especiales regulados en este Reglamento (…)".

Seis. El artículo 14 queda redactado del siguiente modo:

"1. Se consideran zonas inundables las delimitadas por los niveles teóricos que alcanzarían las aguas en las avenidas cuyo período estadístico de retorno sea de quinientos años, atendiendo a estudios geomorfológicos, hidrológicos e hidráulicos, así como de series de avenidas históricas y documentos o evidencias históricas de las mismas, a menos que el Ministerio de Medio Ambiente, a propuesta del organismo de cuenca fije, en expediente concreto, la delimitación que en cada caso resulte más adecuada al comportamiento de la corriente.

2. Los organismos de cuenca darán traslado a las Administraciones competentes en materia de ordenación del territorio y urbanismo de los datos y estudios disponibles sobre avenidas, al objeto de que se tengan en cuenta en la planificación del suelo, y en particular, en las autorizaciones de usos que se acuerden en las zonas inundables. De igual manera los organismos de cuenca trasladarán al Catastro inmobiliario así como a las Administraciones competentes en materia de ordenación del territorio y urbanismo los deslindes aprobados definitivamente, o las delimitaciones de los mismos basadas en los estudios realizados, así como de las zonas de servidumbre y policía, al objeto de que sean incorporados en el catastro y tenidos en cuenta en el ejercicio de sus potestades sobre ordenación del territorio y planificación urbanística, o en la ejecución del planeamiento ya aprobado.

3. El conjunto de estudios de inundabilidad realizados por el Ministerio de Medio Ambiente y sus organismos de cuenca configurarán el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables, que deberá desarrollarse en colaboración con las correspondientes comunidades autónoma, y, en su caso, con las administraciones locales afectadas. En esta cartografía, además de la zona inundable, se incluirá de forma preceptiva la delimitación de los cauces públicos y de las zonas de servidumbre y policía, incluyendo las vías de flujo preferente. La información contenida en el Sistema Nacional de Cartografía de las Zonas Inundables estará a disposición de los órganos de la Administración estatal, autonómica y local. Se dará publicidad al Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables de conformidad con lo dispuesto en la Ley 27/2006, de 18 de julio, por la que se regulan los derechos de acceso a la información, de participación pública y de acceso a la justicia en materia de medio ambiente.

4. El Gobierno por real decreto, podrá establecer las limitaciones en el uso de las zonas inundables que estime necesarias para garantizar la seguridad de las personas y bienes. Las comunidades autónomas, y, en su caso, las administraciones locales, podrán establecer, además, normas complementarias de dicha regulación".

LEY 10/2001, DE 5 DE JULIO, DEL PLAN HIDROLÓGICO NACIONAL:

- ✓ **Artículo 28.2 y 3**: Protección del dominio público hidráulico y actuaciones en zonas inundables.

"2. Las Administraciones competentes delimitarán las zonas inundables teniendo en cuenta los estudios y datos disponibles que los Organismos de cuenca deben trasladar a las mismas, de acuerdo con lo previsto en el artículo 11.2 de la Ley de Aguas. Para ello contarán con el apoyo técnico de estos Organismos y, en particular, con la información

relativa a caudales máximos en la red fluvial, que la Administración hidráulica deberá facilitar.

3. El Ministerio de Medio Ambiente promoverá convenios de colaboración con las Administraciones Autonómicas y Locales que tengan por finalidad eliminar las construcciones y demás instalaciones situadas en dominio público hidráulico y en zonas inundables que pudieran implicar un grave riesgo para las personas y los bienes y la protección del mencionado dominio".

PLAN HIDROLÓGICO DE LA CUENCA DEL TAJO APROBADO POR RD 1664/1998, DE 24 DE JULIO

Cabe destacar dentro del Plan Hidrológico los siguientes dos artículos.

- ✓ **Artículo 43:** *Objetivos y propuestas de actuación y criterios para la realización de estudios en materia de protección frente a avenidas.*

"1. Son objetivos del Plan en materia de protección frente a avenidas:

- El logro de un conocimiento suficiente del fenómeno hidrológico/hidráulico de la avenida y la inundación en la cuenca y el conocimiento de los daños producidos por los distintos niveles del agua. Debe destacarse la necesidad de identificar los tramos más problemáticos mediante la simulación para distintos períodos de recurrencia y distintos resguardos de los sistemas de embalses de cuya explotación dependa la onda de avenida aguas abajo, de forma que se evite, en la medida de lo posible, la superposición de puntas.
- La defensa contra avenidas e inundaciones, con especial énfasis en las etapas de prevención, previsión y emergencia.
- La coordinación con Protección Civil y el resto de las Autoridades competentes para el desarrollo de un programa de redacción de planes de emergencia contra inundaciones.
- La reducción de los riesgos humanos y económicos de las avenidas, mediante la definición de una serie de medidas administrativas que potencie la eficacia de las infraestructuras de defensa."
"2. La protección contra avenidas e inundaciones se apoyará en acciones estructurales y actividades administrativas y de gestión. Son acciones estructurales, entre otras:
- El acondicionamiento y la protección de cauces.
- La laminación de avenidas mediante embalses y sus posibles resguardos. La eventual conveniencia de fijación de resguardos y su gestión en cada embalse deberá justificarse teniendo en cuenta la finalidad del embalse, sus características, necesidad de la protección en relación con el cauce de agua abajo, eficacia de esos resguardos en toda la gama de avenidas, alternativas de mejora del cauce de aguas abajo y comparación de costes económicos de las diferentes alternativas.
- Los cauces de emergencia para avenidas
- La eliminación de obstáculos artificiales en los cauces
- Las obras de drenaje
- La conservación de suelos y las correcciones hidrológico-forestales.
Son actividades administrativas y de gestión:
- La ampliación de la zona de policía y la zonificación de márgenes y áreas inundables.
- La evaluación del riesgo de inundaciones, de manera que sirva para un más riguroso conocimiento de los riesgos, con el que se pueda relacionar la cuantía de los daños con el riesgo real.
- El establecimiento de sistemas de alarma y previsión.

- El establecimiento de programas de actuación en caso de avenidas, en colaboración con Protección Civil y demás Organismos implicados, que aseguren una coordinación fluida, incluyendo la transferencia de información."
"3. Con carácter general, el paso por las ciudades deberá ser objeto de un estudio específico de avenidas, en el que se contemple la infraestructura hidráulica aguas arriba, la gestión del sistema de explotación y los efectos socioeconómicos de los daños previsibles,
y que permita la selección del período de retorno óptimo para la determinación de la avenida y caudal máximo de diseño."
"4. Asimismo, en el resto de los cauces se establece como objetivo que todos los cauces puedan evacuar sin daños la avenida de un período de retorno a definir en cada caso en función de los daños previsibles."
"5. Las obras de terceros que afecten al cauce o a sus márgenes, se dimensionarán de acuerdo con un estudio justificativo, donde se tendrá en cuenta los daños previsibles y sin empeorar las condiciones preexistentes de desagüe, a criterio del Organismo de cuenca."
"6. El programa de acondicionamiento de cauces deberá adecuar la capacidad de estos con los caudales máximos vertidos por los elementos de desagüe de los embalses."
"7. A efectos del cumplimiento de lo establecido en el artículo 41.3. de la Ley de Aguas, el Organismo de cuenca podrá informar a los Municipios, sobre las demás áreas inundables a que se refiere el artículo 60.2. de las presentes NORMAS, a fin de que sean tenidas en cuenta en los diferentes instrumentos de ordenación urbanística del territorio."

- ✓ **Artículo 44**: Programas específicos para prevención de inundaciones.

"1. El Proyecto SAIH facilitará datos en tiempo real que puedan aprovecharse para la previsión y alarma frente a avenidas."
"2. Dentro del primer horizonte del Plan, el Organismo de cuenca determinará las zonas inundables, definidas de acuerdo con el artículo 14 del RDPH. En su consideración se tendrá en cuenta el régimen de explotación del sistema en los horizontes, actual y futuros de la planificación hidrológica."
"3. Se incluirá un estudio de los obstáculos artificiales del cauce y la viabilidad de su supresión."
"4. El Plan estatal de Protección Civil ante el riesgo de inundaciones y los Planes de Emergencia de Presas, incluidos en la Directriz Básica de Protección Civil, constituyen piezas claves en los programas frente a inundaciones. Asimismo, las Normas de Explotación de la Presas de la cuenca, incluidas en el programa de Seguridad de Presas de la DGOHYCA, son unas actuaciones que el Organismo de cuenca deberá desarrollar, coordinadamente con la citada Directriz Básica de Protección Civil, dentro del primer horizonte del Plan."
"5. Dentro del primer horizonte del Plan, el Organismo de cuenca analizará la capacidad real de los distintos tramos de río y su compatibilidad con la de los órganos de desagüe de las grandes presas y las avenidas naturales según períodos de retorno, identificando los tramos más problemáticos."

REAL DECRETO 907/2007, DE 6 DE JULIO, POR EL QUE SE APRUEBA EL REGLAMENTO DE LA PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA:

- ✓ **Artículo 1.2:** *Objetivos y criterios de la planificación hidrológica.*

"Para la consecución de los objetivos a que se refiere el párrafo anterior, la planificación hidrológica se guiará por criterios de sostenibilidad en el uso del agua

mediante la gestión integrada y la protección a largo plazo de los recursos hídricos, prevención del deterioro del estado de las aguas, protección y mejora del medio acuático y de los ecosistemas acuáticos y reducción de la contaminación. Asimismo, la planificación hidrológica contribuirá a paliar los efectos de las inundaciones y sequías."

- ✓ **Artículo 4.**g.n´´: *Contenido obligatorio de los planes hidrológicos de cuenca*.

  "Los planes hidrológicos de cuenca comprenderán obligatoriamente: Un resumen de los Programas de Medidas adoptados para alcanzar los objetivos previstos, incluyendo los criterios sobre estudios, actuaciones y obras para prevenir y evitar los daños debidos a inundaciones, avenidas y otros fenómenos hidráulicos".

- ✓ **Artículo 38.1**: *Deterioro temporal del estado de las masas de agua.*

  "*Se podrá admitir el deterioro temporal del estado de las masas de agua si se debe a causas naturales o de fuerza mayor que sean excepcionales o no hayan podido preverse razonablemente, en particular graves inundaciones y sequías prolongadas, o al resultado de circunstancias derivadas de accidentes que tampoco hayan podido preverse razonablemente*".

- ✓ **Artículo 52.2:** *Medidas para prevenir o reducir las repercusiones de los episodios de contaminación accidental.*

  2. "Las contaminaciones accidentales procedentes de inundaciones incluirán, entre otras medidas, el uso de sistemas automáticos para detectar esos fenómenos o alertar sobre ellos".

- ✓ **Artículo 62.2:** *Registro de los programas y planes más detallados.*

  2. "También tendrán en consideración los planes elaborados en el ámbito territorial de la demarcación relacionados con la protección frente a las inundaciones, de los que incorporarán un resumen, incluyendo la evaluación de riesgos y las medidas adoptadas".

- **ORDEN ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la instrucción de planificación hidrológica.**

- **LEY 20/1999 DE 3 DE MAYO, DEL PARQUE REGIONAL DEL CURSO MEDIO DEL RÍO GUADARRAMA Y SU ENTORNO** (*LIC ES3110005 Cuenca del río Guadarrama*).

El Parque Regional del curso medio del río Guadarrama y su entorno es un espacio natural protegido de la Comunidad de Madrid, situado en la zona oeste de la región. Ocupa una superficie de 22.116 hectáreas y se extiende, siguiendo la vertical norte-sur, desde el término municipal de Galapagar (a la altura del embalse de Las Nieves) hasta el de Batres, en el límite con la provincia de Toledo.

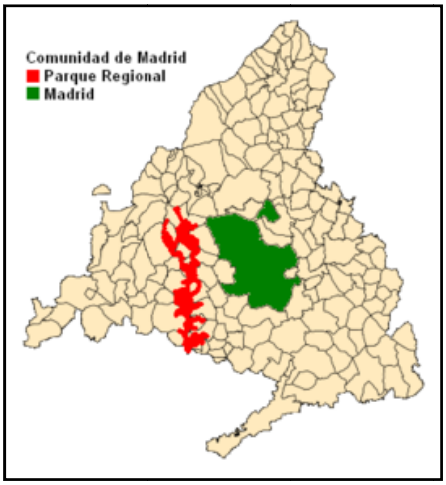


Figura 2: Situación del Parque Regional del Curso Medio del Guadarrama.

Se configura como una larga y estrecha franja, alrededor de las riberas del río Guadarrama, de unos 50 km de longitud. En su parte septentrional, la franja se amplía, para integrar parte del curso del río Aulencia, principal afluente del Guadarrama. El embalse de Valmayor, formado por el Aulencia, también se encuentra incluido dentro de este espacio natural.

En su tramo norte, el Parque se asienta sobre formaciones graníticas, que dejan paso, en las zonas centrales y meridionales, a llanuras detríticas. Estas dos unidades geomorfológicas dan lugar a cinco ecosistemas principales: los sotos y riberas, los encinares, los matorrales y pastizales, los pinos y los cultivos de secano.

El Parque Regional protege aproximadamente el 38% del curso del Guadarrama, cuya longitud total es de 131,8 km. La presión demográfica, derivada de la existencia de numerosas urbanizaciones en las inmediaciones, algunas al borde mismo del cauce del río, constituye la principal amenaza de este espacio natural protegido.

El Parque Regional se creó en 1999 a través de la Ley 20/1999, la cual ha sufrido modificaciones años posteriores.

Está gestionado por una Junta Rectora, encargada de planificar y llevar a cabo el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales del Parque Regional (P.O.R.N.), aprobado mediante los decretos 26/1999, de 11 de febrero, y 124/2002, de 5 de julio.

Es objeto de la Ley es el establecimiento de un régimen jurídico especial para el área declarada Parque Regional que garantice la ejecución del Plan de Ordenación de los Recursos Naturales para el Curso Medio del río Guadarrama y su entorno, cuyos objetivos se centran en evitar el deterioro de los recursos naturales y culturales y promover la corrección y restauración de los espacios actualmente degradados, mediante la adopción de las medidas siguientes:

- Conservar los recursos geológicos, hídricos, edáficos, florísticos, faunísticos, paisajísticos y culturales.
- Promover la conservación, regeneración y mejora de los ecosistemas fluviales y asociados al bosque de galería para garantizar su diversidad biológica, así como la de aquellos ecosistemas ligados a los mismos
- Promover la recuperación de la calidad paisajística de las riberas deterioradas por la ocupación del dominio público hidráulico, las actividades extractivas y urbanísticas.
- Ordenar las actividades turísticas y recreativas que se desarrollen en el ámbito del Parque de forma compatible con la conservación de los recursos.
- Proteger el patrimonio cultural arquitectónico y arqueológico, potenciando su conocimiento y disfrute.
- Ordenar la utilización racional de los recursos naturales mediante el establecimiento de prohibiciones y limitaciones de usos y actividades de los mismos en función del estado de conservación de la zona donde se ubiquen.

Por su parte, el embalse de Valmayor, uno de los principales parajes de este espacio natural, cuenta con un nivel de protección adicional, regulado por la **Ley 7/1990, de 28 de junio, de Protección de embalses y zonas húmedas de la Comunidad de Madrid**. En concreto, quedan protegidas las 775 hectáreas que conforman su superficie acuática, a las que se añaden 877 hectáreas correspondientes a su entorno inmediato. En total, 1.652 hectáreas.

Queda fuera de esta última figura legal el embalse del Molino de la Hoz, construido sobre el río Guadarrama, dada su titularidad privada.

- **LEY 8/2007, DE 28 DE MAYO, DE SUELO:**

✓ **Artículo 9.1:** *Contenido del derecho de propiedad del suelo: deberes y cargas.*

El derecho de propiedad del suelo comprende,….En el suelo que sea rural a los efectos de esta Ley, o esté vacante de edificación, el deber de conservarlo supone mantener los terrenos y su masa vegetal en condiciones de evitar riesgos de erosión, incendio, inundación, para la seguridad o salud públicas,…".

✓ **Artículo 12.2.a:** *Situaciones básicas del suelo.*

Está en la situación de suelo rural: "… así como aquéllos con riesgos naturales o tecnológicos, incluidos los de inundación o de otros accidentes graves, y cuantos otros prevea la legislación de ordenación territorial o urbanística."

- **PROTECCIÓN CIVIL:**

Dentro de este apartado cabe mencionar:

Ley 2/1985, de 21 de Enero, sobre Protección Civil.

Real Decreto 407/1992, de 24 de Abril, por el que se aprueba la Norma Básica de Protección Civil (encontramos los riesgos objeto de planes especiales).

Directriz Básica de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones. Su objetivo básico es establecer los requisitos mínimos que deben cumplir los correspondientes Planes Especiales de Protección Civil, en cuanto a fundamentos, estructura, organización y criterios operativos y de respuesta, para ser homologados e implantados en su correspondiente ámbito territorial, con la finalidad de prever un diseño o modelo nacional mínimo que haga posible, en su caso, una coordinación y actuación de los distintos servicios y Administraciones implicadas. Las siguientes comunidades autónomas tienen aprobados estos planes especiales: Andalucía, Aragón, Baleares, Cataluña, Comunidad Valenciana, Extremadura, Galicia, Murcia y Navarra.

1.3. OBJETO DE ESTUDIO

La cuenca del río Guadarrama, en el tramo de estudio, se encuentra situada en el noroeste de la Comunidad Autónoma de Madrid. Tiene una extensión de 798 km^2, con una longitud de tramo de río de 62 km. La cota máxima y mínima de la cuenca son respectivamente 2.462 y 563 metros.

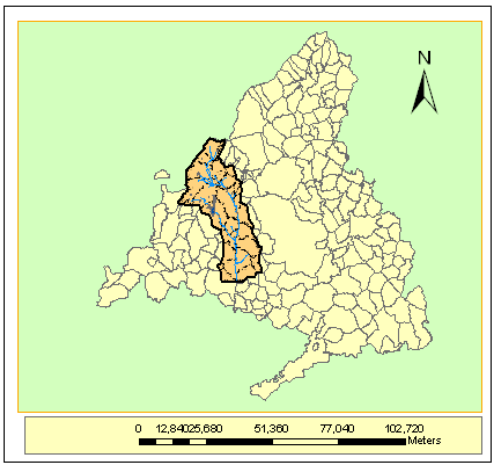


Figura 3: Mapa de situación de la cuenca de estudio.

La cota máxima y mínima de la cuenca son respectivamente 2462 y 563 metros.

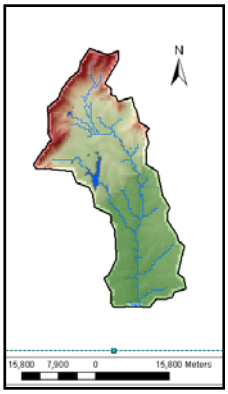


Figura 4: Modelo Digital del Terreno.

En el análisis de pendientes, la cuenca de estudio, cuenta con una pendiente máxima del 22,44%, un mínima del 0,04%, teniendo una media del 3,28%.

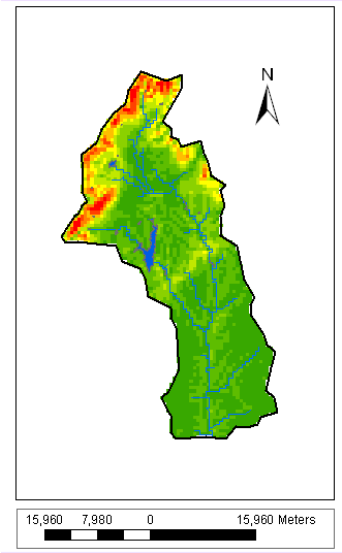


Figura 5: Mapa de pendientes.

Para el estudio, se han tenido en cuenta los registros de caudal de cuatro estaciones de aforo, tanto dentro como fuera del perímetro de la cuenca, cuyos códigos son: 3100, 3102, 3179 y 3194.

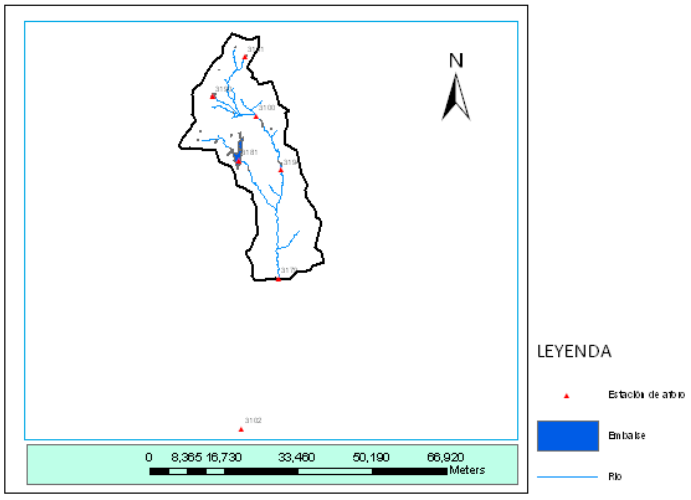


Figura 6: Ubicación de las estaciones de aforo de la cuenca de estudio.

En cuanto a la hidrología de la cuenca de estudio, la misma está formada por el río principal, el Guadarrama afluente del Tajo que nace en la Comunidad de Madrid, a la que atraviesa en sus cursos alto y medio. Surca en su curso bajo la provincia de Toledo, donde desemboca después de recorrer 131,8 kilómetros. Tiene su origen en el Valle de la Fuenfría, a unos 1.900 m de altura, dentro del término municipal de Cercedilla (Madrid), en la ladera sur de la Sierra de Guadarrama (Sistema Central). Recorre ambas provincias en un trazado muy

ajustado a la vertical norte-sur. Su curso medio se encuentra protegido dentro del Parque Regional del Curso Medio del río Guadarrama y su entorno. Su principal afluente es el río Aulencia, siendo el resto cursos menores como los arroyos del Soto, Guatel, Poveda, Lavajo, etc.

La cuenca cuenta con numerosas presas, siendo las más importantes Valmayor (125 hm^3) y la Jarosa (7,4 hm^3) por su mayor capacidad y Las Nieves por el trasvase de aguas que realiza a Valmayor.

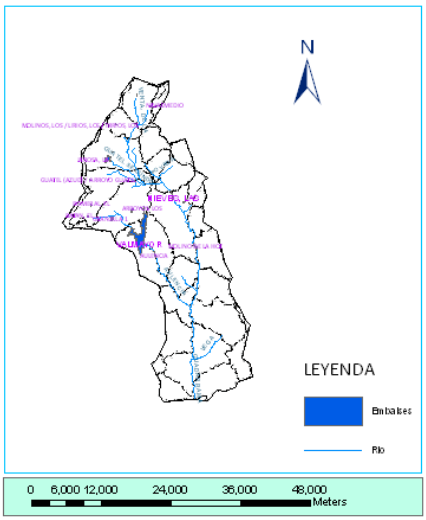


Figura 7: Hidrología de la cuenca de estudio.

El clima de la cuenca de estudio se corresponde con un clima mediterráneo continentalizado diferenciando dos zonas: la norte con veranos frescos y la sur con veranos cálidos.

Las precipitaciones son moderadas a lo largo de todo el año, excepto en verano, que es seco, incluso en las zonas más próximas a la Sierra.

Las temperaturas son extremadas, con diferencias de más de 18ºC entre el mes más frío y el mes más cálido (amplitud térmica). El verano es muy caluroso, con temperaturas medias superiores a los 24ºC. El invierno es frío y registra temperaturas que pueden bajar de los 6°C.

A medida que nos acercamos a la Sierra, las precipitaciones aumentan y las temperaturas se hacen más suaves en los meses de verano.

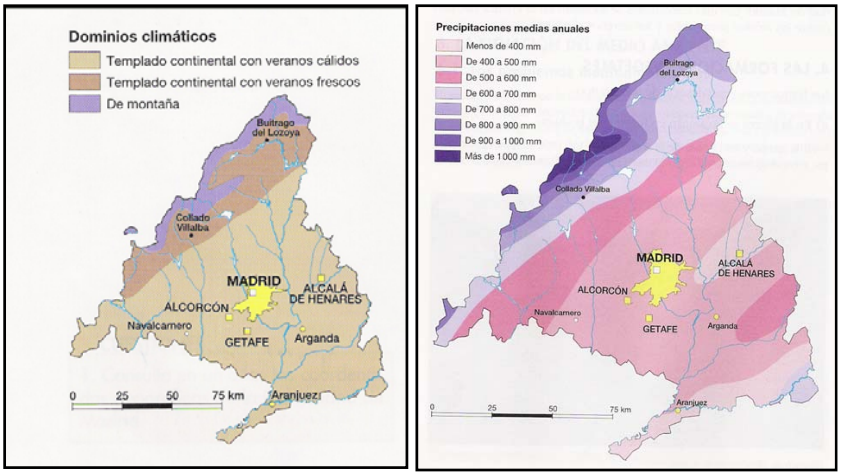


Figura 8: Mapa climático y de precipitaciones de la Comunidad de Madrid (Fuente: www.madrid.org).

La geología dominante está compuesta en el tramo de cabecera por materiales silíceos (impermeables), y en su curso medio por materiales detríticos (semipermeables).

Desde un punto de vista geomorfológico, la parte septentrional integra formaciones graníticas y materiales de gneis, presentes en los términos de Galapagar, Colmenarejo, Valdemorillo y Torrelodones.

El resto de la cuenca se caracteriza por campiñas detríticas y vegas, formadas a partir de los depósitos aluviales del cuaternario, a través de inundaciones y flujos de barro. Los materiales areno-arcillosos rellenan la antigua depresión sobre la que se encuentra la mayor parte de la cuenca del Guadarrama.

Los aluviones son frecuentes en el curso medio de este río, constituidos por arenas blancas, con un alto componente de cuarzo. También hay numerosas terrazas, que aparecen preferentemente en la margen derecha del río.

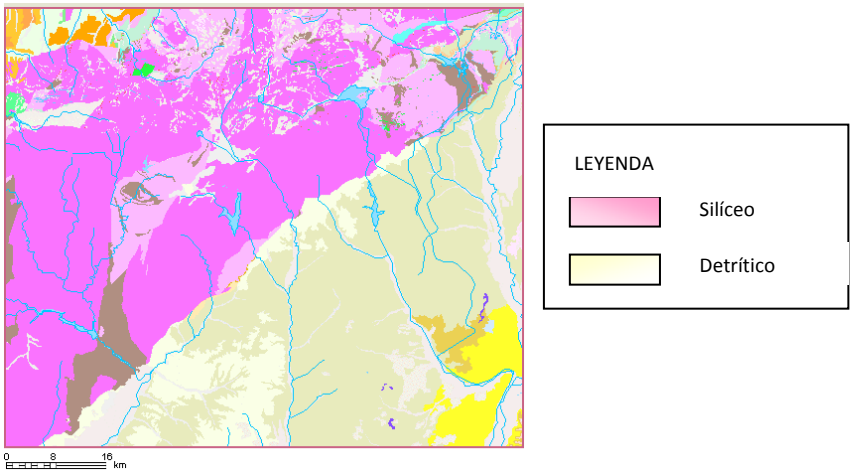


Figura 9: Mapa geológico (Fuente: IGME).

En el mapa que se adjunta a continuación puede visualizarse los usos principales de la cuenca de estudio obtenidos del IDEE (Infraestructura de Datos Espaciales de España) cuyo objetivo es integrar a través de internet los datos, metadatos, servicio e información de tipo geográfico de España. Como se puede observar, los principales usos se corresponden con coníferas, pastizales, frondosas, etc.

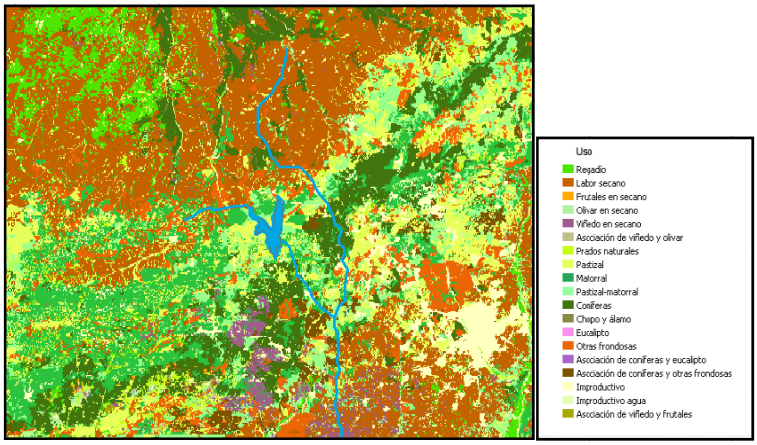


Figura 10: Mapa de usos del suelo (Fuente IDEE).

Según la clasificación del Corine Land Cover, los principales usos de suelo en la cuenca de estudio se corresponden con zonas agrícolas heterogéneas, zonas urbanas, bosques y praderas.

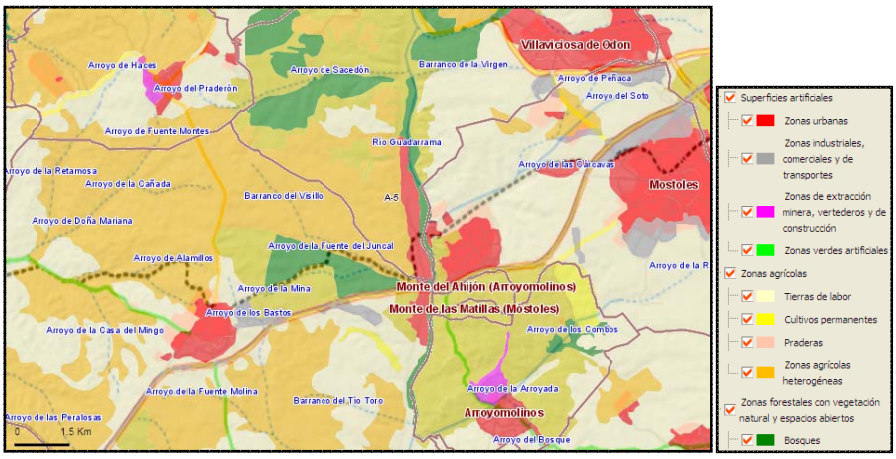


Figura 11: Mapa de usos del suelo (Fuente: Corine Land Cover).

2. ANÁLISIS HISTÓRICO

2.1. INUNDACIONES HISTÓRICAS Y ZONAS DE RIESGO POTENCIAL

La Comisión Técnica de Emergencia por Inundaciones (CTEI), creada en el año 1983 en el seno de la Comisión Nacional de Protección Civil, a la que pertenecían, entre otros organismos, la Dirección General de Obras Hidráulicas (D.G.O.H.) y el Centro de Estudios Hidrográficos (C.E.H), elaboró un documento global a escala nacional de identificación y jerarquización de zonas con riesgo de inundaciones.

El CTEI llevó a cabo la recopilación y clasificación de la información sobre los episodios acaecidos en las distintas cuencas hidrográficas de España, diferenciando entre inundaciones históricas (inundación que ha tenido lugar en el pasado) y zonas de riesgos potenciales, debido a las diferentes metodologías aplicadas en cada caso.

Para el estudio histórico (mapa de Riesgos Potenciales Cuenca del Tajo) se alude a las características más importantes como son número y estacionalidad, causas más frecuentes y daños más importantes. Recoge 159 antecedentes de inundaciones históricas, desde el año 849 hasta 1985.

Para el estudio y análisis de las zonas de riesgo potencial, la información está contenida en fichas, donde se definen las zonas con riesgo potencial de sufrir inundaciones en la cuenca hidrográfica del río Tajo. En ellas se habrían de ejecutar una serie de acciones para evitar o disminuir, los daños ante una avenida. Fueron estudiadas como causas generales, las avenidas, temporales ciclónicos, obstrucciones en el cauce, efectos de los embalses e insuficiencia de drenaje, determinándose que con excepción de la rotura de grandes presas, que no se ha producido nunca en la cuenca del Tajo, en general, las avenidas generadas por las fuertes tormentas descargadas en la cabecera de los ríos, o por deshielos rápidos y prematuros, han sido los causantes de las inundaciones. Dicha situación ha ido cambiando con el paso del tiempo como consecuencia de la construcción o instalación de ciertos dispositivos (embalses de regulación y encauzamientos).

En la documentación elaborada por la CTEI, se determinaron las diferentes zonas de cada cuenca atendiendo a:

- Zonas con referencias de inundaciones históricas.
- Inventario de puntos conflictivos.
- Zonas con riesgos potenciales por estar situadas aguas debajo de los embalses en explotación.

En la cuenca del río Guadarrama se localizaron cinco zonas. Dichas áreas fueron estudiadas en el Informe del CTEI como zonas de riesgo potencial. Éstas se corresponden con los números 53, 54, 55, 56 y 57. Todas clasificadas como zonas de tercer rango. Algunas de ellas afectadas únicamente por el riesgo de accidente grave en la presa que tienen aguas arriba o un vertido incontrolado de su aliviadero, puesto que no se encontraron reseñas de inundaciones históricas hasta la fecha del informe (1985). Dicho rango (tercero) indica que la prioridad en la urgencia de las acciones a emprender, respecto a las otras zonas de la cuenca, es mínima.

- Zona 53: abarca el área del río Guadarrama comprendida entre los embalses de Navalmedio (año 1968, uso abastecimiento) y Molino de la Hoz (1973, uso recreativo), donde el trazado del río es Norte-Sur. Se trata de la cabecera del río, donde la pendiente es muy fuerte con configuración típica de montaña. Por su cercanía a Madrid, soporta un elevado número de urbanizaciones. Se encuentra dentro del programa SAIH.

- Zona 54: zona que abarca desde el embalse de Molino de la Hoz (1873, uso recreativo), en el río Guadarrama, hasta la desembocadura del Arroyo de la Vega. Es una zona bastante llana situada aguas debajo de la zona 53 y que recibe el río Aulencia, en el que se encuentra el embalse de Valmayor y forma la zona 57. No existían núcleos de población importantes (Informe de 1985). Se incluye en el programa SAIH, y aunque el embalse se construyó para recreo, puede laminar las avenidas disminuyendo su frecuencia y caudal punta.

- Zona 55: situada a lo largo del río Guadarrama entre el Arroyo de la Vega y su desembocadura en el río Tajo, susceptible de ser afectada por las inundaciones generadas por las avenidas procedentes de la cabecera del río. Esta zona del río está formada por un amplio valle con tierras de labor. Según la información disponible a fecha del informe (1985), ninguna de las poblaciones cercanas ha sufrido de inundaciones, siendo afectados únicamente los campos. En las cuencas que vierten a esta zona, están los embalses de Valmayor, La Jarosa, Molino de la Hoz y Navalmedio.

- Zona 56: área comprendida desde el embalse de la Jarosa (1968, uso abastecimiento), en el Arroyo Guatel, hasta su desembocadura en el río Guadarrama. Existen urbanizaciones que ocupan gran parte de la zona.

- Zona 57: zona que abarca el área del río Aulencia comprendida entre el embalse de Valmayor (1958, por el Canal de Isabel II para abastecimiento de agua) y su desembocadura en el río Guadarrama. Incluida en el programa SAIH.

En la clasificación de las subcuencas del Tajo, el río Guadarrama completo corresponde a la subcuenca 43, mientras que el río Guadarrama hasta su confluencia con el río Aulencia es la subcuenca 41, según el informe de la CTEI (1983-1985).

Actualmente todas estas zonas están incluidas en el Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH). El Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH) es capaz, basándose en procedimientos informáticos, de captar, transmitir, procesar y presentar información del estado hidrológico e hidráulico de la cuenca, incluyendo el conocimiento puntual del funcionamiento de los dispositivos y obras de control que en ella se ubican.

2.2. CATÁLOGO NACIONAL DE INUNDACIONES HISTÓRICAS (CNHI)

La actualización de la información relativa a los episodios de inundaciones en cada una de las cuencas hidrográficas de España se está llevando a cabo desde la Dirección General de Protección Civil y Emergencias, junto con la colaboración de diferentes organismos de la Administración Central y las Comunidades Autónomas. Se trata de la elaboración del Catálogo Nacional de Inundaciones Históricas (CNIH), integrado por los catálogos de las cuencas del

Norte; Duero; Tajo; Guadiana; Guadalquivir; Júcar, Sur, Segura, Ebro, Islas Canarias; Islas Baleares; Cuencas Internas de Cataluña y Galicia-Costa.

La Dirección General de Protección Civil ha establecido las normas/instrucciones para la creación de Grupos de Trabajo en las distintas Cuencas Hidrográficas con los correspondientes organismos participantes, así como la metodología a seguir. El objetivo es "la revisión, actualización y ampliación del Catálogo de Inundaciones Históricas que realizó la Comisión Técnica de Emergencias por Inundaciones (CTEI) entre 1983 y 1988, a fin de elaborar posteriormente la Base Nacional de Datos sobre Zonas Inundables", prevista en el epígrafe 3.3.3.7. de la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones.

A través de la aplicación informática desarrollada por la Dirección General de Protección Civil y Emergencias, se ha obtenido información relevante para la zona objeto de estudio en el río Guadarrama. Aunque se trata de una cuenca con gran capacidad de autoregulación y autolaminación de inundaciones, debido al número de embalses que hay en la cabecera del río Guadarrama y sus principales afluentes, para el rango temporal comprendido entre 01/01/1900 y 1/07/2009, en la cuenca del Tajo, Comunidad Autónoma de Madrid, en los municipios de la cuenca del río Guadarrama (zona de estudio) se han registrado los siguientes episodios de inundaciones:

Tabla 1: Inundaciones en la cuenca del río Guadarrama en el periodo de 1900-2009 (Fuente: CNIH).

EPISODIO	CUENCA	FECHA INICIO	FECHA FIN	DENOMINACIÓN
145/156	Tajo	00/12/1989	00/01/1990	Inundación Diciembre-Enero 1989-1990
151/156	Tajo	00/12/1995	00/02/1996	Inundación Diciembre-Febrero 1995-1996
152/156	Tajo	00/12/1996	00/01/1997	Inundación Diciembre-Enero 1996-1997
155/156	Tajo	17/12/1997	00/01/1998	Inundación Diciembre 1997

Tabla 2: Inundaciones en la cuenca del río Guadarrama en el periodo de 1900-2009(2) (Fuente: CNIH).

MUNICIPIO	PERIODO	ENTIDAD MENOR afectada	Nº EVACUADOS	EPIS. DAÑOS INFR. TRANSPORTE	EPIS. DAÑOS INFR. HIDRÁUL.	EPIS. DAÑOS SERVICIOS
Collado Villalba	1980-1990	-	0	0	1	1
	1990-2000	-	0	0	0	1
Las Rozas de Madrid	1990-2000	-	0	1	0	0
Móstoles	1990-2000	Poblado Las Sabinas	120	0	0	1
	1990-2000	Colonia Río Guadarrama	225	0	0	0

En los procesos de inundaciones no puede hablarse de una única causa como factor determinante en los procesos de inundación, sino que la interacción de una serie de factores provoca, y en muchos casos, agrava las inundaciones. Los factores meteorológicos (lluvia y deshielo) e hidrológicos (caudal circundante y estado en que se encuentren los cauces) provocan inundaciones, que se agravan por factores geomorfológicos y antrópicos (invasión del dominio público hidráulico).

ORIGEN DEL POBLADO

El territorio objeto de estudio manifiesta una gran influencia antrópica en sus valores y estado de conservación.

Según las fotografías aéreas de 1946 y 1956, no hay apenas indicios de asentamientos humanos en la ribera del río Guadarrama.

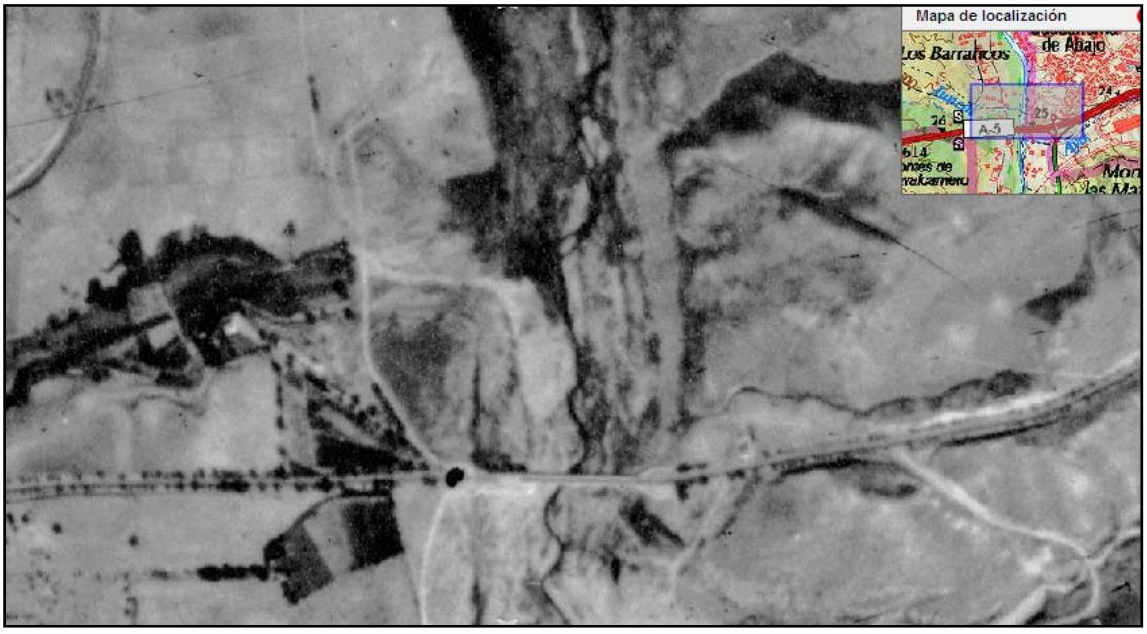


Figura 12: Fotografía aérea de la zona de estudio, cruce entre el río Guadarrama y la carretera, en su paso por Móstoles (1946). (Fuente:gestiona.madrid.org/nomecalles/Inicio.icm?munic=092).

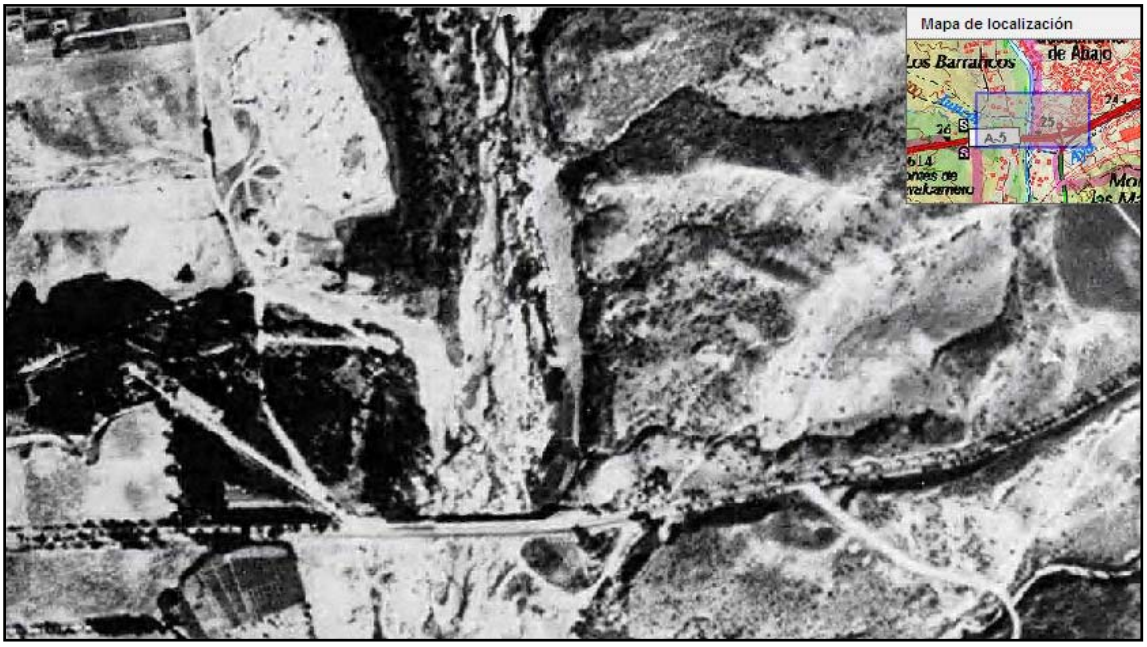


Figura 13: Fotografía aérea de la zona de estudio, cruce entre el río Guadarrama y la carretera, en su paso por Móstoles (1956). (Fuente:gestiona.madrid.org/nomecalles/Inicio.icm?munic=092).

El poblado chabolista de Móstoles surgió a principios de los años sesenta, cuando muchos vecinos tenían huertas en la zona y comenzaron a construir casetas donde guardaban los aperos de labranza. Dichos chamizos posteriormente dieron lugar al levantamiento de viviendas e infraviviendas.

Figura 14: Fotografía aérea de la zona del poblado chabolista. Cruce entre el río Guadarrama y la carretera N-V, en su paso por Móstoles (1975).
(Fuente:gestiona.madrid.org/nomecalles/Inicio.icm?munic=092).

Durante los años 70, 80 y hasta hoy en día, se ha aumentado el número de construcciones ilegales debido a la llegada de miles de inmigrantes. En el año 2001, se produjo una nueva riada de construcciones. Se detectó la llegada de grupos que venían de poblados chabolistas desmantelados, de otras zonas marginales de Madrid e incluso de otras provincias que acudieron a la Comunidad por el efecto llamada que produjo la política de realojos de los Gobiernos de la Comunidad y el Ayuntamiento (ver fotografía aérea de 2001, figura 17).

La Comisaría de Aguas del Tajo ha denunciado a los vecinos del poblado por asentamiento ilegal y por el peligro que corren en caso de crecida. Se encuentran situados en zona de servidumbre a cinco metros de la ribera y en la llamada zona de policía de cauce, que ocupa cien metros desde el río. El Plan General de Urbanismo de Móstoles califica este suelo como no urbanizable o de especial protección por estar en el cauce del río Guadarrama. Así en 1989, un total de 12 familias tuvieron que ser alojadas. Seis de esas viviendas fueron demolidas posteriormente. También en 1995 los habitantes del poblado corrieron peligro tras unos días de fuertes lluvias.

Figura 15: Fotografía aérea de la zona del poblado chabolista. Cruce entre el río Guadarrama y la carretera N-V por Móstoles (1991). (Fuente:gestiona.madrid.org/nomecalles/Inicio.icm?munic=092).

Figura 16: Fotografía aérea de la zona del poblado chabolista. Cruce entre el río Guadarrama y la autovía A-5, en su paso por Móstoles (1999).
(Fuente:gestiona.madrid.org/nomecalles/Inicio.icm?munic=092).

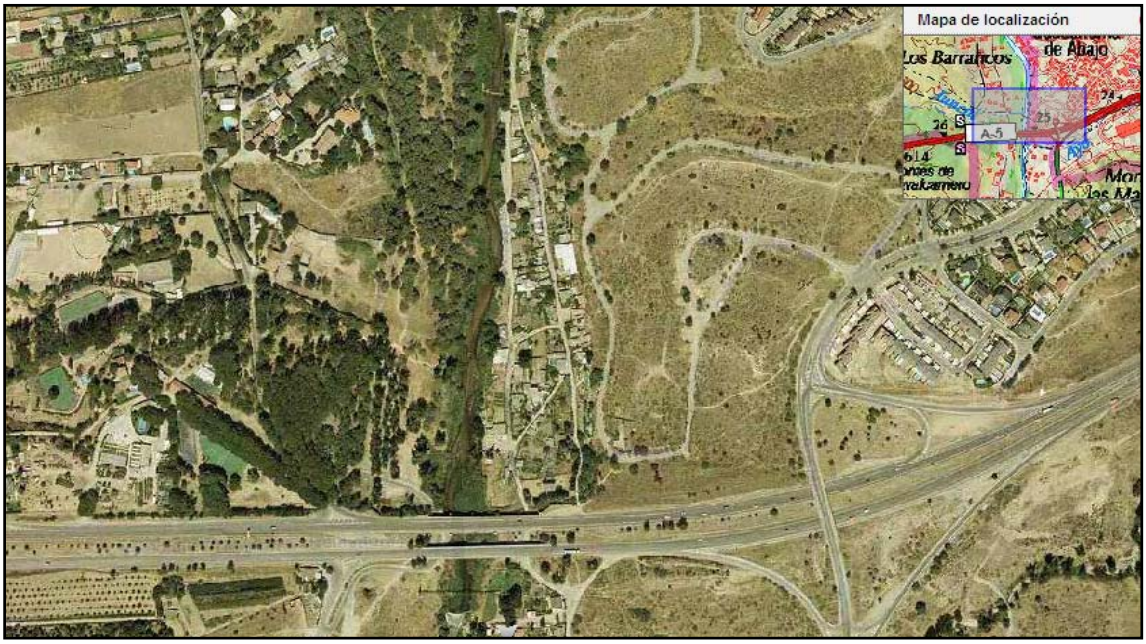


Figura 17: Fotografía aérea de la zona del poblado chabolista. Cruce entre el río Guadarrama y el puente de la autovía A-5, en su paso por Móstoles (2001)
(Fuente:gestiona.madrid.org/nomecalles/Inicio.icm?munic=092).

El Instituto para la Conservación de la Naturaleza, también ha realizado una denuncia ante dicha situación, puesto que el área del asentamiento se encuentra sometida a protección preventiva previsto en la Ley 4/1989, de 27 de marzo, de Conservación de los Espacios Naturales y de la Flora y Fauna Silvestres mediante Decreto 44/1992, de 11 de junio, con el objetivo fundamental de tratar de evitar el deterioro y la destrucción de la zona, sometida a fuertes presiones tanto de tipo urbanístico como de vertidos domésticos e industriales y de actividades extractivas relacionadas con los usos del agua. En 1999, se aprobó el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales para el Curso Medio del Río Guadarrama y su entorno (DECRETO 26/1999).

Figura 18: Fotografía aérea de la zona del poblado chabolista. Cruce entre el río Guadarrama y el puente de la autovía A-5, en su paso por Móstoles (2007). (Fuente:gestiona.madrid.org/nomecalles/Inicio.icm?munic=092).

Figura 19: Fotografía aérea de la zona del poblado chabolista y aguas arriba. Aumento de la presión urbanística principalmente en la margen izquierda del río Guadarrama, en su paso por Móstoles (2009). (Fuente: Google Maps).

El poblado ilegal del río Guadarrama, conocido como La Sabina, en la zona de Móstoles (cruce con la autovía A-5), está constituido por unas 260 chabolas donde viven más de 800 personas. El río Guadarrama discurre de forma paralela al poblado, y sus crecidas ponen en peligro la vida de los habitantes de la zona.

Figura 20: Fotografía aérea de la zona del poblado chabolista. Cruce entre el río Guadarrama y el puente de la autovía A-5, en su paso por Móstoles (2009). (Fuente: Google Maps).

Según el Ayuntamiento de Móstoles, este asentamiento ("pueblo ribereño") plantea problemas de carácter social, sanitario, medioambiental y de competencias urbanísticas.

Figura 21: Imágenes de la situación actual del asentamiento ilegal en Móstoles, a orillas del rio Guadarrama.

A pesar de ello, el curso medio del río Guadarrama y su entorno alberga valores naturales que deben ser objeto de un tratamiento diferenciado en cuando al régimen de conservación y ordenación de sus recursos.

En cuestión de competencias, parte de los terrenos afectados por el asentamiento corresponden a la Confederación Hidrográfica del Tajo y parte a la Comunidad de Madrid, ya que se trata de una vía pecuaria, así como el Ayuntamiento de Móstoles. Respecto a la seguridad ciudadana, el Ministerio del Interior sería el responsable.

La Demarcación Hidrográfica del Tajo pretende construir una mota de contención de 3 a 5 metros de altura para evitar las posibles avenidas en el poblado ilegal.

PLAN GENERAL DE ORDENACIÓN URBANA DE MÓSTOLES (PGOU)

Según el documento de la Memoria de Participación del Plan General de Ordenación Urbana de Móstoles (año 2005) debe valorarse exhaustivamente la presión sobre el Parque Regional que supone la ocupación de los terrenos en torno a la Colonia Guadarrama, y en general, todos los ámbitos limítrofes con el Parque. En relación a ello, "*reconoce la irracionalidad de las actuaciones pasadas*".

En el apartado 5.2, Análisis de las repercusiones ambientales del Plan "*se identifica y valora específicamente el impacto: Incremento de la presión urbanística sobre el Parque Regional de la cuenca media del Guadarrama y su entorno, LIC ES3110005 Cuenca del río Guadarrama*".

El ámbito del Espacio Natural Protegido se encuentra incluido dentro del área clasificada como Suelo no Urbanizable de Protección del Plan General, donde los usos y actuaciones permitidos en la zona del Parque Regional del Curso Medio del Río Guadarrama y su Entorno se recogen en el P.O.R.N del espacio protegido (*DECRETO 26/1999, de 11 de febrero, por el que se aprueba el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales para el Curso Medio del Río Guadarrama y su entorno)*.

Así el Ministerio de Medio Ambiente, Confederación Hidrográfica del Tajo, ante el documento del Plan General de Ordenación Urbana, en 2004, expuso que *"No se aprecia con claridad que las actuaciones propuestas estén fuera de las zonas inundables relativas a las máximas crecidas extraordinarias asociadas a los caudales del periodo de retorno de 500 años, especialmente en los sectores situados en el entorno del río Guadarrama" (página 22 de la Memoria de Participación).*

La urbanización Guadarrama está clasificada en el Plan General anterior (1999) como Suelo Urbano Consolidado. Se trata de un barrio de bastante antigüedad, que debido a su aislamiento ha sufrido, por un lado crecimiento incontrolado en su entorno que ni el nuevo Plan General (año 2009), ni el anterior (año 1999), pretenden legalizar, y que "*debido al tipo de población que acogen son de difícil erradicación*" (*página 115, Memoria de Participación del Plan General*). La estrategia de revisión pretende mejorar los servicios urbanísticos del barrio y dotarlo de unos accesos no marginales. No existiendo ningún inconveniente en imponer unas determinaciones de calificación que obliguen a la reserva de unas plazas de protección en los linderos Norte y Este con el Parque de Coimbra de una anchura de 50 metros que convenientemente repobladas, y con la topografía adecuada, puedan suponer una barrera eficaz al desarrollo urbano y una protección real del entorno respecto a los vertidos incontrolados.

Los arroyos de este municipio no se han calificado como Suelo no Urbanizable de Protección del Dominio Público Hidráulico sino como vías pecuarias. Así gran parte del arroyo de El Soto (dentro del Parque Regional, en sus zonas de Máxima Protección y de Mantenimiento de la actividad) se han clasificado como zona verde.

Los estudios sobre la calidad de los suelos determinaron que existían Suelos Urbanizable industrial, como el Sector 9-11 con asentamiento ilegal desmantelado, son deposición y vertido de residuos. Y Suelo no Urbanizable Protegido, como las Casas de las Sabinas, con vertidos ilegales a río y Riberas, así como deposición de residuos varios.

El Plan General *"no se opone a la desaparición de las edificaciones ilegales, si no que insiste en su erradicación, aludiendo a la Norma Urbanística SNUP-PG*", suelo no urbanizable de protección del borde Parque del Guadarrama *(pág. 97. Tomo 4.2. NORMAS URBANÍSTICAS PARTICULARES SUELO URBANIZABLE)"*.

2.3. SISTEMA NACIONAL DE CARTOGRAFÍA DE ZONAS INUNDABLES (SNCZI)

El Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI) se regula en el Real Decreto 9/2008 donde se plantea su elaboración, a desarrollar por el Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino en colaboración con las Comunidades Autónomas. Mediante este sistema se pretende dar respuesta a las exigencias de la Directiva de Inundaciones (2007/60/CE) y de la Directiva Marco de Agua (2000/60/CE), así como a las propias necesidades de gestión del Ministerio y de las Comunidades Autónomas y Organismos Locales.

Su objetivo es aportar una información valiosa para que se tenga en cuenta por las restantes administraciones en el ejercicio de sus competencias sobre ordenación del territorio y planificación urbanística, y será imprescindible para incrementar la seguridad de los ciudadanos.

Con la elaboración del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables se harán públicos, a través de Internet, todos los mapas de peligrosidad de inundaciones realizados por el

Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino y aquellos que aporten las Comunidades Autónomas dentro de sus competencias.

La delimitación del DPH, ZFP y T = 100 y 500 años, obtenidos a través de:

- Trabajos de campo y gabinete geomorfológico y ambiental.
- Cartografía mediante LIDAR y ortofotos.
- Utilización del Mapa de Caudales Máximos del CEDEX.
- Modelación hidráulica.
- Generación de cartografía digital.

El Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH) es capaz, basándose en procedimientos informáticos, de captar, transmitir, procesar y presentar información del estado hidrológico e hidráulico de la cuenca, incluyendo el conocimiento puntual del funcionamiento de los dispositivos y obras de control que en ella se ubican.

El SAIH tiene como objetivos principales:

- En situación de emergencia debido a las crecidas de los ríos, el SAIH debe ser una herramienta eficaz para la previsión y gestión de las avenidas.
- En situación ordinaria o de sequía, el sistema debe ayudar a la explotación de la cuenca realizando un seguimiento hidrológico de la misma.

Estos objetivos plantean las siguientes actividades en el sistema:

- ✓ Archivo de datos hidrológicos continuos y fiables.
- ✓ Elaboración automática de estadísticas e informes.
- ✓ Mejor conocimiento de la propagación de las ondas de crecida.
- ✓ Mejor conocimiento de la estructura espacio - temporal de las precipitaciones.
- ✓ Introducción de nuevas tecnologías relacionadas con la gestión de recursos hidráulicos.

En la gestión de la cuenca del Tajo hay que destacar los aspectos como el abastecimiento a la población, áreas regables, infraestructuras hidráulicas, trasvase Tajo-Segura… Todo ello pone de manifiesto que el SAIH del Tajo debe plantearse como objetivo la medición y control de los recursos disponibles, además del control y actuación en caso de avenidas, principalmente en los ríos Henares, Jarama, Guadarrama, Alberche, Tiétar, Árrago y Alagón.

El SAIH no sólo recoge y presenta datos, sino que puede integrar e incorporar modelos de simulación y gestión, y un sistema de información geográfica (GIS) que permita relacionar los datos obtenidos con su contexto geográfico.

El Proyecto del SAIH de la cuenca del Tajo contempla una red de 201 puntos de control con un sistema de comunicaciones vía satélite, un centro de cuenca, tres centros de explotación y cuatro puntos de presentación de datos con una frecuencia máxima de interrogación de 15 minutos. Todos estos elementos están conectados por un sistema de comunicaciones vía satélite (el repetidor de comunicaciones es uno de los satélites gestionados por Hispasat). Además de transmitirse los datos al centro de Control de Cuenca, existen enlaces de voz y vídeo entre el CCC y los Puntos de Control.

3. TECNOLOGÍA LIDAR: REALIZACIÓN DE CARTOGRAFÍA

En la realización del estudio se ha empleado la tecnología LIDAR (Light Detection and Ranging; or Laser Imaging Detection and Ranging) o láser aerotransportado.

Esta técnica se está introduciendo en el campo de la cartografía puesto que permite la modelización rápida del terreno en zonas con accesos difíciles. El sistema LIDAR es usado en diversas aplicaciones como la creación de Modelos Digitales del Terreno o Modelos Digitales de Elevaciones precisos, fiables, de forma rápida y rentable.

Este sistema es el equivalente óptico del sistema radar de microondas por lo que a menudo se le llama "radar láser" en la literatura anglosajona.

Es una tecnología que permite determinar la distancia desde un emisor láser a un objeto o superficie utilizando un haz láser pulsado. Al igual que ocurre con la tecnología radar, donde se utilizan ondas de radio en vez de luz, la distancia al objeto se determina midiendo el tiempo de retraso entre la emisión del pulso y su detección a través de la señal reflejada.

Por tanto, con el sistema LIDAR se mide la distancia del avión (sensor) al suelo mediante un barrido continuo, conociendo el tiempo de retorno de un pulso láser (eco) basado en los principios de la MED (Medida Electrónica de Distancias). Se necesita conocer la posición del sensor en el sistema de referencia WGS84 mediante GPS diferencial (se necesita un receptor GPS en tierra que envíe al avión correcciones diferenciales) y la orientación del sensor por la plataforma giroestabilizada IMU (Unidad de Medida Inercial) compuesta por una triada de acelerómetros y giróscopos en las direcciones de los ejes coordenados 3D que nos informa en definitiva, de los giros del avión y de su trayectoria. También es necesario conocer la refracción del rayo láser para aplicar las correcciones correspondientes a las distancias medidas y así tener constancia de la precisión y fiabilidad de los datos adquiridos. La captura del rayo láser reflejado (eco) se basa en la luz difusa reflejada en todas direcciones por los objetos.

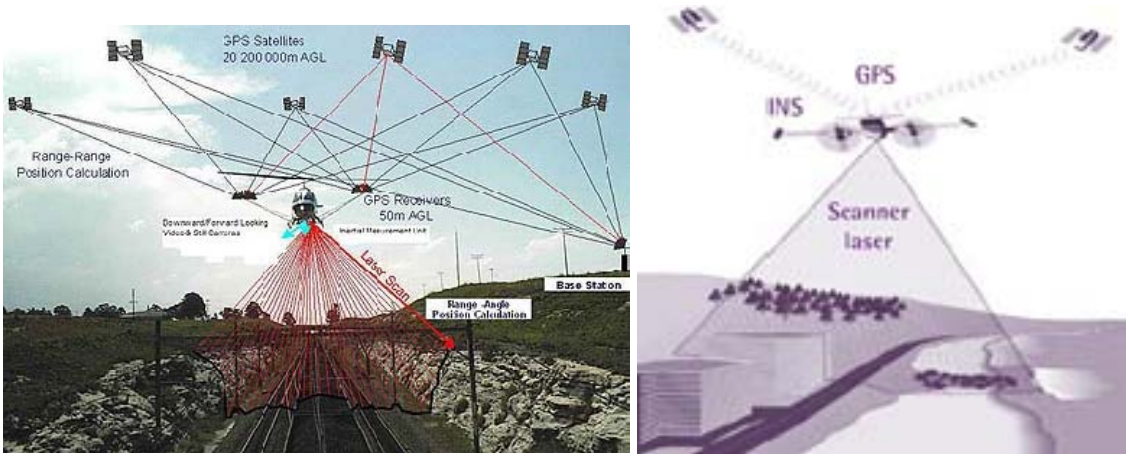


Figura 22: Esquema del sistema LIDAR.

El sistema puede ir instalado tanto en avión (abarca zonas más amplias) como en helicóptero (vuela más lento, a menos altura por lo que se obtiene más densidad de puntos) escaneando en ambos casos la superficie que se extiende bajo la aeronave recopilando la información de la cubierta vegetal y penetrando hasta el terreno, proporcionando cuantiosa

información y alcanzando precisiones de hasta 4 cm. Dependiendo del sistema, las frecuencias de escaneo pueden rondar desde los 50.000 hasta los 100.000 pulsos por segundo, generando una nube de puntos con X,Y,Z de los mismos en WGS 84.

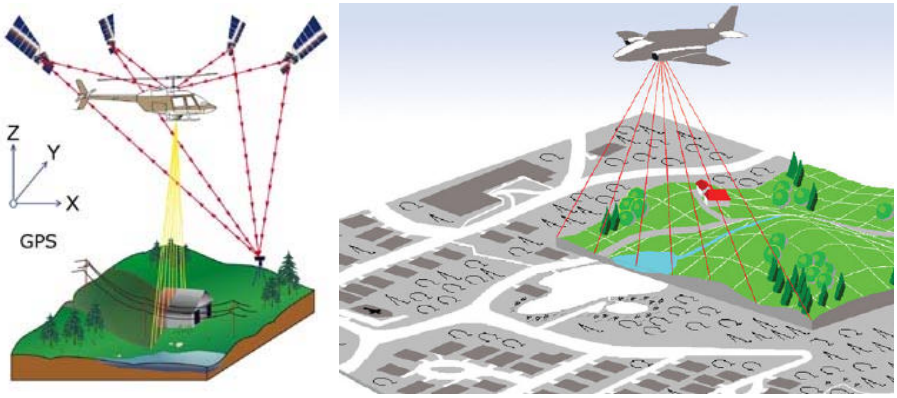


Figura 23: Sistema LIDAR helicóptero versus avión.

Un análisis más sofisticado de la señal de retorno nos da información adicional:

- Múltiples ecos: da la altura de árboles y objetos bajo ellos.
- Intensidad del eco: ayuda a la fotointerpretación.

Es decir, utilizando información adicional tal como son los valores de intensidad del láser, se puede determinar tanto el tipo de superficie, como el suelo, la vegetación y los edificios.

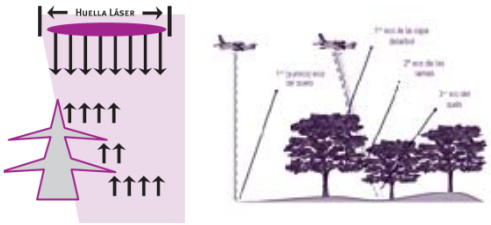


Figura 24: Diferentes ecos producidos.

Tal y como podemos ver en la imagen en un terreno desnudo, sin elementos verticales habrá un solo eco mientras que si existen edificios o vegetación los ecos serán múltiples tal y como vemos en la figura anterior. Cuando tenemos ecos múltiples podemos hacer una discriminación entre los mismos de forma que si seleccionamos un primer eco en un bosque tendremos la representación de las zonas más altas de la cobertura vegetal (copas de los árboles), si tomamos el 2º se nos representarán las ramas medias y si sólo el 3º, obtendremos el suelo sin cobertura vegetal.

En definitiva si seleccionamos el primer eco (parte más alta de edificios y vegetación y el último (suelo) obtenemos un perfecto modelo digital de superficies tridimensional, con X,Y,Z de cada uno de los miles de puntos que lo componen.

Figura 25: Hillshade obtenido del MDT.

El elemento principal del sistema es el escáner láser, que va aerotransportado y emite pulsos de luz infrarroja que servirán para determinar la distancia entre el sensor y los puntos del terreno. La longitud de onda de estos pulsos varía entre 500 y 1500 nm. A partir del tiempo que ha tardado cada rayo en ir y venir y de la velocidad de la luz, se deduce con facilidad la distancia a la que está el objeto estudiado.

La altura máxima a la que puede volar un avión/helicóptero con un sistema LIDAR está condicionada por la pérdida de energía de la señal.

Para determinar las coordenadas o referenciar correctamente el punto que se ha medido en el terreno el sistema requiere la utilización de un sistema de posicionamiento espacial (GPS) y de un sistema de navegación inercial (INS), que determinen con precisión la posición del sensor/avión. Esta determinación se realiza de forma diferencial y en tiempo real para lo que se requieren dos receptores GPS; uno colocado en el avión y el otro en tierra que obtenga las correcciones diferenciales necesarias para el correcto posicionamiento.

El Sistema de Navegación Inercial permite medir la orientación exacta del sensor. Este sistema mide los ángulos con una precisión de 0.001 grados, lo que permite compensar los movimientos bruscos que pueda sufrir el sensor a bordo del avión, pudiendo calcular en cada momento las coordenadas exactas del punto que estamos midiendo en el terreno.

Generalmente se habla de unas precisiones de 15 cm en altimetría y de 50-100 cm en planimetría. Estas precisiones dependen en mayor medida de la altura de vuelo, el diámetro del rayo láser que a su vez depende del sistema y de la calidad de los datos GPS/INS y el posterior postprocesamiento de los datos.

Una de las ventajas de esta tecnología, con respecto a otras, es que los datos pueden ser adquiridos en condiciones atmosféricas en las que la fotografía aérea convencional no puede hacerlo. Muestra de ello es la posibilidad de tomar datos en vuelos nocturnos o en condiciones de visibilidad reducida.

3.1. FUENTES DE ERROR

Los modelos digitales de elevaciones (DEM) producidos a partir de observaciones LIDAR, se crean desde retornos de los rayos láser desde el suelo. Estas cotas de "suelo" derivadas de LIDAR, contienen errores de tres fuentes:

- Errores de cota del sistema de medida del sensor.
- Errores horizontales del sistema de medida del sensor.
- Errores del proceso de etiquetado procedente de identificar un retorno de "suelo" confundiéndolo con otro tipo de retorno (parte superior de la cubierta vegetal, vegetación intermedia, tejados de edificios…).

En definitiva los errores vienen muy influenciados por los componentes del sistema de posicionamiento. El error GPS es relativamente constante en toda la operación.

Los errores de la unidad de medida inercial y codificador angular aumentan con la altura de vuelo y la divergencia respecto a la vertical.

3.2. POSTPROCESAMIENTO DE LOS DATOS LIDAR CATÁLOGO NACIONAL DE INUNDACIONES HISTÓRICAS (CNHI)

Una vez obtenidos los datos de retorno a partir de las emisiones de láser, hay que realizar una serie de operaciones en gabinete con esa ingente cantidad de información de forma que las fases del postproceso son:

- Proceso de datos GPS/INS: Determinación de posición y ángulos de actitud del avión.
- Obtención de nube de puntos XYZ.
- Filtrado y clasificación.
- Obtención de datos en formatos estándar.

El principal problema que presenta el postproceso de datos LIDAR es el gran volumen de puntos a manejar (10-100 millones de puntos). Se requiere filtrar la nube de puntos para poder pasar a un sistema CAD por lo que es necesaria la intervención humana para evitar errores y repeticiones.

Los productos estándar fotogramétricos derivados de los datos LIDAR incluyen modelos de contorno y de elevación para las ortofotos. Para la obtención de contornos precisos se requiere de este postproceso. Puesto que los datos LIDAR son obtenidos sobre los objetos elevados (por ejemplo edificios), se usan sofisticados algoritmos para eliminar los puntos relativos a estos objetos. Debido a la gran densidad de puntos se requieren muy pocas líneas de quiebre para representar con precisión el terreno. No obstante, tras el postprocesamiento, los procedimientos de validación deberán ser incorporados en el proceso para asegurarse de que los contornos finales sean representativos del terreno. El usuario final también deberá considerar que los contornos derivados de LIDAR tendrán una apariencia diferente a aquellos compilados mediante técnicas fotogramétricas convencionales. Debido a la densidad de puntos obtenida, los contornos derivados de LIDAR, aunque altamente precisos, tenderán a tener una apariencia más quebrada.

El postprocesamiento y la verificación en 3D también son recomendables cuando se hace uso de datos LIDAR para la generación de ortofotos digitales. Aunque los requerimientos de precisión vertical para la generación de una ortofoto son menos estrictos que para la generación de contornos, los datos deberán ser verificados para detectar errores de bulto. No se requiere necesariamente que los puntos en edificios sean eliminados. De hecho, los edificios modelados con datos LIDAR serán rectificados en su verdadera posición (ortofoto verdadera) y las distorsiones radiales eliminadas causadas por inclinación de los edificios. Esta mejoría es de alguna manera afectada por el hecho de que los bordes de edificios pueden tender a verse redondeados; dependiendo esto de la localización de los puntos relativos al borde del edificio.

3.3. APLICACIONES DEL SISTEMA LIDAR CATÁLOGO NACIONAL DE INUNDACIONES HISTÓRICAS (CNHI)

La tecnología LIDAR puede aplicarse en multitud de aplicaciones gracias a la rapidez con la que pueden obtenerse los resultados y a la no-dependencia del trabajo de campo:

- *Generación de Modelos Digitales de Superficies (MDS) y del Terreno (MDT)*: Se reduce el trabajo de campo de forma considerable, lo que conlleva una reducción de costes y de tiempos. Puesto que es un sistema remoto permite la generación de modelos digitales de zonas de difícil acceso.

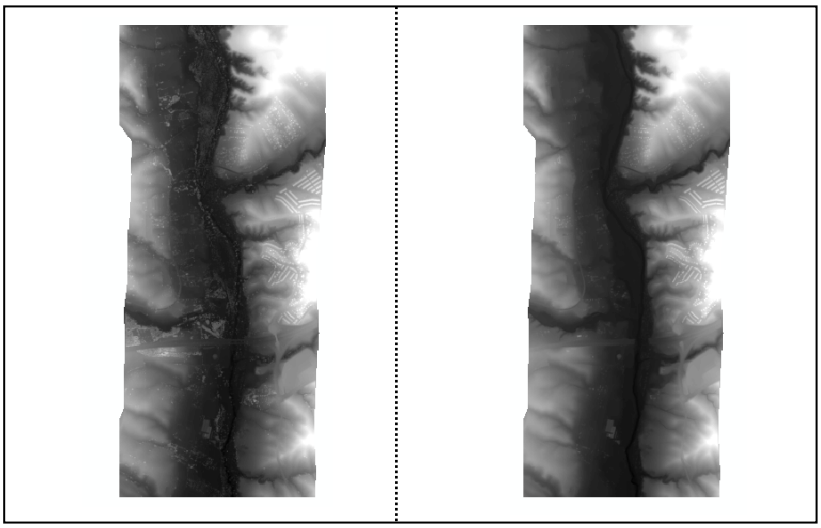


Figura 26: MDS y MDT respectivamente del Rio Guadarrama en el tramo de estudio.

- *Modelos tridimensionales urbanos*: Los modelos digitales de superficies de las ciudades tienen diversas aplicaciones como son las telecomunicaciones (telefonía móvil), estudio de visibilidades, etc.
- *Cartografía de riesgos*: gracias a la rapidez y precisión en la obtención de los resultados, esta técnica se convierte en una herramienta imprescindible para la cartografía de riesgos y desastres naturales.
- En el caso de *estudios atmosféricos*, se analiza la cantidad de señal que se emite y la que vuelve, de manera que se estudia la que se ha perdido. Utilizando las leyes de los gases, relaciones hidrostáticas y demás, se calculan las diferentes propiedades atmosféricas: dispersión elástica, etc.

- *Estudios forestales:* La recepción de múltiples ecos permite el modelado de diferentes tipos de vegetación.

Figura 27: Imagen de Vegetación.

- *Zonas costeras*: tanto para zonas de arenas que son de difícil abordamiento desde la fotogrametría digital como para las zonas especialmente abruptas, de acantilados, etc.
- *Cartografía de elementos lineales*: cartografía con gran rapidez, para el diseño de vías de comunicación, líneas eléctricas, conducciones de gas, etc.

- *Cartografía de zonas de difícil acceso*: Las zonas de difícil acceso terrestre suelen ser zonas de un elevado interés medioambiental, y en estos casos la aplicación de técnicas topográficas o fotogramétricas es compleja debido a que es necesario un trabajo de campo importante. En estas situaciones el sistema LIDAR aporta grandes ventajas.
- *Modificaciones del terreno por desastres naturales:* Los desastres naturales de más impacto ambiental, provocan alteraciones importantes del territorio que influirán en la planificación de rescate de los afectados. La rapidez de obtención de modelos digitales mediante sistema LIDAR permite la incorporación de los modelos actualizados en la planificación del auxilio a las víctimas.
- *Estudios hidrológicos:* es de gran importancia la aplicación hidrológica de los datos LIDAR. La aplicación de Modelos Digitales del Terreno derivados de un levantamiento LIDAR (Láser escáner) produce enormes ventajas para modelizar áreas con riesgo de inundaciones. Hay que considerar, especialmente los siguientes puntos:

  – Datos de escáner láser aerotransportados y georreferenciados.

  – Interpolación de MDT´s teniendo en consideración la información de las líneas de ruptura, extraídas automáticamente de los datos del láser escáner por medio de artilugios matemáticos.

  – Modelos derivados de edificios y de vegetación, que sirven para tomar en consideración superficies rugosas influenciadas por la "escorrentía" evitando así que existan datos que falseen la información hidrológica.

  – Precisión de las cotas obtenidas de los MDT del escáner láser y precisión en la posición del los límites de las áreas inundadas, que fueron predichos por las riadas.

Uno de los productos más importantes es la previsión de áreas inundadas en caso de crecida para evitar daños humanos y materiales con la suficiente antelación.

Valiéndose de la gran precisión del sistema LIDAR, tanto en planimetría como en altimetría, se puede incluso determinar la profundidad del agua en las zonas inundadas (curvas batimétricas).

4. ESTUDIO HIDROLÓGICO

4.1. INTRODUCCIÓN

Un elemento clave a delimitar en la zonificación de las inundaciones es el cauce, el cual forma parte del dominio público hidráulico, quedando definido en el Texto Refundido de la Ley de Aguas y en el Reglamento del Dominio Público Hidráulico como:

1. *"Álveo o cauce natural de una corriente continua o discontinua es el terreno cubierto por las aguas en las máximas crecidas ordinarias"* (art. 4 TRLA). *"La determinación de ese terreno se realizará atendiendo a sus características geomorfológicas, ecológicas y teniendo en cuenta las informaciones hidrológicas, hidráulicas, fotográficas y cartográficas que existan, así como las referencias históricas disponibles.*
2. *Se considerará como caudal de la máxima crecida ordinaria la media de los máximos caudales anuales, en su régimen natural, producidos durante diez años consecutivos, que sean representativos del comportamiento hidráulico de la corriente y que tengan en cuenta lo establecido en el apartado 1"* (art. 4 RDPH).

Según el R.D. 9/2008, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico y establece avances sustanciales en la zonificación de las zonas inundables, principalmente en la definición de Zona de Policía.

En su artículo 6.2., el Real Decreto expone lo siguiente: "… *la zona de policía podrá ampliarse, si ello fuese necesario, para incluir la zona o zonas donde se concentra preferentemente el flujo, al objeto específico de proteger el régimen de corrientes en avenidas, y reducir el riesgo de producción de daños en personas y bienes*".

La Zona de Flujo Preferente queda definida en el R.D. 9/2008 como "... *La zona de flujo preferente es aquella zona constituida por la unión de la zona o zonas donde se concentra preferentemente el flujo durante las avenidas, o vía de intenso desagüe, y de la zona donde, para la avenida de 100 años de periodo de retorno, se puedan producir graves daños sobre las personas y los bienes, quedando delimitado su límite exterior mediante la envolvente de ambas zonas*".

4.2. OBJETIVO

El objetivo del estudio hidrológico es la obtención de los caudales de referencia a partir de los cuales se determinan las zonas inundables, zona de Dominio Público Hidráulico y zona de flujo preferente. Estos caudales corresponden a la avenida de 10 años de periodo de retorno, 100 años de periodo de retorno y 500 años de periodo de retorno.

4.3. RECOPILACIÓN DE DATOS

Para la realización del presente estudio se ha partido de la siguiente información:

- Datos de caudales medios mensuales y máximos instantáneos registrados en las diferentes estaciones de aforo (ROEA-SAIH) distribuidas por toda la cuenca. Dicha cuenca está comprendida entre la cabecera del río Guadarrama, y el cruce de éste con el puente de la autovía A-5 en el término de Móstoles (Madrid). Se trata de una extensión de 798 Km^2. Los datos foronómicos han sido obtenidos del Anuario de Aforos 2005-06, en la página web del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), y corresponden al régimen alterado de la cuenca.
- Datos de las presas en funcionamiento en la cuenca de estudio.
- Datos obtenidos de los mapas de caudales máximos de la cuenca del Tajo para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 100 y 500 años. Los mapas han sido obtenidos en régimen natural por lo que no reflejan las posibles alteraciones producidas por las infraestructuras existentes aguas arriba de la cuenca del Guadarrama. Dichas presas han alterado el régimen hidrológico en la cuenca de estudio.

4.4. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN FORONÓMICA

4.4.1. METODOLOGÍA EMPLEADA

El método estadístico permite estimar la magnitud y frecuencia de los caudales que pasan por un determinado punto a partir del estudio de la correlación de las características estadísticas de los puntos aforados con diversas características físicas de la cuenca.

Se localizaron las estaciones de aforo de la ROEA (Red Oficial de Estaciones de Aforo), embalses y estaciones de la red SAIH (Sistema Automático de Información Hidrológica), que se encuentran en la cuenca de estudio, para posteriormente elegir aquellas que serian incluidas en el estudio. Para ello se definieron una serie de criterios a cumplir:

- Descartando aquellas estaciones localizadas en los embalses de la cuenca, debido a la baja representatividad de sus registros en el funcionamiento de la cuenca.
- Seleccionando las estaciones de aforo con el mayor número de datos representativos registrados.

Tabla 3: Características de las presas inventariadas en la cuenca de estudio en el río Guadarrama (Fuente: Inventario de presas y embalses, MARM).

	NOMBRE PRESA	SITUACIÓN (Río)	Sup. CUENCA (Km^2)	Volumen (Hm^3)	USOS	PROPIETARIO	Año construcción	Riesgo
1	El Romeral	Romeral	2,33	0,26	Abastecimiento	Estado	1928	A
2	Guatel (Azud)	Arroyo del Guatel Primero o del Boquerón	12	2	Abastecimiento	Estado	1992	C
3	Molino de la Hoz	Guadarrama	310	0,4	Recreo	Asoc. Prop. Molino de la Hoz	1973	A
4	Valmayor	Aulencia	101,4	125	Abastecimiento	Canal de Isabel II	1975	A
5	Las Nieves	Guadarrama	261,5	0,3	Abastecimiento	Canal de Isabel II	1977	A
6	Navalmedio	Navalmedio	9	0,8	Abastecimiento	Canal de Isabel II	1968	A
7	La Jarosa	Jarosa	18	7,4	Abastecimiento, regulación	Canal de Isabel II	1968	A
8	Aulencia	Aulencia	117	0,4	Abastecimiento	Estado	1945	C

La información sobre las series temporales registradas en las estaciones de aforo y embalses se puede consultar en el Anuario de Aforos 2005-06, disponible a través de la página web del Centro de Estudios Hidrográficos CEDEX (http://hercules.cedex.es).

De las 7 estaciones que se encuentran en el área que conforma la cuenca de estudio, tres de ellas se encuentran en embalses (código EA 3181, EA 3190 y EA 3191), por tanto no se eligieron para el proyecto. Las otras tres, EA 3100, EA 3194 y EA 3179 (punto de cierre) son las que se ha seguido para llevar a cabo el estudio hidrológico, añadiéndose una cuarta, la EA 3102, que aunque se encuentra aguas abajo de la zona objetivo, tiene un amplio registro de datos de caudales que permiten una mejor valoración de los resultados obtenidos en las estaciones de aguas arriba.

Tabla 4: Localización de las estaciones de aforo de la cuenca de estudio en el río Guadarrama (de aguas arriba a aguas abajo).

X_UTM	Y_UTM	ESTACIÓN	Sup. cuenca (Km^2)	LUGAR	MUNICIPIO	PROVINCIA	naa*	naai*	AÑO INICIAL	AÑO FINAL
414975	4498275	3100	234	Villalba	Collado Villalba	Madrid	39	26	1962	2001
420555	4486065	3194	366	Galapagar	Las Rozas de Madrid	Madrid	20	6	1967	1990
420110	4461615	3179	798	Navalcarnero	Móstoles	Madrid	17	7	1965	1981
411635	4427575	3102	1353	Bargas	Bargas	Toledo	32	18	1962	1992

*naa: nº años datos diarios; naai: nº años máx inst mensuales (Fuente: hercules.cedex.es).

La existencia de una estación de aforo del SAIH del Tajo (AR19, estación V-Flat, Guadarrama en el Picotejo), como se muestra en el siguiente mapa, aguas abajo de la EA 3194. No se ha incluido en método estadístico puesto que no se disponían de los datos registrados por la misma pero es importante tener en cuenta su funcionamiento y localización como se explicará más adelante (ver aplicación *CauMax*).

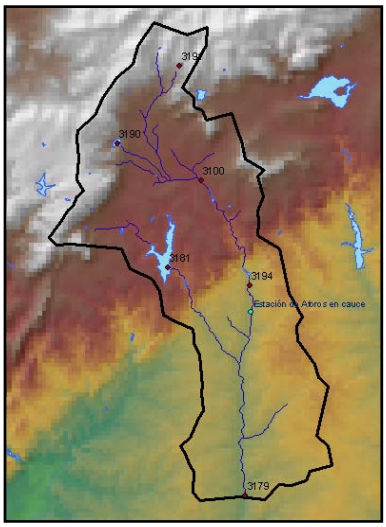


Figura 28: Distribución de las estaciones de aforo en la cuenca.

Mediante las series de caudales máximos medios mensuales y anuales registrados, y caudales máximos instantáneos mensuales en cada estación en cada periodo, se calculó la recta de regresión para cada EA. Dicho método se hace porque en algunas estaciones y algunos periodos de registro sólo se dispone del caudal máximo medio diario, y no del caudal máximo instantáneo. Por ello, a través de la recta de regresión obtenida (todas con $R^2 \approx 0{,}9$) se obtienen los datos de caudales instantáneos incompletos.

Además se ha aplicado la fórmula de Fuller:

$$k = \frac{Qi}{Qmd} = 1 + \frac{a}{A^b}$$

Donde:

$$\log(k-1) = \log a - b \cdot \log A$$

$$Qi = \left(1 + \frac{6{,}38}{A^{0{,}41}}\right) * Qmd$$

Los valores de *a* es 6,38 y *b* es 0,41 son específicos para la cuenca del Tajo. Se comprobó que estos valores de los parámetros, previamente establecidos en los estudios del CEDEX en la cuenca del Tajo, se ajustaban a los resultados obtenidos para la cuenca en estudio (río Guadarrama).

A través de la aplicación CHAC (Cálculo Hidrometeorológico de Aportaciones y Crecidas del CEDEX) y con las serie de aportaciones registradas en las diferentes estaciones de aforo se obtuvieron gráficos de caudales medios mensuales para cada EA y el cronograma de las mismas.

El análisis de las funciones de distribución permite comprobar la capacidad de las funciones para adaptarse a los datos de las muestras (capacidad descriptiva), y la precisión y robustez de las funciones para extrapolar a altos periodos de retorno (capacidad predictiva), añadiendo la información histórica y regional para mejorar la extrapolación.

Las leyes de frecuencia empleadas en el análisis descriptivo de los datos han sido la función de distribución de GEV (Valores Extremos Generalizada) y LPIII, con los ajustes de momentos, momentos ponderados y máxima verosimilitud, para la función GEV, y el ajuste individual con sesgo muestral para LPIII. Utilizándose la función de distribución de GEV (Valores Extremos Generalizada), con el ajuste de los momentos, puesto que es la que mejor representa el comportamiento de la cuenca de estudio:

Valores extremos generalizada (GEV)	$F(x) = exp\left\{-\left[1-k\left(\frac{x-u}{\alpha}\right)\right]^{1/k}\right\}$	u, α, k

Donde α es la escala, u es la localización, y k es la forma y depende del sesgo.

Posteriormente se han calculado las medias de diez años consecutivos con dato de la media de los máximos caudales anuales para determinar el caudal de la máxima crecida ordinaria (art. 4 RDPH).

4.4.2. RESULTADOS

Los resultados obtenidos para el cálculo de los caudales instantáneos a partir de los caudales medios se realizaron mediante la recta de regresión característica de cada estación (ver gráficas 29, 30, 31 y 32).

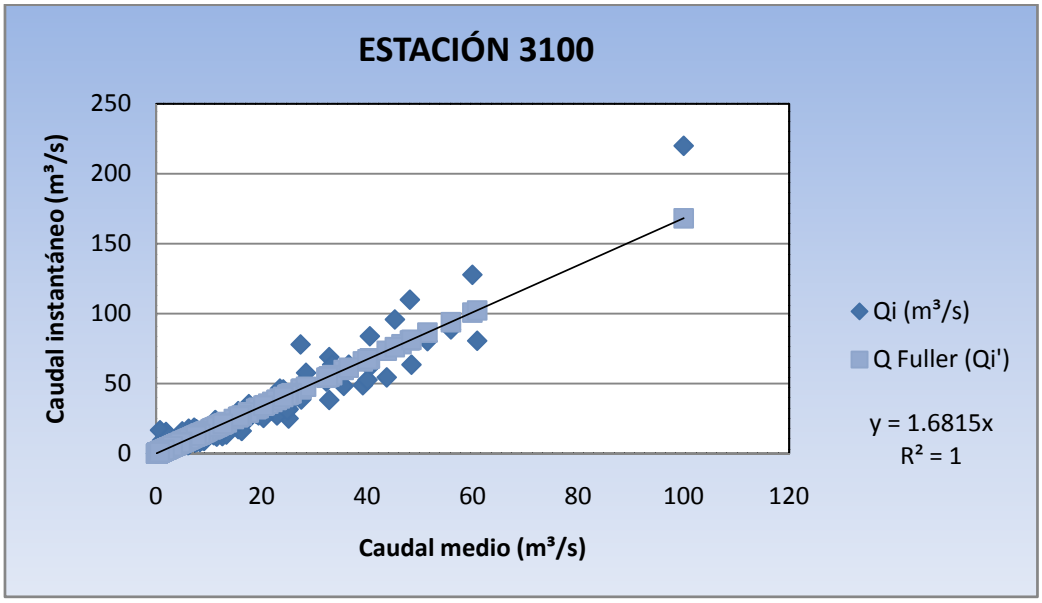


Figura 29: Gráficas de las rectas de regresión de caudales instantáneos en las EA 3100.

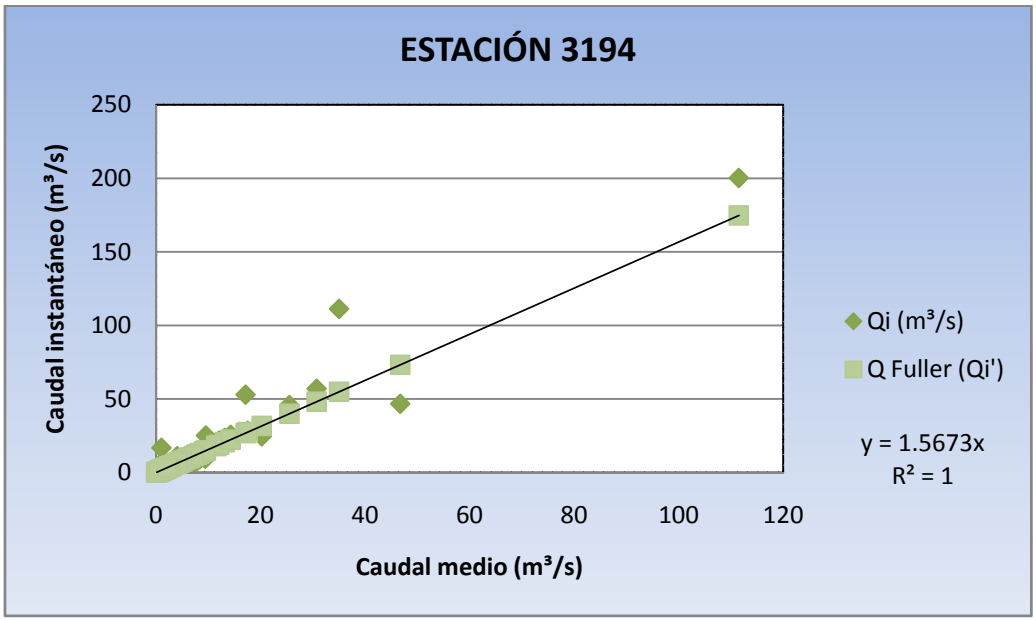


Figura 30: Gráficas de las rectas de regresión de caudales instantáneos en las EA 3194.

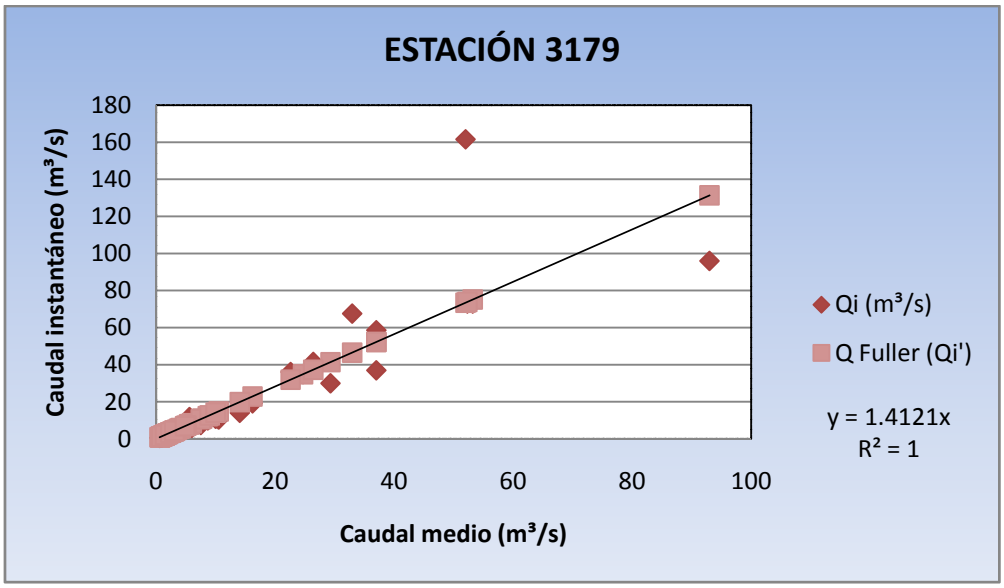


Figura 31: Gráficas de las rectas de regresión de caudales instantáneos en las EA 3179.

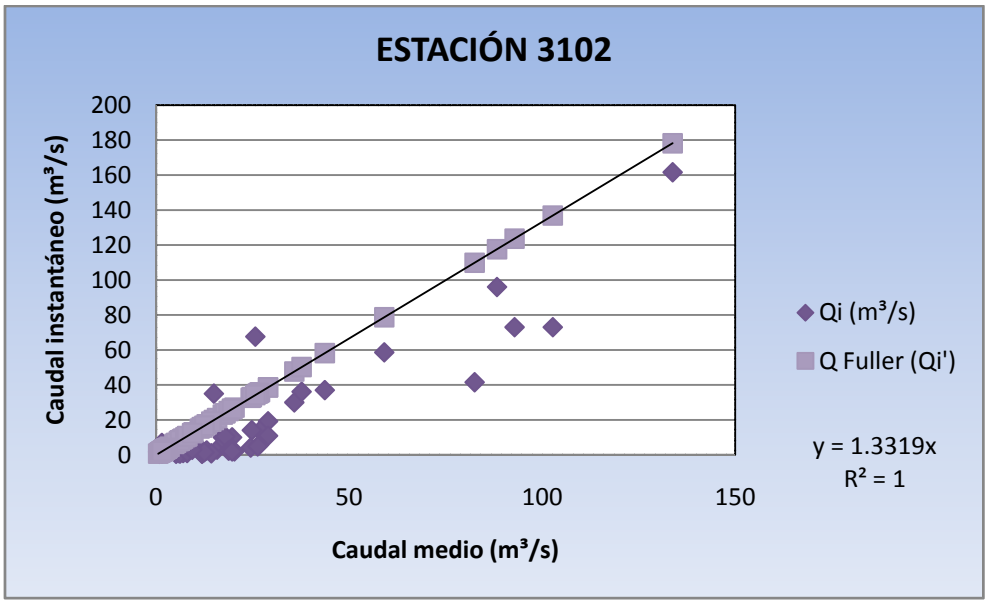


Figura 32: Gráficas de las rectas de regresión de caudales instantáneos en las EA 3102.

Para las cuatro estaciones de aforo se ve mediante las gráficas que para caudales bajos los valores estimados se ajustan mejor a la ecuación de Fuller específica propuesta por los estudios del CEDEX para la cuenca del Tajo.

$$Qi = \left(1 + \frac{6{,}38}{A^{0{,}41}}\right) * Qmd$$

El cronograma resultante de la aplicación de CHAC muestra la continuidad de los registros (datos) de caudales máximos medios en las estaciones.

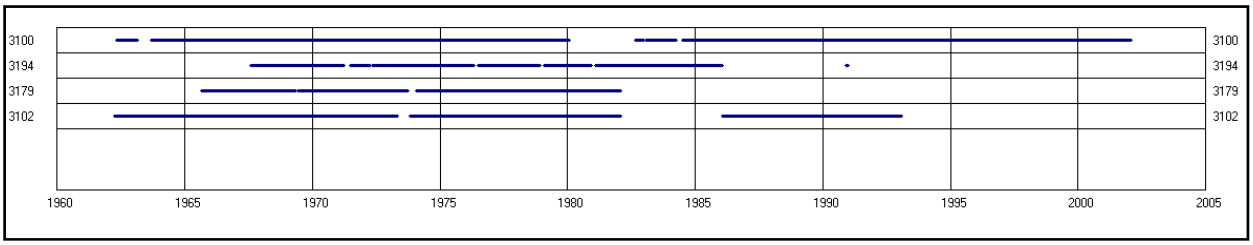


Figura 33: Cronograma de las cuatro estaciones de aforo (tramo del río Guadarrama).

A continuación se muestran representados los caudales medios por estaciones.

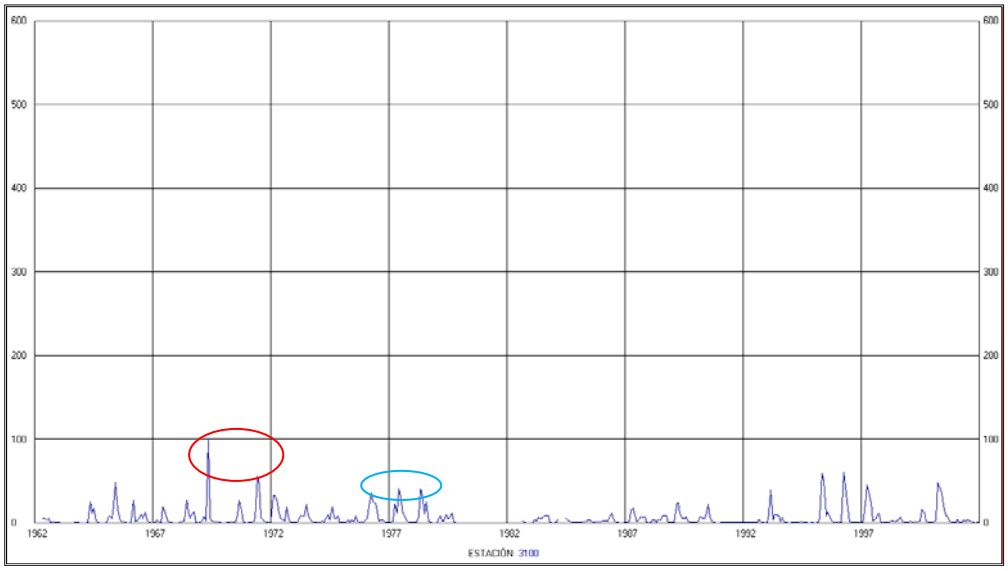


Figura 34: Caudales máximos medios mensuales estación de aforo 3100 (Villalba). (Fuente: CHAC).

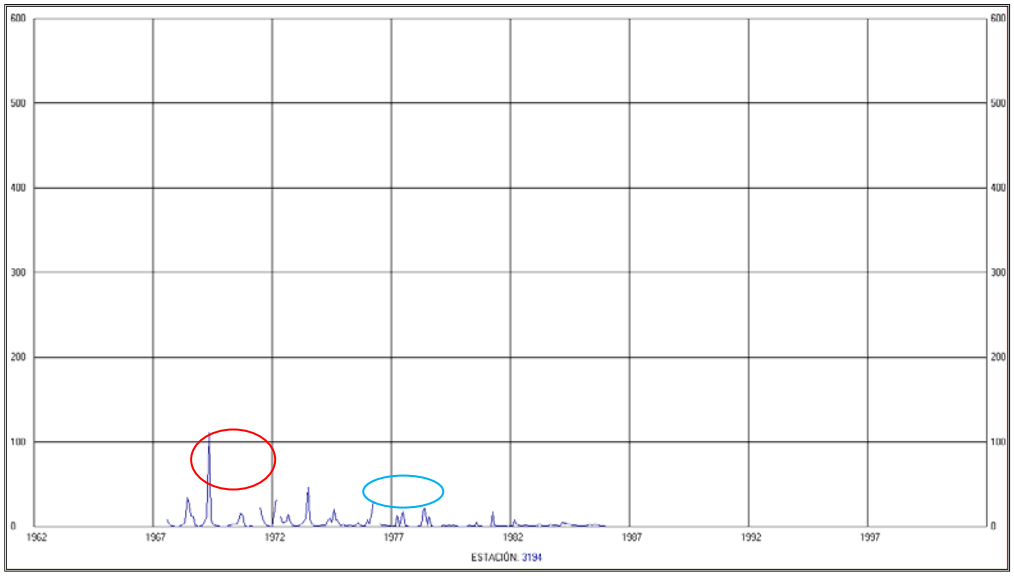


Figura 35: Caudales máximos medios mensuales estación de aforo 3194 (Galapagar). (Fuente: CHAC).

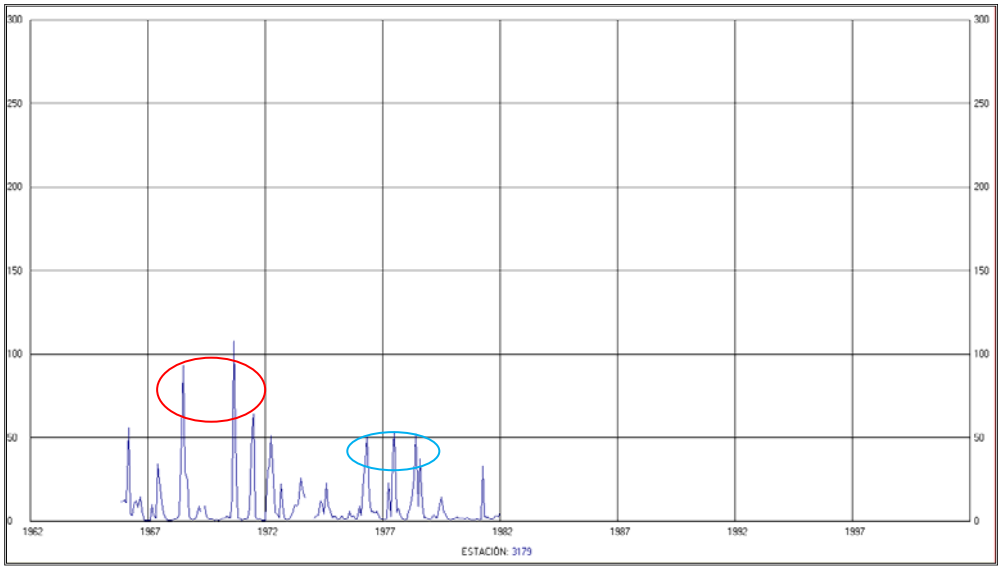


Figura 36: Caudales máximos medios mensuales estación de aforo 3179 (Punto de cierre, Navalcarnero). (Fuente: Aplicación CHAC).

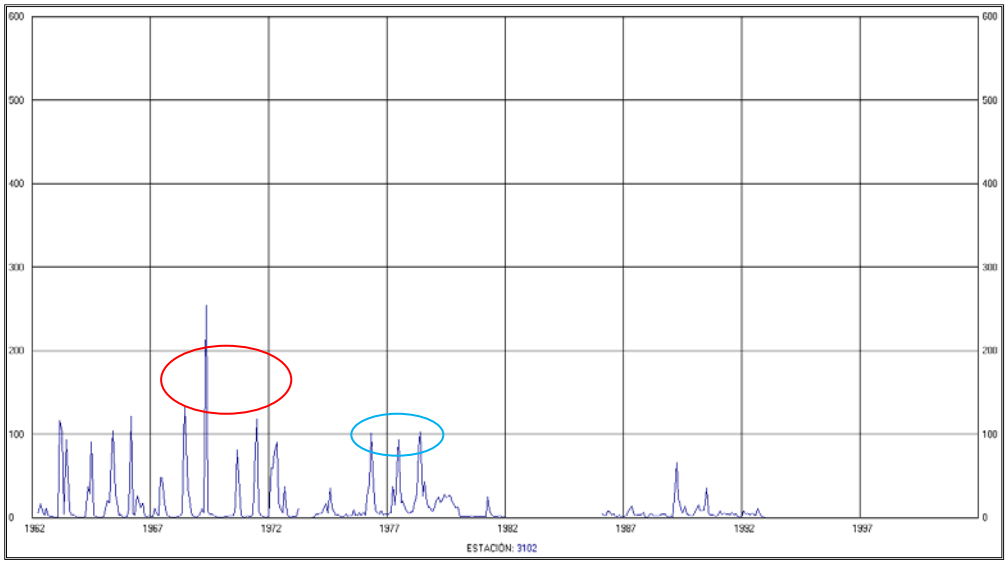


Figura 37: Caudales máximos medios mensuales estación de aforo 3102 (Bargas). (Fuente: Aplicación CHAC).

Mediante los gráficos de la aplicación de CHAC para los caudales medios de cada estación de aforo, se observa la continuidad en el registro de caudales medios máximos mensuales en el recorrido del río Guadarrama, desde aguas arriba en la EA 3100, hasta aguas abajo, en la EA 3102, en los periodos de 1967 a 1972, y de 1976 a 1979. Los valores de los picos (caudal máximo medio mensual) aumentan desde aguas arriba hacia aguas abajo.

Tabla 5: Estadísticas de los resultados de caudales medios mensuales en las estaciones de aforo del estudio en el río Guadarrama. (Fuente: Aplicación CHAC).

Proyecto: Estudio tramo Río Guadarrama					
Estadísticas 40 años: 1962/63 - 2001/02					
Estación	**Años totales**	**Completos**	**Media (m^3/s)**	**CV**	**CS**
3100	40	34	27,2	0,794	1,284
3194	24	13	22,4	1,333	2,532
3179	17	14	45,9	0,655	0,548
3102	31	25	68,5	0,860	1,241

Las estadísticas que se muestran que las estaciones con los códigos 3194y 3179, tienen una serie de datos muy pequeña, menor a 15 años completos.

Se observa una disminución del caudal medio registrado en la estación 3194 con respecto al obtenido en la estación 3100, situada aguas arriba.

En las siguientes gráficas se muestra la aplicación y resultado de las leyes de frecuencia para los caudales máximos instantáneos por estaciones en la cuenca de estudio.

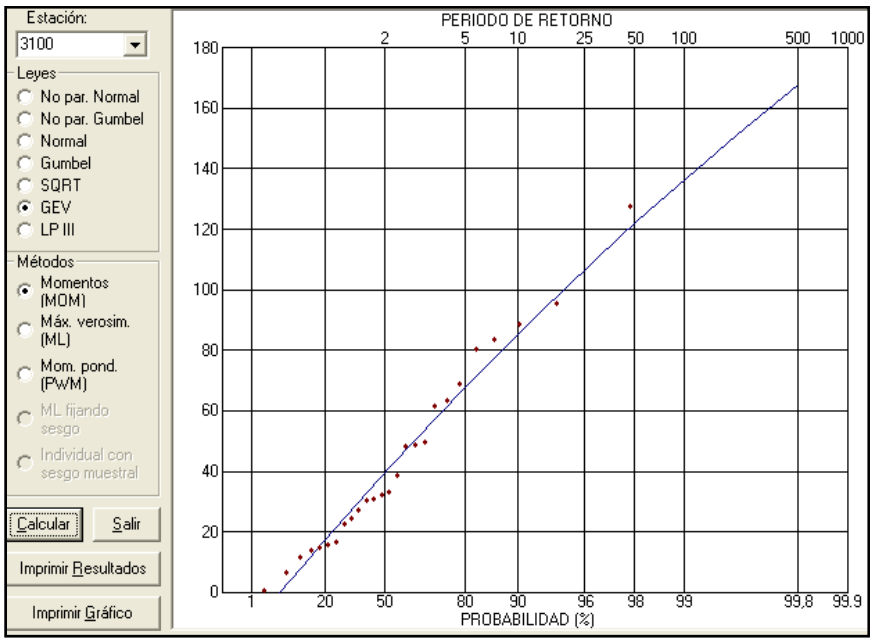


Figura 38: Gráfica de la ley de frecuencia GEV por el método de los momentos para la EA 3100. (Fuente: Aplicación CHAC).

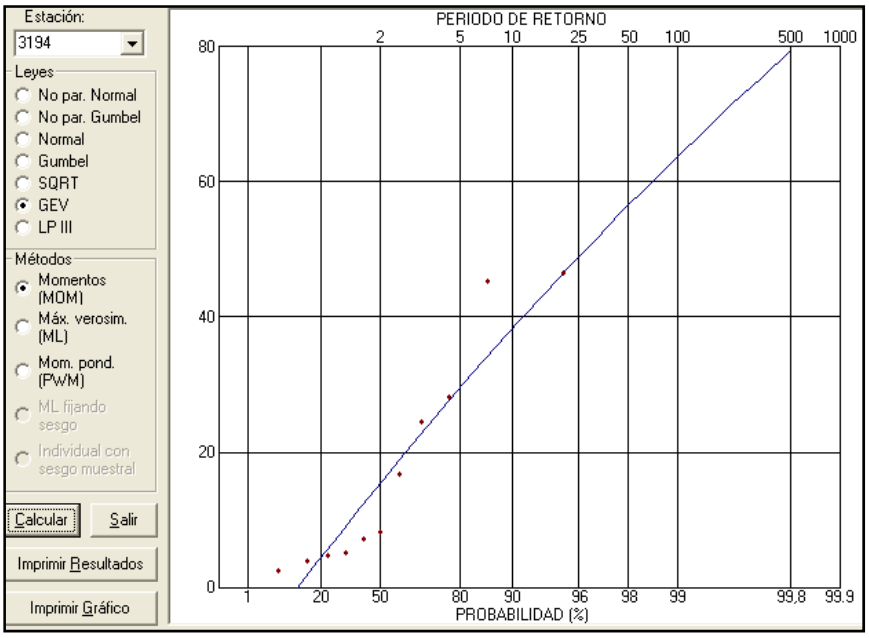


Figura 39: Gráfica de la ley de frecuencia GEV por el método de los momentos para la EA 3194. (Fuente: Aplicación CHAC).

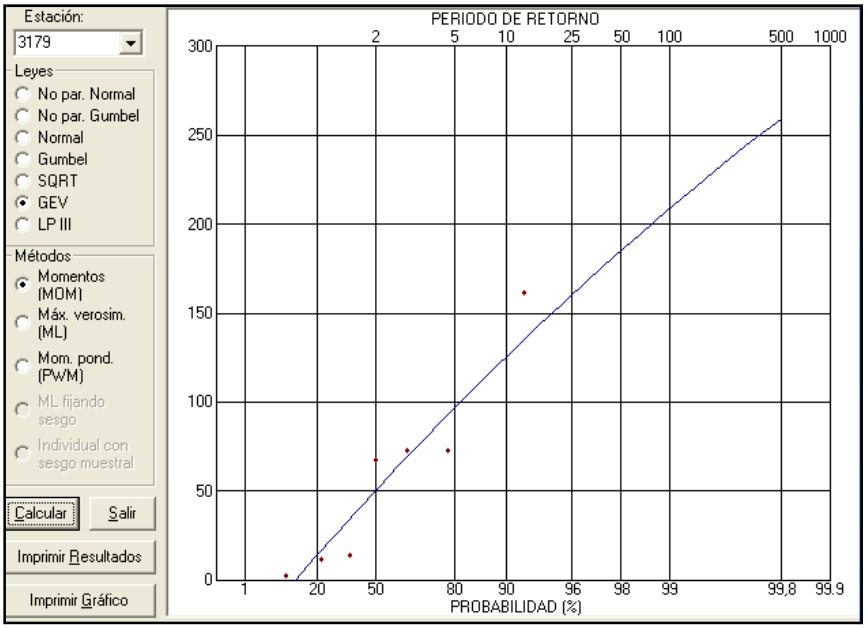


Figura 40: Gráfica de la ley de frecuencia GEV por el método de los momentos para la EA 3179. (Fuente: Aplicación CHAC).

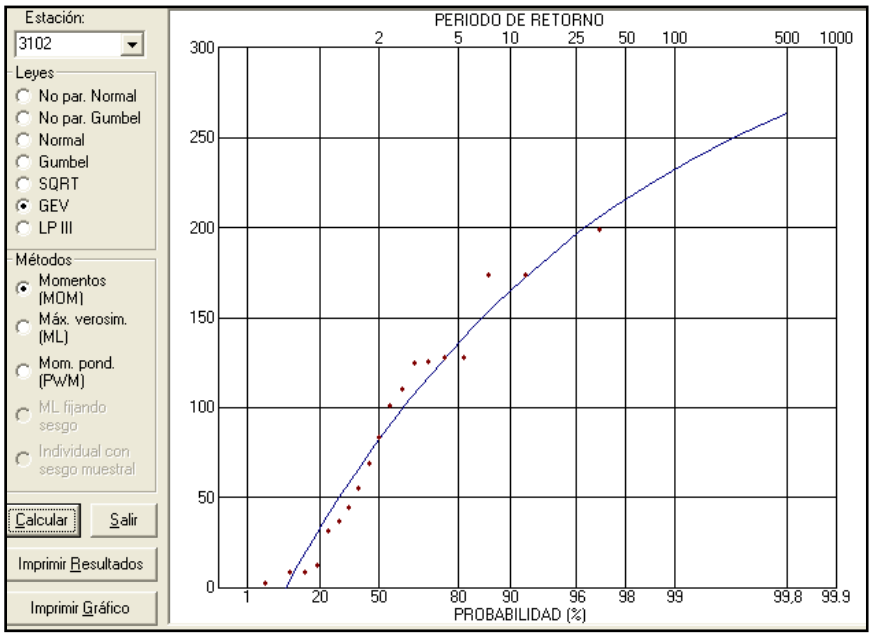


Figura 41: Gráfica de la ley de frecuencia GEV por el método de los momentos para la EA 3102. (Fuente: Aplicación CHAC).

El resultado numérivo de las leyes de frecuencia está registrado en la siguiente tabla:

Tabla 6: Resultados de la ley de frecuencia GEV para las estaciones en estudio.

GEV momentos					
T (años)	F(x)	Q_{MI} 3100 (m^3/s)	Q_{MI} 3194 (m^3/s)	Q_{MI} 3179 (m^3/s)	Q_{MI} 3102 (m^3/s)
2	0,5	40	16	51	82
5	0,8	68	30	97	136
10	0,9	85	38	**126**	165
25	0,96	107	49	160	196
50	0,98	122	57	185	216
100	0,99	136	64	**208**	233
500	0,998	168	79	**259**	263

Los valores obtenidos para los periodos de retorno bajos son los siguientes:

Tabla 7: Resultados de la ley de frecuencia GEV para las estaciones en estudio, para periodos de retorno bajos.

T (años)	Q_{MI} 3100 (m^3/s)	QMI 3194 (m^3/s)	Q_{MI} 3179 (m^3/s)	Q_{MI} 3102 (m^3/s)
2,33	49	21	**67**	108

Para el cálculo del caudal de máxima crecida ordinaria se seleccionaron varios periodos de 10 años consecutivos en los que las cuatro estaciones tuvieran datos (ver figura 33, cronograma). Para ello se hicieron las medias para los periodos de 1965 a 1975, 1975 a 1985, 1965 a 1985 y 1970 a 1980 (ver tabla 8).

Tabla 8: Resultados caudales medios máximos anuales de un periodo de 10 años.

ANÁLISIS FORONÓMICO	ESTACIÓN DE AFOROS-Río Guadarrama (CH Tajo)			
	3100	3194	3179	3102
Periodo series (años)	1962/63-2001/02	1967/68-1990/91	1965/66-1981/82	1962/63-1992/93
Años totales	38	20	17	31
Años completos	34	13	14	25
Área (Km^2)	234	366	798	1353
Q medio máx anual (m^3/s)	27	22	46	68
Q_i Fuller (m^3/s)	46	35	**65**	91
Q medio 1965 a 1975 (m^3/s)	38	46	**61**	110
Q medio 1975 a 1985 (m^3/s)	24	9	31	52
Q medio 1965 a 1985 (m^3/s)	33	24	46	85
Q medio 1970 a 1980 (m^3/s)	29	18	47	74

Se observa la disminución significativa del caudal medio máximo anual en todos los periodos de registro de la estación 3194, respecto de la estación 3100 localizada aguas arriba del río Guadarrama.

4.5. ANÁLISIS MAPA DE CAUDALES MÁXIMOS DE LA CUENCA DEL TAJO

4.5.1. METODOLOGÍA EMPLEADA

La aplicación de caudales máximos (*CauMax*), "Mapa de caudales máximos de avenida para la red fluvial de la España peninsular", se ha realizado dentro de un Convenio de colaboración entre la Dirección General del Agua (DGA), en el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (MARM), y el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), con el título "Asistencia técnica, investigación y desarrollo tecnológico en materia de gestión de dominio público hidráulico y explotación de obras".

El objeto fundamental del mapa de caudales máximos consiste en caracterizar estadísticamente dicho fenómeno mediante el conocimiento de su ley de frecuencia, la cual relaciona la magnitud del caudal punta de avenida con su frecuencia de presentación (periodo de retorno). Por tanto, se trata de una estimación de los caudales máximos correspondientes a distintos periodos de retorno en situación natural, en cualquier punto de la red fluvial. La aplicación más inmediata para dicha información es su uso en la zonificación de áreas inundables. Hay que tener en cuenta que la precisión de las estimaciones de los caudales máximos realizada para la confección de los mapas corresponde a un trabajo a escala nacional.

Mediante este estudio se pretende evaluar la correspondencia entre los resultados obtenidos en los mapas de caudales máximos, y los valores resultantes del análisis foronómico. Consiguiendo complementar los datos de *CauMax* puesto que la cuenca funciona en régimen muy alterado debido al número de embalses existentes en cabecera, tanto en el río principal (Guadarrama), como en sus afluentes (Aulencia).

Actualmente sólo se encuentra finalizado el mapa de caudales máximos en la Cuenca Hidrográfica del Tajo, adoptada como cuenca piloto.

Las características generales que presentan los mapas en la aplicación son las siguientes:

- Realizado en el ámbito de las cuencas gestionadas por la Confederación Hidrográfica del Tajo.
- Proporciona información en los puntos de la red fluvial con cuencas iguales o superiores a 50 Km^2. El área objeto de estudio en el presente trabajo comprende la cuenca del río Guadarrama hasta el punto de cierre (estación de aforo 3179). Ésta está constituida por 798 Km^2.
- Correspondientes al régimen natural.
- Proporciona información para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 100 y 500 años, y la estimación orientativa de la máxima crecida ordinaria (MCO) a partir de fórmulas aproximadas. Así como el cálculo del caudal máximo de cualquier otro periodo de retorno por interpolación de los valores de los mapas definidos previamente. Para realizar dicha interpolación, la aplicación informática emplea la función de distribución de Valores Extremos Generalizada y el método de mínimos cuadrados.
- Los resultados son representados mediante capas raster con una resolución de 500x500 m.

