



Estudio de soluciones para el encauzamiento y reposición de la desembocadura del barranco del Algarrobo entre la carretera ALP-118 y el mar en Vera (Almería).

Grado en Ingeniería Civil

2013/2014

Fecha de entrega: 10/06/2014

Autor: José Antonio Hernández Pineda

Autor: Elena Palao Martínez.

Autor: Rafael Domingo Mut

Autor: Patricia Álvaro Llop

Tutor: Juan Bautista Marco Segura

Tutor: Félix Ramón Francés García

Tutor: Luís Pallarés Rubio

Tutor: Félix Ramón Francés García

Subtítulo diferenciador: Estudio de soluciones y cálculo hidráulico

Subtítulo diferenciador: Diseño del Humedal de laminación e integración ambiental.

Subtítulo diferenciador: Diseño y cálculo del tramo cubierto y estructuras

Subtítulo diferenciador: Estudio Hidrológico

ÍNDICE

1. DOCUMENTO Nº1. MEMORIA Y ANEJOS

- 00. Memoria
- 01. Anejo de Documentación fotográfica
- 02. Anejo de Cálculo Geotécnico
- 03. Anejo de Estudio Hidrológico
- 04. Anejo de Humedal de Laminación
- 05. Anejo de Cálculos Hidráulicos
- 06. Anejo de Cálculo Estructural
- 07. Anejo de Integración Ambiental
- 08. Anejo de Valoración Económica

2. DOCUMENTO Nº2

- Plano 01. Situación y Emplazamiento
- Plano 02. Planta General
- Plano 3.1 Secciones tipo I. Doble cajón enterrado
- Plano 3.2. Sección tipo II. Doble cajón enterrado bajo carretera.
- Plano 3.3. Sección tipo III. Canal a cielo abierto con barandilla.
- Plano 3.4. Sección tipo IV. Canal a cielo abierto con pretil.
- Plano 3.5. Sección tipo V. Desembocadura.
- Plano 3.6. Sección tipo Dique.
- Plano 3.7. Plano de Armado I
- Plano 3.8. Plano de Armado II
- Plano 3.9. Plano de Armado III
- Plano 4.1.1. Perfil Longitudinal Encauzamiento I
- Plano 4.1.2. Perfil Longitudinal Encauzamiento II
- Plano 4.1.3. Perfil Longitudinal Encauzamiento III
- Plano 4.2.10. Perfil Longitudinal del Dique I
- Plano 4.2.2. Perfil Longitudinal del Dique II
- Plano 4.2.3. Perfil Longitudinal del Dique III
- Plano 5.1. Detalle de la Transición
- Plano 5.2. Planta de la Desembocadura
- Plano 5.3. Detalle de Transición de la Desembocadura
- Plano 5.4. Sección de Vertido de Desembocadura
- Plano 5.5. Detalles del Dique
- Plano 5.6. Detalle Constructivo Viga Prefabricada
- Plano 5.7. Detalle de Aliviadero
- Plano 6.1. Integración Ambiental Humedal
- Plano 6.2. Integración Ambiental Desembocadura



DOCUMENTO Nº 1

MEMORIA Y ANEJOS



MEMORIA

Autores:

Patricia Álvaro Llop

Rafael Domingo Mut

José Antonio Hernández Pineda

Elena Palao Martínez

INDICE:

- 1. ANTECEDENTES**
- 2. OBJETIVOS**
- 3. LOCALIZACIÓN**
- 4. ESTUDIOS PREVIOS**
 - 4.1 Trabajos Topográficos y Cartográficos**
 - 4.2 Estudio Climatológico, Hidrología y Estudio de Avenidas**
 - 4.3 Estudio de Laminación**
 - 4.4 Estudio Geológico del Terreno**
- 5. ESTUDIO DE SOLUCIONES**
- 6. CÁLCULOS HIDRÁULICOS**
- 7. CÁLCULOS GEOTÉCNICOS**
- 8. CÁLCULOS ESTRUCTURALES**
- 9. INTEGRACIÓN AMBIENTAL**
- 10. VALORACIÓN ECONÓMICA**
- 11. CONCLUSIÓN**
- 12. DOCUMENTOS INTEGRANTES DEL PROYECTO**

1. ANTECEDENTES

Nuestra zona de estudio se encuentra en Almería al sur de España, al este de la Comunidad Autónoma de Andalucía, particularmente entre el Río Antas y el Almanzora, junto a la línea de costa y cercana a la población de Vera, de ahí el nombre de Playas de Vera. Toda esta zona tiene un clima muy árido y terreno margoso y suelto. Se producen lluvias en pocas ocasiones, pero cuando se dan, se alcanzan altos caudales pico. Todo esto ya contribuyó a que se dieran grandes desbordamientos, en el año 1973 y 1989, en la desembocadura del Río Antas.

En 1982, los terrenos donde se halla la zona de estudio fueron calificados por el Ayuntamiento como urbanizables. Se construyeron varios asentamientos a lo largo de los años, pero fue en 1995 cuando se comenzaron a construir la gran parte de urbanizaciones, como es el caso la urbanización 'Laguna Beach', que se encuentra entre la carretera ALP-118 y el mar de Vera, justo en la desembocadura del Barranco del Algarrobo.

El 28 de septiembre de 2012, se dieron fuertes precipitaciones en la zona, alcanzando los 200 litros/m². El barranco, que se puede caracterizar morfológicamente como un torrente, evacuó rápidamente las lluvias y los sólidos que arrastró, buscando las ramblas, hasta el mar, pasando por la urbanización mencionada. La riada no duró más de 10 minutos. El Ayuntamiento cuantificó los siguientes daños: 85 hectáreas de terreno dañadas, daños en 4.300 viviendas, 130 locales, 1.950 aparcamientos y alrededor de mil vehículos arrastrados por la corriente. Además se dio la muerte de una mujer residente de la zona. El nivel del agua llegó a alcanzar los 2,80 metros sobre el nivel del mar. Con este proyecto pretende que esto no vuelva a suceder.

