



## **ANEJO Nº 2- GEOLOGÍA Y GEOTECNIA**



## ÍNDICE:

### 1- INTRODUCCIÓN.

- 1.1- ANTECEDENTES.
- 1.2- OBJETO DEL ESTUDIO.
- 1.3- INFORMACIÓN PREVIA.
  - 1.3.1- Situación del punto estudiado.
  - 1.3.2.- Situación geográfica.
  - 1.3.3.- Geología local.

### 2- TRABAJOS NECESARIOS.

- 2.1- TRABAJOS DE CAMPO.
  - 2.1.1- Sondeos mecánicos.
  - 2.1.2- Toma de muestras.
  - 2.1.3- Ensayos SPT.
- 2.2- ENSAYOS DE LABORATORIO.
- 2.3- TRABAJOS DE GABINETE.
  - 2.3.1- Presiones de seguridad frente a hundimiento.

### 3- CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL TERRENO.

- 3.1- NIVELES GEOTÉCNICOS.
- 3.2- PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO.
- 3.3- MODELO GEOTÉCNICO DEL TERRENO.
  - 3.3.1- Obtención de los parámetros resistentes y de deformabilidad.

### 4- PARÁMETROS DE CIMENTACIÓN.

- 4.1- TENSION ADMISIBLE DEL TERRENO.
  - 4.1.1 Tensión admisible del terreno bajo el marco.
  - 4.1.2 Tensión admisible del terreno bajo las aletas.
- 4.2- COEFICIENTE DE BALASTO.
- 4.3- ÁNGULO DE ROZAMIENTO.



### **1. INTRODUCCIÓN:**

#### **1.1. ANTECEDENTES:**

Se ha realizado la investigación geotécnica del subsuelo del terreno en la zona del paso inferior de Drenaje Transversal bajo la pista de aterrizaje del aeródromo "El Castaño" situado en Ciudad Real.

#### **1.2. OBJETO DEL ESTUDIO:**

La finalidad del presente estudio es la caracterización geológica y geotécnica de la zona objeto del trabajo, analizando diversos aspectos que inciden en la construcción de la estructura singular del paso inferior.

En principio, las incógnitas del problema geotécnico a resolver son las siguientes:

- a) Definición de la estratigrafía superficial.
- b) Caracterización geomecánica de los niveles afectados.
- c) Características hidrogeológicas.
- d) Obtención de las tensiones admisibles por el terreno para la cimentación de la estructura.

#### **1.3. INFORMACIÓN PREVIA:**

##### **1.3.1. Situación del punto estudiado:**

El drenaje transversal se sitúa bajo el aeródromo de "El Castaño" en la población de Luciana (Ciudad Real), junto a la carretera nacional N-430.

##### **1.3.2. Situación geográfica:**

El aeródromo de "El Castaño" se localiza en la población de Luciana, en la provincia de Ciudad Real. Limita al norte con el término municipal de Piedrabuena; al sur con el Abenójar; al este con Pozuelos de Calatrava y al oeste las poblaciones de Saceruela y Puebla de Don Rodrigo. Está situada a 38Km de Ciudad Real.

Junto al aeródromo tiene paso la carretera Nacional N-430.



### 1.3.2. Geología local:

La zona interesada se localiza al sureste de la Hoja Nº 758 (17-30), (EL CHIQUERO) del Mapa geológico de España, a escala 1/50.000, editado por el IGME.

Se sitúa en las estribaciones de Montes de Toledo.



### · Tectónica:



## ANEJO Nº 2- GEOLOGÍA Y GEOTECNIA



La Hoja de Casas del Río está constituida fundamentalmente por materiales paleozoicos, y algunos depósitos sedimentarios y volcánicos cenozoicos y cuaternarios.

Los depósitos terciarios y cuaternarios y las rocas eruptivas asociadas pertenecen a la extremidad occidental de los Campos de Calatrava. Los materiales más antiguos conocidos en la región son de edad precámbrica. Sobre ellos se dispone discordantemente el Ordovícico. El resto de la sucesión paleozoica alcanza hasta el Devónico superior, que ha quedado conservado en algunas estructuras sinclinales.

La estructura principal es de edad hercínica, aunque durante el Precámbrico superior y el Cámbrico tuvieron lugar etapas de diastrofismo que se manifiestan actualmente como discordancias en el registro estratigráfico.

La estructura regional consiste en pliegues de dirección NO-SE a E-O con recorridos kilométricos afectados en mayor o menor grado por deformaciones tardías. Hacia el sector oriental de la región, donde se sitúa la Hoja de Casas del Río, el cuadro estructural varía, dominando un diseño de interferencia de domos y cubetas. Varios sistemas de fracturas completan el marco estructural.

Los materiales precámbricos y paleozoicos no han experimentado metamorfismo regional, manteniéndose en ambiente de anchizona. Las intrusiones de granitoides tardihercínicos son prácticamente inexistentes, aunque en el Paleozoico inferior sí se conoce una actividad magmática de carácter efusivo.

Los materiales terciarios y cuaternarios se disponen discordantemente sobre el zócalo paleozoico. Su depósito está en relación con las etapas de tectónica extensional y vulcanismo que tuvieron lugar con posterioridad a la tectogénesis alpina en las Cordilleras Béticas y Celtibéricas.

### **Estratigrafía:**

En la región de estudio aparecen materiales del Precámbrico, Ordovícico, Terciario y Cuaternario.

#### **✓ Precámbrico:**

Los materiales atribuibles a esta edad están formados fundamentalmente por pelitas y grauvacas en facies turbidíticas (que incluyen niveles con abundantes cantos blandos y conglomerados). Sus afloramientos se limitan a la terminación oriental del Anticlinorio de Navalpino, en el extremo noroeste de la Hoja, y al Anticlinal del Bullaquejo, en la zona centro oriental. Sin embargo debe estar también presente bajo un delgado recubrimiento de sedimentos pliocenos y cuaternarios en el Domo del Bullaque entre las Sierras de la Bigotera y Tierras Buenas, al noroeste de los afloramientos del Bullaquejo.

Los afloramientos de las limolitas, perlitas, gravacas y conglomerados dan lugar a zonas suavemente deprimidas bajo los relieves ocasionados por las cuarcitas y





conglomerados del Ordovícico inferior, aparecen siempre muy recubiertos por sedimentos pliocenos, depósitos de rañas y derrubios de ladera.

