

Trabajo Fin de Grado

Ingeniería civil

Estudio de inundación del río Guadalquivir a su paso por el Balneario de Marmolejo y estudio de su reubicación

Autor: Alba Barea Solís

Tutor: Nicolás Gutiérrez Carmona

Dpto. Ingeniería Aeroespacial y Mecánica de
Fluidos
Escuela Técnica Superior de Ingeniería



Trabajo Fin de Grado
Ingeniería de civil

Estudio de inundación del río Guadalquivir a su paso por el Balneario de Marmolejo y estudio de su reubicación

Autor:

Alba Barea Solís

Tutor:

Nicolás Gutiérrez Carmona

Profesor asociado

Dpto. de Ingeniería Aeroespacial y Mecánica de Fluidos

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2019

Trabajo Fin de Grado: Estudio de inundación del río Guadalquivir a su paso por el Balneario de Marmolejo y estudio de su reubicación

Autor: Alba Barea Solís

Tutor: Nicolás Gutiérrez Carmona

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2019

El Secretario del Tribunal

A mi familia

A mis profesores

A mis amigos

Agradecimientos

Quisiera agradecer a mi tutor Nicolás Gutiérrez Carmona la oportunidad de realizar este proyecto y el apoyo dado. A mis profesores Carmen Zarzuelo y, especialmente, a Antonio Ruiz por la ayuda y paciencia ante mis dudas con Iber. A Ramón Abella por el cariño a mi pueblo. También quisiera agradecer a todos los que me han ayudado a ser lo que soy: mis padres y abuelos, que incansablemente se han esforzado y confiado en mí. A mi compañera y ya amiga Julia Álvarez por aportarme la tranquilidad y confianza que siempre he necesitado. A mis amigos Juanma y Javi por sus consejos y ayuda. Y, en especial, gracias a Agustín por el cariño que siempre me ha dado, sobre todo en los malos momentos, y por ayudarme en todo lo que estaba en su mano.

Alba Barea Solís

Sevilla, 2019

Resumen

El Balneario de Marmolejo es un lugar de interés cultural debido a sus fuentes y manantiales ricos en minerales. Tiene tres fuentes de agua consideradas mineromedicinales (Fuente Agria, San Luis y Buena Esperanza). Dicho Balneario se sitúa en la ribera del río Guadalquivir y ha presentado problemas de inundaciones a lo largo del tiempo.

Este Trabajo Fin de Grado trata de un estudio de inundabilidad e implantación de medidas preventivas para evitar la afección a la zona del balneario por las crecidas del río Guadalquivir. Considerando dos infraestructuras que influyen en dicha afección, como son la presa de Marmolejo, situada aguas arriba del balneario, y un puente renacentista, aguas abajo. Dicho estudio de inundabilidad se ha realizado mediante el software informático Iber, que emplea técnicas numéricas computacionales basadas en ecuaciones bidimensionales de aguas someras.

Una vez hecho el estudio hidráulico y teniendo en cuenta el Reglamento de Dominio Público e Hidráulico se procederá a solventar la problemática que presenta.

Por último, se realizará el diseño hidráulico de las conducciones que transportan el agua desde los manantiales hasta la nueva localización del balneario y el presupuesto de dichas obras.

Abstract

Balneario of Marmolejo is a touristic place because of its medicinal and mineral waters. It is set on the Guadalquivir's riverside. Therefore, It has been affected by several floods over time.

This Final Degree Project is based on a flooding study and prevention infrastructures (Marmolejo's dam is located upstream and the Renaissance bridge is located downstream), which affect this flooding process. Furthermore, It is taking preventive measures to avoid the damage.

The flooding study has been carried out by using software Iber, that is a two-dimensional hydraulic model. Once the hydraulic study is done and regarding the 'Reglamento de Dominio Público e Hidráulico', It is aimed at finding the best solution to avoid the damage.

Finally, there will be three pipes, which will transport the mineral water from the current study zone to the new construction zone. A hydraulic study of pipes will be done. Moreover, a pipe budget will be estimated.

Índice

Agradecimientos	ix
Resumen	xi
Abstract	xii
Índice	xiii
Índice de Tablas	xv
Índice de Figuras	xvi
Notación	xviii
1 Introducción	20
2 Caracterización de la zona	21
2.1. <i>Detalles zona de estudio</i>	21
2.2. <i>Antecedentes y objeto del proyecto</i>	24
2.3. <i>Climatología</i>	27
2.4. <i>Geología</i>	31
3 Estudio hidrológico	33
3.1. <i>Caudales de estudio</i>	33
3.2. <i>Estadística hidrológica</i>	31
3.2.1. Media y desviación estándar	32
3.2.2. Probabilidad y periodo de retorno	32
3.2.3. Distribución EVI	32
3.2.4. Distribución log-Pearson tipo III	32
3.2.5. Test de bondad	33
3.2.5.1. Test de chi-cuadrado	33
3.2.5.2. Test de Kolmogorov-Smirnov	34
3.3. <i>Caudales obtenidos</i>	35
4 Estudio hidráulico	37
4.1. <i>Software: Iber</i>	37
4.1.1. Ecuaciones usadas	37
4.1.2. Procesos del programa	38
4.2. <i>Modelización en Iber</i>	39
4.2.1. Geometría del problema	39
4.2.2. Preproceso	40
4.2.2.1. Datos del problema	40
4.2.2.2. Condiciones hidrodinámicas	41
4.2.2.3. Rugosidad	44
4.2.2.4. Mallado	46
4.2.2.5. Estructura en malla. Puente	48
4.3. <i>Resultados obtenidos</i>	49
4.3.1. Mapa de calados	53
4.3.2. Mapa de velocidades	53
4.3.3. Perfil transversal de la inundación	54

4.3.3. Perfil longitudinal de la inundación	54
5 Medidas de protección	55
6 Cumplimiento del marco legal actual	57
7 Sistema de abastecimiento al nuevo balneario	61
7.1. Sistema de bombeo y captación	62
7.2. Diseño de conducciones y depósito	63
7.3. Dimensionamiento del modelo de bomba	66
7.4. Válvulas y accesorios	70
8 Planos	71
9 Presupuesto	72
Bibliografía	73
Apéndice	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Información general estación meteorológica	29
Tabla 2-2: Años útiles de la estación meteorológica	29
Tabla 2-3: Pluviometría mensual en un año	30
Tabla 2-4: Temperatura media mensual	30
Tabla 3-1: Test de Kolmogorov-Smirnov	37
Tabla 3-2: Caudal máximo y periodo de retorno. Distribución EVI	38
Tabla 3-3: Caudal máximo y periodo de retorno. Distribución Log-Pearson tipo III	38
Tabla 4-1: Parámetros de tiempo y generales de la simulación	40
Tabla 4-2: Condiciones de contorno en el análisis 2D	43
Tabla 4-3: Número de Manning según superficie del área de estudio	45
Tabla 4-4: Geometría del puente	49
Tabla 4-5: Definición de las pilas del puente	50
Tabla 7-1: Capacidad de regulación del depósito	64
Tabla 7-2: Coeficientes de pérdida de carga localizada	64
Tabla 7-3: Datos y cálculos de pérdidas de carga	67
Tabla 7-4: Altura manométrica y caudal de cada bomba	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Localización del área de estudio	21
Figura 2-2: Esquema en planta de la zona de estudio	22
Figura 2-3: Fotografía del balneario y puente, año 2019	22
Figura 2-4: Esquema en planta de la zona de estudio	23
Figura 2-5: Presa de Marmolejo	24
Figura 2-6: Puente de San Bartolomé	25
Figura 2-7: Fotografía histórica de la fuente Agria, año 1952	25
Figura 2-8: Fotografía histórica de la inundación del año 1963	25
Figura 2-9: Fotografía histórica del puente y balneario tomada desde el puente de San Bartolomé	26
Figura 2-10: Fotografía histórica del puente, balneario y galería tomada desde la carretera JV-5001	26
Figura 2-11: Fotografía histórica del balneario y su galería	27
Figura 2-12: Situación de la zona de estudio en la clasificación meteorológica de Papadakis	28
Figura 2-13: Situación de la zona de estudio en la clasificación meteorológica de Papadakis en detalle	28
Figura 2-14: Climograma de la zona de estudio en los meses de un año	31
Figura 2-15: Mapa de formaciones geológicas T.M. Marmolejo	32
Figura 3-1: Representación curvas asimétricas y simétricas	33
Figura 3-2: Probabilidad acumulada	36
Figura 3-3: Hidrograma sintético triangular	37
Figura 4-1: Modelo Digital del Terreno (MDT) de la zona de estudio	39
Figura 4-2: Detalle de las pilas del puente en el MDT	39
Figura 4-3: Vista 3D de la zona de estudio	40
Figura 4-4: Parámetros y asignación de la entrada 2D	41
Figura 4-5: Parámetro y asignación de la salida 2D	42
Figura 4-6: Condiciones iniciales en Iber	44
Figura 4-7: Rugosidad en Iber	44
Figura 4-8: Rugosidad en canal fluvial y plantas del área de inundación	45
Figura 4-9: Arena acumulada en las pilas del puente	46
Figura 4-10: Superficies definidas en el mallado	47
Figura 4-11: Tamaño de malla	47
Figura 4-12: Detalle del mallado	48
Figura 4-13: Puente de San Bartolomé	48
Figura 4-14: Geometría del puente en Iber	51
Figura 4-15: Mapa de calados	51
Figura 4-16: Mapa de calados en zona del puente y balneario	52

Figura 4-17: Mapa de calados en zona de estudio	53
Figura 4-18: Mapa de velocidades	53
Figura 4-19: Perfil transversal desde el río al balneario	54
Figura 4-20: Perfil longitudinal zona del puente	54
Figura 5-1: Zona inundable	55
Figura 5-2: Zona inundable en detalle	56
Figura 5-3: Zona del balneario inundada	56
Figura 6-1: Consulta descriptiva y gráfica de la parcela	57
Figura 6-2: Zona de Flujo Preferente y zona inundable	59
Figura 6-3: Zona de policía, servidumbre y área de inundación	59
Figura 6-4: Esquema en planta de las nuevas instalaciones	60
Figura 6-5: Escalinatas en la zona del nuevo balneario	60
Figura 7-1: Esquema de las instalaciones	61
Figura 7-2: Perfil transversal del cauce	62
Figura 7-3: Cámara estanca	62
Figura 7-4: Curva de modulación horaria	63
Figura 7-5: Elección tipo de PE según DN y PN	65
Figura 7-6: Rellenos en tubos enterrados	66
Figura 7-7: Zanja tipo	66
Figura 7-8: Curva de funcionamiento de la bomba	69
Figura 7-9: Tablas con los datos de diseño, bomba y motor	69

Notación

μ	Media aritmética
x	Valor extremo de cada año
n	Número total de valores extremos
σ	Desviación estándar
K_T	Factor de frecuencia
T	Periodo de retorno
k_t	Factor de frecuencia distribución normal
C_s	Coficiente de asimetría
w	Parámetro logarítmico
$F(x)$	Probabilidad acumulada
i	Posición del valor extremo
Q_{\max}	Caudal producido por un evento extremo tormentoso
h	Profundidad de la lámina de agua o calado
q_x	Caudal unitario en la dirección x
q_y	Caudal unitario en la dirección y
$\frac{\partial y}{\partial x} \frac{\partial t}{\partial t}$	Derivada parcial de y, x, t respecto
g	Gravedad
U	Velocidad del agua
Δx	Tamaño de la malla de cálculo

1 INTRODUCCIÓN

El Balneario de Marmolejo, lugar de interés cultural desde el siglo XIX y situado en la ribera del río Guadalquivir, ha sufrido a lo largo del tiempo constantes inundaciones en las épocas de lluvia intensa. Es por ello, que este Trabajo Fin de Grado surge ante la idea de evaluar las crecidas del río y diseñar las actuaciones que impidan la inundación del balneario.

Para la modelización de las avenidas se ha necesitado datos históricos de caudales. A escasos metros de la zona de estudio, concretamente a 700 metros aguas arriba, se sitúa la presa y central hidroeléctrica de Marmolejo. Estos datos de caudales han sido aportados por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir: Desde el 1 de enero de 1951 hasta el 30 de septiembre de 1999, los datos son proporcionados por Endesa y corresponden al caudal medio circulante; a partir del 1 de octubre de 1999 hasta el 14 de febrero de 2019 los datos son aportados por el SAIH y se proporciona el caudal medio diario turbinado y el caudal medio diario circulante. Puesto que se trata de una serie de datos de más de 30 años, se extraerán conclusiones fiables.

A partir de esta serie de datos se ha realizado un estudio hidrológico basado en distribuciones de probabilidad estadística como son EVI y Log-Pearson tipo III. Se ha determinado la fiabilidad de estos resultados mediante el test de bondad del ajuste (Test de chi- cuadrado y test de Kolmogorov-Smirnov).

Una vez se ha obtenido el valor de caudal para el periodo de retorno de 500 años se procede a realizar la simulación en Iber. Es de considerar en dicha simulación el puente renacentista de Marmolejo, situado aguas abajo del balneario, a unos 40 metros de éste. La existencia de dicho puente aumenta el calado aguas arriba de él, es decir, en la zona de estudio.

A partir de los resultados obtenidos correspondientes a la simulación, en especial los referentes al calado y velocidad del agua, se procederá a determinar las medidas protectoras para evitar la inundación del balneario.

Dicha medida se establecerá en cumplimiento de lo exigido por el Reglamento de Dominio Público e Hidráulico (Actualización noviembre de 2018).

Es necesario conocer la zona de flujo preferente además de la zona inundable, puesto que determinarán la nueva zona donde se localizará el balneario.

Por último, se realizará el diseño hidráulico de las conducciones que transportan el agua desde la zona de manantiales (Zona de estudio) hasta la nueva localización del balneario fuera de la zona de inundación. Cabe destacar como elemento de captación de agua un sistema de bombeo 3R+1, constituido por 3 bombas sumergibles y una en reserva, una para cada tubería. Dichas tuberías transportan el agua hasta un depósito de regulación, del cual partirán 3 tuberías que por gravedad llevarán el agua hasta el balneario, donde se situarán las fuentes de agua.

2 CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA

El Balneario de Marmolejo se encuentra dentro de la provincia de Jaén, en el término municipal de Marmolejo y a 3 km de la localidad. A continuación, se muestra la localización de la zona de estudio y la situación que tiene en el mapa de España.

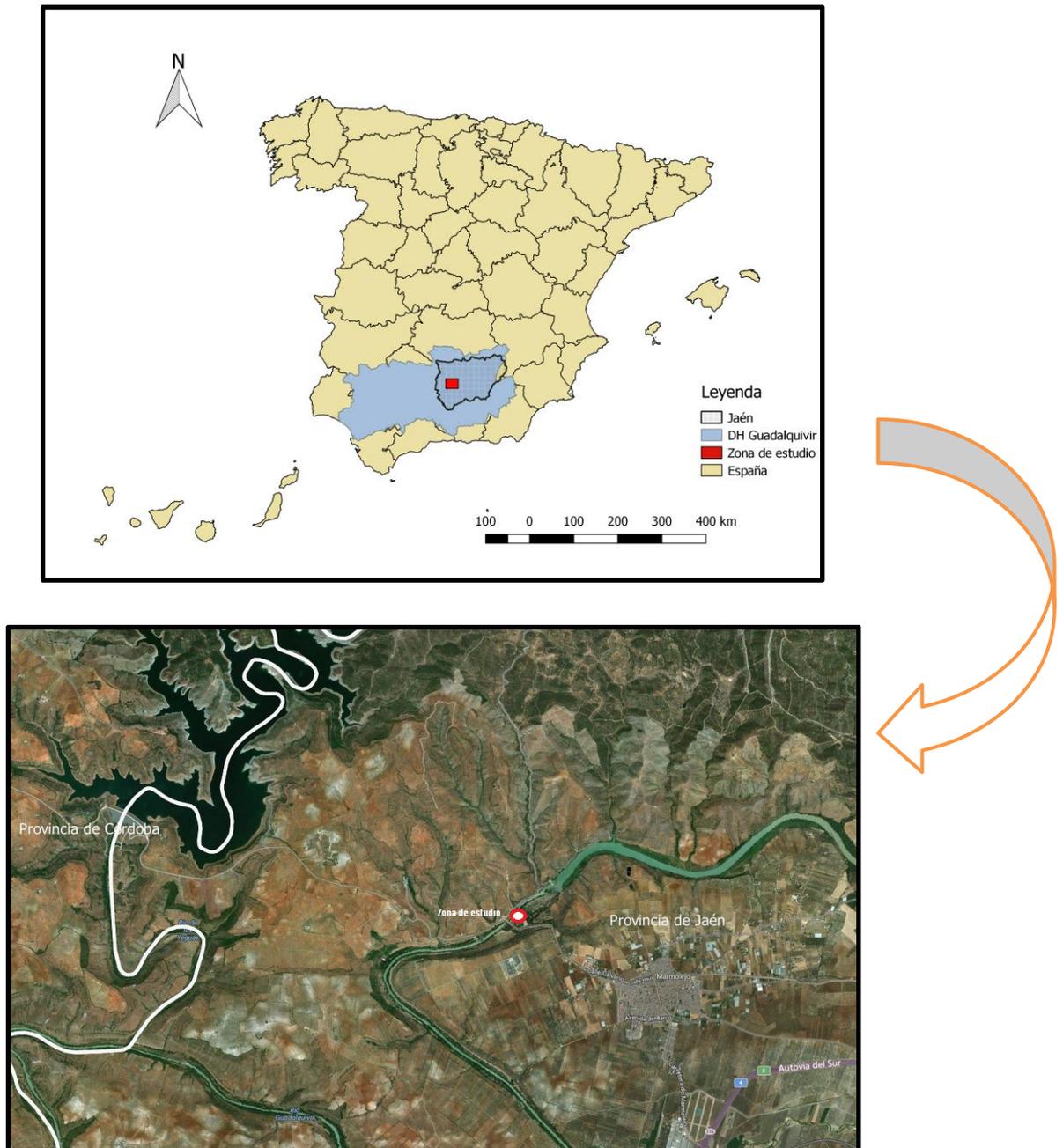


Figura 2-1: Localización del área de estudio

2.1. Detalles zona de estudio

Es necesario localizar las infraestructuras que tendrán una cierta relevancia en este estudio. Estas infraestructuras tratan de la presa de Marmolejo, situada a 700 metros aguas arriba del balneario, y del puente renacentista de San Bartolomé, a 40 metros aguas abajo.

Seguidamente, se muestra un esquema general en planta de la zona de estudio, donde se puede apreciar la situación de la presa y el puente. Además de otra ilustración del actual estado del balneario.

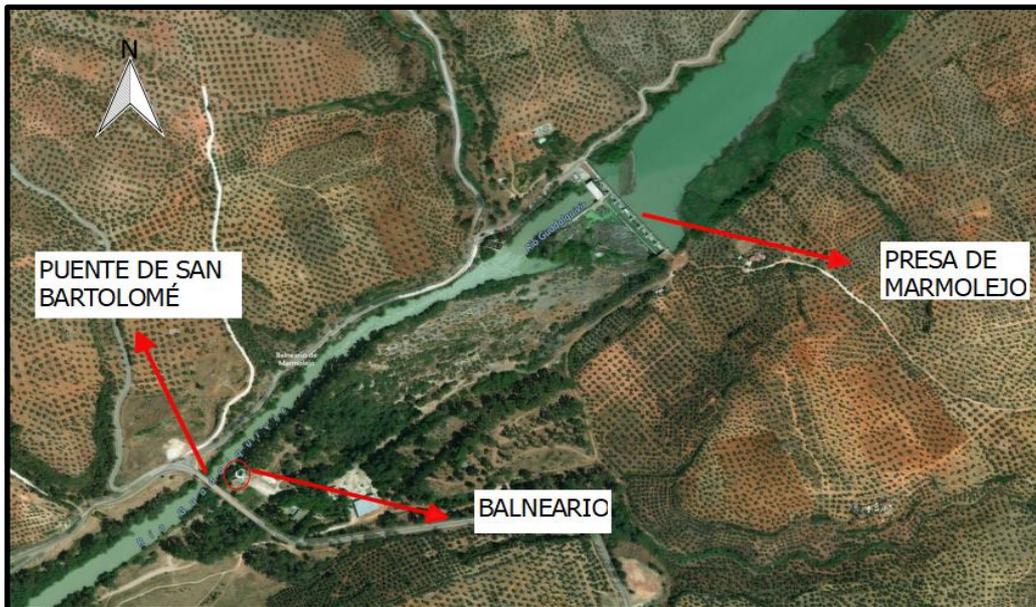


Figura 2-2: Esquema en planta de la zona de estudio



Figura 2-3: Fotografía del balneario actual y puente, abril 2019

En la siguiente ilustración se puede apreciar la situación de la central con respecto a la presa.

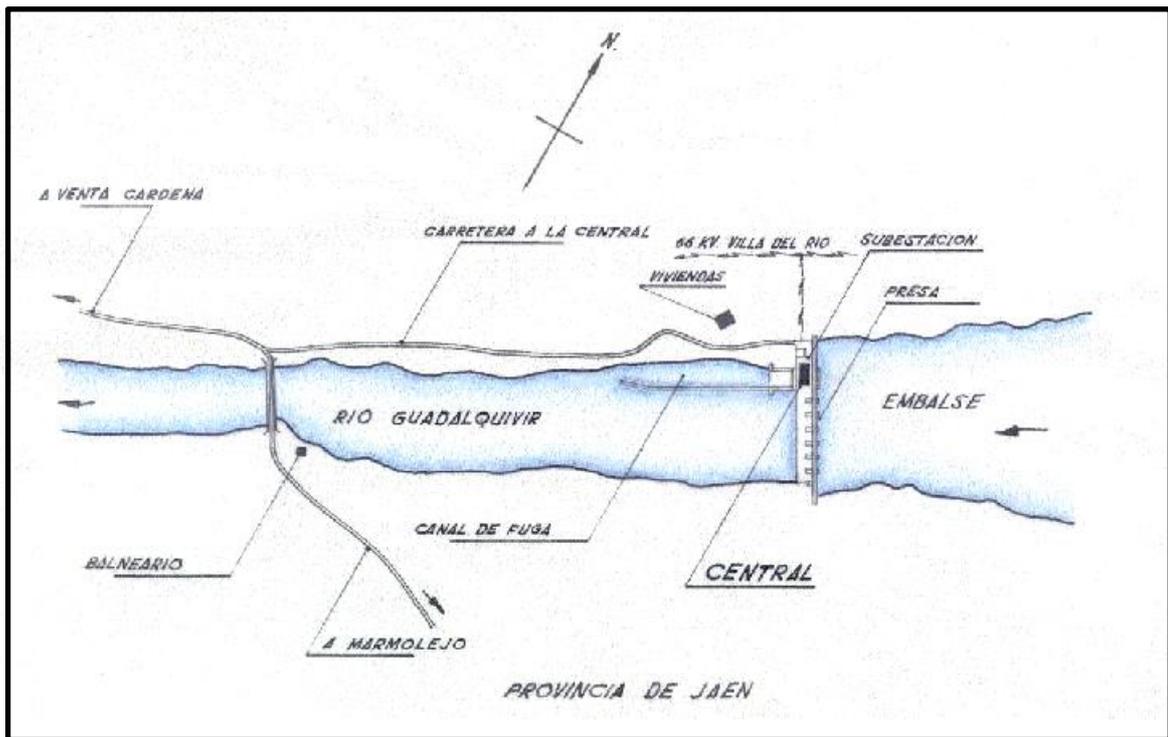


Figura 2-4: Esquema en planta de la zona de estudio

La presa fue construida en el año 1963 y es posterior a la central, ésta tiene sus orígenes en el año 1900. La presa tiene 7 compuertas, cada una de ellas con una capacidad máxima de desagüe de $536 \text{ m}^3/\text{s}$. Existe una estación de control y medida de caudal en dicha presa, que en la actualidad mide el caudal medio diario turbinado y el caudal medio diario circulante.

A continuación, se muestra una ilustración de la presa desagüando a plena carga.



Figura 2-5: Presa de Marmolejo

La segunda infraestructura es el puente de San Bartolomé, cuya construcción finalizó en el año 1587. Su objetivo era conectar el municipio de Marmolejo con la sierra, cruzando el río Guadalquivir.

En la siguiente ilustración se puede apreciar dicho puente.



Figura 2-6: Puente de San Bartolomé

2.2. Antecedentes y objeto del proyecto

Las inundaciones son uno de los riesgos naturales que mayores daños personales y económicos producen. En la actualidad se conoce y existen diversos procesos para determinar si una zona está fuera de afección de dichos riesgos. Sin embargo, en el pasado dichas zonas de la vega de los ríos tradicionalmente se aprovechaban para el uso agrícola. En el caso de Marmolejo, se construyó un balneario en la ribera del río Guadalquivir para aprovechar el uso de las aguas procedentes de tres manantiales (Fuente Agria, San Luis y Buena Esperanza).

La siguiente fotografía histórica tomada en el año 1952 muestra la fuente Agria, y como extraían el agua desde el propio manantial.



Figura 2-7: Fotografía histórica de la fuente Agria, año 1952

Desde principios del siglo pasado se tiene constancia de las inundaciones que ha sufrido la zona del balneario de Marmolejo, afectando a su principal zona turística.

Existen diversas imágenes históricas provenientes de diferentes fuentes, donde se puede observar las inundaciones sufridas. Por ejemplo, la siguiente ilustración corresponde a la inundación de febrero de 1963, con una descarga de $2.200 \text{ m}^3/\text{s}$. En ésta se puede apreciar el tejado del balneario, quedando inundado el resto del edificio.



Figura 2-8: Fotografía histórica de la inundación de febrero de 1963

A continuación, se muestran diversas fotografías, tomadas desde diferentes zonas, de las inundaciones más notorias.



