

**Obra: ESCUELA UNIVERSITARIA DE
INGENIERIA TÉCNICA INDUSTRIAL
C/ Taulat- C/ Ramon Penyafort
SANT ADRIÀ DEL BESOS- BARCELONA**

Informe: Nº 15328·12·07

ESTUDIO GEOTÉCNICO

FEBRERO DE 2008



EMPRESA ACREDITADA POR LA GENERALITAT DE CATALUNYA, según R.D. 257/2003 de 21 de Noviembre, en:

- 1) **Ámbito de ensayos de laboratorio de geotecnia (GTL), ensayos básicos, nº de identificación 06163GTL06(B), 24 de Abril de 2006.**
- 2) **Ámbito de sondeos, toma de muestras y ensayos in situ para reconocimientos geotécnicos (GTC), ensayos básicos, nº de identificación: 06048GTC05(B), 9 de Noviembre de 2006.**

ÍNDICE

1.- ANTECEDENTES

2.- TRABAJOS REALIZADOS

2.1. Sondeos mecánicos a percusión

2.2. Sondeos mecánicos a rotación

2.3. Ensayos STP

2.4. Ensayos de laboratorio

3.- CONTEXTO GEOLÓGICO

4.- EMPLAZAMIENTO

5.- LITOLOGÍA Y CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS

5.1. Unidad de relleno

5.2. Unidad de arenas medias a gruesas

5.3. Unidad de arenas finas a limosas

6.- NIVEL FREÁTICO

6.1. Coeficiente de permeabilidad según DB HS1

7.- CONSIDERACIONES GEOTÉCNICAS

7.1. Estudio de una superficial

a) Cota y tipología de la cimentación

b) Carga admisible

c) Coeficiente de balasto

d) Aspectos constructivos

Nº 15328·12·07 M. L.S.



7.2. Estudio de una cimentación profunda

- a) Cota y tipología de la cimentación
- b) Resistencias unitarias por fuste y punta

7.3. Estudio de muros pantalla

- a) Cota y tipología de la cimentación
- b) Resistencia unitaria por fuste y punta

7.4. Cálculo de anclajes

8.- RIPABILIDAD Y EMPUJE DE TIERRAS

9.- SISMICIDAD

10.- CONCLUSIONES

ANEXOS: REPORTAJE FOTOGRÁFICO
PLANO DE SITUACIÓN
PERFILES ESTRATIGRÁFICOS
GRÁFICOS DE LOS SONDEOS
ACTAS DE LABORATORIO

Nº 15328·12·07 M. L.S.



1.- ANTECEDENTES

A petició de **CONSORCI INTERUNIVERSITARI DEL BESOS**, segun las instrucciones recibidas y en base a nuestro presupuesto Nº 696/11/07/ES se ha realizado un estudio de suelos con el fin de conocer:

- a) Resultados de los sondeos a rotación, a percusión y toma de muestras para determinar los perfiles geológicos y estratigráficos.
- b) Valores de las características mecánicas del suelo, en los puntos investigados, obtenidas por medio de los ensayos geotécnicos efectuados "in situ" y las identificaciones en el laboratorio.
- c) Consideraciones sobre cimentación, su cota y posible sistema.

Segun el Documento Básico SE-C, a continuación se indicará la tipología de la edificación, el tipo de terreno y la superficie de la parcela estudiada:

TIPO DE CONSTRUCCIÓN	C-3
GRUPO DE TERRENO	T-2
Nº DE PLANTAS	2PS+PB+7PP ó 7PP ó 4PP
SUPERFICIE CONSTRUIDA POR PLANTA	~ 2500 m²

2.- TRABAJOS REALIZADOS

2.1. Sondeos mecánicos a percusión

Durante el mes de Diciembre de 2007, se han realizado un total de:

4 sondeos a percusión

con nuestra sonda de penetración dinámica modelo "PD-TAENZER". En este tipo de sonda avalada por la larga experiencia se contabiliza el número de golpes que le son necesarios para hincar cada 10 cm del tubo en su avance en el suelo por medio de la caída libre sobre el mismo, de una maza de 115 Kg de peso. Ésta golpea en cadencia aproximada de 50 a 60 golpes por minuto y con una altura constante regulada de 40 cm, obteniéndose así datos sobre la resistencia del suelo en el punto de ensayo, por medio de un registro continuo de la penetración en su número de golpes.

Al mismo tiempo va recogiendo en la zapata de hinca (tubo inicial) un testigo continuo con muestras alteradas y recuperación relativa que se identifica visualmente y cuyas muestras más válidas y representativas fueron analizadas en nuestro laboratorio "Labotest", para obtener datos identificativos.

Nº 15328·12·07 M. L.S.



El número de golpes del PD-TAENZER para cada 10 cm está correlacionado empíricamente con el golpeo N obtenido con el SPT (Standard Penetration Test), expresándose dicha relación mediante la ecuación:

$$N = K \cdot N_1$$

siendo K un coeficiente variable entre 0,8 y 1,2, según el tipo de terreno y profundidad a que se considere. Para terrenos granulares y cotas superficiales se usa el valor máximo de 1,2 y para terrenos arcillosos y profundos el mínimo de 0,8.

En las paredes de los sondeos se realizaron un total de **8 ensayos presiométricos TEXAM.**

2.2. Sondeos mecánicos a rotación

Durante los meses de Diciembre de 2007 y Febrero de 2008, se han realizado **7 sondeos mecánicos a rotación**, con extracción de muestra continua, utilizándose para ello una sonda de avance hidráulico, con baterías simples y con coronas de widia y diamante, según las exigencias impuestas por el subsuelo.

El porcentaje de recuperación de los testigos ha sido del orden del 90 % en los suelos cohesivos, si bien en algún tramo arenoso éste ha podido descender hasta el 80 %.

El diámetro de perforación ha oscilado entre 115 y 86 mm según las necesidades del sondeo y su profundidad.

La profundidad máxima alcanzada por los sondeos a sido de 36,0 a 36,6 m.

Nº 15328·12·07 M. L.S.



2.3. Ensayos SPT

En el interior de los sondeos, a medida que estos se perforaban y previa limpieza de su fondo, se han efectuado un total de **86 ensayos de Penetración Standard (SPT)**, consistentes en la hincas de un tomamuestras normalizado, mediante la caída de una maza de 63,5 Kg de peso desde una altura de 76 cm.