- Todo ello se consulta y visualiza a través de la aplicación informática (*CauMax*).

La llegada de avenidas a un determinado punto de un río es muy variable en frecuencia y magnitud, estando en esencia determinado por el azar y siendo, por tanto, imposible de predecir de forma determinística.

Previamente al análisis, la aplicación de CauMax integra la identificación de regiones estadísticamente homogéneas (tests de homogeneidad de Wiltshire y Hosking y Wallis, además de la información regional relativa al coeficiente de sesgo) en la cuenca del Tajo. Siguiendo criterios geográficos, a partir de la orografía de la cuenca, la altitud, el régimen de lluvias y el valor de los cuantiles de precipitación más altos, la cuenca se divide en tres regiones: Tajo Occidental, Tajo Oriental y Tajuña. La cuenca del río Guadarrama se encuentra en la región Tajo Oriental, que incluye los afluentes al río Tajo situados aguas arriba del Alberche, excepto los incluidos en la región Tajuña.

Figura 42: División en regiones con comportamiento estadístico homogéneo respecto a los caudales máximos anuales.

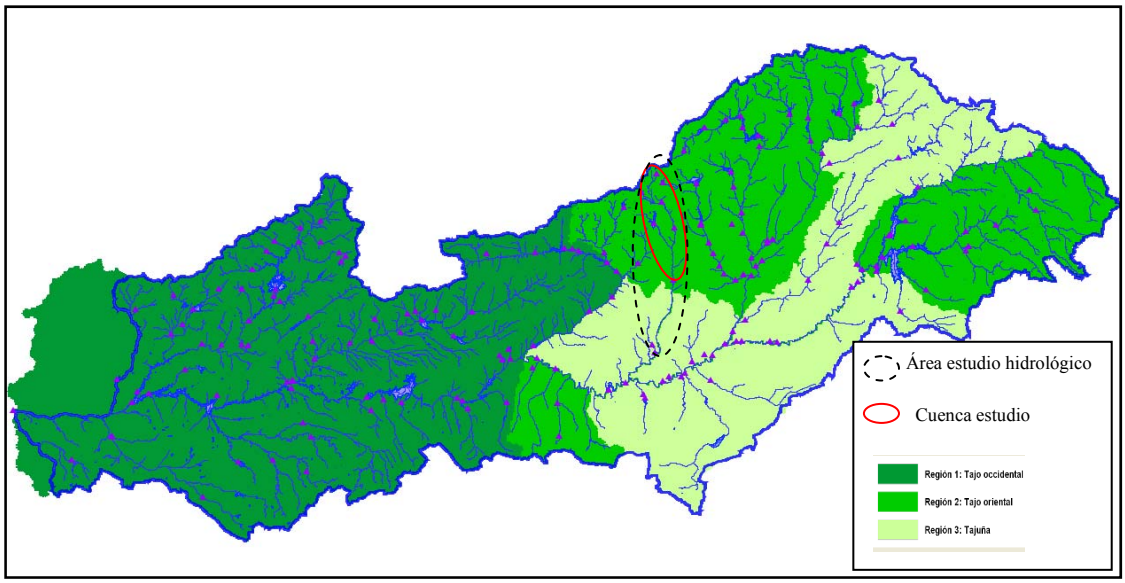


Figura 43: Mapa por regiones estadísticamente homogéneas en la cuenca del Tajo. Escala 1:1.568.070 (Fuente: Aplicación CauMax Tajo).

La metodología aplicada en el estudio de caudales máximos en la cuenca del Tajo ha partido de la selección de estaciones de aforos (Red Oficial de Estaciones de Aforo, ROEA), estaciones SAIH (Sistema Automático de Información Hidrológica) y embalses con suficiente

información sobre caudales máximos como para realizar una estimación suficientemente fiable de sus cuantiles. Las series de datos seleccionadas tienen verificada su calidad mediante diversas técnicas estadísticas (test de Mann-Kendall), además de tener información regional e histórica para mejorar la extrapolación para altos periodos de retorno. La revisión de la calidad de las series es importante para identificar tendencias temporales en las mismas debido a la existencia de información no homogénea, como en el caso de cambios en la ubicación de la estación o cambios en la curva de gasto. Análisis de inconsistencias con los datos de otras estaciones situadas aguas arriba o aguas abajo.

Las variables que la aplicación tiene en cuenta para el cálculo del resultado final son el área de la cuenca, el cuantil de precipitación máxima diaria, altitud media de la cuenca, pendiente media de la cuenca y el umbral de escorrentía (P_0).

En la aplicación de *CauMax* se puede estimar el caudal correspondiente a la máxima crecida ordinaria (Q_{MCO}), en función de la media (Q_m) y el coeficiente de variación (C_v) de la serie temporal de caudales máximos anuales mediante la expresión aproximada propuesta en *"Aspectos prácticos de la definición de la Máxima Crecida Ordinaria (CEDEX, 1994)"*:

$$Q_{MCO} = Q_m\,(0{,}7+0{,}6\cdot C_v)$$

Para el cálculo es necesario conocer la ley de frecuencia de caudales máximos donde se relaciona el periodo de retorno correspondiente al caudal de la máxima crecida ordinaria (T_{MCO}) con el coeficiente de variación de la serie temporal:

$$T_{MCO} = 5\cdot C_v$$

Mediante la regionalización estadística de la cuenca de estudio, en la que se conocen los valores regionales de los principales estadísticos, coeficiente de variación y, la estimación del caudal en los distintos puntos de la red fluvial.

Tabla 9: Coeficientes de variación regionales y periodos de retorno para la máxima crecida ordinaria en las regiones estadísticas de la cuenca del Tajo.

Región estadística	C_v regional	T_{MCO}
Tajo occidental	0,786	≈ 4 años
Tajo oriental	**0,786**	**≈ 4 años**
Tajuña	0,995	≈ 5 años

Es importante destacar de nuevo que los valores que proporciona la aplicación de *CauMax* en la cuenca del Tajo para la máxima crecida ordinaria son sólo orientativos, no sustituyen a los resultados obtenidos en estudios concretos de deslinde del dominio público hidráulico.

4.5.2. RESULTADOS

Tras la localización y delimitación de la cuenca objeto de estudio, se determinaron las estaciones existentes en la misma.

Para obtener resultados de la aplicación de los mapas de caudales máximos en la cuenca del Tajo es necesario conocer las coordenadas de dichas estaciones de aforo, puesto que el programa necesita la localización de dicho punto y la corriente o río del mismo, en este caso para todas las estaciones es el río Guadarrama.

Tabla 10: Localización de las estaciones de aforo de la cuenca (de aguas arriba a aguas abajo).

X_UTM HUSO 30	Y_UTM HUSO 30	ESTACIÓN	LUGAR	MUNICIPIO	PROVINCIA
414975	4498275	3100	Villalba	Collado Villalba	Madrid
420555	4486065	3194	Galapagar	Las Rozas de Madrid	Madrid
420729	4482914	AR19 (SAIH)	Guadarrama en el Picotejo		Madrid
420110	4461615	3179	Navalcarnero	Móstoles	Madrid
411635	4427575	3102	Bargas	Bargas	Toledo

Como se puede ver en la tabla anterior (Tabla x), para el caso de la estación de aforo 3194, la aplicación no puede obtener valores puesto que la estación no tiene registros que proporcionen la información necesaria para determinar los valores de los periodos de retorno buscados (ver tablas 11 y 12). Sin embargo, a diferencia con el estudio estadístico se han podido añadir los resultados de la estación de aforo AR19 del SAIH. Dicha estación se encuentra aguas abajo de la EA 3194 y muy próxima a ésta por tanto puede servir como orientación del valor de magnitud del caudal máximo que pasa por este tramo de río.

La estación con el código 3102 se encuentra aguas debajo de la delimitación del área de estudio, pero ha sido necesario añadirla en el proyecto para obtener una mayor fiabilidad en los resultados, como se indica en el análisis foronómico. Hay que tener en cuenta que esta estación de aforo se encuentra en otra región de la cuenca del Tajo, la región de Tajuña.

De la aplicación de los mapas de caudales máximos en la cuenca se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 11: Resultados de la aplicación CauMax para las cuatro estaciones de aforo en estudio (de aguas arriba a aguas abajo).

CauMax	ESTACIÓN DE AFORO-Río Guadarrama (CH Tajo)				
T (años) PERIODO DE RETORNO	Q_{MI} 3100 (m^3/s)	Q_{MI} 3194 (m^3/s)	Q_{MI} AR19 (m^3/s) (SAIH)	Q_{MI} 3179 (m^3/s)	Q_{MI} 3102 (m^3/s)
2	39	-	50	61	71
5	73	-	92	120	145
10	99	-	125	**162**	199
25	136	-	171	223	277
100	198	-	250	**332**	417
500	283	-	356	**490**	619

Los resultados obtenidos como caudal de máxima crecida ordinaria, según *CauMax*, son:

Tabla 12: Resultados caudal máxima crecida ordinaria, aplicación CauMax para las cuatro estaciones de aforo en estudio.

CauMax	ESTACIÓN DE AFORO-Río Guadarrama (CH Tajo)				
Q_{MCO} (m^3/s)	**3100**	**3194**	**AR19** (SAIH)	**3179**	**3102**
T = 4 años	65	-	83	**105**	127

La determinación de los caudales para los periodos de retorno bajos en las estaciones de aforo del área de estudio resultó:

Tabla 13: Resultados de la aplicación CauMax para las cuatro estaciones de aforo en estudio, para periodos de retorno bajos.

CauMax T (años) PERIODOS DE RETORNO BAJOS	ESTACIÓN DE AFOROS-Río Guadarrama (CH Tajo)				
	Q_{MI} 3100 (m^3/s)	Q_{MI} 3194 (m^3/s)	Q_{MI} AR19 (m^3/s) (SAIH)	Q_{MI} 3179 (m^3/s)	Q_{MI} 3102 (m^3/s)
2	39	-	50	61	71
2,33	44	-	57	**71**	83
5	73	-	92	120	145

La aplicación de mapa de caudales máximos en el Tajo no permite el cálculo directo del caudal máximo para el periodo de retorno de 2,33 años. Si se puede calcular para periodos de retorno con años enteros, es decir, si 4 años, etc, como se ha indicado en la metodología.

Para obtener el valor del caudal máximo para un periodo de retorno de 2,33 años se ha calculado mediante interpolación con los valores obtenidos para periodos de retorno de 2 y 5 años para cada estación.

4.6. RESULTADOS ANÁLISIS FORONÓMICO *versus* MAPA CAUDALES MÁXIMOS

Para la visualización de los resultados obtenidos por ambos métodos se ha elaborado la siguiente tabla, donde quedan englobados todos los resultados obtenidos en el estudio hidrológico.

Tabla 14: Resumen estudio hidrológico de la zona objetivo en el río Guadarrama.

	RESULTADOS	ESTACIÓN DE AFOROS-Río Guadarrama (CH Tajo)			
	CÓDIGO EA	3100	3194*	3179	3102
Datos generales	Periodo (años)	1962/63-2001/02	1967/68-1990/91	1965/66-1981/82	1962/63-1992-93
	Años totales	38	20	17	31
	Años completos	34	13	14	25
	Área (Km^2)	234	366	798	1353
	Q medio máximo anual (m^3/s)	27	22	46	68
	Q_i Fuller (m^3/s)	46	35	**65**	91
	Q medio 1965-75 (m^3/s), Q_{MCO}	38	46	**61**	110
	Q medio 1975 a 1985 (m^3/s)	24	9	31	52
	Q medio 1965 a 1985 (m^3/s)	33	24	46	85
GEV (CHAC)	Q_{MI} (m^3/s), T = 2 años	40	16	51	82
	Q_{MI} (m^3/s), T = 2,33 años	49	21	**67**	108
	Q_{MI} (m^3/s), T = 5 años	68	30	97	136
	Q_{MI} (m^3/s), T = 10 años	85	38	126	165
	Q_{MI} (m^3/s), T = 25 años	107	49	160	196
	Q_{MI} (m^3/s), T = 50 años	122	57	185	216
	Q_{MI} (m^3/s), T = 100 años	136	64	**208**	233
	Q_{MI} (m^3/s), T = 500 años	168	79	**259**	263
CauMax	Q_{MI} (m^3/s), T = 2 años	39	50*	61	71
	Q_{MI} (m^3/s), T = 2,33 años	44	57*	**71**	83
	Q_{MCO} (m^3/s), T = 4 años	65	83*	**105**	127
	Q_{MI} (m^3/s), T = 5 años	73	92*	120	145
	Q_{MCO} (m^3/s), T = 10 años	99	125*	162	199
	Q_{MCO} (m^3/s), T = 25 años	136	171*	223	277
	Q_{MCO} (m^3/s), T = 100 años	198	250*	**332**	417
	Q_{MCO} (m^3/s), T = 500 años	283	356*	**490**	619

Hay que añadir que los valores de la estación 3194 (*), para *CauMax* pertenecen a la estación SAIH AR19, se muestran a modo de orientación. Se ha considerado oportuno tenerlos en cuenta para conocer el orden de magnitud del caudal registrado en ese tramo del río Guadarrama, puesto que la estación 3194 no tiene información suficiente.

En la tabla resumen se observa una diferencia significativa en los periodos de 10 años consecutivos. El valor del caudal medio en el periodo comprendido entre 1965 y 1975, es casi el doble que el caudal de las décadas posteriores.

4.7. FUNCIONAMIENTO DE LA CUENCA

En su curso alto, el río Guadarrama discurre en dirección norte a sur, a través de los municipios madrileños de Cercedilla, donde confluye el arroyo de La Venta, Los Molinos y Guadarrama. Pasada esta última localidad, toma rumbo este y recoge por la derecha las aguas de los arroyos de Guatel Primero, de Guatel Segundo y del Loco y, por la izquierda, las del arroyo de Labajos.

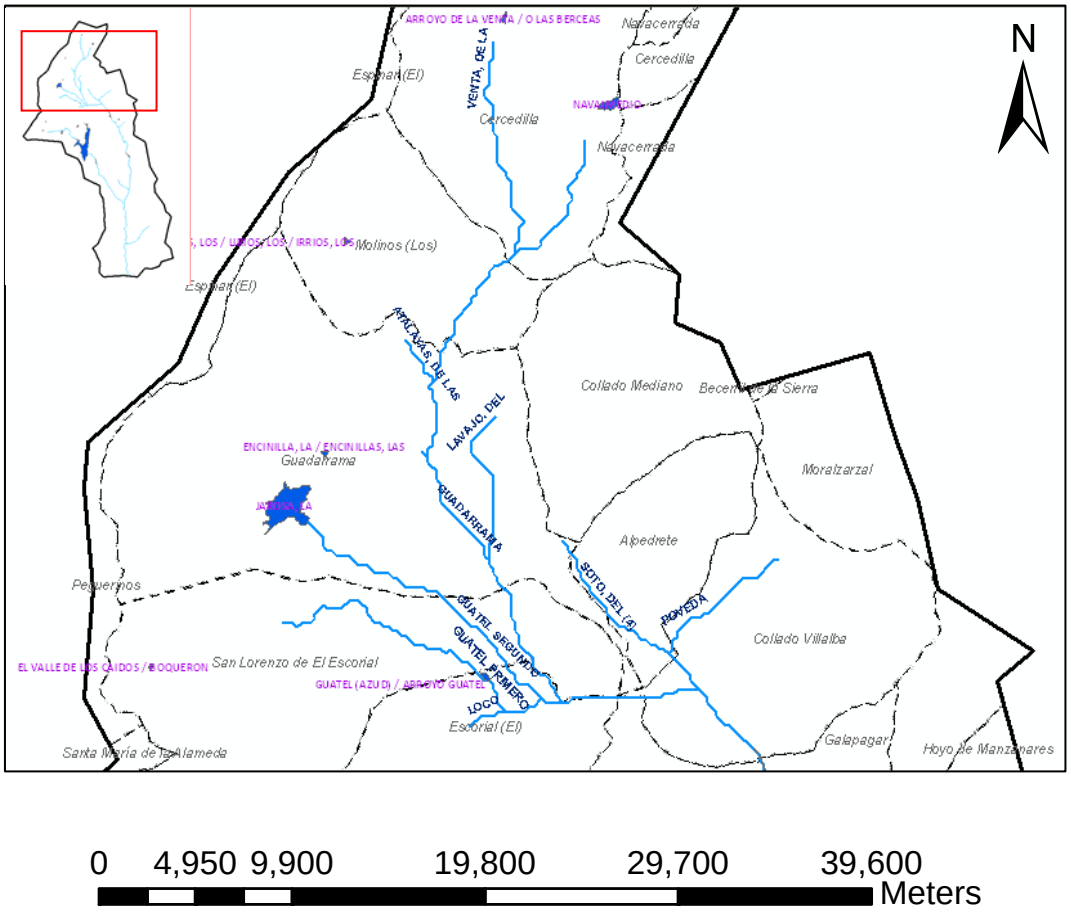


Figura 44: Zona norte de la cuenca de estudio (río Guadarrama).

Posteriormente, se inclina hacia el suroeste, tocando los extremos de los términos de San Lorenzo de El Escorial y El Escorial, camino de Collado Villalba, donde recibe al Arroyo de La Poveda.

El curso del río continúa por el término municipal de Galapagar donde se encuentra con el embalse de Las Nieves. Dicho azud fue construido en 1977 y cuenta con una capacidad de 0,3 hm^3. La función de este embalse es captar aguas que se canalizan hacia el pantano de Valmayor, construido en 1975, con una capacidad de embalse de 125 hm^3 y formado por el río Aulencia. De este modo, se garantiza que Valmayor se encuentre permanentemente surtido, algo que no siempre es posible si sólo dependiera de las aguas vertidas por el Aulencia, río caracterizado por un fuerte estiaje.

Figura 45: Río Guadarrama a su paso por el término de Galapagar

Las aguas del Guadarrama llegan a Valmayor mediante un túnel de trasvase, de unos cinco kilómetros de longitud, que tiene su origen en Las Nieves. Este canal artificial puede verter un caudal de hasta 30 m^3/s. Además el embalse de Valmayor se alimenta también de las aguas del arroyo Ladrón, afluente del Aulencia.

Aún dentro del término de Galapagar, el Guadarrama recibe al arroyo de Peregrinos, que desciende desde la sierra del Hoyo de Manzanares.

Sobrepasado este punto, el Guadarrama salva la Falla de Torrelodones, uno de los principales obstáculos naturales a los que se enfrenta. A esta altura, el río, que ya ha descendido a una cota de 675 m, abandona la comarca de la Sierra de Guadarrama, definida geomorfológicamente por los materiales graníticos, y se adentra en terrenos arenosos, característicos de la Submeseta Sur.

En su nuevo entorno geomorfológico, cruza el término municipal de Las Rozas de Madrid, donde es retenido en el embalse Molino de la Hoz construido en 1973 y con un volumen de embalse de 0,4 hm^3.

Figura 46: Río Guadarrama a su paso por Molino de la Hoz

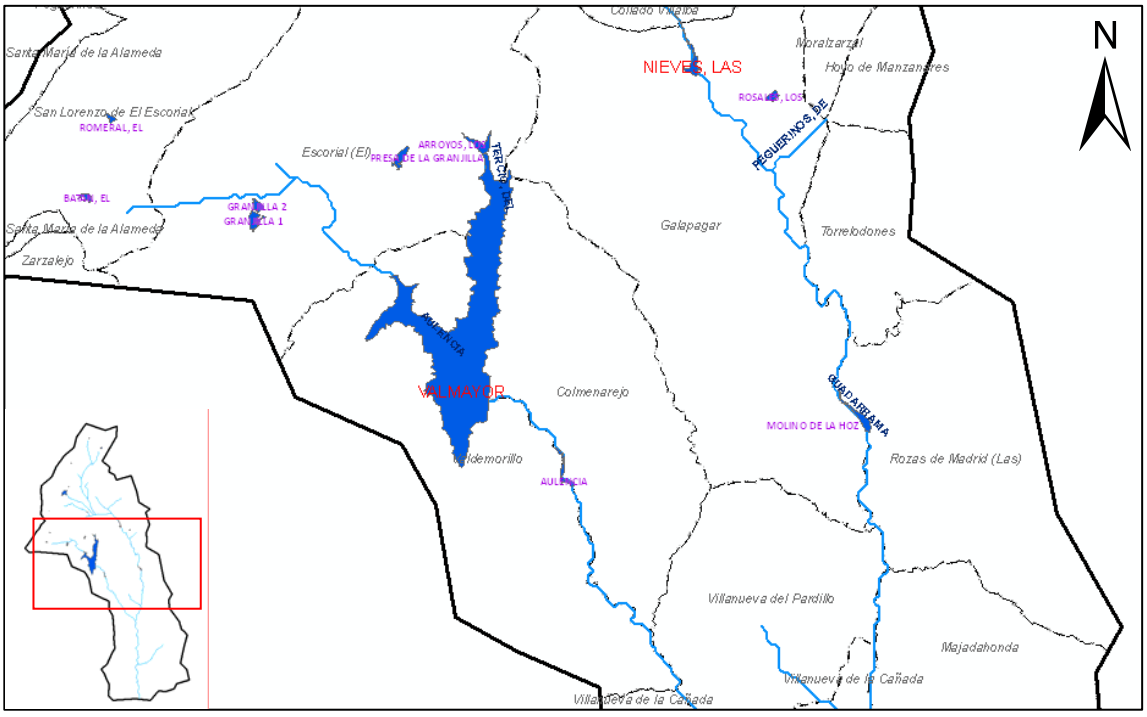


Figura 47: Zona centro de la cuenca de estudio (río Guadarrama).

Su curso es aprovechado para marcar los límites políticos de Villanueva del Pardillo, Majadahonda, Boadilla del Monte, Villanueva de la cañada, Brunete, Villaviciosa de Odón y Móstoles.

Al discurrir por estos municipios, su caudal se incrementa sensiblemente ya que el río Aulencia, el más importante de sus afluentes, vierte sus aguas a la altura de Villanueva de la Cañada y en Villaviciosa de Odón recibe las aguas del arroyo Vega.

Finalmente nos encontramos con el punto de cierre de la cuenca de estudio en el cruce del Río Guadarrama con la A-5.

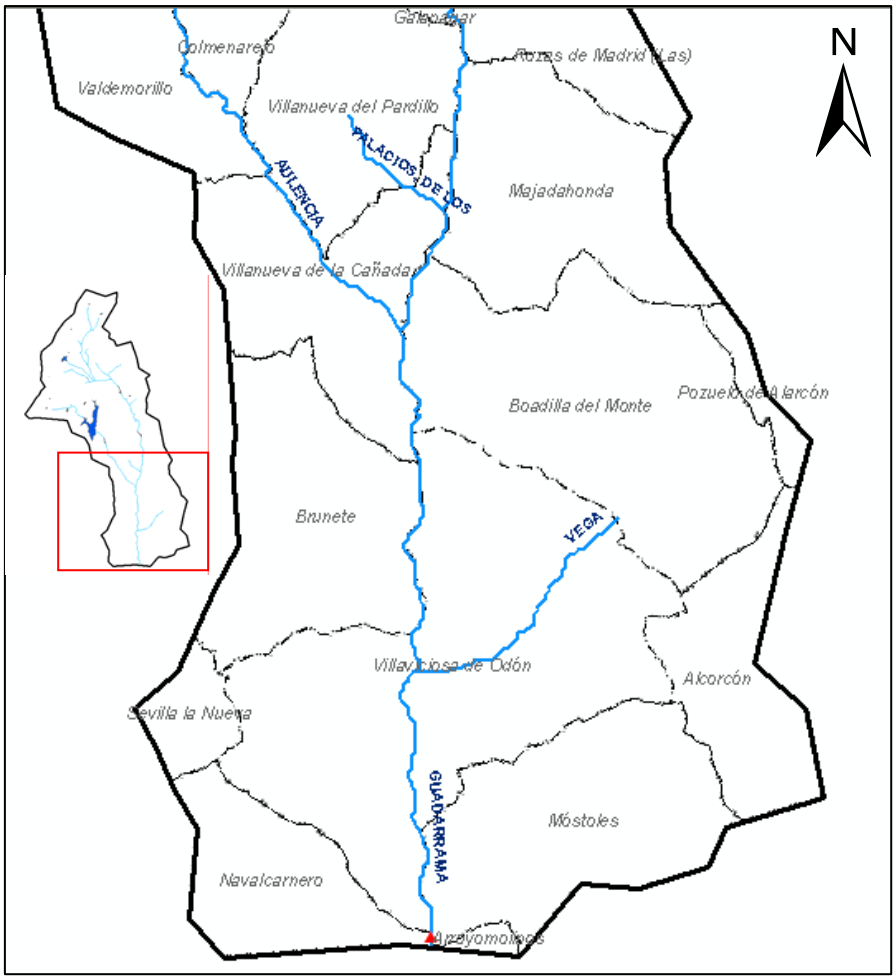


Figura 48: Zona sur de la cuenca de estudio (río Guadarrama).

Si se observan con detalle los caudales máximos diarios de las estaciones de aforo consideradas en el estudio, vemos una anomalía en la estación 3194 que registra una media de caudal menor que las situadas aguas arriba de la cuenca.

Tabla 15: Comparación medias de los caudales medios registrados antes y después de 1977 en las estaciones aguas abajo del embalse de Las Nieves.

ESTACIÓN DE AFORO	Q_m antes de 1977 (m^3/s)	Q_m después de 1977 (m^3/s)	DIFERENCIA %
3194	39	8	-79
3179	55	34	-38
3102	101	39	-61

Esta disminución puede ser debida a la construcción del azud de Las Nieves y su trasvase de caudal al embalse de Valmayor situado en el río Aulencia. Para ello se ha procedido al cálculo de los caudales medios antes y después del año 1977, año de construcción de Las Nieves.

La cuenca del río Guadarrama tiene un régimen hídrico bastante alterado debido a la existencia de multitud de embalses y presas de regulación existentes en la zona de cabecera y tramo medio del río y sus afluentes. A continuación se adjunta una tabla que recoge todos los embalses junto con su año de construcción y volumen de embalse existentes en la cuenca de estudio.

Tabla 16: Listado de los embalses de la cuenca del río Guadarrama.

EMBALSES Cuenca Guadarrama		Volumen (Hm^3)	Año construcción
1	El Romeral	0	1928
2	Granjilla (1)	0,4	1660
3	Granjilla (2)	0,2	1560
4	Guatel	0	0
5	Presa de la Granjilla	0	0
6	Arroyo de la Venta/Las Berceas	0,1	1958
7	La Encinilla	0,1	1964
8	Los Molinos/Los Lirios	2	1965
9	Molino de la Hoz	0,4	1973
10	Los Arroyos	0,6	1967
11	***Valmayor***	***125***	***1975***
12	***Las Nieves***	***0,3***	***1977***
13	Navalmedio	0,8	1968
14	La Jarosa	7,4	1968
15	Aulencia	0,4	1945
16	El Valle de los Caídos/Boquerón	0	1972
17	Los Rosales	0,2	1968
18	El Batán	0,3	1963

Como se puede observar en la tabla 16, hay un descenso importante del caudal medio registrado aguas abajo del azud de Las Nieves. La estación que más acusa este descenso es la EA 3194, la primera por debajo del azud. El resto de estaciones sufren un descenso notable pero menor debido a la aportación de los afluentes.

4.8. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO HIDROLÓGICO

Tras el estudio hidrológico realizado se puede concluir lo siguiente:

- Las estaciones 3194 y 3179 (punto de cierre de la cuenca de estudio) son poco fiables debido a los pocos registros (menos de 15 años completos) en la serie de aforos.
- La cuenca se encuentra en régimen muy alterado debido al número de embalses localizados en la cabecera de la cuenca.
- Se observa un descenso importante en el caudal registrado aguas abajo de la presa de las Nieves, estación 3194, a partir de su construcción en 1977. Dicha variación no se aprecia en los caudales obtenidos a partir del mapa de caudales máximos (régimen natural), donde el caudal registrado aumenta progresivamente de aguas arriba hacia aguas abajo.
- Según el artículo 4 de TRLA, el cauce natural corresponde con el terreno cubierto en la máxima crecida ordinaria, que según la aplicación *CauMax* correspondería con un caudal de 105 m^3/s en el punto de cierre (EA 3179), con un periodo de retorno de 4 años. Mientras que según el estudio foronómico, dicho caudal correspondería con 61 m^3/s, obtenido a partir de la media del caudal máximo anual durante 10 años consecutivos. Existe un desfase entre los datos obtenidos, siendo más alto para el dato de los mapas de caudales máximos. Esto puede deberse a que están en régimen natural (*CauMax*), en una cuenca donde el régimen hidrológico parece muy alterado por la presencia de presas de regulación.
- El caudal obtenido, tanto en el análisis foronómico como en el de caudales máximos, para un periodo de retorno de 2,33 años (MCO) es muy similar: Q_{MI} (m^3/s) = 67 para los datos de aforos directos, y Q_{MI} (m^3/s) = 71, para el mapa de caudales máximos. Mientras que el caudal máximo instantáneo según la fórmula de Fuller es de 65 m^3/s para la estación 3179.
- Para los periodos de retorno de 10, 100 y 500 años, los caudales obtenidos difieren significativamente, siendo mayores los valores resultantes del mapa de caudales, que se puede deber a la estimación que se hace de los mismos puesto que la escala del mapa es a nivel nacional.

5. ESTUDIO GEOMORFOLÓGICO

Para la realización de este apartado se han determinado una serie de factores que describen y caracterizan los ríos y sus riberas. Se emplean especialmente atributos hidrológicos y geomorfológicos que con mayor frecuencia se encuentran degradados y sobre los cuales va a ser necesario disponer de unas condiciones de referencia para su restauración posterior, si se procediera a la misma, a partir de tramos mejor conservados que respondan a unas características biogeográficas e hidromorfológicas similares.

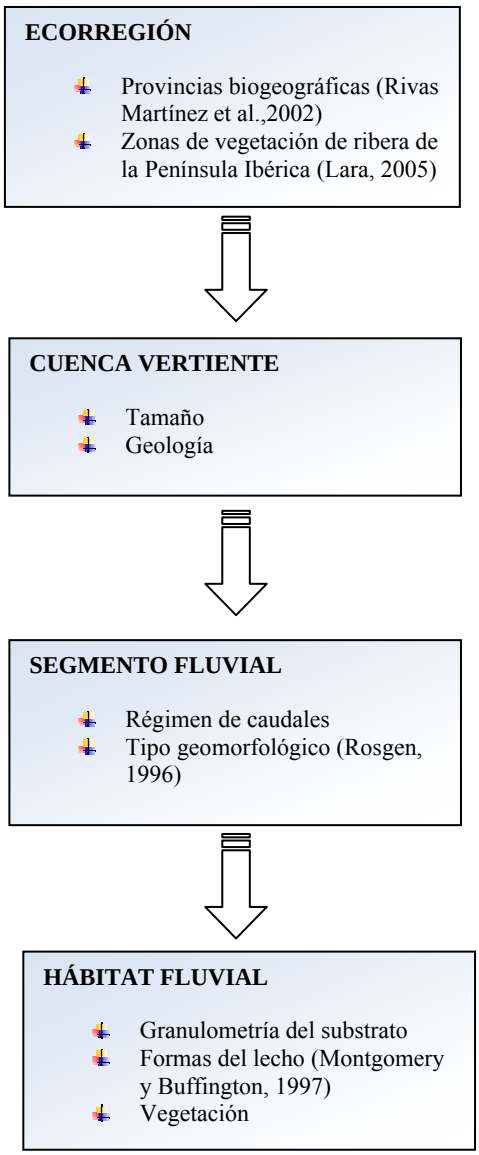


Figura 49: Esquema para la clasificación geomorfológica del tramo en estudio.

5.1. IDENTIFICACIÓN DE ECOREGIONES: PROVINCIAS Y SUBPROVINCIAS BIOGEOGRÁFICAS. ZONAS DE VEGETACIÓN DE RIBERA

A escala peninsular, una de las razones por las cuales se pueden explicar las diferencias observadas entre unos ríos y otros, es la región geográfica por la que discurren. Es interesante utilizar el concepto de eco-región para la diferenciación de las regiones con distintas condiciones hidrológicas y ecológicas que configuran distintos paisajes fluviales. Estas eco-regiones se definen como áreas ecológicamente homogéneas que están configuradas por factores que actúan a gran escala abarcando un amplio territorio, y representan una forma muy conveniente de iniciar la regionalización del ámbito de estudio.

Para este caso se ha empleado la clasificación de Rivas Martínez et al., 2002 en provincias y subprovincias biogeográficas equivalentes a las eco-regiones. Éstas sintetizan la influencia conjunta de factores como el clima, la geología, el relieve y la cubierta vegetal sobre una determinada zona o región, permitiendo la diferenciación de áreas internamente homogéneas reconocidas a partir del desarrollo de paisajes vegetales característicos. Estos factores que han servido para identificar estas provincias y subprovincias biogeográficas influyen también en las condiciones hidrológicas y geomorfológicas de los ríos.

El área de estudio se clasifica dentro de la provincia Mediterránea Ibérica Occidental, y localizada en la subprovincia Carpetano-Leonesa, de bioclima Mediterráneo pluviestacional oceánico (clasificación de Rivas Martínez *et al*., 2002).

Figura 50: Biogeografía Ibérica según Rivas Martínez et al. 2003.

Una alternativa es la diferenciación de las zonas de vegetación de ribera (Lara, 2005). Esta diferenciación responde a las características morfológicas del paisaje, al patrón termopluvial del área, la topografía del valle, las dimensiones del cauce, la naturaleza física del substrato, los usos antrópicos, etc.

5.2. CARACTERIZACIÓN DE LAS CUENCAS VERTIENTES

En relación al tamaño de la cuenca conviene establecer varias clases de extensión de la superficie vertiente:

- Pequeñas: 10-100 km^2
- Medio: 100-1000 km^2
- Grandes: 1000-10000 km^2
- Muy grandes: 10000-25000 km^2

Según esta clasificación, la cuenca de estudio con un área de 798 km^2 se encuadra dentro de las de tamaño mediano. La forma de la cuenca es alargada, por tanto la respuesta ante una avenida es más atenuada. En el tramo de estudio los cauces son más anchos y de menor

pendiente, con regímenes de caudales más regulares y permanentes. En condiciones naturales, el trazado tiende a ser más sinuoso y meandriforme.

El tamaño de la cuenca tiene una relación directa con la magnitud de las escorrentías y de los caudales circulantes, siendo los cauces más anchos y de menor pendiente, con regímenes de caudales más regulares y permanentes, cuanto mayor es el tamaño de la superficie vertiente.

A igualdad de las demás condiciones las cuencas pequeñas van a producir menores aportaciones y van a estar drenadas por ríos de menor tamaño, pudiendo resultar, en función de la región geográfica a la que pertenezcan, de régimen temporal o efímero. El tamaño de la cuenca, a través de su influencia en la magnitud de los caudales, está relacionado indirectamente con el tipo de trazado en planta de los ríos.

5.3. GEOLOGÍA DE LA CUENCA

La geología de la cuenca vertiente influye en los ecosistemas acuáticos principalmente en el grado de mineralización del agua, que será más elevado cuanto mayor sea la solubilidad de la roca y en el tipo de substratos o sedimentos del lecho. En este caso, debido a que el tamaño de la cuenca no es muy grande, su geología es más bien homogénea. La geología dominante está compuesta en el tramo de cabecera por materiales silíceos y en su curso medio por materiales detríticos.

La pendiente más pronunciada se encuentra en la denominada falla de Torrelodones, situada en el municipio homónimo que sirve de transición entre las dos unidades geológicas: la Rampa de la Sierra y la Llanura arenosa de la depresión del Tajo.

Mediante esta falla, se pasa de una altura de 941 m (en los Altos del Ahijón, en el puerto de Galapagar) a los 675 m de la Presa de El Gasco, ubicada en la confluencia de los términos de Torrelodones, Galapagar y Las Rozas de Madrid. El río Guadarrama se encaja en esta zona, configurando un desfiladero.

Desde un punto de vista geomorfológico, la parte septentrional integra formaciones graníticas y materiales de gneis, presentes en los términos de Galapagar, Colmenarejo, Valdemorillo y Torrelodones, situados en la Rampa de la Sierra.

El resto de la cuenca se caracteriza por campiñas detríticas y vegas, formadas a partir de los depósitos aluviales del cuaternario, a través de inundaciones y flujos de barro. Los materiales areno-arcillosos rellenan la antigua depresión sobre la que se encuentra la mayor parte de la cuenca del Guadarrama.

Los aluviones son frecuentes en el curso medio de este río. Se originaron hace dos millones de años y están constituidos por arenas blancas, con un alto componente de cuarzo. También hay numerosas terrazas, que aparecen preferentemente en la margen derecha del río. Son resultado de lentos procesos de sedimentación y erosión, que fueron profundizando el cauce hasta dejar colgados los depósitos.

5.4. RÉGIMEN DE CAUDALES

Consiste en establecer si el caudal circulante es temporal o permanente y a su vez diferenciar si dependen en mayor medida del régimen de precipitaciones o de las aguas subterráneas. También podemos hacer una diferenciación en torno al tipo de precipitación de la que dependen: pluvial, pluvio-nival, nivo-pluvial o nival.

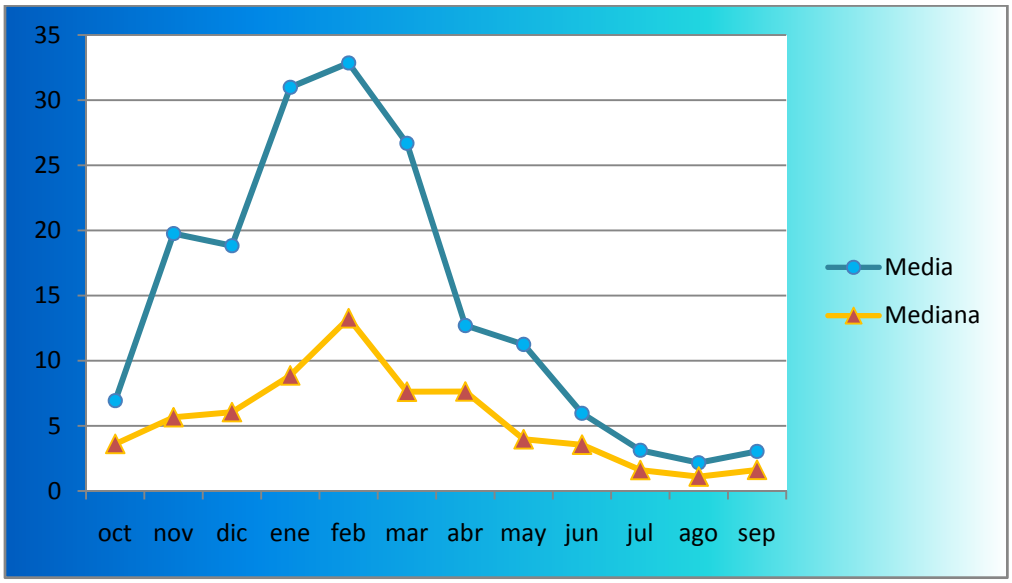


Figura 51: Régimen de caudales del río Guadarrama.

Como podemos ver en la figura anterior, el régimen es permanente de influencia pluvial, porque el mayor caudal registrado es durante los meses de enero-febrero-marzo. Se ha empleado para el estudio de régimen de caudales la estación de aforos 3102, para un periodo que comprende los años 1962-1993 y una superficie de 1353 km^2 (ver Figura 51).

5.5. MORFOLOGÍA DEL CAUCE

Los cauces se pueden caracterizar por el tipo de trazado en planta que presentan y por la forma de la sección transversal del cauce. El tipo de trazado de los ríos está relacionado con la pendiente longitudinal del cauce, sabiendo que, en general, cuanto menor es la pendiente del río éste tiende a ser más sinuoso. La forma de la sección transversal del cauce depende del tamaño del cauce y del tipo de valle que atraviesa.

Ambas características de trazado y forma de la sección están influidas por el tipo de valle por el que discurre el canal fluvial, siendo adecuado en la caracterización de la morfología de los ríos identificar previamente el tipo de valle que atraviesan.

En base a la clasificación realizada por González Tánago *et al.*, 2006, tenemos un valle Tipo 2, situado en tramos altos de montaña baja o en tramos medios, todavía con influencia del

relieve y la hidrología de las laderas en la morfología del cauce. Es un valle relativamente abierto, con una inclinación de las laderas vertientes inferior a 45°, éstas a menudo surcadas por una red de afluentes, un ejemplo de ello es el Arroyo del Soto. Es frecuente en los tramos altos y medios de los cauces que discurren por terrenos de sierras y montañas bajas, o en tramos medios de ríos montañosos, pero sin configurar todavía una llanura de inundación en el cauce principal. La sinuosidad del río puede estar ligada al relieve o sinuosidad del valle o a procesos incipientes de formación de meandros.

5.6. CARACTERIZACIÓN DE LOS HÁBITAT FLUVIALES

Podemos realizar una caracterización en función de las condiciones hidráulicas que varían con el régimen de caudales y la morfología del cauce, y según la forma de las orillas y la vegetación que contienen.

GRANULOMETRÍA DEL SUBSTRATO

En el lecho de los ríos se pueden encontrar materiales de muy diverso tamaño, dependiendo de su origen y de la velocidad de la corriente que les clasifica. En general, la granulometría es más gruesa cuanto mayor es la pendiente longitudinal del cauce, lo cual es más frecuente en los tramos altos de los ríos. Según los ríos discurren aguas abajo la pendiente va disminuyendo y con ella el tamaño de los sedimentos, encontrando en los tramos medios y bajos tamaños cada vez más pequeños, con gravas, arenas y sedimentos finos.

Podemos clasificar el río en función del tamaño dominante de los sedimentos, diferenciando los siguientes tipos:

- Grandes bloques y cantos rodados muy grandes (>50 cm de diámetro)
- Cantos rodados (50-25 cm de diámetro)
- Guijarros (25-6 cm de diámetro)
- Gravas (6-2 cm de diámetro)
- Gravilla (2-0,2 cm de diámetro)
- Arenas (0,2-0,02 cm de diámetro)
- Limos y sedimentos finos (<0,02 cm de diámetro)

En el tramo de estudio, tramo medio del río Guadarrama, presenta un substrato de gravilla (2-0,2 cm de diámetro) y arena (0,2-0,02 cm de diámetro).

Figura 52: Substrato de arenas en la orilla del río Guadarrama (izqda), dunas en el lecho del río (centro), y zarzas en las orillas (dcha).

FORMAS DEL LECHO

En tramos medios y bajos de algunos ríos, como el Guadarrama, o donde la geología de la cuenca produce grandes cantidades de arena, se forman tramos de ríos arenosos con formas de lecho conocidas como rizaduras, dunas, lecho liso y antidunas tal y como podemos ver en la siguiente figura:

Figura 53: Formas del lecho. Vegetación de las orillas. Río Guadarrama.

En el caso del río Guadarrama podemos encontrar dunas que junto con las rizaduras son consecuencia de velocidades más lentas o en épocas de estiaje, mientras que el lecho liso se origina en velocidades críticas, y las antidunas se crean en condiciones de mayor velocidad y caudal con flujos supercríticos.

En definitiva, existe una clara relación entre el tamaño de los sedimentos y la forma en que el río lo redistribuye organizando las distintas formas del lecho. Las cascadas y secuencias de saltos y pozas aparecen en los tramos de granulometría más gruesa y con mayor pendiente longitudinal, mientras que los tramos de rápidos continuos o la secuencia de rápidos y remansos se forman con una granulometría menor. Las rizaduras, dunas y antidunas sólo se originan cuando el substrato corresponde al tamaño de las arenas.

VEGETACIÓN DE ORILLAS Y RIBERAS

Las formaciones vegetales de los ríos dependen en gran medida del grado de humedad de los suelos en sobre el que se asientan y de la velocidad de la corriente que determina la granulometría del substrato. Además son importantes la influencia de la temperatura y humedad del aire relacionada con la altitud, que establece una zonación longitudinal del bosque ripario, y la frecuencia de inundaciones, que determina la disponibilidad de agua en el suelo en determinadas épocas y las posibilidades de regeneración natural de las principales especies leñosas.

Las formaciones vegetales que se encuentran como vegetación de orilla, muy tolerantes a las inundaciones, son los juncos (*Schoenoplectrum lacustris*), situados en tramos con velocidad de corriente pequeña y con substratos de granulometría fina, y carrizos que se crecen en cualquier tipo de substrato, y toleran velocidades de corriente más altas. En los taludes verticales del cauce se han desarrollado zarzas (*Rubus sp*.).

En la ribera del río Guadarrama, en suelos mejor aireados y con menor grado de saturación, especies tolerantes al paso periódico de avenidas pero no a las inundaciones permanentes son sauces (*Salix alba*, *Salix fragilis*), alisos (*Alnus glutinosa*), fresnos (*Fraxinus angustifolia*) y chopos (*Populus sp*.).

6. ESTUDIO HIDRÁULICO

El objetivo de este estudio es la determinación de las zonas inundables del tramo de estudio del río Guadarrama elegido para diferentes caudales (MCO, T=100 años, T=500 años) obtenidos previamente en el estudio hidrológico.

La simulación de la altura de la lámina de agua va a ser determinada mediante modelos hidráulicos, para posteriormente plasmar los resultados obtenidos sobre mapas topográficos, que son los que finalmente permiten establecer los límites de las zonas inundables.

6.1. METODOLOGÍA EMPLEADA

- HEC-RAS

HEC-RAS es el programa empleado para la modelización hidráulica que se encarga de calcular el perfil de la lámina de agua en cauces para un caudal circulante determinado. Fue desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica (Hydrologic Engineering Center) del cuerpo de ingenieros de la armada de los EE.UU. (US Army Corps of Engineers). Este programa surge como evolución del conocido y ampliamente utilizado HEC-2, con varias mejoras con respecto a éste, entre las que destaca la interfase gráfica de usuario que facilita las labores de preproceso y postproceso, así como la posibilidad de intercambio de datos con el sistema de información geográfica ArcGIS mediante HEC-GeoRAS. El modelo numérico incluido en este programa permite realizar análisis del flujo permanente unidimensional gradualmente variado en lámina libre.

CARACTERÍSTICAS DEL PROGRAMA

- Los contornos son rígidos, no admitiéndose erosión o sedimentación en el cauce.
- Flujo unidimensional.
- Movimiento del agua: estacionario (steady) donde el caudal introducido es un único valor y no estacionario (unsteady) donde los caudales introducidos son los correspondientes al hidrograma.
- Flujo en régimen lento, rápido y mixto.
- Permite modelar redes de ríos.
- Permite contemplar los efectos de puentes, azudes, etc.

En el caso de estudio, se ha procedido al cálculo del perfil de la lámina de agua en flujo variado (steady). El componente del régimen variado es capaz de modelizar la lámina de agua en regímenes subcríticos, supercríticos o mixtos, siendo este último el seleccionado. El procedimiento de cálculo básico está basado en la solución de la ecuación unidimensional de la energía. Las pérdidas de energía se evalúan mediante fricción (ecuación de Manning) y contracción/expansión.

DATOS BÁSICOS REQUERIDOS POR HEC-RAS

- Descripción geométrica del cauce. Tramo de más de 2 Km de longitud.
- Coeficientes de pérdida de energía en el cauce (Manning, coeficientes de contracción y expansión, pérdidas locales de puentes, azudes, etc).
- Caudal circulante por el río.

- Condiciones iniciales o de contorno.
- Régimen del flujo: lento, rápido o mixto.
- Resultado: cota de la lámina de agua en cada sección transversal.

Condiciones iniciales o de contorno

- Cota lámina de agua conocida: se conoce para el caudal circulante a que cota llegó el agua durante la avenida.
- Curva de gasto: se conoce para cada caudal su cota asociada, por lo que conociendo el caudal circulante ya conocemos su cota.
- Calado crítico: se parte de que en esa sección la cota de la lámina de agua coincide con el calado crítico.
- Calado normal: en esa sección se supone régimen uniforme, calculándose el calado a partir de la pendiente de la solera que es igual a la pendiente de la línea de energía empleando la fórmula de Manning.

ArcGis/ArcView

Para la creación de la geometría del cauce y posterior delimitación de las zonas de inundación se emplea la herramienta ArcGis/ArcView complementada con la extensión HEC-GeoRAS que permite la creación de un archivo para importarlo a HEC-RAS con dicha geometría. Esta incluye el tramo de río, la delimitación del cauce, las secciones transversales y las áreas donde preveamos que circulará el flujo de agua.

Posteriormente ArcGis/ArcView permite la importación de archivos desde HEC-RAS para la creación de las zonas inundables.

Por lo tanto, el esquema general del proceso sería el siguiente:

- Preproceso (Pre-RAS): consiste en la creación del archivo en ArcView para importar al programa HEC-RAS.
  Inicialmente se debe de contar un modelo TIN del terreno, un modelo digital del terreno, además de ortofotos que faciliten la delimitación de:
  - Línea central del cauce (Stream centerline)
  - Márgenes del cauce (Banks)
  - Zonas por donde se prevea que circulará el flujo de agua (Flowpaths). Se dibuja la línea central (channel) y las envolventes izquierda y derecha (left and right) especificando cada una de ellas.
  - Secciones transversales (XScutlines). Estas secciones transversales deben ser trazadas desde la margen izquierda a la derecha del tramo, perpendiculares al eje principal, sin cortarse entre sí y que alcancen al menos los flowpaths.
    En el caso de estudio se han trazado 30 secciones transversales manualmente, número que se ve ampliado a 118 con la interpolación realizada en HEC-RAS de las mismas, a una distancia de 20 metros entre sección y sección.

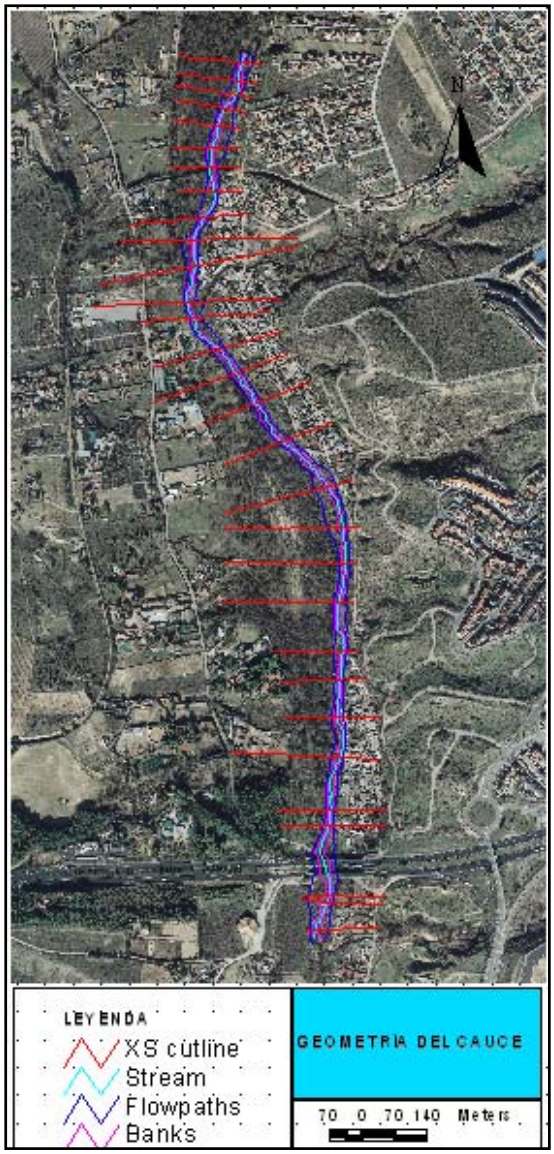


Figura 54: Geometría del cauce creada a partir de la extensión HEC-GeoRAS.

A continuación es necesario introducir la topología y elevación en:

- Cauce (stream)
- Secciones transversales (XS cutlines)

Realizados estos pasos se tiene la información suficiente para generar el fichero que posteriormente se importará en HEC-RAS (formato [*.sdf]).

- Modelización en HEC-RAS de acuerdo a los siguientes pasos:
  - Abrir el fichero con la geometría del cauce importado de Gis.
  - Introducción de los valores de Manning en función de las características del cauce y sus márgenes.

Tabla 17: Valores de la n de Manning para el tramo en estudio.

USOS SUELO (CORINE)	n Manning
Bosque	0,075
Zona urbana	0,09
Zona agrícola-heterogéneas	0,04
Agua río	0,04

- Interpolación de secciones transversales. Se han interpolado secciones en todo el tramo del río a una distancia de 20 metros entre cada una de ellas.
- Creación del modelo de simulación "*steady flow data*" donde se introduce el número de perfiles a crear, las condiciones iniciales y los caudales para cada periodo de retorno. Para el caso, se han creado cuatro perfiles correspondientes a la máxima crecida ordinaria, máxima crecida ordinaria dada por el CEDEX, periodo de retorno de 100 años y periodo de retorno de 500 años cuyos caudales son respectivamente, 61, 105, 208 y 259 m^3/s. La condición inicial o de contorno empleada es el calado normal (*normal depth*) que es el adecuado para situaciones donde el flujo se aproxime al uniforme, introduciendo para ello una pendiente aguas arriba de 0,07 y de 0,12 aguas abajo.
- Cálculo del modelo eligiendo el tipo de régimen: lento, rápido o mixto. Este último es elegido para proceder al cálculo.
- En el caso de estudio se ha visto necesaria la introducción de 21 motas en determinadas secciones no modificando con ello, el resto de condiciones fijadas con anterioridad (mismos valores de Manning, misa condición inicial). Posteriormente con la interpolación de secciones realizada, el número de las mismas ha ascendido a 65.

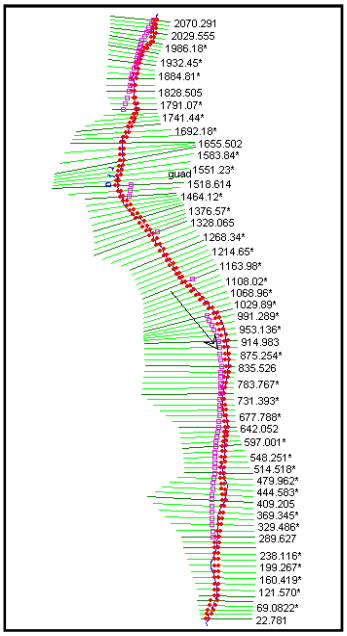


Figura 55: Geometría del cauce incluyendo las secciones procedentes de la interpolación y las motas.

Los resultados detallados de la ejecución del modelo pueden ser consultados en los anexos, donde quedan recogidos los perfiles longitudinales del tramo de estudio y las secciones transversales.

Postproceso (Post-Ras): para la creación de los mapas de inundación en función del caudal establecido y periodo de retorno, además de los grid de calados, es necesario en HEC-RAS generar un fichero para exportar a ArcView (*.xml). A través de la opción "*Floodplain Delineation*", en ArcView, se generan las manchas de inundación y los grid de calados.

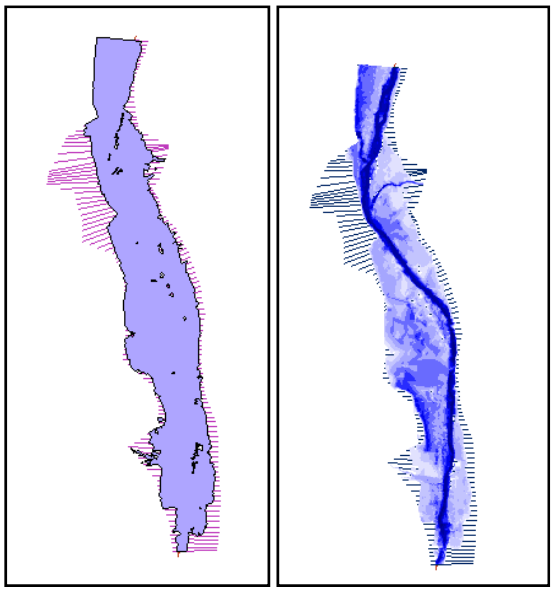


Figura 56: Mancha de inundación y grid de calados obtenidos para un periodo de retorno de 500 años.

7. DELIMITACIÓN DEL ESPACIO FLUVIAL

La delimitación del espacio que debe considerarse "territorio fluvial" en el tramo de río, puede hacerse siguiendo criterios geomorfológicos, hidrológicos, hidráulicos y ecológicos, además de tener en cuenta la legislación vigente y los principios que rigen la Directiva Europea de Evaluación y Gestión de Inundaciones.

Hay que prestar especial interés a la regulación de los usos de los terrenos colindantes con el fin de prevenir el deterioro de los ecosistemas acuáticos y proteger el régimen de corrientes en avenidas, favoreciendo la disipación de la energía y la retención del agua y los sedimentos.

Como se ha podido apreciar a través de las fotografías aéreas en los años 50 el entorno próximo al río estaba caracterizado por acciones erosivas y de sedimentación, junto con las actividades antrópicas de extracción de áridos en diversas zonas de las orillas, y actividad agrícola en los terrenos colindantes. El bosque de ribera no estaba tan denso y desarrollado como en la actualidad, debido al paso de mayores caudales, y el cauce del río en aguas bajas ocupaba aproximadamente 15 metros.

En las últimas décadas, la evolución del cauce del Guadarrama manifiesta una tendencia a la disminución. Actualmente el ancho del cauce del Guadarrama, en el tramo objetivo, es de aproximadamente 9 m, con la consecuente reducción del espacio fluvial, con un mayor encajamiento del río. El bosque de ribera es más denso y está en buen estado (índice QBR, *Qualitat del Bosc de Ribera*), ocupando la margen izquierda, mientras que la margen derecha (principalmente), está "poblada" de construcciones-infraviviendas, con los impactos ambientales que ello conlleva. (Ver anexo resultados de la delimitación geomorfológica del DPH, en 1956 y actual).

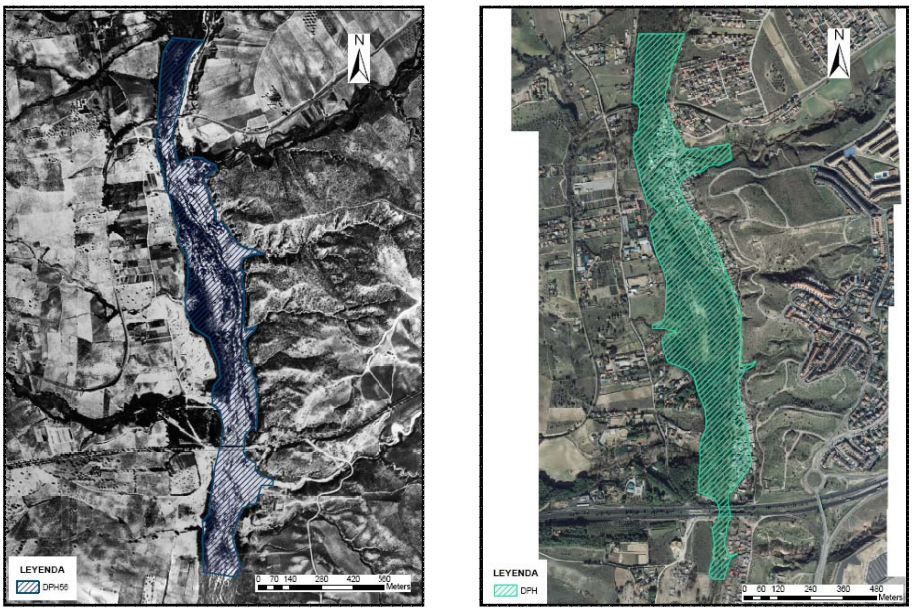


Figura 57: Delimitación geomorfológica del DPH, en 1956 (izda.) y actual (dcha.).

El análisis planteado se basa en el estudio de las evidencias generadas por la circulación de las aguas sobre los terrenos inundables. En líneas generales, las evidencias geomorfológicas podrían agruparse en función de su mayor o menor durabilidad en el tiempo de la siguiente forma:

a) Aquellas que muestran unas características que ponen de manifiesto su origen reciente, tendiendo a desaparecer o a camuflarse a corto plazo (menos de 1 ó 2 años), denominadas como *evidencias efímeras*.

   Se han determinado evidencias de origen reciente, como son depósitos flotantes, sedimentos fluviales expuestos (arcilla, limos) y bajo-nulo desarrollo edáfico, topografía irregular, arribazones (indicadores de calado y velocidad), y canales sin conexión con el cauce, con evidencias de inundación reiterada.

Figura 58: Evidencias efímeras de sedimentos (arriba) y canales secundarios (abajo).

Figura 59: Evidencias efímeras: arribazones.

b) Aquellas evidencias que alteran la topografía del terreno y su morfología puede perdurar en la superficie de las zonas inundables durante décadas (formas ligadas a la actuación de procesos erosivos y sedimentarios), denominadas *evidencias topográficas*.

Figura 60: Evidencias topográficas: ondulaciones y desniveles.

c) Aquellas que pueden preservarse en el archivo sedimentario del sistema fluvial, abarcando periodos geológicos. Todas ellas son evidencias indicadoras de la inundabilidad de los terrenos, que pueden reconocerse de forma relativamente rápida y sencilla mediante el LIDAR y trabajos de campo y aportan información sobre la inundabilidad más reciente de los terrenos.

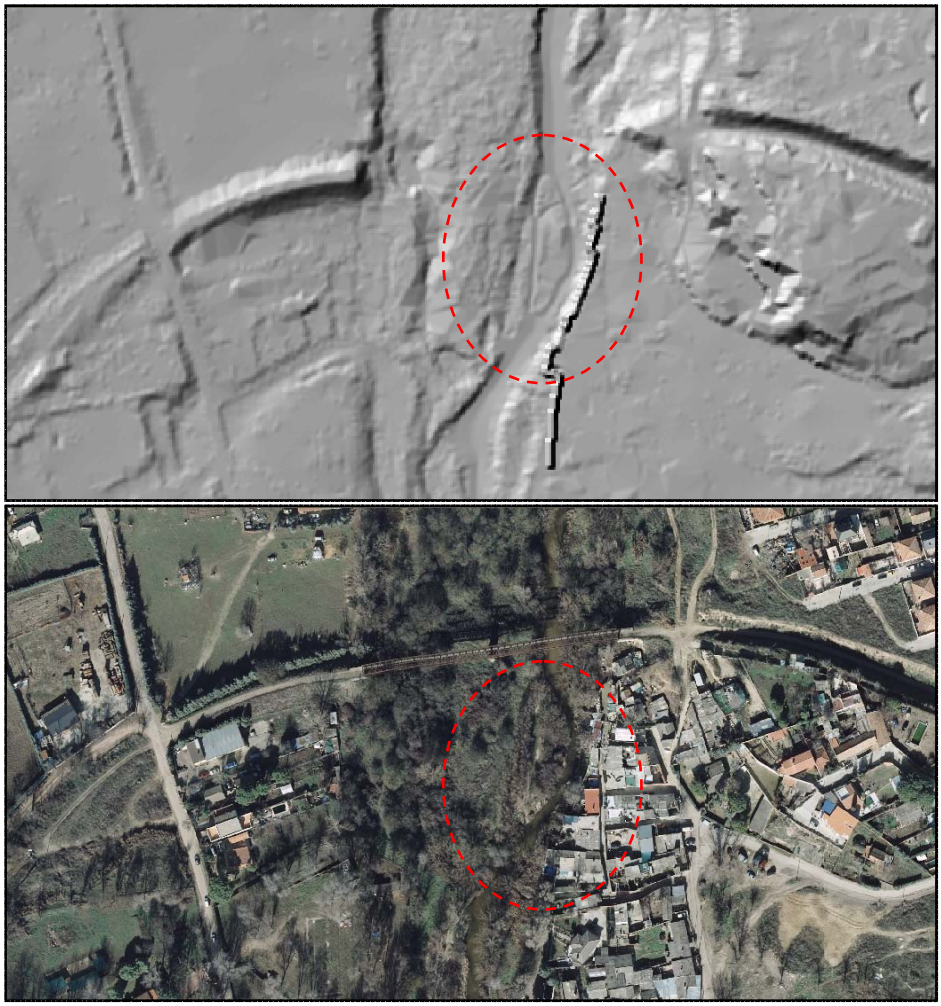


Figura 61: Evidencia canal secundario: LIDAR (arriba) y ortofoto (centro). Dirección del flujo (izda.).

El objetivo es definir las unidades teniendo en cuenta las evidencias reales de inundabilidad reciente, constatadas con estas metodologías, cabiendo esperar una alta correspondencia con los resultados de la modelación hidráulica y, en caso contrario, obligar a la revisión de las metodologías aplicadas para buscar las soluciones más acordes con la realidad de las zonas inundables.

Para aportar información:

a) Observaciones geomorfológicas en el cauce dirigidas a definir los límites del DPHP.
b) Observaciones sobre las márgenes o llanuras aluviales al objeto, por un lado, de separar unidades inundables ubicadas a diferente altura con respecto al cauce y, en consecuencia, con diferente inundabilidad y, por otro, determinar la presencia o ausencia de formas erosivas o sedimentarias generadas por inundaciones previas y recientes (análisis de la ZFP y la inundabilidad).
c) Combinación de las observaciones geomorfológicas en el cauce y márgenes con los análisis históricos, e identificar así similar probabilidad de inundación.

La evolución del cauce en las últimas décadas puede caracterizarse por la ausencia de cambios significativos, por una variabilidad en la morfología y posición del cauce, por un incremento de la vegetación de ribera o incluso por la ocupación antrópica de estas unidades.

Evidencias efímeras y topográficas de actividad reciente o reiterada: depósitos flotantes, sedimentos fluviales expuestos (granulometría: arcilla, limos) y bajo-nulo desarrollo edáfico, arribazones, topografía irregular… Indicadores de calado y velocidad, envejecimiento de indicadores, terrenos con evidencias de inundación reiterada.

Destacar el estudio evolutivo realizado para el periodo 1956-2003 en 80 Km de cauces del Noroeste peninsular (Fernández y Fernández, 2008) mostró que el 99,4% de los ríos que se desplazaron lateralmente lo hicieron a favor de terrenos que presentaban una inundabilidad muy alta, con periodo de retorno inferior a 10 años, que bien pertenecían al ámbito del cauce o, en su defecto, a la ZFP.

Tras la comparación de los resultados obtenidos en la delimitación espacial del DPH, por criterios geomorfológicos, hidrológicos e hidráulicos, se ha decidido tomar el DPH resultante del caudal calculado mediante los aforos. (Ver resultados en el anexo, modelo hidráulico delimitación DPH, manchas de inundación (DPH, T100, T500), y zona de inundación peligrosa).

La zona de inundación peligrosa (ZIP), va asociada a situaciones en las que peligra la integridad física de una persona. Dicha zona ha sido definida como "*calados superiores a 1 m, velocidades mayores de 1 m/s y situaciones en las que el producto de ambas variables sea mayor a 0,5 m^2/s*" (Estrela y Témez, 1993).

La vía de intenso desagüe, asociada al concepto de zona de Policía, se define de forma que pase por ella la avenida de 100 años de periodo de retorno sin producir una sobreelevación de 0,3 m mayor que la que se produciría con esa misma avenida considerando toda la llanura de inundación existente.

La zona de flujo preferente (ZFP) es aquella zona constituida por la unión de la zona o zonas donde se concentra preferentemente el flujo durante las avenidas, o vía de intenso desagüe, y de la zona de inundación peligrosa (ZIP). (Ver anexo resultados).

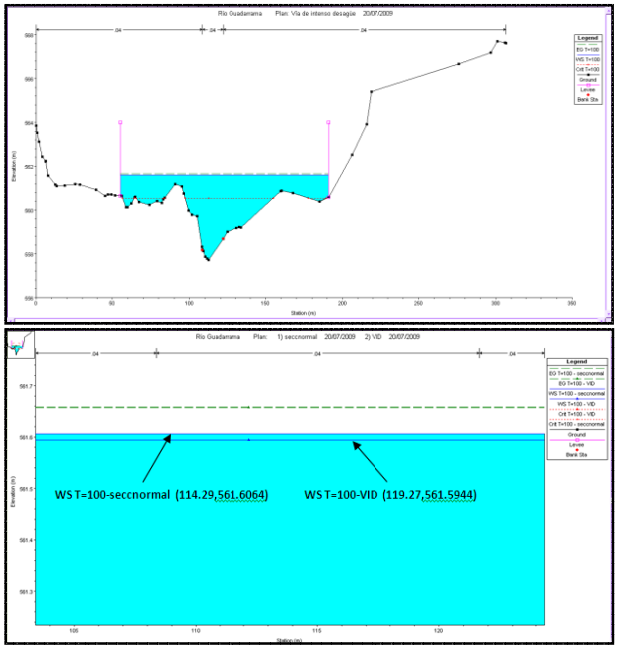


Figura 61: Ejemplo de perfiles transversales HEC-RAS. Determinación de la vía de intenso desagüe (ver anexo).

El resultado de la modelización hidráulica determina que la zona de inundación peligrosa (ZIP) corresponde con la zona de flujo preferente (ZFP), al quedar incluida dentro de ésta la vía de intenso desagüe (VID).

Es importante comparar el resultado con los datos catastrales existentes, puesto que la mayoría de las construcciones de la margen izquierda están de forma ilegal en terrenos que no tienen propiedad.

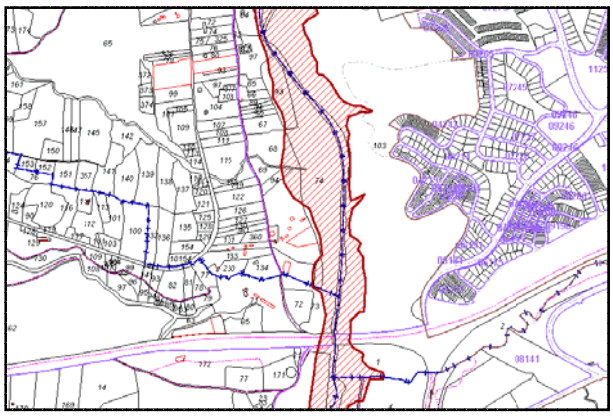


Figura 62: Mapa propiedades catastro, DPH delimitado por la zona roja. (Fuente: Oficina Virtual del Catastro).

8. PROPUESTA DE ACTUACIONES

8.1. IMAGEN DE REFERENCIA

Espacio fluvial sin ocupación urbana, con los procesos naturales de sedimentación y erosión, es decir, con el funcionamiento y estructura natural, sin regulación del caudal del río aguas arriba.

8.2. IMAGEN OBJETIVO

Restauración de las llanuras de inundación, fundamentalmente, en la margen izquierda, recuperación del espacio fluvial mediante la eliminación de parte de las viviendas-infraviviendas allí instaladas. De esta forma, el ecosistema irá recobrando poco a poco su funcionamiento y estructura. Como consecuencia de todo ello, se disminuirá la vulnerabilidad, exposición de la zona al riesgo de los fenómenos de avenida.

8.3. ACTUACIONES

A través del presente estudio y de la información localizada en el informe resumen IMPRESS de la Confederación Hidrográfica del Tajo, y a la vista de los resultados históricos, geomorfológicos, históricos, hidráulicos y ambientales, se proponen una serie de actuaciones en la zona del tramo para la restauración del mismo, y a su vez reducir en la medida de lo posible el riesgo de inundación.

a) Presiones e impactos en la cuenca vertiente.

Según la CIS-Guidance-IMPRESS (capítulo 3.3.1), una presión es significativa si puede contribuir a un impacto que impida alcanzar alguno de los objetivos medioambientales (OMA) de la Directiva Marco del Agua (DMA). Por tanto, le existencia de una presión significativa no implica que la masa de agua superficial (MAS) esté en riesgo, si no que está sometida a presiones que potencialmente pueden alterar los OMA de la misma.

La presión procedente de la regulación son los embalses, los desvíos hidroelécticos y las incorporaciones por trasvases. Dicha presión resulta significativa en todo prácticamente todo el río Guadarrama. Así las alteraciones más frecuentes se refieren al aumento de los caudales en verano, a la disminución de la frecuencia y magnitud de las avenidas de periodos de retorno cortos. La interrupción de la continuidad fluvial por las presas y azudes situados aguas arriba (La Jarosa, Valmayor, Las Nieves), debido a la retención se sedimentos o como barrera física para la deriva de semillas y macroinvertebrado.

Las presiones procedentes de las alteraciones morfológicas son las presas, azudes, puentes, canalizaciones, protección de márgenes, dragados, modificaciones por conexiones y las coberturas de los cauces. Como se ha comprobado mediante el análisis de las fotografías aéreas. La regulación de los caudales modifica los caudales líquidos y sólidos, los dragados y extracciones de áridos rebajan la cota del cauce, y las urbanizaciones y el trazado de carreteras e infraestructuras de transporte aumentan la escorrentía de aguas sin apenas sedimentos, produciendo un desequilibrio geomorfológico.

Las presiones procedentes de otras incidencias antropogénicas como son la introducción de especies alóctonas, la presencia de sedimentos contaminados y la presión ejercida por actividades recreativas.

Las presiones procedentes de usos del suelo incluyen las zonas afectadas por incendios, explotaciones forestales, la ocupación de márgenes por construcción o agricultura, la extracción de áridos y otros elementos perturbadores.

Las MAS en Impacto probable se clasifican en este primer análisis IMPRESS como MAS en "Riesgo en Estudio". En este caso es necesaria una caracterización adicional o mayor información sobre el estado de la masa de agua.

b) Presiones e impactos en el tramo de actuación.

En condiciones naturales las riberas ocupan lateralmente todo el espacio que está afectado por la presencia del río. Cuanto mayor es el espacio del que dispone el río para su desbordamiento mayor es la disipación de la energía de los caudales de avenida, la retención temporal en cada tramo y su infiltración y percolación hacia los acuíferos, el espacio disponible para la creación de hábitat, el desarrollo de reacciones geoquímicas, el almacenamiento y descomposición de la materia orgánica, la retención de sedimentos, etc.

La composición y estructura de la vegetación riparia ofrecen un claro indicador del funcionamiento y dinámica en el tramo de río estudiado. La presencia de especies como zarzas (*Rubus sp*.), la ausencia de estrato arbustivo y la elevada densidad de especies arbóreas en las orillas reflejan síntomas de degradación.

Figura 63: Composición de la vegetación riparia con intrusiones de zarzas (ejemplo).

La aparición de alisedas o bosques mixtos de alamedas y saucedas blancas observadas en este tramo, característico de zonas aguas debajo de embalses, que aparentemente responden a un buen estado ecológico, se han originado como consecuencia del impacto de la regulación de los caudales. Como consecuencia de este impacto ha disminuido la frecuencia de avenidas y se favorece el crecimiento de la vegetación arbórea más longeva, en detrimento del estrato arbustivo de sauceda en las orillas, que era el que rejuvenecía periódicamente las crecidas y tenía mayor interés para el hábitat de las comunidades acuáticas.

Figura 64: Bosques mixtos de ribera, tramo río Guadarrama (julio 2009).

QBR son las siglas de un índice para la evaluación y determinación de la calidad de los sistemas ribereños, extraído como acrónimo del catalán (*Qualitat del Bosc de Ribera*), y que ha sido diseñado por el grupo de trabajo de bentos de ríos del Departamento de Ecología de la Universidad de Barcelona.

QBR es un índice que nació de la necesidad de puntuar empíricamente el estado de salud de los espacios ribereños como complemento en la calificación del estado global de la calidad de los ríos. Estos ecosistemas sirven de nexo y transición entre los medios terrestres y acuáticos, puesto que contienen una elevada diversidad en flora y fauna, constituyen vías de conexión entre sistemas naturales, protegen los cauces de perturbaciones laterales y de la erosión, y se adaptan y modelan al régimen hidráulico y morfometría de los ríos, formando parte intrínseca de su ecosistema. La utilización de un sistema de puntuación que valorase su estructura, complejidad, estado de conservación, naturalidad y, en general, su calidad, es necesario y podía ser útil para la determinación de su estado de salud desde un punto de vista integrador en el sistema fluvial.

El sistema de cuantificación de la calidad ribereña se fundamenta en la valoración de 4 bloques de características del ecosistema con el mismo peso en el resultado final. Cada bloque califica atributos diferentes del sistema de ribera: el primer atributo, la importancia de la cubierta de la vegetación, el segundo, la estructura de ésta, el tercero, la naturalidad y complejidad del sistema y el cuarto, el grado de alteración del canal fluvial debido a la acción del hombre. Los 4 bloques intentan cuantificar separadamente grupos de variables indicativas del estado natural del sistema, y la suma de los 4 bloques intentan cuantificar separadamente

grupos de variables indicativas del estado natural del sistema, y la suma de los 4 bloques nos da la puntuación final, que va de 0 a 100.

Cabe destacar que este índice ha sido diseñado para los ríos estudiados de la vertiente norte-oriental de la Península, de clara tipología mediterránea aunque sin llegar a una marcada temporalidad. De esta manera, hay que tener en cuenta que para ciertos escenarios, diferentes de los que se utilizaron para su diseño, este índice debe ser modificado para su correcta aplicación. Este índice ha sido utilizado en trabajos de diagnosis de espacios ribereños y su posterior rehabilitación y gestión como es el caso del Plan Forestal de la Comunidad de Madrid, subprograma de ríos y riberas, realizado en 1998 por Marta González del Tánago y Nicolás Antón del ETSIM (UPM).

La regeneración natural en los bosques de ribera queda refleja a través de la diversidad en edades, aunque debido a la dinámica de las crecidas y desbordamientos se observa una distribución de edades "en mosaico". Es decir, se producen agrupaciones de individuos de una misma edad procedentes de una misma avenida en determinados lugares, alternando con otras agrupaciones similares pero de diferente edad, correspondientes a inundaciones distintas.

Uno de los aspectos más importantes es la conectividad lateral del cauce con las riberas. En estado natural las riberas se inundarían periódicamente, y la vegetación estaría adaptada a los desbordamientos que se originan con ciertos periodos de retorno, recibiendo gran cantidad de semillas, materia orgánica, sedimentos y nutrientes que determinan su resiliencia o capacidad de recuperación natural frente a las perturbaciones. El problema existente en algunas partes del tramo medio del río Guadarrama es precisamente éste, la perdida de la conectividad lateral entre el cauce y los márgenes, debidos a construcciones ilegales dispersas a lo largo de la llanura de inundación del río.

Otra consecuencia de la ocupación urbana de la llanura de inundación es la pérdida de la permeabilidad de los suelos de las riberas, y por tanto se dificulta la infiltración en profundidad y la recarga de los acuíferos durante las inundaciones. Por tanto, los diferentes usos del suelo en los terrenos que forman parte del espacio fluvial pueden dar lugar a impactos negativos de mayor o menor gravedad en el funcionamiento del ecosistema del río. Así las viviendas y otro tipo de construcciones localizadas en los márgenes del tramo de estudio, en el río Guadarrama, originan problemas en la calidad de las aguas debido a vertidos, contaminación orgánica…

Figura 65: Agua retenida en un canal secundario del río Guadarrama (julio 2009).

Figura 66: Imágenes de la ocupación humana de la llanura de inundación.

La EDAR (Estación Depuradora de Aguas Residuales) del Soto vierte al arroyo de El Soto, el cual desemboca en el río Guadarrama aguas arriba de la zona de viviendas, "infraviviendas", citadas anteriormente. Es un hecho a tener en cuenta, puesto que tras la visita de campo (julio 2009), se observó que el caudal que llevaba era importante. Dicho caudal podría estar contribuyendo al aumento de la cantidad de materia orgánica en el río debido a un posible "mal funcionamiento" de dichas instalaciones. Se observó que existían zonas de fango seco en la superficie del suelo que en épocas de mayor caudal (invierno-primavera) lleva agua.

Figura 67: EDAR de El Soto (Móstoles).

Figura 68: Imágenes del arroyo del Soto metros antes de su desembocadura en el río Guadarrama.

Los ríos son corredores naturales de gran importancia hidrológica y ecológica en el paisaje, además en España suponen la principal fuente de recursos hídricos, y sus riberas aportan muchos bienes y servicios, teniendo especial importancia la vegetación, que contribuye de forma natural en la laminación de avenidas.

La Unión Europea, a través de la Directiva Marco de Agua y la Directiva de Evaluación y Gestión de las Inundaciones, promueve evitar y prevenir todo el deterioro adicional en los ríos, y propone su restauración con el objetivo final de lograr que los ríos y arroyos recuperen su buen estado ecológico, y hacer compatibles todos los usos y actuaciones administrativas con la conservación de sus valores naturales.

El Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, a través del Programa A.G.U.A., propone una nueva política hídrica basada en la gestión eficaz y sostenible de los recursos impulsando la Estrategia Nacional de Restauración de Ríos, un novedoso proyecto que pretende recuperar las masas fluviales. Se trata de una nueva política hídrica basada en reorientar el desarrollo hacia la sostenibilidad de los recursos ya que el aumento de la demanda de agua ha hecho que los ríos, lagos, humedales, ramblas y arroyos que configuran los ecosistemas fluviales sean uno de los medios naturales más afectados.

El tramo objetivo del presente proyecto es un espacio natural protegido, catalogado en la Red Natura 2000 como Lugar de Importancia Comunitaria ("Curso Medio del río Guadarrama"). El río Guadarrama resulta un ecosistema fundamental por las especies de flora que alberga, además de ser el corredor ecológico entre ecosistemas naturales de excepcional valor. Sin embargo, su cauce y sus riberas se encuentran sometidos a importantes presiones antrópicas, con los consecuentes impactos que ello conlleva (desconexión lateral del río, residuos, contaminación de las aguas, etc).

Para la elaboración del documento se ha seguido, en la medida de lo posible, la guía "*Restauración de Ríos. Guía Metodológica para la elaboración de proyectos*", elaborada por el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino y la Universidad Politécnica de Madrid.

La restauración de los ríos significa recuperar los procesos fluviales naturales, y con ellos el funcionamiento ecológico y las formas y comunidades biológicas primitivas del cauce y sus riberas. Para ello se requiere aumentar el espacio fluvial alejando las ocupaciones existentes

y mejorar el régimen de caudales circulante, dando paso a procesos naturales de erosión y sedimentación.

Las avenidas forman parte del régimen natural de caudales y son esenciales para el mantenimiento del buen estado ecológico de los ríos. Con los desbordamientos se almacena agua en la cuenca y se disipa la energía de las crecidas, a la vez que se regenera el hábitat y la vegetación de ribera, y se activan los flujos de intercambio entre el cauce y su llanura de inundación.

Para llevar a cabo un proyecto de restauración del río o tramo medio del río Guadarrama, debe definirse la imagen objetivo, es decir definir el estado del ecosistema al que se pretende llegar mediante la restauración. Esta se obtiene a partir de la imagen de referencia y de un proceso de participación pública. La imagen de referencia se trata del estado del río en condiciones naturales, sin intervención humana.

Las actuaciones que se proponen a continuación persiguen unos objetivos a corto y largo plazo.

A corto plazo:

- Aumento del espacio de movilidad fluvial para permitir la conexión del cauce con las riberas y ecosistemas asociados. Conectividad lateral del cauce con su ribera y llanura de inundación. Acondicionamiento del Dominio Público Hidráulico para mejorar el funcionamiento hidráulico natural del cauce.
- Conservación de los ecosistemas de ribera de mayor valor.
- Mantenimiento y mejora del estado de la vegetación actual.
- Control de la vegetación alóctona o invasora.
- Mejora de la movilidad de la fauna piscícola.
- Adecuación paisajística y restauración ambiental de las zonas degradadas.
- Adecuación y fomento del uso social del cauce y sus riberas en sus aspectos didácticos y recreativos.

A largo plazo:

- Mejorar la dinámica fluvial.
- Mejorar el medio acuático y terrestre asociado que permita la regeneración y diversificación de la fauna.
- Fomentar un uso social del río más atrayente y respetuoso con el medio.
- Fomentar la integración de las políticas de uso y gestión del territorio, con las políticas de uso y gestión de los ríos, con criterios de sostenibilidad.

El Proyecto de Acondicionamiento del río Guadarrama, realizado por la Confederación Hidrográfica del Tajo, incluye dos puntos de actuación dentro del término de Móstoles, y que aún no se han llevado a cabo. Las actuaciones previstas en estos dos puntos consisten en:

- Punto 17. Infraviviendas-viviendas rústicas de Móstoles 1: reforestación de la margen interna del dique levantado para proteger parte de las viviendas rústicas situadas en torno al arroyo del Soto mediante la creación de una franja arbolada integrada por seis

líneas, plantadas a tresbolillo, de 130 pies cada línea, con espaciamiento de 4 m entre líneas y pies de cada especie.

- Punto 18. Infraviviendas-viviendas rústicas de Móstoles 2 (en torno al puente de la carretera N-V) reforestación de la margen interna de los dos diques levantados para proteger parte de las viviendas rústicas situadas en torno al puente de la carretera N-V.

Por tanto, el Proyecto de Acondicionamiento del río Guadarrama, realizado por la Confederación Hidrográfica del Tajo, contempla estos dos puntos de actuación de repoblación de diques, dentro del término de Móstoles, como defensa frente a inundaciones, al igual que la posible construcción de una mota. Dichas acciones aún no se han llevado a cabo.

A continuación se analizan con más detalle las propuestas de actuaciones enumeradas anteriormente.

a) Para llevar a cabo la restauración ecológica del río Guadarrama, principalmente en el tramo de estudio, sería necesario lograr la ampliación del espacio disponible para el río, junto con la mejora del régimen de caudales y calidad de las aguas, la restauración de la morfología del cauce y sus riberas.

El aumento del espacio fluvial permite el desarrollo de los procesos erosivos y de sedimentación con mayor libertad. Por ejemplo, en el caso de las avenidas permitiría una mayor y mejor disipación de la energía de las mismas. El río iría recuperando su dinámica con espacio para desplazamientos laterales, desbordamientos, etc.

Esta actuación se cree necesaria debido a que el río Guadarrama en el tramo de estudio cada vez se encuentra más encajonado, como se he comprobado observando su evolución en los últimos 50 años mediante fotografía aérea.

Para llevar a cabo la posible ampliación del espacio disponible por el río en la actualidad, hay que tener en cuenta la legislación vigente en cuanto a servidumbres (RDPH, Ley de Aguas, IPH), restricciones de uso (PORN Parque Regional del Curso Medio del Río Guadarrama) y ocupación de los terrenos más próximos al cauce (PGOU de Móstoles). Por todo ello, los asentamientos urbanos, las áreas industriales o infraestructuras de transporte deberían situarse fuera de la zona de influencia de las avenidas de periodo de retorno entre 100 y 500 años.

Figura 69: Ortofotos: año 1956 (izda.) y actual (dcha.).

La movilidad fluvial, mencionada anteriormente, es referida a la parte del espacio por donde discurren las aguas y tienen lugar los procesos fluviales con mayor periodicidad. Dentro de dicho espacio no deberían existir protecciones de las orillas ni defensa de las márgenes, y no se deberían realizar extracciones de áridos ni instalar actividades que puedan suponer un riesgo de contaminación del suelo o de los flujos de agua, quedando sometido a usos permitidos compatibles con las inundaciones periódicas (actividades recreativas, caminos…). El PGOU de Móstoles clasifica la zona como suelo no urbanizable protegido.

b) El objetivo de los caudales ambientales es mejorar la cantidad y distribución temporal del agua que circula por el río, siguiendo las pautas del régimen natural. La mejora del régimen de caudales, dando continuidad a los flujos de agua y de sedimentos y conectividad a los hábitats acuáticos y de ribera, en las tres dimensiones del sistema fluvial. Todo ello orientado a lograr su "buen potencial ecológico" (DMA).

Con la recuperación del espacio fluvial no sólo se mejora el funcionamiento ecológico de los ríos sino también el régimen de corriente en avenidas, evitando el daño a personas y bienes al disminuir el riesgo hidrológico asociado a las inundaciones. Por tanto es necesario que dicho espacio sea ocupado periódicamente por los caudales circundantes, permitiendo las crecidas y su desbordamiento.

El establecimiento de un régimen de caudales ambientales para el tramo de río (curso medio) Guadarrama, ha de permitir "*mantener de forma sostenible la funcionalidad y estructura de los ecosistemas acuáticos, y de los ecosistemas terrestres asociados*" (Instrucción de Planificación Hidrológica del Ministerio de Medio Ambiente).

La revisión del estado de las concesiones de agua existentes en cuanto a la magnitud acordada, usos, fechas de caducidad… y comparar con la situación actual. Además de tener en cuenta que la variación en los caudales puede deberse a mayores irregularidades en las precipitaciones o escorrentía asociada, o extracciones subterráneas, derivaciones de agua para riego, etc.

c) Eliminación de barreras transversales y longitudinales que pueden estar limitando la continuidad y conectividad del medio fluvial, restableciendo la funcionalidad de las tres dimensiones espaciales del sistema.

Las estructuras transversales de ingeniería hidráulica son desde presas (regulación y almacenamiento) y azudes (Las Nieves, derivación de caudales), localizadas en la cabecera del río principal (Guadarrama) y de sus afluentes (Aulencia, con el embalse de Valmayor); a infraestructuras menores como son los diques y traviesas.

En algunas ocasiones, estas estructuras, presas y azudes, forman parte del patrimonio histórico de los ríos, aunque en el tramo de estudio no se da el caso. Otras veces están en desuso, o su aprovechamiento ha disminuido en intensidad o rentabilidad, siendo necesario contemplar la posibilidad de su remoción (ver tabla 16). Esta opción ha de contemplar los posibles efectos de la demolición, puesto que se trata de una operación compleja (sedimentos acumulados con sustancias tóxicas, etc.).

Los diques y traviesas retienen los sedimentos y estabilizan el lecho controlando su erosión, lo cual fomenta el encajamiento del cauce aguas abajo. Con el fin de recuperar la continuidad fluvial, los diques o traviesas se pueden sustituir por rampas de piedras sueltas o

fijadas con hormigón, que si se distribuyen formando celdas que se reajustan y trabajan coordinadamente al paso de las avenidas, la rampa en su conjunto responde de manera muy estable a las fuerza de arrastre de los mayores caudales.

Las estructuras longitudinales son las motas y muros de defensa, cuya función principal es evitar los desbordamientos. Esta opción ha sido contemplada por la Confederación Hidrográfica del Tajo, como una medida de actuación ante el problema que se plantea en la zona de estudio de este proyecto. La localización de dichas motas ha de tener en cuenta el espacio fluvial, es decir, se ha de proporcionar al río el espacio necesario de almacenamiento de agua y disipación de la energía, puesto que a su vez se debe mejorar el funcionamiento hidrológico del río y disminuir el riesgo hidrológico de las zonas situadas aguas abajo.

El problema es que a lo largo de la margen izquierda del río se encuentran construcciones ilegales del tipo que se muestra en la siguiente fotografía.

Figura 70: Imagen de las construcciones ilegales en zona de servidumbre del río Guadarrama.

No sólo se trata de una construcción aislada, sino que se encuentra rodeada de estructuras de hormigón y ladrillos similares, que son utilizadas como viviendas.

El planteamiento de diques longitudinales o motas a lo largo del tramo medio del río Guadarrama no sólo aumenta el riesgo hidrológico de los tramos aguas abajo, al evitar la disipación de la energía de las aguas, sino que también aumenta la incertidumbre de los efectos de las avenidas en los tramos que pretenden proteger al no poder predecir por donde se va a producir su rotura o desbordamiento ante una avenida superior a la que corresponde su diseño (*Blackwell* y *Maltby*, 2006). Este aspecto según la Directiva europea sobre Inundaciones propicia el desarrollo de estrategias enfocadas a disminuir el riesgo evitando las ocupaciones de zonas inundables, frente al mantenimiento de dichas ocupaciones y la defensa de estas con infraestructuras hidráulicas.

d) Establecimiento de bandas protectoras del cauce ("*buffer-strips*"). Son bandas de vegetación riparia que bordean los cauces. Actúan como "filtro", evitando la llegada de contaminación difusa a las aguas del cauce. Podría considerarse en el tramo de unión entre el arroyo de El Soto y el río Guadarrama.

e) La regeneración natural de ribera debe fomentarse siempre que sea posible, y con ella conseguir una estructura mucho más estable. El tramo medio del río Guadarrama, en el área de estudio, cuenta con una vegetación de ribera muy desarrollada.

Para facilitar el proceso de regeneración natural es necesario asegurar la conectividad lateral del cauce con sus riberas y la llegada de semillas a los suelos riparios a través de las crecidas, así como disponer en estos suelos de buenas condiciones de humedad y aireación.

En el tramo de río existen zonas en las que se encuentran zarzales y cañaverales, que con el fin de facilitar la llegada de las semillas y su retención y germinación en los suelos, dichas zarzas se podrían eliminar.

En ocasiones, como en el caso de las propuestas de actuaciones del Proyecto de Acondicionamiento del río Guadarrama, realizado por la Confederación Hidrográfica del Tajo, se tiene en cuenta la repoblación, el desarrollo de la vegetación localizada, en una parte del tramo como medidas de protección de viviendas. Ocupando así el espacio ripario, y evitando otro tipo de ocupación.

El diseño de las plantaciones de ribera debe de atender a la composición y distribución, respecto al eje de humedad del río, de las especies que se consideren nativas de cada tramo fluvial.

Figura 71: Especies arbóreas y arbustivas más frecuentes en las orillas y riberas de los ríos. (Fuente: "Restauración de Ríos. Guía Metodológica para la elaboración de proyectos").

f) La rehabilitación de tramos urbanos. Como ocurre en el área de estudio, las edificaciones, principalmente ilegales, a lo largo de la margen izquierda del río, y el trazado de infraestructuras de vías y servicios hace difícil disponer del espacio necesario para la recuperación de la natural de los procesos fluviales del cauce y sus riberas.

La reordenación del espacio fluvial y ampliación de sus dimensiones, plantea la necesidad de analizar cada una de las ocupaciones que se dan y están suponiendo una merma del espacio fluvial, comprobando a su vez en qué casos sería posible la eliminación de infraestructuras actuales, realojo de edificaciones, cambios en la morfología actual del cauce y sus márgenes, etc. La valoración del coste económico de cada una de las posibilidades, y los beneficios generados, teniendo en cuenta la legislación vigente.

g) Trabajos de mantenimiento de los ríos controlando las causas que generan los cambios. El aumento de vegetación en las riberas, el control de la llegada de nutrientes al cauce y las avenidas pueden evitar el excesivo crecimiento de la vegetación en el cauce. La retirada de basuras y sólidos acumulados en el cauce y en las riberas.

Figura 72: Imágenes de los residuos de origen antrópico en las orillas del río Guadarrama, en el tramo estudiado.

El control de la llegada de contaminación difusa a los cauces mediante bandas protectoras de vegetación en las riberas, o el control del crecimiento de la vegetación en el interior del cauce con la suelta periódica desde los embalses de caudales de avenida de una cierta magnitud, pueden ser medidas preventivas eficaces.

En concordancia con la legislación vigente, mediante el presente estudio realizado se propone la eliminación de parte de las "viviendas" situadas en las proximidades del puente de la autovía A-5, puesto que ocupan la zona de servidumbre del río (primeros 5 m), y tienen mayor riesgo ante una avenida. Según información catastral consultada, no existen propietarios. Ante dicha situación de problemática social, se propondría el realojo de los habitantes de dichas viviendas, en otros lugares.

Como medidas para las viviendas que permanecerían aún en la zona de policía, tras las acciones propuestas, se realizarían actuaciones para reducir la vulnerabilidad de las mismas. La creación de muros impermeables, junto con la instalación de válvulas con clapetas (sin retorno), ventanas y puertas con cierre sellado.

Se planificaría el área que actualmente está ocupada por "infraviviendas", mediante calles que ayudarían a desaguar más fácilmente en caso de avenida.

Respecto a la llanura de inundación, en la margen izquierda, tras el despeje de construcciones, y limpieza de residuos, se procedería a rebajar ligeramente la pendiente. En la margen derecha, la cual es más llana, se realizarían pequeños surcos, canales secundarios en el suelo, respetando el entorno del bosque de ribera. Dichas labores favorecen la dinámica fluvial, puesto que se aumenta el espacio fluvial, con el menor impacto posible en el medio. No se garantiza que no se produzcan nuevas inundaciones, pero sí se disminuye el riesgo debido al aumento del espacio fluvial, con el que se espera una mejor y mayor dispersión de la energía de los fenómenos naturales de avenidas.

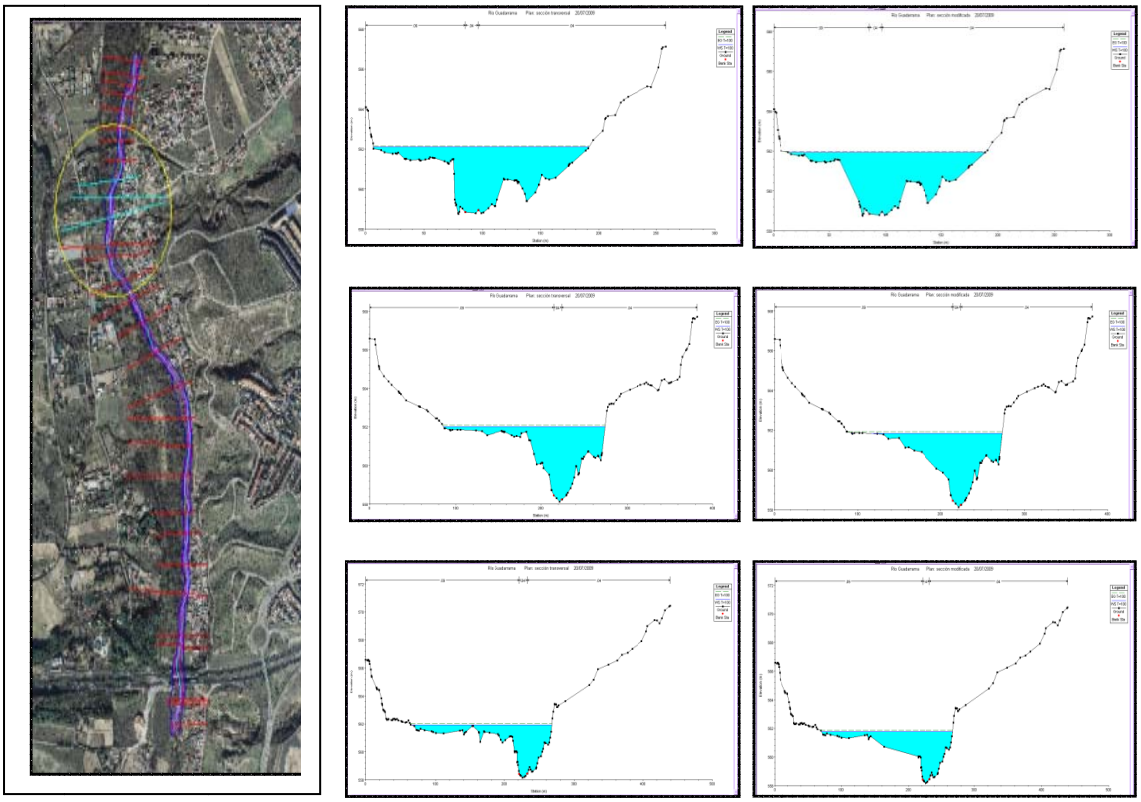


Figura 73: Perfiles transversales de las secciones introducidas en HEC-RAS. Perfil antes de las actuaciones propuestas (izda.) y después (dcha.).

(*Ver resultados en anexos.)

9. CONCLUSIONES FINALES

A lo largo del estudio realizado se puede comprobar la importancia de las inundaciones como riesgo natural, tanto por las pérdidas que ocasiona, como por la recurrencia de las mismas. En este sentido, la realización de estudios de zonas inundables junto con programas y medidas para la recuperación del espacio fluvial, son necesarios e imprescindibles para la consecución de los objetivos marcados por la Directiva Marco para el año 2015, y por la Directiva de evaluación y gestión del riesgo de inundación.

En los estudios de recuperación del espacio fluvial junto con los de inundaciones, hay que tener en cuenta todos los aspectos condicionantes: geomorfología, hidrología, hidráulica, criterios ambientales, ordenación del territorio y sociales (participación pública). Estos trabajos se justifican ante la inadecuada planificación de los usos del suelo que se ha venido llevando a cabo hasta ahora. Una de las consecuencias de la ejecución de este tipo de ordenación son asentamientos ilegales en zonas con inundaciones recurrentes, zona de DPH y zona de servidumbre. Es el caso de la colonia del Guadarrama o poblado de las Sabinas, situados ambos a orillas del río Guadarrama.

El río Guadarrama ha disminuido su caudal circulante, y como consecuencia ha estrechado su cauce. Dichos sucesos tienen como resultado la variación del Dominio Público Hidráulico y la modificación de las zonas de riesgo.

A través del estudio del tramo de río afectado, se han propuesto una serie de medidas para mejorar la defensa ante inundaciones y recuperar el espacio fluvial. Se trata de actuaciones de minimización. Aunque la solución más eficiente, ante este tipo de situaciones ambientales-sociales, pasa por el consenso y realización de convenios, por parte de las tres administraciones implicadas, principalmente la Confederación Hidrográfica del Tajo, Comunidad Autónoma de Madrid y Ayuntamiento de Móstoles, junto con los vecinos afectados en los poblados ilegales. La importancia de llevar a cabo soluciones válidas se ve acentuada por la declaración del río como Parque Regional ("*Curso Medio del Río Guadarrama*").

10. BIBLIOGRAFÍA

Artículos y libros consultados:

- Blackwell, M.S.A. y E. Maltby (2006). *Ecoflood Guidelines. How to use floodplains for floods risk protection*. European Commission, Bruselas.
- Confederación Hidrográfica del Tajo (2002). *La cuenca del Tajo en cifras*. 2ª Edición. Oficina del Planificación Hidrológica. Confederación Hidrológica del Tajo. Ministerio de Medio Ambiente.
- Estrela y Témez (1993). *Planning criteria for flood areas in Spain*. Proc. XXV IAHR Congress. Tokyo. Japón. Agosto-Septiembre 1993.
- Fernández Iglesias, E. y Fernández García, M. (2008). *La movilidad de los cauces en los ríos del NO peninsular*. *X Reunión Nacional de Geomorfología, Cádiz*. 211-214.
- González del Tánago, M. y García de Jalón, D. (2007). *Guía Metodológica para la elaboración de Proyectos de restauración de ríos*. Ministerio de Medio Ambiente.

Fuentes consultadas en la red Internet:

- http://www.marm.es/
- http://www.chtajo.es/
- http://saihtajo.chtajo.es/saihtajo/
- http://www.egmasa.es/europa/florispre/Documentos%5CPonenciasEventoEspa%C3%B1a%5CEncuentroDeEspecialistas-18-19Octubre2006%5C18-10-2006%5CARIANEALVAREZ-PlanificacionDeProteccionCivilAnteElRiesgoDeInundaciones.pdf
- http://www.proteccioncivil.es/es/DGPCE/Informacion_y_documentacion/catalogo/carpeta06/revispc11/rpc11_11.htm
- http://gestiona.madrid.org/nomecalles/Inicio.icm?munic=092
- http://hercules.cedex.es
- http://es.wikipedia.org/wiki/R%C3%ADo_Guadarrama#Curiosidades
- http://es.wikipedia.org/wiki/Embalse_de_Valmayor#La_presa_y_aportaciones_de_agua
- http://www.mostoalegre.org/parqueregionalmostoles.htm
- http://www.inforiesgos.es/es/info_interes/otra_informacion/
- http://www.20minutos.es/noticia/294446/0/madrid/poblados/chabolistas/
- http://www.elpais.com/articulo/madrid/MADRID/IBERDROLA/TELEFoNICA/TRIBUNAL_SUPERIOR_DE_JUSTICIA_DE_MADRID_/TSJM/fiscal/investiga/delitos/ecologicos/asentamiento/Guadarrama/elpepiautmad/19970129elpmad_8/Tes/

- http://www.todoarroyo.com/foro.php?id=2234&cat=21&subcat=115
- http://www8.madrid.org/gema/revista/leyes/febmar99/boc050b.htm (PORN)
- http://www.elpais.com/articulo/madrid/MADRID/creacion/parque/fluvial/Guadarrama/pendiente/solucion/asentamiento/ilegal/elpepuespmad/19870323elpmad_1/Tes (origen del poblado)
- http://e-pesimo.blogspot.com/2007/11/m2-crimen-de-legazpi-arsenal-de-la.html
- http://sv.elmundo.es/elmundo/2007/11/20/madrid/1195557703.html
- http://www.ayto-mostoles.es/mostoles/cm
- http://www.madrid.org/cartografia/planea/planeamiento/html/web/VisorPlaneamiento.htm
- http://www.proyectoverde.com/conclusiones_de_las_i_jornadas_del_parque_regional_del_rio_guadarrama
- http://www.uv.es/ael/alquibla/alqui31.pdf
- http://www.diba.es/mediambient/es/PDF/QBR.pdf
- http://www.ub.es/ecolo/guadalmed/prot/Calidad_Ribera_(QBR).pdf
- http://www.cartesia.org/geodoc/ingegraf2005/T14.pdf
- http://www.icc.es/pdf/common/icc/publicacions_icc/publicacions_tecniques/fotogrametria/bienni_2003_2004/experiencia_y_aplicaciones_lidar.pdf
- http://www.madrid.org
- http://www.igme.es
- http://www.idee.es
- http://www.tecnun.es/ASIGNATURAS/ECOLOGIA/HIPERTEXTO/08RiesgN/130Inund.htm
- http://dspace.uah.es/jspui/handle/10017/1094
- http://noticias.juridicas.com/base_datos/Admin.html
- https://ovc.catastro.meh.es/CYCBienInmueble/OVCConsultaBI.htm

eoi escuela de negocios

27/7/2009

ESTUDIO DE RECUPERACIÓN DEL ESPACIO FLUVIAL Y PROPUESTA DE DEFENSA FRENTE A INUNDACIONES EN UN TRAMO DEL RÍO GUADARRAMA A SU PASO POR EL TÉRMINO MUNICIPAL DE MÓSTOLES

RESUMEN EJECUTIVO |

Marina Blanco Flores
Marta Fernández Boyano
Tutor: Francisco Javier Sánchez Martínez

ÍNDICE

1. ANTECEDENTES 3
1.1. IMPORTANCIA EN LA DETERMINACIÓN DE ZONAS INUNDABLES 3
1.2. NORMATIVA APLICABLE 3
1.3. OBJETO DE ESTUDIO 4
2. ANÁLISIS HISTÓRICO 5
2.1. INUNDACIONES HISTÓRICAS Y ZONAS DE RIESGO POTENCIAL 5
2.2. CATÁLOGO NACIONAL DE INUNDACIONES HISTÓRICAS (CNHI) 6
2.3. SISTEMA NACIONAL DE CARTOGRAFÍA DE ZONAS INUNDABLES 7
3. TECNOLOGÍA LIDAR: REALIZACIÓN DE CARTOGRAFÍA 7
4. ESTUDIO HIDROLÓGICO 8
4.1. OBJETIVO 8
4.2. RECOPILACIÓN DE DATOS 8
4.3. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN FORONÓMICA 8
4.3.1. METODOLOGÍA EMPLEADA 8
4.4. ANÁLISIS MAPA DE CAUDALES MÁXIMOS DE LA CUENCA DEL TAJO 9
4.4.1. METODOLOGÍA EMPLEADA 9
4.5. RESULTADOS ANÁLISIS FORONÓMICO *versus* MAPA CAUDALES MÁXIMOS 10
4.6. FUNCIONAMIENTO DE LA CUENCA 12
4.7. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO HIDROLÓGICO 13
5. ESTUDIO GEOMORFOLÓGICO 13
6. ESTUDIO HIDRÁULICO 15
7. DELIMITACIÓN DEL ESPACIO FLUVIAL 17
8. PROPUESTA DE ACTUACIONES 20
8.1. IMAGEN DE REFERENCIA 20
8.2. IMAGEN OBJETIVO 20
8.3. ACTUACIONES 20
9. CONCLUSIONES FINALES 22

1. ANTECEDENTES

1.1. IMPORTANCIA EN LA DETERMINACIÓN DE ZONAS INUNDABLES

España es un país en el que la incidencia de las inundaciones ha supuesto y supone un capítulo a tener en cuenta de manera muy especial en todas las políticas asociadas con la gestión del agua, la ordenación del territorio, la conservación del medio ambiente y el desarrollo sostenible.

Las inundaciones, en España, suponen el peligro natural de mayor importancia, por la recurrencia y las importantes pérdidas producidas año tras año. La irregularidad de las precipitaciones, junto a la ocupación de cauces con cursos de agua de caudal irregular, da lugar a una exposición al riesgo muy elevada. Por ello, cada vez es mayor la conciencia social, acorde con la opinión científica, de que los ríos deben permanecer en su estado natural sufriendo los procesos de crecidas y estiajes que conforman su fisonomía y la de los ecosistemas a los que sirve de soporte. La inundación de los terrenos colindantes con los cauces es una parte importante de la dinámica fluvial que resulta preciso preservar en la medida de lo posible.

La combinación de medidas propuestas, estructurales y no estructurales, aportan soluciones ante este tipo de situaciones. Por una parte, se pretende llegar al buen estado del sistema fluvial (Directiva Marco del Agua), y por otra, disminuir el riesgo que se produce ante los fenómenos naturales de inundación (Directiva sobre evaluación y gestión del riesgo de inundaciones).

1.2. NORMATIVA APLICABLE

A continuación se nombra el marco legislativo más relevante aplicable en el estudio:

- Directiva Marco del Agua 2000/60/CE, transpuesta en el ordenamiento español en el Texto Refundido de la Ley de aguas, Real Decreto Legislativo 1/2001, y modificado para incorporar la DMA mediante la Ley 62/2003, de 30 de diciembre, de medidas fiscales, administrativas y del orden social, en su art. 129.
- Directiva 2007/60/CE, sobre evaluación y gestión del riesgo de inundación.
- Real Decreto 9/2008, de 11 de enero, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico (RDPH), aprobado por RD 849/1986, de 11 de abril (BOE nº 14, de 16/01/08).
- Plan Hidrológico de la cuenca del Tajo, aprobado por RD 1664/1998, de 24 de julio.
- Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Planificación Hidrológica.
- ORDEN ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la instrucción de planificación hidrológica.
- Ley 8/2007, de 28 de Mayo, de Suelo.
- Ley 20/1999 de 3 de mayo, del Parque Regional del Curso Medio del Río Guadarrama y su entorno. DECRETO 26/1999, de 11 de febrero, por el que se aprueba el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales para el Curso Medio del Río Guadarrama y su entorno (*LIC ES3110005 Cuenca del río Guadarrama*).
- Ley 2/1985, de 21 de Enero, sobre Protección Civil.
- Real Decreto 407/1992, de 24 de Abril, por el que se aprueba la Norma Básica de Protección Civil. Directriz básica de Protección civil ante el riesgo de inundaciones.

1.3. OBJETO DE ESTUDIO

La cuenca del río Guadarrama, en el tramo de estudio, se encuentra situada en el noroeste de la Comunidad Autónoma de Madrid. Tiene una extensión de 798 km^2, con una longitud de tramo de río de 62 km. La cota máxima y mínima de la cuenca son respectivamente 2.462 y 563 metros.

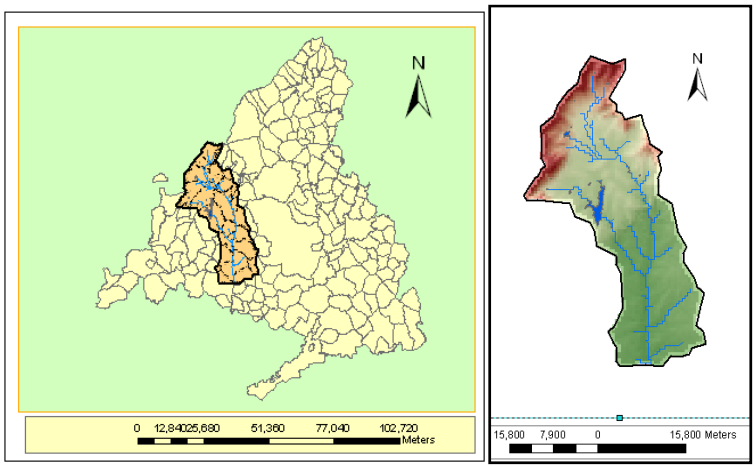


Figura 1: Mapa de situación de la cuenca de estudio (izqda.) y Modelo Digital del Terreno (dcha.)

En el análisis de pendientes, la cuenca de estudio cuenta con una pendiente máxima del 22,44%, un mínima del 0,04%, teniendo una media del 3,28%. Cuenca con forma alargada.

En cuanto a la hidrología de la cuenca de estudio, la misma está formada por el río principal, el Guadarrama afluente del Tajo. Tiene su origen en el Valle de la Fuenfría (Madrid), a unos 1.900 m de altura en la ladera sur de la Sierra de Guadarrama (Sistema Central). En su recorrido marca un trazado muy ajustado a la vertical norte-sur. Su curso medio se encuentra protegido dentro del Parque Regional del Curso Medio del río Guadarrama y su entorno. Su principal afluente es el río Aulencia. La cuenca cuenta con numerosas presas en cabecera, siendo las más importantes Valmayor (125 hm^3) y la Jarosa (7,4 hm^3) por su mayor capacidad, y Las Nieves por el trasvase de aguas que realiza a Valmayor.

El clima de la cuenca de estudio se corresponde con un clima mediterráneo continentalizado.

La geología dominante está compuesta en el tramo de cabecera por materiales silíceos, y en su curso medio por materiales detríticos. Presencia de la falla de Torrelodones.

Desde un punto de vista geomorfológico, la parte septentrional integra formaciones graníticas y materiales de gneis. El resto de la cuenca se caracteriza por campiñas detríticas y vegas, formadas a partir de los depósitos aluviales del cuaternario, a través de inundaciones y flujos de barro. Los materiales areno-arcillosos rellenan la antigua depresión sobre la que se encuentra la mayor parte de la cuenca del Guadarrama. Los aluviones son frecuentes en el curso medio de este río, constituidos por arenas blancas, con un alto componente de cuarzo. También hay numerosas terrazas, que aparecen preferentemente en la margen derecha del río.

Los principales usos de suelo en la cuenca de estudio (Corine Land Cover) se corresponden con zonas agrícolas heterogéneas, zonas urbanas, bosques y praderas.

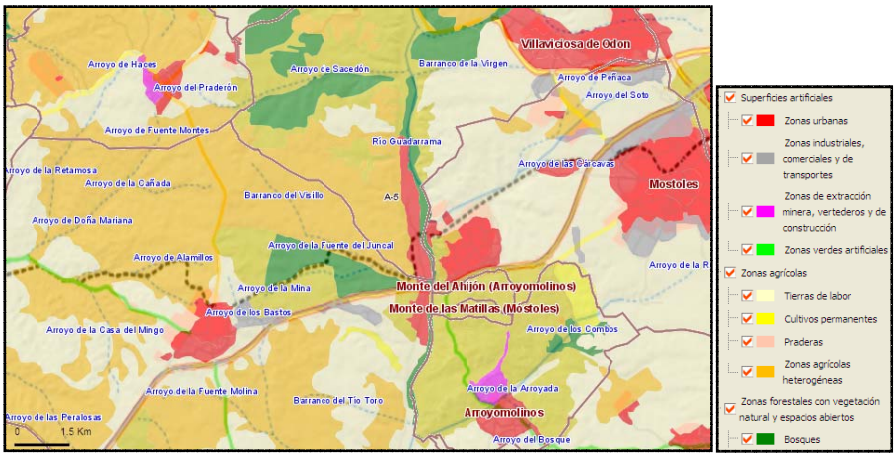


Figura 2: Mapa de usos del suelo (Fuente: Corine Land Cover)

2. ANÁLISIS HISTÓRICO

2.1. INUNDACIONES HISTÓRICAS Y ZONAS DE RIESGO POTENCIAL

La Comisión Técnica de Emergencia por Inundaciones (CTEI), creada en el año 1983, llevó a cabo la recopilación y clasificación de la información sobre los episodios acaecidos en las distintas cuencas hidrográficas de España, diferenciando entre inundaciones históricas (inundación que ha tenido lugar en el pasado) y zonas de riesgos potenciales.

Para el estudio histórico (mapa de Riesgos Potenciales Cuenca del Tajo) se alude a las características más importantes como son número y estacionalidad, causas más frecuentes y daños más importantes. Recoge 159 antecedentes de inundaciones históricas, desde el año 849 hasta 1985. Mientras que para el estudio y análisis de las zonas de riesgo potencial, la información está contenida en fichas, donde se definen las zonas con riesgo potencial de sufrir inundaciones en la cuenca hidrográfica del río Tajo.

En la cuenca del río Guadarrama se localizaron cinco zonas estudiadas en el Informe del CTEI como zonas de riesgo potencial, con prioridad mínima en la urgencia de las acciones a emprender (tercer rango). Éstas se corresponden con los números 53 (Navalmedio), 54 (Molino de la Hoz), 55 (Valmayor, La Jarosa, Molino de la Hoz y Navalmedio), 56 (La Jarosa) y 57 (Valmayor). Algunas de ellas afectadas por el riesgo de accidente grave en la presa que tienen aguas arriba o un vertido incontrolado de su aliviadero, puesto que no se encontraron reseñas históricas. Actualmente todas estas zonas están incluidas en el Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH). El Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH) es capaz, basándose en procedimientos informáticos, de captar, transmitir, procesar y presentar información del estado hidrológico e hidráulico de la cuenca, incluyendo el conocimiento puntual del funcionamiento de los dispositivos y obras de control que en ella se ubican.

2.2. CATÁLOGO NACIONAL DE INUNDACIONES HISTÓRICAS (CNHI)

La Dirección General de Protección Civil y Emergencias está desarrollando el Catálogo Nacional de Inundaciones Históricas (CNIH), previsto en la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones.