Figura 2-9: Fotografía histórica de la galería del balneario tomada desde el puente de San Bartolomé

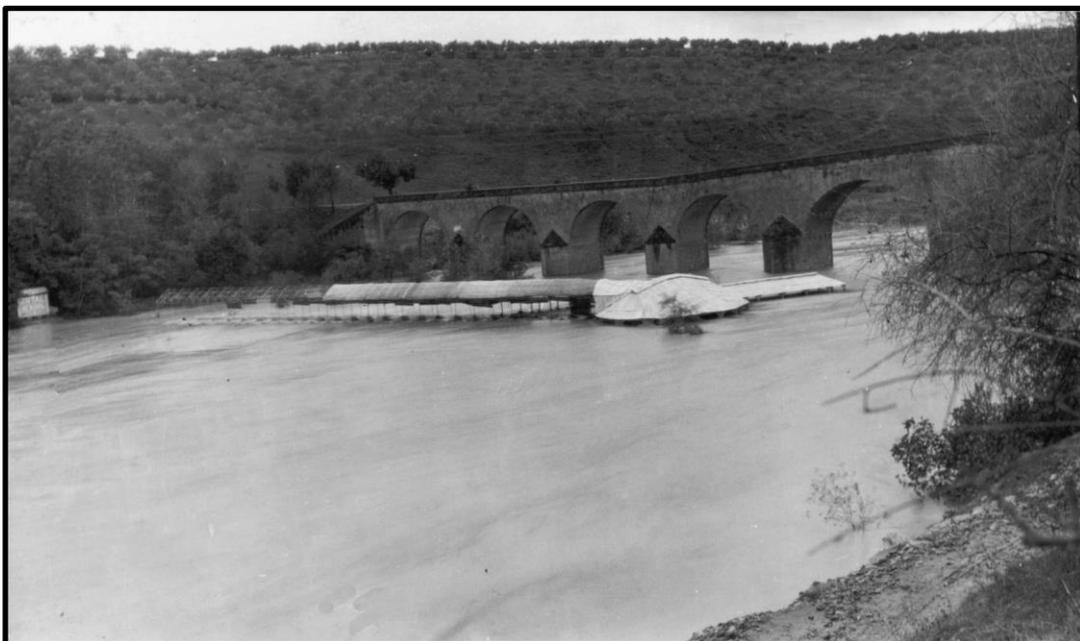


Figura 2-10: Fotografía histórica del puente, balneario y galería tomada desde la carretera JV-5001



Figura 2-11: Fotografía histórica del balneario y su galería

En las anteriores fotografías se puede apreciar las consecuencias que el balneario ha sufrido a lo largo del tiempo. Dado que es la zona con mayor interés histórico del municipio y ha sido y es uno de los destinos predilectos de turistas desde el siglo XIX, se realizará un estudio para ver el alcance de estas aguas y solventar dichas consecuencias.

2.3. Climatología

La posición fisiográfica de Jaén presenta una idoneidad para aplicar la metodología de reconstrucción de inundaciones a varias tipologías diferentes de inundación. La confluencia de masas de aire provenientes del mar Mediterráneo y del océano Atlántico sobre la provincia favorece el desarrollo de dos eventos diferenciados de inundación: regionales y torrenciales (BOHÓRQUEZ y DEL MORAL-ERENCIA, 2017, pp. 3).

Los eventos regionales están producidos por precipitaciones de carácter persistente y generalizado con una duración del orden de varias semanas, asociados a una consecución de borrascas provenientes del océano Atlántico. La escala de actuación es mayor que en el caso de las inundaciones torrenciales, afectando principalmente a los cauces que poseen un área de drenaje mayor al producirse la acumulación de la escorrentía de todos los cauces tributarios simultáneamente. El proceso de regulación hídrica mediante la construcción de presas en la cuenca durante el siglo XX e inicios del XXI ha producido una mitigación del número de crecidas asociadas a esta tipología (BOHÓRQUEZ, 2016, pp. 10), conllevando un incremento de vulnerabilidad por factores antrópicos al modificar el comportamiento del flujo (BATALLA, 2004, pp. 19). Por otra parte, las inundaciones torrenciales se caracterizan por una corta duración (menor de un día) y una alta intensidad de precipitación (BOHÓRQUEZ Y DEL MORAL-ERENCIA, 2017, pp. 4).

El mapa de clasificación de J. Papadakis hace referencia a un grupo de mapas temáticos en base a variables agroclimáticas. Esta clasificación se basa en el establecimiento de un régimen hídrico y térmico que determinan las unidades climáticas. Esta información es producida por el Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA) por métodos de interpolación geoestadística a partir de 1803 estaciones pertenecientes a la red de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).

En la zona de estudio, según la clasificación de Papadakis, se da un clima mediterráneo subtropical, caracterizado por inviernos templados y lluviosos y veranos cortos, secos y calurosos, con otoños y primaveras variables, tanto

en temperaturas como precipitaciones.

En la siguiente ilustración se observa la situación de la zona de estudio en el mapa de clasificación de Papadakis.



Figura 2-12: Situación de la zona de estudio en la clasificación climatológica de Papadakis

La precipitación media anual es de 614.6 mm, distribuyéndose por término medio según la siguiente tabla.

Pluviometría media mensual (MM)	
Enero	78.10
Febrero	81.70
Marzo	82.10
Abril	61.10
Mayo	39.80
Junio	32.70
Julio	3.60
Agosto	2.30
Septiembre	26.50
Octubre	52.50
Noviembre	76.20
Diciembre	78

Tabla 2-3: Pluviometría mensual en un año

El mes más lluvioso es enero, con una precipitación media de 78,1 mm, siendo el mes más seco agosto, con una media de 2,4 mm. En la siguiente imagen se muestra el climograma de la zona de estudio, donde se resumen los valores mensuales a lo largo del año.

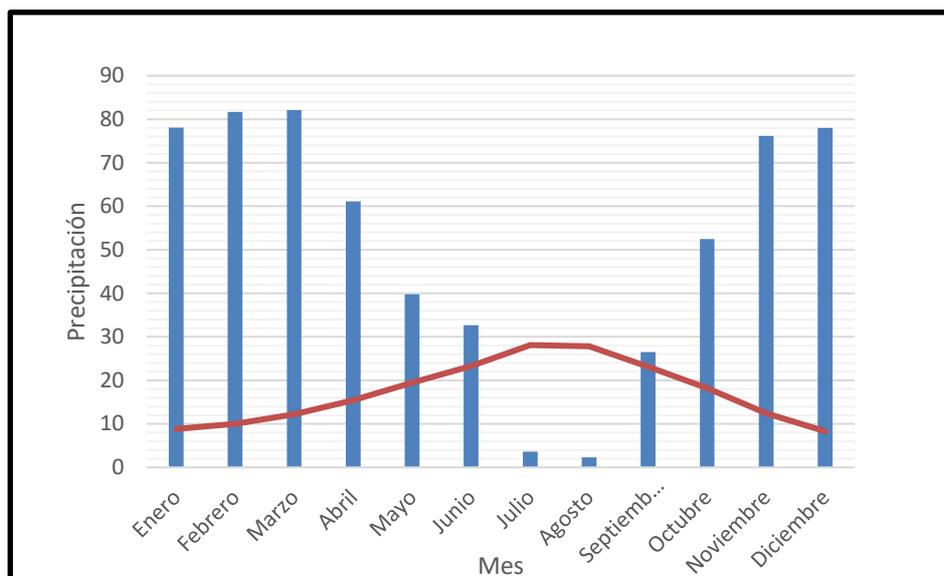


Figura 2-14: Climograma de la zona de estudio en los meses de un año

En el climograma anterior se puede observar que el período seco va de los meses de julio a agosto, ambos incluidos (según el criterio de Gaussen, un mes seco o árido es aquel en el que la precipitación media es menor al doble de la temperatura media; en el climograma, esto se puede ver fácilmente observando en qué meses la precipitación queda por debajo de la curva de temperatura).

La lluvia cae sobre todo en invierno, con relativamente poca lluvia en el verano, lo cual indica que los posibles eventos extremos, que afectan a la zona de estudio, se producen en los meses de invierno.

2.4. Geología

En el término municipal de Marmolejo se pueden diferenciar dos áreas desde el punto de vista geológico: Sierra Morena y el valle del Guadalquivir. La primera topográficamente es más elevada, con cotas por encima de los 300 metros, entre las que destacan los vértices Cerrejón (659 metros) y Colodro (705 metros). Esta zona corresponde a materiales paleozoicos del Macizo Ibérico, compuestos por pizarras, areniscas y cuarcitas del Carbonífero, con una edad de 350 a 320 millones de años. También, hay granitos y en su alrededor se puede encontrar corneas, filitas metamórficas y esquistos.

En la zona donde se encuentra el área de estudio, parte que corresponde al Valle del Guadalquivir, con un relieve llano se puede encontrar materiales triásicos (como conglomerados y areniscas de color rojo) con una antigüedad de 210 a 240 millones de años. La dinámica fluvial da lugar a la aparición de terrazas en los márgenes del río.

La ilustración siguiente muestra un esquema de las distintas formaciones geológicas en el término municipal de Marmolejo.

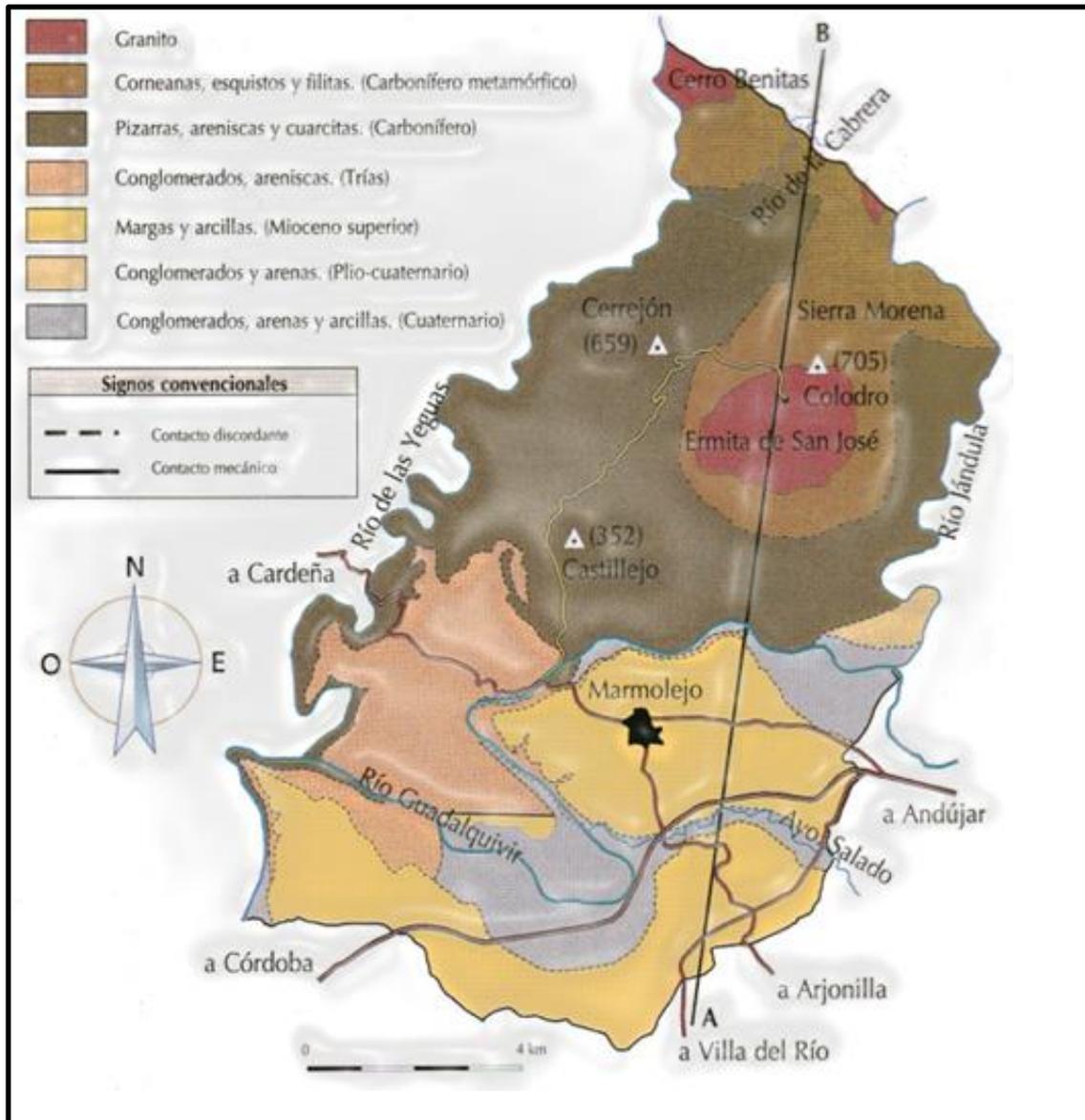


Figura 2-14: Mapa de las formaciones geológicas. T.M. Marmolejo

3 ESTUDIO HIDROLÓGICO

El estudio hidrológico determina los caudales de avenida que se producen como consecuencia de un evento tormentoso extremo. En el presente estudio se estima el caudal de avenida para un periodo de retorno de 10, 50, 100 y 500 años, mediante diversas distribuciones empleadas en una serie de valores extremos.

3.1. Caudales de estudio

Se ha necesitado una serie de datos históricos para realizar el presente estudio hidrológico. Se trata de una serie que recoge por días el caudal desde el año 1951 hasta principios del 2019, justo cuando se empezó este trabajo. Se ha considerado para el estudio el caudal circulante diario, recogido por Endesa, durante los años 1951 y 1999. A partir del 1 de septiembre de 1999 hasta el 31 de diciembre de 2018, se proporciona el caudal medio diario turbinado y el caudal medio circulante, que sumados darán el caudal diario que desagua la presa y serán los utilizados para la determinación de este estudio. Dicha serie temporal ha sido proporcionada por Confederación Hidrográfica del Guadalquivir.

De esta serie histórica se resalta que el **día con mayor descarga fluvial fue el 17 de febrero de 1963**, dando lugar a la inundación de mayor valor registrado: **2.850 m³/s**, seguido de la **segunda descarga con más relevancia, en torno a 2.200 m³/s se recogieron el 18 de febrero de 1963**.

El periodo de humedad más notorio y cercano hasta la fecha fue en los años **2010 y 2013**, registrándose valores de 1.811,8 m³/s (24 febrero 2010) y 1.294,6 m³/s (2 de abril de 2013).

Estos últimos periodos de humedad son de destacar, dado **el daño ocasionado en la zona de estudio, que fue similar al causado por la inundación del año 1963**.

3.2. Estadística hidrológica

El estudio ha consistido en extraer los valores extremos de cada año, es decir, el caudal más elevado que se ha recogido en ese año y hacerlo para cada año, desde el 1951 hasta 2018. Dado que se ha obtenido una serie histórica de caudales de más de 30 valores, las deducciones extraídas podrían ser bastante fiables.

Una vez se ha realizado esto, se ha determinado el valor medio de esos valores extremos.

Los valores extremos no presentan la misma proporción de valores pequeños y grandes. La diferencia entre ambos es el ajuste que toman en una distribución representativa de sus valores.

Existen dos tipos de distribuciones: Distribución simétrica normal o de Gauss y Distribución asimétrica. La principal diferencia entre ellas es el pico de la curva. En las distribuciones asimétricas, éste puede estar desviado hacia la derecha o izquierda., como bien se puede apreciar en la siguiente figura.

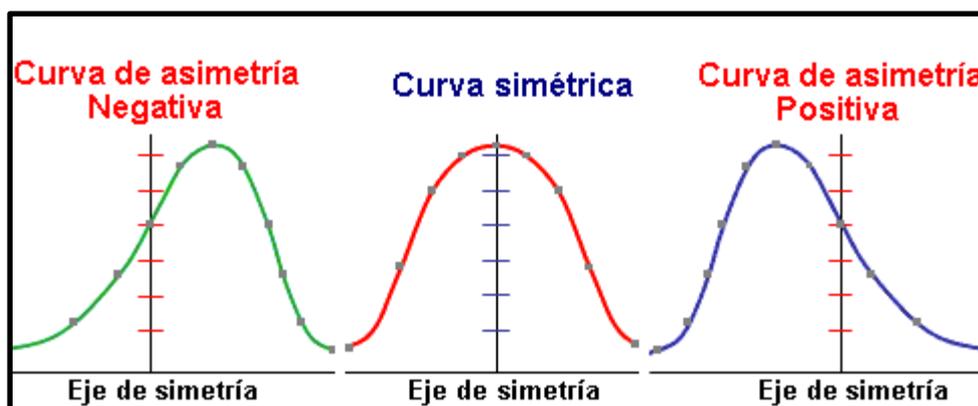


Figura 3- 1: Representación curvas asimétricas y simétricas

Hay que resaltar que los valores extremos se ajustan a las distribuciones asimétricas descritas por matemáticos como Gumbel y Pearson. Por tanto, este estudio se centrará en dichas distribuciones.

3.2.1. Media y desviación estándar

Para determinar la distribución de un conjunto de valores extremos es necesario hallar la media aritmética y la desviación estándar, que reflejarán la tendencia central y dispersión.

Se ha obtenido la media aritmética de todos los valores extremos mediante la fórmula siguiente.

$$\mu = \frac{\sum x}{n}$$

La desviación estándar se calcula en función de la suma de las desviaciones de cada valor de la media ya calculada.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x - \mu)^2}{n - 1}}$$

La elección que se ha elegido es la hoja de cálculo, donde se utiliza la fórmula '=DESVEST()' para calcular la desviación estándar y '=PROMEDIO()' para la media. Los cálculos se adjuntan en el apéndice número 1 de este documento.

3.2.2. Probabilidad y periodo de retorno

El periodo de retorno es la inversa de la probabilidad:

$$\text{Periodo de retorno} = \frac{1}{\text{Probabilidad}}$$

Por tanto, si la probabilidad de que algo suceda es de 0.01 (1%), esto quiere decir que sucederá una vez cada 100 años. De forma inversa, si un caudal se iguala o supera cada 50 años, la probabilidad de que esto suceda es de 0.02 (2%).

3.2.3. Distribución EVI

Para el estudio de la serie de valores extremos se ha utilizado la distribución Gumbel o EVI, ya que junto con la distribución Log-Pearson tipo III son las más utilizadas para el cálculo de probabilidades de eventos extremos de caudales. La distribución SQRT-max no se ha considerado en este estudio, ya que en España los organismos oficiales la utilizan para el cálculo de precipitaciones máximas.

Un evento extremo puede ser expresado según la ecuación:

$$x = \mu + K_T * \sigma$$

$$\text{Donde } K_T = \frac{-\sqrt{6}}{\pi} * (0.5772 + \text{Ln}(\text{Ln}(\frac{T}{T-1})))$$

Una vez calculado el valor del evento extremo (x), tendremos el caudal en ese periodo de retorno.

3.2.4. Distribución Log-Pearson tipo III

Hay que realizar el logaritmo a cada valor extremo, calcular la media, desviación y coeficiente de asimetría.

La distribución Log-Pearson tipo III utiliza la misma expresión para el evento extremo:

$$x = \mu + K_T * \sigma$$

$$\text{Donde } K_T = z + (z^2 + 1)k + \frac{1}{3}(z^3 - 6z)k^2 - (z^2 - 1)k^3 + zk^4 + \frac{1}{3}k^5$$

Siendo, $k=C_s/6$; $z=k_t$ (normal)

$$K_t = w - \frac{2.515517 + 0.802853w + 0.010328w^2}{1 + 1.432788w + 0.1889269w^2 + 0.001308w^3}, \text{ donde } w = (\ln(1/(1/T)^2))^{1/2}$$

Los resultados obtenidos de ambas distribuciones se adjuntan en el apéndice número 2 de este documento.

3.2.5. Test de bondad

El objetivo del test de bondad es conocer, de forma exacta, el ajuste de los valores extremos a una determinada distribución.

3.2.5.1. Test de chi-cuadrado

Consiste en hallar un valor y compararlo con el valor esperado, para así ver si se acepta o no dicho valor calculado. La razón por la que se acepta un valor es porque cumpla que el valor esperado sea mayor que el calculado.

Se han obtenido un número de intervalos, en función de los valores extremos. Para este estudio se ha determinado 12 intervalos con un rango de 200 cada uno de ellos. Se procede a contar el número de valores que hay dentro de ese intervalo para así obtener un valor de $f_s(x)$, que será de utilidad a la hora de calcular el valor de chi-cuadrado.

- EVI

Se calcula la probabilidad acumulada:

$$F(x) = \exp(-\exp(-\frac{x-u}{\alpha}))$$

Siendo $u = \mu - 0.5772\alpha$ y $\alpha = \sqrt{6} \frac{\sigma}{n}$

Se determina los valores de $p(x)$ en cada intervalo:

$$p(x) = F_i - F_{i-1}$$

Por último, se calcula chi-cuadrado: $\chi_c^2 = \sum_{i=1}^n \frac{n(f_s(x) - p(x))^2}{p(x)}$

- Log-Pearson tipo III

Se calcula el logaritmo de cada límite superior de cada intervalo de valores. Se determinan los valores de los parámetros λ , β , v :

$$\lambda = \frac{\sigma}{\sqrt{\beta}} ; \beta = (2/C_s)^2 ; v = 2\beta$$

Se halla el valor de ϕ para cada intervalo:

$$\phi = (x - \mu) / \lambda + \beta$$

Se determina $z_{pi} = \sqrt{4\phi} - \sqrt{(2v - 1)}$

En función del nivel de confianza que tienen este tipo de estudios (99%) y del valor obtenido v se calcula el valor de la tabla de probabilidad acumulada, para conocer la probabilidad acumulada, $F(x)$, se calcula como uno menos el valor obtenido de la tabla (esto para valores negativos de z_{pi}), si el valor es positivo sólo se considera el valor que proporciona la tabla de probabilidad acumulada.

Se muestra una imagen de dicha tabla.

v	$F(x) = \text{Nivel de confianza, } 1 - \alpha$												
	0,995	0,99	0,975	0,95	0,90	0,75	0,50	0,25	0,10	0,05	0,025	0,010	0,005
1	7,88	6,63	5,02	3,84	2,71	1,32	0,455	0,102	0,016	0,004	0,001	0,0002	0,0000
2	10,6	9,21	7,38	5,99	4,61	2,77	1,39	0,575	0,211	0,103	0,051	0,0201	0,0100
3	12,8	11,3	9,35	7,81	6,25	4,11	2,37	1,21	0,584	0,352	0,216	0,115	0,072
4	14,9	13,3	11,3	9,49	7,78	5,39	3,36	1,92	1,06	0,711	0,484	0,297	0,207
5	16,7	15,1	12,8	11,1	9,24	6,63	4,35	2,67	1,61	1,15	0,831	0,554	0,412
6	18,5	16,8	14,4	12,6	10,6	7,84	5,35	3,45	2,2	1,64	1,24	0,872	0,676
7	20,3	18,5	16,0	14,1	12,0	9,04	6,35	4,25	2,83	2,17	1,69	1,24	0,989
8	22,0	20,1	17,5	15,5	13,4	10,2	7,34	5,07	3,49	2,73	2,18	1,65	1,34
9	23,6	21,7	19,0	16,9	14,7	11,4	8,34	5,9	4,17	3,33	2,7	2,09	1,73
10	25,2	23,2	20,5	18,3	16,0	12,5	9,34	6,74	4,87	3,94	3,25	2,56	2,16
11	26,8	24,7	21,9	19,7	17,3	13,7	10,3	7,58	5,58	4,57	3,82	3,05	2,60
12	28,3	26,2	23,3	21,0	18,5	14,8	11,3	8,44	6,30	5,23	4,40	3,57	3,07
13	29,8	27,7	24,7	22,4	19,8	16,0	12,3	9,3	7,04	5,89	5,01	4,11	3,57
14	31,3	29,1	26,1	23,7	21,1	17,1	13,3	10,2	7,79	6,57	5,63	4,66	4,07
15	32,8	30,6	27,5	25,0	22,3	18,2	14,3	11,0	8,55	7,26	6,26	5,23	4,60
20	40,0	37,6	34,2	31,4	28,4	23,8	19,3	15,5	12,4	10,9	9,59	8,26	7,43
25	46,9	44,3	40,6	37,7	34,4	29,3	24,3	19,9	16,5	14,6	13,1	11,5	10,5
30	53,7	50,9	47,0	43,8	40,3	34,8	29,3	24,5	20,6	18,5	16,8	15,0	13,8

Figura 3-2: Probabilidad acumulada

Posteriormente, se calcula $p(x)$ y el valor de chi-cuadrado, ya mencionados anteriormente.

La única distribución que se acepta es esta última, en el apéndice de este documento se puede ver más detalladamente.

3.2.5.2. Test de Kolmogorov-Smirnov

Se ordenan los valores extremos de mayor a menor. Se calcula el parámetro F_s :

$$F_s = 1 - \frac{i}{n}$$

- EVI

Se determina siguiendo la misma fórmula que en el apartado anterior, la frecuencia acumulada $F(x)$ para cada valor. Seguidamente, se halla el valor absoluto (para cada valor extremo) de la diferencia entre F_s y la frecuencia acumulada:

$$d = |F_s(x) - F(x)|$$

Se obtiene el máximo del conjunto de datos obtenidos:

$$D = \max(|F_s(x) - F(x)|)$$

Para conocer si se acepta el valor calculado D , es necesario determinar un segundo valor, según la tabla de a continuación.

Tamaño de la muestra, n	$\alpha=0,10$	$\alpha=0,05$	$\alpha=0,01$
5	0.51	0.56	0.67
10	0.37	0.41	0.49
15	0.30	0.34	0.40
20	0.26	0.29	0.35
25	0.24	0.26	0.32
30	0.22	0.24	0.29
40	0.19	0.21	0.25
>40	$1.22/\sqrt{n}$	$1.36/\sqrt{n}$	$1.63/\sqrt{n}$

Tabla 3-1: Test de Kolmogorov-Smirnov

En este caso hay más de 40 casos y un nivel de confianza del 99%. Por tanto, el valor a calcular sigue la fórmula: $1.63/\sqrt{n}$

- Log-Pearson tipo III

Se calcula el logaritmo del valor extremo de la columna ordenada de mayor a menor. El resto de operaciones hasta llegar al cálculo de la frecuencia acumulada son idénticas a las ya explicadas en el apartado anterior (caso de Log-Pearson tipo III).