Se trata de alternancias decimétricas a métricas de lutitas y grauvacas que presentan una típica coloración verde oliva en fresco y parda por alteración. Las grauvacas son ocasionalmente de grano grueso a conglomeráticas, pudiéndose agrupar en intervalos métricos con escasa presencia de lutitas separados por otros de espesor semejante con predominio de facies finas.

### ✓ **Ordovícico:**

Los materiales del Ordovícico se disponen mediante discordancia angular sobre el Precámbrico. La sucesión ordovícica comienza con los sedimentos cuarcítico-pizarrosos con conglomerados hacia la base de la Serie intermedia o Púrpura, a las que le siguen las Cuarcitas armoricanas del Arenig, culminadas por las alternancias arenisco-pizarrosas de Pochico de edad Arenig-Llanvirn. A continuación aparece un potente conjunto de pizarras grises o negruzcas con Neseuretus entre las que se intercalan materiales de origen volcánico y alternancias de areniscas y pizarras conocidas como Areniscas de los Rasos que representan el Llanvirn y Llandeilo inferior. Estos materiales afloran extensamente en todas las estructuras hercínicas de la Hoja.

-Cuarcitas, limotitas y pizarras. Ordovícico inferior: Afloran extensamente en los núcleos de los anticlinales y domos presentes en la Hoja. Los términos inferiores constituidos por conglomerados y/o cuarcitas dan lugar a resaltes morfológicos estructurales mientras que los niveles superiores con predominio de alternancias lutítico-cuarcíticas originan zonas alomadas suavemente deprimidas entre los niveles inferiores.

Al microscopio son arenitas gruesas y microconglomeráticas formadas por granos predominantemente subredondeados de cuarzo y una proporción variable de fragmentos de cuarcitas y sílex con epimatriz sericítica escasa. Las texturas son cuarcíticas con gran desarrollo de los contactos de presión-solución.

Se encuentran intensamente recristalizados y fracturados lo que dificulta la observación de sus características sedimentológicas. En afloramientos aislados se observa la presencia de laminación cruzada de gran escala tabular y en surco de varios centímetros de altura, con gran dispersión de paleocorrientes.

-Ortcuarcitas. Arenigiense: por su resistencia a la erosión constituyen el principal elemento constructor del relieve de la región, dando lugar a la más importantes sierras y cotas topográficas que forman alineaciones que se siguen a lo largo de muchos kilómetros, en cuyas vertientes se acumulan potentes depósitos coluviales. Son un excelente nivel de referencia para reconstruir la macroestructura hercínica de la zona. Afloran extensamente en toda la Hoja formando flancos de las principales estructuras.



-Areniscas, areniscas micáceas, cuarcitas y pizarras: en los flancos de los sinclinales y cuando los oluviones que tapizan las verticales de las sierras constituidas por la cuarcita armoricana lo permiten, aflora una serie alternante de areniscas, cuarcitas y pizarras asimilable por sus características y posición estratigráfica a las "Capas o Alternancia de Pochico" de sierra Morena Oriental. Se presenta intensamente deformada, con pliegues disarmónicos que falsean el espesor real en su representación cartográfica. El contacto con las pizarras superiores suele estar mecanizado.

Las muestras estudiadas son cuarcitas de grano fino, a veces limolíticas, formadas por granos subangulosos de cuarzo y una proporción estimable de óxido de hierro asociados a minerales pesados que tienden a concentrarse en micro bandas paralelas.

- Pizarras con Neseuretus: sus principales afloramientos se localizan en la Cubeta de Horniasaltas (sur de Casas del Río) y en el flanco norte del Sinclinal de Puebla de Don Rodrigo a lo largo de la margen derecha del río Guadiana.

Esta unidad pizarrosa da lugar a zonas deprimidas, frecuentemente cubiertas por depósitos de Raña y abanicos aluviales cuaternarios. Se presenta intensamente afectada por la incisión cuaternaria de los barrancos y arroyos afluentes del río Guadiana, presentando un desarrollo local de cárcavas.

Las "Capas de Pochino" pasan gradual pero rápidamente a un conjunto de pizarras orcuras, negras en fresco, más o menos micáceas, que está afectado muy penetrativamente por la esquistosidad hercínica, siendo por tanto muy difícil distinguir la superficie de estratificación original.

### ✓ **Terciario:**

Los materiales terciarios existentes en la Hoja de Casas del Río están constituidos por sedimentos terrígenos y carbonatados, conglomerados ferruginosos y materiales volcánicos. Los sedimentos rellenan las Cuencas de Porzuna, El Casajero y Piedrabuena-Bullaque.

En los Campos de Calatrava y Montes de Toledo meridionales aparecen corazas ferruginosas que se sitúan discordantes sobre el sustrato paleozónico y bajo los sedimentos neógenos y cuaternarios.

Los conglomerados, areniscas, arenas y fangos variolados se sitúan discordantes sobre diferentes términos del Precámbrico y Ordovícico. Rellenan las Cuencas o Cubetas de Piedrabuena-Bullaque, Porzuna y El Casarejo. Se encuentran en disposición subhorizontal o suavemente deformados, en la zona de Piedrabuena, como consecuencia de la actividad volcánica postalpina. Los afloramientos de esta unidad dan lugar a zonas deprimidas, frecuentemente fosilizadas por los materiales de la Raña, siendo escasos y parciales los cortes que permiten su estudio.



### ✓ Cuaternario:

Los principales trabajos sobre la sedimentación reciente próximos a la zona ocupada por la Hoja de Casas del Río se centran en el sector suroriental de los Montes de Toledo y Campos de Calatrava.

Gravas, cantos y bloques de cuarcitas con matriz fangosa. Rañas. Coluvial: los sedimentos pertenecientes a esta unidad son claramente extensivos sobre las formaciones detríticas del Plioceno inferior a los que se superponen algunas de las cuencas intramontañosas existentes en la Hoja. Estos materiales se sitúan sobre planicies con pendiente apreciable cuyo topónimo local: Rañas, ha dado lugar al nombre de esta formación en los Montes de Toledo. Es frecuente que la Raña se adose a los relieves formados por los sedimentos cuarcítico areniscosos del Ordovícico inferior, que originan los resaltes estructurales más relevantes de la zona, existiendo una total continuidad entre ellas y los coluviones que tapizan las vertientes. Estos coluviones tienen morfología de glacis coluvial y se diferencian de la Raña por presentar un mayor tamaño de grano y morfoscopía más angulosa.