La hincas se efectúa en cuatro tramos de 15 cm cada uno, denominándose valor N a la suma de los golpes de los dos tramos intermedios.

2.4. Ensayos de laboratorio

Se han tomado un total de **55 muestras inalteradas y 2 muestras parafinadas** de suelos para la ejecución de ensayos de laboratorio.

Con estas muestras, se han efectuado los siguientes ensayos de laboratorio en nuestro laboratorio homologado por la Generalitat de Catalunya:

Ensayos de identificación

Granulometría	20
Humedad natural	22
Peso específico	19
Límites de Atterberg	22
Hinchamiento Lambe	2
Contenido cualitativo en sulfatos	6

Ensayos de resistencia

Corte directo (uu y cd)	21
<u>Ensayos de deformabilidad</u>	
Ensayo presiométrico Texam	8

Analítica de agua	3
--------------------------	----------

3.- CONTEXTO GEOLÓGICO

Geogràficament nos situamos en la llanura deltaica del Besòs, la qual ocupa una superfície aproximada del orden de 92 km², situándose generalmente por debajo de los 10-15 m sobre el nivel del mar y presentando una morfología muy suave, con pendientes inferiores al 1%.

Este delta de formación muy reciente, se formó después de la última glaciación, hace unos 15.000 años, el cual comportó la elevación del nivel del mar en unos 100 m, resultando de dicho ascenso que los ríos del Mediterráneo comenzasen a depositar sedimentos en la desembocadura, que poco a poco fue progresando hacia el mar.

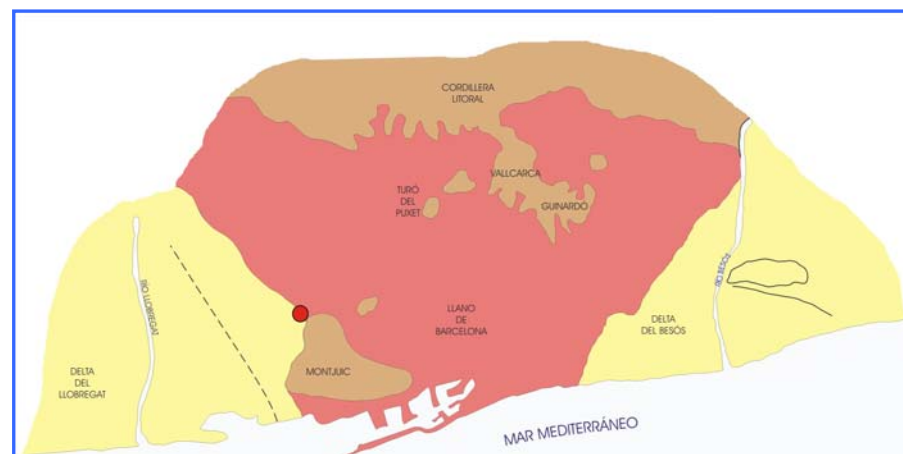


Figura 1. Contexto geomorfológico del área de estudio.

El delta se halla litológicamente compuesto, de base a techo, por:

- *Nivel aluvial inferior.* Nivel de 5-10 m de potencia, formado por gravas rodadas y arenas con gravas, de origen fluvial, correspondientes a los sedimentos aluviales anteriores al delta y que constituyen la sede de un acuífero cautivo, el acuífero profundo.

- *Nivel intermedio de sedimentos prodelta.* Cuña semipermeable que confina el nivel precedente, correspondiente a los sedimentos depositados en la parte sumergida del frente deltaico, y constituidos por materiales finos: arcillas, limos, limos arenosos y arenas finas o limosas, generalmente grises. Dicho cuerpo sedimentario se acuña aguas arriba, y también lateralmente, hasta desaparecer en las zonas marginales inferiores de los deltas.

- *Nivel detrítico superior.* Formado por arenas medias y gruesas, bastante limpias, que representan la sedimentación fluviodeltaica y litoral que progresan sobre los sedimentos del prodelta. Son la sede del acuífero superior, que normalmente es de tipo libre cuando no queda confinado por la unidad siguiente, el *nivel superficial*.

- *Nivel superficial.* Formado por arcillas y limos que corresponden a la llanura de inundación deltaica. Son sedimentos de coloración marrón, si bien también incluyen los sedimentos depositados en las marismas asociadas al desarrollo deltaico, y que conducen a la deposición de arcillas grises, que presentan frecuentemente restos orgánicos.

