



ESTUDIO DE INUNDABILIDAD DEL CAUCE DEL RÍO ANTAS EN SU TRAMO DE DESEMBOCADURA CON EL MAR MEDITERRÁNEO



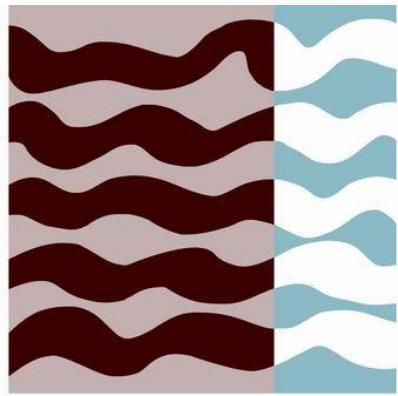
Director del proyecto:

D. Victoriano Martínez Álvarez
Director del Departamento de Ingeniería
de los Alimentos y Equipamiento Agrícola
Ingeniería Agroforestal

Alumno:

Javier Rodríguez Contreras

Septiembre de 2014



ETSia
Cartagena

ESTUDIO DE INUNDABILIDAD DEL
CAUCE DEL RÍO ANTAS EN SU TRAMO
DE DESEMBOCADURA CON EL MAR
MEDITERRÁNEO

JAVIER RODRÍGUEZ CONTRERAS

2014

0. INDICE.....	2
1. ANTECEDENTES.....	3
2. OBJETO.....	3
3. CARACTERIZACIÓN GENERAL DE LA CUENCA DE ESTUDIO.....	3
3.1 Características Climáticas de la Cuenca Hidrográfica del Sur en la Provincia de Almería.....	3
3.2 Características Geológicas de la Cuenca Hidrográfica del Sur en la Provincia de Almería.....	7
3.3. Características de la Cuenca de Estudio.....	9
4. CARTOGRAFÍA EMPLEADA.....	10
5. CÁLCULOS HIDROLÓGICOS.....	11
5.1. Usos y Tipos del Suelo.....	12
5.2. Estimación de Parámetros Hidrológicos.....	13
5.2.1. Número de Curva Y Umbrales de Escorrentía.....	13
5.3. Tiempos de Concentración y de Desfase.....	15
5.4. Estimación de Precipitaciones de Cálculo.....	17
5.4.1. Precipitaciones.....	17
5.4.1.1. Duración Total del Aguacero.....	17
5.4.1.2. Curva Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF).....	17
5.4.1.3. Estimación del Hietograma de Diseño.....	18
6. MODELACIÓN DE LA CUENCA.....	18
6.1. Modelo de Cuenca.....	19
6.2. Modelos Meteorológicos.....	20
6.3. Especificaciones de Control.....	20
6.4. Medidores de Precipitación.....	21
6.5. Resultados de la Modelización.....	22
7. DETERMINACIÓN DE LA ZONA DE INUNDACIÓN.....	23
7.1. Cálculo Hidráulico.....	23
7.1.1. Metodología.....	23
7.1.1.1. Bases de Cálculo.....	23
7.1.1.1.1. Esquema Numérico de Resolución. Método Paso a Paso.....	25
7.1.1.1.2. Hipótesis Adoptadas.....	27
7.1.1.1.3. Datos de Partida.....	27
7.1.1.1.4. Caudales de cálculo.....	28
7.1.1.1.5. Resultados Obtenidos.....	28
8. CONCLUSIONES.....	28
9. LEGISLACIÓN ASOCIADA.....	29
10. BIBLIOGRAFÍA.....	30
ANEJO I. TABLA DE ATRIBUTOS DE USOS Y TIPOS DEL SUELOS DE LA CUENCA DE ESTUDIO CON SU CORRESPONDIENTE UMBRAL DE ESCORRENTÍA Y NÚMERO DE CURVA.....	32
ANEJO II. CÁLCULO DE LAS CURVAS IDF SINTÉTICAS.....	33
A2.1. Obtención de la intensidad máxima diaria para el periodo de retorno.....	35
A.2.2. Estimación del parámetro I1/I24.....	37
A.2.3. Obtención de la intensidad máxima para cualquier intervalo t.....	37
ANEJO III. RESULTADOS DE HEC HMS: CAUDALES DE AVENIDA –HIDROGRAMAS.....	41
ANEJO IV. ESTUDIO HIDRÁULICO. RESULTADOS GRÁFICOS.....	52
ANEJO V. PLANOS.....	63

1. ANTECEDENTES

Las inundaciones están consideradas como uno de los riesgos climáticos que provocan un mayor número de pérdidas, tanto económicas como humanas, en toda España y, más concretamente, en Andalucía y Levante.

En cuanto a su evolución temporal, también los efectos de las mismas han tenido consecuencias cada vez más graves, fruto de la evolución del asentamiento de determinadas infraestructuras y núcleos habitados en zonas propicias a la inundación y anegación de estos terrenos. Entre los factores que causan una inundación habría que diferenciar entre los de tipo natural y los antrópicos. En los últimos decenios, éstos últimos han cobrado un protagonismo creciente, sobre todo en lo que a efectos del fenómeno de inundación se refiere; los distintos usos del suelo en zonas inundables y la ocupación de terrenos proclives a la anegación suelen derivar en la amplificación de los efectos de un episodio de inundación.

Andalucía, situada a caballo entre los rasgos climáticos propios de dos ambientes distintos, vertiente mediterránea y atlántica, es una región sometida a la influencia de precipitaciones intensas de tipo convectivo, a lo que hay que añadir otros factores como un relieve abrupto, escasa cubierta vegetal y territorios con una elevada densidad de población y concentración de actividades. Estos factores convierten a la región en un territorio especialmente vulnerable a las inundaciones y así lo corroboran las acontecidas en el pasado, con daños graves y pérdidas notables.

2. OBJETO

El presente documento tiene por objeto la modelización hidrológica e hidráulica del cauce del Río Antas, estudiando la máxima inundación previsible, para avenidas extraordinarias con periodo de retorno de 500 años, en un tramo de aproximadamente 2 km en la desembocadura del cauce con el Mar Mediterráneo. Definiendo las zonas susceptibles de inundación por las crecidas del curso fluvial.

3. CARACTERIZACIÓN GENERAL DE LA CUENCA DE ESTUDIO

3.1. Características Climáticas de la Cuenca Hidrográfica del Sur en la Provincia de Almería.

Los cauces principales de la Cuenca Hidrográfica del Sur en la provincia de Almería, son de Este a Oeste, Río Almanzora, Río Antas, Río Aguas, Rambla Morales, Río Andarax, Río Adra.

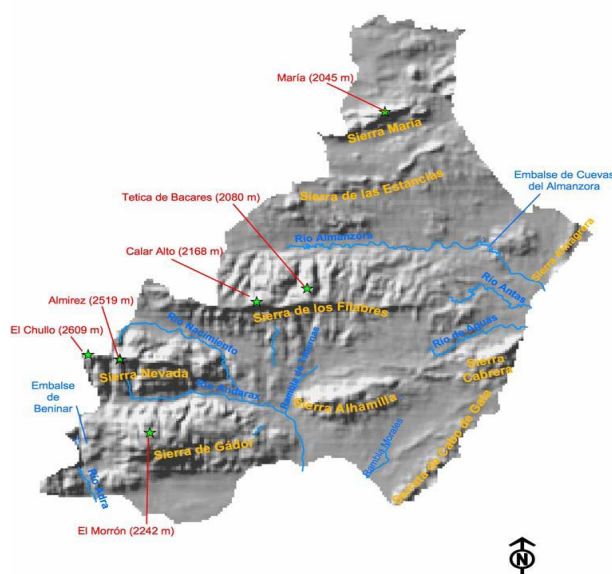


Figura 1. Principales cauces de la provincia de Almería

La característica más acusada del paisaje natural almeriense, a primera vista, es la de su aridez. La aridez no es un hecho insólito en el clima mediterráneo sino la norma, de forma que Almería es sólo un caso relevante en el ecosistema mediterráneo. En su conjunto, el clima se define como subdesértico, mediterráneo, cálido y seco. Entre sus características más destacables está su cielo despejado y luminoso (insolación media anual entre 3000 y 3600 horas de sol y nubosidad de 35 días al año), con veranos cálidos e inviernos templados. La pluviometría es escasa, siendo en algunos puntos del Cabo de Gata el lugar donde menos llueve de España (≈ 125 mm) y el desierto de Tabernas el único desierto, técnicamente, del continente europeo. Si bien las temperaturas medias anuales se encuentran entre los 22°C del verano y los 12°C del invierno, dadas las grandes variaciones de altitud estas temperaturas presentan un rango relativamente amplio. Así, mientras que en Cabo de Gata las temperaturas medias anuales se mueven en la franja de $12,3^{\circ}\text{C}$ a $24,8^{\circ}\text{C}$, en Bacares, a 1213 metros de altitud, lo hacen entre los $4,4^{\circ}\text{C}$ y $19,2^{\circ}\text{C}$. Las temperaturas medias anuales más comunes van desde los 18°C de la zona costera a los 16°C del interior, ascendiendo hasta 20°C en algunas zonas próximas a la población de Vera (este de la provincia), y descendiendo hasta 10°C en las zonas más elevadas de la Sierra Nevada almeriense (Chullo y Almirez) y hasta 12°C en algunos puntos de los Filabres (Calar Alto) y en Sierra de María.



Figura 2. Temperaturas Medias en la provincia de Almería.

Con respecto a las precipitaciones medias, también se aprecian importantes variaciones. En general oscilan entre los escasos 200 mm de Cabo de Gata y los casi 650 mm de la Sierra Nevada almeriense (norte de Laujar de Andarax). Si exceptuamos las zonas más montañosas, dichas precipitaciones están comprendidas entre los 175 mm y los 300 mm, con clara tendencia a disminuir hacia la costa. En las áreas montañosas tienden a incrementarse claramente, oscilando entre los 300-400 mm de las sierras de Gádor y Filabres, hasta los 400-550 mm de Sierra María y los más de 550 mm que se dan en Sierra Nevada.

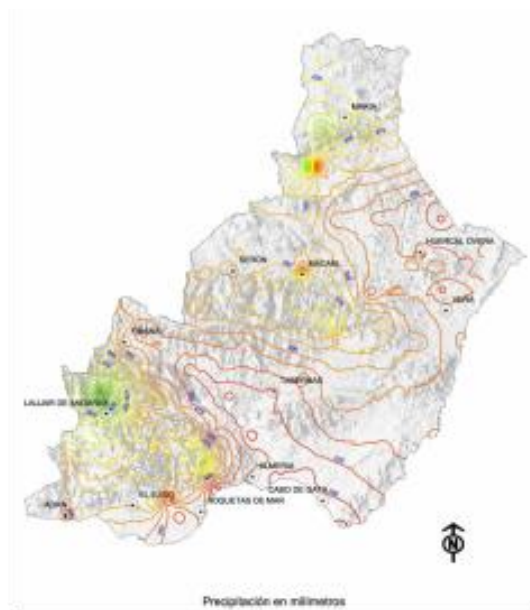


Figura 3. Precipitación media en la provincia de Almería

En cualquier caso, las precipitaciones medias anuales son muy variables y así, durante el pasado siglo, fluctuaron entre 50 mm y más de 500 mm.

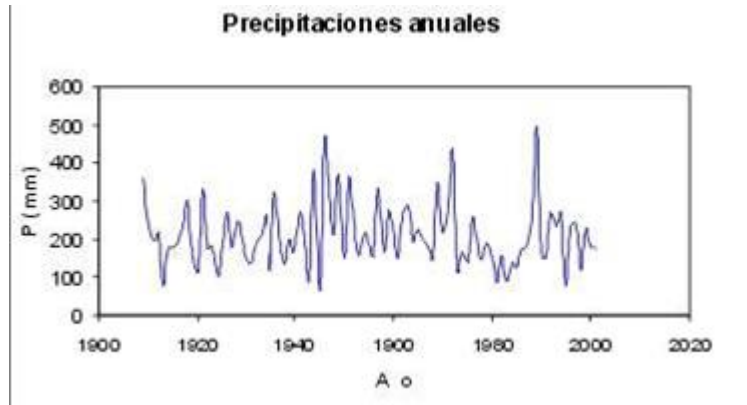


Figura 4. Evolución de las precipitaciones

Las relativamente elevadas temperaturas y las bajas precipitaciones hacen que la mayor parte de los suelos de Almería presenten largos períodos de déficit hídrico. En los casos más extremos del Cabo de Gata (30 m de altitud) dicho déficit se extiende a los 12 meses del año, con una evapotranspiración potencial (940 mm) más de siete veces superior a la precipitación (150 mm). Por el contrario, en las Menas de Serón situadas a 1400 m de altitud, el período de déficit se reduce a 2 meses y medio (desde mitad de julio hasta principios de octubre) y la ETP (600 mm) es sólo 1,5 veces superior a la precipitación (400 mm). Como es lógico, el periodo de déficit está relacionado con la precipitación y la temperatura medias de cada zona y, en general, cuando las precipitaciones están comprendidas entre 200 y 300 mm y las temperaturas medias entre 16-18°C, el período de déficit de los suelos está comprendido entre 6 y 9 meses al año, siempre en función de la capacidad de retención de agua del suelo. Cuando las precipitaciones son superiores a 300 mm y la temperatura media en torno a 16°C, el período de déficit está comprendido entre 3 y 5 meses; mientras que cuando la temperatura media es inferior a 16°C, el período de déficit suele ser inferior a 3 meses. No obstante, en ningún caso es inferior a 2 meses y medio (desde julio a mediados de septiembre, o desde mediados de julio a finales de septiembre).

Este volumen de precipitaciones tan escaso es consecuencia de la circulación atmosférica general del mediterráneo. Los vientos húmedos del frente Atlántico (vientos del oeste), como consecuencia de sus movimientos ascensionales a su paso por los numerosos relieves existentes entre la costa atlántica y Almería, van descargando progresivamente la mayor parte de la humedad, hasta llegar a Sierra Nevada, donde terminan por dejar la poca que les queda, de forma que llegan a la provincia de Almería prácticamente secos. Por tanto, las mayores precipitaciones ocurren sin intervención del frente Atlántico, siendo los frentes del Mediterráneo, entre los meses de septiembre y octubre, los que las producen (gotas frías). Este hecho queda evidenciado desde el siglo XVIII por las siguientes referencias:

En Bentarique el río Andarax es de curso perenne, aunque escaso de aguas, especialmente en verano, y su cauce poco profundo, ocasiona frecuentes desbordamientos, contándose entre las más desastrosas las ocurridas en 29 de septiembre de 1790 y 3 del mismo mes de 1830, que causaron los mayores estragos (Madoz, 1845).

En Almería la mañana del 10 de octubre de 1814 se origina una fuerte tormenta y lluvias torrenciales que provocaron el desbordamiento de las ramblas de la Puerta Purchena, Belén, Cruz de Caravaca, Chanca y Alfareros (Echegaray, 1851).

El río tiene frecuentes desbordamientos, la última y más desastrosa de que hay memoria, fue la ocurrida el 3 de septiembre de 1830, que después de inundar toda la vega, arrastró molinos, árboles, ganados, y aun haciendas enteras (Madoz, 1845).

El 18 y 19 de octubre de 1973, las lluvias torrenciales ocasionaron, además de irreparables pérdidas humanas, la desaparición de cultivos, afectando gravemente a poblaciones que se asentaban en los márgenes o cauces de las ramblas. En esta ocasión rebasaron en algunas zonas los 100 mm, destacando Murtas con 350 mm y Zurgena con 600 mm durante el día 19.

Por último mencionar lo ocurrido en Vera Playa y Garrucha el día 28 de septiembre de 2012, cuando el cauce del río Antas se desbordo completamente inundando las urbanizaciones de Las Marianas y Puerto Rey, generando numerosos daños materiales.

3.2. Características Geológicas de la Cuenca Hidrográfica del Sur en la Provincia de Almería.

La cuenca hidrográfica del sur en la provincia de Almería comprende cuatro grandes conjuntos de unidades geológicas, litológicas y estructurales. La mayor parte de la provincia está ocupada por las Zonas Internas y Externas de las Cordilleras Béticas (Fallot, 1930). Las primeras constituidas por materiales de edad Paleozoica y Triásica y, las segundas, por materiales del Trías Medio, Jurásico, Cretácico y Eoceno). Además, están presentes los materiales de las grandes Cuencas Neógenas (Mioceno inferior y medio, Mioceno superior y Plioceno) y las rocas volcánicas del Mioceno medio y superior.

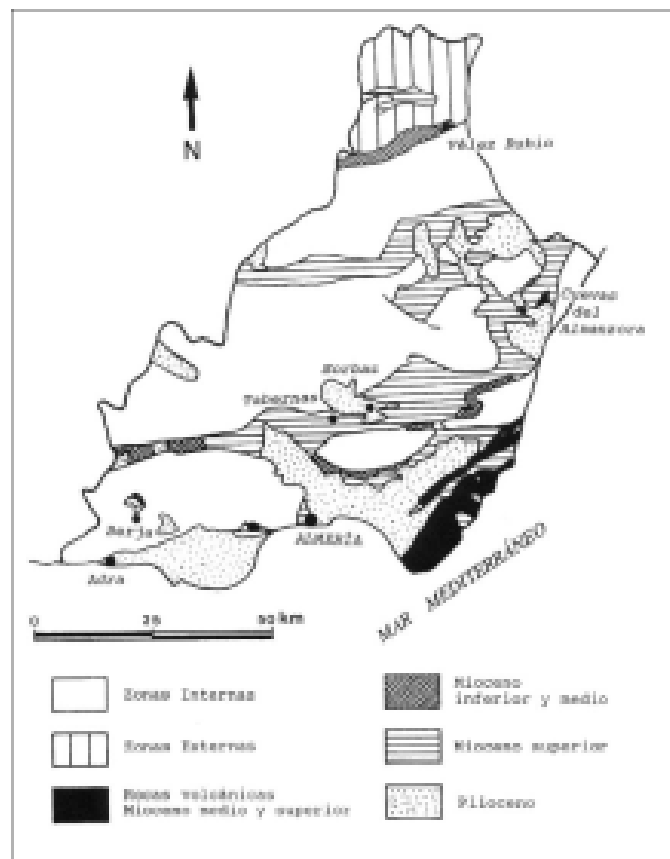


Figura 5. Mapa de Zonificación Geológica

La Zona Interna aflora en la provincia de Almería a través de tres grandes unidades que, de mayor a menor edad, son: Complejo Nevado Filábride, Complejo Alpujárride y Complejo Maláguide, estando afectadas por metamorfismo regional alpino de diferente grado.

