

**Obra: ESTUDI GEOTÈCNIC PER A NOVA  
CONSTRUCCIÓ D'EDIFICI HOSPITALARI  
AL C/PROVENÇA, EXP. 109/08 NSP  
C/ Provença-C/ Casanovas  
BARCELONA**

**Informe: Nº 15630-06-09**

**ESTUDI GEOTÈCNIC**

**JUNY-AGOST DE 2009**



**ACREDITACIÓ GENERALITAT DE CATALUNYA**  
segons R. D. 257/2003 de 21 d'octubre  
GTL LABORATORI nº ident.: 06163GTL06 (B) 24/04/06  
GTC SONDEIXOS nº ident.: 06048GTC05 (B) 09/09/05

## Í N D E X

### 1.- ANTECEDENTS

#### 1.1. Reconeixement del terreny

### 2.- TREBALLS REALITZATS

#### 2.1. Sondeigs mecànics a percussió

#### 2.2. Sondeigs mecànics a rotació

#### 2.3. Assaigs SPT

#### 2.4. Mostres inalterades i parafinades

### 3.- CONTEXT GEOLÒGIC

### 4.- SITUACIÓ GEOGRÀFICA

### 5.- LITOLOGIA I CARACTERÍSTIQUES GEOTÈCNIQUES

#### 5.1. Unitat de reblert

#### 5.2. Unitat Quaternària

##### 5.2.1 Subunitat d'argiles i llims

##### 5.2.2. Subunitat d'argiles sorrenques, sorres i graves

##### 5.2.3. Subunitat d'argiles marrons i sorres grolleres

#### 5.3. Substrat Terciari

### 6.- NIVELL FREÀTIC

#### 6.1. Coeficient de permeabilitat segons la DB HS1

### 7.- CONSIDERACIONS GEOTÈCNIQUES

#### 7.1. Introducció

#### 7.2. Estudi d'una fonamentació profunda (edifici A)

##### a) Cota i tipologia de la fonamentació

##### b) Resistència unitària per fuste i punta

##### c) Observacions

#### 7.3. Estudi d'una fonamentació superficial mitjançant llosa

##### a) Cota i tipologia de la fonamentació

##### b) Capacitat portant i assentaments

##### c) Coeficient de Balast

##### d) Aspectes constructius

### 8.- MURS PANTALLA

##### a) Resistència unitària per fuste i punta

##### b) Ancoratges

##### c) Coeficient de balast horitzontal

##### d) Talussos

### 9.- RIPABILITAT I EMPENTA DE TERRES

### 10.- SISMICITAT

### 11.- CONCLUSIONS

### ANNEXES: REPORTATGE FOTOGRÀFIC

PLÀNOL DE SITUACIÓ

PERFILS ESTRATIGRÀFICS

GRÀFICS DELS SONDEIGS

ACTES DE LABORATORI

1.- ANTECEDENTS

A petició de **L'HOSPITAL CLÍNIC I PROVINCIAL DE BARCELONA**, segons les instruccions rebudes, i en base al plec de condicions del concurs per la realització d'estudi geotècnic per a un nou edifici Exp. 109/08 NSP, s'ha realitzat en el lloc indicat en el plànol adjunt, un estudi de sòls amb la finalitat de conèixer:

- a) Resultats dels sondeigs a rotació, a percussió i presa de mostres per determinar els perfils geològics i estratigràfics.
- b) Valors de les característiques mecàniques del sòl, obtingudes per mitjà dels assaigs geotècnics efectuats "in situ" i al laboratori.
- c) Consideracions i recomanacions sobre:
  - c.1) Cota i tipologia de la fonamentació.
  - c.2) Indicacions a tenir en compte durant l'execució de les fonamentacions.
- d) Consideracions sobre la estabilitat de possibles talussos temporals.

1.1. Reconeixement del terreny

Segons el Documento Básico SE-C, a continuació s'indicarà la tipologia de l'edificació, el tipus de terreny i la superfície de la parcel·la estudiada:

TIPUS DE CONSTRUCCIÓ	C-1 i C-3
GRUP DE TERRENY	T-2
Nº PLANTES CONSTRUÏDES	3PS i 4PS+PB+7PP
SUPERFÍCIE CONSTRUÏDA PER PLANTA	2200 m² i 4650 m²

2.- TREBALLS REALITZATS

2.1. Sondeigs mecànics a percussió

Durant el mes de Juny- Agost de 2009, s'han dut a terme:

6 sondeigs a percussió

amb la nostra sonda de penetració dinàmica model "PD-TAENZER". En aquest tipus de sonda avalada per la llarga experiència, es comptabilitza el número de cops necessaris per clavar 10 cm del tub en el seu avançament en el sòl per mitjà de la caiguda lliure sobre ell mateix, d'una massa de 115 Kg de pes. Aquesta copeja en cadència aproximada de 50 a 60 cops per minut i amb una alçada constant regulada de caiguda de 40 cm, obtenint-se així dades sobre la resistència del sòl en el punt d'assaig, per mitjà d'un registre continu de la penetració en el seu número de cops.

Al mateix temps va recollint-se, a la sabata de clavar (tub inicial), un testimoni continu amb mostres alterades i recuperació relativa que s'identifica visualment. Les mostres més vàlides i representatives van ser analitzades al nostre laboratori "Labotest" per tal d'obtenir dades significatives.



El número de cops del PD-TAENZER per cada 10 cm està correlacionat empíricament amb el copeig N obtingut amb el SPT (Standard Penetration Test), expressant-se aquesta relació mitjançant l'equació:

$$N = K \cdot N_l$$

essent K un coeficient variable entre 0,8 i 1,2, segons el tipus de terreny i profunditat que es consideri. Per terrenys granulars i cotes superficials es fa servir el valor màxim de 1,2 i per terrenys argilosos i profunds, el mínim de 0,8.

A les parets dels sondeigs s'han realitzat un total de **12 assaigs “in situ”** amb el pressiómetre TEXAM.



Figura 1: Realització del sondeig a percussió P-1.

2.2. Sondeigs mecànics a rotació

Durant els messos de Juny-Agost de 2009, s'ha dut a terme la realització de **13 sondeigs mecànics a rotació** (veure Figura 2), amb extracció de mostra contínua, mitjançant una sonda d'avançament hidràulic, amb bateries simples i amb corones de widia i diamant, segons les exigències imposades pel subsòl.

Sent el percentatge de recuperació dels testimonis de l'ordre del 95% als sòls cohesius i del ordre del 80% als sòls detrítics, si bé en algun tram aquesta recuperació ha pogut disminuir fins a un 70 %.

Pel que fa al diàmetre de perforació, aquest ha oscil·lat entre 115 i 86 mm, segons les necessitats dels sondeigs i la seva fondària.

Les fondàries màximes assolides pels sondeigs, referides a les boques dels mateixos són:

Sondeig S-1R	41,0 m
Sondeig S-2R	40,2 m
Sondeig S-3R	41,0 m
Sondeig S-4R	40.0 m
Sondeig S-5R	36,0 m
Sondeig S-6R	30,0 m
Sondeig S-7R	30,0 m

Sondeig S-8R	30,0 m
Sondeig S-9R	40,0 m
Sondeig S-10R	42,0 m
Sondeig S-11R	42,0 m
Sondeig S-12R	33,6 m
Sondeig S-13R	40,0 m





**Figura 2:** Realització del sondeig a rotació S-6R.

Previ a l'execució dels sondeigs a rotació i dels penetròmetres, es van realitzar calicates manuals i mecàniques fins una fondària de 2,0-3,0 m, amb la finalitat de detectar la presència de serveis enterrats (gas, aigua, enllumenat públic, electricitat,...).

### 2.3. Assaigs SPT

A l'interior dels sondeigs mecànics a rotació, a mesura que aquests es perforaven, i prèvia neteja del seu fons, s'han efectuat un total de **137 assaigs SPT** (Standard Penetration Test), consistents en la penetració d'un agafamostres normalitzat, mitjançant la caiguda d'una massa de 63,5 Kg de pes des d'una alçada de 76 cm.

La penetració s'efectua en quatre trams de 15 cm cadascun, denominant-se valor N a la suma dels cops dels dos trams intermitjos.

**Figura 3:** Detall d'una calicata manual finalitzada, on s'instal·la una tuberia de protecció per on es perforarà el sondeig.





2.4. Mostres inalterades i parafinades

A l'interior dels sondeigs a rotació, es van agafar **100 mostres inalterades i 10 mostres parafinades** amb les que s'han dut a terme els assaigs de laboratori, realitzats al nostre laboratori acreditat per la Generalitat de Catalunya.

Granulometria	26
Humitat natural	31
Límits d'Atterberg	30
Expansivitat Lambe	10
Densitat natural	31

Compressió simple	24
Tall directe (UU)	12
Tall directe (CU)	1
Tall directe (CD)	16
Triaxial (UU)	1
Triaxial (CU)	6
Triaxial (CD)	5
Edòmetre	5

Determinació quantitativa de sulfats	30
Determinació de l'acidesa Baumann-Gully	26
Analítica d'aigua	8

3.- CONTEXT GEOLÒGIC

Geogràficament, la nostra zona d'estudi es situa al Pla de Barcelona, el qual s'emplaça entre els deltes dels rius Llobregat i Besòs, constituint aquest una plataforma morfològica que suaument cabussa des dels relleus muntanyosos de la Serralada de Collserola cap a mar. Aquesta serra forma part de la Serralada Costanera Catalana i segueix una direcció sensiblement paral·lela a la costa.

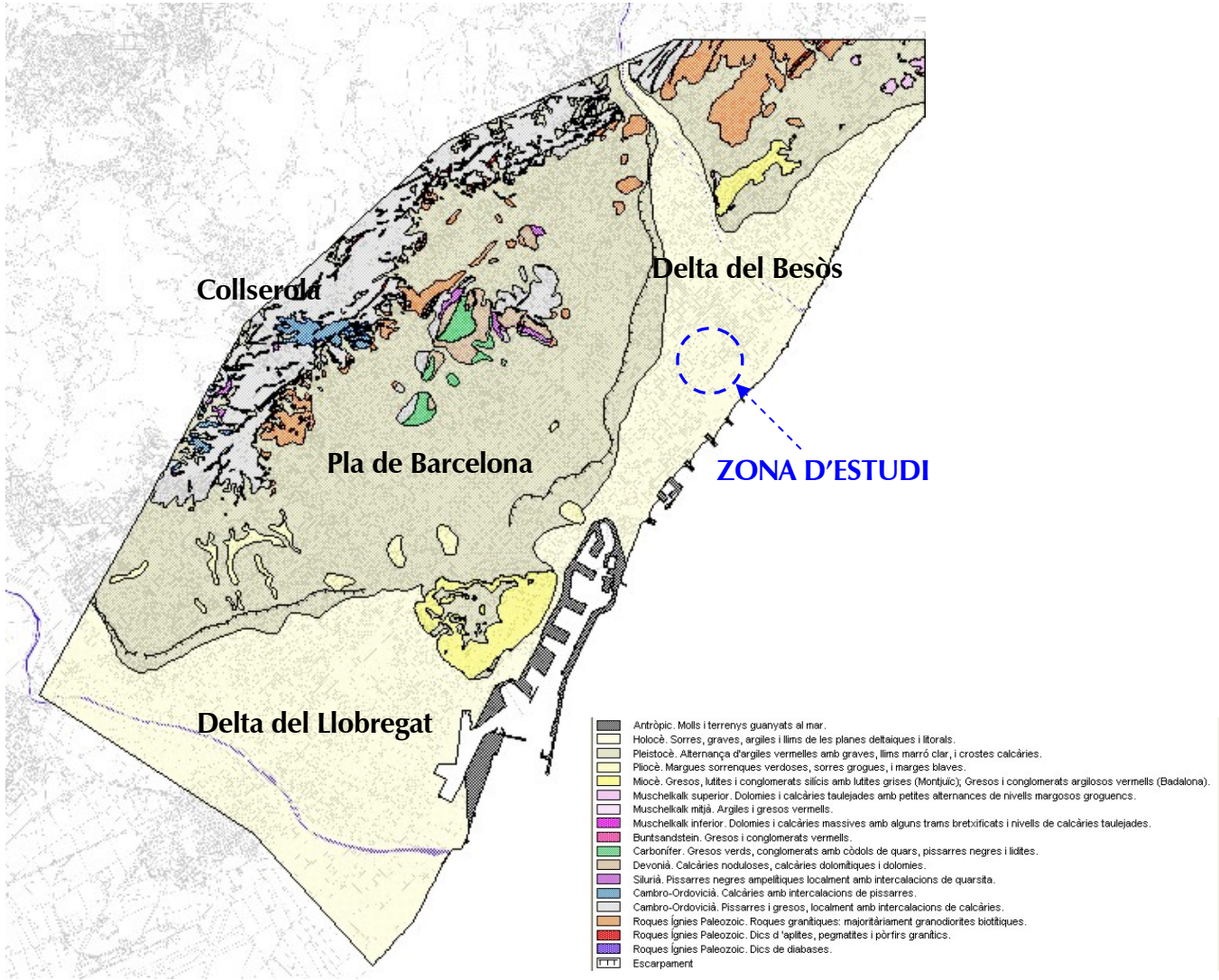


Figura. 4: Principals unitats geològiques que constitueixen la zona de Barcelona.

En quant a la continuïtat del pla, aquesta queda interrompuda per un costat per una alineació muntanyosa de menor alçada, Serrat de la Rovira, i per l'altre pel bloc de Montjuïc, el qual s'alça al Sud de la ciutat de Barcelona.

Geològicament, la zona es situa dins d'un context extensiu que, des de temps neògens, afecta al marge occidental del mar Catalano-Balear, el qual implica una sèrie de falles normals, aproximadament paral·leles a la costa, donant lloc a un conjunt de blocs aixecats (horts), com són la Serralada de Collserola, Serrat de la Rovira i bloc de Montjuïc, i enfonsats, com són les foses i semifoses tectòniques.

Litològicament, aquests blocs aixecats són totalment diferents entre sí. Mentre que els sectors muntanyosos de la Serralada de Collserola i Serrats de la Rovira es troben constituïts per materials paleozoics (pissarres, gresos, calcàries, conglomerats, etc.) i roques plutòniques, com el granit; el bloc de Montjuïc es troba constituït per materials terciaris (margues, gresos i sorres marines). No obstant, en direcció cap a mar, les roques paleozoiques, degut a l'enfonsament del substrat, queden cobertes per materials terciaris, representants per les margues i gresos marins del bloc de Montjuïc, i per les margues i sorres marines del Pliocè.

Al Pla de Barcelona, gran part dels sediments mencionats queden discordantment recoberts per dipòsits d'origen coluvial d'edat Pleistocena (Quaternari antic), constituïts per llims, argiles i crostes calcàries, que en ocasions formen una seqüència de tres nivells que es repeteix de forma cíclica, coneixent-se aquesta unitat amb el nom de 'Tricicle'.