Abanicos aluviales: se han diferenciado en la cartografía un conjunto de depósitos formados por gravas y cantos subredondeados a subangulosos de cuarcita, cuarzo, areniscas cuarcíticas y localmente pizarras con matriz arenoso-limosa que corresponden a abanicos aluviales y conos de deyección.

Los abanicos aluviales se sitúan en las salidas hacia las depresiones de los barrancos mayores. Los principales se sitúan al pie de la Sierra de Utrera, Cerro de Carraón en el noreste de la Hoja, relacionados con los barrancos del Roblillo, Camellar y Media Legua. Tienen dimensiones kilométricas expandiéndose sobre la Depresión de Casas del Río.

Terrazas. Pleistoceno: se localizan dos niveles de terrazas para el río Guadiana. En el recorrido de dicho río por la Llanura Manchega, no representa terrazas. Es a partir de lo que denomina zona de transición situada en la hoja 18-30: Pedrabuena y constituida por los primeros afloramientos paleozoicos, cuando el Guadiana presenta un cauce definido y su valle es un valle de erosión normal con encajamiento a lo largo del Cuaternario y desarrollo de terrazas, cuyos materiales no pueden proceder de la zona manchega sino de sus afluentes que atraviesan zonas paleozoicas.





## ANEJO Nº 2- GEOLOGÍA Y GEOTECNIA

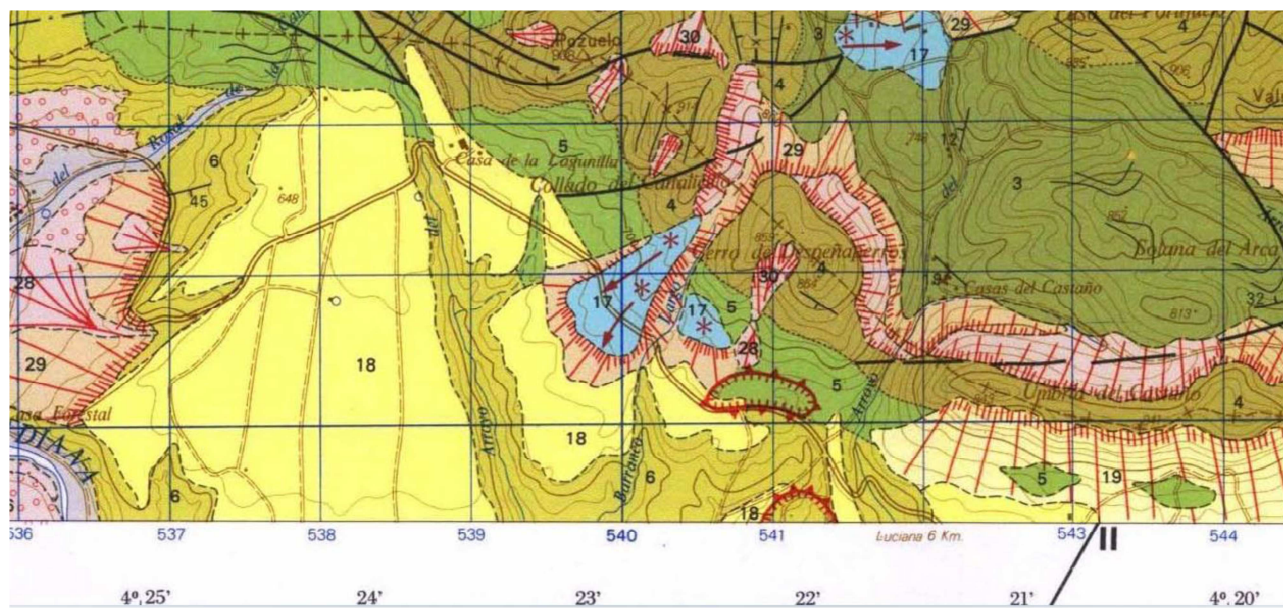


Figura 1: Recorte de la hoja 758 del Instituto Geológico Minero de España.