El Complejo Nevado Filábride, definido por Brouwer (1926), se presenta en las estribaciones orientales de Sierra Nevada y Sierra de los Filabres, la vertiente sur y sureste de la Sierra de Cabrera, y en Sierra Almagrera. Son rocas que han sufrido un metamorfismo polifásico de tipo alpino con facies de grado medio (Puga et al, 1974). La litología presenta dos unidades, la inferior constituida por mica-esquistos y cuarcitas y, la superior, por mármoles, néises, anfibolitas y mica-esquistos.

El Complejo Alpujárride, definido por Van Bemmelen (1927) y Egeler y Simón (1969), aflora en las sierras de Gádor, Alhamilla, Cabrera, Almagro y de las Estancias. Se diferencian en él dos unidades tectónicas. La primera unidad presenta dos tramos, uno de edad Paleozoico inferior a Silúrico constituido por esquistos grafitosos y cuarcitas con niveles de néises y rocas carbonatadas, y otro, de edad Permo-Weferniense, constituido por filitas con intercalaciones de cuarcitas. La segunda unidad constituye la serie carbonatada triásica formada esencialmente por dolomías grises con intercalaciones de calizas, margas fosilíferas e incluso lutitas amarillentas.

La Zona Externa aflora a través de los materiales subbéticos de Sierra de María, al norte de la provincia. Su edad está comprendida entre el Trías Medio y el Jurásico, mientras que su litología está caracterizada por arcillas con yesos triásicas, calizas oolíticas jurásicas, margas y margocalizas cretácicas y calizas y margas eocenas.

En la siguiente figura se muestra el mapa de suelos de la provincia de Almería.

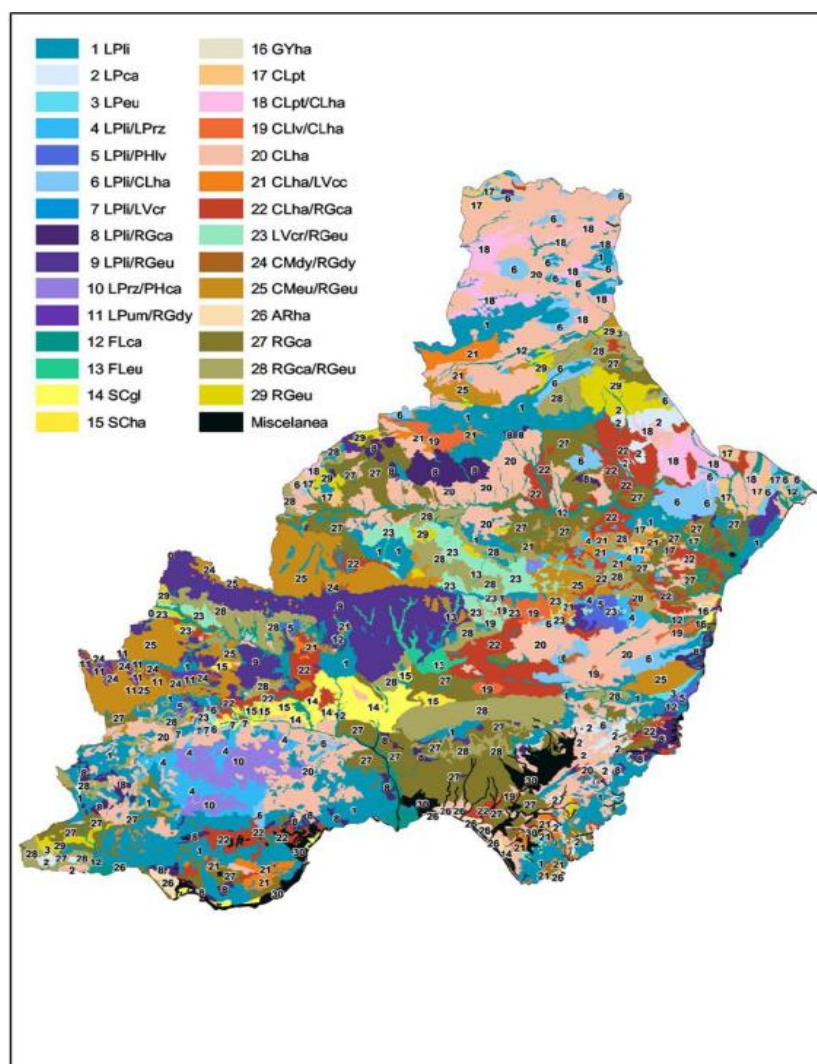


Figura 6. Mapa de suelos de la provincia de Almería

Todas estas características influyen en la riqueza y variedad paisajística de la zona. Sierras, llanuras, ramblas y litoral se combinan bajo ese manto de aridez, produciendo escenarios singulares, muchos de ellos bajo protección especial, donde se desarrolla una flora y fauna caracterizadas por su adaptación al medio.

3.3. Características de la Cuenca de Estudio.

La cuenca de estudio se encuentra enclavada en la Cuenca Hidrográfica del Sur.

El Río Antas nace en las estribaciones de la sierra de Filabres en el término municipal de Lubrín, nutriéndose en épocas de lluvias de las Ramblas del Cajete, Salaosa,

Lisbona. La cuenca la forman los pueblos de: Lubrín, Los Gallardos, Bédar, Vera y Antas y desemboca en el término municipal de Vera, en la playa de La Almica, formando una laguna.

Destaca el arranque de la sierra de Filabres, con sus primeras bancadas de mármol en las proximidades del Tranco, ubicadas en territorio antense y el Cabezo María, originado por las erupciones de un volcán del plioceno. Son cerros y lomas más sobresalientes: Cerro Lobero, Loma del Campanario, Sierra Lisbona, Loma del Perro.

El clima es árido y está condicionado por los vientos, el de poniente es frío y está asociado al frente atlántico, el de levante es cálido y procedente del Mediterráneo.

El relieve modifica y condiciona ciertas predisposiciones climatológicas. Como característico de la zona por la proximidad del desierto africano, en verano, son las nubes de polvo que traen unas temperaturas muy altas, con una media anual de 20º - 21º C, las extremas pueden ser de 10º los días más fríos por la gota fría que provoca nubes de desarrollo vertical y de 41º los días más calurosos.

La insolación que recibe es altísima, puede ser superior a las 3.200 horas de sol al año.

Las precipitaciones son escasas, encontrándonos en la zona de menos precipitaciones de toda la península. Llueve de 20 a 30 días al año y con una intensidad de 100 a 150 mm.

La vegetación es xerófila y termófila, propia de zonas desérticas, abunda el esparto, tomillo, romero, retamas, taráis, palmitos, albardas y bojás.

4. CARTOGRAFIA EMPLEADA

Para la realización del estudio hidrológico se ha empleado el Modelo Digital del Terreno de Centro Nacional de Información Geográfica. Se trata de un modelo digital del terreno con paso de malla de 25 m, con la misma distribución de hojas que el Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000. Formato de archivo ASCII matriz ESRI (asc). Sistema geodésico de referencia ETRS89 y proyección UTM en el huso correspondiente a cada hoja.

En el caso del estudio hidráulico se ha empleado el MDT de Centro Nacional de Información Geográfica, que es un modelo digital del terreno con paso de malla de 5 m, con la misma distribución de hojas que el Mapa Topográfico Nacional a escala 50.000. Formato de archivo ASCII matriz ESRI (asc). Sistema geodésico de referencia ETRS89 y proyección UTM en el huso correspondiente a cada hoja. Según la hoja de que se trate, el MDT05 se ha obtenido de una de las dos siguientes formas: por estereocorrelación automática de vuelos fotogramétricos del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) con resolución de 25 a 50cm/píxel, revisada e interpolada con líneas de ruptura donde fuera viable, o bien por interpolación a partir la clase terreno de vuelos LIDAR del PNOA.

Por otro lado se ha utilizado para la elaboración de la planimetría del proyecto el Mapa Topográfico Nacional a escala 1:25.000 del Instituto Geológico y Minero, la Ortofotografía Aérea (PNOA) con resolución de 25 a 50cm/píxel en formato ECW, sistema geodésico de referencia ETRS89 y proyección UTM en el huso correspondiente a cada hoja, y recorte de imagen georreferenciada de la aplicación IBERPIX.

5. CÁLCULOS HIDROLÓGICOS

El estudio hidrológico se ha abordado mediante la aplicación de las técnicas de cálculo hidrometeorológico de avenidas, basado en la simulación del proceso precipitación-escorrentía a partir de los datos de lluvia sobre la cuenca y de las características físicas de la misma. Para realizar la simulación se ha empleado el software HEC-HMS, del Hidrologic Engineering Center del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, a partir de los datos de precipitación máxima diaria esperada obtenidos de la publicación del Ministerio de Fomento, Máximas Lluvias de la España Peninsular, en la cual a partir de un punto de coordenadas UTM ED 50 del centroide de cada una de las subcuencas, se obtienen los valores de Precipitación Media P_{media} , Coeficiente de Variación C_V y Precipitación máxima en 24 horas P_t , para cada una de ellas.

Para delimitar y caracterizar la cuenca hidrológica se ha utilizado el modelo de datos Arc HYDRO, que es un modelo geoespacial y temporal que opera en el Software Arcgis 10.1 y prepara los datos para modelaciones hidrológicas. En nuestro caso, partiendo del Módulo Digital del Terreno (MDT) de 25 m del Instituto Geográfico Nacional.

Para estimar los parámetros hidrológicos de la cuenca es necesario conocer una serie de características físicas de la misma, como son:

- Área
- Longitud del curso principal
- Pendiente del curso principal
- Usos de suelo
- Tipos de suelo

De ellos, longitud y pendiente se emplearán para estimar el tiempo de concentración de la cuenca, mientras que a partir de los usos y tipos de suelo se estimará el parámetro de umbral de escorrentía y número de curva. El comportamiento hidrológico de una cuenca depende de factores físicos como pendiente, humedad inicial, tipo y uso de suelo, ya que todos ellos determinan la lluvia neta que será la que generará escorrentía y por tanto la responsable de la avenida.

La pendiente media (S_m) es la relación entre la altura total del cauce principal (cota máxima menos cota mínima) y la longitud del mismo.

Para la modelización hidrológica de cuenca de estudio con HEC- HMS se han realizado 6 subdivisiones de la misma, tomando como criterio la formación de subcuencas cuyo tiempo de concentración sea inferior a 6 horas. Y en la que los usos y tipos del suelo se han lo más homogéneos posibles.

En la tabla 1 se muestran las superficies en Km^2 de cada una de las subcuencas HMS generadas con Argis 10.1, además de su nomenclatura.

Shape *	HydroID	Name	Area_HMS
Polígono	51	W510	58.313125
Polígono	65	W650	48.324375
Polígono	66	W660	48.511875
Polígono	74	W740	82.019375
Polígono	88	W880	28.91375

Tabla 1. Superficie de las subcuencas en Km²

La superficie total de la cuenca de estudio en su desembocadura con el Mar Mediterráneo es de 266,07 Km².

En la tabla 2 se muestran las longitudes de los cauces principales de cada una de la subcuencas en metros, las cotas superiores e inferiores de los tramo en m.s.n.m, así como la pendiente media del tramos principales en tanto por uno.

La pendiente media es la relación entre la altura total del cauce principal y la longitud del mismo, y viene dada mediante la siguiente formula;

$$S_m = \frac{H_{m\acute{a}x} - H_{m\grave{i}n}}{L}$$

Shape *	DrainID	LongestFL	ElevUP	Elev10	Slp
Polilínea	51	20128.263876	631	126	0.027225
Polilínea	88	10553.668825	181	2	0.009286
Polilínea	65	24108.31528	565	103	0.019993
Polilínea	74	26433.036598	1059	418	0.025196
Polilínea	66	15854.583323	592	41	0.03551

Tabla 2. Longitud de flujo preferente y Pendientes

5.1 Usos y Tipos de Suelo

El comportamiento hidrológico de una cuenca durante una crecida está fuertemente influido por el tipo de suelo y el uso que se le da al mismo. Estas dos características junto con la pendiente del terreno y su humedad inicial determinan la lluvia neta, es decir, la parte de la lluvia total que no es interceptada por la vegetación, es almacenada en depresiones o se infiltra. En definitiva es la que produce escorrentía y genera la onda de avenida.

El método empleado para determinar la lluvia neta es el del número de curva, propuesto por el Soil Conservation Service (S.C.S) de los EE.UU. Este método utiliza una clasificación basada en los usos y tipos de suelo.

En el plano 3 se han representado los tipos de suelo de la cuenca considerada en el estudio. Esta información se ha obtenido a partir de la Geología de la Cuenca Sur a escala 1:50.000 elaborada por el Instituto Geológico y Minero de España y actualizada en 2006.

En el planos 4 se han representado los usos de suelo de la cuenca. Esta información se ha obtenido a partir del Mapa de Usos y Coberturas Vegetales de Andalucía a escala 1:25.000 (MUCVA25), que se actualiza cada 4 años desde 1999 y cuya última edición contiene los datos de 2007.

Los tipos de suelo se corresponden con la clasificación hidrológica de suelos que establece el SCS:

- Grupo A: En ellos el agua se infiltra rápidamente, aun cuando estén muy húmedos. Son profundos y de texturas gruesas (arenosas o areno limosas), están excesivamente drenados.
- Grupo B: Cuando están muy húmedos tienen una capacidad de infiltración moderada. La profundidad del suelo es de media a profunda y su textura franco-arenosa, franca, franca- arcillosa o franco-limosa. Están moderadamente o bien drenados.
- Grupo C: cuando están muy húmedos la infiltración es lenta. La profundidad del suelo es inferior a la media y su textura es francoarcillosa, franco-arcillo-limosa o arcillo-arenosa. Son suelos imperfectamente drenados.
- Grupo D: Cuando están muy húmedos, la infiltración es muy lenta. Presentan horizontes de arcilla en superficie o próximos a ella y están pobre o muy pobremente drenados.

La permeabilidad de la cuenca se muestra en las tablas incluidas en el Anejo I, obtenidas para cada una de los tipos de suelo que componen las superficies incluidas en la cuenca de estudio.

5.2. Estimación de Parámetros Hidrológicos

5.2.1. Número de Curva y Umbrales De Escorrentía

Para la obtención del hidrograma de avenida de una cuenca es necesario conocer la lluvia neta, para lo cual se debe restar a la lluvia total las pérdidas por intercepción de la vegetación, almacenamiento en charcos e infiltración.

Dicho cálculo se realiza mediante el método del Soil Conservation Service (S.C.S) a

partir del concepto del número de curva. Así, la formulación del S.C.S es:

$$E = \frac{(P - P_0)^2}{(P - P_0) + S}$$

$$E=0 \quad \text{si} \quad P \leq P_0$$

donde:

E = Lluvia neta

P = Lluvia total

P₀ = Umbral de escorrentía

S = Retención máxima posible

En España la aplicación del número de curva se ha extendido bajo la variación que se conoce por el parámetro del umbral de escorrentía (P₀), que en términos del SCS se corresponde con la Abstracción Inicial. Puesto que:

$$P_0 = 0.2 * S$$

sustituyendo en la función precipitación-escorrentía (P-Q) del SCS, obtuvo la siguiente relación entre el parámetro P₀ (expresado en mm) y el número de curva:

$$P_0 = 0.2S = 0.2 \left(\frac{25400}{NC} - 254 \right) = \frac{5080}{NC} - 50.8$$

En las tablas incluidas en el Anejo I, se reflejan los Tipos y Usos del suelo así como la permeabilidad del mismo y Vegetación, para cada una de las superficies que componen la cuenca de estudio, obteniéndose el valor del Umbral de Escorrentía P₀, así como el Numero de Curva CN de cada recinto de la cuenca.

En el valor del CN o del P₀ interviene además la condición inicial de humedad que según el S.C.S. se clasifica en: seca, media y húmeda. Dicha condición de humedad inicial se suele definir en función de la lluvia caída en los cinco días anteriores a la tormenta de diseño.

Es importante tener en cuenta que la tabla del Anejo I, corresponde a condiciones medias de humedad inicial. Los valores del P₀ para otras condiciones iniciales de humedad del suelo se correlacionan mediante la siguiente tabla:

Po (mm)	Po (mm) correspondientes	
Condición II Medio	Condición I Húmedo	Condición III Seco
3	7	0.5
6	14	1
9	21	2
13	29	3
17	38	5
21	48	7
27	61	10
33	75	13
41	93	17
50	112	21
61	135	27
75	167	33
93	213	41
117	283	50

Tabla 3: Correspondencia del valor P0 entre las distintas condiciones de humedad

Aplicándose los datos tabulados a los usos de las cuencas de estudios y según la pendiente y la clase hidrológica, se ponderan por la superficie ocupada, y se obtienen los siguientes resultados medios de Número de Curva (MEAN), así como los máximos y mínimos.

GRID_CODE	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	MEDIAN
6	58156970	34	100	66	73.38165	73
20	47823020	34	100	66	69.0199	69
21	46844580	34	100	66	76.93686	78
29	79870340	34	100	66	73.07731	69
43	27986120	52	100	48	78.94923	75

Tabla 4. Resultados Número de Curva medio ponderado.

5.3 Tiempos de Concentración y Desfase

Para obtener el hidrograma de escorrentía de la cuenca a partir de la lluvia neta se emplea la técnica del hidrograma unitario. Se define hidrograma unitario como la escorrentía producida por una lluvia neta de 1 mm, distribuida de forma constante en un determinado intervalo de tiempo y repartida uniformemente en toda la cuenca. En este trabajo se ha empleado el hidrograma unitario del S.C.S, que es función únicamente del

tiempo de desfase de punta de la cuenca, siendo éste el tiempo transcurrido entre el centro de gravedad del hietograma efectivo y la punta del hidrograma.