Els deltes dels rius Llobregat i Besòs són d'edat geològica més jove, ja que s'han format durant l'Holocè (Quaternari recent). Trobant-se entre els sediments deltaics: llims i argiles de la planura d'inundació, argiles dipositades a les marismes associades als deltes, sorres i graves fluvials, argiles i llims sedimentats al front deltaic, així com sorres litorals de platja.

Cal destacar que existeixen altres dipòsits igualment recents a aquests, situats a sobre de la planura de piemont i constituïts per materials poc consolidats, graves i sorres grises, que reomplen i alguns cops colmaten la nombrosa sèrie de rieres que baixen des de la Muntanya del Tibidabo.

Aquesta xarxa hidrològica menor, constituïda per rieres i torrents, que creua la ciutat entre els dos rius, recull les aigües dels torrents de Sarrià, Sant Gervasi, Les Corts i Sants. Conca, que probablement ha perdurat durant tot el Quaternari, ja que així ho indica el paleorelleu anterior a aquest període geològic.

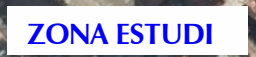
En concret la zona d'estudi es troba afectada per dues rieres que la travessen transversalment, el Torrent de Ballescà i el Torrent de la Creu d'en Malla.





Font :Mapa Geològic de Barcelona. Institut Cartogràfic de Catalunya.

El terreny objecte d'estudi es troba limitat per les instal·lacions de l'Hospital Clínic Provincial de Barcelona al C/ Provença i les instal·lació del Parc de Bombers localitzat entre els carrers Provença, Casanovas i Villaroel, dins del terme municipal de Barcelona (figura 6), situant-se els sondeigs tal i com es mostra a la Figura 7 i al plànol adjunt (veure annex).



**Figura 6:** Situació geogràfica de la zona d'estudi.



Aquest terreny presenta una topografia regular, sent les diferències topogràfiques entre les embocadures dels sondeigs de l'ordre de centímetric a decimètric.

A partir del plànol topogràfic facilitat per la Direcció Facultativa, s'han determinat les següents cotes topogràfiques de les boques dels sondeigs:

**SONDEIGS A ROTACIÓ**

Sondeig S-1R	+ 33,60 m	Sondeig S-8R	+ 33,50 m
Sondeig S-2R	+ 33,70 m	Sondeig S-9R	+ 33,45 m
Sondeig S-3R	+ 33,90 m	Sondeig S-10R	+ 33,65 m
Sondeig S-4R	+ 33,25 m	Sondeig S-11R	+ 33,65 m
Sondeig S-5R	+ 33,70 m	Sondeig S-12R	+ 33,45 m
Sondeig S-6R	+ 33,50 m	Sondeig S-13R	+ 33,65 m
Sondeig S-7R	+ 33,50 m		

**SONDEIGS A PERCUSSIÓ**

Sondeig P-1	+ 33,65 m	Sondeig P-4	+ 33,70 m
Sondeig P-2	+ 33,65 m	Sondeig P-5	+ 33,10 m
Sondeig P-3	+ 33,65 m	Sondeig P-6	+ 34,20 m



Figura 7: Localització aproximada dels sondeigs realitzats a l'àrea d'estudi.

## 5.- LITOLOGIA I CARACTERÍSTIQUES GEOTÈCNIQUES

La successió litoestratigràfica obtinguda a partir dels sondeigs realitzats, així com les característiques mecàniques de les diferents litologies, és la següent:

### 5.1. Unitat de reblert.

### 5.2. Unitat Quaternària.

5.2.1. Subunitat d'argiles i llims.

5.2.2. Subunitat d'argiles sorrenques, sorres i graves.

5.2.3. Subunitat d'argiles marrons i sorres grolleres

### 5.3. Substrat Terciari

### 5.1. Unitat de reblert

Superficialment es localitza una unitat de reblert que presenta una composició litològica molt heterogènia constituïda per llims, sorres i graves amb abundants restes antròpiques disperses (cascots, formigó, escòries...)



**Figura 8:** Aspecte que presenta la unitat de reblert .

Donat que aquesta unitat presenta un origen antròpic no es descarta que puntualment pugui presentar espessors superiors als detectats pels sondeigs realitzats.



En aquesta unitat de reblert, es localitzen abundants serveis enterrats (enllumenat públic, Gas Natural, Aigües de Barcelona, clavegueram, fibra òptica i electricitat). A més a més en els sondeigs S-1R a S-3R, s'ha detectat un antic col·lector d'aproximadament 80-100 cm de diàmetre i amb un revestiment d'acer de 2 cm de gruix que es localitza a partir dels 1,8-2,2 m de fondària.

A destacar que en el Parc de Bombers al costat del sondeigs P-1 (taller mecànic-museu), es va perforar un antic pou parcialment reomplert que arribava fins els 21,0 m de fondària. A més a més en el pati interior just al costat del sondeigs S-8R existeixen dipòsits d'hidrocarburs enterrats en el subsòl (fet a tenir en compte ja que els sòls que estiguin en contacte amb els dipòsits poden trobar-se contaminats i necessiten ser tractats com a residus).

Aquesta unitat es troba fins a les següents fondàries referides a les boques dels sondeigs:

**SONDEIGS A ROTACIÓ**

Sondeig S-1R	3,0 m	Sondeig S-8R	4,0 m
Sondeig S-2R	2,4 m	Sondeig S-9R	3,0 m
Sondeig S-3R	3,8 m	Sondeig S-10R	3,0 m
Sondeig S-4R	6,0 m	Sondeig S-11R	3,8 m
Sondeig S-5R	1,7 m	Sondeig S-12R	3,0 m
Sondeig S-6R	3,8 m	Sondeig S-13R	2,3 m
Sondeig S-7R	3,7 m		

**SONDEIGS A PERCUSSIÓ**

Sondeig P-1	1,8 m	Sondeig P-4	3,8 m
Sondeig P-2	2,0 m	Sondeig P-5	1,7 m
Sondeig P-3	1,8 m	Sondeig P-6	3,7 m

Des del punt de vista geotècnic es tracta d'un material dotat d'unes baixes i heterogènies propietats resistents. Per això, aquest nivell no es considera apte pel recolzament de cap tipus de fonamentació, degut a que la seva estructura interna, oberta i col·lapsable, afavoreix assentaments de gran magnitud.:

Tamís $T_{0,08}$	$T_{0,08} = 6,8 \%$
Humitat natural	$w = 7,4 \%$
Índex de plasticitat	I.P.=N. P
Densitat humida	$\rho = 2,03 \text{ Tn/m}^3$
Contingut quantitatiu en sulfats	96 mg $\text{SO}_4^{2-}$ /Kg mostra (*)
Assaig SPT	SPT = 13 (nº de cops per 30 cm.)
Penetració dinàmica	$N_1 = 4-190$ (nº de cops per 10 cm.)
Pressió límit	$P_1 = 3,3 \text{ Kg/cm}^2$
Mòdul de deformació	$E = 12 \text{ Kg/cm}^2$
Cohesió no drenada (UU)	$S_u = 0,0 \text{ Kg/cm}^2$
Angle de fregament intern no drenat (UU)	$\phi_u = 28,6^\circ$

(\*) L'agressivitat d'aquest sòl enfront el formigó pot catalogar-se com No agressiu, segons la Instrucció del Formigó Estructural EHE (R.D. 1247/2008) (veure Figura 13).

5.2. Unitat Quaternària.

Per sota de la unitat de reblert es localitzen els sediments d'edat Quaternària, que segons es pot comprovar als diferents perfils estratigràfics i a les gràfiques dels sondeigs presenten una composició litològica molt heterogènia així com una distribució estratigràfica molt erràtica.

Aquests sediments representen els dipòsits subactuals del denominat Pla de Barcelona. Aquesta variabilitat es deu al processos geològics que van generar aquests dipòsits i als diferents processos geomorfològics (carbonatació, erosió, rieres,...) que han patit a posteriori.

De fet la zona d'estudi, des del punt de vista geomorfològic es situa en un antic "glacis" que presenta una suau pendent en direcció al mar, trobant-se afectat per diferents cons de dejecció que provenen dels relleus propers (Tibidabo, Horta, Carmel,). Aquest fet explica la gran variabilitat granulomètrica que presenten aquests dipòsits Quaternaris, la zones més properes al nucli del con presenten materials de granulometria més grollera (graves i sorres amb abundant matriu cohesiva) i la part més distal on es presenten cons de fang, troben els materials que representen el "Tricicle de Barcelona" constituït per materials cohesius (argiles, llims i crostes carbonatades degut a processos d'evaporització ).

Finalment, i degut a les variacions eustàtiques, associades a les diferents glaciacions generades a l'època Quaternària, s'encaixen i es colmaten multitud de rieres. En concret en la nostra zona d'estudi es localitza el Torrent de Ballescà i el Torrent de la Creu d'en Malla.

Degut aquest context geomorfològic, aquesta unitat Quaternària es pot subdividir en diferents subunitats geotècniques, cadascuna amb una litologia predominant i unes característiques geotècniques pròpies:

- Subunitat d'argiles i llims .
- Subunitat d'argiles sorrenques, sorres i graves.
- Subunitat d'argiles marrons i sorres grolleres.

5.2.1. Subunitat d'argiles i llims.

Aquesta subunitat es localitza a la zona més superficial dels dipòsits Quaternaris, i es troba constituïda per materials cohesius, destaquen les argiles marrons a marró vermelloses i llims carbonatats de tonalitats marró beige a marró.

En els diferents sondeigs realitzats, aquesta subunitat es localitza fins les següents fondàries aproximades:

SONDEIGS A ROTACIÓ

Sondeig S-1R	16,0 m	Sondeig S-8R	16,0 m
Sondeig S-2R	8,0 m	Sondeig S-9R	13,5 m
Sondeig S-3R	13,7 m	Sondeig S-10R	10,0 m
Sondeig S-4R	17,0 m	Sondeig S-11R	9,0 m
Sondeig S-5R	11,9 m	Sondeig S-12R	12,0 m
Sondeig S-6R	13,8 m	Sondeig S-13R	17,0 m
Sondeig S-7R	13,7 m		





SONDEIGS A PERCUSSIÓ

Sondeig P-1	10,4 m	Sondeig P-4	10,2 m
Sondeig P-2	10,2 m	Sondeig P-5	12,0 m
Sondeig P-3	10,1 m	Sondeig P-6	13,7 m

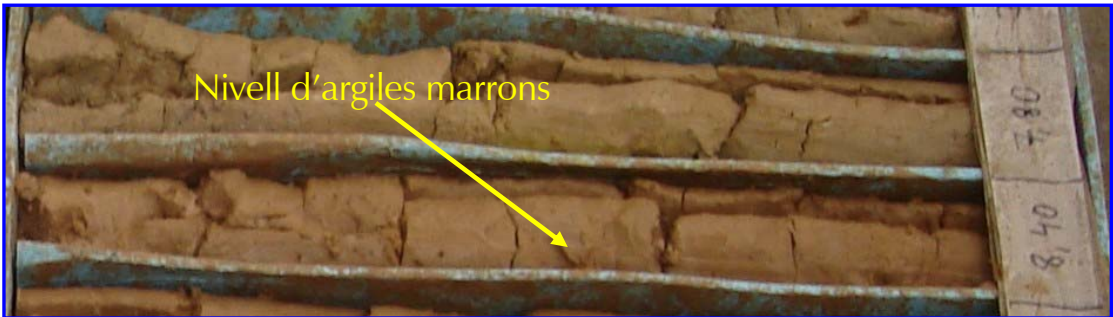


Figura 9: Aspecte que presenta la subunitat d'argiles i llims

En aquesta subunitat s'han detectat intercal·lacions de nivells cimentats de crostes carbonatades, aquests presenten un gruix molt variable però en cap cas arriba a ser decimètric (habitualment són de 10-30 cm com a molt, sent majoria els de 10 c m).

Així mateix, es presenten nivells de gruix decimètric a mètric de graves i gravetes de pissarra i quars amb abundant matriu. Aquests presenten una distribució molt erràtica i poca continuïtat lateral.

Segons la classificació de Casagrande, aquests sòls es poden catalogar com a CL/ML/ML(CL), i mostren com a fracció grollera secundària graves i gravetes, així com nòduls carbonatats. Cal indicar que també presenten intercalacions de nivells detrítics (GC-SC).

Des del punt de vista geotècniques, els nivells de llims carbonatats presenten consistències moderadament fermes, els nivells d'argiles marró vermelloses consistències fermes a dures, i les crostes carbonatades consistència rocosa:

Nivells d'argiles

Classificació USCS	CL-GC(SC)
Tamís T <sub>0,08</sub>	T <sub>0,08</sub> = 68,3-91,5 %
Humitat natural	w = 9,3-13,9 %
Límit líquid	L.L. = 26,0-33,5 %
Índex de plasticitat	I.P. = 8,9-20,4 %
Densitat natural	ρ = 1,78-1,99 Tn/m <sup>3</sup>
Índex d'expansivitat	I <sub>H</sub> = 0,01-0,02 MPa
Canvi potencial de volum	C.P.V. = No crític
Contingut quantitatiu en sulfats	101-285 mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /Kg mostra *
Acidessa Baumann-Gully	5,2-8,3
Assaig SPT	SPT = 15-46 (nº de cops per 30 cm.)
Penetració dinàmica	N <sub>i</sub> = 2-65 (nº de cops per 10 cm.)
Pressió límit	P <sub>l</sub> = 12,3-15,2 Kg/cm <sup>2</sup>
Mòdul de deformació	E = 138-181 Kg/cm <sup>2</sup>
Compressió simple	q <sub>u</sub> = 1,57-3,38 Kg/cm <sup>2</sup>
Cohesió drenada (CD)	c' = 0,16-0,17 Kg/cm <sup>2</sup>
Angle de fregament drenat (CD)	φ' = 29,0-29,3º
Cohesió no drenada (UU)	S <sub>u</sub> = 0,19-0,43 Kg/cm <sup>2</sup>
Angle de fregament intern no drenat (UU)	φ <sub>U</sub> = 17-26,4 º
Cohesió no drenada (CU)	S <sub>u</sub> = 0,16 Kg/cm <sup>2</sup>
Angle de fregament drenat no drenat (CU)	φ <sub>U</sub> = 27,4 º
Índex de porus	e <sub>o</sub> = 0,491
Coefficient de consolidació	c <sub>c</sub> = 0,126
Coefficient d'inflament	c <sub>s</sub> = 0,0164



Nivells de llims

Classificació USCS	ML
Tamís $T_{0,08}$	$T_{0,08} = 88,2-90 \%$
Humitat natural	$w = 7,3-9,6 \%$
Límit líquid	$L.L. = 22,4-26,4 \%$
Índex de plasticitat	$I.P. = 8,6-13 \%$
Densitat natural	$\rho = 1,78-1,92 \text{ Tn/m}^3$
Contingut quantitatiu en sulfats	$106-161 \text{ mg SO}_4^{2-}/\text{Kg mostra}^{(*)}$
Acidessa Baumann-Gully	$3,3-7,2$
Assaig SPT	$SPT = 6-18$ (nº de cops per 30 cm.)
Penetració dinàmica	$N_1 = 8-62$ (nº de cops per 10 cm.)
Pressió límit	$P_l = 7,8- 11,8 \text{ Kg/cm}^2$
Mòdul de deformació	$E = 93- 123 \text{ Kg/cm}^2$
Compressió simple	$q_u = 0,87-1,53 \text{ Kg/cm}^2$
Cohesió drenada (CD)	$c' = 0,11-0,12 \text{ Kg/cm}^2$
Angle de fregament drenat (CD)	$\phi' = 24,8-26,2^\circ$
Cohesió drenada (CU)	$C_{cu} = 0,16 \text{ Kg/cm}^2$
Angle de fregament drenat (CU)	$\phi_{cu} = 27,4^\circ$
Triaxial - Cohesió no drenada (CU)	$S_u = 0,38 \text{ Kg/cm}^2$
Triaxial - Angle de fregament no drenat (CU)	$\phi_u = 11,3^\circ$
Índex de porus	$e_o = 0,608$
Coeficient de consolidació	$c_c = 0,127$
Coeficient d'inflament	$c_s = 0,004$

<sup>(\*)</sup> L'agressivitat d'aquest sòl enfront el formigó pot catalogar-se com No agressiu, segons la Instrucció del Formigó Estructural EHE (R.D. 1247/2008) (veure Figura 13).