A través de la aplicación informática desarrollada por dicha Dirección General se ha obtenido información relevante para la zona objeto de estudio en el río Guadarrama, en el rango temporal comprendido entre 01/01/1900 y 1/07/2009, en la cuenca del Tajo, Comunidad Autónoma de Madrid, en los municipios de la cuenca del río Guadarrama, zona de estudio, se han registrado los siguientes episodios de inundaciones:

- Episodio 145/156, en la cuenca del Tajo: Inundación Diciembre-Enero 1989-1990. Daños en infraestructuras hidráulicas y de transporte.
- Episodio 151/156, en la cuenca del Tajo: Inundación Diciembre-Febrero 1995-1996. Se evacuaron a 120 personas, en el poblado de Las Sabinas (municipio de Móstoles). Daños en infraestructuras.
- Episodio 152/156, en la cuenca del Tajo: Inundación Diciembre-Enero 1996-1997. Afectó a la Colonia Río Guadarrama, con 225 evacuados. Daños en infraestructuras y servicios.
- Episodio 155/156, en la cuenca del Tajo: Inundación Diciembre 1997. Daños en infraestructuras hidráulicas y de transporte.

Según la observación de las fotografías aéreas:

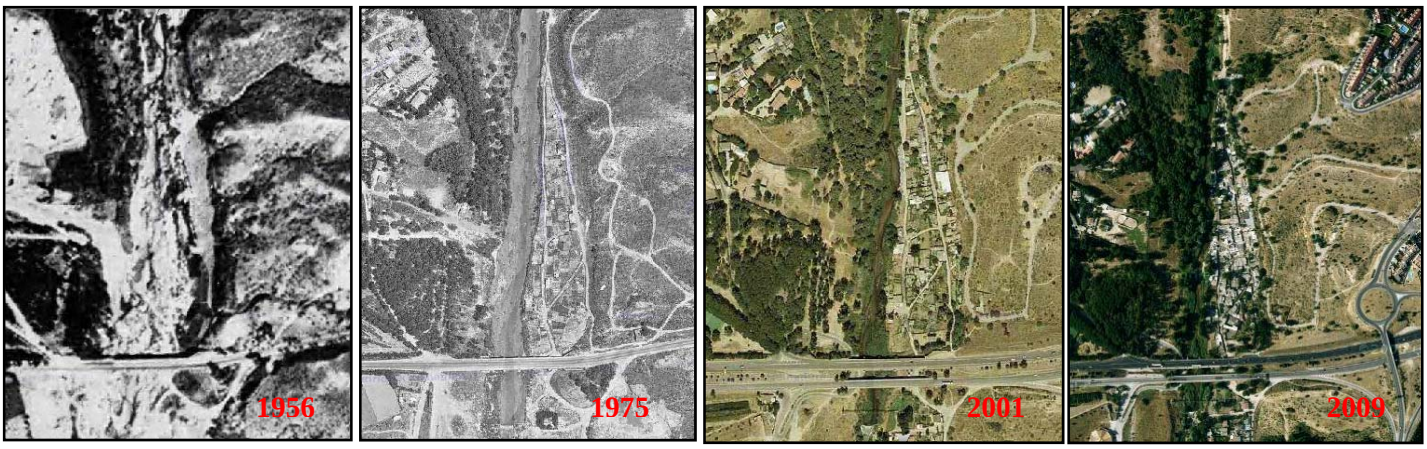


Figura 3: Fotografías aéreas de la zona de estudio, cruce entre el río Guadarrama y la carretera, en su paso por Móstoles (1956, 1975, 2001 y 2009).
(Fuente:gestiona.madrid.org/nomecalles/Inicio.icm?munic=092; Goolgle Maps)

En 1956, no hay apenas indicios de asentamientos humanos en el tramo de la ribera en estudio. El poblado chabolista de Móstoles surgió a principios de los años sesenta, cuando muchos vecinos tenían huertas en la zona. Durante los años 70, 80 y hasta hoy en día, se ha aumentado el número de construcciones ilegales debido a la llegada de miles de inmigrantes. El poblado ilegal del río Guadarrama, conocido como Las Sabinas, en la zona de Móstoles (cruce con la autovía A-5), está constituido por unas 260 chabolas donde viven más de 800 personas.

La Comisaría de Aguas del Tajo ha denunciado a los vecinos del poblado por asentamiento ilegal, en zona de servidumbre del río (5m). El Plan General de Urbanismo de Móstoles califica este suelo como no urbanizable o de especial protección por estar en el cauce del río Guadarrama, y el Instituto para la Conservación de la Naturaleza, también ha realizado una denuncia ante dicha situación.

En cuestión de competencias, parte de los terrenos afectados por el asentamiento corresponden a la Confederación Hidrográfica del Tajo y parte a la Comunidad de Madrid, ya que se trata de una vía pecuaria, así como el Ayuntamiento de Móstoles. Respecto a la seguridad ciudadana, el Ministerio del Interior sería el responsable.

2.3. SISTEMA NACIONAL DE CARTOGRAFÍA DE ZONAS INUNDABLES

El Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI) se regula en el Real Decreto 9/2008 donde se plantea su elaboración.

Su objetivo es aportar una información valiosa para que se tenga en cuenta por las restantes administraciones en el ejercicio de sus competencias sobre ordenación del territorio y planificación urbanística, y será imprescindible para incrementar la seguridad de los ciudadanos.

3. TECNOLOGÍA LIDAR: REALIZACIÓN DE CARTOGRAFÍA

En la realización del estudio se ha empleado cartografía procedente de la tecnología LIDAR (Light Detection and Ranging; or Laser Imaging Detection and Ranging) o láser aerotransportado. Esta técnica es usada en la creación de Modelos Digitales del Terreno o Modelos Digitales de Elevaciones precisos, fiables, de forma rápida y rentable. Permite determinar la distancia desde un emisor láser a un objeto o superficie utilizando un haz láser pulsado. La distancia se mide del avión (sensor) al suelo mediante un barrido continuo, conociendo el tiempo de retorno de un pulso láser (eco) basándose en los principios de la MED (Medida Electrónica de Distancias).

Figura 4: Hillshade obtenido del MDT (LIDAR)

El elemento principal del sistema es el escáner láser, que va aerotransportado y emite pulsos de luz infrarroja (λ=500-1.500 nm) que servirán para determinar la distancia sensor-puntos del terreno, y a partir del tiempo que ha tardado cada rayo en ir y venir, y de la velocidad de la luz, se deduce con facilidad la distancia a la que está el objeto estudiado.

Para determinar las coordenadas o referenciar correctamente el punto del terreno, el sistema requiere la utilización de un sistema de posicionamiento espacial (GPS) y de un sistema de navegación inercial (INS), que determinen con precisión la posición del sensor/avión. Se realiza de forma diferencial y en tiempo real para lo que se requieren dos receptores

GPS; uno colocado en el avión y el otro en tierra. Generalmente se habla de unas precisiones de 15 cm en altimetría y de 50-100 cm en planimetría.

Una de las ventajas de esta tecnología, con respecto a otras, es que los datos pueden ser adquiridos en condiciones atmosféricas en las que la fotografía aérea convencional no puede hacerlo. Los errores vienen del sistema de posicionamiento, siendo el error GPS relativamente constante en toda la operación.

4. ESTUDIO HIDROLÓGICO

4.1. OBJETIVO

El objetivo del estudio hidrológico es la obtención de los caudales de referencia a partir de los cuales se determinan las zonas inundables, zona de Dominio Público Hidráulico y zona de flujo preferente. Estos caudales corresponden a la avenida de 10 años de periodo de retorno, 100 años de periodo de retorno y 500 años de periodo de retorno.

4.2. RECOPILACIÓN DE DATOS

- Datos de caudales medios mensuales y máximos instantáneos registrados en las diferentes estaciones de aforo (ROEA-SAIH) distribuidas por toda la cuenca (Anuario de Aforos 2005-06). Datos en régimen alterado de la cuenca.
- Datos de las presas en funcionamiento en la cuenca de estudio.
- Datos en régimen natural obtenidos de los mapas de caudales máximos de la cuenca del Tajo para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 100 y 500 años.

4.3. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN FORONÓMICA

4.3.1. METODOLOGÍA EMPLEADA

El método estadístico, aplicado a la información foronómica de las series temporales registradas en las estaciones de aforo y embalses (Anuario de Aforos 2005-06, CEDEX.

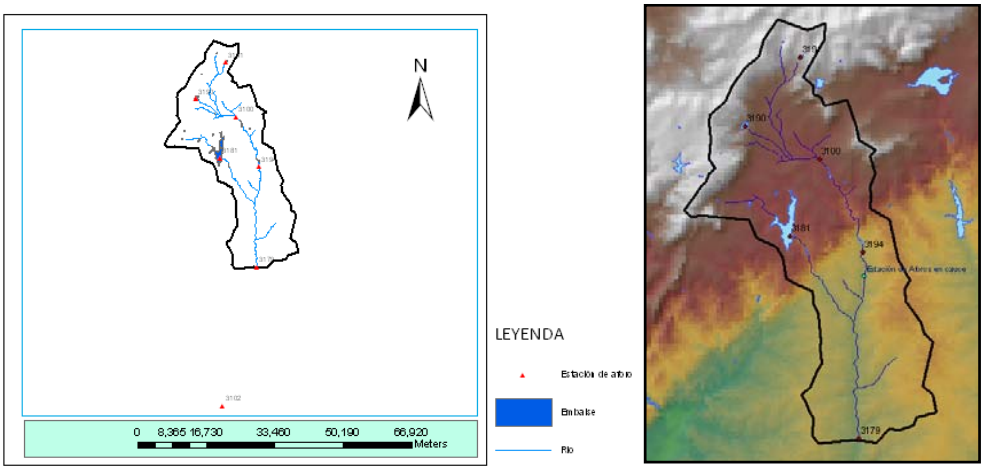


Figura 5: Distribución de las estaciones de aforo en la cuenca.

Las estaciones de aforo de la ROEA, EA 3100, EA 3194 y EA 3179 (punto de cierre) han sido las utilizadas para llevar a cabo el estudio hidrológico, añadiéndose una cuarta, la EA 3102, que aunque se encuentra aguas abajo de la zona objetivo, tiene un amplio registro de datos de caudales que permiten una mejor valoración de los resultados.

La existencia de una estación de aforo del SAIH del Tajo (AR19, estación V-Flat, Guadarrama en el Picotejo), aguas abajo de la EA 3194, no se ha podido incluir dentro de la parte foronómica, puesto que no se disponían de los datos registrados (ver aplicación *CauMax*).

Mediante las series de caudales máximos medios mensuales y anuales registrados, y caudales máximos instantáneos mensuales se calculó la recta de regresión para cada EA. Dicho método se realiza porque en algunas estaciones, y algunos periodos de registro, sólo se dispone del caudal máximo medio diario, y no del caudal máximo instantáneo. A través de la recta de regresión obtenida (todas con $R^2 \approx 0{,}9$) se obtuvieron los datos de caudales instantáneos incompletos.

Además se ha aplicado la fórmula de Fuller: $k = \frac{Qi}{Qmd} = 1 + \frac{a}{A^b}$

Donde: $\log(k-1) = \log a - b \cdot \log A$; $\qquad Qi = \left(1 + \frac{6{,}38}{A^{0{,}41}}\right) * Qmd$

Los valores de a es 6,38 y b es 0,41 son específicos para la cuenca del Tajo, comprobándose que estos valores de los parámetros, previamente establecidos en los estudios del CEDEX en la cuenca del Tajo, se ajustaban a los resultados obtenidos (río Guadarrama).

Mediante la aplicación CHAC (Cálculo Hidrometeorológico de Aportaciones y Crecidas del CEDEX) y con las serie de aportaciones registradas en las diferentes estaciones de aforo se obtuvieron gráficos de caudales medios mensuales y el cronograma.

El análisis de las funciones de distribución permite comprobar la capacidad de las funciones para adaptarse a los datos de las muestras (capacidad descriptiva), y la precisión y robustez de las funciones para extrapolar a altos periodos de retorno (capacidad predictiva), añadiendo la información histórica y regional para mejorar la extrapolación. La ley de frecuencia empleada ha sido la función GEV (Valores Extremos Generalizada), con el ajuste de los momentos, puesto que es la que mejor representa el comportamiento de la cuenca de estudio.

Posteriormente se han calculado las medias de diez años consecutivos con dato de máximos caudales anuales para determinar el caudal de la máxima crecida ordinaria (art. 4 RDPH).

4.4. ANÁLISIS MAPA DE CAUDALES MÁXIMOS DE LA CUENCA DEL TAJO

4.4.1. METODOLOGÍA EMPLEADA

La aplicación de caudales máximos (*CauMax*), "Mapa de caudales máximos de avenida para la red fluvial de la España peninsular", tiene como objeto fundamental caracterizar estadísticamente dicho fenómeno mediante el conocimiento de su ley de frecuencia, la cual relaciona la magnitud del caudal punta de avenida con su frecuencia de presentación (periodo de

retorno). Se trata de una estimación de los caudales máximos en situación natural, en cualquier punto de la red fluvial, y de aplicación en la zonificación de áreas inundables.

Mediante este estudio se pretende evaluar la correspondencia entre los resultados obtenidos en los mapas de caudales máximos en régimen natural (escala nacional), y los valores resultantes del análisis foronómico, en régimen real.

El estudio de caudales máximos en la cuenca del Tajo ha partido de la selección de estaciones de aforos ROEA, estaciones SAIH y embalses con suficiente información. Las series de datos seleccionadas tienen verificada su calidad estadística (test de Mann-Kendall), además de tener información regional e histórica. Las variables que tiene en cuenta para el cálculo del resultado final son el área de la cuenca, el cuantil de precipitación máxima diaria, altitud media de la cuenca, pendiente media de la cuenca y el umbral de escorrentía (P_0).

4.5. RESULTADOS ANÁLISIS FORONÓMICO *versus* MAPA CAUDALES MÁXIMOS

Para la visualización de los resultados obtenidos por ambos métodos se ha elaborado la siguiente tabla, donde quedan englobados todos los resultados obtenidos en el estudio hidrológico.

Tabla 1: Resumen estudio hidrológico de la zona objetivo en el río Guadarrama.

	RESULTADOS	ESTACIÓN DE AFOROS-Río Guadarrama (CH Tajo)			
	CÓDIGO EA	3100	3194*	3179	3102
Datos generales	Periodo (años)	1962/63-2001/02	1967/68-1990/91	1965/66-1981/82	1962/63-1992-93
	Años totales	38	20	17	31
	Años completos	34	13	14	25
	Área (Km^2)	234	366	798	1353
	Q medio máximo anual (m^3/s)	27	22	46	68
	Qi Fuller (m^3/s)	46	35	**65**	91
	Q medio 1965-75 (m^3/s), Q_{MCO}	38	46	**61**	110
	Q medio 1975 a 1985 (m^3/s)	24	9	31	52
	Q medio 1965 a 1985 (m^3/s)	33	24	46	85
GEV (CHAC)	Q_{MI} (m^3/s), T = 2 años	40	16	51	82
	Q_{MI} (m^3/s), T = 2,33 años	49	21	**67**	108
	Q_{MI} (m^3/s), T = 5 años	68	30	97	136
	Q_{MI} (m^3/s), T = 10 años	85	38	126	165
	Q_{MI} (m^3/s), T = 25 años	107	49	160	196
	Q_{MI} (m^3/s), T = 50 años	122	57	185	216
	Q_{MI} (m^3/s), T = 100 años	136	64	**208**	233
	Q_{MI} (m^3/s), T = 500 años	168	79	**259**	263
CauMax	Q_{MI} (m^3/s), T = 2 años	39	50*	61	71
	Q_{MI} (m^3/s), T = 2,33 años	44	57*	**71**	83
	Q_{MCO} (m^3/s), T = 4 años	65	83*	**105**	127
	Q_{MI} (m^3/s), T = 5 años	73	92*	120	145
	Q_{MCO} (m^3/s), T = 10 años	99	125*	162	199
	Q_{MCO} (m^3/s), T = 25 años	136	171*	223	277
	Q_{MCO} (m^3/s), T = 100 años	198	250*	**332**	417
	Q_{MCO} (m^3/s), T = 500 años	283	356*	**490**	619

Hay que añadir que los valores de la estación 3194 (*), para *CauMax* pertenecen a la estación SAIH AR19, se muestran a modo de orientación. Se ha considerado oportuno tenerlos en cuenta para conocer el orden de magnitud del caudal registrado en ese tramo del río Guadarrama, puesto que la estación 3194 no tiene información suficiente.

En la tabla resumen se observa una diferencia significativa en los periodos de 10 años consecutivos. El valor del caudal medio en el periodo comprendido entre 1965 y 1975, es casi el doble que el caudal de las décadas posteriores.

4.6. FUNCIONAMIENTO DE LA CUENCA

En el término municipal de Galapagar, el curso del río Guadarrama se encuentra con el embalse de Las Nieves. Dicho azud fue construido en 1977, y cuenta con una capacidad de 0,3 hm^3. La función de este embalse es captar aguas que se canalizan hacia el pantano de Valmayor, construido en 1975, con una capacidad de embalse de 125 hm^3 y formado por el río Aulencia.

Las aguas del Guadarrama llegan a Valmayor mediante un túnel de trasvase, de unos cinco kilómetros de longitud, que tiene su origen en Las Nieves. Este canal artificial puede verter un caudal de hasta 30 m^3/s. Además el embalse de Valmayor se alimenta también de las aguas del arroyo Ladrón, afluente del Aulencia.

En el término municipal de Las Rozas de Madrid, el río es retenido, de nuevo, en el embalse Molino de la Hoz construido en 1973 y con un volumen de embalse de 0,4 hm^3.

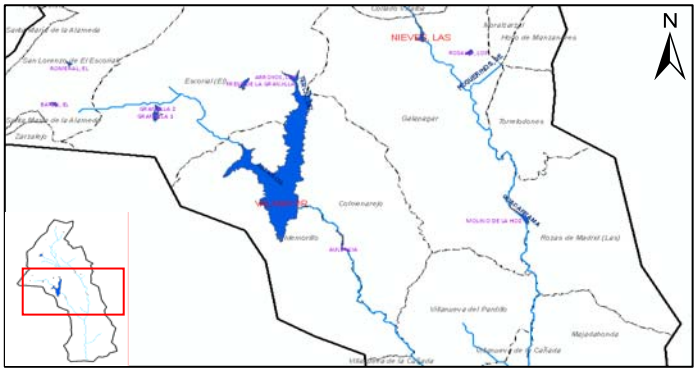


Figura 6: Zona centro de la cuenca de estudio (río Guadarrama).

Aguas abajo del embalse de Las Nieves y Molino de la Hoz, el caudal del Guadarrama se incrementa sensiblemente ya que el río Aulencia, el más importante de sus afluentes, vierte sus aguas. Finalmente nos encontramos con el punto de cierre de la cuenca de estudio en el cruce del Río Guadarrama con la A-5.

En la tabla que se muestra a continuación se observan que los caudales máximos diarios de las estaciones de aforo consideradas. Se produce una diferencia significativa en la estación 3194, que registra una media de caudal menor que las situadas aguas arriba de la cuenca. Hecho que puede deberse a la construcción del azud de Las Nieves y su trasvase al embalse de Valmayor (río Aulencia). Para ello se ha procedido al cálculo de los caudales medios antes y después del año 1977, año de construcción de Las Nieves.

Tabla 2: Comparación medias de los caudales medios registrados antes y después de 1977 (Las Nieves).

ESTACIÓN DE AFORO	Q_m antes de 1977 (m^3/s)	Q_m después de 1977 (m^3/s)	DIFERENCIA %
3194	39	8	-79
3179	55	34	-38
3102	101	39	-61

4.7. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO HIDROLÓGICO

Tras el estudio hidrológico realizado se puede concluir lo siguiente:

- Las estaciones 3194 y 3179 (punto de cierre de la cuenca de estudio) son poco fiables debido a los pocos registros (menos de 15 años completos) en la serie de aforos.
- La cuenca se encuentra en régimen muy alterado debido al número de embalses localizados en la cabecera de la cuenca.
- Se observa un descenso importante en el caudal registrado aguas abajo de la presa de las Nieves, estación 3194, a partir de su construcción en 1977. Dicha variación no se aprecia en los caudales obtenidos a partir del mapa de caudales máximos (régimen natural), donde el caudal registrado aumenta progresivamente de aguas arriba hacia aguas abajo.
- Según el artículo 4 de TRLA, el cauce natural corresponde con el terreno cubierto en la máxima crecida ordinaria, que según la aplicación *CauMax* correspondería con un caudal de 105 m^3/s en el punto de cierre (EA 3179), con un periodo de retorno de 4 años. Mientras que según el estudio foronómico, dicho caudal correspondería con 61 m^3/s, obtenido a partir de la media del caudal máximo anual durante 10 años consecutivos. Existe un desfase entre los datos obtenidos, siendo más alto para el dato de los mapas de caudales máximos. Esto puede deberse a que están en régimen natural (*CauMax*), en una cuenca donde el régimen hidrológico parece muy alterado por la presencia de presas de regulación.
- El caudal obtenido, tanto en el análisis foronómico como en el de caudales máximos, para un periodo de retorno de 2,33 años (MCO) es muy similar: Q_{MI} (m^3/s) = 67 para los datos de aforos directos, y Q_{MI} (m^3/s) = 71, para el mapa de caudales máximos. Mientras que el caudal máximo instantáneo según la fórmula de Fuller es de 65 m^3/s para la estación 3179.
- Para los periodos de retorno de 10, 100 y 500 años, los caudales obtenidos difieren significativamente, siendo mayores los valores resultantes del mapa de caudales, que se puede deber a la estimación que se hace de los mismos puesto que la escala del mapa es a nivel nacional.

5. ESTUDIO GEOMORFOLÓGICO

El área de estudio se clasifica dentro de la provincia Mediterránea Ibérica Occidental, y localizada en la subprovincia Carpetano-Leonesa, de bioclima Mediterráneo pluviestacional oceánico (clasificación de Rivas Martínez *et al*., 2002).

En relación al tamaño de la cuenca, comprende un área de 798 km^2, y se encuadra dentro de las de tamaño mediano. La forma de la cuenca es alargada, por tanto la respuesta ante una avenida es más atenuada. En el tramo de estudio los cauces son más anchos y de menor pendiente, con regímenes de caudales más regulares y permanentes. En condiciones naturales, el trazado tiende a ser más sinuoso y meandriforme.

La geología de la cuenca vertiente influye en los ecosistemas acuáticos principalmente en el grado de mineralización del agua, más elevado cuanto mayor sea la solubilidad de la roca

o sedimentos del lecho. En la cuenca de estudio, la geología dominante está compuesta en el tramo de cabecera por materiales silíceos, y en su curso medio por materiales detríticos.

La pendiente más pronunciada se encuentra en la denominada falla de Torrelodones, siendo la transición entre las dos unidades geológicas: la Rampa de la Sierra y la Llanura arenosa de la depresión del Tajo. Se pasa de una altura de 941 m a los 675 m. El río Guadarrama se encaja en esta zona, configurando un desfiladero.

Desde un punto de vista geomorfológico, la parte septentrional integra formaciones graníticas y materiales de gneis, mientras el resto de la cuenca se caracteriza por campiñas detríticas y vegas, formadas a partir de los depósitos aluviales del cuaternario, a través de inundaciones y flujos de barro. Los materiales areno-arcillosos rellenan la antigua depresión sobre la que se encuentra la mayor parte de la cuenca del Guadarrama.

Los aluviones son frecuentes en el curso medio de este río. Se originaron hace dos millones de años y están constituidos por arenas blancas, con un alto componente de cuarzo. También hay numerosas terrazas, que aparecen preferentemente en la margen derecha del río. Son resultado de lentos procesos de sedimentación y erosión, que fueron profundizando el cauce hasta dejar colgados los depósitos.

El régimen de caudales es permanente de influencia pluvial, porque el mayor caudal registrado es durante los meses de enero-febrero-marzo. Se ha empleado para el estudio de régimen de caudales la estación de aforos 3102, para un periodo que comprende los años 1962-1993 y una superficie de 1353 km^2 (ver Figura 7).

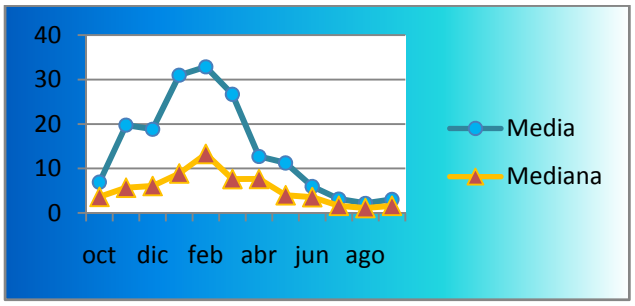


Figura 7: Régimen de caudales del río Guadarrama. Eje x: meses año hidrológico; eje y: Q medio m^3/s.

En base a la clasificación realizada por González Tánago *et al.*, 2006, se trata de un valle *Tipo 2*, tramos medios, con influencia del relieve y la hidrología de las laderas en la morfología del cauce. Es un valle relativamente abierto, con una inclinación de las laderas vertientes inferior a 45°, a menudo surcadas por una red de afluentes, un ejemplo de ello es el Arroyo del Soto.

Respecto a las características hidráulicas, la granulometría en el lecho de los ríos es un indicador de la velocidad de la corriente. En general, el tamaño de los sedimentos, encontrando en los tramos medios y bajos tamaños cada vez más pequeños. En el tramo de estudio, el río Guadarrama presenta un substrato de gravilla (2-0,2 cm de diámetro) y arena (0,2-0,02 cm de diámetro).

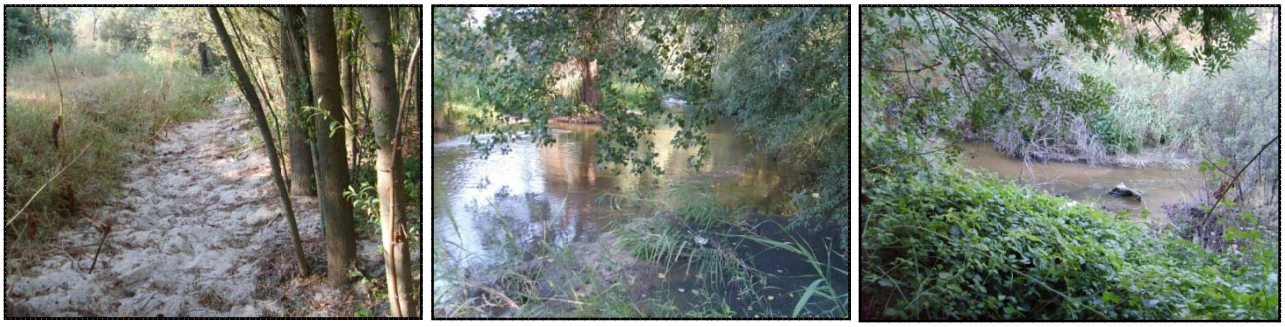


Figura 8: Substrato de arenas en la orilla del río Guadarrama (izqda), dunas en el lecho del río (centro), y zarzas en las orillas (dcha).

La forma del lecho en el tramo medio del Guadarrama, donde la geología de la cuenca produce grandes cantidades de arena, forman tramos de ríos arenosos con formas de lecho conocidas como dunas que junto con las rizaduras son consecuencia de velocidades más lentas o en épocas de estiaje.

Las formaciones vegetales que se encuentran como vegetación de orilla, muy tolerantes a las inundaciones, son los juncos (*Schoenoplectrum lacustris*), situados en tramos con velocidad de corriente pequeña y con substratos de granulometría fina, y carrizos que se crecen en cualquier tipo de substrato, y toleran velocidades de corriente más altas. En los taludes verticales del cauce se han desarrollado zarzas (*Rubus sp*.).

En la ribera del río Guadarrama, en suelos mejor aireados y con menor grado de saturación, especies tolerantes al paso periódico de avenidas pero no a las inundaciones permanentes son sauces (*Salix alba*, *Salix fragilis*), alisos (*Alnus glutinosa*), fresnos (*Fraxinus angustifolia*) y chopos (*Populus sp*.).

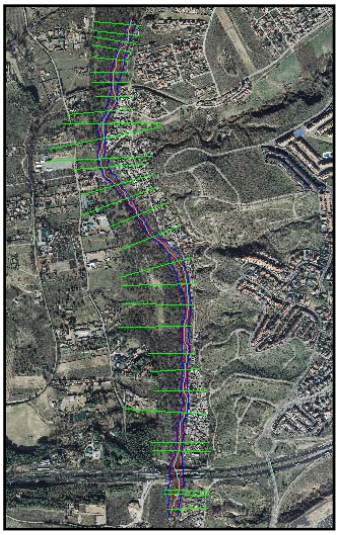
6. ESTUDIO HIDRÁULICO

El objetivo de este estudio es la determinación de las zonas inundables del tramo de estudio del río Guadarrama elegido para diferentes caudales (MCO, T=100 años, T=500 años) obtenidos previamente en el estudio hidrológico.

Se ha empleado para ello la combinación de los programas ArcView y HEC-RAS. ArcView ha sido empleado para la creación de la geometría del cauce y posterior delimitación de las zonas de inundación. HEC-RAS se ha empleado para la modelización hidráulica, es decir para la obtención del perfil de la lámina de agua en función del caudal circulante.

En el caso de estudio, un tramo de más de 2 km, se han trazado 30 secciones transversales manualmente, número que se ve ampliado a 118 con la interpolación realizada en HEC-RAS, a una distancia de 20 metros entre sección y sección.

Las condiciones de contorno introducidas son las de calado normal, con un valor de pendiente del 0,07% aguas arriba, y 0,12% de pendiente aguas abajo del tramo.



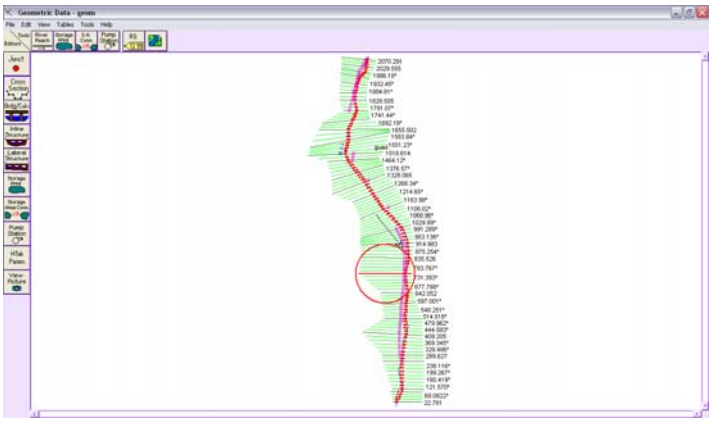
USOS SUELO (CORINE)	n Manning
Bosque	0,075
Zona urbana	0,09
Zona agrícola-heterogéneas	0,04
Agua río	0,04

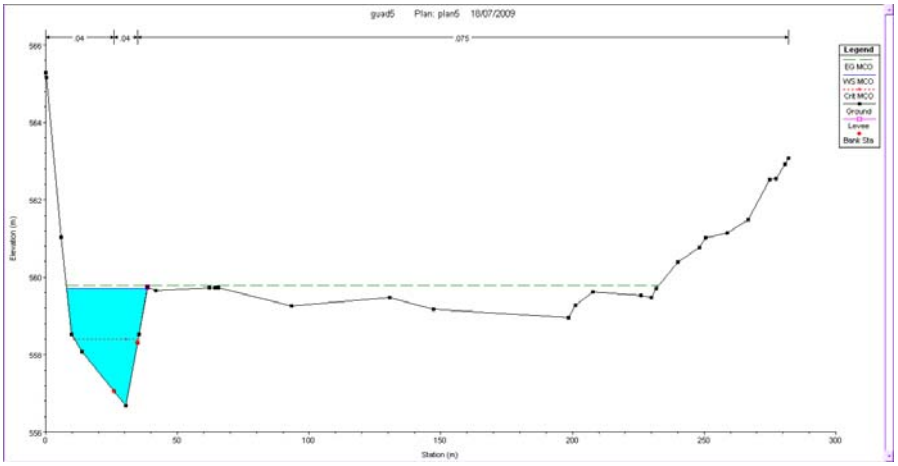
Q_{MCO} (m^3/s)	61
Q_{MCO} (CEDEX) (m^3/s)	105
$Q_{T=100}$ (m^3/s)	208
$Q_{T=500}$ (m^3/s)	259

Figura 9: Tramo de estudio del río Guadarrama.

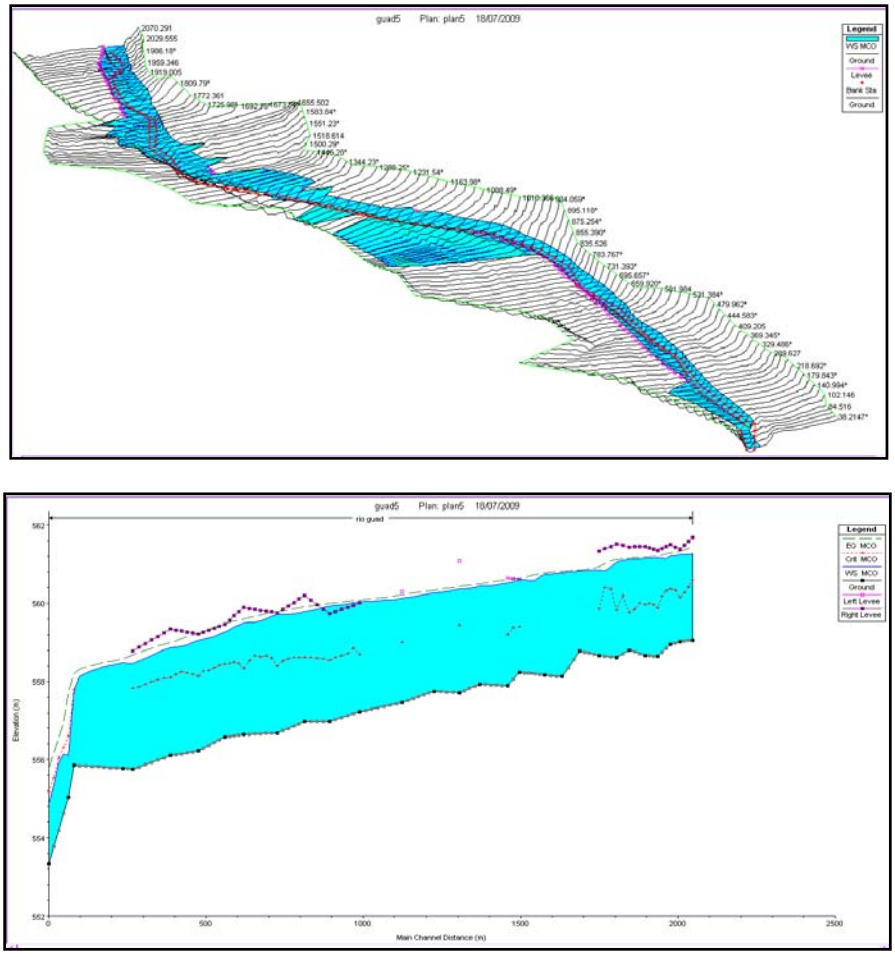
Una vez ejecutado el modelo se han obtenido los resultados siguientes:

- *Tramo modelizado y sección transversal, próxima al puente de la A-5, obtenida en la aplicación:*





- *Perfiles longitudinales, desde aguas arriba hacia aguas abajo, obtenidos para la máxima crecida ordinaria:*



Una vez obtenidos los resultados en HEC-RAS, se exportan a Arcview para determinar las manchas de inundación correspondientes a cada periodo de retorno.

7. DELIMITACIÓN DEL ESPACIO FLUVIAL

Para la delimitación del espacio que debe considerarse "territorio fluvial" en el tramo de río, hay que prestar especial interés a la regulación de los usos de los terrenos colindantes con el fin de prevenir el deterioro de los ecosistemas acuáticos y proteger el régimen de corrientes en avenidas, favoreciendo la disipación de la energía y la retención del agua y los sedimentos.

Como se ha podido apreciar a través de las fotografías aéreas en los años 50 el entorno próximo al río estaba caracterizado por acciones erosivas y de sedimentación, junto con las actividades antrópicas de extracción de áridos en diversas zonas de las orillas, y actividad agrícola en los terrenos colindantes. El bosque de ribera no estaba tan denso y desarrollado como en la actualidad, debido al paso de mayores caudales, y el cauce del río en aguas bajas ocupaba aproximadamente 15 metros.

En las últimas décadas, la evolución del cauce del Guadarrama manifiesta una tendencia a la disminución. Actualmente el ancho del cauce del Guadarrama, en el tramo objetivo, es de aproximadamente 9 m, con la consecuente reducción del espacio fluvial, con un mayor encajamiento del río. El bosque de ribera es más denso y está en buen estado (índice QBR, *Qualitat del Bosc de Ribera*), ocupando la margen izquierda, mientras que la margen derecha (principalmente), está "poblada" de construcciones-infraviviendas, con los impactos ambientales que ello conlleva.

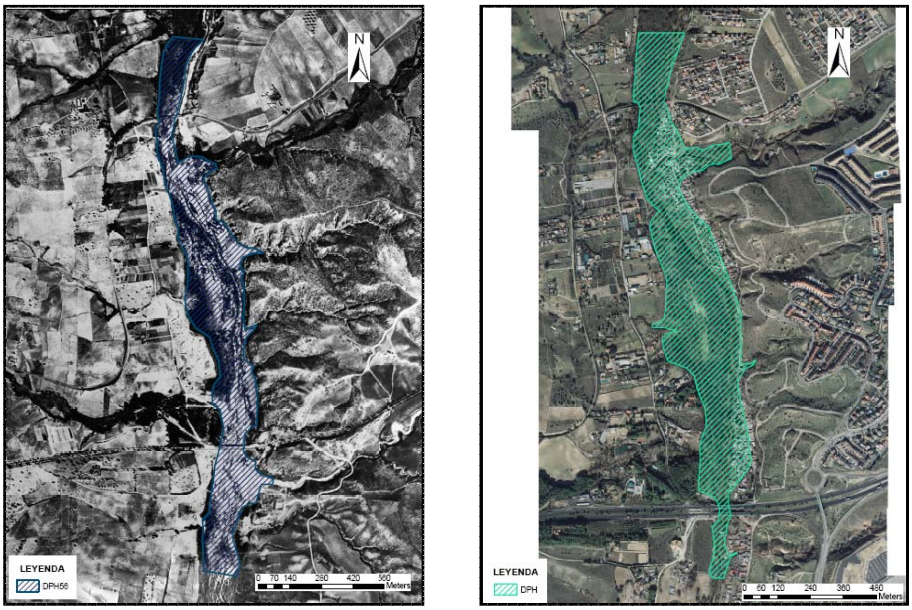


Figura 10: Delimitación geomorfológica del DPH, en 1956 (izda.) y actual (dcha.).

El análisis geomorfológico planteado se basa en el estudio de las evidencias generadas por la circulación de las aguas sobre los terrenos inundables. Las evidencias topográficas, por alteración en la topografía, pendientes, llanos y zonas de acumulación de sedimentos. También se han determinado evidencias efímeras, de origen reciente, como son depósitos flotantes, sedimentos fluviales expuestos (arcilla, limos) y bajo-nulo desarrollo edáfico, topografía irregular, arribazones (indicadores de calado y velocidad) y canales sin conexión con el cauce, con evidencias de inundación reiterada.

Figura 11: Evidencias efímeras de sedimentos (izda. y centro). Evidencias topográficas: ondulaciones (dcha.).

Tras la comparación de los resultados obtenidos en la delimitación espacial del DPH, por criterios geomorfológicos, hidrológicos e hidráulicos, se ha decidido tomar el DPH resultante del caudal calculado mediante los aforos.

La zona de inundación peligrosa (ZIP), va asociada a situaciones en las que peligra la integridad física de una persona. Dicha zona ha sido definida como "*calados superiores a 1 m, velocidades mayores de 1 m/s y situaciones en las que el producto de ambas variables sea mayor a 0,5 m^2/s*" (Estrela y Témez, 1993).

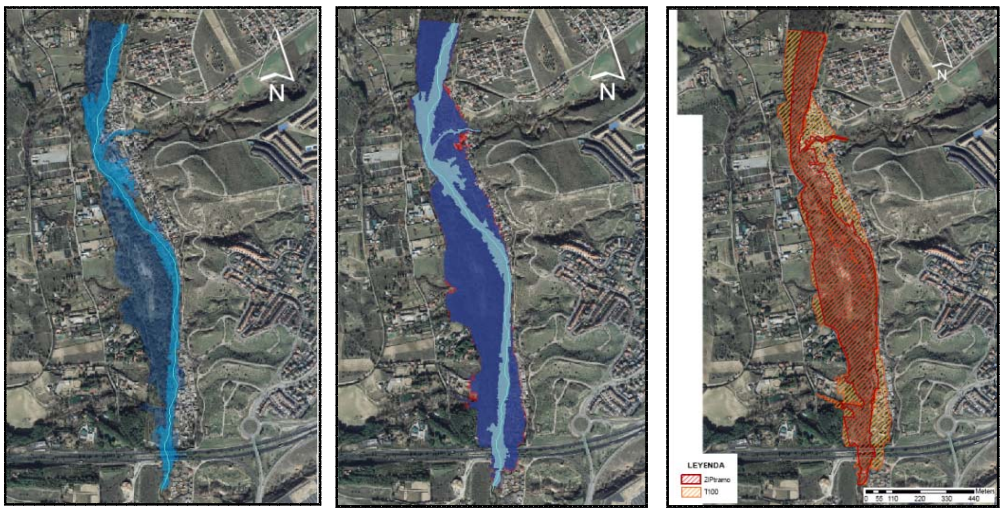


Figura 12: Modelo hidráulico delimitación DPH (izda.), manchas de inundación (DPH, T100, T500) (centro), y zona de inundación peligrosa (dcha).

La vía de intenso desagüe, asociada al concepto de zona de Policía, se define de forma que pase por ella la avenida de 100 años de periodo de retorno sin producir una sobreelevación de 0,3 m mayor que la que se produciría con esa misma avenida considerando toda la llanura de inundación existente.

La zona de flujo preferente (ZFP) es aquella zona constituida por la unión de la zona o zonas donde se concentra preferentemente el flujo durante las avenidas, o vía de intenso desagüe, y de la zona de inundación peligrosa (ZIP).

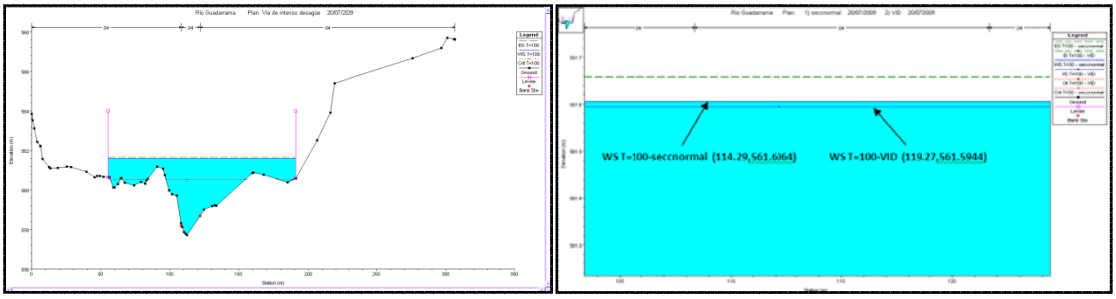


Figura 13: Perfiles transversales resultantes de HEC-RAS. Visualización de la determinación de la vía de intenso desagüe.

Es importante comparar el resultado con los datos catastrales existentes, puesto que la mayoría de las construcciones de la margen izquierda están de forma ilegal en terrenos que no tienen propiedad.

8. PROPUESTA DE ACTUACIONES

8.1. IMAGEN DE REFERENCIA

Espacio fluvial sin ocupación urbana, con los procesos naturales de sedimentación y erosión, es decir, con el funcionamiento y estructura natural, sin regulación del caudal del río aguas arriba.

8.2. IMAGEN OBJETIVO

Restauración de las llanuras de inundación, fundamentalmente, en la margen izquierda, recuperación del espacio fluvial mediante la eliminación de parte de las viviendas-infraviviendas allí instaladas. De esta forma, el ecosistema irá recobrando poco a poco su funcionamiento y estructura. Como consecuencia de todo ello, se disminuirá la vulnerabilidad, exposición de la zona al riesgo de los fenómenos de avenida.

8.3. ACTUACIONES

A través del presente estudio y de la información localizada en el informe resumen IMPRESS de la Confederación Hidrográfica del Tajo, y a la vista de los resultados históricos, geomorfológicos, históricos, hidráulicos y ambientales, se proponen una serie de actuaciones en la zona del tramo para la restauración del mismo, y a su vez reducir en la medida de lo posible el riesgo de inundación.

A corto plazo, promover el aumento del espacio de movilidad fluvial-conectividad lateral; conservación de los ecosistemas de ribera; control de la vegetación alóctona o invasora; mejora de la movilidad de la fauna piscícola; adecuación y fomento del uso social del cauce y sus riberas en sus aspectos didácticos y recreativos (programas de voluntariado en ríos).

A largo plazo se propone la mejorar la dinámica fluvial, con la mejora el medio acuático y terrestre asociado; fomento de un uso social del río más atrayente y respetuoso con el medio; fomentar la integración de las políticas de uso y gestión del territorio, con las políticas de uso y gestión de los ríos, con criterios de sostenibilidad.

El Proyecto de Acondicionamiento del río Guadarrama, realizado por la Confederación Hidrográfica del Tajo, contempla dos puntos de actuación de repoblación de diques, dentro del término de Móstoles, como defensa frente a inundaciones, al igual que la posible construcción de una mota. Dichas acciones aún no se han llevado a cabo.

En concordancia con la legislación vigente, mediante el presente estudio realizado se propone la eliminación de parte de las "viviendas" situadas en las proximidades del puente de la autovía A-5, puesto que ocupan la zona de servidumbre del río (primeros 5 m), y tienen mayor riesgo ante una avenida. Según información catastral consultada, no existen propietarios. Ante dicha situación de problemática social, se propondría el realojo de los habitantes de dichas viviendas, en otros lugares.

Como medidas para las viviendas que permanecerían aún en la zona de policía, tras las acciones propuestas, se realizarían actuaciones para reducir la vulnerabilidad de las mismas. La creación de muros impermeables, junto con la instalación de válvulas con clapetas (sin retorno), ventanas y puertas con cierre sellado.

Se planificaría el área que actualmente está ocupada por "infraviviendas", mediante calles que ayudarían a desaguar más fácilmente en caso de avenida.

Respecto a la llanura de inundación, en la margen izquierda, tras el despeje de construcciones, y limpieza de residuos, se procedería a rebajar ligeramente la pendiente. En la margen derecha, la cual es más llana, se realizarían pequeños surcos, canales secundarios en el suelo, respetando el entorno del bosque de ribera. Dichas labores favorecen la dinámica fluvial, puesto que se aumenta el espacio fluvial, con el menor impacto posible en el medio. No se garantiza que no se produzcan nuevas inundaciones, pero sí se disminuye el riesgo debido al aumento del espacio fluvial, con el que se espera una mejor y mayor dispersión de la energía de los fenómenos naturales de avenidas.

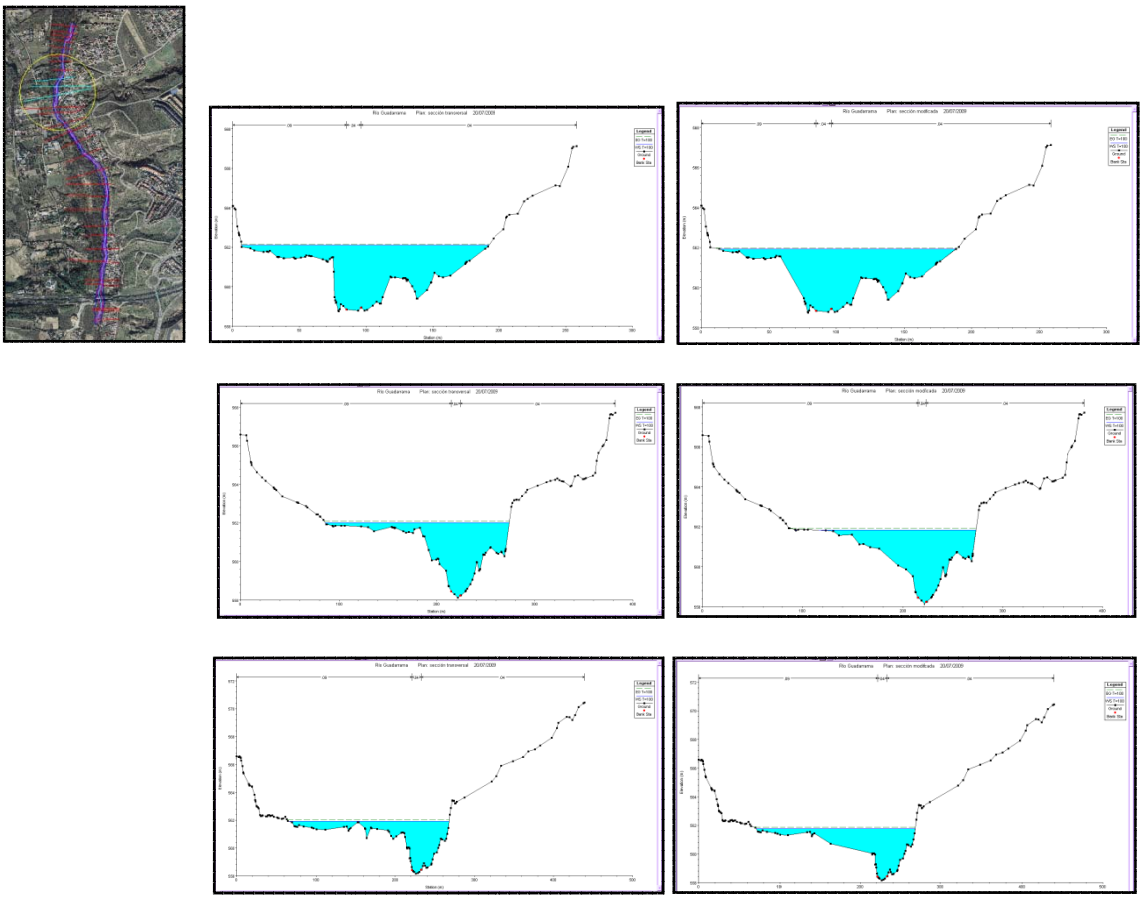


Figura 14: Perfiles transversales de las secciones introducidas en HEC-RAS. Perfil antes de las actuaciones propuestas (izda.) y después (dcha.).

9. CONCLUSIONES FINALES

A lo largo del estudio realizado se puede comprobar la importancia de las inundaciones como riesgo natural, tanto por las pérdidas que ocasiona, como por la recurrencia de las mismas. En este sentido la realización de estudios de zonas inundables, junto con programas y medidas para la recuperación del espacio fluvial, son necesarios e imprescindibles para la consecución de los objetivos marcados por la Directiva Marco para el año 2015, y por la Directiva de evaluación y gestión del riesgo de inundación.

En los estudios de recuperación del espacio fluvial junto con los de inundaciones, hay que tener en cuenta todos los aspectos condicionantes: geomorfología, hidrología, hidráulica, criterios ambientales, ordenación del territorio y sociales (participación pública). Estos trabajos se justifican ante la inadecuada planificación de los usos del suelo que se ha venido llevando a cabo hasta ahora. Una de las consecuencias de la ejecución de este tipo de ordenación son asentamientos ilegales en zonas con inundaciones recurrentes, zona de DPH y zona de servidumbre. Es el caso de la colonia del Guadarrama o poblado de las Sabinas, situados ambos a orillas del río Guadarrama.

El río Guadarrama ha disminuido su caudal circulante, y como consecuencia ha estrechado su cauce. Dichos sucesos tienen como resultado la variación del Dominio Público Hidráulico y la modificación de las zonas de riesgo.

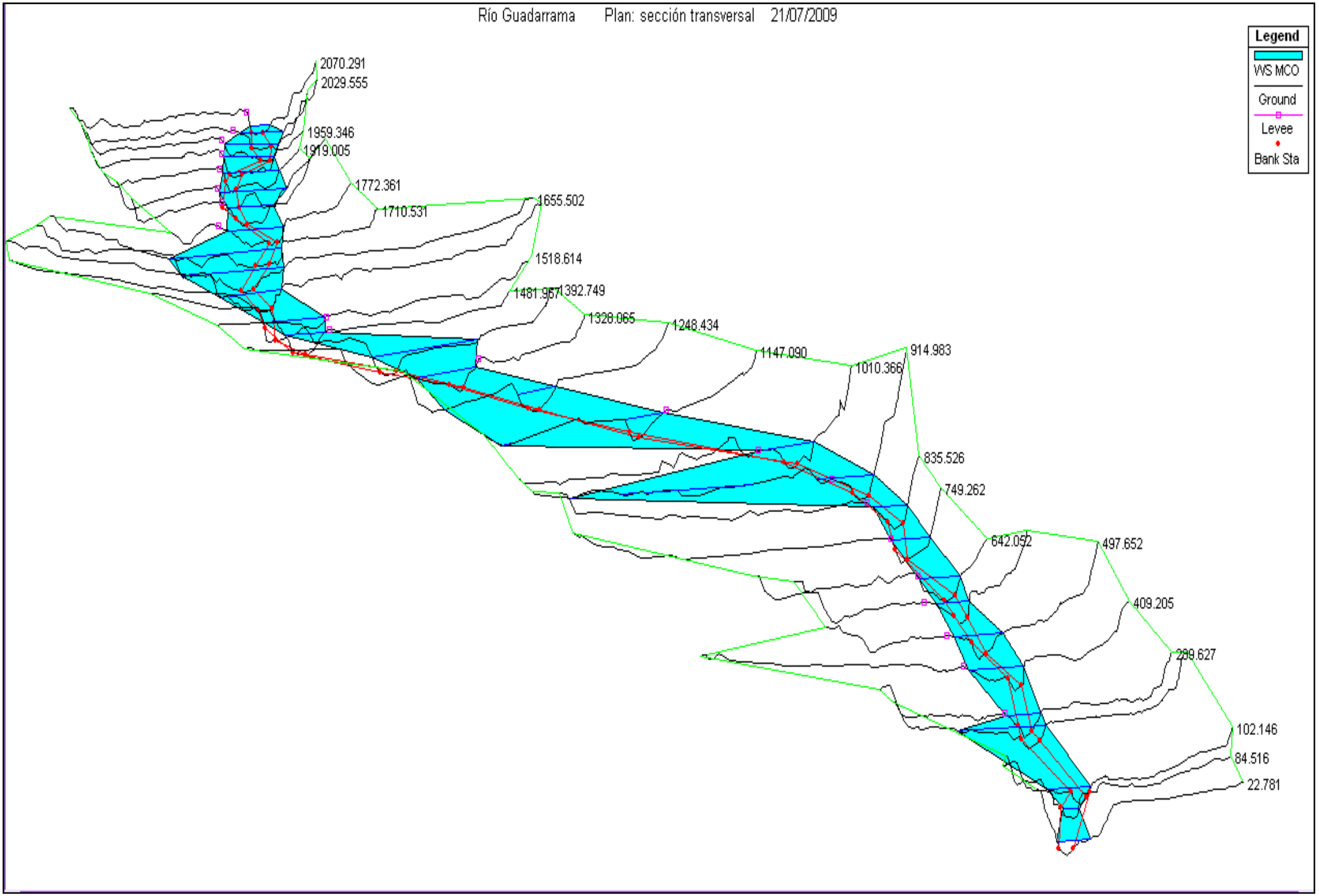
A través del estudio del tramo de río afectado, se han propuesto una serie de medidas para mejorar la defensa ante inundaciones y recuperar el espacio fluvial. Se trata de actuaciones de minimización. Aunque la solución más eficiente, ante este tipo de situaciones ambientales-sociales, pasa por el consenso y realización de convenios, por parte de las tres administraciones implicadas, principalmente la Confederación Hidrográfica del Tajo, Comunidad Autónoma de Madrid y Ayuntamiento de Móstoles, junto con los vecinos afectados en los poblados ilegales. La importancia de llevar a cabo soluciones válidas se ve acentuada por la declaración del río como Parque Regional (“Curso Medio del Río Guadarrama”).

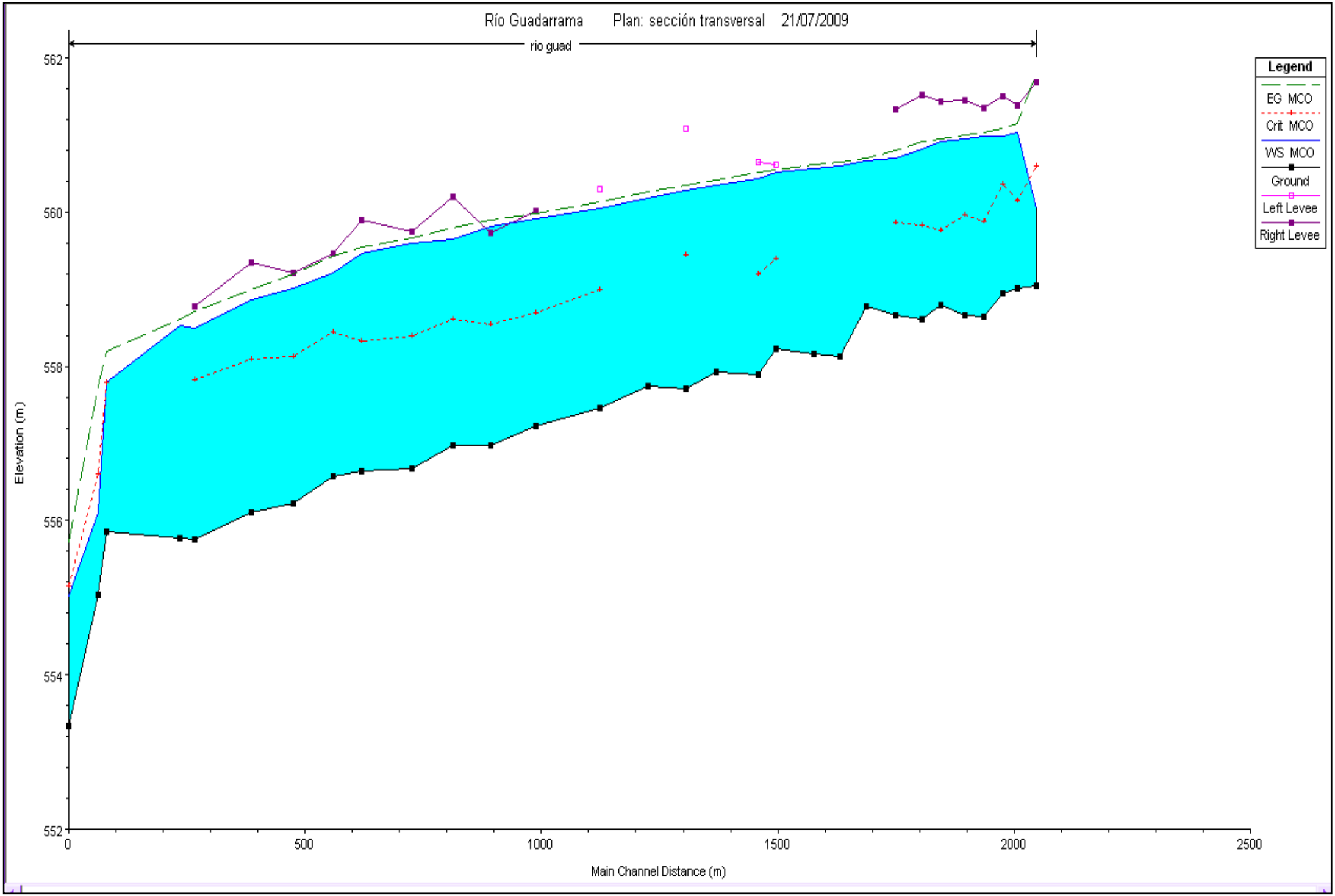
ANEXO I

PERFILES Y SECCIONES TRANSVERSALES PARA LA MÁXIMA CRECIDA ORDINARIA

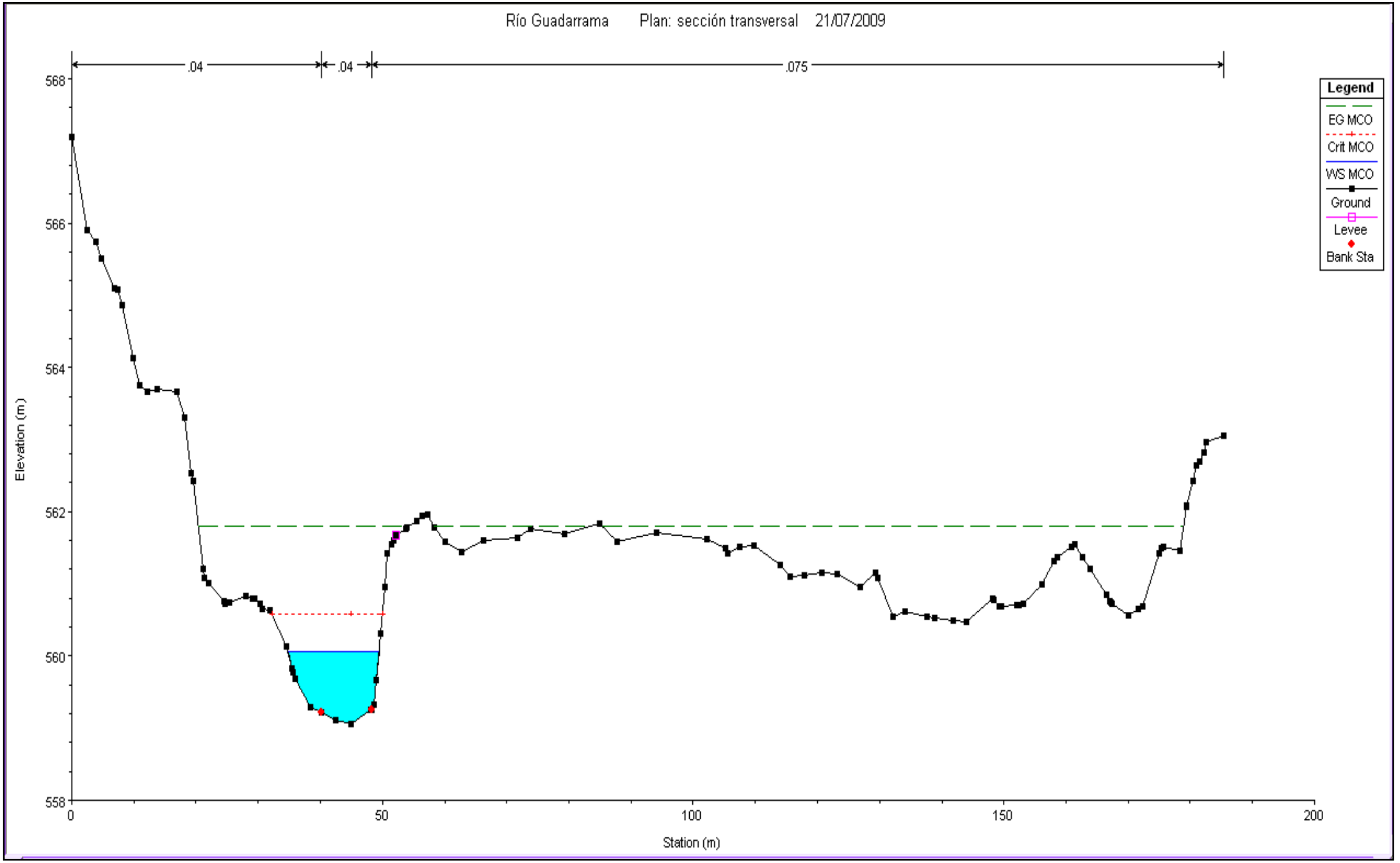
MARINA BLANCO FLORES

MARTA FERNÁNDEZ BOYANO

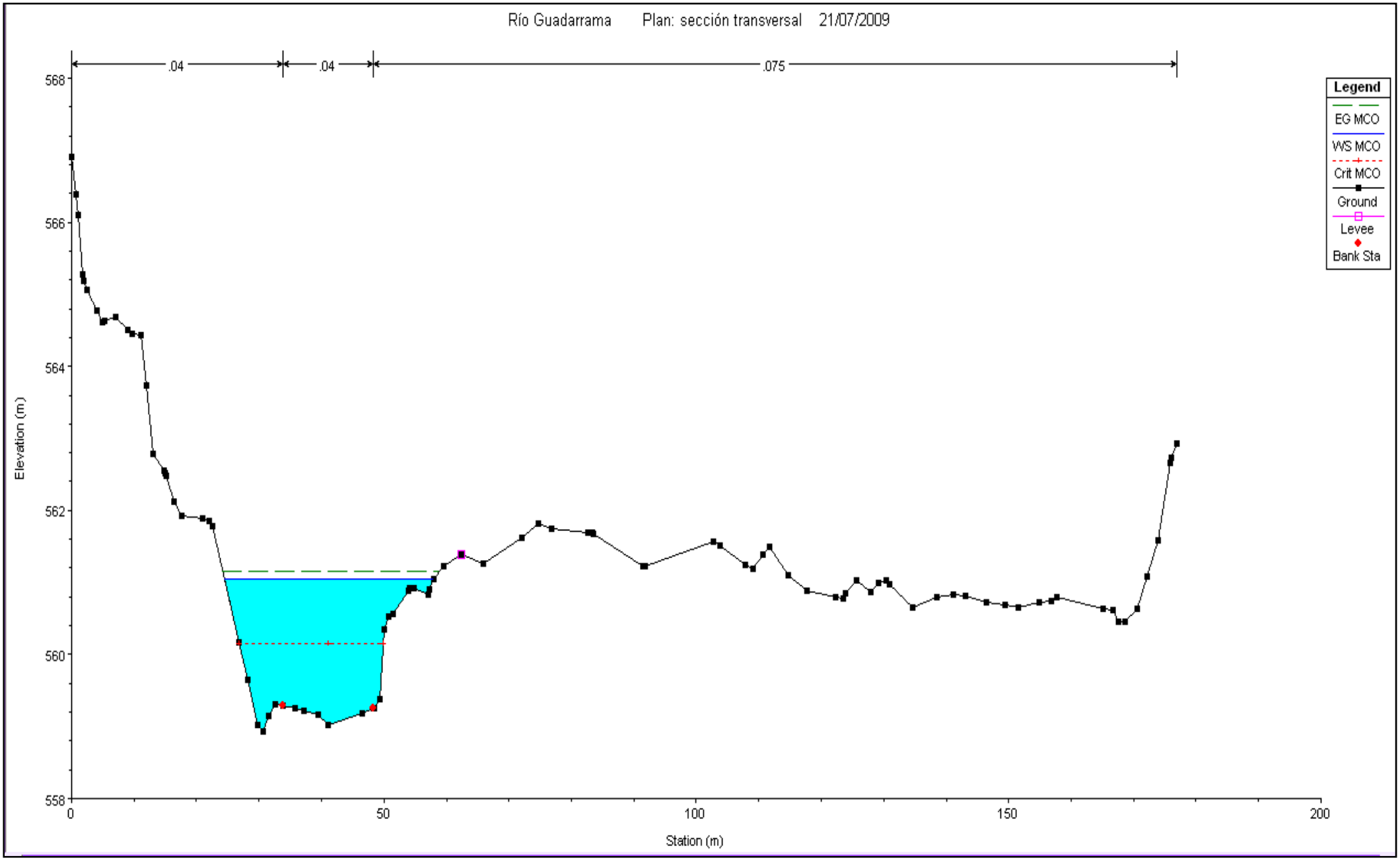

Río Guadarrama Plan: sección transversal 21/07/2009
Legend
WS MCO
Ground
Levee
Bank Sta
2070.291
2029.555
1959.346
1919.005
1772.361
1710.531
1655.502
1518.614
1481.957
1392.749
1328.065
1248.434
1147.090
1010.366
914.983
835.526
749.262
642.052
497.652
409.205
289.627
102.146
84.516
22.781


Río Guadarrama Plan: sección transversal 21/07/2009
rio guad
Legend
EG MCO
Crit MCO
WS MCO
Ground
Left Levee
Right Levee
Elevation (m)
562
560
558
556
554
552
0
500
1000
1500
2000
2500
Main Channel Distance (m)

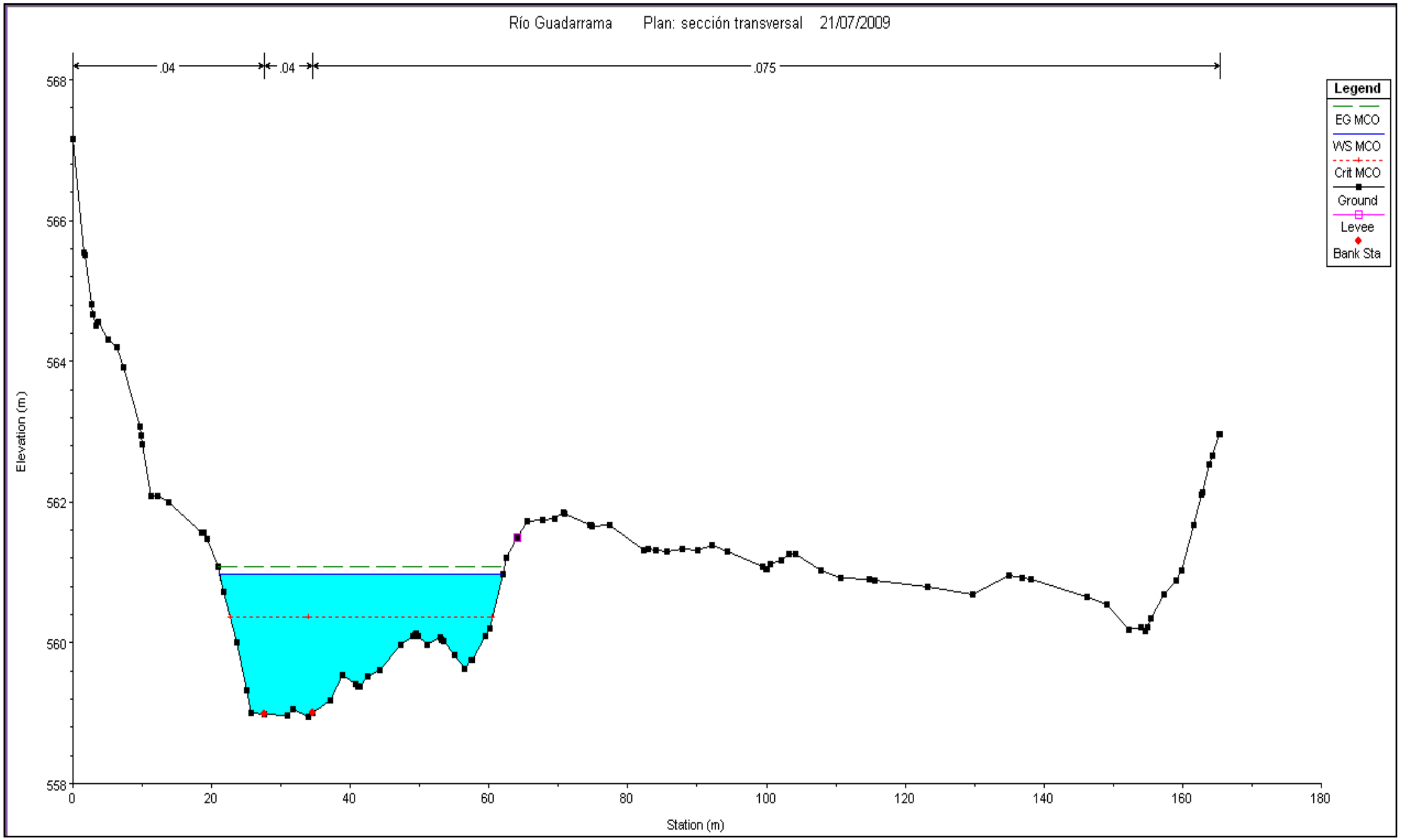
Río Guadarrama- Sección transversal 2070.291



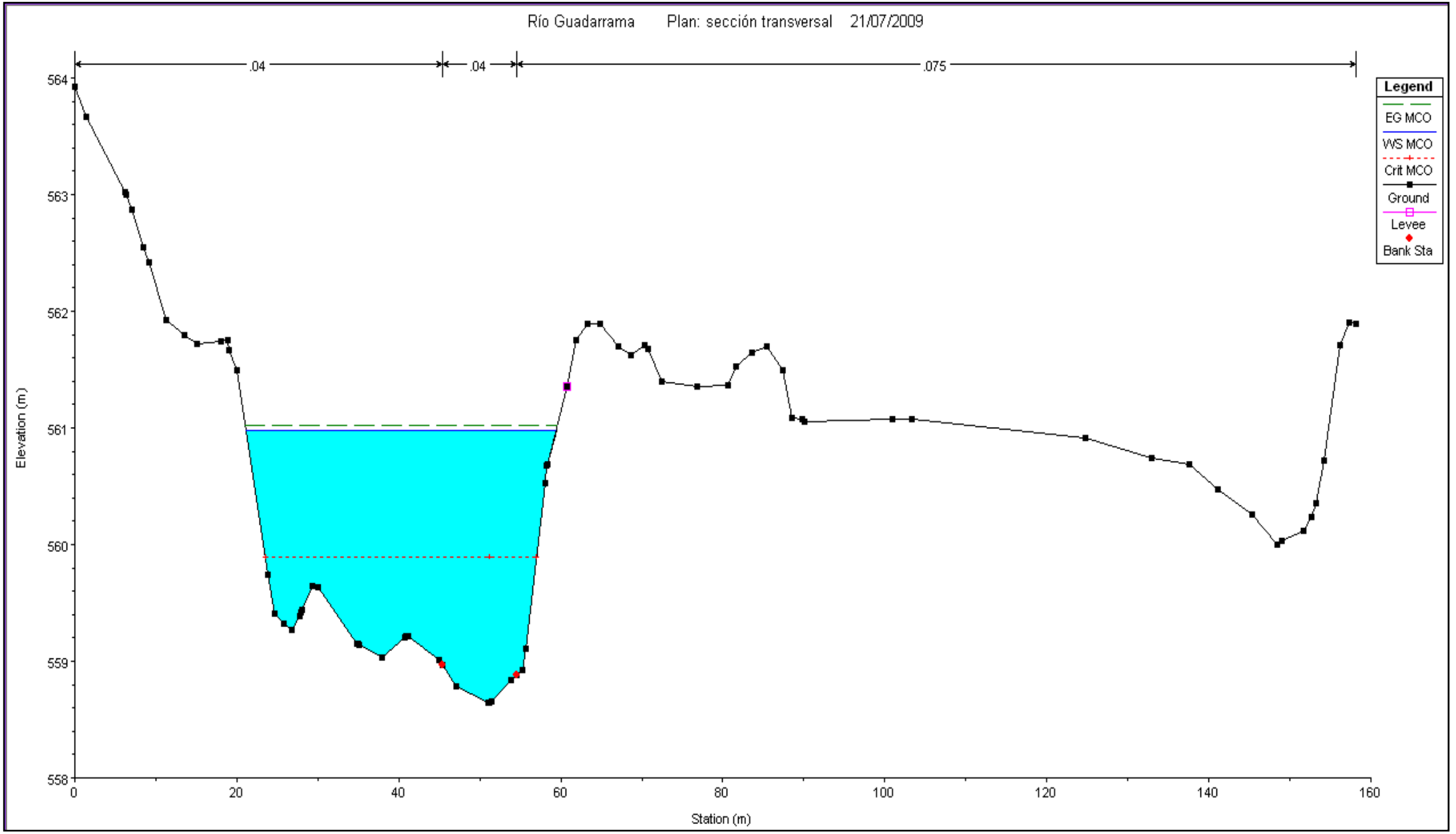
Río Guadarrama- Sección transversal 2029.555



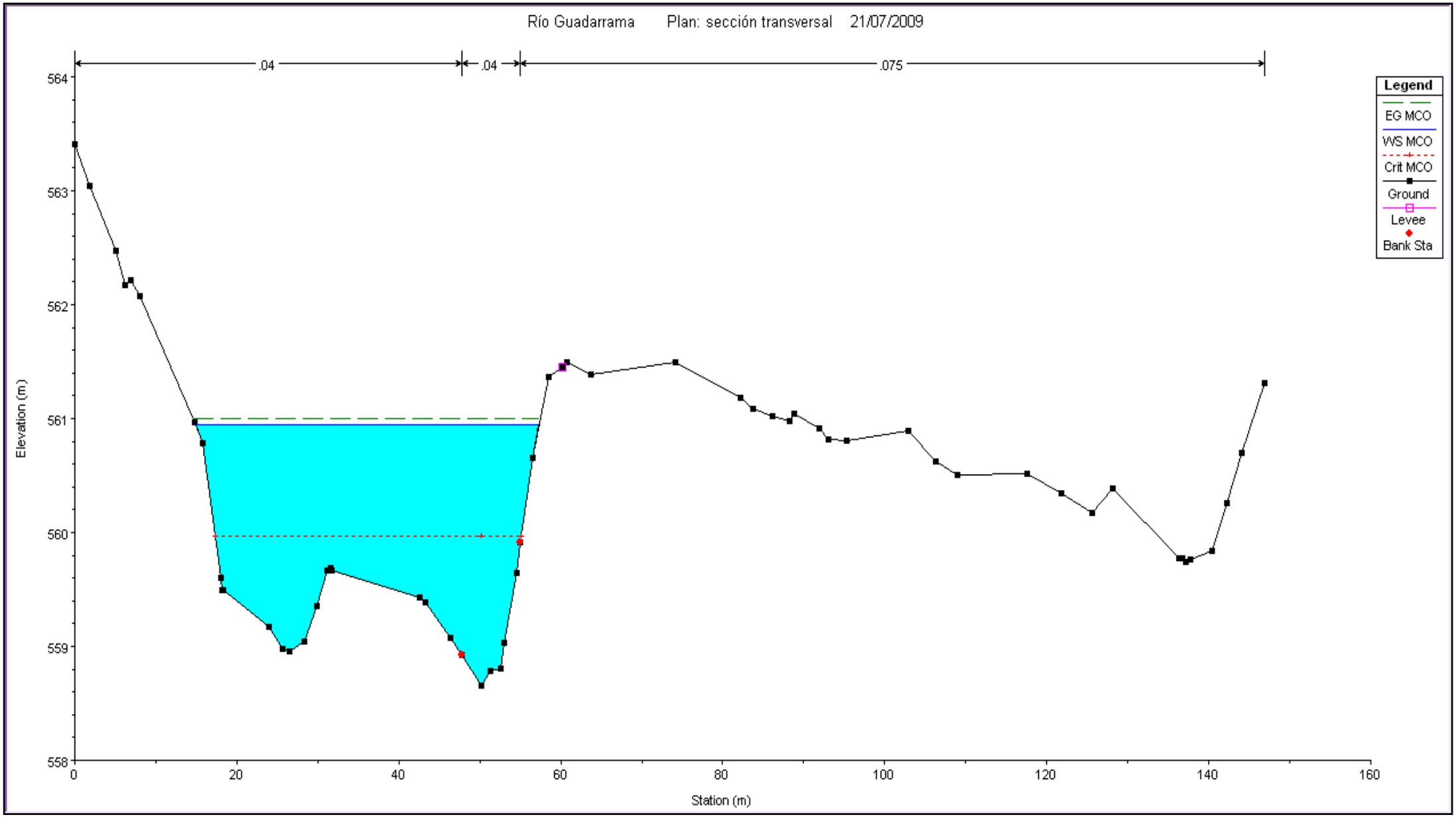
Río Guadarrama- Sección transversal 1999.605



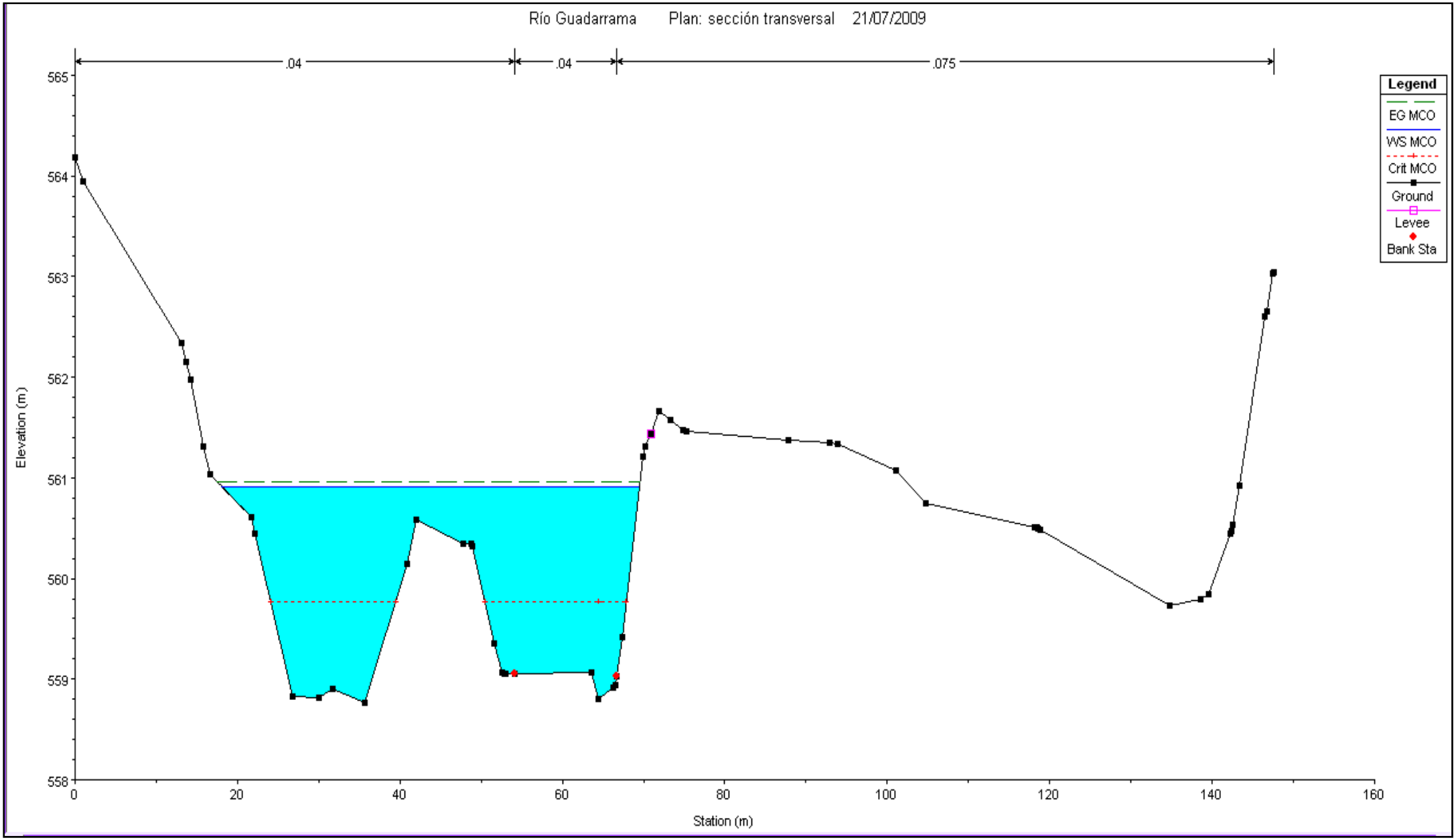
Río Guadarrama- Sección transversal 1949.356



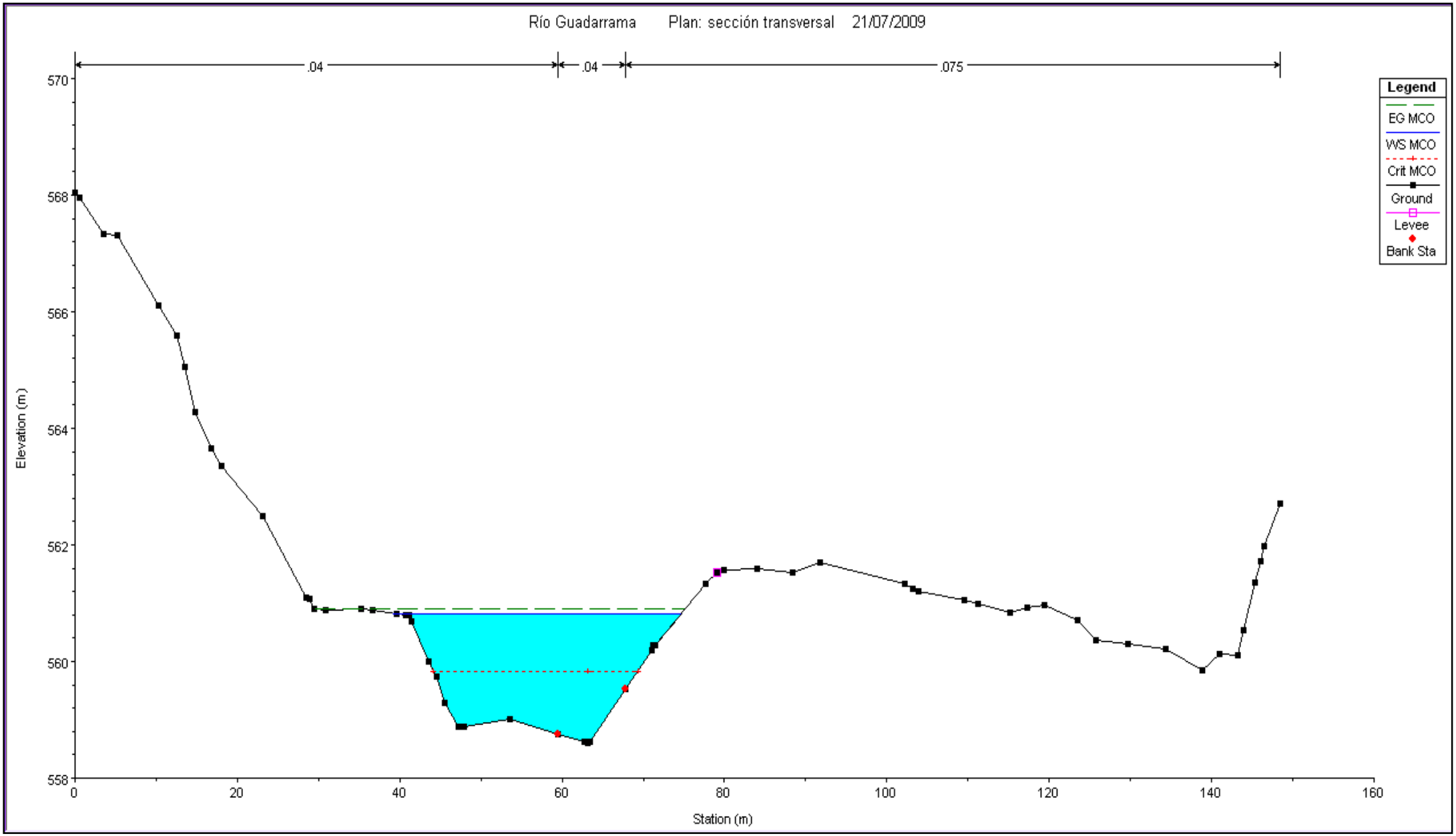
Río Guadarrama- Sección transversal 1919.005



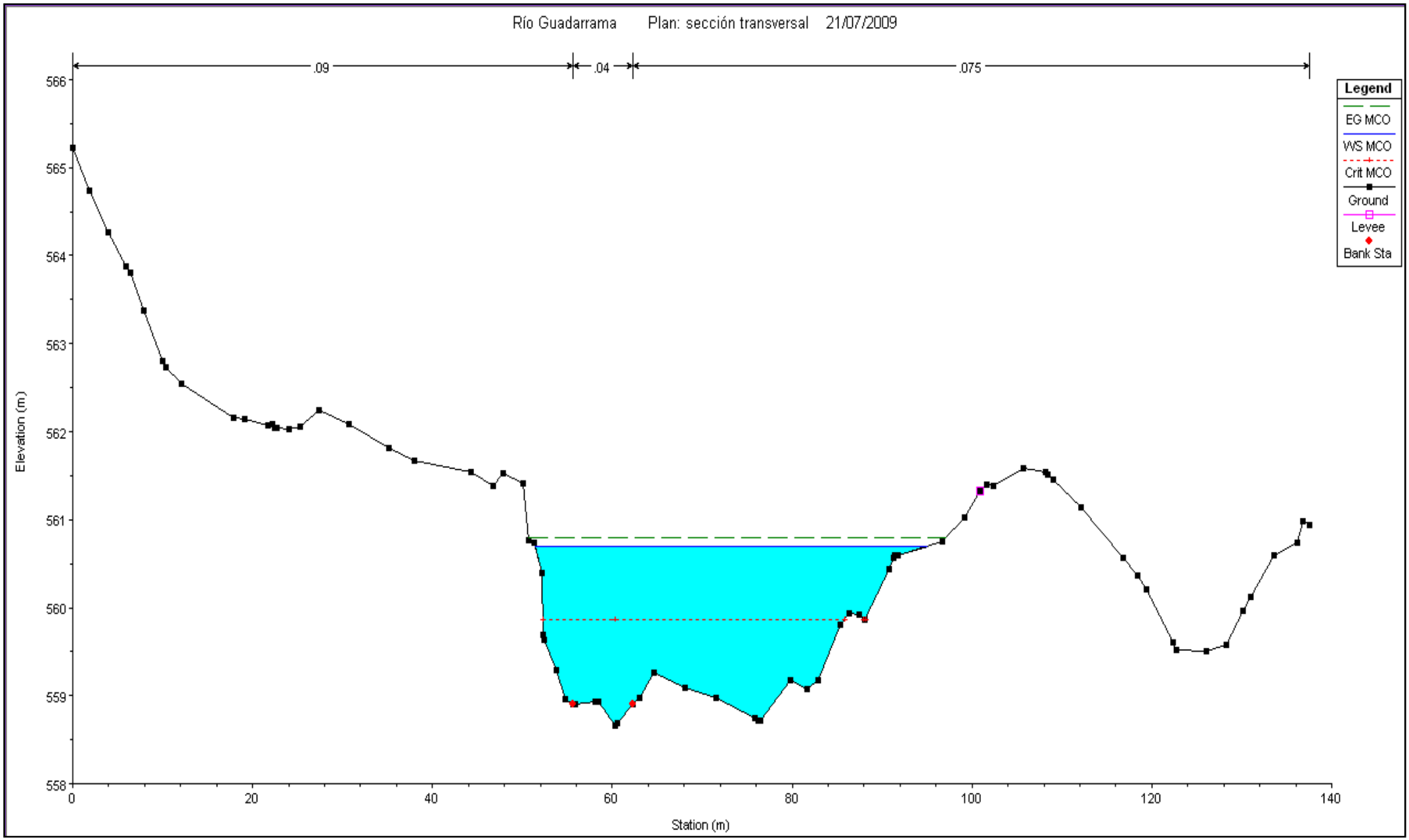
Río Guadarrama- Sección transversal 1867.725



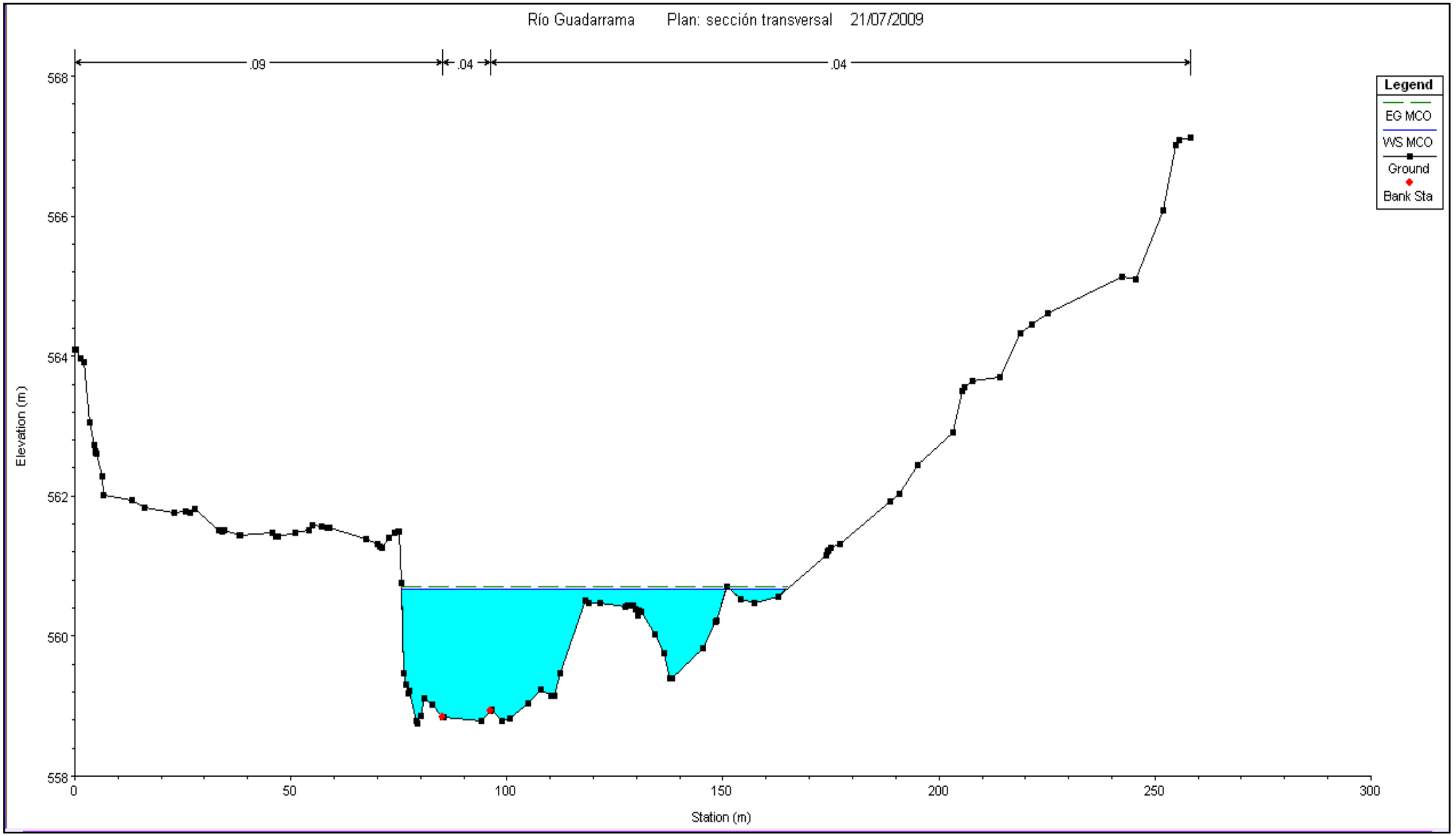
Río Guadarrama- Sección transversal 1828.505



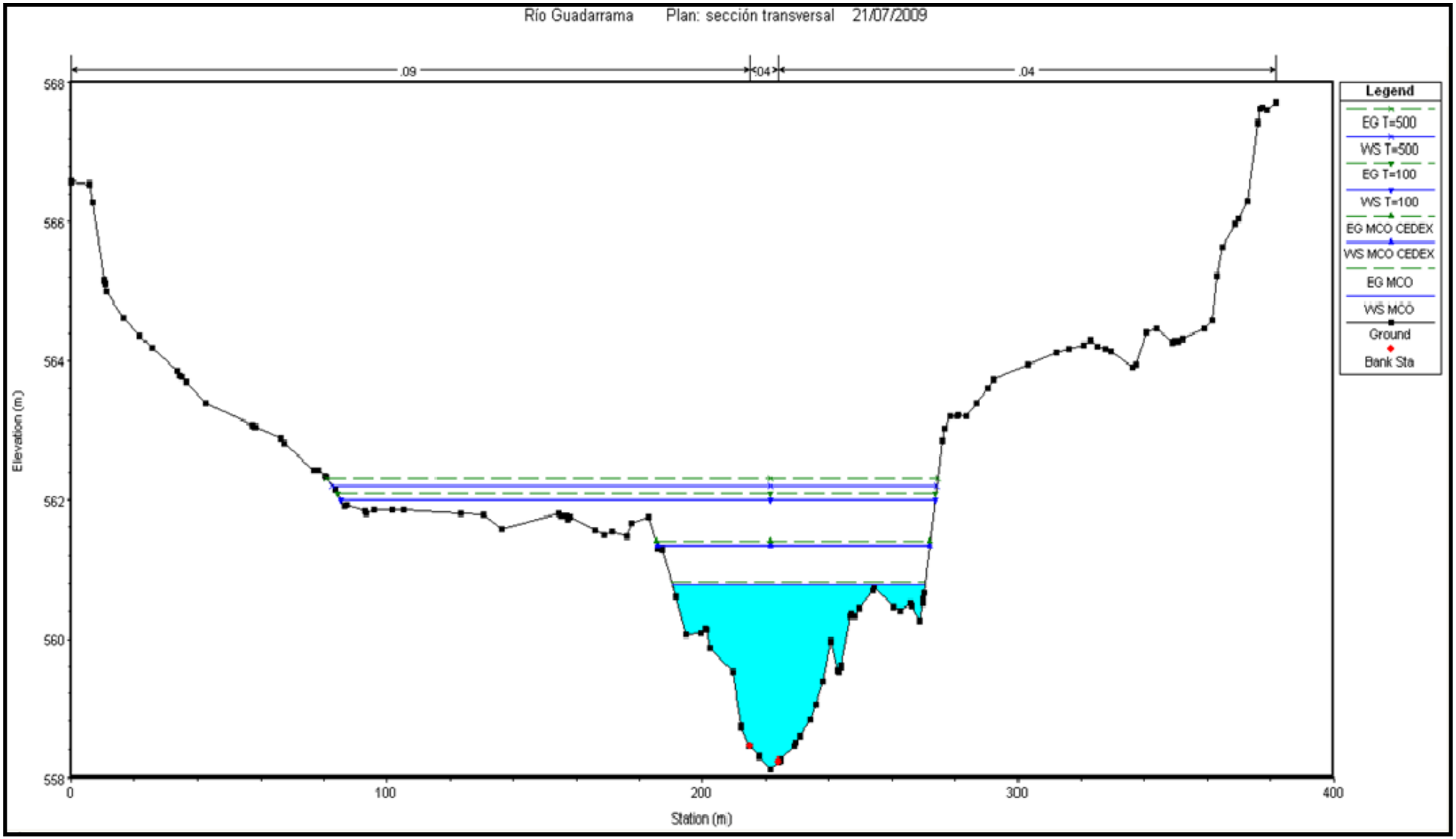
Río Guadarrama- Sección transversal 1772.361



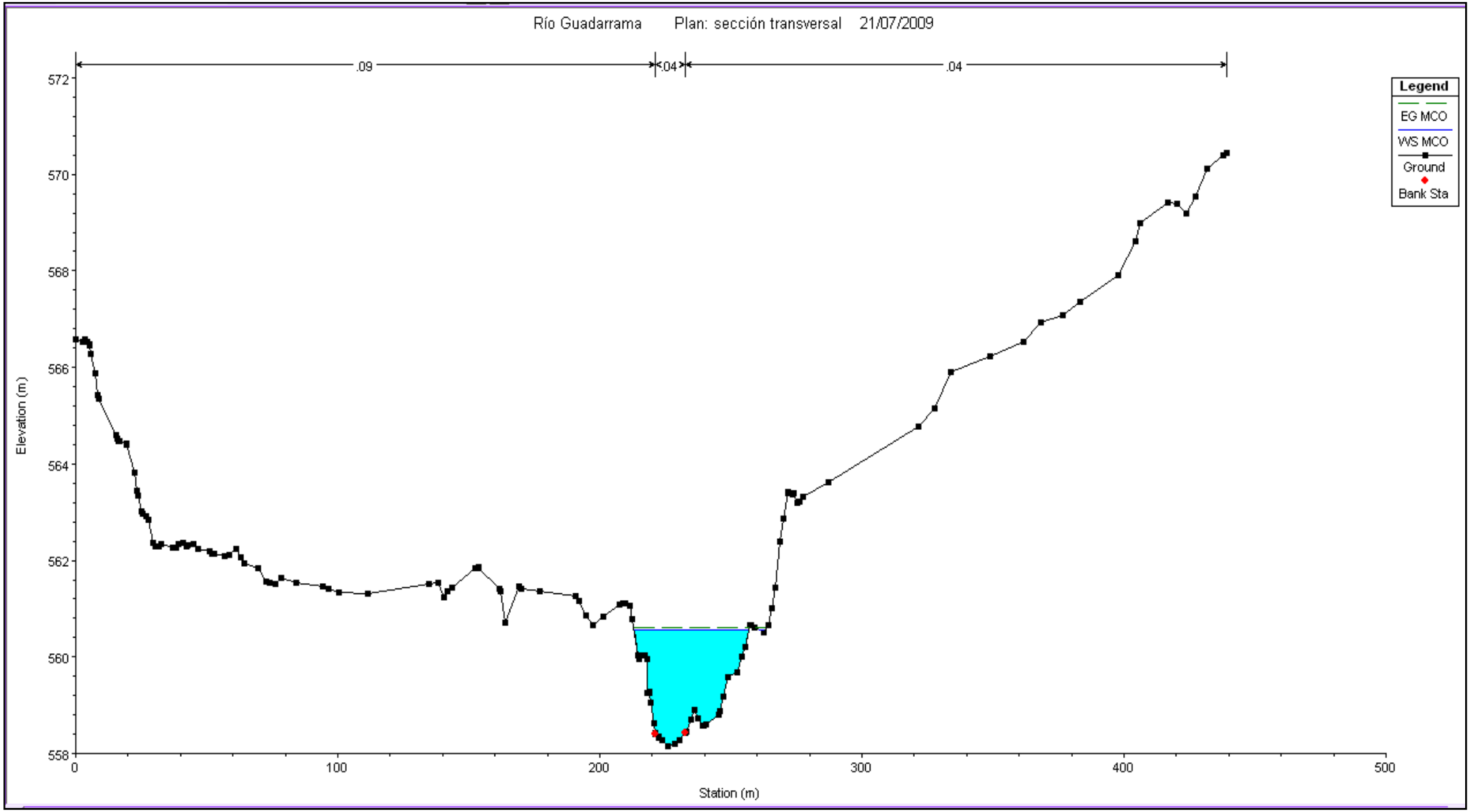
Río Guadarrama- Sección transversal 1710.531



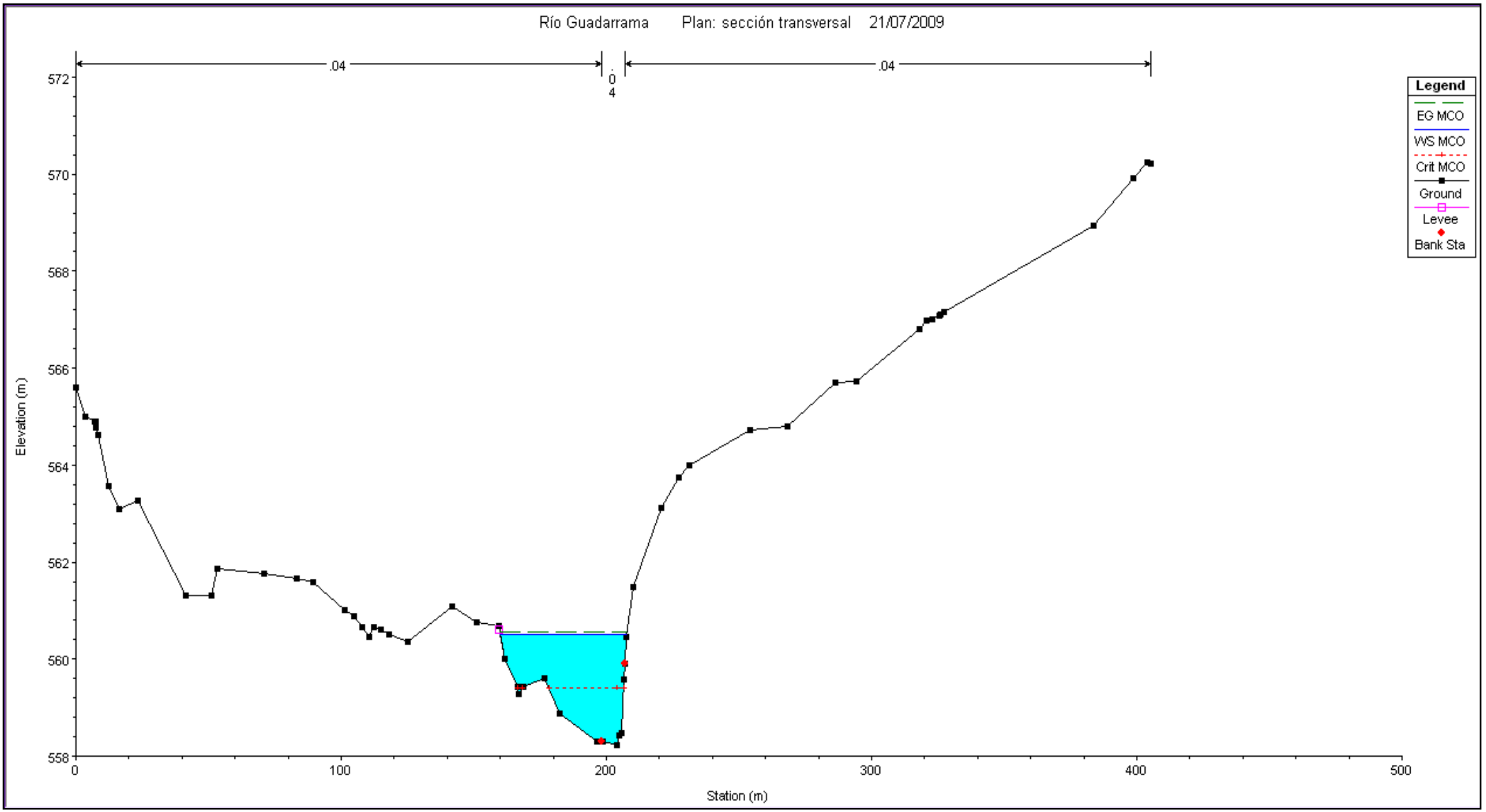
Río Guadarrama- Sección transversal 1655.502



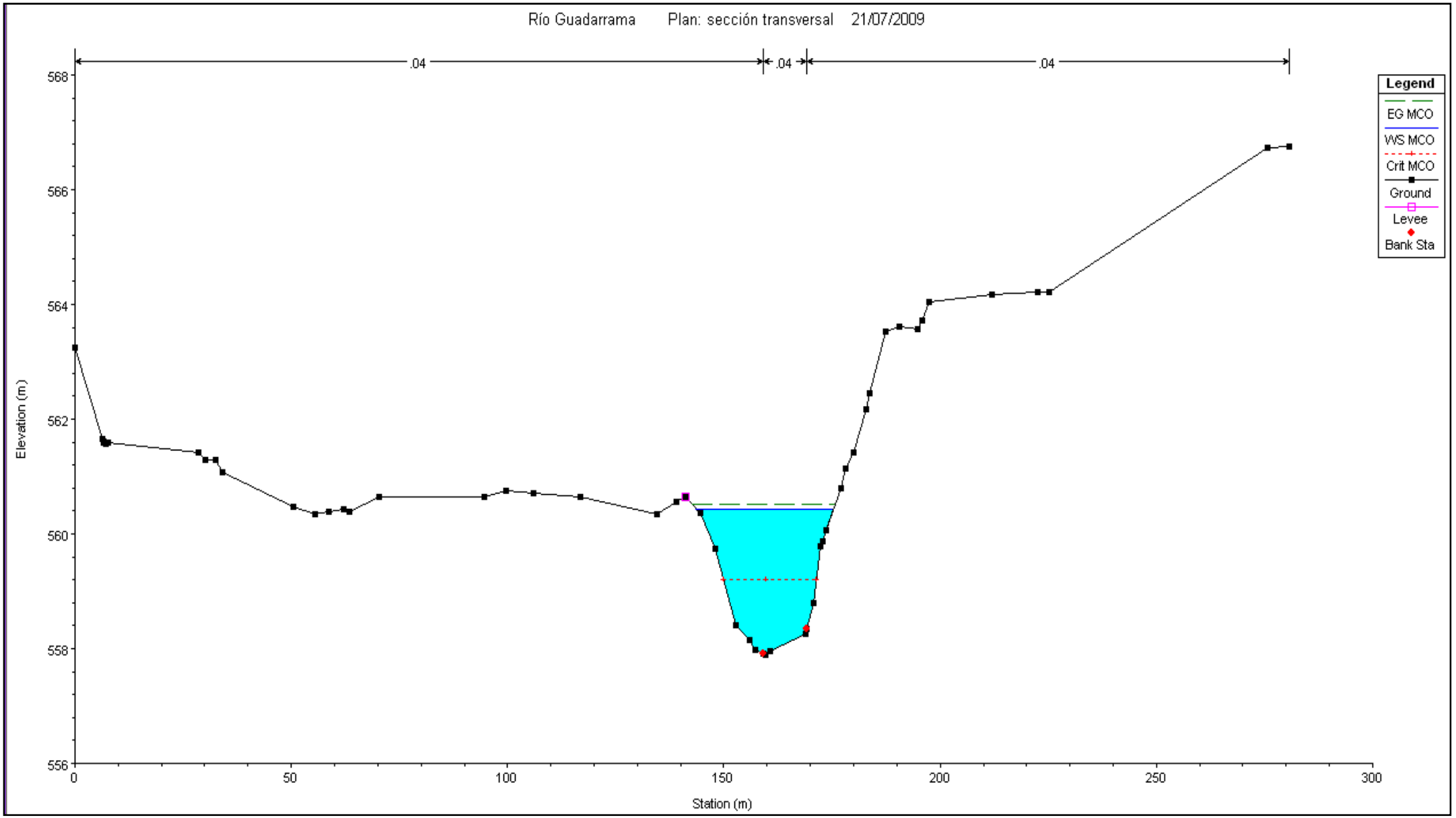
Río Guadarrama- Sección transversal 1600.154



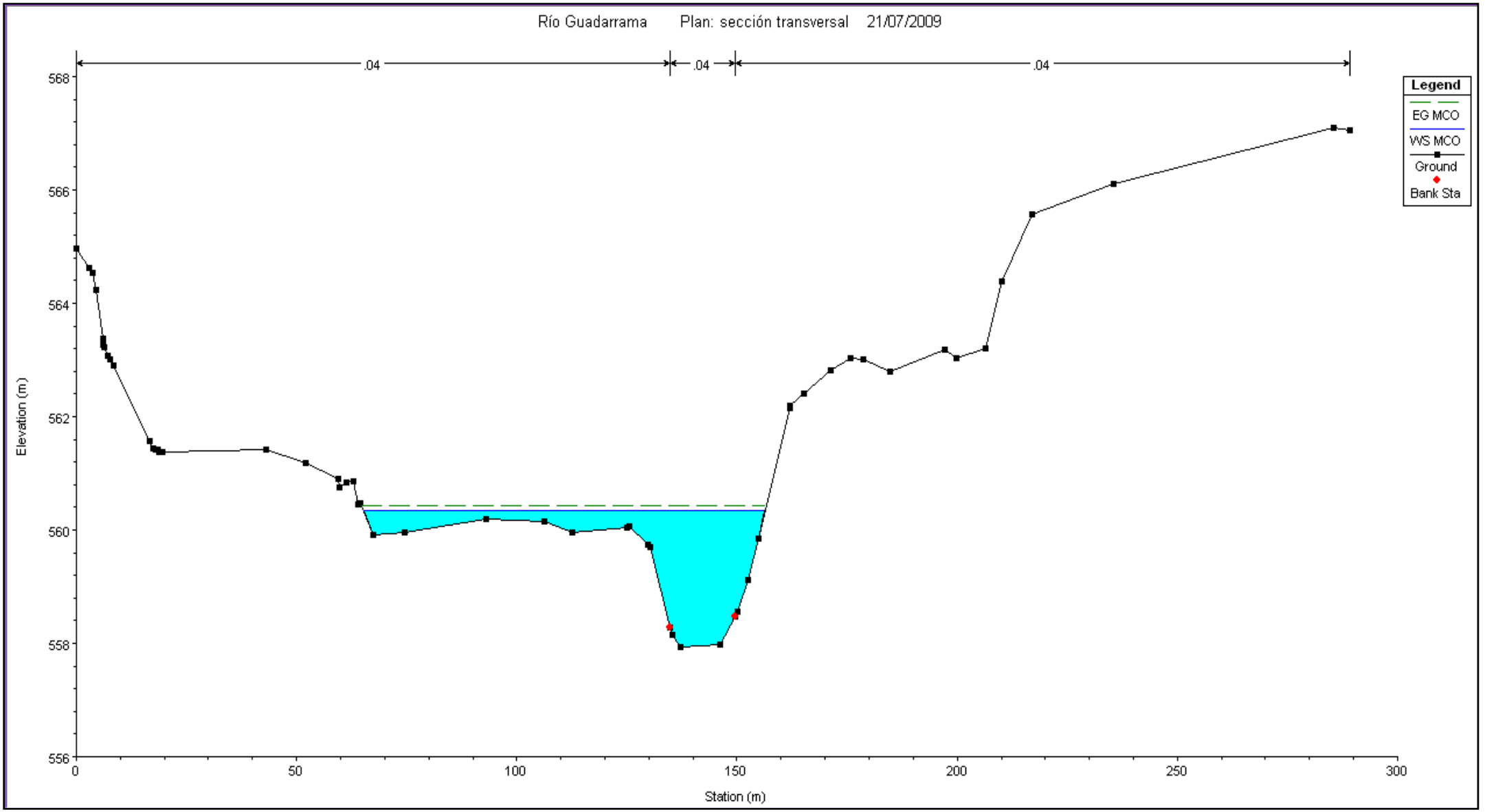
Río Guadarrama- Sección transversal 1518.614



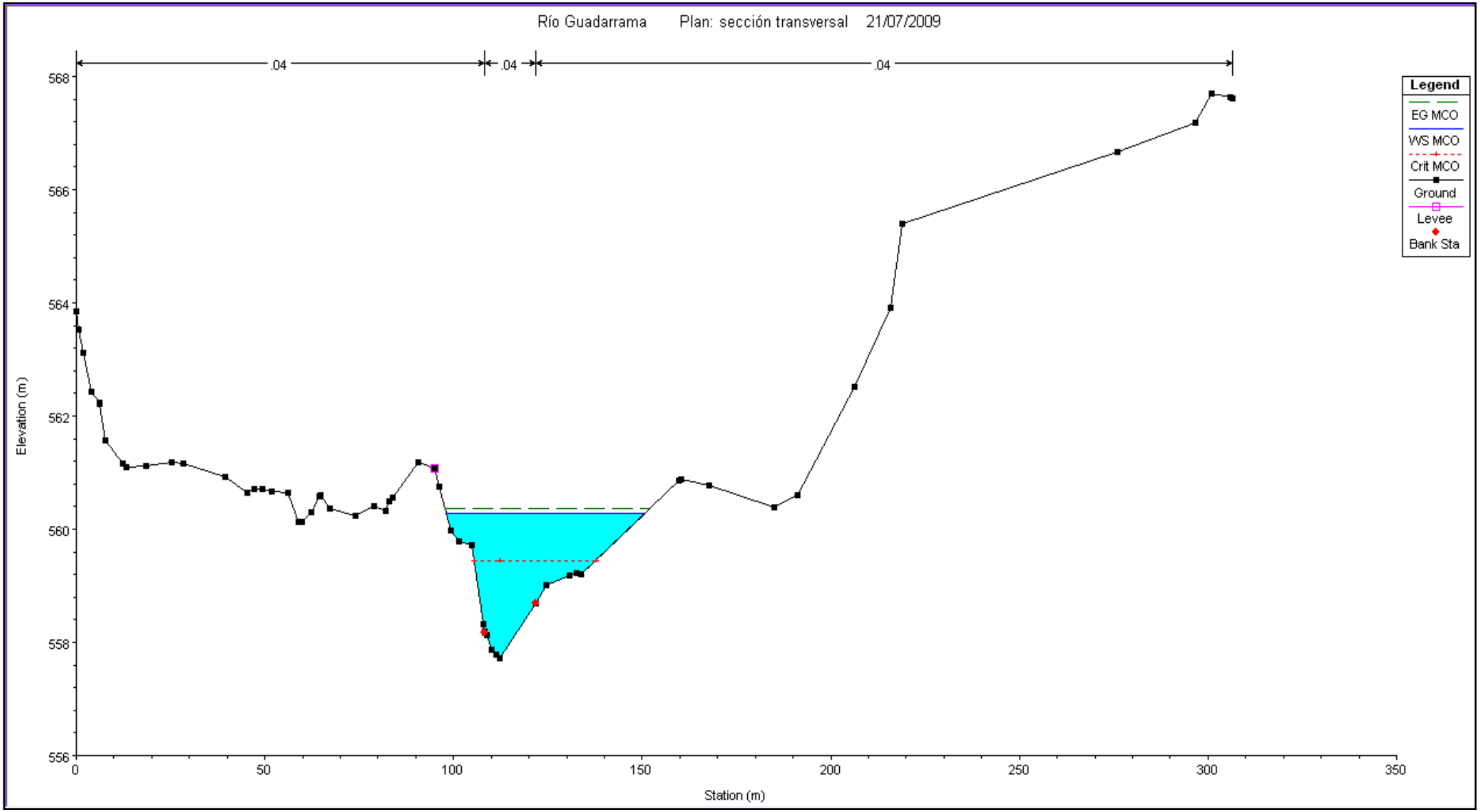
Río Guadarrama- Sección transversal 1481.967



