

**Anejo nº6**

## **Estudio geológico y geotécnico**

---

Proyecto básico de nuevos amarres en el puerto de Cullera (Valencia)



## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>5</b>
<b>2. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA.....</b>	<b>5</b>
2.1. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL .....	5
2.2. SISMICIDAD .....	7
<b>3. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA .....</b>	<b>9</b>
3.1. ENCUADRE GEOTÉCNICO .....	9
3.2. CAPACIDAD GEOTÉCNICA .....	11
3.3. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS.....	12
3.3.1. Ensayos realizados .....	12
3.3.2. Niveles estratigráficos .....	13
3.3.3. Nivel freático .....	14
3.3.4. Agresividad de las aguas .....	14
<b>4. CONCLUSIONES .....</b>	<b>14</b>
4.1. MATERIALES A UTILIZAR .....	15
4.2. EXCAVABILIDAD DEL TERRENO.....	15
4.3. CIMENTACIÓN.....	15



## 1. INTRODUCCIÓN

El objeto del presente anejo es poner en conocimiento, desde el punto de vista geológico y geotécnico, las características del terreno donde se proyectan las nuevas instalaciones del Puerto de Cullera. Para ello, se realiza una identificación de la naturaleza y la situación de los diferentes niveles de terreno de la zona, así como los parámetros geotécnicos de éstos.

Para la elaboración de este estudio y obtención de la información necesaria para caracterizar el terreno se han empleado las siguientes fuentes y trabajos:

- Mapa Geológico de España a escala 1:50.000. Hoja 770 "Alcira". Instituto Geológico y Minero de España (IGME).
- Mapa Geológico de España a escala 1:50.000. Hoja 747 "Sueca". IGME
- Mapa Geotécnico General a escala 1:200.000. Hoja 64 "Alcoy". IGME
- "Estudio geotécnico de la margen izquierda del río Júcar", realizado por INGEOTEC en septiembre de 1992.
- Trabajo geotécnico por parte de la empresa Grupo de Ingeniería y Arquitectura, S.L. (GIA) en noviembre de 2007 para el "Proyecto de Ampliación del Puerto de Cullera".

## 2. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA

### 2.1. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

La zona de estudio se encuentra localizada geológicamente en las estribaciones orientales de la Rama Sur de la Cordillera Ibérica y en el comienzo de la subsidencia del Mioceno Superior del mar Mediterráneo.

