



ESTUDIO GEÓTECNICO

DISEÑO ESTRUCTURAL Y VALORACIÓN DE UNA PASARELA
EN LAS LAGUNAS DE RUIDERA, BAÑO DE LAS MULAS, EN EL
TM DE OSSA DE MONTIEL (ALBACETE)

Autor:

Natalia Mata Mota

Tutor:

María José Pelufo Carbonell

DICIEMBRE 2017

GRADO EN INGENIERÍA CIVIL

CURSO 2016/2017

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA





ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN2

2 LOCALIZACIÓN DE LA ACTUACIÓN2

3 OBJETO Y ESTRUCTURA DEL ESTUDIO.....3

4 NORMATIVA APLICADA3

5 ANTECEDENTES Y MÉTODO DE ANÁLISIS.....3

6 GEOLOGÍA - LITOLOGÍA3

7 MORFOLOGÍA5

8. HIDROGEOLOGÍA6

9 SISMICIDAD.....8

10 EXPANSIVIDAD9

11 PRESENCIA DE KARST9

12 DESCRIPCIÓN GEOTÉCNICA DEL TERRENO10

13 DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA.....13

11 TRABAJO DE CAMPO16

Índice de Ilustraciones:22

Índice de Tablas:22

1 INTRODUCCIÓN

El proyecto desarrollado en la zona del Baño de las Mulas en las Lagunas de Ruidera, tiene como finalidad unir dos orillas de un río, mediante una pasarela de madera, que nace en la zona conocida como Plaza de Toros, el cual desemboca en Laguna de la Colgada. De este modo los viandantes podrán practicar senderismo de un modo seguro evitando la carretera para trasladarse entre lagunas y cruzar al otro lado de este río producido por la cascada formada en dicha Plaza de Toros. Esto se conoce el canal de la rampa tobácea que separa las lagunas Tomilla y Tinaja.

La vía verde donde se localiza la pasarela fue realizada en 1979 junto con la inauguración del propio Parque Natural de las Lagunas de Ruidera. Esta ruta de forma circular cuenta con 14 km de extensión. Esta senda es ahora apenas utilizada debido a su extensión circular, ya que muchos transeúntes turísticos y habitantes de la zona, desisten a finalizarla y vuelven realizando el mismo trayecto, pero de sentido inverso.

2 LOCALIZACIÓN DE LA ACTUACIÓN

Este estudio que pretende analizar las condiciones del terreno para determinar su aptitud en la ejecución de los estribos del puente peatonal propuesto que se realizará en la zona Baño de La Mulas, más concretamente en la Plaza de Toros, ubicados entre la Laguna Tomilla y Tinaja. En el término municipal Ossa de Montiel, l extremo oeste de la provincia de Albacete, Comunidad de Castilla-La Mancha.



Ilustración 1 Emplazamiento (I)

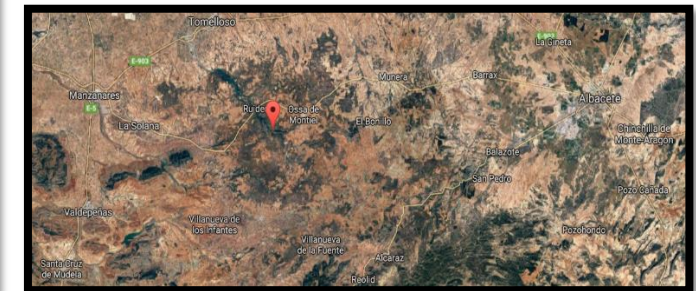


Ilustración 2 Emplazamiento (II)

Se hace a la zona de la actuación a través de la carretera CR- 1225, a continuación, un desvío por el Camino el Vivero, y para finalizar, se toma el Camino Ringurrina, localizado en las coordenadas 39.927657, -2.832524. Dirección: Camino Ringurrina, 17, Ossa de Montiel, Albacete.

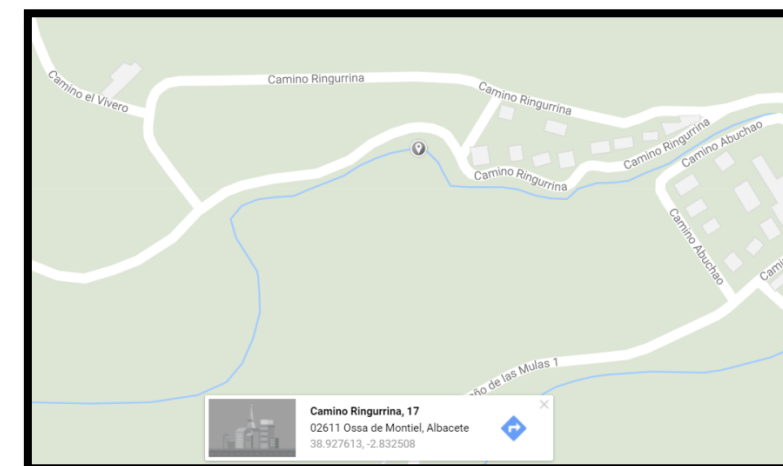


Ilustración 3 Emplazamiento



3 OBJETO Y ESTRUCTURA DEL ESTUDIO

El objetivo de este anejo es el estudio del estado de las orillas de la rampa tobácea, así como su aptitud o no para los futuros estribos de la pasarela (de madera, con uso ocasional de vehículos de emergencia), y el nivel de su deterioro a lo largo de su vida.

Para poder llevar a cabo este análisis, se estructura el estudio del siguiente modo:

1. Determinar la naturaleza de los materiales del entorno y su disposición
2. Caracterización geotécnica de los materiales
3. Determinación del nivel freático y su afección sobre los pilotes de madera
4. Estimar posibles asentos
5. Analizar la estabilidad del terreno

4 NORMATIVA APLICADA

Este estudio (Lo otro me quedaba raro) ha sido de apoyo el uso de la siguiente normativa:

:

- *NCSR-02. Norma de la Construcción Sismorresistente: Parte general y edificación*
- *Eurocódigo 7 UNE-ENV 1997-1. Proyecto Geotécnico*
- *Cimentaciones. Estudios Geotécnicos*
- *Documento Básico SE-C. Seguridad estructural. Cimientos*
- *Normas UNE, relativas a los procedimientos de ensayo “in situ” o en laboratorio*
- *Normas EHE. Instrucción de hormigón estructural*
- *Norma Tecnológica de la Edificación. Acondicionamiento del Terreno*
- *Norma Básica de la Edificación. Acciones en la Edificación.*
- *PG 3. Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes*

5 ANTECEDENTES Y MÉTODO DE ANÁLISIS

Se procederá a la clasificación del terreno de acuerdo al Documento Básico SE-C. Seguridad estructural. Cimientos, más concretamente según su Capítulo 3. Estudio Geotécnico. Apartado 3. 2. 1. En este epígrafe, un terreno se clasifica dentro de los siguientes tres grupos tras llevar a cabo el reconocimiento debido:

- Grupo T-1: Terrenos favorables: aquellos con poca variabilidad, y en los que la práctica habitual en la zona es de cimentación directa mediante elementos aislados.
- Grupo T-2: Terrenos intermedios: los que presentan variabilidad, o que en la zona no siempre se recurre a la misma solución de cimentación, o en los que se puede suponer que tienen rellenos antrópicos de cierta relevancia, aunque probablemente no superen los 3,0 m.
- Grupo T-3: Terrenos desfavorables: los que no pueden clasificarse en ninguno de los tipos anteriores. De forma especial se considerarán en este grupo los siguientes terrenos:
 - a) Suelos expansivos
 - b) Suelos colapsables
 - c) Suelos blandos o sueltos
 - d) Terrenos kársticos en yesos o calizas
 - e) Terrenos variables en cuanto a composición y estado
 - f) Rellenos antrópicos con espesores superiores a 3 m
 - g) Terrenos en zonas susceptibles de sufrir deslizamientos
 - h) Rocas volcánicas en coladas delgadas o con cavidades
 - i) Terrenos con desnivel superior a 15º
 - j) Suelos residuales
 - k) Terrenos de marismas

En este caso, el terreno de este estudio se enmarca dentro del grupo T-3.