El tiempo de desfase de punta se ha estimado suponiendo que viene dado por la misma expresión que se propone para el hidrograma unitario triangular de Témez, por haberse adoptado su metodología para el cálculo del tiempo de concentración, del cual depende:

$$T_{dp} = 0,35 \cdot T_c$$

donde:

Tc: tiempo de concentración de cada cuenca

Tdp: tiempo de desfase de la punta

Así, para definir el hidrograma unitario de la cuenca es necesario conocer su tiempo de concentración. En este caso se ha determinado mediante la expresión empírica propuesta por J.R. Témez en "Cálculo Hidrometeorológico de pequeñas cuencas naturales" (MOPU, 1987), válido para cuencas con superficie inferior a 3000 km² siendo:

$$T_c = 0.3 \times \left(\frac{L}{J^{\frac{1}{4}}} \right)^{0.76}$$

donde:

Tc= Tiempo de concentración en horas

L= Longitud del curso principal en km

J= Pendiente media del curso principal en m/m

Aplicando lo expuesto a la cuenca considerada, se obtienen los resultados de la siguiente tabla:

Subcuenca	T _c (min)
W51	135.305
W65	92.407
W66	159.238
W74	166.476
W88	106.244

Tabla 5. Tiempos de concentración de la Subcuencas

5.4 Estimación de Precipitaciones de Cálculo

Para el cálculo de las avenidas mediante modelación matemática distribuida es necesario partir del dato de las precipitaciones sobre cada una de la subcuencas generadas en HEC-HMS. En este caso se hace necesario obtener dichos cuantiles de cálculo para el esquema hidrológico planteado a lo largo del curso del río. En el Anejo II de muestran las tabla relacionas en las que se incluye el Volumen incrementado en mm, para cada una de la subcuencas en el periodo estudiado.

5.4.1. Precipitaciones

El análisis de las precipitaciones es básico dentro de cualquier estudio hidrológico, cuantificar los recursos hídricos, puesto que constituyen la principal entrada de agua a una cuenca.

5.4.1.1. Duración Total del Aguacero

Debe ser caracterizado el episodio más desfavorable de lluvia en la cuenca con objeto de poder analizar cuáles son los efectos que va a provocar en la misma. Un método muy intuitivo y utilizado es el de aproximar la duración del aguacero al tiempo de concentración de la cuenca, pues en ese momento toda la cuenca está aportando escorrentía al punto de salida.

5.4.1.2. Curva Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF)

Las curvas I-D-F relacionan la intensidad de la lluvia con su duración. Para cada frecuencia de ocurrencia tenemos una curva diferente, cuanto menor es la frecuencia del episodio analizado, mayor es la intensidad. Es necesario conocer la intensidad de precipitación que corresponde a la duración del episodio de lluvia más desfavorable de la cuenca. Si utilizamos un tiempo menor al tiempo de concentración, no permitimos que toda la cuenca contribuya al caudal, y si utilizamos un tiempo mayor, la intensidad máxima será menor, por lo que la duración del episodio de lluvia más desfavorable de la cuenca corresponderá con el tiempo de concentración considerado (T_c).

En el Anejo II se ha desarrollado el procedimiento que se ha seguido para construir las curvas IDF sintéticas para la cuenca de estudio, mostrando las tablas de valores obtenidos para cada una de la subcuencas. Se ha seleccionado la curva para un período de retorno de 500 años.

$$T = 500 \text{ años} \quad I_t = 7.16 * (9.8239)^{\frac{28^{0.1} - t^{0.1}}{28^{0.1} - 1}}$$

donde:

I_t = Intensidad media en el periodo t en mm/h

t = Duración del episodio de lluvia más desfavorable de la cuenca (T_c) en horas

5.4.1.3. Estimación del hietograma de diseño

Una vez estimada la intensidad de precipitación, se va a obtener el hietograma de diseño que nos permite construir eventos artificiales de lluvia en la cuenca de estudio, en función de algunos de los parámetros característicos de la cuenca, que han sido obtenidos previamente. De entre todos los métodos existentes para el diseño de hietogramas, se ha optado por el Método de los Bloques Alternantes por ser el de mayor uso y fiabilidad a la hora de simular lo que ocurre en los eventos naturales de lluvia. Éste método se caracteriza por lo siguiente:

- Utilización de intervalos de lluvia de igual duración.
- El cálculo de la altura de lluvia en cada uno de los bloques se calcula de forma que en todo momento la altura de lluvia acumulada desde el inicio del aguacero tenga una intensidad media idéntica a las obtenidas en las relaciones IDF.

Se construye el hietograma de duración T_d como la sucesión de N bloques de duración Δt ($T_d = N \cdot \Delta t$). Dado que el tiempo de concentración total de la cuenca esta en torno a la 16,72 Horas, se realiza una aproximación a 17 horas para conformar el hietograma de diseño como la sucesión de 34 bloques de duración 30 min, tales que, en cada momento, la precipitación total corresponda a la máxima precipitación probable dada por la curva IDF para la zona de estudio. La metodología a seguir es la siguiente:




1. Cálculo de la intensidad de precipitación, utilizando la ecuación de la curva IDF obtenida.
2. Cálculo del volumen de precipitación como el producto de la intensidad por la duración.
3. Cálculo de la cantidad de precipitación correspondiente a cada intervalo de tiempo, tomando diferencias entre valores sucesivos de volumen de precipitación.
4. Se reordenan los bloques de modo que la intensidad máxima ocurra en el centro de la duración requerida T_d y los demás bloques queden en orden descendente alternativamente hacia la derecha y hacia la izquierda del bloque central para formar el pluviograma de diseño.

6. MODELACIÓN DE LA CUENCA

La modelación hidrológica de la cuenca para obtener la transformación de la precipitación caída en escorrentía superficial, se ha realizado mediante el programa HEC-HMS desarrollado por el U.S. Army Corps of Engineers en el Hydrologic Engineering Center.

6.1 Modelo De Cuenca

Argis a partir de la herramienta HEC-GEO HMS, genera los componentes hidrológicos de la cuenca de estudio, como son:

- Subcuencas  Subbasin
- Uniones  Junction
- Puntos de vertido  Reservoir

Así como los uniones entre ellos, considerando la longitud del cauce principal.

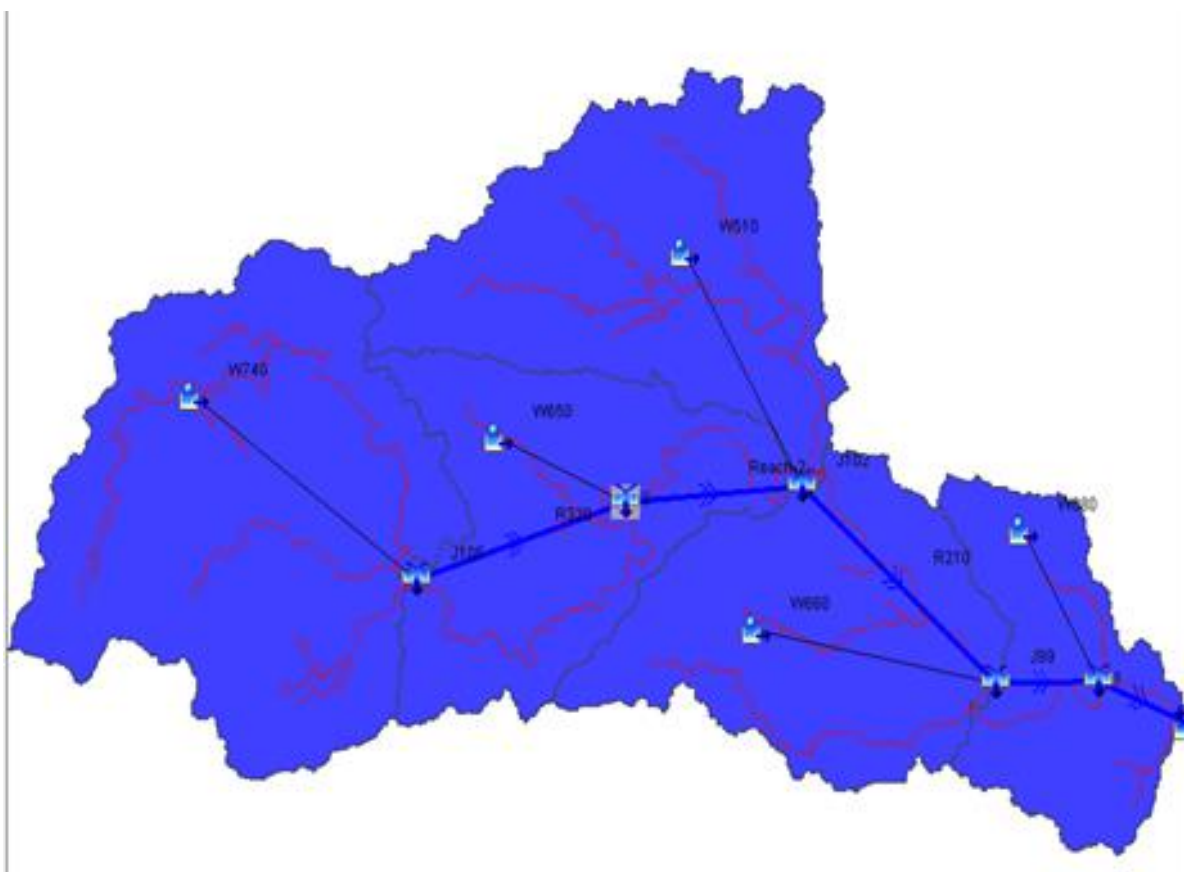


Figura 7. Vista general de la cuenca exportada de Argis a HEC-HMS.

Se ingresa la información de la cuenca:

Área de la cuenca (Km²)

Modelo de Pérdidas: Modelo de Curva Número del SCS

Pérdidas iniciales (mm)

CN (Número de Curva del SCS)

Modelo de Transformación: Método del SCS

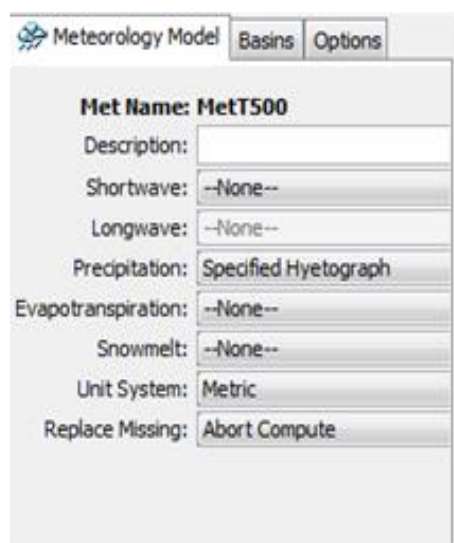
Tiempo de Desfase (min)

Modelo de Flujo Base: No se incluye flujo base

6.2 Modelos Meteorológicos

Antes de definir el modelo meteorológico se introducen los datos de precipitación, que en este caso corresponden a los incrementos de precipitación tomados del hietograma de la cuenca.

En la siguiente figura se muestra el modelo tomado, que se basa en la especificación de hidrograma tomado para la simulación.



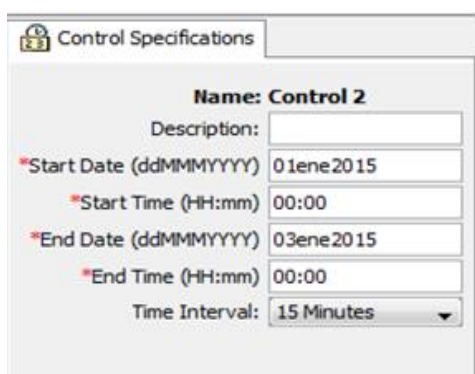
6.3. Especificaciones de Control

Aquí se definen los periodos a simular, los tiempos de lluvia e intervalos. La información a introducir es la siguiente:

- Día de Inicio
- Día de Finalización
- Hora de Inicio
- Hora de Finalización

- Intervalo de Tiempo

En la siguiente figura se muestra el control de especificación tomado para la simulación



Field	Value
Name	Control 2
Description	
*Start Date (ddMMYYYY)	01ene2015
*Start Time (HH:mm)	00:00
*End Date (ddMMYYYY)	03ene2015
*End Time (HH:mm)	00:00
Time Interval	15 Minutes

Una vez definido el modelo de la cuenca y seleccionado un modelo meteorológico se puede realizar la modelación hidrológica para diferentes intervalos de tiempo o con diferentes incrementos.

6.4. Medidores de Precipitación

El Modelo Meteorológico escogido trabaja con un hietograma conocido que se introduce en el modelo y con el cual se simula el fenómeno de precipitación – escorrentía.

Se parte de los datos obtenidos de incremento de volúmenes acumulados, y la distribución del peso de los pluviómetros para cada una de las subcuencas, que en este caso y dado que se ha establecido mediante un punto de coordenadas del centroide, cada peso afecta por igual a cada una de las subcuencas y no se ve influenciado por la cuencas adyacentes.

En la siguiente figura se muestra la distribución de la precipitación para una de las subcuencas, la cual es muy similar para cada una de las subcuencas.

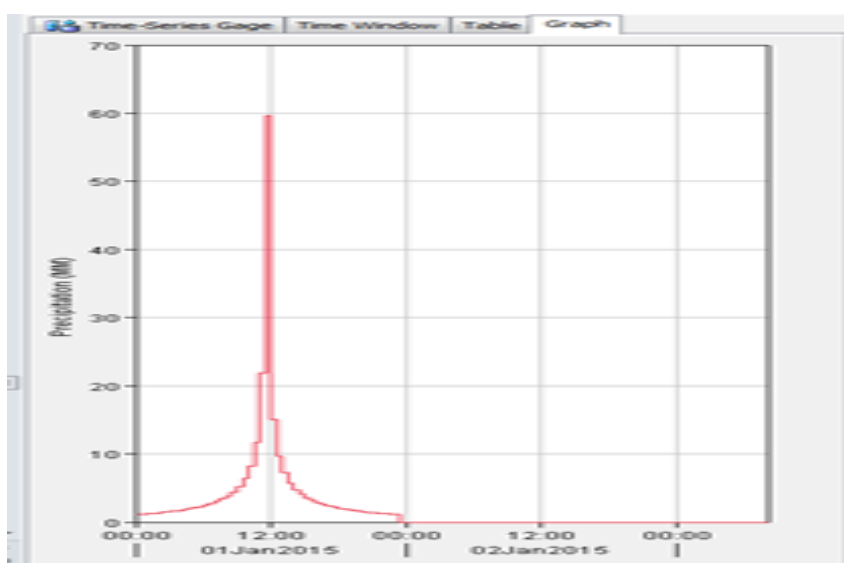


Figura 8. Diagrama de Precipitación

ESTUDIO DE INUNDABILIDAD DEL CAUCE DEL RÍO ANTAS EN SU TRAMO DE DESEMBOCADURA CON EL MAR MEDITERRÁNEO

Para correr el modelo se marcan los componentes anteriores, el modelo de cuenca, el modelo meteorológico y las especificaciones de control deseadas, luego se procede a ejecutar el programa, a realizar cálculos y a generar resultados.

Las salidas del modelo se presentan en el Anejo III. Resultados de HEC HMS: Caudales de avenida – Hidrogramas.

6.5. Resultados de la Modelización

Los resultados de la modelación incluyen un hidrograma de salida que define el Caudal Máximo de Avenida para cada período de retorno considerado, tiempo en el que se produce dicho pico de caudal, y los correspondientes volúmenes de escorrentía producidas por la lluvia caída en la cuenca.

A continuación se presenta una tabla resumen del caudal máximo, el tiempo al pico, y el volumen de escorrentía o aportación de la cuenca para el período de retorno simulado, en el punto de salida de la cuenca, y el resto de tramo y uniones. Como se puede observar el caudal en la desembocadura y en el tramo final corresponde con $698,6 \text{ m}^3\text{sg}^{-1}$.

Hydrologic Element	Drainage Area (M2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (M3)
W740	82.019	720.6	01ene2015, 14:15	171.60
J105	82.019	720.6	01ene2015, 14:15	171.60
R320	82.019	520.9	01ene2015, 16:45	171.59
W650	48.324	471.8	01ene2015, 13:30	151.02
3	130.343	658.7	01ene2015, 16:15	163.97
Reach-2	130.343	565.9	01ene2015, 19:30	163.95
W510	58.313	430.3	01ene2015, 14:30	160.13
J102	188.656	693.9	01ene2015, 18:45	162.77
R210	188.656	671.9	01ene2015, 21:15	162.72
W660	48.512	350.3	01ene2015, 15:15	161.29
J99	237.168	758.3	01ene2015, 20:30	162.43
R400	237.168	719.9	02ene2015, 00:30	161.91
W880	28.91375	291.9	01ene2015, 13:30	170.68
I	266.08175	738.2	02ene2015, 00:15	162.86
Reach-1	266.08175	698.6	02ene2015, 04:45	160.68
Outlet1	266.08175	698.6	02ene2015, 04:45	160.68

Tabla 6: Resumen de los valores obtenidos en la simulación con HEC-HMS

En la siguiente figura se muestra el hidrograma de salida en el punto de desembocadura con el Mar Mediterráneo.

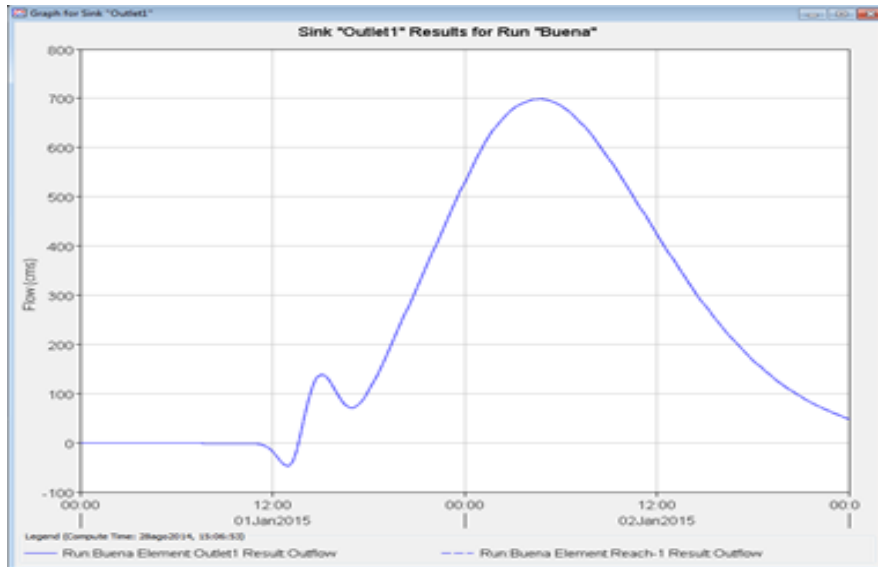


Figura 8. Hidrograma en la Desembocadura

7. DETERMINACIÓN DE LA ZONA DE INUNDACIÓN

7.1. Cálculo Hidráulico

Una vez efectuado el estudio de precipitaciones de cálculo y de la modelación hidrológica de la cuenca para obtener la transformación de la precipitación caída en escorrentía superficial, se procede a realizar el estudio hidráulico del tramo final de la desembocadura del cauce, aproximadamente los últimos 2 Km, con el fin de establecer las zonas de inundación para el periodo de retorno estudiado.