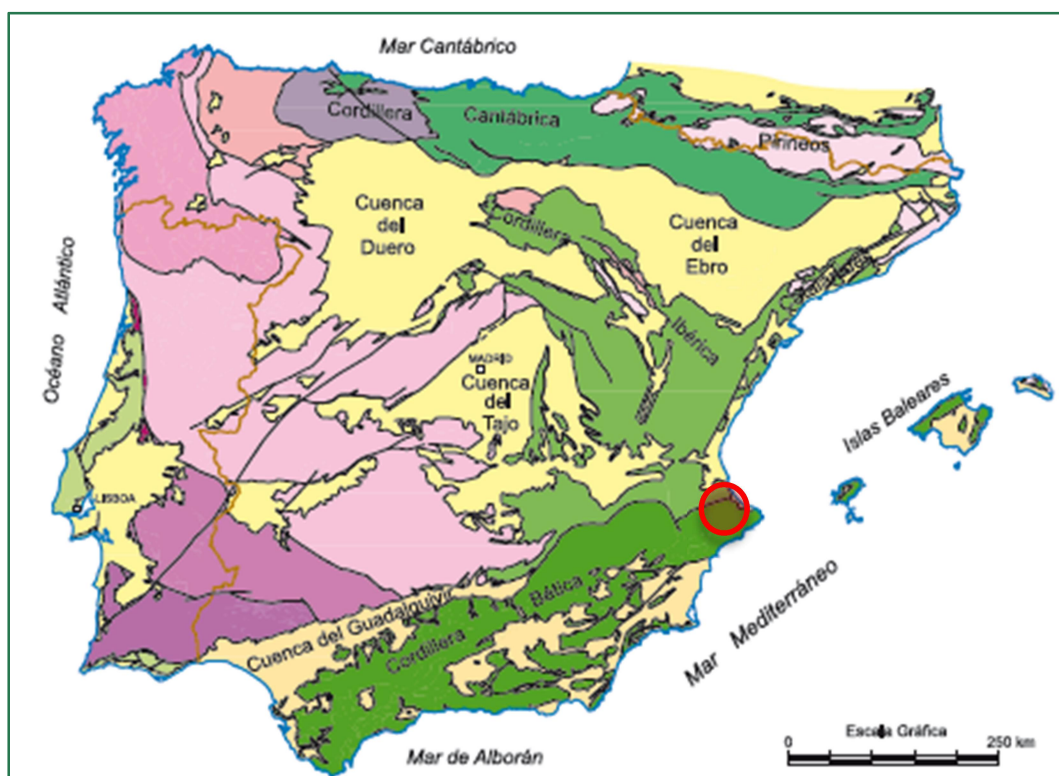


Figura 6.1. Principales Unidades Geológicas. Mapa Geológico España y Portugal a escala 1:1.100.000

Esta zona es una gran llanura litoral formada por materiales de la Era Cuaternaria del Holoceno, con alternancia de arenas, limos y arcillas. Los materiales sedimentarios provienen de la erosión de los relieves mesozoicos interiores y los marinos.

Los principales depósitos cuaternarios diferenciados son:

- **Limos de inundación**

Banda, adosada al cauce del río Júcar, de sedimentos finos (acarreo en suspensión), principalmente limos arenosos pardos con algún canto suelto. Su formación es consecuencia de las crecidas del río que provocan el desbordamiento del lecho mayor, depositando los materiales en los márgenes como consecuencia de la pérdida de energía.

- **Dunas litorales**

Se trata de un complejo eólico situado sobre el cordón litoral. Su formación está favorecida por el aporte fluvial del río Júcar, que proporciona el material básico, y por las corrientes litorales que lo depositan en el borde costero, formando las playas cuyo material es fácilmente transportable por los vientos dominantes, (NE-E).

El cordón litoral está formado por una parte más antigua (subfósil), que se presenta en mayor extensión, con mayor compactación debida a un pequeño aumento del material limo-arcilloso, y en parte fijado por la vegetación; y una parte más reciente que se deposita sobre la anterior, con escaso desarrollo y constituida por arenas blancas de cuarzo sueltas, completamente móviles.

- **Depósitos aluviales**

Alternancias de arcillas firmes y arenas densas (materiales indiferenciados).