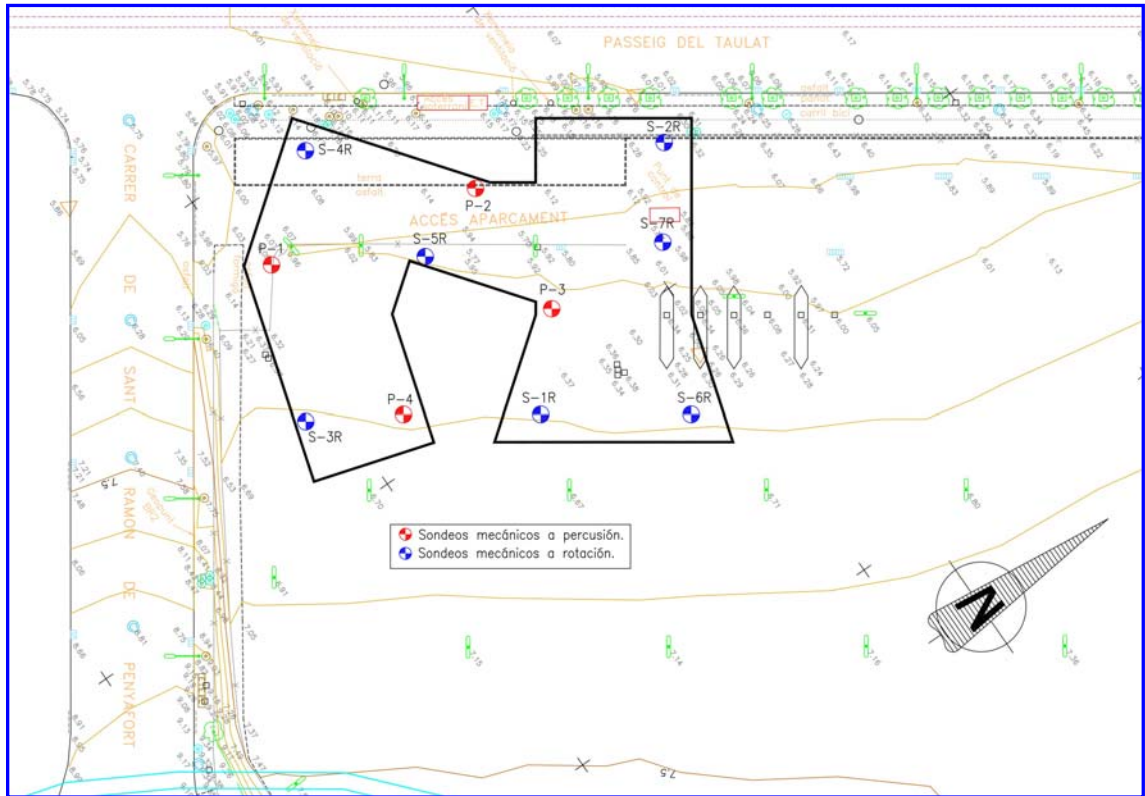


Figura 4. Situació aproximada de los sondeos realizados en la zona de estudio.

Este terreno presenta una topografía muy regular, hecho por el cual las diferencias topográficas entre las embocaduras de los sondeos son de orden decimétrico a centimétrico.

5.- LITOLOGIA Y CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS

La sucesión litoestratigráfica obtenida a partir de los sondeos realizados, así como las características geotécnicas de las diferentes litologías, es la siguiente:

- 5.1. Unidad de relleno
- 5.2. Unidad de arenas medias a gruesas
- 5.3. Unidad de arenas finas a limosas

5.1. Unidad de relleno

Superficialmente, o bajo una capa de asfalto de aproximadamente 10 cm de grosor, se localiza una unidad de relleno que presenta una composición litológica muy heterogénea.

Desde el punto de vista litológico se pueden distinguir los siguientes niveles:

- Niveles de limos arcillosos y arcillas de tonalidades marrones a grisáceas con restos antrópicos dispersos (cascotes, trapos, maderas y plásticos).
- Niveles de gravas y gravillas con bolos de pizarra dispersos.

- Niveles de hormigón (que puede tratarse de estructuras antiguas enterradas o bien bloques de hormigón).

En esta unidad de relleno se han localizado abundantes restos antrópicos dispersos (trapos, hormigón, asfalto, plásticos), así como niveles de materiales cohesivos (arcillas y limos arcillosos) de tonalidades grisáceas y que desprenden olor a hidrocarburo.



Figura 5. Aspecto que presenta la unidad de relleno.



Figura 6. Detalle de un nivel de limos grises

Esta unidad, en los puntos investigados, se localiza hasta una profundidad aproximada, referida a las embocaduras de los sondeos:

Sondeos a rotación

Sondeo S-1R	5,0 m
Sondeo S-2R	5,2 m
Sondeo S-3R	5,5 m
Sondeo S-4R	5,7 m

Sondeo S-5R	5,4 m
Sondeo S-6R	5,0 m
Sondeo S-7R	4,8 m

Sondeos a percusión

Sondeo P-1	5,5 m
Sondeo P-2	5,6 m

Sondeo P-3	6,0 m
Sondeo P-4	5,1 m

Dado que los materiales de relleno deben su origen a actividades antrópicas no se descarta que en cualquier punto del área de estudio este material pueda presentar espesores superiores a los detectados.

Nº 15328·12·07 M. L.S.



Desde el punto de vista geotécnico, se trata de unos materiales dotados de unas bajas y heterogéneas propiedades resistentes, por lo que este nivel no se considera apto para el apoyo de ningún tipo de cimentación, ya que su estructura interna, abierta y colapsable, favorece el desarrollo de asientos de gran magnitud:

Ensayos de identificación

Humedad natural	w = 8,4 *%
Límite líquido	L.L= 26,4* %
Índice de plasticidad	I.P.= 13,6* %
Peso específico	$\gamma = 1,78 * \text{Tn/m}^3$

Ensayos de resistencia

Ensayos SPT	SPT = 3-43 (nº de golpes por 30 cm.)
Penetración dinámica	N₁₀ = 2-48 (nº de golpes por 30 cm.)
Cohesión	C=Nula-0,10* Kg/cm²
Ángulo de rozamiento interno	$\phi = 13,8^*-25^{\circ}$

*(valores obtenidos en un nivel de arcillas limosas marrones)

5.2. Unidad de arenas medias a gruesas

Por de bajo de la unidad de relleno, se localiza una unidad detrítica constituida por arenas medias a gruesas de tonalidades marrones a marrón beige.

Esta unidad se localiza en los puntos investigados hasta las siguientes profundidades referidas a las bocas de los sondeos:

Sondeos a rotación

Sondeo S-1R	12,8 m	Sondeo S-5R	12,5 m
Sondeo S-2R	12,6 m	Sondeo S-6R	13,0 m
Sondeo S-3R	15,0 m	Sondeo S-7R	13,0 m
Sondeo S-4R	12,5 m		

Sondeos a percusión

Sondeo P-1	12,5 m	Sondeo P-3	12,0 m
Sondeo P-2	13,5 m	Sondeo P-4	13,0 m



Figura 8. Aspecto que presenta la unidad de arenas medias a gruesas.

Estos suelos catalogados como SP-SW, presentan como fracción gruesa secundaria abundantes gravas y gravillas dispersas. Puntualmente se ha detectado un bolo.

Desde el punto de vista geotécnico, se trata de unos materiales dotados de compacidades medianamente densas:

Ensayos de identificación

Clasificación USCS	SP-SW
Granulometría	T_{0,08} = 6,3-10,4 %
Humedad natural	w = 10,1-12,4 %
Índice de plasticidad	I.P. = N.P.
Peso específico	γ = 1,88-1,93 Tn/m³
Expansividad lambe	No presenta
Presencia cuantitativa de sulfatos	116-184 mg SO₄²⁻/Kg de muestra^(*)

Ensayos de resistencia

Ensayos SPT	SPT = 12-28 (nº de golpes por 30 cm.)
Penetración dinámica	N₁₀ = 6-40 (nº de golpes por 30 cm.)
Presión límite	P_l = 6,5-10,1 Kg/cm²
Módulo de presiométrico	E = 68-106 Kg/cm²
Cohesión (UU)	c = 0,0 Kg/cm²
Ángulo de rozamiento interno (UU)	φ = 27,6-30,4º

(*) Por lo que a la agresividad de estos suelos se refiere, pueden catalogarse como **NO AGRESIVOS** frente al Hormigón según la EHE Instrucción de hormigón estructural (Real Decreto 2661/1998).