La información ha sido obtenida y facilitada a través de los organismos del Estado (Cuando se refiere al organismo concreto va con mayúscula) como el IGME, Instituto Geológico y Minero de España, sobre todo por la serie de la cartografía MAGMA, con apoyo de informes geológicos existentes y varias visitas de campo.

Estas visitas se emplean para explorar el estado del terreno de la zona de actuación y efectuar la correspondiente sesión fotográfica.

6 GEOLOGÍA - LITOLOGÍA

La zona de actuación está formada por distintas series de formaciones geológicas bien diferenciadas, continuas y uniformes (asentadas sobre terrenos Paleozoicos muy plegados). En su mayor parte está compuesta por terrenos Mesozoicos de disposición horizontal, situados en dos niveles claramente diferenciados:

- **Nivel inferior:** perteneciente al periodo Triásico (Keuper), integrado por margas irisadas y arcillas, acompañados ocasionalmente por yesos de aspecto terroso que afloran únicamente junto a los bordes de la altiplanicie y en la parte baja de la Vallonada del Pantano de Peñarroya (zona baja de las Lagunas). La potencia de esta capa es completamente variable, de 120 metros en las zonas de las Lagunas grandes

(Laguna Colgada, L. Rey...) y disminuyendo hasta un espesor de 40 metros en la presa de Peñarroya y de 20 metro, como excepción, en la Laguna Blanca.

- **Nivel superior:** tramo de calizas carniolas (calizas esponjosas y fisuradas de tonalidades grisáceas y rojizas), del periodo Jurásico (Infralías), éste cubre casi toda la superficie de la zona. Son calizas dolomíticas insolubles de aspecto vacuolar a causa, probablemente, de la disolución de los cristales de yesos. Este nivel presenta un elevado porcentaje de carbonato cálcico en agua.



Ilustración 4 Mapa Geológico

Estas son las distintas formaciones encontradas en la zona de ubicación de la obra:

- Basamento paleozoico muy plegado.
- Formación de caliza liásica, subhorizontal, situada sobre las margas y constituida por carniolas, esponjosas y agrietadas, con intercalaciones de calizas en calizas tableadas que alternan con bancos potentes de margas grises y blancas.
- Formaciones cuaternarias de tobas calcáreas fosilíferas.
- Mioceno lacustre en forma de bancos de margas, arcillas y calizas pontienses.
- Triásico muy tendido o subhorizontal, constituido por tramos margosos abigarrados, yesíferos y salinos.
- Depósitos pliocenos de cantos rodados de cuarcita.



Ilustración 5 Esquema hidrogeológico del Campo de Montiel

Podemos distinguir materiales del Mesozoico con una litología tipo arcilla silíceas, areniscas, calizas, cuarcita, grava arcillosa, margas, margas yesíferas, materiales arcillosos, pizarras, rocas calcáreas, metamórficas cristalinas y yesos.

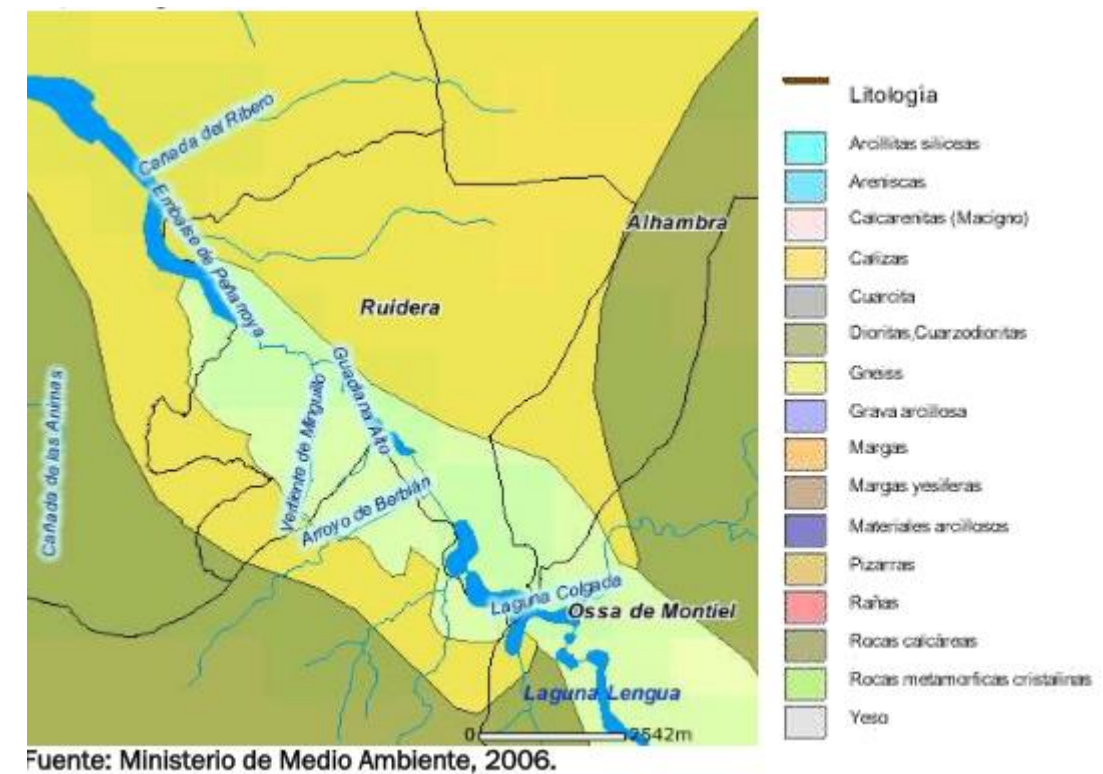


Ilustración 6 Litología de la zona de Ruidera



La litología de la zona de actuación está claramente definida y diferenciada en los límites Oeste (W) y Sur (S), todo lo contrario que en las fronteras Este (E) y Norte (N), la cual se confunde, junto con la estratigrafía, con las de los acuíferos de la zona Oriental de la Mancha y con la Llanura Manchega.