5.2.2. Subunitat d'argiles sorrenques, sorres i graves

Per sota de la subunitat d'argiles i llims, es localitza una unitat que presenta una composició litològica molt detrítica, localitzant-se una gradació granulomètrica que varia entre els següents nivells:

- Nivells d'argiles sorrenques que segons la classificació de Casagrande es pot catalogar com a CL-SC.
- Nivells de graves i gravetes de pissarra i quars amb abundant matriu. En aquests nivells s'han detectat còdols de pissara que segurament són els causants del rebuig obtinguts en els sondeigs a percussió (penetròmetres). Aquests sòls es poden catalogar segons la classificació de Casagrande com a GC-GP.
- Nivells de sorres grolleres amb matriu argilosa de tonalitat marró a marró vermellosa. Segons la clasificació de Casagrande aquests sòls es poden catalogar com a SC-SP.

Aquests sòls es corresponen amb els materials dipositats per la part central dels cons al·luvials i de les rieres presents a la zona d'estudi.

La distribució estratigràfica d'aquests nivells detrítics és molt heterogènia, però es poden observar gradacions de tamany, tant en les columnes estratigràfiques com en la seva distribució en els perfils estratigràfics.







Figura 10: Aspecte que presenta la subunitat d' argiles sorrenques, sorres i graves.

Aquesta unitat es localitza fins les següents fondàries referides a les boques dels sondeigs:

SONDEIGS A ROTACIÓ

Sondeig S-1R	30,0 m	Sondeig S-8R	20,2 m
Sondeig S-2R	21,0 m	Sondeig S-9R	21,8 m
Sondeig S-3R	23,1 m	Sondeig S-10R	22,2 m
Sondeig S-4R	18,6 m	Sondeig S-11R	19,3 m
Sondeig S-5R	20,0 m	Sondeig S-12R	20,2 m
Sondeig S-6R	21,5 m	Sondeig S-13R	19,0 m
Sondeig S-7R	19,4 m		

Els sondeigs a percussió van donar rebuig en aquesta unitat i no van poder travessar-la, segurament degut a la presència de còdols de pissarra.

Des del punt de vista geotècnic, es tracta d'uns materials dotats de compacitats mitjanament denses a denses amb intercalacions secundàries de nivells de consistències moderadament fermes (nivells d' argiles sorrenques):

Nivells d'argiles sorrenques

Classificació USCS	CL-SC
Tamís T <sub>0,08</sub>	T <sub>0,08</sub> = 80,6 %
Humitat natural	w = 16,8 %
Límit líquid	L.L. = 29,3 %
Índex de plasticitat	I.P. = 13,6 %
Densitat natural	ρ = 2,03 Tn/m <sup>3</sup>
Índex d'expansivitat	I <sub>H</sub> = 0,03 MPa
Canvi potencial de volum	C.P.V. = No crític
Contingut quantitatiu en sulfats	196 mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /Kg mostra *
Acidessa Baumann-Gully	10,2
Assaig SPT	SPT = 16-29 (nº de cops per 30 cm.)
Penetració dinàmica	N <sub>1</sub> = 18-65 (nº de cops per 10 cm.)
Pressió límit	P <sub>l</sub> = 9,8 Kg/cm <sup>2</sup>
Mòdul de deformació	E = 130 Kg/cm <sup>2</sup>
Compressió simple	q <sub>u</sub> = 1,85 Kg/cm <sup>2</sup>
Cohesió no drenada (UU)	S <sub>u</sub> = 0,36 Kg/cm <sup>2</sup>
Angle de fregament intern no drenat (UU)	φ <sub>U</sub> = 21,5 °
Triaxial Cohesió no drenada (CU)	S <sub>u</sub> = 1,83 Kg/cm <sup>2</sup>
Triaxial Angle de fregament no drenat (CU)	φ <sub>U</sub> = 11,1 °
Índex de porus	e <sub>o</sub> = 0,551
Coefficient de consolidació	c <sub>c</sub> = 0,116
Coefficient d'inflament	c <sub>s</sub> = 0,011

Nivells de graves i sorres

Classificació USCS	GC(GP)/SC(SP)
Tamís T <sub>0,08</sub>	T <sub>0,08</sub> = 19,4-33,8 %
Humitat natural	w = 12,8-16,3 %
Límit líquid	L.L. = 23,8-25,8 %
Índex de plasticitat	I.P. = 10,2-13,3 %
Densitat natural	ρ = 2,06-2,19 Tn/m <sup>3</sup>
Contingut quantitatiu en sulfats	96-186 mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /Kg mostra (*)
Acidessa Baumann-Gully	3,9-10,5
Assaig SPT	SPT = 29-Rbg (nº de cops per 30 cm.)
Penetració dinàmica	N <sub>i</sub> = 36-Rbg (nº de cops per 10 cm.)
Pressió límit	P <sub>i</sub> = 12,8->20 Kg/cm <sup>2</sup>
Mòdul de deformació	E = 124-<220 Kg/cm <sup>2</sup>
Cohesió drenada (CD)	c' = 0,07-0,11 Kg/cm <sup>2</sup>
Angle de fregament intern drenat (CD)	φ' =30,3-31,8 °
Triaxial - Cohesió drenada (UU)	S <sub>u</sub> = 0,03 Kg/cm <sup>2</sup>
Triaxial - Angle de fregament drenat (UU)	φ <sub>u</sub> =39,8 °
Triaxial - Cohesió drenada (CD)	c' = 0,06 Kg/cm <sup>2</sup>
Triaxial - Angle de fregament drenat (CD)	φ' =33,71 °

(\*) L'agressivitat d'aquest sòl enfront el formigó pot catalogar-se com No agressiu, segons la Instrucció del Formigó Estructural EHE (R.D. 1247/2008) (veure Figura 13).

5.2.3. Subunitat d'argiles marrons i sorres grolleres

Finalment per sota de la subunitat d'argiles sorrenques, sorres i graves, es localitza la última subunitat d'edat Quaternària. Aquesta es troba constituïda essencialment per argiles de tonalitats marrons a marró ocre que presenta intercal·lacions de nivells decimètrics de sorres mitjes a grolleres amb poca matriu.

Cal indicar que aquesta unitat a messura que es profunditza presenta més materials detrítics, de fet, en el contacte amb el Substrat Terciari, es habitual trobar l·lencions de nivells de sorres grolleres i graves de gruix decimètric a mètric.

Aquestes materials es presenten en els punts investigats fins les següents fondàries, referides a les boques dels sondeigs, cal remarcar que al sondeig S-1R no es va detectar:

SONDEIGS A ROTACIÓ

Sondeig S-1R	N.D	Sondeig S-8R	29,5 m
Sondeig S-2R	29.4 m	Sondeig S-9R	29,5 m
Sondeig S-3R	29.4 m	Sondeig S-10R	30,0 m
Sondeig S-4R	30,0 m	Sondeig S-11R	31,2 m
Sondeig S-5R	28,4 m	Sondeig S-12R	32,2 m
Sondeig S-6R	p.m.a*	Sondeig S-13R	30,2 m
Sondeig S-7R	p.m.a*		

\*(profunditat màxima assolida pels sondeigs de 30,0 m)



Aquests sòls catalogats com CL-SC-GC presenten com a fracció grollera secundària algun còdol dispers.

Des del punt de vista geotècnic es tracta d'uns materials dotats de consistències moderadament fermes amb intercal·lacions de nivells de detrítics de compacitats mitjanament denses a denses:



Figura 11: Aspecte que presenta la unitat d'argiles marrons i sorres grolleres.

*Nivells d'argiles marrons a marró ocre*

Classificació USCS	CL-CL(SC)
Tamís T <sub>0,08</sub>	T <sub>0,08</sub> = 73,4-89,6 %
Humitat natural	w = 17,1-19,4 %
Límit líquid	L.L. = 33,0-36,4 %
Índex de plasticitat	I.P.= 14,2-19,1 %
Densitat natural	ρ = 1,91-2,08 Tn/m <sup>3</sup>
Índex d'expansivitat	I <sub>H</sub> = 0,02-0,03 MPa
Canvi potencial de volum	C.P.V. = No crític
Contingut quantitatiu en sulfats	210-301 mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /Kg mostra *
Acidessa Baumann-Gully	4,0-7,5
Assaig SPT	SPT = 16-38 (nº de cops per 30 cm.)
Compressió simple	q <sub>u</sub> =1,96-3,18 Kg/cm <sup>2</sup>
Cohesió no drenada (UU)	S <sub>u</sub> = 0,38-0,43 Kg/cm <sup>2</sup>
Angle de fregament intern no drenat (UU)	φ <sub>U</sub> =12,3-17,2 °
Cohesió drenada (CD)	c' = 0,16-0,31 Kg/cm <sup>2</sup>
Angle de fregament intern drenat (CD)	φ' =26,4-29,6 °
Triaxial Cohesió no drenada (CU)	S <sub>u</sub> = 1,38 Kg/cm <sup>2</sup>
TriaxialAngle de fregament no drenat (CU)	φ <sub>U</sub> =17,8 °
Índex de porus	e <sub>o</sub> = 0,385
Coefficient de consolidació	c <sub>c</sub> =0,108
Coefficient d'inflament	c <sub>s</sub> = 0,007

Nivells de sorres grol·leres i graves

Classificació USCS	GC(CL)/SC
Tamís $T_{0,08}$	$T_{0,08} = 17,3-27,9 \%$
Humitat natural	$w = 13,9-18,3 \%$
Límit líquid	$L.L. = 26,4-27,9 \%$
Índex de plasticitat	$I.P. = 11,5-13,0 \%$
Densitat natural	$\rho = 2,06 \text{ Tn/m}^3$
Contingut quantitatiu en sulfats	$101-164 \text{ mg SO}_4^{2-}/\text{Kg mostra}^{(*)}$
Acidessa Baumann-Gully	7,0
Índex d'expansivitat	$I_H = 0,03 \text{ MPa}$
Canvi potencial de volum	C.P.V. = No crític
Assaig SPT	$SPT = 20\text{-Rbg}$ (nº de cops per 30 cm.)
Cohesió no drenada (UU)	$S_u = 0,08 \text{ Kg/cm}^2$
Angle de fregament intern no drenat (UU)	$\phi_U = 29^\circ$
Cohesió drenada (CD)	$c' = 0,07 \text{ Kg/cm}^2$
Angle de fregament intern drenat (CD)	$\phi' = 30,5^\circ$
Triaxial Cohesió no drenada (CU)	$S_{cu} = 0,02 \text{ Kg/cm}^2$
TriaxialAngle de fregament no drenat (CU)	$\phi_{CU} = 33,1^\circ$

(\*) L'agressivitat d'aquest sòl enfront el formigó pot catalogar-se com No agressiu, segons la Instrucció del Formigó Estructural EHE (R.D. 1247/2008) (veure Figura 13).

5.3. Substrat Terciari

Finalment, per sota de la unitat Quaternària i fins la fondària màxim assolida pels sondeigs, es localitza el Substrat Terciari de la zona, que es troba constituït essencialment per materials cohesius (argiles margoses i argil.lites).

En base al seu origen aquests materials presenten diferents tonalitats:

- a) Argiles margoses marró verdoses a marró ocres amb sorres fines disperses que presenten consistències fermes a dures
- b) Argiles margoses grisenques de consistències fermes.
- c) Argiles margoses-argil.lites marrons amb consistències dures a rocoses.

A part d'aquests nivells cohesius, també es localitzen nivells de sorres fines a mitjes de tonalitats marrons a marró blanquinoses, amb poca matriu. En algun cas, aquests nivells de sorres es troben cimentats, arribant a constituïr nivells de gruix decimètric i de consistències rocoses, sent molt abrassius per les eines de perforació (es van tenir que perforar amb corona de diamant).

Degut a que es tracta del Substrat Terciari, aquesta unitat presentarà un gruix molt superior a varies decenes de metres, mantenint o augmentant en fondària les seves característiques resistents.

Aquest sòls es poden catalogar, segons la classificació de Casagrande, com a CL(SC)-SP(SW), mostren com a fracció grollera secundària alguna graveta puntual.







Figura 12.: Aspecte que presenta el Substrat Terciari (nivell d'argiles margoses grisenques)

Des del punt de vista geotècnic, es tracta d'uns materials sobreconsolidats de consistències dures a rocoses:

Classificació USCS	CL(SC)-SP(SW)
Tamís $T_{0,08}$	$T_{0,08} = 95,3-98,3 \%$
Humitat natural	$w = 14,7-21,3 \%$
Límit líquid	$L.L. = 42,8-58,7 \%$
Índex de plasticitat	$I.P. = 20,1-30,1 \%$
Densitat natural	$\rho = 1,93-2,06 \text{ Tn/m}^3$
Índex d'expansivitat	$I_H = 0,04-0,06 \text{ MPa}$
Canvi potencial de volum	C.P.V. = No crític
Contingut quantitatiu en sulfats	$181-330 \text{ mg SO}_4^{2-}/\text{Kg mostra}^*$
Acidessa Baumann-Gully	3,9-13,6
Assaig SPT	$\text{SPT} = 20\text{-Rbg (n}^\circ \text{ de cops per 30 cm.)}$
Compressió simple	$q_u = 4,24-12,83 \text{ Kg/cm}^2$
Cohesió no drenada (UU)	$S_u = 0,35-0,64 \text{ Kg/cm}^2$
Angle de fregament intern no drenat (UU)	$\phi_U = 23,1-26,8^\circ$
Cohesió drenada (CD)	$c' = 0,33-0,73 \text{ Kg/cm}^2$
Angle de fregament intern drenat (CD)	$\phi' = 27,3-29,8^\circ$
Triaxial - Cohesió no drenada (CU)	$S_u = 2,02-2,39 \text{ Kg/cm}^2$
Triaxial -Angle de fregament no drenat (CU)	$\phi_U = 15,3-22,7^\circ$
Triaxial - Cohesió no drenada (CD)	$c' = 0,66-0,98 \text{ Kg/cm}^2$
Triaxial -Angle de fregament no drenat (CD)	$\phi' = 27,1-29,3^\circ$
Índex de porus	$e_o = 0,561$
Coefficient de consolidació	$c_c = 0,090$
Coefficient d'inflament	$c_s = 0,003$

(\*) L'agressivitat d'aquest sòl enfront el formigó pot catalogar-se com No agressiu, segons la Instrucció del Formigó Estructural EHE (R.D. 1247/2008) (veure Figura 13).