2. OBJETIVOS

El objetivo del presente proyecto es justificar, definir y valorar las correspondientes actuaciones que se decida llevar a cabo para solucionar el problema de inundaciones que se da en las urbanizaciones situadas en la desembocadura del barranco del Algarrobo, situada entre la carretera ALP-118 y el mar en Vera (Almería) y rehidratar el humedal que se ha creado al oeste de la carretera. Dichas actuaciones se resumen a continuación:

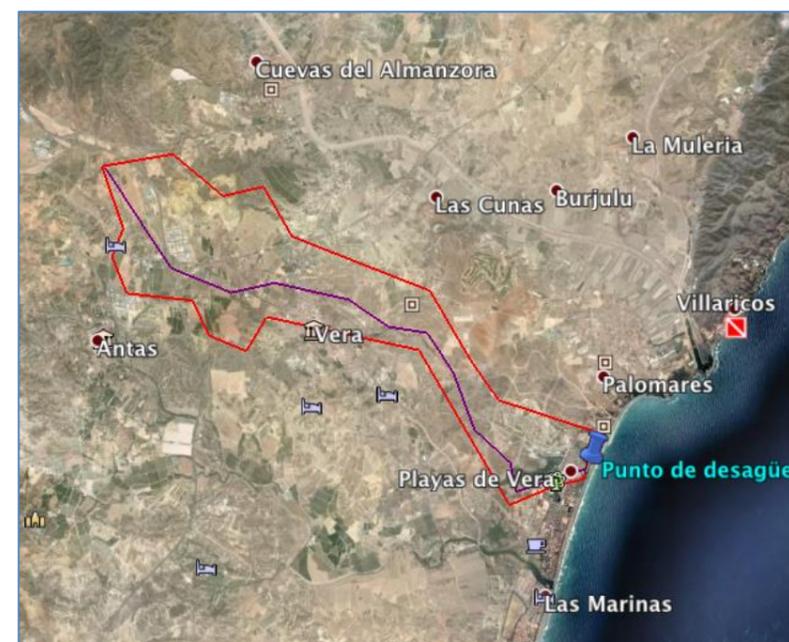
- **Estudio hidrológico** de la cuenca vertiente, con punto de desagüe la embocadura del encauzamiento, para determinar el caudal de diseño de éste.
- Dimensionamiento de un **aliviadero "pico de pato"** con el fin de laminar el caudal punta de la avenida de 200 años y que este caudal laminado sea conducido al mar a través de un colector y la otra parte sirva para mantener un cierto nivel de agua en el humedal y con ello conservar los ecosistemas tan valiosos que en él se han creado.
- Dimensionamiento de un **dique integrado en el entorno**, situado al oeste de la carretera, con el fin de almacenar cierto nivel de agua en el humedal. Este dique es complementario al aliviadero anteriormente descrito.
- Dimensionamiento de un **colector enterrado** por donde circule el agua en lámina libre y, por tanto no entre en carga, y sea el encargado de llevar el caudal laminado atravesando perpendicularmente una carretera y un parking de un parque acuático hasta el canal a cielo abierto.

- Dimensionamiento del **canal a cielo abierto** que se encargará de llevar el caudal laminado hasta la desembocadura al mar a través de una zona peatonal.
- Dimensionamiento de la **desembocadura** al mar e integración ambiental de ésta.

3. LOCALIZACIÓN

La obra está localizada en el barranco del Algarrobo. Éste se encuentra dentro de la provincia de Almería, en la Comunidad Autónoma de Andalucía. Y su punto de desagüe está situada en la zona de las Playas de Vera.

Las coordenadas de su punto de desagüe son, X: 606064.72; Y:4119941.52. Sistema de referencia ETRS89, UTM huso 30.



4. ESTUDIOS PREVIOS

4.1 Trabajos topográficos y cartográficos

Se disponen de Mapas Topográficos y Cartográficos realizados y proporcionados por el Centro Nacional de Información Geográfica y el Instituto Geológico y Minero de España que están dentro del ámbito del Ministerio de Fomento y el de Economía y Competitividad. Estos mapas están a una escala de 1:50000.

Dado que el estudio de soluciones es de un encauzamiento, es necesario conocer la elevación del terreno en detalle, por ello se hizo un levantamiento topográfico de la zona, del que hemos podido disponer y de él se ha partido para definir las soluciones.

4.2. Estudio climatológico, hidrológico y estudio de avenidas.

Se ha confeccionado un anejo específico con el estudio hidrológico (Anejo nº 3) cuyo objeto es obtener los caudales máximos e hidrogramas de avenidas para distintos periodos de retorno, en el punto de desagüe de la cuenca donde se diseñarán las actuaciones a proyectar.

De forma paralela, se han hallado las características físicas de la cuenca y se ha definido el comportamiento de las precipitaciones de la zona, para con esto, diseñar un modelo de la cuenca que imite su comportamiento antes de una avenida.

Los parámetros físicos utilizados para definir este modelo se han obtenido a partir de mapas topográficos y temáticos digitales, que contenían la elevación del terreno, el uso dado a todas las zonas y los tipos de suelo, se han tratado conjuntamente con el programa GRASS GIS para así obtener, la geomorfología de la cuenca, cuyo resultado más significativo es el umbral de escorrentía medio de 15,1.

Los datos pluviométricos utilizados en el modelo, en función del periodo de retorno, son los obtenidos del Análisis Estadístico realizado sobre las dos estaciones cercanas a la cuenca de la base de datos SPAIN02, este análisis ha determinado que la función que mejor modela el comportamiento de la cuenca es la TCEV regional, sacando los siguientes valores de precipitación diaria máxima anual para los periodos de retorno definidos:

Periodo de Retorno (años)	Pd (mm)
25	90.4
50	103.2
100	116.4
200	129.9
500	148.2

Pd: Precipitación diaria máxima anual.

El modelo por el que se ha optado es en este caso un modelo hidrometeorológico donde se desprecian las pérdidas por evaporación y las aportaciones de flujo subsuperficial y consideran únicamente la parte de la precipitación que provoca escorrentía superficial. A su vez, con el fin de poder representar la heterogeneidad de la cuenca (pendiente, capacidad de infiltración, pluviometría, etc.) se ha elegido un modelo pseudodistribuido, que permite la división de la cuenca en subcuencas homogéneas respecto a los parámetros que intervienen en el proceso lluvia-escorrentía y respecto a la precipitación. Esta división seguirá los cauces principales hasta el punto definido como punto de desagüe.