Diversos estudios obsoletos y más desfasados en tiempo y análisis, confirman que el Campo de Montiel se había formado careciendo de procesos tectónicos. Sin embargo, se ha demostrado en estudios más recientes su afección por fracturas, fallas y emersión de materiales plásticos y de baja densidad extruyendo las situación y emplazamiento original de los materiales superpuestos, lo que se conoce como procesos diapíricos. La fracturación más distinguida corresponde con las fallas de Munera-Lezuza, Viveros-Ruidera y El Bonillo, estas fallas son: NW-SE y NNW-SSE. Se han detectado en la zona de la falla de Viveros-Ruidera plegamientos E-W en la región oriental, y N-S y NNW-SSE al oriente de la falla Viveros-Ruidera.

7 MORFOLOGÍA

Atendiendo al aspecto morfológico de la zona se observa un contraste claro entre las lagunas altas y bajas, es decir, entre el entorno árido del Campo de Montiel y la Llanura Manchega. Se localizan rampas tobáceas, las cuales suelen estar desbordadas por acantilados en voladizo, generando saltos de agua, cuyas profundidades elevadas pueden provocar alteraciones visuales en la tonalidad del agua y en la vegetación subacuática. Por lo contrario, en las lagunas bajas su forma es más suaves con una menor profundidad, reduciendo su tamaño por la ausencia de barreras funcionales.

Ambas zonas forman un valle principal, de 20 km de longitud alineado en dirección NO-SE, sobre calizas formando un rosario de lagunas comunicadas unas con otras a través de arroyos, cascadas, torrenteras o conducciones/circulaciones subterráneas.

A lo largo de todo el campo se puede encontrar diversidad de depósitos tobáceos, como represas tobáceas (situaciones efímeras, que tienden a degradarse de forma natural), que son los depósitos más destacables del valle, definiendo así la forma y tamaño de las lagunas a pesar del estado de degradación en el que se encuentran. Las facies de << cortinas y flecos >> son el elemento más espectacular y frágil de una represa, producidas por la erosión o a causa de la incisión de las aguas que circulaban aguas abajo y ahora caen en cascada.

Lagunas	Coronación	Altura	Planta	Terraza
BLANCA	120	2	40*	no
CONCEJA	170	4	50*	no
TOMILLA	160	12	45*	no
TINAJA	190	12	45*	100 máx.
SAN PEDRA	192	6	260	90 máx.
REDONDILLA	189	10	49*	no
LENGUA	108	12	170	70
SALVADORA	192	6	70*	no
BATANA	240	19	49*	no
MORCILLA	170	12	72*	no
COLGADA	250*	6*	66*	no
REY	320	15	360	no

Tabla 2.—Dimensiones de las represas y terrazas tobáceas en metros.
* Los datos señalados están tomados sobre represas travertínicas degradadas, por lo que las dimensiones son del elemento que actualmente se observa.
Table 2.—Size of the tuffa dams and terraces (in metres).
* Data were taken from degraded tuffa dams

Ilustración 7 Tabla de dimensiones de las represas tobáceas

Pueden detectarse importantes *terrazas tobáceas* en las lagunas: L. Lengua, L. Tomilla y L. San Pedro, que dan lugar a estructuras en acantilado cuando las lagunas se desecan, como es su estado actual. Estos fenómenos geográficos se localizan en las lagunas: L. Lengua, L. Tomilla y L. San Pedro. Acudiendo a datos obtenidos a partir de diferentes estudios realizados mediante sondeos y perfiles eléctricos podemos decir que se localizan diferentes *depósitos detriticos tobáceos* de naturaliza lutítica calcárea, tanto en las propias lagunas como en sus alrededores.



Ilustración 8 Delimitación de las instalaciones en la zona de actuación

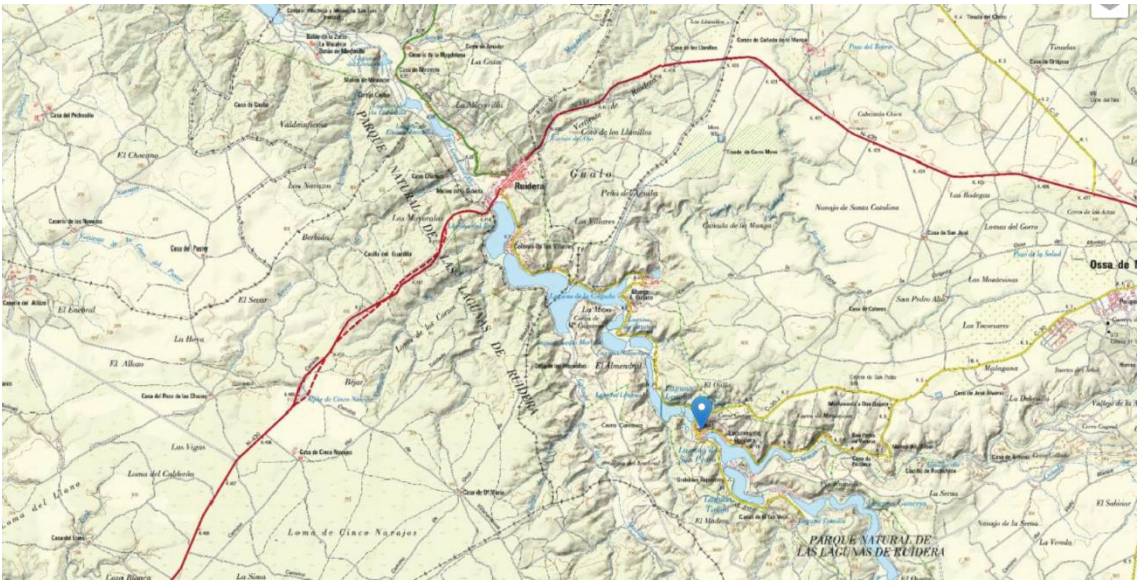


Ilustración 9 Mapa físico de la zona de actuación

8. HIDROGEOLOGÍA

exclusivamente su hidrología, alimentando surgencias dentro de las lagunas, manantiales laterales y contribuyendo a recargar el acuífero de La Mancha. La zona límite entre los dos acuíferos se encuentra en los alrededores de Argamasilla de Alba, aguas debajo de la presa de Peñarroya.

La Confederación Hidrográfica del Guadiana ha determinado una serie de tramos a lo largo del río Guadiana entre los que se encuentran localizadas siete estaciones de aforo. Dos de esas estaciones de encuentran en el Parque de las Lagunas de Ruidera. La estación de aforo de referencia para Ruidera es la estación de La Cubeta (004), localizada según coordenadas 2-53-28W y 38-58-41 N, situada en el tramo Alto Guadiana (Ruidera). Este tramo se encuentra comprendido entre el nacimiento del río (manantiales de los Zampañones a 900 m de altitud) y la presa de Peñarroya (39 Km aguas abajo). Los manantiales desembocan en el río Pinilla que junto con otros pequeños arroyos dan lugar a la Laguna Blanca, la primera del rosario de lagunas que conforman la cabecera del Guadiana.