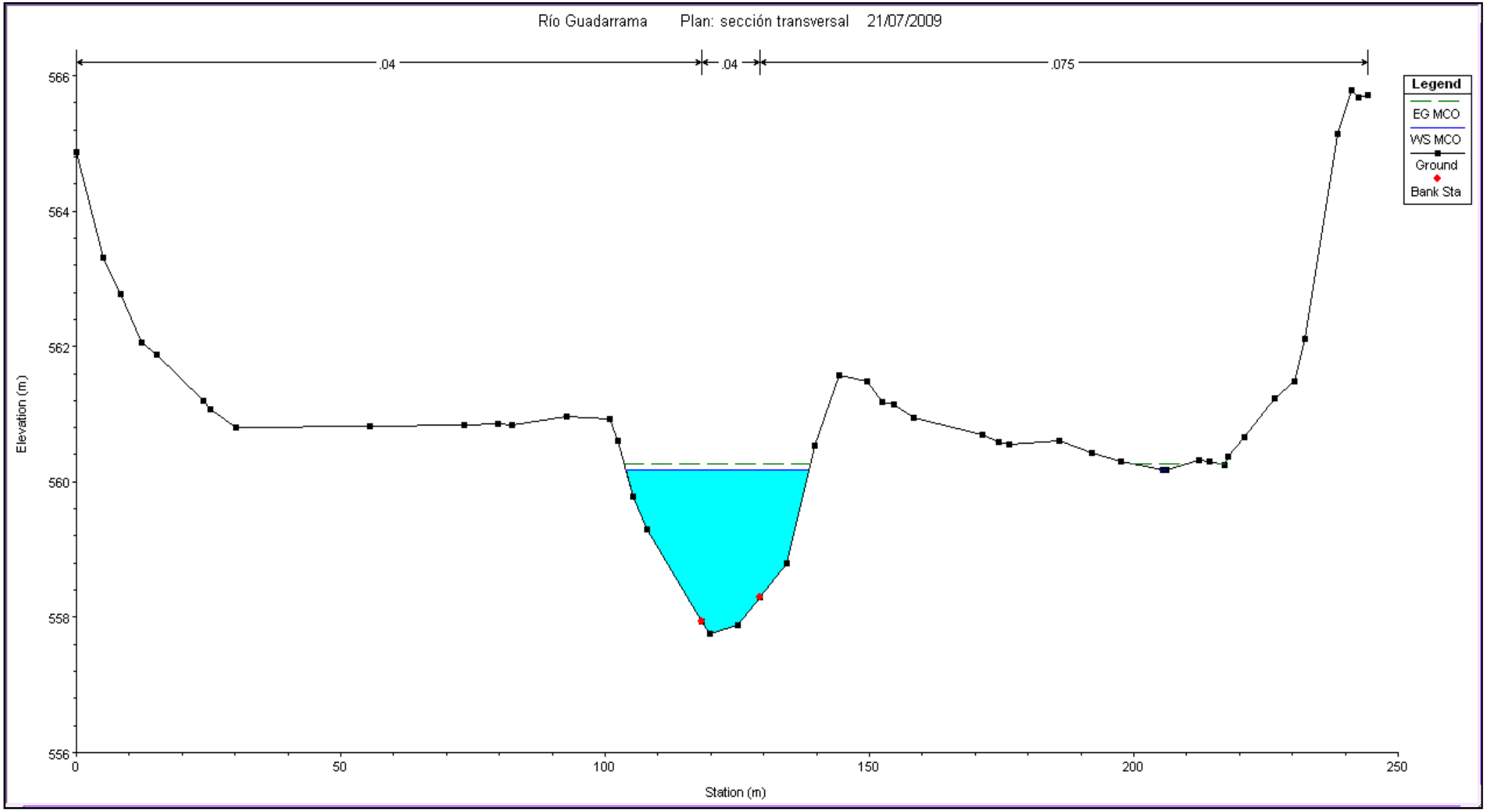
Río Guadarrama- Sección transversal 1392.749



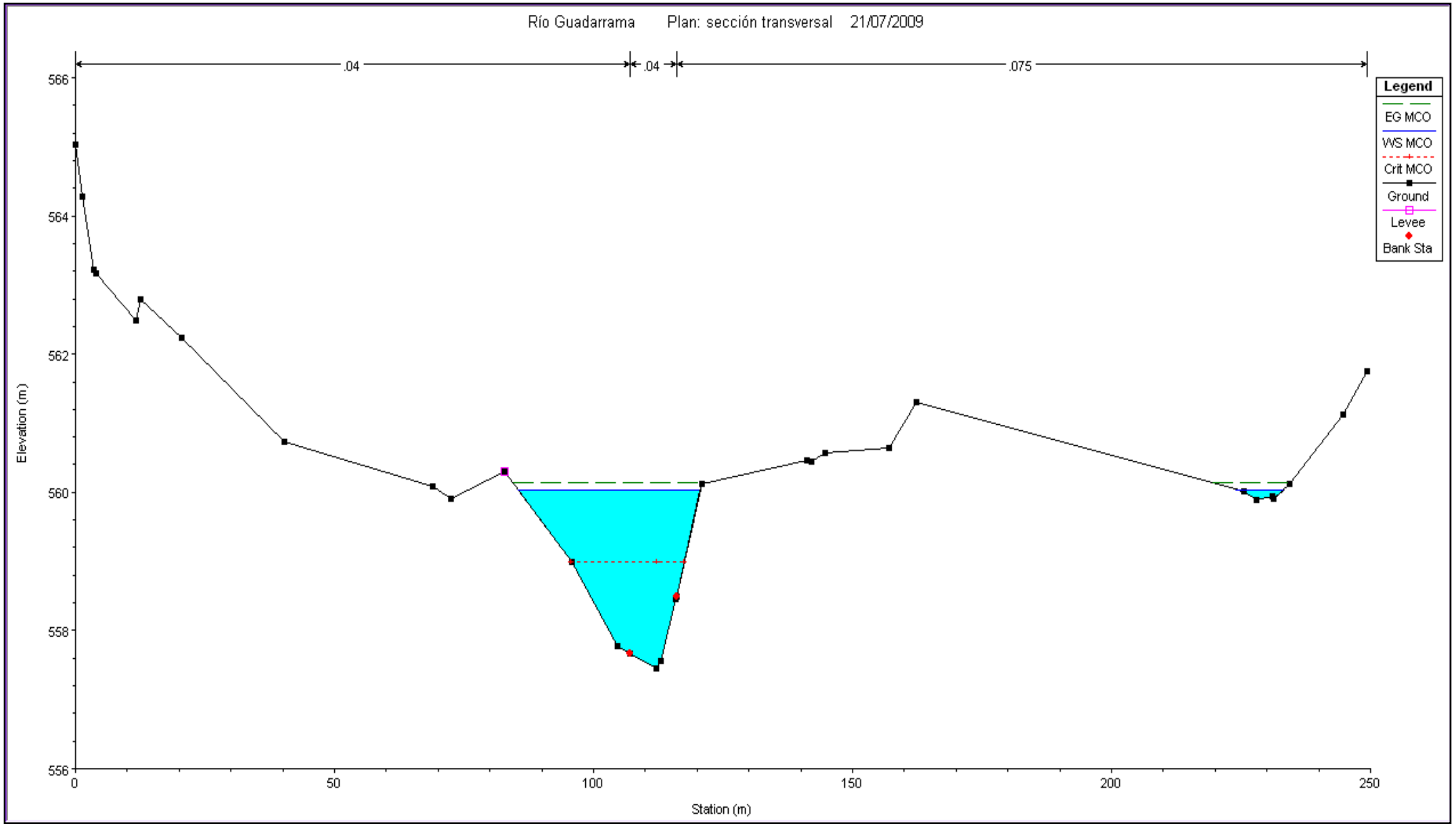
Río Guadarrama- Sección transversal 1328.065



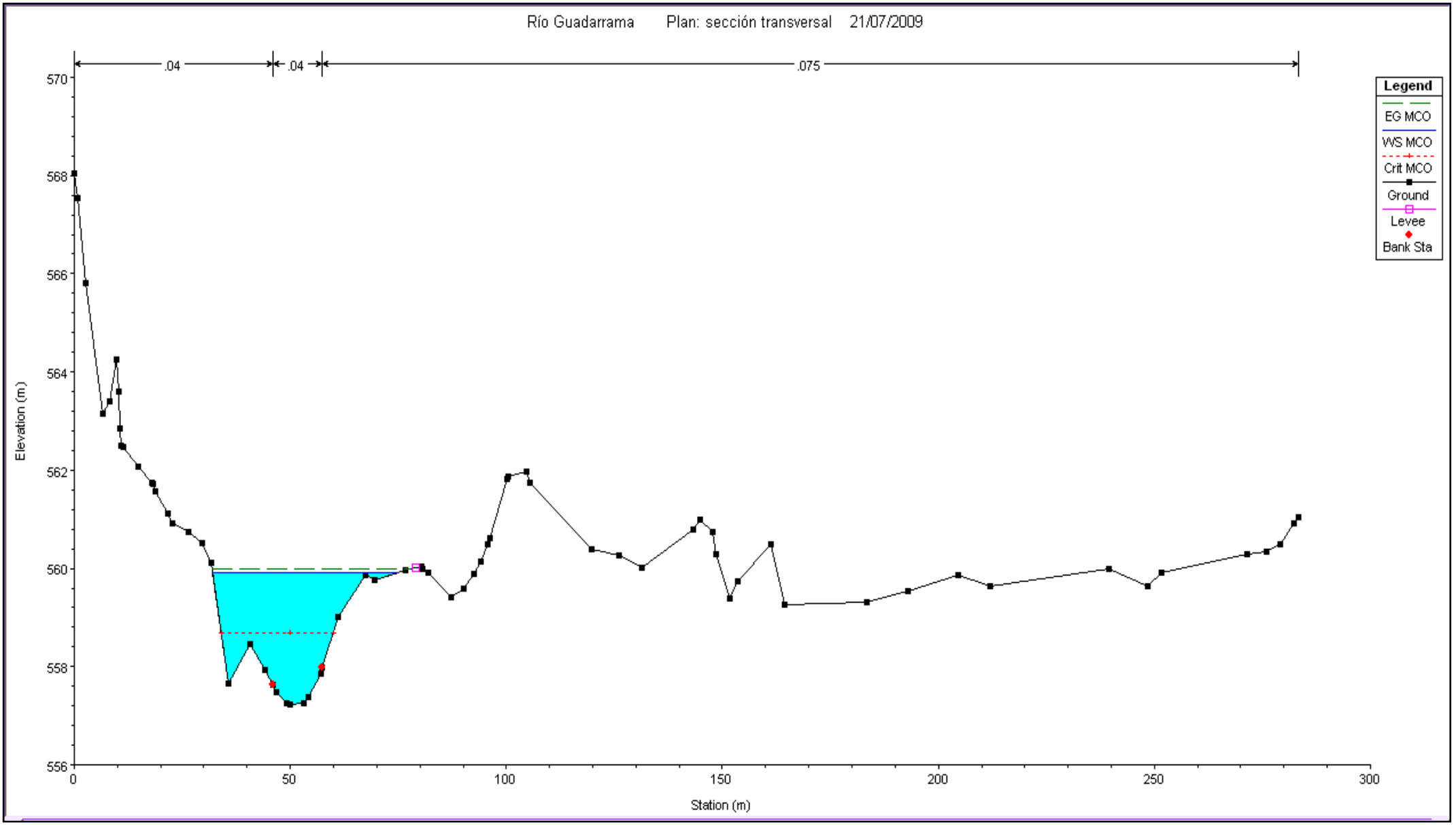
Río Guadarrama- Sección transversal 1248.434



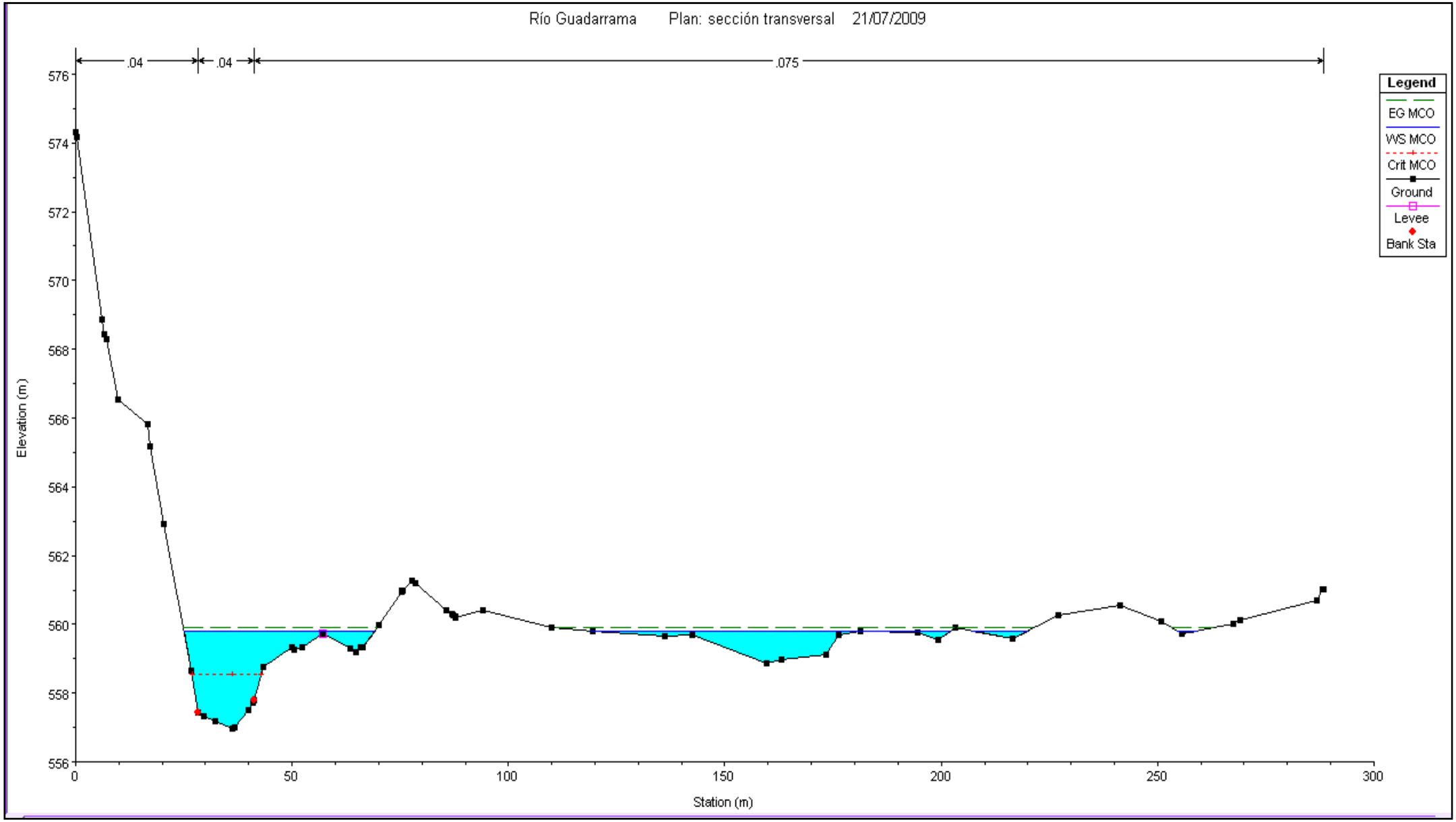
Río Guadarrama- Sección transversal 1147.090



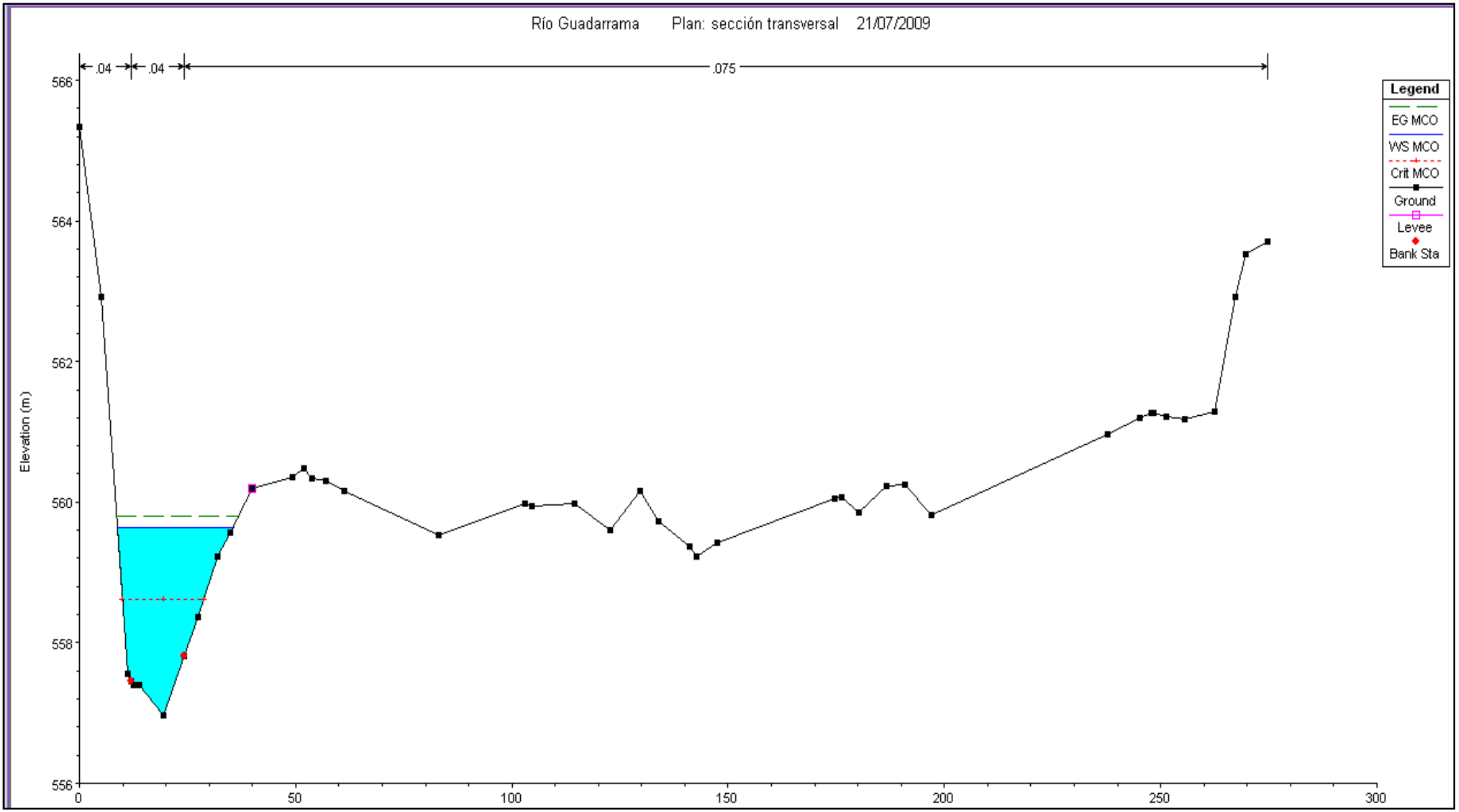
Río Guadarrama- Sección transversal 1010.366



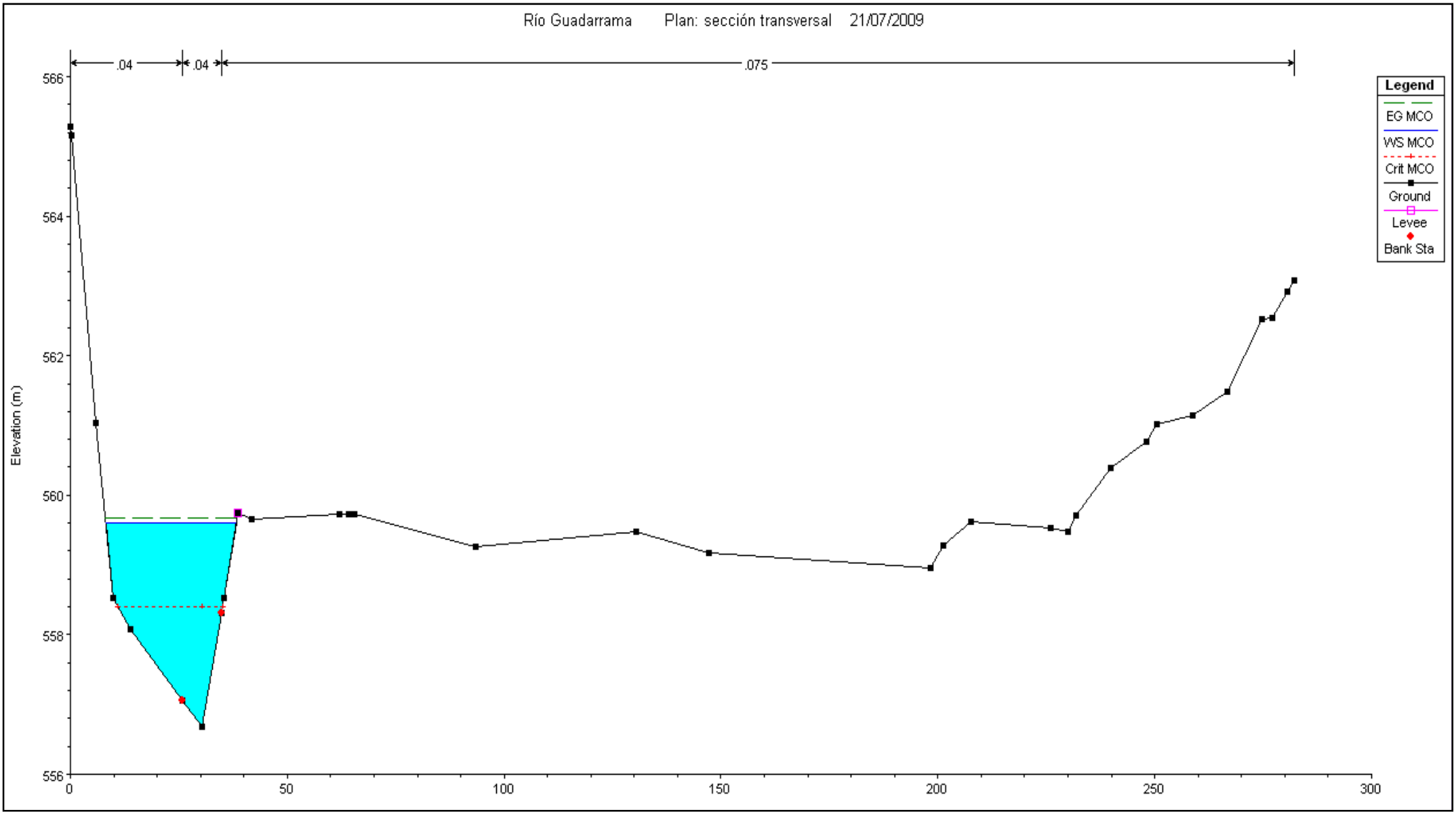
Río Guadarrama- Sección transversal 914.983



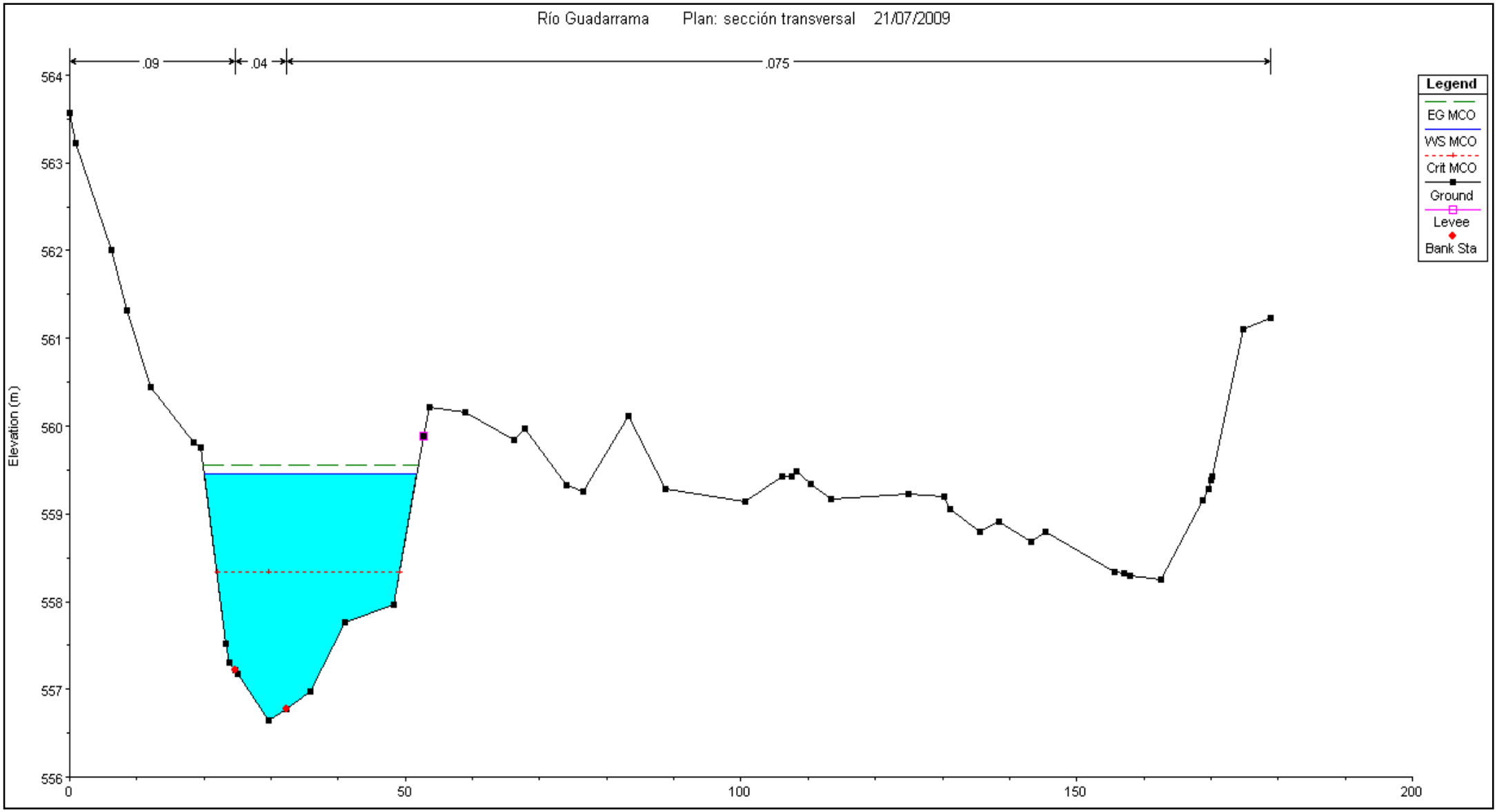
Río Guadarrama- Sección transversal 835.526



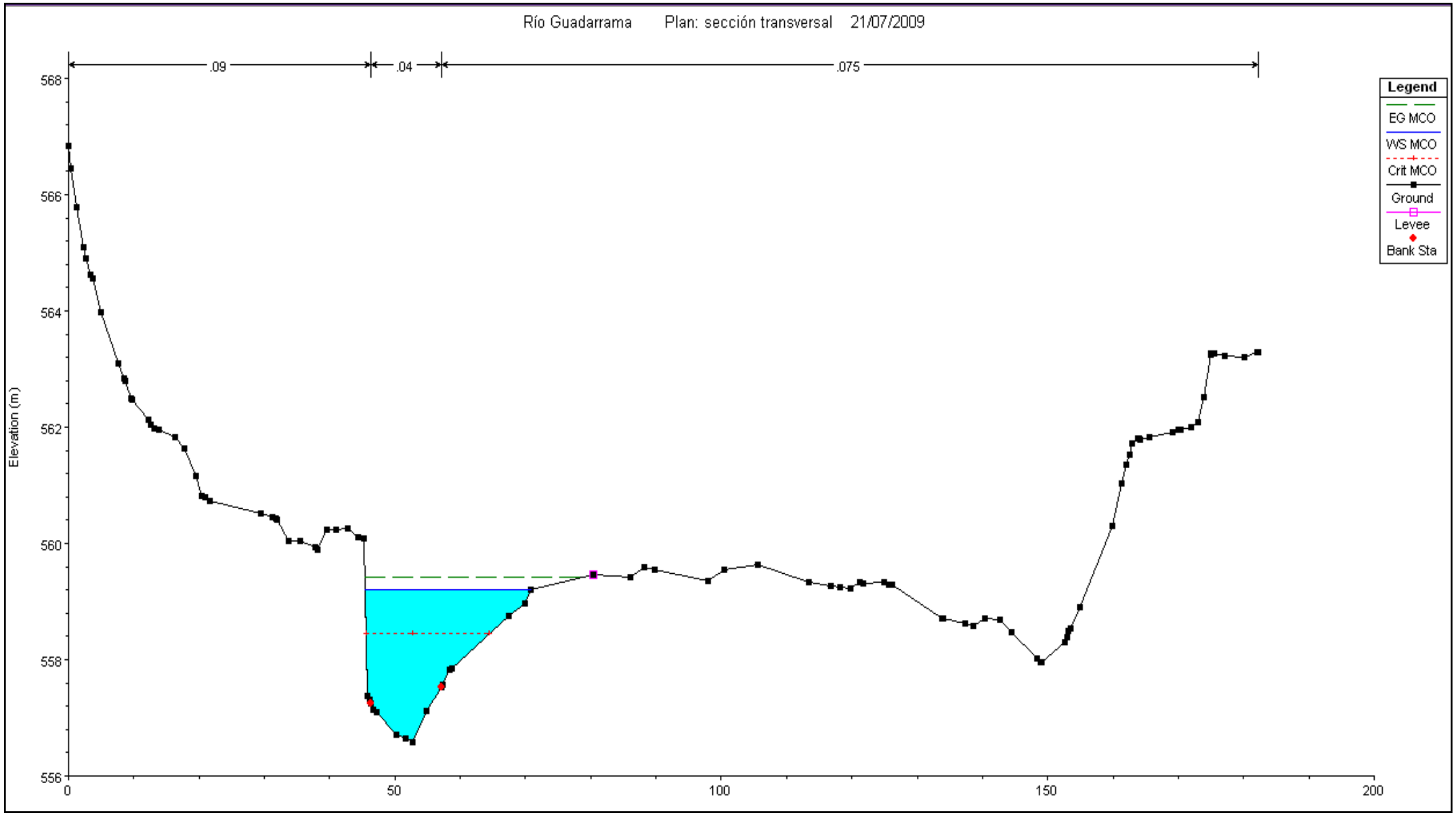
Río Guadarrama- Sección transversal 749.262



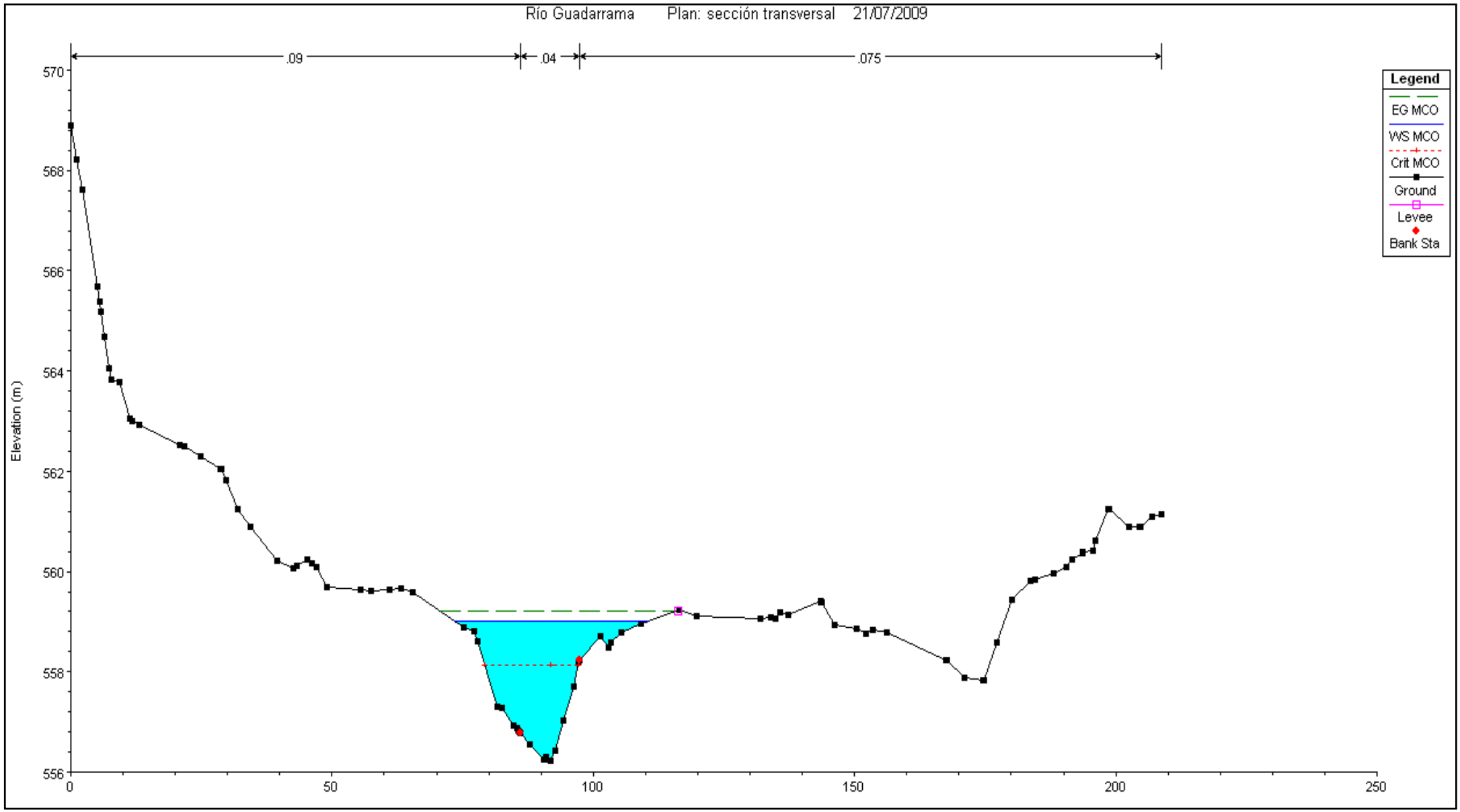
Río Guadarrama- Sección transversal 642.052



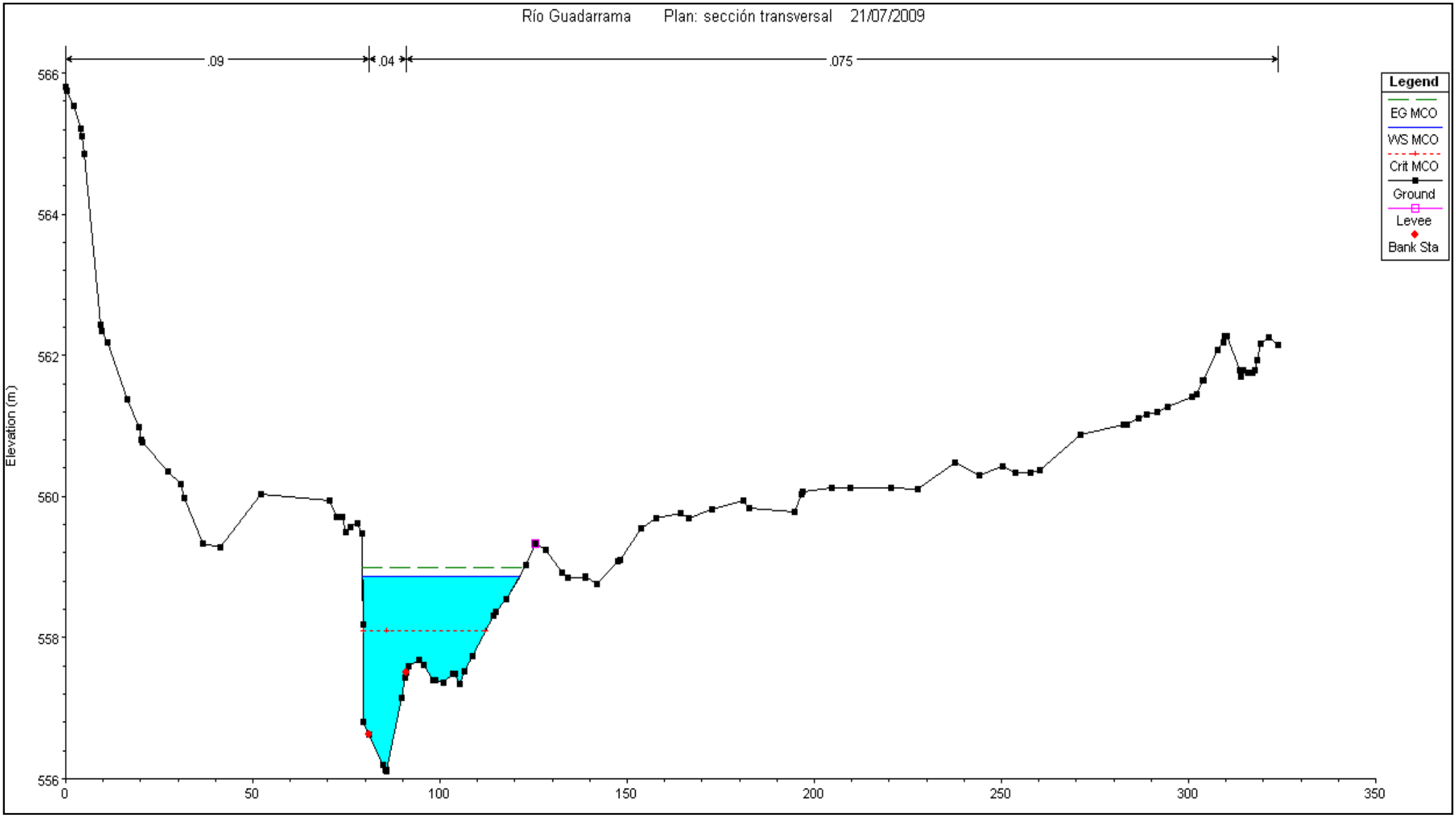
Río Guadarrama- Sección transversal 581.984



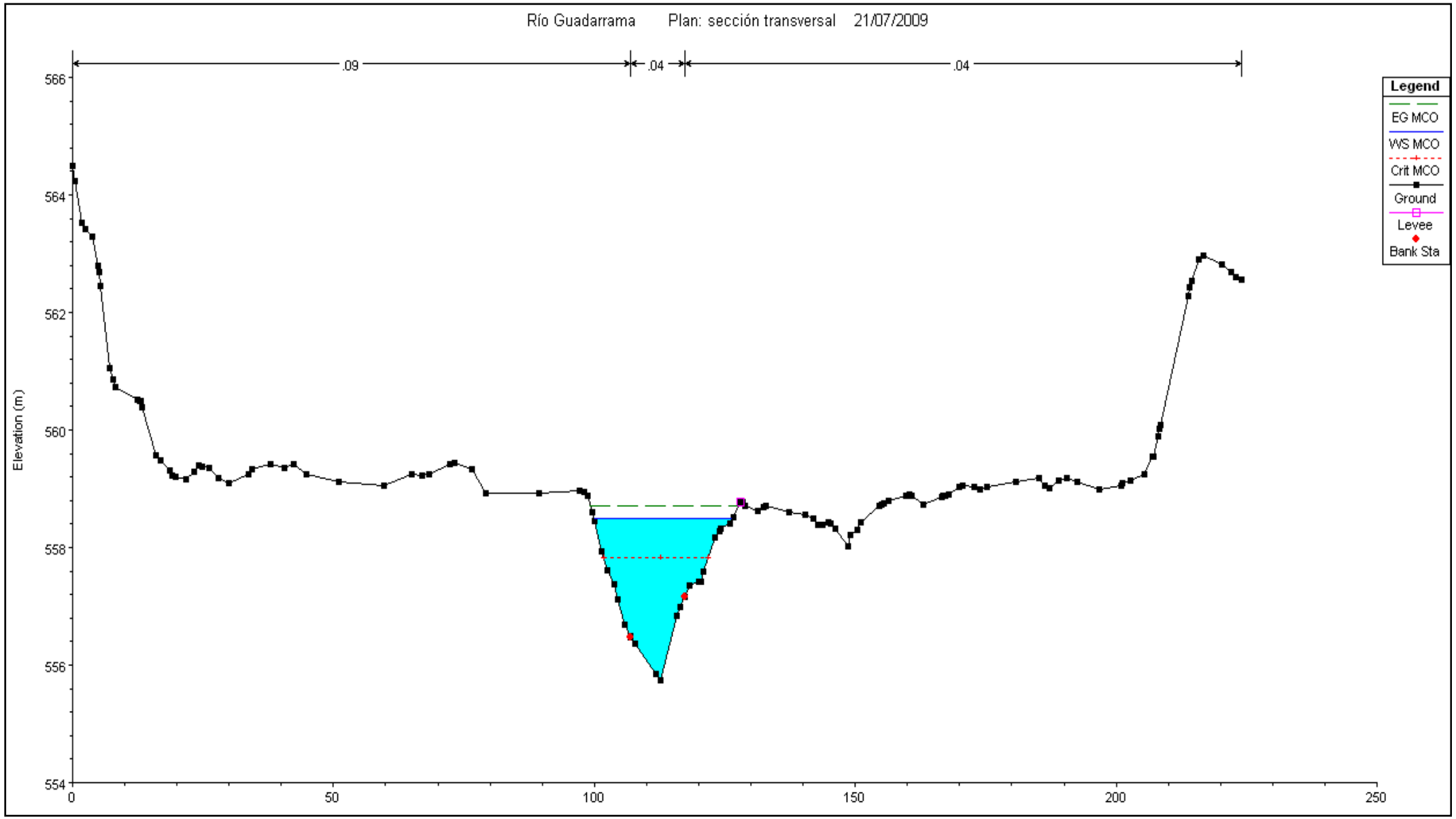
Río Guadarrama- Sección transversal 497.652



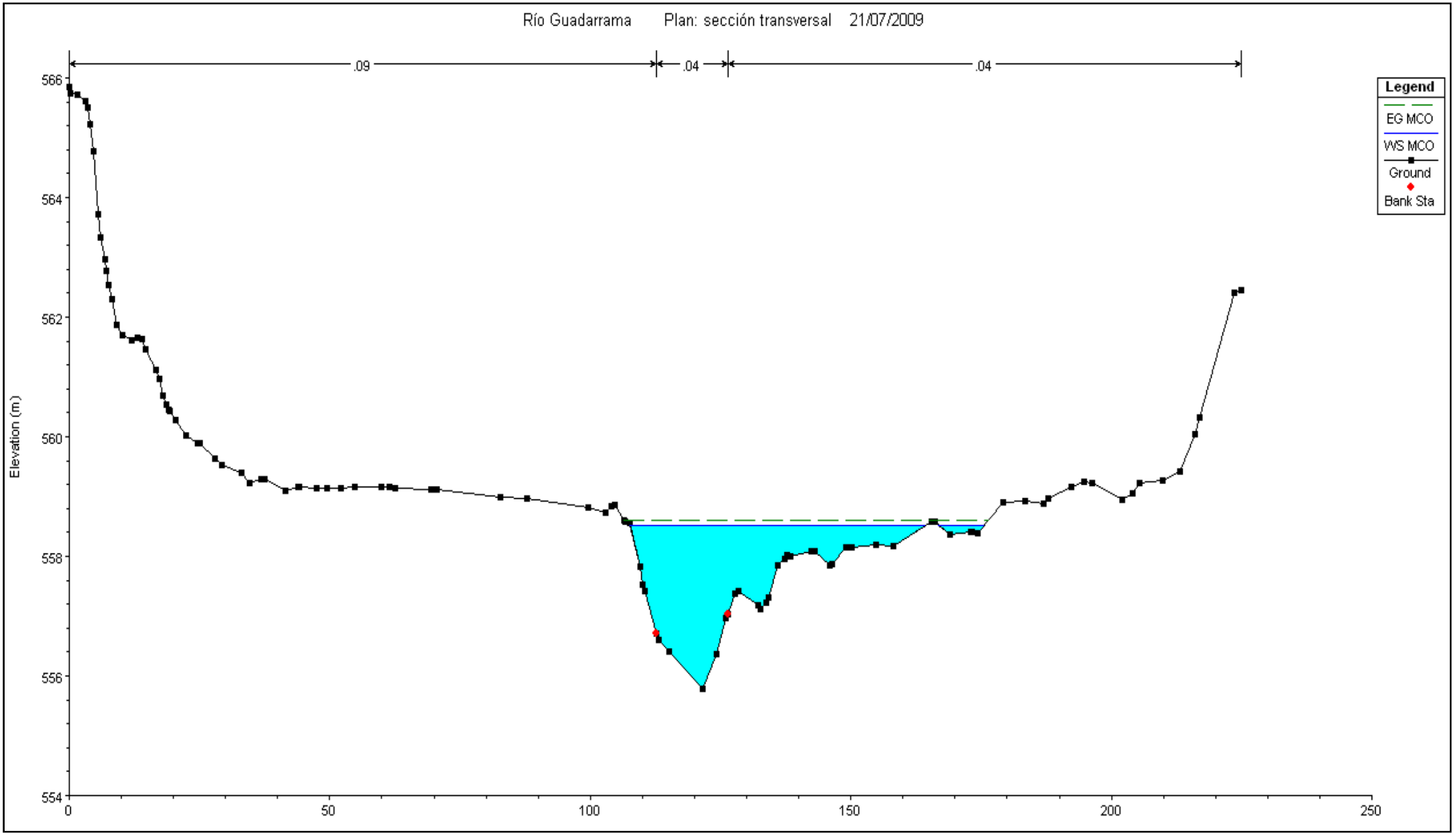
Río Guadarrama- Sección transversal 409.205



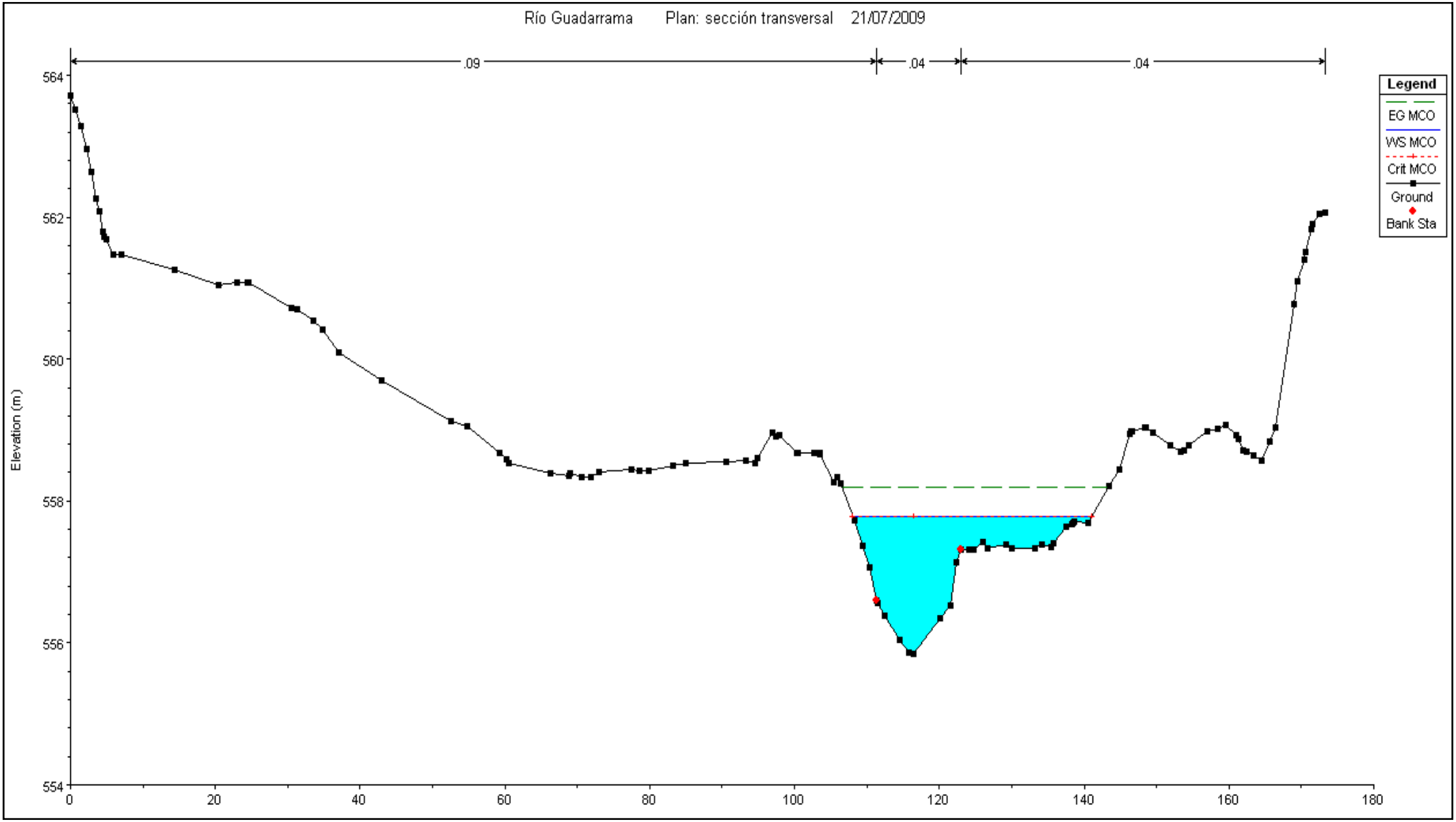
Río Guadarrama- Sección transversal 289.627



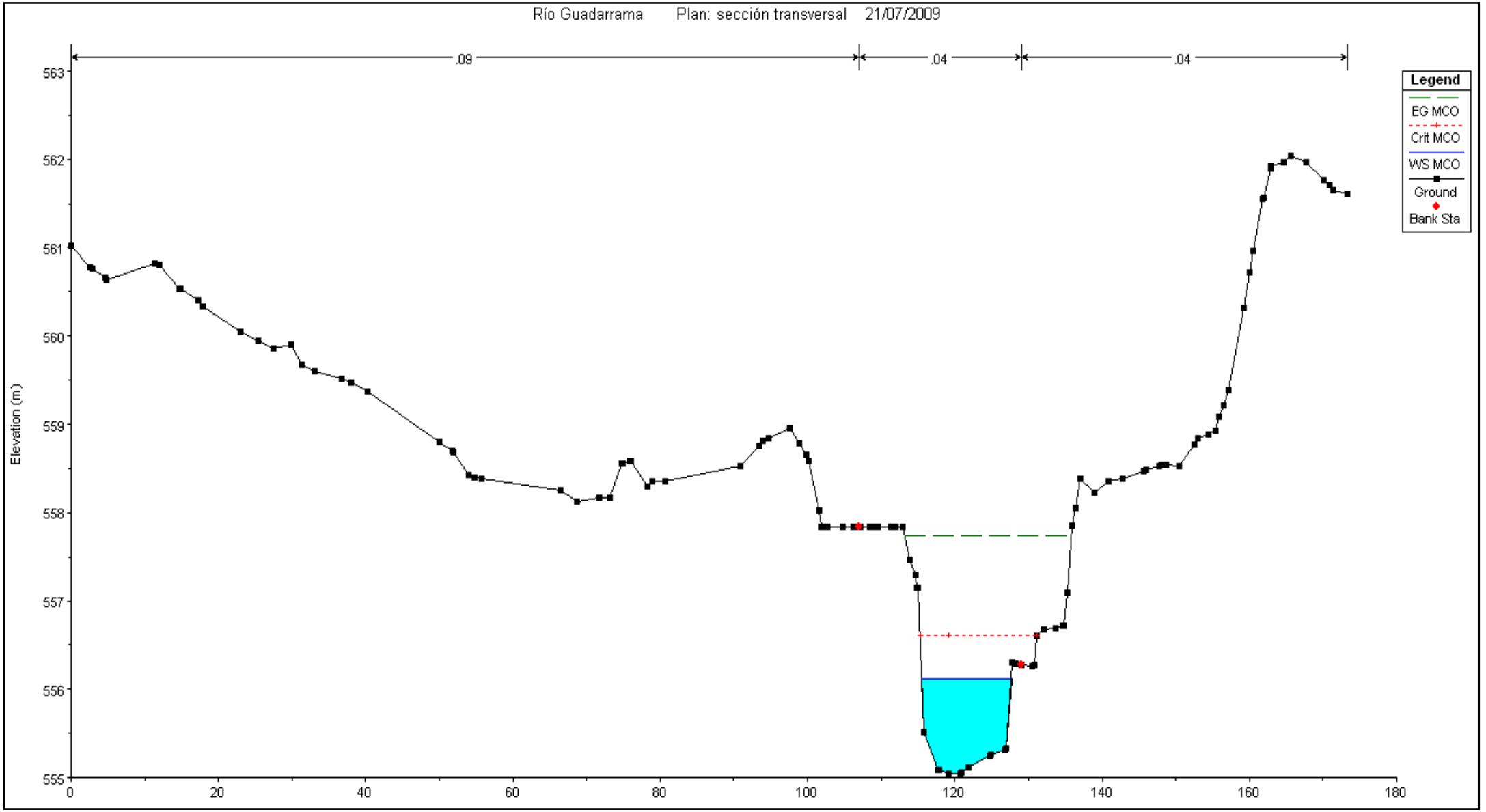
Río Guadarrama- Sección transversal 257.451



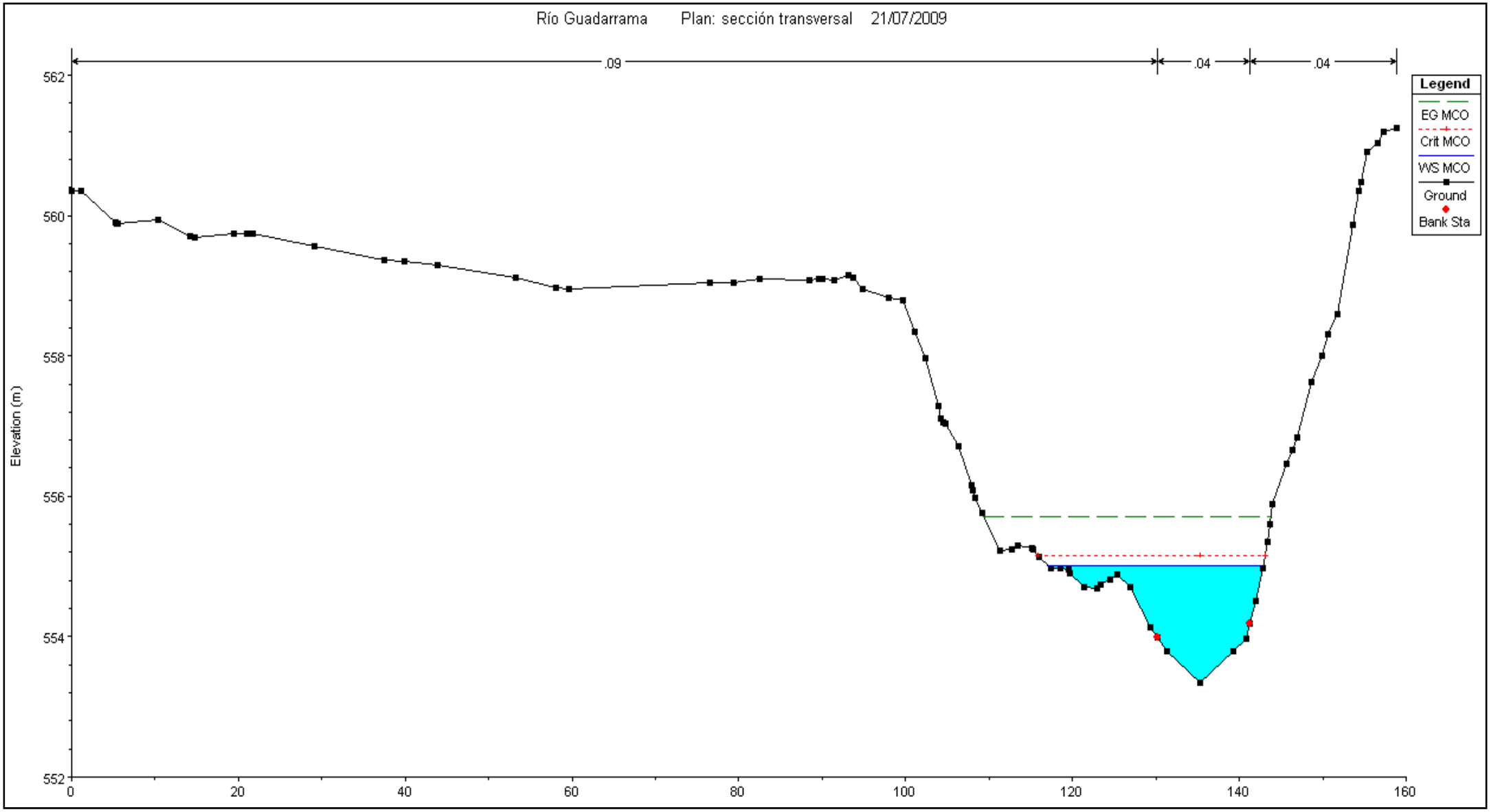
Río Guadarrama- Sección transversal 102.146



Río Guadarrama- Sección transversal 84.516



Río Guadarrama- Sección transversal 22.781

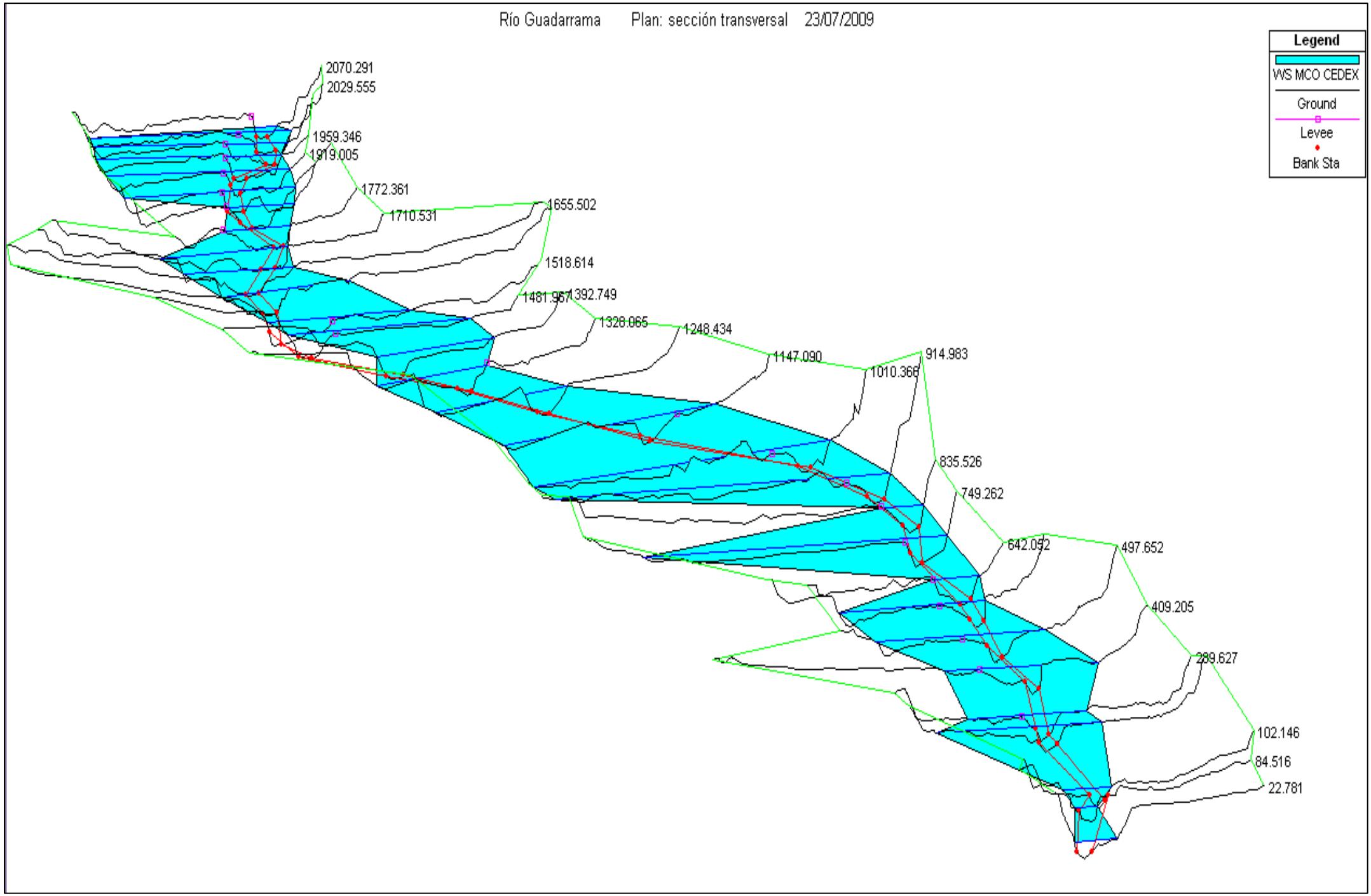


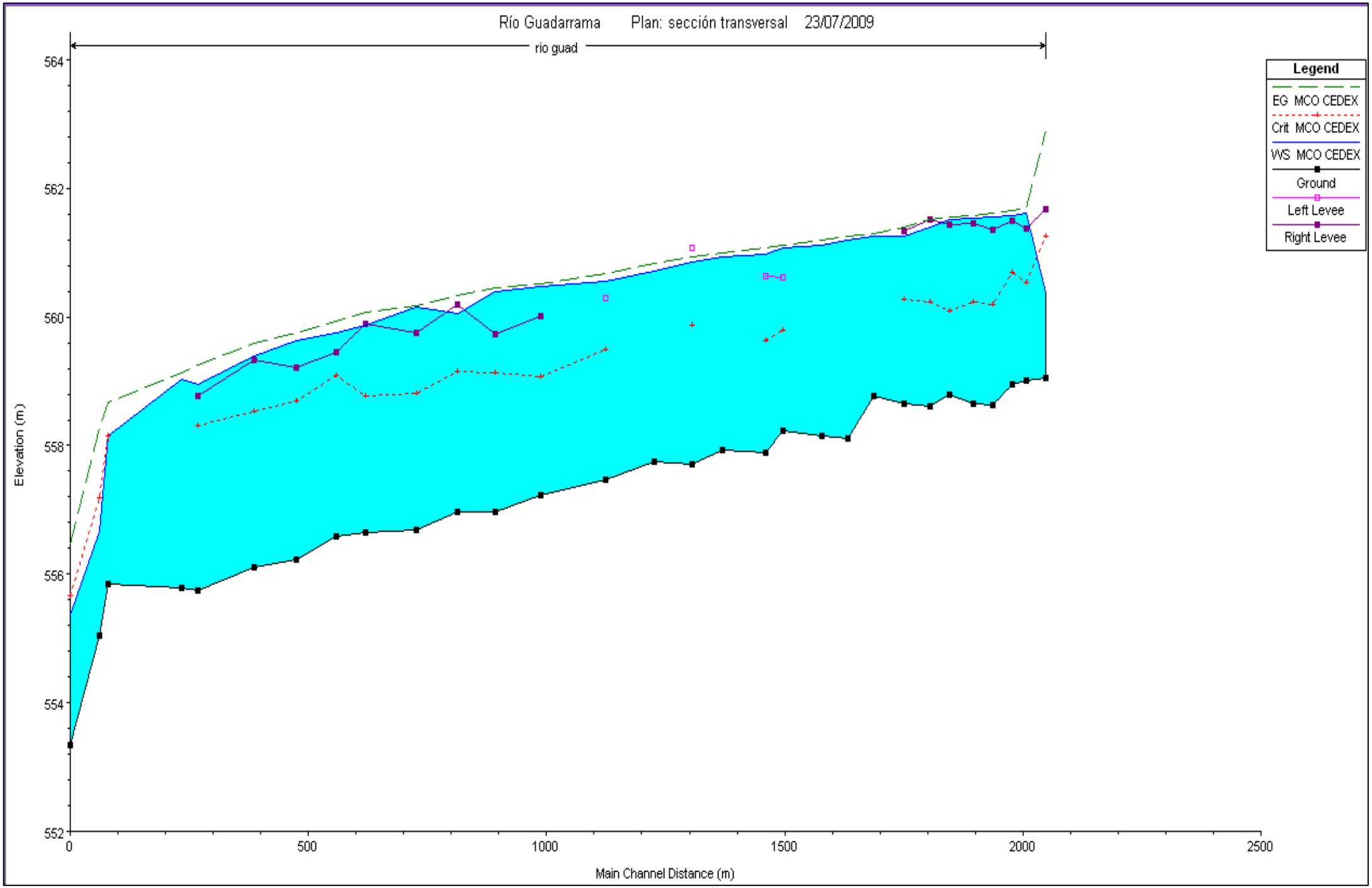
ANEXO II

PERFILES Y SECCIONES TRANSVERSALES PARA LA MÁXIMA CRECIDA ORDINARIA (CEDEX)

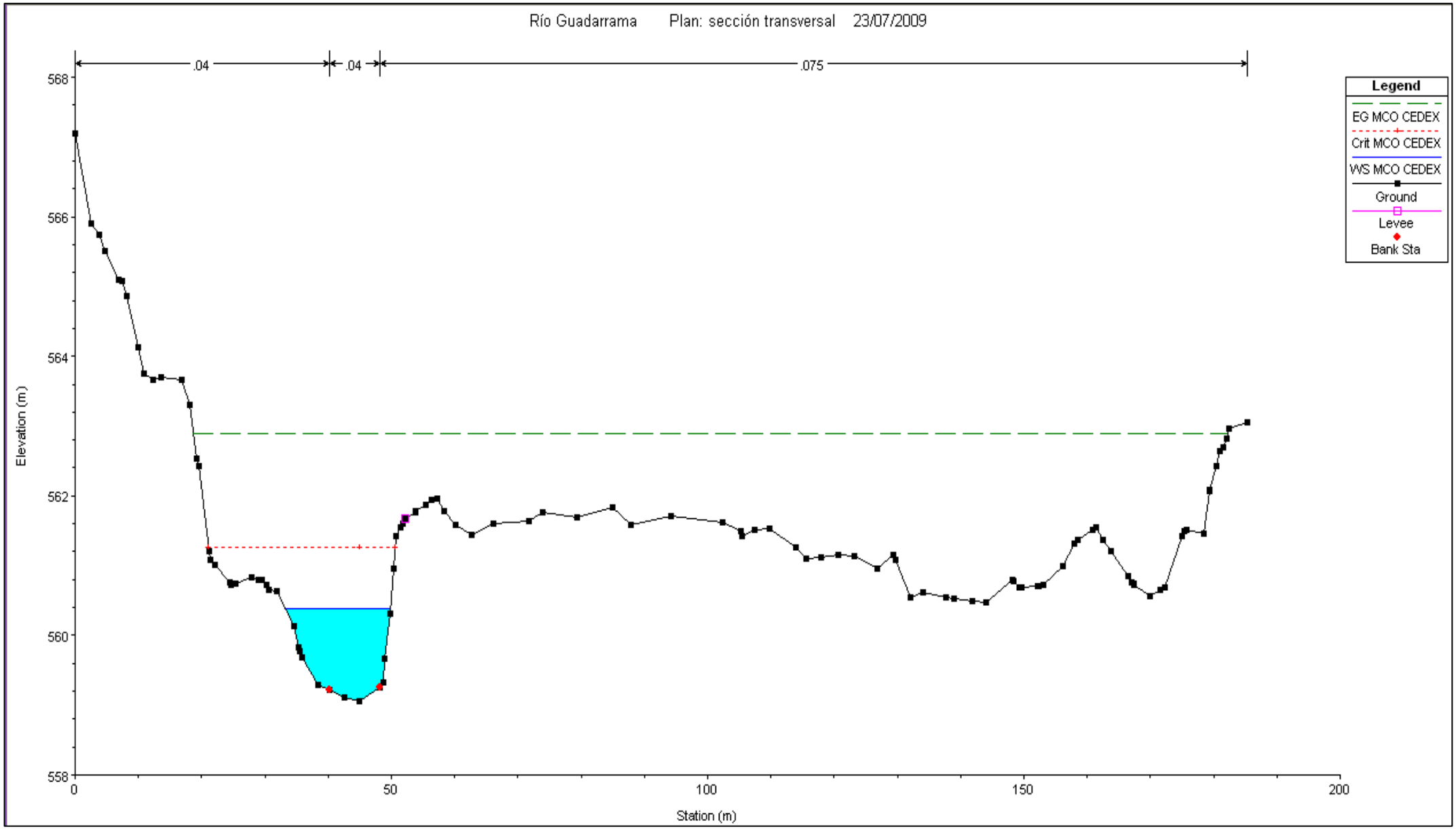
MARINA BLANCO FLORES

MARTA FERNÁNDEZ BOYANO

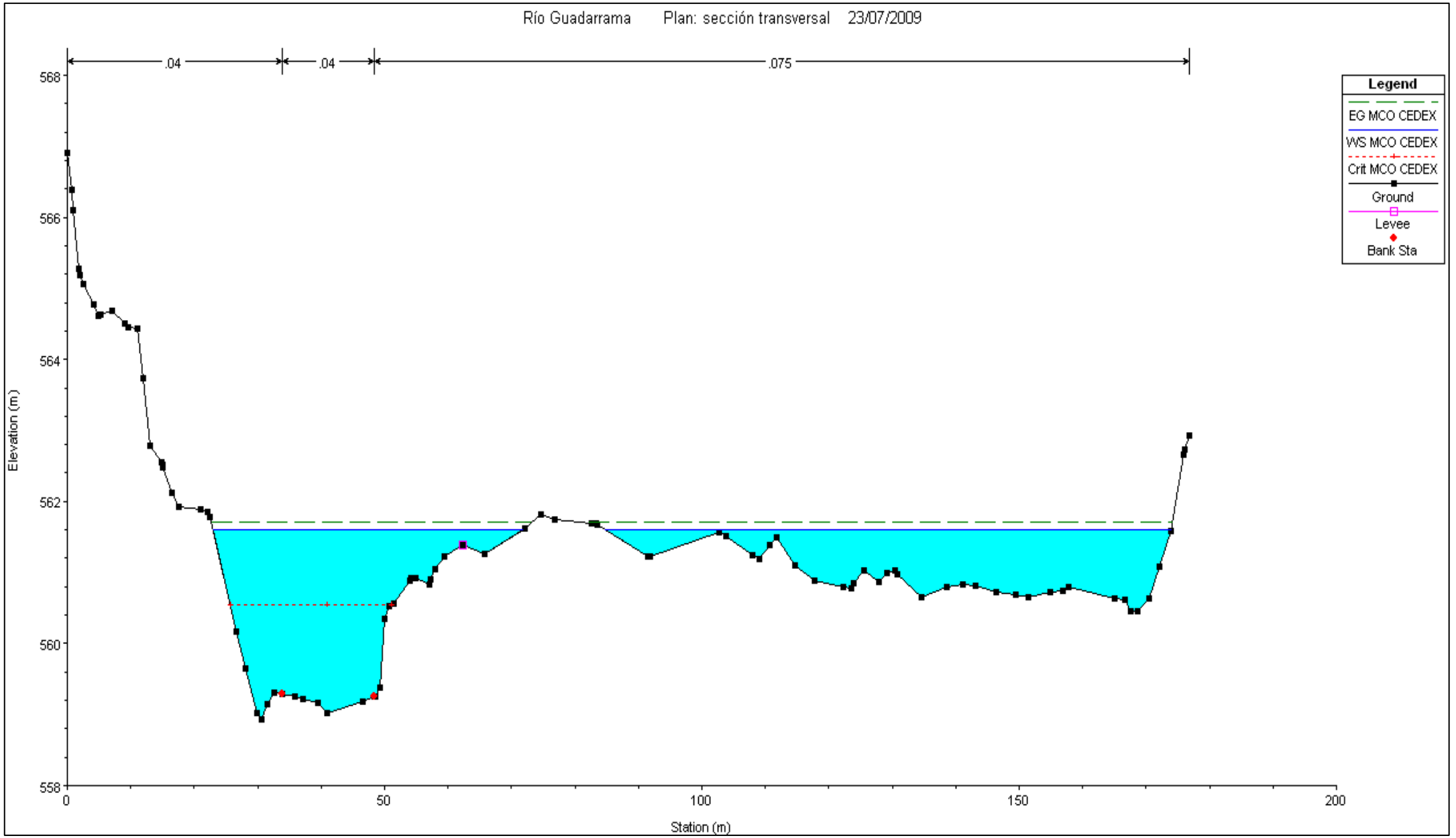

Río Guadarrama Plan: sección transversal 23/07/2009
Legend
WS MCO CEDEX
Ground
Levee
Bank Sta
2070.291
2029.555
1959.346
1919.005
1772.361
1710.531
1655.502
1518.614
1481.967
1392.749
1328.065
1248.434
1147.090
1010.366
914.983
835.526
749.262
642.092
497.652
409.205
289.627
102.146
84.516
22.781


Río Guadarrama Plan: sección transversal 23/07/2009
rio guad
Legend
EG MCO CEDEX
Crit MCO CEDEX
WS MCO CEDEX
Ground
Left Levee
Right Levee
Elevation (m)
564
562
560
558
556
554
552
0
500
1000
1500
2000
2500
Main Channel Distance (m)

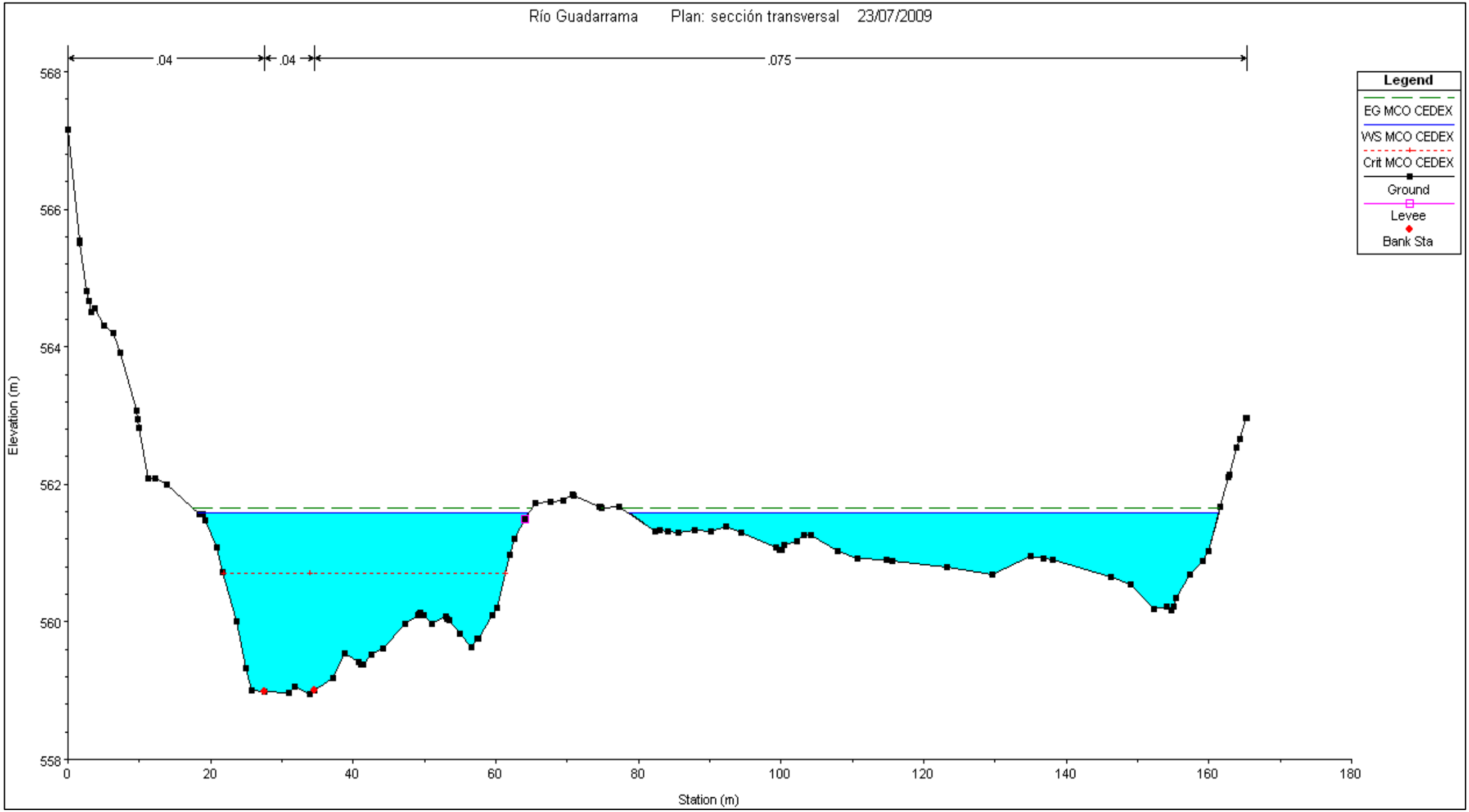
Río Guadarrama- Sección transversal 2070.291



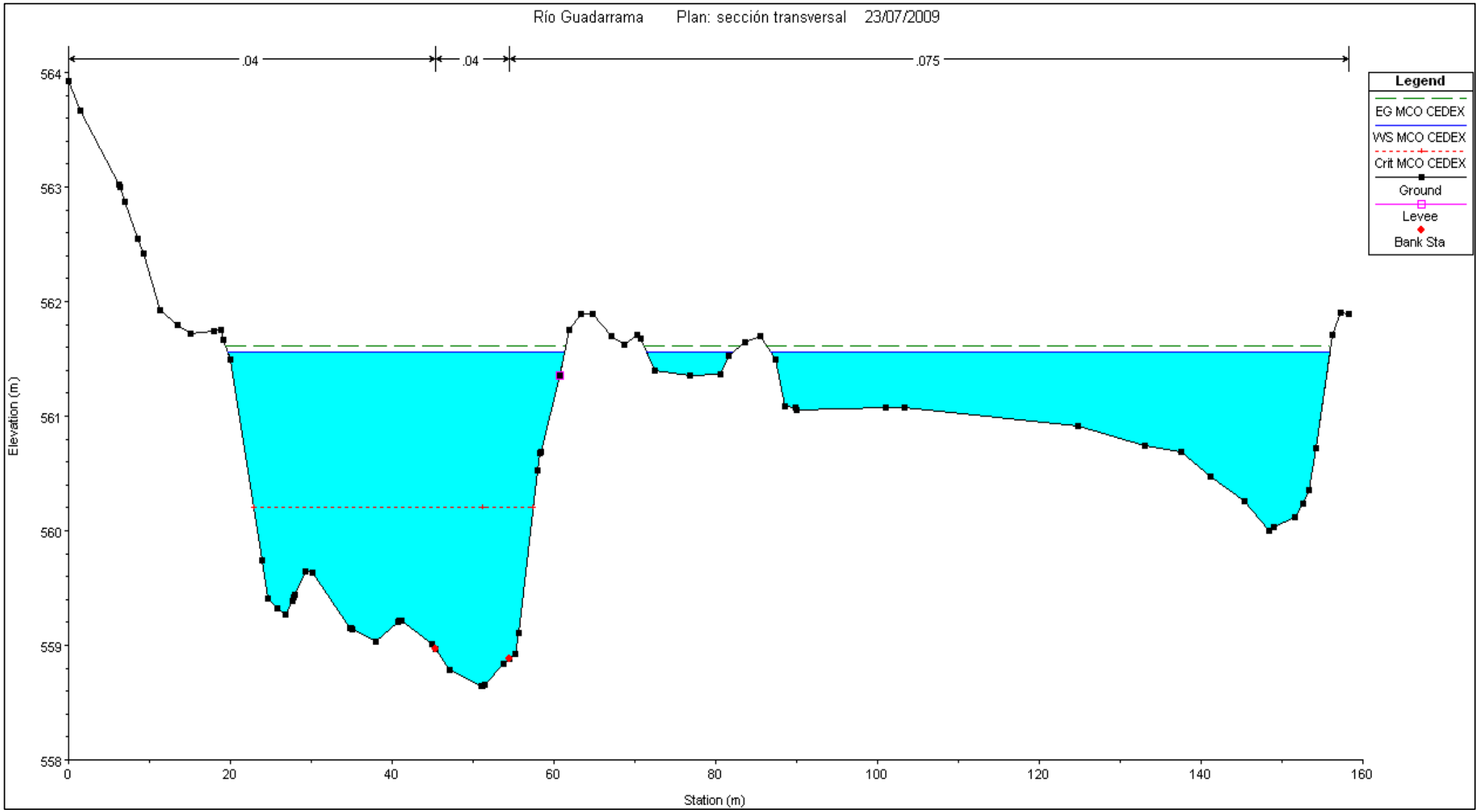
Río Guadarrama- Sección transversal 2029.555



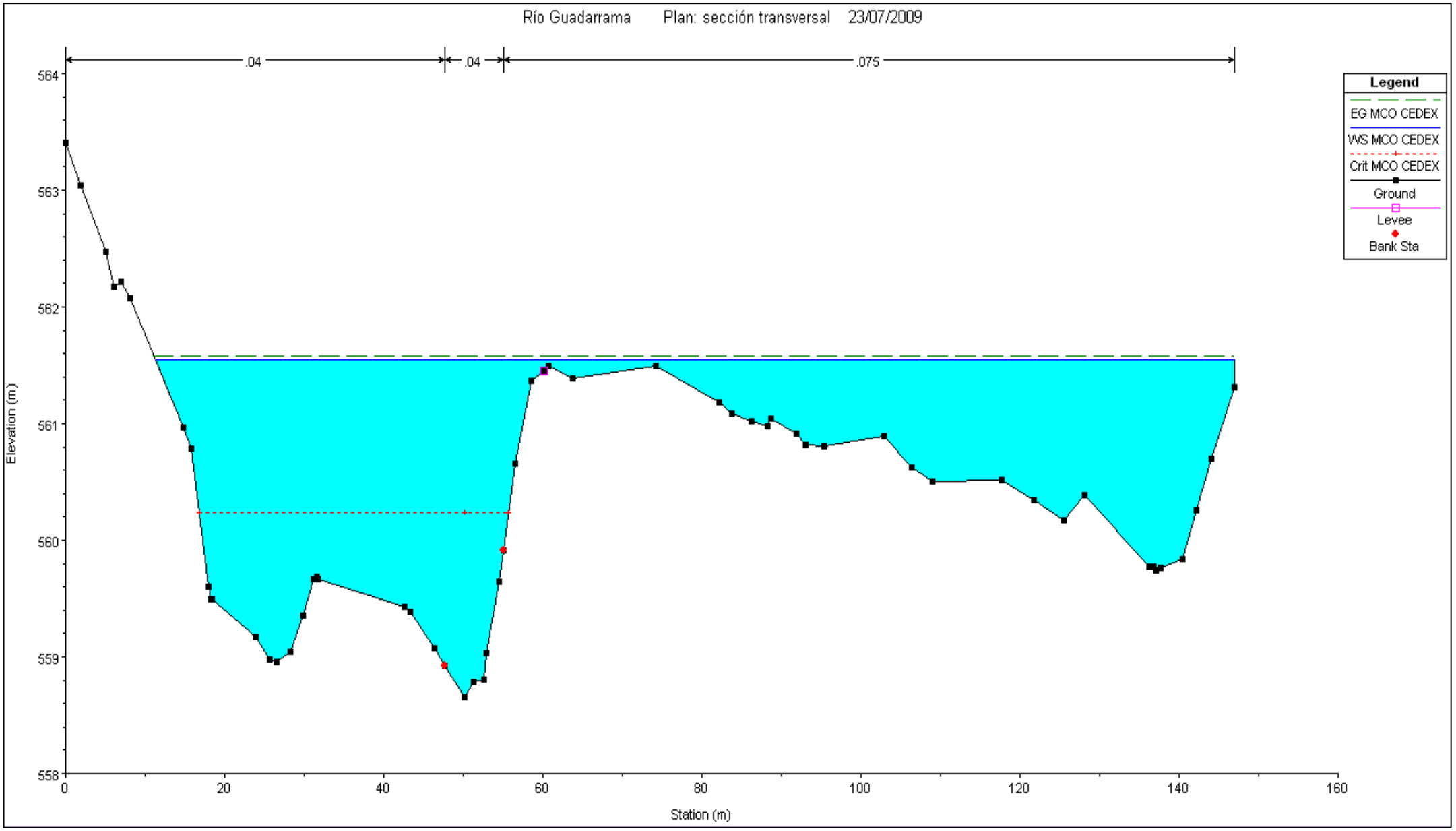
Río Guadarrama- Sección transversal 1999.605



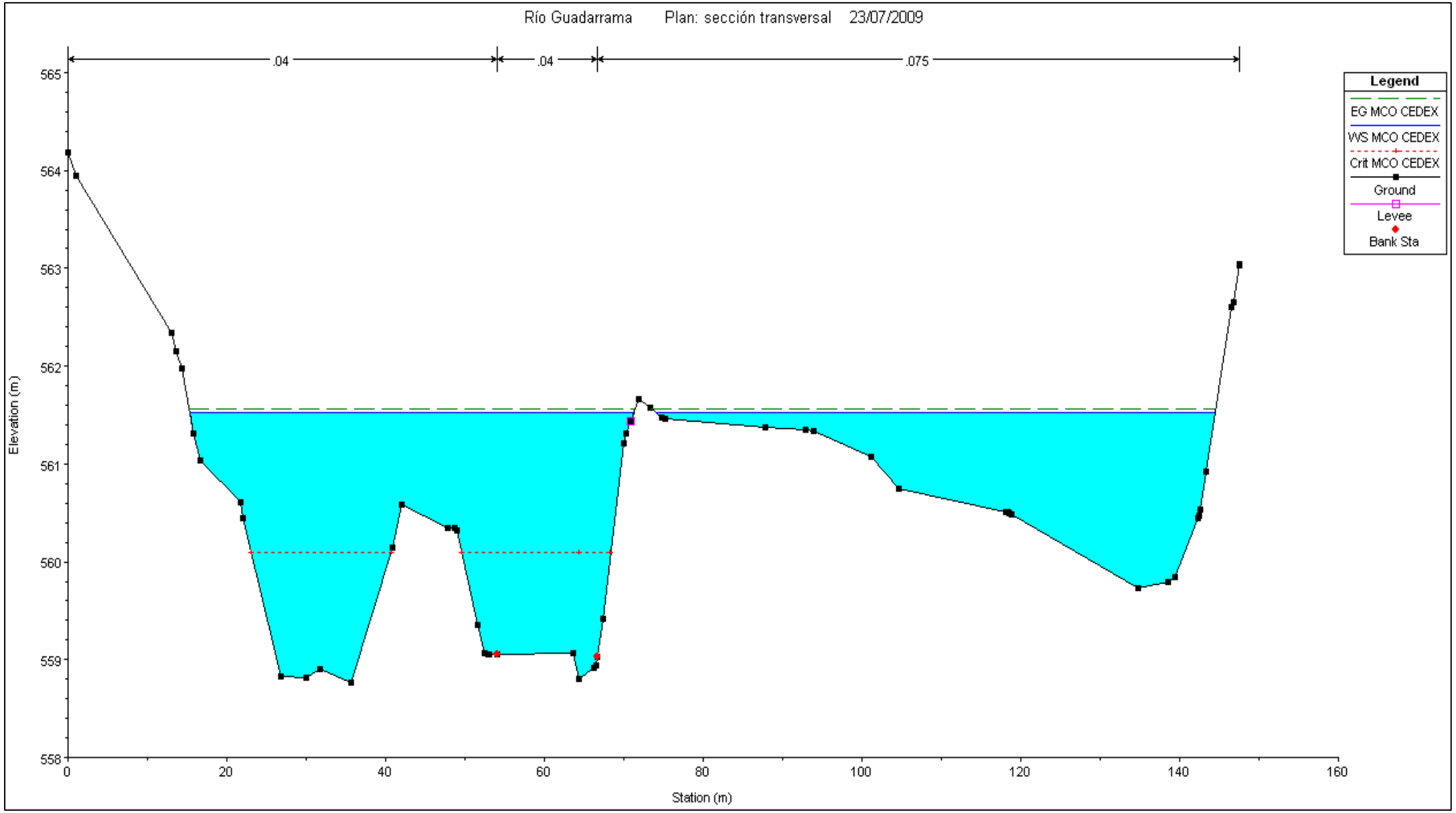
Río Guadarrama- Sección transversal 1949.356



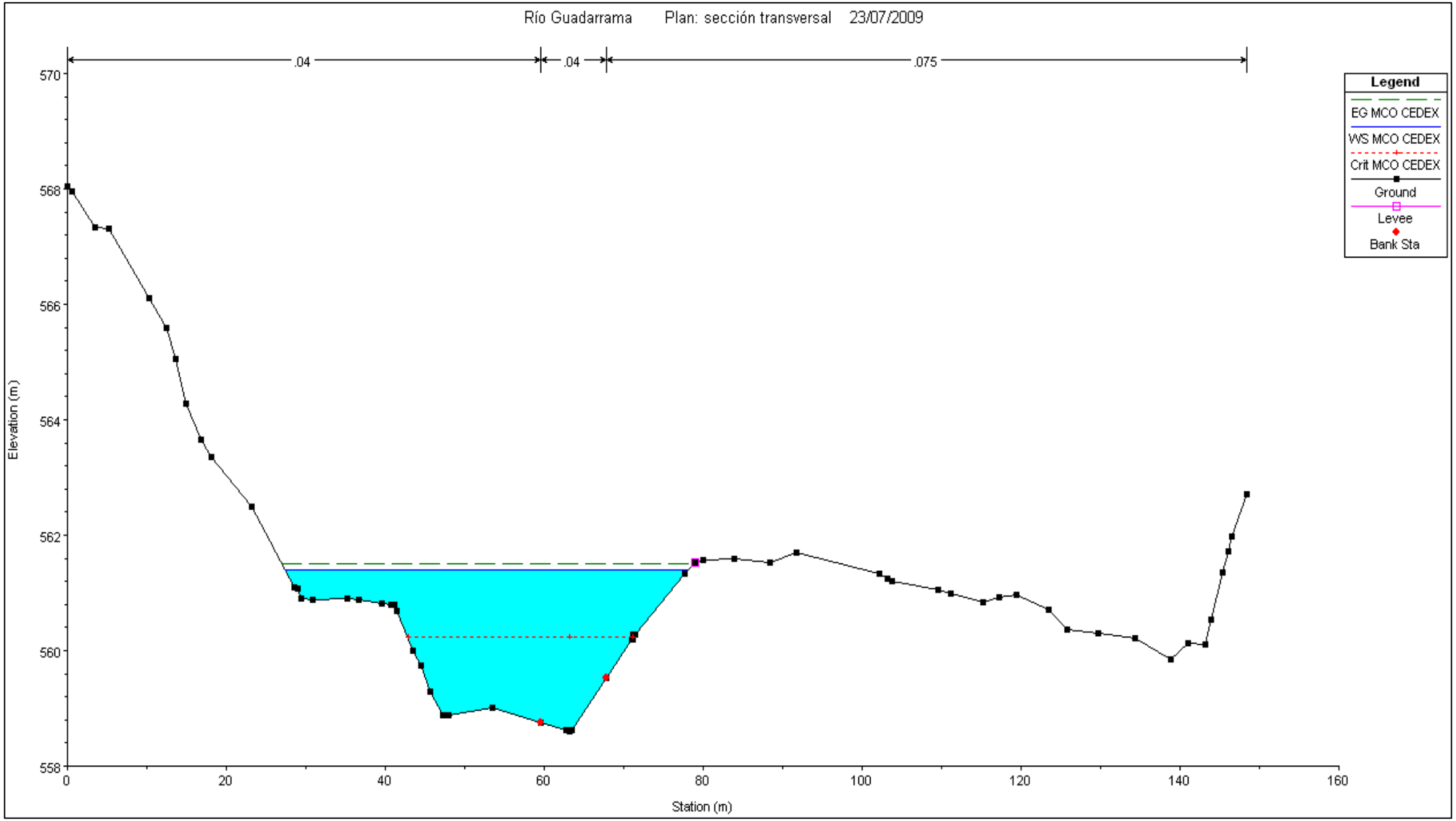
Río Guadarrama- Sección transversal 1919.005



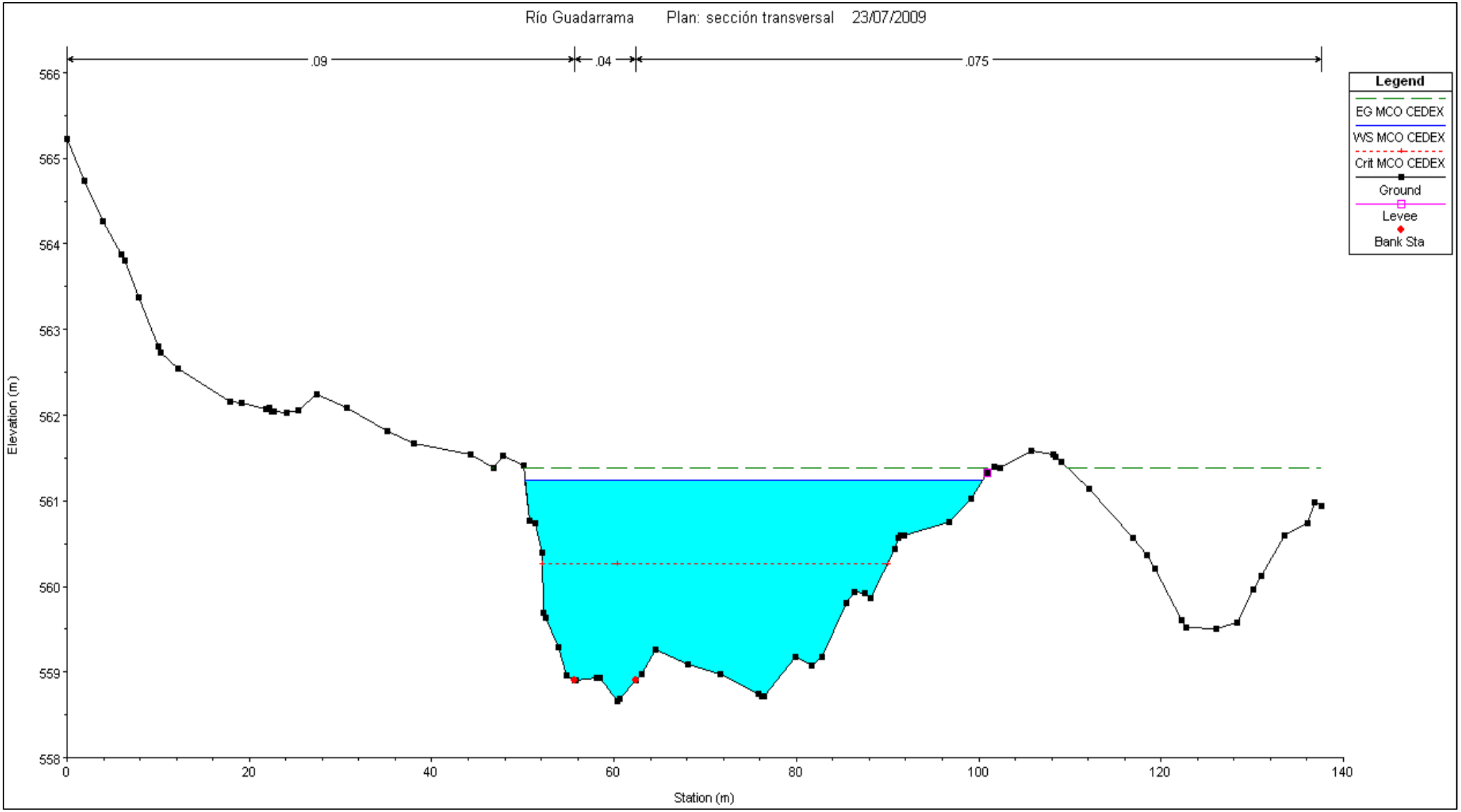
Río Guadarrama- Sección transversal 1867.725



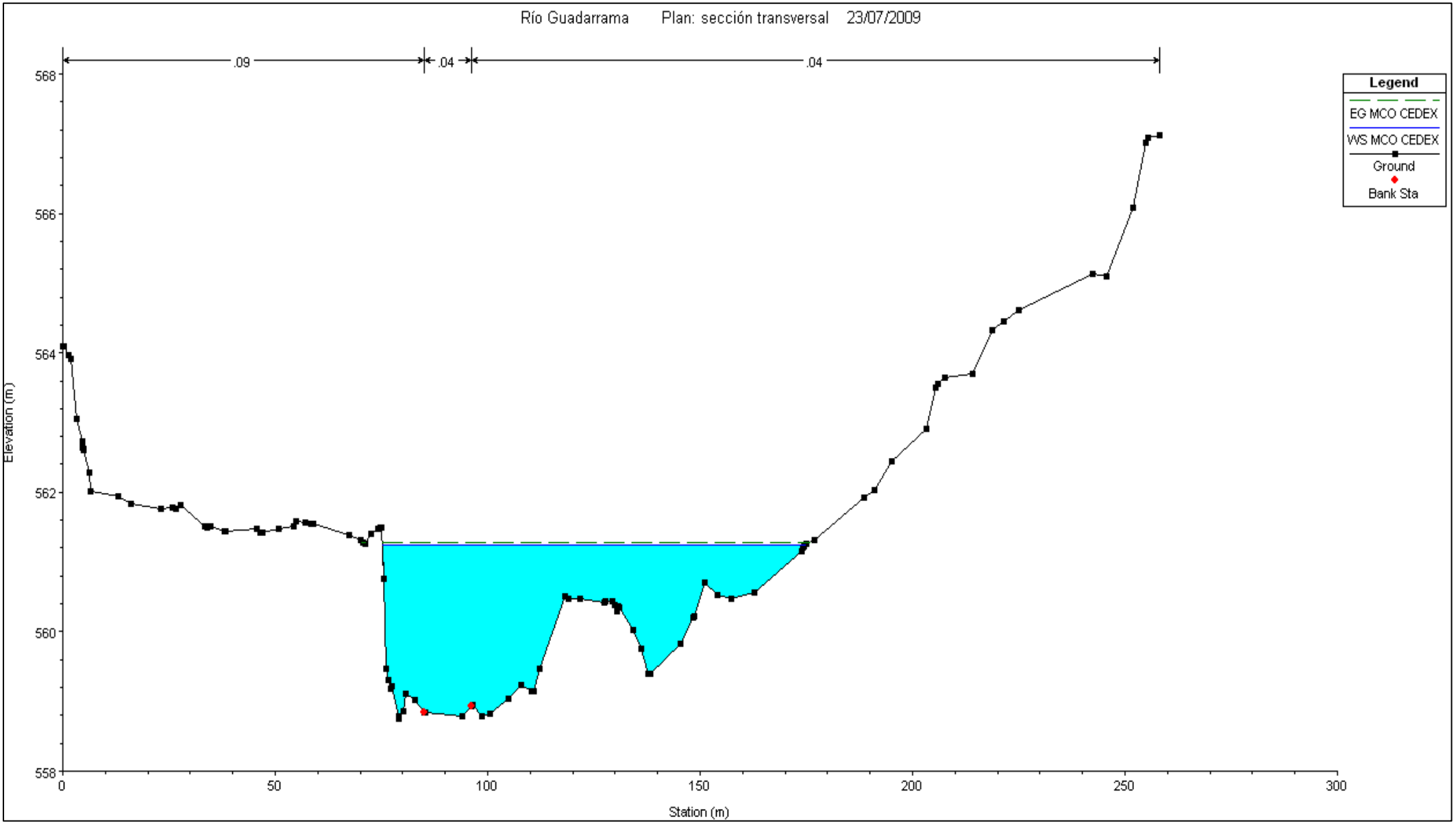
Río Guadarrama- Sección transversal 1828.505



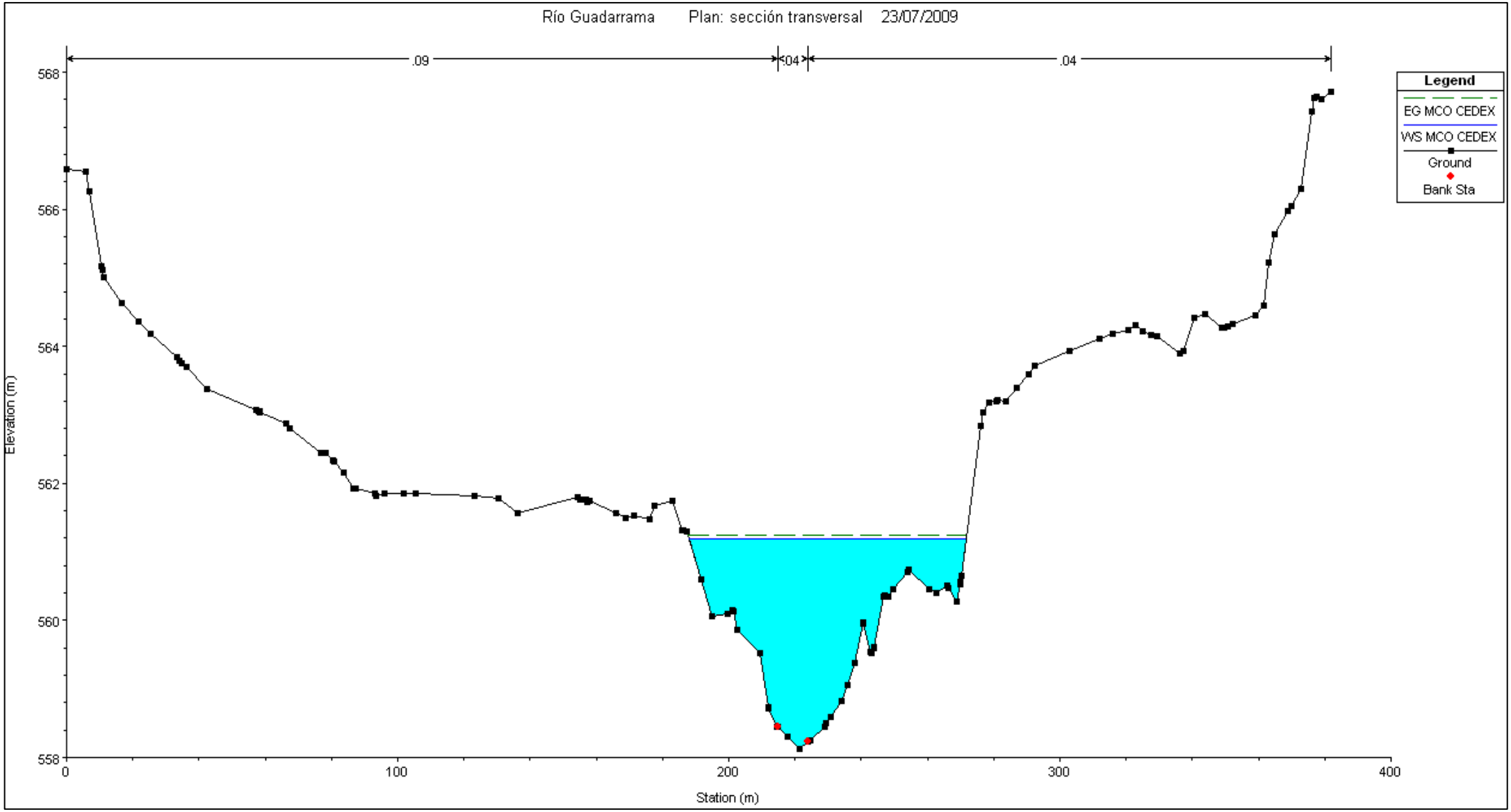
Río Guadarrama- Sección transversal 1772.361



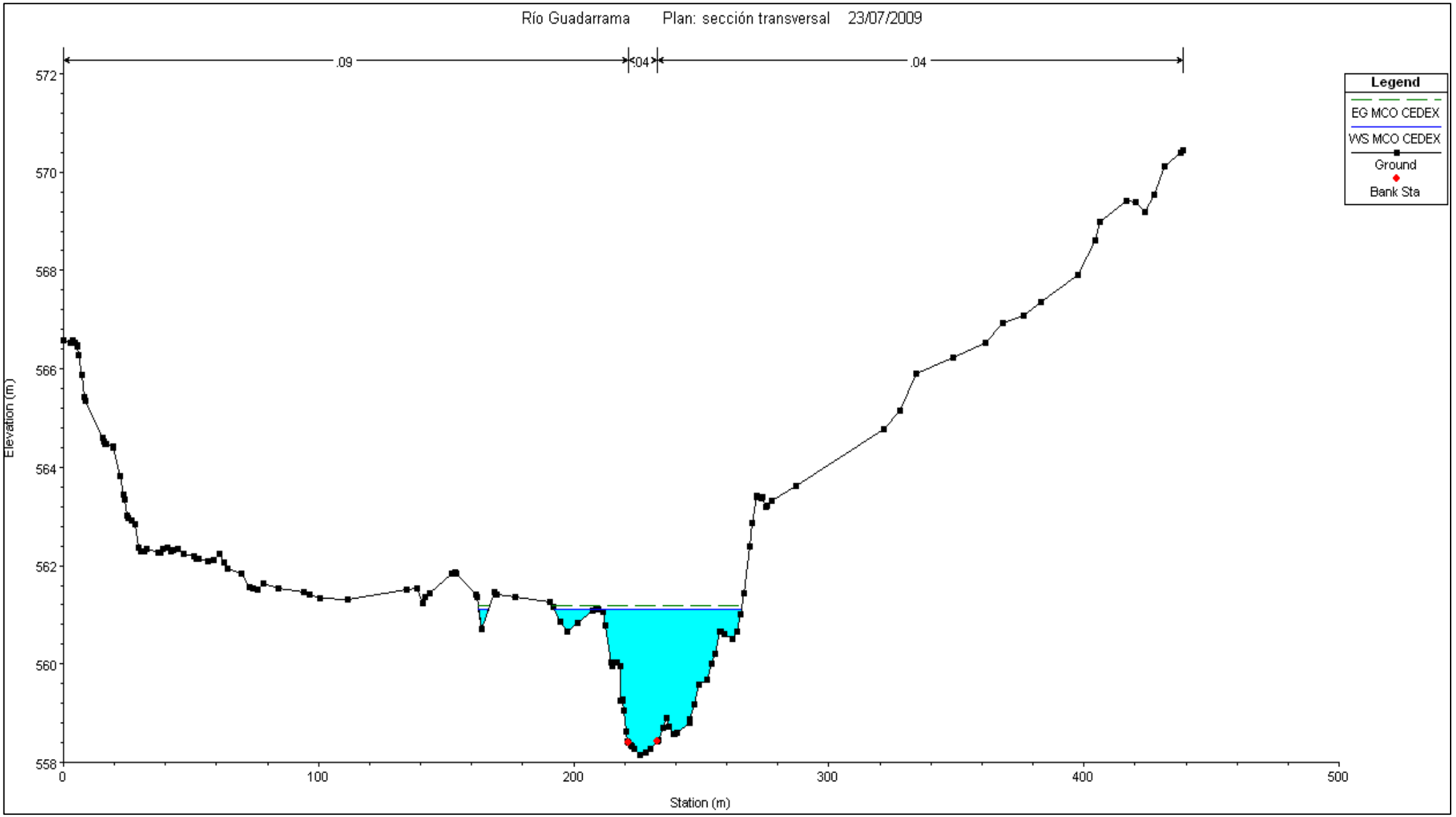
Río Guadarrama- Sección transversal 1710.531



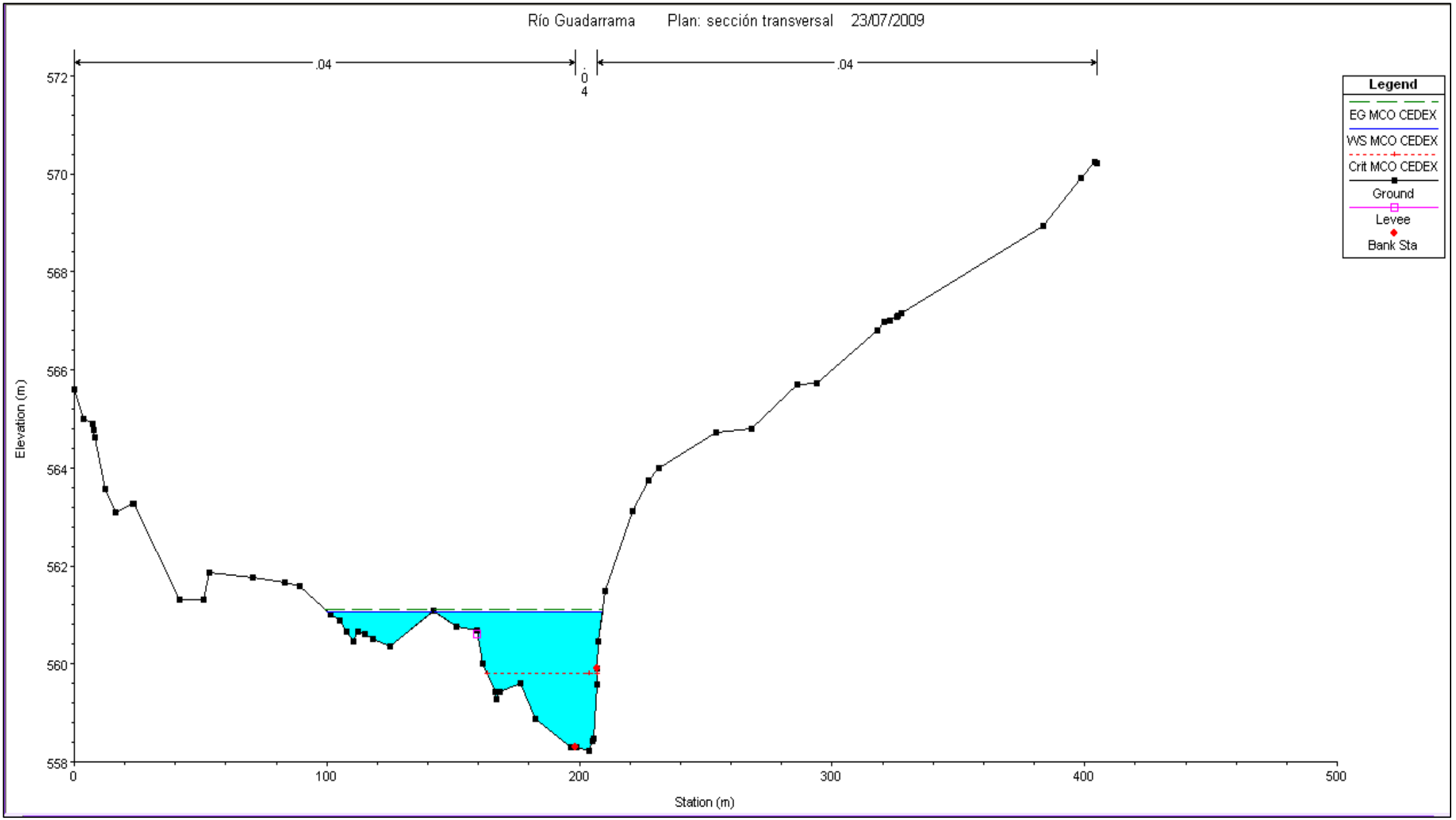
Río Guadarrama- Sección transversal 1655.502



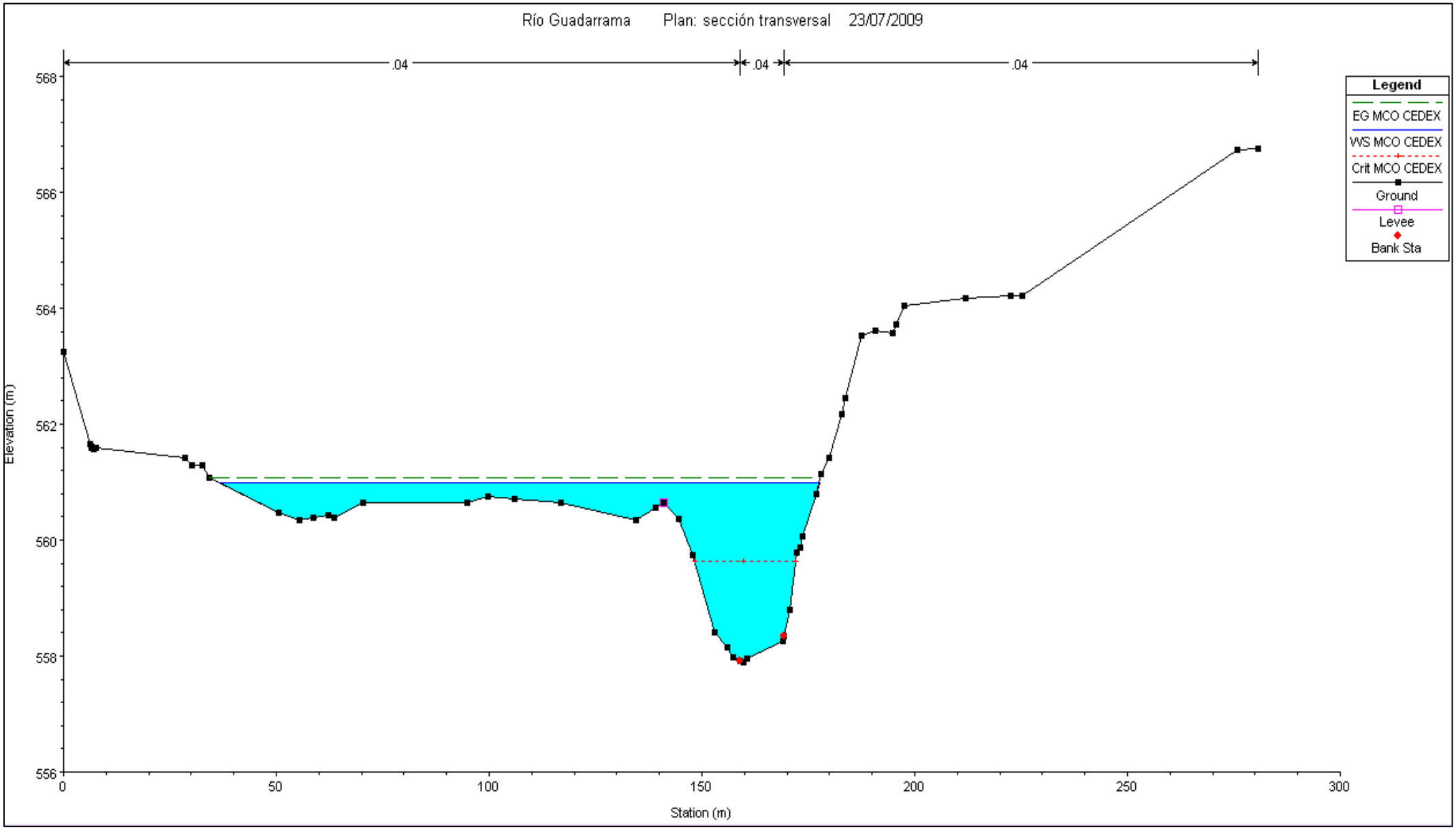
Río Guadarrama- Sección transversal 1600.154



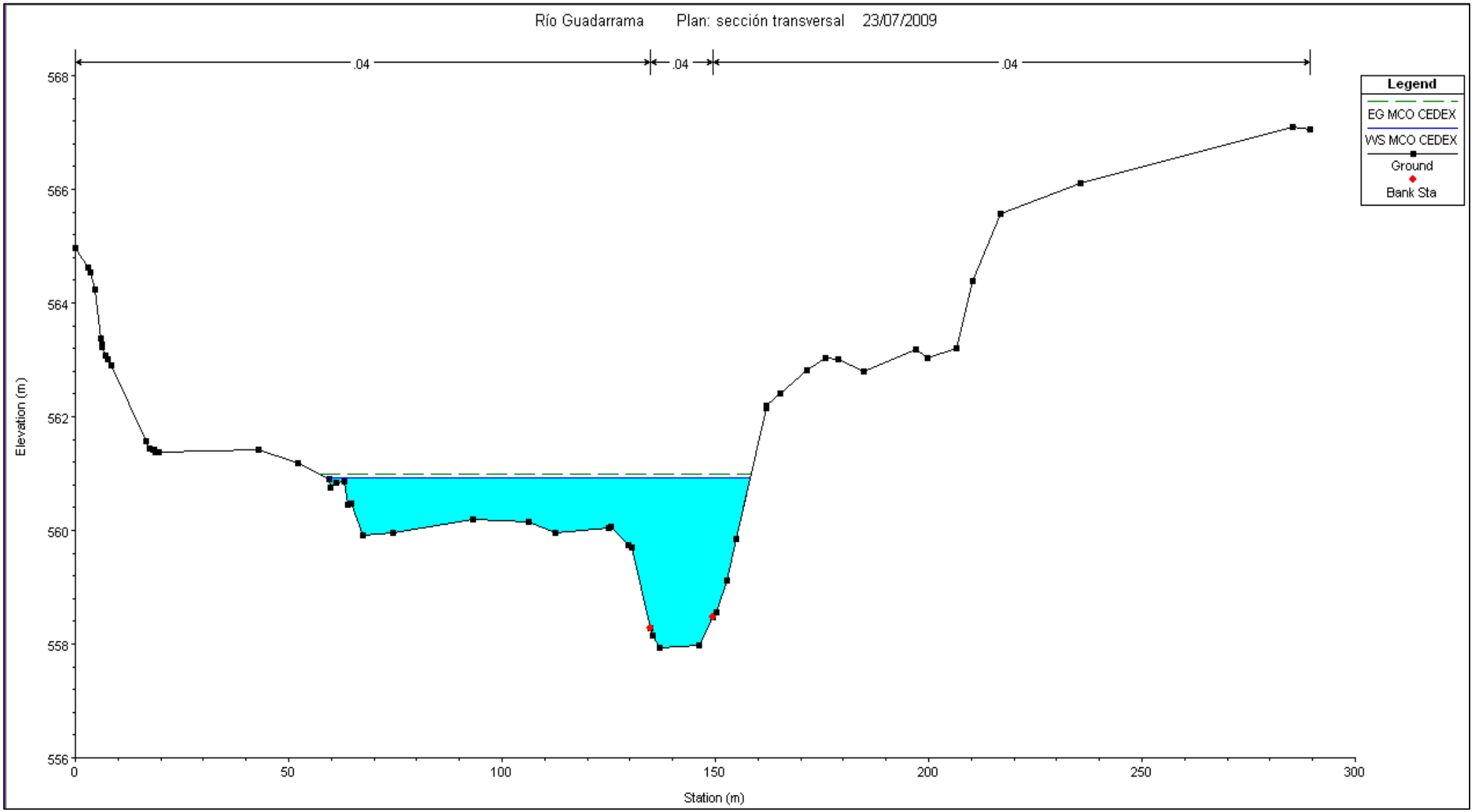
Río Guadarrama- Sección transversal 1518.614