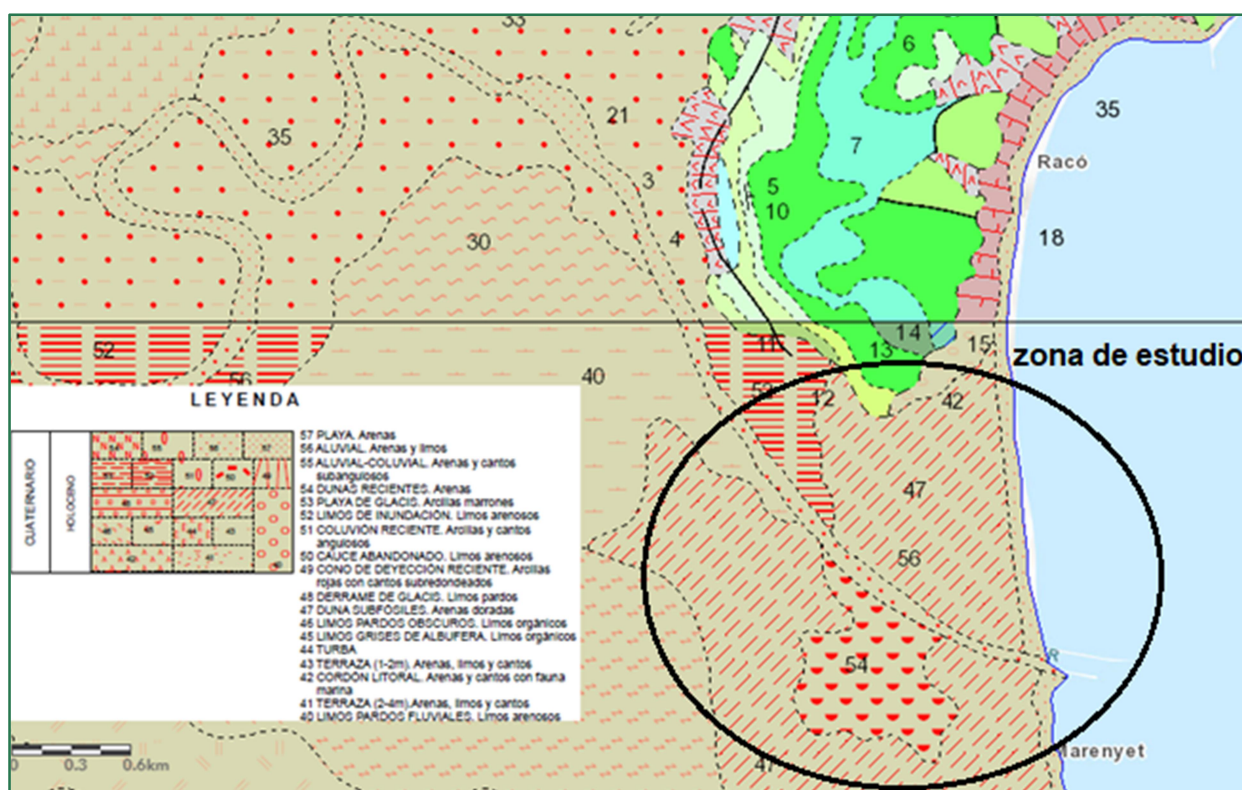


Figura 6.2. Mapa Geológico zona actuación a escala 1:50.000. Hojas 770 y 747

## 2.2. SISMICIDAD

La Norma de Construcción Sismorresistente (NSCE-02), establece que la peligrosidad sísmica, se define mediante un mapa del territorio nacional, confeccionado expresamente para este fin.

Dicho mapa suministra para cada punto del territorio, y expresa en relación al valor de la gravedad ( $g$ ), la aceleración sísmica básica ( $a_b$ ), que corresponde a un valor característico de la aceleración horizontal de la superficie del terreno, correspondiente a un periodo de retorno de 500 años. Este mapa, que se recoge a continuación, proporciona además los valores del coeficiente de contribución ( $K$ ), teniendo en cuenta la influencia en la peligrosidad sísmica, de cada punto, de los distintos tipos de terremotos considerados en el cálculo de la misma. El mapa nacional de peligrosidad sísmica es el siguiente:



Figura 6.3. Mapa de peligrosidad sísmica. (Fuente: NSCE-02)

Debe considerarse la clasificación de las construcciones recogida en la norma sismorresistente, en base al uso al que se destinan independientemente del tipo de obra que se trate, y que es la siguiente:

- De moderada importancia: Aquellas con probabilidad despreciable de que su destrucción por el terremoto pueda ocasionar víctimas, interrumpir un servicio primario, o producir daños económicos significativos a terceros.
- De normal importancia: Aquellas cuya destrucción por el terremoto, pueda interrumpir un servicio para la colectividad, o producir importantes pérdidas económicas, sin que en ningún caso se trate de un servicio imprescindible ni pueda dar lugar a efectos catastróficos.
- De especial importancia: Aquellas cuya destrucción por el terremoto, pueda interrumpir un servicio imprescindible o dar lugar a efectos catastróficos. En este apartado se recogen en la norma tecnológica diversas construcciones entre las que se incluyen infraestructuras básicas como puentes y principales vías de comunicación.

La aplicación de esta norma es obligatoria en el ámbito de aplicación establecido excepto en:

- Construcciones de importancia moderada.
- Edificaciones de importancia normal o especial en el caso de que la aceleración sísmica básica  $a_b$  sea inferior a  $0,04 \cdot g$ , siendo  $g$  la aceleración de la gravedad.
- En las construcciones de importancia normal con pórticos bien arriostrados entre sí en todas las direcciones cuando la aceleración sísmica básica sea inferior a  $0,08 \cdot g$ . No obstante, la norma será de aplicación en los edificios de más de siete plantas si la aceleración sísmica de cálculo,  $a_c$ , es igual o mayor de  $0,08 \cdot g$ .

Si la aceleración sísmica básica es igual o superior a  $0,04 \cdot g$  deberán tenerse en cuenta los defectos de los sismos en terrenos potencialmente inestables.