Una vez tenemos la frecuencia acumulada se obtiene el valor d (Siguiendo la fórmula ya mencionada) para cada valor extremo y por último se obtiene el máximo de todos los valores d : D

Ambos casos, EVI y Log-Pearson tipo III, se aceptan. Considerando el test de chi-cuadrado, la distribución con mayor ajuste es la Log-Pearson tipo III, ya que tanto en el test de Kolmogorov-Smirnov como en Chi-Cuadrado se acepta.

3.3. Caudales obtenidos

Gracias al estudio hidrológico se han obtenido los caudales de avenidas producidos como consecuencia de un evento tormentoso de carácter extremo. A continuación, se muestran dos tablas, la primera está referida a los caudales obtenidos mediante la distribución EVI y la segunda de ellas a la distribución Log-Pearson tipo III.

T (años)	Q _{max} (m ³ /s)
10	1.593,5
50	2.476,5
100	2.849,7
500	3.712,4

Tabla 3-2: Caudal máximo y periodo de retorno. Distribución EVI

T (años)	Q _{max} (m ³ /s)
10	1.646,6
50	3.446,5
100	4.423,1
500	7.202,1

Tabla 3-3: Caudal máximo y periodo de retorno. Distribución Log-Pearson tipo III

En este estudio se quiere conocer la zona inundable del área de estudio. Por ello, los resultados más deterministas irán referidos al caudal de la avenida con periodo de retorno de 500 años.

La distribución que mejor se ajusta a la hora de calcular caudales y para periodos de retorno altos es la Log-Pearson tipo III, dado que mayor la avenida máxima histórica. Sin embargo, reflejadas ambas tablas, se puede apreciar como en la distribución Log-Pearson, para T=500 años, se ha obtenido un caudal demasiado alto en base a los datos históricos recogidos. Además, según las normas de explotación de la presa de Marmolejo, el caudal de rotura de presa está estimado en 4.200 m³/s, que comparado con el valor obtenido de la distribución Log-Pearson es mucho menor, lo cual hace referencia a la mayoración tan desmesurada que sigue la lógica Pearson.

Considerando este razonamiento se ha optado por el caudal obtenido de la distribución EVI (3.712,4 m³/s), la cual también presentaba un buen ajuste de resultados según el test de Kolmogorov-Smirnov.

4 ESTUDIO HIDRÁULICO

Los cálculos hidráulicos se realizan mediante el software IBER 2.4.3. Utilizando los caudales obtenidos del estudio hidrológico se desarrolla un modelo bidimensional de la zona de estudio.

4.1. Software: Iber

Es un modelo matemático bidimensional para la simulación de flujos en ríos y estuarios promovido por el Centro de Estudios Hidrográfico del CEDEX y Desarrollo en colaboración con el Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente, GEAMA (Universidad de A Coruña), el Grupo Flumen (Universitat Politècnica de Catalunya y Universitat de Barcelona) y el Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, CIMNE (vinculado a la Universidad Politècnica de Cataluña), en el marco de un convenio de Colaboración suscrito entre el CEDEX y la Dirección General del Agua.

Iber permite realizar el cálculo de flujos en ríos, definir las zonas inundables, evaluar zonas de riesgo y delimitar las vías de intenso desagüe, simular el paso del agua bajo puentes, compuertas y vertederos, excluyendo incluso el efecto del viento y permite simular la rotura de presas y balsas.

Cuenta con 3 módulos de cálculo diferentes:

1. Módulo hidrodinámico, constituye la base de Iber y resuelve las ecuaciones de aguas someras bidimensionales promediadas en profundidad (ecuaciones de Saint Venant 2D).
2. 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.
3. Módulo de transporte de sedimentos permite resolver las ecuaciones de transporte de fondo y transporte turbulento en suspensión, calculando a partir del balance de masa de sedimento la evolución de la cota.

Todos los módulos trabajan sobre una malla no estructurada de volúmenes finitos formada por elementos triangulares o cuadriláteros.

4.1.1. Ecuaciones usadas

Mediante unas ecuaciones que se deducen de dos leyes fundamentales de la física como son la conservación de la masa y conservación de la cantidad de movimiento, Iber resuelve la hidrodinámica. A partir de estas leyes físicas se obtienen unas expresiones matemáticas, que son las ecuaciones de Navier-Stokes.

Las ecuaciones básicas, que resuelve el módulo hidrodinámico de Iber, son las ecuaciones de aguas someras o lo que es lo mismo, las ecuaciones de Saint Venant en 2 dimensiones. Dichas ecuaciones han sido deducidas de las ecuaciones de Navier-Stokes realizando dos pasos:

1. Promedio temporal para filtrar las fluctuaciones turbulentas, obteniéndose así las ecuaciones de Reynolds.
2. Promedio en la profundidad para pasar de unas ecuaciones tridimensionales a las ecuaciones bidimensionales.

En este estudio solo se trabaja con el módulo hidrodinámico, es por tanto que no se considera el efecto de las tensiones turbulentas. Las ecuaciones de Saint Venant en 2D quedan de la siguiente forma:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial q_x}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{q_x^2}{h} + g \frac{h^2}{2} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q_x q_y}{h} \right) = gh (S_{ox} - S_{fx})$$

$$\frac{\partial q_y}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q_y^2}{h} + g \frac{h^2}{2} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{q_x q_y}{h} \right) = gh (S_{oy} - S_{fy})$$

Donde h es el calado o profundidad de la lámina de agua, q_x el caudal específico en la dirección x , q_y caudal específico en la dirección y , S_{ox} y S_{oy} corresponden a las pendientes en la dirección x e y , S_{fx} es la pendiente motriz en la dirección x y S_{fy} es la pendiente motriz en la dirección y .

La primera ecuación hace referencia a si el caudal no permanece igual de un punto a otro, el calado en un punto fijo deberá variar con el tiempo. El resto de ecuaciones reflejan la variación de los caudales, en función a las fuerzas actuantes (fuerza de presión, fuerza de inercia, fuerza de gravedad y fuerza de rozamiento con los contornos).

Para la resolución de estas ecuaciones en derivadas parciales se necesitan condiciones de contorno, condiciones iniciales y una geometría. Como resultado se obtendrá el calado y caudal en todos los puntos y con esto se determina las componentes de la velocidad x e y .

4.1.2. Procesos del programa

En Iber se diferencian 3 procesos cuando se realiza una simulación:

1. Preproceso: Después de introducir la geometría que define al modelo se establecen los datos de simulación, condiciones de contorno y condiciones iniciales. Posteriormente, se define la rugosidad de cada superficie del modelo y se procederá a realizar el mallado de éstas.
2. Proceso: Hace referencia al cálculo de la simulación.
3. Postproceso: Corresponde a la etapa final del proceso, es decir, a la obtención de resultados tales como mapa de velocidades, calados, perfiles longitudinales y transversales, vídeos, etc.

4.2. Modelización en Iber

4.2.1. Geometría del programa

Se ha elaborado un Modelo Digital del Terreno (MDT) a partir de los Lidar de la zona de estudio. Estos se han obtenido a través del IGN (Instituto Geográfico Nacional).

El modelo es el siguiente.

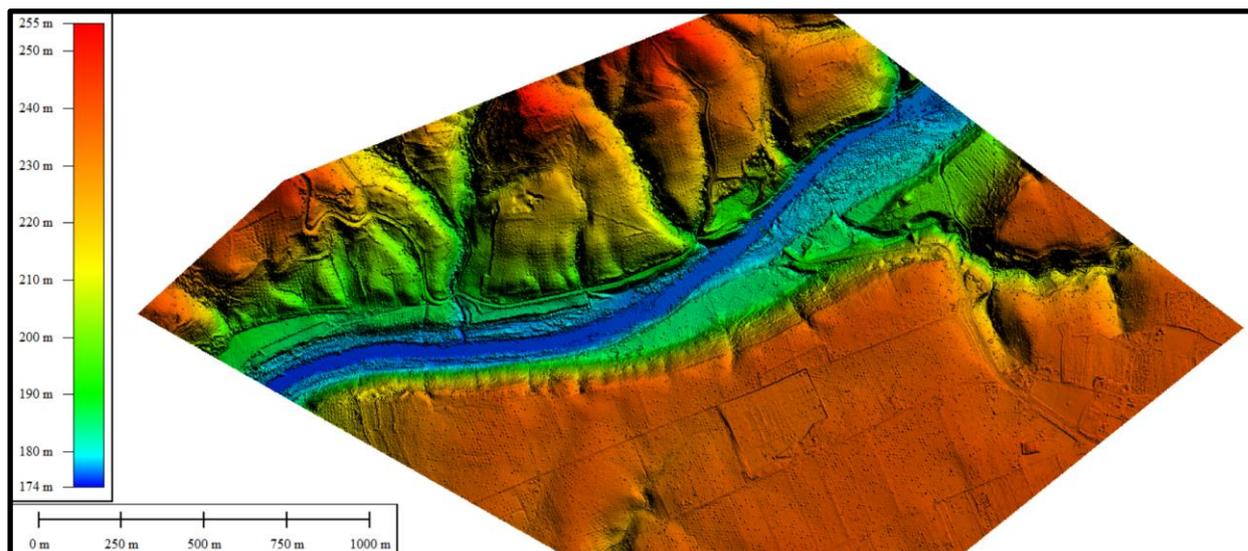


Figura 4-1: Modelo Digital del Terreno (MDT) de la zona de estudio

A continuación, se muestran dos imágenes de las pilas del puente de San Bartolomé. Ha sido necesario incluirlas en el MDT, ya que hay que tener en cuenta el puente como una obra de paso, que afecta al calado y velocidad del agua.

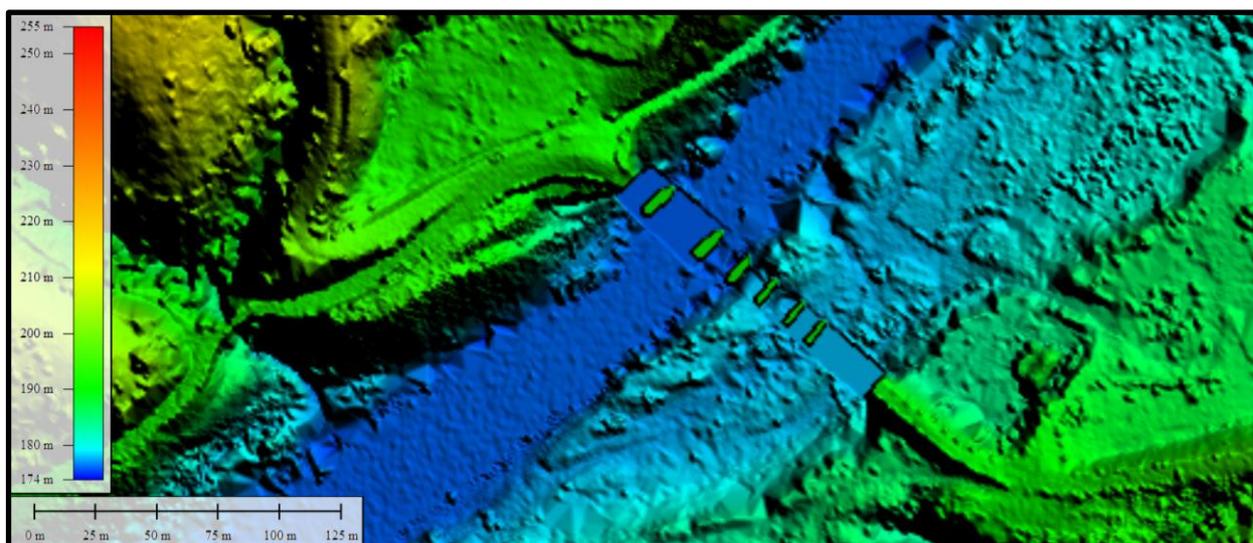


Figura 4-2: Detalle de las pilas del puente en el MDT

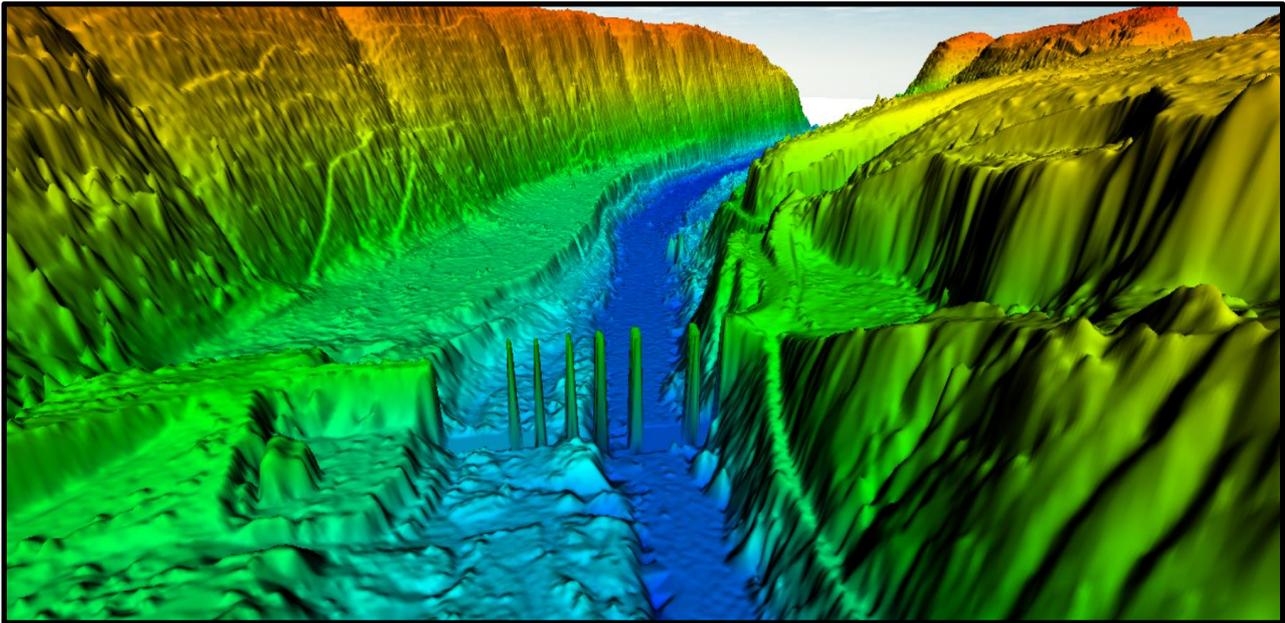


Figura 4-3: Vista 3D de la zona de estudio

4.2.2. Preproceso

Se procede a definir los parámetros empleados en la simulación.

4.2.2.1. Datos del problema

Los datos del problema utilizados se reflejan en la siguiente tabla.

Parámetro	Valor
Instante inicial	0 segundos
Tiempo máximo de simulación	43.200 segundos
Intervalo de resultados	100 segundos
Número de procesadores	3
CFL	0,45
Límite seco-mojado	0,07 metros
Método de secado	Por defecto

Tabla 4-1: Parámetros de tiempo y generales de la simulación

El parámetro CFL es el valor del número de Courant-Friedrichs-Levy, cuya utilidad es conseguir un esquema numérico estable. Éste valor tiene que ser inferior a 1 y el valor máximo utilizado para la integración temporal de las ecuaciones está limitado por lo siguiente:

$$\Delta t_{CFL} = CFL * \frac{\Delta x}{U + \sqrt{g * h}}$$

En el módulo hidrodinámico se fija el valor CFL en 0,45. En cambio, en estudios donde haya que considerar sedimentos se tendrá que reducir dicho valor.

El umbral para considerar que un elemento está seco y no se realice ningún cálculo hidrodinámico en él es el límite seco-mojado.

4.2.2.2. Condiciones hidrodinámicas

Tanto las condiciones de contorno como las iniciales, así como la mayor parte de parámetros de entrada se han asignado a la geometría, que se traspasarán a la malla una vez creada.

- **Condiciones de contorno**

Existe la posibilidad de asignar un caudal total, una cota de agua o un caudal específico. En este estudio se ha asignado como condición de contorno el caudal total, es decir, el caudal obtenido de la distribución estadística EVI. Este caudal se ha introducido como un caudal constante con el fin de obtener los calados que produciría el evento extremo.

Se puede asignar parámetros adicionales en el caso de que la salida se realice con régimen subcrítico. En este estudio se ha supuesto un régimen subcrítico y propuesto un vertido con cota de vertedero igual a 0. Se opta por dimensiones pequeñas en el nivel dado, porque se busca tener un régimen crítico, que no afecte a la zona de estudio.

En las dos figuras siguientes se puede observar los parámetros de los tipos de análisis 2D y el contorno asignado.

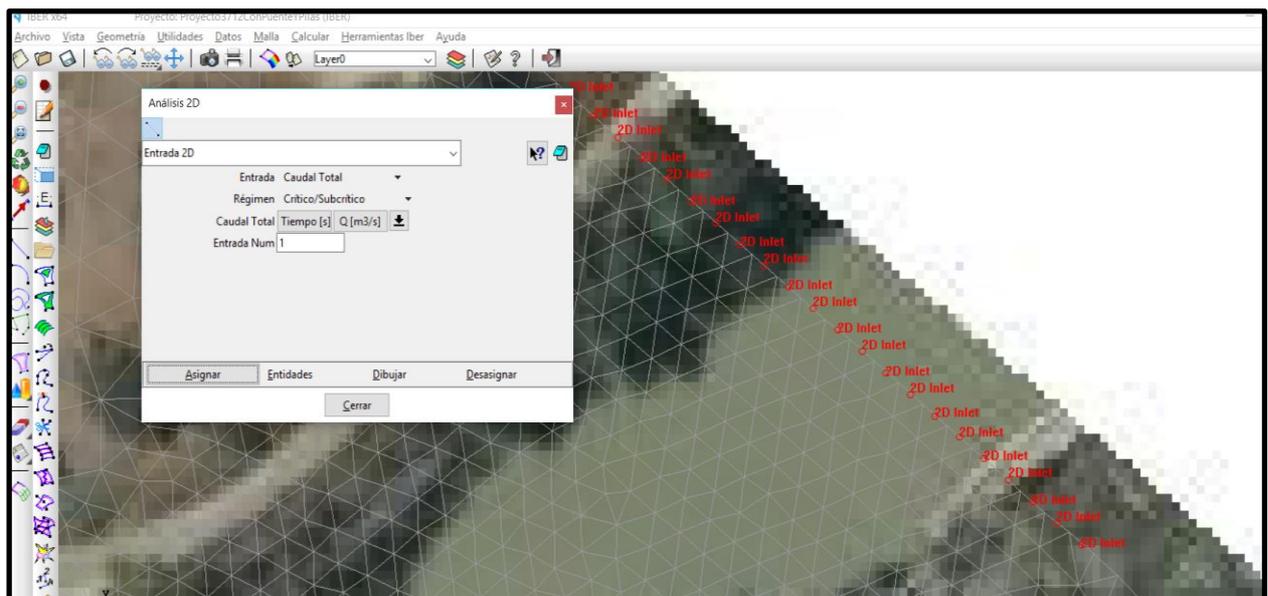


Figura 4-4: Parámetros y asignación de la entrada 2D

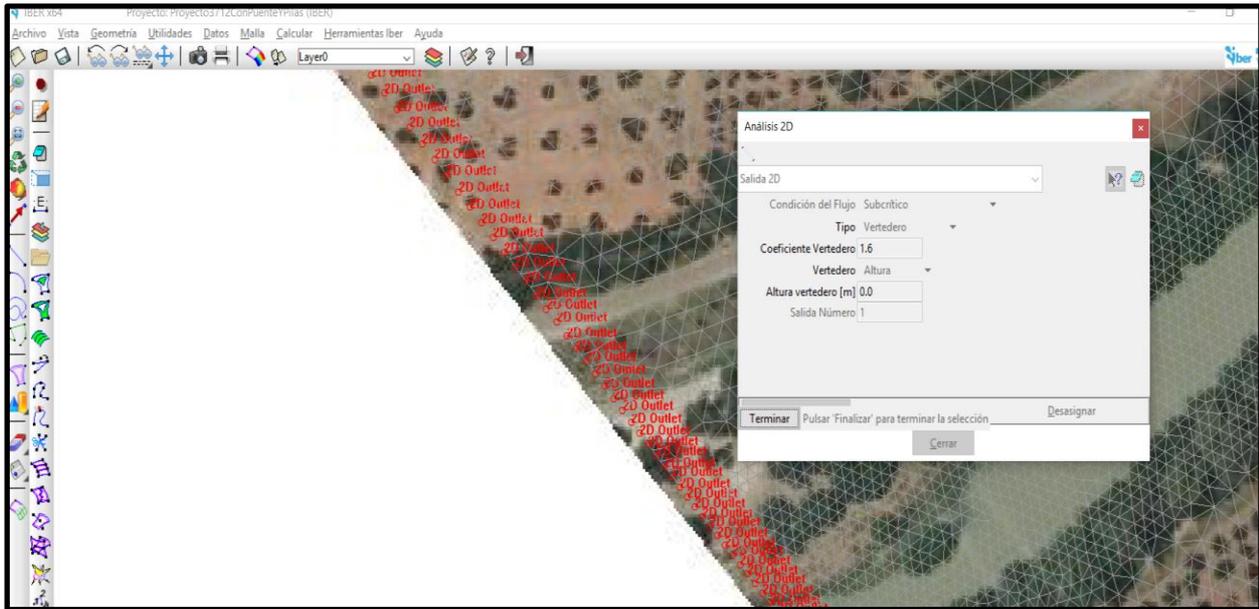


Figura 4-5: Parámetro y asignación de salida 2D

A continuación, se muestra una tabla con todas las opciones que presenta Iber en función del contorno, régimen y condiciones interpuestas.

	Contorno	Régimen	Condiciones interpuestas
Entrada	Caudal total	Subcrítico/Crítico	Caudal total en dirección normal al contorno
		Supercrítico	Caudal total en dirección normal al contorno y velocidad media
	Caudal específico	Subcrítico/Crítico	Caudal específico en dirección normal al contorno
		Supercrítico	a) Caudal específico en dirección normal al contorno y calado. b) Caudal específico en dirección normal al contorno y cota del agua.
Salida		Subcrítico	a) Calado b) Cota del agua c) Vertedero (Cota y coeficiente de descarga) d) Curva de gasto
		Supercrítico/Crítico	No es necesario imponer ninguna condición

Tabla 4-2: Condiciones de contorno en el análisis 2D

- **Condiciones iniciales**

Se asigna a todo el dominio y se puede escoger entre asignar un calado o una cota de agua. Para este caso, se ha considerado un calado inicial igual a 0.

Seguidamente, se muestra la figura con dichas condiciones.

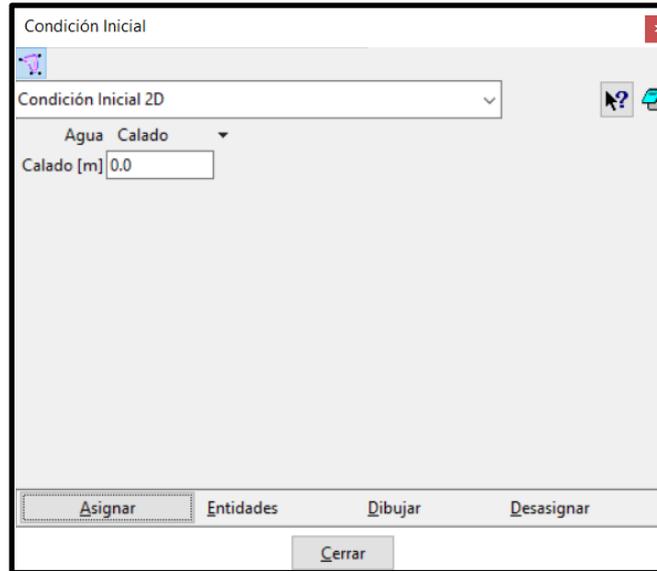


Figura 4-6: Condiciones iniciales en Iber

4.2.2.3. Rugosidad

La rugosidad se asigna a través de un coeficiente de rugosidad de Manning y en Iber se asigna a las distintas superficies que forman la geometría.

En la siguiente figura se observa el menú de rugosidad en Iber.

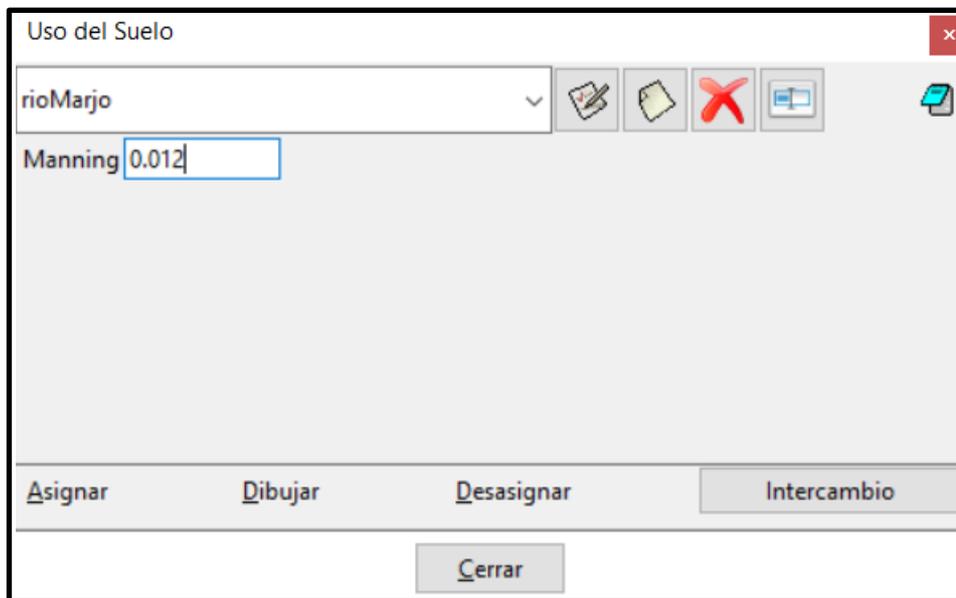


Figura 4-7: Rugosidad en Iber

Para conocer las distintas rugosidades es necesario definir los usos de suelo de cada superficie que forman el modelo de estudio.

Gracias a: “Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains” se ha impuesto el coeficiente de rugosidad de Manning en el río. A continuación, se muestra una tabla extraída de la anterior guía.