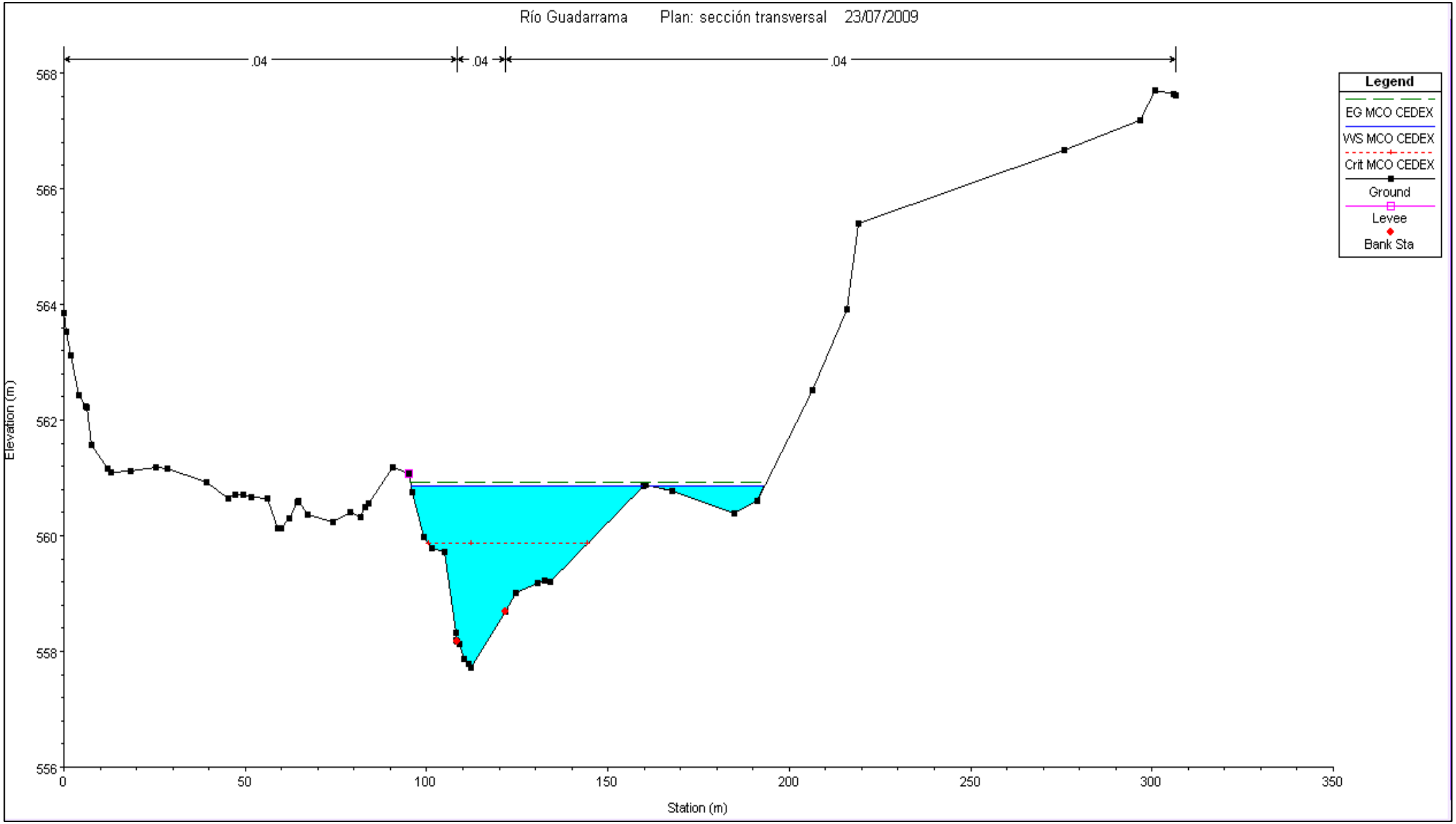
Río Guadarrama- Sección transversal 1481.967



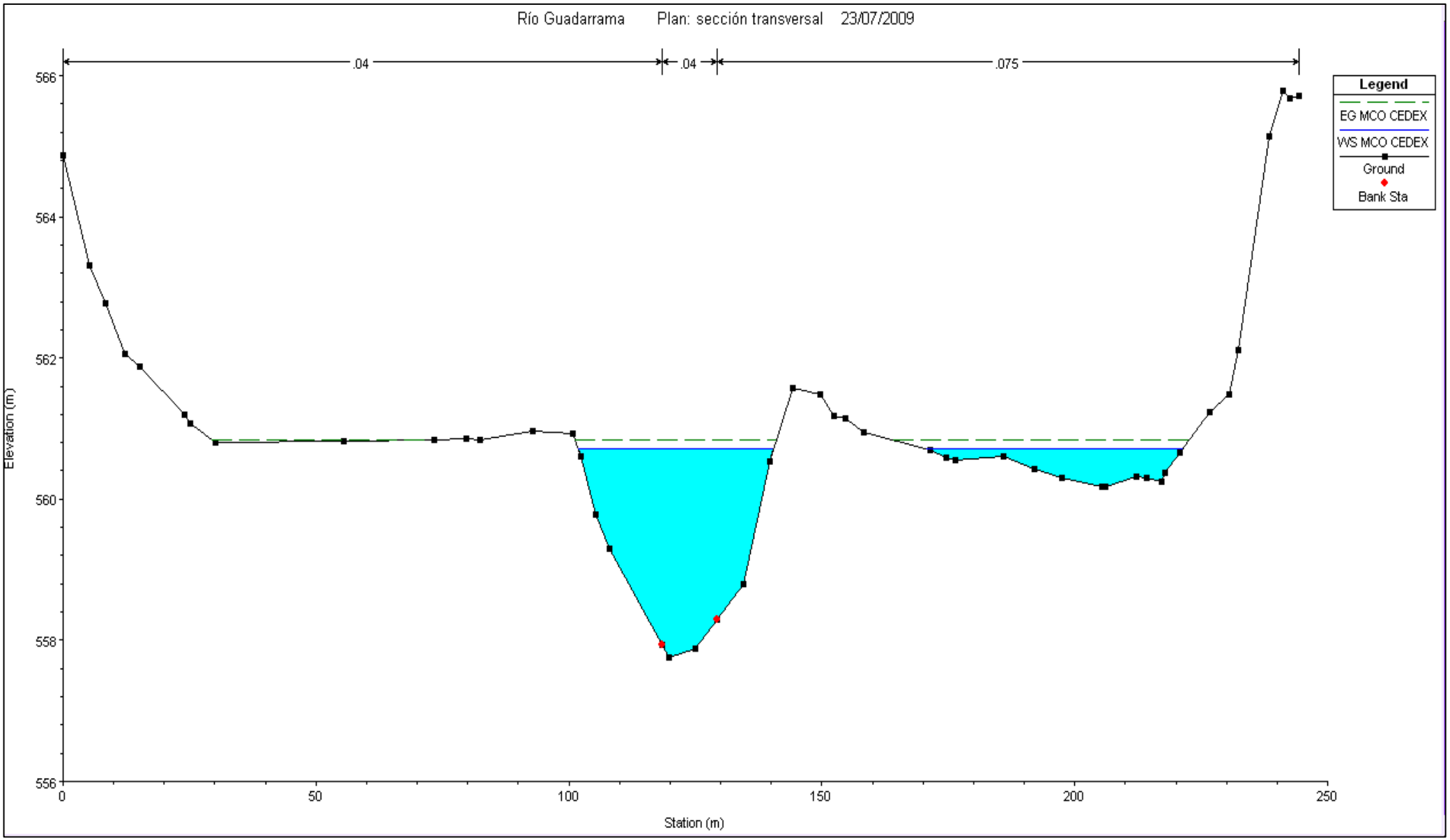
Río Guadarrama- Sección transversal 1392.749



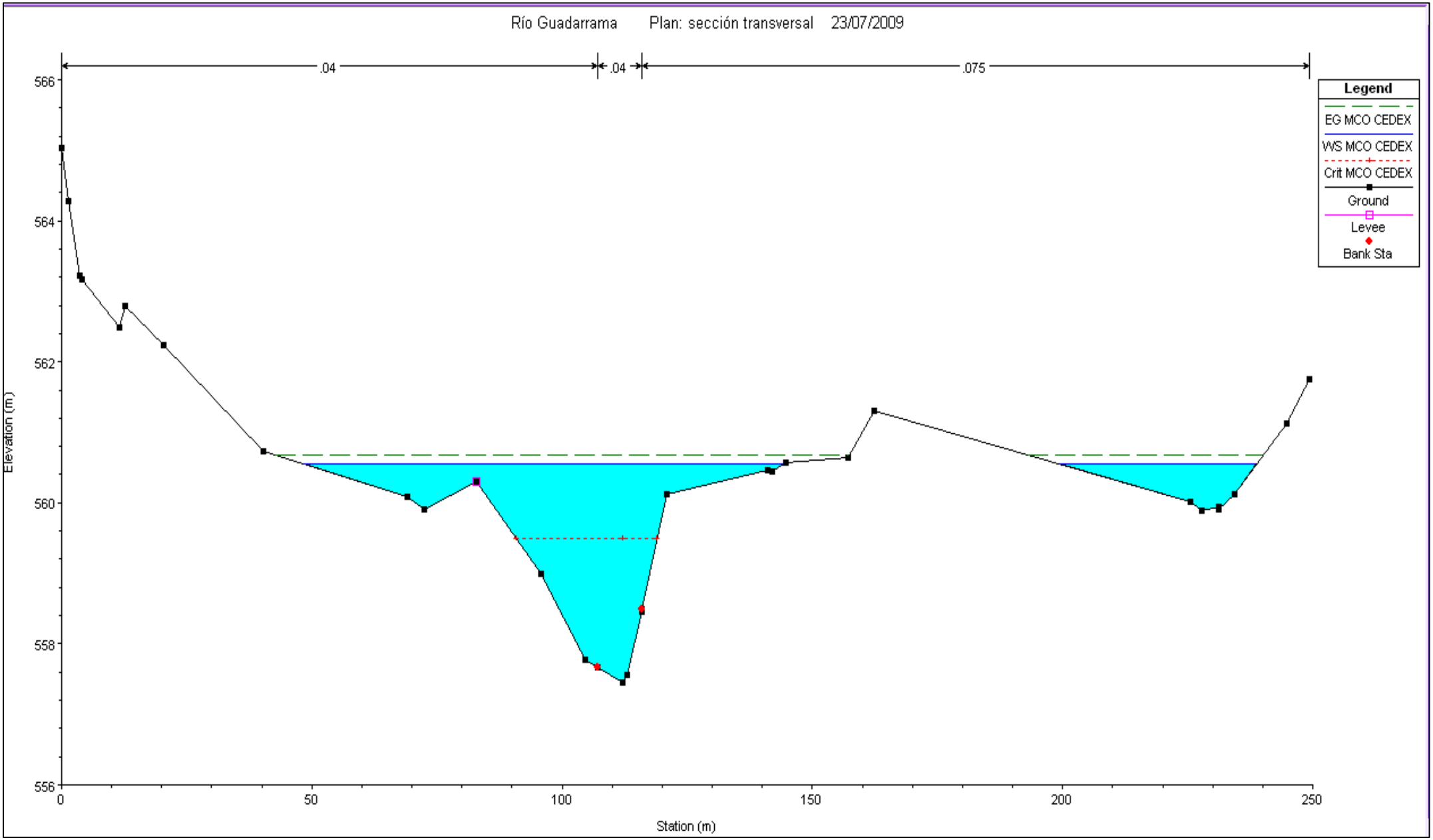
Río Guadarrama- Sección transversal 1328.065



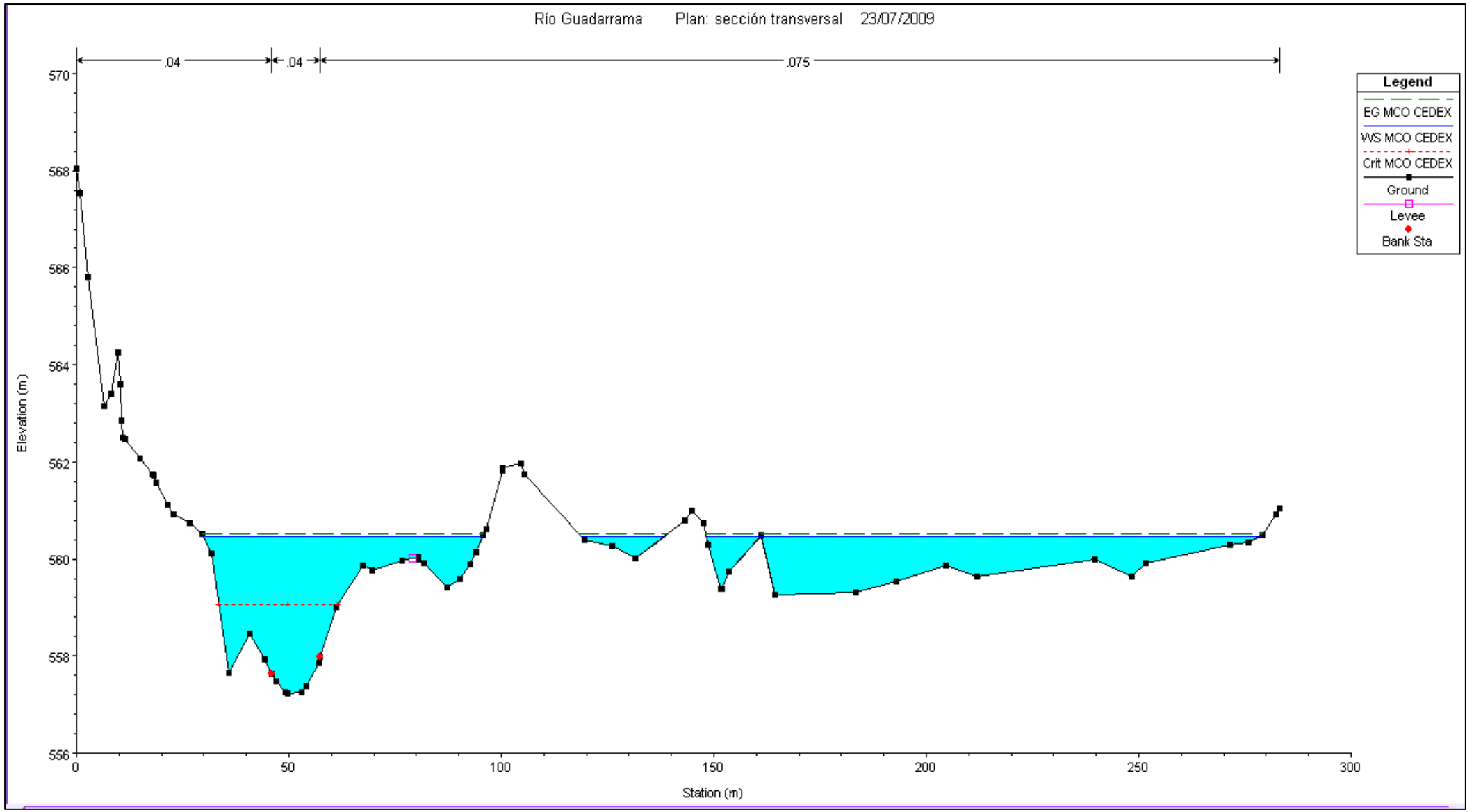
Río Guadarrama- Sección transversal 1248.434



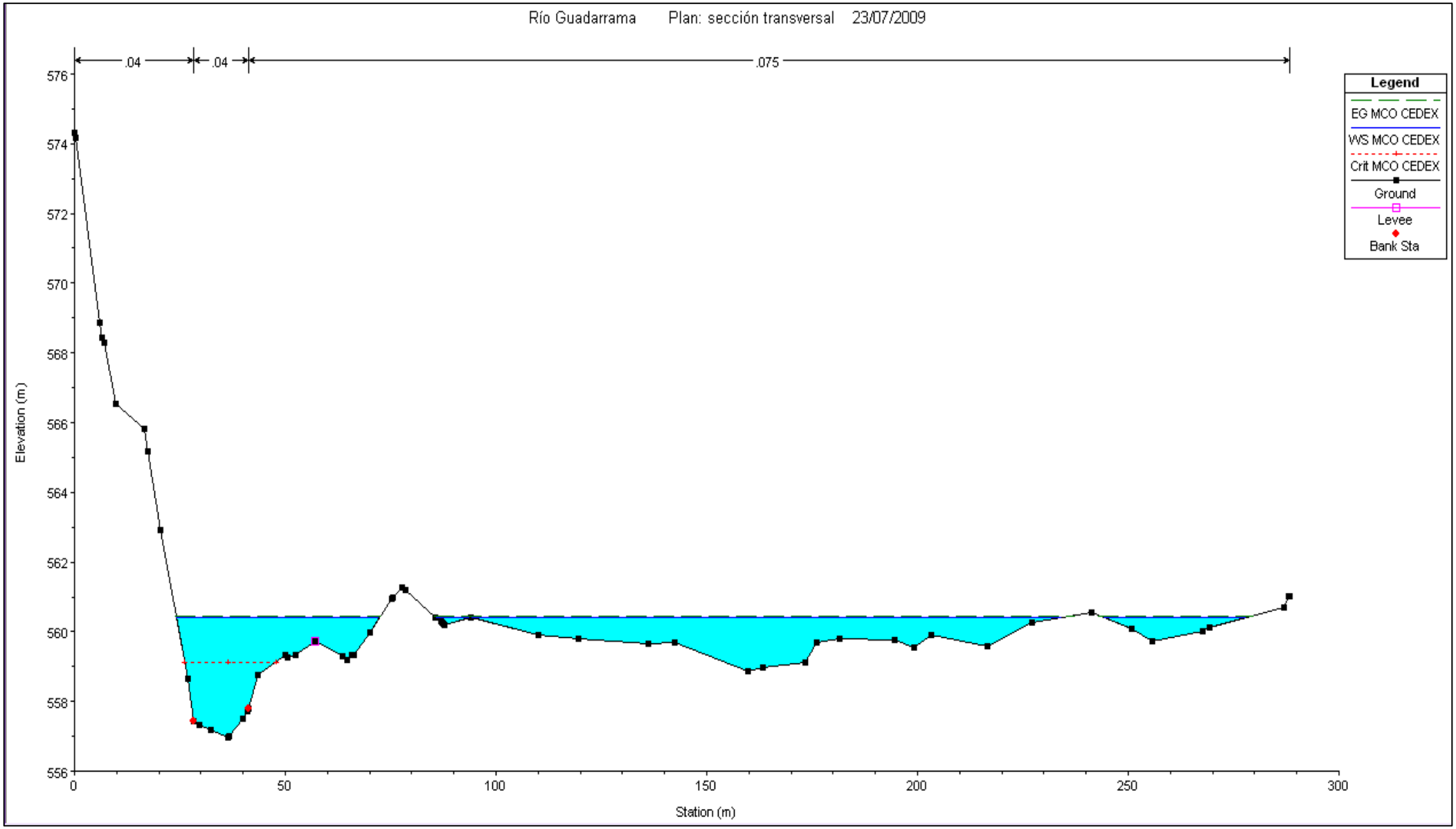
Río Guadarrama- Sección transversal 1147.090



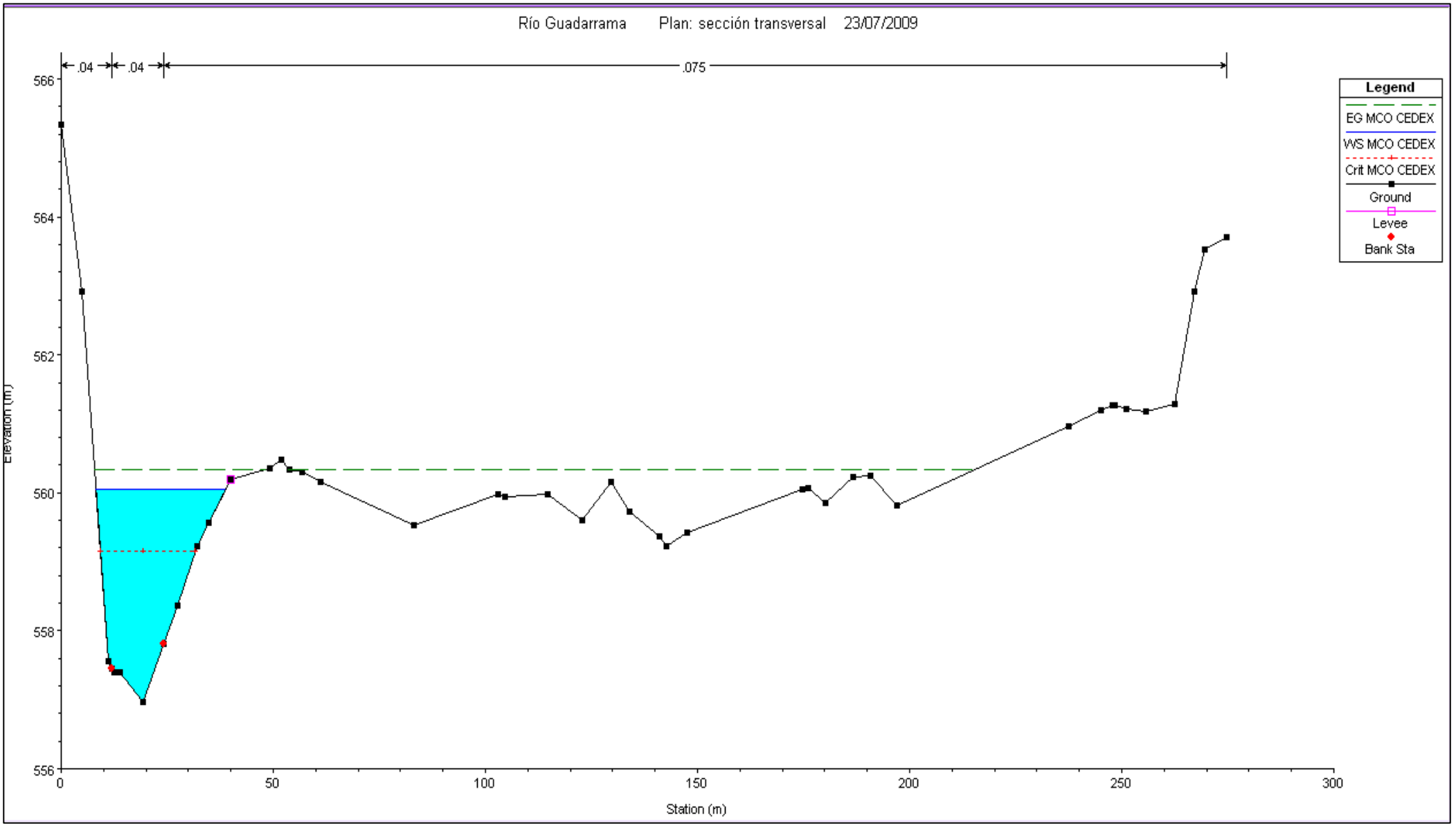
Río Guadarrama- Sección transversal 1010.366



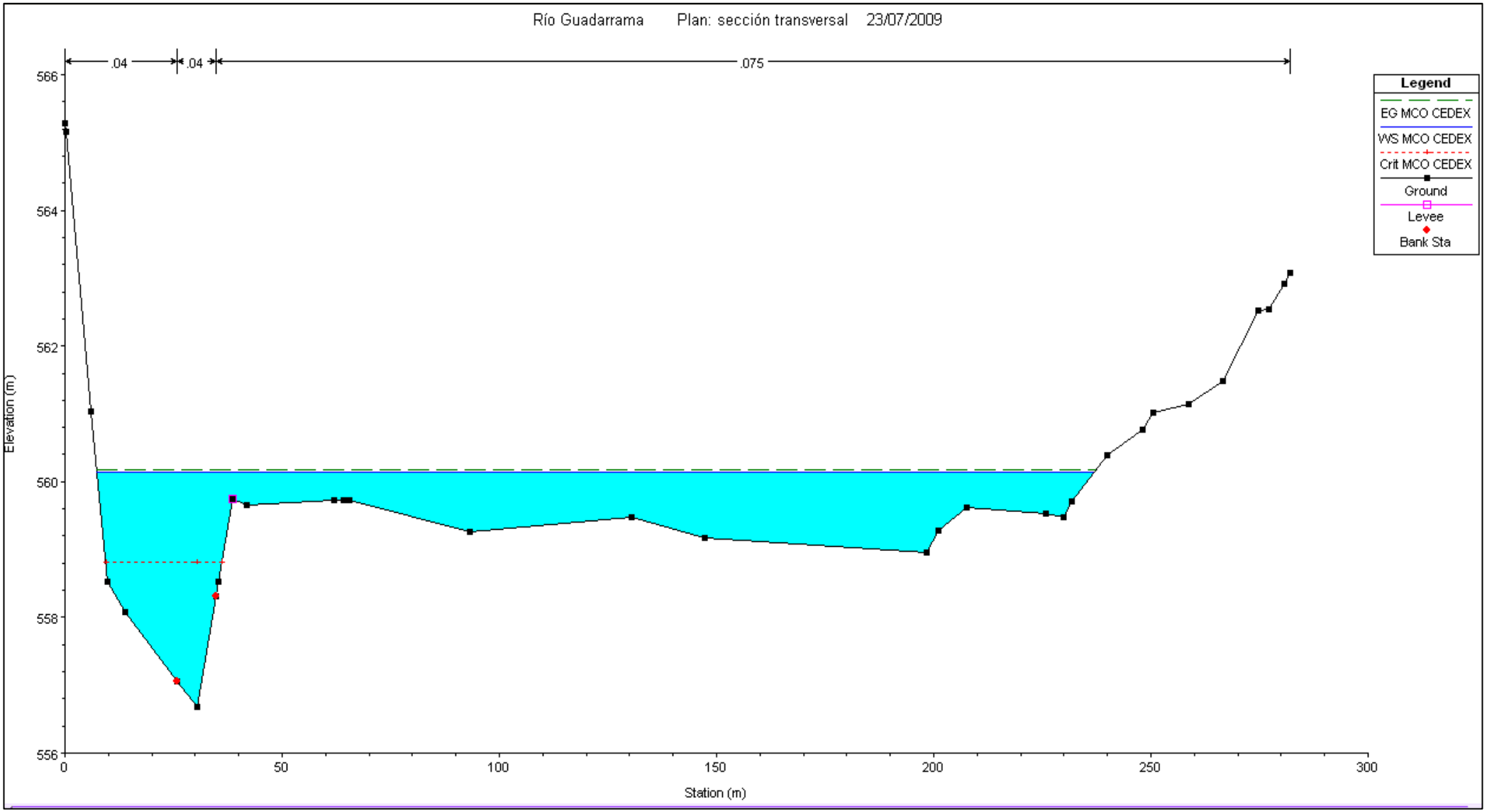
Río Guadarrama- Sección transversal 914.983



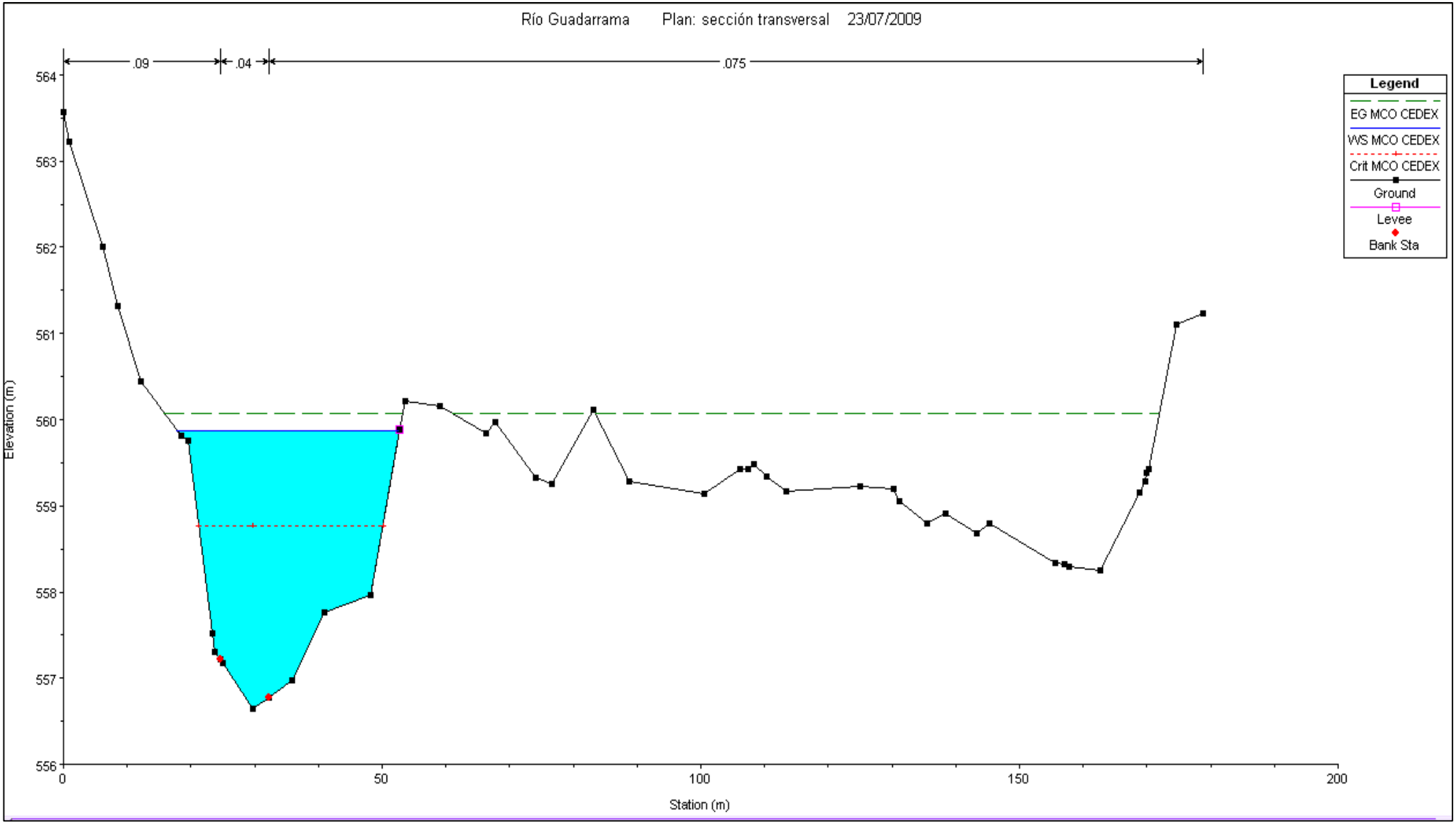
Río Guadarrama- Sección transversal 835.526



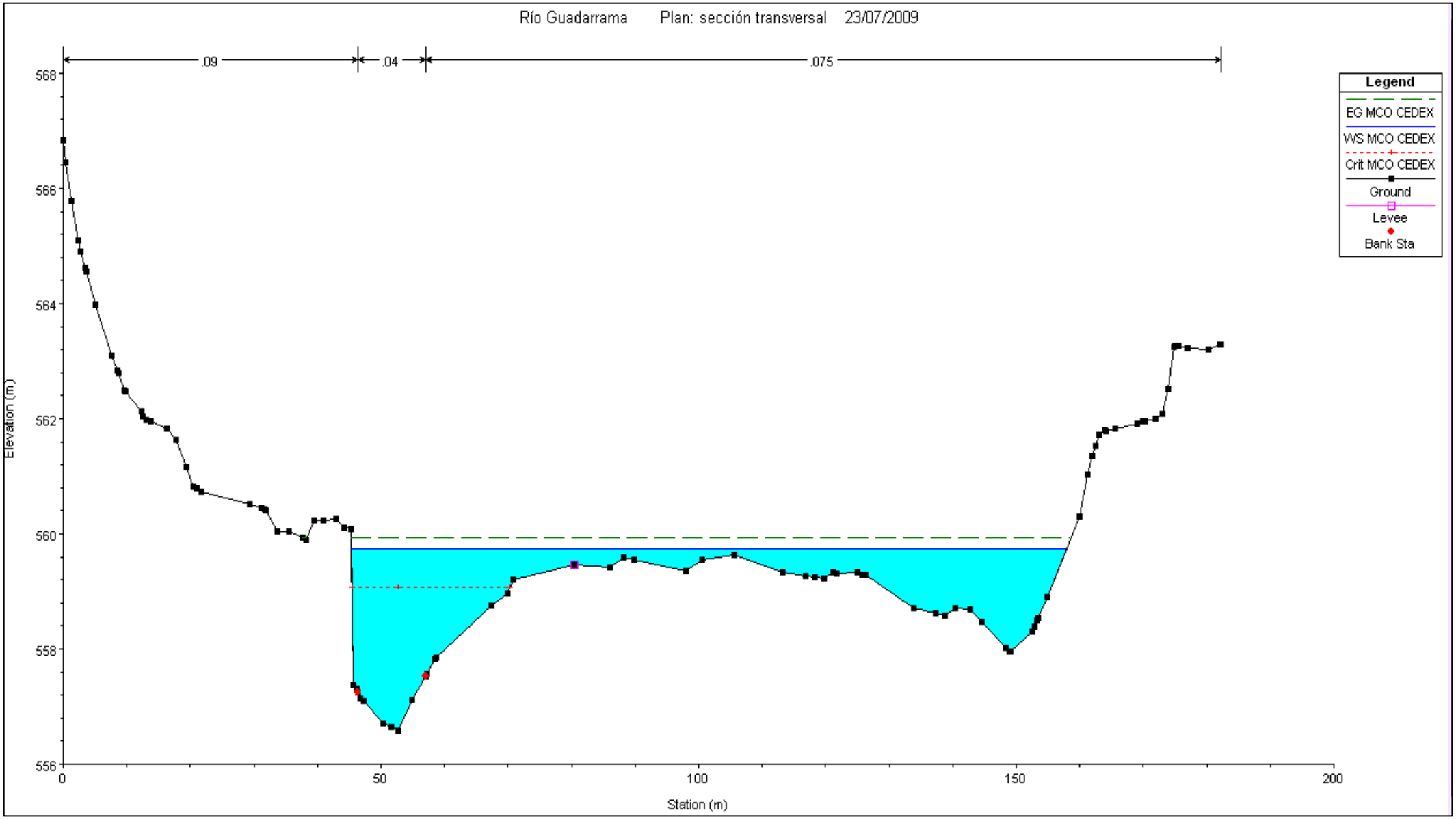
Río Guadarrama- Sección transversal 749.262



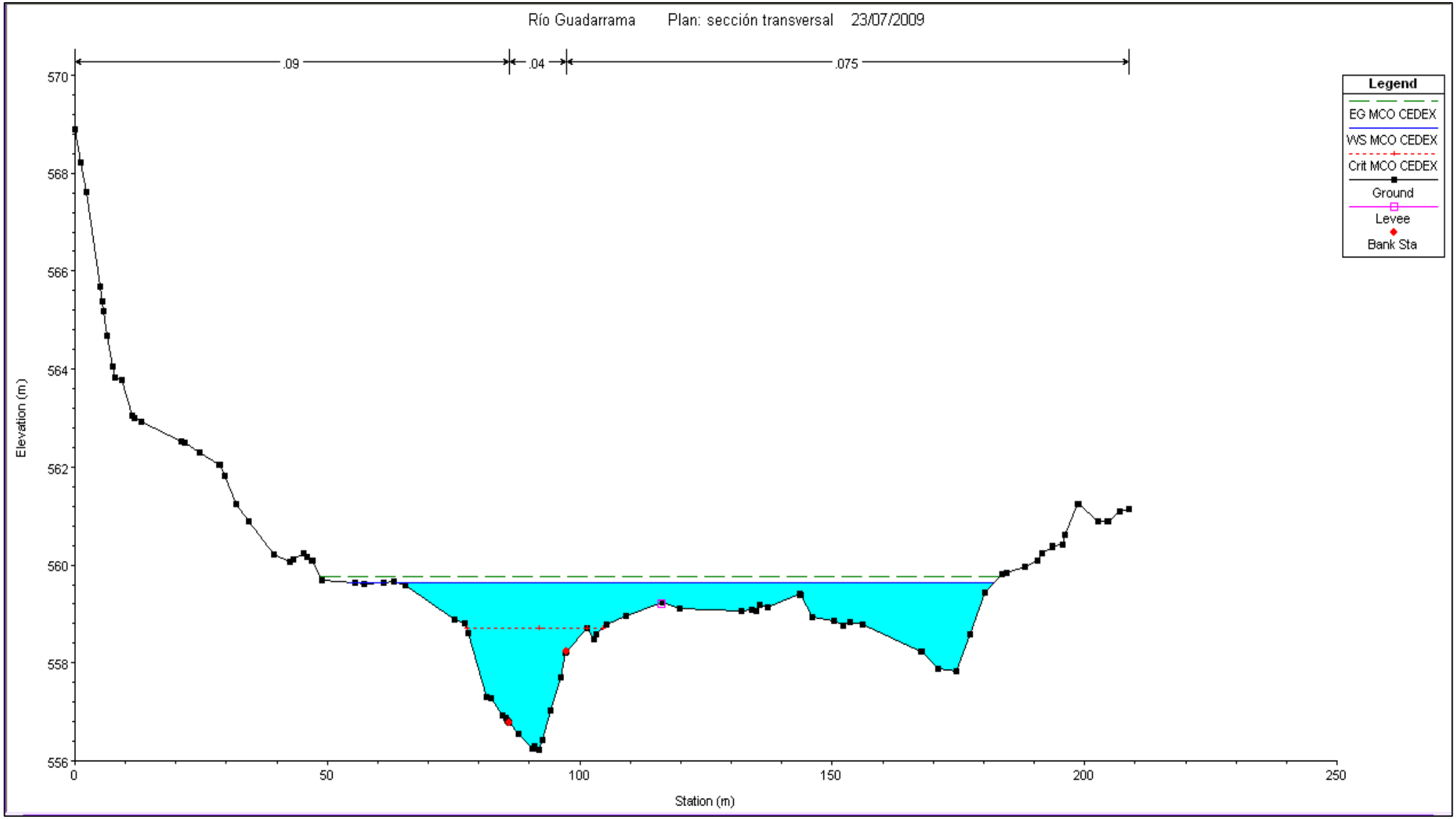
Río Guadarrama- Sección transversal 642.052



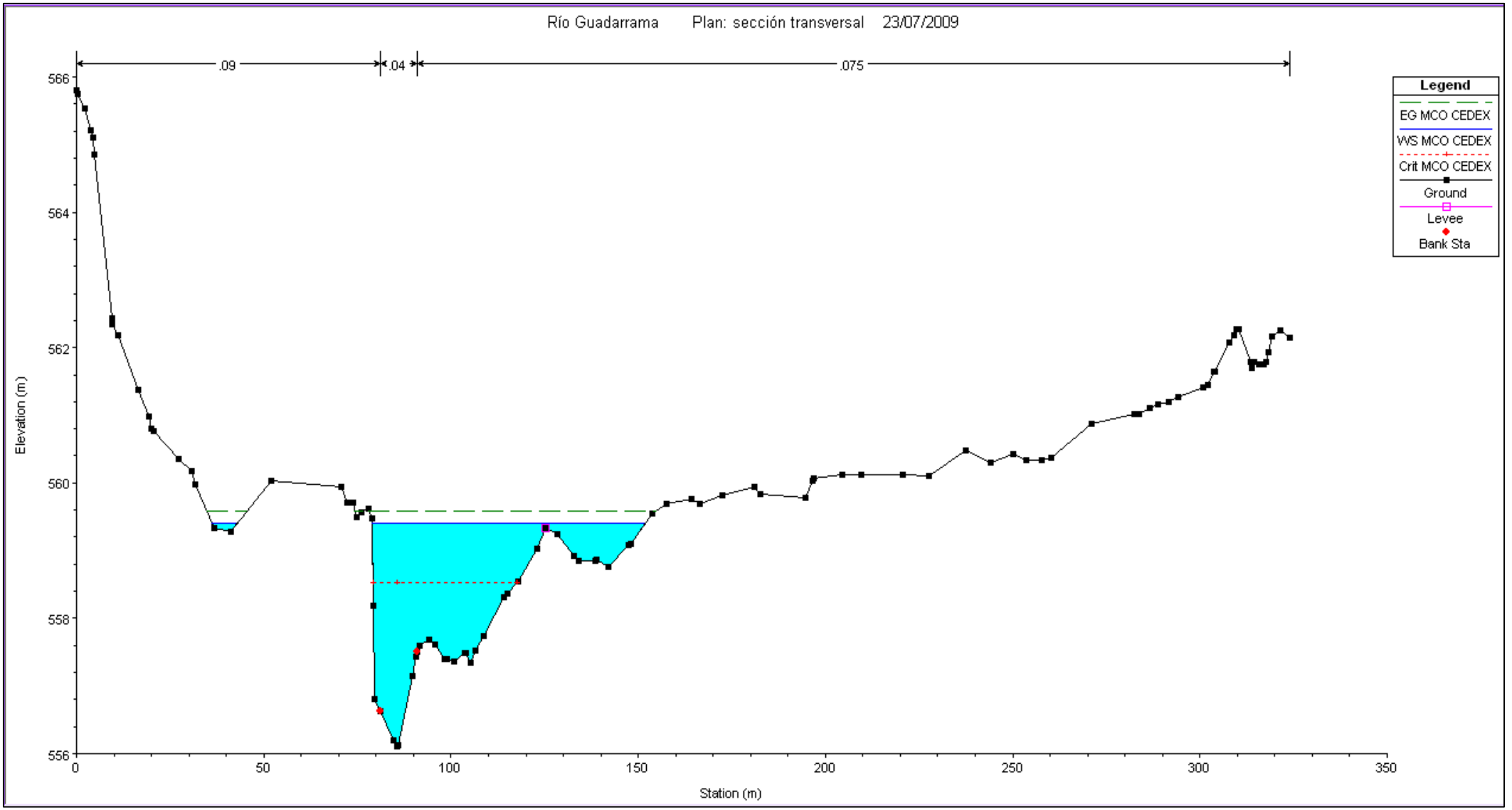
Río Guadarrama- Sección transversal 581.984



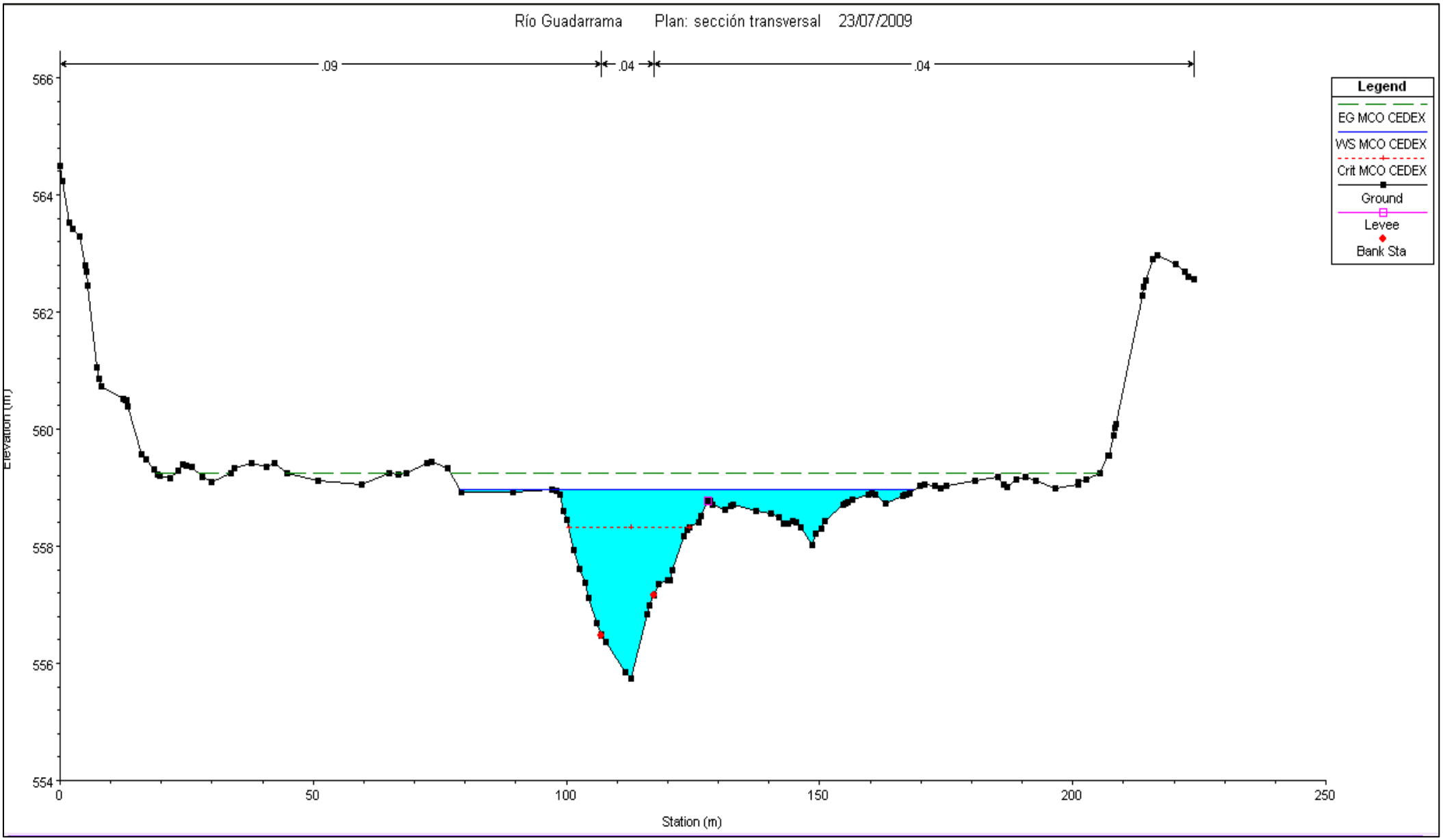
Río Guadarrama- Sección transversal 497.652



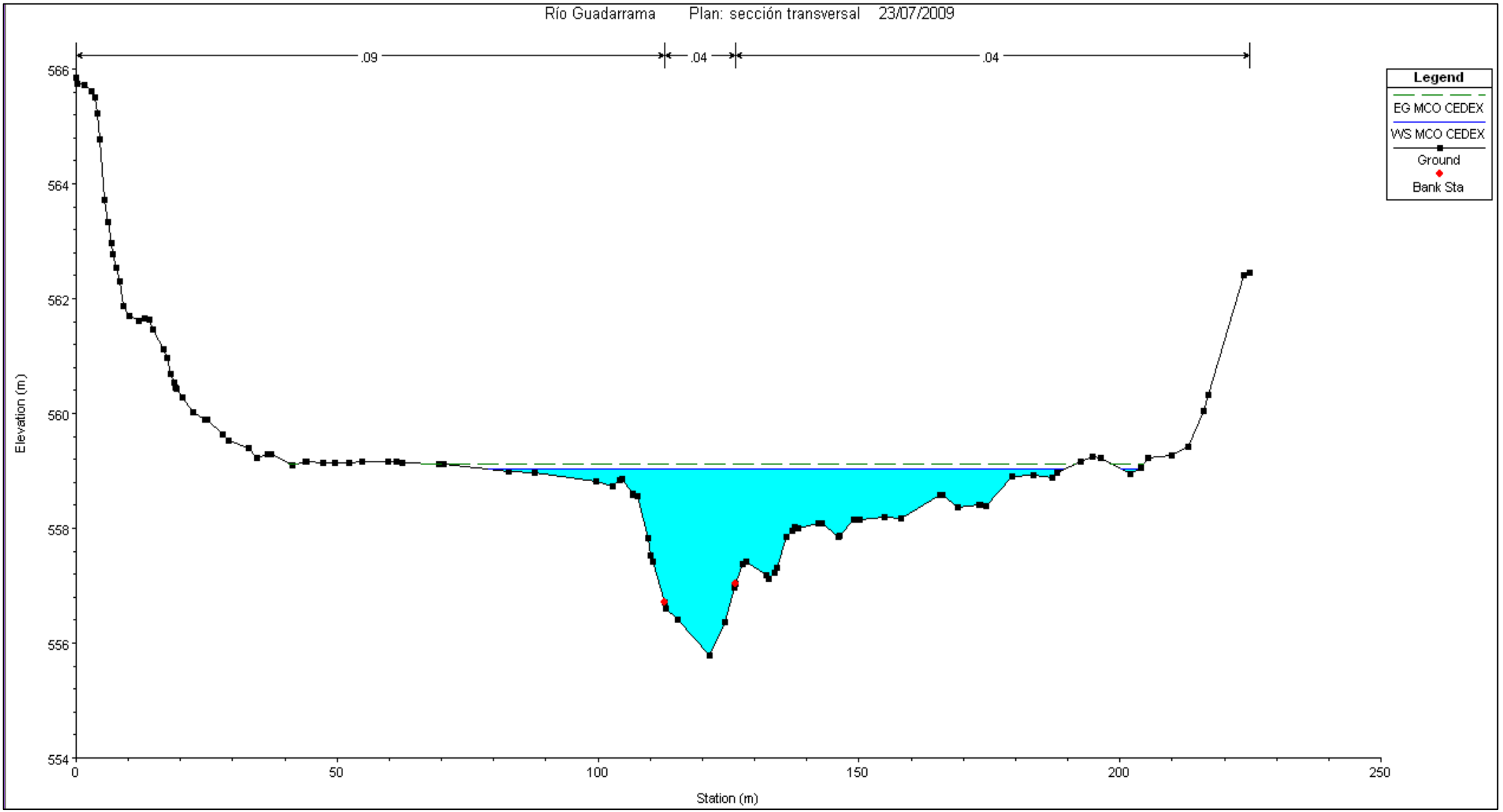
Río Guadarrama- Sección transversal 409.205



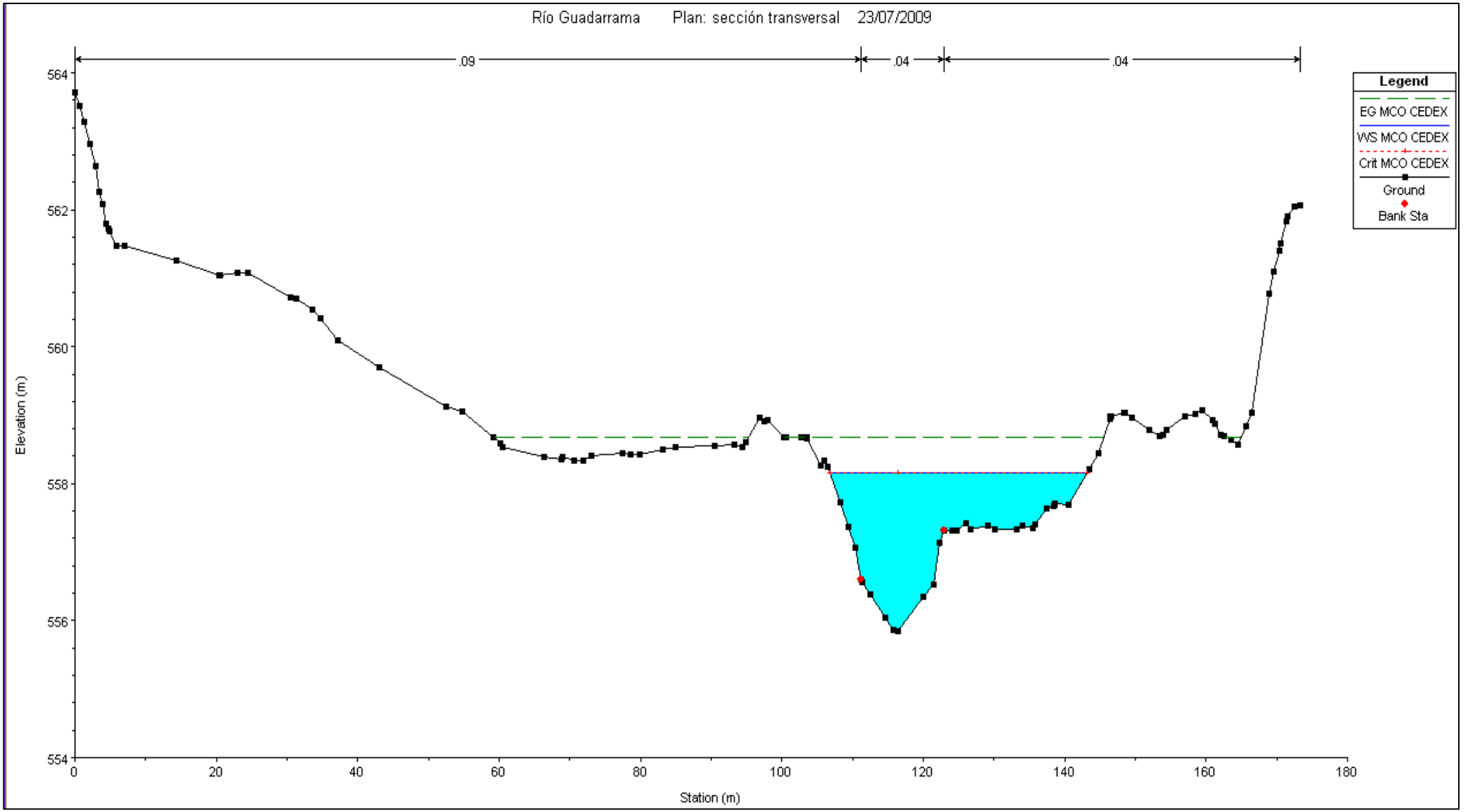
Río Guadarrama- Sección transversal 289.627



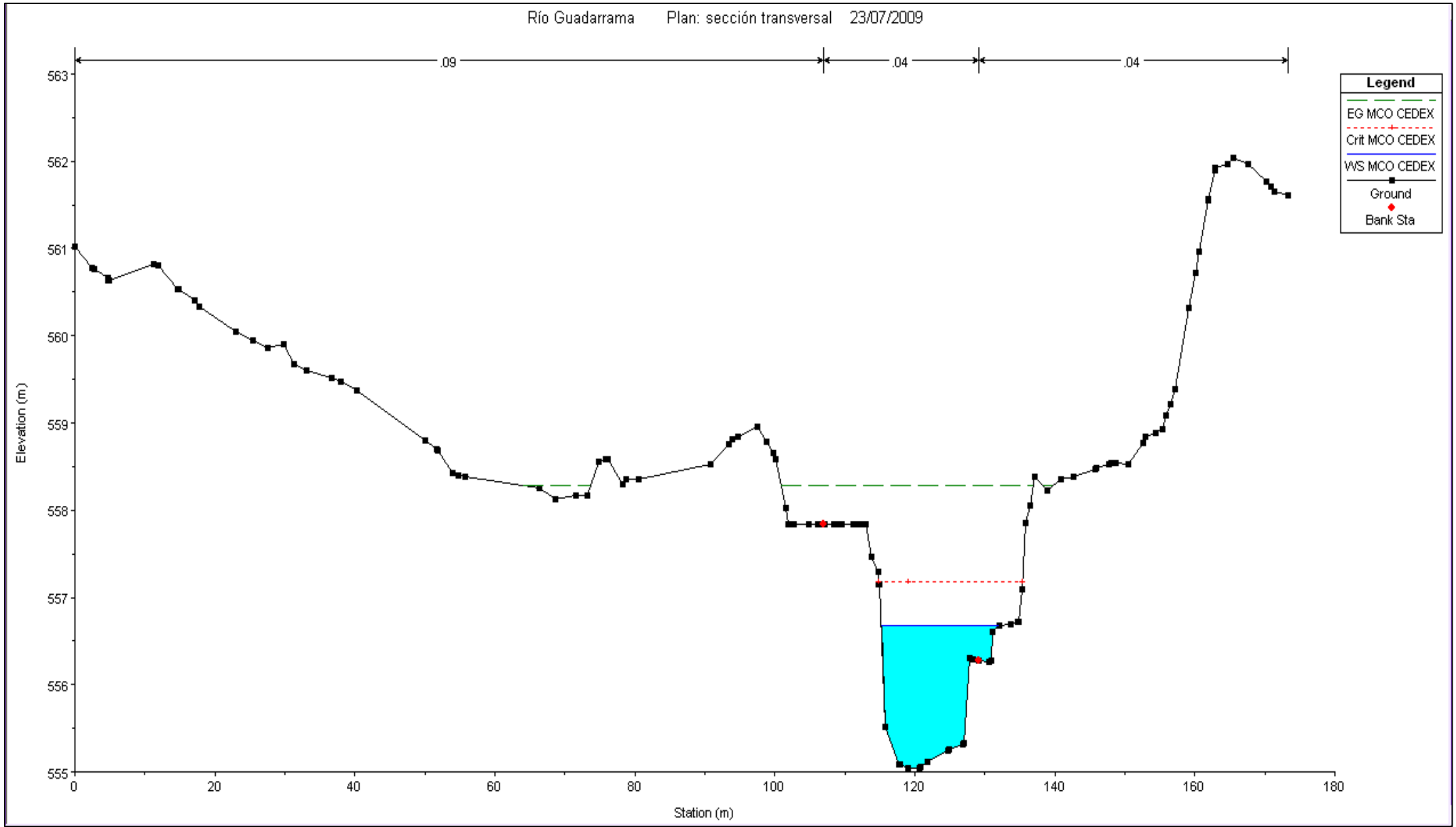
Río Guadarrama- Sección transversal 257.451



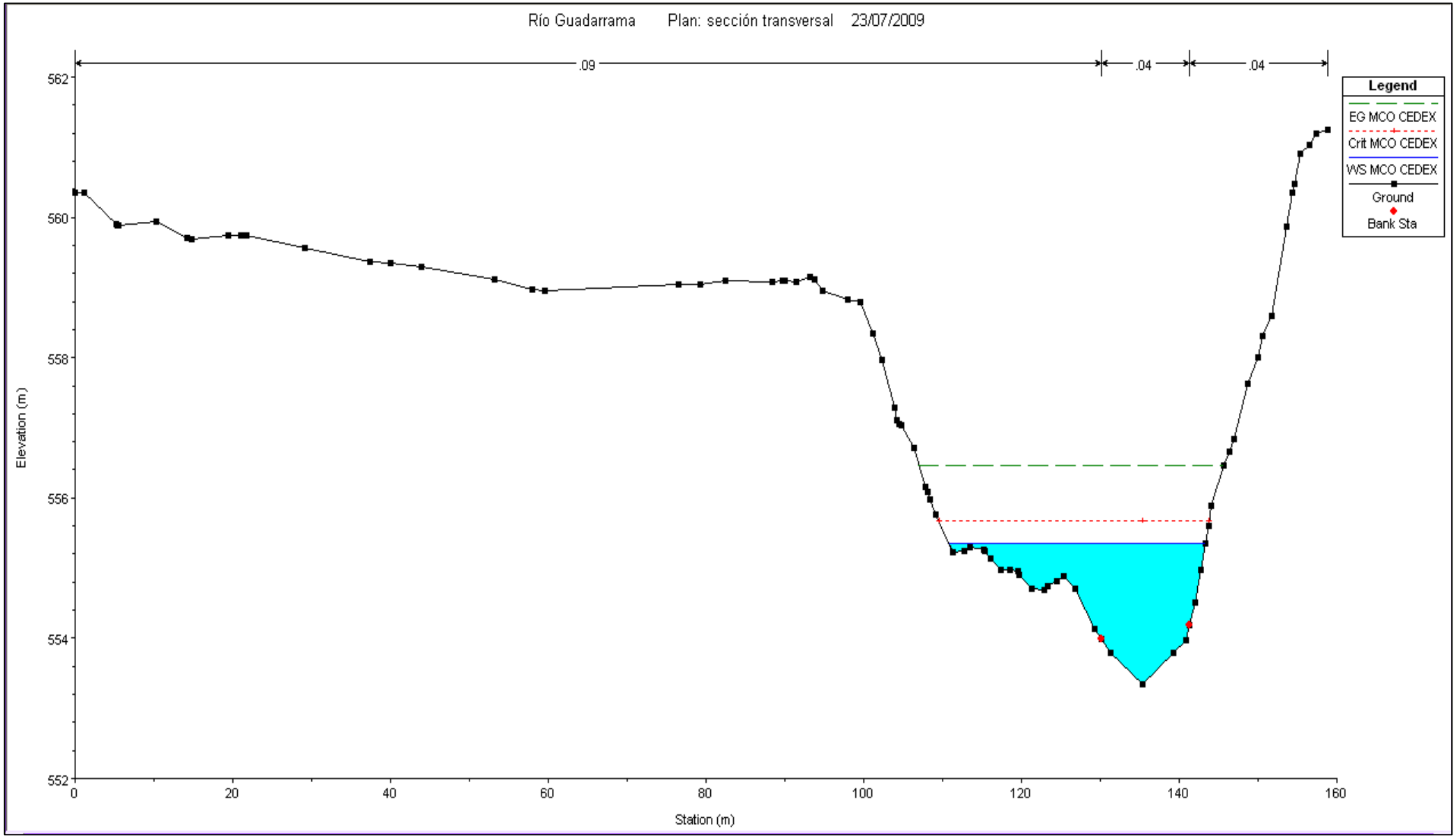
Río Guadarrama- Sección transversal 102.146



Río Guadarrama- Sección transversal 84.516



Río Guadarrama- Sección transversal 22.781

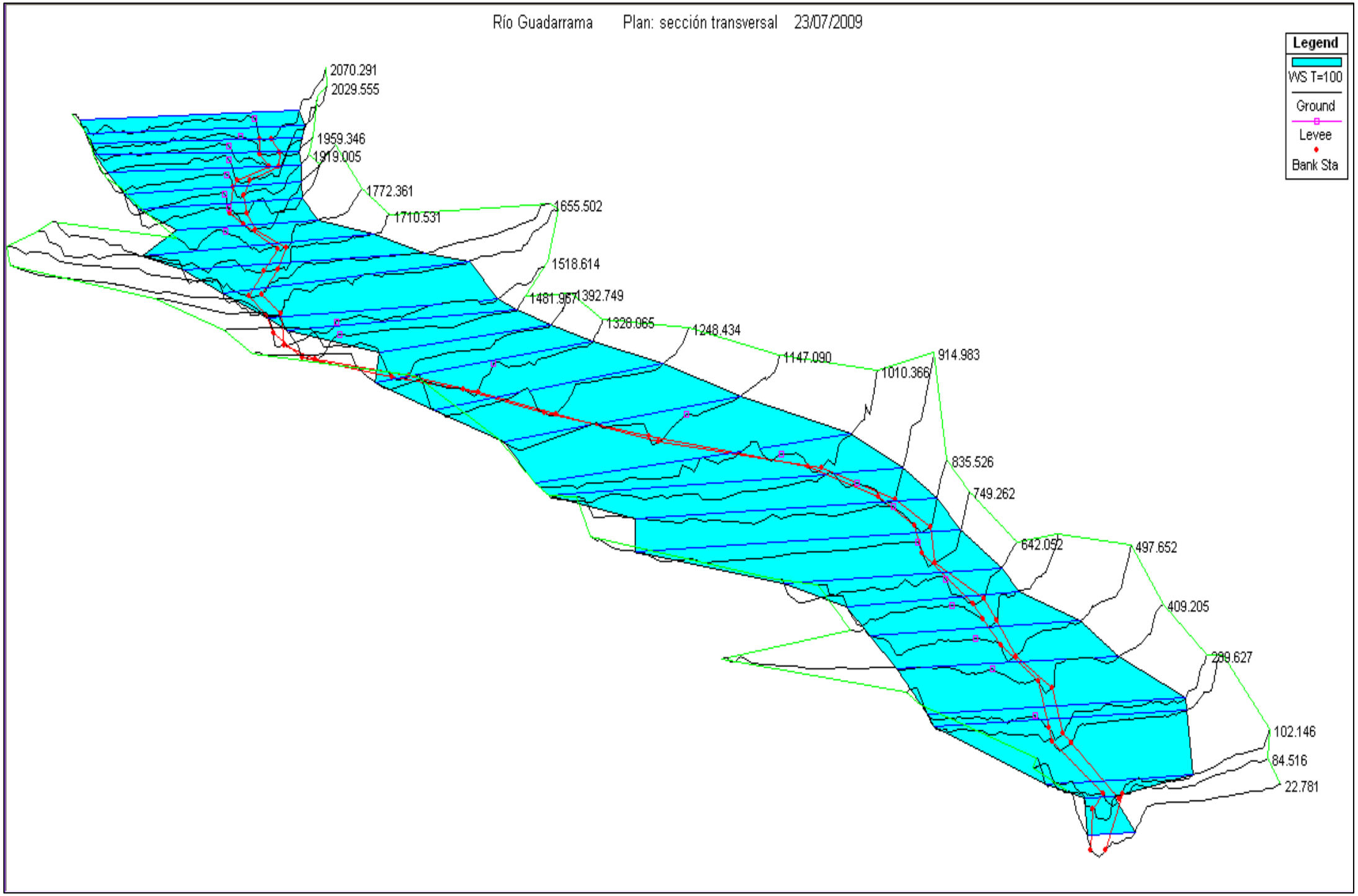


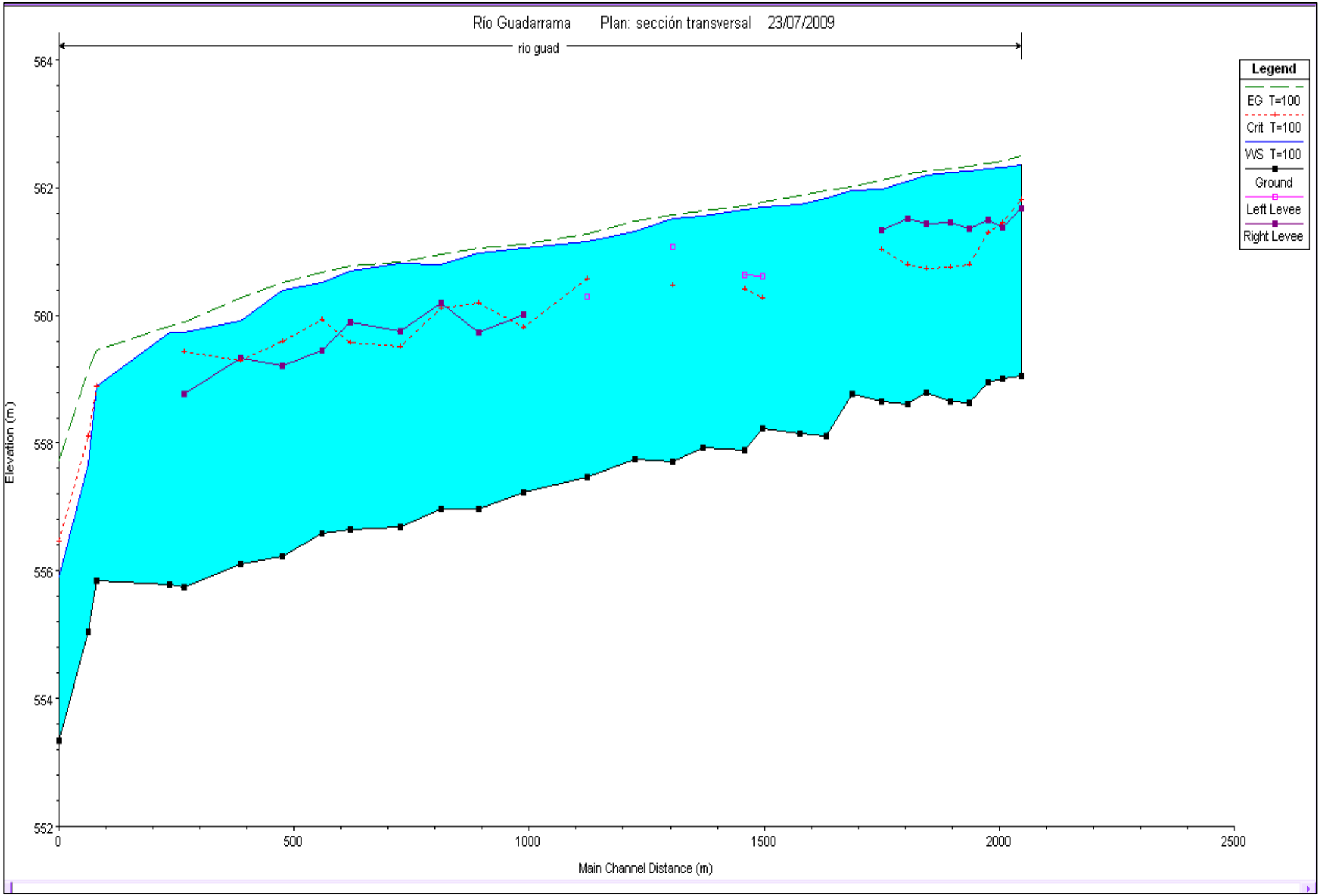
ANEXO III

PERFILES Y SECCIONES TRANSVERSALES PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS

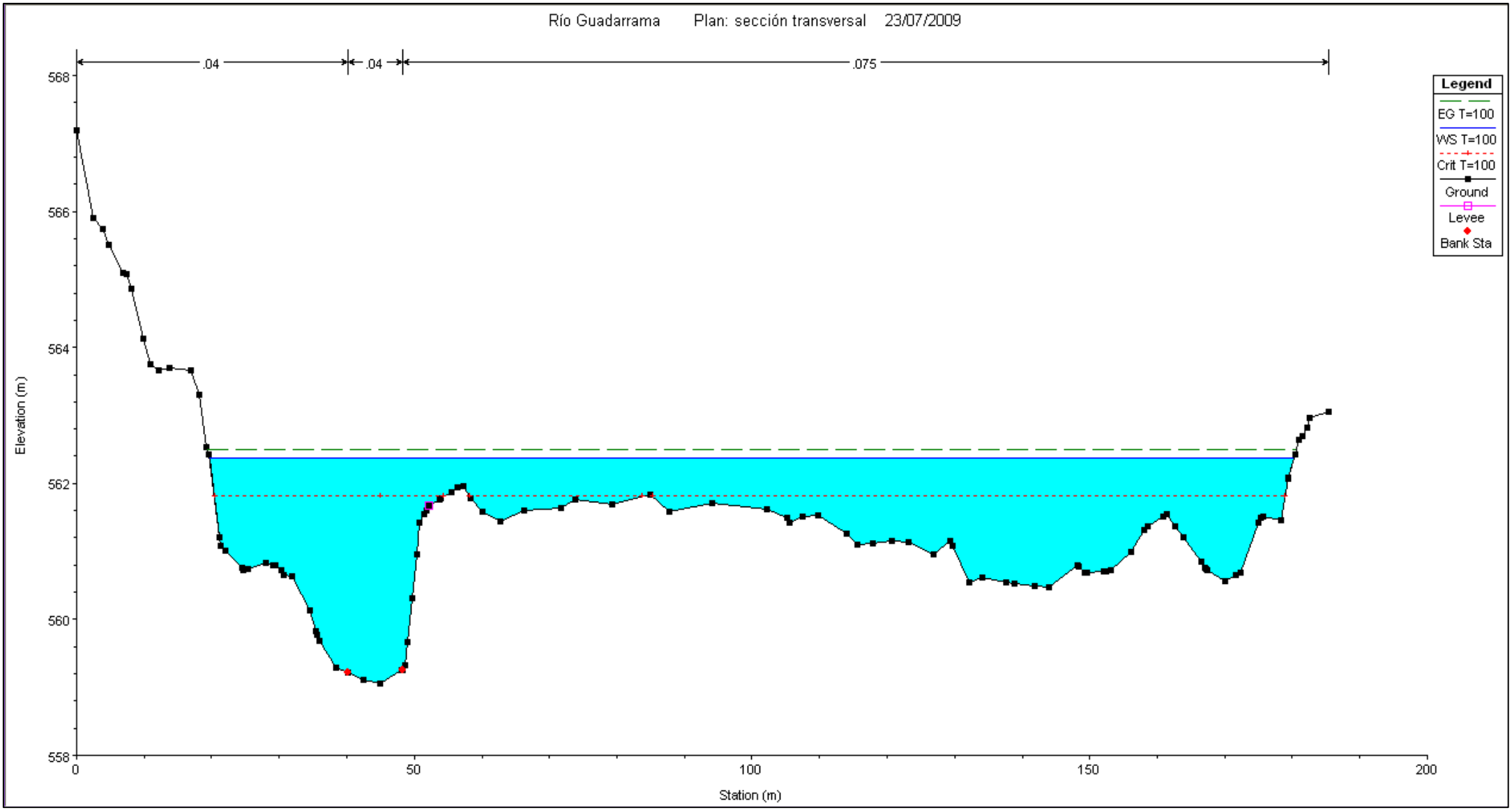
MARINA BLANCO FLORES

MARTA FERNÁNDEZ BOYANO

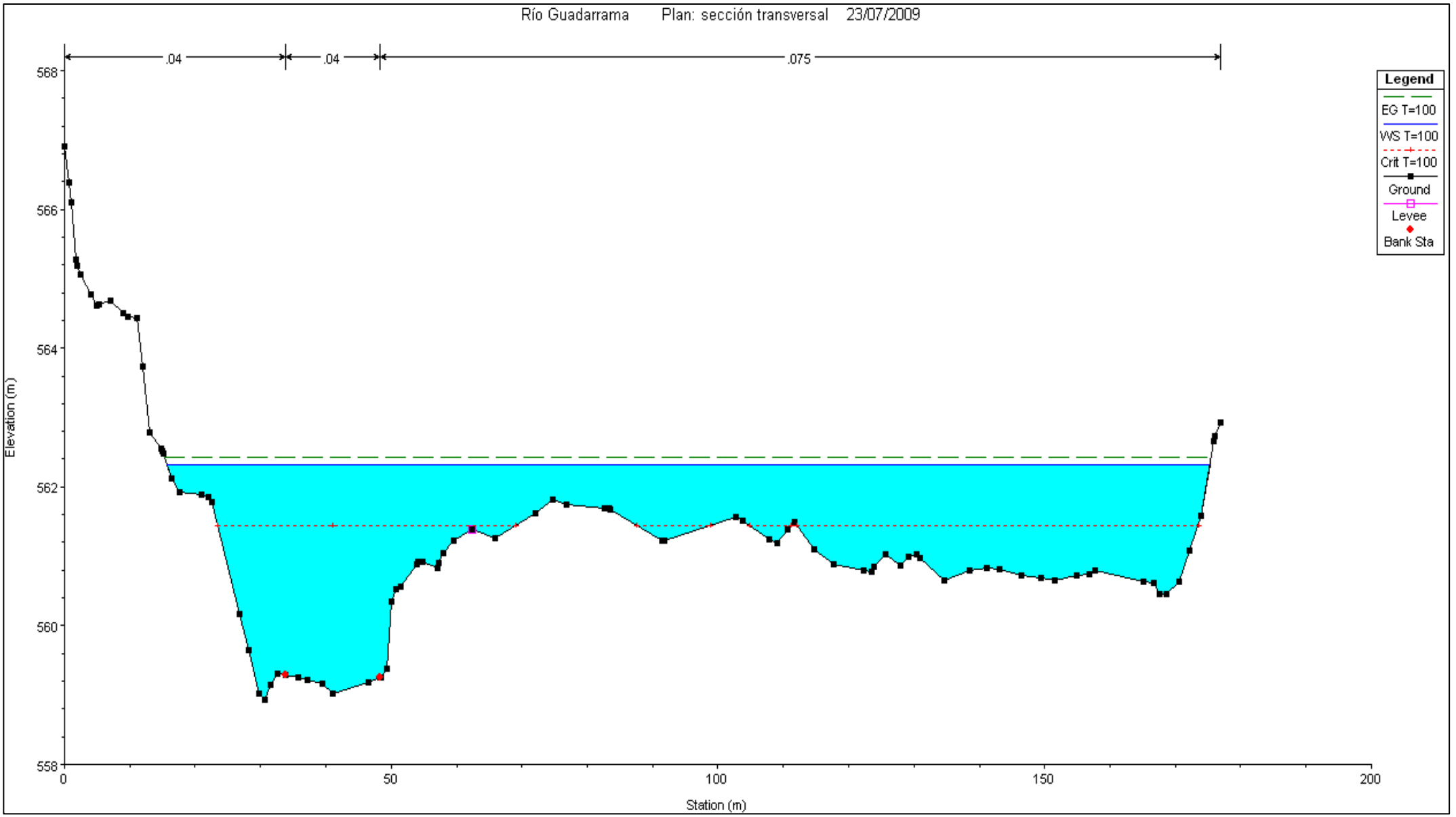

Río Guadarrama Plan: sección transversal 23/07/2009
Legend
WS T=100
Ground
Levee
Bank Sta
2070.291
2029.555
1959.346
1919.005
1772.361
1710.531
1655.502
1518.614
1481.967
1392.749
1328.065
1248.434
1147.090
1010.366
914.983
835.526
749.262
642.052
497.652
409.205
289.627
102.146
84.516
22.781


Río Guadarrama Plan: sección transversal 23/07/2009
rio guad
Legend
EG T=100
Crit T=100
WS T=100
Ground
Left Levee
Right Levee
Elevation (m)
564
562
560
558
556
554
552
0
500
1000
1500
2000
2500
Main Channel Distance (m)

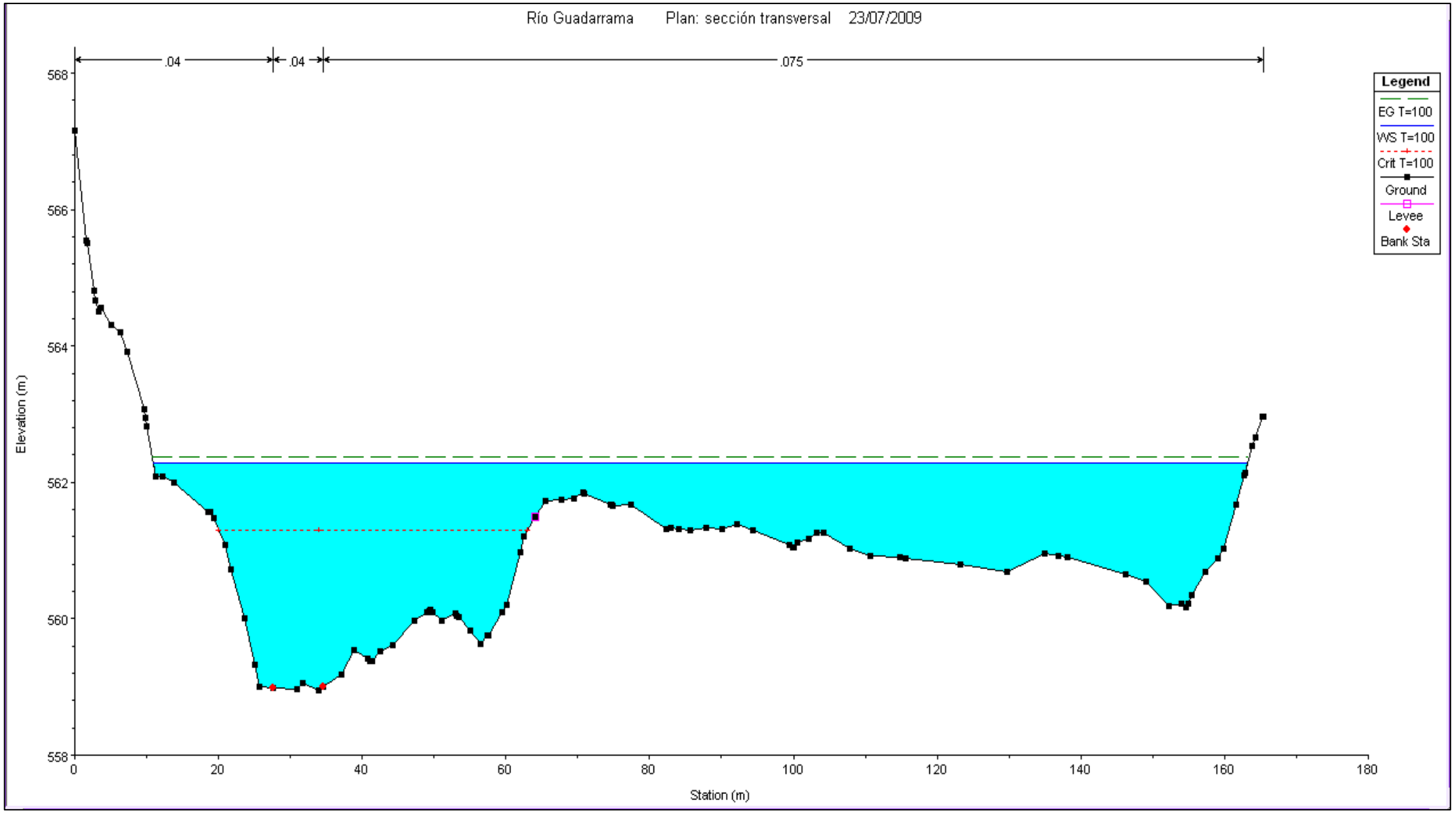
Río Guadarrama- Sección transversal 2070.291



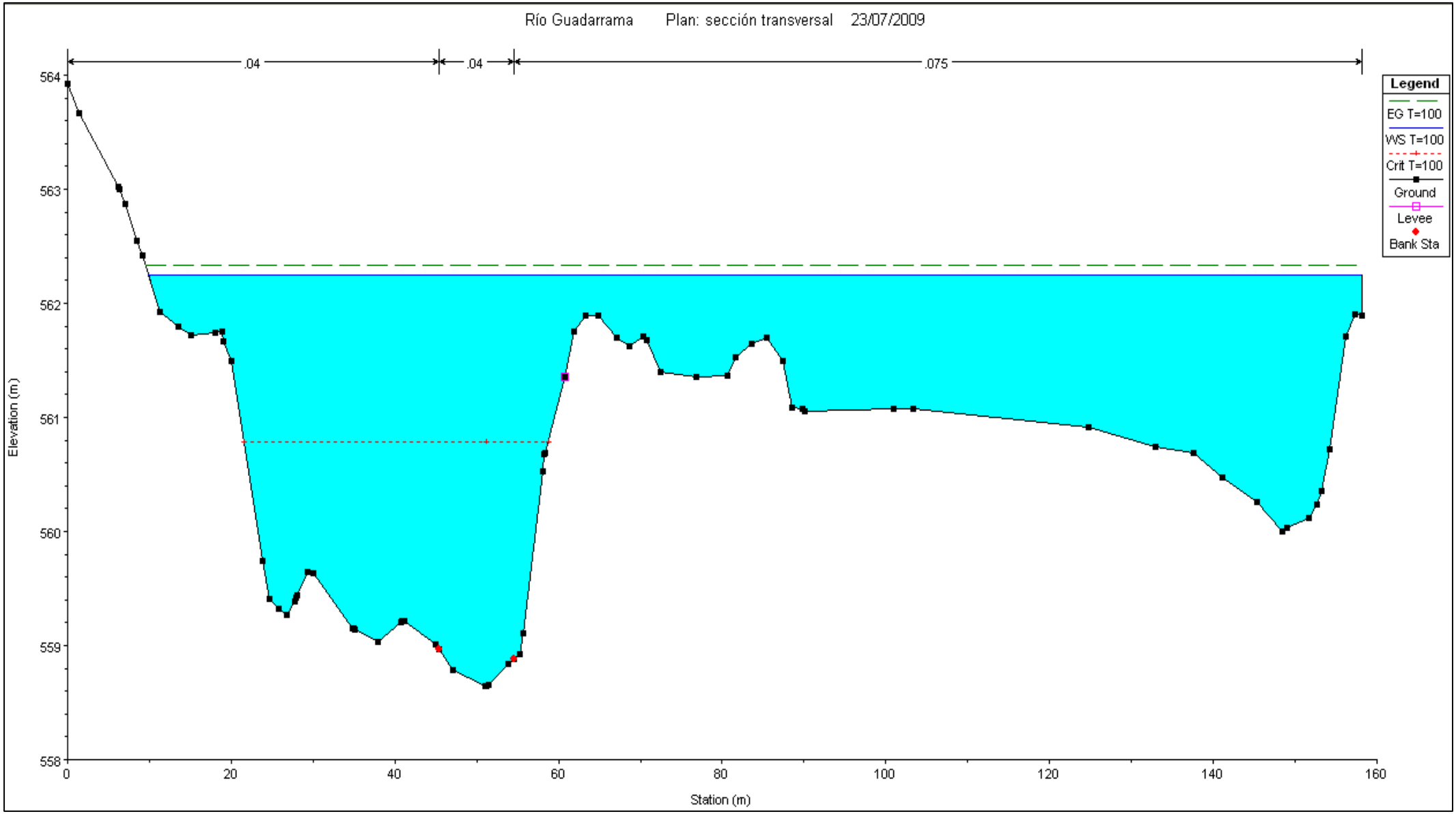
Río Guadarrama- Sección transversal 2029.555



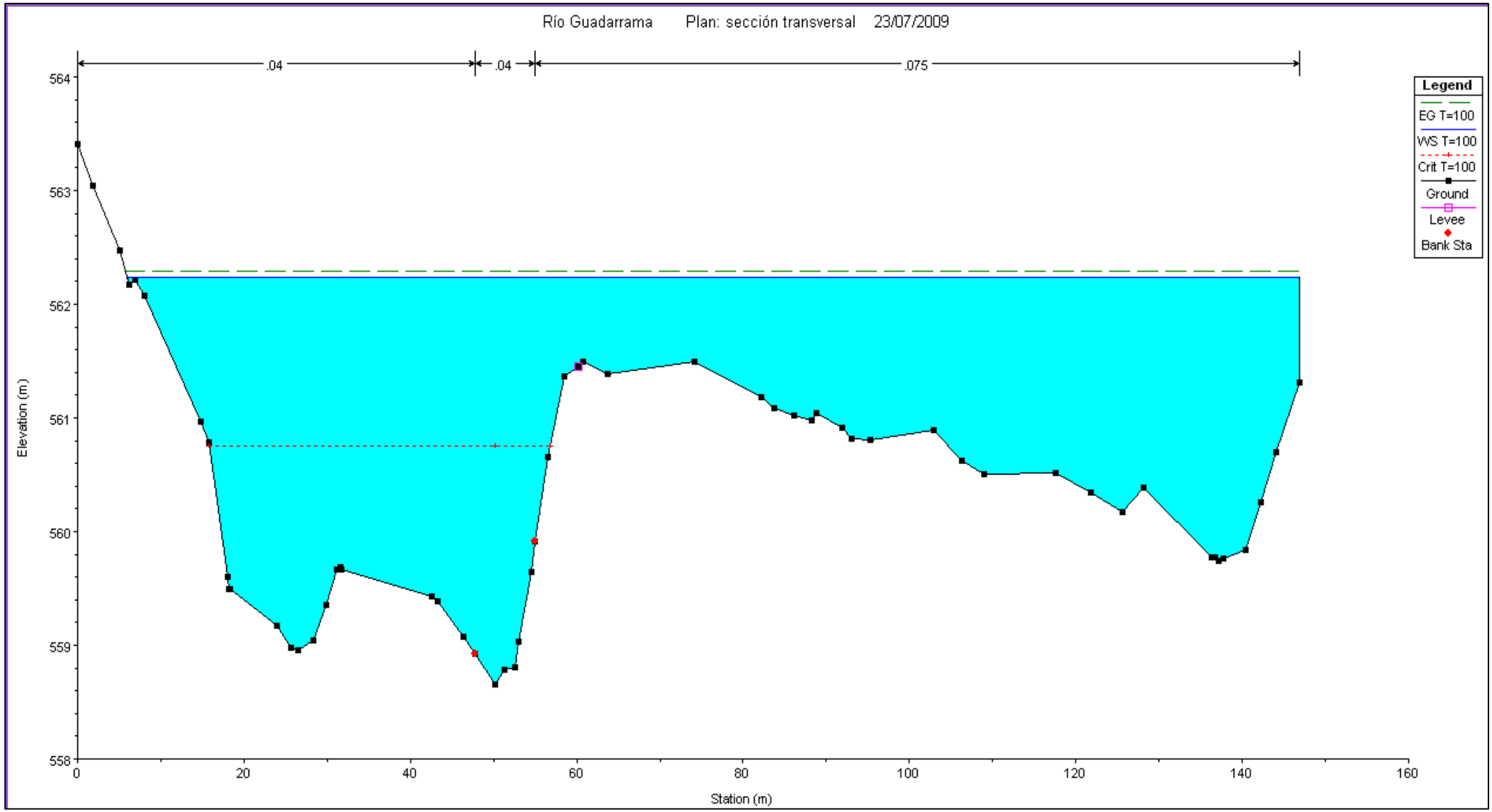
Río Guadarrama- Sección transversal 1999.605



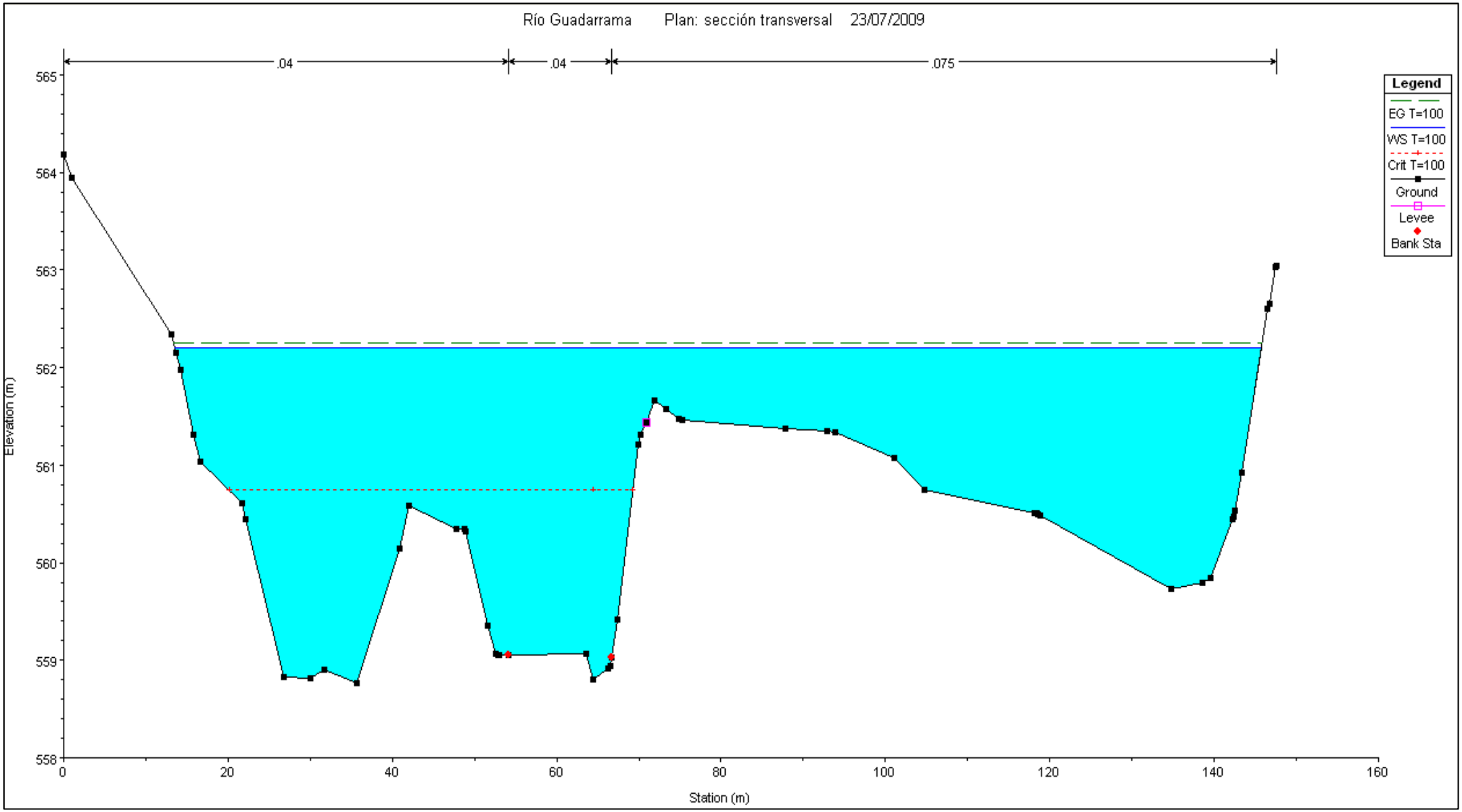
Río Guadarrama- Sección transversal 1949.356



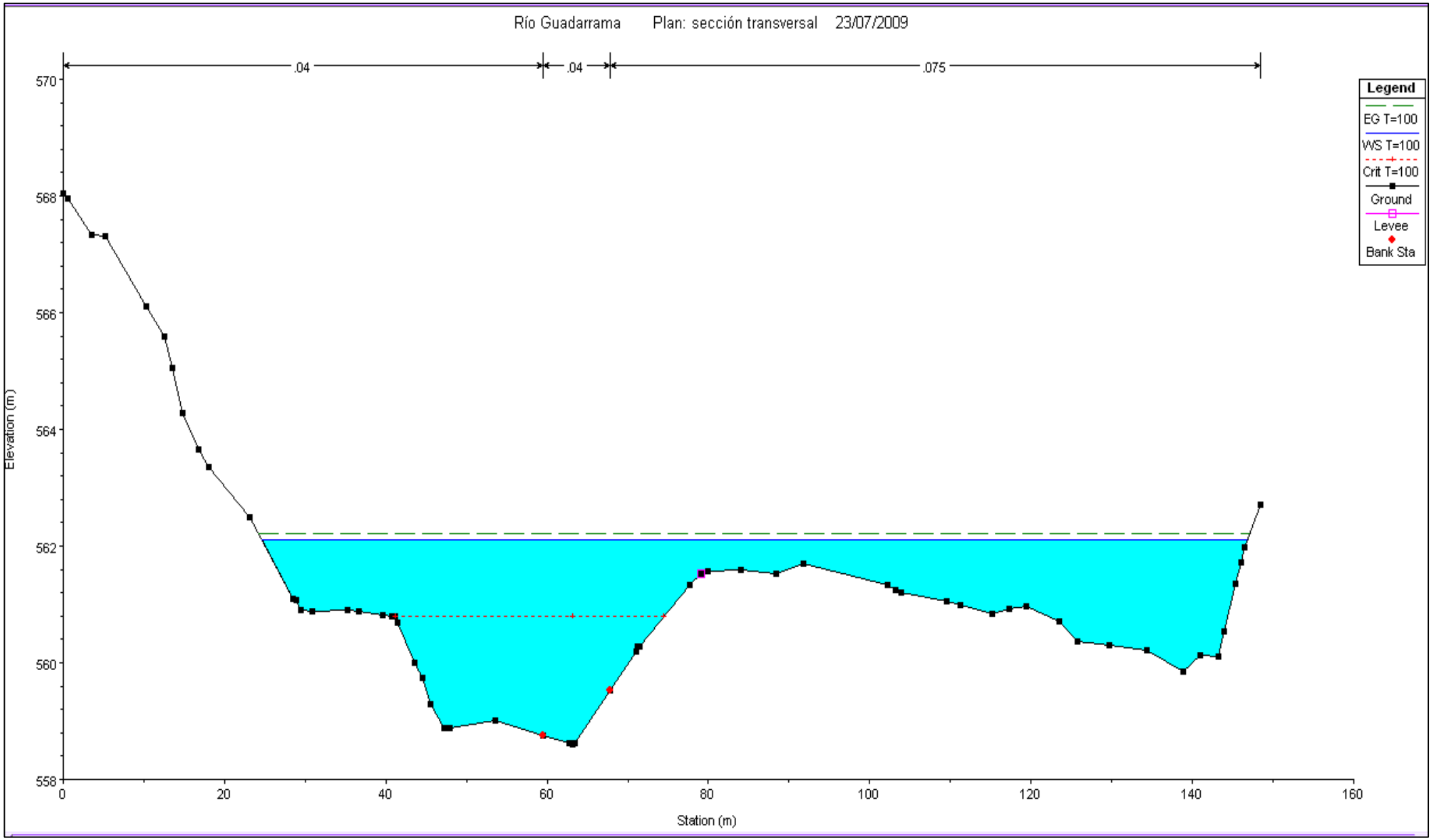
Río Guadarrama- Sección transversal 1919.005



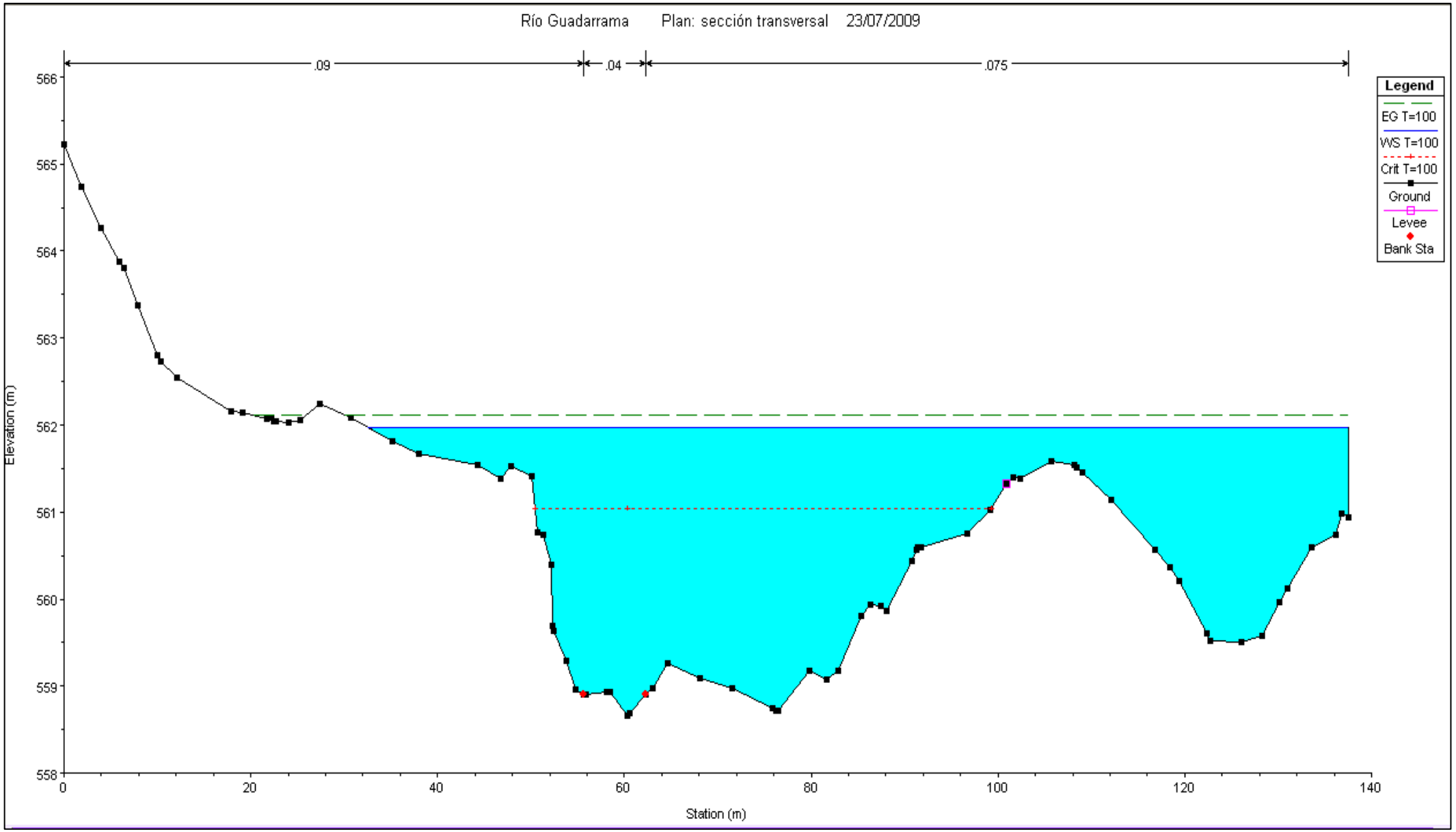
Río Guadarrama- Sección transversal 1867.725



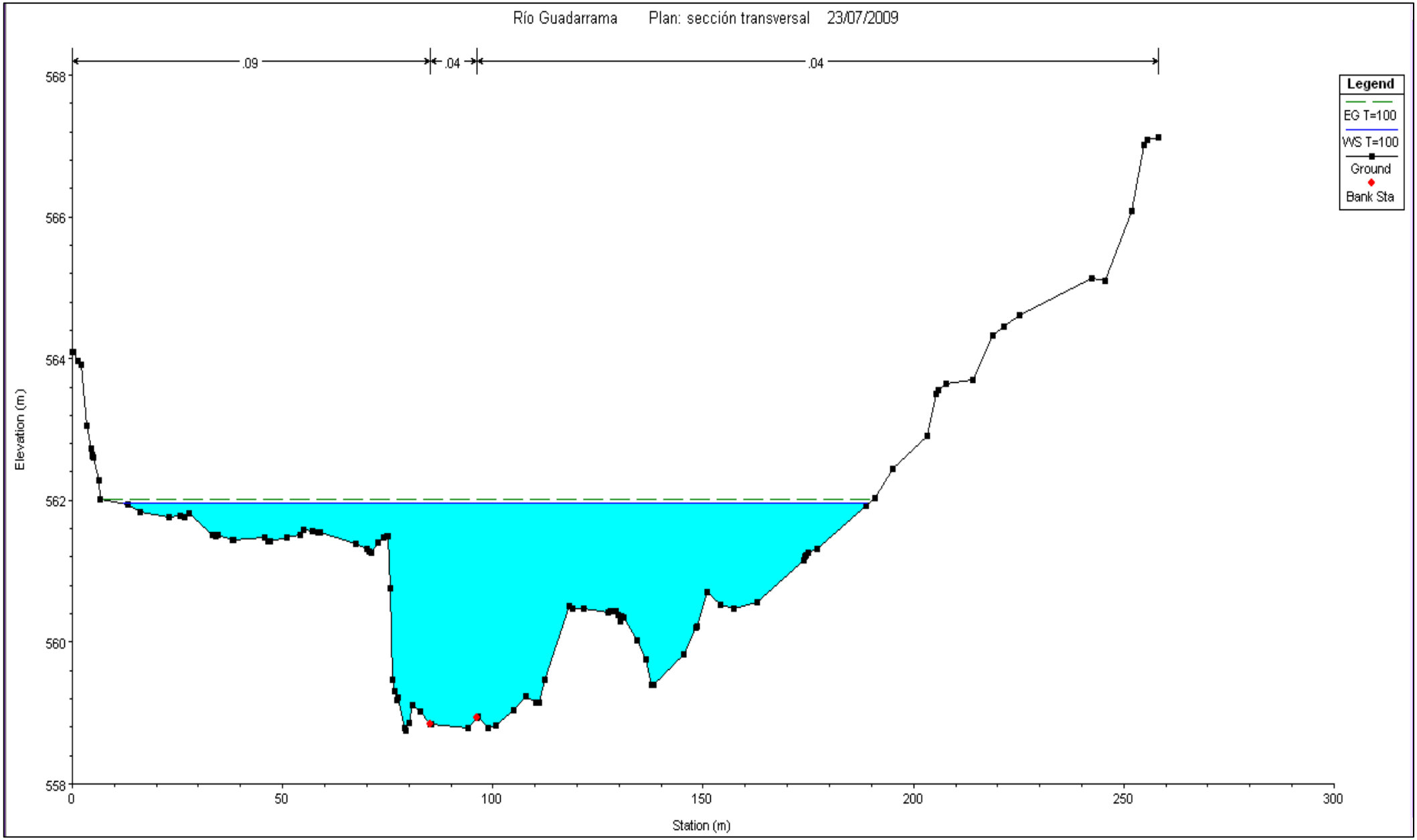
Río Guadarrama- Sección transversal 1828.505



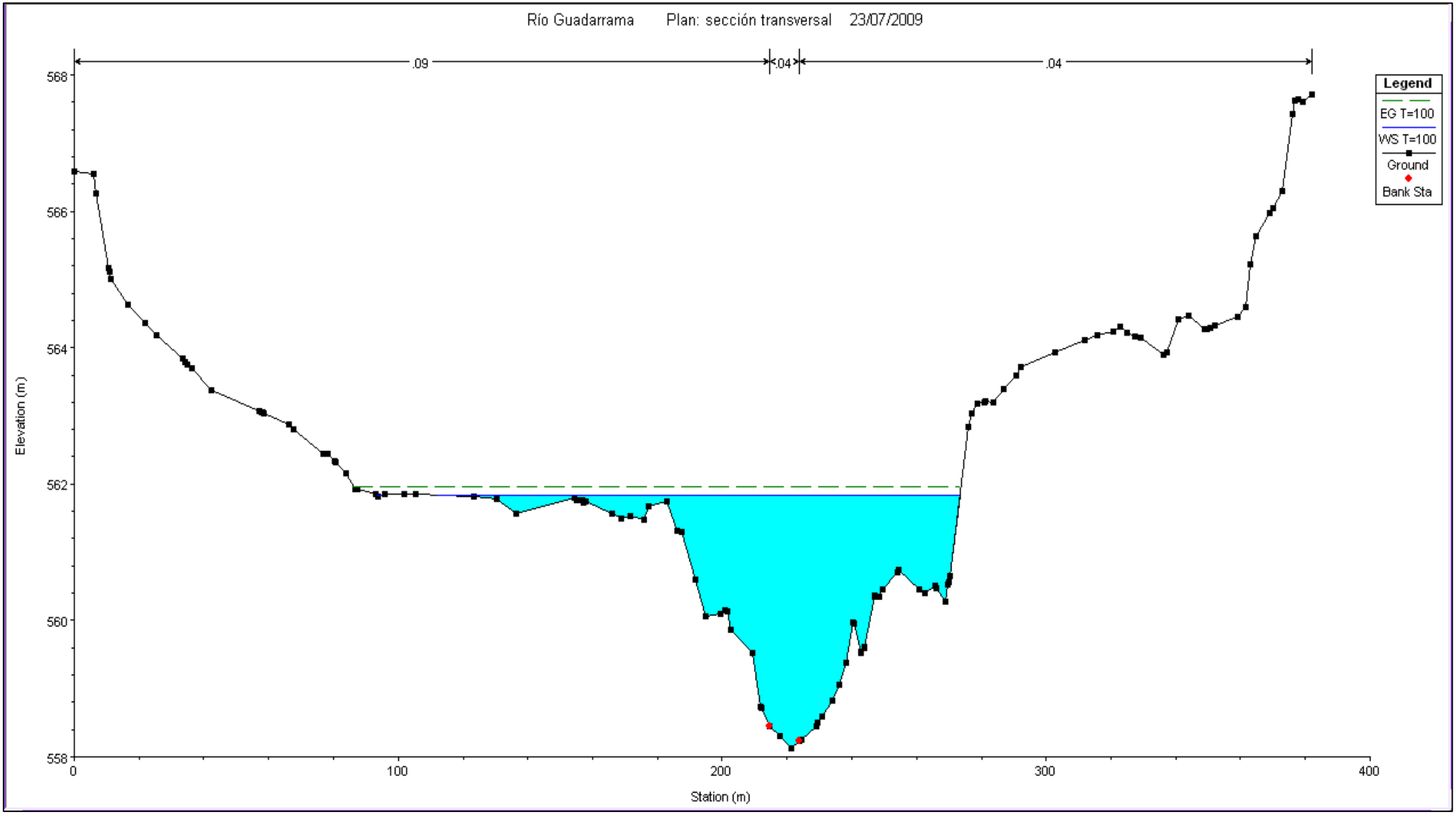
Río Guadarrama- Sección transversal 1772.361



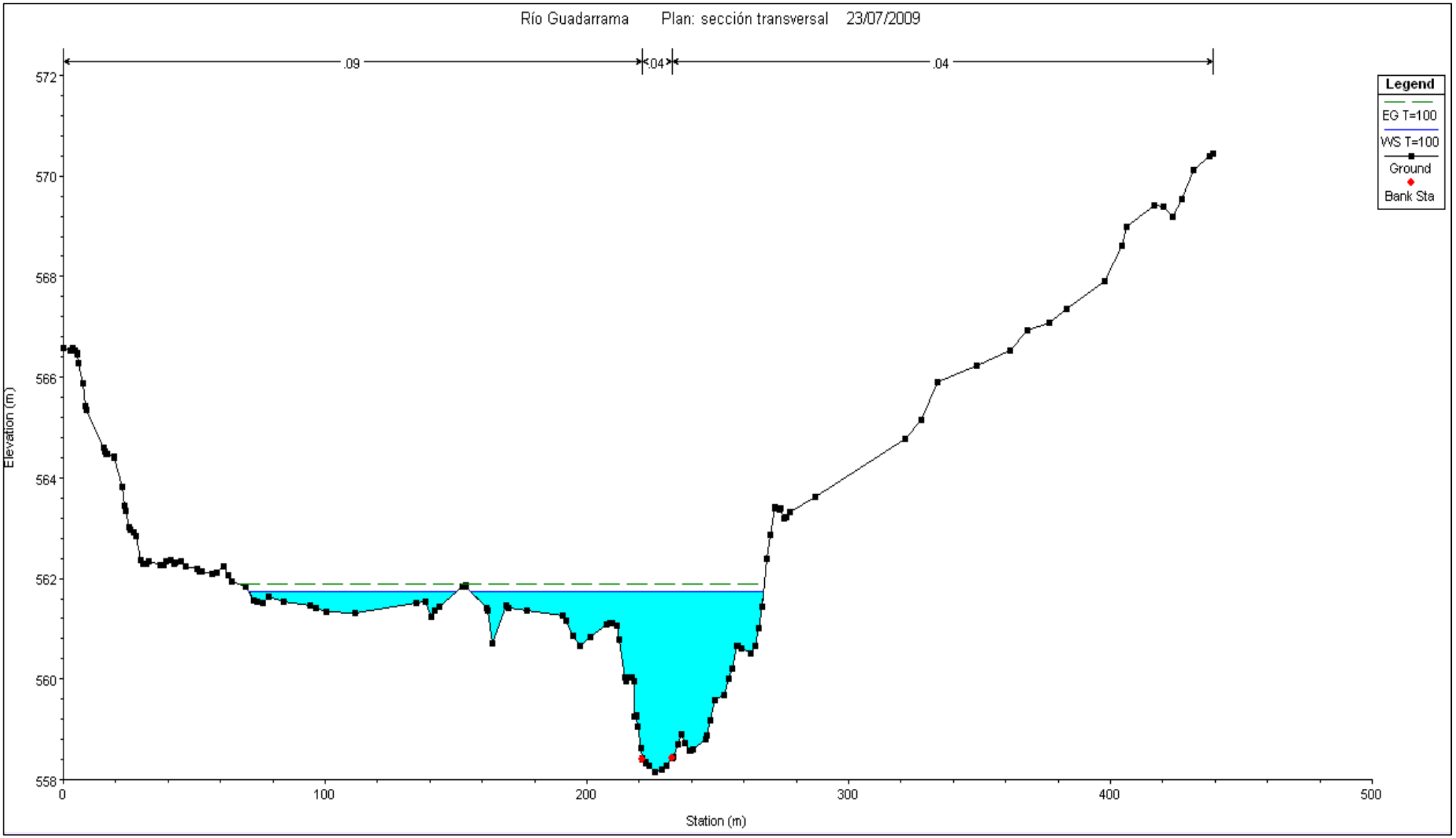
Río Guadarrama- Sección transversal 1710.531



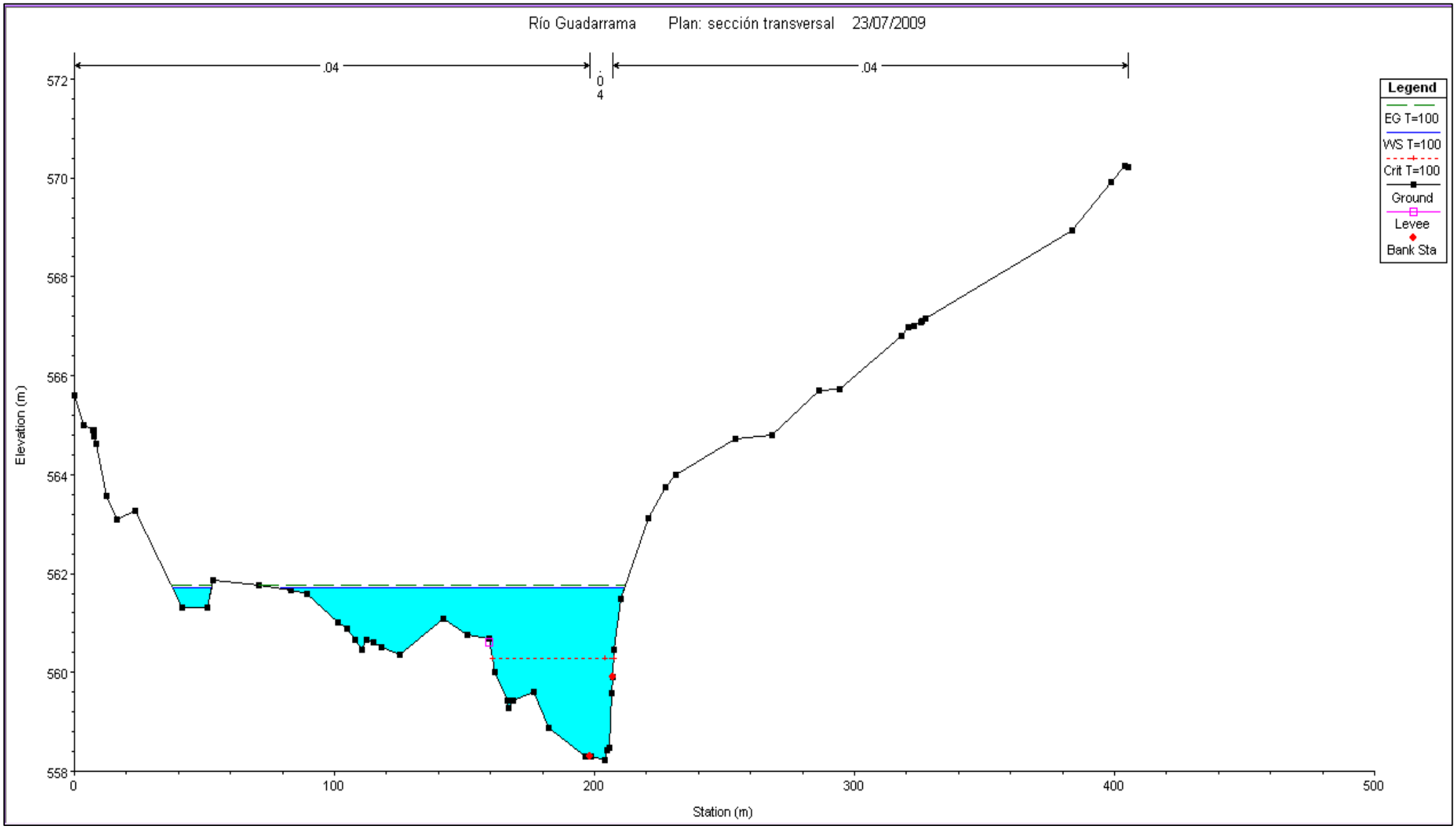
Río Guadarrama- Sección transversal 1655.502



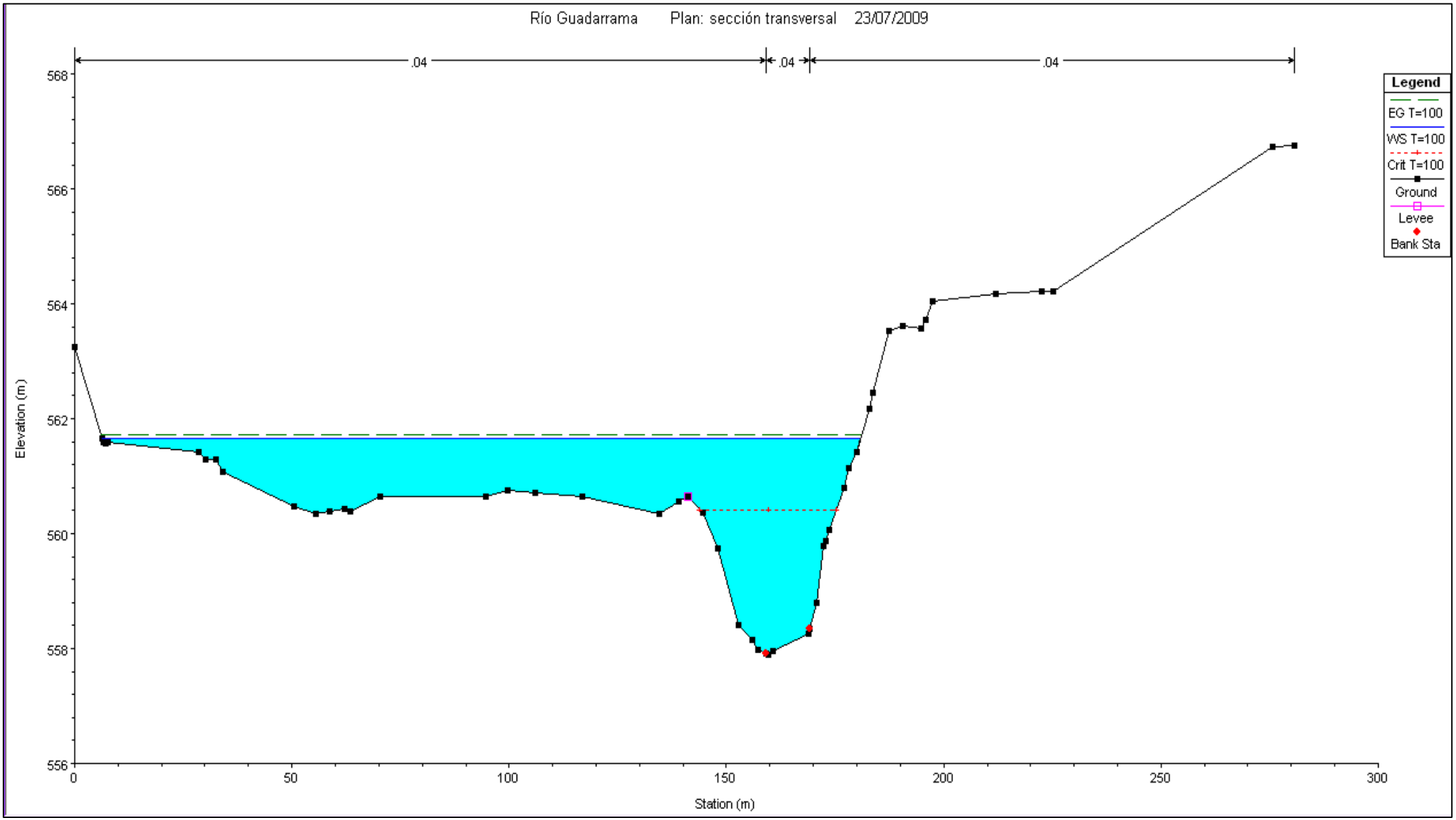
Río Guadarrama- Sección transversal 1600.154