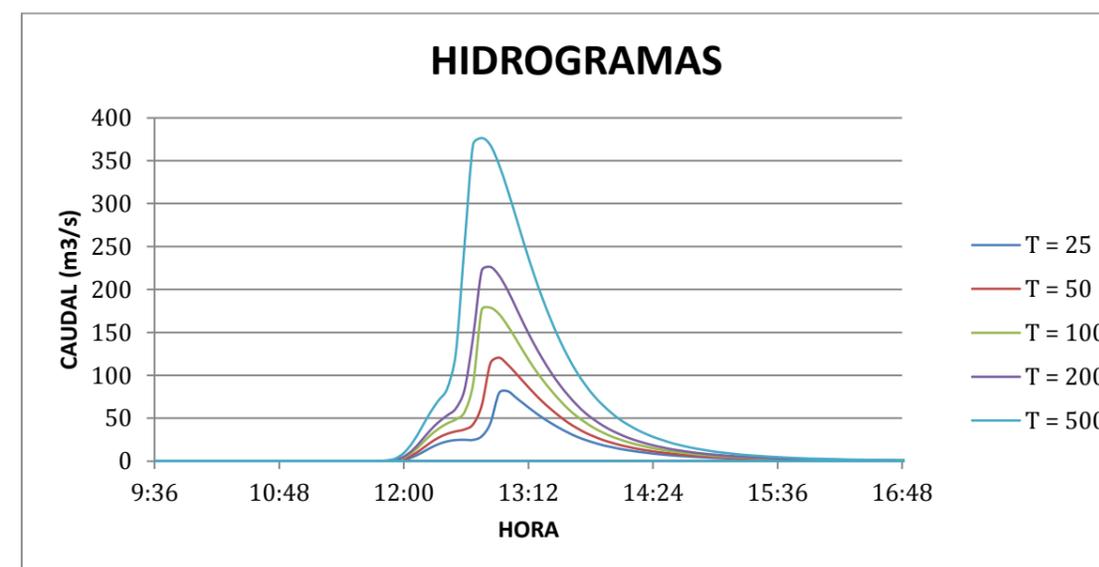
Teniendo en cuenta estas dos premisas anteriores se ha optado por el modelo matemático HEC-HMS (USACE) para la obtención de las avenidas de diseño. Los elementos de estos modelos son: subcuencas, tramos y uniones, cada uno de los cuales tiene sus propias características, físicas y pluviométricas.

Tras un primer cálculo del modelo se ha visto que los resultados no han sido los esperados, y por ello se ha llevado a cabo una recalibración del modelo, usando el Modelo de Témez Modificado, que es muy preciso para periodos de retorno bajos, y dado que tiene una de las estaciones con las que se implementó unos kilómetros al noroeste de la cuenca de estudio. Esto se ha conseguido, variando los valores de humedad iniciales

(P_0), al multiplicarlos, por un factor que aseguran los mismos resultados para el periodo de retorno de 25 años que el del Modelo de Témez Modificado.

Finalmente, aplicando el mencionado modelo HEC-HMS, con sus parámetros hidrológicos calibrados, se obtienen los hidrogramas de avenida. A continuación se incluye un resumen de los datos obtenidos en el punto de desagüe; los caudales picos correspondientes a cada periodo de retorno, seguidos de sus hidrogramas:

Periodo de Retorno (años)	Qp (m ³ /s)
25	81.4
50	120.5
100	178.8
200	226.3
500	376.5



4.3 Estudio de laminación

Se ha realizado un estudio de laminación partiendo del régimen de avenidas en el *Anejo nº3 de Estudio Hidrológico*, anejo realizado por Patricia Álvaro Llop para determinar en la obra de toma los siguientes elementos:

- Dimensionamiento del aliviadero.
- Máximo nivel en el humedal.
- Dimensionamiento del dique.

Para la realización del estudio de laminación, se ha calculado la curva cota-volumen del humedal a partir de la topografía del terreno. Ésta se ha obtenido calculando el área de troncos de cono comprendido entre las distintas cotas de nivel.

Para calcular el caudal laminado con diferentes alturas de lámina de agua, se calcula la curva de descarga del aliviadero fijando sus características hidráulicas.

Se utiliza la fórmula siguiente:

$$Q = C \cdot L \cdot H^{(3/2)}$$

Dónde:

Q = Caudal laminado en m³/s.

C = Coeficiente de descarga del aliviadero.

L = Longitud del aliviadero.

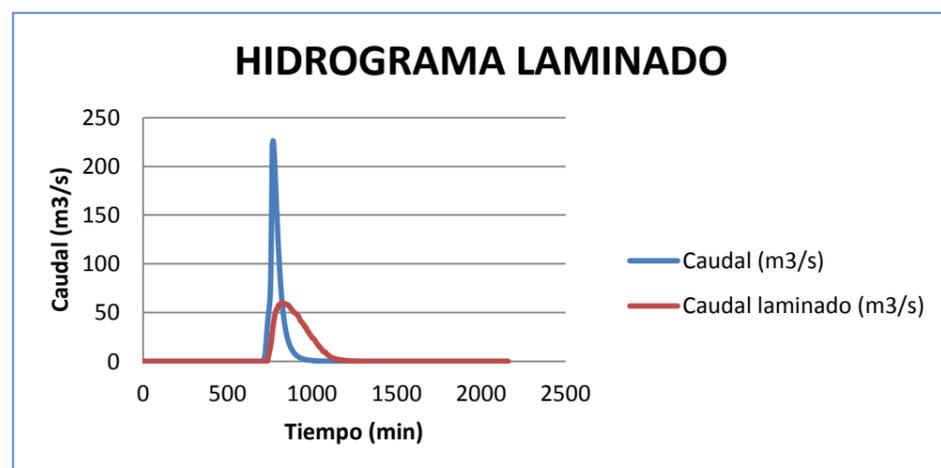
H = Altura de la lámina en metros, entendida como la diferencia entre la cota en el embalse y la correspondiente al labio fijo del aliviadero.

Se ha considerado un valor de 2.1 m para el coeficiente de descarga del aliviadero.

Finalmente se ha obtenido el cálculo del balance de caudales entrantes y salientes determinando la altura final del humedal en cada iteración, interpolando en la curva característica correspondiente. Se ha utilizado el método de continuidad considerando una lámina de agua horizontal en el embalse.

$$\frac{dS_t}{dt} = I_t - Q_t + Q_1$$

La laminación obtenida es la siguiente:



Como se puede observar se lamina de un caudal punta de 226.3 m³/s a un **caudal laminado de 60 m³/s**.

De los condicionantes, el más restrictivo corresponde a la máxima capacidad de desagüe del colector, limitado especialmente en la sección de paso a proyectar bajo la carretera ALP-118, por el escaso desnivel que presenta hasta su desagüe al mar para no modificar la cota de la carretera. Es por tanto recomendable un valor de caudal laminado de unos 60 m³/s para un dimensionamiento adecuado del encauzamiento sin que se vea limitada la salida del agua por el poco desnivel existente entre la obra de toma y la obra de entrega.

En este caso, para la avenida de período de retorno 200 años, se ha dispuesto un vertedero “pico de pato” de forma que el caudal máximo laminado no supere la máxima capacidad de desagüe del colector.