Table 1. Base values of Manning's n
 [Modified from Aldridge and Garrett, 1973, table 1; —, no data]

Bed material	Median size of bed material (in millimeters)	Base n value	
		Straight uniform channel ¹	Smooth channel ²
Sand channels			
Sand ³	0.2	0.012	—
	.3	.017	—
	.4	.020	—
	.5	.022	—
	.6	.023	—
	.8	.025	—
	1.0	.026	—
Stable channels and flood plains			
Concrete	—	0.012–0.018	0.011
Rock cut	—	—	.025
Firm soil	—	0.025–0.032	.020
Coarse sand	1–2	0.026–0.035	—
Fine gravel	—	—	.024
Gravel	2–64	0.028–0.035	—
Coarse gravel	—	—	.026
Cobble	64–256	0.030–0.050	—
Boulder	>256	0.040–0.070	—

¹ Benson and Dalrymple (1967).
² For indicated material; Chow (1959).
³ Only for upper regime flow where grain roughness is predominant.

Figura 4-8: Rugosidad en canal fluvial y plantas del área de inundación

Como bien se observa en la figura 4-8, se ha optado por un número de manning de 0.012 para el cauce fluvial, ya que el tamaño medio del material de la cama del río, que es arena, está en torno a 0.2 milímetros. En la siguiente imagen se puede apreciar los restos de arena acumulados en las pilas del puente.



Figura 4-9: Arena acumulada en las pilas del puente

Para el resto de usos de suelo se ha tomado como referencia el manual de usuario de HEC-RAS. Seguidamente, se muestra una tabla con las superficies y el número de Manning asignado para la simulación en Iber.

Superficie	nº Manning
Canal fluvial (Río)	0.012
Vegetación densa (Olivos)	0.06
Zona del balneario (Jardines y edificio)	0.15

Tabla 4-3: Número de Manning según superficie del área de estudio

4.2.2.4. Mallado

En este caso la malla de cálculo se ha trabajado mediante elementos triangulares y se trata de una malla no estructurada, ya que se presentan superficies irregulares. El tamaño de la malla se ha asignado a las distintas superficies.

A continuación, se aprecia las distintas superficies generadas.



Figura 4-10: Superficies definidas para el mallado

Hay que tener en cuenta que a menor tamaño de elementos triangulares más sensibilidad adoptarán los resultados, con el inconveniente de que el tiempo de cálculo será mayor. El área más importante a analizar es la zona del balneario, por tanto la superficie que pertenece a dicha zona se le ha asignado un tamaño de malla menor que en el resto, a excepción de la superficie del puente, que para analizar la influencia del agua en el entorno de las pilas hay que mallarlo con el tamaño más fino.

Es por ello que se ha procedido a elegir un tamaño de malla de 8 metros para la zona de olivos, 4 metros para el cauce del río y 0.5 metros en la zona del puente. En la imagen siguiente se observa lo mencionado.

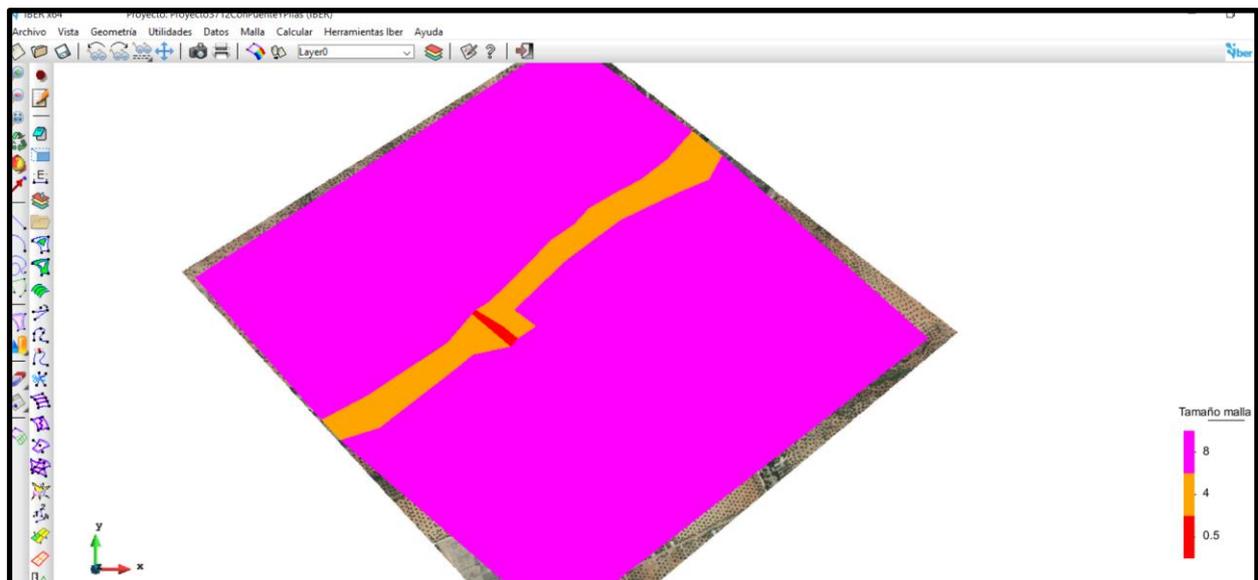


Figura 4-11: Tamaño de malla

Una vez malladas las superficies se tiene que asignar una elevación a la malla introduciendo el terreno definido anteriormente. Esto se hace mediante un archivo ASCII del propio terreno.

Se aprecia, a continuación, en detalle la malla.



Figura 4-12: Detalle del mallado

4.2.2.5. Estructura en malla. Puente

El Puente de San Bartolomé se ha considerado en este estudio mediante la incorporación de sus pilas en el Modelo Digital del Terreno (MDT), además se ha incluido como una estructura en malla, en la que se ha definido las coordenadas de inicio y final del Puente, el ancho del tablero y la distancia relativa de dos puntos y cotas.

La figura siguiente es un esquema en planta y perfil del puente, donde se puede apreciar en la parte de abajo las pilas de éste.

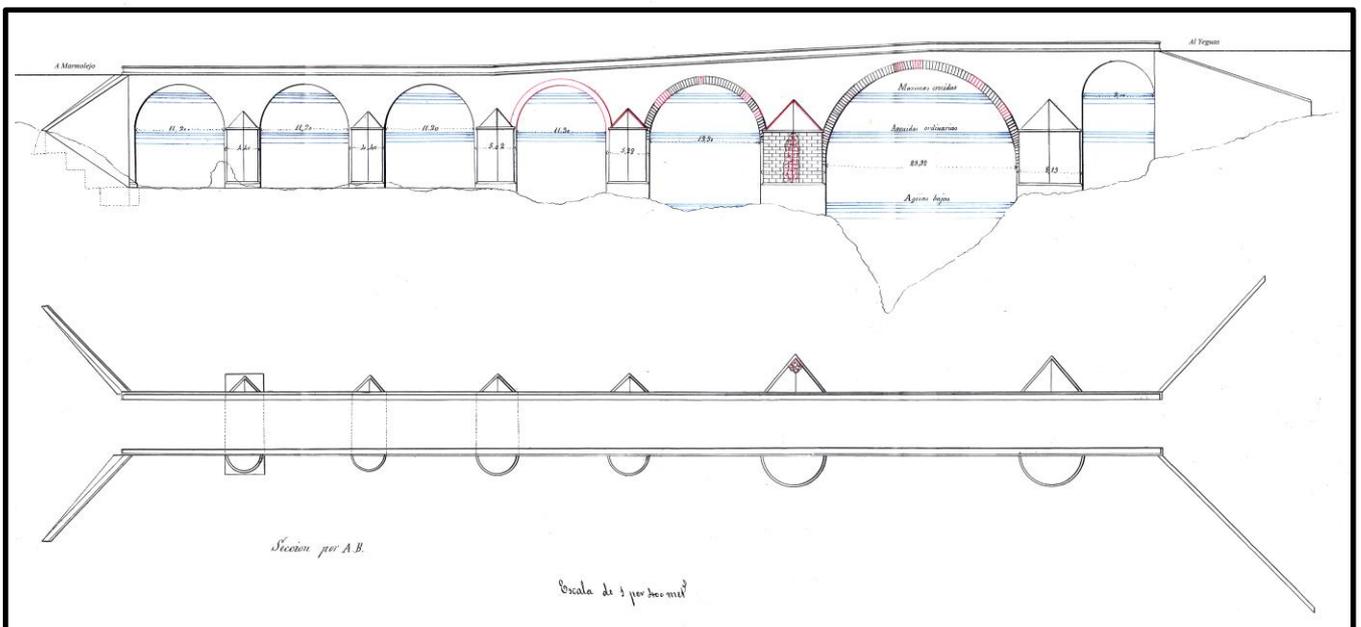


Figura 4-13: Puente de San Bartolomé

Sin embargo, se ha intentado incorporar el puente a la geometría del modelo de otra manera. Ya se ha mencionado en el apartado anterior que el puente se considera como una estructura en malla. En Iber, además, se puede crear la forma de un puente asignando la cota superior e inferior al tablero de los puntos que definen esta estructura. Estos puntos se sitúan definiendo distintas distancias relativas. A continuación, se muestra una tabla compuesta por la distancia relativa de los puntos y la cota superior e inferior al tablero.

Distancia relativa	Cota superior (m)	Cota inferior (m)
0.0087890625	192.125	177.125
0.017578125	192.125	189.125
0.0263671875	192.125	190.125
0.03515625	192.125	190.425
0.0439453125	192.125	190.525
0.052734375	192.125	190.425
0.0615234375	192.125	190.125
0.0703125	192.15	189.15
0.134296875	192.15	175.15
0.149869791666667	192.15	176.15
0.165442708333333	192	187
0.181015625	192	187.8
0.196588541666667	191.8	187.8
0.212161458333333	191.7	188.2
0.227734375	191.5	188.8
0.243307291666667	191.4	188.4
0.258880208333333	191.4	188.2
0.274453125	191.4	188
0.290026041666667	191.2	187.2
0.305598958333333	191.2	187
0.321171875	191.2	186.2
0.38515625	191	174
0.39814453125	190.5	186.5
0.4111328125	190.5	186.7
0.42412109375	190.3	186.8
0.437109375	190.2	187.5
0.45009765625	190.1	186.6
0.4630859375	190.1	186.3
0.47607421875	190	186
0.4890625	190	176
0.52984375	189.8	176.3
0.54087890625	189.6	185.6
0.5519140625	189.5	186.5
0.56294921875	189.5	186.8
0.573984375	189.3	187
0.58501953125	189.1	186.4
0.5960546875	189.1	186.1
0.60708984375	189.1	185.1
0.618125	189.1	176.1
0.65734375	189.1	176.1

0.66828125	189.1	186.1
0.67921875	189.1	186.4
0.69015625	189.1	186.7
0.70109375	189.1	187.1
0.71203125	189.1	186.7
0.72296875	189.1	186.4
0.73390625	189.1	186.1
0.74484375	189.1	176.1
0.77921875	189.1	176.1
0.79015625	189.1	186.1
0.80109375	189.1	186.4
0.81203125	189.1	186.7
0.82296875	189.1	187.1
0.83390625	189.1	186.7
0.84484375	189.1	186.4
0.85578125	189.1	186.1
0.86671875	189.1	176.1
0.90109375	189.1	176.1
0.91203125	189.1	186.1
0.92296875	189.1	186.4
0.93390625	189.1	186.7
0.944843750000001	189.1	187.1
0.955781250000001	189.1	187.1
0.966718750000001	189.1	186.4
0.977656250000001	189.1	186.1
0.988593750000001	189.1	176.1
1	189.1	179.1

Tabla 4-4: Geometría del puente

También, se hizo lo mismo para las pilas, pero definiendo el ancho de éstas.

Distancia relativa	Ancho (m)
0.07	8.19
0.321	8.19
0.489	5.22
0.618	5.02
0.745	4.4
0.867	4.4

Tabla 4-5: Definición de las pilas del puente

Seguidamente se muestra la forma que genera Iber.

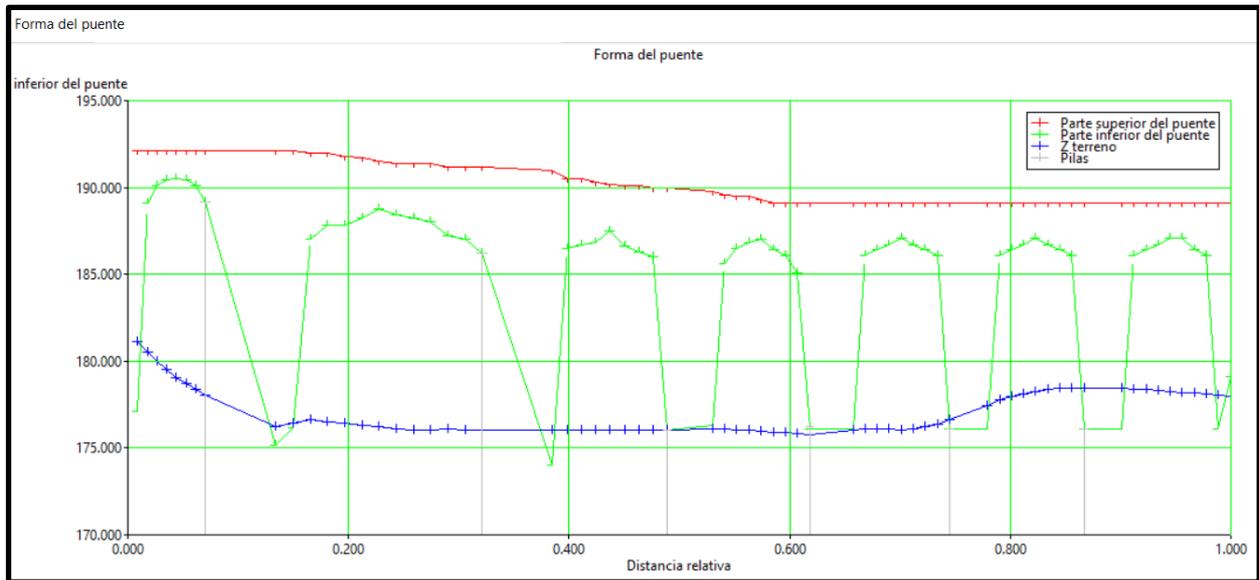


Figura 4-14: Geometría del puente en Iber

Considerando esta manera se simuló el modelo. Lo que sucedía era que no pasaba agua por debajo del puente, lo cual originaba calados excesivos aguas abajo de él. Esto mostraba un resultado erróneo y lejano de la realidad. Por tanto, se optó por incorporar las pilas al Modelo Digital del Terreno, de esta manera se consiguió un resultado más lógico y cercano a la realidad.

A continuación, se muestra el resultado de la simulación, donde se aprecia como el puente retiene el agua.

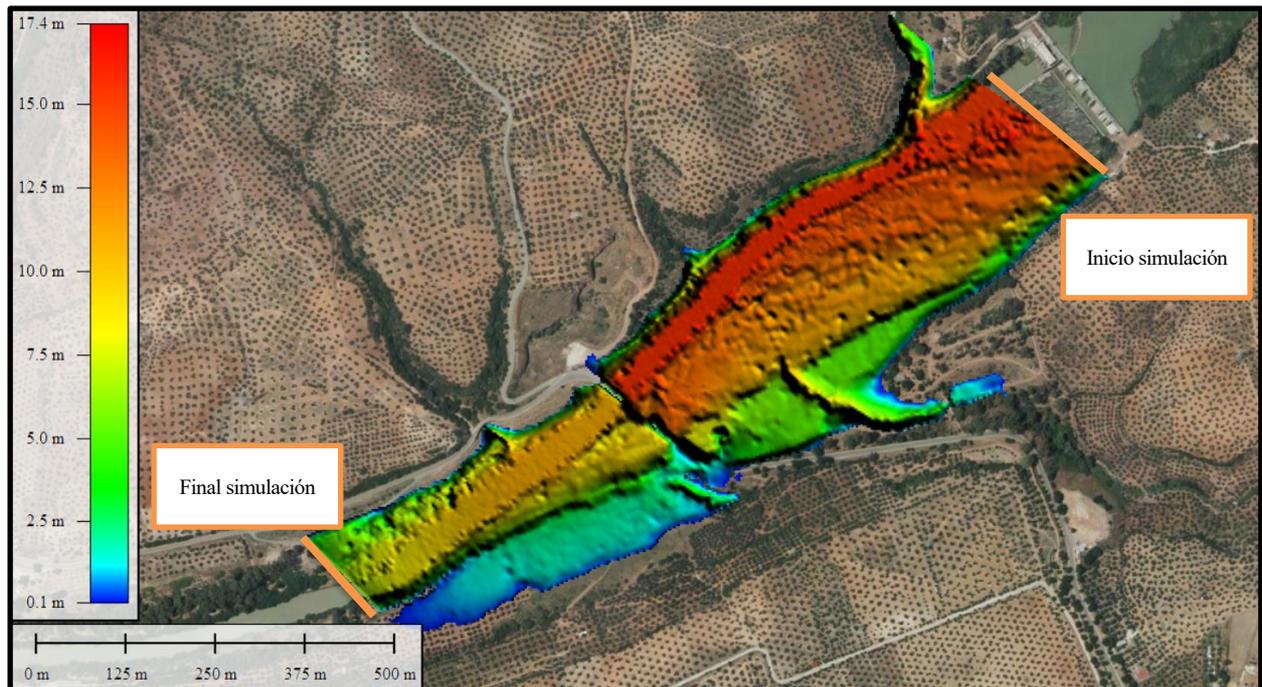


Figura 4-15: Mapa de calados, T=500 años

Donde la línea roja representa la cota del terreno y la línea verde representa la lámina de agua.

4.3. Resultados obtenidos

Este apartado pertenece a la etapa final del proceso, o sea el postproceso, a partir del cual se pueden visualizar los diversos resultados como perfiles longitudinales y transversales, mapa de calados o velocidades, etc.

Se ha realizado la simulación para una avenida, cuyo periodo estadístico de retorno es de **500 años**. Por tanto, se ha obtenido la zona inundable.

Considerando un tiempo de tormenta de 12 horas, el máximo caudal obtenido se ha alcanzado a las 6 horas. A continuación, se muestran los resultados.

4.3.1. Mapa de calados

Se puede observar en las siguientes figuras que el calado máximo toma un valor de 14 metros y se alcanza en la zona del canal de aguas bajas y en la ribera del río. También se aprecia el paso del agua a través del puente, por medio de las pilas de éste.

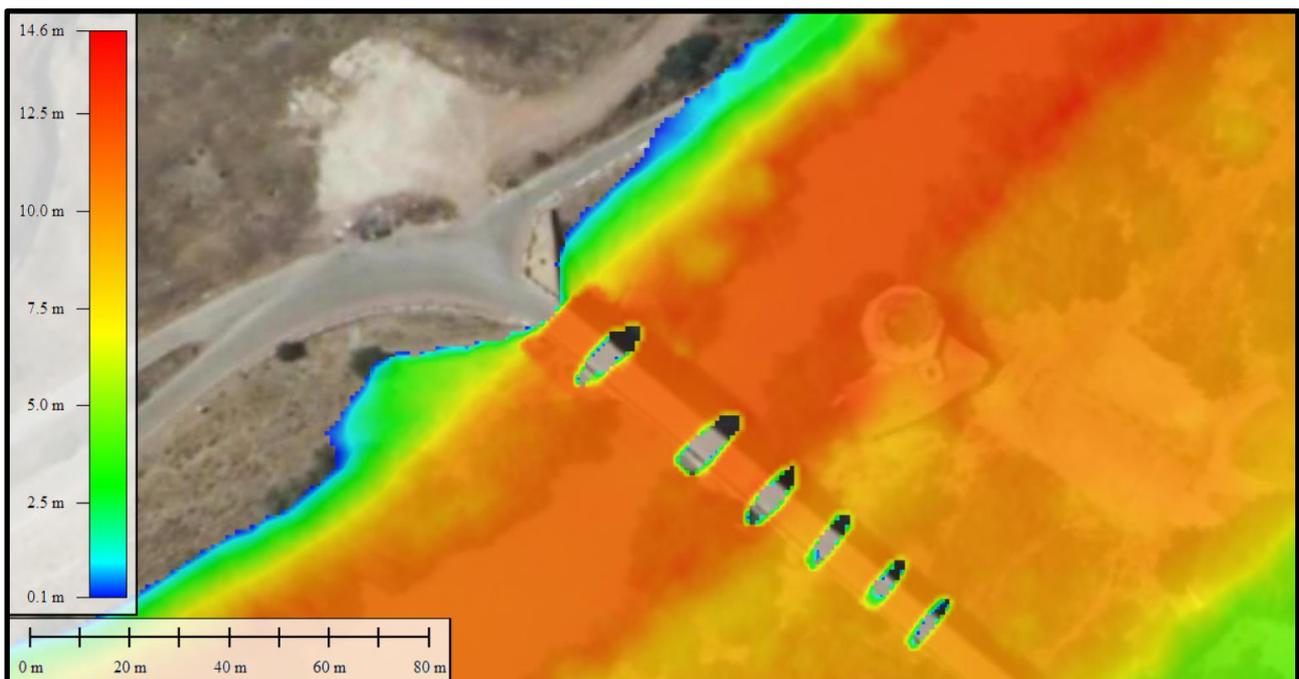


Figura 4-16: Mapa de calados en zona del puente y balneario, T=500 años

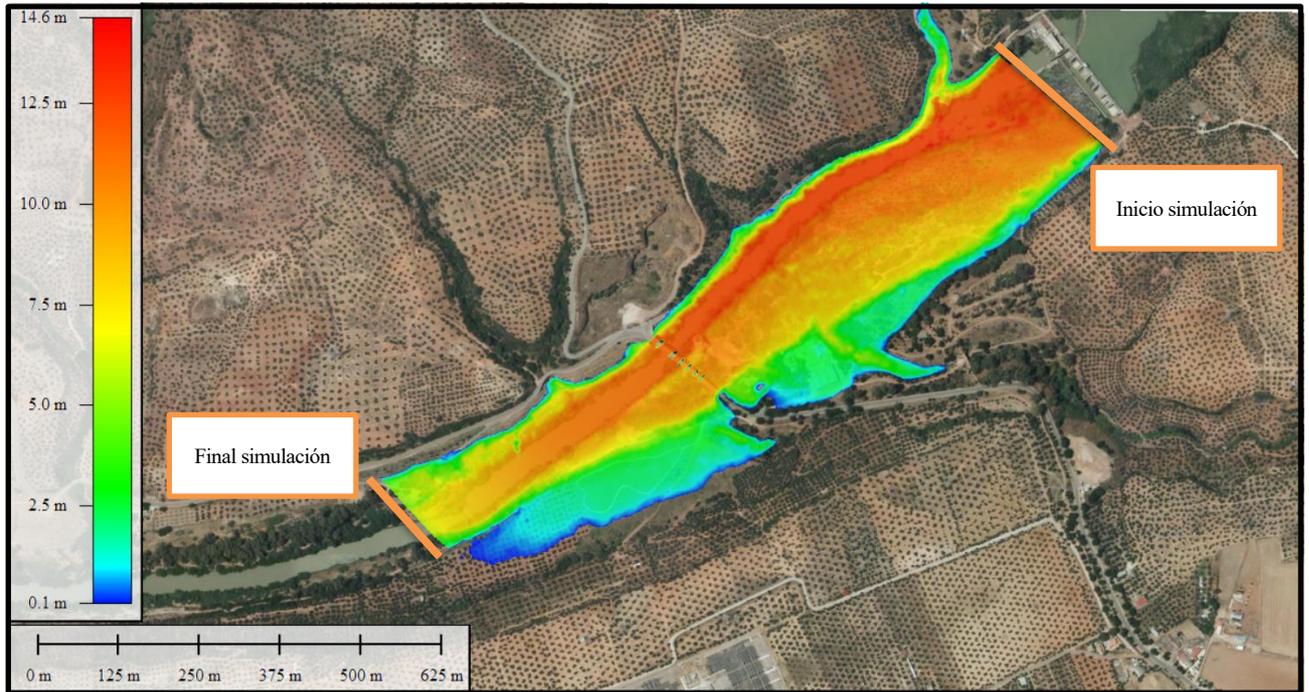


Figura 4-17: Mapa de calados en zona de estudio, T=500 años

4.3.2. Mapa de velocidades

En la siguiente figura se observa que las velocidades más altas se producen entre las pilas del puente, ya que se reduce la sección de paso del agua.

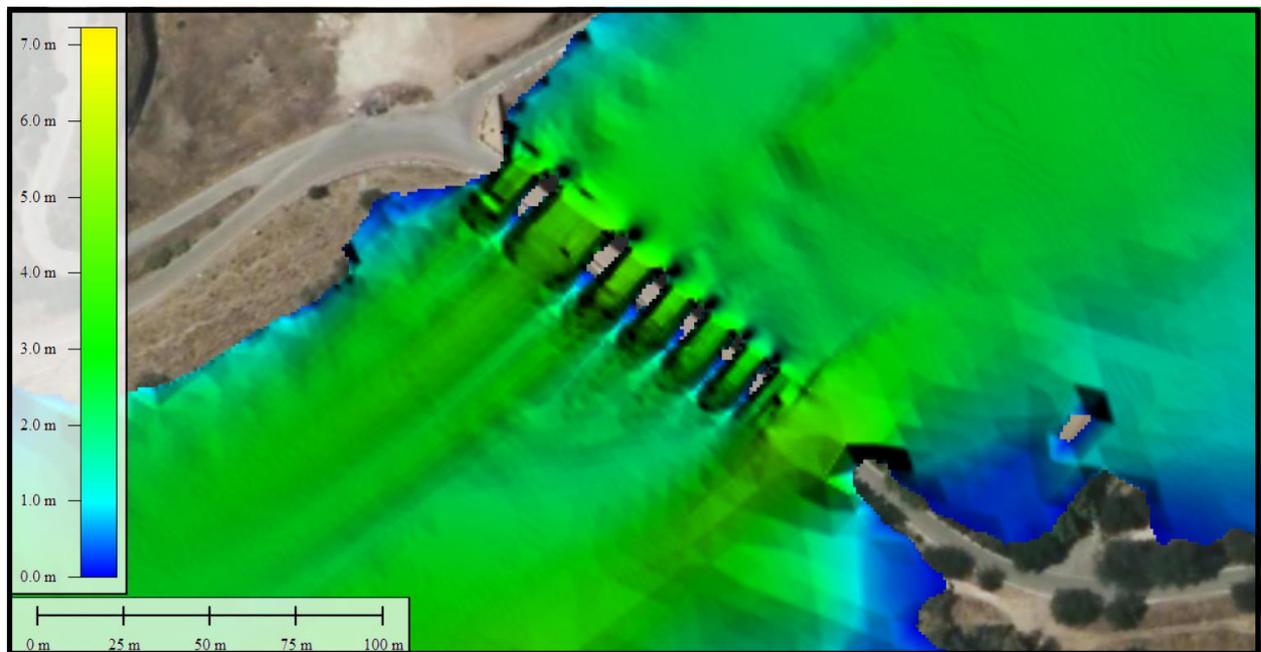


Figura 4-18: Mapa de velocidades, T=500 años

4.3.3. Perfil transversal de la inundación

Se aprecia en la siguiente figura el perfil transversal desde el cauce del río hasta la zona donde se sitúa el balneario. Como se observa la línea verde, que representa la lámina de agua, supera la cota del terreno, línea roja, por tanto se inunda el balneario.