Según la lista del Anejo 1 de la norma, el municipio de Cullera presenta un valor de la aceleración sísmica básica ( $a_b$ ) de  $0,07 \cdot g$ , siendo  $g$  la aceleración de la gravedad; y un valor  $K = 1$ . Por tanto, es obligatoria la aplicación de la norma sismorresistente en los cálculos estructurales.

Dado que las estructuras proyectadas se encuentran dentro de obras clasificadas de importancia Normal y la aceleración básica para el municipio es inferior a  $0,08 \cdot g$ , según la norma, puede no considerarse el efecto sísmico sobre las mismas.

### **Aceleración sísmica de cálculo**

La aceleración sísmica de cálculo,  $a_c$ , se define como el producto:

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

Siendo:

$a_b$ : Aceleración sísmica básica

$\rho$ : Coeficiente adimensional de riesgo, función de la probabilidad aceptable que se exceda  $a_c$  en el período de vida para el que se proyecta la construcción. En este caso, su valor es 1,0 (construcciones de importancia normal).

$S$ : Coeficiente de ampliación del terreno. En este caso, como  $\rho \cdot a_b \leq 0,1 \cdot g$ , toma el valor:

$$S = \frac{C}{1,25}$$

$C$ : Coeficiente de terreno. Tiene en cuenta las características geotécnicas del terreno de cimentación. Los coeficientes que asigna la norma a cada tipo de terreno se muestran en la siguiente tabla 6.1:

Tipo de terreno	Coeficiente $C$
I	1,0
II	1,3
III	1,6
IV	2,0

Tabla 6.1 Coeficientes del Terreno. (Fuente: NSCE-02)

Según el estudio geotécnico se encuentran los siguientes niveles con espesores:



Estrato	Terreno	Tipo de terreno	Espesor (m)
Nivel A	Limos arenosos	IV	1,80
Nivel B	Arenas limosas uniformes	III	6,50
Nivel C	Arcillas grisáceas	IV	1,20
Nivel D	Arcillas margosas firmes	III	2,30

Tabla 6.2. Estratos diferenciados en la zona de estudio

El tipo de terreno presente en mayor proporción es el III, correspondiéndole un valor del coeficiente de terreno  $C$  de 1,6.

$S$ , por tanto, toma un valor de 1,28 y el valor de cálculo de la aceleración sísmica será:

$$a_c = S \cdot \rho \cdot 0,07 \cdot g = 0,879 \text{ m/s}^2$$

### 3. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

Se ha usado como texto de referencia la hoja 64 "Alcoy" del Mapa Geotécnico General del IGME, a escala 1:200.000.

#### 3.1. ENCUADRE GEOTÉCNICO

La zona de afección está ubicada en la Región I, que agrupa los materiales considerados como blandos o sueltos, y a su vez dentro del Área I3, e I2 en la zona final de desembocadura del río. Esta área comprende los terrenos de formación reciente. Es una zona eminentemente llana, con pendientes menores del 7%.