A continuación se describe más detenidamente la solución diseñada para la obra de toma con vertedero “pico de pato”:

Las principales características del vertedero “pico de pato” dispuesto son las siguientes:

- Anchura de entrada: 10 m
- Anchura final: 10 m
- Longitud: 85 m
- Caudal de cálculo: 226.3 m³/s
- Cota de solera: 2.5 m.s.n.m
- Altura del vertedero: 2.7 m.s.n.m
- Altura de vertido: 0.55 m
- Máximo nivel en el humedal: 3.2 m

El aliviadero se realizará con hormigón sulfuresistente debido a las características del terreno. Ya que en la primera sección del aliviadero entra menos caudal que conforme va avanzando hacia la última sección, la velocidad inicial sería menor que la final, anegándose la entrada de éste. Por tanto se diseñará la solera con una pendiente relativamente grande, para mantener una velocidad y un nivel de lámina de agua más constante y por tanto evitar que se anegue la entrada, lo que ocurriría con una solera horizontal.

El máximo nivel alcanzado en el humedal es de 3.2 m.s.n.m por lo que paralelamente a la carretera se realizará un dique con trazado sinuoso que retenga el agua hasta alcanzar el nivel anteriormente mencionado y sirva de complemento al aliviadero. La cota de coronación del dique será de 4 m.s.n.m con una anchura en coronación de 3.5 m en la cual discurre un paseo peatonal de 2.75 m de ancho que proporcione un mirador al humedal.

4.4 Estudio Geológico del Terreno

Con los mapas geológicos y la documentación fotográfica de la zona se ha determinado que el suelo de la zona de estudio es relativamente joven, podemos encontrar capas del terciario y del cuaternario. La primera está principalmente formado por margas arenosas, areniscas y algunos niveles de yesos, con algunas rocas lamproíticas, como el pitón de ofitas que se observa al sur del punto de desagüe, que marca la divisoria con la

cuenca del Antas. La capa superior está formada por limos y arcillas indiferenciadas que predominan la mayor parte de la cuenca, haciendo que el terreno sea bastante impermeable, también se pueden encontrar arenas en toda la línea de costa. En la parte alta de la cuenca aparecen esquistos y cuarcitas.

5. ESTUDIO DE SOLUCIONES

El estudio de alternativas planteado en el proyecto se ha centrado en un aspecto principal: el **dimensionamiento del tramo enterrado** del encauzamiento. Esto es así debido a que éste es el factor determinante en la valoración económica, ya que va a suponer una gran parte del presupuesto. Además, el resto de factores que también pueden influir en el aspecto económico, no tienen una variabilidad de alternativas importante como para realizar un estudio de ellas, como vamos a explicar a continuación.

El **trazado en planta** del encauzamiento tiene una solución prácticamente única debido a la urbanización de la zona: cualquier trazado diferente al escogido supondría la demolición de edificaciones, lo cual sería más costoso, o de no querer que esto suceda, un trayecto de mayor longitud, por lo que la solución es la que se puede ver en la *figura 4.1.*, con unos 400 metros de tramo a cielo abierto y unos 300 metros de tramo enterrado. La única limitación en este aspecto viene dada por una anchura máxima de 15 metros en el tramo a cielo abierto que pasa entre las pistas deportivas y el parking de un bloque de edificios, teniendo todo el tramo enterrado sin limitación de anchura.

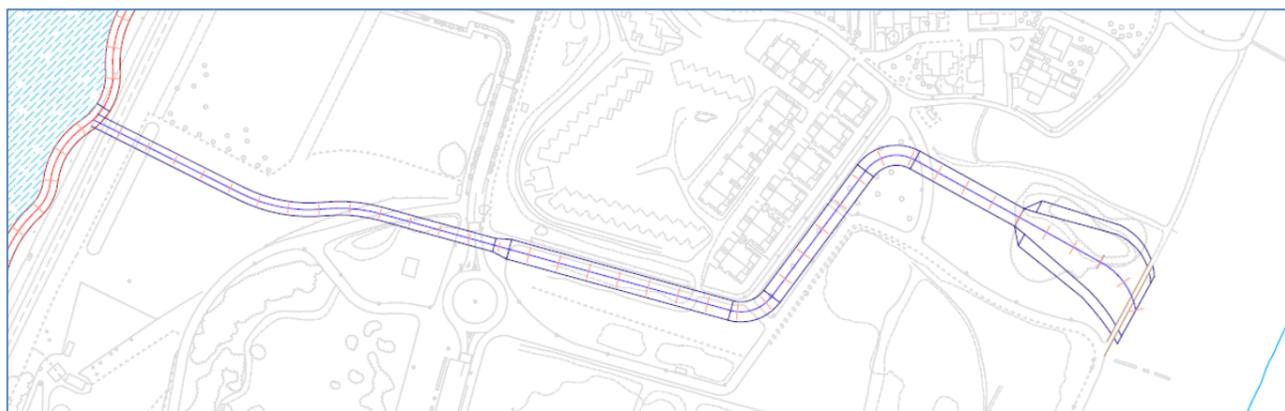


Figura 1. Planta general del encauzamiento

En cuanto al **trazado en alzado**, el estudio de alternativas analizará las diferentes opciones para que, partiendo de una cota de solera en la sección de desembocadura cercana a la +1.32 m.s.n.m. de la duna costera actual, se llegue a la sección última de aguas arriba con una cota que no afecte a la carretera ALP-118, la cual está a la cota +3.95 m.s.n.m. De este modo, la cota de la solera en esta sección última puede ser como máximo de:

$$Z_{Max\ Sol} \cong +3.95m - 0.07m - 0.40m - 0.05m - 0.15m - 2m = +1.25m$$

donde los 7 cm corresponden al espesor del paquete de firme, los 40 cm son el espesor aproximado que tendrá el dintel del cajón, los 5 cm corresponden al mástic asfáltico de apoyo en caso de cajón con solución prefabricada, con 15 cm de resguardo y los 2 metros de la lámina de agua.

Conociendo esto, se realizará un cálculo hidráulico de **3 alternativas** para el tramo enterrado, para ver primero si el modelo hidráulico es válido en las 3, de forma que no entre en carga, circule en régimen lento y se llegue a la sección última con la cota requerida para, tras esto, comprobar si son válidas estructuralmente y decidir finalmente entre ellas por criterios económicos. Así, las 3 alternativas planteadas son:

- **Alternativa 1:** cajón único de 8x2 metros de sección mojada
- **Alternativa 2:** cajón triple de 3x2 metros de sección mojada
- **Alternativa 3:** cajón doble de 4.5x2 metros de sección mojada

Los resultados del cálculo hidráulico, asumiendo régimen uniforme y con un caudal algo mayor al de diseño, en este caso de 70 m³/s, para estar del lado de la seguridad, los resultados obtenidos para las 3 alternativas han sido estos:

Q=70m ³ /s	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Cota Solera Sección de Vertido	+1.0	+1.0	+1.0
Pendiente de Tramo Desembocadura	0.01	0.01	0.01
Cota Solera Final Tramo Abierto	+0.4	+0.4	+0.4
Pendiente de Tramo Abierto	0.0017	0.0017	0.0017
Cota Solera Comienzo Tramo Abierto	+1.1	+1.1	+1.1
Cota Solera Final Tramo Enterrado	+0.17	+0.38	+0.38
Pendiente Tramo Enterrado	0.0029	0.042	0.0032
Número Froude	0.99	0.88	0.88
Cota Solera Comienzo Tramo Enterrado	+1.04	+1.64	+1.34

Tras el análisis de la tabla de resultados, se puede sacar una primera conclusión: la **alternativa 2** no es válida ya que el modelo hidráulico no permite mantener el trazado en alzado dentro de las limitaciones que se tienen, por lo que la sección última tiene una cota muy superior a la que se requiere.