5.3. Unidad de arenas finas a limosas

Bajo la unidad de arenas medias a gruesas y hasta la profundidad máxima alcanzada por todos los sondeos (36,0 m), se localiza una unidad constituida por arenas medias a muy finas limosas. Esta unidad presenta en todo su conjunto una coloración marrón grisácea a gris y con restos de materia orgánica así como restos de gasterópodos y bivalvos.

En la Figura 9 se puede observar el aspecto que presenta esta unidad, detectada durante la realización de los sondeos.



Figura 9. Aspecto que presenta la unidad de arenas finas a limosas.

Estos suelos catalogados como SM(SP)-CL(ML) según la Clasificación de Casagrande presentan como fracción fina secundaria intercalaciones de niveles centimétricos a decimétricos de limos arenosos a arcillosos de color marrón grisáceo a gris de elevada plasticidad.

Desde el punto de vista geotécnico, se trata de unos materiales detríticos medianamente densos que en profundidad (a partir de 30,0 m, aproximadamente) pasan a densos, con intercalaciones de niveles de consistencias moderadamente firmes:

Ensayos de identificación

Clasificación USCS	SM(SP)-ML(CL)
Granulometria	T_{0,08} = 16,9-33,8 %
Humedad natural	w = 13,4-19,8 %
Límite líquido	L.L = 20,3-26,4 %
Índice de plasticidad	I.P. = N.P.
Densidad natural	γ = 1,83-2,02 Tn/m³
Índice de expansividad Lambe	I_H = 0,02 MPa
Cambio Potencial de Volumen	C.P.V = No crítico
Presencia cuantitativa de sulfatos	168-244 mg SO₄²⁻/Kg de muestra (*)

Ensayos de resistencia

Ensayos SPT	SPT = 10-38 (nº de golpes por 30 cm.)
Penetración dinámica	N₁₀ = 15-Rzo (nº de golpes por 30 cm.)
Presión límite	P_L = 8,6-11,8 Kg/cm²
Módulo de presiométrico	E = 73-116 Kg/cm²
Cohesión (CD)	c = 0,05-0,18 Kg/cm²
Ángulo de rozamiento interno (CD)	φ = 27,3-33,8º

(*) Por lo que a la agresividad de estos suelos al hormigón, pueden catalogarse como **no agresiva** según la EHE Instrucción de hormigón estructural (Real Decreto 2661/1998).

6.- NIVEL FREÁTICO

Durante la ejecución de los sondeos (Diciembre de 2007-Febrero de 2008), se detectó el nivel freático a las siguientes profundidades aproximadas, referidas a la embocadura de los sondeos:

Sondeos a rotación

Sondeo S-1R	6,1 m	Sondeo S-5R	6,2 m
Sondeo S-2R	6,1 m	Sondeo S-6R	6,2 m
Sondeo S-3R	6,1 m	Sondeo S-7R	6,1 m
Sondeo S-4R	6,1 m		

Sondeos a percusión

Sondeo P-1	6,1 m	Sondeo P-3	6,2 m
Sondeo P-2	6,2 m	Sondeo P-4	6,0 m

No obstante, cabe indicar que para el cálculo de la posible sobrepresión del agua sobre las soleras de la edificación, es recomendable considerar una posible variación del nivel freático de $\pm 1,0-1,5$ m.

De la muestra de agua extraída de los sondeos S-3R, S-4R y S-7R, se ha obtenido la siguiente composición química:

	Sondeo S-3R	Sondeo S-4R	Sondeo S-7R
CO ₂	36 mgCO ₂ /l	33 mgCO ₂ /l	39 mgCO ₂ /l
Amonio	6,9 mgNH ₄ ⁺ /l	0,8 mgNH ₄ ⁺ /l	2,8 mgNH ₄ ⁺ /l
Magnesio	84 mg Mg ²⁺ /l	74 mg Mg ²⁺ /l	79 mg Mg ²⁺ /l
pH	7,2 UpH	7,1 UpH	7,1 UpH
Residuo seco	1310 mg/l	1860 mg/l	1890 mg/l
Sulfatos	468 mgSO ₄ ²⁻ /l	343 mgSO ₄ ²⁻ /l	590 mgSO ₄ ²⁻ /l
Agresividad	Q _B	Q _A	Q _A

Por lo que la agresividad de este agua frente al hormigón, puede catalogarse como **ATAQUE DÉBIL-MEDIO** según la EHE Instrucción de Hormigón Estructural (Real Decreto 2661, 1998) (ver Figura 10).

TIPO DE MEDIO AGRESIVO	PARÁMETROS	TIPO DE EXPOSICIÓN		
		Qa	Qb	Qc
		ATAQUE DÉBIL	ATAQUE MEDIO	ATAQUE FUERTE
AGUA	VALOR DEL pH	6,5 - 5,5	5,5 - 4,5	< 4,5
	CO ₂ AGRESIVO (mg CO ₂ /l)	15 - 40	40 - 100	> 100
	IÓN AMONIO (mg NH ₄ ⁺ /l)	15 - 30	30 - 60	> 60
	IÓN MAGNESIO (mg Mg ²⁺ /l)	300 - 1.000	1.000 - 3.000	> 3.000
	IÓN SULFATO (mg SO ₄ ²⁻ /l)	200 - 600	600 - 3.000	> 3.000
	RESIDUO SECO (mg / l)	> 150	50 - 150	< 50
SUELO	GRADO DE ACIDEZ BAUMANN-GULLY	> 20	(*)	(*)
	IÓN SULFATO (mg SO ₄ ²⁻ /kg de suelo seco)	2.000 - 3.000	3.000 - 12.000	> 12.000

(*) Estas condiciones no se dan en la práctica

Figura 10. Agresividad del agua según la EHE Instrucción del Hormigón Estructural.