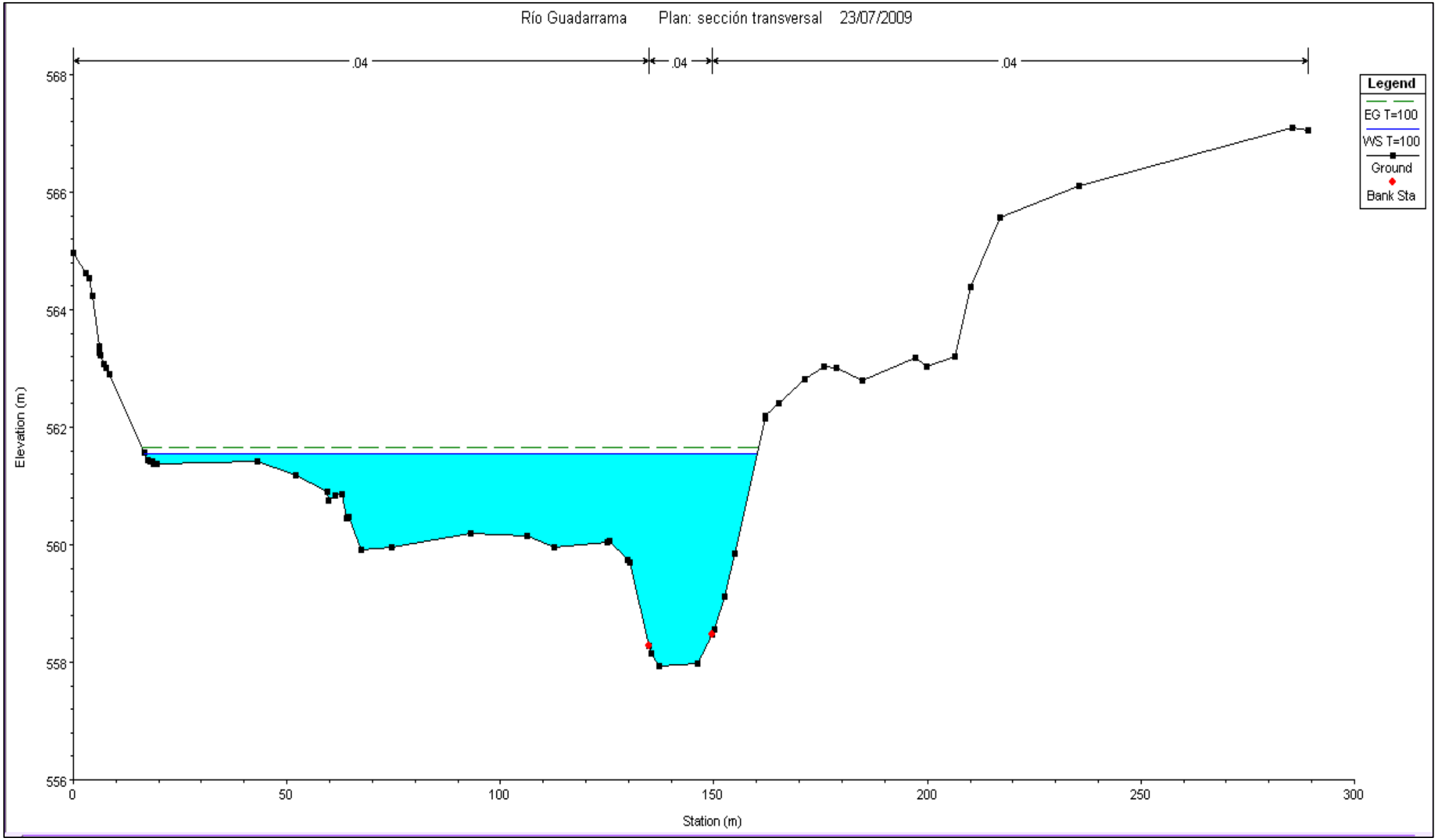
Río Guadarrama- Sección transversal 1518.614



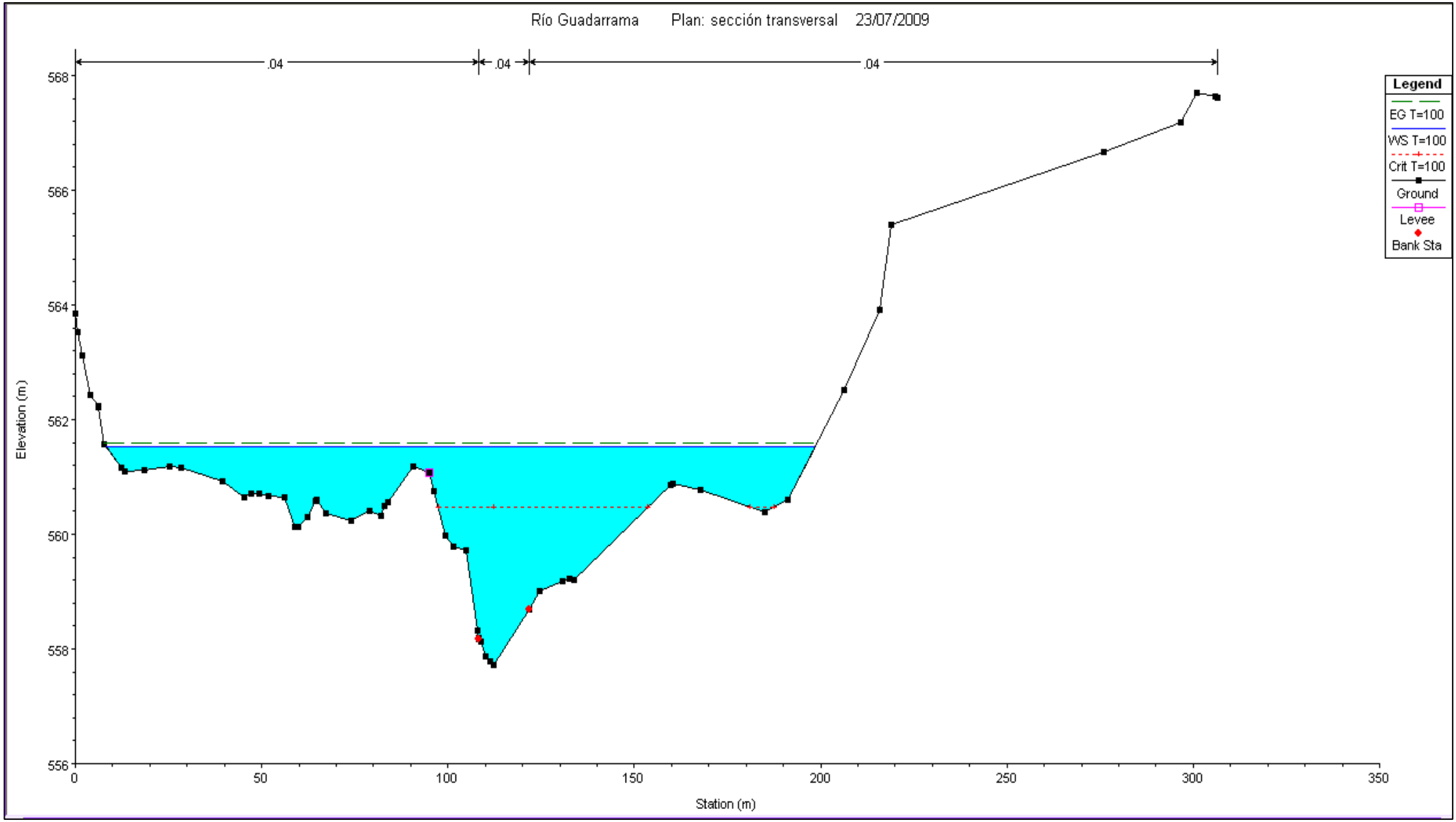
Río Guadarrama- Sección transversal 1481.967



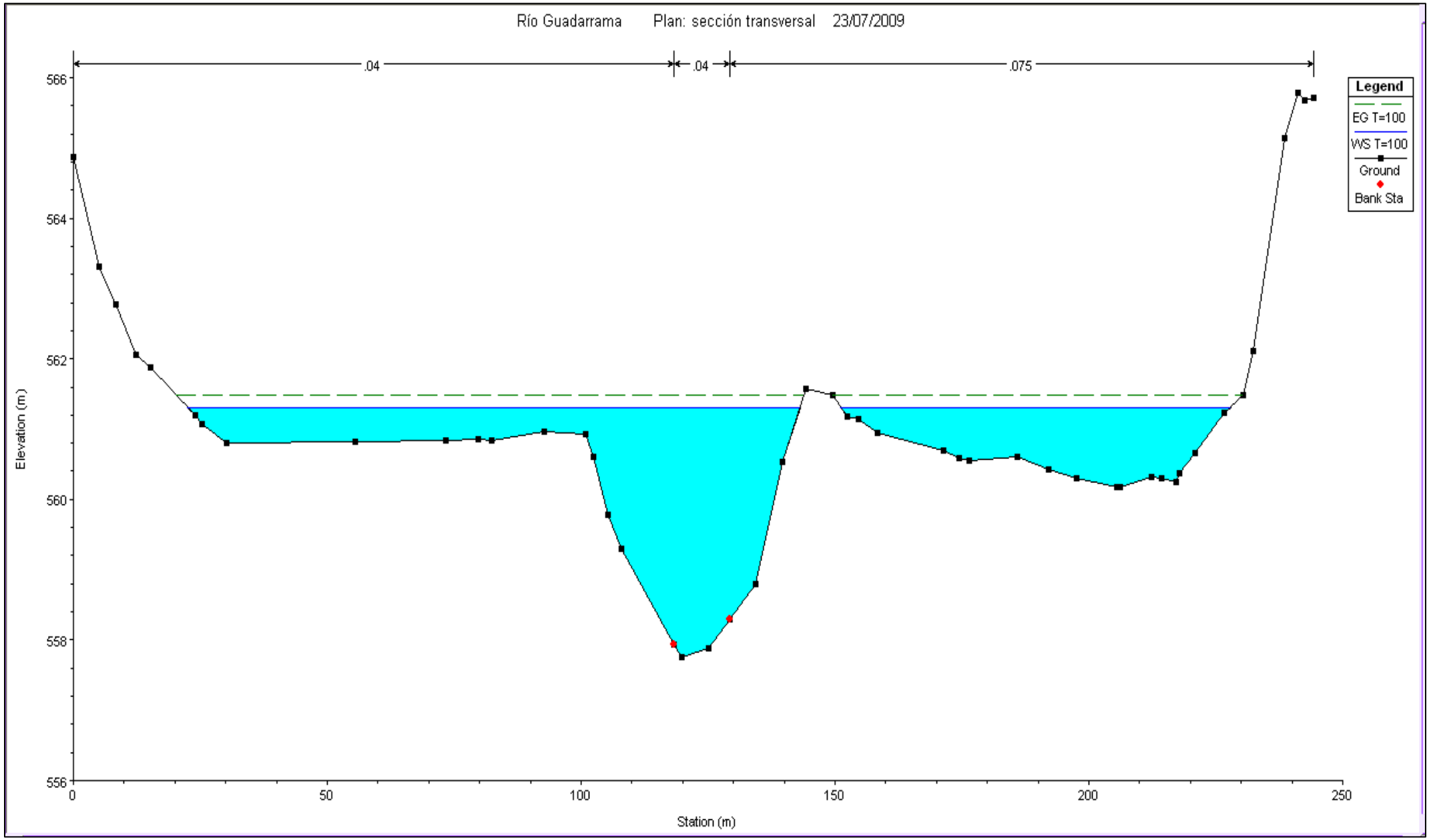
Río Guadarrama- Sección transversal 1392.749



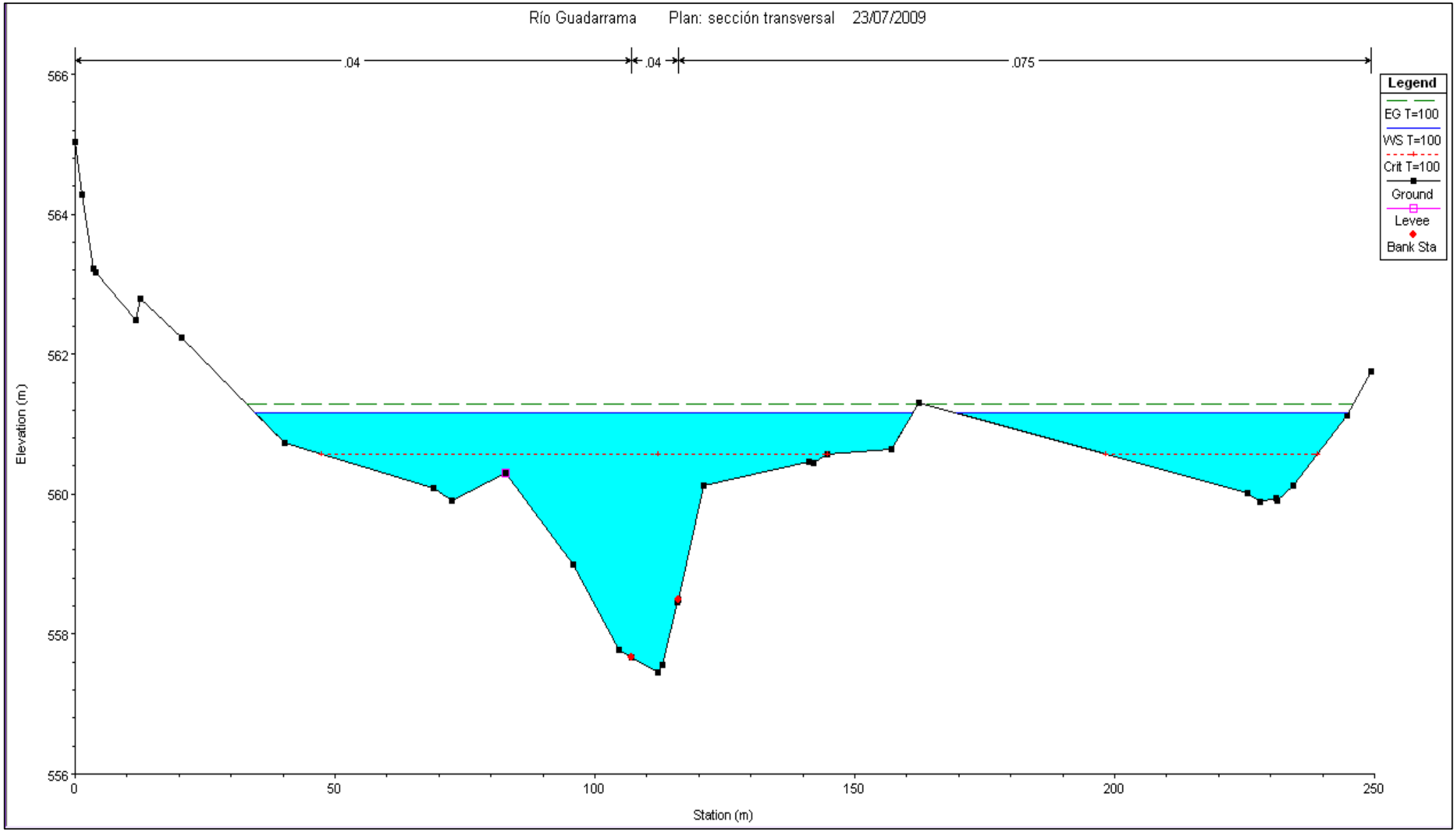
Río Guadarrama- Sección transversal 1328.065



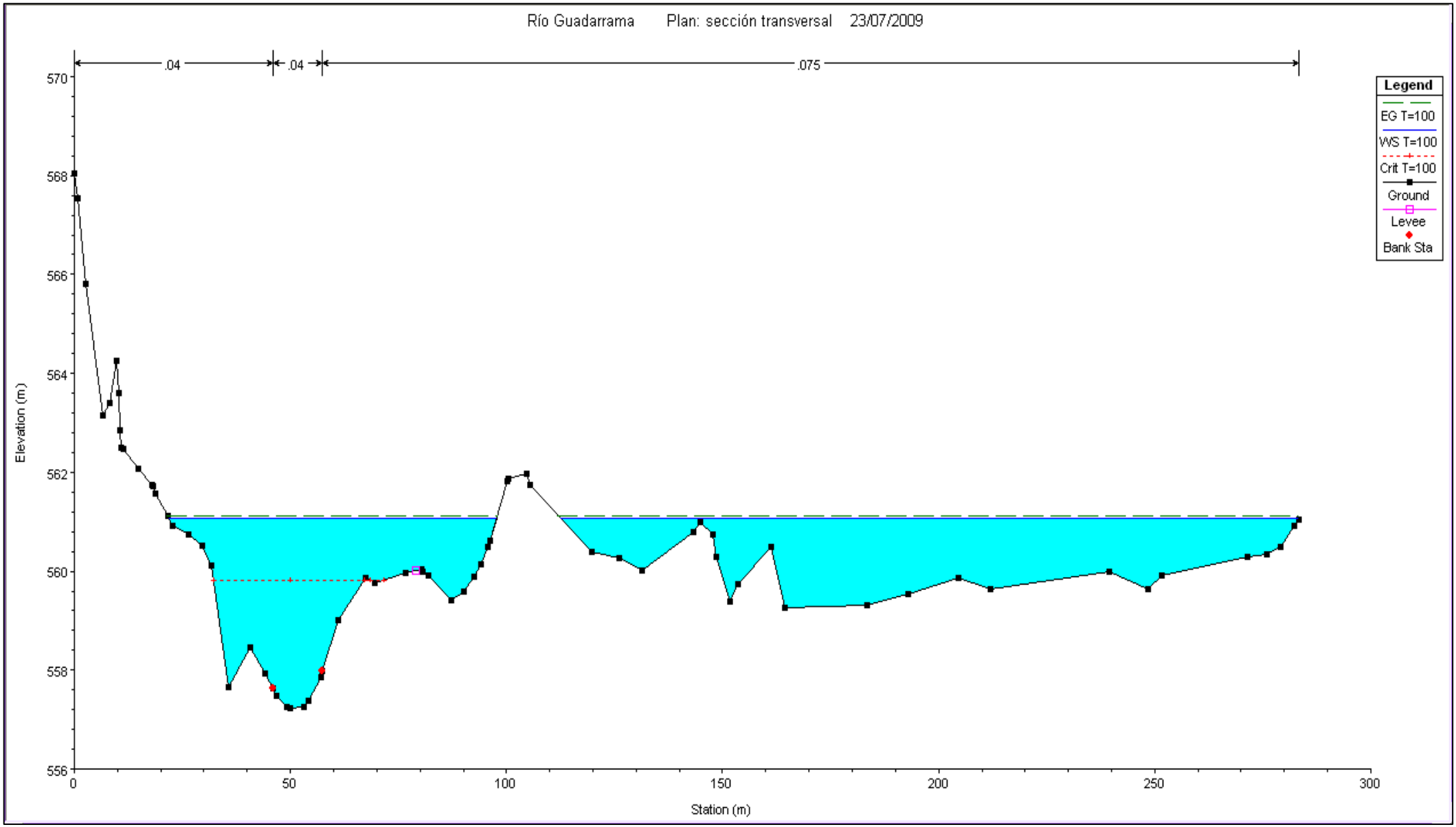
Río Guadarrama- Sección transversal 1248.434



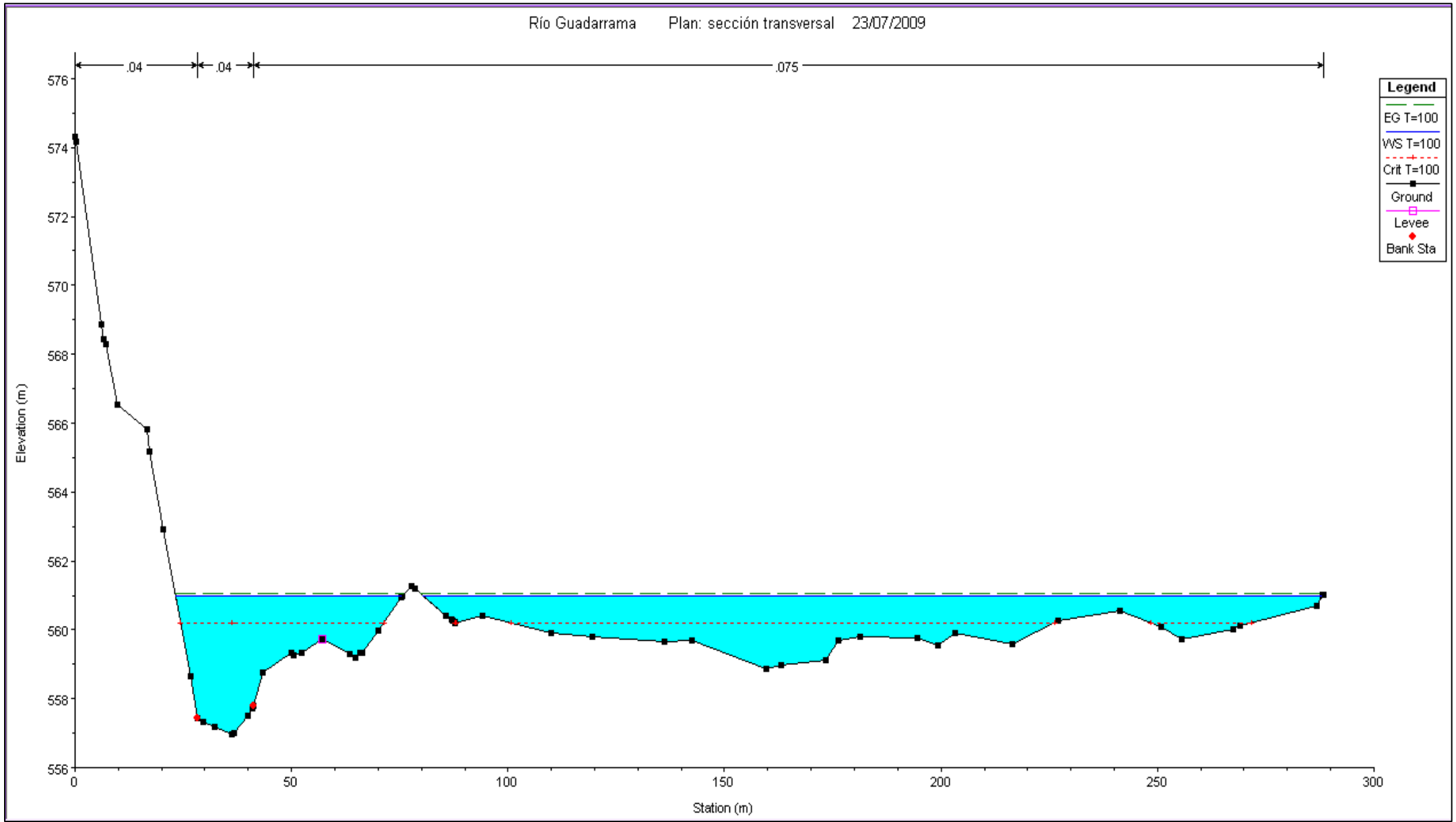
Río Guadarrama- Sección transversal 1147.090



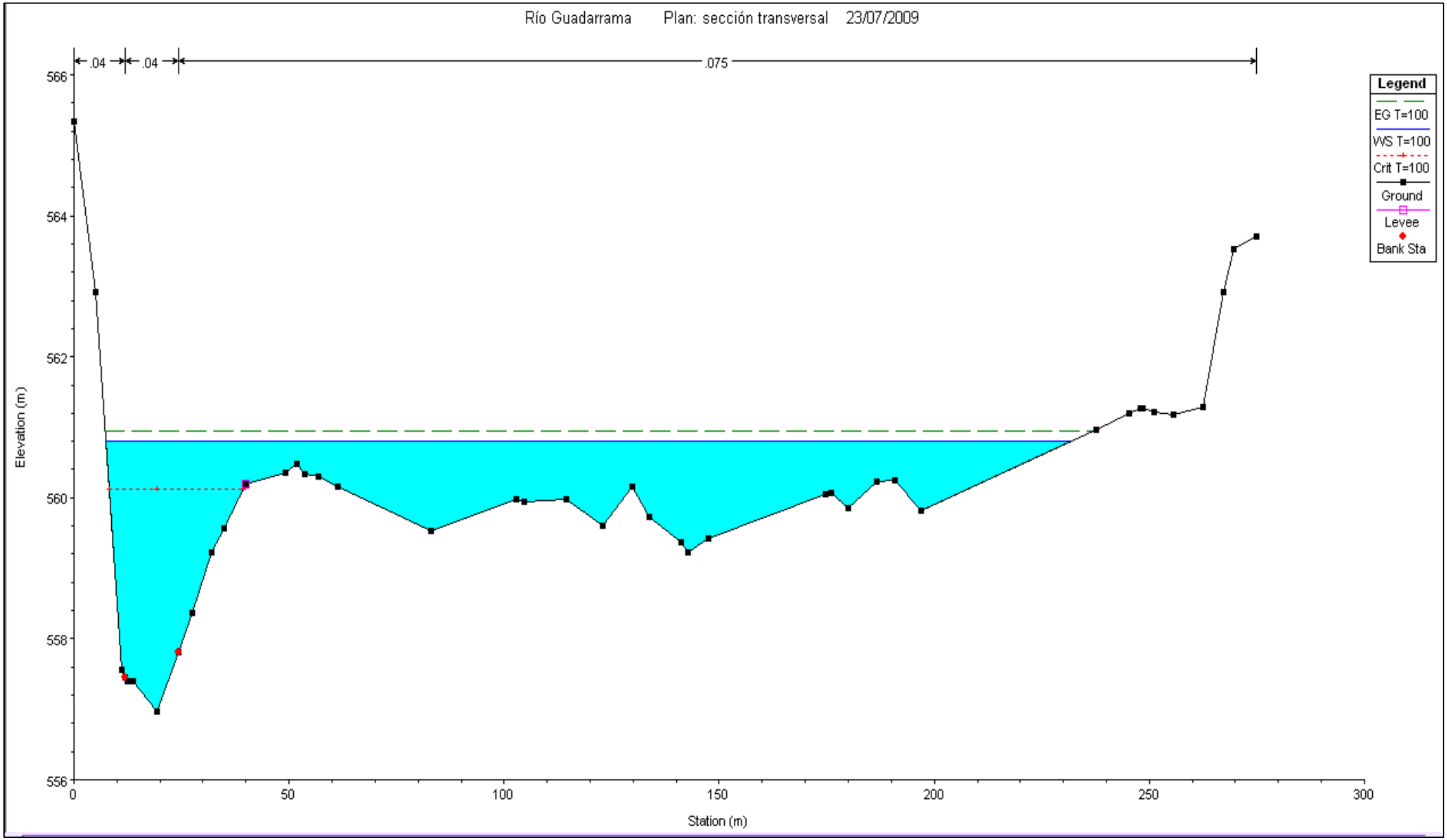
Río Guadarrama- Sección transversal 1010.366



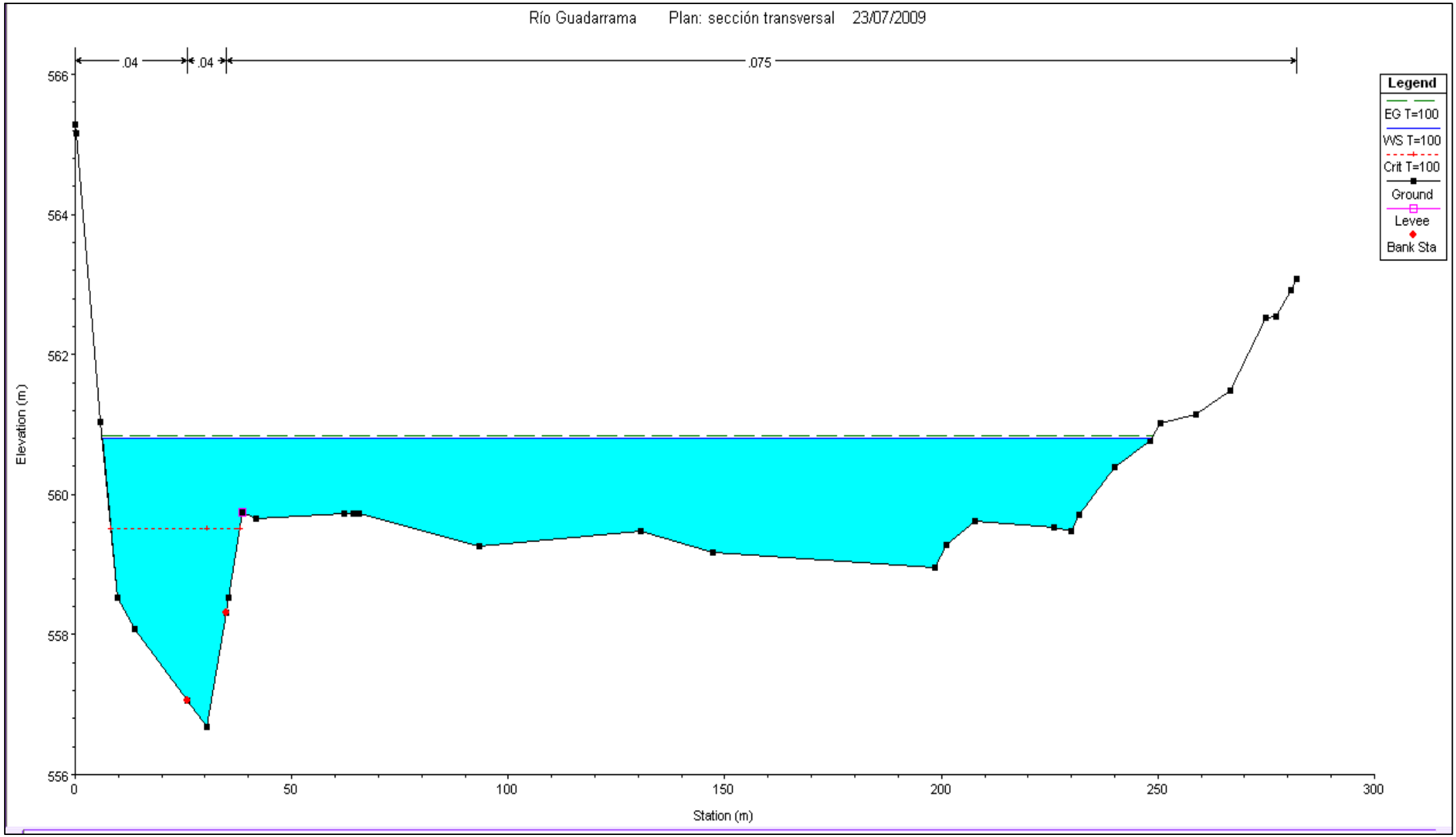
Río Guadarrama- Sección transversal 914.983



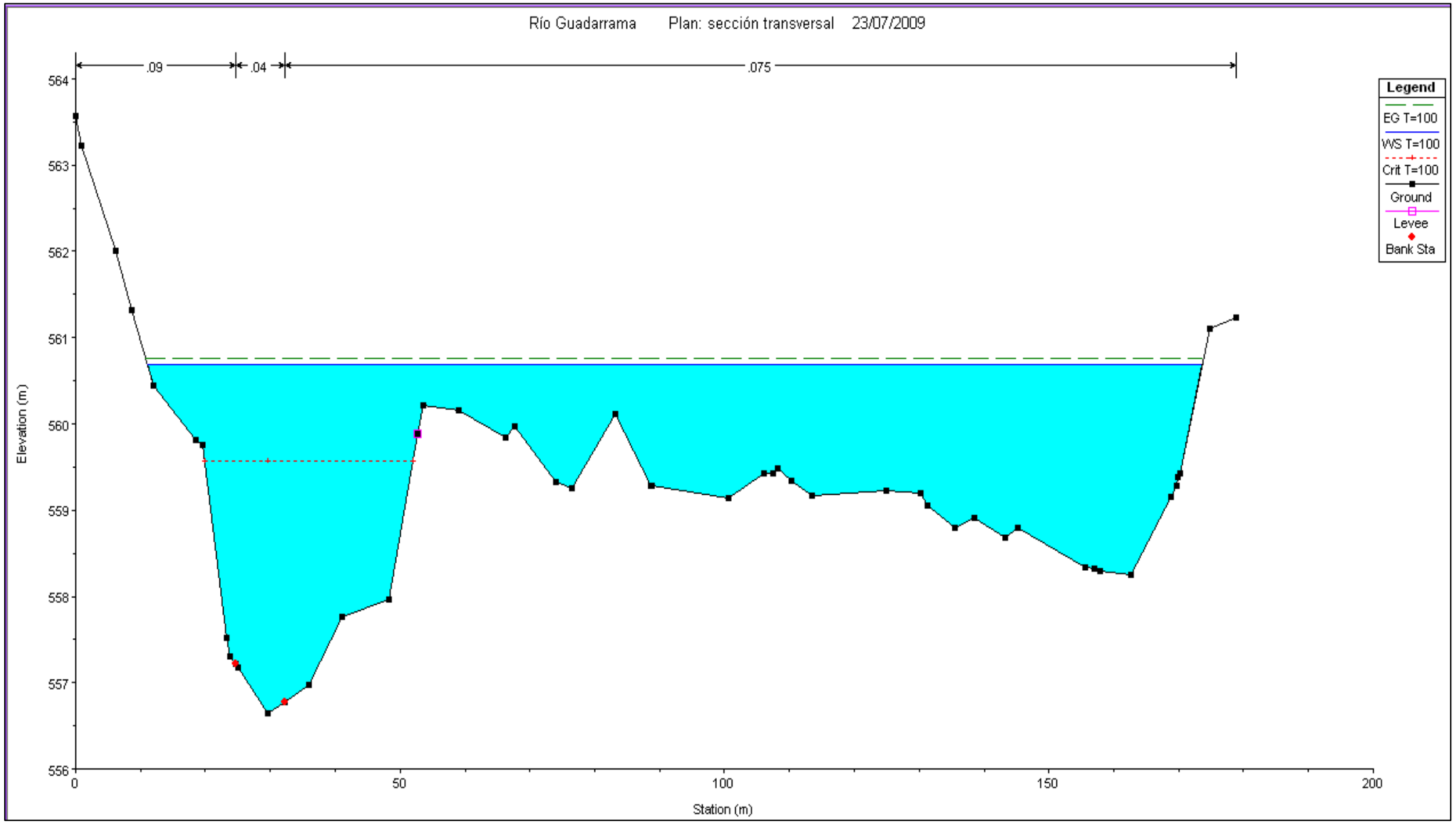
Río Guadarrama- Sección transversal 835.526



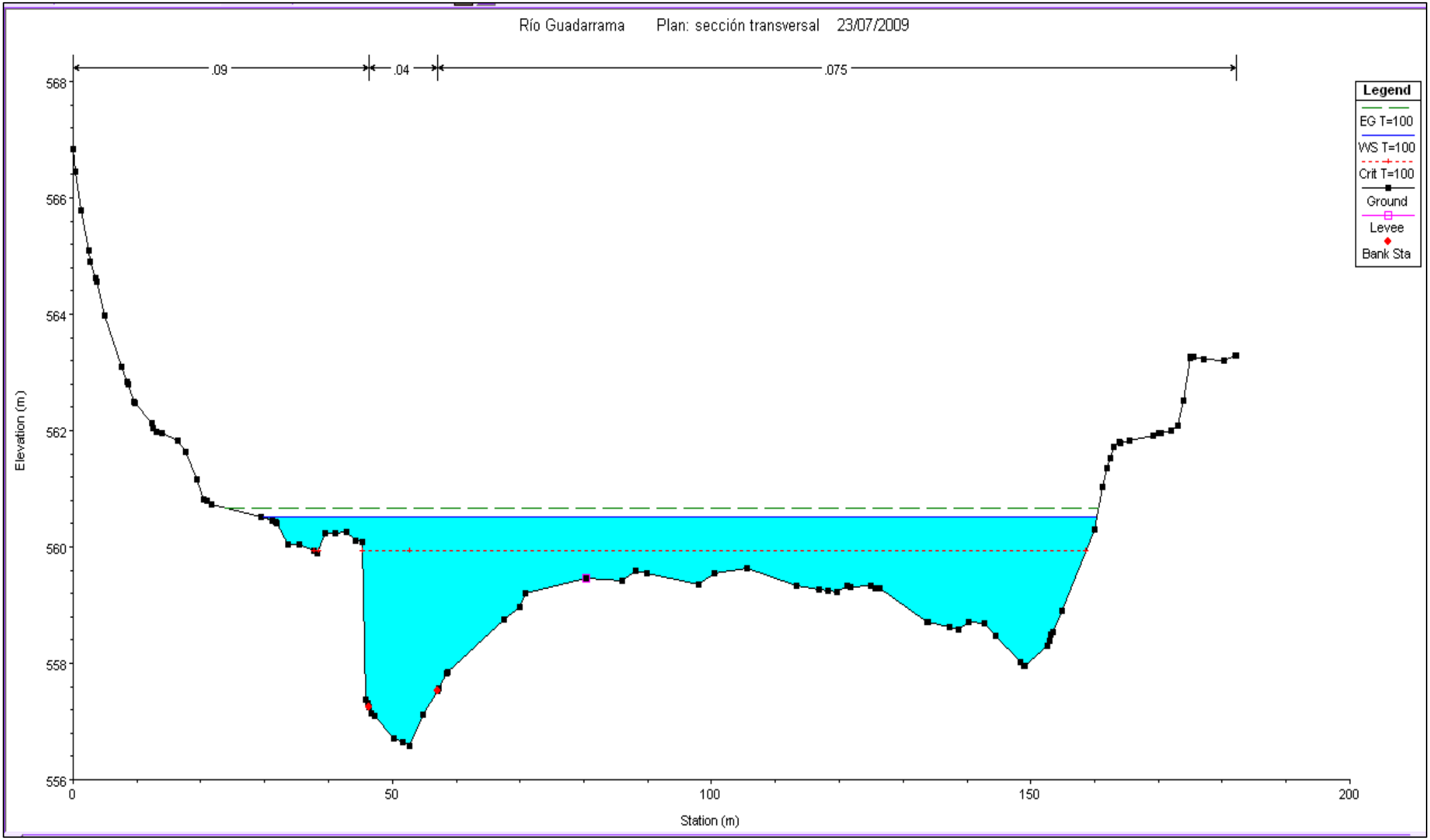
Río Guadarrama- Sección transversal 749.262



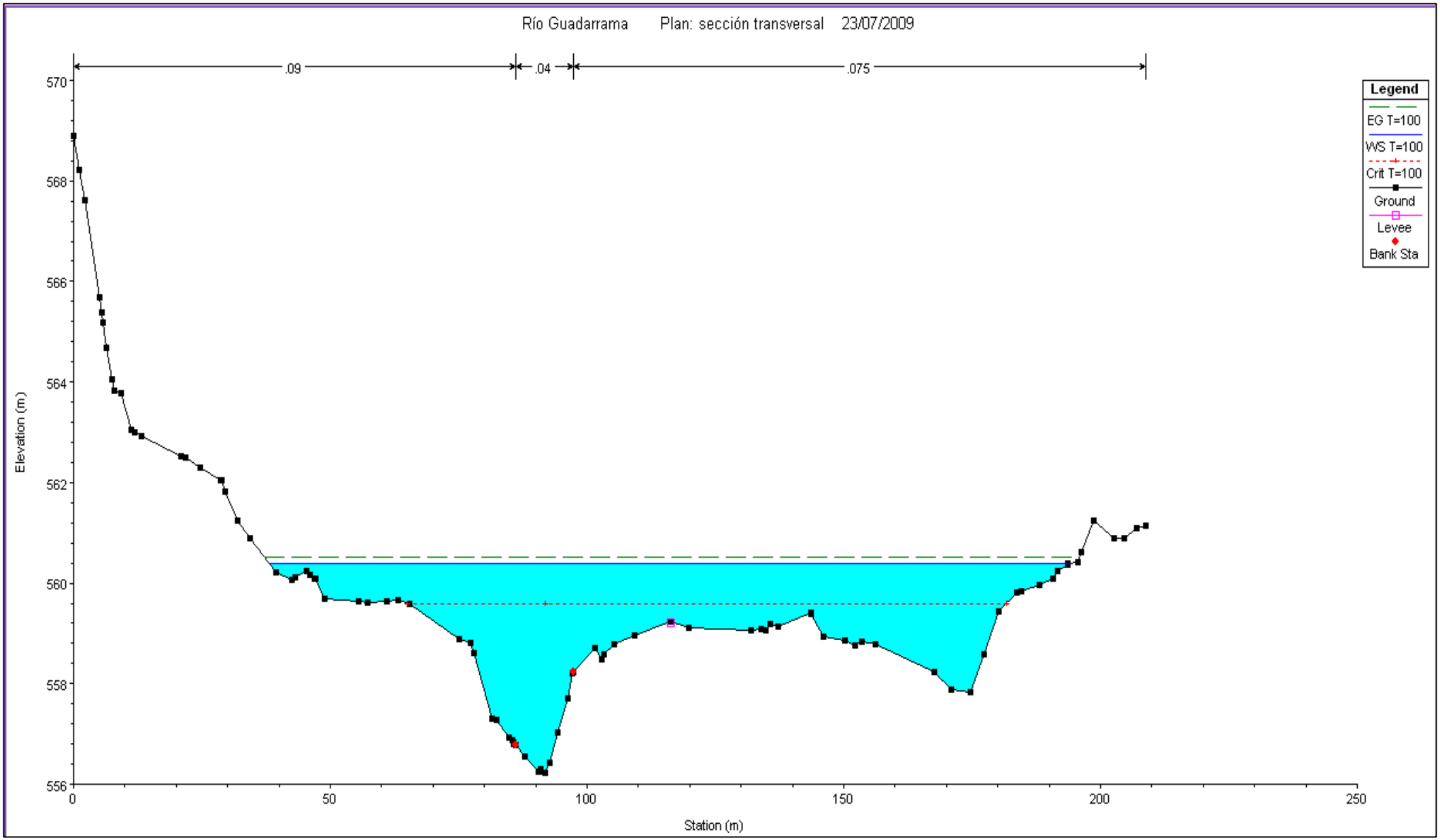
Río Guadarrama- Sección transversal 642.052



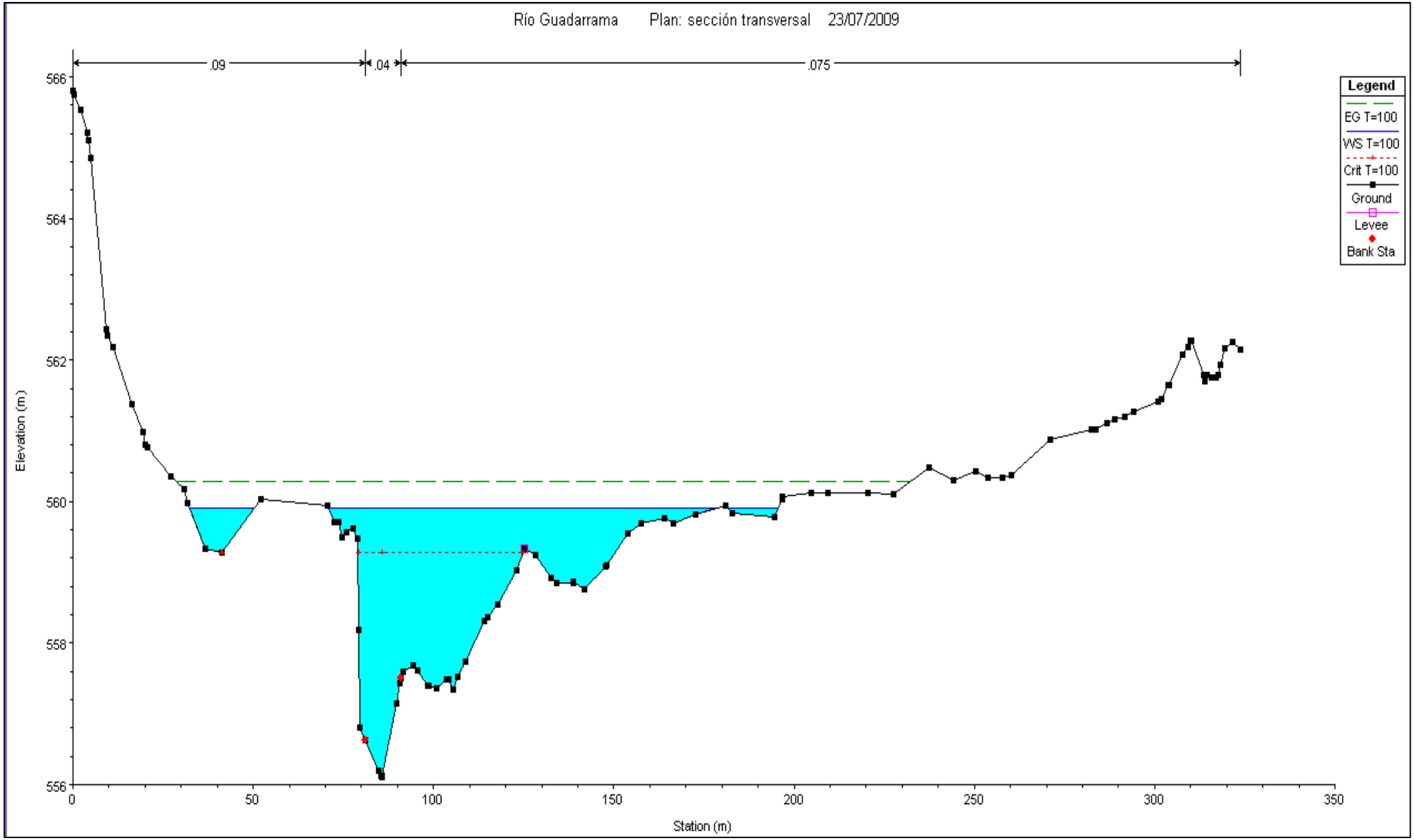
Río Guadarrama- Sección transversal 581.984



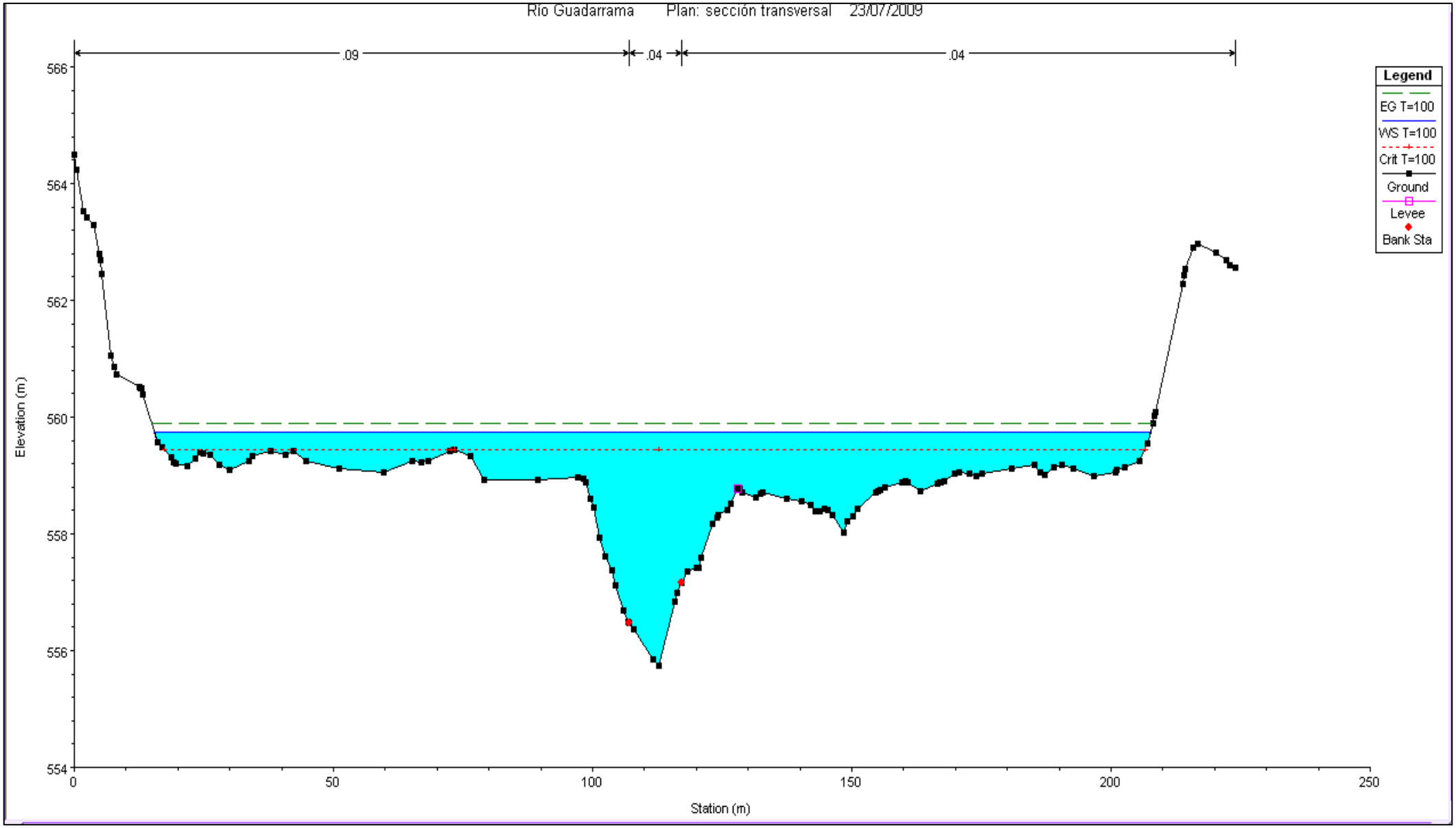
Río Guadarrama- Sección transversal 497.652



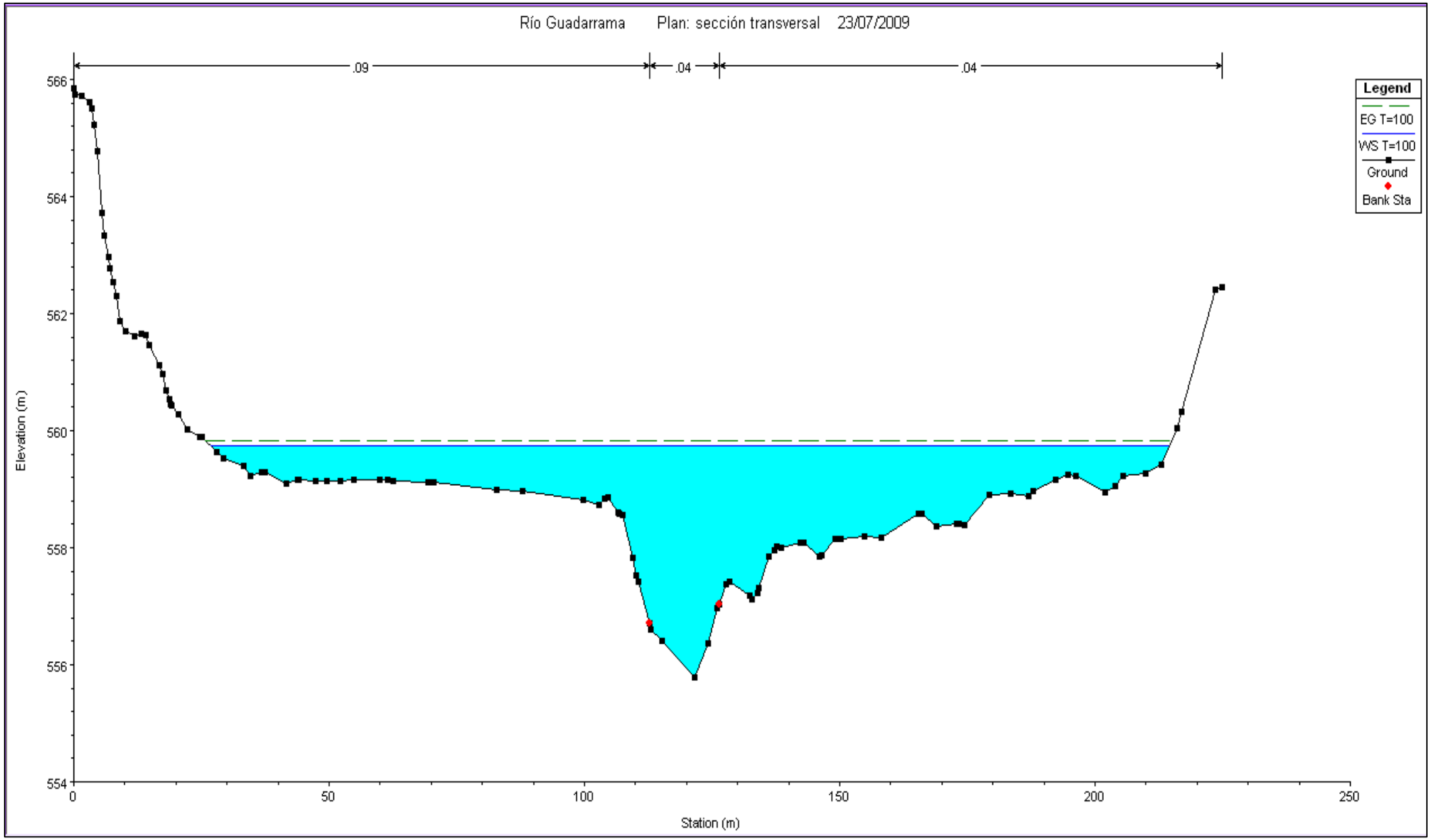
Río Guadarrama- Sección transversal 409.205



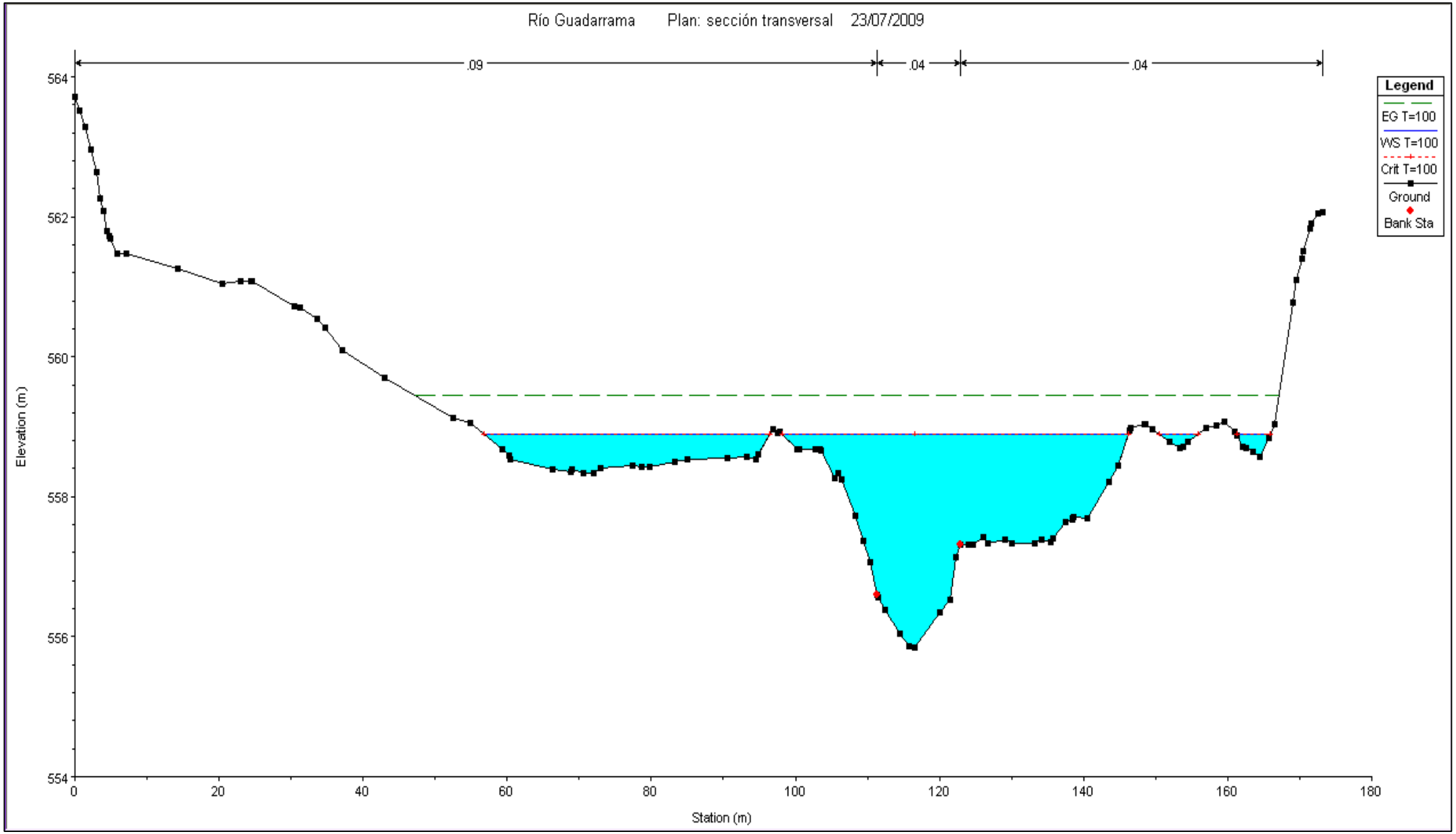
Río Guadarrama- Sección transversal 289.627



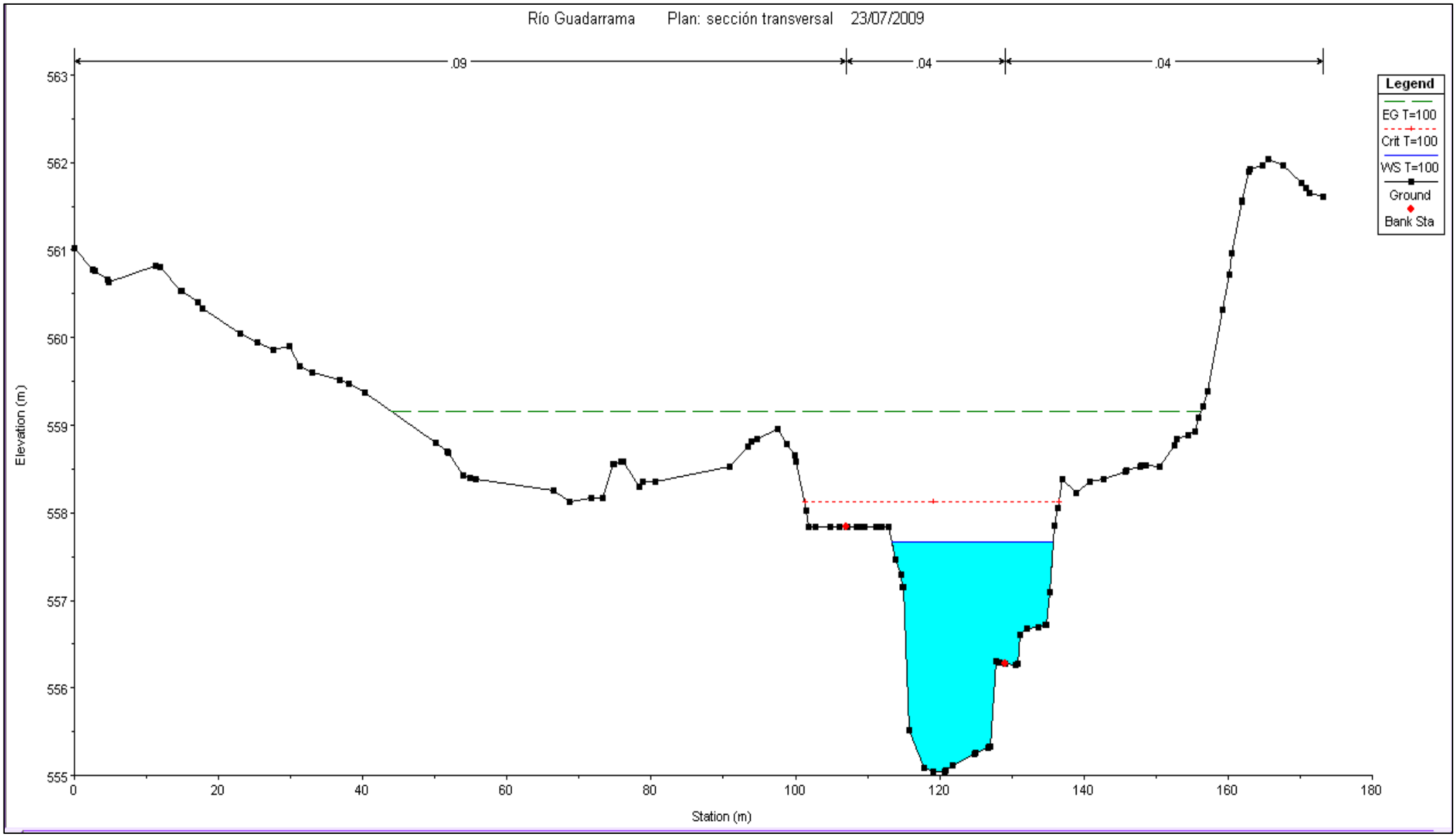
Río Guadarrama- Sección transversal 257.451



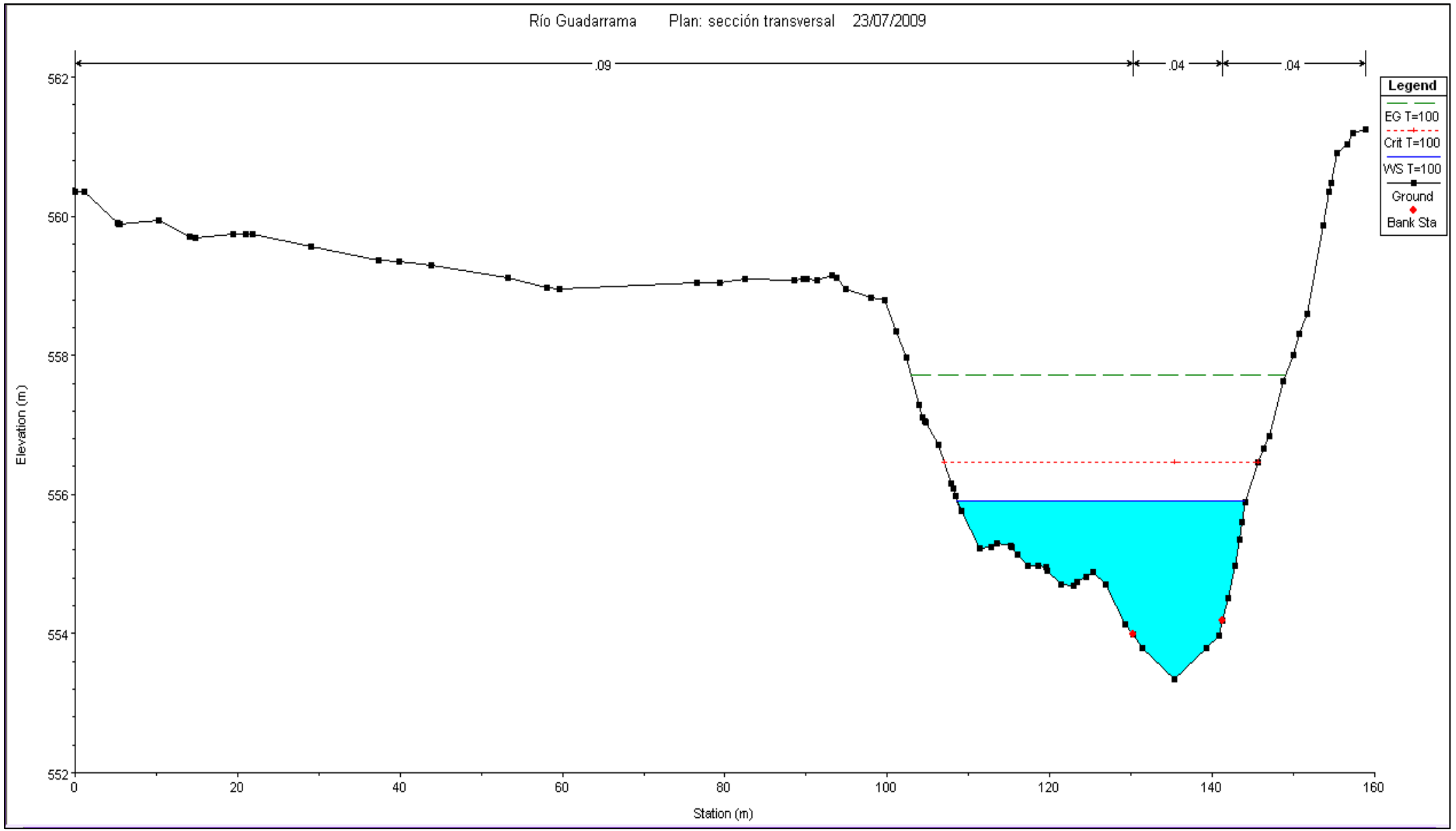
Río Guadarrama- Sección transversal 102.146



Río Guadarrama- Sección transversal 84.516



Río Guadarrama- Sección transversal 22.781

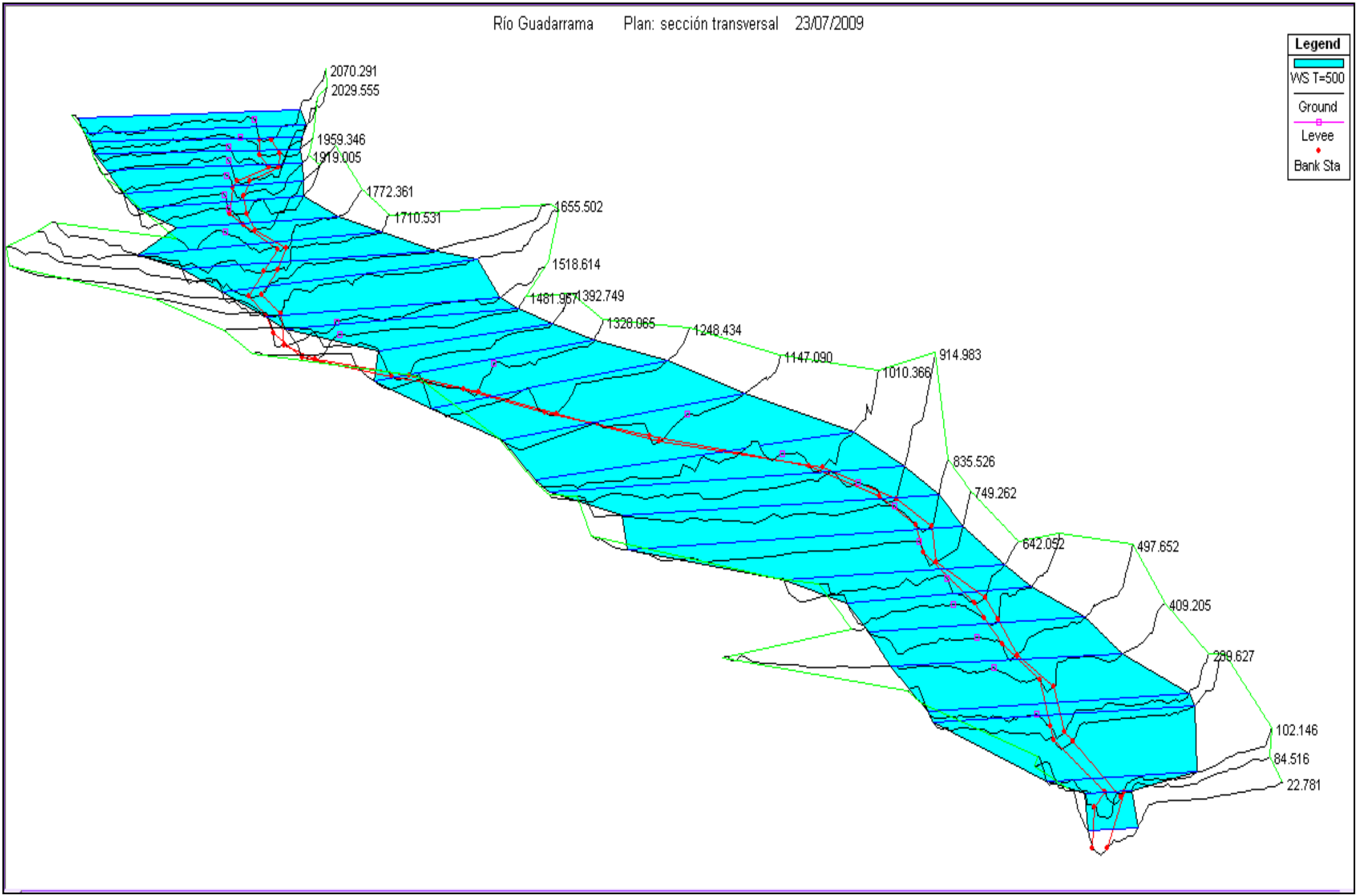


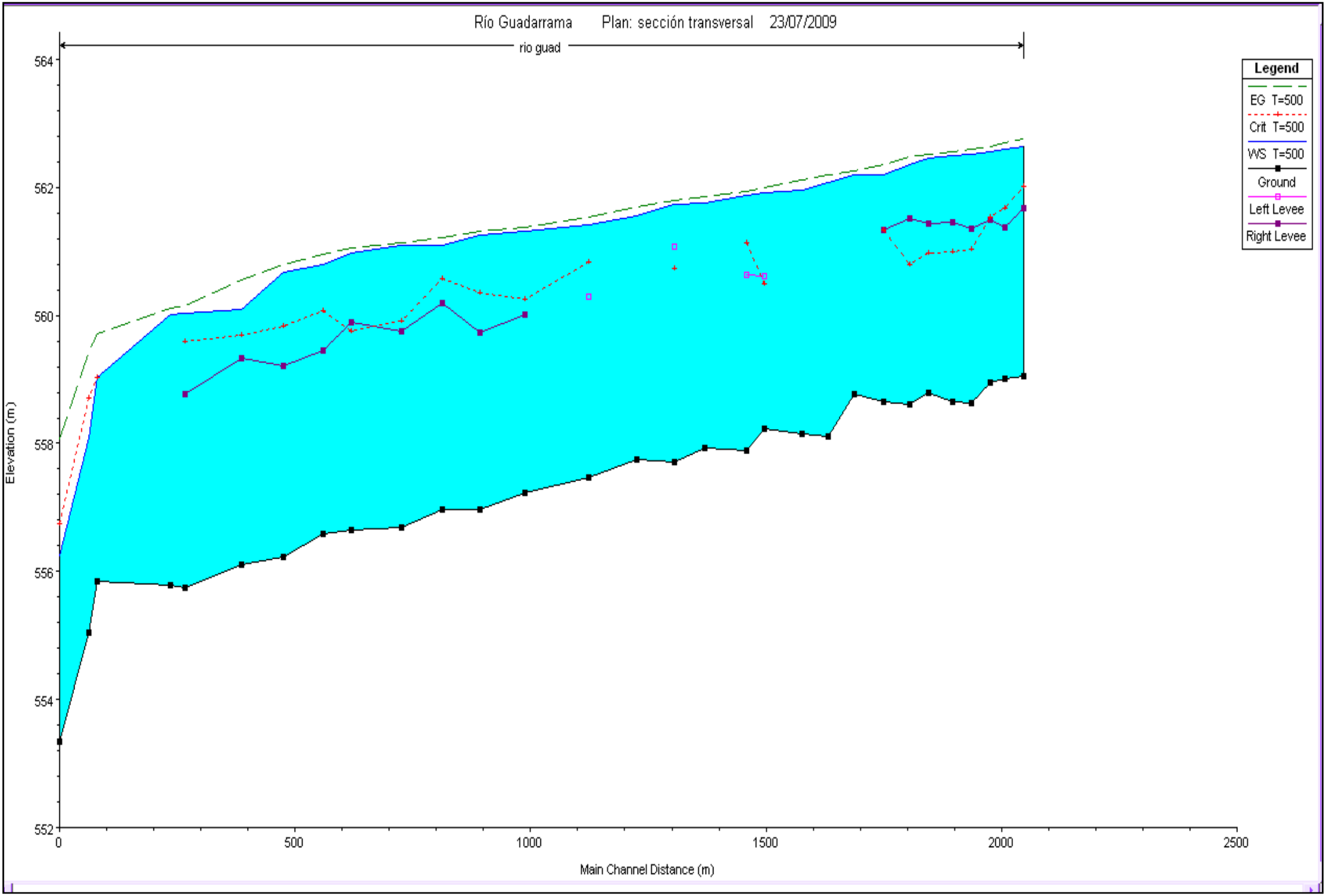
ANEXO IV

PERFILES Y SECCIONES TRANSVERSALES PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 500 AÑOS

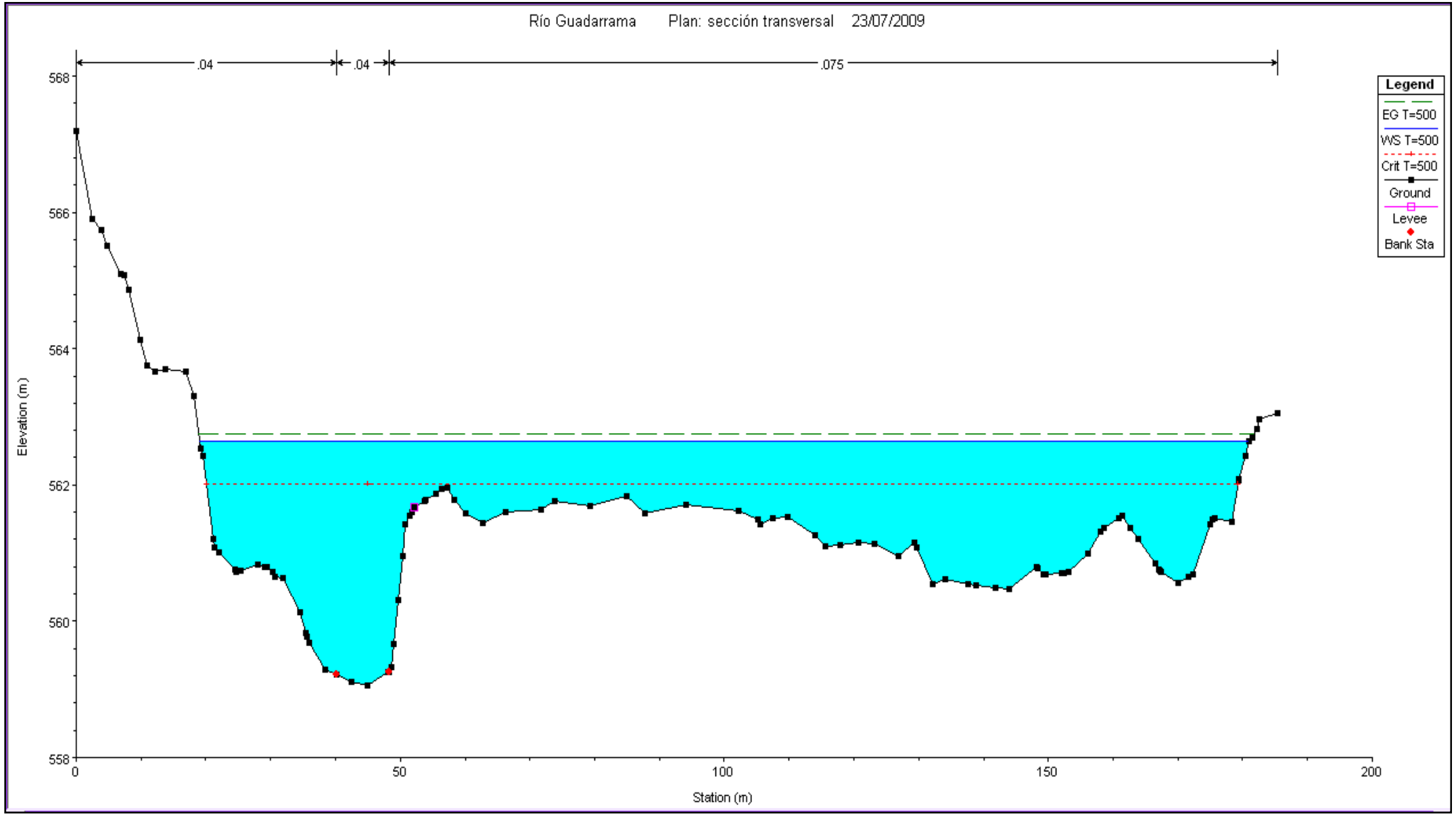
MARINA BLANCO FLORES

MARTA FERNÁNDEZ BOYANO

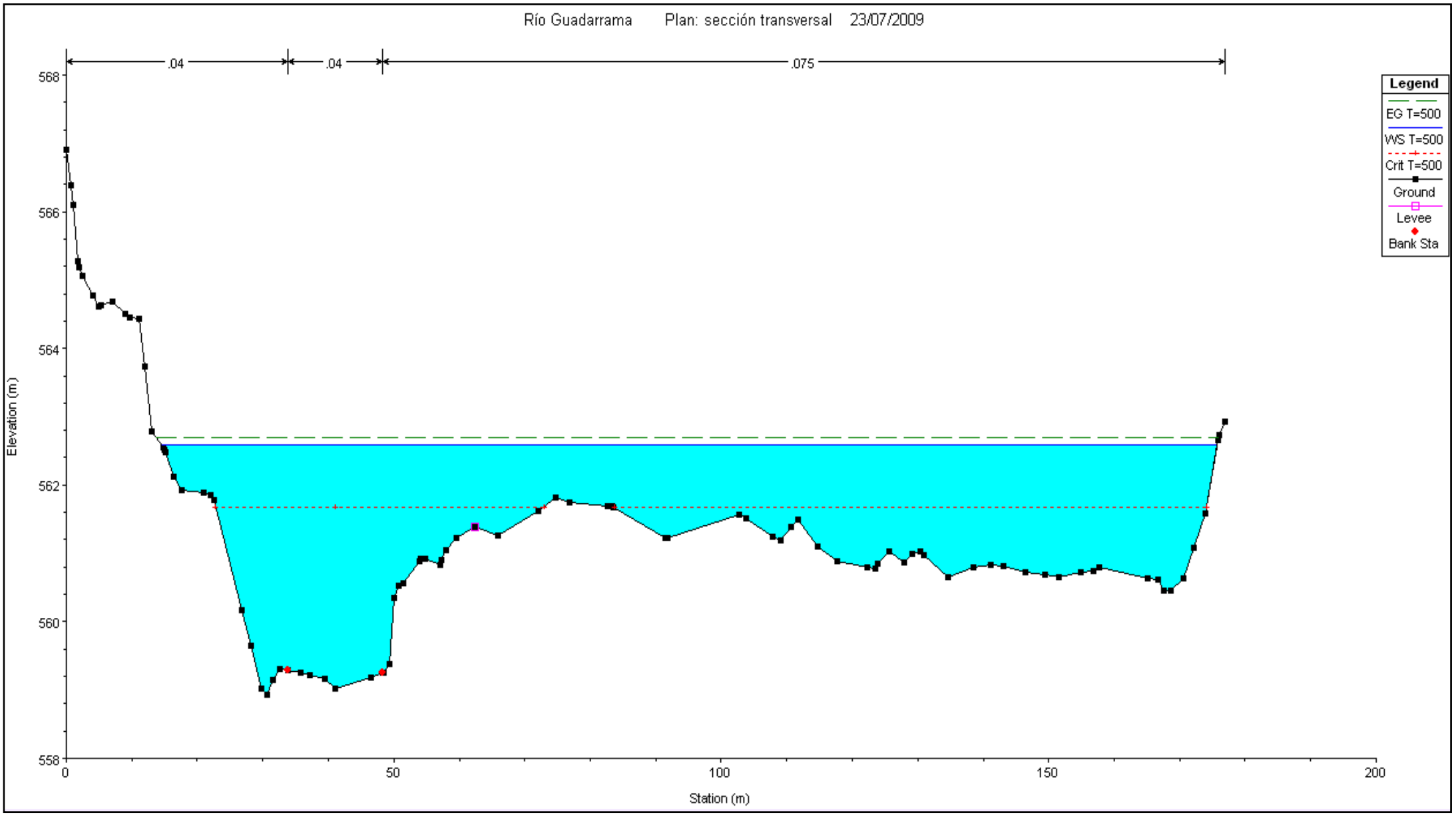

Río Guadarrama Plan: sección transversal 23/07/2009
Legend
WS T=500
Ground
Levee
Bank Sta
2070.291
2029.555
1959.346
1919.005
1772.361
1710.531
1655.502
1518.614
1481.967
1392.749
1328.065
1248.434
1147.090
1010.366
914.983
835.526
749.262
642.052
497.652
409.205
289.627
102.146
84.516
22.781


Río Guadarrama Plan: sección transversal 23/07/2009
rio guad
Legend
EG T=500
Crit T=500
WS T=500
Ground
Left Levee
Right Levee
Elevation (m)
564
562
560
558
556
554
552
0
500
1000
1500
2000
2500
Main Channel Distance (m)

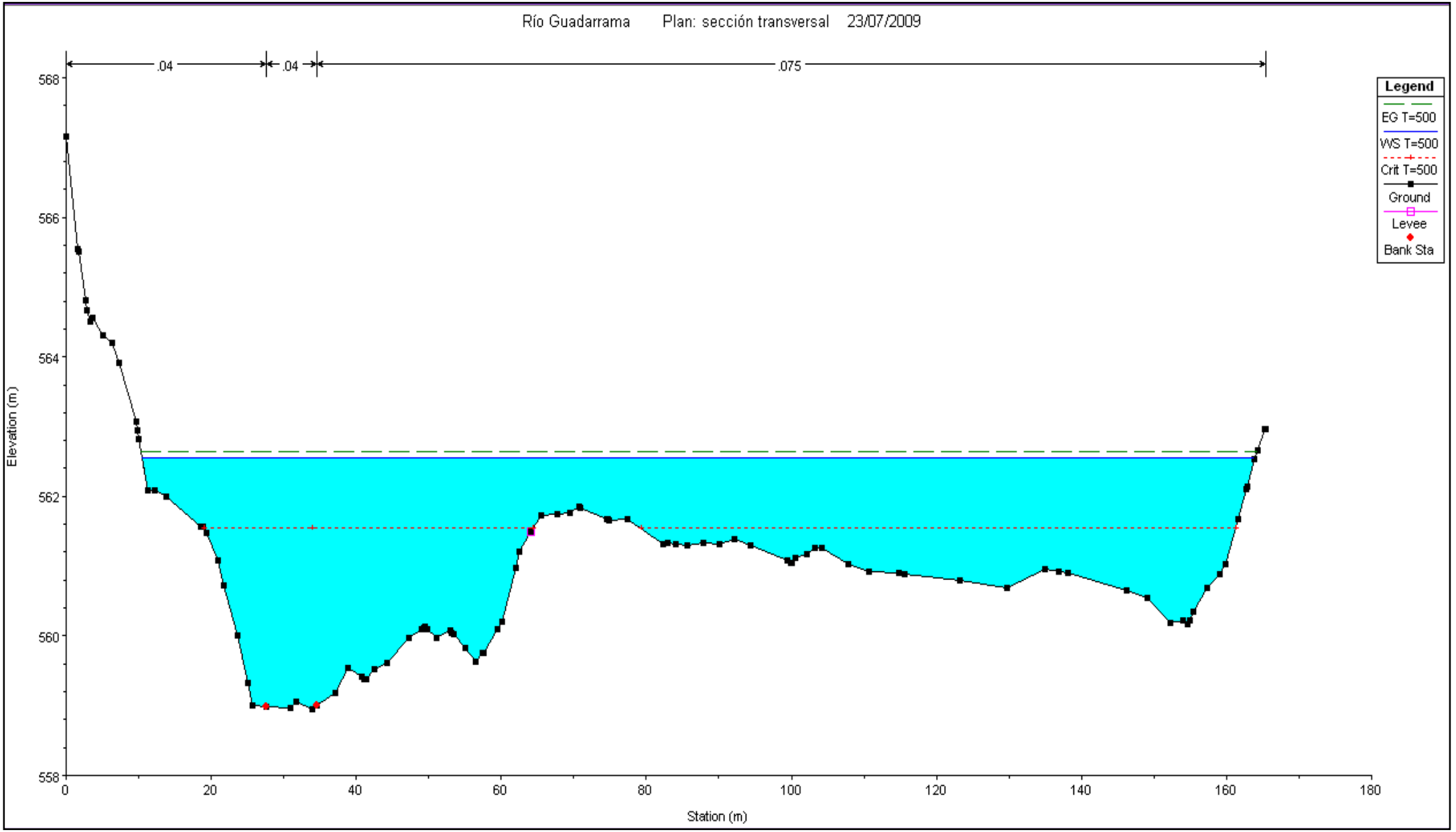
Río Guadarrama- Sección transversal 2070.291



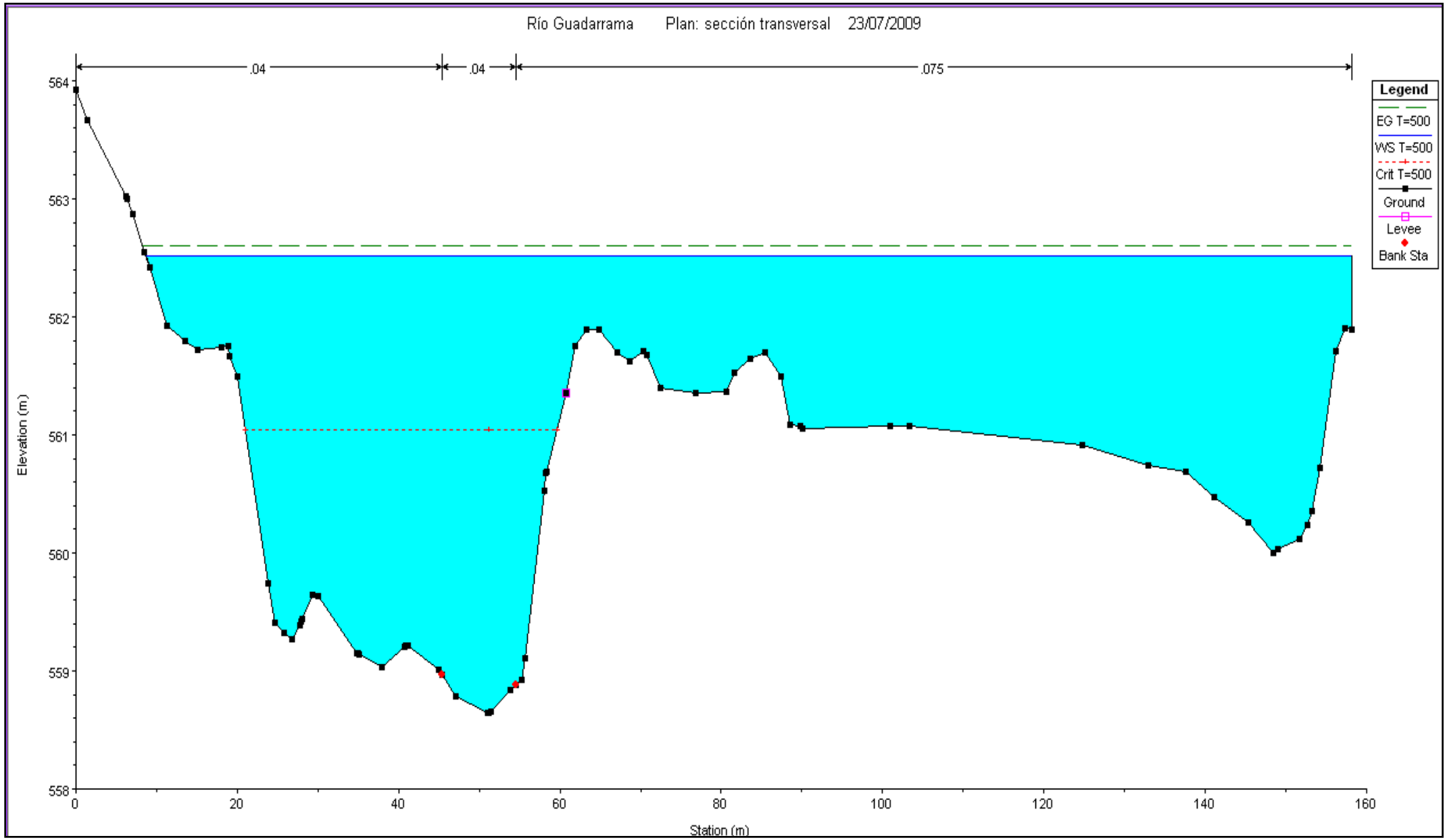
Río Guadarrama- Sección transversal 2029.555



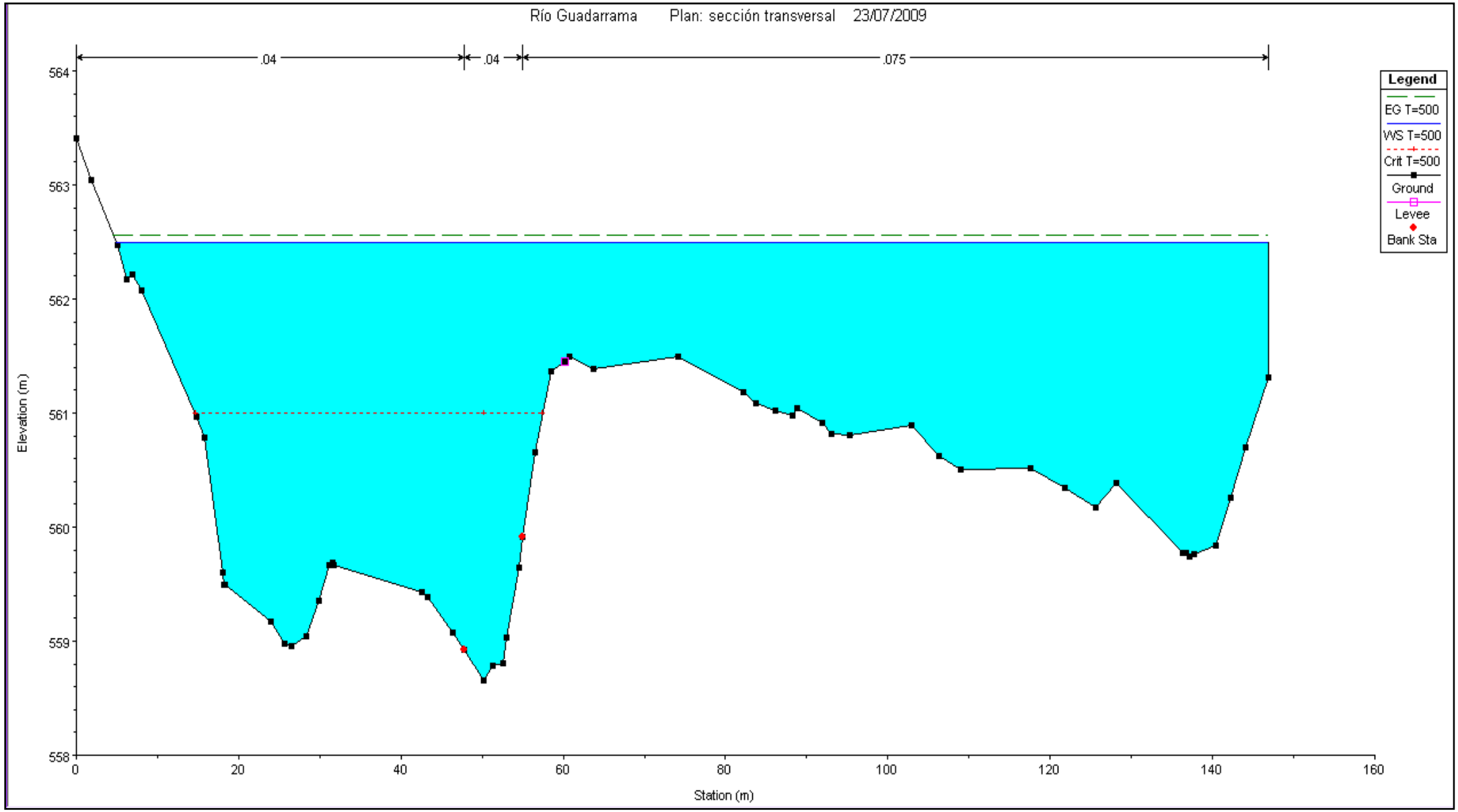
Río Guadarrama- Sección transversal 1999.605



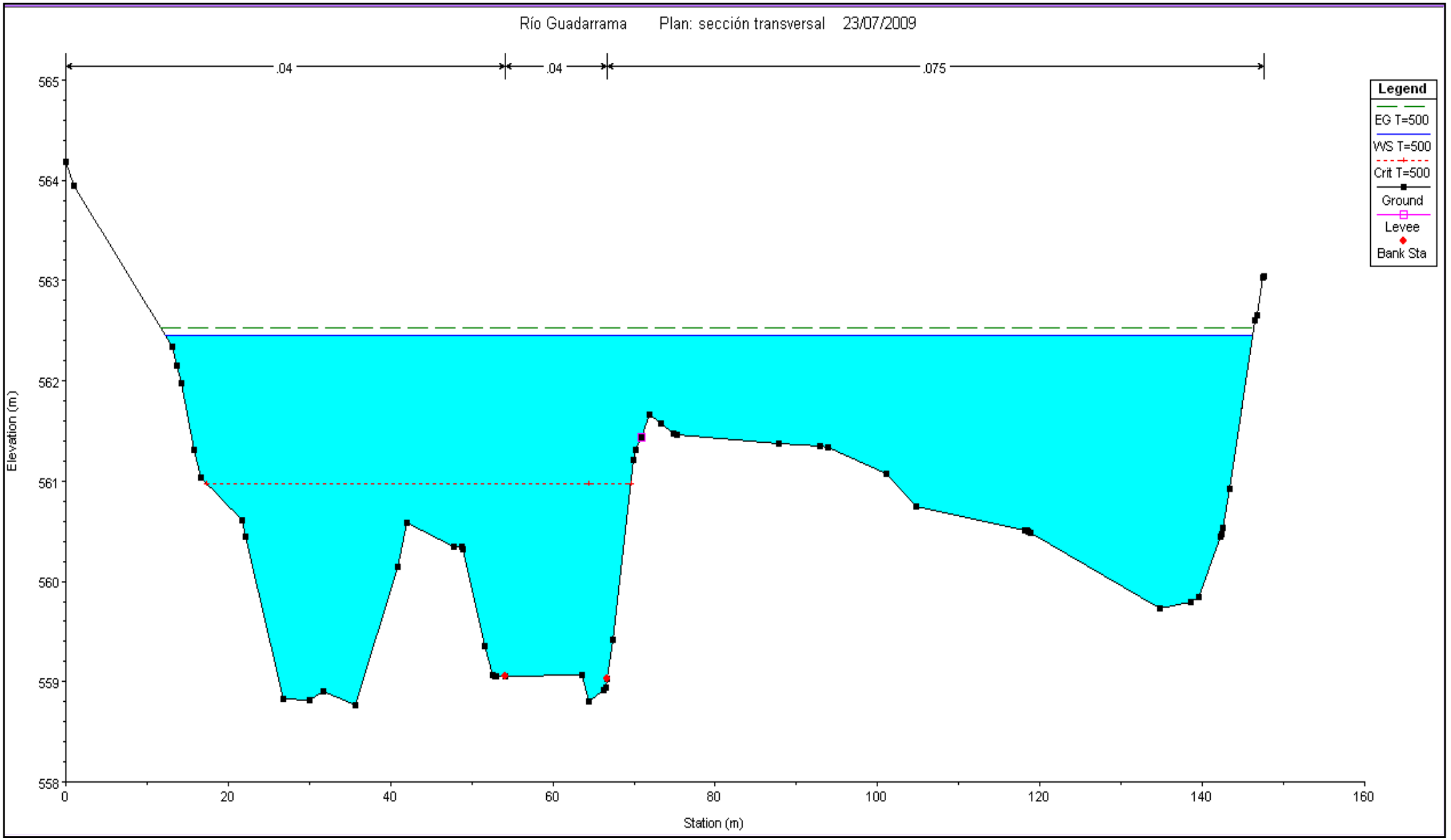
Río Guadarrama- Sección transversal 1949.356



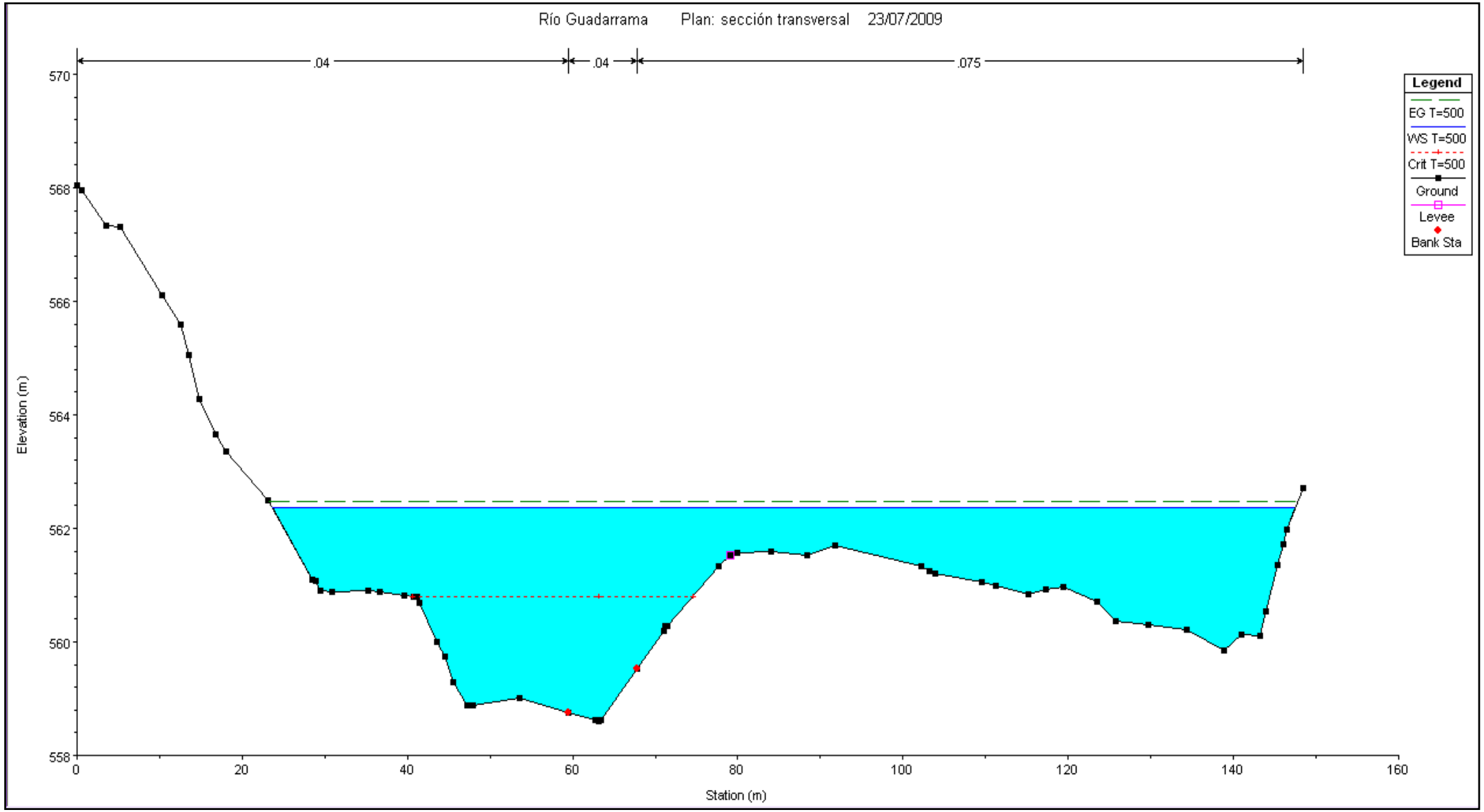
Río Guadarrama- Sección transversal 1919.005



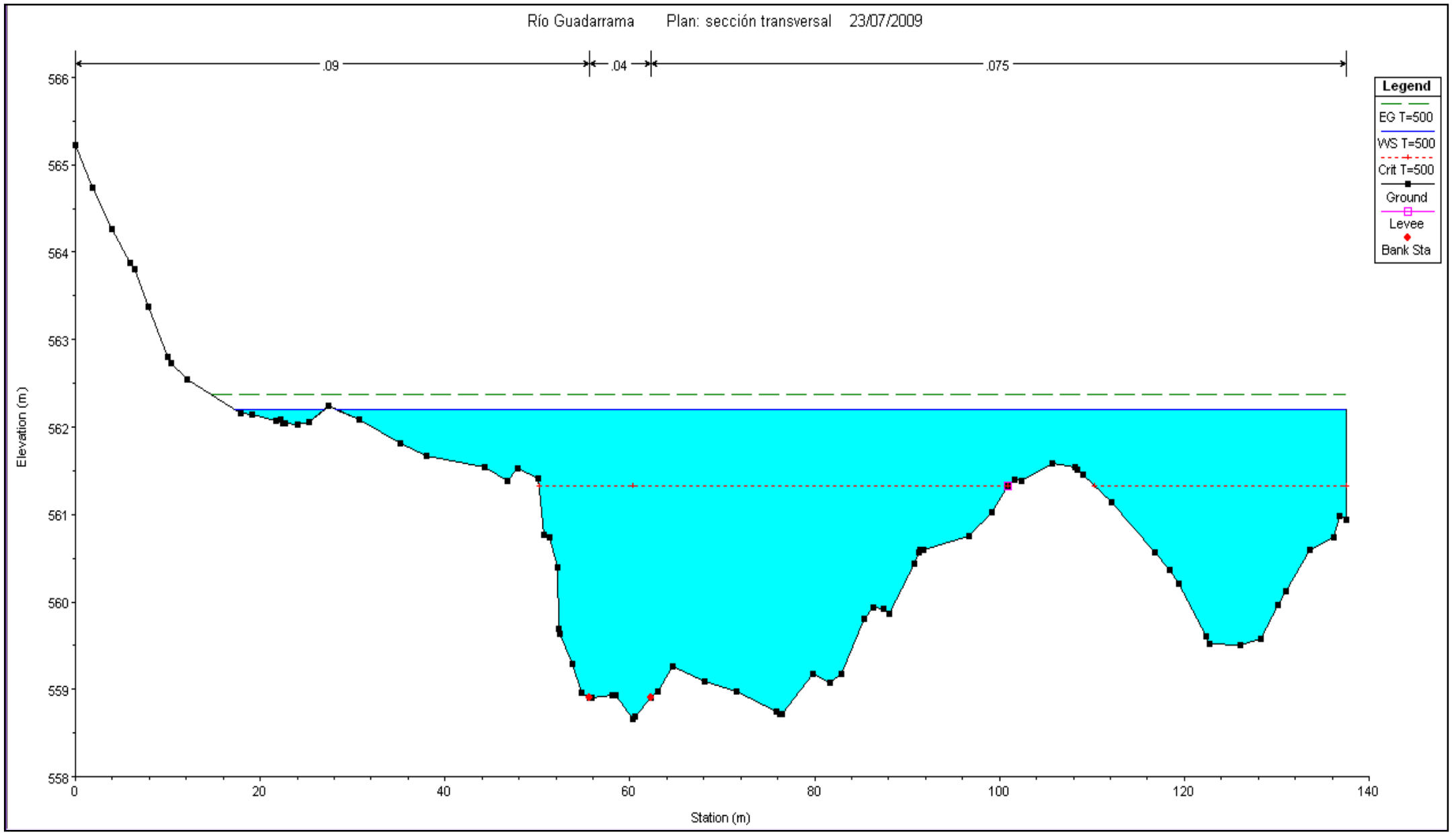
Río Guadarrama- Sección transversal 1867.725



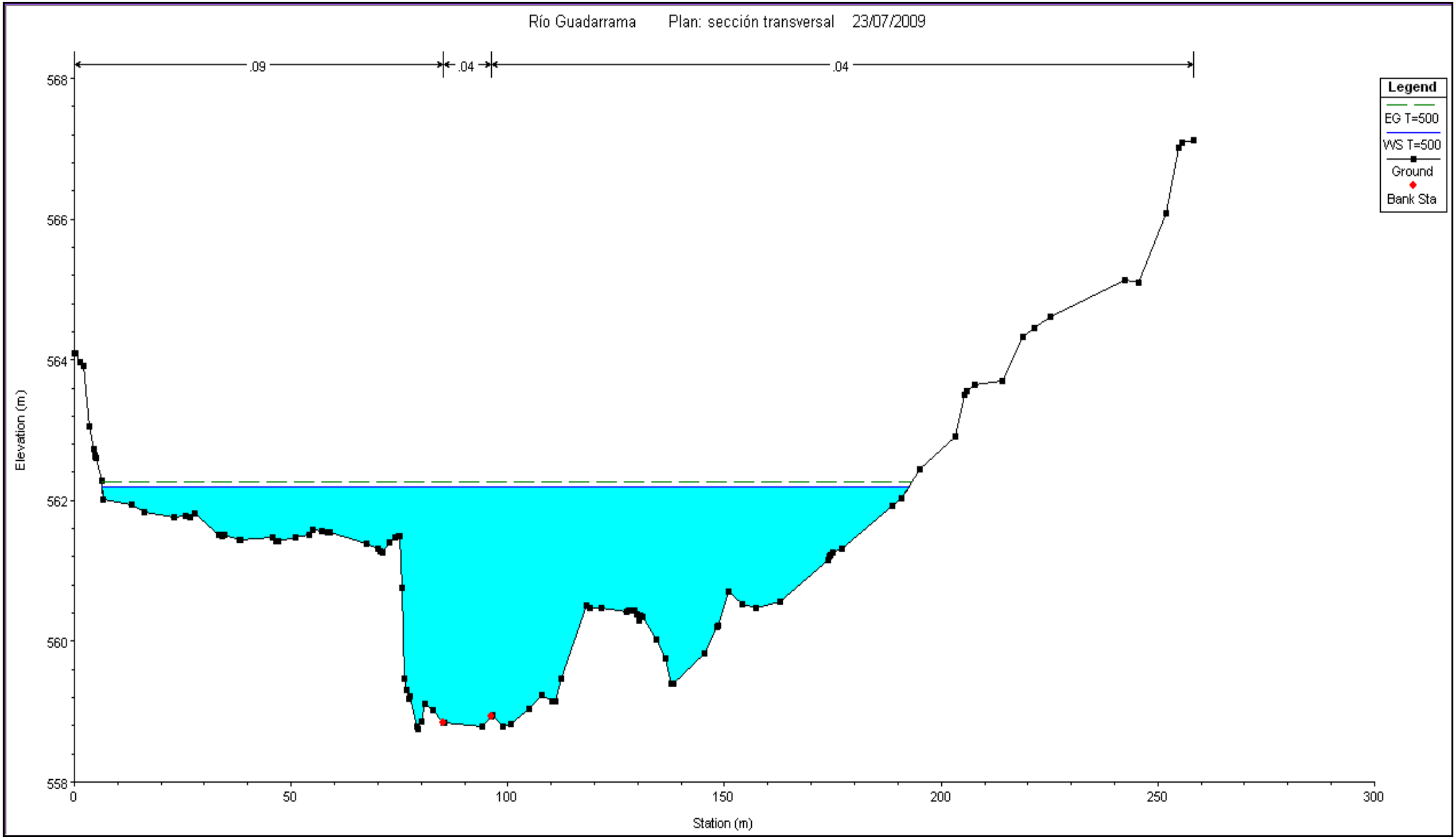
Río Guadarrama- Sección transversal 1828.505



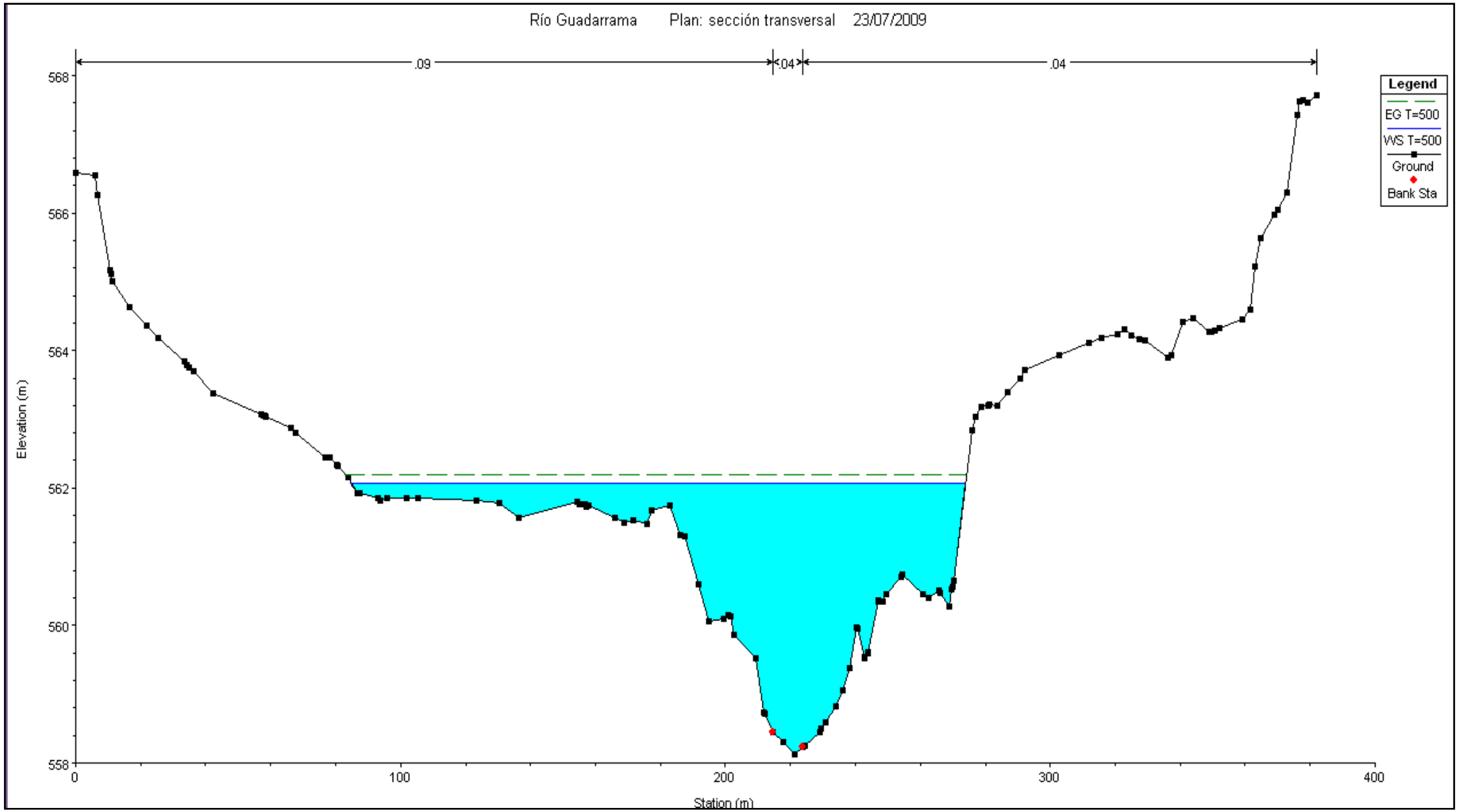
Río Guadarrama- Sección transversal 1772.361



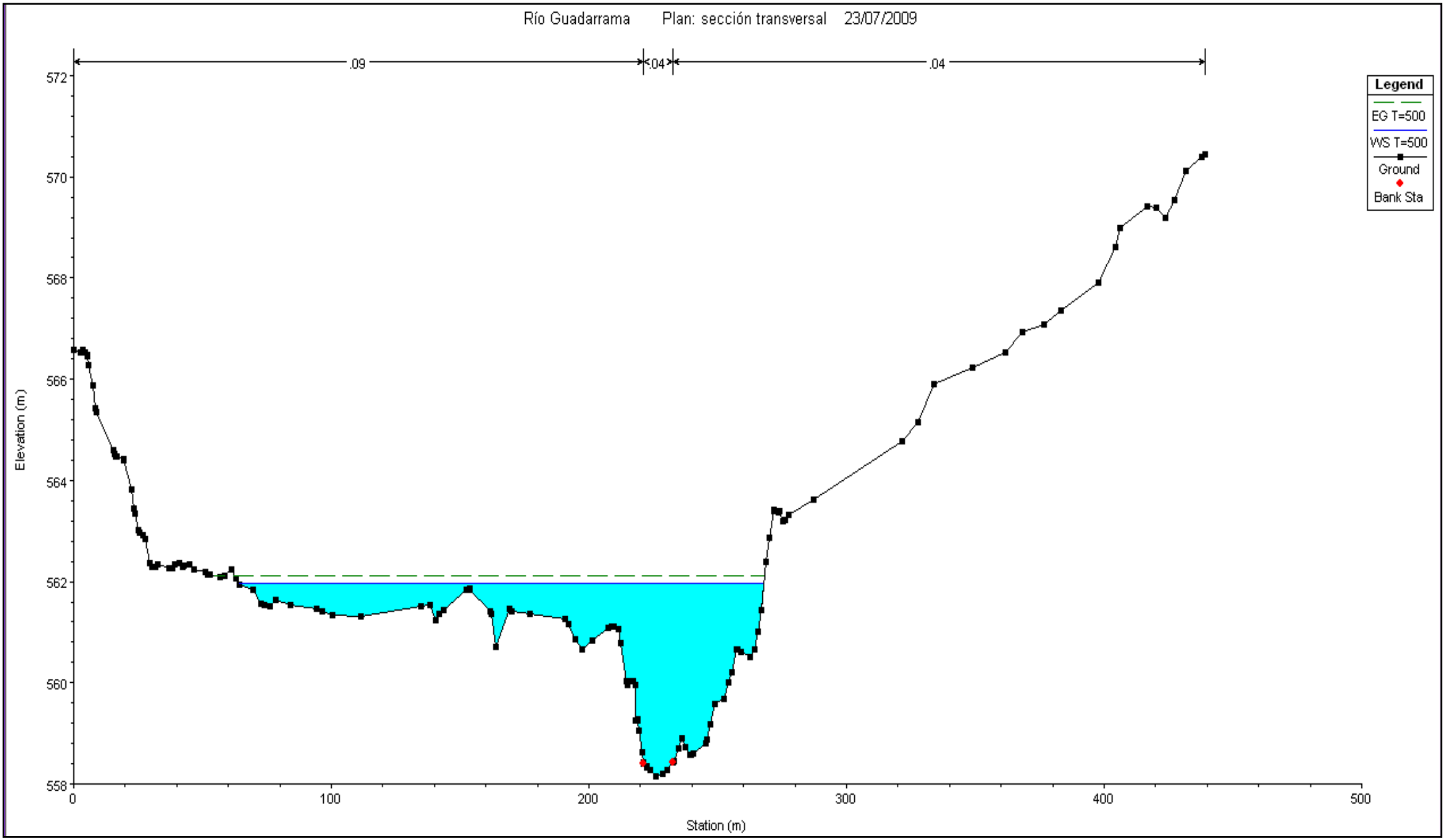
Río Guadarrama- Sección transversal 1710.531



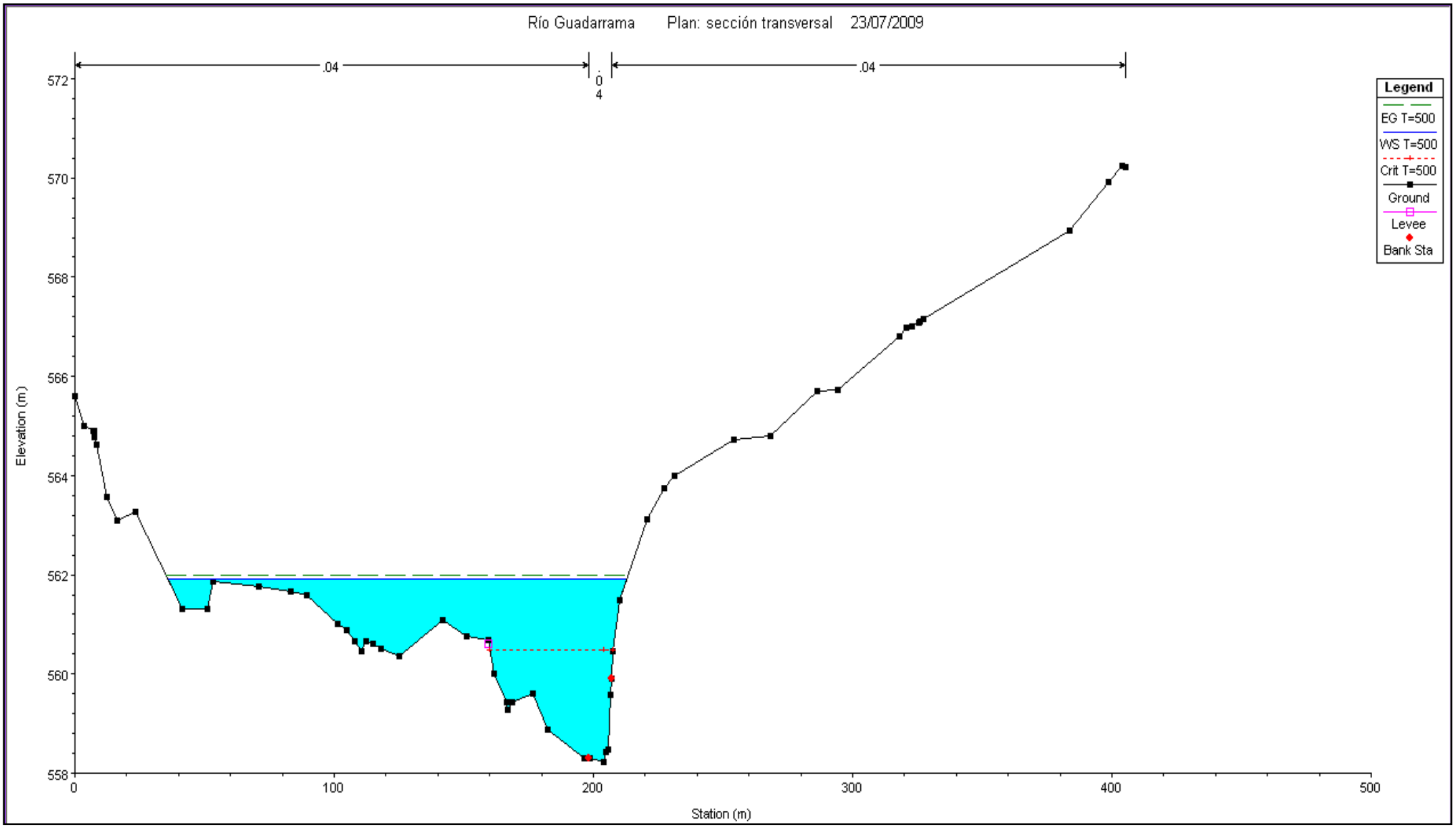
Río Guadarrama- Sección transversal 1655.502