7.1.1. Metodología

7.1.1.1. Bases de Cálculo

Debido a la morfología de la zona de estudio (zona de desembocadura, orografía muy suave, cauces meandriformes, etc.) se decide llevar a cabo las simulaciones empleando el programa informático Iber. Este es un modelo matemático bidimensional para la simulación de flujos en ríos, desarrollado en colaboración, por el Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente, GEAMA (Universidad de A Coruña, UDC) y el Instituto FLUMEN (Universitat Politècnica de Catalunya, UPC, y Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, (CIMNE).

El modelo Iber surge como respuesta al interés mostrado por el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX en disponer de una herramienta que facilite la aplicación de la legislación sectorial vigente en materia de aguas, especialmente en los requerimientos derivados de la Directiva Marco del Agua, la Instrucción de Planificación Hidrológica, la Directiva de Inundaciones o el Plan Nacional de Calidad de las Aguas.

El rango de aplicación de Iber abarca la hidrodinámica fluvial, la simulación de rotura de presas, la evaluación de zonas inundables, el cálculo de transporte de sedimentos y el flujo de marea en estuarios.

El modelo Iber consta actualmente de 3 módulos de cálculo principales: un módulo hidrodinámico, un módulo de turbulencia y un módulo de transporte de sedimentos. Todos los módulos trabajan sobre una malla no estructurada de volúmenes finitos formada por elementos triangulares o cuadriláteros. En el módulo hidrodinámico, que constituye la base de Iber, se resuelven las ecuaciones de aguas someras bidimensionales promediadas en profundidad (ecuaciones de St. Venant 2D). El módulo de turbulencia permite incluir las tensiones turbulentas en el cálculo hidrodinámico, pudiéndose utilizar para ello diferentes modelos de turbulencia para aguas someras con diferente grado de complejidad. En la versión actual se incluyen un modelo parabólico, un modelo de longitud de mezcla y un modelo sedimento la evolución de la cota.

Para el estudio de los niveles y velocidades de agua en ríos, la aproximación que sin duda más utilizada es la de flujo unidimensional y régimen permanente gradualmente variado. Por sencillez de programación y de discretización del dominio, y a veces por falta de información en las condiciones de contorno en régimen no permanente (hidrogramas), ésta es la metodología que más se utiliza incluso hoy. Las hipótesis fundamentales para este tipo de aproximación son movimiento unidimensional, régimen permanente y fondo fijo. La ecuación fundamental es la conservación de la energía entre dos secciones de río, aunque también se utiliza la ecuación de conservación de la cantidad de movimiento para fenómenos locales, como pueden ser cambios de régimen, y otras ecuaciones más o menos empíricas para otros efectos locales como puentes, azudes, etc. En general estos esquemas de cálculo están del lado de la seguridad cuando el objetivo es conocer los niveles máximos en avenida, ya que la lámina de agua que se obtiene con ellos suele estar por encima de la envolvente de calados máximos que se obtendrían con un modelo en régimen variable y un hidrograma cuyo caudal punta fuera el caudal utilizado en el cálculo en régimen permanente. Métodos para la resolución numérica de este tipo de flujo se pueden encontrar en libros generales de hidráulica de lámina libre, siendo el más utilizado entre ellos el conocido método paso a paso.

Los tres aspectos básicos en cuanto a la adecuación de estos modelos a la realidad son:

- 1.- Consideran un caudal de circulación constante en todo el tramo de estudio, sin posibilidad de variación temporal.
- 2.- El fondo es fijo y no erosionable. Esto sin duda tiene influencia en los niveles de agua.
3. Movimiento unidimensional
4. La curvatura de la superficie libre es pequeña y por tanto la distribución de presiones en una vertical es la hidrostática.

De esta manera se establece la ecuación de conservación de la energía o ecuación de Bernoulli:

$$\frac{d}{dx} \left(z + y + \alpha \frac{v^2}{2g} \right) = -I$$

donde:

- x es la abscisa, positiva en la dirección del flujo,
- z es la cota de la solera,
- y es el calado,
- v es la velocidad media de la sección,
- g es la aceleración de la gravedad, 3
- I es la pendiente motriz, evaluada mediante la fórmula de Manning.
- α es el coeficiente de Coriolis

Las pérdidas de energía por unidad de peso y por unidad de longitud (pendiente motriz (I)), pueden estimarse mediante una expresión propia del movimiento uniforme, como es la fórmula de Manning:

$$I = \frac{n^2 \cdot v^2}{R_h^{4/3}}$$

donde:

- n es el coeficiente de rugosidad de Manning,
- v es la velocidad media en la sección considerada,
- Rh es el radio hidráulico de la sección (igual al cociente A/p, A: área del flujo, p: perímetro mojado).

7.1.1.1.1. Esquema numérico de resolución. Método paso a paso

La ecuación de conservación de la energía discretizada para un tramo entre dos secciones (1 aguas arriba y 2 aguas abajo) separadas una distancia L queda:

$$z_1 + y_1 + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + y_2 + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} + IL + \sum \lambda \frac{v^2}{2g} + \Delta H$$

z es la cota del fondo, y el calado, v la velocidad media de la corriente, g la aceleración de la gravedad, α el coeficiente de distribución de velocidades de Coriolis que se estima en cada sección a partir de la distribución de velocidades, I es la pendiente motriz en el tramo entre las secciones 1-2, λ los coeficientes de pérdidas localizadas y ΔH las pérdidas por estrechamiento o ensanchamiento del cauce. La ecuación anterior expresa la conservación de la energía (por unidad de peso) del flujo. La energía en la sección 1 es igual a la energía en la sección 2 más la energía perdida entre ambas ($\sum \lambda v^2 / (2g)$).

En la siguiente figura se muestra la energía entre dos secciones de cálculo.

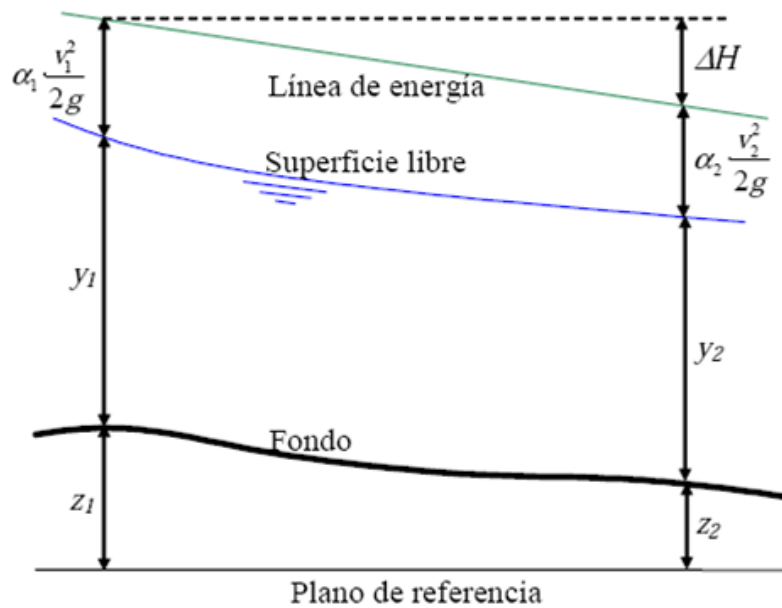


Figura 9. Representación Gráfica de la energía del agua entre 2 secciones

El cálculo de los niveles de agua utilizando la ecuación de conservación de la energía, en el supuesto más común de régimen subcrítico, consiste en calcular el nivel de agua en la sección 1 (z_1+y_1), a partir del nivel en la sección 2 (z_2+y_2) situada aguas abajo. Las pérdidas localizadas participan también en el proceso iterativo ya que se expresan en función de las características de las secciones 1 y 2. Como hecho típico de la irregularidad de los cauces naturales se consideran unas pérdidas por estrechamiento y ensanchamiento.

En régimen lento el cálculo se realiza desde aguas abajo hacia aguas arriba. Cuando una sección es precedida aguas arriba por otra más estrecha o más alta es posible que no exista solución en régimen lento. Ello indica que en este tramo el río funcionará en régimen rápido, pero la solución en régimen rápido que se obtiene con el método paso a paso no es la correcta por no considerar la energía disipada en el resalto.

En régimen rápido el cálculo debe realizarse desde aguas arriba hacia aguas abajo. En caso de haber alternancia de regímenes una manera de trabajar es: 1) calcular en régimen lento desde aguas abajo hacia aguas arriba, en aquellas secciones en que no exista solución en lento se supone calado crítico para poder seguir integrando aguas arriba. 2) calcular en régimen rápido desde aguas arriba hacia aguas abajo, en aquellas secciones en que no haya solución en régimen rápido se supone calado crítico para poder seguir integrando hacia aguas abajo. 3) En los tramos en que solo se ha encontrado una solución (en lento o rápido) esa es la correcta. 4) En los tramos en los que se ha encontrado solución tanto al realizar el cálculo en lento como en rápido, se debe ver cuál de las dos tiene mayor fuerza específica, y aquella es la correcta.

7.1.1.1.2. Hipótesis Adoptadas

En el modelado con IBER, el régimen de flujo considerado en este proyecto ha sido el régimen permanente gradualmente variado, por falta de información en las condiciones de contorno en régimen no permanente.

7.1.1.1.3. Datos de partida

El Río Antas se ha modelizado desde su cruce con el puente de la carretera AL 1200 hasta su desembocadura con el Mar Mediterráneo. Se han considerado una longitud 2 Km, tomando como referencia Modelo Digital del Terreno (MDT) de 5 m del Centro de Información Geográfica.

Para correr el modelo hidráulico el programa IBER precisa de los siguientes datos:

- Geometría de la Malla. Deberá definirse el límite entre el lecho y las márgenes, los diferentes usos del suelo, urbanizaciones, cultivos, etc. así como las infraestructuras existentes como pueden ser los puentes existente
- Rugosidad. Valores de rugosidad en forma de Número de Manning (n) para lecho y márgenes, teniendo en cuenta los diferentes usos del suelo.
- Condiciones de Contorno

A la Entrada. Régimen Critico/Subcrítico o Régimen Supercrítico

A la Salida. Régimen Supercrítico o Régimen Subcrítico, en los que se encuentra, Vertedero, Nivel Dado, Curva de Gasto, Curva de Gasto Q

- Condiciones Iniciales. Calado o cota de la lámina de agua inicial.

- Generación de la Malla y elevación de las cotas desde datos obtenidos del Modelo digital de elevaciones.

En el Anejo IV se desarrolla en procedimiento seguido para la modelación hidrológica.

7.1.1.1.4. Caudales de cálculo

Los caudales de cálculo para el tramo modelizado son los correspondientes a los obtenidos en el la modelación de la cuenca, calculados para el periodo de retorno de 500 años. Con estos caudales se estimará el cálculo hidráulico de las láminas de inundación, para el Hidrograma obtenido en la salida-desembocadura, que corresponde con el que se muestra en la figura, obtenido de la tabla A4.2 del Anejo IV.

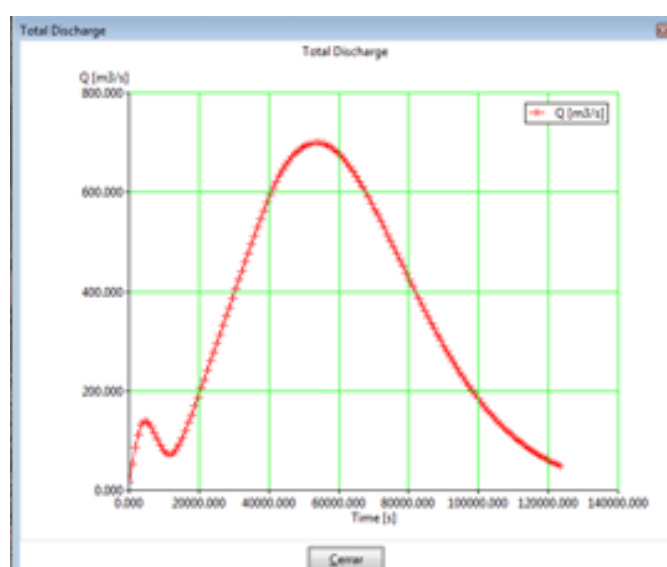


Figura 10. Hidrograma Modelizado en IBER

7.1.1.5. Resultados Obtenidos

Los resultados gráficos obtenidos de la simulación hidráulica del tramo analizado se presentan en el Anejo de Planos. En los que se ha representado los GRID de la zona de inundación, para el periodo estadístico estudiado y que corresponde con el de 500 años, sobre diferentes planimetría y ortofotos, así como los GRID de la Velocidad máxima esperada de las aguas y el número de Froude en las distintas zonas de inundación.

Por otro lado valor más representativo del cálculo con Iber, es su representación animada de la llanura de inundación, que como se observa en el video que se adjunta a este documento, está representado el calado de la lámina de agua, en cada uno de los instantes estudiado para el caudal de avenida mencionado.

8. CONCLUSIONES

En primer lugar y del cálculo hidrológico se desprende un caudal de avenida extraordinaria con periodo de retorno de 500 años, de $698 \text{ m}^3\text{sg}^{-1}$, dicho caudal correspondería con una precipitación máxima diaria de 220 mm.

En segundo lugar y en relación al cálculo hidráulico, se desprende que en principio la sección del cauce es insuficiente para el desagüe del caudal estudiado de avenidas extraordinarias, desbordándose por ambas márgenes, e inundando los terrenos adyacentes, hasta su desembocadura con el Mar Mediterráneo.

El calado de la lámina de agua de dicha llanura de inundación, como se puede observar en los planos adjuntos, toma valores comprendidos entre 0,01 m y 3 m, considerándose estos últimos, puntos de máxima peligrosidad.

Por otro lado, y dada la escasa pendiente del terreno en la zona, la velocidad del agua en la llanura comprende valores relativamente bajos entre 0,5 y 3 m sg^{-1} .

Por ultimo me gustaría reflejar en este trabajo, que el estudio realizado se ha modelado sobre un modelo digital de elevaciones, por lo que los resultados no tienen por qué ser fieles a la realidad, y al comportamiento hidráulico de un cauce vivo, como es el cauce del Río Antas, por lo que este estudio, no debe ser tomado como punto de partida para la delimitación de zonas de inundación del cauce, debiendo tener en cuenta que para ello es necesario un levantamiento topográfico de detalle de la zona de estudio.

9. LEGISLACION ASOCIADA

A continuación se enumera la normativa vigente en referencia a zonas susceptibles de ser invadidas por las crecidas de los cauces de corrientes naturales y que será adoptada como marco de referencia en el desarrollo del presente Estudio:

- Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico.
- Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas.
- Real Decreto 9/2008, de 11 de enero, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico.
- 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.
- Plan Hidrológico Nacional (Ley 10/2001, de 5 de julio) posteriormente modificado por la Ley 11/2005, de 22 de junio.
- Instrucción de Planificación Hidrológica aprobada mediante ORDEN ARM/2656/2008, de 10 de septiembre.

10. BIBLIOGRAFIA

- Aparicio, J.A. (2003). IAEM-Guías de Riesgos: Lluvias e Inundaciones. Máster en Protección Civil y Emergencias – Universidad Politécnica de Valencia. Valencia (España). Accesible en: <http://www.iaem.es/GuiasRiesgos/Lluviaseinundaciones.pdf>
- Asensio C.M Almería. Factores Formadores de Suelos
- Barragán Bazán, G. (1997a).- Evolución Geodinámica de la depresión de Vera Provincia de Almería. Cordilleras Béticas. Tesis. U. Granada. Inéd. p.698.
- Nania, L. Calculo de Avenidas con HEC HMS y GEO HMS. Departamento de Mecánica de Estructuras e Ingeniería Hidráulica
- Cea L. Modelización matemática en lecho fijo del flujo en ríos. Modelos 1D y 2D en régimen permanente y variable. Grupo GIAMA Universidad de A Coruña.
- Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. (2002). Estrategia Andaluza ante el Cambio Climático. Sevilla. Accesible en: <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/web/menuitem.a5664a214f73c3df81d8899661525ea0/?vgnnext>
- Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. (2003). Evolución de los usos y coberturas vegetales de Andalucía 1956 – 2003. Accesible en: <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/web/menuitem.d57ba3a565d2db10e849>
- Consejería de Obras Públicas y Transportes. Junta de Andalucía. (2002). Plan de Prevención de avenidas e inundaciones en cauces urbanos andaluces. Aprobado por Decreto 189/2002, de 2 de julio, publicado en BOJA nº 91, de 3 de Agosto de 2002. Sevilla. Accesible en: http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques_Tematicos/agencia_andaluza_agua/gestion/gestion_agua_andalucia/
- Fraga I., Cea L.. Diseño de soluciones de Protección Contra avenidas mediante modelización numérica bidimensional. GEAMA Universidad de A Coruña.
- Instrucción de Drenaje Superficial. Ministerio de Fomento
- Mapa de Caudales Máximos. Centro de estudios experimentales de Obras Públicas. Ministerio de Medio Ambiente. Dirección General del Agua
- Modelización bidimensional del flujo en lámina libre en aguas poco profundas.. Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Ambiental. Universidad de Barcelona. Instituto Flumen
- Publicación Máximas lluvias de la España Peninsular. Ministerio de Fomento

**ANEJO I. TABLA DE ATRIBUTOS DE USOS Y TIPOS DEL SUELOS DE LA CUENCA DE
ESTUDIO CON SU CORRESPONDIENTE UMBRAL DE ESCORRENTÍA Y NUMERO DE
CURVA**

ANEJO II. CÁLCULO DE LAS CURVAS IDF SINTÉTICAS

Las curvas IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia) relacionan la intensidad de lluvia con su duración, obteniendo para cada frecuencia de ocurrencia una curva diferente. Cuanto menor es la frecuencia del evento analizado mayor es la intensidad, o dicho de otra forma, los eventos más intensos son menos frecuentes.