6.1.- Coeficiente de permeabilidad según DB HS 1

Según el Documento Básico HS1 de Protección frente a humedad, se pueden clasificar las unidades de detectadas como:

		Presencia de agua	Coeficiente de permeabilidad del terreno	Grado de impermeabilidad
Suelos	U. de arenas medias a gruesas a partir de 6,0 m de profundidad	Alta	$K_s > 10^{-5}$ cm/s	5
Muros	U. de relleno	Baja	$K_s \geq 10^{-2}$ cm/s	1
	U. de arenas medias a gruesas hasta 6,0 m de profundidad	Media	$K_s \geq 10^{-2}$ cm/s	3
	U. de arenas medias a gruesas a partir de 6,0 m de profundidad	Alta	$K_s \geq 10^{-2}$ cm/s	5

7.- CONSIDERACIONES GEOTÉCNICAS

Según la información facilitada, se prevé la construcción de la escuela universitaria de ingeniería técnica industrial, que constará de dos plantas sótano, planta baja, y siete o cuatro plantas.

Su ejecución implicará la excavación del terreno del orden de 6,0 metros, respecto a la cota actual de los sondeos.

Con los datos obtenidos en este tipo de investigación, la naturaleza del terreno hasta la cota alcanzada en los sondeos a rotación, a percusión y las características mecánicas, se propone una solución ejecutiva de la cimentación con los criterios de:

- Valor de la carga admisible frente al hundimiento por rotura al esfuerzo cortante, es decir, una adecuada resistencia con su coeficiente de seguridad.
- Una estimación aproximada de la magnitud de los asientos probables de la estructura que no le sean perjudiciales, valorados especialmente por su calculista, en función de los diversos ensayos realizados.

7.1. Estudio de una cimentación superficial

a) Cota y tipología de la cimentación

Una vez realizada la excavación de las dos planta sótano (del orden de 6,0 m respecto a la cota actual), la cimentación se podría resolver de manera superficial mediante losa de cimentación apoyada en la unidad de arenas medias a gruesas que en los puntos investigados aparecerá a cota de cimentación.

b) Carga admisible

Aplicando la formulación correspondiente (**véase anexo**), resulta para losa de cimentación debidamente empotrada en la unidad de arenas medias a gruesas, a partir de las profundidades referidas, un valor de **tensión de trabajo admisible** de:

	Ancho cimentación	Carga admisible
Losa de cimentación	B= 40,0 m	$q_a = 1,4 \text{ Kg/cm}^2$

En el caso de la losa de cimentación y teniendo en cuenta la presencia de un nivel de limos de consistencias moderadamente firmes, se considera un asiento máximo previsible de 4,8 cm.

c) Coeficiente de Balasto

Para la unidad de arenas medias a gruesas, podrá tomarse un valor de Coeficiente de Balasto de:

Unidad de arenas medias a gruesas	$K_{30} = 2,0 \text{ Kg/cm}^3$
--	--

Este valor de coeficiente de balasto considera que la arena se encuentra sumergida.

d) Aspectos constructivos

Será conveniente tener en cuenta todos los aspectos relacionados con la construcción de una losa, destacando:

- La losa deberá reposar en todo momento, sobre la unidad de arenas medias a gruesas, debiéndose retirar la unidad de relleno, el cual dado su origen antrópico, puede presentar espesores superiores a los detectados por los sondeos.
- Una vez retirada la unidad de relleno y/o excavada las plantas sótano, deberá realizarse una compactación de los materiales restantes sobre los que se asentará la losa.

- Deberá tenerse en cuenta la presencia de nivel freático a una profundidad aproximada de entre 6,0-6,2 m referida a la embocadura de los sondeos. Dado que se prevé la excavación del terreno del orden de 6,0 m respecto a la cota actual, deberá preverse un sistema de rebaje del nivel freático, y además, en el cálculo de la losa deberá tenerse en cuenta los posibles esfuerzos por subpresión ($\pm 1,0-1,5$ m).

7.2. Estudio de una cimentación profunda

a) Cota y tipología de la cimentación

Una vez realizada la excavación de las dos plantas sótano (del orden de 6,0 m respecto a la cota actual), en el caso de que los valores de carga admisible expuestos en el apartado anterior resultasen insuficientes, la cimentación se podría resolver de manera profunda mediante pilotes o bataches empotrados en la unidad de arenas medias a gruesas, o bien en la unidad de arenas finas limosas.

Estas unidades geotécnicas se localizan a las siguientes profundidades referidas a las embocaduras de los sondeos:

Unidad de arenas medias a gruesas

Sondeos a rotación

Sondeo S-1R	5,0 m	Sondeo S-5R	5,4 m
Sondeo S-2R	5,2 m	Sondeo S-6R	5,0 m
Sondeo S-3R	5,5 m	Sondeo S-7R	4,8 m
Sondeo S-4R	5,7 m		

Sondeos a percusión

Sondeo P-1	5,5 m	Sondeo P-3	6,0 m
Sondeo P-2	5,6 m	Sondeo P-4	5,1 m

Unidad de arenas finas limosas

Sondeos a rotación

Sondeo S-1R	12,8 m	Sondeo S-5R	12,5 m
Sondeo S-2R	12,6 m	Sondeo S-6R	13,0 m
Sondeo S-3R	15,0 m	Sondeo S-7R	13,0 m
Sondeo S-4R	12,5 m		

Sondeos a percusión

Sondeo P-1	12,5 m	Sondeo P-3	12,0 m
Sondeo P-2	13,5 m	Sondeo P-4	13,0 m

b) Resistencias unitarias por fuste y punta

Para el cálculo de estos elementos de cimentación se podrán adoptar los siguientes valores de resistencia por fuste y punta para las diferentes unidades detectadas:

Resistencia unitaria por fuste, r_f

Unidad	r_f (kg/cm ²) (*)
Unidad de relleno	No se considera
Unidad de arenas medias a gruesas	0,3
Unidad de arenas finas limosas	0,5

(*) Estos valores no se encuentran afectados por ningún factor de seguridad.

Resistencia unitaria por punta, r_p (Pilotes barrinados)

Para el cálculo de la resistencia en punta se ha considerado que por debajo de la punta del pilote se localiza un nivel de limos arenosos-arcillosos.

Unidad	Longitud pilote(**)	r_p (kg/cm ²) *
Unidad de arenas finas limosas	10 m	30
	15 m	45
	20 m	60
	25 m	80

*** Estos valores no se encuentran afectados por ningún factor de seguridad.**

**** La longitud del pilote se ha considerado desde el fondo de la excavación**

Resistencia unitaria por punta, r_p (Pilotes hincados)

Para el cálculo de la resistencia en punta se ha considerado que por debajo de la punta del pilote se localiza un nivel de limos arenosos-arcillosos.