6.- NIVELL FREÀTIC

Un cop finalitzada l'execució dels sondeigs (Juliol-Agost de 2009), es va poder mesurar el nivell freàtic en tots els sondeigs a les següents profunditats aproximades respecte les boques dels sondeigs de:

SONDEIGS A ROTACIÓ

Sondeig S-1R	18,5 m	Sondeig S-8R	18,7 m
Sondeig S-2R	17,3 m	Sondeig S-9R	18,7 m
Sondeig S-3R	18,2 m	Sondeig S-10R	18,8 m
Sondeig S-4R	18,7 m	Sondeig S-11R	18,6 m
Sondeig S-5R	18,7 m	Sondeig S-12R	18,7 m
Sondeig S-6R	19,1 m	Sondeig S-13R	18,8 m
Sondeig S-7R	18,7 m		

SONDEIGS A PERCUSSIÓ

Sondeig P-1	No detectat	Sondeig P-4	18,6 m
Sondeig P-2	No detectat	Sondeig P-5	18,8 m
Sondeig P-3	No detectat	Sondeig P-6	No detectat

Tal i com s'indicava a l'apartat 3 (Context Geològic), a la zona d'estudi es localitza la traça del Torrent de Ballescà i es troba molt aprop del Torrent de la Creu d'en Malla. Degut a que possiblement aquestes rieres puguin ser actives s'han deixat instal·lats cinc piezòmetres per poder mesurar en tot moment la posició del nivell freàtic i determinar les seves possibles oscil·lacions.

Sobre vuit mostres d'aigua extretes dels sondeigs, s'ha realitzat un anàlisi químic complet, on el resultat és el següent:

	S-1R	S-2R	S-3R	S-4R
Valor del pH	7,31	7,11	7,3	7,3
CO <sub>2</sub> agressiu (mg CO <sub>2</sub> /l)	18	24	14	16
Ió clor (mg Cl/l)	160	193	168	102
Ió amoni (mg NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /l)	0,2	0,2	0,3	0,4
Ió magnesi (mg Mg <sup>2+</sup> /l)	66	81	39	62
Ió sulfat (mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /l)	218	248	184	212
Residu sec	1030	1180	1241	1310
Atac	Dèbil (Q <sub>a</sub> )	Dèbil (Q <sub>a</sub> )	No agressiva	Dèbil (Q <sub>a</sub> )

	S-5R	S-7R	S-9R	S-11R
Valor del pH	7,18	7,41	7,15	7,33
CO <sub>2</sub> agressiu (mg CO <sub>2</sub> /l)	9	22	28	15
Ió clor (mg Cl/l)	83	180	70	93
Ió amoni (mg NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /l)	0,28	0,68	1,3	0,4
Ió magnesi (mg Mg <sup>2+</sup> /l)	30	93	123	31
Ió sulfat (mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /l)	169	239	171	193
Residu sec	1102	1020	1310	1268
Atac	No agressiva	Dèbil (Q <sub>a</sub> )	Dèbil (Q <sub>a</sub> )	Dèbil (Q <sub>a</sub> )

L'agressivitat d'aquestes mostres d'aigua enfront el formigó pot catalogar-se com **Atac dèbil - No agressives**, segons la Instrucció del Formigó Estructural EHE (R.D. 2661/1998) (veure Figura 13).

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
	CO2 AGRESIVO (mg CO2/ l)	15 - 40	40 - 100	> 100
	IÓN AMONIO (mg NH4+ / l)	15 - 30	30 - 60	> 60
	IÓN MAGNESIO (mg Mg2+ / l)	300 - 1000	1000 - 3000	> 3000
	IÓN SULFATO (mg SO42- / l)	200 - 600	600 - 3000	> 3000
	RESIDUO SECO (mg / l)	>150	50-150	<50
SUELO	GRADO DE ACIDEZ BAUMANN-GULLY	> 20	(*)	(*)
	IÓN SULFATO (mg SO42- / kg de suelo seco)	2000 - 3000	3000-12000	> 12000

Figura 13. Classificació de l'agressivitat química  
(Instrucció del Formigó Estructural EHE (R.D. 1247/2008).

6.1. Coeficient de permeabilitat segons DB HS1

Segons el Document Bàsic HS1 de Protección frente a humedad, es poden classificar les unitats detectades com:

		Presència d'aigua	Coeficient de permeabilitat del terreny	Grau d'impermeabilitat
Sòls	Ut. Quaternària Sut. d'argiles i llims	Baixa	$K_s \leq 10^{-5} \text{ cm/s}$	2
	Ut. Quaternària Sut. d'argiles sorrenques, sorres i graves	Baixa	$K_s \geq 10^{-2} \text{ cm/s}$	1

Grado de impermeabilidad mínimo exigido a los suelos		
Presencia de agua	Coeficiente de permeabilidad del terreno	
	$K_s > 10^{-5} \text{ cm/s}$	$K_s \leq 10^{-5} \text{ cm/s}$
Alta	5	4
Media	4	3
Baja	2	1

Figura. 14: Coeficient de permeabilitat segons la DB HS1.

		Presència d'aigua	Coeficient de permeabilitat del terreny	Grau d'impermeabilitat
Murs	Ut. de reblert	Baixa	$K_s \geq 10^{-2} \text{ cm/s}$	1
	Ut. Quaternària Sut. d'argiles i llims	Baixa	$K_s \leq 10^{-5} \text{ cm/s}$	1
	Ut. Quaternària Sut. d'argiles sorrenques, sorres i graves	Baixa	$K_s \geq 10^{-2} \text{ cm/s}$	1

Grado de impermeabilidad mínimo exigido a los muros			
Presencia de agua	Coeficiente de permeabilidad del terreno		
	$K_s \geq 10^{-2} \text{ cm/s}$	$10^{-5} < K_s < 10^{-2} \text{ cm/s}$	$K_s \leq 10^{-5} \text{ cm/s}$
Alta	5	5	4
Media	3	2	2
Baja	1	1	1

Figura. 15: Coeficient de permeabilitat segons la DB HS1.





Alhora de definir les possibles fonamentacions es diferenciaren dos possibles opcions:

- **Fonamentació profunda:** a l'edifici A es preveu que a la part central les càrregues per pilar siguin de l'ordre de 1500 -1800 Tn, fet pel que possiblement s'opti per una fonamentació de tipus profund (pilons i/o bastaixos).
- **Fonamentació superficial:** en el sector de l'edifici B, i als sectors de l'edifici A que només presenten plantes soterrani, es podria resoldre la fonamentació mitjançant una llosa de fonamentació.

Amb les dades obtingudes a la investigació, la naturalesa del terreny fins la cota assolida en els sondeigs a rotació i percussió, les característiques mecàniques, es proposa una solució executiva de la fonamentació amb els criteris de:

- Valor de càrrega admissible enfront l'enfonsament per ruptura a l'esforç tallant, és a dir una adequada resistència amb el seu coeficient de seguretat.
- Una estimació aproximada de la magnitud dels assentaments probables de l'estructura que no li siguin perjudicials en funció dels diversos assaigs realitzats.

7.2. Estudi d'una fonamentació profunda (edifici A)

a) Cota i tipologia de la fonamentació

Una vegada realitzada l'excavació de les quatre plantes soterrani fins la cota +16,70 m (és a dir, de l'ordre de 17 m respecte a la boca dels sondeigs) la fonamentació es podria resoldre de manera profunda mitjançant pilons i/o bastaixos degudament encastats al Substrat Terciari.

Aquesta unitat es localitza, en els punts investigats, a partir de les següents fondàries referides a les boques dels sondeigs:

SONDEIGS A ROTACIÓ

Sondeig S-1R	30,1 m	Sondeig S-8R	29,5 m
Sondeig S-2R	29,4 m	Sondeig S-9R	29,5 m
Sondeig S-3R	29,4 m	Sondeig S-10R	30,0 m
Sondeig S-4R	30,0 m	Sondeig S-11R	31,2 m
Sondeig S-5R	28,4 m	Sondeig S-12R	32,2 m
Sondeig S-6R	>30,0 m	Sondeig S-13R	30,2 m
Sondeig S-7R	>30,0 m		

Considerant que es preveu una excavació d'aproximadament 17 m, la longitud mínima d'aquests elements serà de 13 a 15 m més l'encastament que es faci en aquesta unitat (normalment de 6 vegades el diàmetre del piló o 6 vegades el gruix del bastaix).

b) Resistència unitària per fuste i punta

Pel càlcul d'aquests elements de fonamentació es podran adoptar les següents resistències unitàries per fuste i punta per les diferents unitats detectades:

**Resistència unitària per fuste,  $r_f$**

Unitat		$r_f$ (kg/cm <sup>2</sup> ) (*)
Unitat de reblert		No es considera
Ut. Quaternària	Sut. d'argiles i llims	0,7
	Sut. d'argiles sorresques, sorres i graves	0,6
	Sut. d'argiles marrons i sorres grolleres	0,5
Substrat Terciari		1,0

(\*) Aquests valors no es troben afectats per cap coeficient de seguretat.

**Resistència unitària per punta,  $r_p$  (PILONS)**

Unitat	Encastament	Diàmetre del piló	$r_p$ (kg/cm <sup>2</sup> ) (*)
Substrat Terciari	6D	85-100 cm	84

(\*) Aquests valors no es troben afectats per cap coeficient de seguretat.

**Resistència unitària per punta,  $r_p$  (BASTAIXOS)**

Unitat	Encastament	Espessor del bastaix	$r_p$ (kg/cm <sup>2</sup> ) (*)
Substrat Terciari	6E	60-100 m	67

(\*) Aquests valors no es troben afectats per cap coeficient de seguretat.

c) Observacions

Per l'elecció de la metodologia d'execució de les possibles fonamentacions profundes caldrà tenir en compte els següents aspectes:

- La presència de costres carbonatades de gruix centimètric a decimètric i consistència rocosa.
- La presència al Substrat Terciari de nivells de sorres cimentades de gruix decimètric d'elevada duresa (valors de compressió simple superiors a 300 Kg/cm<sup>2</sup>) i molt abrasives.
- La presència de nivell freàtic.
- La baixa cohesió que presenten els nivells detrítics presents a la unitat Quaternària com al Substrat Terciari.

### 7.3. Estudi d'una fonamentació superficial (llosa)

#### a) Cota i tipologia de la fonamentació

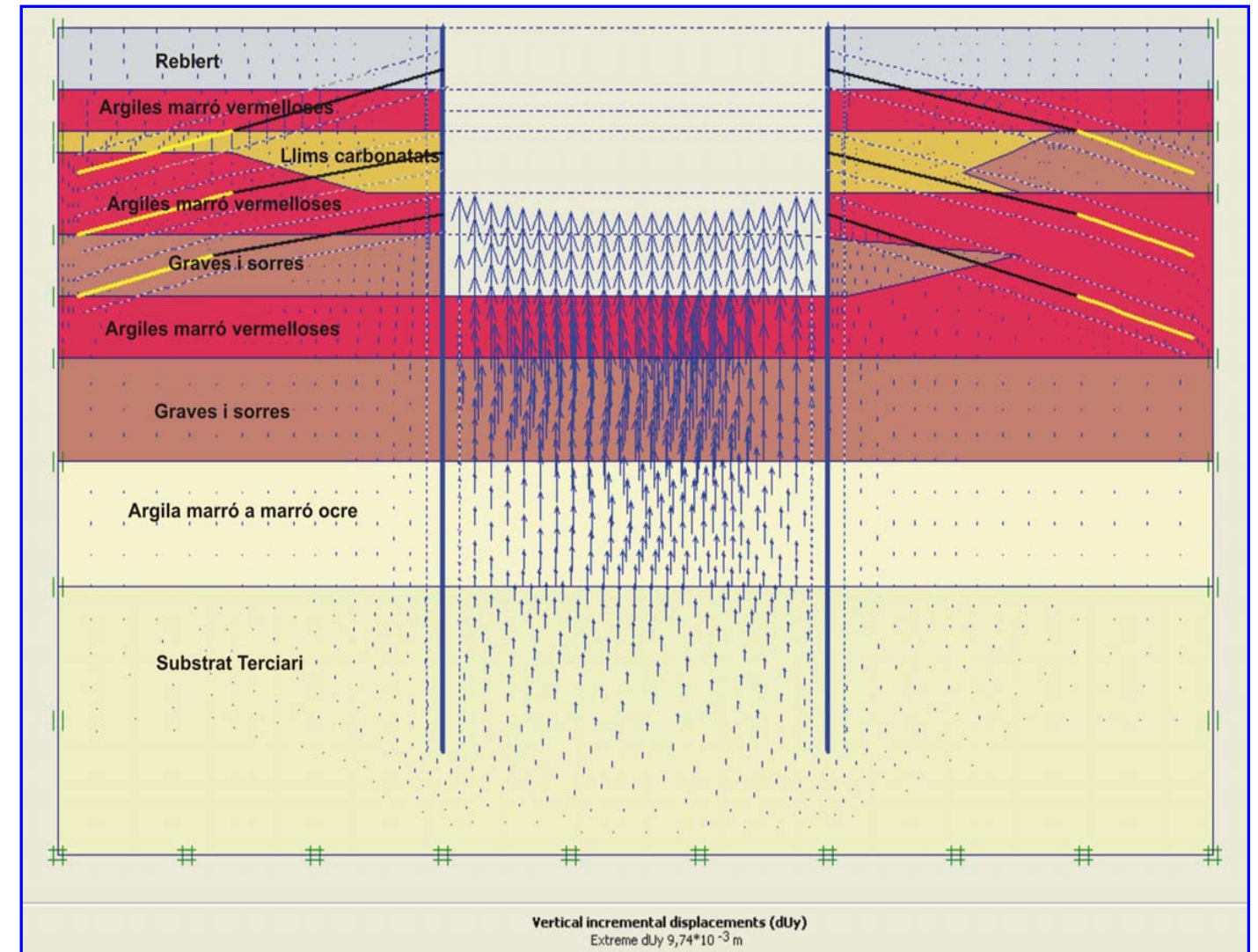
Aquesta opció de fonamentació es podrà aplicar tant a l'edifici B (només presenta tres plantes soterrani i s'excavarà fins la cota 20,5 m), i al sector de l'edifici A que només presenti plantes soterrani (perímetre exterior de l'edificació projectada).