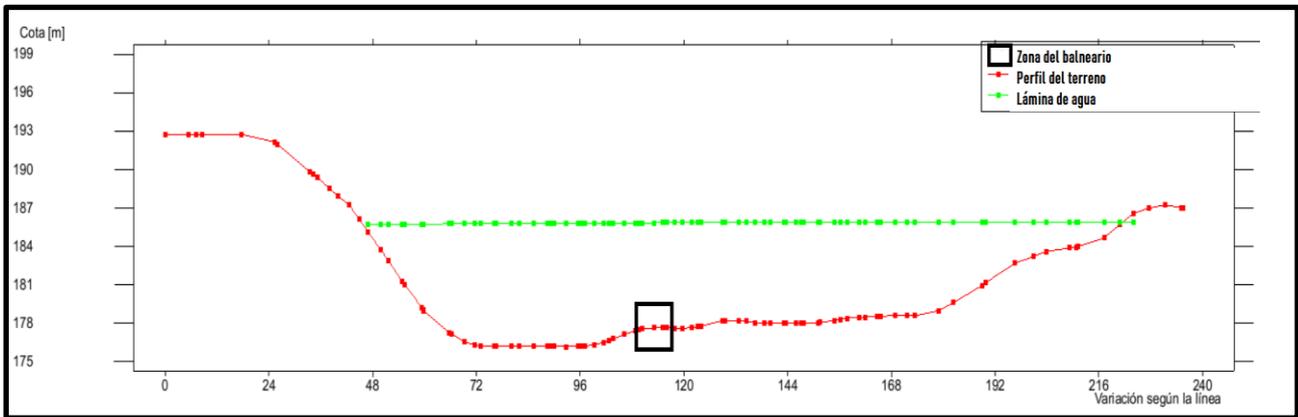


Figura 4 -19: Perfil transversal desde el río al balneario, T=500 años

4.3.4. Perfil longitudinal de la inundación

A continuación, se presenta el perfil longitudinal en la zona del puente, donde se aprecia el paso del agua (línea verde) a través de las pilas.

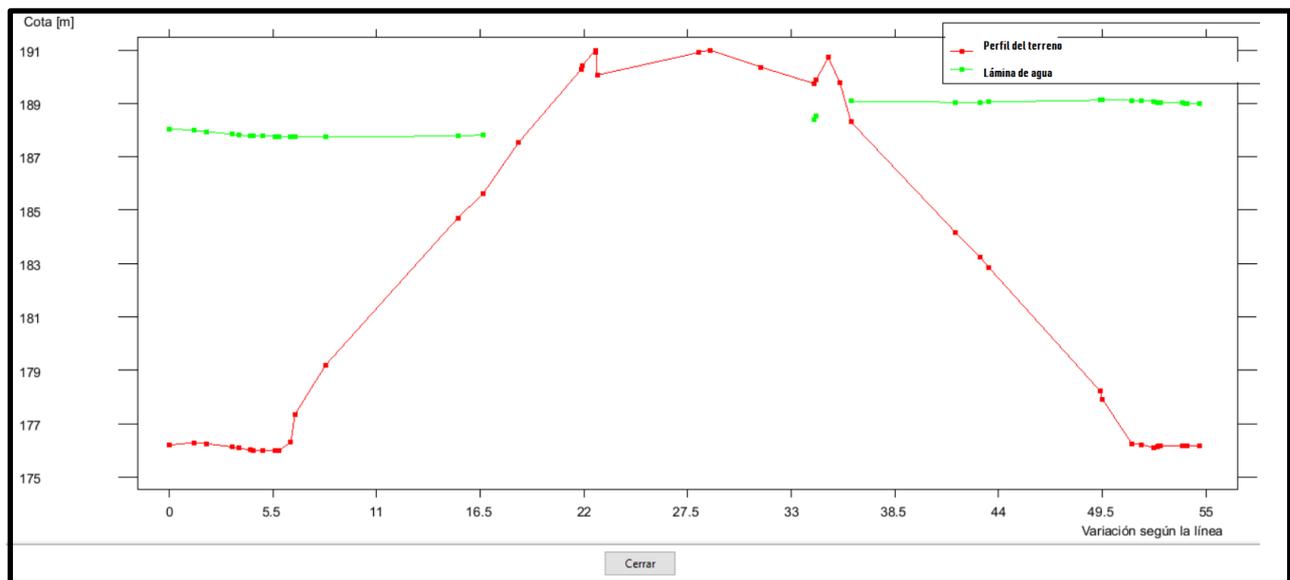


Figura 4-20: Perfil longitudinal zona del puente, T=500 años

5 MEDIDAS DE PROTECCIÓN

El objetivo de este estudio es proteger al balneario de los daños que provoca una inundación. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, como el alcance de las aguas y el calado máximo se ha tomado como solución la construcción de dicho balneario en una zona lejos de afección de las aguas. La posibilidad de mantenerlo en la zona actual y protegerlo mediante un muro está lejos de producirse, ya que la longitud y altura de éste presentarían problemas de inundación aguas abajo y el alcance de las aguas sucedería en zonas donde no haya afección.

A continuación, se presentan diversas imágenes del alcance de las aguas. Éstas se han realizado gracias al software Infracore.

Como bien se observa en las siguientes imágenes, la zona del balneario queda totalmente inundada y el agua casi alcanza la altura de las pilas del puente.



Figura 5-1: Zona inundable, T=500 años



Figura 5-2: Zona inundable en detalle, T=500 años



Figura 5-3: Zona del balneario inundada, T=500 años

6 CUMPLIMIENTO DEL MARCO LEGAL ACTUAL

Dado que la zona de estudio es un área principalmente turística, es necesario tener en cuenta la protección de personas y bienes frente a las inundaciones. Es por ello que destaca el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento de Dominio Público e Hidráulico de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas.

Según Catastro, la nueva zona está catalogada como suelo urbanizado. A continuación, se muestra la consulta descriptiva y gráfica de la parcela, donde se sitúa el balneario.

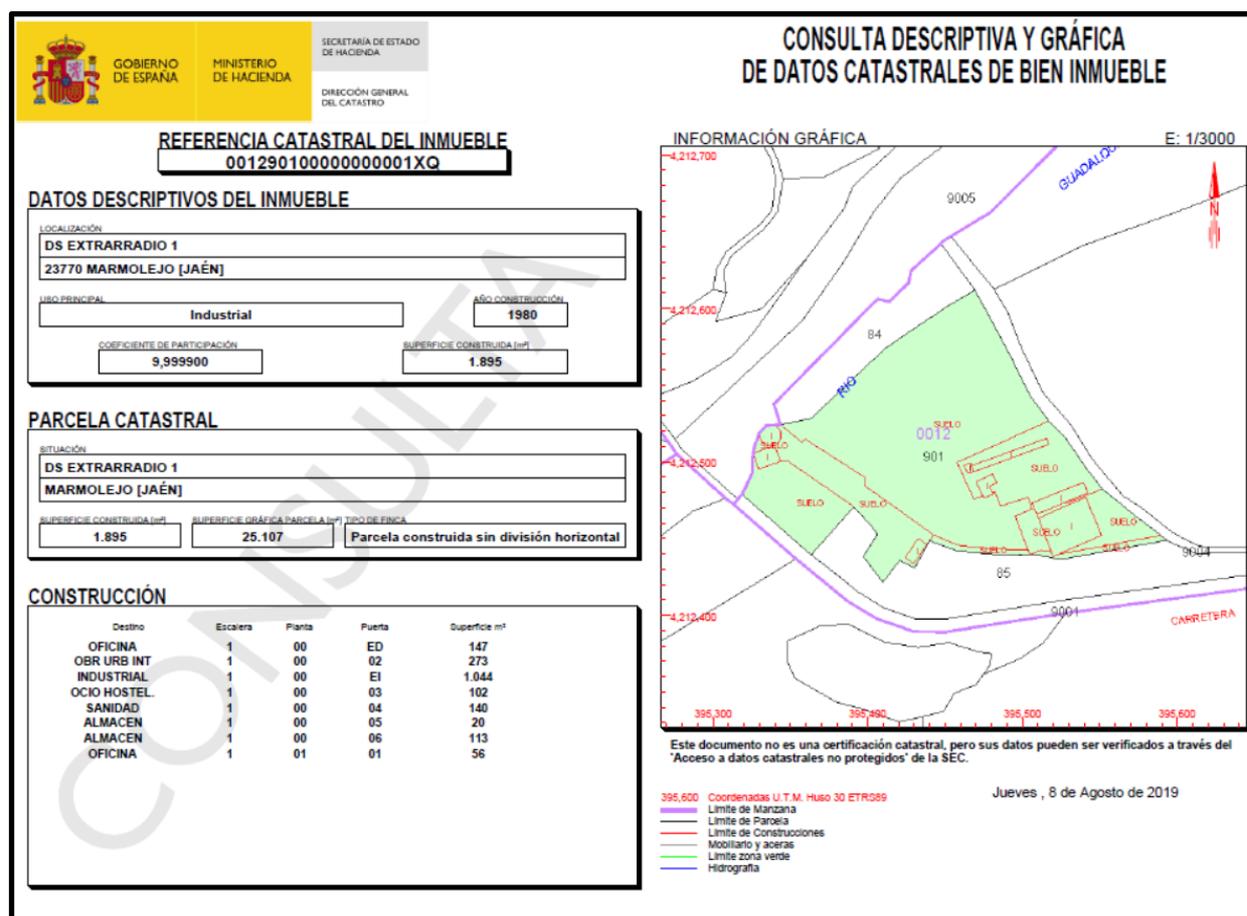


Figura 6-1: Consulta descriptiva y gráfica de la parcela

Según el artículo 9 del Reglamento de Dominio Público e Hidráulico:

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:

- Las alteraciones sustanciales del relieve natural del terreno.
- Las extracciones de áridos.
- Las construcciones de todo tipo, tengan carácter definitivo o provisional.
- 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 (TRLA), 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 aquellas actividades no vulnerables frente a las avenidas y que no supongan una reducción significativa de la capacidad de desagüe de dichas zonas, en los términos previsto en los artículos 9 bis, 9 ter y 9 quáter.

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. A los efectos de la aplicación de la definición anterior, se considerará que pueden producirse graves daños sobre las personas y los bienes cuando las condiciones hidráulicas durante la avenida satisfagan uno o más de los siguientes criterios:

- a) Que el calado sea superior a 1 m.
- b) Que la velocidad sea superior a 1 m/s.
- c) Que el producto de ambas variables sea superior a 0,5 m²/s.

Artículo 9 ter. Obras y construcciones en la zona de flujo preferente en suelos en situación básica de suelo urbanizado. 1. En el suelo que se encuentre en la fecha de entrada en vigor del Real Decreto 638/2016, de 9 de diciembre, en la situación básica de suelo urbanizado de acuerdo con el artículo 21.3 y 4 del texto refundido de la Ley de Suelo y Rehabilitación Urbana, se podrán realizar nuevas edificaciones, obras de reparación o rehabilitación que supongan un incremento de la ocupación en planta o del volumen de edificaciones existentes, cambios de uso, garajes subterráneos, sótanos y cualquier edificación bajo rasante e instalaciones permanentes de aparcamientos de vehículos en superficie, siempre que se reúnan los siguientes requisitos y sin perjuicio de las normas adicionales que establezcan las comunidades autónomas:

f) Las edificaciones de carácter residencial se diseñarán teniendo en cuenta el riesgo y el tipo de inundación existente y los nuevos usos residenciales se dispondrán a una cota tal que no se vean afectados por la avenida con periodo de retorno de 500 años. Podrán disponer de garajes subterráneos y sótanos, siempre que se garantice la estanqueidad del recinto para la avenida de 500 años de período de retorno, y que se realicen estudios específicos para evitar el colapso de las edificaciones, todo ello teniendo en cuenta la carga sólida transportada y que además dispongan de respiraderos y vías de evacuación por encima de la cota de dicha avenida. Se deberá tener en cuenta, en la medida de lo posible, su accesibilidad en situación de emergencia por inundaciones.

En base a lo exigido por la normativa se han realizado dos simulaciones más, una de ellas para el periodo de retorno de 100 años, considerando los criterios anteriores, se ha obtenido la zona de flujo preferente. La última simulación se ha realizado para un periodo de retorno de 10 años, para así determinar la zona de policía y la zona de servidumbre.

En la imagen siguiente se aprecia el alcance que tiene la zona de flujo preferente frente a la zona inundable.



Figura 6-2: Zona de flujo Preferente y zona inundable

Seguidamente, se muestra una mapa donde se aprecia el alcance de la zona de servidumbre, policía y área de inundación.

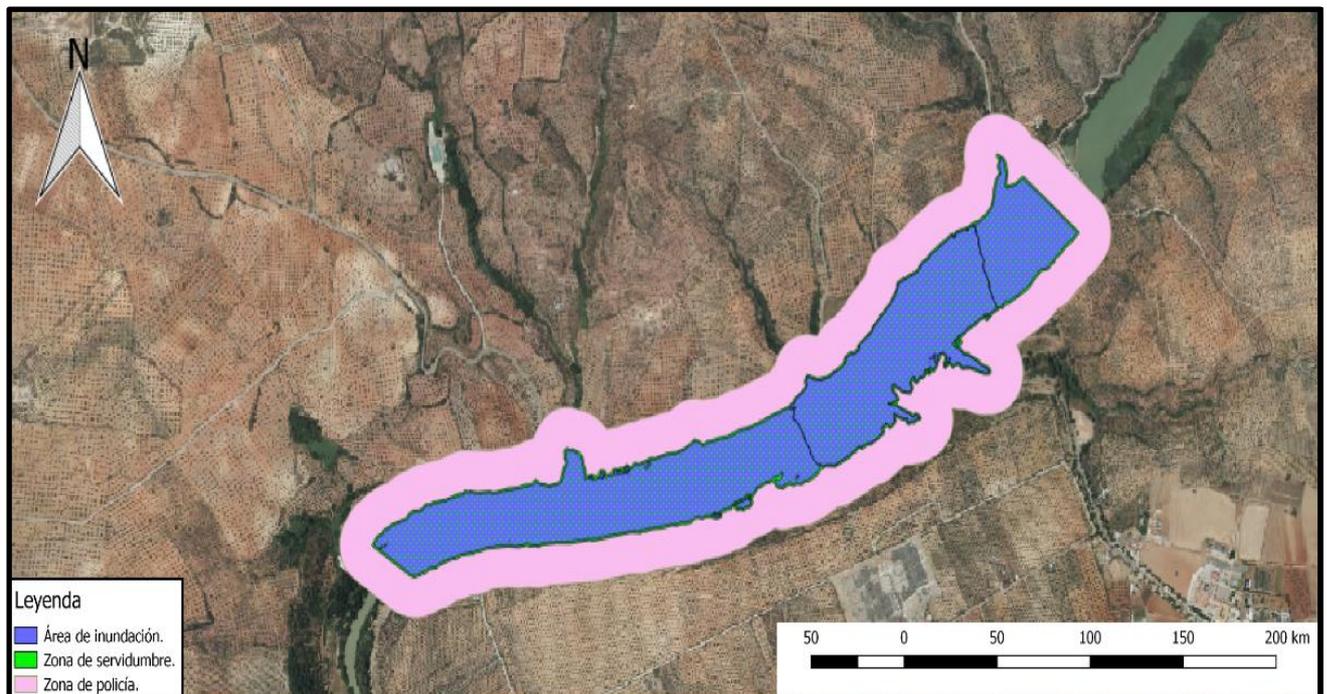


Figura 6-3: Zona de policía, servidumbre y área de inundación

En referencia al artículo 9 ter del Reglamento de Dominio Público e Hidráulico, **el nuevo balneario se deberá construir fuera de la zona inundable**. Esto es posible dado que existe una gran extensión de suelo sin urbanizar. En la imagen siguiente se aprecia la nueva localización donde se situará el balneario. Además, se construirán nuevas instalaciones deportivas y jardines. También, habrá un depósito de regulación para el agua procedente de cada manantial. Todo esto se aprecia a continuación.



Figura 5-4: Esquema en planta de las nuevas instalaciones

El depósito se situará a la cota de mayor altura para así conducir el agua por gravedad hasta el bañerío. También, la zona elegida tiene buena accesibilidad desde la A-420, ya que existen unas escalinatas que conducen a la zona. En la imagen siguiente se pueden apreciar.



Figura 6-5: Escalinatas en la zona del nuevo bañerío

7 SISTEMA DE ABASTECIMIENTO AL NUEVO BALNEARIO

Se prevee la construcción de una estación de bombeo que eleve el caudal necesario desde la zona de manantiales hasta un depósito de hormigón armado de planta cuadrada.

Una vez el agua llega al depósito, ésta se suministrará por medio de 3 fuentes situadas en el balneario. Por tanto, es necesario que el depósito esté compuesto por 3 cámaras, cada una destinada a cada tipo de agua.

A continuación, se aprecia un esquema con las instalaciones y las cotas a las que están situados.

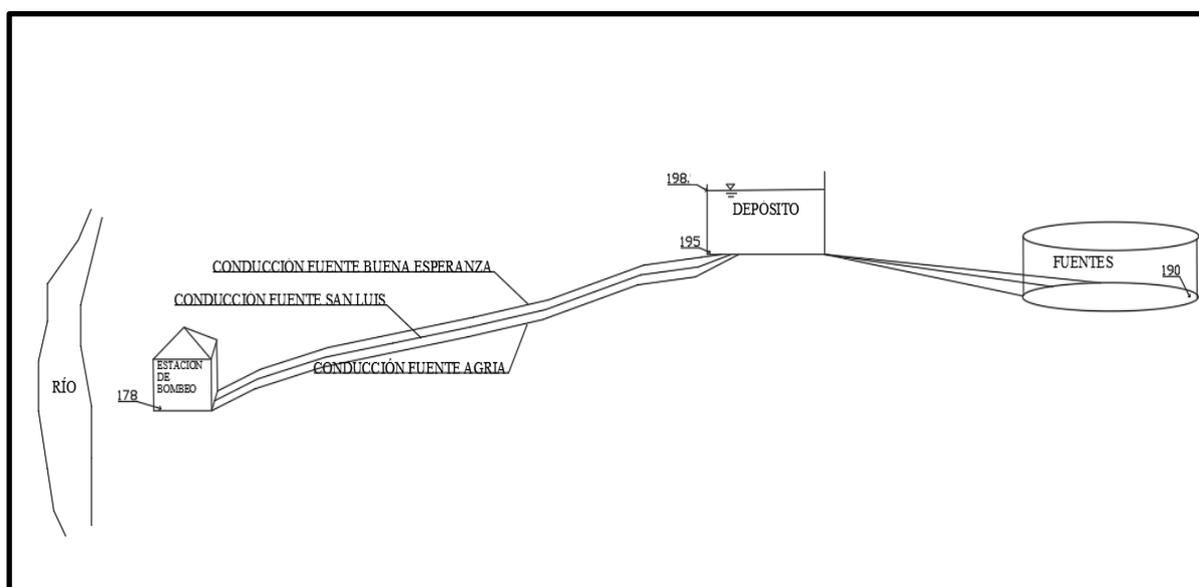


Figura 7-1: Esquema de las instalaciones

Los pozos están situados a la cota 178 metros y cada uno de ellos tiene una profundidad de 3 metros. Por tanto, el agua del manantial extraída se encuentra a la cota 175 metros.

El trazado de las tuberías presenta diferentes cotas a lo largo de su recorrido (Esto se puede apreciar en el plano 03). La cota máxima de agua en el depósito es de 198 metros y la mínima 195. La cota máxima de la lámina de agua se ha obtenido dimensionando la planta cuadrada del depósito como 3x3 y calculando la altura de éste una vez conocido el volumen almacenado.

De dicho depósito salen tres tuberías hacia el edificio del balneario, donde se encuentran las fuentes. El agua irá por gravedad hasta éste, dado que está situado a una menor cota y el trazado lo permite.

7.1. Estación de bombeo y captación

La captación de las aguas de los manantiales se realizará por medio de bombas, ya que el agua ha de ser extraída de un pozo de unos 3 metros de profundidad y transportada hasta el depósito. La estación de bombeo se sitúa en la zona donde se localizan los tres manantiales. Esta zona, como ya se ha estudiado, queda afectada por las posibles avenidas.

A partir del estudio hidráulico se ha obtenido el calado en la zona de la captación. A continuación, se muestra el perfil del cauce, donde se aprecia la zona de inundación y la zona de flujo preferente.

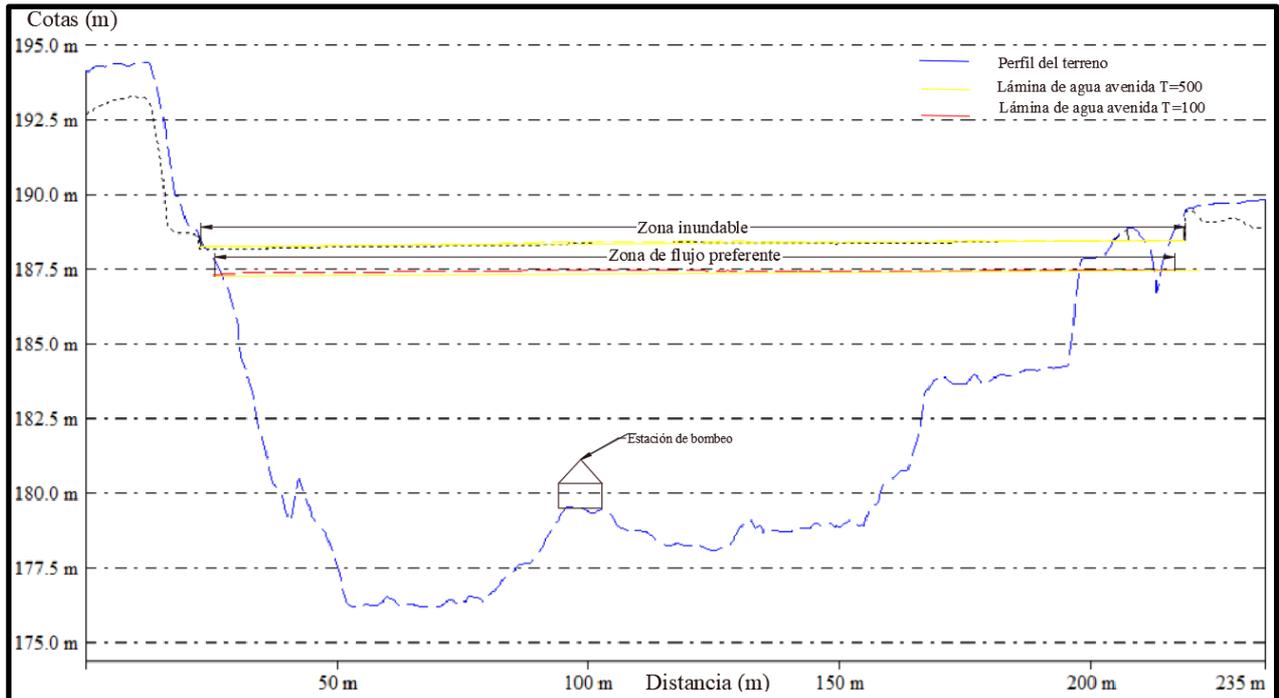


Figura 7-2: Perfil transversal del cauce

Como bien se observa en la figura, el calado que se da en el área de la estación de bombeo es de 15 metros, aproximadamente. Valor demasiado alto para tomar otra medida que no sea convertir esta estación de bombeo en una cámara estanca. Dicha medida no permitirá la entrada de agua ni fango procedentes de la inundación y así no contaminar el agua de los manantiales.

Seguidamente, se muestra una imagen de dicha cámara estanca.

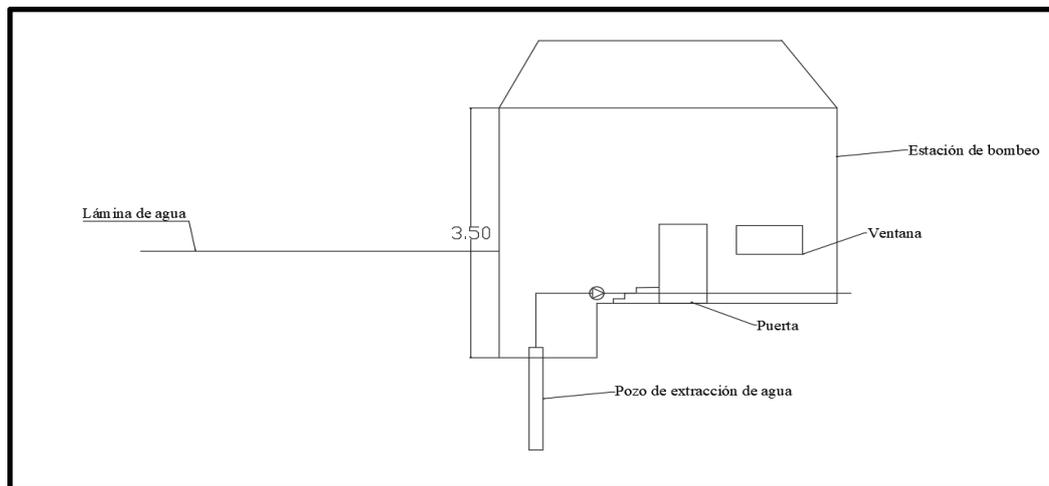


Figura 7-3: Cámara estanca

La puerta de acceso y la ventana están blindadas para evitar la entrada de agua. Además, los pozos están sellados para no contaminar las aguas de manantial.