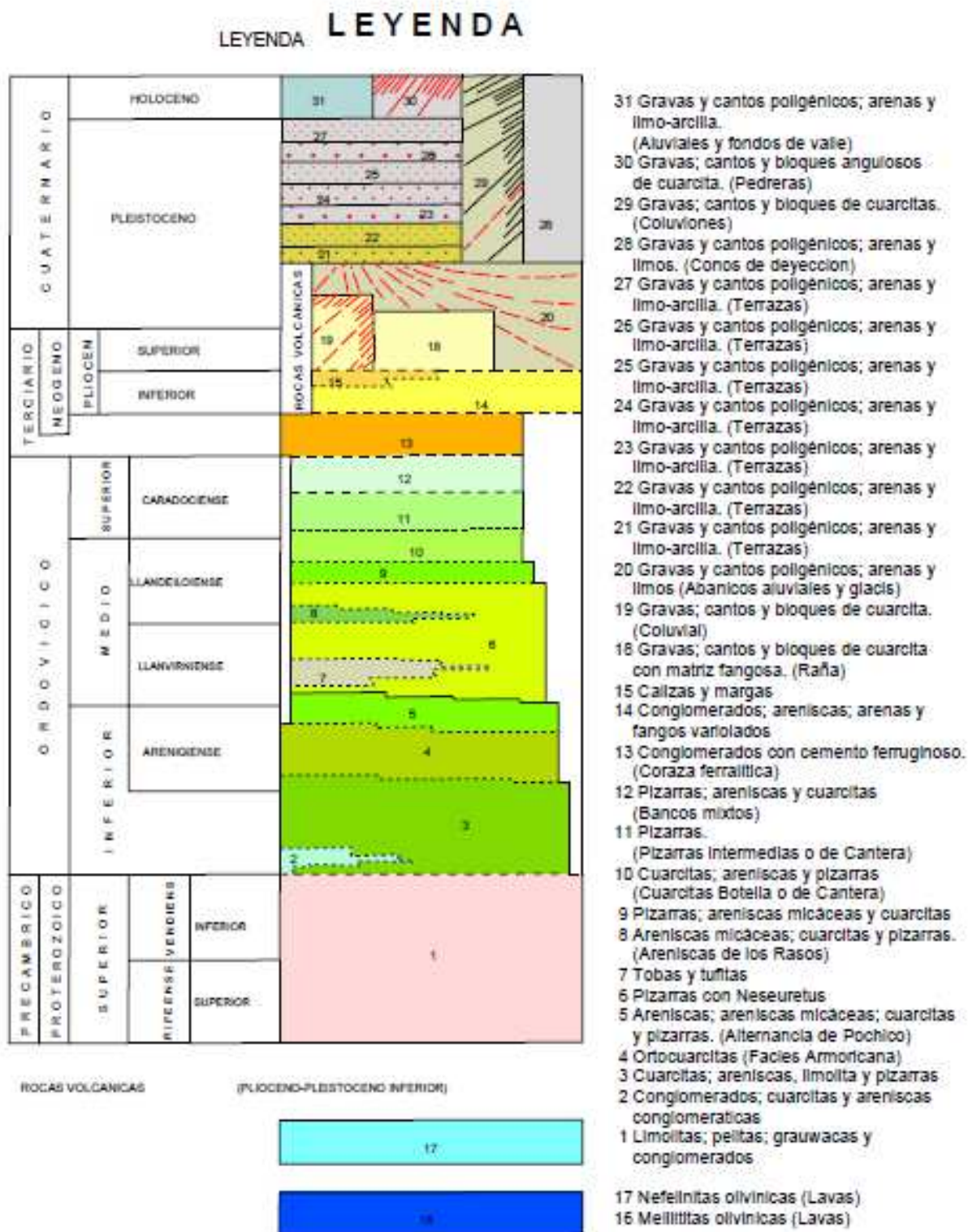


Figura 2: Leyenda de la hoja 758 del Instituto Geológico Minero de España.



La zona de estudio se encuentra sobre un terreno de tipología entre 18, 28 y 17, como se puede ver en la imagen anterior, estos números se corresponden con:

28: Se trata de gravas y cantos poligénicos, arenas y limos pertenecientes a antiguos conos de deyección. Los conos de deyección tienen dimensiones hectométricas (en ocasiones kilométricas). Se sitúan en las zonas de apertura de barrancos menores superponiéndose a terrazas o llanuras aluviales.

18: Se trata de gravas, cantos y bloques de cuarcita con una matriz fangosa, a esta unidad se la suele llamar "Raña". Los sedimentos pertenecientes a esta unidad son claramente extensivos sobre las formaciones detríticas del Plioceno inferior que se superponen en algunas de las cuencas intramontañosas de la zona. Estos materiales se sitúan sobre planicies con pendiente apreciable cuyo topónimo local es Raña. La Raña ha dado lugar al nombre de esta formación en los Montes de Toledo. Es frecuente que la Raña se adose a los relieves formados por los sedimentos cuarcíticos del ordovícico inferior, que originan los resaltes estructurales más relevantes de la zona, existiendo una total continuidad entre ellas y los coluviones que tapizan las vertientes. Estos coluviones tienen morfología de glacis coluvial y se diferencia de la Raña por presentar un mayor tamaño de grano y morfoscopia más angulosa. La Raña constituye un glacis de pie de monte. Está constituida por gravas, cantos y bloques de cuarcita y cuarzo, con matriz arenosa. Los tamaños máximos oscilan entre 20 y 40 cm en cuarcita y el tamaño medio entre 3 y 10 cm. La morfología es subangulosa-subredondeada.

17: Se trata de nefelinitas olivínicas de lava con rocas volcánicas del plioceno y pleistoceno inferior, pertenecientes a antiguos volcanes existentes en la zona. Están constituidos esencialmente por rocas masivas lávicas, los productos piroclásticos, que se duda debieron existir, han sido erosionados en su mayor parte. En la actualidad solo se conservan la que debieron ser chimeneas de los antiguos volcanes y, en algunos casos restos de pequeñas coladas.

## **2. TRABAJOS NECESARIOS:**

### **2.1. TRABAJOS DE CAMPO:**

Para la realización del estudio geotécnico se han llevado a cabo los siguientes trabajos de campo:

Se realizaron un total de 35 calicatas y la toma de 10 muestras para ensayar en laboratorio. Los sondeos son realizados mediante el sistema de perforación rotativo, con extracción continua de testigos.



MUESTRAS	CALICATAS	TERRENO	ENSAYO
220	Calicata 1	Coluvial	Identificación
221	Calicata 3	Coluvial	Identificación
221	Calicata 9	Raña	Identificación
223	Calicata 7	Coluvial	Identificación
224	Calicata 16	Coluvial	Identificación
225	Calicata 22	Coluvial	Identificación
226	Calicata 23	Arcillas	Colapso e Identificación
227	Calicata 35	Raña	Identificación
228	Calicata 30	Raña	Identificación
229	Calicata 25	Raña	Identificación

Tabla 1. Muestras tomadas en las calicatas

### 2.1.1. Sondeos mecánicos:

Perforado con equipo de sondeos a rotación, con un varillaje de masa 7,252 kg/m y diámetro  $\varnothing = 50$  mm. El método de perforación es por rotación. Se emplearon tubos testigüeros simples y dobles, tipo GMC, provistos de corona de perforación con widia, de diámetro  $\varnothing = 86 - 101$  mm. No se precisó entubación de revestimiento en los sondeos. Los detalles se pueden consultar en las actas de resultados de los sondeos en los apéndices finales.

### 2.1.2. Toma de muestras:

Se tomaron muestras inalteradas, a las profundidades detalladas en la correspondiente memoria de sondeo, mediante el tomamuestras de pared gruesa (MI). El ensayo se realiza de acuerdo con la norma XP P94-202, empleando tubos de pared gruesa mediante golpeo (masa 115,0 kg y frecuencia de golpeo  $< 30$  golpes/min), siendo la longitud recuperada en todas ellas de 60 cm. El método operatorio, permite determinar el número de golpes para avances de 15 cm, lo que proporciona una idea orientativa de la consistencia del terreno, aplicando las correlaciones y reducciones necesarias.