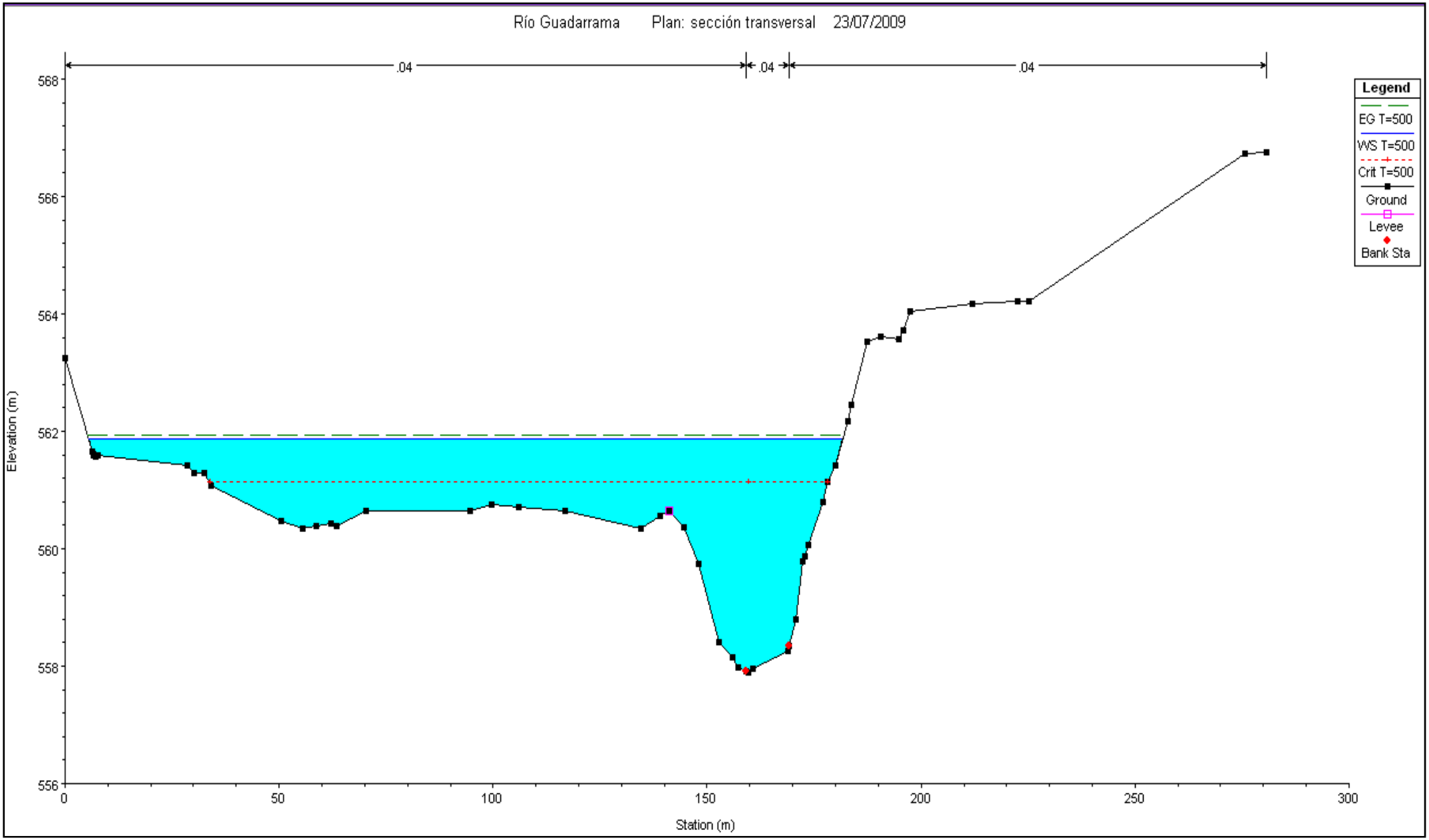
Río Guadarrama- Sección transversal 1600.154



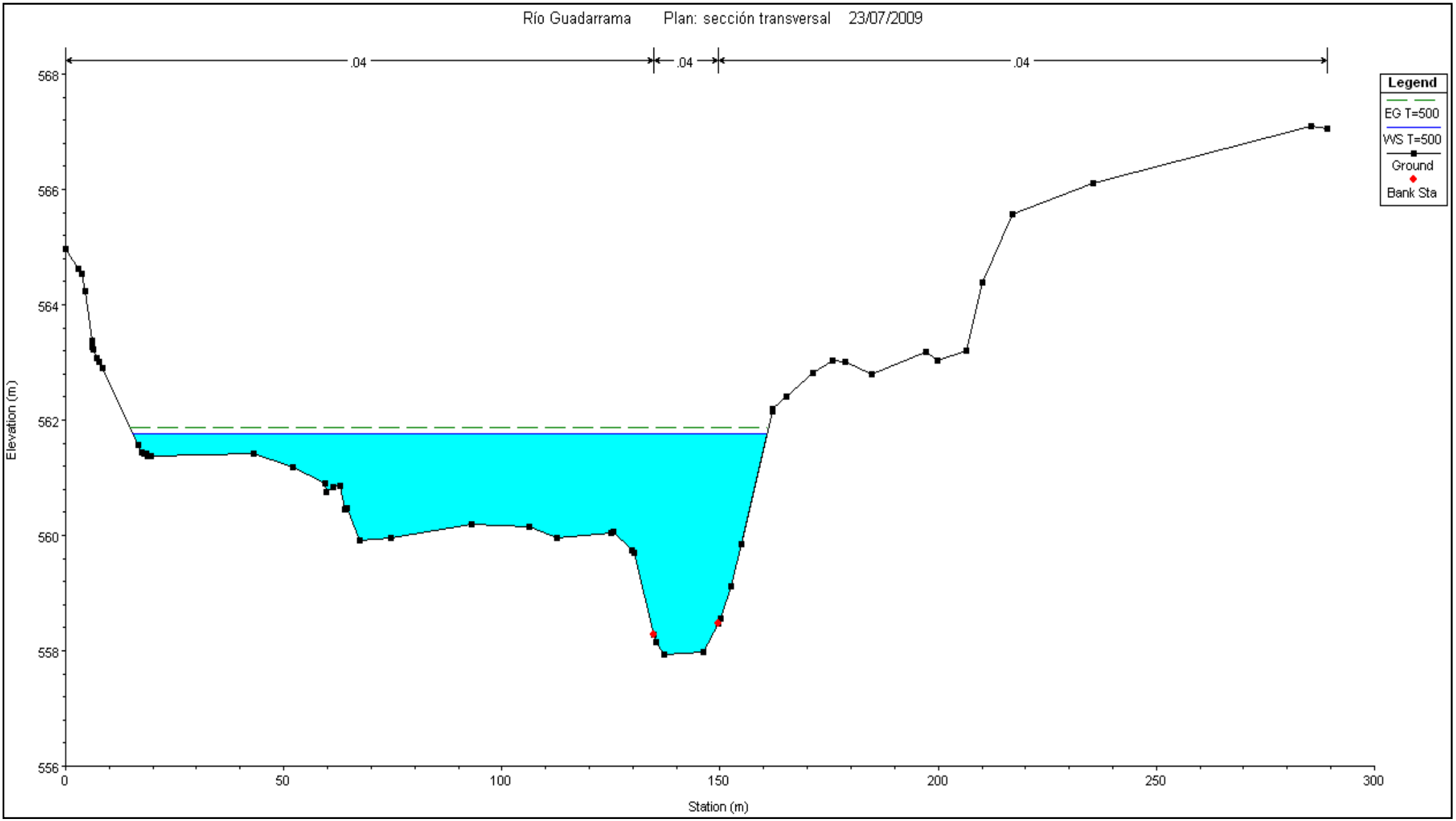
Río Guadarrama- Sección transversal 1518.614



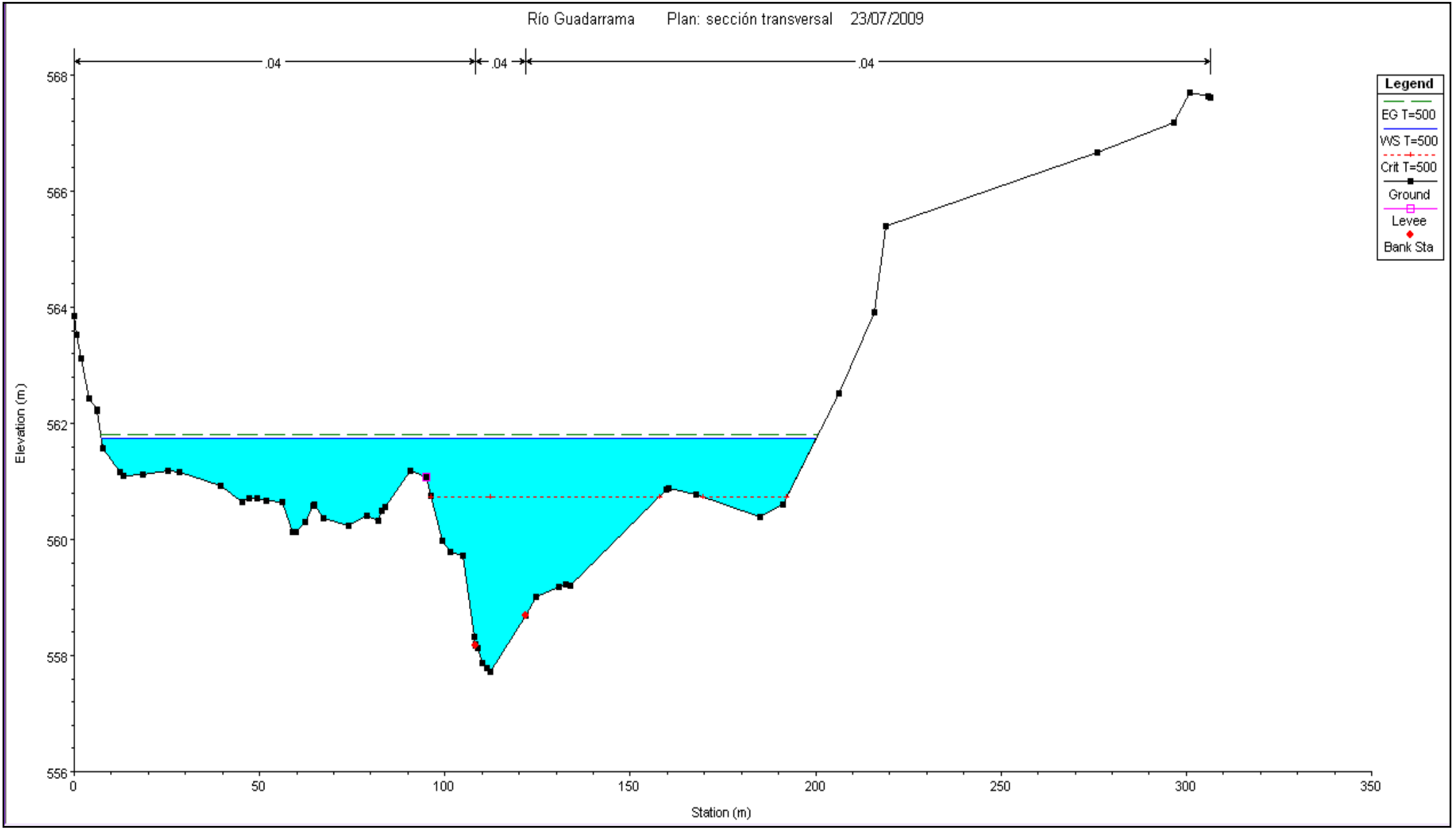
Río Guadarrama- Sección transversal 1481.967



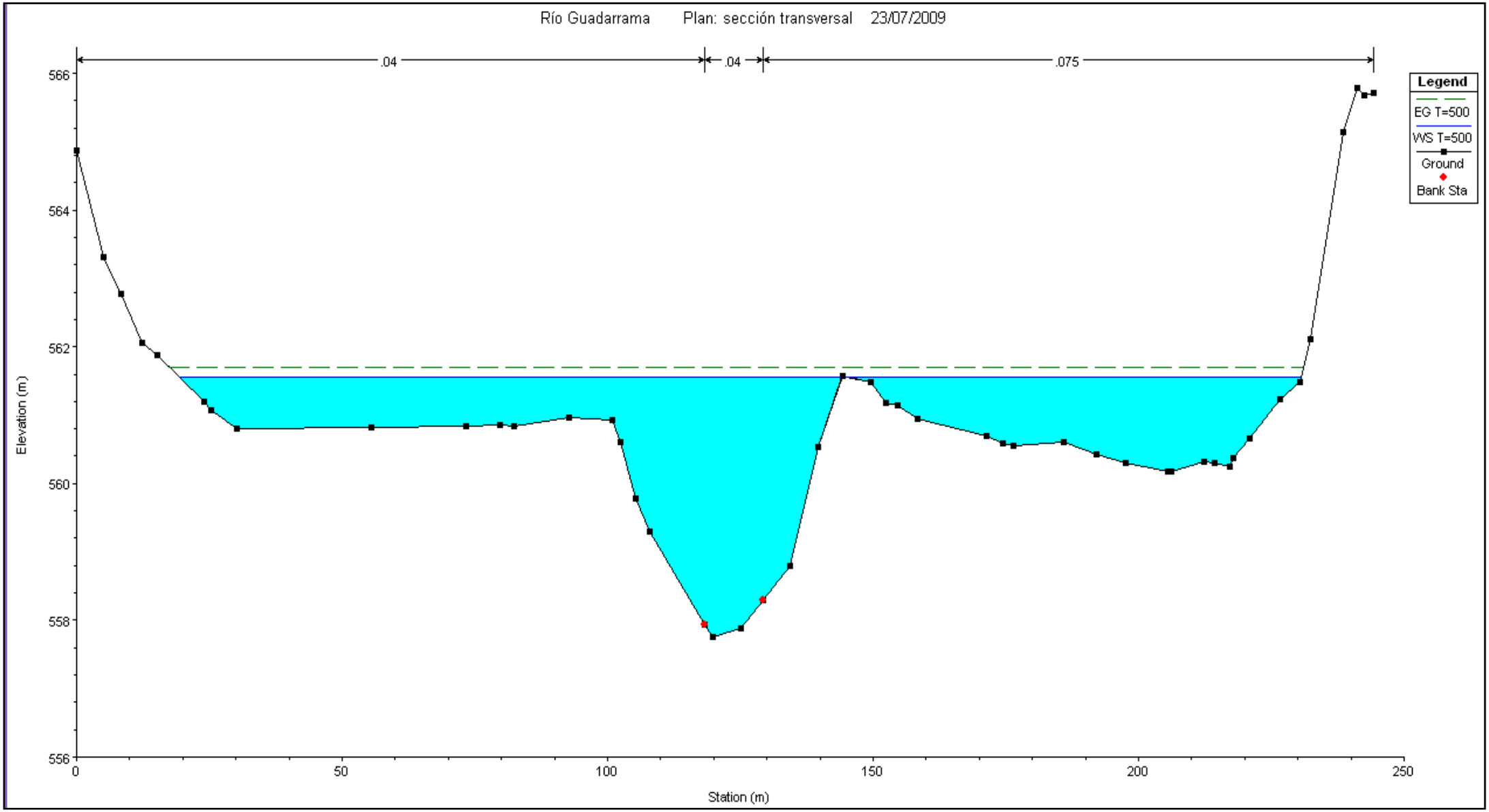
Río Guadarrama- Sección transversal 1392.749



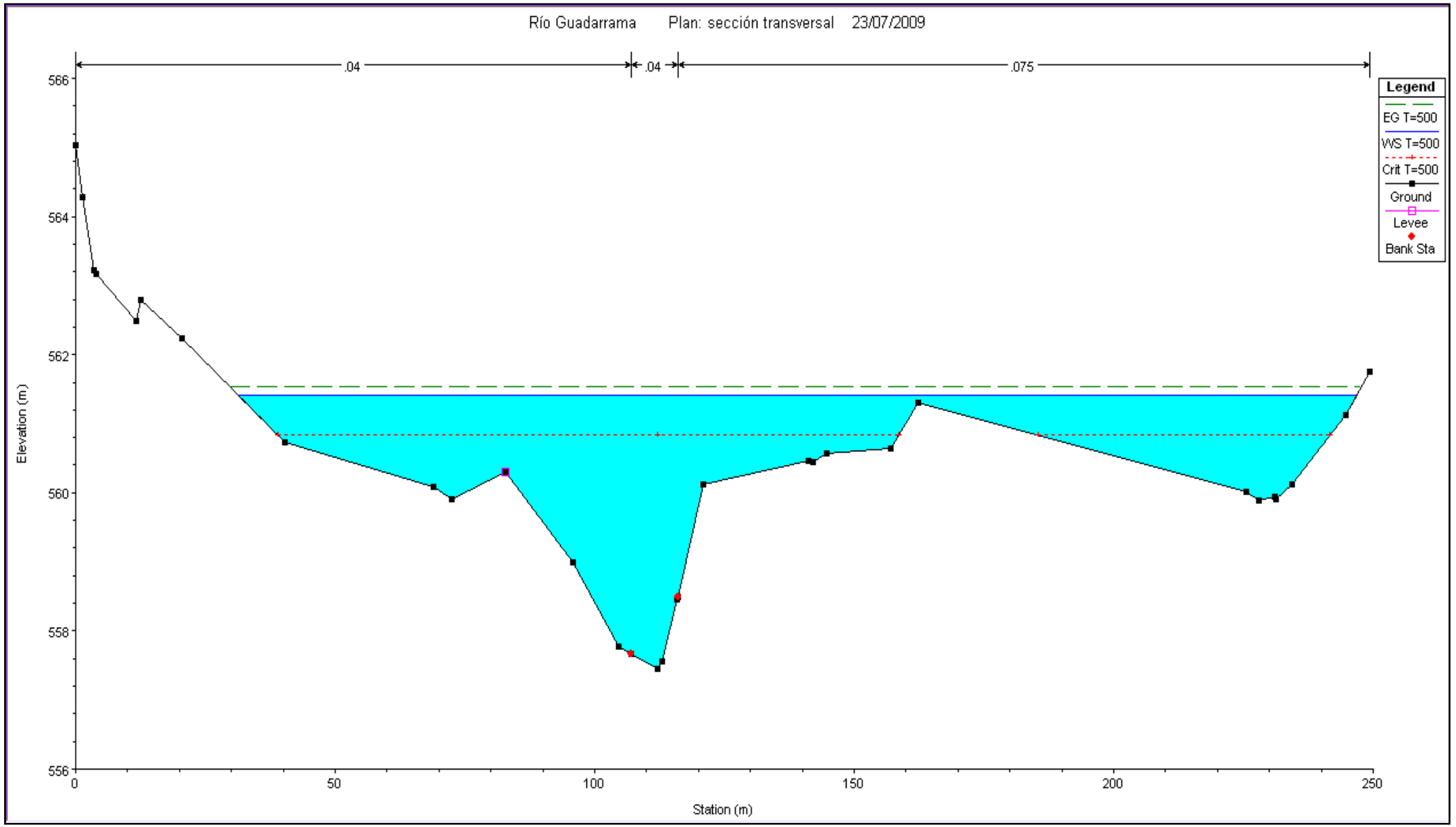
Río Guadarrama- Sección transversal 1328.065



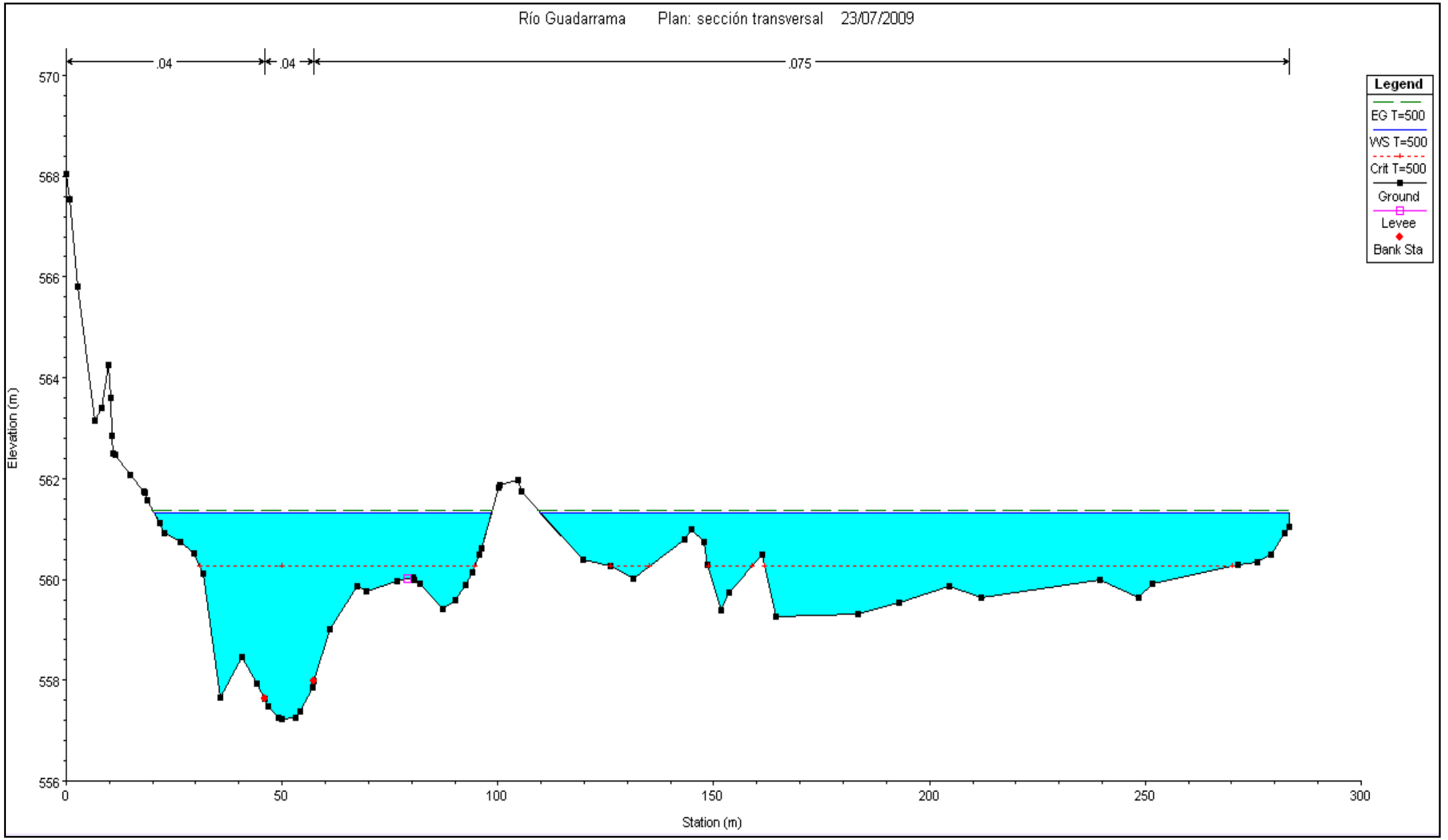
Río Guadarrama- Sección transversal 1248.434



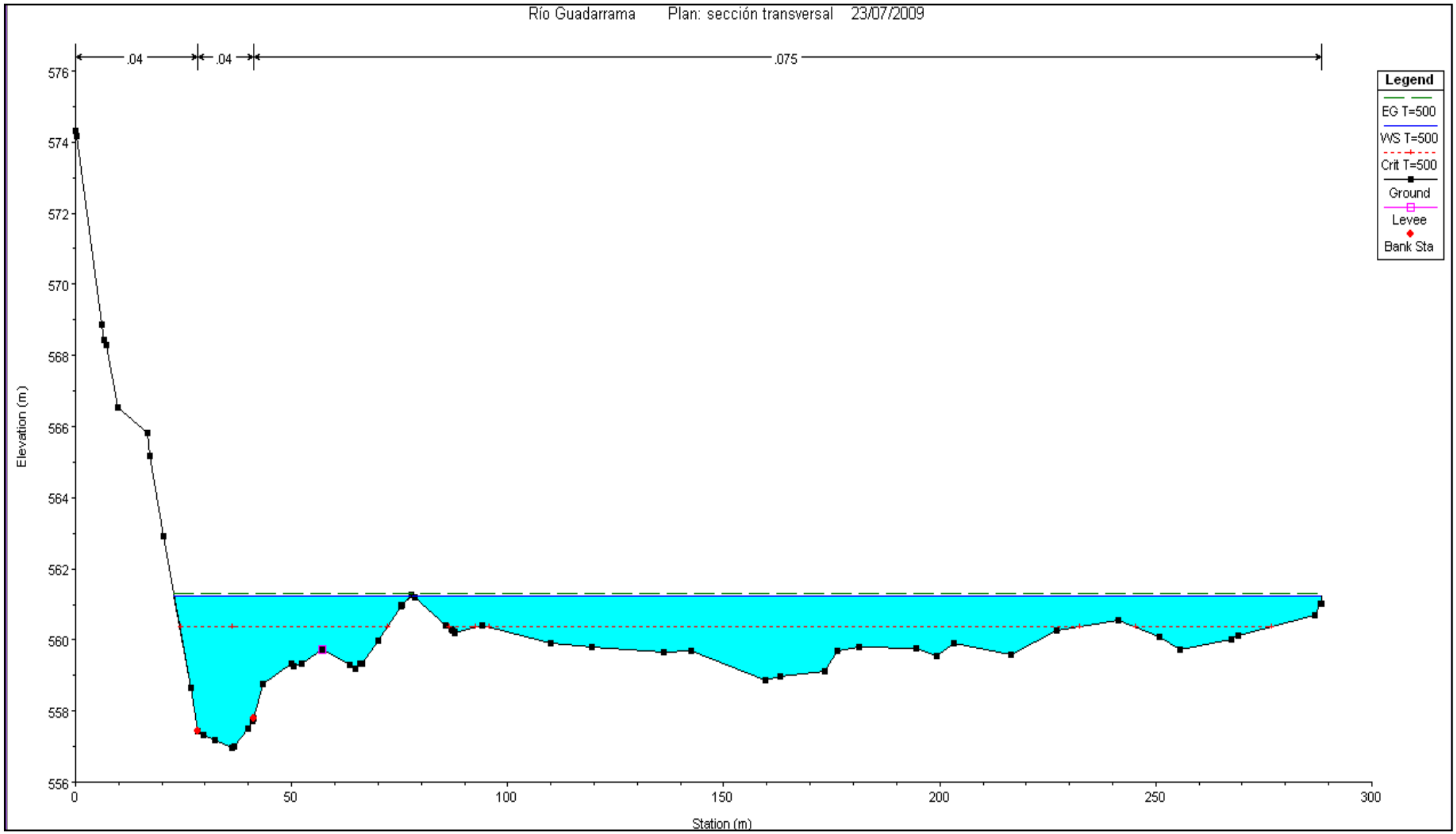
Río Guadarrama- Sección transversal 1147.090



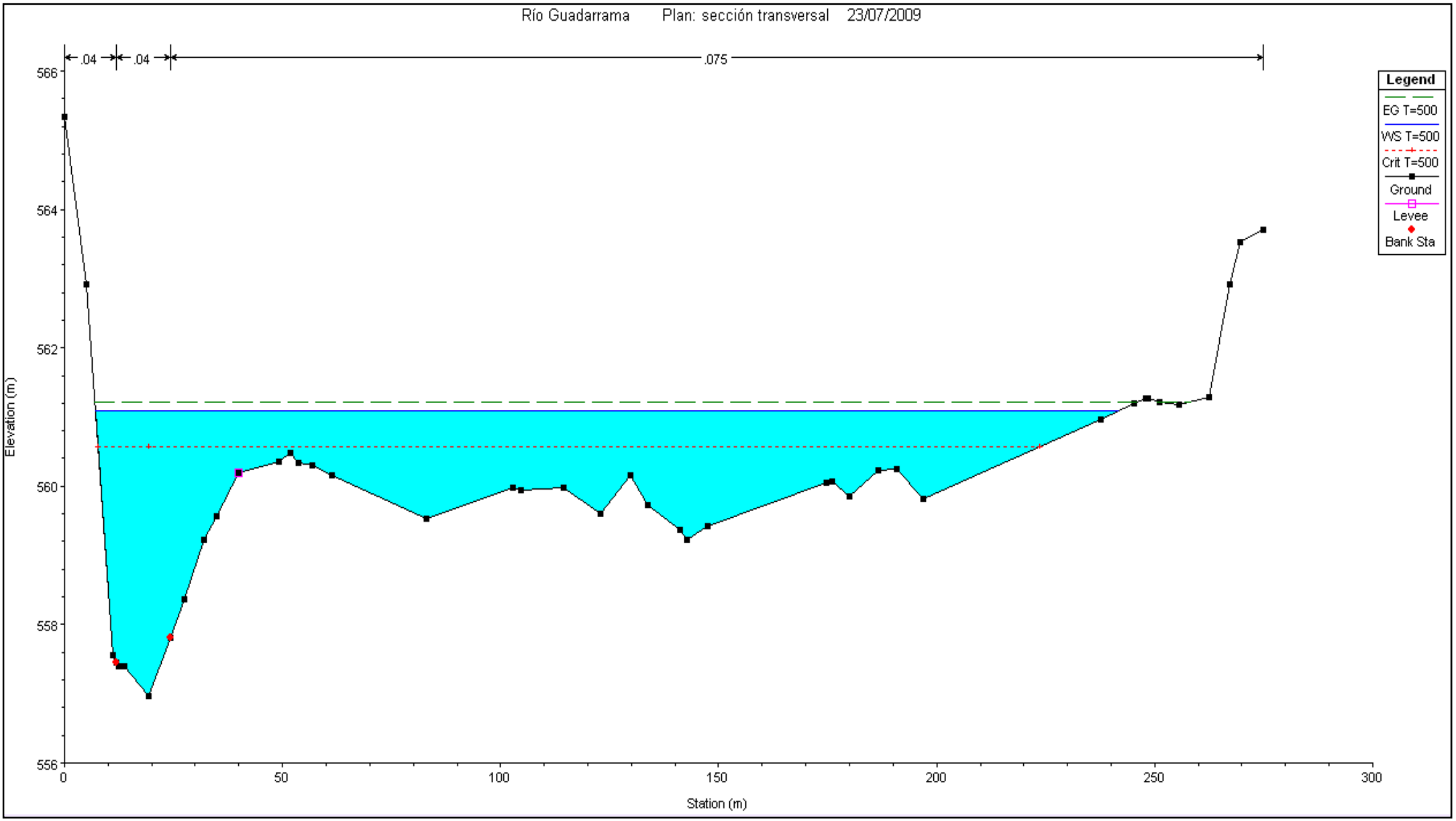
Río Guadarrama- Sección transversal 1010.366



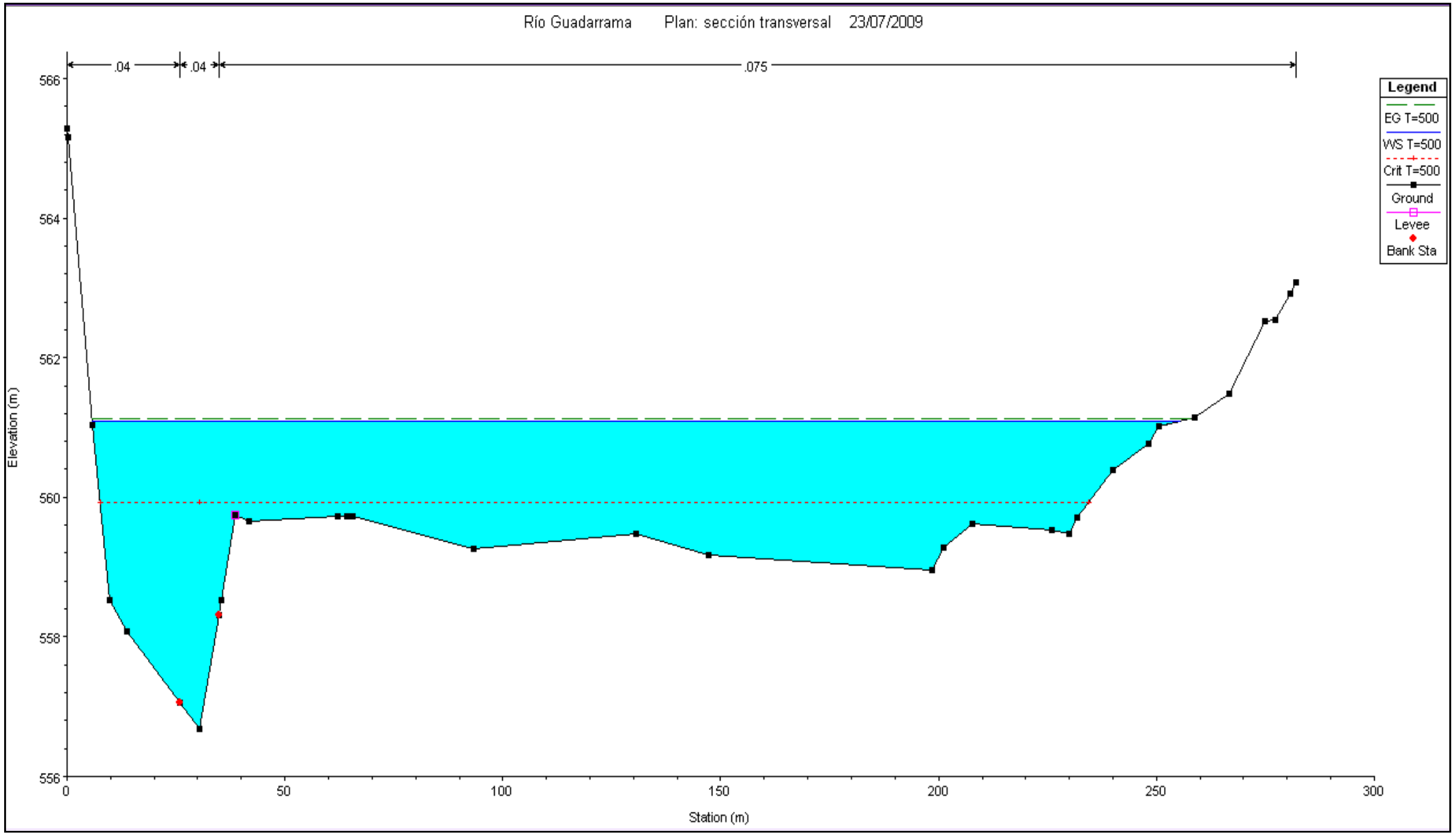
Río Guadarrama- Sección transversal 914.983



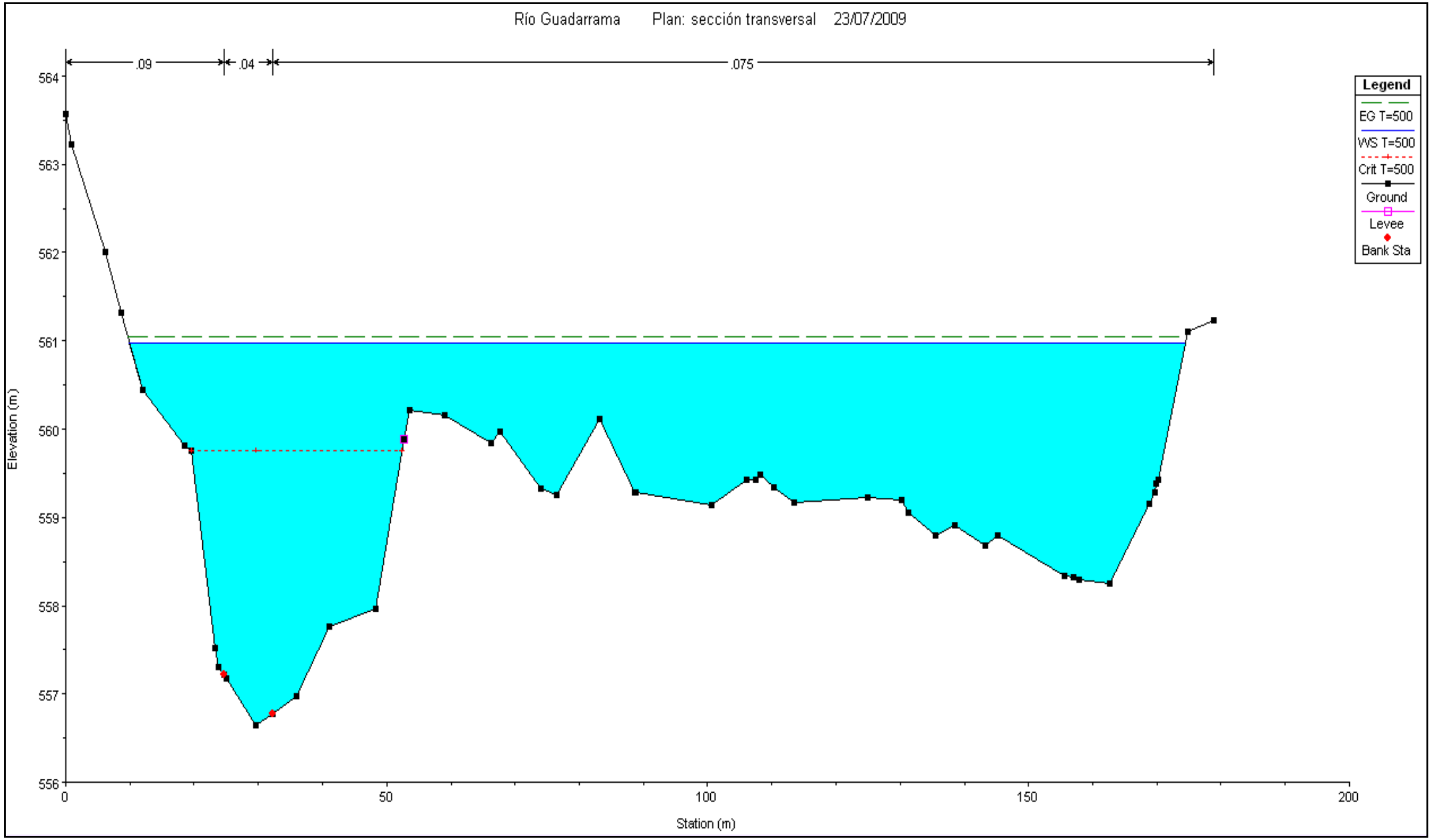
Río Guadarrama- Sección transversal 835.526



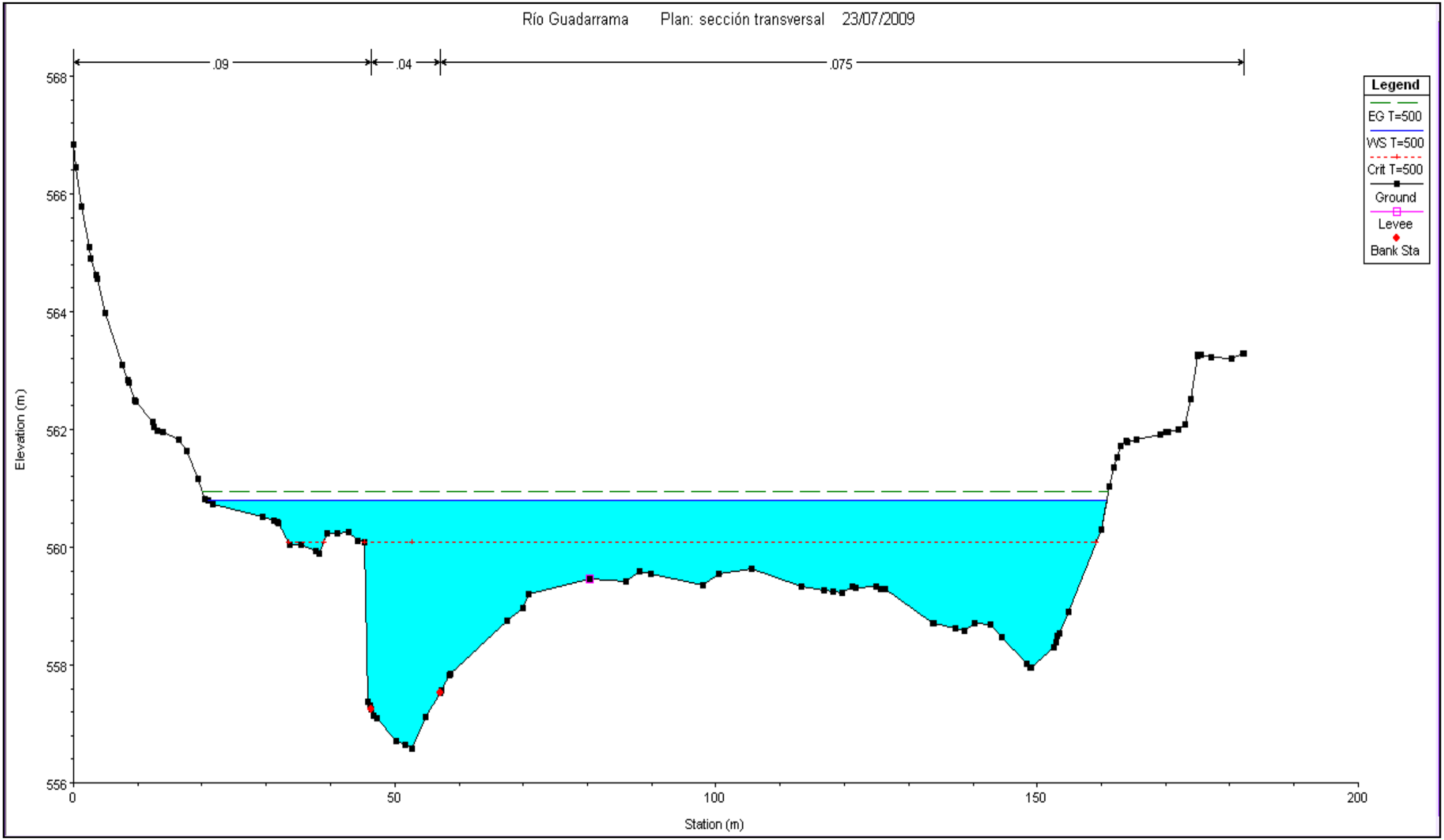
Río Guadarrama- Sección transversal 749.262



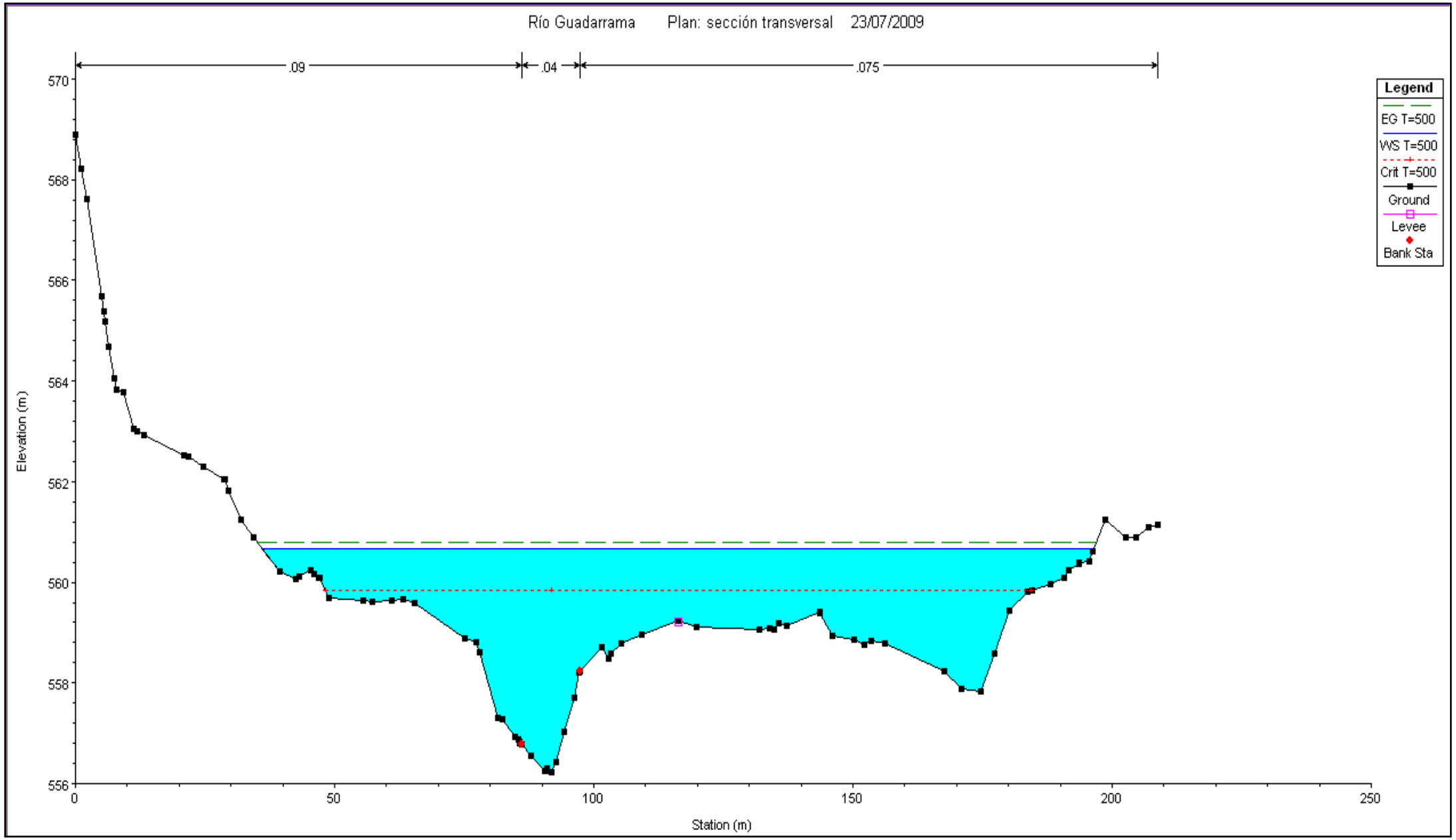
Río Guadarrama- Sección transversal 642.052



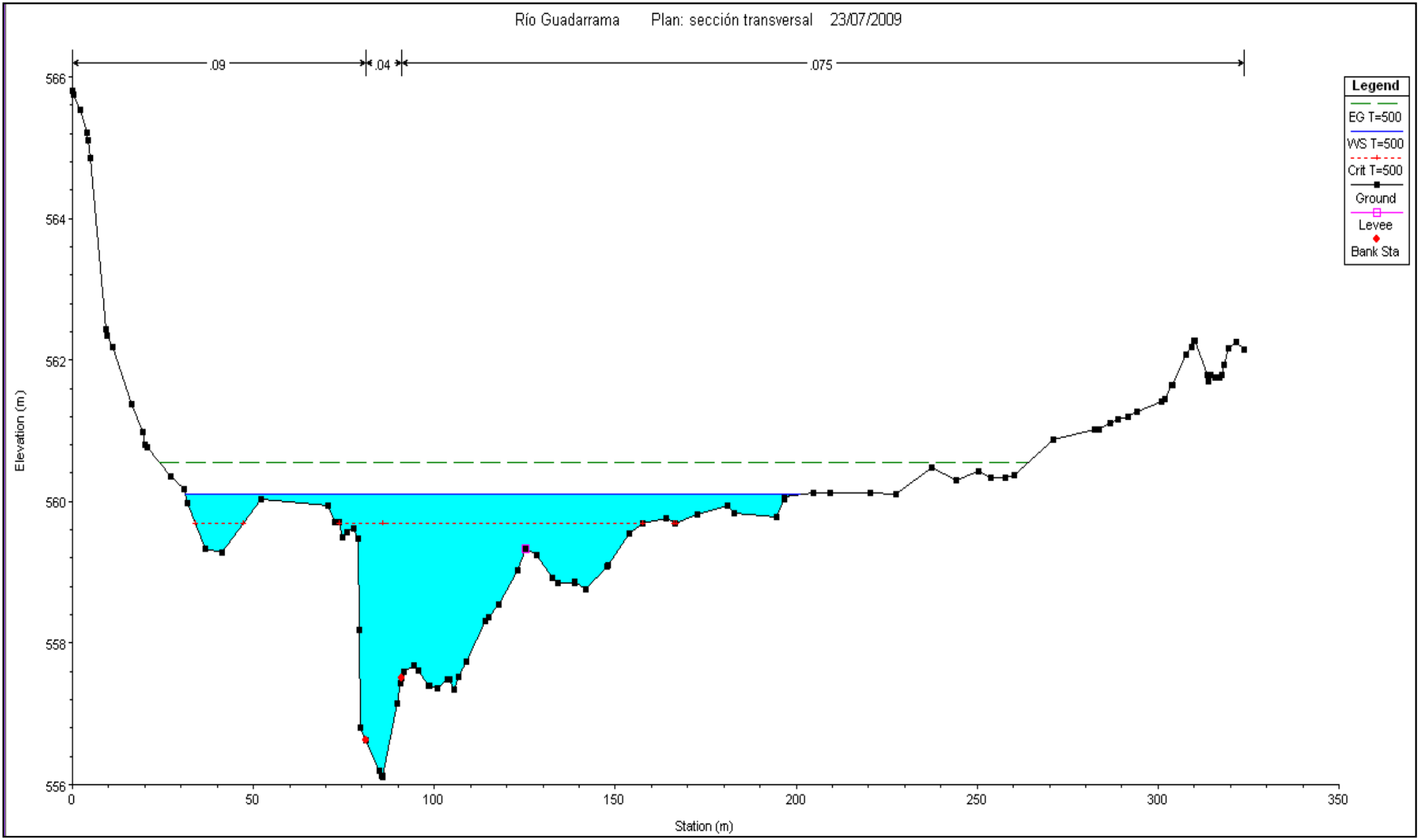
Río Guadarrama- Sección transversal 581.984



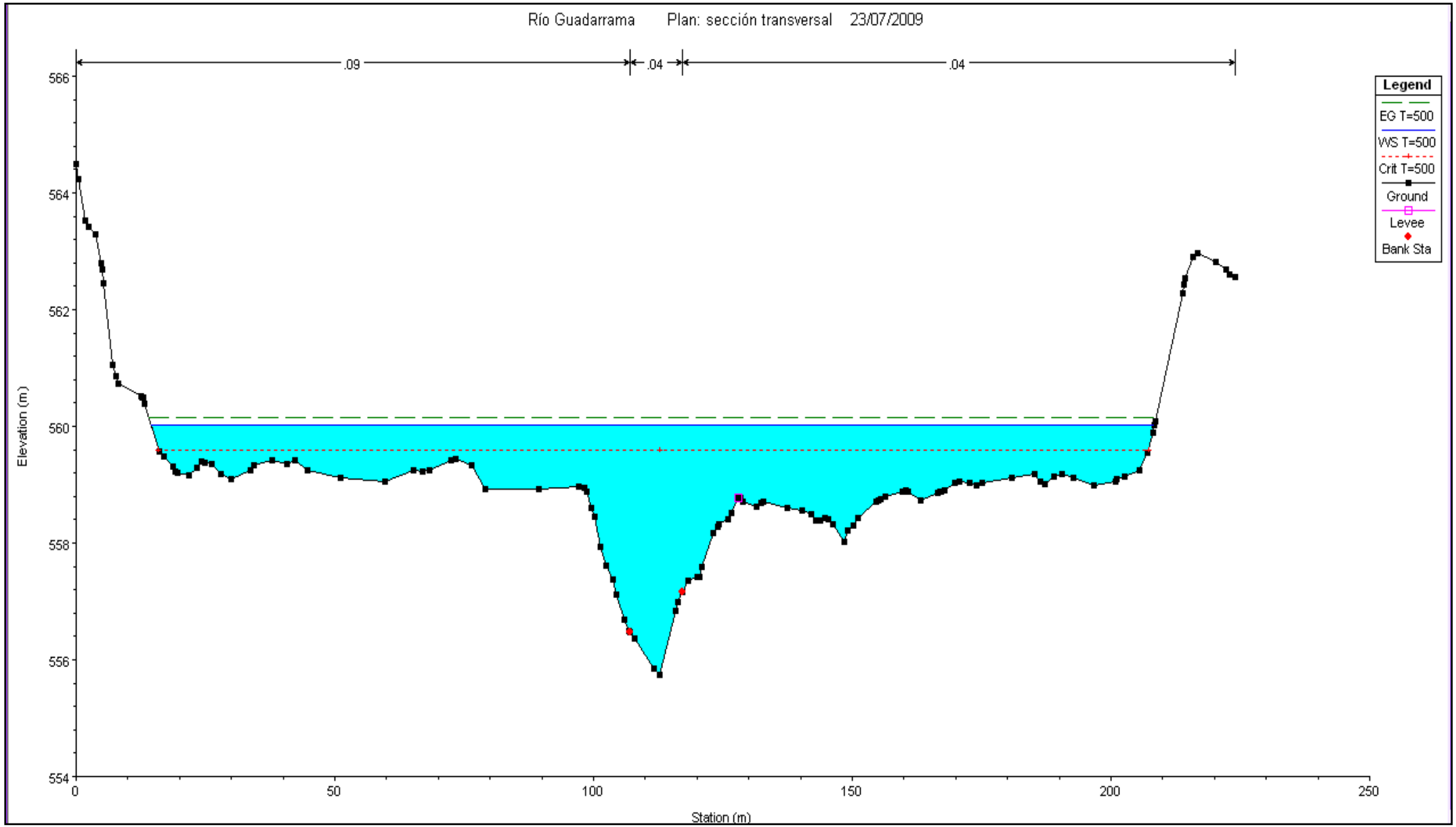
Río Guadarrama- Sección transversal 497.652



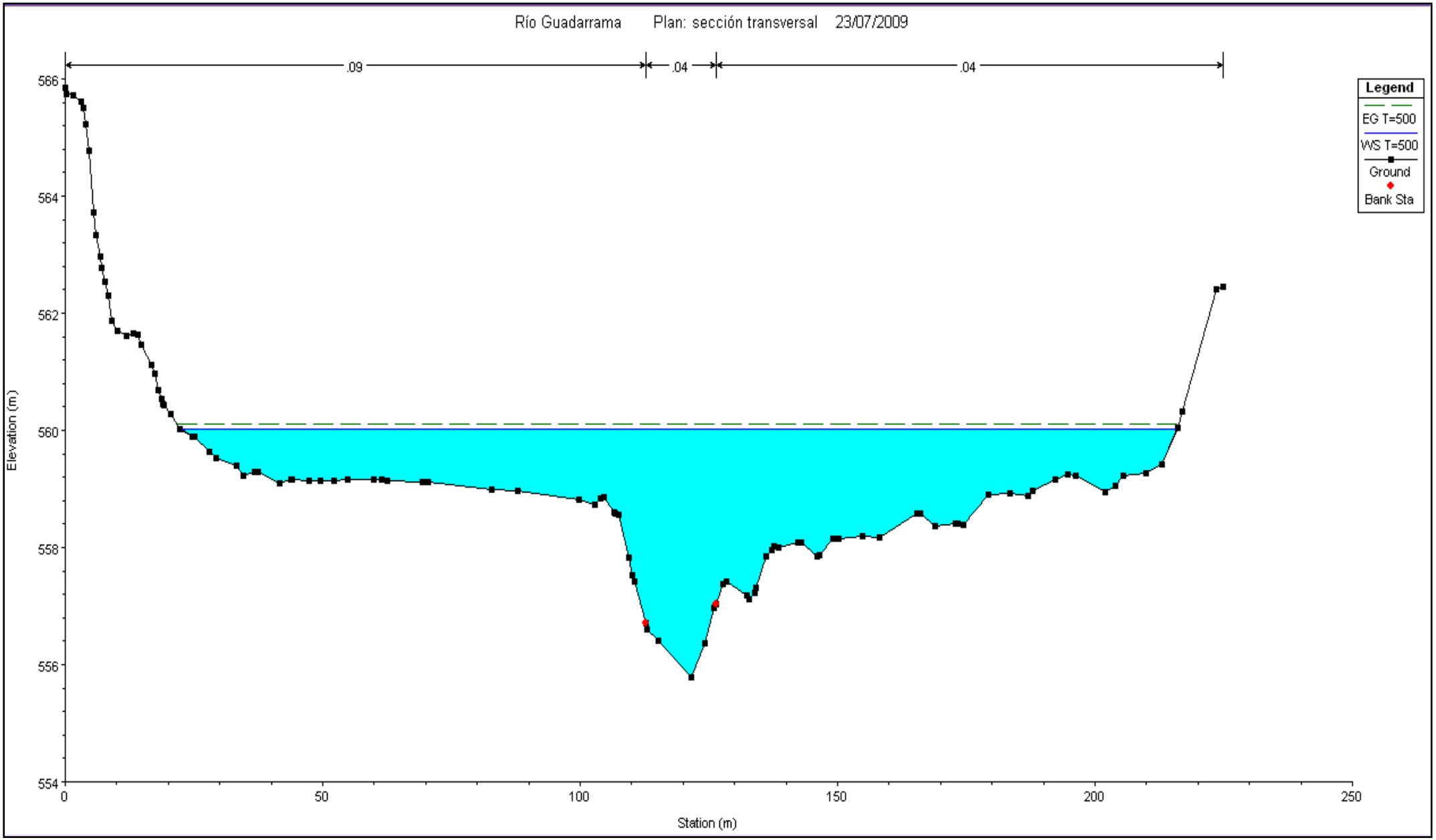
Río Guadarrama- Sección transversal 409.205



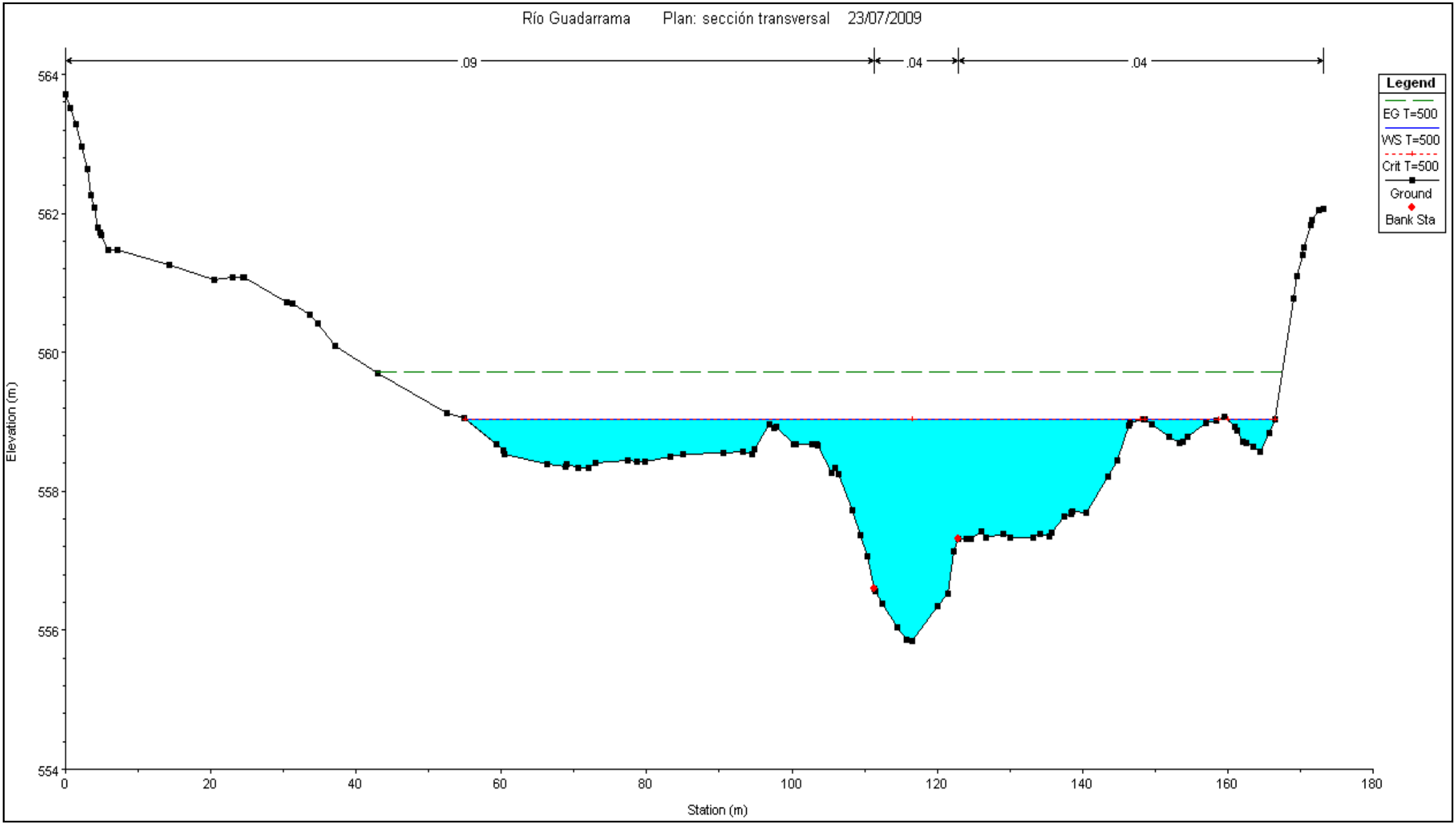
Río Guadarrama- Sección transversal 289.627



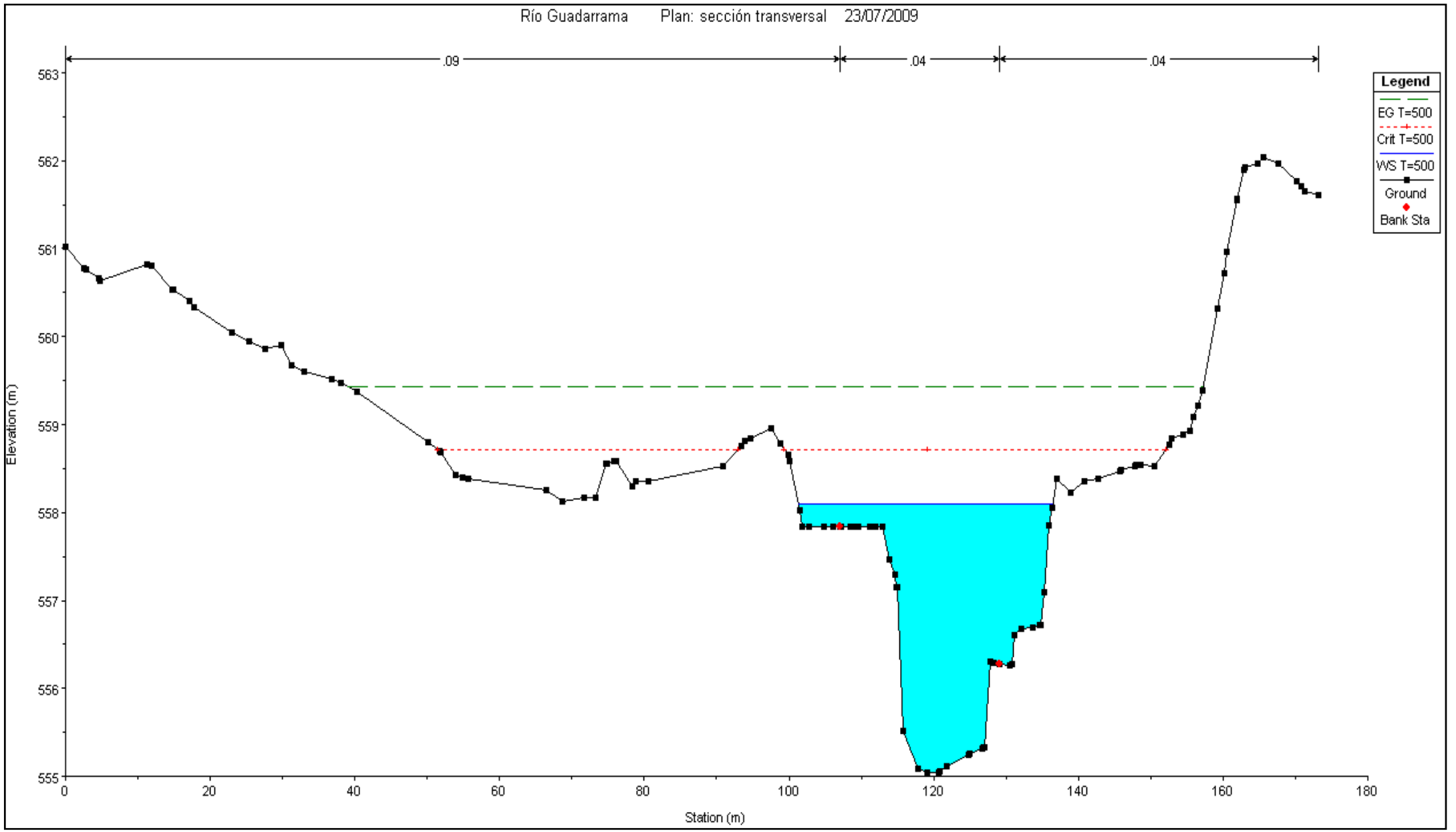
Río Guadarrama- Sección transversal 257.451



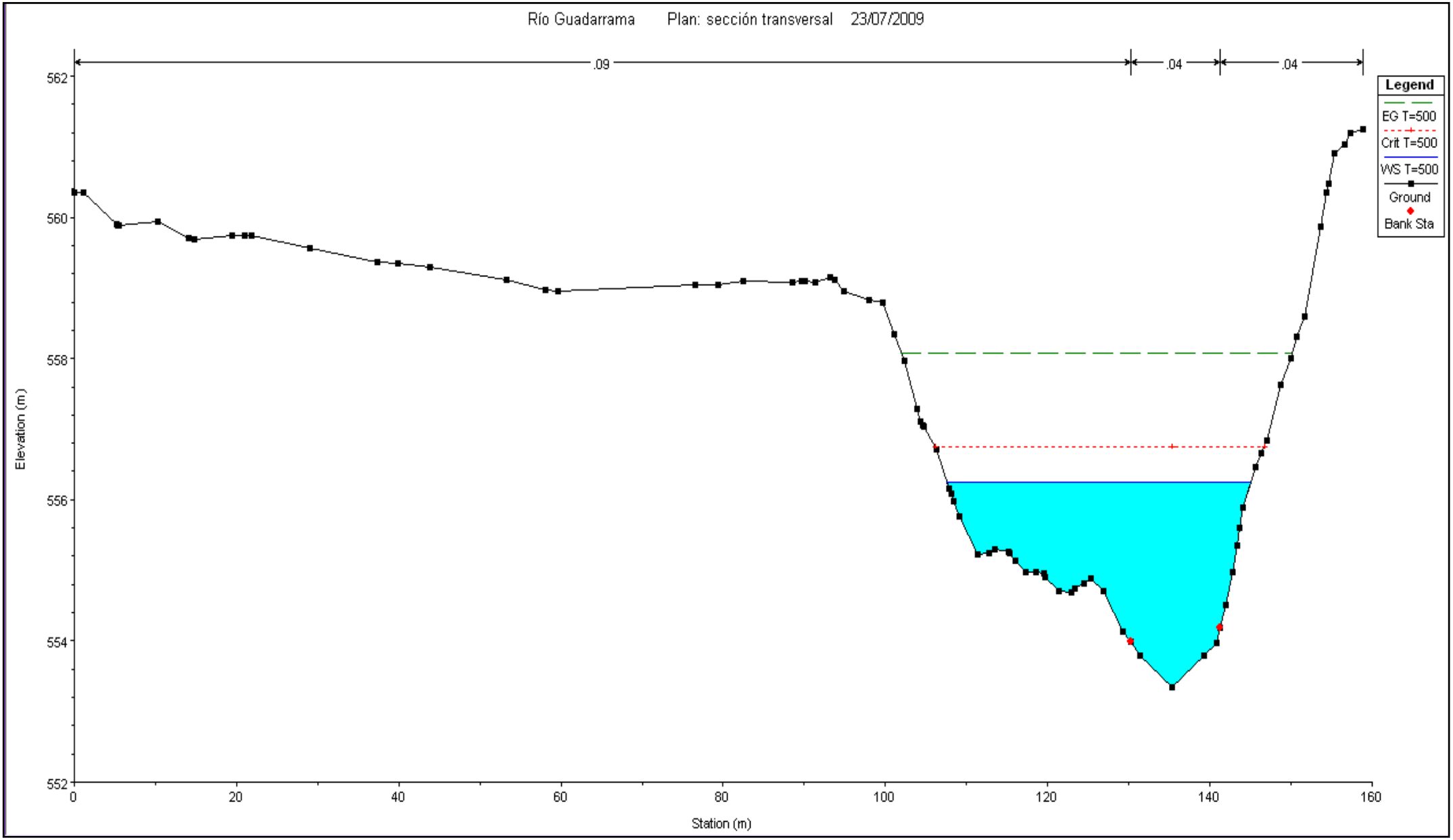
Río Guadarrama- Sección transversal 102.146



Río Guadarrama- Sección transversal 84.516



Río Guadarrama- Sección transversal 22.781

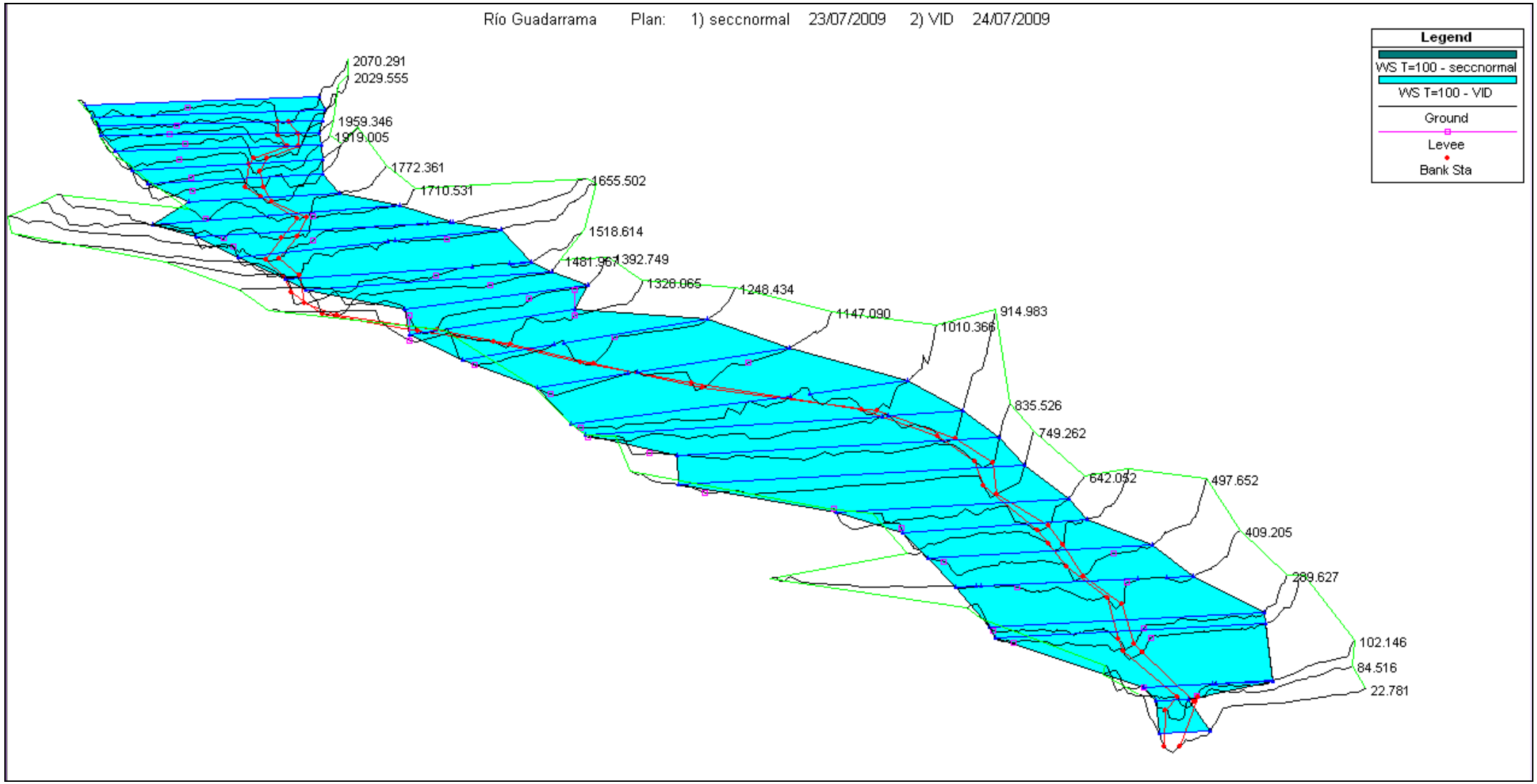


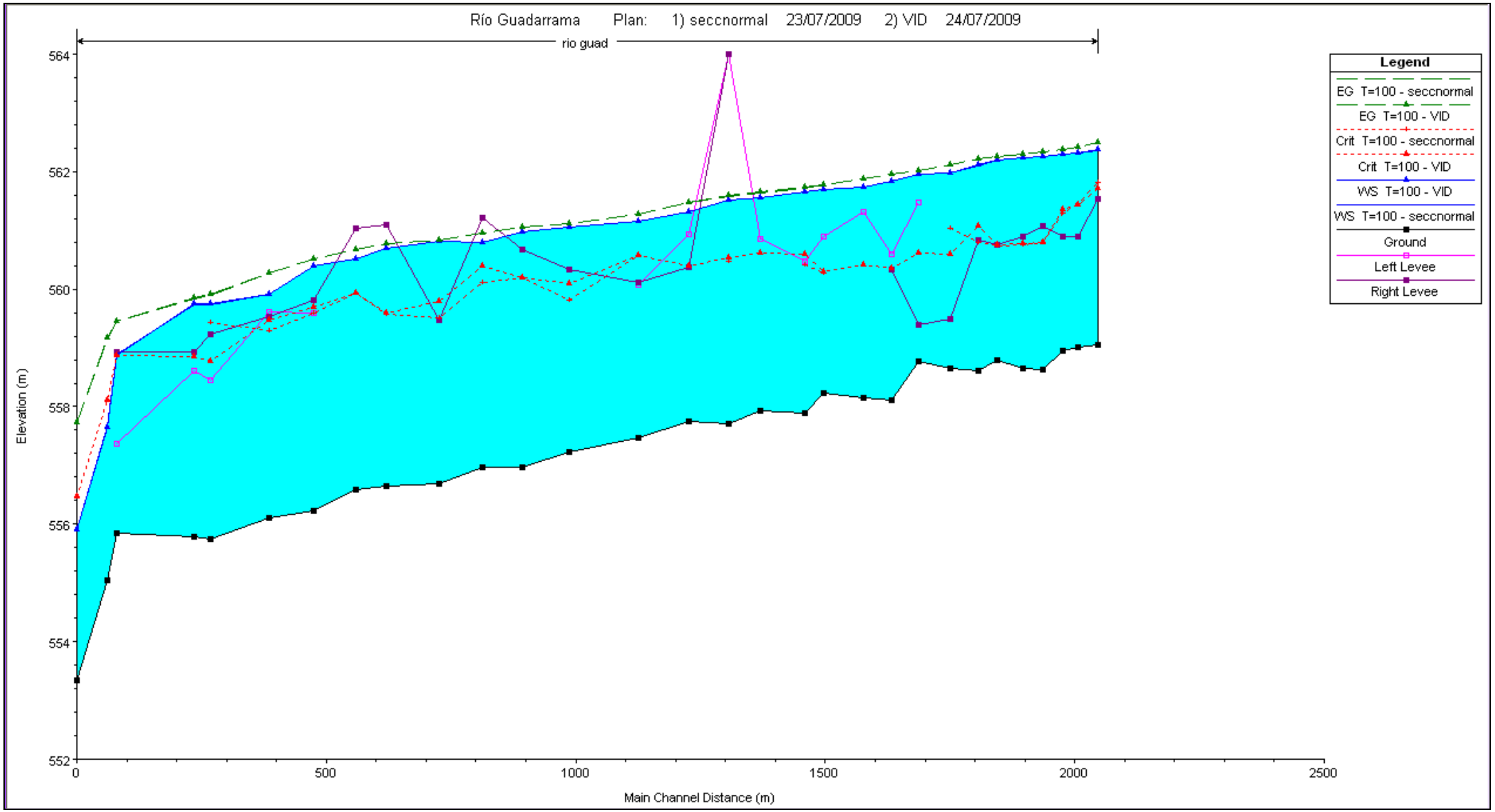
ANEXO V

PERFILES Y SECCIONES TRANSVERSALES PARA DETERMINAR LA VÍA DE INTENSO DESAGÜE

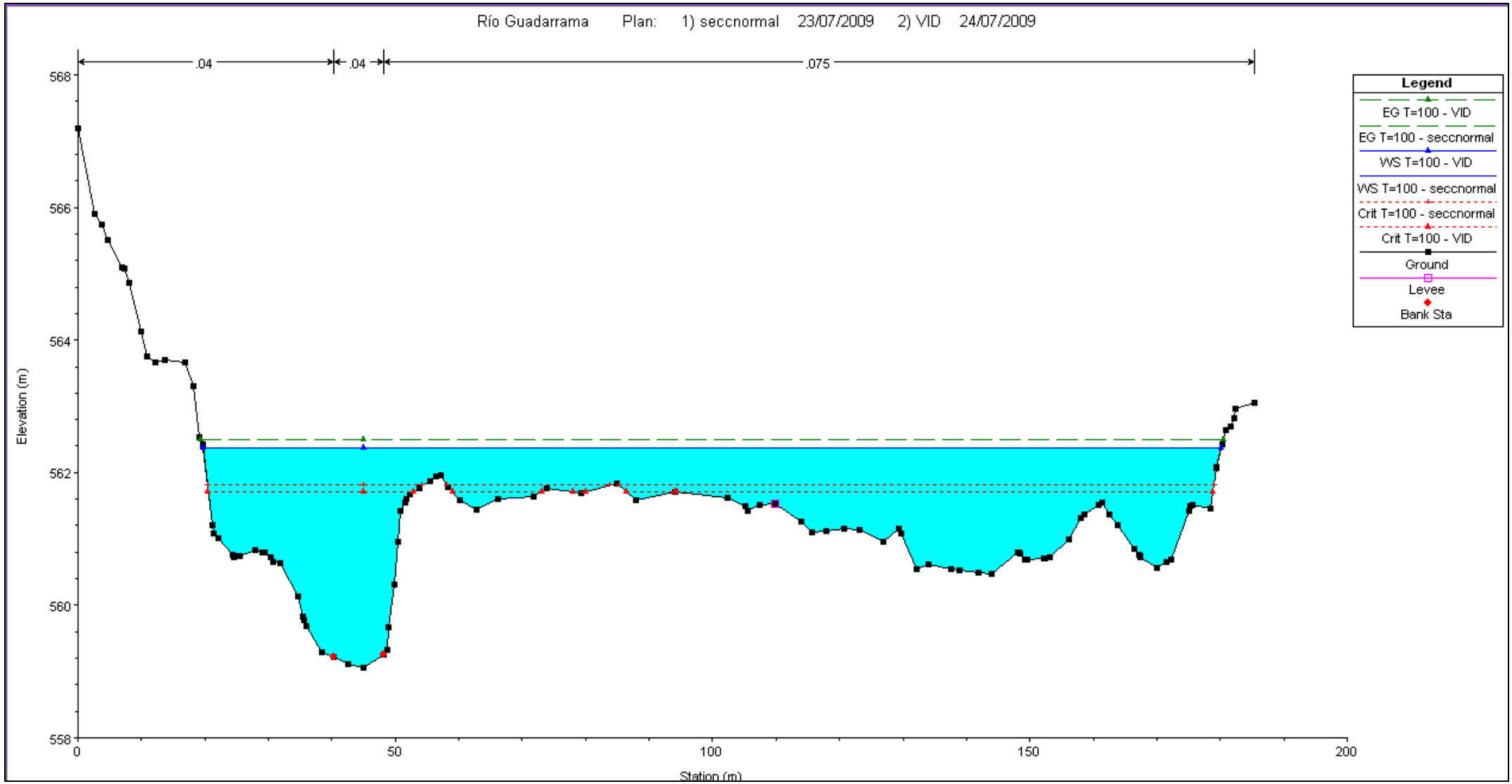
MARINA BLANCO FLORES

MARTA FERNÁNDEZ BOYANO

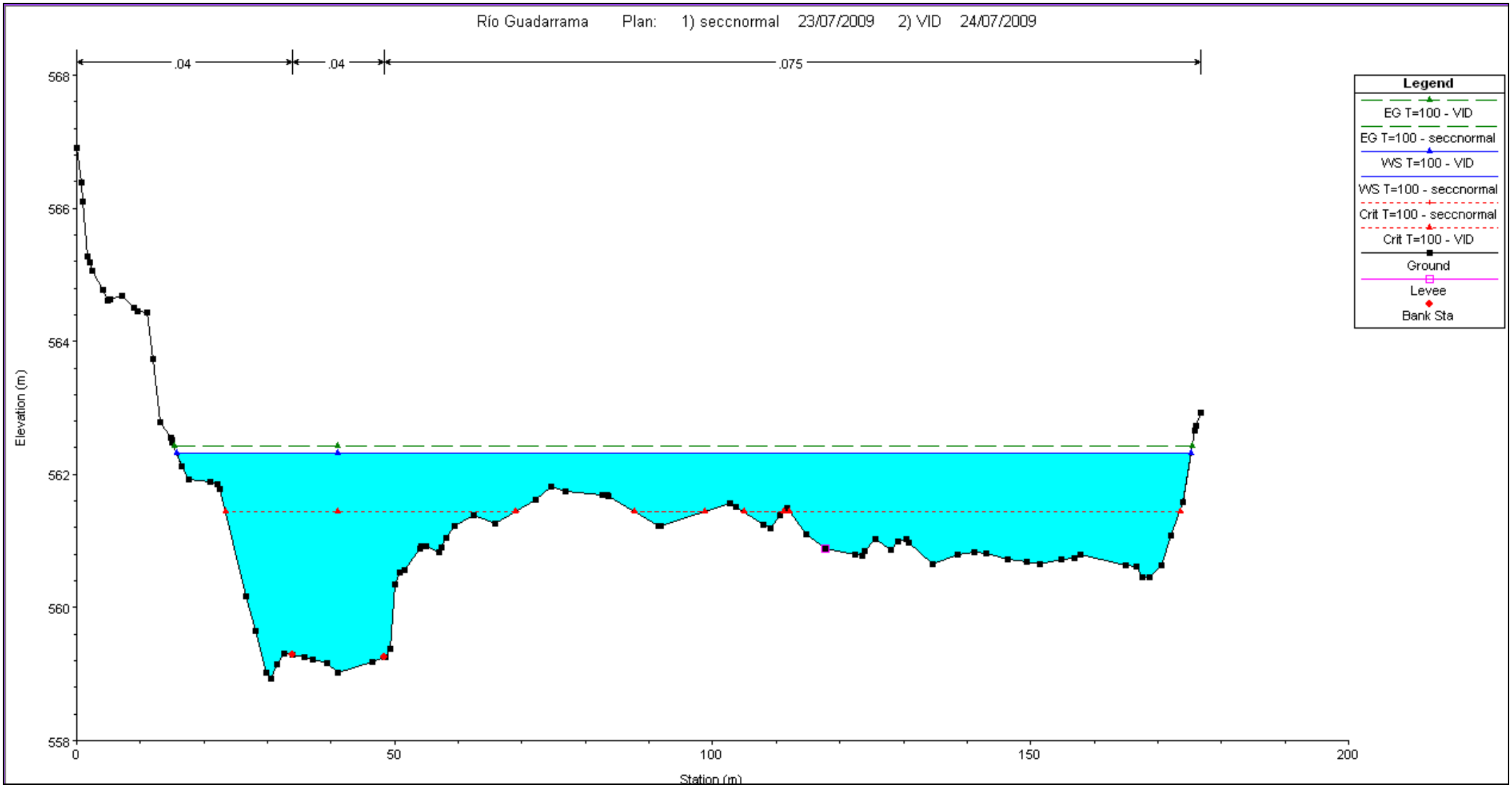

Río Guadarrama Plan: 1) seccnormal 23/07/2009 2) VID 24/07/2009
Legend
WS T=100 - seccnormal
WS T=100 - VID
Ground
Levee
Bank Sta
2070.291
2029.555
1959.346
1919.005
1772.361
1710.531
1655.502
1518.614
1481.967
1392.749
1328.065
1248.434
1147.090
1010.366
914.983
835.526
749.262
642.052
497.652
409.205
289.627
102.146
84.516
22.781


Río Guadarrama Plan: 1) seccnormal 23/07/2009 2) VID 24/07/2009
rio guad
Legend
EG T=100 - seccnormal
EG T=100 - VID
Crit T=100 - seccnormal
Crit T=100 - VID
WS T=100 - VID
WS T=100 - seccnormal
Ground
Left Levee
Right Levee
Elevation (m)
564
562
560
558
556
554
552
0
500
1000
1500
2000
2500
Main Channel Distance (m)

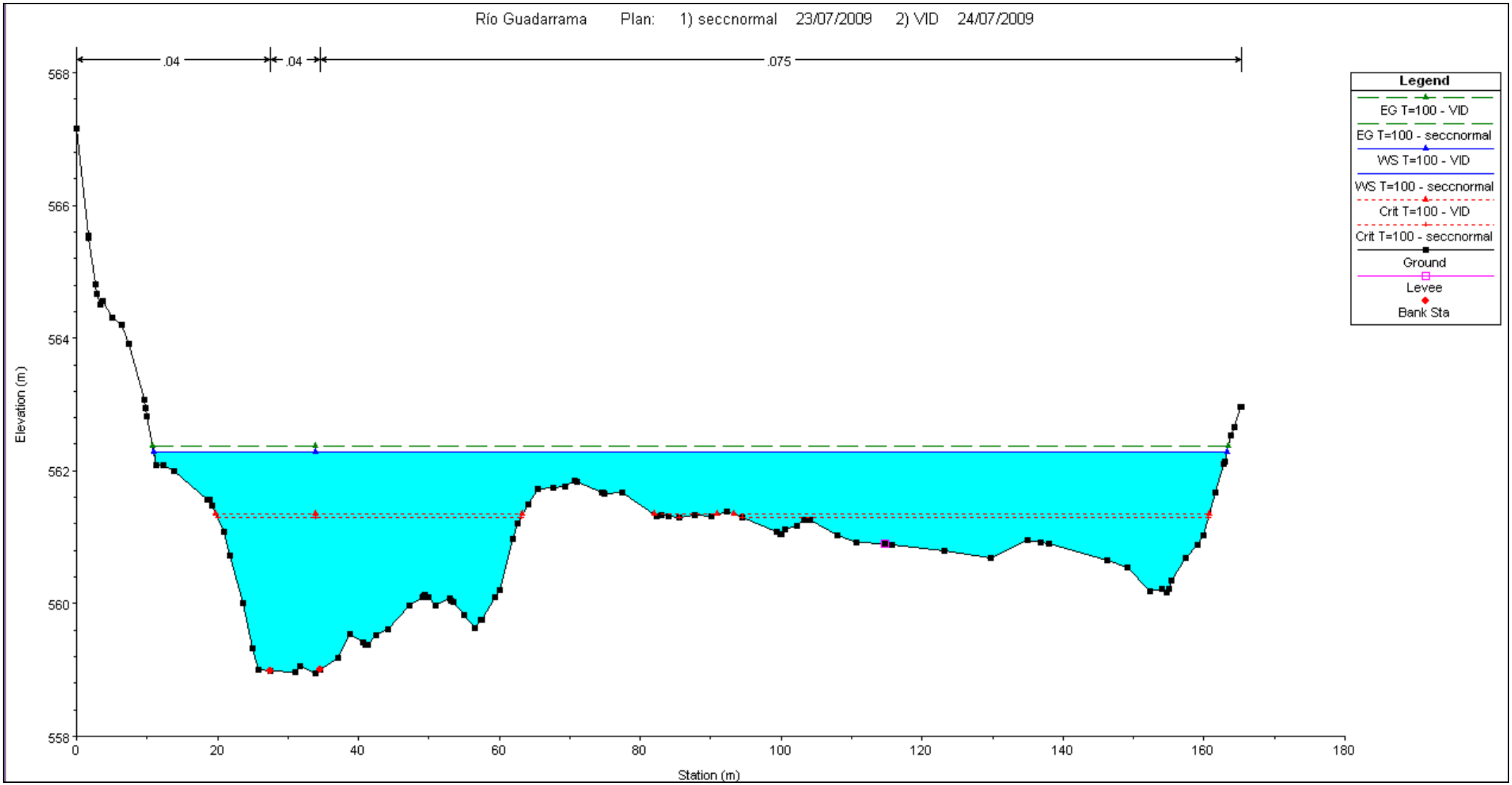
Río Guadarrama- Sección transversal 2070.291



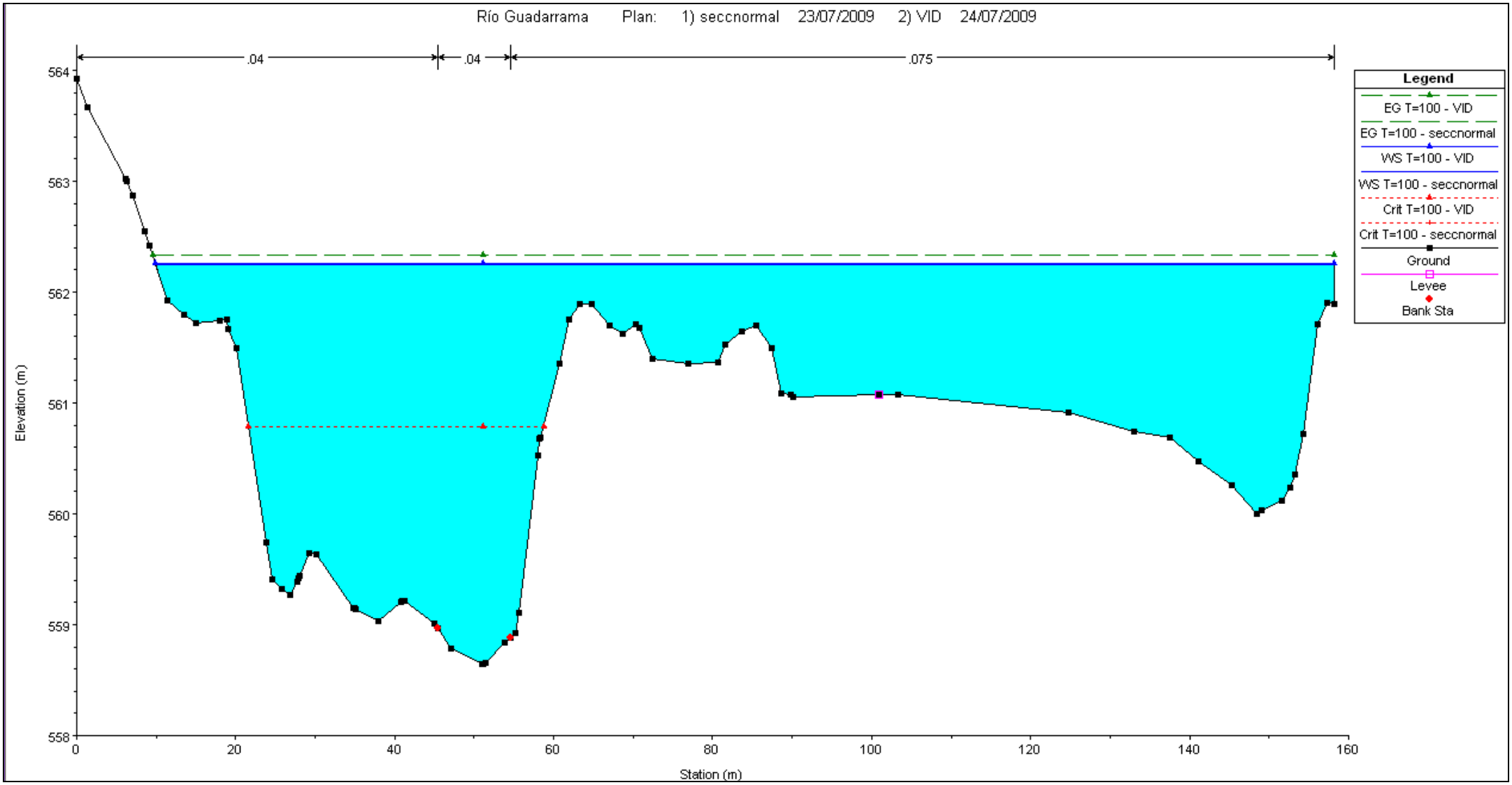
Río Guadarrama- Sección transversal 2029.555



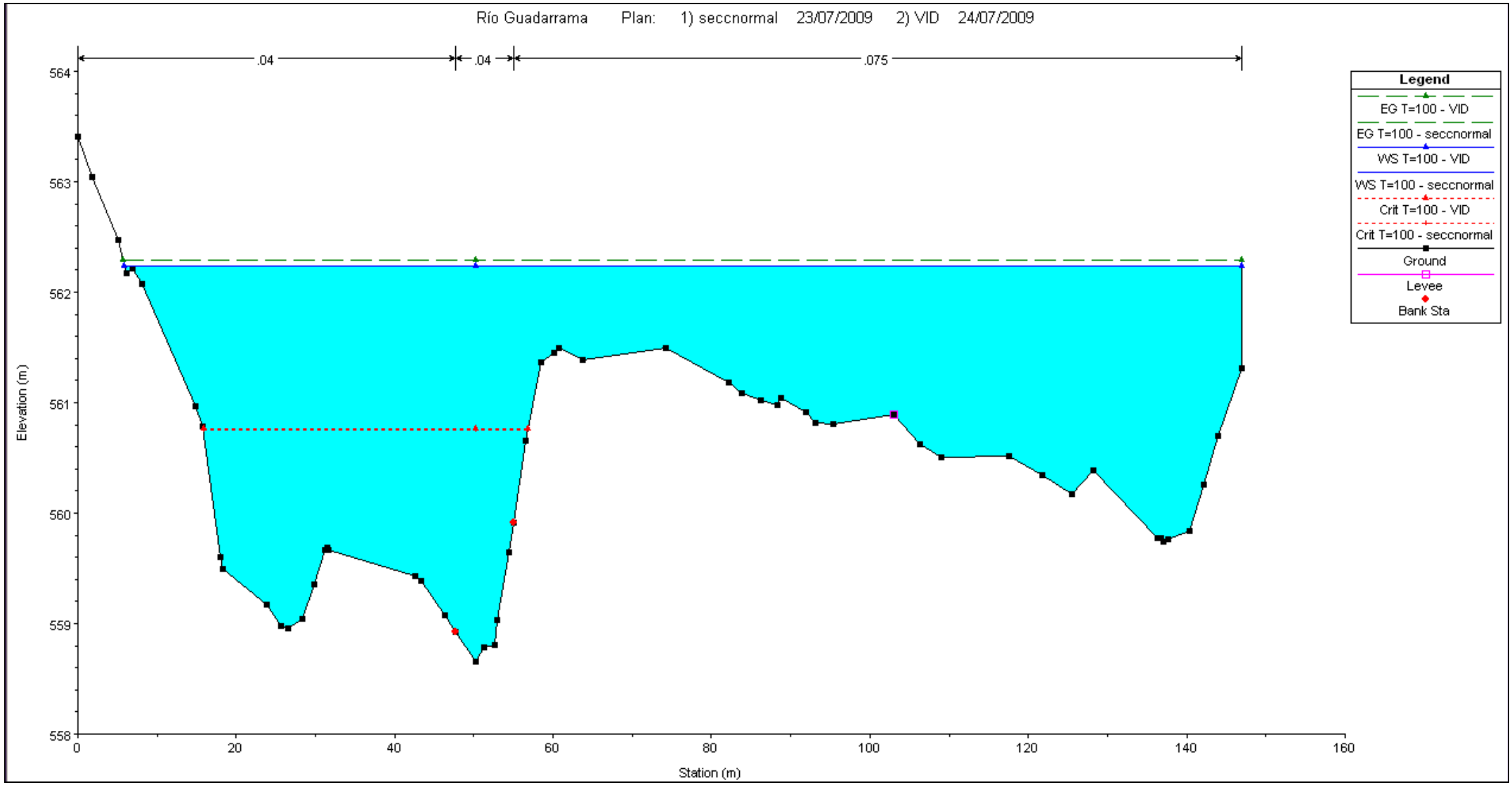
Río Guadarrama- Sección transversal 1999.605



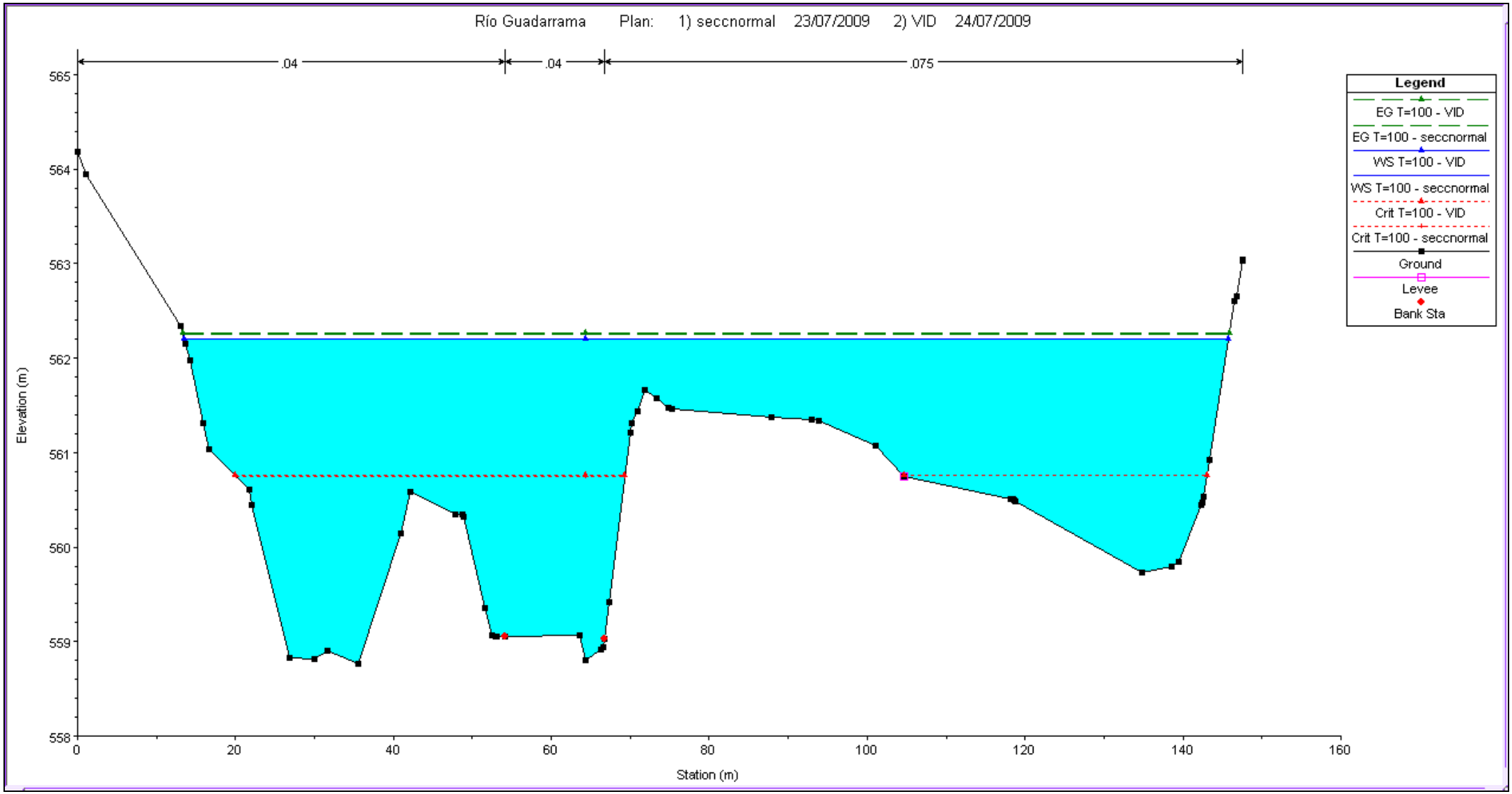
Río Guadarrama- Sección transversal 1949.356



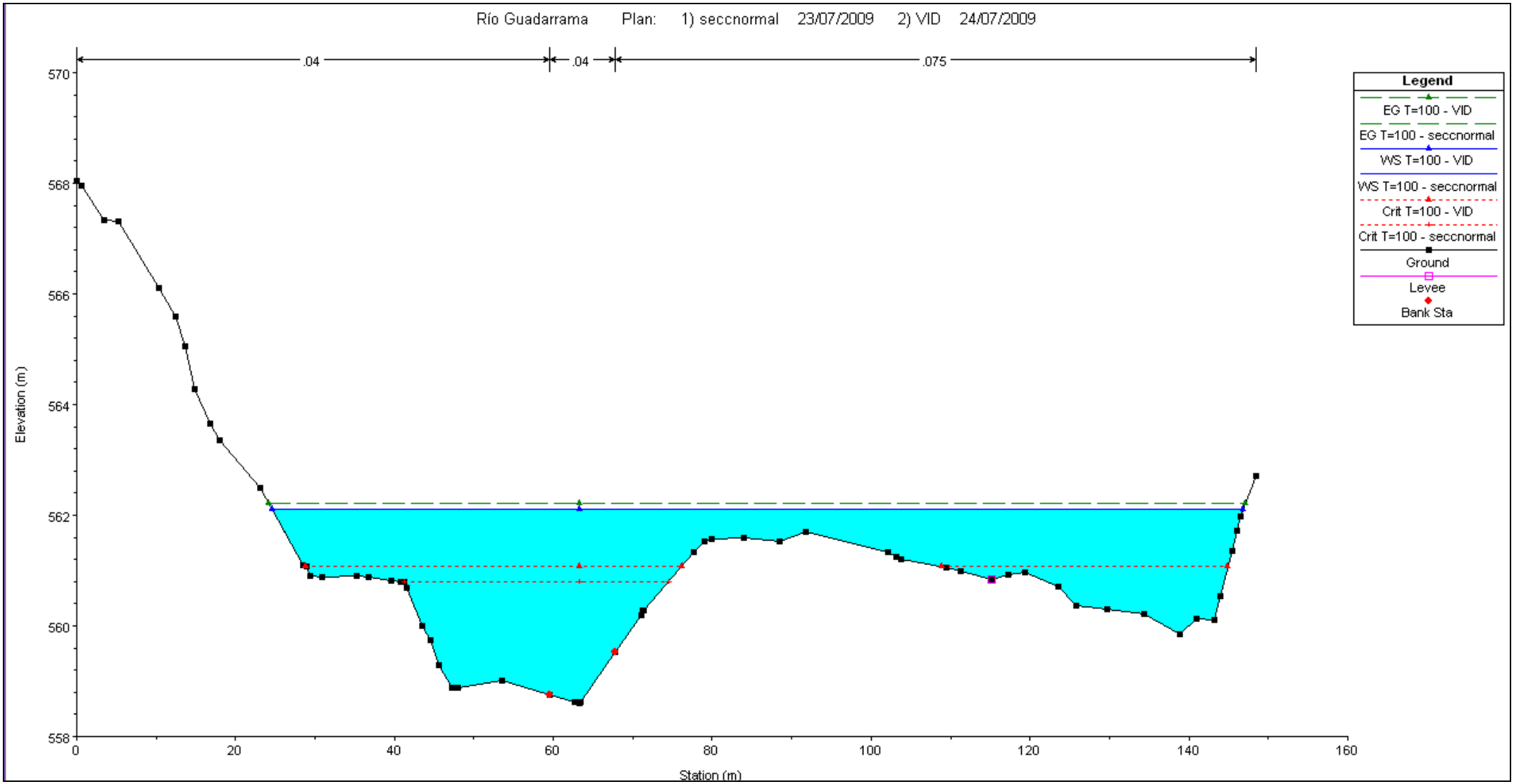
Río Guadarrama- Sección transversal 1919.005



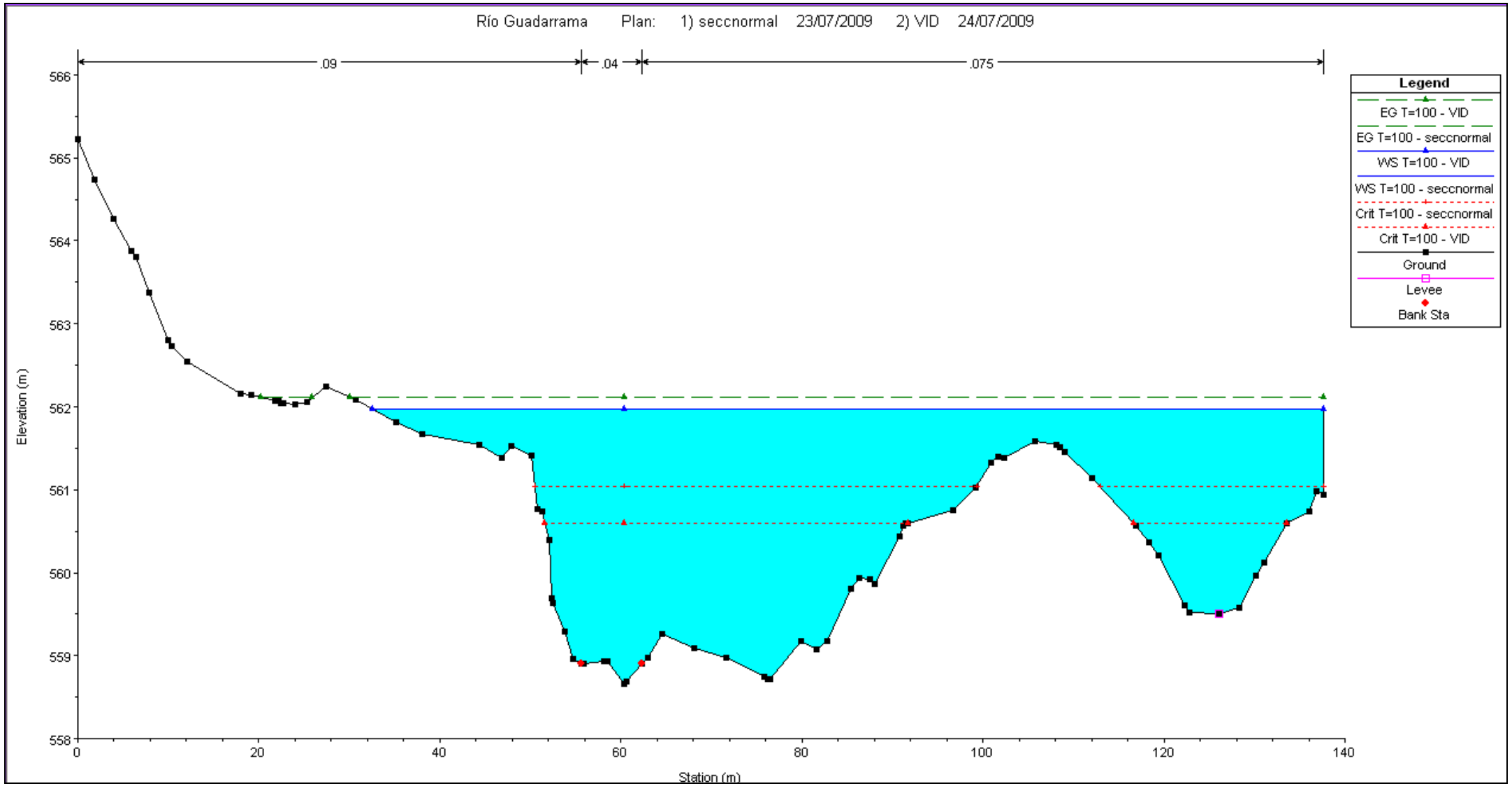
Río Guadarrama- Sección transversal 1867.725



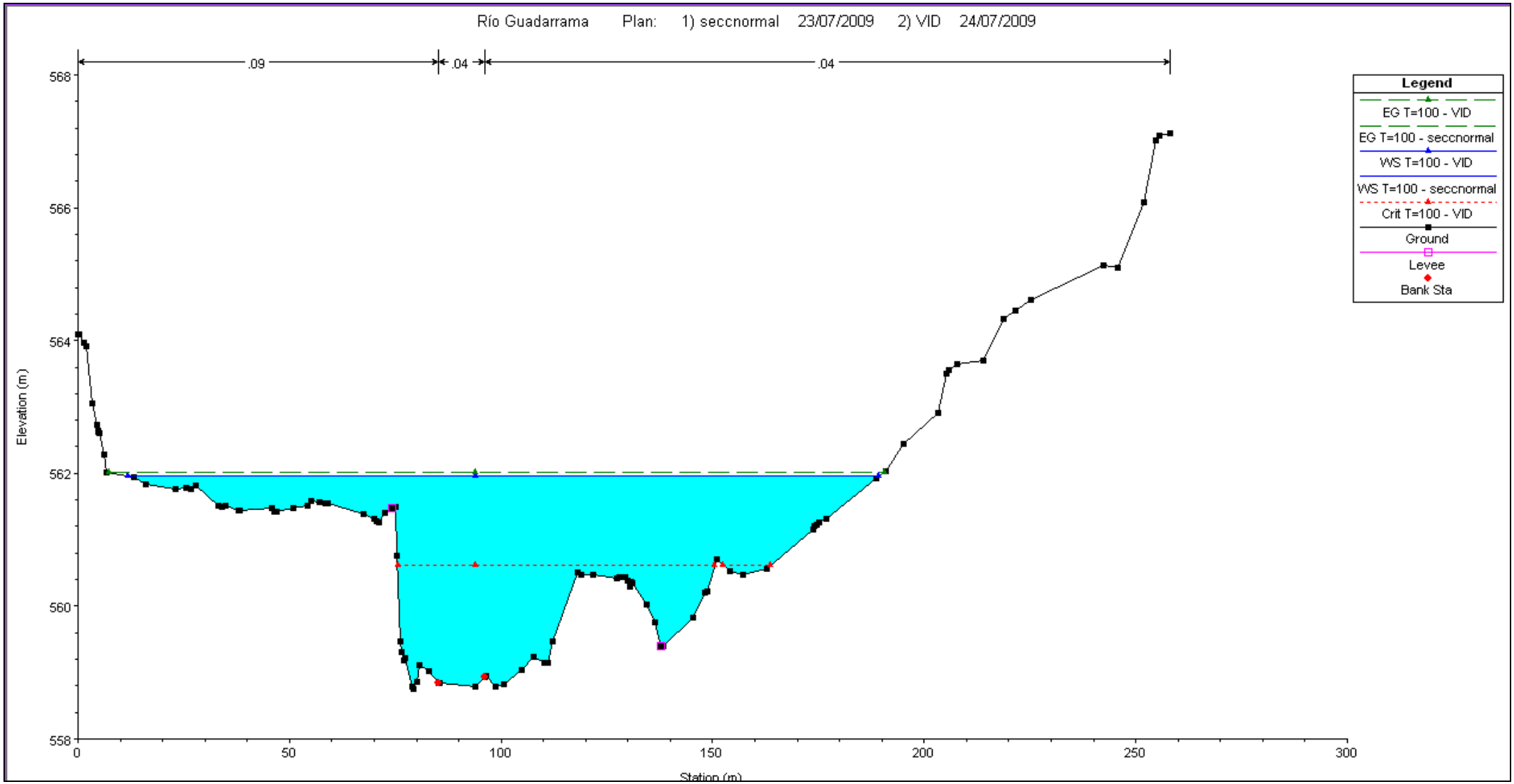
Río Guadarrama- Sección transversal 1828.505



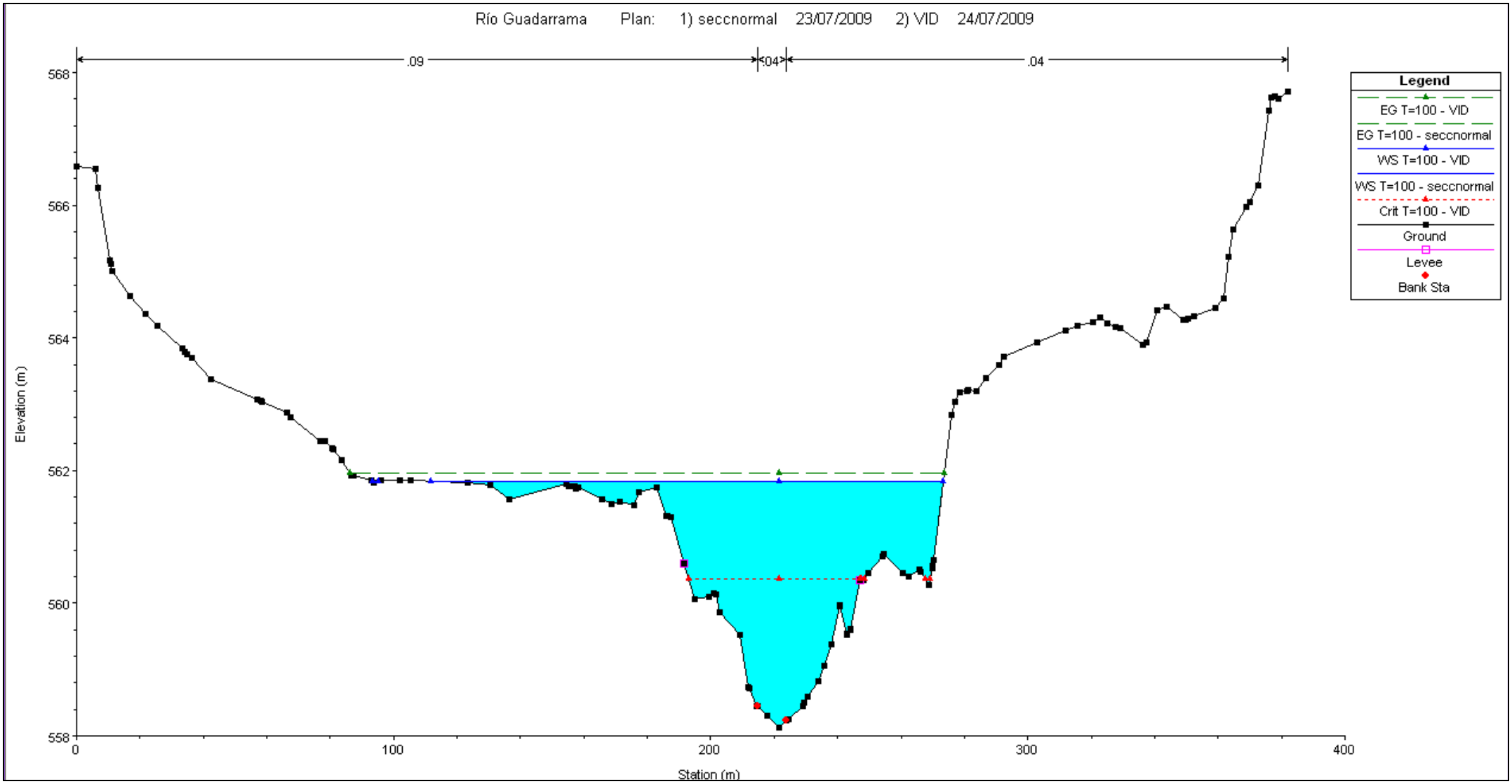
Río Guadarrama- Sección transversal 1772.361



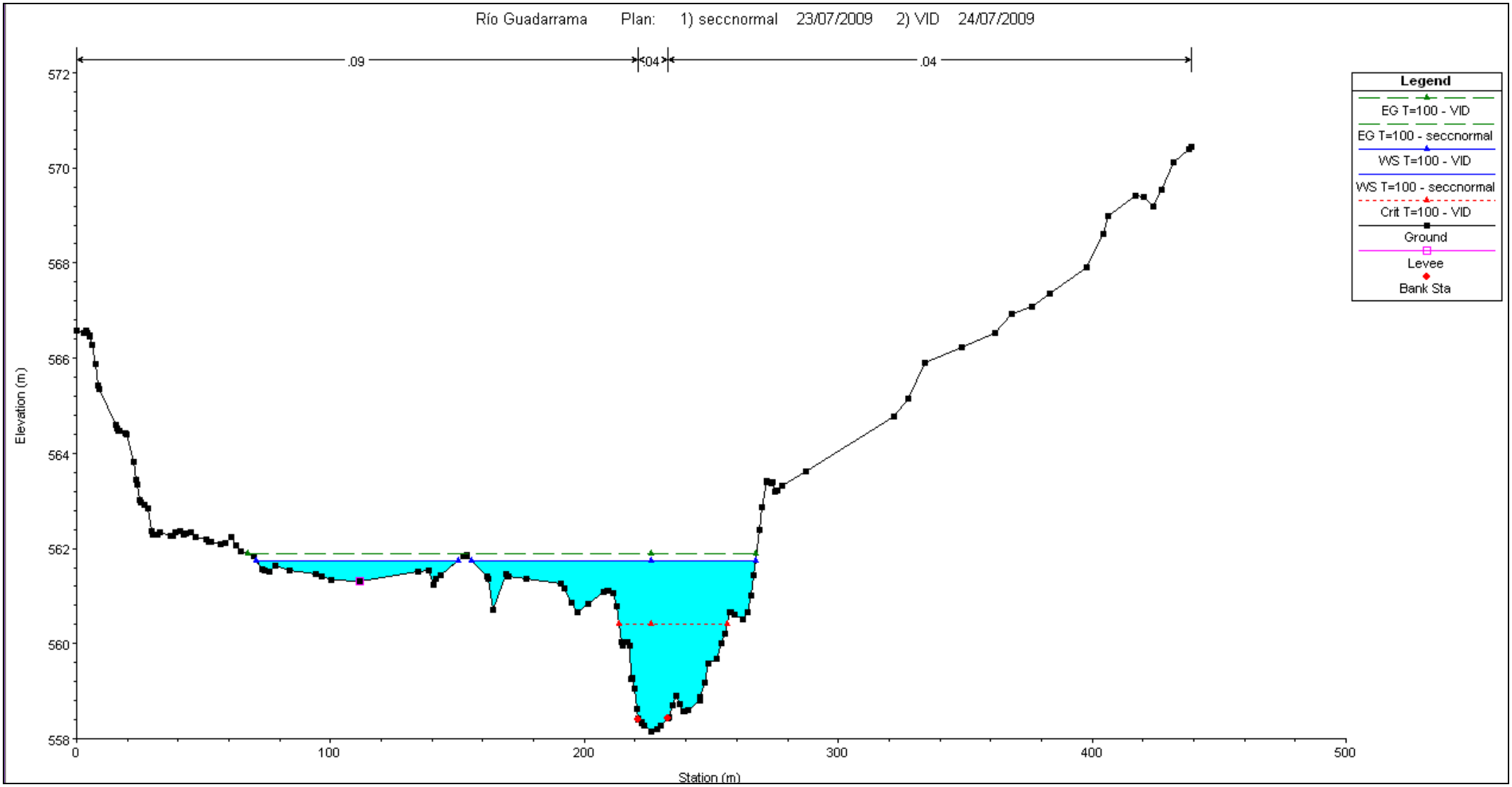
Río Guadarrama- Sección transversal 1710.531