Ilustración 10 Situación de los cuerpos de agua en la zona de actuación

Según García del Cura et Al (1992) tanto la forma escalonada que presentan las Lagunas, como la aparición en sí misma de éstas se debe a dos motivos principales:

- El material geológico localizado en el fondo del valle es arcilla, perteneciente al Triásico Superior-Keuper es decir, prácticamente impermeable.
- La formación de una barrera natural tobácea o travertínica a causa de la precipitación de carbonatos por la actuación de las aguas del río, simulando así la función de una presa que cierra su cauce.

Este Parque Natural presenta materiales paleozoicos con un interés mínimo desde el punto de vista hidrogeológico. Dada su escasa permeabilidad, sólo de forma muy puntual podrían aportar pequeños caudales en áreas de fracturación intensa. Debido a su alta proporción de materiales arcillosos, el Triásico no presenta características favorables, únicamente serán objeto de estudio, aunque con rendimientos escasos, los términos más inferiores de la facies Buntsandstein, de naturaleza más areniscosa.

Grado de permeabilidad	Valor de k (cm/s)
Elevada	Superior a 10 ⁻¹
Media	10 ⁻¹ a 10 ⁻³
Baja	10 ⁻⁵ a 10 ⁻⁷
Muy baja	10 ⁻⁵ a 10 ⁻⁷
Prácticamente impermeable	Menor de 10 ⁻⁷

Tabla 1 Grados de permeabilidad

El entorno de Ruidera posee un gran valor paisajístico, destacando por su valor estético el salto de agua denominado “El Hundimiento”. Dicho punto es un conjunto de cascadas travertínicas entre la Laguna del Rey y la Cueva Morenilla, originado por el colapso de la barrera tobácea, que ocurrió en el año 1545, tras una crecida extraordinaria de las aguas.

El “Acuífero de la Mancha Occidental” o “Unidad Hidrogeológica 04.04”, ocupa una superficie de 5.500 Km² en la submeseta meridional castellana. Está formado por dos unidades hidrogeológicas, separadas por un nivel intermedio detrítico que actúa como acuitardo; es decir, por tres unidades de estudio.

En cuanto a la *Unidad hidrogeológica superior*, cabe destacar que se encuentra formado por calizas y calizas margosas del Mioceno Superior, materiales del Cuaternario y Plioceno, inclusive materiales volcánicos derivados de éstos. Geográficamente la unidad hidrogeológica superior se extiende por los alrededores de Daimiel, Arenas de San Juan, Villarta de San Juan, sur de Puerto Lápice y Alcázar de San Juan y norte de Tomelloso. Su funcionamiento hidrogeológico actual difiere bastante de su funcionamiento en régimen natural, principalmente como consecuencia de la explotación intensiva que ha tenido el acuífero de la Llanura Manchega durante las últimas dos décadas. En términos generales se trata de un acuífero libre con una dirección de flujo subterráneo Este-Oeste. En conjunto constituye un acuífero libre con valores de transmisividad comprendidos entre 500 y 10.000 m²/día. El coeficiente de almacenamiento medio para toda la unidad es de 0,1 (IOME, 1982).

Analizando el *Nivel Intermedio detrítico* observamos dos tramos completamente diferenciados, uno superior y otro inferior. El tramo superior es arenoso con yesos a lo largo de la parte inferior del acuífero superior. Por lo contrario, el tramo inferior está constituido por conglomerados. Ambos funcionan como un acuitardo con pequeños niveles detríticos que funcionan como acuíferos.

La última unidad, la *Unidad Hidrogeológica Inferior*, se ubica en la Llanura Manchega, compuesta por formaciones calcáreas y dolomíticas del Jurásico y Cretácico, por cantos de cuarcita con arcillas rojas en la superficie y por arcillas, areniscas, margas y yesos en el techo de esta unidad. Funciona como un acuífero de carácter confinado o semiconfinado por la unidad detrítica del Mioceno Inferior, cuya recarga se produce principalmente por una infiltración directa del agua procedente de la lluvia que llega desde la Sierra de Altomira y Campos de Montiel. Por lo contrario, la descarga tiene lugar de dos modos principales, por extracciones de los pozos y por drenaje hacia el acuífero superior. La transmisividad de esta unidad es muy variable debido a los numerosos cambios laterales de facies que presenta, con valores comprendidos entre 50 y 500 m²/día. Las zonas con distinta transmisividad diferenciadas en la figura 35x, corresponden a las que se daban en IOME (1982)

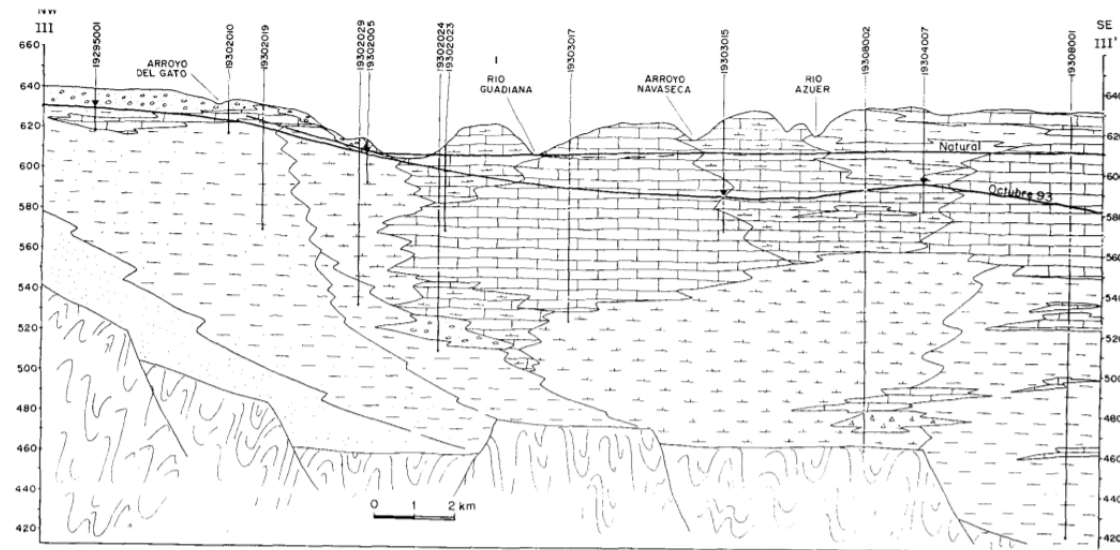


Ilustración 11 Cuenca hidrogeológica

Concluyendo con el apartado hidrogeológico, los materiales que conforman el valle de las Lagunas son prácticamente impermeables o semipermeables. El drenaje superficial de la zona es aceptable y en conjunto el área es hidrológicamente tolerable desde el punto de vista geotécnico.

En cuanto a la capacidad de carga de dichos materiales es mediana y no se prevén asientos muy apreciables en las construcciones para las solicitaciones previstas.

9 SISMICIDAD

El Real Decreto 1476/2004 sobre las atribuciones del IGN define la sismicidad como “el conjunto de parámetros que definen totalmente el fenómeno sísmico en el foco y se representa generalmente mediante distribuciones temporales, espaciales, de tamaño, de energía, etc.”.



Ilustración 12 Mapa de puntos de mayor sismicidad en España

“La información sísmica del mapa proviene de la base de datos del Instituto Geográfico Nacional actualizada al año 2003. Los epicentros del periodo histórico entre los años 1048 y 1919 están representados mediante valores de intensidad sísmica, mientras que los correspondientes al periodo instrumental 1920-2003, se representan por valores de magnitud.”