7.2. Diseño de conducciones y depósito

• Depósito

Es necesario estimar el caudal máximo y medio diario que suministrará cada fuente. El valor de agua máximo que sale por grifo será de 0.3 l/s y por tanto el caudal medio de consumo será de 0.15 l/s. Considerando posibles casos de avería el depósito ha de tener dos días de reserva, por ello se ha seguido la fórmula siguiente para determinar el volumen del depósito.

$$V_i = Q_s * T_{48}$$

Siendo: V_i = Volumen en cada cámara del depósito (m^3)

Q_s = Caudal medio diario de cada fuente (m^3/s)

T_{48} = 172.800 segundos que tienen dos días

Se ha obtenido un volumen total de depósito de $80 m^3$. El caudal de entrada al depósito se ha determinado en función de unas horas de bombeo, éstas son las 8 horas de menor consumo eléctrico (De 00:00 a 8:00). Por ello, el caudal de entrada al depósito se ha determinado a partir de la fórmula:

$$Q_e = V_i / T_8$$

Siendo: V_i = Volumen en cada cámara del depósito (m^3)

Q_e = Caudal de entrada en una tubería (m^3/s)

T_8 = Segundos correspondientes a 8 horas de bombeo

Se ha considerado la distribución temporal de la demanda, por ello el caudal de salida en el depósito variará para cada hora del día. Éste se multiplica por un factor k, llamado coeficiente de modulación y representa la evolución del caudal inyectado a una red a lo largo de un día en términos adimensionales. A continuación, se muestra la gráfica que representa el coeficiente de modulación en cada hora del día, es decir, la curva de modulación horaria.

Considerando el horario de apertura del balneario se sabrá las horas de mayor caudal consumido e implica que el valor del coeficiente de modulación es mayor en este rango de horas. Se ha considerado que el horario de apertura va desde las 8:00 a 20:00 horas. Seguidamente se muestra la curva de modulación horaria, donde se puede apreciar lo dicho anteriormente.

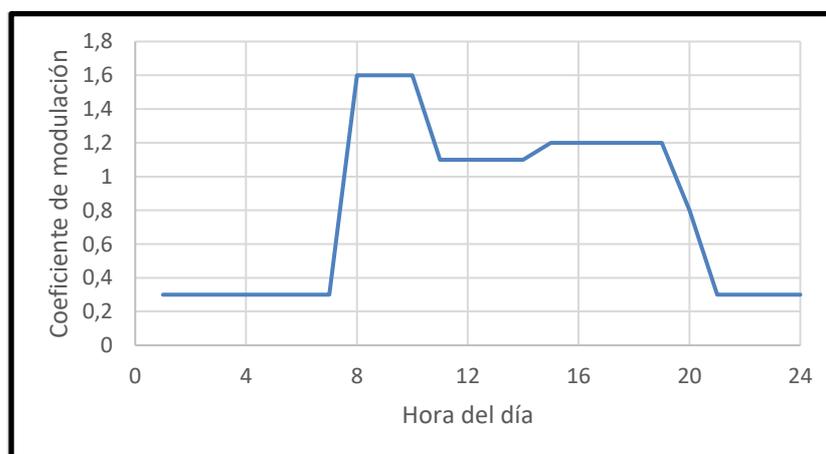


Figura 7-4: Curva de modulación horaria

La capacidad de regulación del depósito viene representada en la siguiente tabla, donde viene recogido, para cada hora del día, el caudal de entrada y salida del depósito, este último en función del coeficiente de

modulación.

Desde	Hasta	Coefficiente, k	Q _e (m ³ /s)	Q _s (m ³ /s)
0	1	0,3	0,0009	0,00009
1	2	0,3	0,0009	0,00009
2	3	0,3	0,0009	0,00009
3	4	0,3	0,0009	0,00009
4	5	0,3	0,0009	0,00009
5	6	0,3	0,0009	0,00009
6	7	0,3	0,0009	0,00009
7	8	1,6	0,0009	0,00048
8	9	1,6	0	0,00048
9	10	1,6	0	0,00048
10	11	1,1	0	0,00033
11	12	1,1	0	0,00033
12	13	1,1	0	0,00033
13	14	1,1	0	0,00033
14	15	1,2	0	0,00036
15	16	1,2	0	0,00036
16	17	1,2	0	0,00036
17	18	1,2	0	0,00036
18	19	1,2	0	0,00036
19	20	0,8	0	0,00024
20	21	0,3	0	0,00009
21	22	0,3	0	0,00009
22	23	0,3	0	0,00009
23	24	0,3	0	0,00009

Tabla 7-1: Capacidad de regulación del depósito

- Diseño de conducciones

En cuanto a las 3 conducciones se sabe que el caudal de entrada al depósito es de 0.0009 m³/s, por tanto estimando un valor de velocidad en la conducción se podrá calcular un primer valor del diámetro de la tubería.

La AEAS aconseja un valor de velocidad comprendido entre 0.6 y 2.5 m/s. Un primer valor de velocidad se ha impuesto en 0.9 m/s y despejando de la siguiente fórmula se ha obtenido un primer valor del diámetro de la conducción.

$$Q = V * A = V * \frac{\pi * D^2}{4}$$

siendo Q , V , A , D el caudal bombeado, velocidad, área y diámetro del tubo.

El diámetro calculado ha sido redondeado al diámetro comercial inmediatamente superior y posteriormente se ha vuelto a calcular el valor de la velocidad del agua en la conducción, siguiendo la fórmula anterior, pero en este caso despejando el término de la velocidad.

El material más adecuado para la conducción es el Polietileno (PE), dado que el diámetro es pequeño y el precio de este tipo de tubería es moderado.

Los tubos de PE se clasifican por su diámetro nominal (DN), presión nominal (PN) y a la resistencia mínima a la tracción que el material tendrá a largo plazo (MRS). Los valores normales de presión nominal oscilan entre 10 y 16 atm, para este caso se ha tomado 10 atm. Usando los de uso habitual en España (PE40, PE80 y PE100) se puede elegir el tipo de PE según su PN y DN, siguiendo la tabla de a continuación:

DN	PE 40					PE 80					PE 100				
	PN 4	PN 6,3	PN 10	PN 16	PN 25	PN 4	PN 6,3	PN 10	PN 16	PN 25	PN 4	PN 6,3	PN 10	PN 16	PN 25
16															
20															
25															
32															
40															
50															
63															
75															
90															
110															
125															
140															
160															
180															
200															
225															
250															
280															
315															
355															
400															
450															
500															
560															
630															
710															
710															
800															
900															
1.000															
1.200															

Figura 7-5: Elección tipo de PE según DN y PN

En función del DN igual a 40 mm y PN de 10 atm se ha optado por una PE 40.

La zanja donde se alojarán las 3 tuberías se ha diseñado de acuerdo a las especificaciones del CEDEX.

Dicha zanja se excavará con un talud estable de forma natural, según el terreno de la zona. La anchura mínima se ha determinado en función del diámetro del tubo, tipo de union, profundidad de la zanja, taludes de las paredes laterales, de las buenas condiciones de trabajo de los operarios, etc.

Los tubos no deben apoyarse directamente sobre la rasante de la zanja, sino sobre camas de apoyo, las cuales son exigidas a tener un espesor mínimo. Para este caso, dado la escasa presión que ha de soportar el tubo, se ha optado por una cama de material granular con espesor de 10 centímetros bajo la generatriz inferior del tubo.

En cuanto al relleno de la zanja, se ha seguido el siguiente esquema extraído de la Guía Técnica sobre tuberías para el transporte de agua a presión.

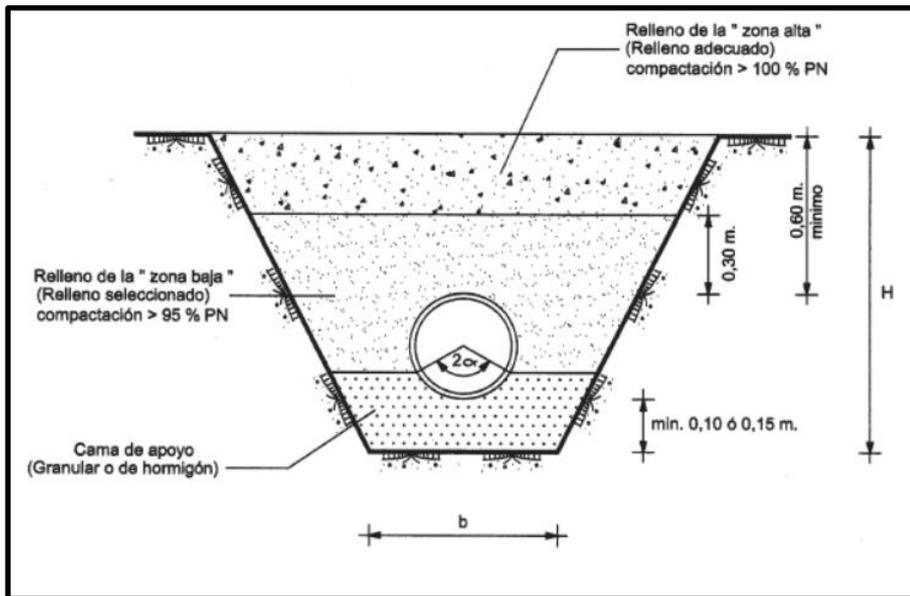


Figura 7-6: Rellenos en tubos enterrados

En la siguiente figura se observa la zanja tipo junto con la sección de las tres conducciones.

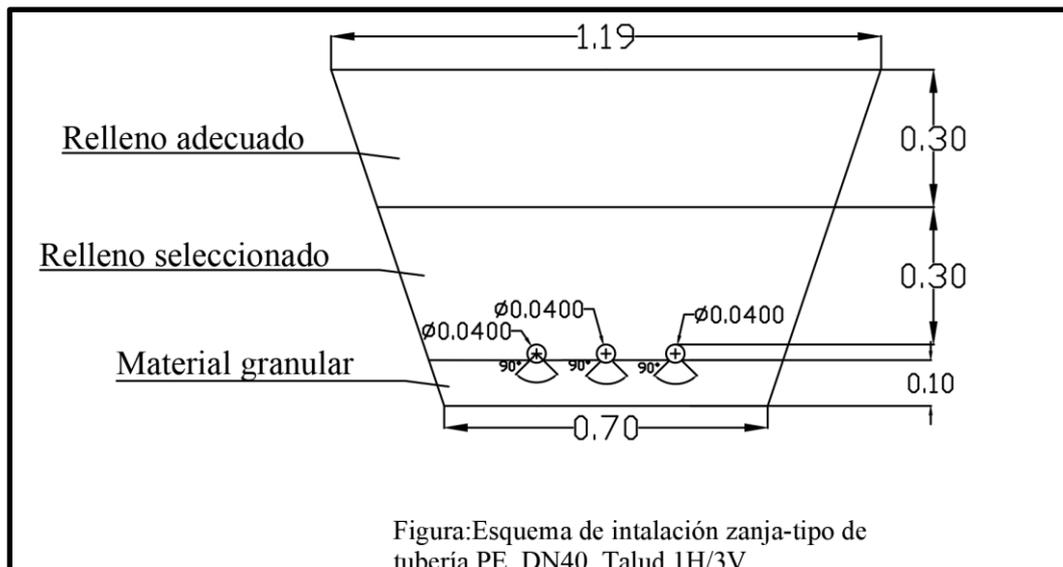


Figura: Esquema de instalación zanja-tipo de tubería PE DN40 Talud 1H/3V

Figura 7-7: Zanja tipo

Como se puede ver en la figura 7-6, para la zona alta se ha optado por un relleno adecuado y para la zona baja por un relleno seleccionado. La diferencia entre ambos es el grado de compactación, teniendo el relleno de la zona alta mayor grado de compactación.

7.3. Dimensionamiento del modelo de bomba

Es necesario la implantación de 3 bombas. Cada una de ellas elevarán el agua de cada conducción y se situarán en la estación de bombeo.

El caudal de entrada, calculado en el apartado 7.2., equivale al caudal de bombeo. Sólo falta determinar la altura manométrica para elegir el tipo de bomba más adecuada.

La altura manométrica (H) se ha obtenido:

$$H = \Delta z + h_f + h_l$$

Donde Δz = Altura geométrica= Desnivel entre el nivel mínimo de aspiración y el punto más alto de impulsión (m)

Nivel mínimo de aspiración= 175m; Punto más alto de impulsión= 198 m

h_f = Pérdidas de carga por fricción

h_l = Pérdidas de carga localizadas

- Las pérdidas de carga por fricción, según la ecuación de Darcy-Weisbach, se definen de la siguiente manera:

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

siendo

L = Longitud de la tubería (m)

D = Diámetro de la tubería (m)

V = velocidad de la tubería (m/s)

f = Coeficiente de fricción (Adimensional)

La expresión que define al coeficiente de fricción se debe a Swamee y Jain:

$$f = \frac{0.25}{\left(\log\left(\frac{5.74}{Re^{0.9}} + \frac{\epsilon_r}{3.7}\right)\right)^2}$$

donde ϵ_r = Rugosidad relativa (mm)= Rugosidad absoluta / D

Re = Número de Reynolds= $V \cdot D / \nu$

ν = Viscosidad cinemática del agua (m²/s)

- La pérdida de carga localizada se representa en función de un coeficiente k de pérdidas:

$$h_l = \sum_i^n k_i \cdot \frac{V^2}{2g}$$

donde k_i viene establecido según la Guía Técnica sobre Tuberías para el transporte de agua a presión:

Elemento	k_i
Válvula de compuerta	0,3
Entrada a depósito	1
Entrada a colector	1

Tabla 7-2: Coeficientes de pérdida de carga localizada

A continuación, se muestra la tabla correspondiente a la conducción con los datos y cálculos necesarios para determinar la altura manométrica de cada una de las bombas.

Conducción	
L	3211 m
D	0,04 m
v	0,71 m/s
g	9,81 m/s ²
ρ	997 kg/m ³
ν	0,001 N*s/m ²
Re	28314,8 Turbulento
ϵ	0,01 mm
f	0,02443166
hf	50,3907717 m
Σk	5,6
hl	0,14388175 m
h	50,5346535 m

Tabla 7-3: Datos y cálculos de pérdidas de carga

Seguidamente, se aprecia las alturas manométricas junto con el caudal de bombeo. Ambos valores determinan el modelo de bomba a utilizar.

H _{bomba} (m)	Q _{bomba} (m ³ /s)
73.53	0,0009

Tabla 7-4: Altura manométrica y caudal de cada bomba

El modelo de bomba es el SMD 150-320 B, se trata de una bomba de carcasa dividida axial de una sola etapa, doble succión SMD. Están diseñadas para satisfacer las demandas de mercado del agua para una amplia gama de aplicaciones de agua cruda, limpia, marina y salobre. Entre sus aplicaciones está el consumo de agua.

A continuación, se adjunta la ficha técnica de la bomba.

- Datos técnicos
 - Caudal (m³/s): 0,0009
 - Altura de impulsión: 73.53
 - Rendimiento hidráulico: 2.801 %
 - Potencia en el eje: 22.5 kW
 - Velocidad: 2019 l/min
 - Tipo de impulsor: Double suction impeller
 - Diámetro del impulsor: 317 mm
 - Salida de descarga DN150
 - Salida de succión DN150

Además, se adjunta la curva de funcionamiento del modelo de bomba y los datos de diseño, datos de la bomba y del motor.

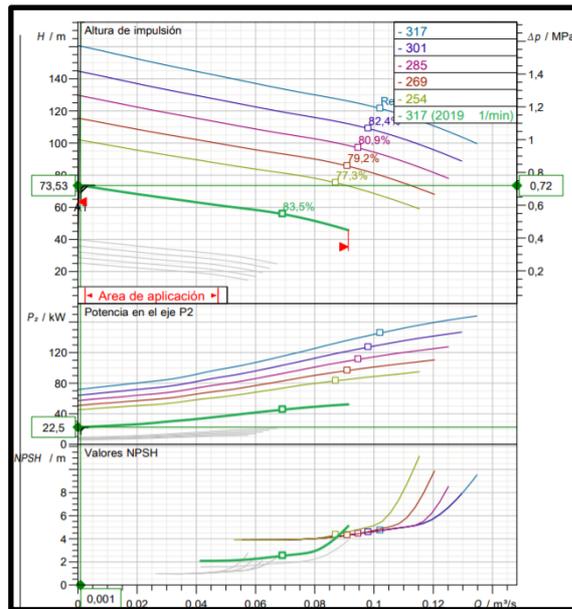


Figura 7-8: Curva de funcionamiento bomba

En la figura 7-8 se puede observar el valor del NPSH requerido, éste lo da el fabricante. Faltaría calcular el NPSH disponible y afirmar que es mayor que el requerido para así evitar que se produzca cavitación en la instalación.

La fórmula que sigue el NPSH disponible es:

$$NPSH_d = \frac{P_A - P_v}{\rho g} + \frac{v^2}{2g}$$

Donde P_A = Presión atmosférica= 101300 Pa

P_v = Presión de vapor= 2300 Pa

v = Velocidad del agua=0.71 m/s

ρ = Densidad del agua= 997 kg/m³

El valor del NPSH requerido es 2.45 m, menor que el NPSH disponible, que equivale a 10.15 m. Por tanto, hay seguridad suficiente para afirmar que no se produce cavitación en la instalación.

A continuación se adjunta los datos de diseño, datos de la bomba y del motor.

Datos de diseño		Potencia P1	25 kW
Caudal	0,0009 m³/s	Altura	73,5 m
Rendimiento	2,8 %	Potencia en el eje P2	22,5 kW
NPSH		Fluido	Agua
Temperatura	20 °C	Tipo de instalación	Bomba simple
Nº de bombas	1		
Datos de la bomba		Marca	SULZER
Tipo	SMD 150-320 B	Impulsor	Double suction impeller
Serie	SMD	Diámetro de impulsor	317 mm
Nº de álabes		Boca aspiración	DN150
Paso de sólidos	17 mm	Tipo de instalación	Branches In-Line, horizontal
Boca impulsión	DN150		
Momento de inercia			
Datos del motor		Frecuencia	
Tensión nominal		Velocidad nominal	
Pot. absorbida en el eje P2		Rendimiento	
Nº de polos		Corriente nominal	
Factor de potencia		Par nominal	
Intensidad de arranque		Grado de protección	
Par de arranque		Nº arranques/hora	
Clase de aislamiento			

Figura 7-9: Tablas con los datos de diseño, bomba y motor

7.4. Válvulas y accesorios

Se dispondrán en los tramos de tuberías en los que se controlará el paso de agua, se evitará su retroceso, reducirá la presión y dará seguridad a la red, entre otros.

Las tuberías de PE admiten cierta curvatura, por tanto lo más usual para enlazar los elementos son las uniones flexibles, que permiten una desviación angular significativa durante y después de la instalación.

A la salida de la captación se dispone una ventosa de entrada de aire. Se situarán ventosas en los puntos altos para la evitar la acumulación de aire.

Se instalarán válvulas de paso, en concreto válvulas de compuerta dado que al tratarse de un diámetro de 40 milímetros ofrece mayor resistencia a su maniobra. Éstas se usarán para aislar tramos de tuberías cada 500 metros y delante de ventosas.

El tipo de alojamiento para las válvulas de compuerta, ventosas y caudalímetros empleados (profundidad < 2 metros) son aquellos cuyo acceso se realiza mediante la apertura de la tapa de su marco, es decir, registros. Esto está exigido por las normas técnicas CYII.

8 PLANOS

A continuación, se muestra el índice que siguen los planos. Estos se encuentran en el anejo número 4.

ÍNDICE:

- Plano 01: Esquema general en planta de las instalaciones

- Plano 02: Esquema en planta de la zanja

- Plano 03: Perfil longitudinal de las conducciones

- Plano 04: Arqueta y zanja de registro

- Plano 05: Depósito

- Plano 06: Estación de bombeo

9 PRESUPUESTO

A continuación, se muestra el resumen del presupuesto de la proyección de las 3 tuberías. El presupuesto en detalle se puede observar en el anejo número 5.

RESUMEN DE PRESUPUESTO

CAPITULO	RESUMEN	EUROS	%
01	TRABAJOS PREVIOS.....	5.718,00	6,51
02	MOVIMIENTO DE TIERRAS.....	43.891,25	49,98
03	ABASTECIMIENTO.....	22.160,76	25,24
04	REPOSICIÓN.....	6.612,00	7,53
05	SEGURIDAD Y SALUD.....	6.680,32	7,61
06	GESTIÓN DE RESIDUOS.....	2.752,28	3,13
TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL		87.814,61	
	13,00 % Gastos generales	11.415,90	
	6,00 % Beneficio industrial	5.268,88	
	SUMA DE G.G. y B.I	16.684,78	
	16,00% I.V.A.....	16.719,90	
	TOTAL PRESUPUESTO CONTRATA	121.219,29	
	TOTAL PRESUPUESTO GENERAL	121.219,29	

Asciende el presupuesto general a la expresada cantidad de CIENTO VEINTIUN MIL DOSCIENTOS DIECINUEVE EUROS con VEINTINUEVE CÉNTI-MOS

, a 15 de agosto de 2019.

El promotor

La dirección facultativa

BIBLIOGRAFÍA

- [1] SAIH del Guadalquivir. Disponible en: <http://www.chguadalquivir.es/saih/DatosHistoricos.aspx>
- [2] ZARZUELO ROMERO, C., *Apuntes de Hidrología Superficial y Subterránea*, Universidad de Sevilla, 2018.
- [3] SÁNCHEZ SAN ROMÁN, F.J., *Hidrología Superficial y Subterránea*, Universidad de Salamanca, 2015.
- [4] RUIZ REINA, A., *Apuntes de Ingeniería Litoral y Fluvial*, Universidad de Sevilla, 2019.
- [5] GUTIÉRREZ CARMONA, N., *Apuntes de Obras Hidráulicas*, Universidad de Sevilla, 2018.
- [6] Datos Espaciales de Referencia de Andalucía (DERA). Junta de Andalucía: Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía.
Disponible en: <https://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/DERA/>
- [7] Instituto Geográfico Nacional (IGN). Ministerio de Fomento.
Disponible en: <http://www.ign.es/web/ign/portal>
- [8] ARCEMENT, George; SCHEIDER, Verne (1989): "Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains". Denver, United States Government Printing Office.
- [9] Guía Técnica sobre tuberías para el transporte de agua a presión (3ª Edición) -Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX).
- [10] BOHÓRQUEZ Y DEL MORAL (2017), "Paleohidrología de Inundaciones recientes: Un método transversal para el análisis de riesgo. Aplicación en la cuenca del río Guadalquivir".
- [11] Sistema de Información Geográfica de Datos Agrarios (SIGA).
Disponible en: <https://sig.mapama.gob.es/siga/>
- [12] ARANDA PASTOR, G., (2015): "El puente de San Bartolomé de Marmolejo (1573-2017). Estudio histórico artístico", *Jornadas de historia de Marmolejo*, Marmolejo, Asociación Amigos del Balneario de Marmolejo, 2019, pp. 83-153.
- [13] Historia de Marmolejo. Disponible en: <http://villademarmolejo.es/>
- [14] Geología en el T.M. Marmolejo. Disponible en: <http://villademarmolejo.es/>
- [15] ENDESA GENERACIÓN S.A.: Unidad Producción Hidráulica Sur (Agosto 2002): "Plan de Operación Normal de la Central Hidráulica de Marmolejo".
- [16] MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y URBANISMO «BOE» núm. 103, de 30 de abril de 1986 Referencia: BOE-A-1986-10638: "Reglamento del Dominio Público Hidráulico que desarrolla los títulos preliminar, I, IV, V, VI, VII y VIII del texto refundido de la Ley de Aguas, aprobado por el Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio" (9 de noviembre de 2018).
- [17] ENDESA GENERACIÓN S.A.: "Normas de Explotación Presa de Marmolejo".
- [18] BRAVO ARANDA, G., *Apuntes de Construcciones Sanitarias*, Universidad de Sevilla, 2019.