Se usarán las curvas IDF sintéticas propuestas por la Dirección General de Carreteras (MOPU, 1990; Ferrer, 1993), para todo el territorio español:

$$I_t = 7.16 * (9.8239)^{\frac{28^{0.1} - t^{0.1}}{28^{0.1} - 1}}$$

donde:

I_d = Intensidad media diaria (mm/h)

I_1 = Intensidad media en la hora más lluviosa de ese día (mm/h)

t = Periodo de tiempo (horas) para el que se quiere evaluar la intensidad.

I_t = Intensidad media en el periodo t (mm/h)

Los pasos a seguir para construir la curva IDF son los siguientes:

1º Obtención de la intensidad máxima diaria para el periodo de retorno deseado ($P_{\text{máx día}}$). Primero se calcula la precipitación diaria máxima. Este dato se puede obtener a partir de la publicación del Ministerio de Fomento, Máximas Lluvias de la España Peninsular, donde se calcula fácilmente la P diaria máxima para el periodo de retorno deseado. Después la intensidad máxima diaria (I_d) se obtiene a partir de:

$$I_d = P_{\text{máx día}} / 24$$

2º Estimación del parámetro I_1/I_{24} , relación entre la intensidad horaria y la diaria. Del mapa construido por el MOPU (1990) que se muestra en la figura A2.1, se obtiene el coeficiente I_1/I_d (I_1 = Intensidad media en la hora más lluviosa de ese día; I_d = Intensidad media diaria). Para ello, se ha digitalizado el mapa de isóneas de España y se ha creado un raster que nos permite consultar el valor de la celdilla que define exactamente la relación I_1/I_{24} para la zona de estudio



Figura A2.1. Mapa para la estimación del factor regional I_1/I_q

Obtención de la intensidad máxima para cualquier intervalo t . Ya se ha especificado que se usará un tiempo igual al tiempo de concentración de la cuenca estudiada. Con estos datos ya se puede calcular la intensidad para cualquier intervalo de tiempo, t .

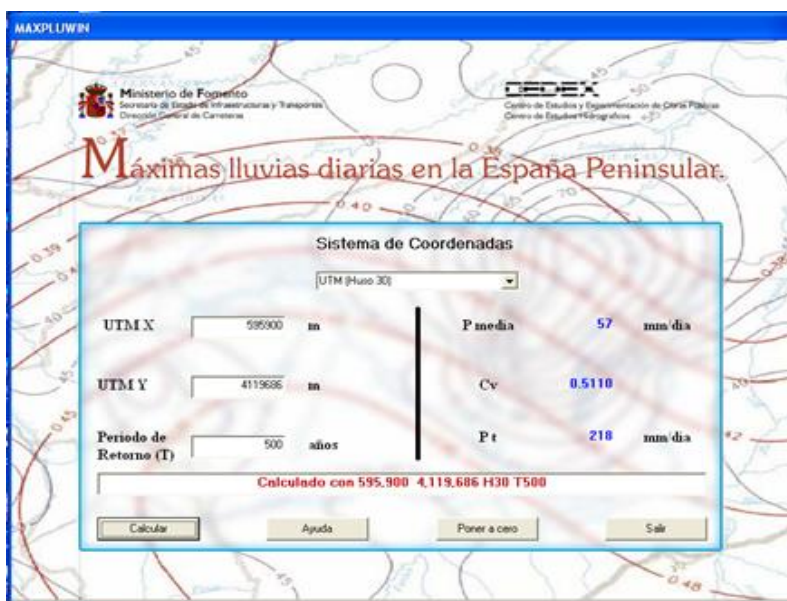
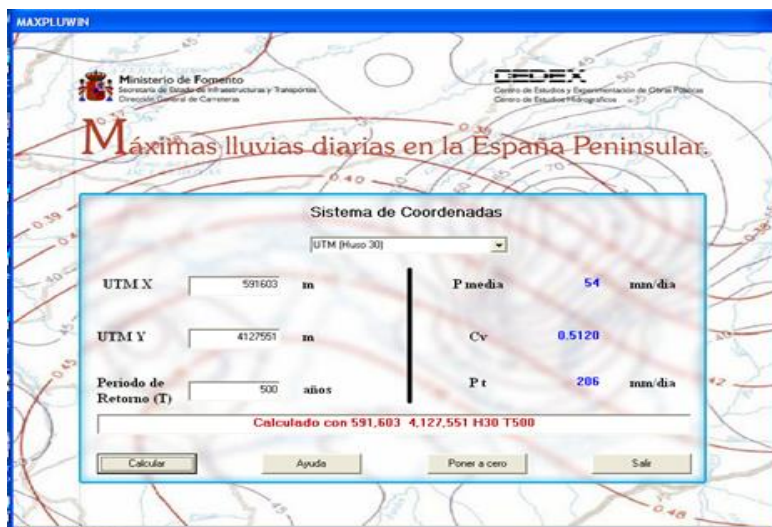
Para el cálculo de la intensidad máxima se han adoptado el periodo de retorno $T=500$ años.

A2.1. Obtención de la intensidad máxima diaria para el periodo de retorno deseado ($P_{\text{máx día}}$)

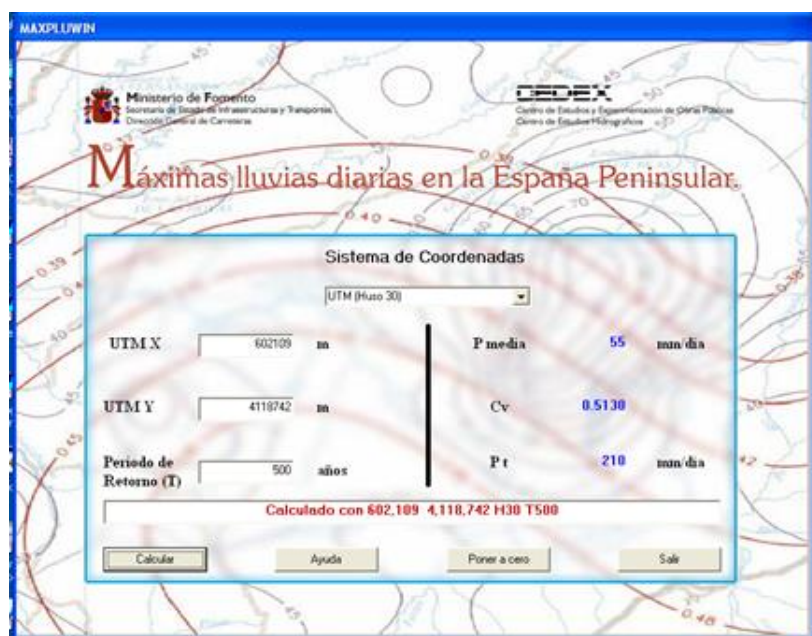
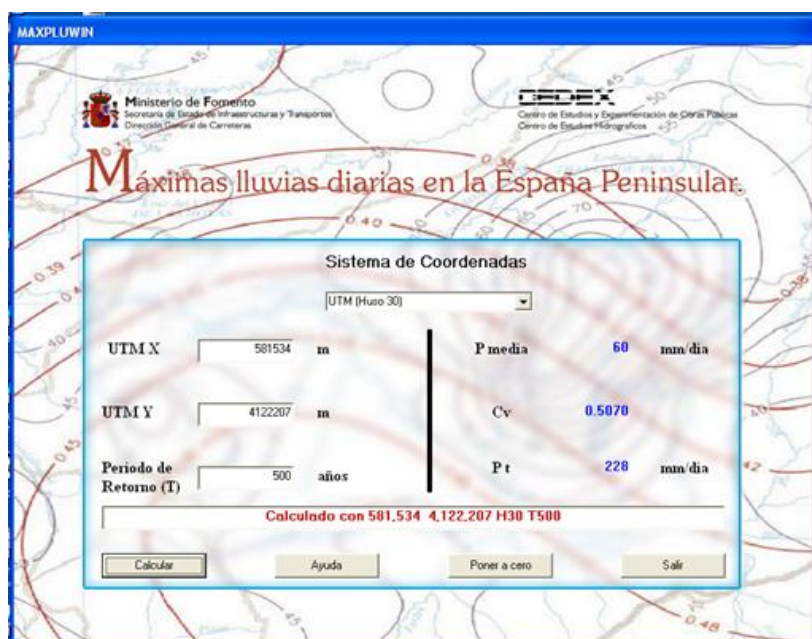
La publicación “Máximas lluvias diarias en la España peninsular” (Ministerio de Fomento, 1999) permite la estimación de las máximas lluvias diarias para cualquier punto geográfico de la España peninsular. La propia publicación describe la metodología a emplear para la obtención de resultados prácticos en el cálculo de cuantiles de lluvias para diferentes periodos de retorno, en puntos de la España Peninsular. El cálculo de cuantiles se plantea aquí mediante la utilización de MAXPLU (Salas y Carrero, 2008), una aplicación informática desarrollada a partir de un sistema de información geográfica.

La aplicación MAXPLU estima la precipitación diaria máxima correspondiente a diferentes periodos de retorno (en nuestro caso 500 años), partiendo del valor de su medida y su coeficiente de variación. Introduciendo las coordenadas del centroides de la cuenca en la aplicación MAXPLUWIN.EXE, se obtienen los valores de P_{media} , C_v y $P_{\text{máx día}}$.

ESTUDIO DE INUNDABILIDAD DEL CAUCE DEL RÍO ANTAS EN SU TRAMO DE DESEMBOCADURA CON EL MAR MEDITERRÁNEO



ESTUDIO DE INUNDABILIDAD DEL CAUCE DEL RÍO ANTAS EN SU TRAMO DE DESEMBOCADURA CON EL MAR MEDITERRÁNEO



Figuras A2.2. Valores de Cv, P media, KT y PT para la cuenca de estudio.

A.2.2. Estimación del parámetro I1/I24, relación entre la intensidad horaria y la diaria

De la Figura A2.1 se ha obtenido el factor regional $I1/I_d = 10.9$.

A.2.3. Obtención de la intensidad máxima para cualquier intervalo t

ESTUDIO DE INUNDABILIDAD DEL CAUCE DEL RÍO ANTAS EN SU TRAMO DE
DESEMBOCADURA CON EL MAR MEDITERRÁNEO

Finalmente, queda definida la ecuación que determina la intensidad correspondiente a cada uno de los periodos de retorno para cualquier intervalo de tiempo:

$$It = 7.16 * (9.8239)^{\frac{28^{0.1} - t^{0.1}}{28^{0.1} - 1}}$$

Aplicando la ecuación, se obtiene la intensidad máxima para cualquier intervalo t. En la siguiente tabla se muestra la intensidad de precipitación, y los volúmenes acumulados e incrementados para la cuenca de estudio.

Duración (min)	Precip (mm)	Max	Intensidad (mm/h)	Vol.Acumulado. (mm)	Vol.Increm. (mm)	Vol.Increm Simetrico(mm)
30	220		127.5	63.75	63.75	1.14
		0				
60	220		87.08	87.08	23.33	1.20
90	220		68.81	103.21	16.13	1.26
120	220		57.87	115.75	12.54	1.33
150	220		50.43	126.07	10.33	1.40
180	220		44.96	134.88	8.81	1.48
210	220		40.73	142.57	7.69	1.57
240	220		37.35	149.40	6.83	1.67
270	220		34.57	155.55	6.14	1.79
300	220		32.23	161.13	5.58	1.91
330	220		30.23	166.25	5.12	2.06
360	220		28.50	170.97	4.72	2.22
390	220		26.98	175.35	4.38	2.41
420	220		25.63	179.44	4.09	2.63
450	220		24.44	183.27	3.83	2.90
480	220		23.36	186.87	3.60	3.21
510	220		22.38	190.27	3.40	3.60

**ESTUDIO DE INUNDABILIDAD DEL CAUCE DEL RÍO ANTAS EN SU TRAMO DE
DESEMBOCADURA CON EL MAR MEDITERRÁNEO**

540	220	21.50	193.48	3.21	4.09
570	220	20.69	196.52	3.05	4.72
600	220	19.94	199.42	2.90	5.58
630	220	19.26	202.18	2.76	6.83
660	220	18.62	204.81	2.63	8.81
690	220	18.03	207.33	2.52	12.54
720	220	17.48	209.74	2.41	23.33
750	220	16.96	212.05	2.31	63.75
780	220	16.48	214.27	2.22	16.13
810	220	16.03	216.41	2.14	10.33
840	220	15.60	218.47	2.06	7.69
870	220	15.20	220.45	1.98	6.14
900	220	14.82	222.36	1.91	5.12
930	220	14.47	224.21	1.85	4.38
960	220	14.12	226.00	1.79	3.83
990	220	13.80	227.73	1.73	3.40
1020	220	13.49	229.40	1.67	3.05
1050	220	13.20	231.02	1.62	2.76
1080	220	12.92	232.60	1.57	2.52
1110	220	12.66	234.12	1.53	2.31
1140	220	12.40	235.61	1.48	2.14
1170	220	12.16	237.05	1.44	1.98
1200	220	11.92	238.45	1.40	1.85
1230	220	11.70	239.81	1.36	1.73
1260	220	11.48	241.14	1.33	1.62
1290	220	11.28	242.43	1.29	1.53
1320	220	11.08	243.69	1.26	1.44

ESTUDIO DE INUNDABILIDAD DEL CAUCE DEL RÍO ANTAS EN SU TRAMO DE
DESEMBOCADURA CON EL MAR MEDITERRÁNEO

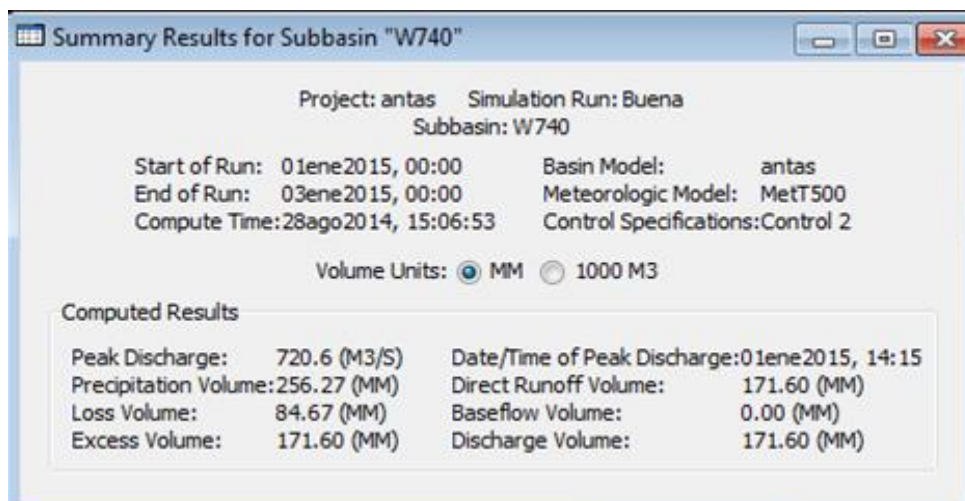
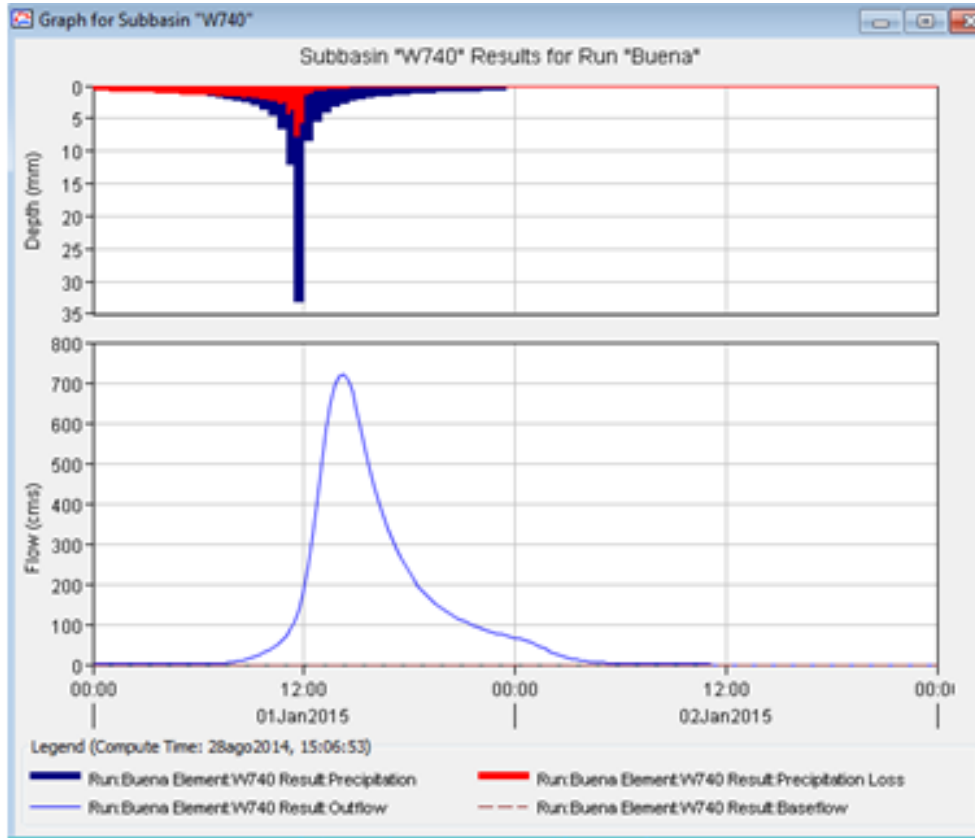
1350	220	10.89	244.92	1.23	1.36
1380	220	10.70	246.12	1.20	1.29
1410	220	10.52	247.29	1.17	1.23
1440	220	10.35	248.43	1.14	1.17