### 2.1.3. Ensayos SPT:

Mediante la cuchara de cilindro partido, normalizada por Terzaghi, se tomaron muestras, mediante la hincada dinámica, a las profundidades detalladas en la memoria de sondeo.

Como es usual, se simultaneó la toma de muestras registrando el número preciso para hincar los 30 cm finales de un total de 45; operación realizada a tramos





## ANEJO Nº 2- GEOLOGÍA Y GEOTECNIA



de 15 cm. Este ensayo de penetración dinámica se denomina SPT (Standard Penetration Test). Su técnica operativa así como la energía y cantidad de movimiento, por la caída libre de la maza, están normalizadas en la norma (UNE 103.800-92).

### 2.2. ENSAYOS DE LABORATORIO:

Los ensayos realizados, y sus normas, han sido los siguientes:

ENSAYOS BÁSICOS			NORMATIVA			
GRUPO	ENSAYO	Nº	UNE	NLT	ASTM	EHE
Clasificación	Límite plástico	10	103-104	106	D4318	---
	Límite líquido	10	103-103	105	D4318	---
	Granulometría	10	103-101	104	D422	---
Volumétricas	Humedad	10	103-300	102	D2216	---
	Densidad aparente	2	103-301	---	---	---
	Densidad relativa partículas	0	103-302	---	---	---
Resistencia	Compresión simple	2	103-400	202	D2166	---
	Corte directo	4	103-401	---	D3080	---
Deformabilidad	Consolidación edométrica	2	103-405	---	D2435	---
	Hinchamiento Lambe	0	103-600	---	---	---

### CUADRO DE MAGNITUDES CARACTERÍSTICAS ATRIBUIDAS:

$\gamma$	Peso específico aparente	kN/m <sup>3</sup>
$C_u$	Cohesión sin drenaje	kPa
$C'$	Cohesión efectivas	kPa
$\phi'$	Ángulo de rozamiento interno efectivas	°
$E_u$	Módulo de deformación sin drenaje	MPa
$E'$	Módulo de deformación efectivas	MPa
$E_m$	Módulo de deformación edométrico	MPa
$\nu$	Coefficiente de Poisson	
$k$	Coefficiente de permeabilidad	m/s





### 2.3. TRABAJOS DE GABINETE:

#### 2.3.1. Presiones de seguridad frente a hundimiento:

A partir de los parámetros geotécnicos de resistencia se han calculado las tensiones de hundimiento, para el empotramiento del cimiento Dfo, para la estructura estudiada.

Se han comprobado, para condiciones sin drenaje y drenadas las correspondientes presiones de hundimiento para diferentes razones del coeficiente de forma L/B, ya que el terreno bajo la cimentación es granular.

### 3. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL TERRENO:

#### 3.1. NIVELES GEOTÉCNICOS:

En general se ha podido diferenciar la siguiente secuencia estratigráfica:

- **Depósitos coluviales a base de cantos heterométricos de canto variable**, cantos angulosos. Contamos con 5 muestras. El porcentaje de material que pasa por el tamiz número 200 es inferior al 50%, por lo que se trata de un material tipo grueso y se clasifican este primer nivel como unas gravas arenosas-arcillosas, el límite líquido es de 28,28, por lo que presenta plasticidad media-baja, sin embargo remarcar que los CBR medios obtenidos para el 95 % del PM en estos materiales es superior a 10 en todos los casos. Este nivel está formado por material aluvial de bolos con arenas de tonos grises marrones. Los bolos alcanzan hasta tamaños métricos y son angulosos. La potencia de este nivel es de entre 1 y 1.5 metros. El material no presenta ninguna cantidad de sulfatos pero si de carbonatos en cantidades elevadas. El resto de parámetros determinantes para obtener la calidad del material se detallan en la siguiente tabla:

ABANICO ALUVIAL	M 220	M 221	M 223	M 224	M 225
Materia orgánica	0,23	0,27	0,3	0,21	0,3
Contenido en yeso	0	0	0	0	0
Contenido en sales solubles	0,4	0,2	0,3	0,2	0,3
Límite Líquido	25	42,2	25	21	28,2
Índice de colapso	0	0	0	0	0
Hinchamiento libre	0	0	0	0	0

Tabla 2. Datos de las muestras tomadas en los depósitos aluviales.



## ANEJO Nº 2- GEOLOGÍA Y GEOTECNIA



ABANICO ALUVIAL	DATOS MUESTRA	PG-3 Y NORMA 6.1 IC
Materia Orgánica	0,26	< 2%
Contenido en yeso	0,00	< 5%
Contenido en sales solubles	0,28	< 1%
Límite Líquido	28,28	< 6%
Índice de colapso	0,00	< 1%
Hinchamiento Libre	0,00	< 3%
<b>RESULTADO</b>	<b>SUELO TOLERABLE</b>	

Tabla 3. Tabla resumen calidad del material aluvial.

El CBR del material para el 95% (en función del Proctor) es superior a 10 en todos los casos, por lo que cumple el CBR de un suelo seleccionado. Si comparáramos los datos de la muestra con los datos de un suelo adecuado, se comprobaría que únicamente no cumple para el contenido de sales solubles, por tan solo 0.08%. Por lo que se reitera la calidad de los materiales por tratarse prácticamente de un suelo adecuado.

- **Arenas limosas (raña) con cantos cuarcíticos, de tamaño variable y tonalidad rojiza.** Contamos con 4 muestras, clasificándose como una arena arcillosa, el porcentaje de material que pasa por el tamiz número 200 es inferior al 50%, por lo que se trata de un material tipo grueso. Este episodio de rañas está compuesto por arenas limosas de color rojizo con gravas cuacitosas. La potencia de este nivel no se puede corroborar, ya que las cotas son tan solo de unos 3 metros, pero a priori se puede avanzar que aproximadamente tendrían una potencia de más de un metro. El límite líquido es de 27.13, por lo que el material presenta cierta plasticidad. El material no presenta ninguna cantidad de sulfatos pero si de carbonatos en cantidades elevadas. El resto de parámetros determinantes para obtener la calidad del material se detallan en la siguiente tabla:

RAÑA	M 222	M 227	M 228	M 229
Materia orgánica	0,34	0,32	0,24	0,21
Contenido en yeso	0	0	0	0
Contenido en sales solubles	0,3	0,4	0,4	0,3
Límite Líquido	30	25,5	27	26
Índice de colapso	0	0	0	0
Hinchamiento libre	0	1.7	1.4	1.8

Tabla 4. Datos de las muestras tomadas en los depósitos de raña.