En el cas de l'edifici B, la llosa es recol·larà sobre la unitat Quaternària, en concret en la subunitat d'argiles i llims. I en el cas de l'edifici A sobre la subunitat d'argiles sorrenques, sorres i graves.

Donat que es preveu una excavació que en l'edifici B serà de prop de 13,0 m i al edifici A de 17 m, s'analitza el possible aixecament del fons de l'excavació per la descompressió generada pel sobrepès extret.

En el cas de l'edifici A, com els materials que apareixen en el fons de l'excavació són essencialment detrítics i es troben per sobre del nivell freàtic, aquest efecte serà inapreciable, i per tant no es considerarà.

A l'edifici B, s'ha realitzat una modelització mitjançant elements finits (PLAXIS), aplicant les dades obtingudes amb els assaigs de laboratori, obtenint-se els que l'aixecament del fons serà d'aproximadament 9,7 mm.



**Figura 17.** Resultat gràfic de l'aixecament del fons de l'excavació, calculat amb el programa d'elements finits PLAXIS.



b) Capacitat portant i assentaments

A la següent taula s'indiquen els valors de capacitat portant i assentament, per l'edifici A, on s'ha considerat que la llosa es recol·larà sobre la subunitat d'argiles sorrenques, sorres i graves, i una excavació de 17 m:

Edifici A	
Capacitat portant	Assentament
$q_a = 1,5 \text{ Kg/cm}^2$	0,20 cm
$q_a = 2,0 \text{ Kg/cm}^2$	0,30 cm
$q_a = 2,5 \text{ Kg/cm}^2$	0,65 cm

Com es pot comprobar els assentaments són molt inferiors a dos polzades ( $W < 5,04$  cm).

En el cas de l'edifici B, s'ha considerat que la llosa es recol·la sobre la subunitat d'argiles i llims, i que l'excavació del terreny serà de 13,0 m, amb aquestes premisses s'han obtingut els següents valors de capacitat portant i assentament:

Edifici B	
Capacitat portant	Assentament
$q_a = 1,0 \text{ Kg/cm}^2$	0,60 cm
$q_a = 1,5 \text{ Kg/cm}^2$	1,02 cm
$q_a = 2,0 \text{ Kg/cm}^2$	2,05 cm

Com es pot comprobar els assentaments són molt inferiors a dos polzades ( $W < 5,04$  cm).

c) Coeficient de Balast

Pel càlcul de la llosa, a continuació s'indicaran els valors de coeficient de balast per les diferents subunitats on es recol·laren les fonamentacions:

Sut. d'argiles i llims	$K_{30} = 4,0 \text{ Kg/cm}^3$
Sut. d'argiles sorrenques, sorres i graves	$K_{30} = 12,0 \text{ Kg/cm}^3$

Segons Jiménez Salas (1976) per a una placa de 1 peu<sup>2</sup> (30 x 30 cm).

d) Aspectes constructius

Seria convenient tenir en compte tots els aspectes relacionats amb la construcció d'una llosa, destacant:

- S'haurà de tenir en compte la presència del nivell freàtic a una fondària aproximada de 18-19 m, que en principi no afectarà a l'execució de la llosa. No obstant degut al contexte geològic (presència de rieres) i a l'execució de futures obres subterrànies (AVE), podria ser convenient tenir en compte els possibles efectes deguts a la subpressió, considerant una columna d'aigua de més 1,0-2,0 m amb la finalitat de preveure possibles ascensos del nivell freàtic.

8.- MURS PANTALLA

Previament a l'excavació del terreny es preveu l'execució de murs pantalla perimetrals. Aquests elements de contenció de terres es podran encastar tant al Substrat Terciari, com a la unitat Quaternària (en concret a la subunitat d'argiles marrons i sorres grolleres).

Aquestes unitats es localitzen, en els punts investigats, a partir de les següents fondàries, referides a les boques dels sondeigs:

UT. QUATERNÀRIA (SUT. D'ARGILES MARRONS I SORRES)

SONDEIGS A ROTACIÓ

Sondeig S-1R	30,0 m	Sondeig S-8R	20,2 m
Sondeig S-2R	21,0 m	Sondeig S-9R	21,8 m
Sondeig S-3R	23,1 m	Sondeig S-10R	22,2 m
Sondeig S-4R	18,6 m	Sondeig S-11R	19,3 m
Sondeig S-5R	20,0 m	Sondeig S-12R	20,2 m
Sondeig S-6R	21,5 m	Sondeig S-13R	19,0 m
Sondeig S-7R	19,4 m		

SUBSTRAT TERCIARI

SONDEIGS A ROTACIÓ

Sondeig S-1R	30,1 m	Sondeig S-8R	29,5 m
Sondeig S-2R	29,4 m	Sondeig S-9R	29,5 m
Sondeig S-3R	29,4 m	Sondeig S-10R	30,0 m
Sondeig S-4R	30,0 m	Sondeig S-11R	31,2 m
Sondeig S-5R	28,4 m	Sondeig S-12R	32,2 m
Sondeig S-6R	>30,0 m	Sondeig S-13R	30,2 m
Sondeig S-7R	>30,0 m		

a) Resistència unitària per fuste i punta

Pel càlcul d'aquests elements de contenció de terres es podran adoptar les següents resistències unitàries per fuste i punta per les diferents unitats detectades:

Resistència unitària per fuste,  $r_f$

Unitat		$r_f$ (kg/cm <sup>2</sup> ) (*)
Unitat de reblert		No es considera
Ut. Quaternària	Sut. d'argiles i llims	0,7
	Sut. d'argiles sorresques, sorres i graves	0,6
	Sut. d'argiles marrons i sorres grolleres	0,5
Substrat Terciari		1,0

(\*) Aquests valors no es troben afectats per cap coeficient de seguretat.

Resistència unitària per punta,  $r_p$

Unitat	Encastament	Espessor del bastaix	$r_p$ (kg/cm <sup>2</sup> ) (*)
Sut. d'argiles marrons i sorres	6E	60-100 m	38.5
Substrat Terciari	6E	60-100 m	67

(\*) Aquests valors no es troben afectats per cap coeficient de seguretat.

b) Ancoratges

Un cop realitzades les pantalles perimetrals, i començada l'excavació del terreny, una opció per evitar els desplaçaments de les pantalles seria l'execució d'un atirantament mitjançant ancoratges.

Pel disseny d'aquests elements d'atirantament, es podran adoptar els següents valors d'adherència micropilon-terreny per a les diferents unitats detectades, segons el Mètode de Càlcul de Micropilots i Ancoratges Injectat **de Michel Bustamante (1979)**:

Adherència micropiló-terreny

Unitat de reblert		INJECCIÓ IGU <sup>(*)</sup>	INJECCIÓ IR	INJECCIÓ IRS <sup>(*)</sup>
		No es considera	No es considera	No es considera
Ut. Quaternària	Sut. d'argiles i llims	$r_f = 1,0 \text{ Kg/cm}^2$ <sup>(*)</sup>	$r_f = 1,4 \text{ Kg/cm}^2$	$r_f = 1,8 \text{ Kg/cm}^2$ <sup>(*)</sup>
	Sut. d'argiles sorrenques , sorres i graves	$r_f = 1,5 \text{ Kg/cm}^2$ <sup>(*)</sup>	$r_f = 1,8 \text{ Kg/cm}^2$	$r_f = 2,0 \text{ Kg/cm}^2$ <sup>(*)</sup>
	Sut. d'argiles marrons i sorres grolleres	$r_f = 0,8 \text{ Kg/cm}^2$ <sup>(*)</sup>	$r_f = 1,3 \text{ Kg/cm}^2$	$r_f = 1,6 \text{ Kg/cm}^2$ <sup>(*)</sup>
Sustrat Terciari		$r_f = 2,5 \text{ Kg/cm}^2$ <sup>(*)</sup>	$r_f = 3,0 \text{ Kg/cm}^2$	$r_f = 3,5 \text{ Kg/cm}^2$ <sup>(*)</sup>

<sup>(\*)</sup> Aquests valors no es troben afectats per cap coeficient de segurat

c) Coeficient de balast horitzontal

Pel disseny de les pantalles perimetrals es podran adoptar els següents valors de coeficient de balast horitzontal:

			Coeficient de balast horitzontal [Kg/cm³]
Ut. Quaternària	Sut. d'argiles i llims	N. d'argiles	2.5-3.0
		N. de llims	0.95
	Sut. d'argiles sorrenques, sorres i graves	N. d'argiles sorrenques	2.7
		N. de sorres i graves	4.7
	Sut. d'argiles i sorres grolleres	N. argiles marró ocre	1.9
		N. de sorres amb matriu	3.6
Substrat Terciari		N. d'argiles margoses i argill.ites	4.5
		N. de sorres	6.5



c) Talussos

Altres opcions, que es podria executar per evitar els desplaçaments de les pantalles i com elements de contenció, seria deixar banquetes de terreny, a l'intradós de les pantalles, que facin de contrafort.

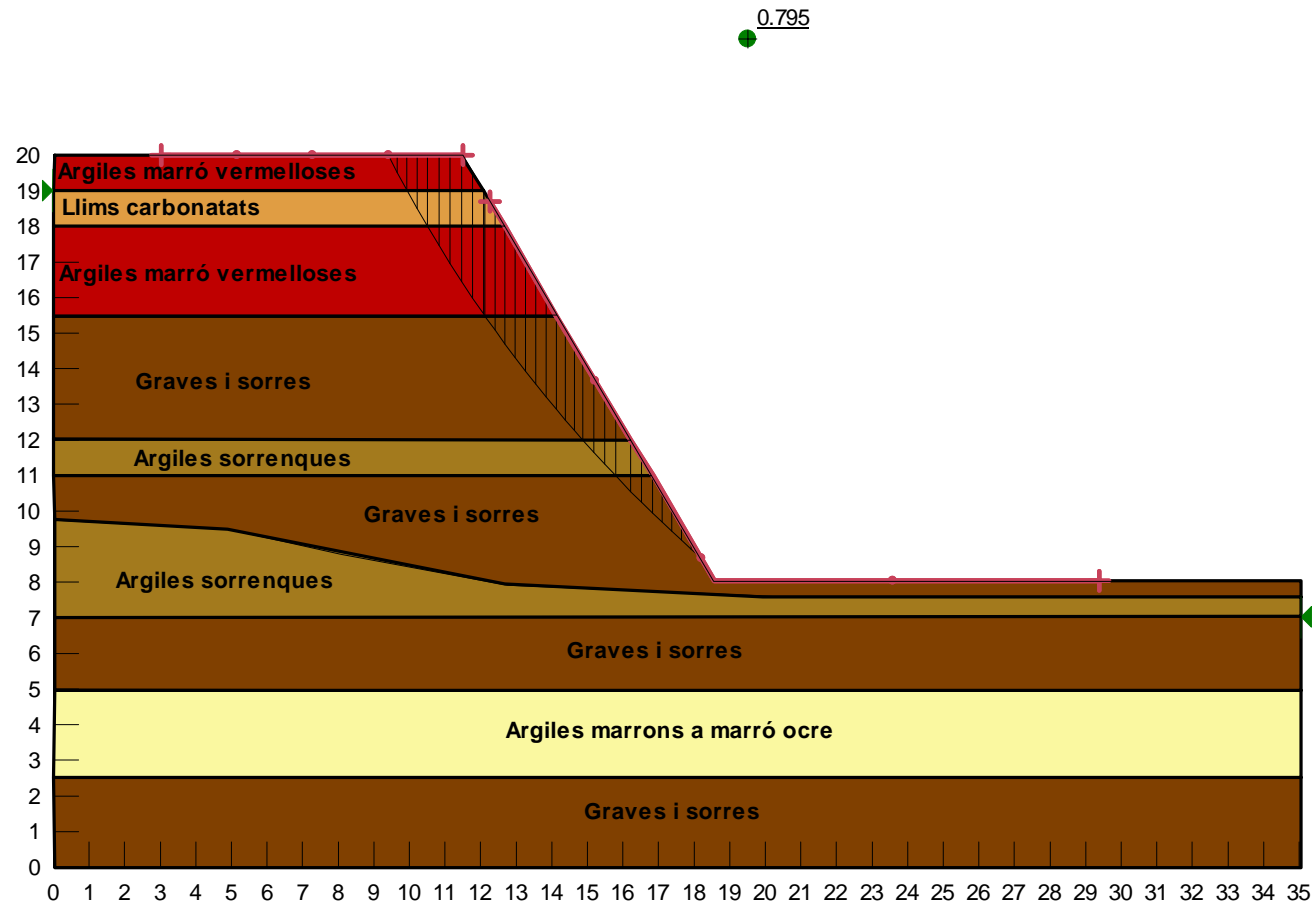
Segons la informació facilitada es preveu excavar els primers 5,0 m i a partir d'aquests deixar una banqueteta que arribi fins la fondària màxima de l'excavació (17,0 m), fet que implicarà l'execució d'un talús de 12,0 m d'alçada.

A partir dels diferents perfils geotècnics obtinguts, s'han diferenciat 4 models de terreny que podrien ser representatius de tota la superfície a excavar. S'ha estudiat l'estabilitat dels possibles talussos considerant el cas a llarg termini i amb diferents pendents.

En el càlcul de l'estabilitat dels possibles talussos s'ha considerat que el talús no es trobava afectat per cap càrrega exterior.