Unidad	Longitud pilote (**)	r_p (kg/cm ²) *
Unidad de arenas finas limosas	10 m	45
	15 m	60
	20 m	80
	25 m	100

* Estos valores no se encuentran afectados por ningún factor de seguridad.

** La longitud del pilote se ha considerado desde el fondo de la excavación

Resistencia unitaria por punta, r_p (Bataches)

Igual que en los anteriores casos, para el cálculo de la resistencia en punta se ha considerado que por debajo de la punta del pilote se localiza un nivel de limos arenosos-arcillosos.

Unidad	Longitud batache (**)	r_p (kg/cm ²) *
Unidad de arenas finas limosas	10 m	24
	15 m	36
	20 m	48
	25 m	64

* Estos valores no se encuentran afectados por ningún factor de seguridad.

** La longitud del tramo apantallado considerado desde el fondo de la excavación (6,0 m)

c) Observaciones

Para la ejecución de estos elementos de cimentación profunda se deberán tener en cuenta los siguientes aspectos:

- La nula cohesión que presenta la unidad de arenas medias a gruesas.
- La presencia de nivel freático.
- La presencia puntual de algún bolo disperso en la unidad de arenas medias a gruesas.
- En el caso de optarse por pilotes hincados deberá valorarse la afección que puede generar la hinca sobre los edificios vecinos (edificaciones situadas a unos 10 m de la obra y con más de 10 plantas piso sobre rasante).
- Si estas cimentaciones tuvieran que realizarse por encima de la cota de la planta sótano, es decir, atravesando parte de la unidad de relleno, se deberá prever la utilización de medios mecánicos de elevada abrasividad para poder pasar los rellenos de desechos antrópicos (bloques de hormigón y/o antiguas estructuras enterradas).

7.3. Estudio de muros pantalla

a) Cota y tipología de la cimentación

Previamente a la excavación de las dos plantas sótano (del orden de 6,0 m respecto a la cota actual), podría optarse por la ejecución de muros pantalla perimetrales como elementos de contención y/o cimentación empotrados en la unidad de arenas medias a gruesas o bien en la unidad de arenas finas limosas, que en los puntos investigados aparecerá a las siguientes profundidades referidas a la embocadura de los sondeos:

Unidad de arenas medias a gruesas

Sondeos a rotación

Sondeo S-1R	5,0 m	Sondeo S-5R	5,4 m
Sondeo S-2R	5,2 m	Sondeo S-6R	5,0 m
Sondeo S-3R	5,5 m	Sondeo S-7R	4,8 m
Sondeo S-4R	5,7 m		

Sondeos a percusión

Sondeo P-1	5,5 m	Sondeo P-3	6,0 m
Sondeo P-2	5,6 m	Sondeo P-4	5,1 m

Unidad de arenas finas limosas

Sondeos a rotación

Sondeo S-1R	12,8 m	Sondeo S-5R	12,5 m
Sondeo S-2R	12,6 m	Sondeo S-6R	13,0 m
Sondeo S-3R	15,0 m	Sondeo S-7R	13,0 m
Sondeo S-4R	12,5 m		

Sondeos a percusión

Sondeo P-1	12,5 m	Sondeo P-3	12,0 m
Sondeo P-2	13,5 m	Sondeo P-4	12,0 m

b) Resistencias unitarias por fuste y punta

Para el cálculo de estos elementos de cimentación se podrán adoptar los siguientes valores de resistencia por fuste y punta para las diferentes unidades detectadas:

Resistencia unitaria por punta, r_p (Bataches)

Unidad	Longitud batache (**)	r_p (kg/cm ²) *
Unidad de arenas medias a gruesas	5 m	22
	10 m	24
Unidad de arenas finas limosas	15 m	36
	20 m	48

* Estos valores no se encuentran afectados por ningún factor de seguridad.

7.4. Cálculo de anclajes

Una vez finalizada la ejecución, previo o durante la excavación de las plantas sótano, podrían realizarse una serie de anclajes.

Para el predimensionado de los mismos podrán adoptarse los siguientes valores de adherencia anclaje–terreno, según el *Método de Cálculo de Micropilotes y Anclajes Inyectados de Michel Bustamante (1979)**.

Adherencia anclaje-terreno

	IGU*	IR	IRS*
Unidad de relleno	No se considera	No se considera	No se considera
Unidad de arenas medias a gruesas	$r_f = 0,75 \text{ Kg/cm}^2$	$r_f = 0,9 \text{ Kg/cm}^2$	$r_f = 1,3 \text{ Kg/cm}^2$
Unidad de arenas finas limosas	$r_f = 1,0 \text{ Kg/cm}^2$	$r_f = 1,25 \text{ Kg/cm}^2$	$r_f = 1,5 \text{ Kg/cm}^2$

Estos valores no se hallan afectados por ningún coeficiente de seguridad.

8.- RIPABILIDAD Y EMPUJE DE TIERRAS

Para la excavación de las dos plantas sótano (del orden de 6,0 m respecto a la cota actual), así como para la ejecución de las diferentes tipologías de cimentación, deberán tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- La heterogeneidad y bajas características de la unidad de relleno, así como que puede presentar espesores mayores a los detectados por los sondeos, debido a su origen antrópico.
- En esta unidad de relleno se han localizado restos de hormigón, así como restos de antiguas estructuras (solera de hormigón), hecho que deberá contemplarse tanto para la excavación del terreno, como para la ejecución de los elementos de contención.
- La nula cohesión que presenta la unidad de relleno y terreno alterado.
- La presencia de niveles en la unidad de relleno impregnados por hidrocarburos (niveles de arcillas y limos arcillosos), así como abundantes restos antrópicos (plásticos, trapos, cerámica, asfalto), hecho a tener en cuenta ya que probablemente se deban tratar como un residuo (habitualmente por nuestro conocimiento en obras cercanas suelen clasificarse como residuos de clase II).
- La nula cohesión que presenta la unidad de arenas medias a gruesas.

Nº 15328·12·07 M. L.S.

- La presencia de nivel freático a una profundidad aproximada de 6,0-6,2 m referida a la embocadura de los sondeos.