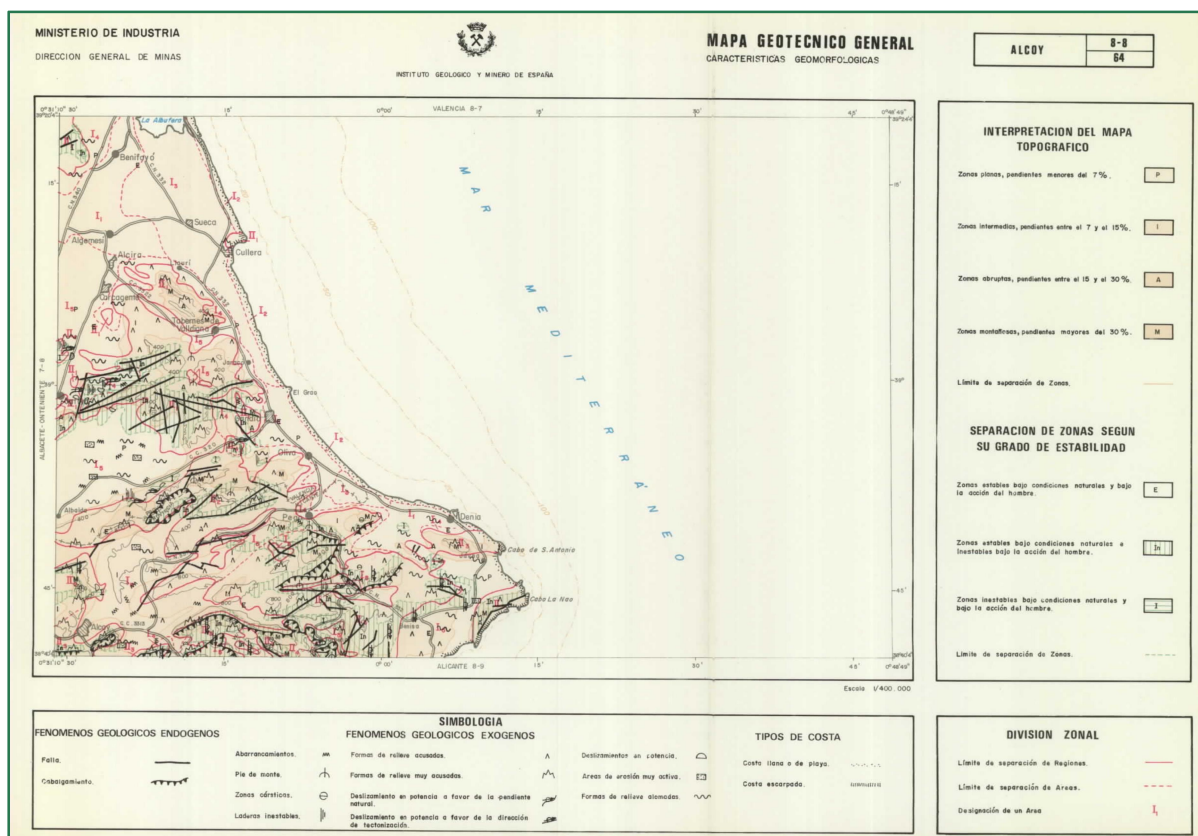


Figura 6.4. Características Geomorfológicas. Mapa Geotécnico General a escala 1:200.000. Hoja 64

En el caso del área I3, la litología está compuesta por arcillas y fangos orgánicos con algunas acumulaciones de turba, la potencia de estos materiales es de unos 4-6 m; en las zonas más profundas pueden alcanzar los 8-10 m; el sustrato de estos materiales son unas arcillas rojas compactas.

En el área I2 la litología está formada por arenas finas de playa, muy uniformes.

El área puede presentar problemas de tipo litológico, geotécnico e hidrológico. El comportamiento mecánico se caracteriza por capacidades de carga muy bajas ( $q < 1 \text{ kg/cm}^2$ ) y asientos elevados tanto para cargas medias como bajas. El nivel freático se encuentra en la superficie o próximo a ella.