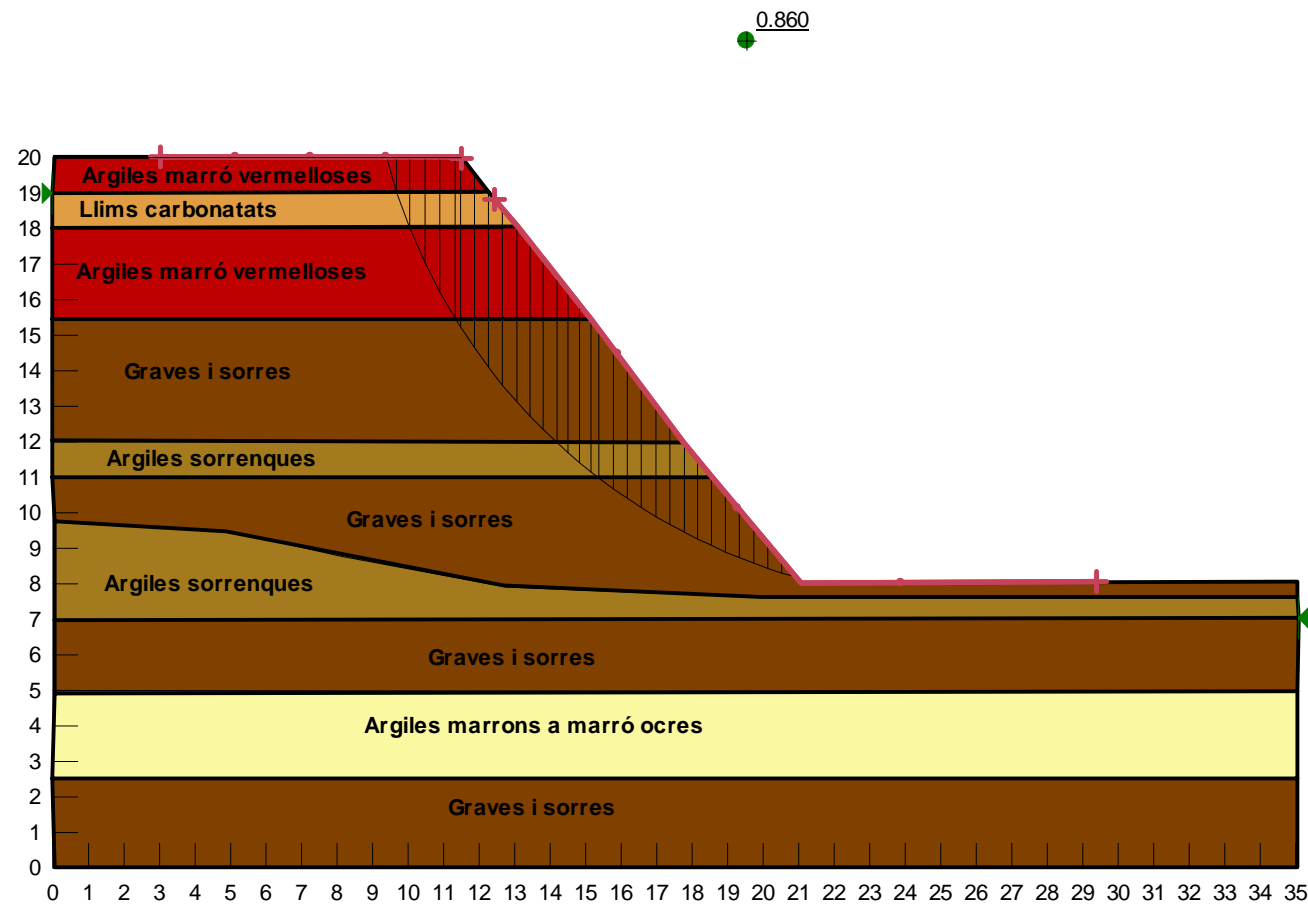
**Model A (sondeig S-11R)**

Aquest model s'ha realitzat d'acord a la secció que coincideix amb la zona on s'ha realitzat el sondeig S-11R i considerant diferents angles 60°, 50°, 45° i 35°, considerant les condicions a llarg termini:



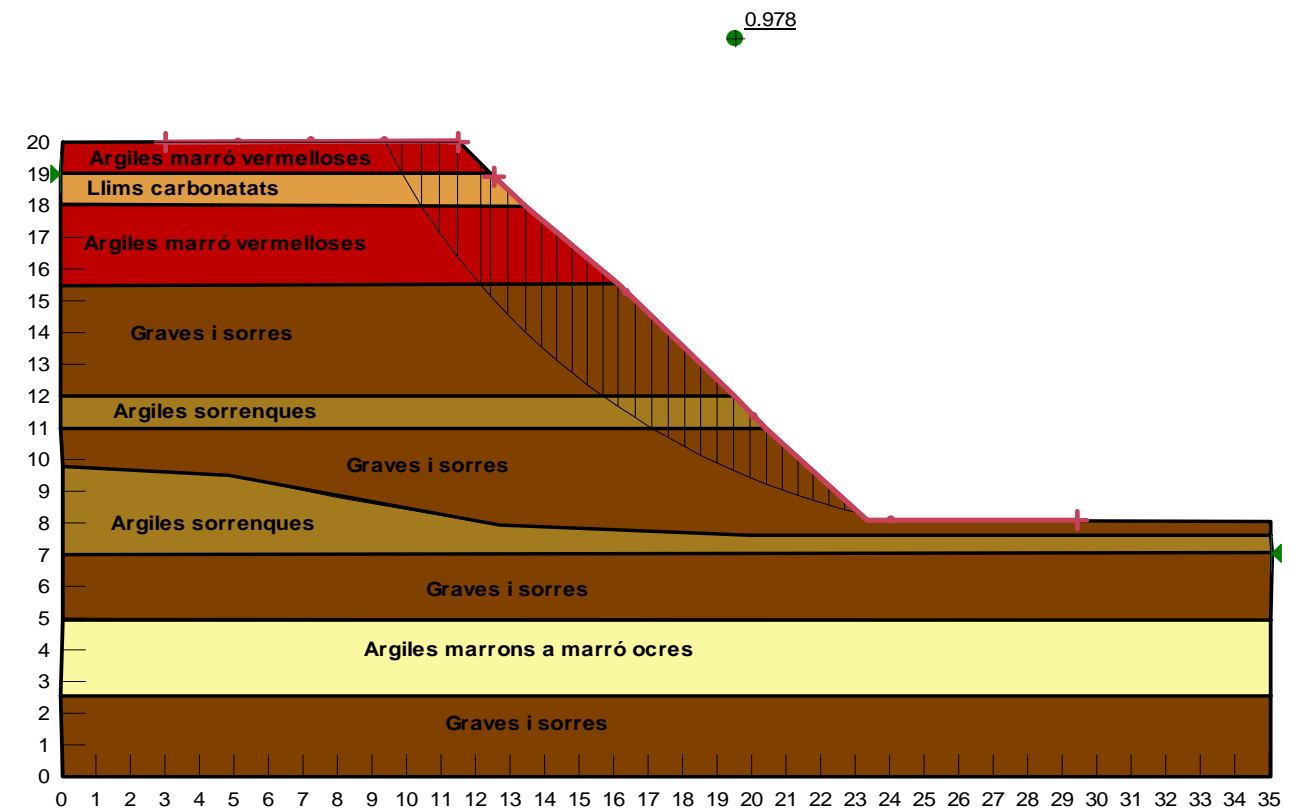
**Figura 18:** Secció del terreny modelitzada a partir de les secció facilitades i el sondeig S-11R. El factor de seguretat obtingut ha sigut de 0,795, amb una pendent de 60°.

Com es pot veure a la figura 18, la superfície més crítica d'esllavament dona un factor de seguretat de 0,795 i per tant inferior a 1,5, valor que es considera aconsellable adoptar per l'estabilitat de talussos a llarg termini.



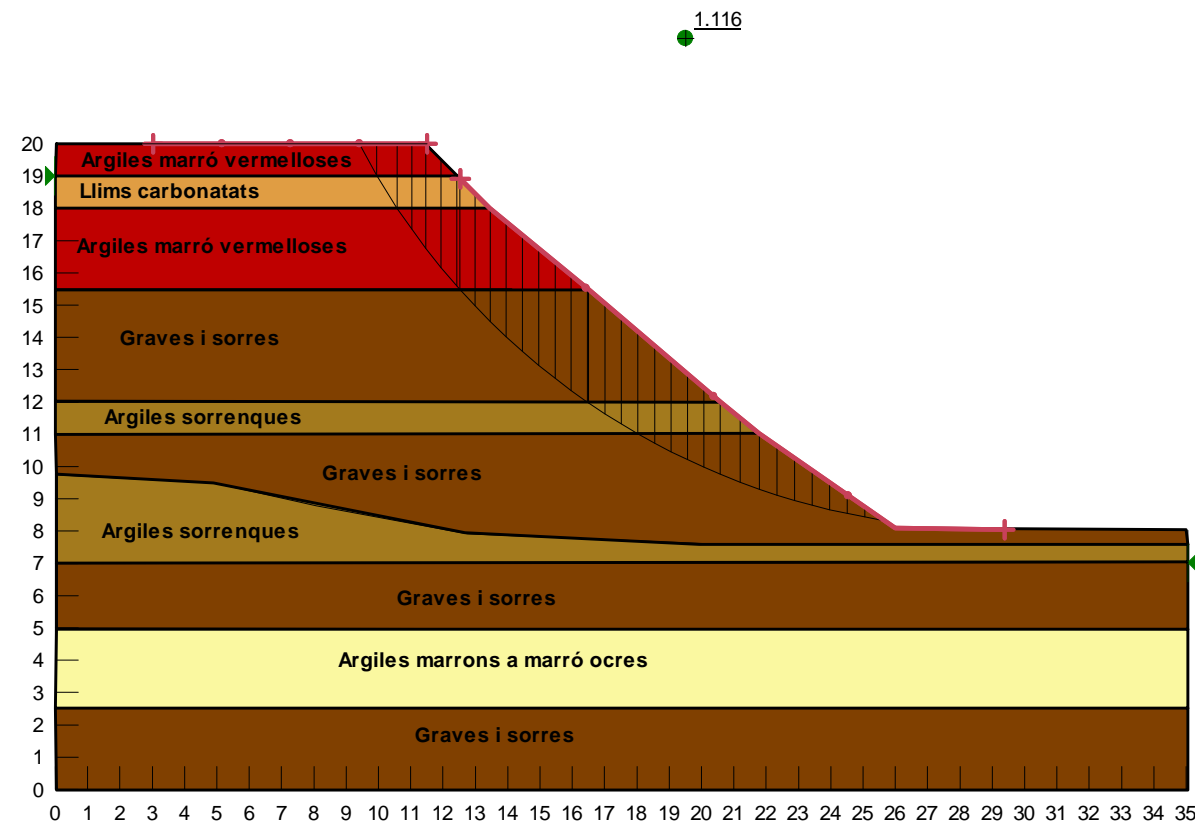
**Figura 19:** Secció del terreny modelitzada a partir de les secció facilitades i el sondeig S-11R. El factor de seguretat obtingut ha sigut de 0,860, amb una pendent de 50°.

Com es pot veure a la figura 19, la superfície més crítica d'esllaviment dona un factor de seguretat de 0,860 i per tant inferior a 1,5, valor que es considera aconsellable adoptar per l'estabilitat de talussos a llarg termini.



**Figura 20:** Secció del terreny modelitzada a partir de les secció facilitades i el sondeig S-11R. El factor de seguretat obtingut ha sigut de 0,978, amb una pendent de 45°.

Com es pot veure a la figura 20, la superfície més crítica d'esllaviment dona un factor de seguretat de 0,978 i per tant inferior a 1,5, valor que es considera aconsellable adoptar per l'estabilitat de talussos a llarg termini.



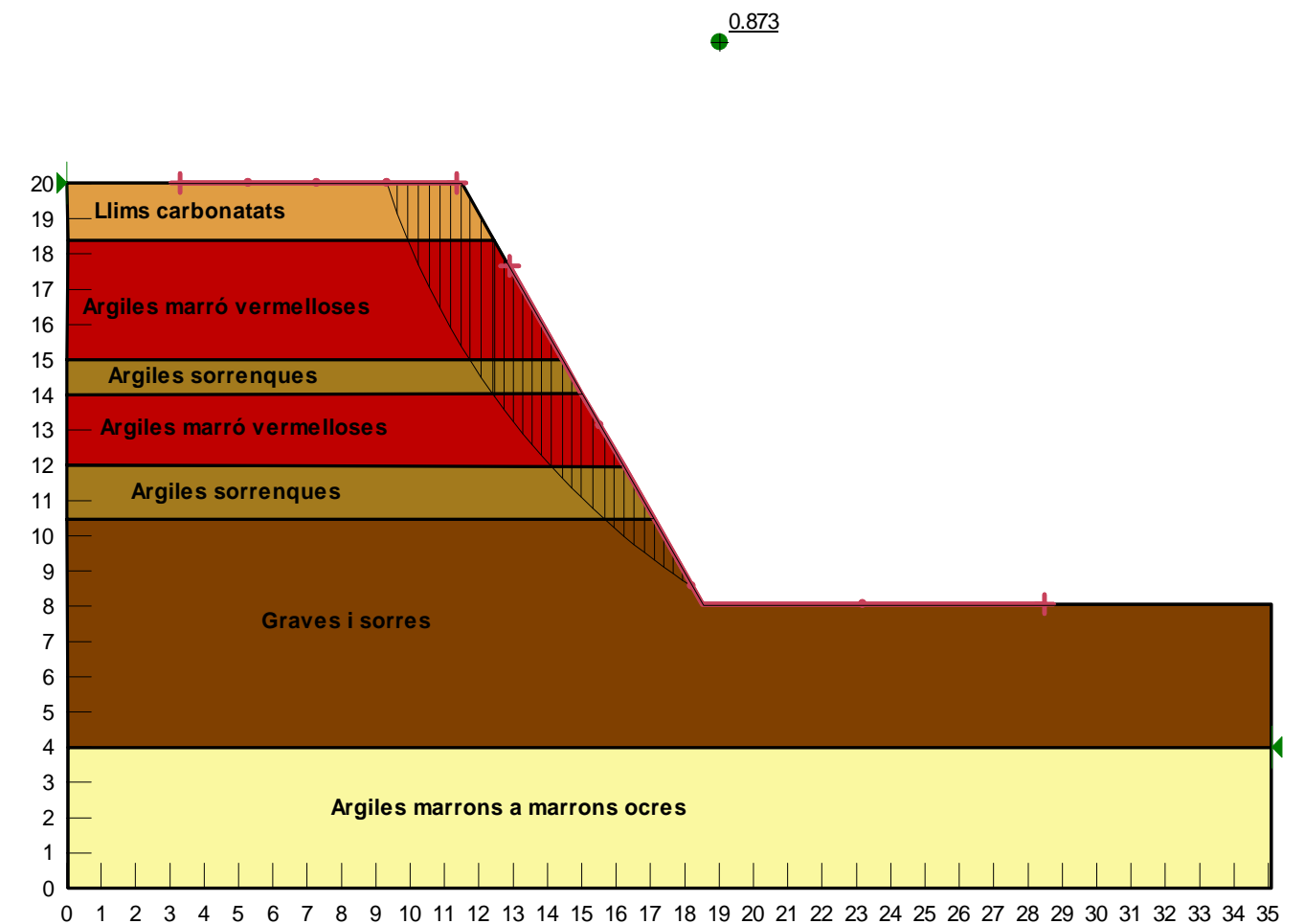
**Figura 21:** Secció del terreny modelitzada a partir de les secció facilitades i el sondeig S-11R. El factor de seguretat obtingut ha sigut de 1,116, amb una pendent de 35°.

Com es pot veure a la figura 21, la superfície més crítica d'esllavament dona un factor de seguretat de 1,116 i per tant inferior a 1,5, valor que es considera aconsellable adoptar per l'estabilitat de talussos a llarg termini.

En base aquests resultats obtinguts, en aquest sector podria ser necessari el tractament de la superfície del talús per tal de millorar el factor de seguretat. Aquets tractaments tindrien que millorar les característiques friccionals dels materials detrítics (execució de bulons, soil nailing,...).