## ANEJO Nº 2- GEOLOGÍA Y GEOTECNIA



ABANICO ALUVIAL	DATOS MUESTRA	PG-3 Y NORMA 6.1 IC
Materia Orgánica	0,28	< 2%
Contenido en yeso	0,00	< 5%
Contenido en sales solubles	0,35	< 1%
Límite Líquido	27,13	< 6%
Índice de colapso	0,00	< 1%
Hinchamiento Libre	1,23	< 3%
<b>RESULTADO</b>	<b>SUELO TOLERABLE</b>	

Tabla 5. Tabla resumen calidad del material raña.

El CBR del material para el 95% (en función del Proctor) es superior a 10 en todos los casos, por lo que cumple el CBR de un suelo seleccionado. Si comparáramos los datos de la muestra con los datos de un suelo adecuado, se comprobaría que únicamente no cumple para el contenido de sales solubles, por un 0.15%. Por lo que se reitera la calidad de los materiales por tratarse prácticamente de un suelo adecuado.

- **Arcillas limosas de plasticidad media-alta tonalidad verdosa.** Este nivel se ha podido diferenciar en la calicata C-23, muestra número 226, por debajo del coluvial superior. La potencia de las arcillas no se puede afirmar puesto que la calicata finaliza en 3.6 metros. Se trata pues de un afloramiento puntual de las arcillas. El porcentaje de material que pasa por el tamiz número 200 es del 85.9%, por lo que se trata de un material tipo fino. El límite líquido es de 50, por lo que el material se considera como plástico. El material no presenta ninguna cantidad de sulfatos pero si de carbonatos en cantidades elevadas. El resto de parámetros determinantes para obtener la calidad del material se detallan en la siguiente tabla:

ARCILLA	DATOS MUESTRA	PG-3 Y NORMA 6.1 IC
Materia Orgánica	0,45%	< 5%
Límite Líquido	50	ok
Hinchamiento Libre	2%	< 5%
<b>RESULTADO</b>	<b>SUELO MARGINAL</b>	

Tabla 6. Tabla resumen calidad del material raña.

El CBR del material para el 95% (en función del Proctor) es de  $2.1 < 3$ , por lo que el material no es de buena calidad. Además tiene un índice de colapso de 6.15%, valor muy elevado.

En el estudio geotécnico, en general se clasifican estos materiales coluviales y la raña que constituyen la práctica totalidad de la pista de ampliación como tolerables, sin embargo de un análisis exhaustivo se aprecia que fundamentalmente se deben a un ligero



contenido superior de sales solubles al admisible en este grupo ( $SS < 0,15 \%$ ). A nuestro entender clasificaríamos estos materiales como adecuados, con una apreciable resistencia (véase los resultados del CBR, y las densidades obtenidas en el Próctor Modificado), no presentando hinchamiento libre, ni colapso.

Únicamente en la calicata C-23 se ha podido diferenciar un nivel de arcillas limosas de tonalidad verdosa por debajo del nivel coluvial, según el Estudio Geotécnico se atribuye a depósitos cuaternarios.

### 3.2. PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO:

En la profundidad reconocida, en los sondeos efectuados, no se detectó la presencia del nivel freático.

Sin embargo, la profundidad del nivel freático experimenta variaciones en el tiempo, derivadas del régimen hídrico de precipitaciones, de las condiciones hidrogeológicas, de aportes artificiales (riegos), extracciones próximas (bombeos), etc. por lo que estos valores no se deben considerar como estables, pudiendo aparecer a una altura no determinada en un futuro.

### 3.3. MODELO GEOTÉCNICO DEL TERRENO:

#### 3.3.1. Obtención de los parámetros resistentes y de deformabilidad:

Los parámetros de resistencia “a corto y largo plazo” (esto es, en condiciones no drenadas y drenadas respectivamente), módulos de Poisson, etc. se obtienen a partir de los ensayos de campo o laboratorio efectuados (Compresión simple, Corte Directo, etc.) y de correlaciones empíricas con los ensayos de campo o laboratorio efectuados, recogidas en el CTE DB-SE-C y contrastadas con diversas publicaciones reconocidas.

Valores orientativos del coeficiente de Poisson

Tipo de suelo	Coeficiente de Poisson
Arcillas blandas normalmente consolidadas	0,40
Arcillas medias	0,30
Arcillas duras preconsolidadas	0,15
Arenas y suelos granulares	0,30



## ANEJO Nº 2- GEOLOGÍA Y GEOTECNIA



Valores orientativos de densidades de suelos

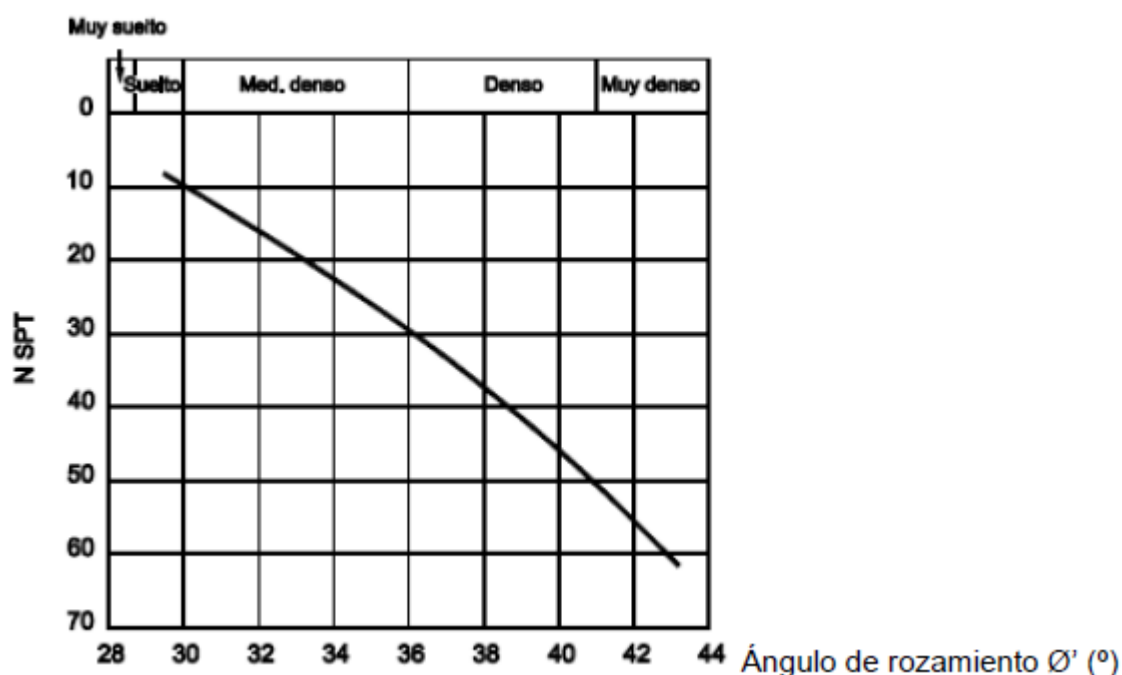
Tipo de suelo	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )
Grava	20 – 22	15 – 17
Arena	18 – 20	13 – 16
Limo	18 – 20	14 – 18
Arcilla	16 – 22	14 – 21