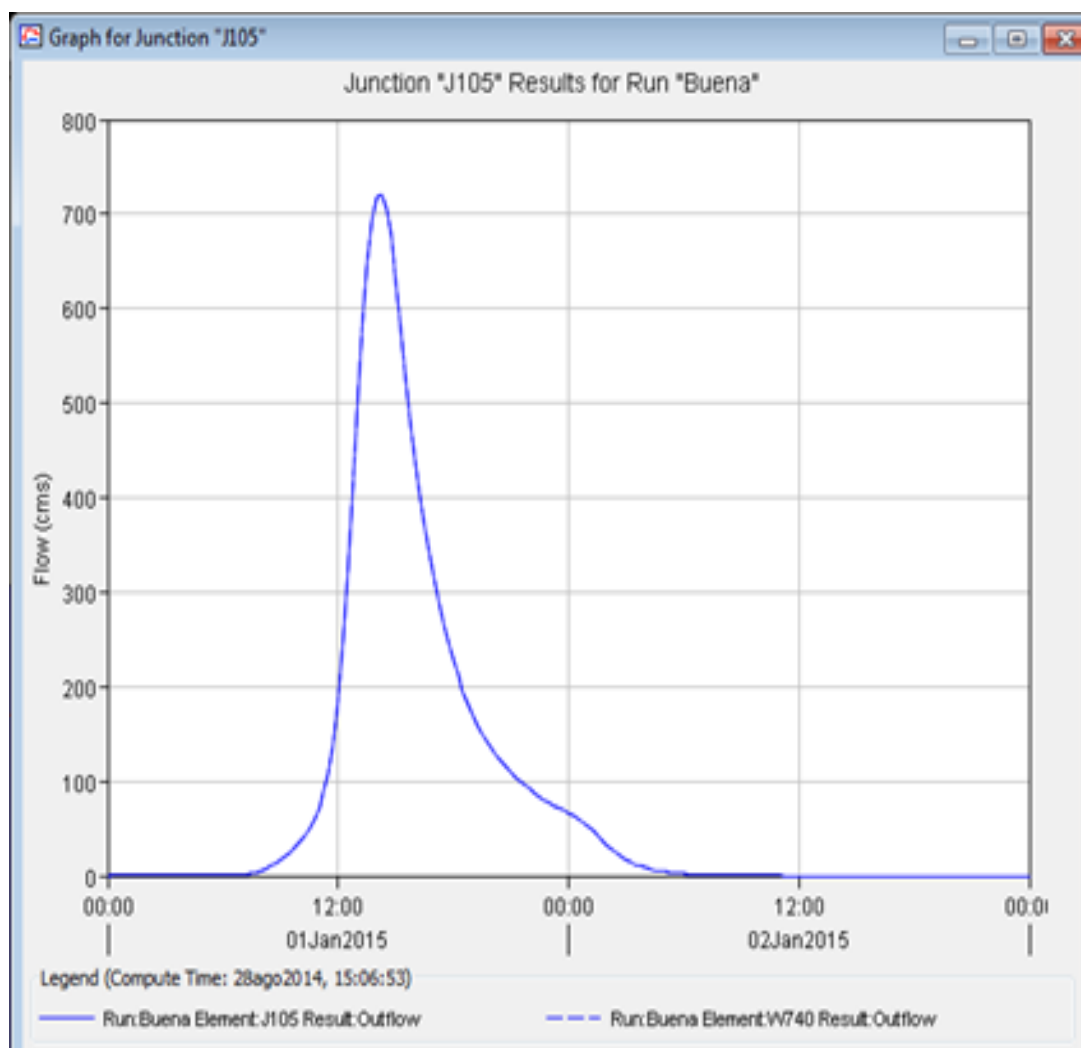
Tabal A2.1. Intensidad de precipitación, y los volúmenes acumulados e incrementados

ANEJO III. RESULTADOS DE HEC HMS: CAUDALES DE AVENIDA-HIDROGRAMAS

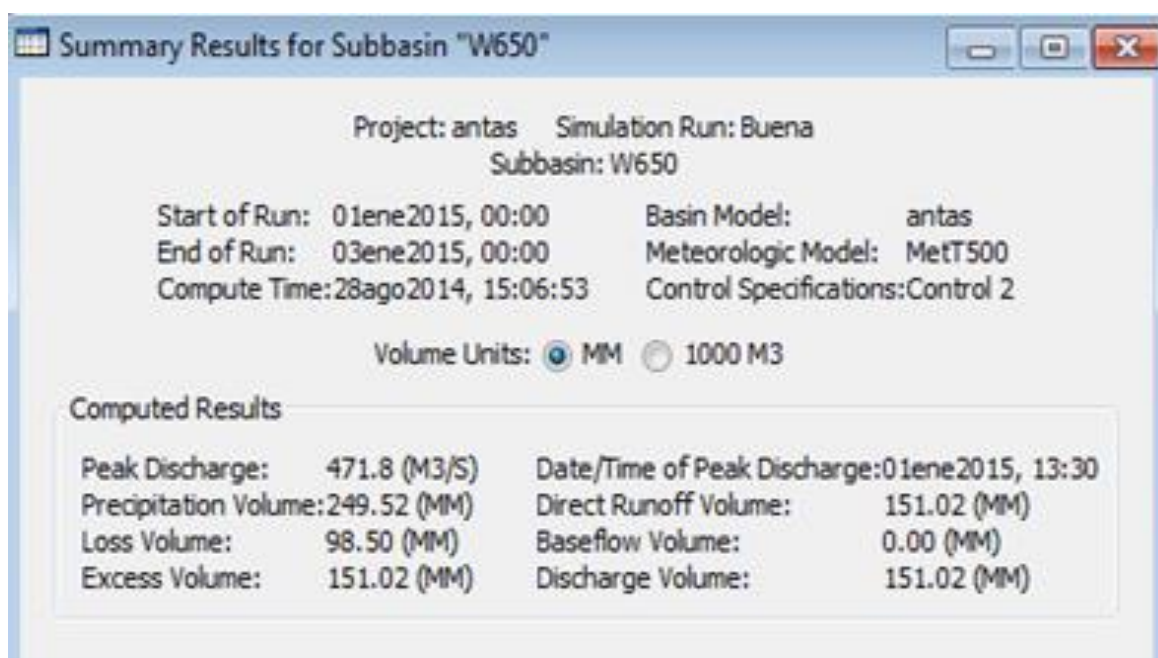
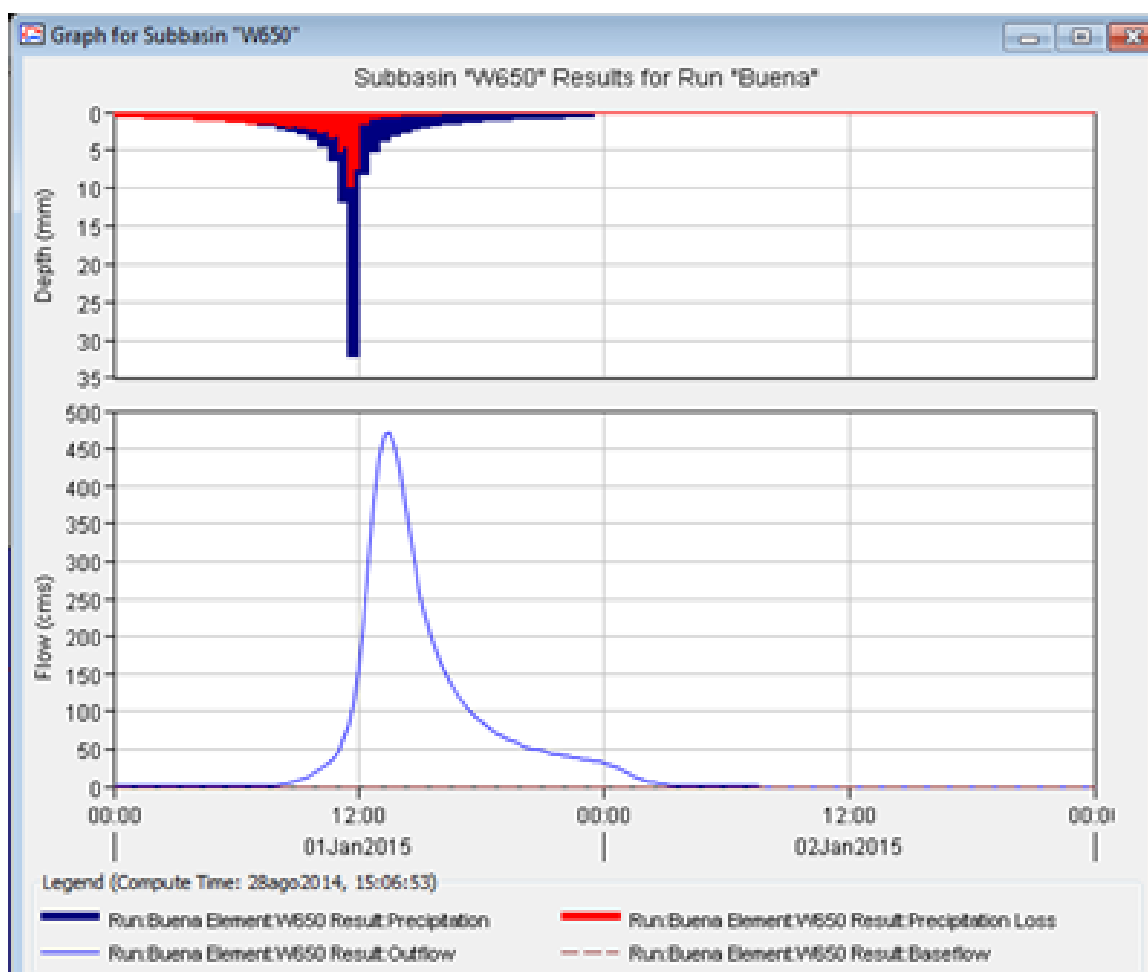
ESTUDIO DE INUNDABILIDAD DEL CAUCE DEL RÍO ANTAS EN SU TRAMO DE DESEMBOCADURA CON EL MAR MEDITERRÁNEO

En las siguientes figuras se muestra los resultados obtenidos de HEC-HMS para cada una de la subcuencas, uniones y tramos significativos, así como de la salida o desembocadura.

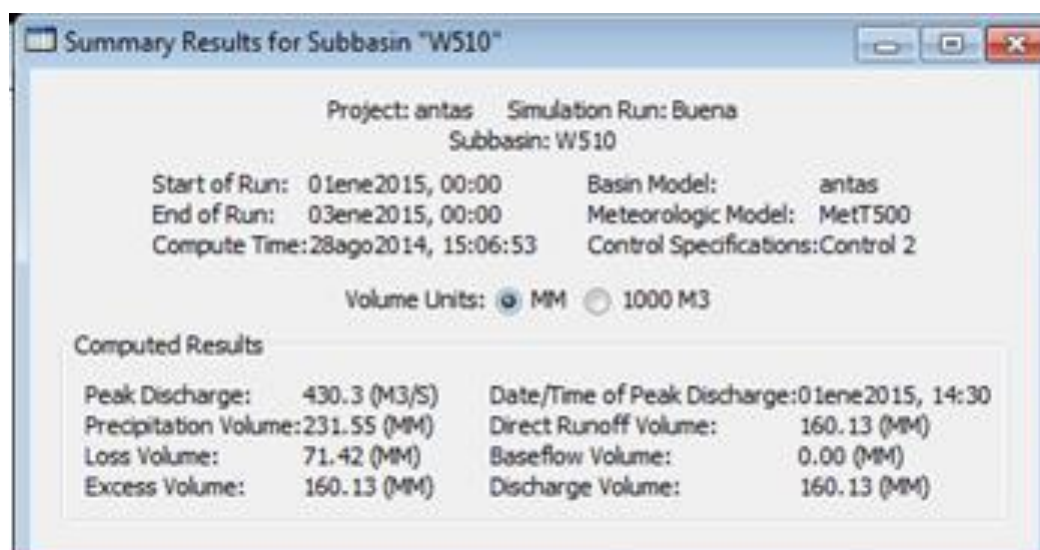
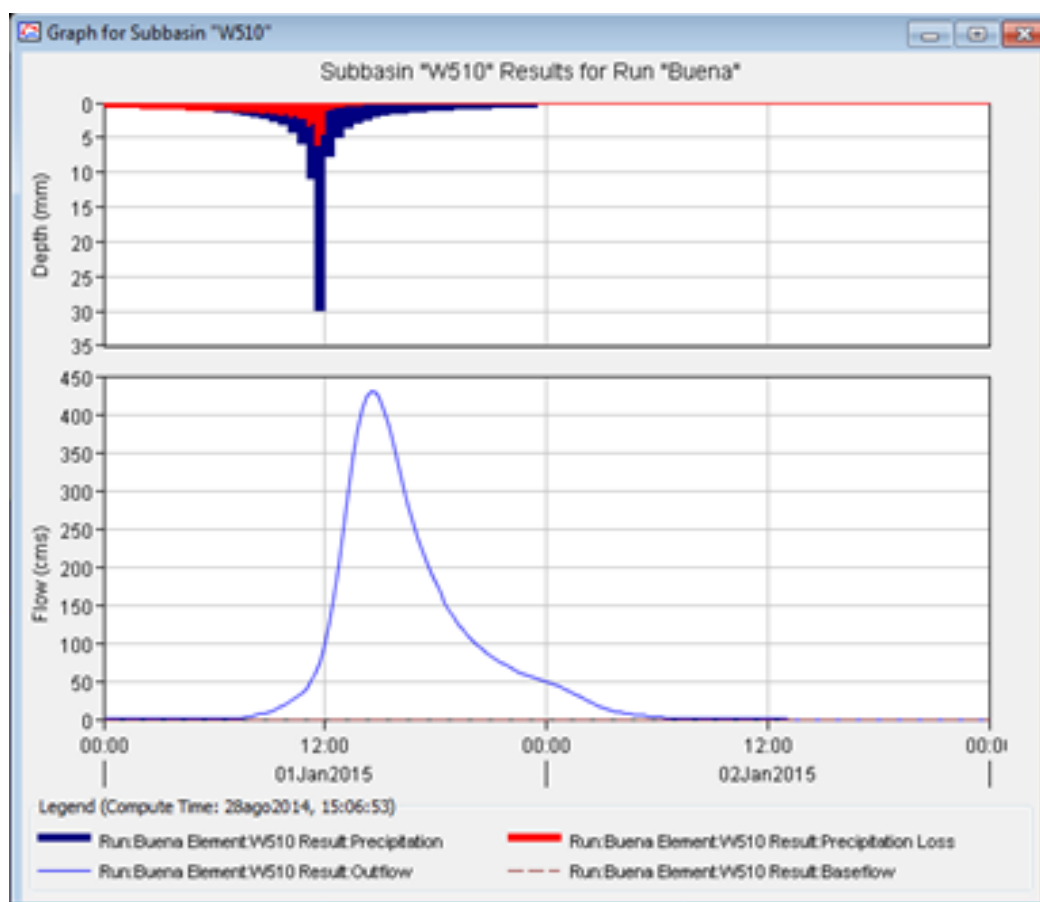




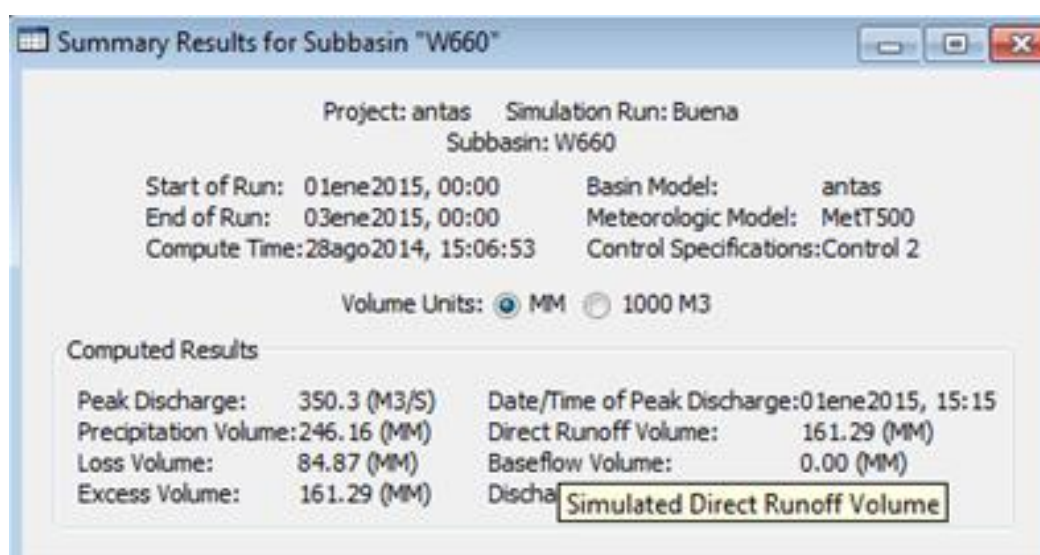
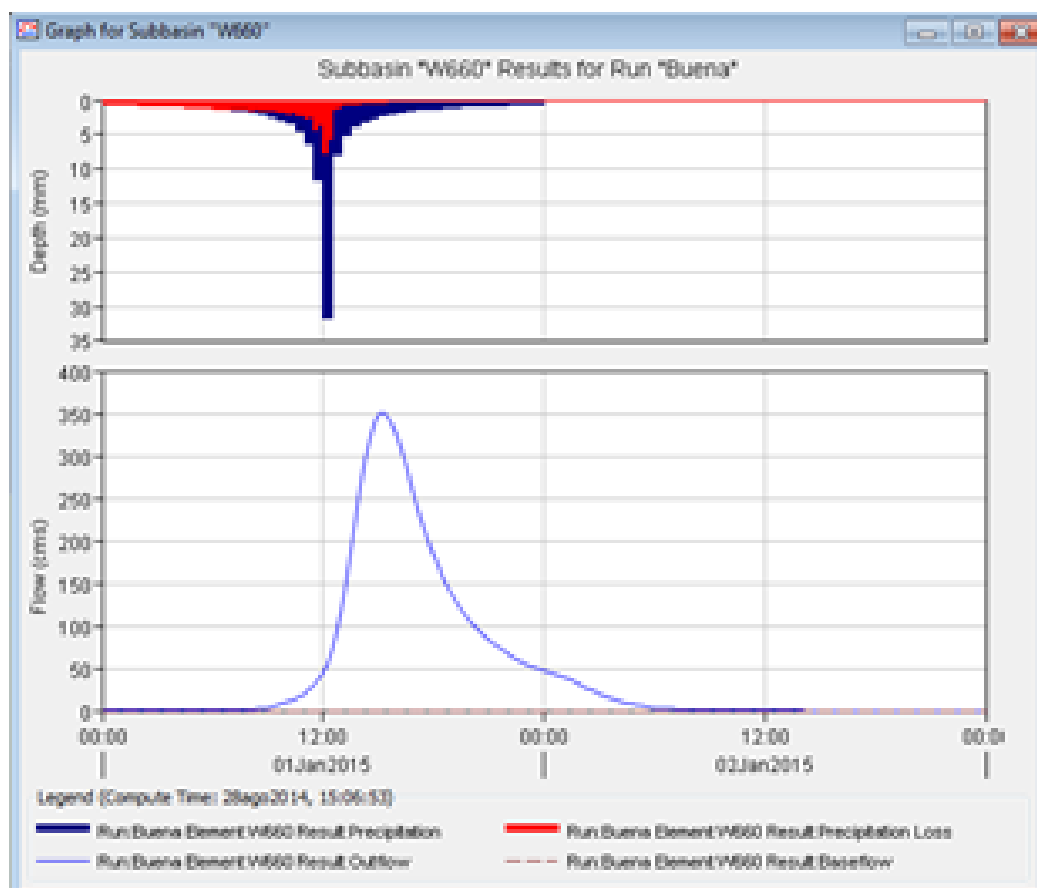
ESTUDIO DE INUNDABILIDAD DEL CAUCE DEL RÍO ANTAS EN SU TRAMO DE
DESEMBOCADURA CON EL MAR MEDITERRÁNEO