Para definir las zonas donde se aplicará la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo Sísmico se emplean los mapas ofrecidos por el Instituto Geológico Nacional ante el Riesgo Sísmico. El Instituto también tiene la función de la coordinación de la normativa sismorresistente, estableciendo de este modo las zonas y niveles de aceleración sísmica a considerar a la hora de realizar una nueva construcción en territorio español. Se pueden detectar tres zonas sísmicas principales según su grado de peligrosidad en el suelo nacional:

- Zona primera: De peligrosidad sísmica baja, con aceleración sísmica = $a_c < 0.04$
- Zona segunda: De peligrosidad sísmica media, con aceleración sísmica = $0.04 < a_c < 0.13$
- Zona tercera: De peligrosidad sísmica alta, con aceleración sísmica = $0.13 < a_c < 0.25$

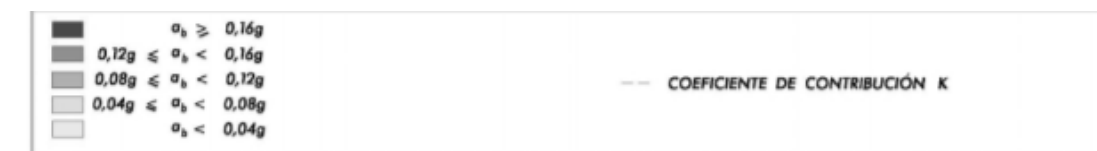
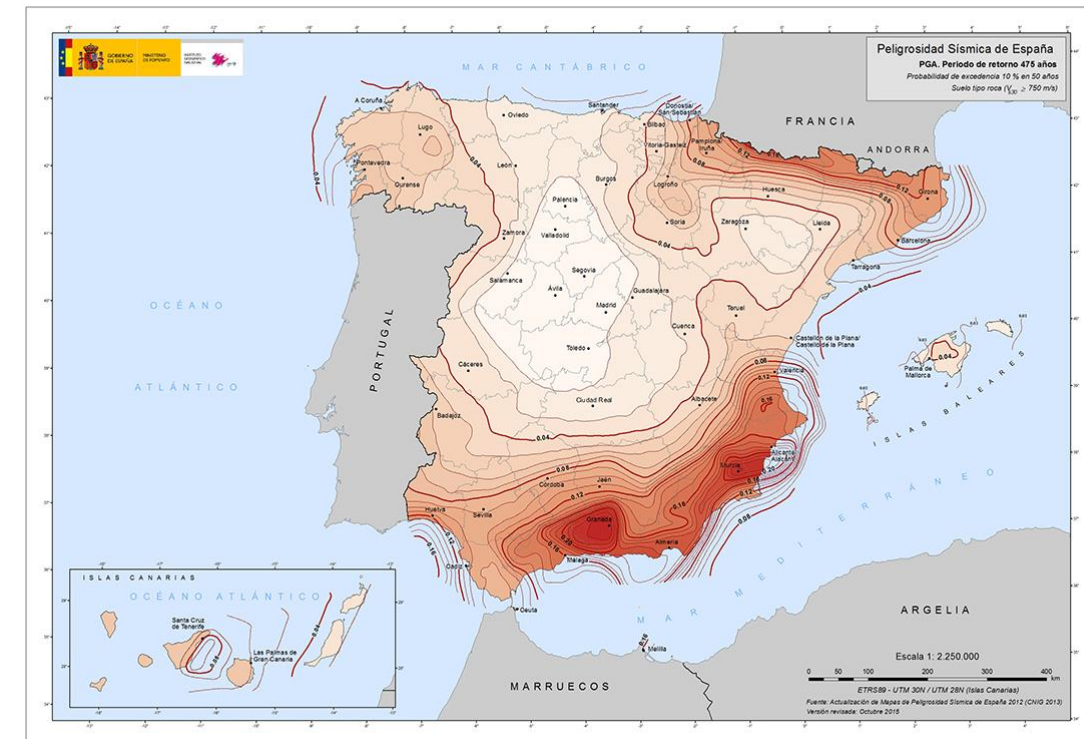


Ilustración 13 Mapa de la aceleración sísmica horizontal en España

Se define la aceleración horizontal de cálculo (a_c) como el producto de la aceleración sísmica (a_b) dada por el mapa superior, por el coeficiente adimensional de riesgo y el coeficiente de amplificación del terreno.

$$a_c = S \cdot \rho \cdot a_b$$

$$a_c = S \cdot \rho \cdot a_b$$

a_b Aceleración sísmica básica, según la Norma de Construcción Sismorresistente NCSE-02, cuyo mapa sísmico se reproduce en la figura 3.1 y cuyo listado por términos municipales se recoge en el Anejo 1.



Es el valor característico de la aceleración horizontal de la superficie del terreno, correspondiente a un periodo de retorno de 500 años.

ρ Coeficiente adimensional de riesgo, obtenido como producto de dos factores: $\rho = \gamma_I \cdot \gamma_{II}$

γ_I Factor de importancia, función de la importancia del puente, cuyo valor figura en el apartado 2.3.

γ_{II} Factor modificador para considerar un periodo de retorno diferente de 500 años. El producto ρa_b representa la aceleración sísmica horizontal correspondiente a un periodo de retorno P_R . El valor de esa aceleración puede deducirse de un estudio probabilista de la peligrosidad sísmica en el emplazamiento del puente. A falta de este estudio, de forma aproximada puede suponerse:

$$\gamma_{II} = (P_R / 500)^{0,4} \quad (3.3)$$

S Coeficiente de amplificación del terreno. Toma el valor:

$$\text{Para } \rho a_b \leq 0,1 \text{ g} \quad S = \frac{C}{1,25} \quad (3.4a)$$

$$\text{Para } 0,1 \text{ g} < \rho a_b < 0,4 \text{ g} \quad S = \frac{C}{1,25} + 3,33 \left(\rho \frac{a_b}{g} - 0,1 \right) \left(1 - \frac{C}{1,25} \right) \quad (3.4b)$$

$$\text{Para } 0,4 \text{ g} \leq \rho a_b \quad S = 1,0 \quad (3.4c)$$

C Coeficiente del terreno definido en el apartado 3.2

- C: Coeficiente de terreno. Depende de las características geotécnicas del terreno de cimentación en los primeros 30 metros.

$$C = \frac{\sum C_i \cdot e_i}{30}$$

TIPO DE TERRENO	COEFICIENTE C
I	1,0
II	1,3
III	1,6
IV	2,0

Tabla 2 Coeficientes del Terreno

Según a la norma NCSR-02 (Norma de construcción sismorresistente) es necesario aplicar la normativa en el caso de que la zona de actuación se localice en municipios o poblaciones con una aceleración sísmica básica (a_b) sea superior a 0,04g, en las construcciones de importancia moderada, o de importancia normal con pórticos bien arriostrados entre sí en todas las direcciones cuando la aceleración sísmica básica “ a_b ” sea inferior a 0.08g.