Así, analizaremos las alternativas restantes. La **alternativa 1** cumple sobradamente las condiciones del modelo hidráulico, la única pega está en el número de Froude tan cercano a la unidad, con un régimen casi crítico, pero debido al gran margen que tenemos, con modificaciones se podría solucionar. En cuanto a la **alternativa 3**, circula con un régimen lento con Froude de 0.88 y el margen de 10 cm que se pasa de la limitación es fácilmente asumible con modificaciones en el resto del encauzamiento y con el cálculo con el caudal de diseño.

De este modo, hidráulicamente son válidas ambas alternativas, por lo que pasaremos a analizarlas estructuralmente y, si ambas son correctas, serán comparadas en el aspecto económico para valorar por cuál de ellas se opta finalmente.

Por tanto, en el estudio de soluciones desde el punto de vista estructural se barajaron dos opciones:

- **Alternativa 1:** cajón único de 8x2 metros de sección mojada
- **Alternativa 3:** cajón doble de 4.5x2 metros de sección mojada

El predimensionamiento desde este punto de vista se realizó teniendo en cuenta exclusivamente el dintel del colector del tramo enterrado, ya que fue éste el factor determinante para la elección de la solución.

Para llevar a cabo la elección de la solución final había que tener en cuenta una serie de condicionantes. El condicionante principal fue la limitación que suponía respetar la cota de la carretera que se encontraba al comienzo del trazado del colector, la cual era de +3.95 m.s.n.m. De esta forma, dependiendo de la alternativa analizada y del modo constructivo que se fuera a emplear para la ejecución del dintel (prefabricado o in situ) existiría una limitación u otra para su canto.

Además de este condicionante, hubo otro que influyó a la hora de determinar el canto final de la pieza. Este condicionante fue el cumplimiento de la limitación de flecha que propone la Instrucción "IAP-11. Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera" en el artículo 7.1.1 y que define de la siguiente manera:

"Se deberá verificar que la flecha vertical máxima correspondiente al valor frecuente de la sobrecarga de uso no supera los siguientes valores:

L/1000 en puentes de carretera

L/1200 en pasarelas o en puentes con zonas peatonales

Siendo L la luz del vano."

Tras analizar ambas alternativas considerando los diferentes tipos de construcción del dintel (prefabricado o in situ) se llegó a la conclusión de que solo había dos opciones que cumplían ambos condicionantes. Estas soluciones eran:

- Cajón único construido in situ
- Cajón doble de vigas prefabricadas continuas

Descartándose la solución de vigas prefabricadas biapoyadas en el caso del cajón doble, por el no cumplimiento de la limitación de la cota de la carretera.

Entre estas dos opciones la elección final se realizó atendiendo a criterios de carácter económico. Concluyendo, tras la realización de una estimación económica, que la opción de cajón único construido in situ suponía un coste económico mayor al requerir elementos auxiliares para su construcción como son la cimbra y el encofrado. Dichos elementos al tratarse de un tramo de longitud considerable resultaron muy penalizantes.

Por tanto, y siguiendo los criterios que establecimos al principio escogimos la solución de cajón doble con vigas prefabricadas continuas pues era la que tras haber hecho un análisis general se adaptaba mejor a los requisitos hidráulicos, estructurales y económicos.

6. CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

6.1. CÁLCULOS HIDRÁULICOS

Los cálculos hidráulicos llevados a cabo para el correcto diseño del encauzamiento desde la embocadura en el humedal hasta la desembocadura en la línea costera se encuentran detallados en el *Anejo nº 5: Cálculos Hidráulicos*, realizado por José Antonio Hernández Pineda.

Este cálculo se ha dividido en dos partes: tras el estudio de alternativas, en el que se barajaban 3 opciones distintas de construcción del tramo enterrado, y la decisión final por una de ellas, se ha realizado primero un predimensionamiento, el cual nos ha acercado a la solución óptima de diseño, para después refinar ésta con el cálculo mediante el programa HEC-RAS del US Army Corps of Engineers.

De este modo, el predimensionamiento se ha realizado de forma simplificada asumiendo condiciones de régimen uniforme en el movimiento del flujo. Partiendo de la sección crítica de desembocadura, se ha calculado la pendiente de pérdidas hacia aguas arriba con la fórmula de Manning, asegurando el régimen supercrítico con un Froude menor a 0.9 en todo momento. De esta forma se han definido unas dimensiones y pendientes que permiten llegar a la sección limitante de aguas arriba, con la carretera a cota +3.95 m.s.n.m., con un margen suficiente para no tener problemas con el cálculo definitivo de las curvas de remanso. Así, dado que este predimensionamiento en régimen uniforme es condición necesaria pero no suficiente para evaluar el buen funcionamiento del encauzamiento, se evalúan a continuación las curvas de remanso.

Éste cálculo de las curvas de remanso con régimen de flujo permanente gradualmente variado, se ha realizado como ya se ha mencionado con el programa informático HEC-RAS, en el cuál se han definido las dimensiones finales de cada tramo del encauzamiento, así como las cotas de cada sección clave para el óptimo funcionamiento hidráulico.

En estos cálculos hidráulicos, uno de los aspectos que se ha tenido en cuenta ha sido la posible formación de resaltos hidráulicos, especialmente en los dos ensanchamientos que existen en el encauzamiento: la transición de tramo enterrado a tramo abierto y el tramo de desembocadura. En ambos casos, la solución para evitar el resalto ha sido un escalonamiento a contrapendiente, de forma que las cotas de energía quedan al

mismo nivel, evitando la sección crítica aguas arriba, y el resalto hidráulico que se generaría para recuperar el régimen lento que viene impuesto desde aguas abajo.