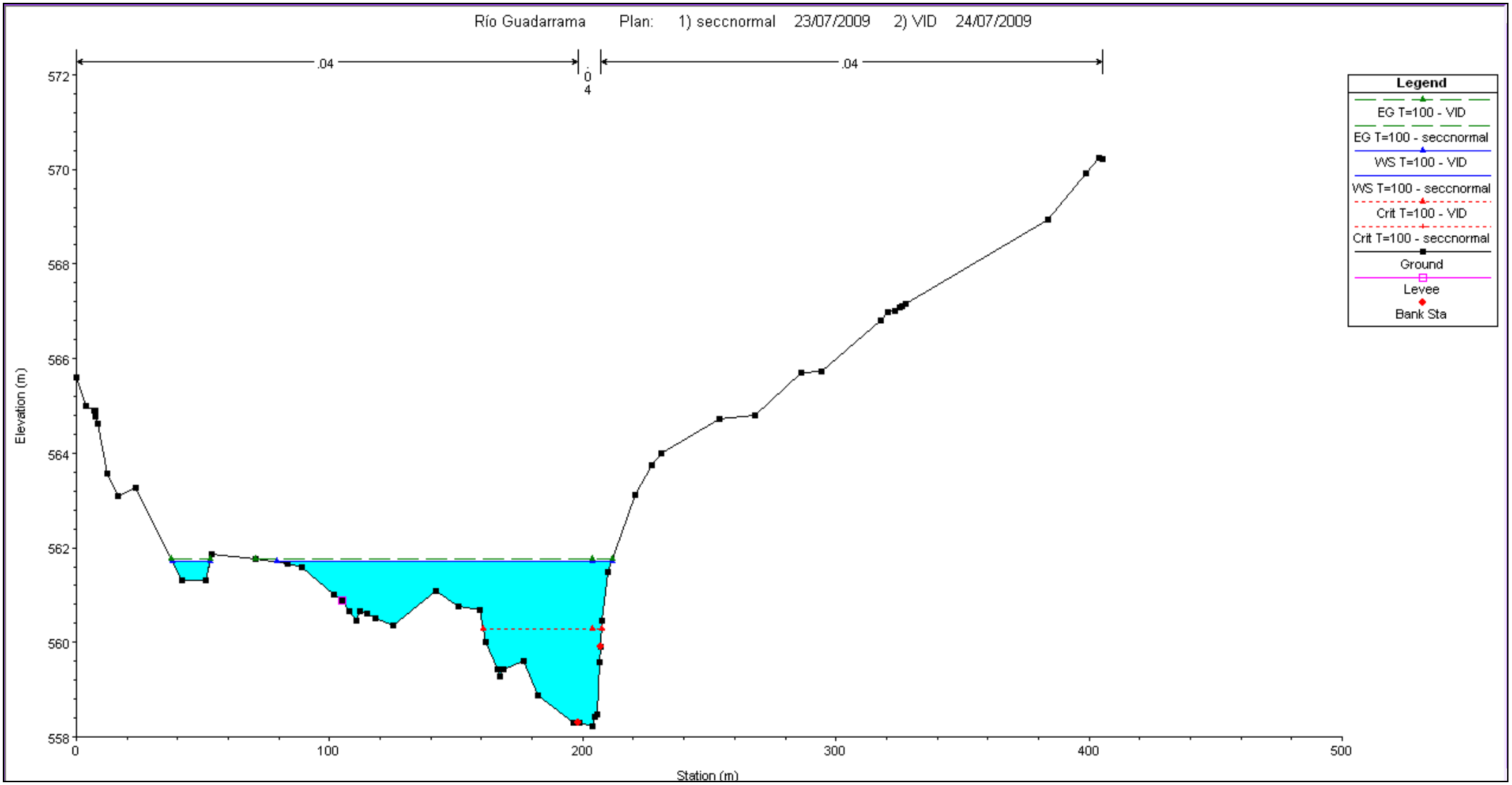
Río Guadarrama- Sección transversal 1655.502



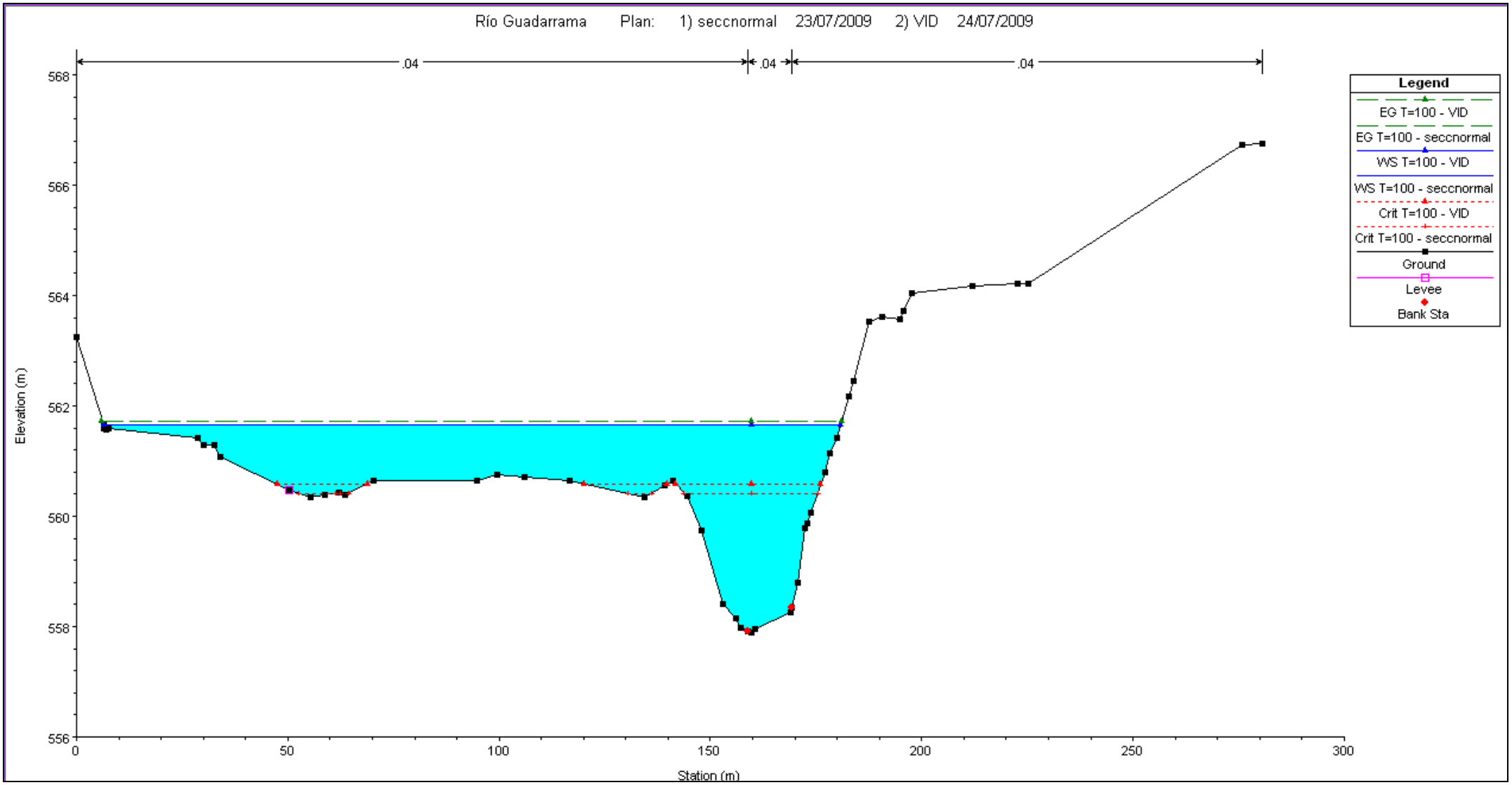
Río Guadarrama- Sección transversal 1600.154



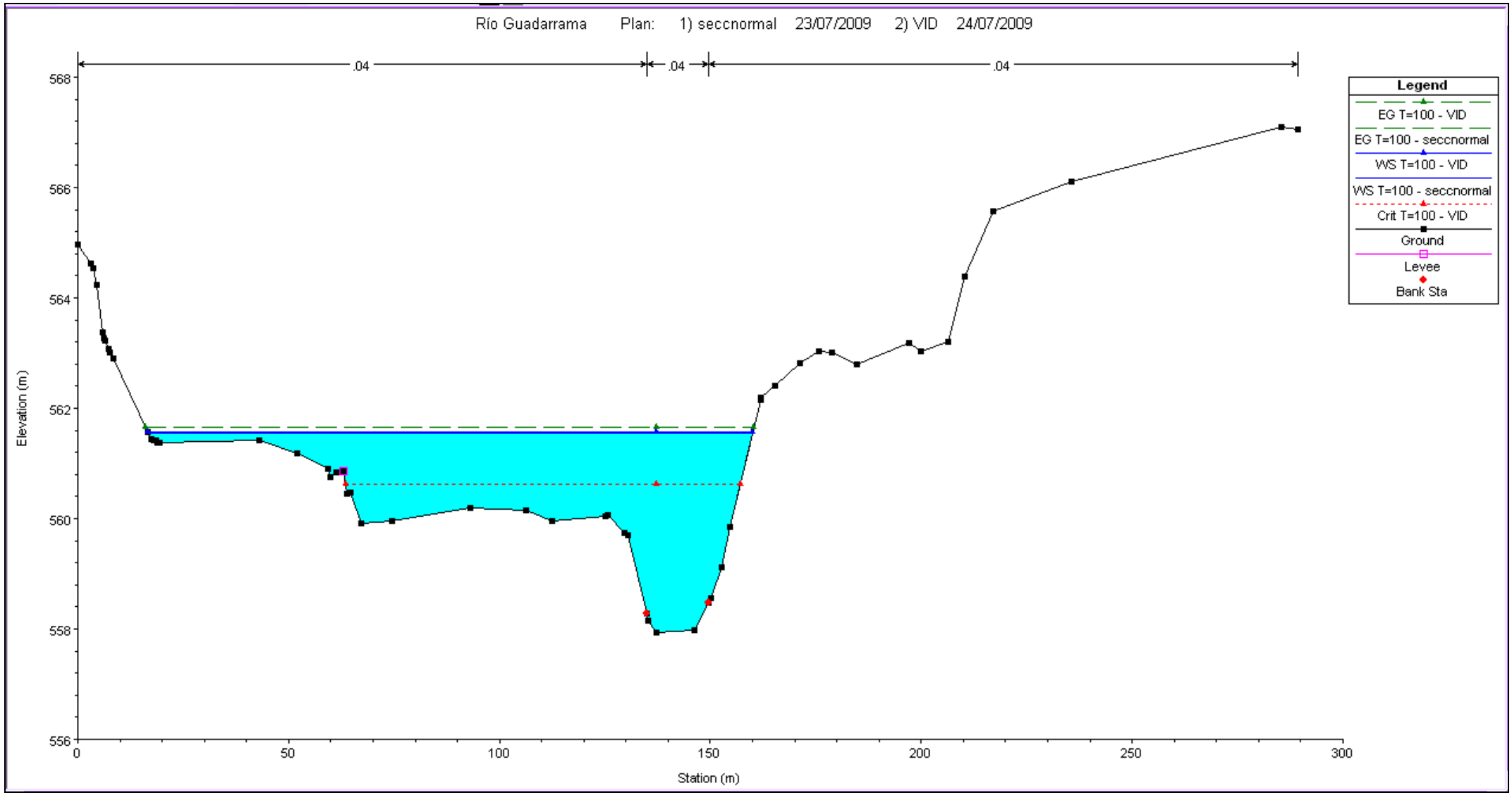
Río Guadarrama- Sección transversal 1518.614



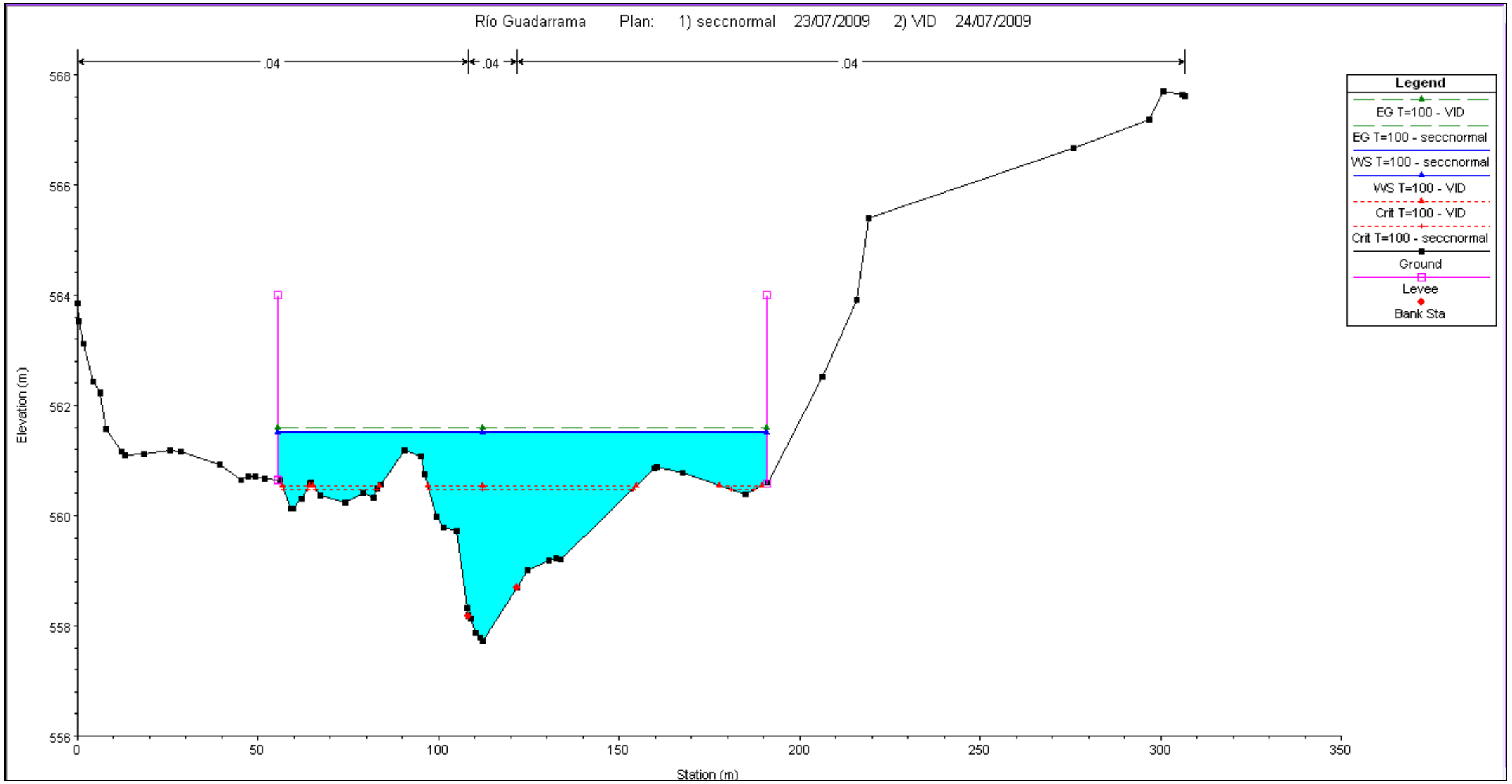
Río Guadarrama- Sección transversal 1481.967



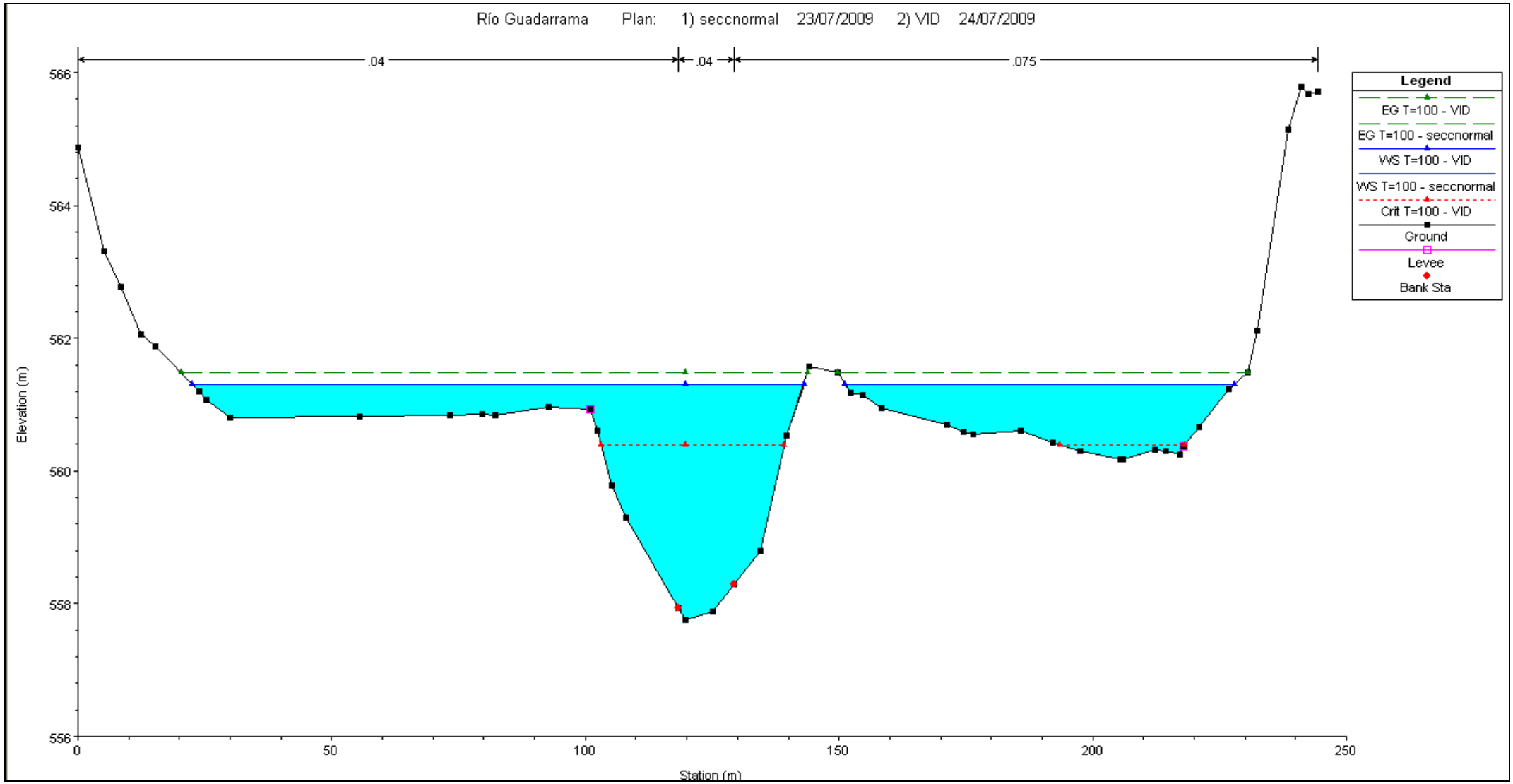
Río Guadarrama- Sección transversal 1392.749



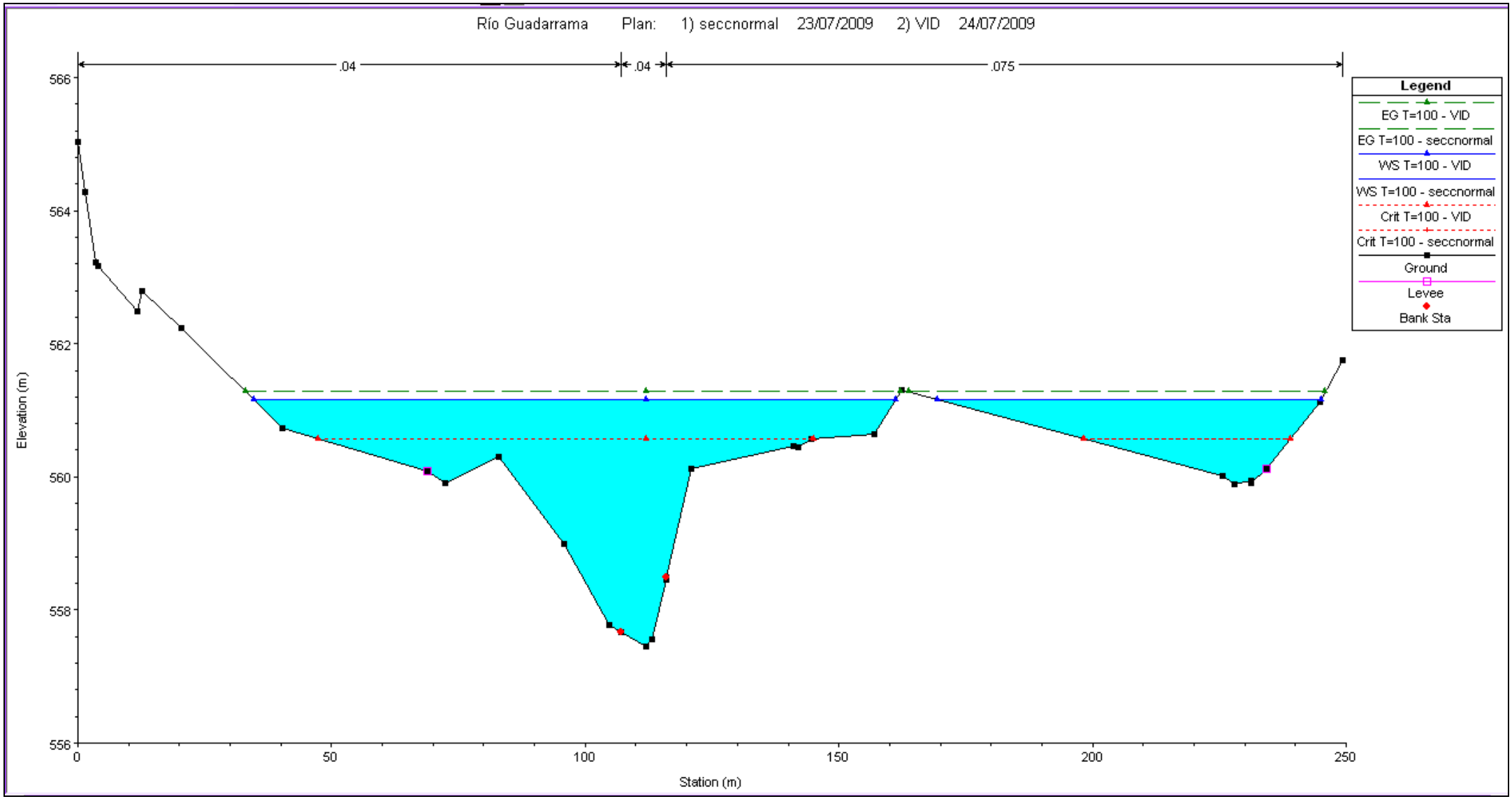
Río Guadarrama- Sección transversal 1328.065



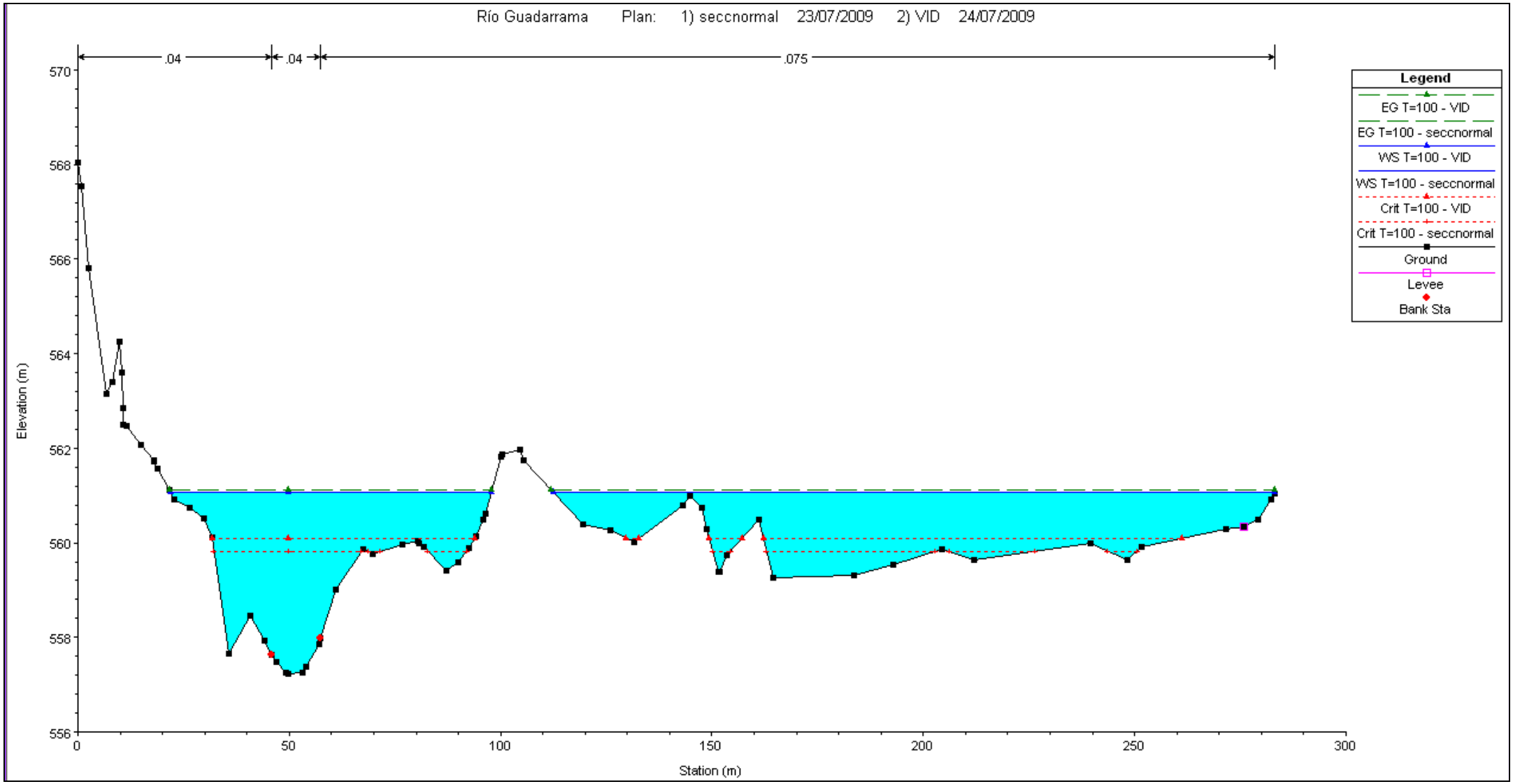
Río Guadarrama- Sección transversal 1248.434



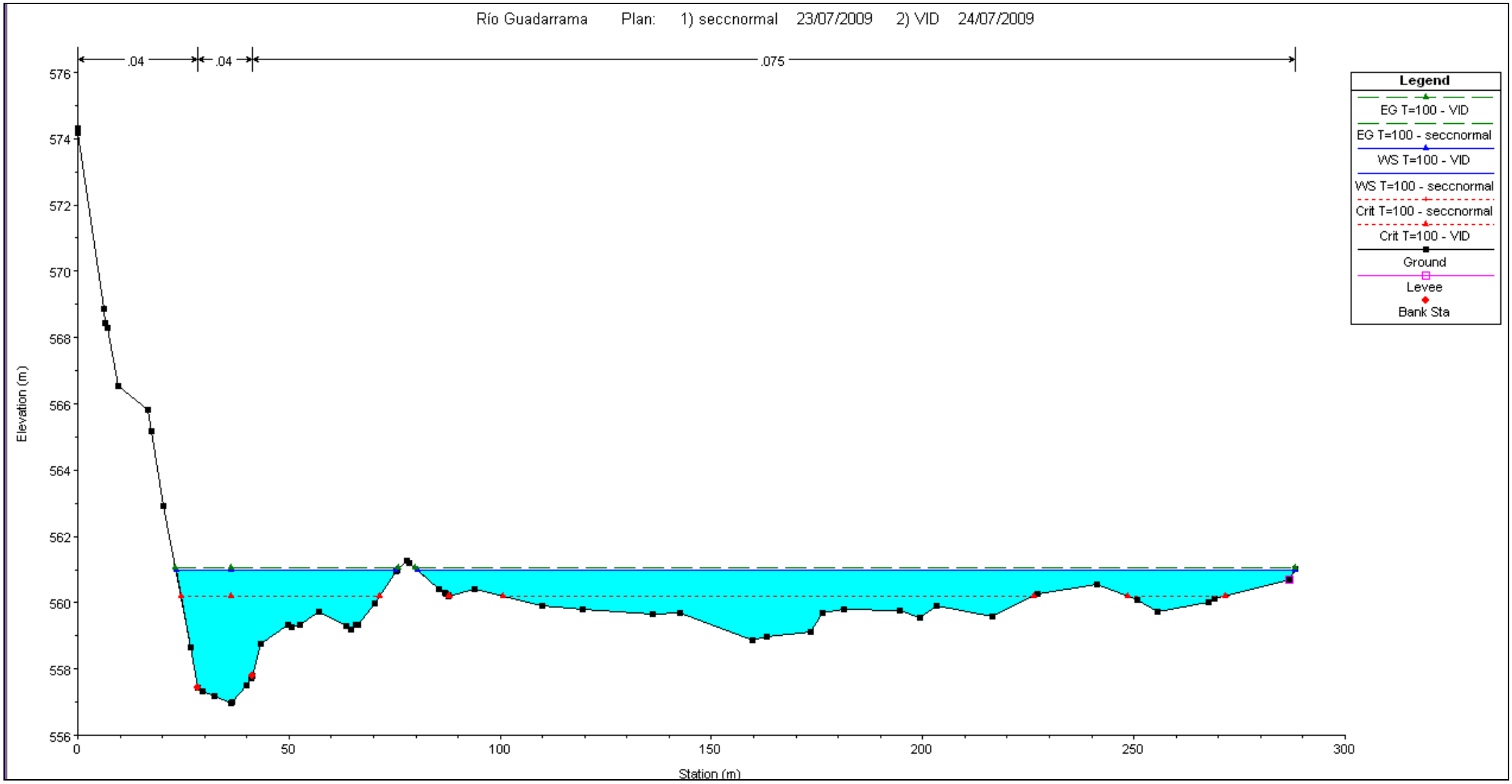
Río Guadarrama- Sección transversal 1147.090



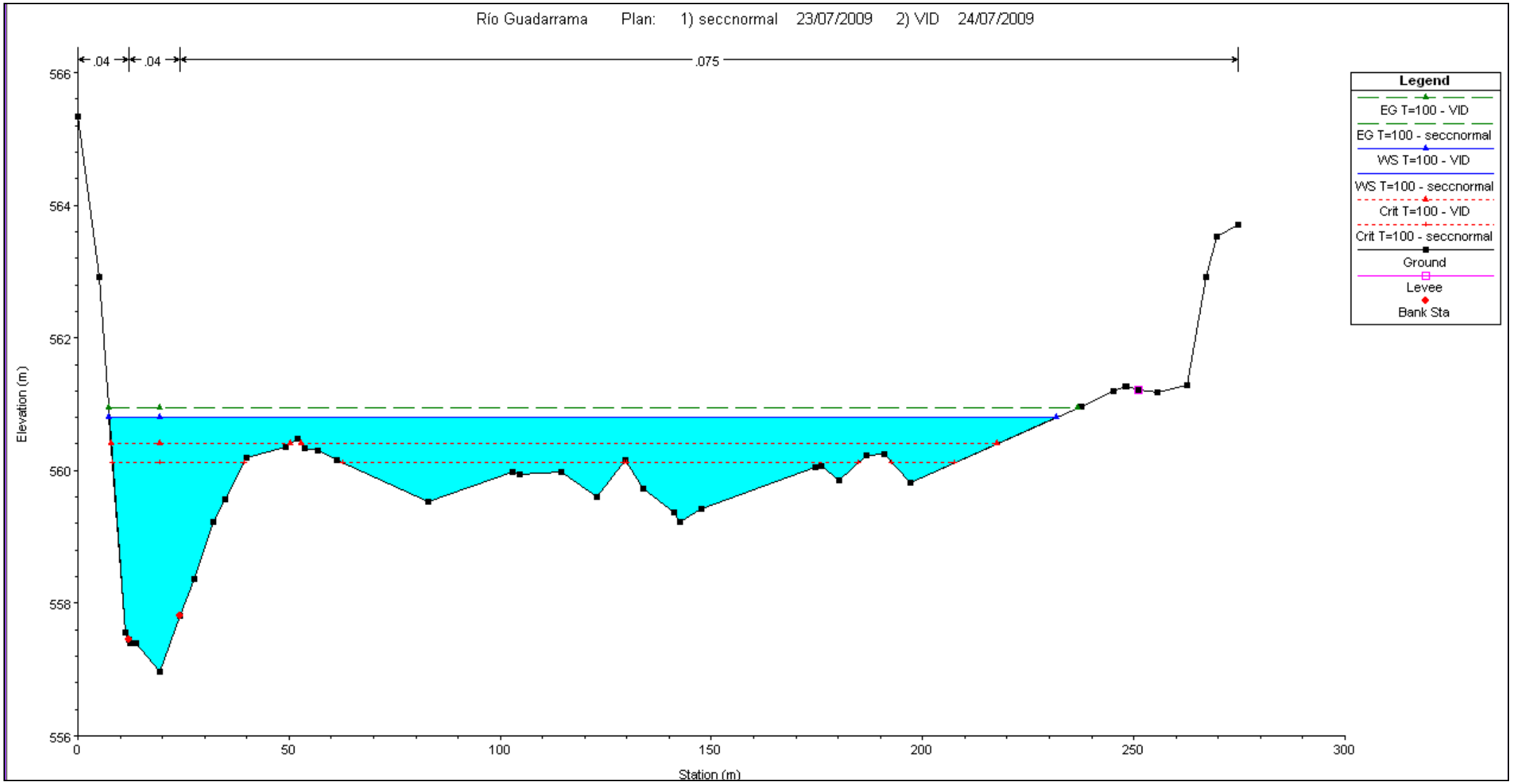
Río Guadarrama- Sección transversal 1010.366



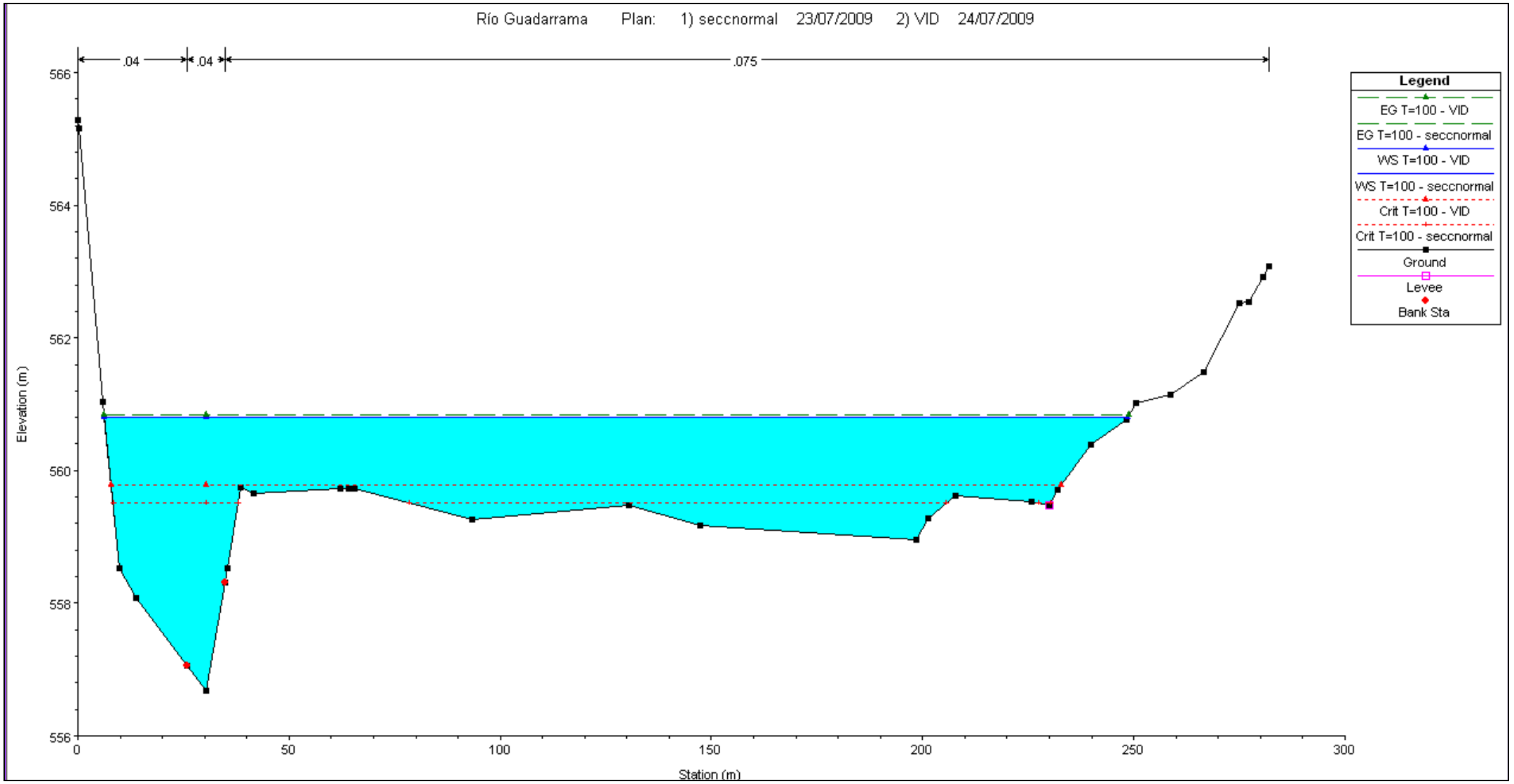
Río Guadarrama- Sección transversal 914.983



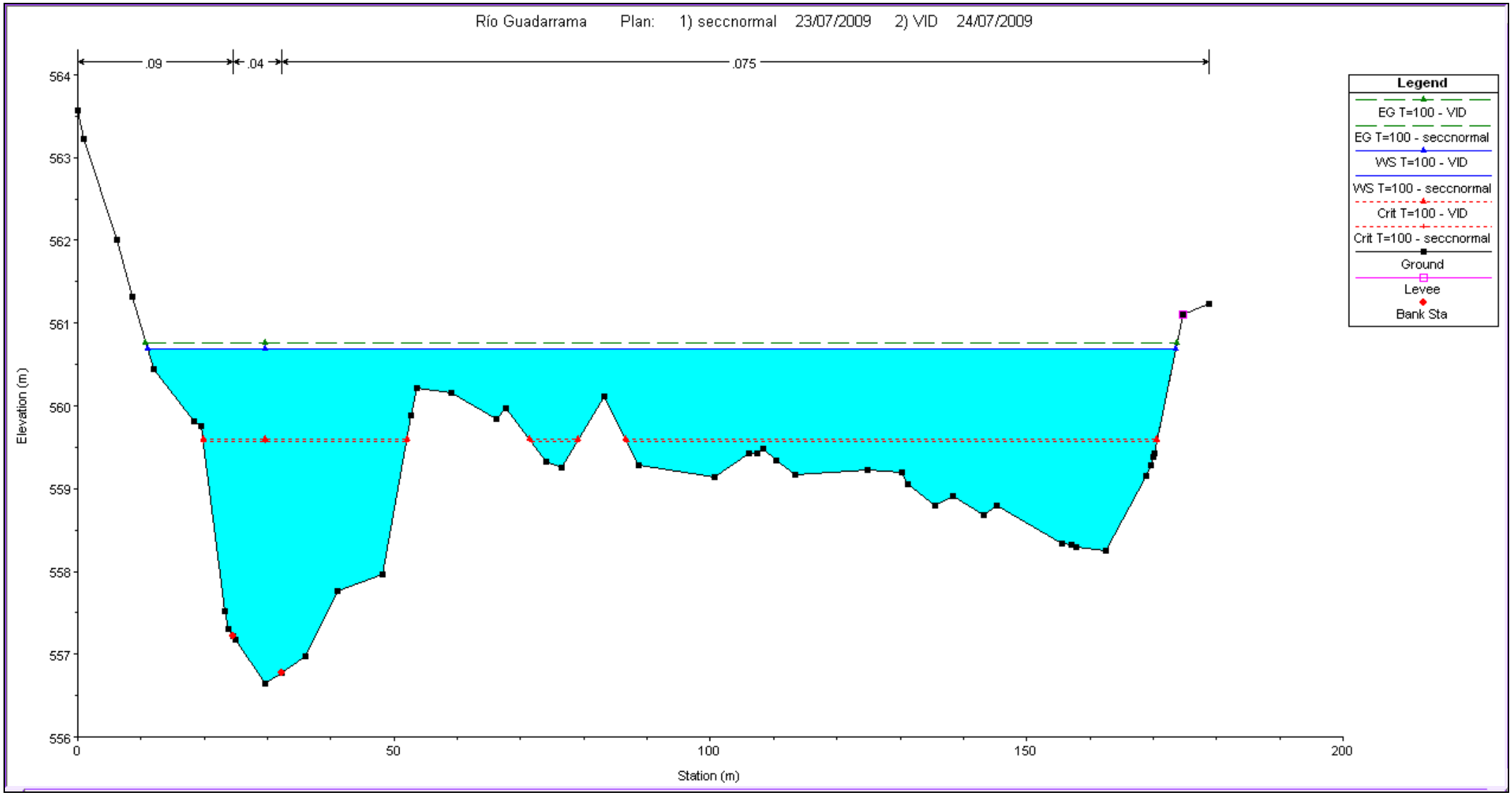
Río Guadarrama- Sección transversal 835.526



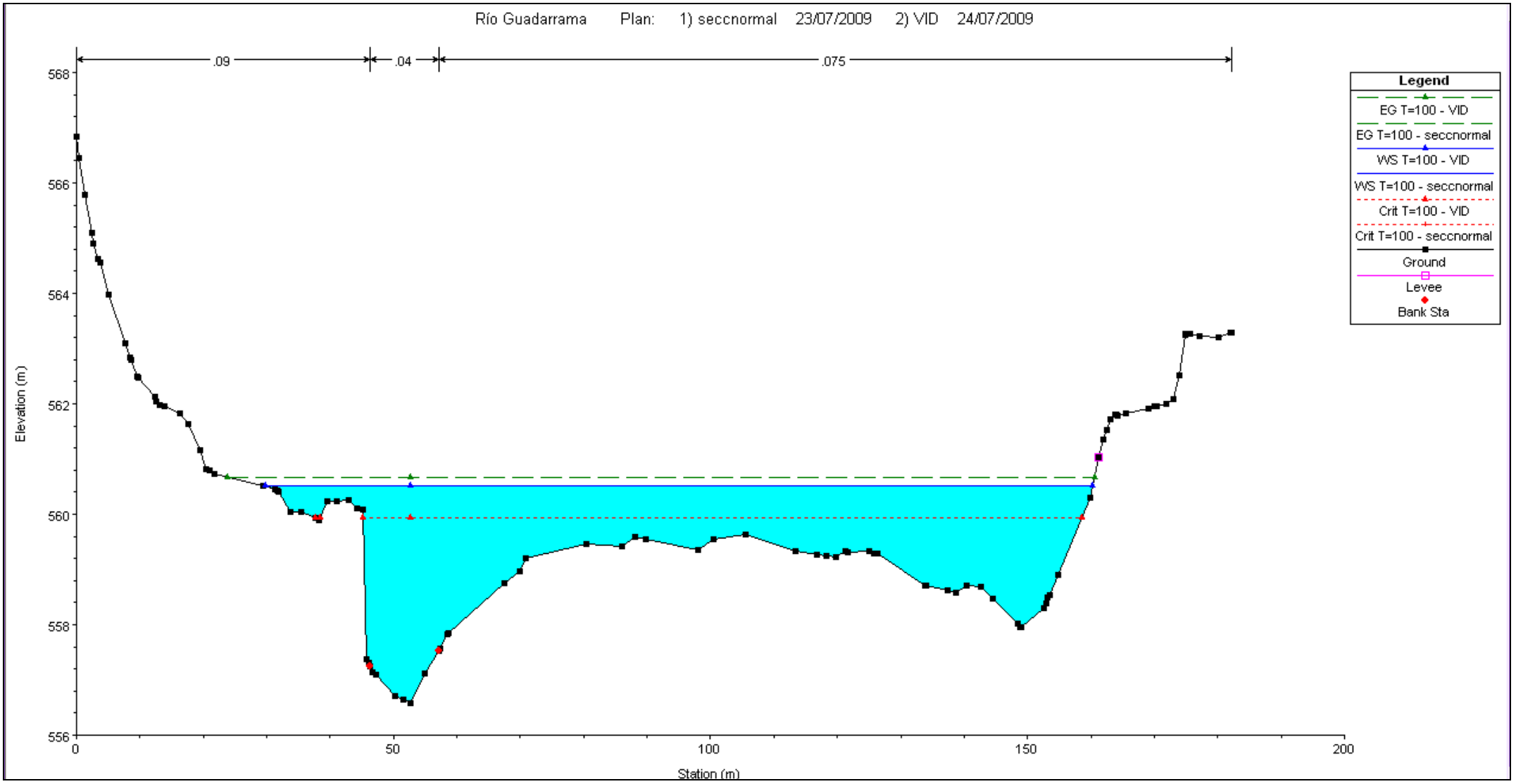
Río Guadarrama- Sección transversal 749.262



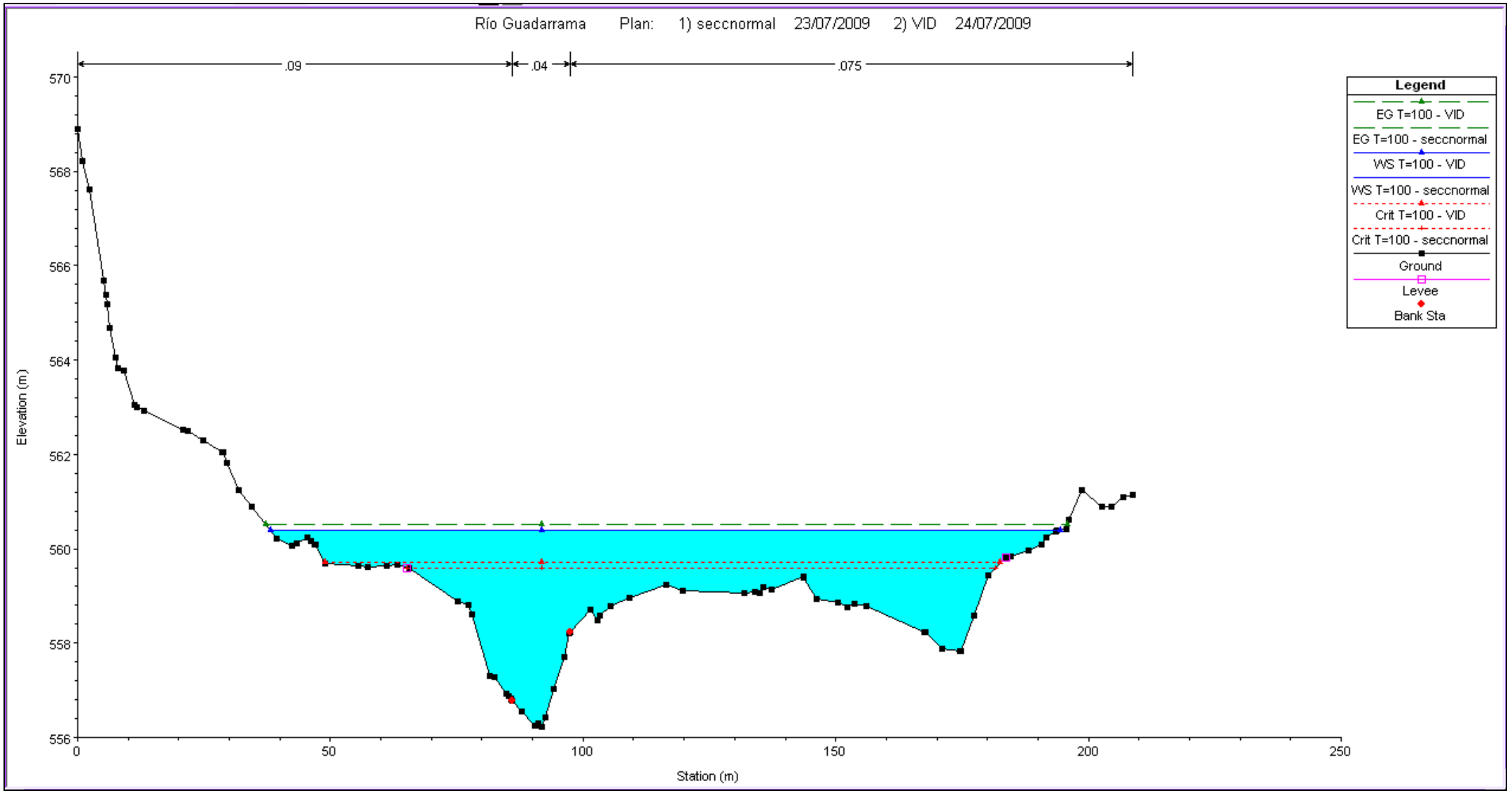
Río Guadarrama- Sección transversal 642.052



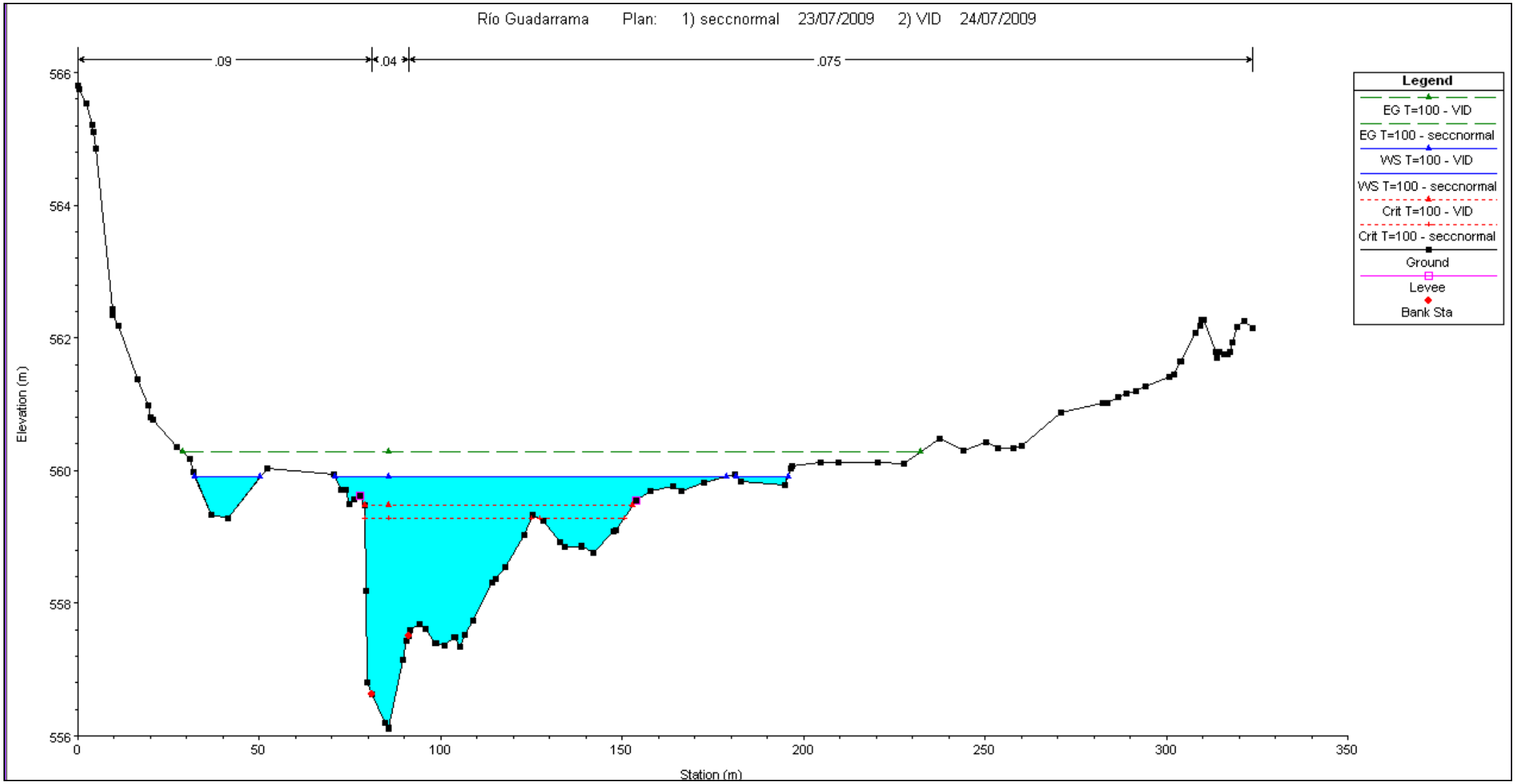
Río Guadarrama- Sección transversal 581.984



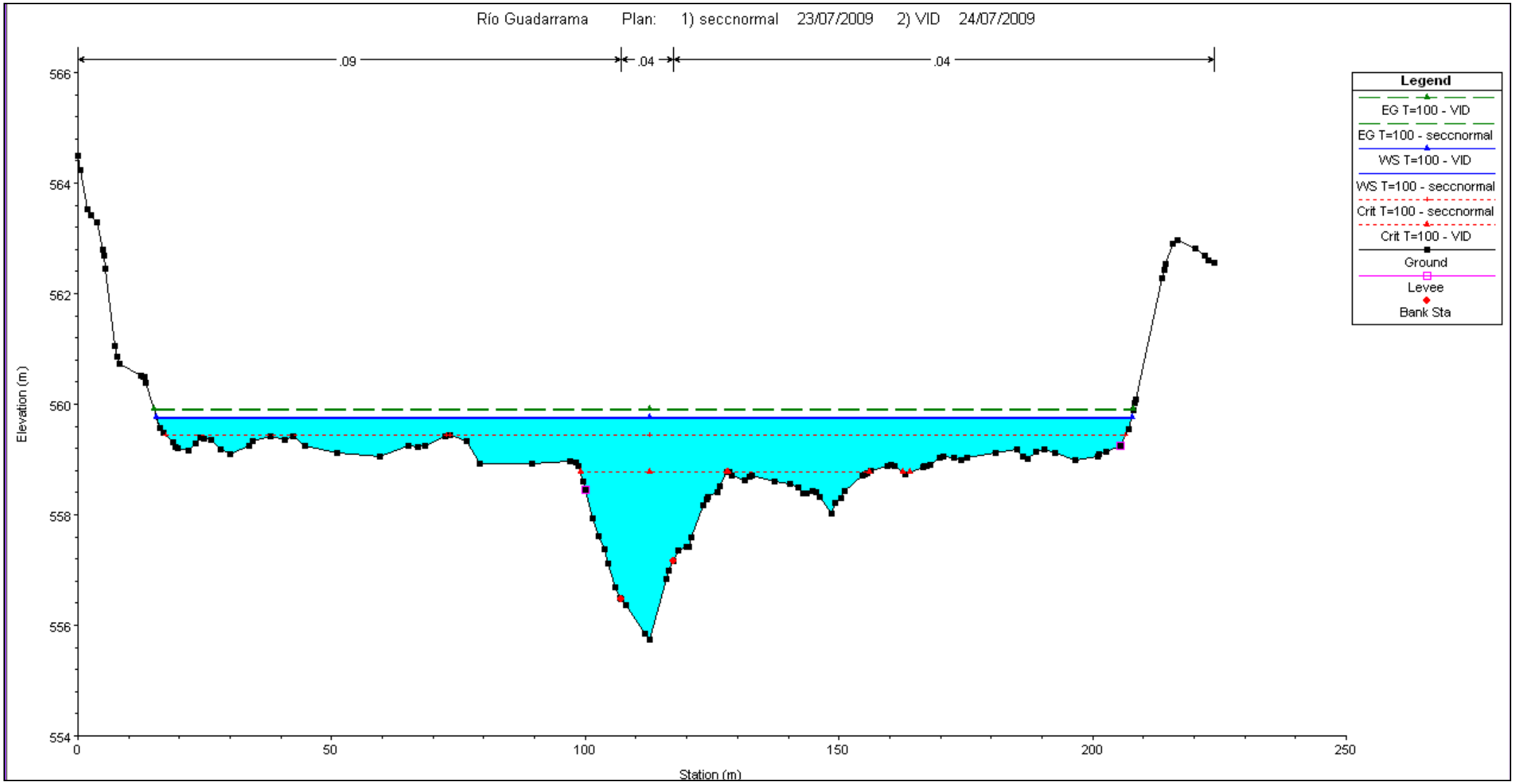
Río Guadarrama- Sección transversal 497.652



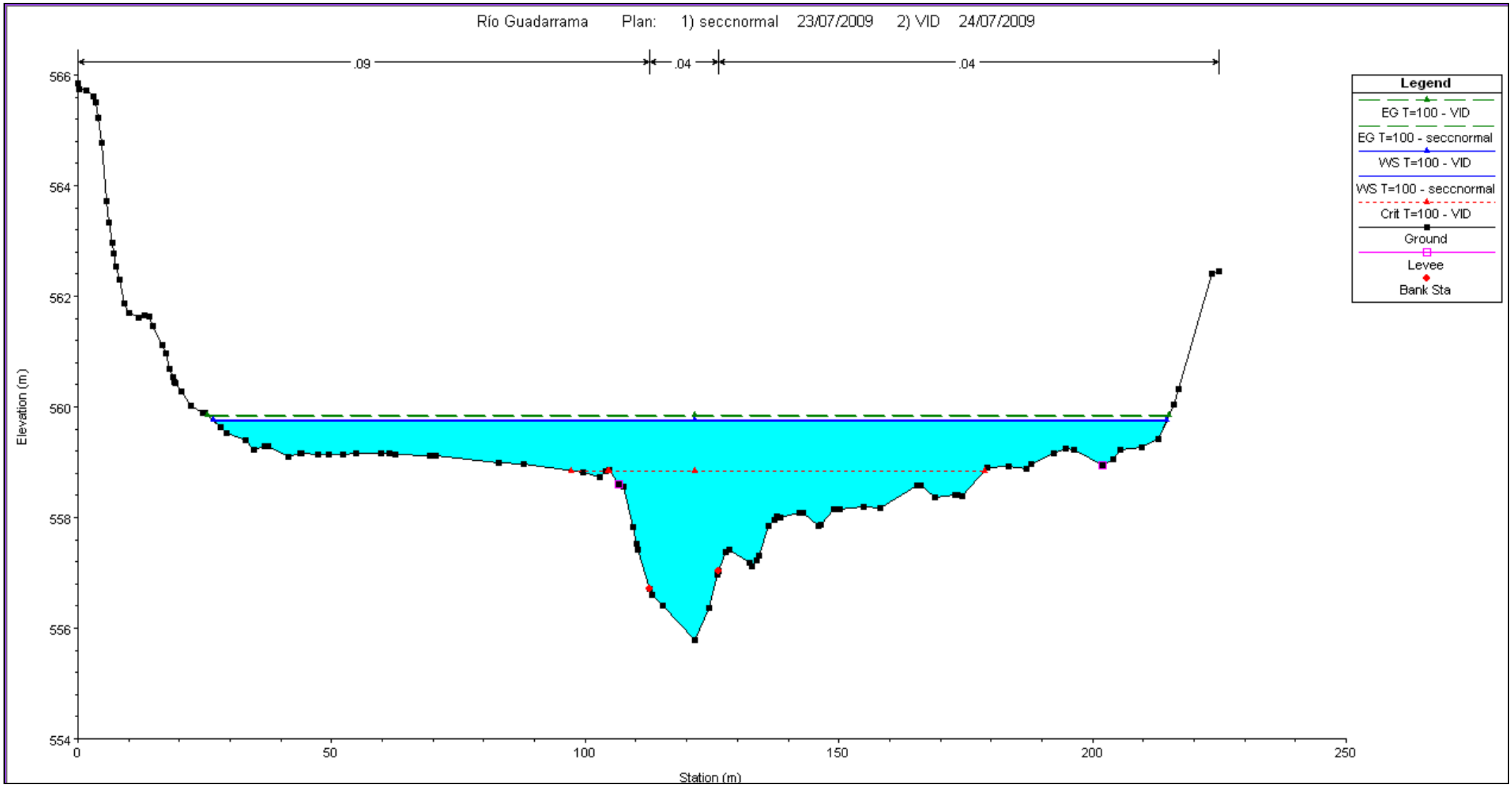
Río Guadarrama- Sección transversal 409.205



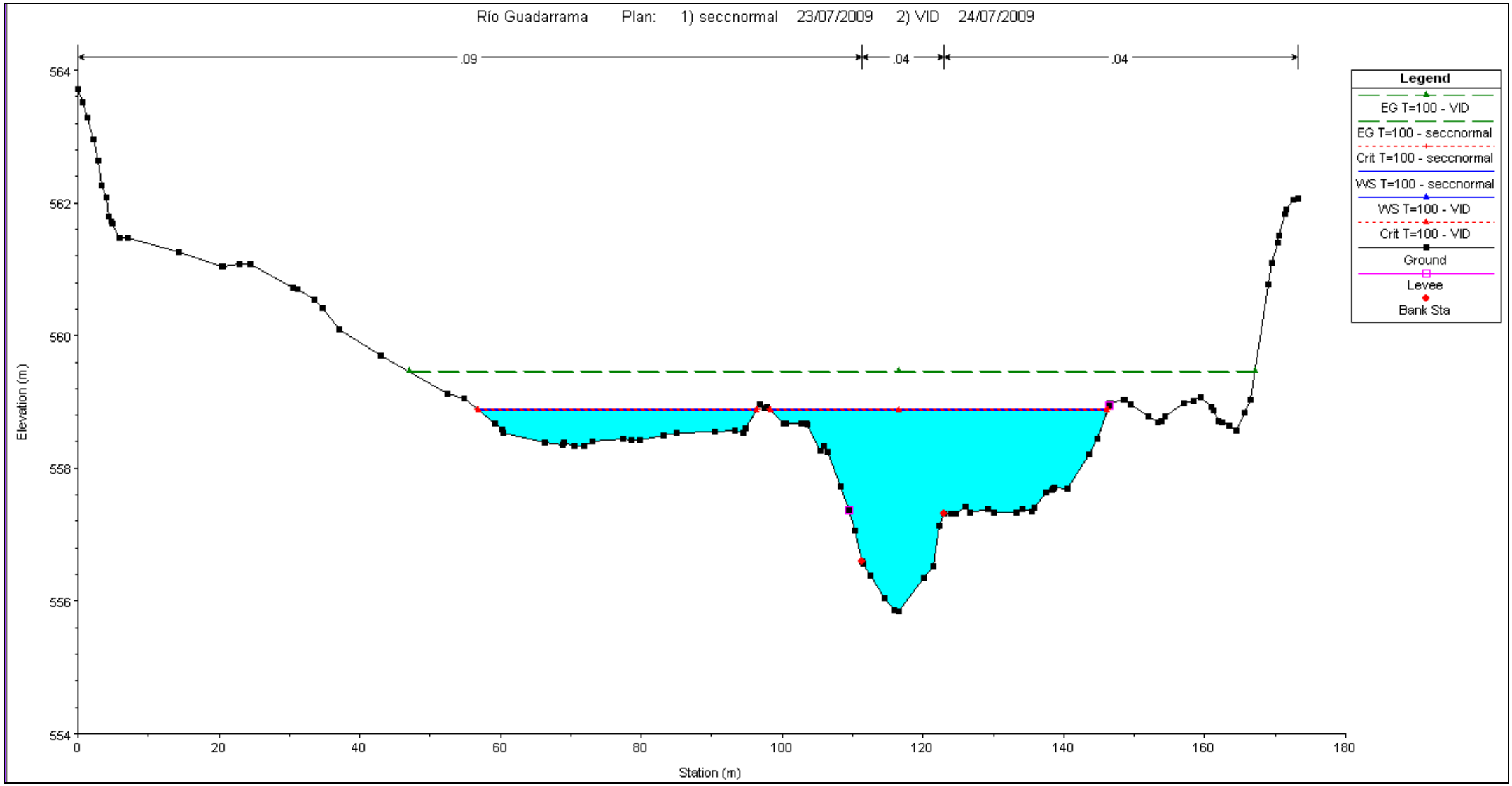
Río Guadarrama- Sección transversal 289.627



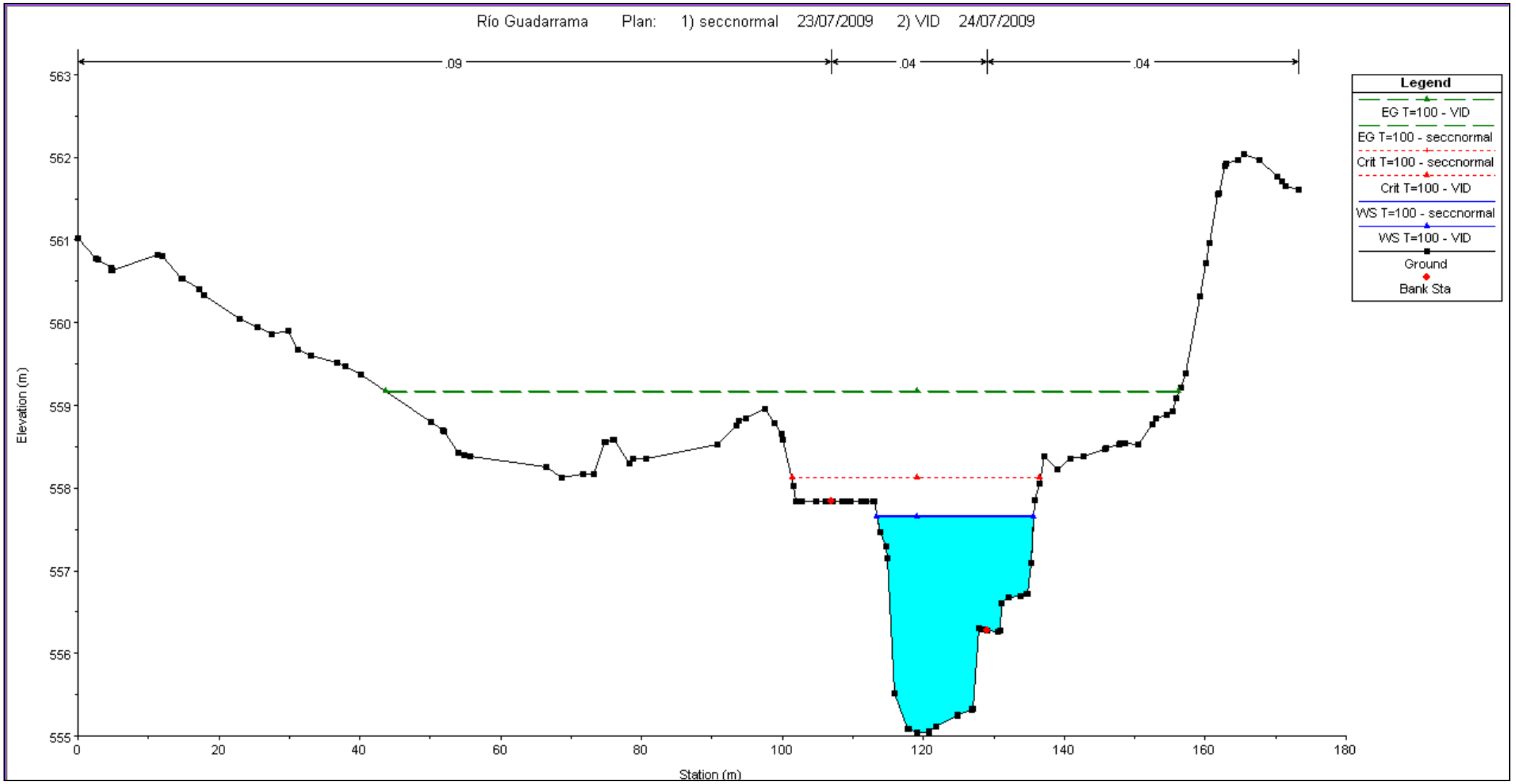
Río Guadarrama- Sección transversal 257.451



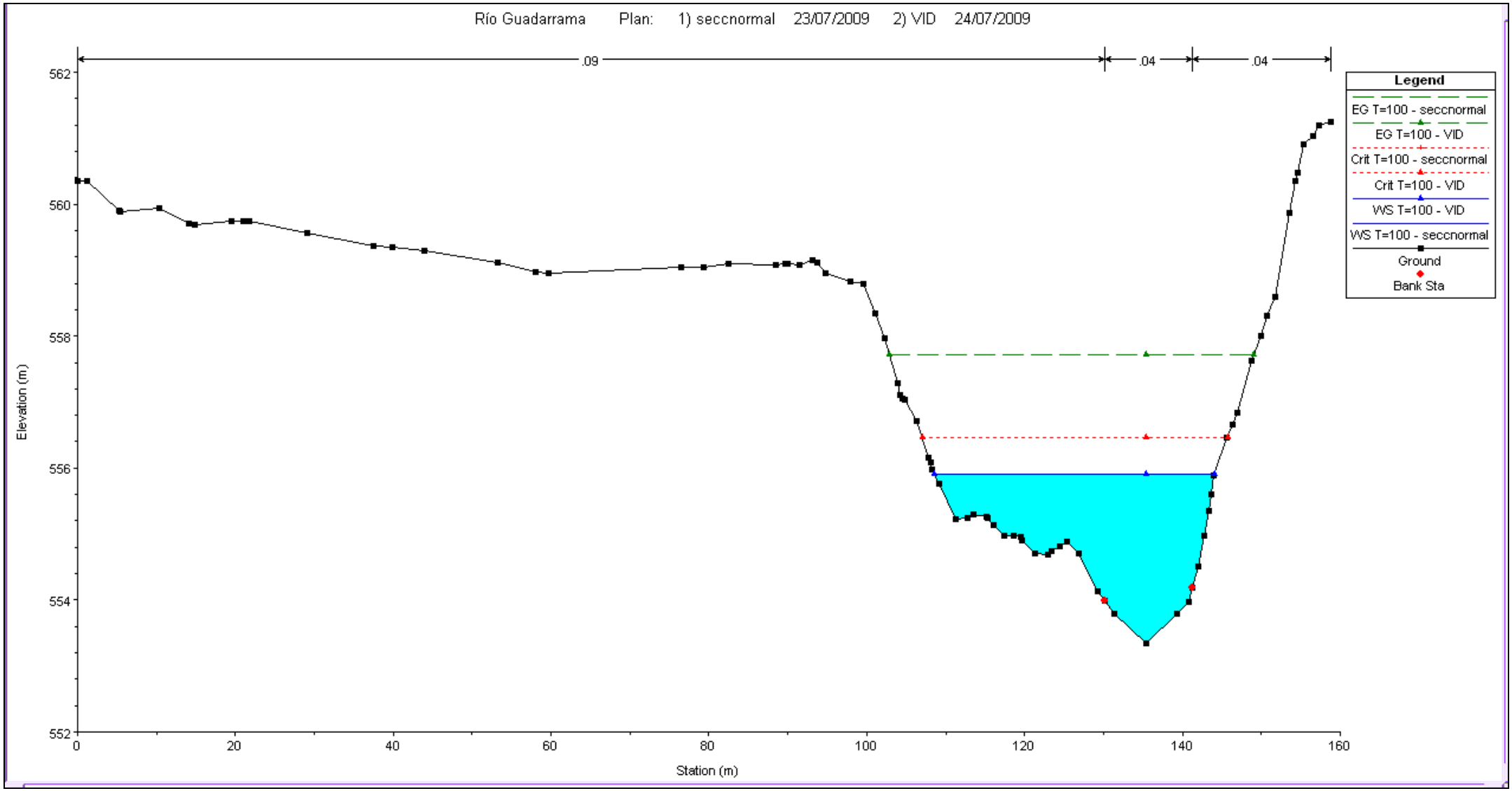
Río Guadarrama- Sección transversal 102.146

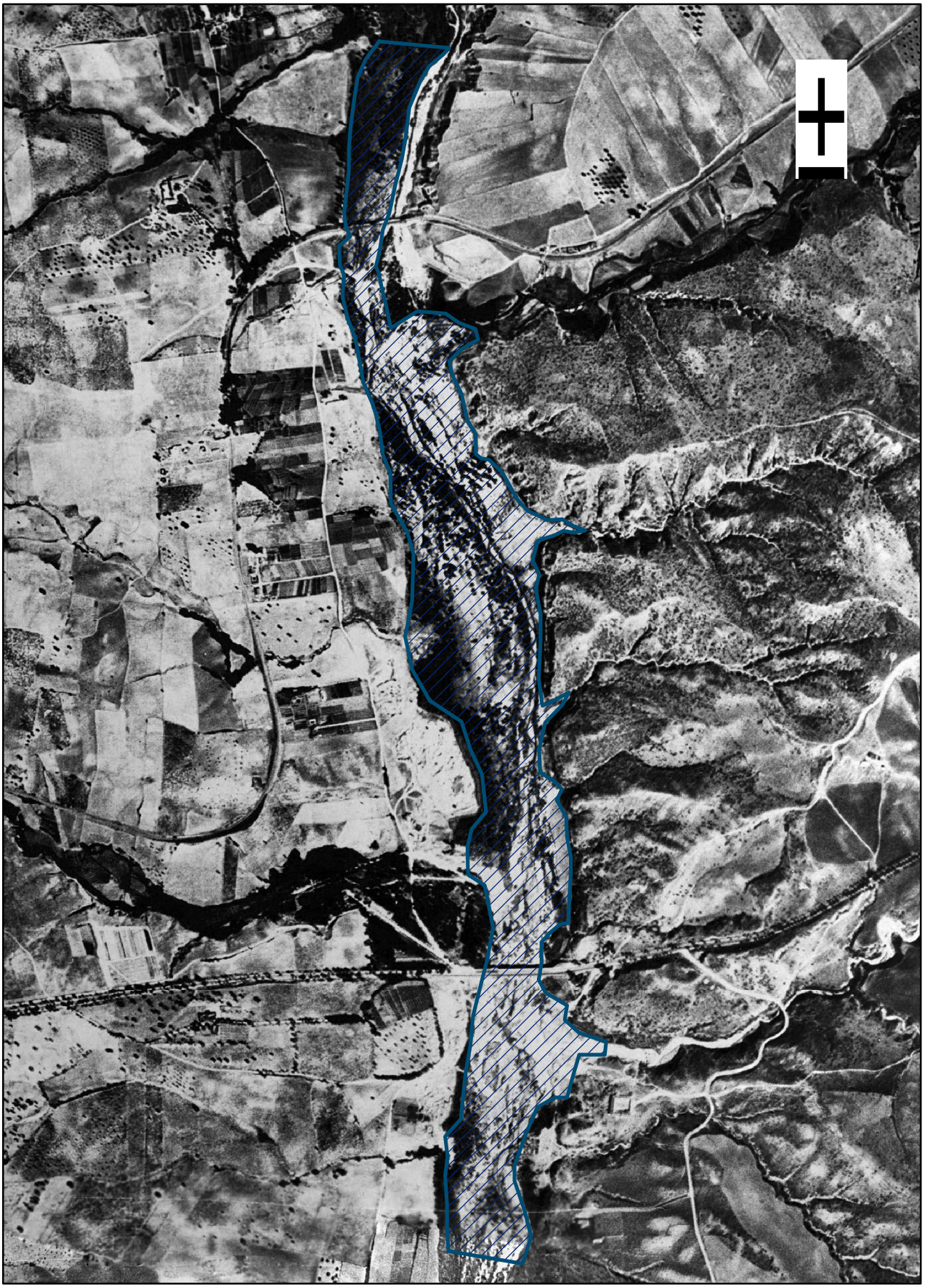


Río Guadarrama- Sección transversal 84.516



Río Guadarrama- Sección transversal 22.781





ESTUDIO DE RECUPERACIÓN DEL ESPACIO FLUVIAL Y PROPUESTA DE DEFENSA FRENTE A INUNDACIONES EN UN TRAMO DEL RÍO GUADARRAMA A SU PASO POR EL TÉRMINO MUNICIPAL DE MÓSTOLES

Master en Ingeniería y Gestión del Agua 2008-2009

DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO 1956

LEYENDA

DPH 1956

150 75 0 150 Meters

Estudio de recuperación del espacio fluvial y propuesta de defensa frente a inundaciones en un tramo del Río Guadarrama a su paso por el término municipal de Móstoles

Máster en Ingeniería y Gestión del Agua 2008-2009

DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO SEGÚN CRITERIOS GEOMORFOLÓGICOS

LEYENDA

Río Guadarrama

DPH geomorfológico

200 100 0 200 Meters

Estudio de recuperación del espacio fluvial y propuesta de defensa frente a inundaciones en un tramo del Río Guadarrama a su paso por el término municipal de Móstoles

Máster en Ingeniería y Gestión del Agua 2008-2009

DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO

LEYENDA

- Río Guadarrama
- Dominio Público Hidráulico
- Dominio Público Hidráulico (CEDEX)

190 95 0 190 Meters

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA	FICHA ESTACIÓN DE AFOROS EN RIO
TAJO	3100 VILLALBA

IDENTIFICACIÓN

ESTADO ALTA INICIO 1962

COD. CH COD. SAIH COD. SAICA

UTM X 414.975 Y 4.498.275 HUSO 30 COTA (m) 850

RÍO: GUADARRAMA

CUENCA RECEPTORA (km2) 234

SISTEMA DE EXPLOTACIÓN MACROSISTEMA

T. MUNICIPAL COLLADO VILLALBA

PROVINCIA MADRID

HOJA 1:50.000 SAN LORENZO DE EL ESCORIAL (533)

TIPOLOGÍA

TIPO DE ESTACIÓN ENCAUZAMIENTO CON CANAL DE AGUAS BAJAS

RÉGIMEN DE CAUDALES ALTERADO

LONGITUD (m) ANCHO (m) 12,8

ESCALA SI EXTERIOR

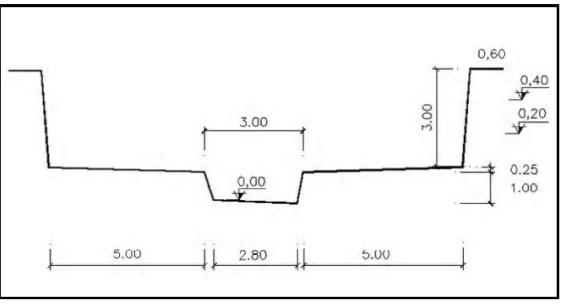
Nº BANQUETAS: 2 PASARELA NO

VERTEDERO NO

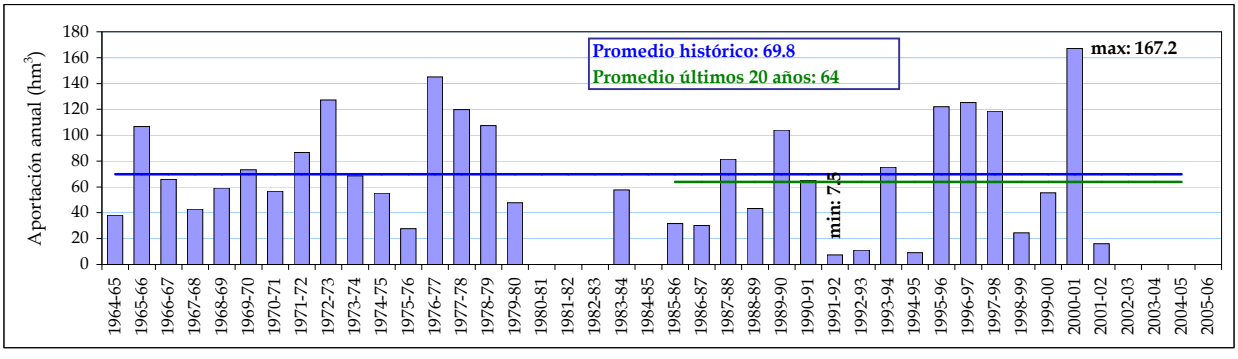
CASETA NO

SAIH NO SAICA NO

SECCIÓN TIPO

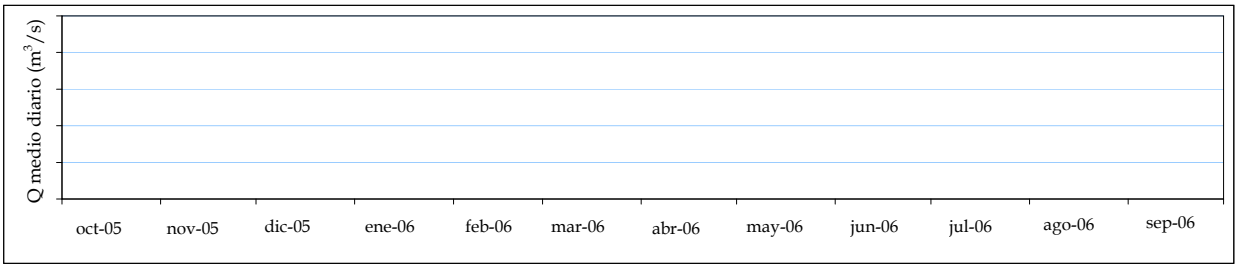


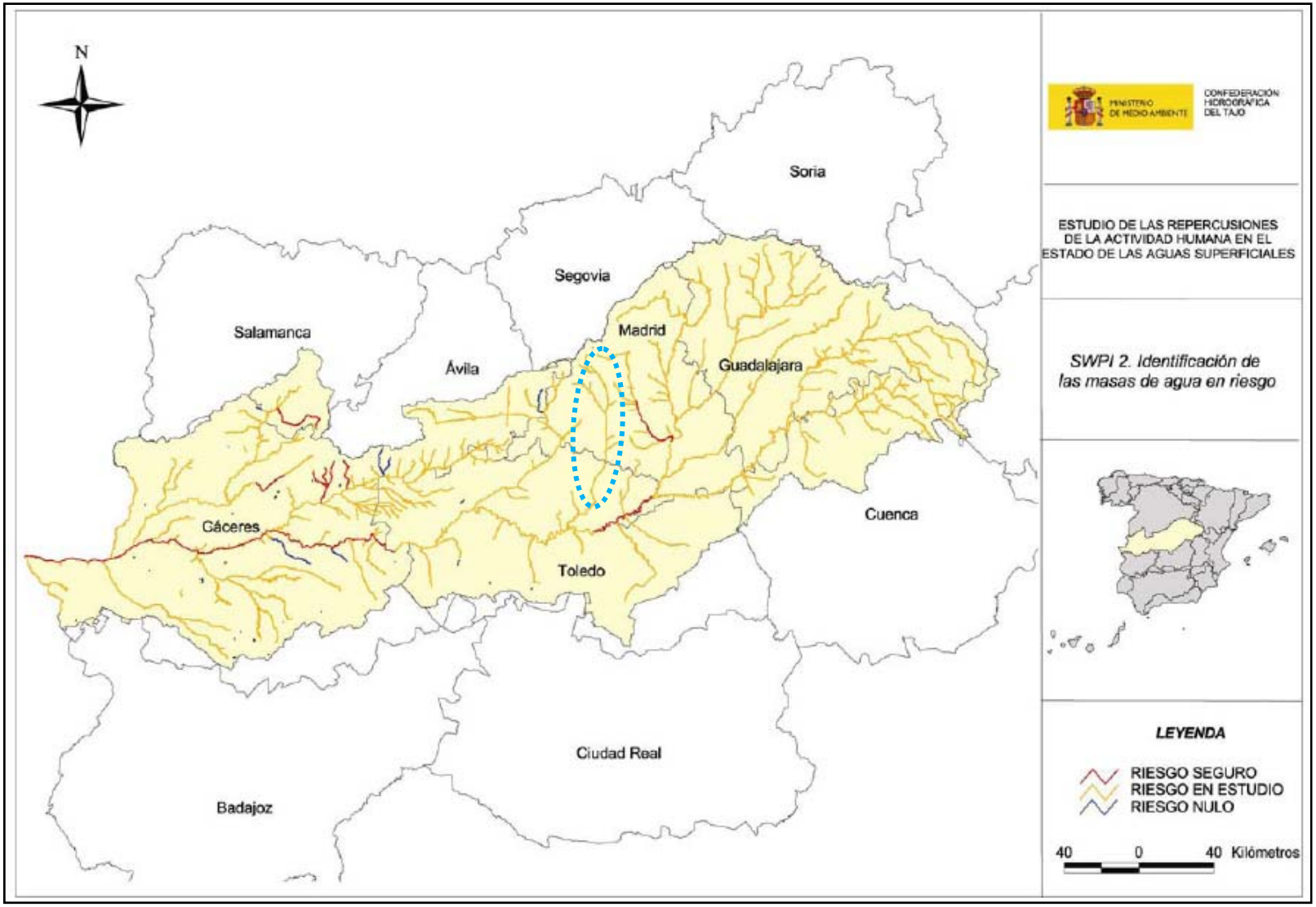
Estación de Aforo: 3100 Río Guadarrama en Villalba

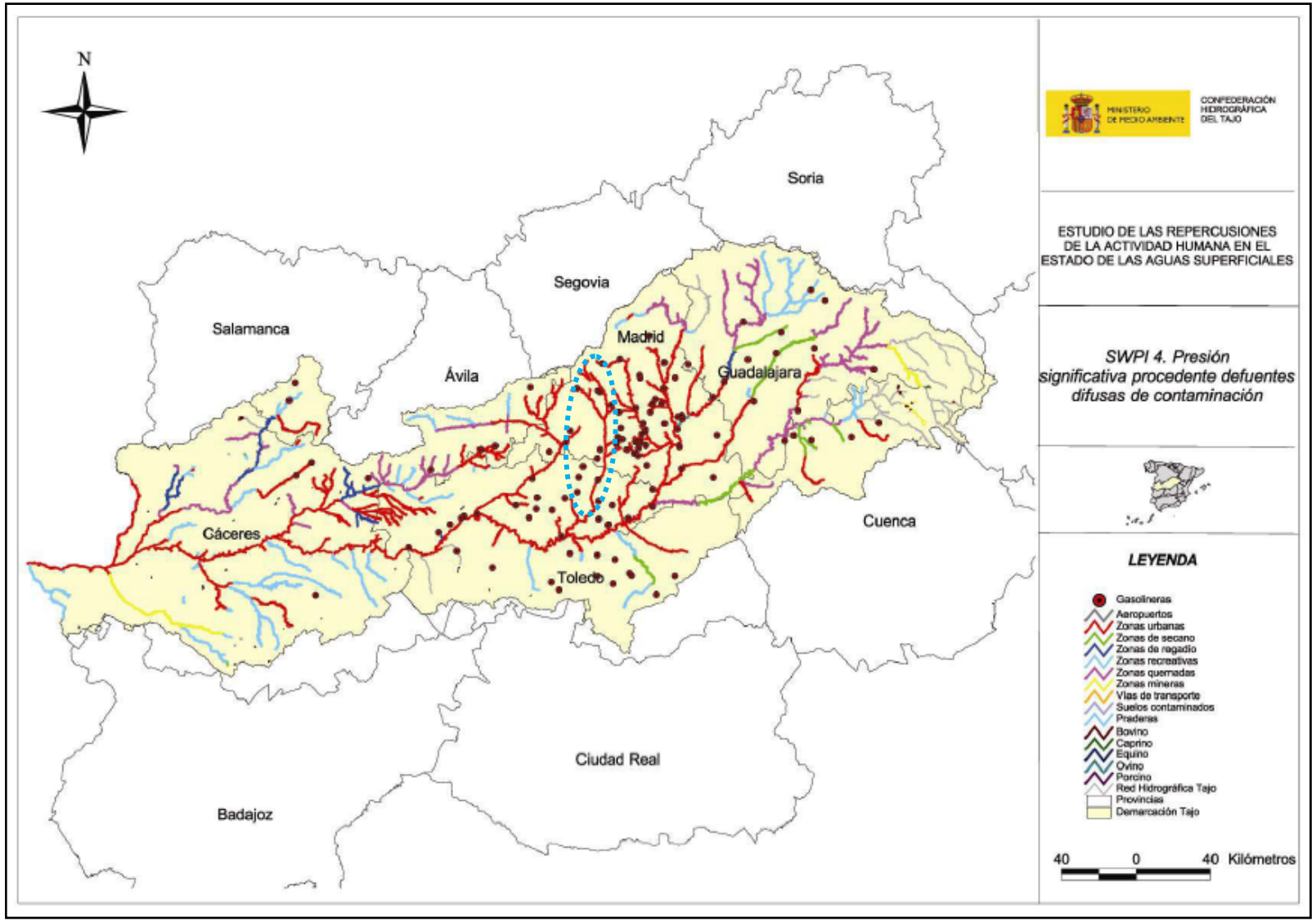


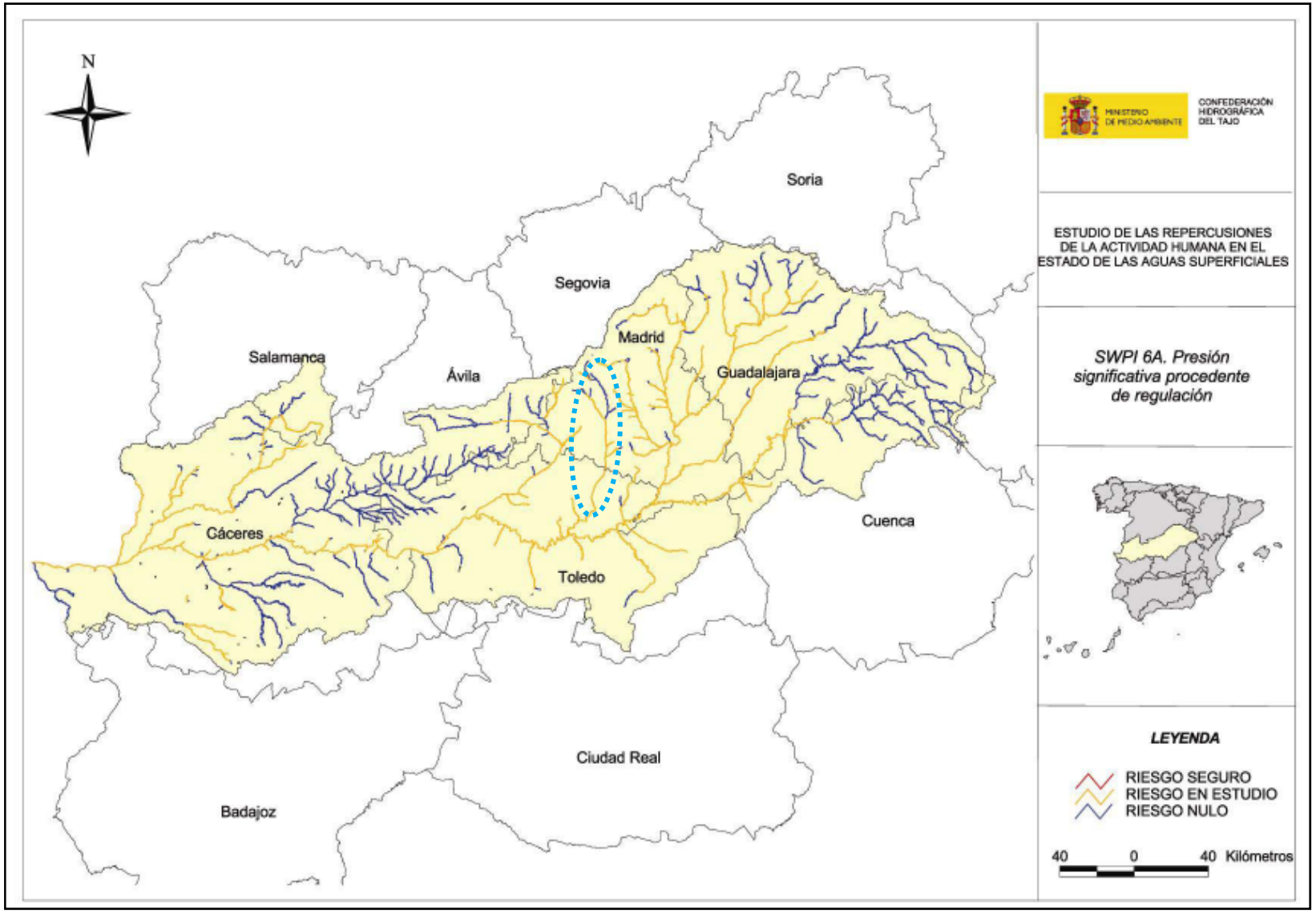
Caudales máximos (m^3/s)	Qc	fecha Qc	mediana de Qc	Qci	fecha Qci	mediana de Qci
Máximo del periodo histórico	100	10/01/1970	24.8	220	/01/1970	33.6
Año 2005-06						

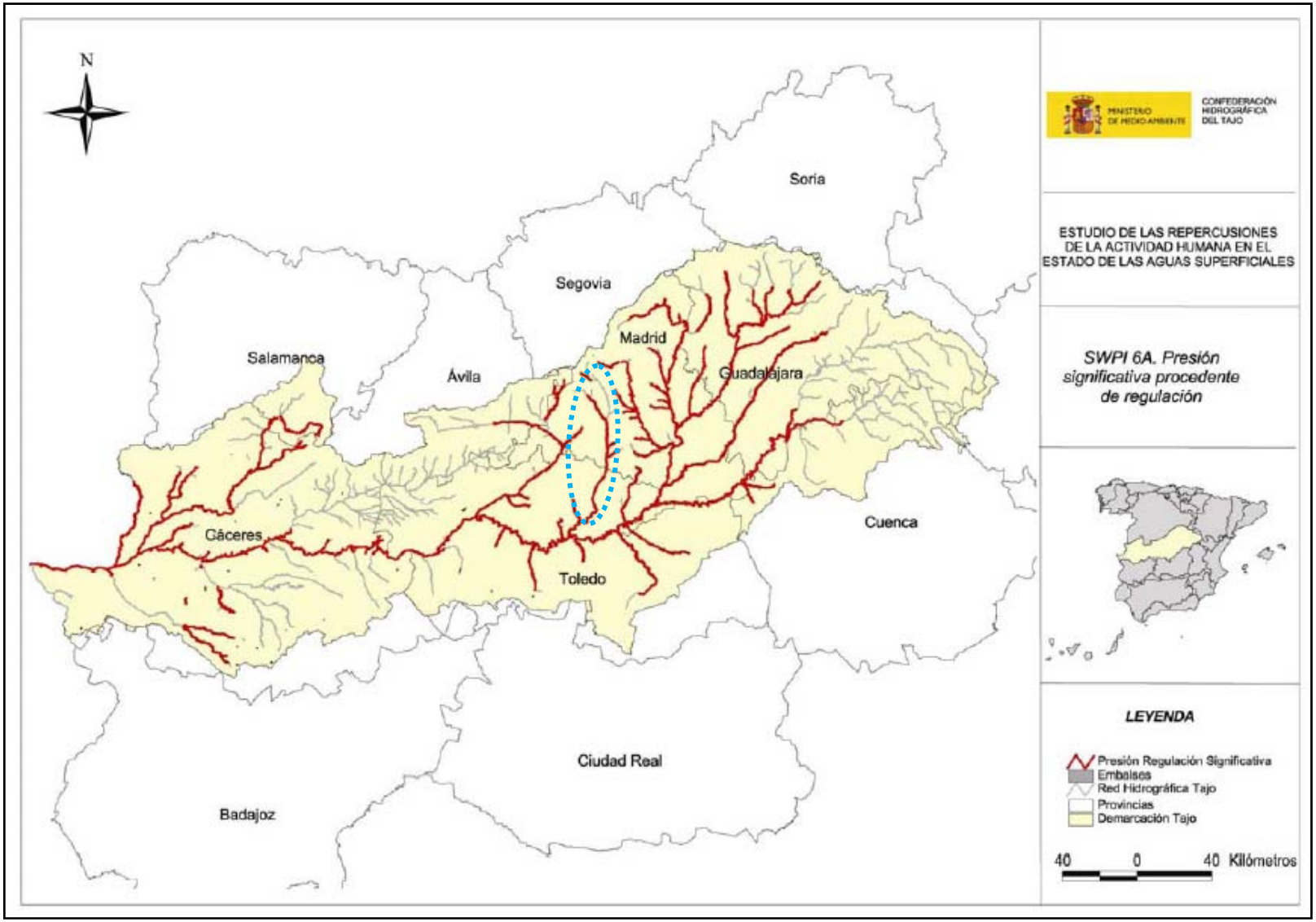
Aportaciones mensuales (hm^3)	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep
Mínimo	0.0	0.0	0.2	0.9	0.6	0.6	0.4	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0
Máximo	31.5	29.1	41.3	63.0	38.3	31.5	24.1	26.8	12.8	7.6	2.7	3.8
Promedio histórico	2.0	5.4	8.6	14.1	12.8	9.2	6.9	5.8	2.6	0.8	0.4	0.5
Año 2005-06												

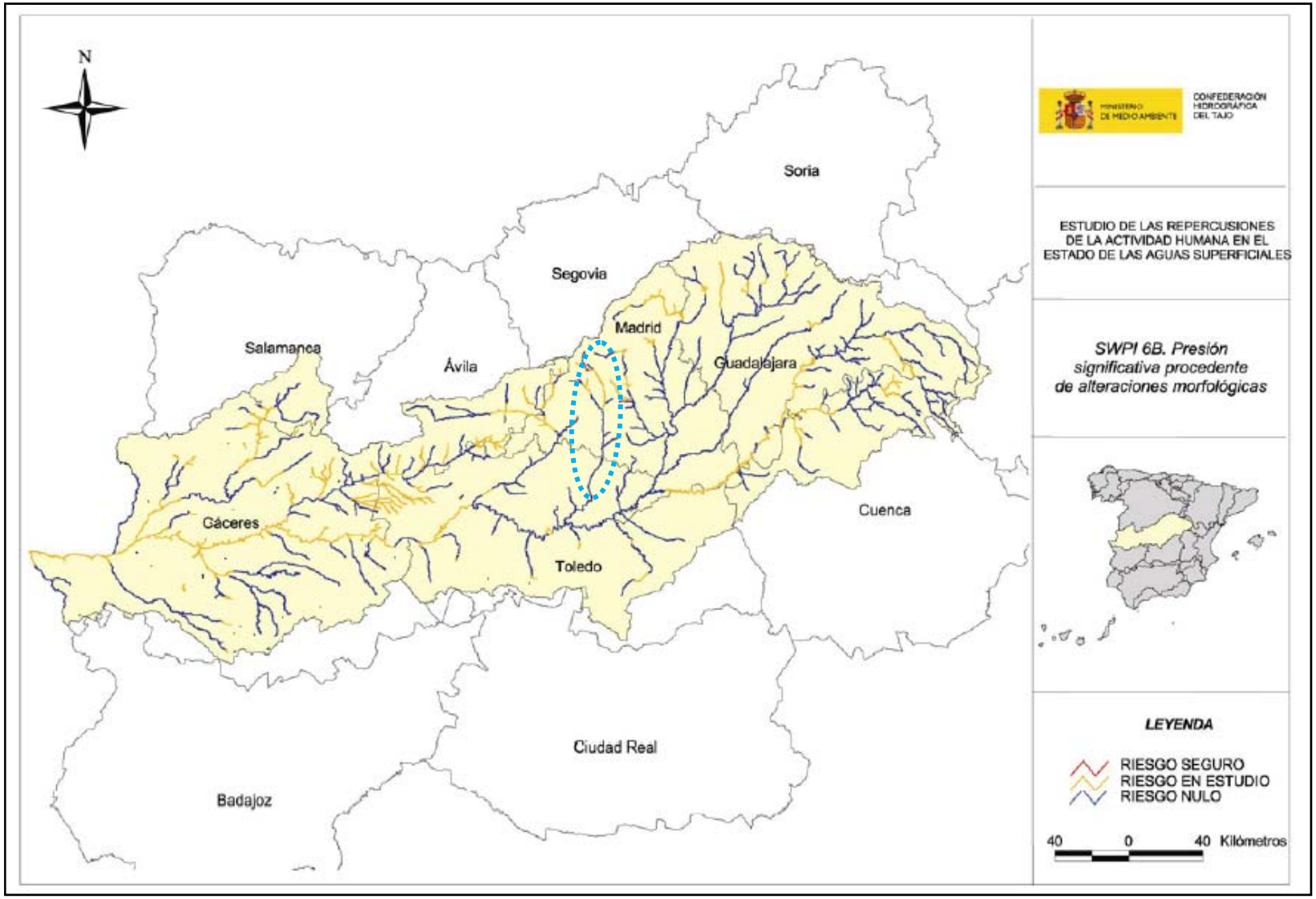


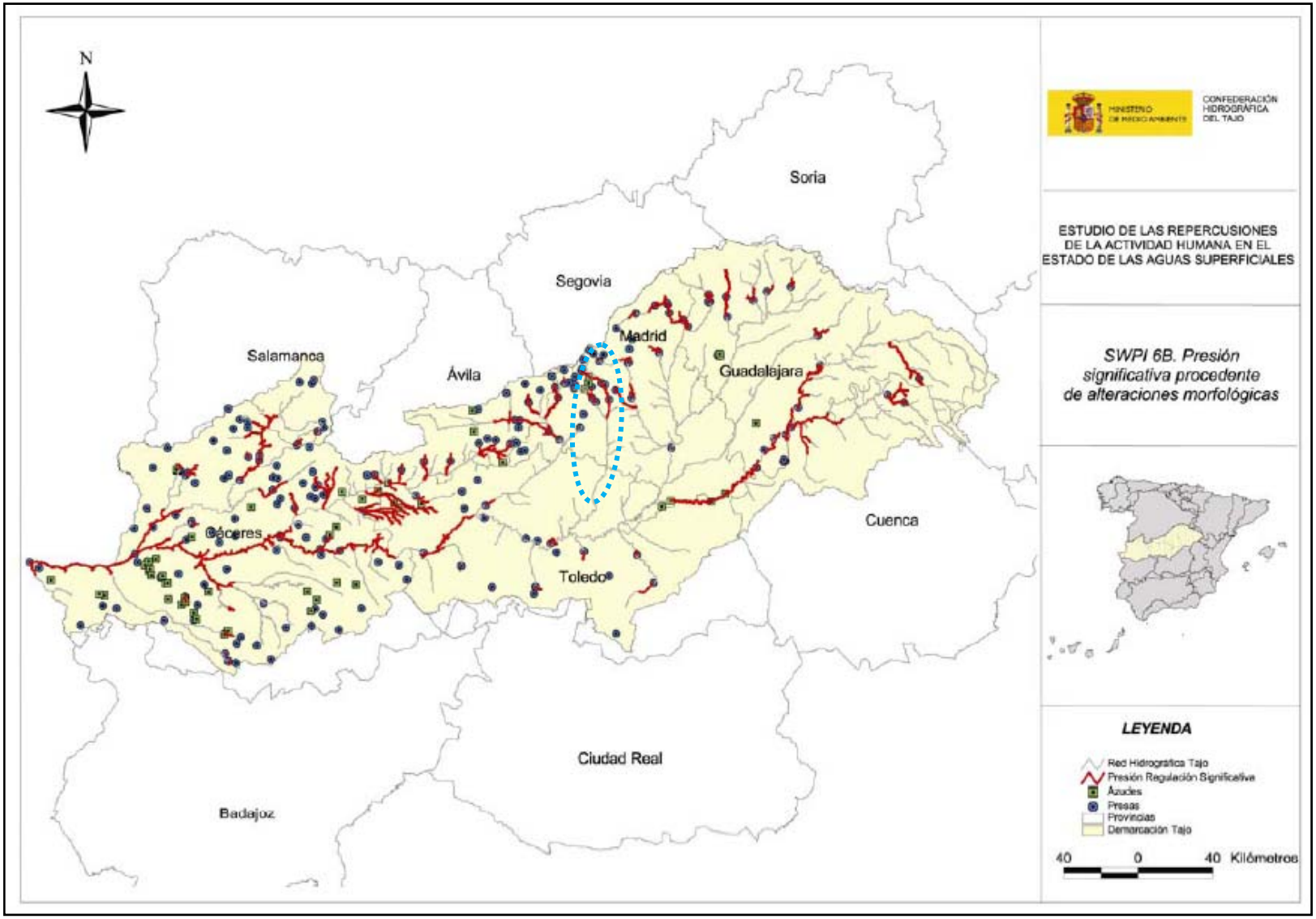

N
Soria
Segovia
Salamanca
Ávila
Madrid
Guadalajara
Cuenca
Cáceres
Toledo
Ciudad Real
Badajoz
MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE
CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL TAJO
ESTUDIO DE LAS REPERCUSIONES DE LA ACTIVIDAD HUMANA EN EL ESTADO DE LAS AGUAS SUPERFICIALES
SWPI 2. Identificación de las masas de agua en riesgo
LEYENDA
RIESGO SEGURO
RIESGO EN ESTUDIO
RIESGO NULO
40 0 40 Kilómetros

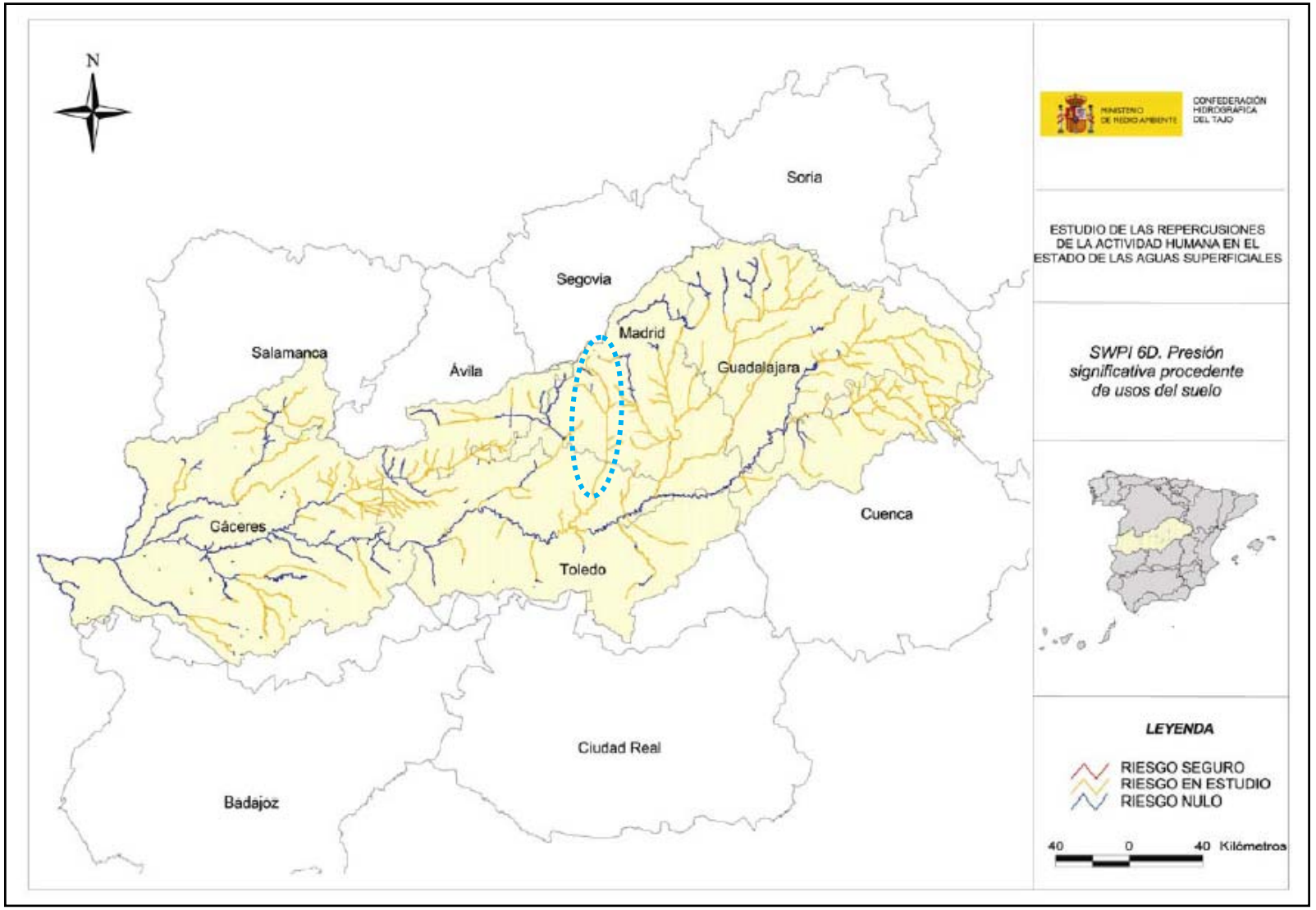

N
MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE
CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL TAJO
ESTUDIO DE LAS REPERCUSIONES DE LA ACTIVIDAD HUMANA EN EL ESTADO DE LAS AGUAS SUPERFICIALES
SWPI 4. Presión significativa procedente defuentes difusas de contaminación
Soria
Segovia
Salamanca
Ávila
Madrid
Guadalajara
Cuenca
Cáceres
Toledo
Ciudad Real
Badajoz
LEYENDA
Gasolineras
Aeropuertos
Zonas urbanas
Zonas de secano
Zonas de regadío
Zonas recreativas
Zonas quemadas
Zonas mineras
Vías de transporte
Suelos contaminados
Praderas
Bovino
Caprino
Equino
Ovino
Porcino
Red Hidrográfica Tajo
Provincias
Demarcación Tajo
40 0 40 Kilómetros

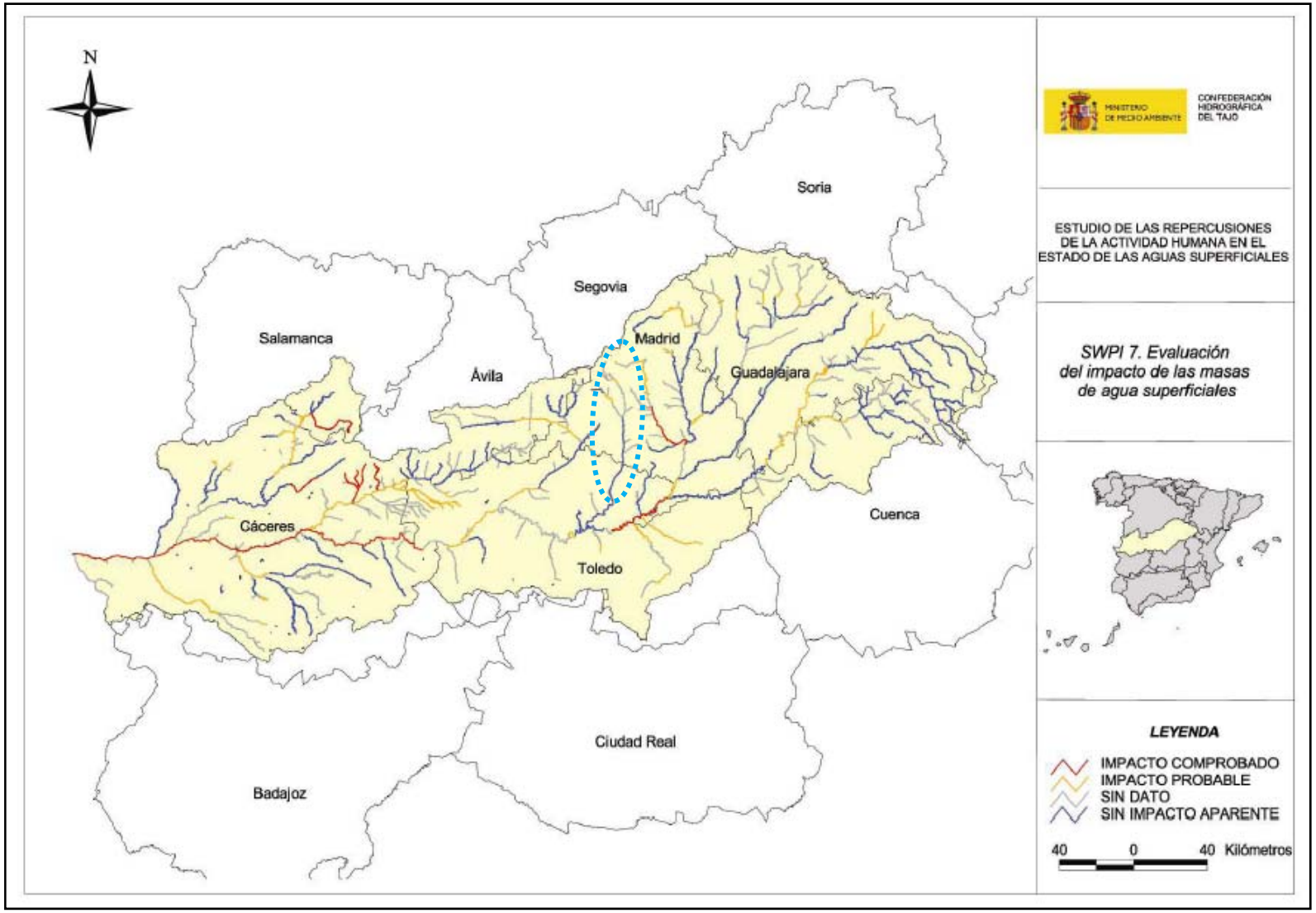

N
Soria
Segovia
Madrid
Salamanca
Ávila
Guadalajara
Cáceres
Cuenca
Toledo
Ciudad Real
Badajoz
MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE
CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL TAJO
ESTUDIO DE LAS REPERCUSIONES DE LA ACTIVIDAD HUMANA EN EL ESTADO DE LAS AGUAS SUPERFICIALES
SWPI 6A. Presión significativa procedente de regulación
LEYENDA
RIESGO SEGURO
RIESGO EN ESTUDIO
RIESGO NULO
40 0 40 Kilómetros


N
Soria
Segovia
Madrid
Guadalajara
Salamanca
Ávila
Cáceres
Toledo
Cuenca
Ciudad Real
Badajoz
MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE
CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL TAJO
ESTUDIO DE LAS REPERCUSIONES DE LA ACTIVIDAD HUMANA EN EL ESTADO DE LAS AGUAS SUPERFICIALES
SWPI 6A. Presión significativa procedente de regulación
LEYENDA
Presión Regulación Significativa
Embalses
Red Hidrográfica Tajo
Provincias
Demarcación Tajo
40 0 40 Kilómetros


N
Soria
Segovia
Madrid
Salamanca
Ávila
Guadalajara
Cáceres
Toledo
Cuenca
Ciudad Real
Badajoz
MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE
CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL TAJO
ESTUDIO DE LAS REPERCUSIONES DE LA ACTIVIDAD HUMANA EN EL ESTADO DE LAS AGUAS SUPERFICIALES
SWPI 6B. Presión significativa procedente de alteraciones morfológicas
LEYENDA
RIESGO SEGURO
RIESGO EN ESTUDIO
RIESGO NULO
40 0 40 Kilómetros


N
Soria
Segovia
Madrid
Guadalajara
Salamanca
Ávila
Cuenca
Cáceres
Toledo
Ciudad Real
Badajoz
CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL TAJO
ESTUDIO DE LAS REPERCUSIONES DE LA ACTIVIDAD HUMANA EN EL ESTADO DE LAS AGUAS SUPERFICIALES
SWPI 6B. Presión significativa procedente de alteraciones morfológicas
LEYENDA
Red Hidrográfica Tajo
Presión Regulación Significativa
Azudes
Presas
Provincias
Demarcación Tajo
40 0 40 Kilómetros


N
Soria
Segovia
Madrid
Salamanca
Ávila
Guadalajara
Cáceres
Cuenca
Toledo
Ciudad Real
Badajoz
MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE
CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL TAJO
ESTUDIO DE LAS REPERCUSIONES DE LA ACTIVIDAD HUMANA EN EL ESTADO DE LAS AGUAS SUPERFICIALES
SWPI 6D. Presión significativa procedente de usos del suelo
LEYENDA
RIESGO SEGURO
RIESGO EN ESTUDIO
RIESGO NULO
40 0 40 Kilómetros


N
Soria
Segovia
Salamanca
Ávila
Madrid
Guadalajara
Cáceres
Cuenca
Toledo
Ciudad Real
Badajoz
MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE
CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL TAJO
ESTUDIO DE LAS REPERCUSIONES DE LA ACTIVIDAD HUMANA EN EL ESTADO DE LAS AGUAS SUPERFICIALES
SWPI 7. Evaluación del impacto de las masas de agua superficiales
LEYENDA
IMPACTO COMPROBADO
IMPACTO PROBABLE
SIN DATO
SIN IMPACTO APARENTE
40 0 40 Kilómetros