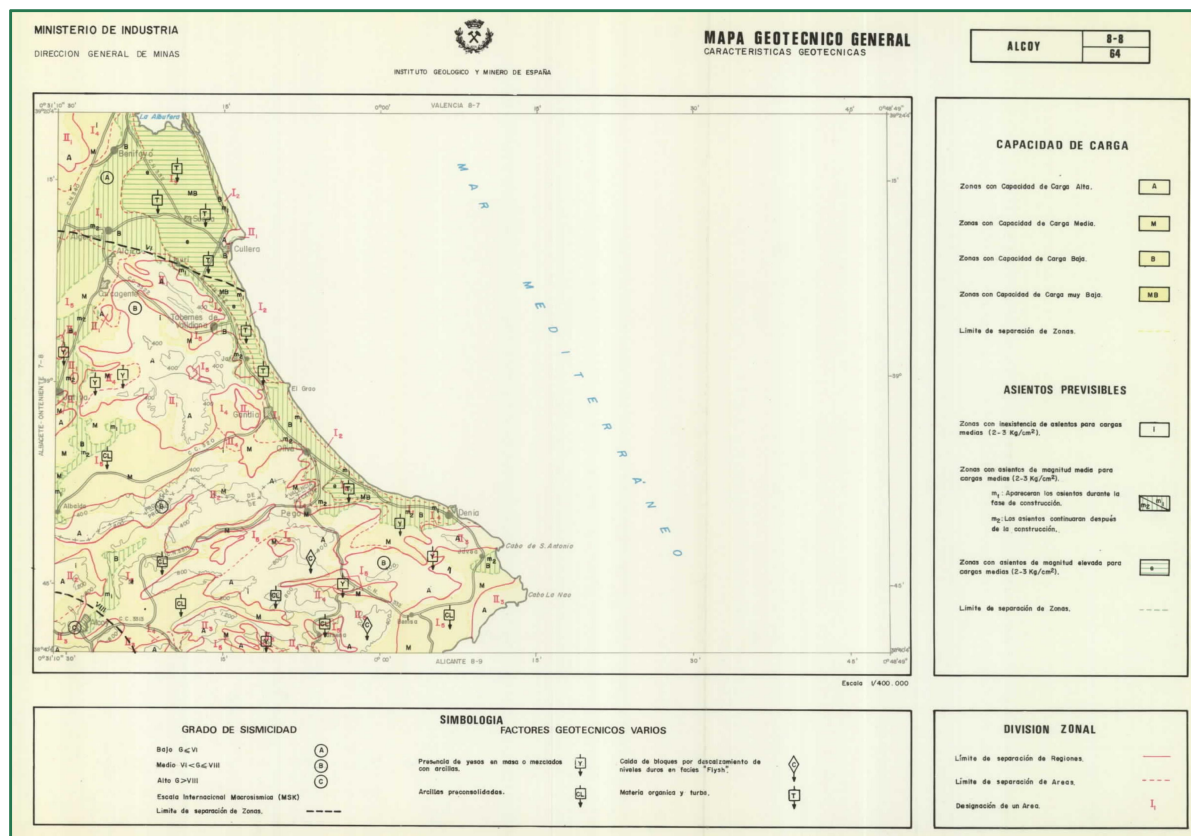


Figura 6.5. Características Geotécnicas. Mapa Geotécnico General a escala 1:200.000. Hoja 64

En cuanto a la capacidad de drenaje, se indica que es muy deficiente por estar la zona casi a la misma cota del mar, produciéndose encharcamientos; mientras que en el cordón costero el drenaje es favorable por percolación natural y los materiales son permeables.