De esta forma, el diseño final viene determinado por las siguientes características:

	Longitud (m)	Pendiente	Dimensiones	Rugosidad
Tramo I de Desembocadura	40	-0.008	Sección Trapezoidal de Base 40 m y talud 1:5	0.020
Tramo II de Desembocadura	52	-0.008	Sección Trapezoidal de Base Variable m y talud 1:5	0.020
Transición de Tramo Abierto a Desembocadura	8	-0.008	Sección Variable	0.030
Tramo Canal a Cielo Abierto	393.32	0.0012	13 x 1.75 m ²	0.015
Transición de Tramo Enterrado a Abierto	10	-0.0051	Sección Variable	0.015
Tramo de Doble Cajón Enterrado	274.88	0.0027	2 x 4.25 x 2.15 m ²	0.015

Las cotas que definen el trazado en alzado son las siguientes:

P.K. 0+000: Sección crítica final de vertido de la desembocadura.

$$Z_{sol} = +1.30 \text{ m. s. n. m.}; \quad Z_{coronación} = +2.25 \text{ m. s. n. m.};$$

P.K. 0+040: Sección media de la desembocadura donde comienza a estrechar.

$$Z_{sol} = +0.98 \text{ m. s. n. m.}; \quad Z_{coronación} = +2.25 \text{ m. s. n. m.};$$

P.K. 0+092: Sección de transición entre escollera vertida y arena en desembocadura.

$$Z_{sol} = +0.564 \text{ m. s. n. m.}; \quad Z_{coronación} = +2.25 \text{ m. s. n. m.};$$

P.K. 0+100: Sección inicial del tramo a cielo abierto de 13x1.65 m².

$$Z_{sol} = +0.50 \text{ m. s. n. m.}; \quad Z_{coronación} = +2.25 \text{ m. s. n. m.};$$

P.K. 0+403.32: Sección final del tramo a cielo abierto de 13x1.65 m². Comienzo de la transición

$$Z_{sol} = +0.97 \text{ m. s. n. m.}; \quad Z_{coronación} = +2.72 \text{ m. s. n. m.};$$

P.K. 0+503.32: Final de la transición. Sección inicial del tramo enterrado de 2x 4.25x2 m².

$$Z_{sol} = +0.46 \text{ m. s. n. m.}; \quad Z_{clave} = +2.66 \text{ m. s. n. m.};$$

P.K. 0+778.20: Sección de embocadura. Sección final del tramo enterrado de 2x 4.25x2 m².

$$Z_{sol} = +1.20 \text{ m. s. n. m.}; \quad Z_{clave} = +3.40 \text{ m. s. n. m.};$$

6.2. CÁLCULO GEOTÉCNICO

En el *Anejo nº 2 de "Cálculo Geotécnico"*, realizado por Rafael Domingo Mut, se han tratado las cuestiones de carácter geotécnico que se han tenido en cuenta para la realización del cálculo estructural así como las comprobaciones que se han realizado desde el punto de vista geotécnico para verificar el correcto dimensionamiento de la estructura.

Estas cuestiones y comprobaciones han sido las siguientes:

- Obtención del módulo de balasto;
- Cálculo de empujes del terreno;
- Comprobación de la seguridad frente al hundimiento;
- Estimación de asentamientos;
- Comprobación del riesgo de levantamiento.

Tanto la obtención del módulo de balasto como el cálculo de empujes han sido cálculos realizados para poder llevar a cabo el pertinente cálculo estructural. El fin de este módulo de balasto es el de representar la interacción suelo-estructura para la obtención de esfuerzos en la losa de cimentación. Dicho concepto aparece claramente descrito en este anejo.

La comprobación de la seguridad frente al **hundimiento** y la estimación de **asientos** se han realizado exclusivamente en el tramo del colector que discurre bajo los dos tramos de carretera al tratarse del tramo más cargado y al ser el tramo donde estas limitaciones son más restrictivas ya que dichos asentamientos deberán ser admisibles para el correcto funcionamiento de la carretera.

Por otra parte, se ha realizado la comprobación de **riesgo de levantamiento** en los dos tramos, tanto en el enterrado como en el de cielo abierto, por la presencia de nivel freático. De este análisis se ha verificado que en el tramo enterrado la presión transmitida es mayor a las subpresiones, por lo que no habrá riesgo de levantamiento, mientras que en el tramo a cielo abierto sí habrá riesgo. La solución adoptada para solventar este problema ha sido la de diseñar un sistema de drenaje que reduzca este nivel freático. Por este motivo, se han diseñado los dos talones que tendrán la función de sostener parte de este sistema de drenaje.

Los datos referidos al terreno se han obtenido del estudio geotécnico y del mapa geológico facilitado por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Debido a la escasa información en lo referente a las características geotécnicas del terreno en ellos reflejadas se han supuesto una serie de valores para poder llevar a cabo los cálculos anteriormente descritos.

Por último, en cuanto a la normativa aplicada para su desarrollo se ha seguido fundamentalmente la siguiente:

"Guía de cimentaciones en obras de carretera": de este documento se han recogido todas las consideraciones de carácter geotécnico que hemos aplicado.

"Documento Básico de Seguridad Estructural-Cimientos del Código Técnico de la Edificación": de aquí se ha obtenido la formulación que hemos aplicado para el cálculo de los empujes sobre los hastiales del colector.

7. CÁLCULOS ESTRUCTURALES

Los cálculos estructurales necesarios para el dimensionamiento del colector se recogen en el pertinente *Anejo nº 6 "Cálculo Estructural"*, realizado por Rafael Domingo Mut.

La normativa que se ha aplicado para su realización ha sido la siguiente:

"Eurocódigo 2: Proyecto de estructuras de hormigón": se ha empleado para la realización de los cálculos de hormigón armado.

"IAP-11. Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera": de ella se ha obtenido todo lo referente a las acciones aplicadas sobre el colector. Se ha considerado esta normativa de aplicación ya que se trata de un marco que será pisado por tráfico.

En este anejo aparece reflejado tanto el proceso de cálculo que se ha seguido como los propios resultados obtenidos. A modo de resumen, a continuación se indica dicho proceso:

- En primer lugar se realizó un estudio de alternativas. Dicho estudio consistía en analizar las opciones propuestas resultantes del diseño hidráulico, desde el punto de vista estructural.
- Este análisis consistía en realizar un predimensionamiento de las diferentes alternativas para, posteriormente, realizar su valoración. Cabe decir que este estudio de alternativas desde el punto de vista estructural se realizó teniendo en cuenta, exclusivamente, el tramo enterrado pues el factor determinante a la hora de la elección de la solución final consistió fundamentalmente en el dimensionamiento del dintel.
- Una vez analizadas todas las opciones se escogió la que se adaptaba mejor a los factores hidráulicos, estructurales y económicos.
- Tras la elección de la solución final se realizó la modelización de la estructura en el programa de cálculo de estructuras "SAP 2000" para obtener, de esta manera, los esfuerzos de cálculo.
- Finalmente, una vez obtenidos dichos esfuerzos se procedió a realizar el dimensionamiento de los elementos que conforman el colector aplicando las bases de cálculo que en dicho anejo se definen.