En los últimos 36 años, nuestra zona de actuación, en términos de intensidad máxima sentida, la sismicidad es de gran ignorancia, siempre y cuando estemos comparando con las provincias españolas más sísmicas y con las más sísmicas, es decir, posee una aceleración sísmica básica (a_b) inferior a 0,04g.

10 EXPANSIVIDAD

En cuanto a la expansividad del terreno, es importante tener muy presente los posibles grandes cambios de volumen futuros en función de la humedad del suelo, ya que éste está compuesto principalmente por arcillas. También pueden producirse tensiones indirectas adicionales en los pilotes de madera que provocarían problemas en la estructura, en situaciones extremas incluso un colapso de la propia, e incluso asientos que consideraríamos inaceptables. Esto se produce debido a que estas arcillas se expanden con la humedad y se contraen al secarse.

Analizando nuestra área de influencia, no existe presencia de arcillas expansivas según los mapas previsores del IGME para expansividad.

11 PRESENCIA DE KARST

Es necesario tener en cuenta la existencia de karts ya que en zonas donde el terreno posee una baja capacidad portante pueden producirse diversos colapsos. Motivo por el que deberemos garantizar la estabilidad de los estribos y estudiar su susceptibilidad a sufrir un fallo por colapso en un periodo corto de tiempo.

El Campo de Montiel presenta diversas formaciones carbonatadas y permeables debido a la fisuración y/o karstificación. En la zona estudiada, perteneciente al curso del Guadiana Bajo, se observa la existencia de las barreras tobáceas ya mencionadas con anterioridad, las cuales tienen una edad de unos 10.000 años aproximadamente, es decir, se crearon en el periodo Holoceno. Estos accidentes geográficos se localizan a simple vista en las lagunas Tinaja, Lengua, o Colgada entre otras.

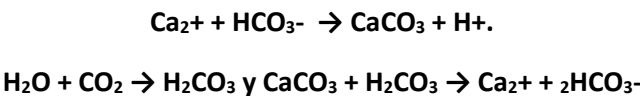
Las diferentes acciones químicas que atacan este material kárstico también origina otro tipo de formaciones geológicas como son oquedades, simas, torcas etc....



Éstas tienen su base química en los procesos de precipitación y disolución de carbonatos, particularmente la calcita (CaCO₃), debidos a la relativa abundancia de iones de Calcio Ca²⁺ y del bicarbonato (H₂CO₃) o de los iones de bicarbonato (HCO₃⁻) respectivamente en el agua. Este proceso de alteración química del CaCO₃ depende de factores como:

- El contenido en dióxido de carbono (CO₂)
- El potencial de hidrógeno (pH): Un valor bajo de pH favorece la disolución de CaCO₃, y a la inversa.
- La temperatura: La disolución de CaCO₃ en agua pura disminuye, con el aumento de la temperatura.

Las siguientes reacciones describen el proceso de disolución de un sedimento calcáreo de procedente de una caliza en un agua con un cierto contenido en CO₂



12 DESCRIPCIÓN GEOTÉCNICA DEL TERRENO

Una vez ya analizado, estudiado y observado el terreno durante la visita de campo, y atendiendo a los estudios geológicos hidrogeológicos y geomorfológicos realizados anteriormente, se podrá realizar una completa descripción geotécnica que conlleve todo lo referente a característica de forma, color, composición de las partículas y estado de meteorización.

El suelo a estudiar se puede caracterizar como:

- Suelo con abundancia de calizas y rocas calcáreas, con presencia de materiales sueltos y arcillas silíceas localizadas principalmente en los fondos situada sobre las margas y constituida por carniolas, esponjosas y agrietadas. Se observan intercalaciones de calizas en calizas tableadas que alternan con bancos potentes de margas grises y blancas.
- La permeabilidad del suelo de baja, prácticamente podríamos decir que prácticamente está limitante con una permeabilidad muy baja debido a su elevado contenido en arcillas prácticamente impermeables.
- Nivel freático profundo
- Morfología de ligera a medianamente movida
- Capacidades de cargas medias, con presencia de alguna zona abarrancada que puede presentar inestabilidad de la zona de actuación.

PROPIEDADES A DETERMINAR O ESTIMAR EN EL ESTUDIO GEOTÉCNICO				
TIPO DE TERRENO	IDENTIFICACIÓN	ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN Y EXCAVACIONES	CIMENTACIONES SUPERFICIALES	CIMENTACIONES PROFUNDAS
Suelos arenosos	Granulometría	Peso específico aparente Ángulo de rozamiento Permeabilidad	Compacidad (N,q,I _o) Ángulo de rozamiento interno Deformabilidad	Compacidad (N,q,I _o) Ángulo de rozamiento interno
	Plasticidad Mineralogía Humedad natural	Peso específico aparente Resistencia a compresión simple Resistencia a corte Expansividad	Resistencia a compresión simple Resistencia a corte Deformabilidad Expansividad	Resistencia a compresión simple Resistencia a corte Deformabilidad Expansividad
Suelos de transición	Granulometría Plasticidad	Combinación de lo indicado para suelos arenosos y arcillosos según la proporción de cada uno de ellos		
Suelos granulares y gruesos	Tamaño medio % de finos	Compacidad	Deformabilidad	Estimar compacidad
	Uniformidad	Permeabilidad		
Rocas blandas	Mineralogía	Alterabilidad	Resistencia a compresión simple	Resistencia a compresión simple (posición profunda)
	Identificación del material triturado	Expansividad Estructura Resistencia a corte Ripabilidad	Deformabilidad en caso de grandes cargas Expansividad	
Rocas duras	Litología	Estructura, en grandes excavaciones	Resistencia a compresión simple	Resistencia a compresión simple (posición profunda)
	Estructura	Permeabilidad del macizo Ripabilidad		

Tabla 3 Propiedades a determinar o estimar en el Estudio Geotécnico

Según el cuadro superior será necesario conseguir una estimación de los parámetros de deformabilidad y resistencia a compresión para nuestro terreno seleccionado.

Para ello obtenemos el siguiente cuadro de los parámetros característicos del suelo:

TIPO DE SUELO	GRANULOMETRÍA		LÍMITES DE ATTERBERG			PESO ESPECÍFICO		HUMEDAD NATURAL	PROCTOR NORMAL		DEFORMABILIDAD		RESISTENCIA AL CORTE		PERMEABILIDAD	
	<0,06 mm(%)	<2 mm(%)	FRACCIÓN <0,04 mm			t/mm3	t/m3		D.Seca t/m3	%	kp/cm2	(º)	t/m2			
Grava	<5	<60	-	-	-	1,6	0,95	5	1,7	8	400	0,6	34	-	32	2.10^-1
						1,9	1,05	2	1,9	5	900	0,4	42	-	35	1.10^-1
Grava arenosa con pocos finos	<5	<60	-	-	-	2,1	1,15	7	2,01	7	400	0,7	35	-	32	1.10^-2
						2,3	1,35	3	2,25	4	1100	0,5	45	-	35	1.10^-6
Grava arenosa con finos limosos que no alteran la estructura granular	8	<60	20	16	4	2,1	1,15	9	2,1	7	400	0,7	35	1	32	1.10^-5
	15		45	25	25	2,4	1,45	3	2,35	3	1200	0,5	43	0	35	1.10^-8
Mezcla de gravas y arenas	20	<60	20	16	4	2	1,05	13	1,9	10	150	0,9	28	3	22	1.10^-8
envueltas por finos	40		50	25	30	2,25	1,3	5	2,2	5	400	0,7	35	0,5	30	1.10^-11