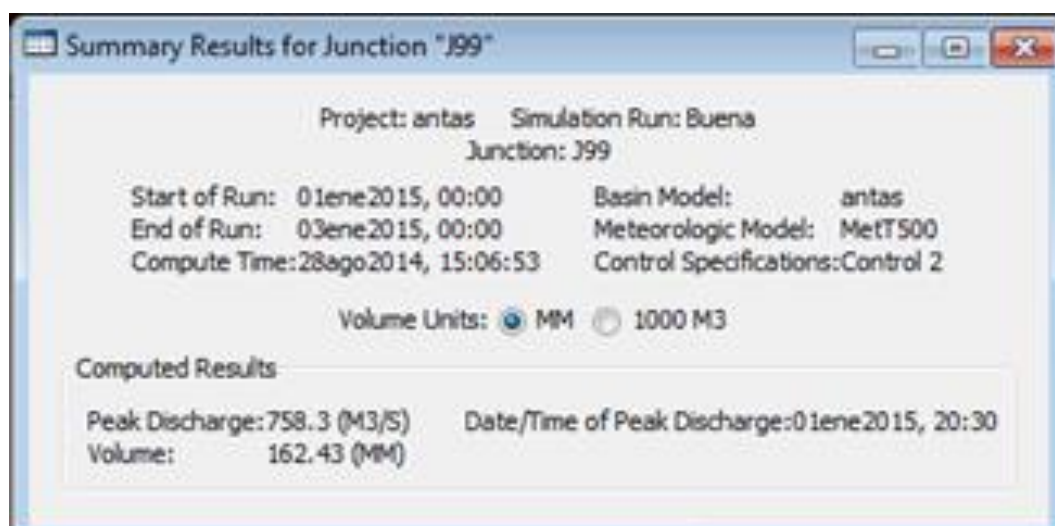
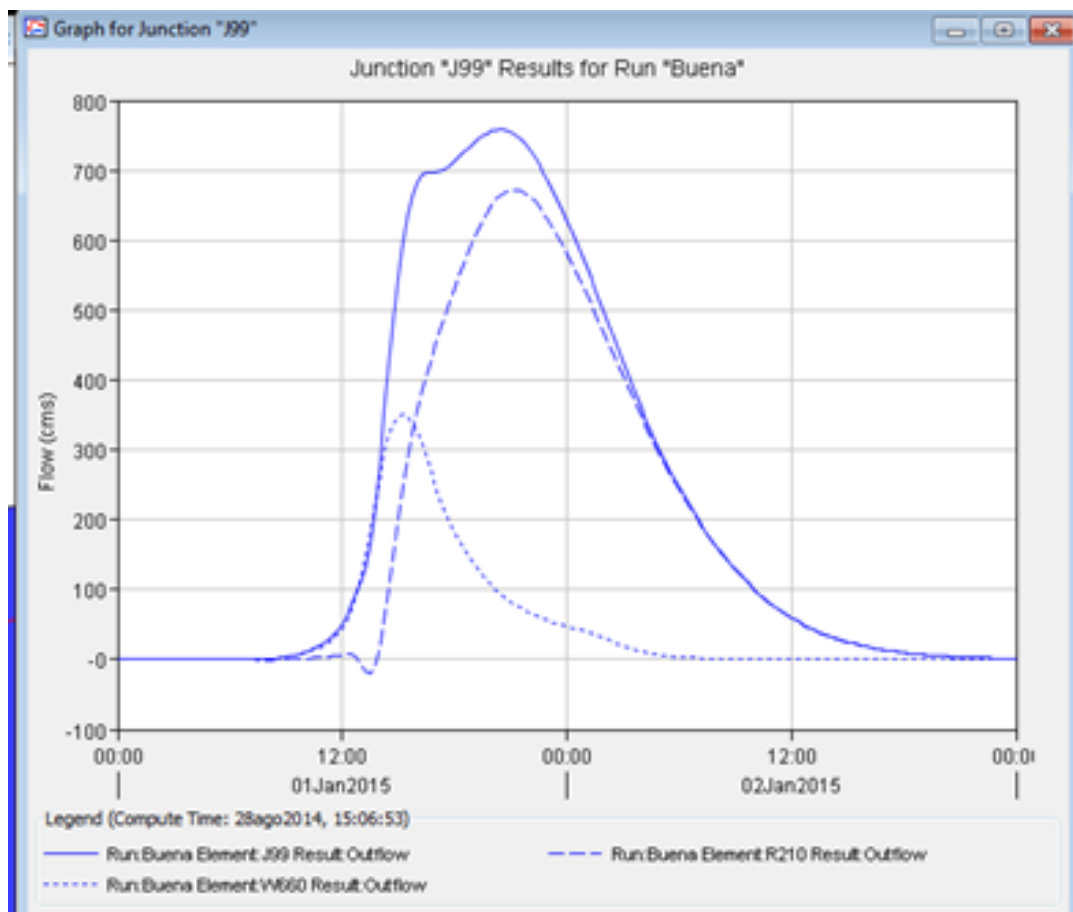
ESTUDIO DE INUNDABILIDAD DEL CAUCE DEL RÍO ANTAS EN SU TRAMO DE DESEMBOCADURA CON EL MAR MEDITERRÁNEO



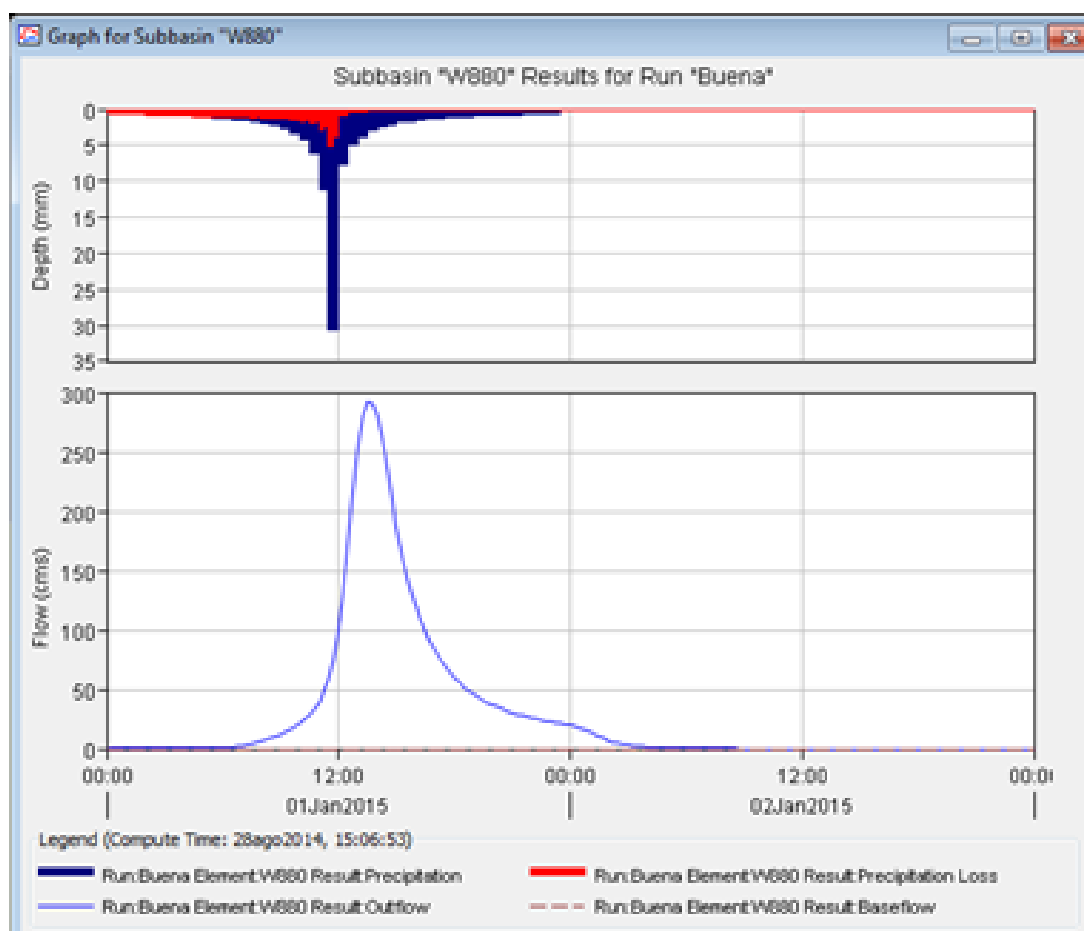
ESTUDIO DE INUNDABILIDAD DEL CAUCE DEL RÍO ANTAS EN SU TRAMO DE DESEMBOCADURA CON EL MAR MEDITERRÁNEO



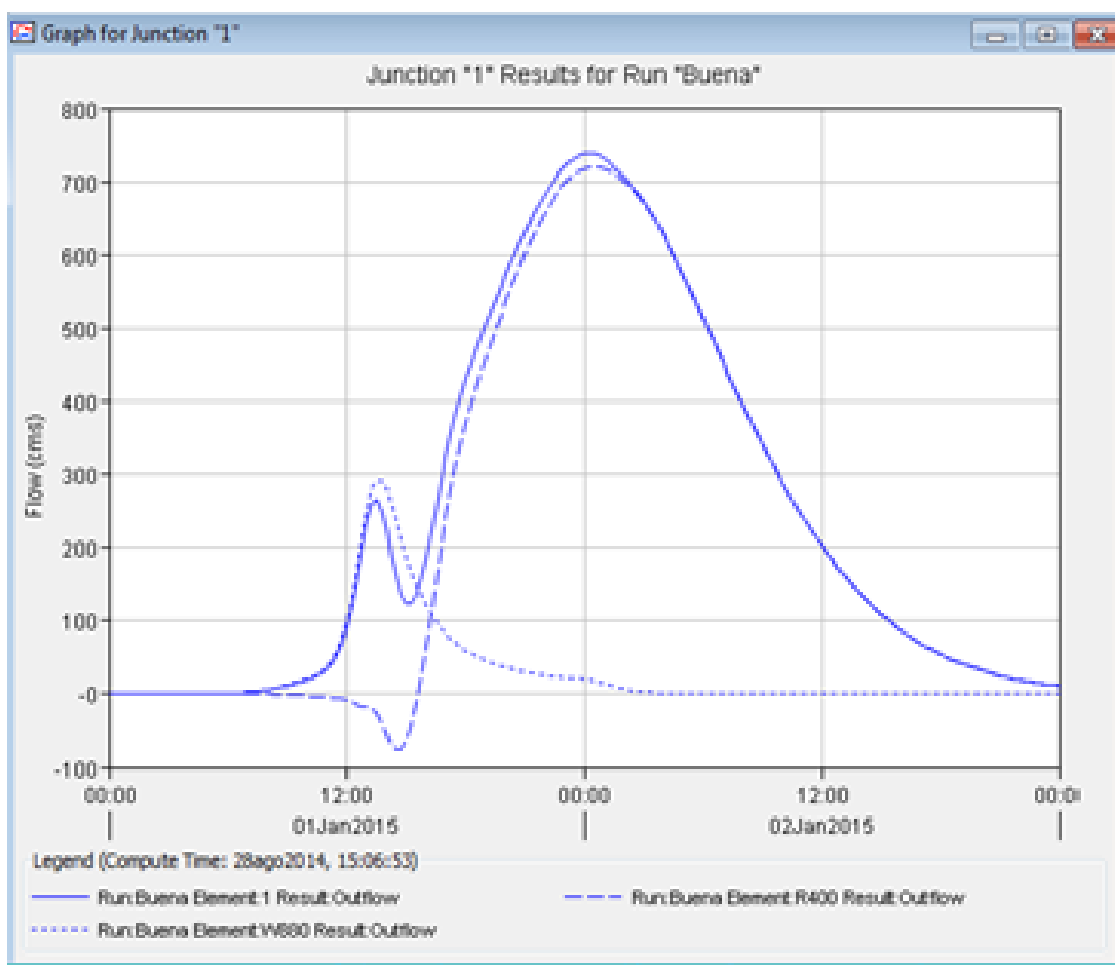
ESTUDIO DE INUNDABILIDAD DEL CAUCE DEL RÍO ANTAS EN SU TRAMO DE DESEMBOCADURA CON EL MAR MEDITERRÁNEO



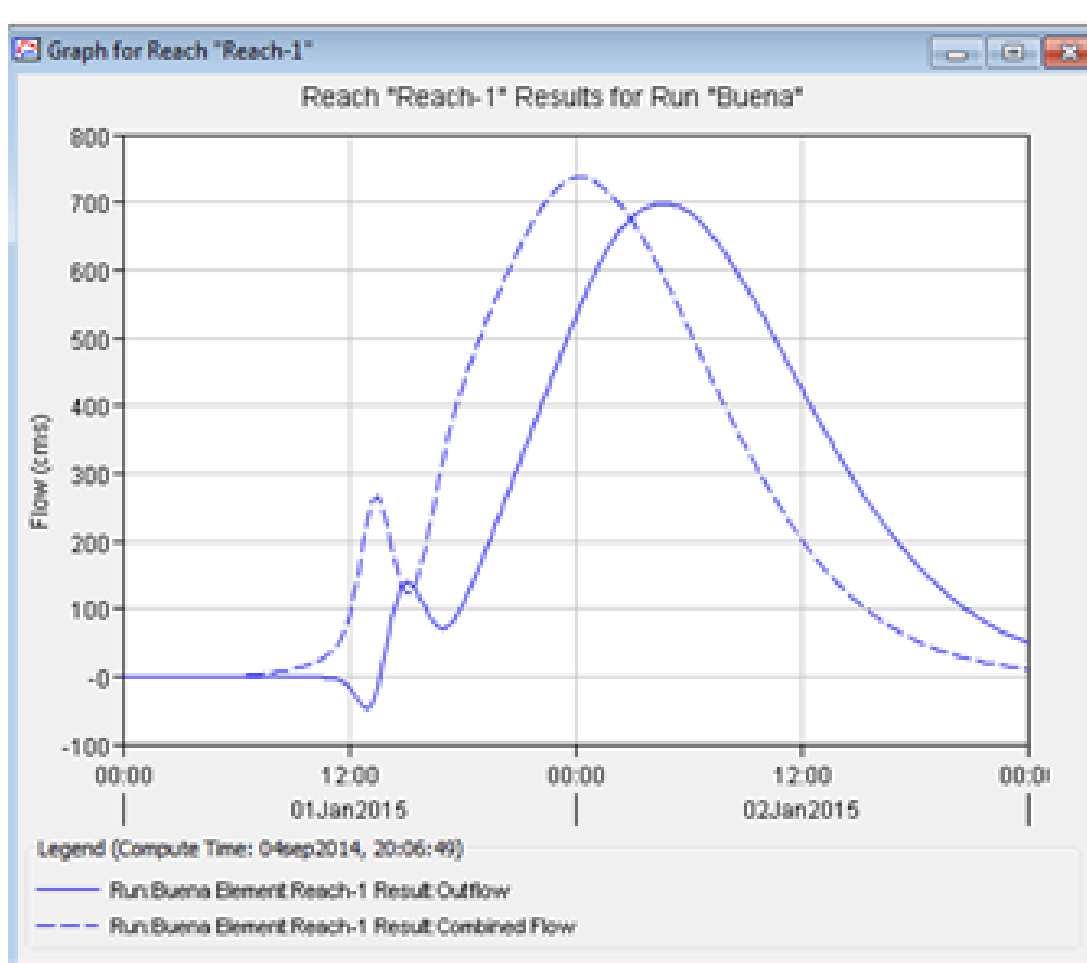
ESTUDIO DE INUNDABILIDAD DEL CAUCE DEL RÍO ANTAS EN SU TRAMO DE
DESEMBOCADURA CON EL MAR MEDITERRÁNEO



ESTUDIO DE INUNDABILIDAD DEL CAUCE DEL RÍO ANTAS EN SU TRAMO DE
DESEMBOCADURA CON EL MAR MEDITERRÁNEO



ESTUDIO DE INUNDABILIDAD DEL CAUCE DEL RÍO ANTAS EN SU TRAMO DE DESEMBOCADURA CON EL MAR MEDITERRÁNEO



Global Summary Results for Run "Buena"