Como ya se ha mencionado, la dificultad principal que se encontró a la hora de realizar el dimensionamiento de todo el tramo del colector fue el diseño del dintel del tramo enterrado. Esta dificultad residía en que con la solución final adoptada de vigas prefabricadas sobre las que se vertería una capa de hormigón in situ no se podría aplicar el mismo procedimiento que en el dimensionamiento de los otros elementos. Esto es debido a que al presentarse hormigones de dos edades distintas el origen de deformaciones de cada uno de ellos no sería el mismo por lo que no se cumpliría la hipótesis de Navier-Bernoulli sobre la que se basa el dimensionamiento de secciones de hormigón armado frente a solicitaciones normales, requiriéndose, por tanto, un diseño particular diferente al de los otros elementos. Este proceso particular se define en dicho anejo y se basa fundamentalmente en la aplicación del concepto de fuerza de neutralización.

El resultado del conjunto de estos procesos dio lugar al diseño de tres secciones tipo. Cada una correspondiente a los distintos tramos diferenciados:



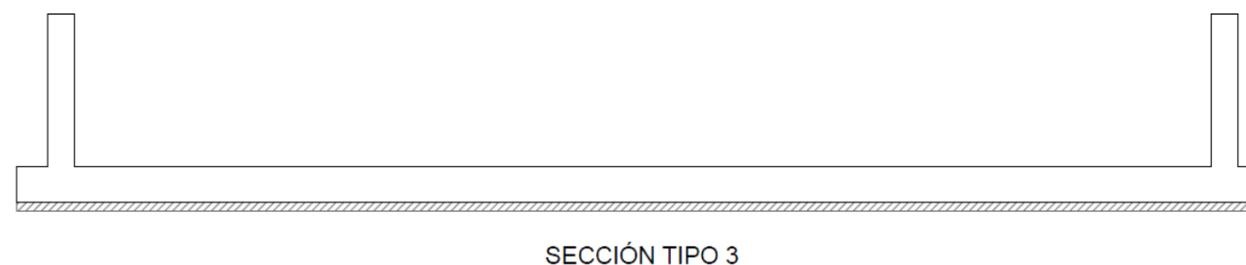
La sección tipo 1 corresponde al tramo de colector que discurre bajo los dos pequeños tramos de carretera.



Mientras que la sección tipo 2 corresponde al tramo del colector que discurre bajo el parking.

Ambas secciones pertenecen al tramo del colector que se encuentra enterrado. Como se observa están compuestas de los mismos elementos a excepción de la losa de transición y los detalles constructivos para su concepción.

Estos elementos comunes son la losa de cimentación, los hastiales laterales, el muro central y el dintel.



Por último, la sección tipo 3 que corresponde al tramo del colector que discurre a cielo abierto.

En este último tramo ya no se dispone de dintel al encontrarse a cielo abierto. Siendo sus elementos constituyentes los hastiales, la losa de cimentación y los talones dispuestos. El motivo del diseño de estos elementos se describe en el apartado de Cálculo Geotécnico.

8. INTEGRACIÓN AMBIENTAL

Las medidas que se proponen en el *Anejo nº 7 de Integración Ambiental*, realizado por Elena Palao Martínez, intentan conseguir tanto una mayor integración del humedal como de la obra de entrega. Éstas se describen a continuación.

Por un lado en el humedal se construye un dique paralelo a la carretera de 800 m de longitud de trazado sinuoso para favorecer una mayor integración. El dique será de material todo uno, procedente de la zona, compactado al 100% PM. La cota de coronación será de +4 m.s.n.m. y tendrá una anchura de 3.5 m.

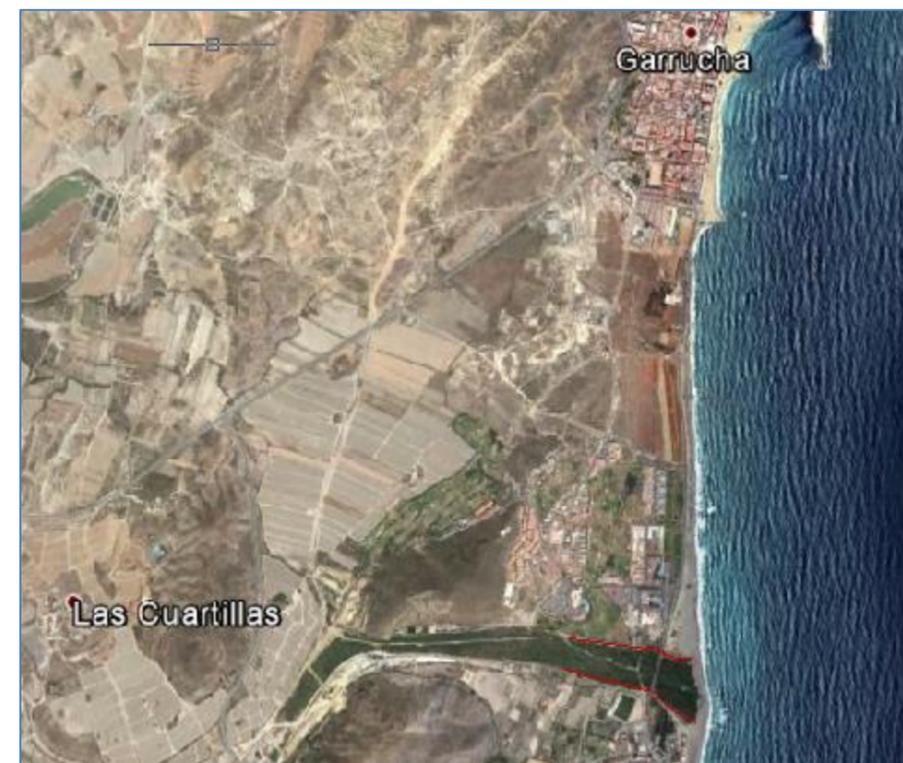
Por la coronación discurre un paseo peatonal de 2.5 m de ancho que sirva como mirador al ecosistema que se encuentra en el humedal.

Los taludes del dique será de 2H: 1V, con un colchón ecológico formado con tierra vegetal y vegetación autóctona. Esta vegetación autóctona estará formada por manchas dispersas de *Limonium estevei*, *Limonium insigne*, *Limonium cossonianum*, *Helianthemum almeriense* y *salsola genistoides*. La densidad de plantación recomendada es de al menos una planta por metro cuadrado.

Para realizar una desembocadura integrada en el entorno se intenta simular la desembocadura del barranco del algarrobo previa a la construcción de la carretera ALP-118 y de las urbanizaciones entre esta carretera y el mar de Vera (Almería).