APÉNDICE Nº 1: CAUDALES DE ESTUDIO

Año	Qmax (m ³ /s)	log10(Qmax)
1951	650	2,812913357
1952	827,4	2,917715517
1953	50	1,698970004
1954	140	2,146128036
1955	434,2	2,637689819
1956	290	2,462397998
1957	251	2,399673721
1958	1900	3,278753601
1959	585	2,767155866
1960	2460	3,390935107
1961	600	2,77815125
1962	1500	3,176091259
1963	2850	3,45484486
1964	1412,3	3,149926959
1965	160,07	2,204309945
1966	2005,99	3,302328764
1967	201,13	2,303476854
1968	1768	3,247482261
1969	1553,27	3,191246954
1970	1331,1	3,124210683
1971	274,08	2,437877346
1972	384,4	2,584783379
1973	741,63	2,870187289
1974	211	2,324282455
1975	58,95	1,770483809
1976	358,34	2,554295289
1977	681,42	2,833414876
1978	1338,93	3,126757872
1979	1241,73	3,094027174
1980	145,19	2,161936705
1981	172,86	2,237694509
1982	246,42	2,391675953
1983	336,58	2,527088306
1984	222,61	2,34754467
1985	342,18	2,534254622
1986	373,08	2,571801968
1987	237,73	2,37608399
1988	91,86	1,963126441
1989	225,33	2,352819017
1990	63,85	1,805160902
1991	177,89	2,250151535
1992	216,33	2,33511675

1993	27,69	1,442322956
1994	35,69	1,552546548
1995	253,62	2,404183498
1996	720,68	2,85774247
1997	1024,92	3,010689968
1998	389,96	2,591020062
1999	334,546	2,524455842
2000	205,314	2,312418564
2001	898,62	2,95357608
2002	118,897	2,075170897
2003	1673,402	3,223600284
2004	1613,946	3,207889
2005	1822,51	3,26066992
2006	2201,551	3,342728751
2007	1123,728	3,050661202
2008	162,448	2,210714369
2009	436,617	2,640100641
2010	1811,875	3,258128233
2011	398,501	2,600429416
2012	446,678	2,649994563
2013	1294,637	3,112148015
2014	484,221	2,68504362
2015	142,718	2,154478751
2016	174,954	2,242923876
2017	174,609	2,242066625
2018	441,915	2,645338743

Media (μ)	Desviación (σ)	Media (μ)	Desviación (σ)
698,9132	685,702423	2,619794	0,47595753

APÉNDICE Nº 2: CAUDALES OBTENIDOS

EVI			
TR	Q	KT	Qmax
10	0,1	1,304563	1593,455
50	0,02	2,592288	2476,451
100	0,01	3,136681	2849,743
500	0,002	4,394689	3712,362

Log-Pearson tipo III					
TR	Q	w	z	KT	Q max (m ³ /s)
10	0,1	2,145966	1,281454	1,253897	1646,63
50	0,02	2,79715	2,053883	1,927865	3446,48
100	0,01	3,034854	2,326472	2,155517	4423,12
500	0,002	3,525509	2,878181	2,60037	7202,11

C _s	k
-0,231889212	-0,03865

APÉNDICE Nº 3: TEST DE BONDAD

Test chi-cuadrado :					I.EVI		
Intervalo	Rango	Límite superior	ni	fs(xi)	F(x)	p(xi)	chi-cuadrado
1	<200	200	16	0,25396825	0,23989037	0,23989037	0,052047817
2	200-400	400	20	0,31746032	0,374540466	0,134650097	15,63632998
3	400-600	600	7	0,11111111	0,508863717	0,134323251	0,252708424
4	600-800	800	3	0,04761905	0,628297673	0,119433956	2,72045755
5	800-1000	1000	1	0,01587302	0,726363622	0,098065948	4,34001538
6	1000-1200	1200	2	0,03174603	0,802574197	0,076210575	1,634379784
7	1200-1400	1400	4	0,06349206	0,859594256	0,05702006	0,046279688
8	1400-1800	1600	3	0,04761905	0,901154432	0,041560176	0,055647631
9	1800-2000	1800	3	0,04761905	0,930905306	0,029750874	0,676084784
10	2000-2200	2000	2	0,03174603	0,951939816	0,02103451	0,343645363
11	2200-2400	2200	1	0,01587302	0,966685164	0,014745348	0,005433107
12	>2400	2400	1	0,01587302	0,976961168	0,010276004	0,192056381
SUMA			63				

alpha	534,6399859
u	390,3189913

nº de intervalos	12
p(nº de parámetros)	2
nivel de confianza	99
v:	9
1-alfa	0,99
Chi-cuadrado	chi-v, 1-alpha(Tabla)
25,95508589	21,7
Validez:	No se acepta

2.LOG-PEARSON tipo III					
log limite superior	phi	zp	F(xi)Tabla normal	p(xi)	chi-cuadrado
2,301029996	68,61100273	-0,65	0,2578	0,2578	0,003588
2,602059991	74,06595582	-0,01	0,496	0,2382	1,661538
2,77815125	77,25689881	0,36	0,6406	0,1446	0,488623
2,903089987	79,5209089	0,61	0,7291	0,0885	1,189705
3	81,27701155	0,81	0,791	0,0619	2,15613
3,079181246	82,7118519	0,97	0,834	0,043	0,18556
3,146128036	83,92499212	1,10	0,8643	0,0303	2,290691
3,204119983	84,97586198	1,22	0,8888	0,0245	1,374404
3,255272505	85,90279489	1,32	0,9066	0,0178	3,147082
3,301029996	86,73196464	1,41	0,9207	0,0141	1,391283
3,342422681	87,48203991	1,49	0,9319	0,0112	0,122834

β	74,38732
λ	0,055185
v	148,7746

n° de intervalos	12
p(n° de parametros)	3
nivel de confianza	99
v:	8
1-alfa	0,99
Chi-cuadrado	chi-v, 1-alpha(Tabla)
14,01143721	20,1
Validez:	Se acepta

Tabla
0,197667

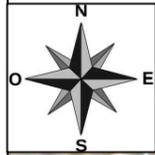
Test de kolmogorov-Smirnov				EVI		D
Posición	Datos	Datos, de mayor a menor	Fs(xi)	F(x)	d	
1	650	2850	0,985294118	0,99000479	0,004710669	0,16693986
2	827,4	2460	0,970588235	0,9793815	0,008793265	
3	50	2201,551	0,955882353	0,96678005	0,010897697	Se acepta
4	140	2005,99	0,941176471	0,95246233	0,011285862	
5	434,2	1900	0,926470588	0,94234503	0,01587444	
6	290	1822,51	0,911764706	0,93365731	0,021892607	
7	251	1811,875	0,897058824	0,93237053	0,035311707	
8	1900	1768	0,882352941	0,9268033	0,044450358	
9	585	1673,402	0,867647059	0,91326705	0,045619995	
10	2460	1613,946	0,852941176	0,90357256	0,050631383	
11	600	1553,27	0,838235294	0,89262833	0,054393038	
12	1500	1500	0,823529412	0,88206875	0,058539335	
13	2850	1412,3	0,808823529	0,86255719	0,053733664	
14	1412,3	1338,93	0,794117647	0,84400036	0,049882713	
15	160,07	1331,1	0,779411765	0,84189117	0,062479406	
16	2005,99	1294,637	0,764705882	0,83172639	0,067020508	
17	201,13	1241,73	0,75	0,8159374	0,065937402	
18	1768	1123,728	0,735294118	0,77595963	0,040665514	
19	1553,27	1024,92	0,720588235	0,73701664	0,016428409	
20	1331,1	898,62	0,705882353	0,67946006	0,026422295	
21	274,08	827,4	0,691176471	0,64305596	0,048120507	
22	384,4	741,63	0,676470588	0,59550037	0,080970223	
23	741,63	720,68	0,661764706	0,58329146	0,078473247	
24	211	681,42	0,647058824	0,55981823	0,08724059	
25	58,95	650	0,632352941	0,54050087	0,091852071	
26	358,34	600	0,617647059	0,50886372	0,108783341	
27	681,42	585	0,602941176	0,4991755	0,103765681	
28	1338,93	484,221	0,588235294	0,43217558	0,156059709	
29	1241,73	446,678	0,573529412	0,40658955	0,16693986	
30	145,19	441,915	0,558823529	0,40332831	0,155495217	
31	172,86	436,617	0,544117647	0,39969763	0,144420021	
32	246,42	434,2	0,529411765	0,39804026	0,131371504	
33	336,58	398,501	0,514705882	0,37350917	0,141196717	
34	222,61	389,96	0,5	0,36763242	0,132367576	
35	342,18	384,4	0,485294118	0,36380674	0,121487381	
36	373,08	373,08	0,470588235	0,35601957	0,114568668	
37	237,73	358,34	0,455882353	0,34588839	0,109993965	
38	91,86	342,18	0,441176471	0,3348013	0,106375173	
39	225,33	336,58	0,426470588	0,33096604	0,095504549	
40	63,85	334,546	0,411764706	0,32957405	0,082190661	
41	177,89	290	0,397058824	0,29927356	0,097785262	
42	216,33	274,08	0,382352941	0,28855766	0,093795277	

43	27,69	253,62	0,367647059	0,27490084	0,092746223
44	35,69	251	0,352941176	0,27316245	0,079778725
45	253,62	246,42	0,338235294	0,27012971	0,068105582
46	720,68	237,73	0,323529412	0,2643977	0,059131708
47	1024,92	225,33	0,308823529	0,25627214	0,052551387
48	389,96	222,61	0,294117647	0,25449865	0,039618998
49	334,546	216,33	0,279411765	0,25041675	0,028995017
50	205,314	211	0,264705882	0,24696674	0,017739143
51	898,62	205,314	0,25	0,24330139	0,00669861
52	118,897	201,13	0,235294118	0,24061451	0,005320394
53	1673,402	177,89	0,220588235	0,22585814	0,005269901
54	1613,946	174,954	0,205882353	0,22401523	0,018132874
55	1822,51	174,609	0,191176471	0,223799	0,03262253
56	2201,551	172,86	0,176470588	0,22270389	0,046233306
57	1123,728	162,448	0,161764706	0,21622228	0,054457577
58	162,448	160,07	0,147058824	0,2147512	0,067692375
59	436,617	145,19	0,132352941	0,2056274	0,073274462
60	1811,875	142,718	0,117647059	0,20412563	0,086478576
61	398,501	140	0,102941176	0,20247913	0,099537958
62	446,678	118,897	0,088235294	0,18986924	0,101633946
63	1294,637	91,86	0,073529412	0,17419165	0,100662239
64	484,221	63,85	0,058823529	0,15856394	0,099740411
65	142,718	58,95	0,044117647	0,15589801	0,111780364
66	174,954	50	0,029411765	0,15108272	0,121670958
67	174,609	35,69	0,014705882	0,14353218	0,128826299
68	441,915	27,69	0	0,13939256	0,139392555

log-pearson tipo III							
log limite superior	phi	zp	F(xi) Tabla normal	d	D	β	74,3873180
3,45484486	89,51924	1,70	0,9554	0,029894118	0,0913	λ	0,05518470
3,390935107	88,36113	1,58	0,9429	0,027688235		ν	148,774636
3,342728751	87,48759	1,49	0,9319	0,023982353	Se acepta		
3,302328764	86,7555	1,41	0,9207	0,020476471			
3,278753601	86,32829	1,36	0,9131	0,013370588			
3,26066992	86,0006	1,33	0,9082	0,003564706			
3,258128233	85,95454	1,32	0,9066	0,009541176			
3,247482261	85,76163	1,30	0,9032	0,020847059			
3,223600284	85,32886	1,25	0,8944	0,026752941			
3,207889	85,04416	1,22	0,8888	0,035858824			
3,191246954	84,74259	1,19	0,883	0,044764706			
3,176091259	84,46795	1,16	0,877	0,053470588			
3,149926959	83,99383	1,11	0,8665	0,057676471			
3,126757872	83,57399	1,06	0,8554	0,061282353			
3,124210683	83,52783	1,06	0,8554	0,075988235			
3,112148015	83,30924	1,03	0,8485	0,083794118			
3,094027174	82,98087	1,00	0,8413	0,0913			
3,050661202	82,19504	0,91	0,8186	0,083305882			
3,010689968	81,47072	0,83	0,7967	0,076111765			
2,95357608	80,43577	0,72	0,7642	0,058317647			
2,917715517	79,78594	0,64	0,7389	0,047723529			
2,870187289	78,92468	0,55	0,7088	0,032329412			
2,85774247	78,69917	0,52	0,6985	0,036735294			
2,833414876	78,25833	0,47	0,6808	0,033741176			
2,812913357	77,88682	0,43	0,6664	0,034047059			
2,77815125	77,2569	0,36	0,6406	0,022952941			
2,767155866	77,05765	0,34	0,6331	0,030158824			
2,68504362	75,5697	0,17	0,5675	0,020735294			
2,649994563	74,93458	0,09	0,5359	0,037629412			
2,645338743	74,85021	0,08	0,5319	0,026923529			
2,640100641	74,75529	0,07	0,5279	0,016217647			
2,637689819	74,7116	0,07	0,5279	0,001511765			
2,600429416	74,03641	-0,01	0,496	0,018705882			
2,591020062	73,8659	-0,03	0,488	0,012			
2,584783379	73,75289	-0,04	0,484	0,001294118			
2,571801968	73,51765	-0,07	0,4721	0,001511765			
2,554295289	73,20041	-0,11	0,4562	0,000317647			
2,534254622	72,83726	-0,15	0,4404	0,000776471			
2,527088306	72,7074	-0,17	0,4325	0,006029412			
2,524455842	72,65969	-0,17	0,4325	0,020735294			
2,462397998	71,53515	-0,30	0,3821	0,014958824			
2,437877346	71,09081	-0,36	0,3594	0,022952941			
2,404183498	70,48024	-0,43	0,3336	0,034047059			
2,399673721	70,39852	-0,44	0,33	0,022941176			

2,391675953	70,25359	-0,46	0,3228	0,015435294
2,37608399	69,97105	-0,49	0,3121	0,011429412
2,352819017	69,54947	-0,54	0,2946	0,014223529
2,34754467	69,45389	-0,55	0,2912	0,002917647
2,33511675	69,22869	-0,58	0,281	0,001588235
2,324282455	69,03236	-0,60	0,2743	0,009594118
2,312418564	68,81737	-0,63	0,2643	0,0143
2,303476854	68,65534	-0,65	0,2578	0,022505882
2,250151535	67,68904	-0,77	0,2206	1,17647E-05
2,242923876	67,55806	-0,78	0,2177	0,011817647
2,242066625	67,54253	-0,78	0,2177	0,026523529
2,237694509	67,4633	-0,79	0,2148	0,038329412
2,210714369	66,9744	-0,85	0,1977	0,035935294
2,204309945	66,85834	-0,87	0,1922	0,045141176
2,161936705	66,0905	-0,96	0,1685	0,036147059
2,154478751	65,95535	-0,98	0,1635	0,045852941
2,146128036	65,80403	-1,00	0,1587	0,055758824
2,075170897	64,51822	-1,16	0,123	0,034764706
1,963126441	62,48787	-1,41	0,0793	0,005770588
1,805160902	59,62538	-1,78	0,0375	0,021323529
1,770483809	58,997	-1,86	0,0314	0,012717647
1,698970004	57,7011	-2,03	0,0212	0,008211765
1,552546548	55,04776	-2,38	0,0087	0,006005882
1,442322956	53,05041	-2,65	0,004	0,004

APÉNDICE N° 4: PLANOS



Leyenda



Depósito



Museo



Zona de aparcamientos



Balneario



Instalaciones deportivas



Conducción proyectada PE DN40

NOMBRE: ALBA BAREA SOLÍS

ESCALA:
1:4000

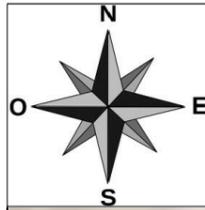
FECHA: SEPTIEMBRE 2019

PLANO Nº: 01

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA CIVIL

TÍTULO DEL PLANO :
ESQUEMA GENERAL EN PLANTA DE LAS
INSTALACIONES





Leyenda
 — Conducción proyectada
 PE DN40

Relación de tramos y longitudes por hojas

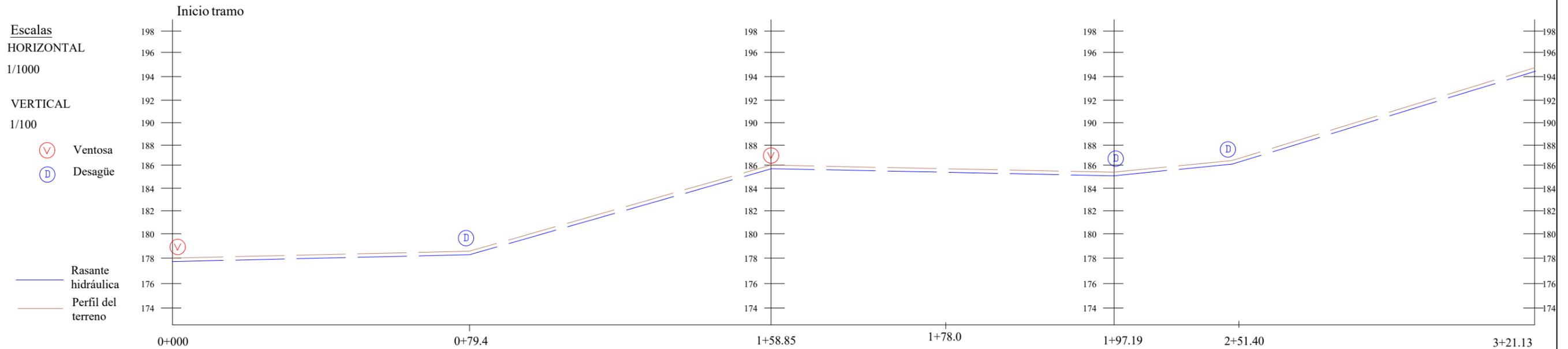
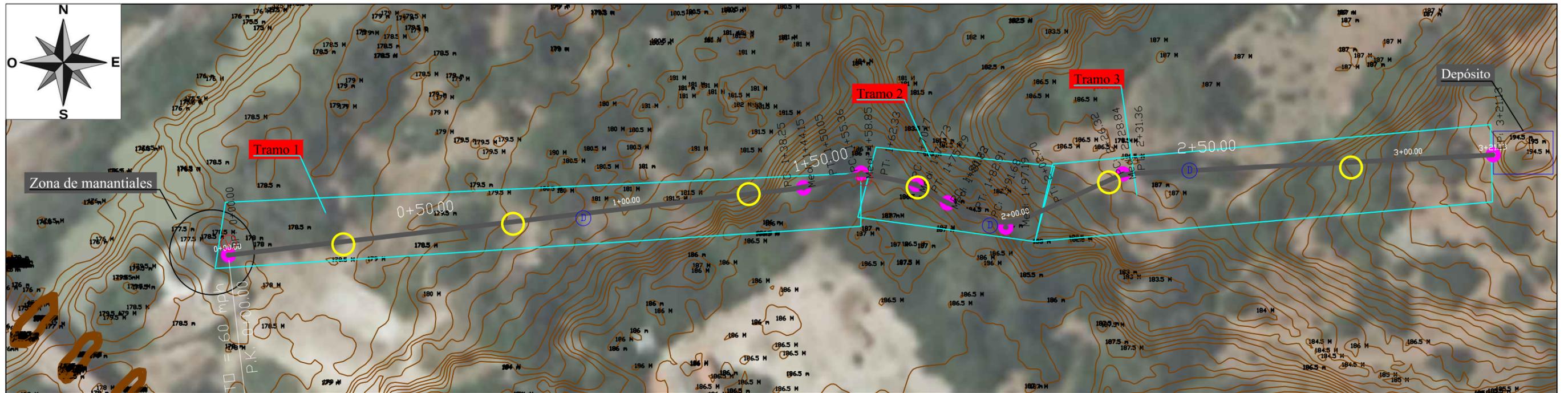
Nº Hoja	Tramo	P.K. inicial	P.K. final
02	1	0+00	1+65.66
02	2	1+58.85	1+97.19
02	3	1+97.19	3+21.13

NOMBRE: ALBA BAREA SOLÍS
 FECHA: SEPTIEMBRE 2019
 TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA CIVIL

ESCALA:
 1:1000
 PLANO Nº 02



TÍTULO DEL PLANO :
 ESQUEMA EN PLANTA DE LA ZANJA



Datos		Tubería						
		PE DN40						
Cotas	Excavación	177.14	177.64	185.14	183.94	184.64	186.14	194.14
	Cota roja	0.86						
	Rasante	177.24	177.74	185.24	184.04	184.74	186.24	194.24
	Terreno	178	178.5	186	184.8	185.5	187	195

Leyenda Conducción proyectada PE DN40 Arqueta	Relación de tramos y longitudes por hojas				NOMBRE: ALBA BAREA SOLÍS	ESCALA: 1:1000
	Nº Hoja	Tramo	P.K. inicial	P.K. final	FECHA: SEPTIEMBRE 2019	PLANO Nº 03
	03	1	0+00	1+58.85	TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA CIVIL	TÍTULO DEL PLANO : PERFIL LONGITUDINAL DE LAS CONDUCCIONES
03	2	1+58.85	1+97.19			
	03	3	1+97.19	3+21.13		



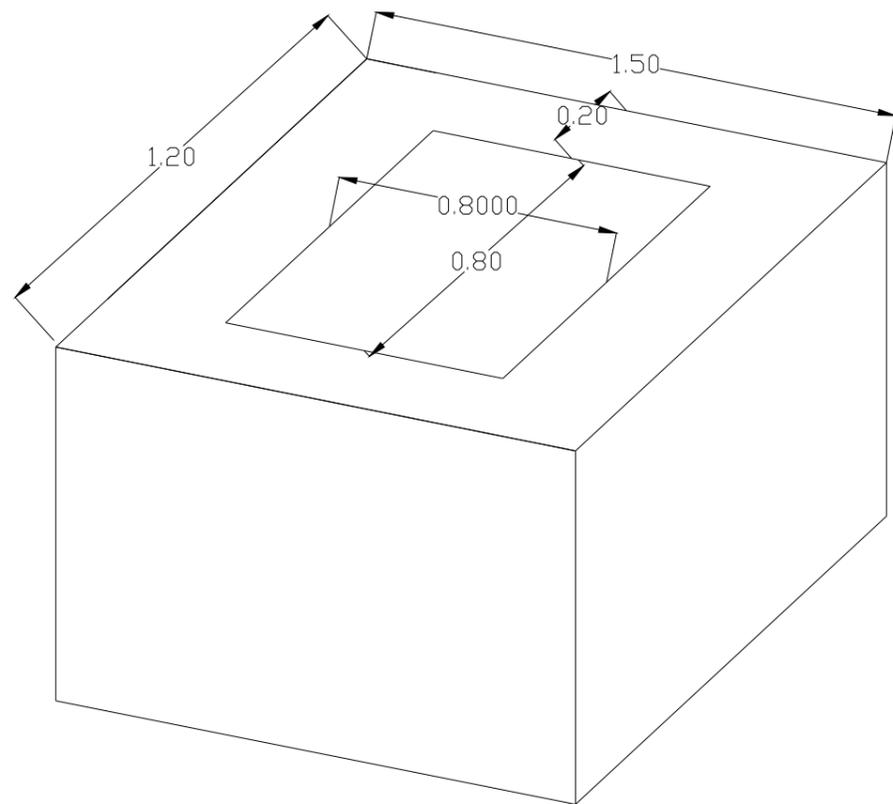


Figura 1:Arqueta de registro

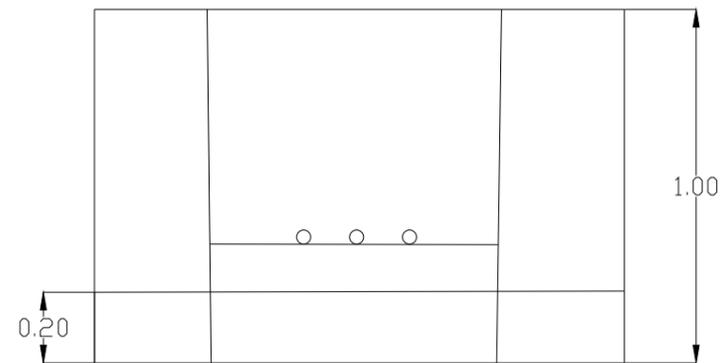


Figura 3: Arqueta de registro. Vista en perfil

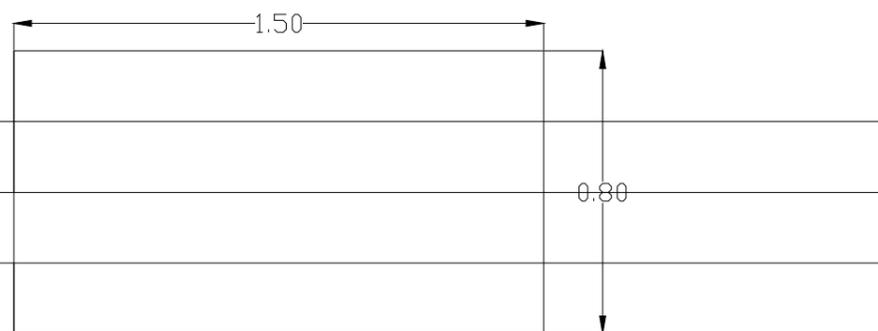


Figura 2: Arqueta de registro. Vista en planta

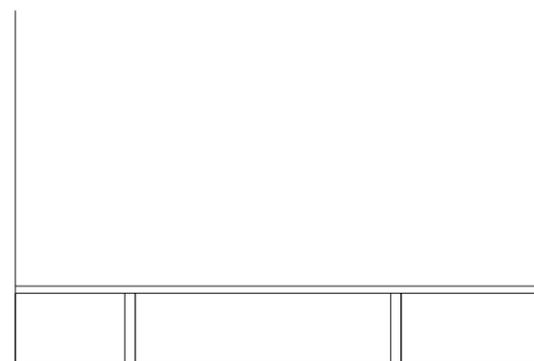


Figura 4: Arqueta de registro. Vista en perfil

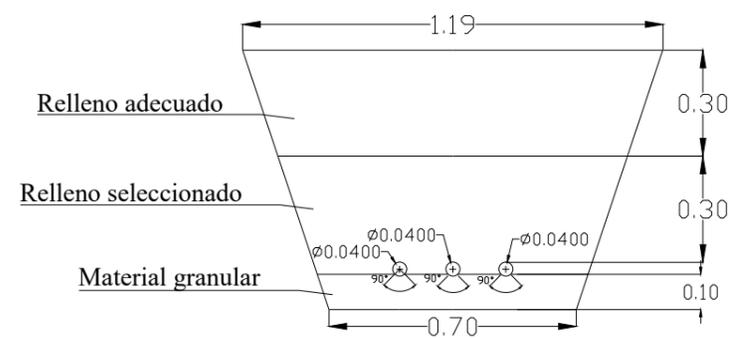


Figura 5:Esquema de intalación zanja-tipo de tubería PE, DN40. Talud 1H/3V

Cotas en metros

NOMBRE: ALBA BAREA SOLÍS	ESCALA: 1:500	
FECHA: SEPTIEMBRE 2019	PLANO Nº: 04	
TITULACIÓN:GRADO EN INGENIERÍA CIVIL	TÍTULO DEL PLANO : ZANJA Y ARQUETA DE REGISTRO	