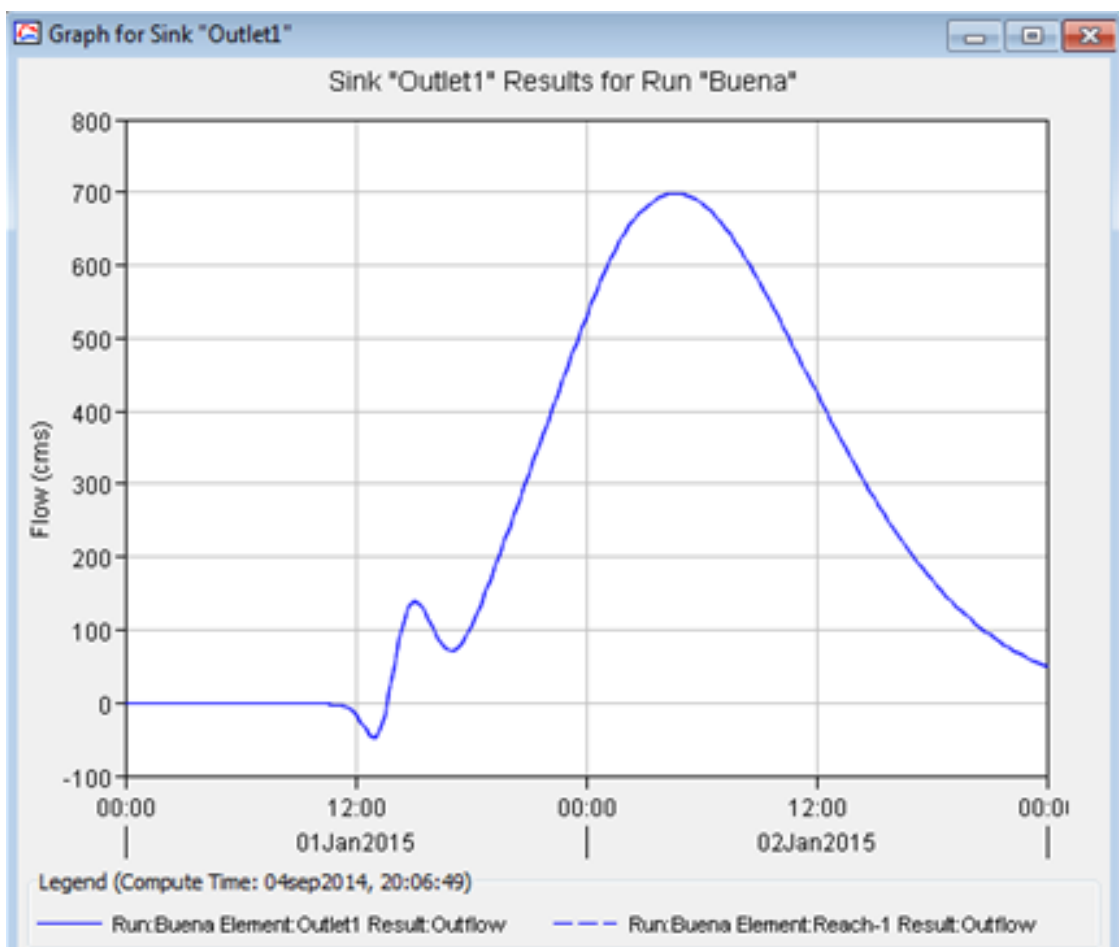
Project: antas Simulation Run: Buena

Start of Run: 01ene2015, 00:00 Basin Model: antas
 End of Run: 03ene2015, 00:00 Meteorologic Model: MetT500
 Compute Time: 04sep2014, 20:06:49 Control Specifications: Control 2

Show Elements: Initial Selection Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Reach-1	266.08175	698.6	02ene2015, 04:45	160.68

ESTUDIO DE INUNDABILIDAD DEL CAUCE DEL RÍO ANTAS EN SU TRAMO DE DESEMBOCADURA CON EL MAR MEDITERRÁNEO



Global Summary Results for Run "Buena"

Project: antas Simulation Run: Buena

Start of Run: 01ene2015, 00:00 Basin Model: antas
End of Run: 03ene2015, 00:00 Meteorologic Model: MetT500
Compute Time:04sep2014, 20:06:49 Control Specifications:Control 2

Show Elements: Volume Units: MM 1000 M3 Sorting:

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Outlet1	266.08175	698.6	02ene2015, 04:45	160.68

ANEJO IV. ESTUDIO HIDRÁULICO. RESULTADOS GRÁFICOS

El Río Antas se ha modelizado desde su cruce con el puente de la carretera AL 1200 hasta su desembocadura con el Mar Mediterráneo. Se han considerado una longitud 2 Km, tomando como referencia Modelo Digital del Terreno (MDT) de 5 m del Centro de Información Geográfica.

Para correr el modelo hidráulico el programa IBER precisa de los siguientes datos:

- **Geometría de la Malla.**

Deberá definirse el límite entre el lecho y las márgenes, los diferentes usos del suelo, urbanizaciones, cultivos, ect. así como las infraestructuras existentes como pueden ser los puentes, canalizaciones, ect.

En la siguiente figura se muestra la geometría de partida, en la que se ha diferenciado, el rio y sus márgenes, incluyendo las zonas urbanizadas, labor de secano en abandono y línea costera de playa de playa



Figura A4.1. Geometría IBER Río Antas

- **Rugosidad.**

Los Valores de rugosidad del terreno se han considerado a partir al Coeficiente de Manning, atendiendo a la tabla A4.1 y a la figura A4.2 en la que se muestra el río y márgenes teniendo en cuenta los diferentes usos del suelo mencionados en la geometría.

	Coeficiente de Manning
Cunetas y canales sin revestir	
En tierra ordinaria, superficie uniforme y lisa	0,020-0,025
En tierra ordinaria, superficie irregular	0,025-0,035
En tierra con ligera vegetación	0,035-0,045
En tierra con vegetación espesa	0,040-0,050
En tierra excavada mecánicamente	0,028-0,033
En roca, superficie uniforme y lisa	0,030-0,035
En roca, superficie con aristas e irregularidades	0,035-0,045
Cunetas y Canales revestidos	
Hormigón	0,013-0,017
Hormigón revestido con gunita	0,016-0,022
Encachado	0,020-0,030
Paredes de hormigón, fondo de grava	0,017-0,020
Paredes encachadas, fondo de grava	0,023-0,033
Revestimiento bituminoso	0,013-0,016
Corrientes Naturales	
Limpias, orillas rectas, fondo uniforme, altura de lámina de agua suficiente	0,027-0,033
Limpias, orillas rectas, fondo uniforme, altura de lámina de agua suficiente, algo de vegetación	0,033-0,040
Limpias, meandros, embalses y remolinos de poca importancia	0,035-0,050
Lentas, con embalses profundos y canales ramificados	0,060-0,080
Lentas, con embalses profundos y canales ramificados, vegetación densa	0,100-0,200 ¹
Rugosas, corrientes en terreno rocoso de montaña	0,050-0,080
Areas de inundación adyacentes al canal ordinario	0,030-0,200 ¹

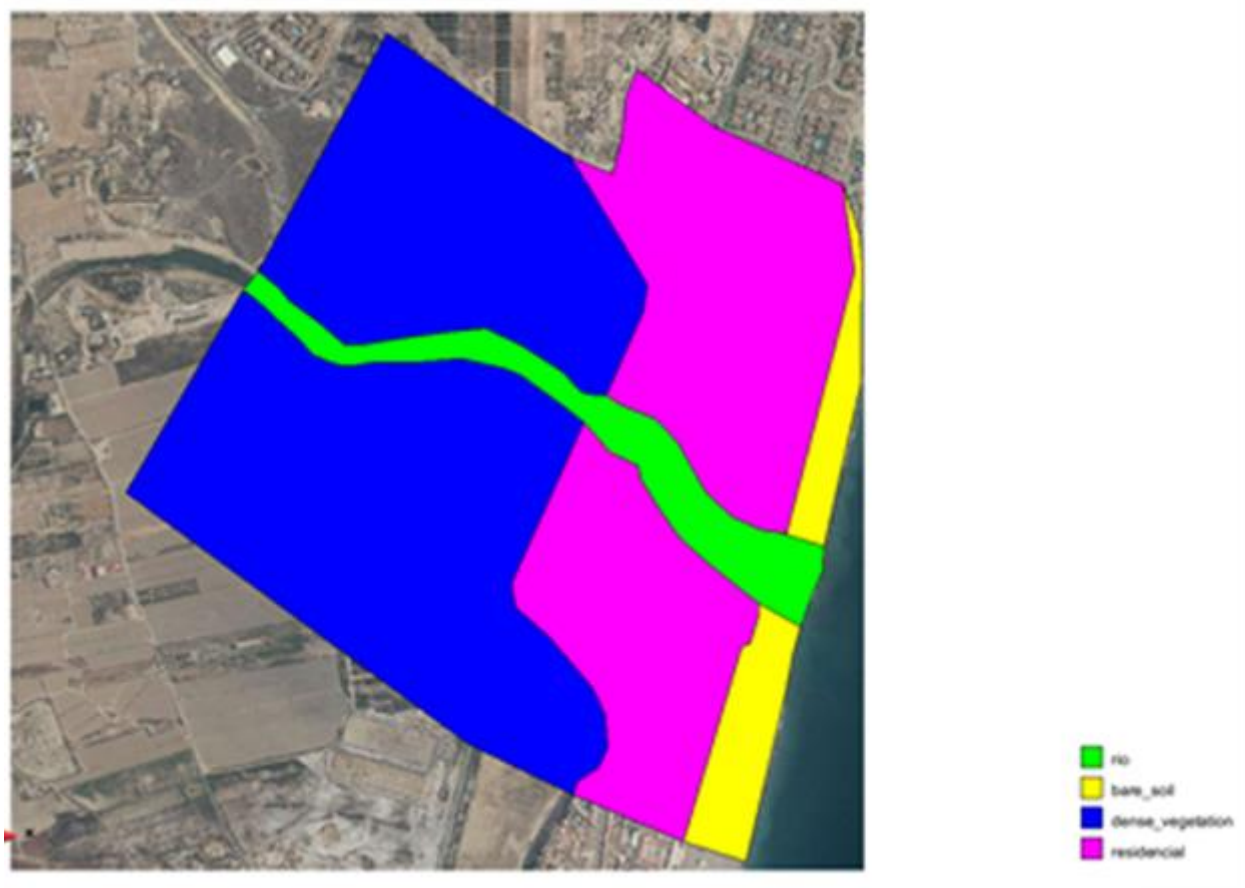


Figura A4 .2. Zonas consideradas con distinto número de Manning

Zonas	Coefficiente de Manning adoptado
Rio	0,025
Vegetación. Cultivo en Abandono	0,045
Residencia	0,15
Playa. Bare Soil	0,032

Tabla A4.2. Valores de Numero de Manning considerados en la simulación

- **Condiciones de Contorno**

A la Entrada.

Dado que inicialmente se desconocen la condiciones de contorno aguas arriba, se estable Régimen Supercrítico que se considera cuando el Número de Froude es mayor que la unidad, y el Número de Reynolds está en la zona laminar del diagrama de Moody. Tras la

ESTUDIO DE INUNDABILIDAD DEL CAUCE DEL RÍO ANTAS EN SU TRAMO DE
DESEMBOCADURA CON EL MAR MEDITERRÁNEO

verificación de los resultados y como se muestra en el Plano nº 9, el valor del Numero de Froude oscila entre 0- 2,93, por lo que el régimen considerado aguas arriba es correcto.

Por otro lado el hidrograma considerado para la modelización se muestra en la siguiente tabla

Instante de tiempo en sg / Caudal de Entrada en m³sg⁻¹									
0	17.3	27000	332.1	54000	698.6	81000	411.5	108000	120.4
900	53.1	27900	350.2	54900	697.9	81900	398.7	108900	114.5
1800	85.5	28800	368.5	55800	696.2	82800	386.0	109800	108.9
2700	112.3	29700	386.7	56700	693.5	83700	373.5	110700	103.6
3600	131.3	30600	405.0	57600	689.9	84600	361.1	111600	98.4
4500	139.2	31500	423.3	58500	685.4	85500	348.8	112500	93.5
5400	137.5	32400	441.5	59400	680.0	86400	336.8	113400	88.7
6300	128.6	33300	459.5	60300	673.8	87300	324.9	114300	84.2
7200	115.6	34200	477.5	61200	666.9	88200	313.3	115200	79.9
8100	102.4	35100	495.2	62100	659.2	89100	301.9	116100	75.7
9000	90.0	36000	512.7	63000	650.8	90000	290.7	117000	71.8
9900	79.3	36900	529.8	63900	641.8	90900	279.7	117900	68.0
10800	72.5	37800	546.6	64800	632.3	91800	269.0	118800	64.4
11700	70.7	38700	563.0	65700	622.2	92700	258.5	119700	60.9
12600	73.9	39600	578.9	66600	611.6	93600	248.2	120600	57.7
13500	81.3	40500	594.1	67500	600.7	94500	238.3	121500	54.5
14400	91.7	41400	608.5	68400	589.3	95400	228.6	122400	51.6
15300	104.8	42300	621.8	69300	577.6	96300	219.1	123300	48.7
16200	119.7	43200	634.0	70200	565.6	97200	209.9		
17100	135.5	44100	644.9	71100	553.3	98100	201.0		
18000	152.2	45000	654.7	72000	540.9	99000	192.4		
18900	169.4	45900	663.4	72900	528.2	99900	184.0		
19800	187.1	46800	671.0	73800	515.4	100800	175.9		
20700	205.1	47700	677.6	74700	502.5	101700	168.1		
21600	223.1	48600	683.4	75600	489.5	102600	160.5		
22500	241.3	49500	688.2	76500	476.5	103500	153.2		
23400	259.4	50400	692.1	77400	463.4	104400	146.1		
24300	277.6	51300	695.1	78300	450.4	105300	139.3		
25200	295.7	52200	697.2	79200	437.4	106200	132.8		
26100	313.9	53100	698.4	80100	424.4	107100	126.4		

Tabla A4.3. Valores del hidrograma de entrada

A la Salida.

El calado de la lámina de agua en su desembocadura con el Mar Mediterráneo puede considerarse 0 m.s.n.m, por lo que se ha considerado a la salida o desembocadura Régimen Subcrítico, sobre Nivel Dado.



Figura A4.3. Posibles puntos de desembocadura adoptados en la modelización

- **Condiciones Iniciales.**

Se ha considerado un suelo seco en toda la geometría estudiada, o lo que es lo mismo calado de la lámina de igual a cero.

- **Generación de la Malla**

Teniendo en cuenta el tamaño de las celdas a generar, que no debe de ser excesivo, para facilitar el procesado de datos, generamos una malla triangular a partir de la geometría.

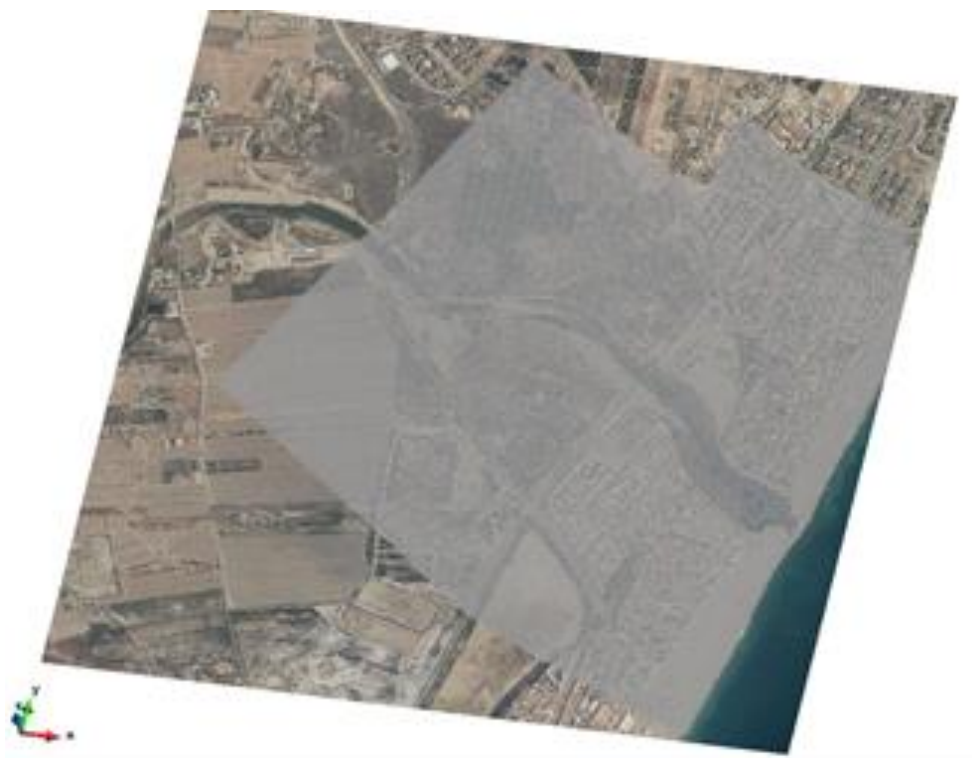


Figura A4.4. Malla Triangular generada

Esta malla carece de cotas, por lo que debemos asignársela en este caso se han obtenido a partir del Modelo Digital del Terreno de 5 m del Centro de Información Geográfica. Obteniéndose lo mostrado en la figura A 4.5



FiguraA4.5. Modelo de elevaciones de la zona de estudio.

- **Infraestructuras Existentes**

Inicialmente se observó en la planimetría, la existencia de 2 puentes en la zona de estudio, los cuales y como se puede observar en la figura A4.5, no son tenidos en cuenta por el Modelo Digital del Terreno considerado, por lo que se giró vista al lugar a fecha 9 de agosto de 2014, para la medición manual y orientativa de los puentes, obteniéndose los siguientes datos que han sido introducidos en la modelización hidráulica.

Distancia relativa	Parte superior del puente	Parte inferior del puente
0.0	6.88	5.88
0.3	7	6
0.5	7.1	6.1
0.8	7.3	6.3
1	7.5	6.5

Distancia relativa	ancho
0.3	3
0.5	3
0.8	3

Figura A4.6. Datos Puente Carretera conexión Las Marinas-Puerto Rey

ESTUDIO DE INUNDABILIDAD DEL CAUCE DEL RÍO ANTAS EN SU TRAMO DE DESEMBOCADURA CON EL MAR MEDITERRÁNEO

A continuación se muestra el reportaje fotográfico tomado el día de la visita a la zona de estudio.



Foto 1. Vista aguas arriba del puente en la carretera de conexión
Las Marinas - Puerto Rey



Foto 2. Bis



Foto 3. Vista aguas abajo del puente en la carretera de conexión
Las Marinas - Puerto Rey



Foto 3. Vista aguas abajo desde puente y desembocadura con el Mar

A partir de los datos introducidos podemos realizar la simulación, desprendiéndose los resultados que se muestra en los Planos aportados en el Anejo V y en el Video de Inundación.

ANEJO V. PLANOS