Para ello la desembocadura parte con una sección de transición entre el canal de talud vertical de hormigón, hasta la desembocadura propiamente dicha de talud 5H:1V de arena, para evitar una socavación en la solera debido a la transición directa desde hormigón rígido a solera flexible. Esta transición será de 8 metros de longitud en dirección a la costa y de ancho variable, partiendo de 13 m hasta acabar en 16.6 m. La solera estará formada por una capa de 0.32 m de escollera vertida con un Manning de 0.03 sobre una capa de filtro granular. Los taludes de la transición serán de gaviones con un Manning de 0.038.

Seguidamente de esta transición parte la desembocadura de talud 5H:1V de la última sección de 16.6 m hasta acabar en el PK 0+000 con 40 m de ancho. Los últimos 40 m están formados por dos curvas que simulan la desembocadura característica de los ríos de la zona ya que se ven afectados por la dinámica marina característica de la zona.



Muestra de desembocadura natural en zona próxima a la obra

La cota de la solera de la desembocadura es de +0.5 m.s.n.m. hasta acabar en la zona del cordón dunar con una cota de +1.3 m.s.n.m, coincidiendo con la que tiene en su estado actual, produciendo por tanto una mínima alteración. La altura de coronación de la desembocadura es constante en toda su longitud siendo esta de 2.25 m.s.n.m.

La vegetación utilizada en la desembocadura estará formada por manchas dispersas de *phragmites australis* (carrizos) y *juncus sp* (juncos). También tendremos *limonium stevei*, *limonium cossonianum*, *limonium insigne*, *salsola genistoides*, *helianthemum almeriense*, *lygeum spartum* y *linaria benitoi*. La densidad recomendada es de al menos una planta por metro cuadrado. Estas plantas se ubicarán tanto en los taludes de la geoceldas como en el entorno de la desembocadura. Esta vegetación se alternará con *pinus halepensis* (pino carrasco) el cual se encuentra en la zona y va a generar en el entorno zonas con sombra.

9. VALORACIÓN ECONÓMICA

En el *Anejo nº 8 de valoración económica*, realizado por José Antonio Hernández Pineda y Elena Palao Martínez, se encuentra un estudio sobre las distintas mediciones, precios unitarios y precios totales de las distintas unidades que conforman la obra.

Tanto las mediciones como los precios totales se han dividido en varias partes, con el fin de observar el presupuesto individual de cada una de estas partes y su importancia en la obra, obteniendo finalmente un presupuesto total. Estos son los siguientes:

PRECIO TOTAL TRAMO DESEMBOCADURA	145.664€
PRECIO TOTAL TRAMO CANAL ABIERTO	650.555€
PRECIO TOTAL TRAMO CANAL CERRADO	1.122.505€
PRECIO TOTAL DIQUE	1.070.923€
PRECIO TOTAL	2.989.647€

10. CONCLUSIÓN.

A lo largo de este documento, memoria del ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA EL ENCAUZAMIENTO Y REPOSICIÓN DE LA DESEMBOCADURA DEL BARRANCO DEL ALGARROBO ENTRE LA CARRETERA ALP-118 Y EL MAR EN VERA (ALMERÍA). Se ha resaltado y resumido todas las partes de las que consta el proyecto completo.

A manera de conclusión, se resumen los resultados más importantes del proyecto completo:

- El estudio hidrológico ha dado como resultado un hidrograma de caudal pico 226,3 m³/s, para el periodo de retorno 200 años.
- El aliviadero por el que se ha optado es de pico de pato, sus dimensiones son rectangulares de 36 metros de largo por 10 metros de ancho, y consigue laminar hasta un caudal de 60 m³/s.
- El encauzamiento se divide en dos partes principales: un tramo enterrado de 278.20 metros de longitud, de doble cajón con sección mojada 4.25 x 2 m², y un tramo a cielo abierto de 393.32 metros de sección mojada 13 x 1.65 m².
- Garantizar la integración ambiental de todas las posibles obras, en especial de la desembocadura y el humedal.

DOCUMENTOS INTEGRANTES DEL PROYECTO

10.1. DOCUMENTO Nº1. MEMORIA Y ANEJOS

- 00. Memoria
- 01. Anejo de Documentación fotográfica
- 02. Anejo de Cálculo Geotécnico
- 03. Anejo de Estudio Hidrológico
- 04. Anejo de Humedal de Laminación
- 05. Anejo de Cálculos Hidráulicos
- 06. Anejo de Cálculo Estructural
- 07. Anejo de Integración Ambiental
- 08. Anejo de Valoración Económica

10.2. DOCUMENTO Nº2

- Plano 01. Situación y Emplazamiento
- Plano 02. Planta General
- Plano 3.1 Secciones tipo I. Doble cajón enterrado
- Plano 3.2. Sección tipo II. Doble cajón enterrado bajo carretera.
- Plano 3.3. Sección tipo III. Canal a cielo abierto con barandilla.
- Plano 3.4. Sección tipo IV. Canal a cielo abierto con pretil.
- Plano 3.5. Sección tipo V. Desembocadura.
- Plano 3.6. Sección tipo Dique.
- Plano 3.7. Plano de Armado I
- Plano 3.8. Plano de Armado II
- Plano 3.9. Plano de Armado III
- Plano 4.1.1. Perfil Longitudinal Encauzamiento I
- Plano 4.1.2. Perfil Longitudinal Encauzamiento II
- Plano 4.1.3. Perfil Longitudinal Encauzamiento III
- Plano 4.2.10. Perfil Longitudinal del Dique I
- Plano 4.2.2. Perfil Longitudinal del Dique II
- Plano 4.2.3. Perfil Longitudinal del Dique III
- Plano 5.1. Detalle de la Transición
- Plano 5.2. Planta de la Desembocadura
- Plano 5.3. Detalle de Transición de la Desembocadura
- Plano 5.4. Sección de Vertido de Desembocadura
- Plano 5.5. Detalles del Dique
- Plano 5.6. Detalle Constructivo Viga Prefabricada
- Plano 5.7. Detalle de Aliviadero
- Plano 6.1. Integración Ambiental Humedal
- Plano 6.2. Integración Ambiental Desembocadura

El presente proyecto comprende un ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA EL ENCAUZAMIENTO Y REPOSICIÓN DE LA DESEMBOCADURA DEL BARRANCO DEL ALGARROBO ENTRE LA CARRETERA ALP-118 Y EL MAR EN VERA (ALMERÍA), que ha sido realizado por:

Los autores del proyecto:

Álvaro Llop, Patricia

Domingo Mut, Rafael

Hernández Pineda, José Antonio

Palao Martínez, Elena

Valencia, Junio 2014