Para el cálculo del empuje de tierras sobre posibles elementos de contención se podrán adoptar los siguientes valores de resistencia al corte y densidad natural expuestos en apartados anteriores.

Unidad de relleno

Cohesión	Nula
Ángulo de rozamiento interno	$\varphi = 25^\circ$
Peso específico	$\gamma = 1,78 \text{ Tn/m}^3$

Unidad de arenas medias a gruesas

Cohesión	Nula
Ángulo de rozamiento interno	$\varphi = 29^\circ$
Peso específico	$\gamma = 1,90 \text{ Tn/m}^3$

9.- SISMICIDAD

Según las prescripciones de la Norma de Construcción Sismorresistente (NCSE-02), RD 997/2002, la aceleración sísmica básica (a_b/g) y el coeficiente de contribución (K) para Barcelona, se corresponden con los siguientes valores:

a_b/g	0,04
K	1,0

Asimismo, para los materiales detectados pueden considerarse los siguientes coeficientes del suelo (C):

Unidad	Tipo de suelo	Coeficiente (C)
Unidad de relleno	IV	2,0
Unidad de arenas medias a gruesas	III	1,6
Unidad de arenas finas limosas	III	1,6

10.-CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos en el presente estudio geotécnico para el proyecto de construcción de la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial, localizada en la C/ Ramon Penyafort y la C/ Taulat, se puede concluir lo siguiente:

- En la parcela objeto de este estudio se han detectado tres unidades geotécnicas diferenciables:
 - o Unidad de relleno, que presenta un espesor aproximado de entre 4,0 y 5,5 m. Dicha unidad presenta una composición litológica muy heterogénea, detectándose restos antrópicos (hormigón, asfalto, trapos) y niveles de arcillas y limos. En esta unidad se han localizado niveles que pueden presentar cierto grado de contaminación.
 - o Unidad de arenas medias a gruesas, localizada hasta una profundidad de entre 12 y 15 m, y que se encuentra constituida por materiales detríticos medianamente densos sin cohesión.
 - o Unidad de arenas finas limosas, localizada hasta los 36 m de profundidad y constituida por materiales detríticos finos que presenta matriz y niveles de limos arcillosos-arenosos de consistencias moderadamente firmes.
- El nivel freático se localiza a una profundidad aproximada de 6,0 a 6,2 m.

- Una vez realizada la excavación del terreno (del orden de 6,0 m respecto a la cota actual) se considera como solución más adecuada al proyecto de cimentación:
 - o la ejecución de **cimentación superficial mediante losa de cimentación** empotrada en la unidad de arenas medias a gruesas .
 - o La ejecución de una **cimentación profunda** mediante pilotes o bataches empotrados en la unidad de arenas finas limosas.

- El valor de **carga admisible** obtenido para cimentaciones superficiales es el siguiente:

Losa de cimentación	B= 40,0 m	q_a= 1,4 Kg/cm²
----------------------------	------------------	---

- Los asientos máximos calculados para las diferentes tipologías y anchos de cimentación son de 4,8 cm para losa de cimentación.

- Como valores de resistencia por punta y fuste para el cálculo de **pilotes o bataches** se podrán adoptar los siguientes valores:

Resistencia unitaria por fuste, r_f

Unidad	r _f (kg/cm ²) ^(*)
Unidad de relleno	No se considera
Unidad de arenas medias a gruesas	0,3
Unidad de arenas finas limosas	0,5

^(*) Estos valores no se encuentran afectados por ningún factor de seguridad.

Resistencia unitaria por punta, r_p (Pilotes barrinados)

Para el cálculo de la resistencia en punta se ha considerado que por debajo de la punta del pilote se localiza un nivel de limos arenosos-arcillosos.

Unidad	Longitud pilote(**)	r_p (kg/cm ²) *
Unidad de arenas finas limosas	10 m	30
	15 m	45
	20 m	60
	25 m	80

* **Estos valores no se encuentran afectados por ningún factor de seguridad.**

** **La longitud del pilote se ha considerado desde el fondo de la excavación**

Resistencia unitaria por punta, r_p (Pilotes hincados)

Para el cálculo de la resistencia en punta se ha considerado que por debajo de la punta del pilote se localiza un nivel de limos arenosos-arcillosos.

Unidad	Longitud pilote (**)	r_p (kg/cm ²) *
Unidad de arenas finas limosas	10 m	45
	15 m	60
	20 m	80
	25 m	100

* **Estos valores no se encuentran afectados por ningún factor de seguridad.**

** **La longitud del pilote se ha considerado desde el fondo de la excavación**

Resistencia unitaria por punta, r_p (Bataches)

Igual que en los anteriores casos, para el cálculo de la resistencia en punta se ha considerado que por debajo de la punta del pilote se localiza un nivel de limos arenosos-arcillosos.

Unidad	Longitud batache (**)	r_p (kg/cm ²) *
Unidad de arenas finas limosas	10 m	24
	15 m	36
	20 m	48
	25 m	64

* **Estos valores no se encuentran afectados por ningún factor de seguridad.**

** **La longitud del tramo apantallado considerado desde el fondo de la excavación (6,0 m)**

- Para el cálculo de los **muros pantallas** se podrán adoptar los siguientes valores de resistencia por punta y fuste:

Resistencia unitaria por fuste, r_f

Unidad	r_f (kg/cm ²) ^(*)
Unidad de relleno	No se considera
Unidad de arenas medias a gruesas	0,3
Unidad de arenas finas limosas	0,5

(*) Estos valores no se encuentran afectados por ningún factor de seguridad.

Unidad	Longitud batache (**)	r_p (kg/cm ²) *
Unidad de arenas medias a gruesas	5 m	22
	10 m	24
Unidad de arenas finas limosas	15 m	36
	20 m	48

**** Estos valores no se encuentran afectados por ningún factor de seguridad.***

- Tanto para la excavación del terreno, como para la ejecución de las diferentes tipologías de cimentación, cabe destacar la nula cohesión que presentará la unidad de relleno y la unidad de arenas, la presencia de niveles de hormigón y restos antrópicos en la unidad de relleno, la presencia de nivel freático a una profundidad aproximada de 6,1-6,2 m.
- Para el cálculo del empuje de tierras sobre posibles elementos de contención podrán adoptarse los siguientes valores de resistencia al corte y peso específico:

	Cohesión, [Kg/cm ²]	Angulo de rozamiento, [°]	Peso específico, [Tn/m ³]
Unidad de relleno	Nula	25	1,78
Unidad de arenas medias a gruesas	Nula	29	1,90

- La unidad de arenas, la unidad de limos, la unidad de arenas con matriz y la unidad Terciaria ***no presenta agresividad por sulfatos*** frente al hormigón.
- El agua presenta **Ataque Débil a Medio** frente al Hormigón.
- Cabe destacar que el término municipal de Barcelona presenta un valor de aceleración sísmica básica (a_b/g) de **0,04**.