Propiedades básicas de los suelos

Clase de suelo		Peso específico aparente (kN/m <sup>3</sup> )	Ángulo de rozamiento interno
Terreno natural	Grava	19 – 22	34° - 45°
	Arena	17 – 20	30° - 36°
	Limo	17 – 20	25 – 32°
	Arcilla	15 – 22	16° – 28°
Rellenos	Tierra vegetal	17	25°
	Terraplén	17	30°
	Pedraplén	18	40°

Valores orientativos del coeficiente de Permeabilidad

Tipo de suelo	$k_z$ (m/s)
Grava limpia	$> 10^{-2}$
Arena limpia y mezcla de grava y arena limpia	$10^{-2} - 10^{-5}$
Arena fina, limo, mezclas de arenas, limos y arcillas	$10^{-5} - 10^{-9}$
Arcilla	$< 10^{-9}$



Para la obtención de los parámetros de deformación se aplican las correlaciones entre la resistencia a la penetración y el módulo de deformación del terreno.





Se adjunta a continuación la tabla que proporciona el CTE DB-SE-C.

Valores orientativos de  $N_{SPT}$ , resistencia a compresión simple y módulo de elasticidad de suelos

Tipo de suelo	$N_{SPT}$	$q_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	E (MN/m <sup>2</sup> )
Suelos muy flojos o muy blandos	< 10	0 - 80	< 8
Suelos flojos o blandos	10 - 25	80 - 150	8 - 40
Suelos medios	25 - 50	150 - 300	40 - 100
Suelos compactos o duros	50 - Rechazo	300 - 500	100 - 500
Rocas blandas	Rechazo	500 - 5.000	500 - 8.000
Rocas duras	Rechazo	5.000 - 40.000	8.000 - 15.000
Rocas muy duras	Rechazo	> 40.000	>15.000

#### 4. PARÁMETROS DE CIMENTACIÓN:

La caracterización geotécnica de los materiales sobre los que se apoya esta estructura muestra que presentan una competencia suficiente como para adoptar una cimentación superficial mediante losas. Tampoco existen niveles blandos que puedan provocar una disminución de la tensión admisible del conjunto.

##### 4.1 TENSION ADMISIBLE DEL TERRENO:

La determinación de la tensión admisible para cimentar una estructura en un terreno dado surge de la comparación entre dos tensiones límite. La primera es la que resulta de aplicar a la tensión de hundimiento del terreno un cierto coeficiente de seguridad. Esta limitación es la que procura evitar el fallo de la estructura como consecuencia de la rotura del suelo. La segunda es la que asegura que los asentamientos que se produzcan como consecuencia de la construcción, no serán inadmisibles para la misma, provocándole deterioros. Esta limitación busca evitar el fallo como consecuencia de deformaciones excesivas (asientos inadmisibles) y depende de los asentamientos que se consideren admisibles para la estructura dada y la deformabilidad del suelo.

Dados los parámetros geotécnicos y de deformación del suelo estudiado, realizando un análisis considerando la naturaleza del material de apoyo, para el cálculo de la tensión admisible del terreno de la cimentación en las losas y las aletas se utilizara la conocida formula de Brinch-Hansen:

$$q_h = q \cdot N_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot S + c \cdot N_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot S_c + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot i_\gamma \cdot S_\gamma$$

**Donde:**

q : sobrecarga de tierras a la profundidad de la cimentación.

c: cohesión del terreno.

$\gamma$ : Peso específico del suelo.

B: ancho equivalente de la cimentación

$N_q, N_c, N_\gamma$  : Coeficientes de capacidad de carga



$S_q, S_c, S_\gamma$ : Coeficientes de forma.

$i_q, i_c, i_\gamma$ : Coeficientes de inclinación de carga.

#### 4.1.1 Tensión admisible del terreno bajo el marco

**Tenemos:**

$$B = 3 \text{ m}$$

$$L = 70 \text{ m}$$

$$D = 0.30 \text{ m}$$

Los factores resultantes para estos parámetros son:

$$N_q = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \cdot e^{2 \cdot \tan \phi} = 18.40 \quad N_c = \frac{N_q - 1}{\tan \phi} = 30.14 \quad N_\gamma = 2 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan \phi = 20.10$$

$$d_q = 1 + 2 \cdot \tan \phi \cdot (1 - \sin \phi)^2 \cdot \arctg\left(\frac{D}{B}\right) = 1$$

$$d_c = 1 + 2 \cdot \frac{N_q}{N_c} \cdot (1 - \sin \phi)^2 \cdot \arctg\left(\frac{D}{B}\right) = 1$$

$$d_\gamma = 1$$

$$i_q = (1 - 0.7 \cdot \tan \delta_B)^2 (1 - \tan \delta_L) = 1 \quad i_c = \frac{i_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1} = 1 \quad i_\gamma = (1 - \tan \delta_B)^2 (1 - \tan \delta_L) = 1$$

$$S_c = S_q = 1 + \frac{B}{L} \cdot \frac{N_q}{N_c} = 1.02 \quad S_\gamma = 1 - 0.3 \cdot \frac{B}{L} = 0.98$$