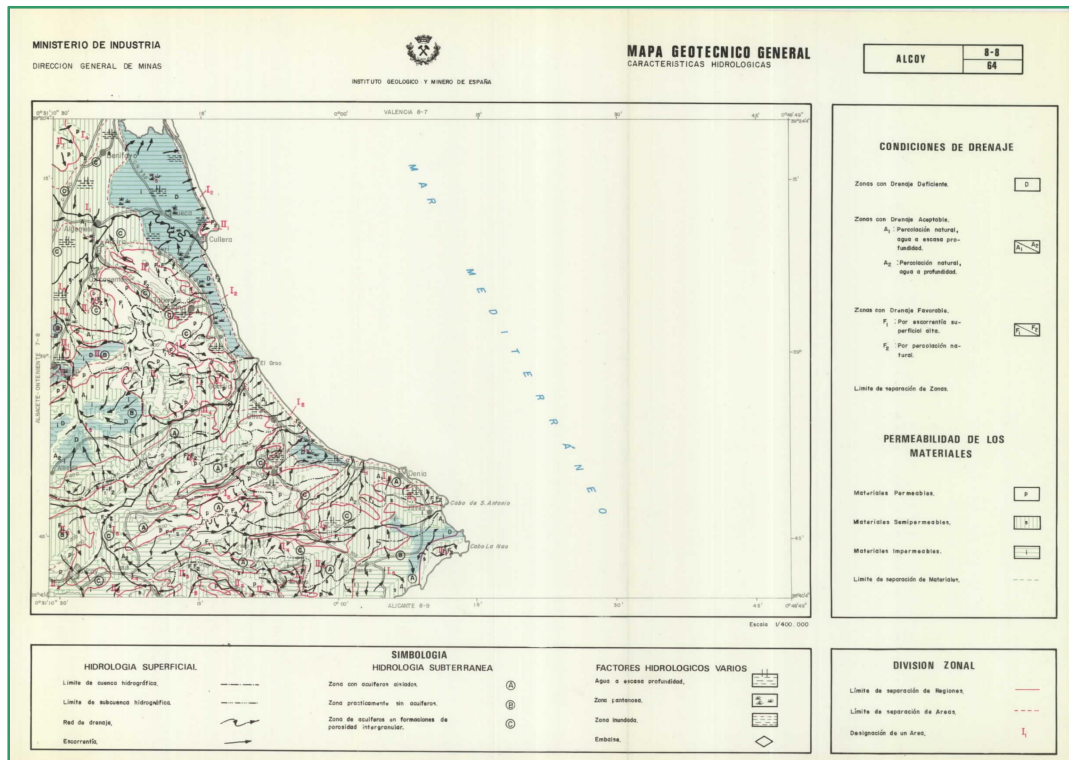


Figura 6.6. Características Hidrológicas. Mapa Geotécnico General a escala 1:200.000. Hoja 64

### 3.2. CAPACIDAD GEOTÉCNICA

El IGME clasifica la zona como "Terrenos con condiciones constructivas muy desfavorables", donde los problemas previsibles implican una incidencia constructiva muy acusada.

Los problemas que presenta el terreno de la zona de afección pueden resumirse en:

- Capacidad de carga baja
- Asientos importantes a corto y largo plazo
- Agresividad de las aguas
- Drenaje difícil





Para evaluar las características geotécnicas del suelo de la zona de construcción de las nuevas instalaciones, se debería de realizar un estudio geotécnico. Debido a que se trata de un trabajo académico y no se disponen de los medios necesarios, se emplea como documento base el trabajo mencionado anteriormente, elaborado por la empresa GIA.

El trabajo de campo realizado para este estudio consistía en un total de 15 sondeos rotativos en tierra, 15 penetraciones dinámicas y cinco calicatas, en cuyo interior se llevaron a cabo ensayos in situ y ensayos en laboratorio de las muestras extraídas.

## Ensayos para Identificación y Estado

- Granulométricos
- Ensayos determinación Límites de Atterberg
- Ensayos propiedades básicas: Humedad Natural, Densidad Aparente y Densidad Seca

### Ensayos para Resistencia y Deformabilidad

- Resistencia a compresión simple (RCS)
- Corte Directo (CD)
- Penetración Estándar (SPT)
- Ensayos Presiométricos Ménard
- Ensayos Edométricos

### Ensayos de Permeabilidad

- Ensayo Lefranc

### Ensayos químicos

- Contenido en Sulfatos Solubles
- Materia Orgánica
- Contenido en Sales Solubles

### **3.3.2. Niveles estratigráficos**

En el perfil geotécnico que se obtiene del estudio se distinguen los siguientes niveles:

Estrato	Tipo de suelo
Nivel 0	Rellenos y terreno vegetal
Nivel A	Limos arenosos
Nivel B	Arenas limosas uniformes
Nivel C	Arcillas grisáceas
Nivel D	Arcillas margosas firmes
Nivel E	Arenas limosas cementadas

*Tabla 6.3. Niveles estratigráficos*

#### **Nivel 0. Rellenos y Terreno vegetal**

Es el primer nivel de la serie estratigráfica y está formado por unas arenas limosas de tonalidad marrón con restos de raíces asociados a la capa vegetal superior, presenta reducida potencia en torno a 0,50 m.

#### **Nivel A. Limos inundación**

Tramo de limos de inundación a base de limos arcillosos de color marrón oscuro con restos de materia orgánica. En general este nivel presenta suelos de baja capacidad portante y compacidad.

#### **Nivel B. Arenas limosas uniformes**

Se trata de un nivel formado por arenas uniformes mal gradadas de origen marino presenta tonalidades marrón-grisáceas, consolidadas, con plasticidad nula y sin zonas cementadas. Según ensayos la compacidad es suelta.

### **Nivel C. Arcillas limosas grisáceas**

Nivel de reducida potencia de arcillas grisáceas de consistencia blanda. Presentan una plasticidad media-alta con un apreciable contenido en materia orgánica, con densidades bajas y estructura interna abierta.

### **Nivel D. Arcillas margosas**

Es el último nivel de la serie estratigráfica formado por arcillas margosas con tonalidades marrón-verdosas con pasadas arenosas, de plasticidad media a baja y normalmente consolidadas.

### **Nivel E. Arenas limosas con pasadas arcillosas**

Este nivel aparece alternado con el anterior, está formado por unas arenas limosas ocre que contienen niveles carbonatados que le confieren una cementación muy variable formando costras calcáreas. Presentan compacidad media.