Dada la lógica variabilidad de la naturaleza de los suelos, que algunas veces se presenta incluso en zonas o áreas muy próximas a los puntos de ensayos, si se detectara alguna discordancia, variedad o duda respecto a los datos experimentales y limitados de este informe por su propio concepto estadístico, ya que investigaciones más amplias están condicionadas a unos mayores costes económicos, les señalamos que estamos a su disposición en lo que sea necesario.

Responsable Técnico Dpto. de Geotecnia:

Miquel López Somoza
Geólogo, nº 5.218

ANEXO I

DETERMINACIÓN DE LA CARGA ADMISIBLE EN SUELOS GRANULARES

En suelos granulares, la carga admisible suele encontrarse limitada por el asiento más que por el hundimiento.

Cuando la superficie del terreno sea marcadamente horizontal (pendiente menor del 10%), la inclinación con la vertical resultante de las acciones sea menor del 10% y se qadmita la producción de asientos de hasta 25 mm, la presión vertical admisible de servicio podrá evaluarse mediante las siguientes expresiones basadas en el golpeo N_{SPT} obtenido del ensayo SPT.

Para $B < 1,2$ m

$$q_{adm} = 12 N_{SPT} (1 + D/3B^*)(S_v/25) \text{ en KN/m}^2$$

Para $B \geq 1,2$ m

$$q_{adm} = 8 N_{SPT} (1 + D/3B^*)(S_v/25)(B^* + 0,3/B^*) \text{ en KN/m}^2$$

Nº 15328·12·07 M. L.S.



Donde,

S_t : Asiento total admisible, en mm.

N_{SPT} : Valor medio de los resultados, obtenidos en una zona de influencia de la cimentación comprendida entre un plano situado a una distancia $0,5B^*$ por encima de su base y otro situado a una distancia mínima de $2B^*$ por debajo de la misma.

D: Profundidad de cimentación.

Esta fórmula será aplicada para anchos de cimentación $< 5,0$ m de ancho real. Para anchos mayores deben comprobarse asientos tal y como se expone a continuación.

DETERMINACIÓN DE LA CARGA DE HUNDIMIENTO EN SUELOS GRANULARES

La resistencia unitaria de hundimiento por punta de pilotes en suelos granulares se podrá estimar con la expresión siguiente:

$$q_p = f_p \cdot \sigma'_{vp} \cdot N_q \leq 20 \text{ MPa}$$

Siendo,

$f_p = 3$ para pilotes hincados;

$f_p = 2,5$ para pilotes hormigonados in situ;

σ'_{vp} la presión vertical efectiva al nivel de la punta antes de instalar el pilote;

N_q el factor de capacidad de carga definido por la expresión:

$$(1 + \frac{\sin \varphi}{1 - \sin \varphi}) \cdot e^{\pi \tan \varphi}$$

La resistencia unitaria por fuste se podrá estimar con la expresión siguiente:

$$\tau_f = \sigma'_v \cdot k_f \cdot f \cdot \tan \varphi \leq 120 \text{ KPa}$$

Nº 15328·12·07 M. L.S.



Siendo:

σ'_v la presión vertical efectiva al nivel considerado;

k_f coeficiente de empuje horizontal;

F factor de reducción del rozamiento del fuste;

φ ángulo de rozamiento interno del suelo granular.

Para pilotes hincados se tomará $k_f = 1$ y para pilotes perforados se tomará $k_f = 0,75$.

Para pilotes de hormigón in situ o de madera se tomará $f = 1$, para pilotes de hormigón se tomará $f = 0,9$ y para pilotes de acero en el fuste se tomará $f = 0,8$.

CÁLCULO DE LA ADHERENCIA ADMISIBLE FRENTE AL ARRANCAMIENTO DEL BULBO

Según el Código Técnico de la Edificación, la adherencia admisible frente al deslizamiento o arrancamiento del terreno se puede calcular de la siguiente manera:

$$a_{adm} = (1/\gamma_R) * (c'_m + \sigma' * tg(\phi'))$$

Donde:	$\gamma_R = 1,35$ (coeficiente de seguridad).
	c'_m = cohesión efectiva del terreno en el contacto terreno-bulbo minorada por un coeficiente de 1,2 (coeficiente de seguridad).
	σ' = componente normal al bulbo de la presión efectiva vertical ejercida por el terreno (sobrepeso de tierras).
	ϕ' = ángulo de rozamiento interno efectivo del terreno.

Este informe se emite bajo las cláusulas siguientes:

1.- Como tal se considera Documento confidencial, tanto en su redacción como en su contenido, en consecuencia.:

M. del S. LOSAN S.A. no facilitará información relativa a este informe, ni total, ni parcial a terceras personas, físicas o jurídicas, salvo autorización expresa de la Propiedad o en los casos previstos por las leyes.

2.- No está autorizada la reproducción total o parcial de los datos contenidos en este INFORME, si no es para el uso del propio Propietario o de los Técnicos responsables.

3.- La columna litológica de cada sondeo suministra información localizada solamente en la vertical del propio sondeo, y en el momento en que se efectúa la investigación.

4.- **M. del S. LOSAN S.A.** emplea, para la realización de los sondeos los ensayos y pruebas, el personal y los medios adecuados en cada caso, no aceptando más responsabilidades ni obligaciones que las que completan a los trabajos específicamente encargados.

5.- Las mediciones del nivel freático, si existen, quedan siempre referidas al día en que se han efectuado, y al propio sondeo donde se ha realizado cuyo número y posición figuran en el INFORME.

6.- **M. del S. LOSAN S.A.** no se hace responsable de posibles daños a conducciones ó instalaciones de agua, gas, teléfono, electricidad, desagües, albañiles ... que no se nos hubieran indicado con anterioridad mediante planos con acotaciones precisas de dichas instalaciones en su posicionamiento subterráneo ó exterior.