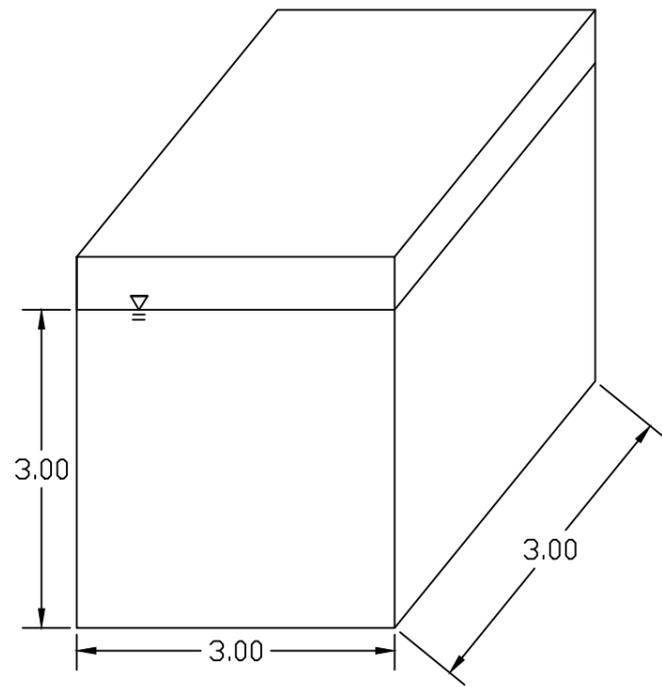


Figura 1: Cámara del depósito

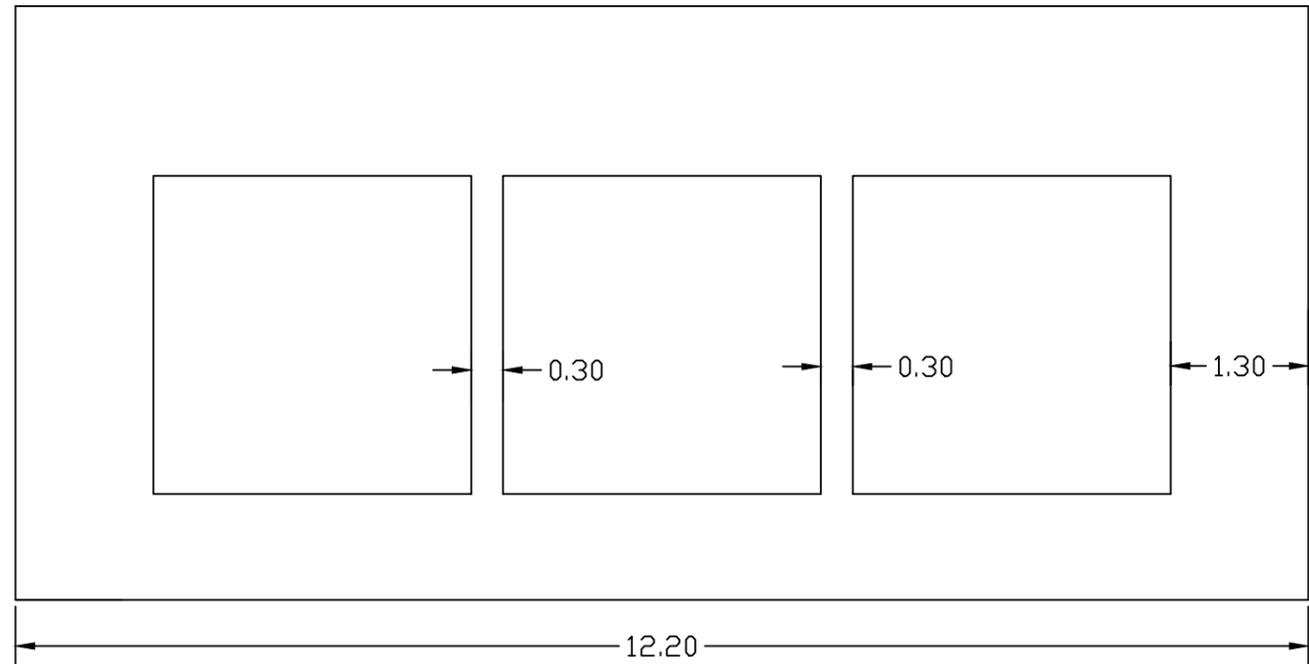


Figura 2: Depósito. Vista en planta

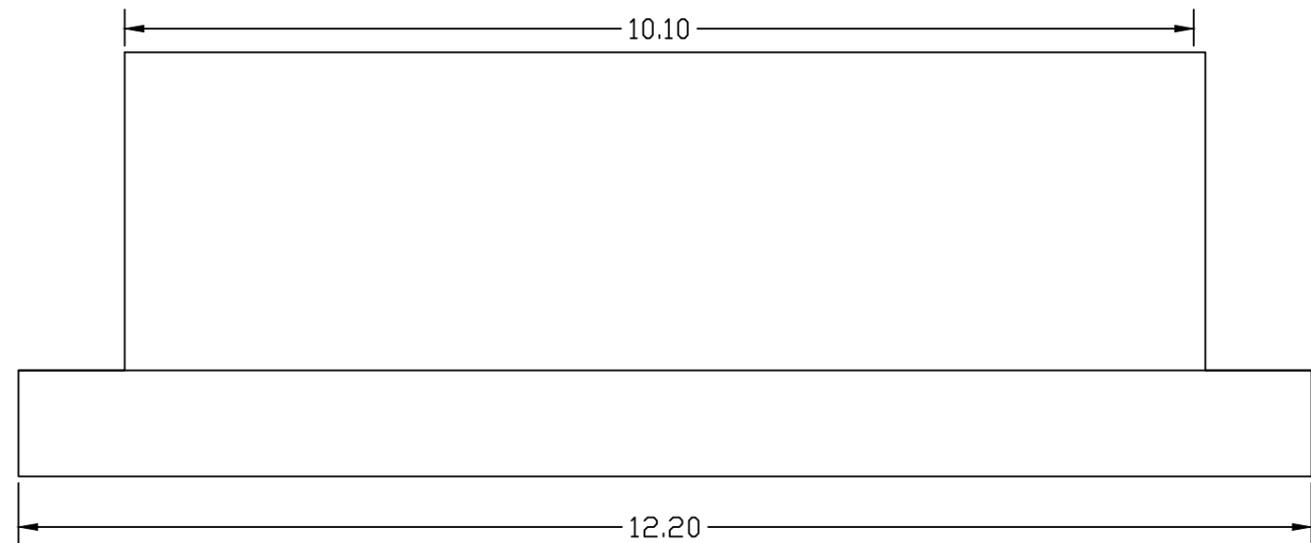
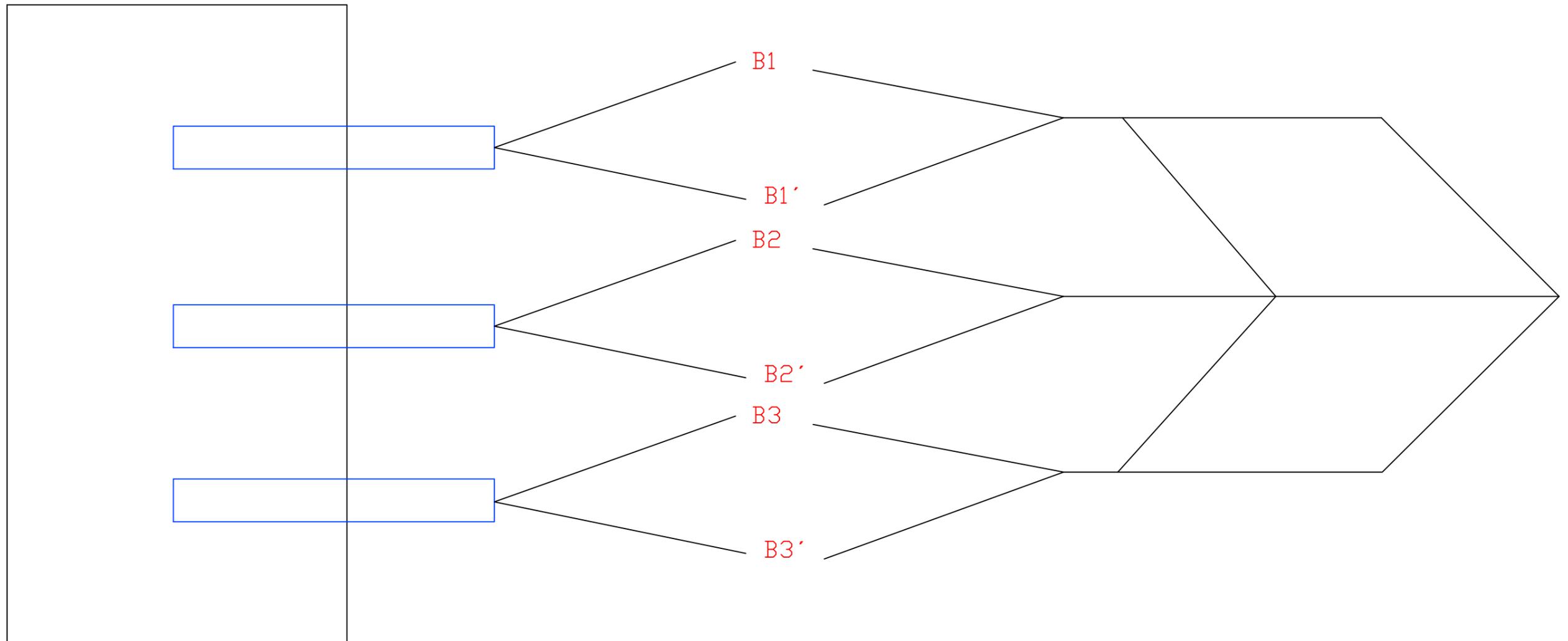


Figura 3: Depósito. Vista en alzado

NOMBRE: ALBA BAREA SOLÍS	ESCALA: 1:1500	
FECHA: SEPTIEMBRE 2019	PLANO Nº: 05	
TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA CIVIL	TÍTULO DEL PLANO : DEPÓSITO	



Leyenda



Estación de bombeo

B1, B2, B3

Bombas



Conducción PE

B1', B2', B3'

Bombas de reserva

NOMBRE: ALBA BAREA SOLÍS

FECHA: SEPTIEMBRE 2019

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA CIVIL

ESCALA:
1:50

PLANO Nº:
06

TÍTULO DEL PLANO :
ESTACIÓN DE BOMBEO



APÉNDICE N° 5: PRESUPUESTO

LISTADO DE MATERIALES VALORADO (Pres)

CÓDIGO	CANTIDAD UD	RESUMEN	PRECIO	IMPORTE
MO1000000	30,028 h	Capataz	19,00	570,54
			Grupo MO1.....	570,54
MO6000000	217,219 h	Peón Ordinario	17,34	3.766,57
MO6000020	20,000 h	Peón Jardinero	17,34	346,80
			Grupo MO6.....	4.113,37
MQ0200ab	44,909 h	Bomba sumergible para aguas limpias de 5 kW	7,02	315,26
MQ0370b	26,945 h	Carro perforador martillo 60	26,94	725,91
MQ0405ab	98,573 h	Retroexcavadora sobre orugas de 30 Tn.	103,60	10.212,14
MQ0405ba	5,627 h	Retroexcavadora sobre ruedas de 15 Tn.	63,78	358,91
MQ0410ba	4,817 h	Cargadora sobre orugas de 1,2 m3	47,91	230,76
MQ0418a	74,605 h	Retroexcavadora mixta	30,95	2.309,03
MQ0500cd	54,507 h	Compactador manual, tipo pequeño de rodillo vibrante de 0,60 t	7,50	408,80
MQ0620ba	58,982 h	Camión caja fija con sistema para agua de 10 t	59,08	3.484,64
MQ0620bb	19,622 h	Camión caja fija con sistema para agua de 16 t	68,78	1.349,62
MQ0625ab	20,400 h	Camión basculante rígido de 15 t	62,87	1.282,55
MQ0625ac	198,902 h	Camión basculante rígido de 20 t	70,22	13.966,90
MQ0625bd	35,279 h	Camión basculante semiaarticulado de 25 t	96,05	3.388,56
			Grupo MQ0.....	38.033,07
MT0110	396,638 m3	Agua	1,71	678,25
MT0304b	876,600 m3	Suelo seleccionado con CBR>=10 en cantera o gravera	3,35	2.936,61
MT0332a	248,850 m3	Material granular en cantera o gravera	7,45	1.853,93
MT09100	71,854 kg	Explosivo y p.p. de cebos y detonadores	7,16	514,48
MT0A300	449,090 kg	Clavos de acero	1,09	489,51
MT0D00b	44,909 m2	Tablón de madera de pino para 5 usos.	7,45	334,57
			Grupo MT0.....	6.807,35
MTF1002aec	9.633,000 m	Tubería PE 40 (BD) Ø=40 mm. 10 atm.	2,12	20.421,96
MTF205bea	18,000 ud	Válvula compuerta latón Ø 40 mm 10 atm.	18,05	324,90
MTF3100a	6,000 ud	Ventosas trifuncional Ø 50 mm	195,15	1.170,90
MTF410fed	18,000 ud	Arqueta 100 x 80 x 150	13,50	243,00
			Grupo MTF.....	22.160,76
O010B270	102,000 h	Oficial 1ª jardinería	18,66	1.903,32
			Grupo O01.....	1.903,32
P01DW050	15,000 m3	Agua	1,27	19,05
			Grupo P01.....	19,05
P28DA130	450,000 kg	Substrato vegetal fertilizado	0,91	409,50
P28EE500	300,000 u	Arbusto cubresuelos 0,2-0,4 m	2,53	759,00
			Grupo P28.....	1.168,50
U01FR013	132,000 Hr	Peón ordinario jardinero	18,26	2.410,32
			Grupo U01.....	2.410,32
U04PY001	150,000 M3	Agua	1,51	226,50
			Grupo U04.....	226,50
U40BD005	10,000 M3	Mantillo	22,00	220,00
U40MA600	60,000 Kg	Semilla combinada para césped	5,57	334,20
			Grupo U40.....	554,20
Resumen				
			Mano de obra.....	8.848,06
			Materiales.....	35.417,89
			Maquinaria.....	33.786,04
			Otros.....	9.762,60
			TOTAL.....	77.966,98

CUADRO DE PRECIOS 1

CÓDIGO	UD	RESUMEN	PRECIO
CAPÍTULO 01 TRABAJOS PREVIOS			
C81400100a	ud	Extracción de especies arbóreas Extracción de especies arbóreas, incluso parte proporcional de transporte a vertedero.	28,59
			VEINTIOCHO EUROS con CINCUENTA Y NUEVE CÉNTIMOS

CÓDIGO	UD	RESUMEN	PRECIO
CAPÍTULO 02 MOVIMIENTO DE TIERRAS			
C320aa	m3	Excavación de tierra vegetal. Excavación de SA, incluso carga y transporte a vertedero, acopio intermedio o lugar de empleo.	1,85
			UN EUROS con OCHENTA Y CINCO CÉNTIMOS
C321baa	m3	Excavación zanjas, toda clase de terrenos Excavación de zanjas en toda clase de terrenos, incluso entibación y agotamiento si fuere necesario, carga y transporte a lugar de empleo o vertedero.	3,00
			TRES EUROS
C331ACB_PCL	m3	Rell. zanjas con suelo seleccionado Relleno localizado de zanjas y cimentaciones con suelo seleccionado procedente de cantera o gravera, extendido y compactado.	10,46
			DIEZ EUROS con CUARENTA Y SEIS CÉNTIMOS
C332bcbbc_M	m3	Rell. zanjas con material granular de cantera o gravera Relleno localizado de zanjas y cimentaciones con material granular procedente de cantera o gravera, extendido y compactado.	13,28
			TRECE EUROS con VEINTIOCHO CÉNTIMOS
C332acb_M	m3	Rell. zanja con suelo adecuado procedente de excavacion Relleno localizado de zanjas con suelo adecuado procedente de excavación, extendido humectado y compactado.	2,55
			DOS EUROS con CINCUENTA Y CINCO CÉNTIMOS

CÓDIGO	UD	RESUMEN	PRECIO
CAPÍTULO 03 ABASTECIMIENTO			
MTF1002aec	m	Tubería PE 40 (BD) Ø=40 mm. 10 atm. Tubería de polietileno de baja densidad (PE 40) de 40 mm de diámetro, y 10 atms., para agua a presión, suministrado a pie de obra	2,12
			DOS EUROS con DOCE CÉNTIMOS
MTF3100a	ud	Ventosas trifuncional Ø 50 mm Ventosas trifuncional 50 mm de diámetro, presión nominal 16 atms, suministrada a pie de obra	195,15
			CIENTO NOVENTA Y CINCO EUROS con QUINCE CÉNTIMOS
MTF410fed	ud	Arqueta 100 x 80 x 150 Arqueta 100 x 80 x 150	13,50
			TRECE EUROS con CINCUENTA CÉNTIMOS
MTF205bea	ud	Válvula compuerta latón Ø 40 mm 10 atm. Válvula compuerta de 40 mm de diámetro nominal con cierre elástico y cuello liso, de latón, presión nominal 10 atm., suministrada a pie de obra.	18,05
			DIECIOCHO EUROS con CINCO CÉNTIMOS

CUADRO DE PRECIOS 1

CÓDIGO	UD	RESUMEN	PRECIO
CAPÍTULO 04 REPOSICIÓN			
U13EE500	u	ARBUSTOS CUBRESUELOS 0,2-0,4 m Arbustos cubresuelos de 0,20 a 0,40 m. de altura, suministrado en contenedor y plantación en hoyo de 0,3x0,3x0,3 m. con los medios indicados, abonado, formación de alcorque y primer riego.	5,44
			CINCO EUROS con CUARENTA Y CUATRO CÉNTIMOS
D39QA001	m2	Césped sembrado, superf. <1.000 M2. M2. Césped sembrado con mezcla de Lolium, Agrostis, Festuca y Poa, incluso preparación del terreno, mantillo, siembra y riegos hasta la primera siega, en superficies menores de 1.000 m2.	4,98
			CUATRO EUROS con NOVENTA Y OCHO CÉNTIMOS

CUADRO DE PRECIOS 2

CÓDIGO	UD	RESUMEN	PRECIO
CAPÍTULO 01 TRABAJOS PREVIOS			
C81400100a	ud	Extracción de especies arbóreas Extracción de especies arbóreas, incluso parte proporcional de transporte a vertedero.	
		Mano de obra.....	1,75
		Maquinaria.....	25,98
		Resto de obra y materiales.....	0,86
		TOTAL PARTIDA.....	28,59
CAPÍTULO 02 MOVIMIENTO DE TIERRAS			
C320aa	m3	Excavación de tierra vegetal. Excavación de SA, incluso carga y transporte a vertedero, acopio intermedio o lugar de empleo.	
		Mano de obra.....	0,19
		Maquinaria.....	1,64
		Resto de obra y materiales.....	0,02
		TOTAL PARTIDA.....	1,85
C321baa	m3	Excavación zanjas, toda clase de terrenos Excavación de zanjas en toda clase de terrenos, incluso entibación y agotamiento si fuere necesario, carga y transporte a lugar de empleo o vertedero.	
		Mano de obra.....	0,21
		Maquinaria.....	2,62
		Resto de obra y materiales.....	0,17
		TOTAL PARTIDA.....	3,00
C331ACB_PCL	m3	Rell. zanjas con suelo seleccionado Relleno localizado de zanjas y cimentaciones con suelo seleccionado procedente de cantera o gravera, extendido y compactado.	
		Mano de obra.....	0,97
		Maquinaria.....	1,75
		Resto de obra y materiales.....	7,74
		TOTAL PARTIDA.....	10,46
C332bcbbc_M	m3	Rell. zanjas con material granular de cantera o gravera Relleno localizado de zanjas y cimentaciones con material granular procedente de cantera o gravera, extendido y compactado.	
		Mano de obra.....	0,97
		Maquinaria.....	1,75
		Resto de obra y materiales.....	10,56
		TOTAL PARTIDA.....	13,28
C332acb_M	m3	Rell. zanja con suelo adecuado procedente de excavacion Relleno localizado de zanjas con suelo adecuado procedente de excavación, extendido humectado y compactado.	
		Mano de obra.....	0,97
		Maquinaria.....	1,43
		Resto de obra y materiales.....	0,15
		TOTAL PARTIDA.....	2,55

CUADRO DE PRECIOS 2

CÓDIGO	UD	RESUMEN	PRECIO
CAPÍTULO 03 ABASTECIMIENTO			
MTF1002aec	m	Tubería PE 40 (BD) Ø=40 mm. 10 atm. Tubería de polietileno de baja densidad (PE 40) de 40 mm de diámetro, y 10 atms., para agua a presión, suministrado a pie de obra	
		TOTAL PARTIDA.....	2,12
MTF3100a	ud	Ventosas trifuncional Ø 50 mm Ventosas trifuncional 50 mm de diámetro, presión nominal 16 atms, suministrada a pie de obra	
		TOTAL PARTIDA.....	195,15
MTF410fed	ud	Arqueta 100 x 80 x 150 Arqueta 100 x 80 x 150	
		TOTAL PARTIDA.....	13,50
MTF205bea	ud	Válvula compuerta latón Ø 40 mm 10 atm. Válvula compuerta de 40 mm de diámetro nominal con cierre elástico y cuello liso, de latón, presión nominal 10 atm., suministrada a pie de obra.	
		TOTAL PARTIDA.....	18,05
CÓDIGO	UD	RESUMEN	PRECIO

CAPÍTULO 04 REPOSICIÓN

U13EE500	u	ARBUSTOS CUBRESUELOS 0,2-0,4 m Arbustos cubresuelos de 0,20 a 0,40 m. de altura, suministrado en contenedor y plantación en hoyo de 0,3x0,3x0,3 m. con los medios indicados, abonado, formación de alcorque y primer riego.	
		Mano de obra.....	1,48
		Resto de obra y materiales.....	3,96
		TOTAL PARTIDA.....	5,44
D39QA001	m2	Césped semillado, superf. <1.000 M2. M2. Césped semillado con mezcla de Lolium, Agrostis, Festuca y Poa, incluso preparación del terreno, mantillo, siembra y riegos hasta la primera siega, en superficies menores de 1.000 m2.	
		Mano de obra.....	3,87
		Resto de obra y materiales.....	1,11
		TOTAL PARTIDA.....	4,98

PRESUPUESTO Y MEDICIONES

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CAPÍTULO 01 TRABAJOS PREVIOS									
C81400100a	ud Extracción de especies arbóreas Extracción de especies arbóreas, incluso parte proporcional de transporte a vertedero.						200,00	28,59	5.718,00
TOTAL CAPÍTULO 01 TRABAJOS PREVIOS.....									5.718,00

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CAPÍTULO 02 MOVIMIENTO DE TIERRAS									
C320aa	m3 Excavación de tierra vegetal. Excavación de SA, incluso carga y transporte a vertedero, acopio intermedio o lugar de empleo.						963,30	1,85	1.782,11
C321baa	m3 Excavación zanjas, toda clase de terrenos Excavación de zanjas en toda clase de terrenos, incluso entibación y agotamiento si fuere necesario, carga y transporte a lugar de empleo o vertedero.						8.981,80	3,00	26.945,40
C331ACB_PCL	m3 Rell. zanjas con suelo seleccionado Relleno localizado de zanjas y cimentaciones con suelo seleccionado procedente de cantera o gravera, extendido y compactado.						876,60	10,46	9.169,24
C332bcbbc_M	m3 Rell. zanjas con material granular de cantera o gravera Relleno localizado de zanjas y cimentaciones con material granular procedente de cantera o gravera, extendido y compactado.						248,85	13,28	3.304,73
C332acb_M	m3 Rell. zanja con suelo adecuado procedente de excavacion Relleno localizado de zanjas con suelo adecuado procedente de excavación, extendido humectado y compactado.						1.054,81	2,55	2.689,77
TOTAL CAPÍTULO 02 MOVIMIENTO DE TIERRAS									43.891,25

PRESUPUESTO Y MEDICIONES

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CAPÍTULO 03 ABASTECIMIENTO									
MTF1002aec	m Tubería PE 40 (BD) Ø=40 mm. 10 atm. Tubería de polietileno de baja densidad (PE 40) de 40 mm de diámetro, y 10 atms., para agua a presión, suministrado a pie de obra						9.633,00	2,12	20.421,96
MTF3100a	ud Ventosas trifuncional Ø 50 mm Ventosas trifuncional 50 mm de diámetro, presión nominal 16 atms, suministrada a pie de obra						6,00	195,15	1.170,90
MTF410fed	ud Arqueta 100 x 80 x 150 Arqueta 100 x 80 x 150						18,00	13,50	243,00
MTF205bea	ud Válvula compuerta latón Ø 40 mm 10 atm. Válvula compuerta de 40 mm de diámetro nominal con cierre elástico y cuello liso, de latón, presión nominal 10 atm., suministrada a pie de obra.						18,00	18,05	324,90
TOTAL CAPÍTULO 03 ABASTECIMIENTO.....									22.160,76

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CAPÍTULO 04 REPOSICIÓN									
U13EE500	u ARBUSTOS CUBRESUELOS 0,2-0,4 m Arbustos cubresuelos de 0,20 a 0,40 m. de altura, suministrado en contenedor y plantación en hoyo de 0,3x0,3x0,3 m. con los medios indicados, abonado, formación de alcorque y primer riego.						300,00	5,44	1.632,00
D39QA001	m2 Césped semillado, superf. <1.000 M2. M2. Césped semillado con mezcla de Lolium, Agrostis, Festuca y Poa, incluso preparación del terreno, mantillo, siembra y riegos hasta la primera siega, en superficies menores de 1.000 m2.						1.000,00	4,98	4.980,00
TOTAL CAPÍTULO 04 REPOSICIÓN.....									6.612,00

RESUMEN DE PRESUPUESTO

CAPITULO	RESUMEN	EUROS	%
01	TRABAJOS PREVIOS.....	5.718,00	6,51
02	MOVIMIENTO DE TIERRAS.....	43.891,25	49,98
03	ABASTECIMIENTO.....	22.160,76	25,24
04	REPOSICIÓN.....	6.612,00	7,53
05	SEGURIDAD Y SALUD.....	6.680,32	7,61
06	GESTIÓN DE RESIDUOS.....	2.752,28	3,13
TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL		87.814,61	
13,00% Gastos generales.....		11.415,90	
6,00% Beneficio industrial.....		5.268,88	
SUMA DE G.G. y B.I.		16.684,78	
16,00% I.V.A.....		16.719,90	
TOTAL PRESUPUESTO CONTRATA		121.219,29	
TOTAL PRESUPUESTO GENERAL		121.219,29	

Asciende el presupuesto general a la expresada cantidad de CIENTO VEINTIUN MIL DOSCIENTOS DIECINUEVE EUROS con VEINTINUEVE CÉNTI-MOS

, a 15 de agosto de 2019.

El promotor

La dirección facultativa