En la siguiente tabla 6.4 se resumen los parámetros geotécnicos de los diferentes estratos obtenidos en los ensayos del estudio citado.

Estrato	Identificación y estado	Parámetros resistentes					Parámetros deformacionales
		Corto plazo			Largo plazo		Elásticos
		SUCS	q <sub>u</sub> (kPa)	C <sub>u</sub> (kPa)	φ <sub>u</sub> (°)	C' (kPa)	φ'(°)
A	ML	-	-	-	0,0	27	900
B	SM-SP	-	-	-	0,0	31	1500
C	CI-CH	6,0	3,0	0	0,0	25	400
D	CL	21,0	10,5	-	1,0	30	2000-2500
E	SM	-	-	-	0,0	33	3000

Tabla 6.4. Parámetros geotécnicos

### **3.3.3. Nivel freático**

Según el "Trabajo geotécnico de la empresa GIA", el nivel freático se encuentra a una cota que varía entre **1,00 y 1,50 metros**, generalmente asociado al río Júcar, dada la permeabilidad de los terrenos atravesados los acuíferos de ambas orillas están totalmente comunicados con el río.

### **3.3.4. Agresividad de las aguas**

Dada la proximidad, de la zona de las nuevas instalaciones, al mar Mediterráneo, las aguas del río presentan un alto contenido en sulfatos. Las propias sales del mar junto con la materia orgánica presente en el suelo, hasta un 3,2% en ciertas zonas según el estudio, hacen que las aguas del entorno a las obras sean altamente agresivas frente al hormigón.

## **4. CONCLUSIONES**

Las obras estructurales que se pretenden implantar se asientan sobre terrenos arenosos y limosos. Se extraen del análisis del Estudio geológico y geotécnico de apoyo las siguientes consideraciones.

#### 4.1. MATERIALES A UTILIZAR

A partir de los resultados obtenidos en el Estudio consultado se recomienda el uso de cementos resistentes a las aguas agresivas. Se seguirán las prescripciones del *Pliego para la Recepción de Cementos (RC-97)* eligiendo cementos resistentes a la acción de sulfatos y del agua del mar (SR y MR).

Para conseguir una durabilidad adecuada de los elementos de hormigón estructural se deberá emplear materiales con características acorde con los criterios indicados en la Instrucción de Hormigón.

Según los criterios establecidos en la normativa de "*Instrucción de Hormigón Estructural EHE*" (2008), en su **Capítulo II (apartado 8.2.3, tabla 8.2.3.b)**, en la cual se establecen los tipos de exposición en función de los parámetros de la agresividad química de agua y de suelo, se define una clase general de exposición relativa a la corrosión de las armaduras del tipo marina, subclase Aérea (IIIa), siendo el tipo de proceso de degradación el de corrosión por cloruros.

El contenido en sulfatos solubles de las muestras de suelo analizadas ha resultado ser, como valor máximo, de 669 mg/kg, lo cual caracteriza al nivel considerado como un ambiente Qa, agresividad débil frente al hormigón.

Las aguas freáticas analizadas presentan una agresividad media al hormigón, indicativo de un ambiente Qb.

La resistencia mínima del hormigón para la clase de exposición IIIa será de 20 N/mm<sup>2</sup> para hormigones en masa y de 30 N/mm<sup>2</sup> para el hormigón estructural.

El contenido mínimo en cemento será de 300 kg/m<sup>3</sup> y la relación a/c tendrá un mínimo de 0,50.

#### 4.2. EXCAVABILIDAD DEL TERRENO

Los materiales registrados podrán ser excavados mediante medios convencionales tales como máquina retroexcavadora.

Deberán tomarse las medidas oportunas para garantizar la estabilidad de las excavaciones debido a la inestabilidad del terreno.

Se recomienda el empleo de métodos de sostenimiento, provisionales y/o definitivos según sean necesarios, siguiendo las especificaciones de las correspondientes Recomendaciones para Obras Marítimas.

#### 4.3. CIMENTACIÓN

Se recomienda no cimentar sobre niveles de suelos alterados o con gran contenido en materia orgánica, así como sobre niveles de rellenos antrópicos no controlados.