Entonces:

$$q_h = q \cdot N_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot S + c \cdot N_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot S_c + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot i_\gamma \cdot S_\gamma = 4.5 \text{ kg/cm}^2$$

Y aplicando el factor de seguridad  $F=3$  tendremos que la carga admisible es igual a:

$$q_v = \frac{q_h}{F} = \frac{4.5}{3} = 1.5 \text{ Kg/cm}^2$$

#### 4.1.2 Tensión admisible del terreno bajo las aletas.

Para el cálculo de la tensión admisible del terreno de la cimentación en las aletas se utilizara la conocida formula de Brinch-Hansen.



$$q_h = q \cdot N_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot S + c \cdot N_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot S_c + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B^* \cdot N_\gamma \cdot i_\gamma \cdot S_\gamma$$

Siendo las dimensiones de la zapata de las aletas:

$$B = 1,25 \text{ m}$$

$$L = 2.30 \text{ m}$$

$$D = 0.25 \text{ m}$$

Los factores resultantes para estos parámetros son:

$$N_q = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \cdot e^{\pi \tan \phi} = 18.40 \quad N_c = \frac{N_q - 1}{\tan \phi} = 30.14 \quad N_\gamma = 2 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan \phi = 20.10$$

$$d_q = 1 + 2 \cdot \tan \phi \cdot (1 - \sin \phi)^2 \cdot \arctg\left(\frac{D}{B}\right) = 1$$

$$d_c = 1 + 2 \cdot \frac{N_q}{N_c} \cdot (1 - \sin \phi)^2 \cdot \arctg\left(\frac{D}{B}\right) = 1$$

$$d_\gamma = 1$$

$$i_q = (1 - 0.7 \cdot \tan \delta_B)^3 (1 - \tan \delta_L) = 1 \quad i_c = \frac{i_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1} = 1 \quad i_\gamma = (1 - \tan \delta_B)^3 (1 - \tan \delta_L) = 1$$

$$S_c = S_q = 1 + \frac{B}{L} \cdot \frac{N_q}{N_c} = 1.33 \quad S_\gamma = 1 - 0.3 \cdot \frac{B}{L} = 0.83$$

Entonces:

$$q_h = q \cdot N_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot S + c \cdot N_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot S_c + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B^* \cdot N_\gamma \cdot i_\gamma \cdot S_\gamma = 1.62 \text{ kg/cm}^2$$

Dado el grado de incertidumbre que se tiene en este emplazamiento se considerara a efectos de cálculo una carga admisible de 150 KN/m2

## 4.2 COEFICIENTE DE BALASTO:

Para dimensionar estructuras tipo losa, se emplea un modelo donde se modeliza el terreno mediante muelles de una rigidez determinada. Esta rigidez se representa mediante el coeficiente de balasto. En nuestro caso, esta magnitud solo será requerida en el caso del marco de hormigón al ser esta la estructura principal y



## ANEJO Nº 2- GEOLOGÍA Y GEOTECNIA



por aplicársele modelos de cálculo más complejos. No se tendrá en cuenta para las aletas, por tanto, ya que dicha relación terreno-estructura se simplifica.

Para el cálculo del coeficiente o módulo de balasto de la losa rectangular será necesario primero calcular el de la cuadrada. El módulo de balasto de la zapata rectangular (l y b en m) en función del de la losa cuadrada se define por (Terzaghi 1955)

$$k_{s, \text{rectangular}} = (2/3) k_{s, \text{cuadrado}} [1 + b / (2 \cdot L)]$$

Donde  $k_{s, \text{cuadrada}}$  se determina en función del tipo de suelo y del ensayo de placa de carga de 30x30:

En nuestro caso tenemos:

$$\text{Grava arenosa compacta} \rightarrow k_{s, \text{cuadrado arenoso}} = k_{s, 30} [(b+0,30) / (2 \cdot b)]^2$$

A título orientativo, damos aquí los valores estimados del módulo de balasto para Placa de Carga de 30x30 ( $k_{30}$ ) tomados del libro "Geotecnia y Cimientos III, Primera Parte" de **Jiménez y Salas** y otros, recordamos que lo correcto sería obtener estos datos a partir del terreno en cuestión:

### VALORES DE $K_{30}$ PROPUESTOS POR DIVERSOS AUTORES

Suelo	$K_{30} (Kp/cm^2)$
Arena fina de playa	1,0-1,5
Arena floja, seca o húmeda	1,0-3,0
Arena media, seca o húmeda	3,0-9,0
Arena compacta, seca o húmeda	9,0-20,0
Gravilla arenosa floja	4,0-8,0
Gravilla arenosa compacta	9,0-25,0
Grava arenosa floja	7,0-12,0
<b>Grava arenosa compacta</b>	<b>12,0-30,0</b>
Margas arcillosas	20,0-40,0
Rocas blandas o algo alteradas	30,0-500
Rocas sanas	800-30.000

Con estos resultados se propone como valor de cálculo un módulo de balasto para la placa de 30 cm:

$$K_{30} = 225-250 \text{ MN/m}^3 \sim 22,5-25,0 \text{ kp/cm}^3$$

Considerando las dimensiones del marco rectangular:

$$k_{s, \text{rectangular}} = (2/3) k_{s, \text{cuadrado}} [1 + b / (2 \cdot L)] = 50.000 \text{ kN/m}^3$$



## ANEJO N° 2- GEOLOGÍA Y GEOTECNIA



Se puede adoptar un valor del módulo de balasto del marco de  $K_{marco}=50.000 \text{ kN/m}^3$  (dimensiones  $B=3 \text{ m}$   $L=70 \text{ m}$ ), a partir de la interpretación de los resultados obtenidos de las placas.

### 4.3 ÁNGULO DE ROZAMIENTO:

Contamos con un material de relleno procedente de préstamos de coluviales con el que se obtiene un ángulo de rozamiento  $\phi'=35^\circ$  (propio de suelos granulares compactados, con cierta matriz  $c'=10 \text{ kPa}$  y arcillosa).

Podemos decir que la consistencia del nivel es de firme a dura en general.