Tabla 4 Parámetros característicos del suelo



En relación a la descripción dada confirmamos que la permeabilidad del terreno está en torno a $1,0 \text{ E-}05 \text{ m/s}$, lo que permite clasificar el suelo como grava arenosa con pocos finos, cuyos parámetros característicos del terreno serían:

- Límites de Atterberg:
 - $w_l = 17$
 - $w_p = 12.8$
 - $l_p = 5.2$
- Peso específico
 - Seco = $2,30 \text{ T/m}^3$
 - Sumergido = $1,35 \text{ T/m}^3$
- Deformabilidad 400 – 1100 kp/cm^2
- Resistencia al corte
 - $\phi' = 45^\circ$
 - $c' = -$
- Permeabilidad: $1 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$

A falta de información detallada y completa sobre el perfil del terreno, pero con ayuda de todo el análisis realizado y de la visita de campo, podemos determinar que el tipo de suelo sobre el que se va a proceder a cimentar los estribos es de calizas y areniscas duras con una presión admisible bajo carga vertical de 40 Kp/cm^2

- Calizas y areniscas duras = 40 Kp/cm^2

GRUPO	CLASE	TIPO DE ROCA O SUELO	PRESIÓN ADMISIBLE kp/cm2	OBSERVACIONES
I. ROCAS	1	Rocas ígneas o gnésicas sanas	100	Deben atravesar la parte alterada
	2	Calizas y areniscas duras	40	
	3	Esquistos y pizarras	30	
	4	Argilitas y lutitas duras, areniscas blandas	20	
	5	Lutitas y Argilitas blandas	Entre 6 y 10	Requieren de estudio especial
	6	Cretas y margas	6	
	7	Calizas y areniscas tableadas	-	
	8	Rocas muy fracturadas	-	
II. SUELOS NO COHESIVOS	9	Gravas o mezclas granulares compactas	>6	Cimientos de B>1 m Nivel freático una profundidad mayor que B bajo el cimiento
	10	Arenas y gravas de compacidad media	Entre 2 y 6	
	11	Gravas y arenas flojas	<2	
	12	Arena compacta	>3	
	13	Arena media	Entre 1 y 3	
	14	Arena suelta	<1	
III. SUELOS COHESIVOS	15	Arcillas muy duras con gravas	Entre 3 y 6	Son de esperar asientos de consolidación a largo plazo
	16	Arcillas duras	Entre 1,5 y 3	
	17	Arcillas firmes	Entre 0,75 y 1,5	
	18	Arcillas y limos blandos	<0,75	
	19	Arcillas y limos muy blandos	No aplicable	

Tabla 5 Tipos de suelo

Cabría determinar la carga admisible en cimentaciones sobre suelos granulares gruesos. Para ello, acudimos, de modo orientativo, a la tabla que se muestra a continuación

TERRENO*	MÓDULO DE DEFORMACIÓN E' (kp/cm2)	v'	Presión admisible (kp/cm2)	
			Zapatas	Losas
Morrenas o bloques mal graduados, con huecos excavables con relativa facilidad	450	0,35	1,5	1
Id. Bien graduados y compactos con pocos	440	0,3	2	1,5
Id. Bien graduados y compactos, excavables con dificultad	750	0,25	3	1,8
Gravas y gravas arenosas flojas, fácilmente excavables desmoronándose en las paredes de las catas en seco	200	0,3	1,5	1
Id. Compactas, excavables manteniéndose catas de 3-4 m	400	0,25	2,5	1,5
Gravas arcillo-arenosas, bien graduadas flojas	300	0,25	2	1
Id. Compactas, excavables con dificultad	600	0,2	3,5	2
*Se supone que el terreno está sumergido o con nivel freático profundo. Si existe riesgo de que el nivel freático pueda ascender hasta la cimentación, los valores de la tabla se reducirán al 60%				

Tabla 6 Presión admisible por tipo de terreno



PROPIEDADES A DETERMINAR O ESTIMAR EN EL ESTUDIO GEOTÉCNICO				
TIPO DE TERRENO	IDENTIFICACIÓN	ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN Y EXCAVACIONES	CIMENTACIONES SUPERFICIALES	CIMENTACIONES PROFUNDAS
Suelos arenosos	Granulometría	Peso específico aparente Ángulo de rozamiento Permeabilidad	Compacidad (N,q,I _o) Ángulo de rozamiento interno Deformabilidad	Compacidad (N,q,I _o) Ángulo de rozamiento interno
Suelos arcillosos	Plasticidad	Peso específico aparente Resistencia a compresión simple	Resistencia a compresión simple	Resistencia a compresión simple
	Mineralogía	Resistencia a corte	Resistencia a corte	Resistencia a corte
	Humedad natural	Expansividad	Deformabilidad Expansividad	Deformabilidad Expansividad
Suelos de transición	Granulometría Plasticidad	Combinación de lo indicado para suelos arenosos y arcillosos según la proporción de cada uno de ellos		
Suelos granulares y gruesos	Tamaño medio % de finos	Compacidad	Deformabilidad	Estimar compacidad
	Uniformidad	Permeabilidad		
Rocas blandas	Mineralogía	Alterabilidad	Resistencia a compresión simple	Resistencia a compresión simple (posición profunda)
	Identificación del material triturado	Expansividad	Deformabilidad en caso de grandes cargas	
		Estructura Resistencia a corte Ripabilidad	Expansividad	
Rocas duras	Litología	Estructura, en grandes excavaciones	Resistencia a compresión simple	Resistencia a compresión simple (posición profunda)
	Estructura	Permeabilidad del macizo Ripabilidad		

Tabla 7 Propiedades a determinar en el Estudio Geotécnico

13 DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA

De acuerdo a los estudios geológicos, hidrogeológicos y geomorfológicos y lo observado durante la visita de campo, el terreno se puede caracterizar como:

Suelo con abundancia de margas compactadas, con presencia de materiales sueltos y arcillas sobre margas. En menor medida, dolomías de aspecto muy variado con formas masivas o tableadas y rotas

Permeabilidad baja, abarrancamientos y drenaje superficial tolerable. Dado el color rojizo del suelo, se espera buena aireación del mismo

Nivel freático profundo

Morfología de ligera a medianamente movida

Capacidades de cargas medias

De acuerdo al siguiente cuadro, los parámetros que serán necesarios estimar para el terreno en cuestión, serán la deformabilidad y la resistencia a compresión

Para ello, se tiene el siguiente cuadro de parámetros característicos del suelo:



TIPO DE SUELO	GRANULOMETRÍA		LÍMITES DE ATTERBERG			PESO ESPECÍFICO		HUMEDAD NATURAL	PROCTOR NORMAL		DEFORMABILIDAD		RESISTENCIA AL CORTE			PERMEABILIDAD
	<0,06 mm(%)	<2 mm(%)	FRACCIÓN <0,04 mm			t/mm3	t/m3	w %	D.Seca t/m3	%	kp/cm2		(º)	t/m2	m/s	
Grava	<5	<60	-	-	-	1,6	0,95	5	1,7	8	400	0,6	34	-	32	2.10^-1
						1,9	1,05	2	1,9	5	900	0,4	42	-	35	1.10^-1
Grava arenosa con pocos finos	<5	<60	-	-	-	2,1	1,15	7	2,01	7	400	0,7	35	-	32	1.10^-2
						2,3	1,35	3	2,25	4	1100	0,5	45	-	35	1.10^-6
Grava arenosa con finos limosos que no alteran la estructura granular	8	<60	20	16	4	2,1	1,15	9	2,1	7	400	0,7	35	1	32	1.10^-5
	15		45	25	25	2,4	1,45	3	2,35	3	1200	0,5	43	0	35	1.10^-8
Mezcla de gravas y arenas envueltas por finos	20	<60	20	16	4	2	1,05	13	1,9	10	150	0,9	28	3	22	1.10^-8
	40		50	25	30	2,25	1,3	5	2,2	5	400	0,7	35	0,5	30	1.10^-11

Tabla 8 Parámetros característicos del suelo



Ha sido necesario estimar las presiones de trabajo bajo carga vertical estática ya que, durante la visita de campo, se observó que los estribos estaban cimentados sobre roca. De esto modo, a modo orientativo, estas obtienen el siguiente valor:

GRUPO	CLASE	TIPO DE ROCA O SUELO	PRESIÓN ADMISIBLE kp/cm2	OBSERVACIONES
I. ROCAS	1	Rocas ígneas o gnésicas sanas	100	Deben atravesar la parte alterada
	2	Calizas y areniscas duras	40	
	3	Esquistos y pizarras	30	
	4	Argilitas y lutitas duras, areniscas blandas	20	
	5	Lutitas y Arigilitas blandas	Entre 6 y 10	Requieren de estudio especial
	6	Cretas y margas	6	
	7	Calizas y areniscas tableadas	-	
	8	Rocas muy fracturadas	-	
II. SUELOS NO COHESIVOS	9	Gravas o mezclas granulares compactas	>6	Cimientos de B>1 m
	10	Arenas y gravas de compacidad media	Entre 2 y 6	
	11	Gravas y arenas flojas	<2	Nivel freático una profundidad mayor que B bajo el cimiento
	12	Arena compacta	>3	
	13	Arena media	Entre 1 y 3	
	14	Arena suelta	<1	
III. SUELOS COHESIVOS	15	Arcillas muy duras con gravas	Entre 3 y 6	Son de esperar asientos de consolidación a largo plazo
	16	Arcillas duras	Entre 1,5 y 3	
	17	Arcillas firmes	Entre 0,75 y 1,5	
	18	Arcillas y limos blandos	<0,75	
	19	Arcillas y limos muy blandos	No aplicable	

Tabla 9 Tipos de suelo

TERRENO*	MÓDULO DE DEFORMACIÓN E' (kp/cm2)	v'	Presión admisible (kp/cm2)	
			Zapatas	Losas
Morrenas o bloques mal graduados, con huecos excavables con relativa facilidad	450	0,35	1,5	1
Id. Bien graduados y compactos con pocos	440	0,3	2	1,5
Id. Bien graduados y compactos, excavables con dificultad	750	0,25	3	1,8
Gravas y gravas arenosas flojas, fácilmente excavables desmoronándose en las paredes de las catas en seco	200	0,3	1,5	1
Id. Compactas, excavables manteniéndose catas de 3-4 m	400	0,25	2,5	1,5
Gravas arcillo-arenosas, bien graduadas flojas	300	0,25	2	1
Id. Compactas, excavables con dificultad	600	0,2	3,5	2
*Se supone que el terreno está sumergido o con nivel freático profundo. Si existe riesgo de que el nivel freático pueda ascender hasta la cimentación, los valores de la tabla se reducirán al 60%				

Tabla 10 Presión admisible por tipo de terreno

11 TRABAJO DE CAMPO

Para la realización de este proyecto se realizaron tres visitas de campo a la zona de actuación con sus reportajes fotográficos correspondientes. Se realizaron las tres en el mes de Abril de 2017, se procedió a la primera expedición el día 9 de abril.



Ilustración 14 Imagen trabajo de campo (1)



Ilustración 15 Imagen trabajo de campo (2)



Ilustración 16 Imagen trabajo de campo (3)



Ilustración 17 Imagen trabajo de campo (4)



Ilustración 18 Imagen trabajo de campo (5)



Ilustración 19 Imagen trabajo de campo (6)



Ilustración 20 Imagen trabajo de campo (7)



Ilustración 21 Imagen trabajo de campo (8)



Ilustración 22 Imagen trabajo de campo (9)



Ilustración 23 Imagen trabajo de campo (10)



Ilustración 24 Imagen trabajo de campo (11)



Índice de Ilustraciones:

Ilustración 1 Emplazamiento (I) Ilustración 2 Emplazamiento (II)	2
Ilustración 3 Emplazamiento	2
Ilustración 4 Mapa Geológico	4
Ilustración 5 Esquema hidrogeológico del Campo de Montiel	4
Ilustración 6 Litología de la zona de Ruidera	4
Ilustración 7 Tabla de dimensiones de las represas tobáceas	5
Ilustración 8 Delimitación de las instalaciones en la zona de actuación	5
Ilustración 9 Mapa físico de la zona de actuación	6
Ilustración 10 Situación de los cuerpos de agua en la zona de actuación	6
Ilustración 11 Cuenca hidrogeológica	7
Ilustración 12 Mapa de de puntos de mayor sismicidad en España	8
Ilustración 13 Mapa de la aceleración sísmica horizontal en España	8
Ilustración 14 Imagen trabajo de campo (1)	16
Ilustración 15 Imagen trabajo de campo (2)	16
Ilustración 16 Imagen trabajo de campo (3)	17
Ilustración 17 Imagen trabajo de campo (4)	17
Ilustración 18 Imagen trabajo de campo (5)	18
Ilustración 19 Imagen trabajo de campo (6)	18
Ilustración 20 Imagen trabajo de campo (7)	19
Ilustración 21 Imagen trabajo de campo (8)	19
Ilustración 22 Imagen trabajo de campo (9)	20
Ilustración 23 Imagen trabajo de campo (10)	20
Ilustración 24 Imagen trabajo de campo (11)	21

Índice de Tablas:

Tabla 1 Grados de permeabilidad	6
Tabla 2 Coeficientes del Terreno	9
Tabla 3 Propiedades a determinar o estimar en el Estudio Geotécnico	10
Tabla 4 Parámetros característicos del suelo	11
Tabla 5 Tipos de suelo	12
Tabla 6 Presión admisible por tipo de terreno	12
Tabla 7 Propiedades a determinar en el Estudio Geotécnico	13
Tabla 8 Parámetros característicos del suelo	14
Tabla 9 Tipos de suelo	15
Tabla 10 Presión admisible por tipo de terreno	15