### Model B (sondeig S-6R)

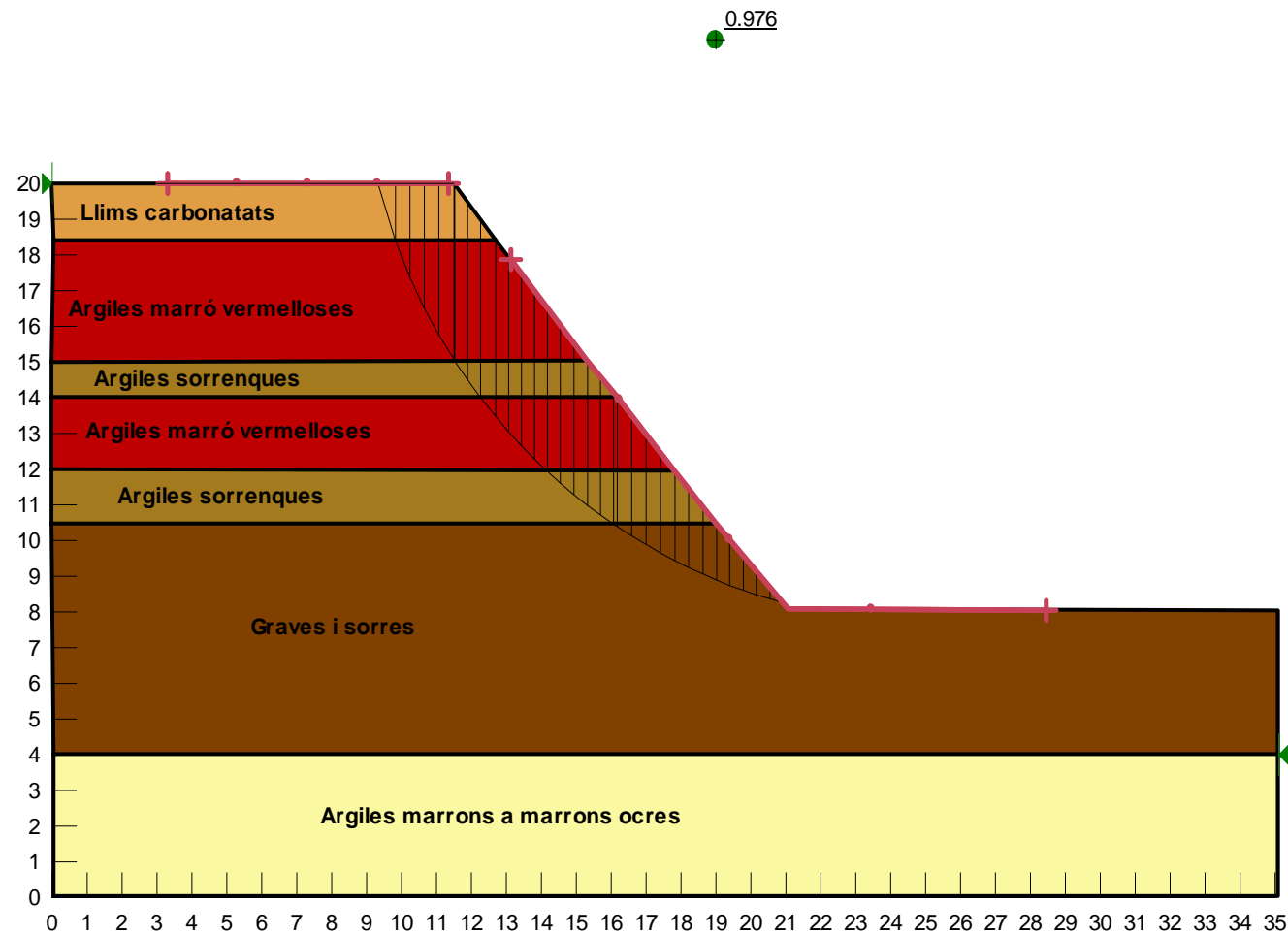
Aquest model s'ha realitzat d'acord a la secció que coincideix amb la zona on s'ha realitzat el sondeig S-6R i considerant diferents angles 60°, 50°, 45°, considerant les condicions a llarg termini:



**Figura 22:** Secció del terreny modelitzada a partir de les secció facilitades i el sondeig S-6R. El factor de seguretat obtingut ha sigut de 0,873, amb una pendent de 60°.

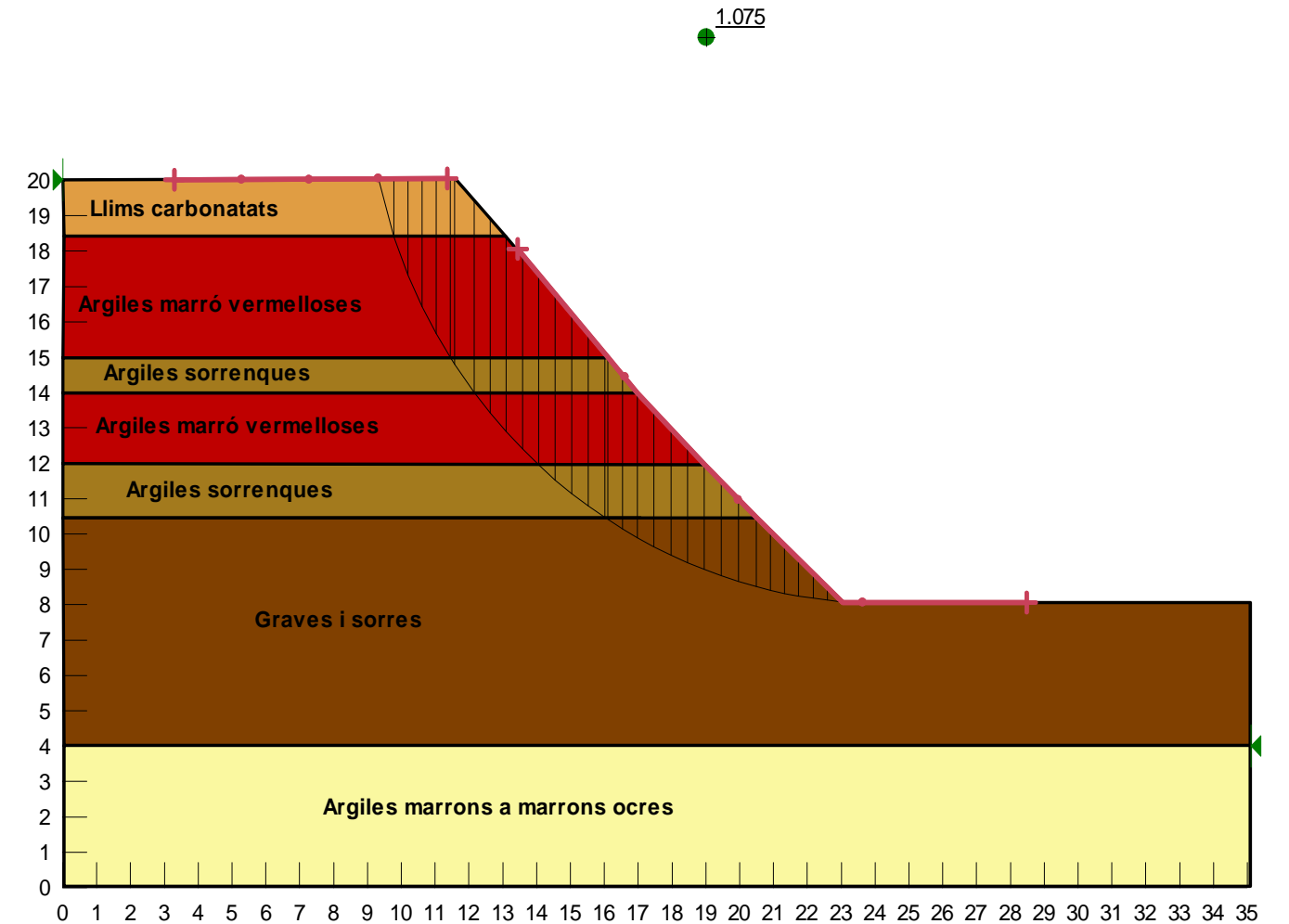
Com es pot veure a la figura 22, la superfície més crítica d'esllavament dona un factor de seguretat de 0,873 i per tant inferior a 1,5, valor que es considera aconsellable adoptar per l'estabilitat de talussos a llarg termini.





**Figura 23:** Secció del terreny modelitzada a partir de les secció facilitades i el sondeig S-6R. El factor de seguretat obtingut ha sigut de 0,976, amb una pendent de 50°.

Com es pot veure a la figura 23, la superfície més crítica d'esllavissament dona un factor de seguretat de 0,976 i per tant inferior a 1,5, valor que es considera aconsellable adoptar per l'estabilitat de talussos a llarg termini.



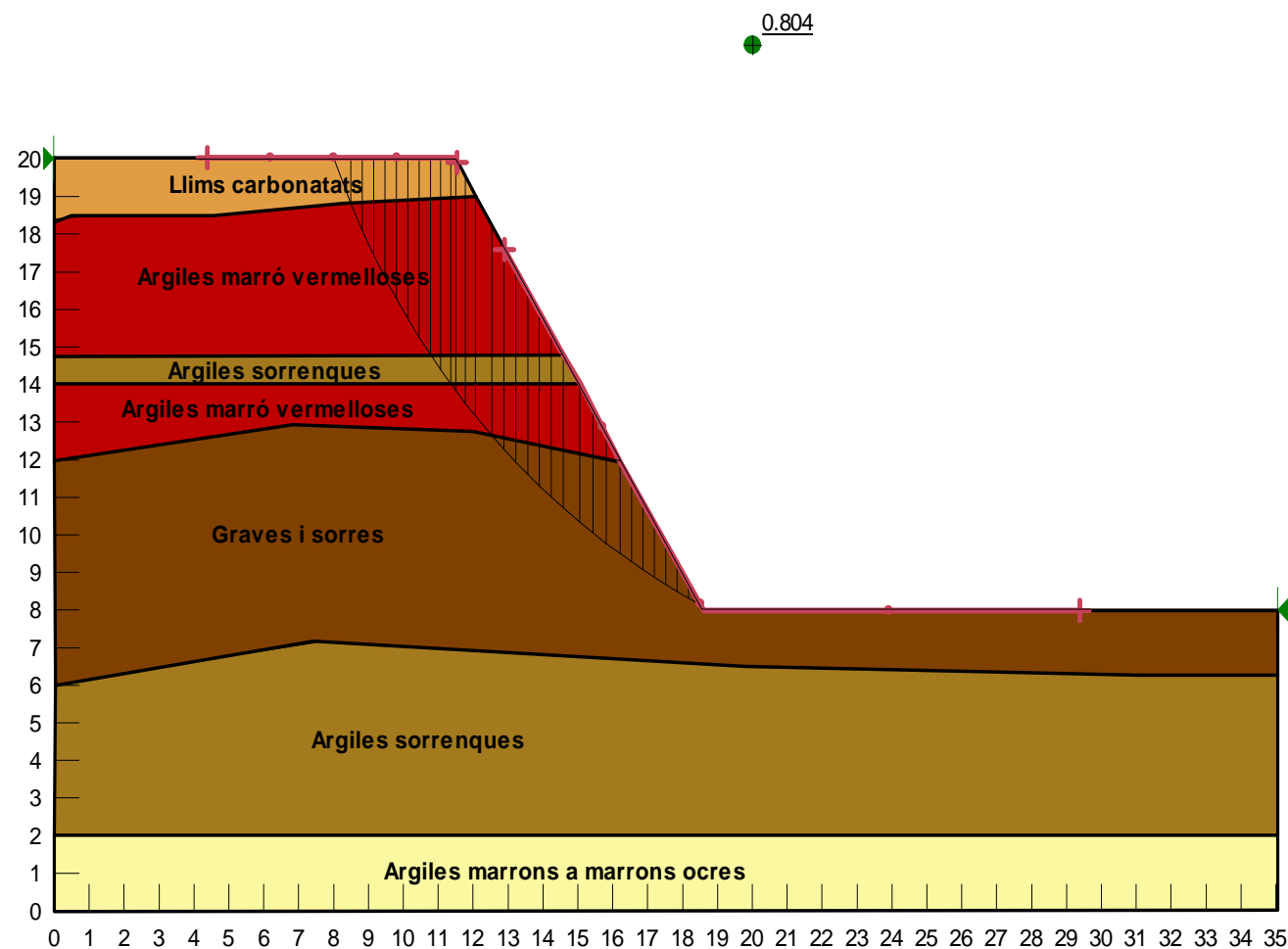
**Figura 24:** Secció del terreny modelitzada a partir de les secció facilitades i el sondeig S-6R. El factor de seguretat obtingut ha sigut de 1,075, amb una pendent de 45°.

Com es pot veure a la figura 24, la superfície més crítica d'esllavissament dona un factor de seguretat de 1,075 i per tant inferior a 1,5, valor que es considera aconsellable adoptar per l'estabilitat de talussos a llarg termini.

En base aquests resultats obtinguts, en aquest sector podria ser necessari el tractament de la superfície del talús per tal de millorar el factor de seguretat. Aquests tractaments tindrien que millorar les característiques friccionals dels materials detrítics (execució de bulons, soil nailing...).

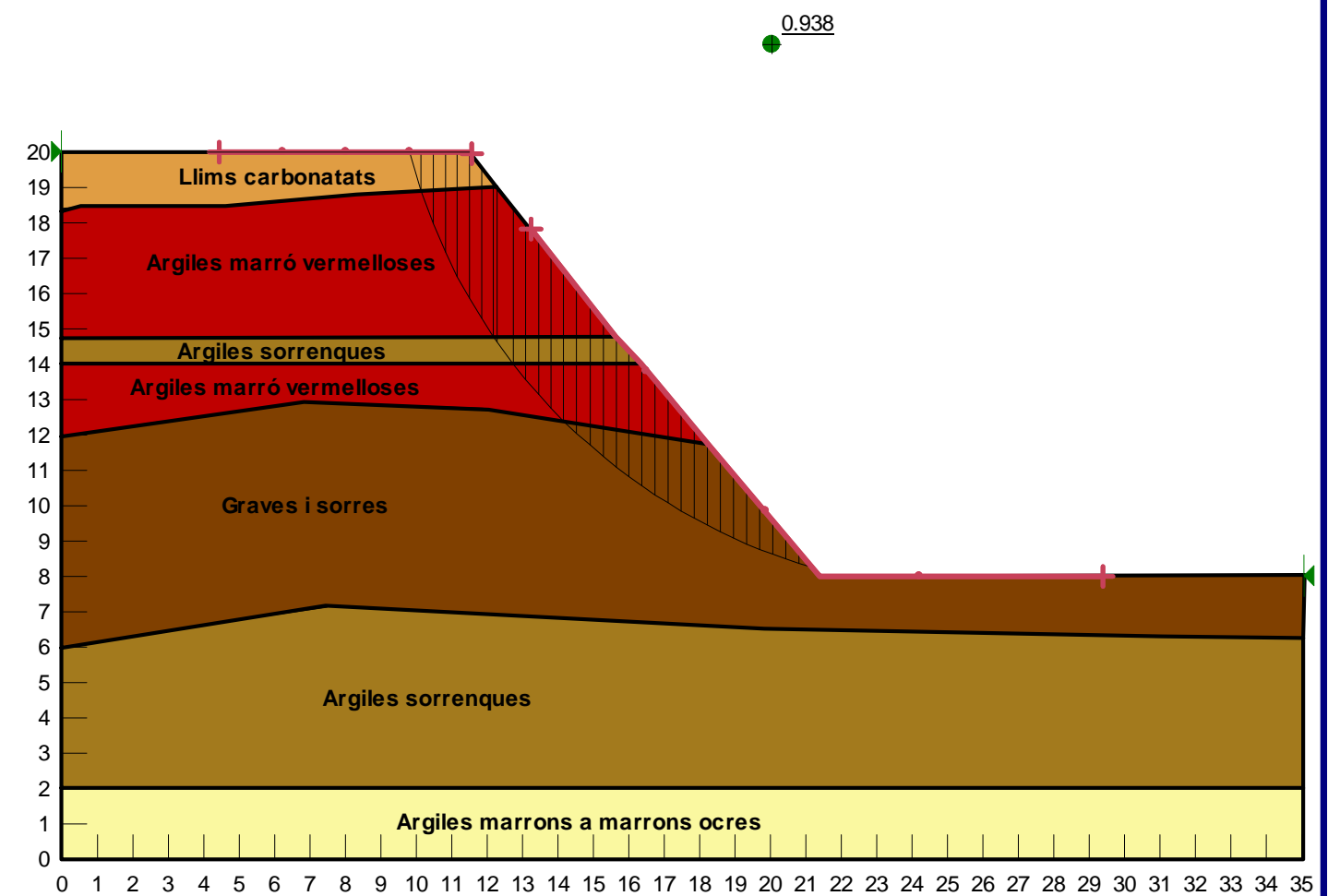
**Model C (sondeig S-10R)**

Aquest model s'ha realitzat d'acord a la secció que coincideix amb la zona on s'ha realitzat el sondeig S-10R i considerant diferents angles  $60^\circ, 50^\circ, 45^\circ$ , considerant les condicions a llarg termini:



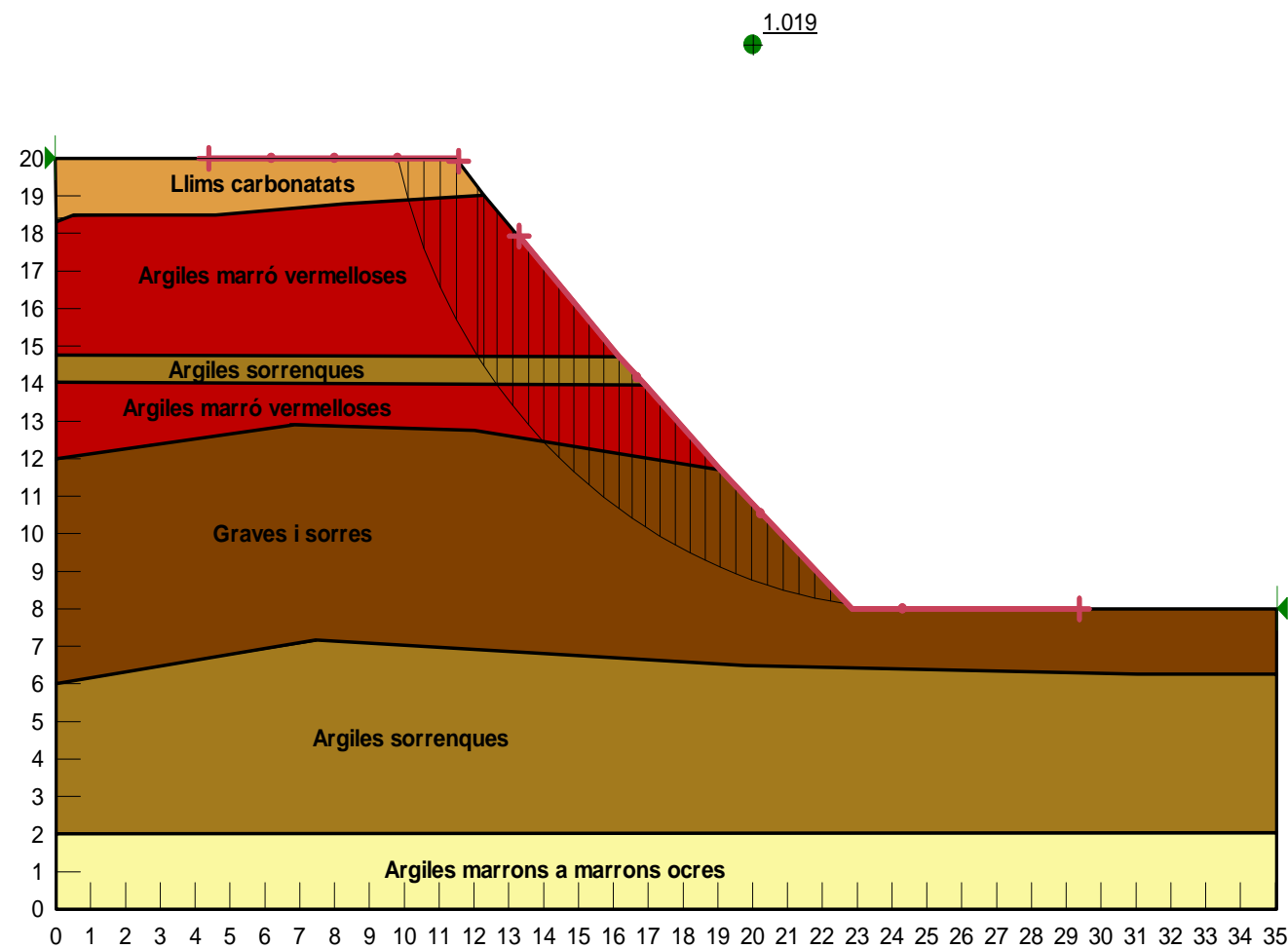
**Figura 25:** Secció del terreny modelitzada a partir de les secció facilitades i el sondeig S-10R. El factor de seguretat obtingut ha sigut de 0,804, amb una pendent de  $60^\circ$ .

Com es pot veure a la figura 25, la superfície més crítica d'esllavament dóna un factor de seguretat de 0,804 i per tant inferior a 1,5, valor que es considera aconsellable adoptar per l'estabilitat de talussos a llarg termini.



**Figura 26:** Secció del terreny modelitzada a partir de les secció facilitades i el sondeig S-10R. El factor de seguretat obtingut ha sigut de 0,938, amb una pendent de  $50^\circ$ .

Com es pot veure a la figura 26, la superfície més crítica d'esllavament dóna un factor de seguretat de 0,938 i per tant inferior a 1,5, valor que es considera aconsellable adoptar per l'estabilitat de talussos a llarg termini.



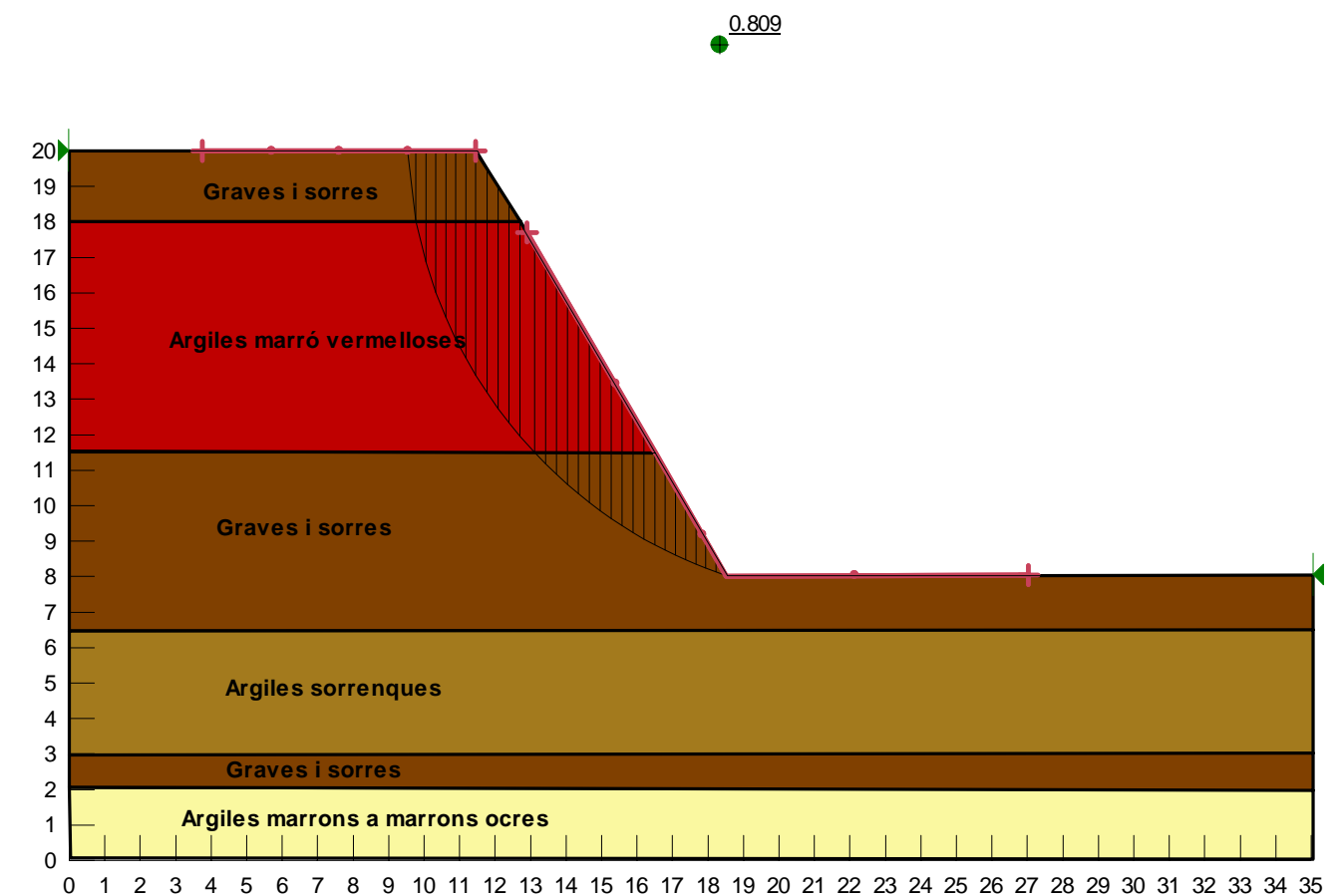
**Figura 27:** Secció del terreny modelitzada a partir de les secció facilitades i el sondeig S-10R. El factor de seguretat obtingut ha sigut de 1,019, amb una pendent de 45°.

Com es pot veure a la figura 27, la superfície més crítica d'esllaviment dona un factor de seguretat de 1,019 i per tant inferior a 1,5, valor que es considera aconsellable adoptar per l'estabilitat de talussos a llarg termini.

Igual que en els anteriors sectors podria ser necessari el tractament de la superfície del talús per tal de millorar el factor de seguretat. Aquets tractaments tindrien que millorar les característiques friccional dels materials detrítics (execució de bulons, soil nailing,...).

### Model D (sondeig S-3R)

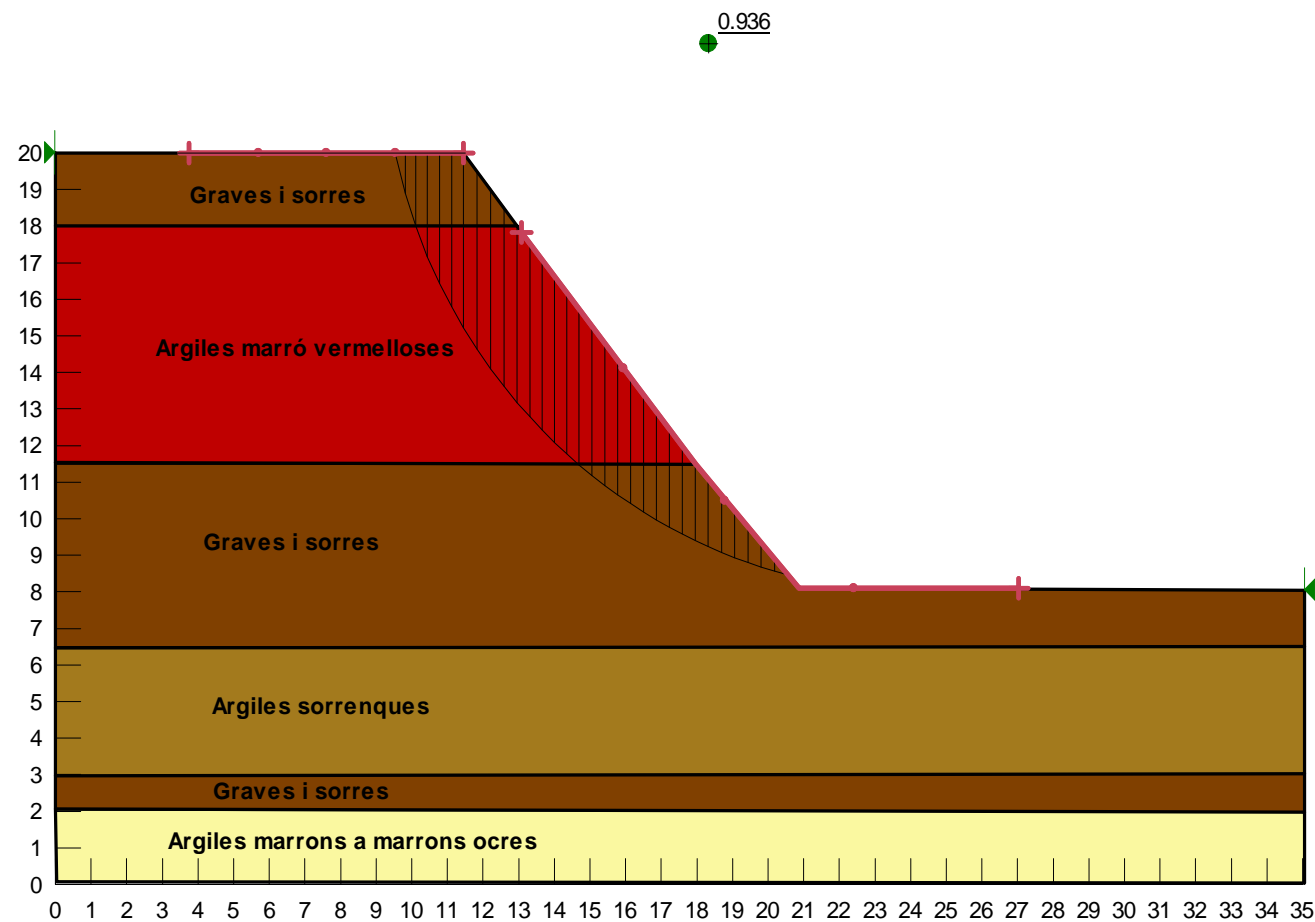
Aquest model s'ha realitzat d'acord a la secció que coincideix amb la zona on s'ha realitzat el sondeig S-3R i considerant diferents angles 60°, 50°, 45°, considerant les condicions a llarg termini:



**Figura 28:** Secció del terreny modelitzada a partir de les secció facilitades i el sondeig S-3R. El factor de seguretat obtingut ha sigut de 0,809, amb una pendent de 60°.

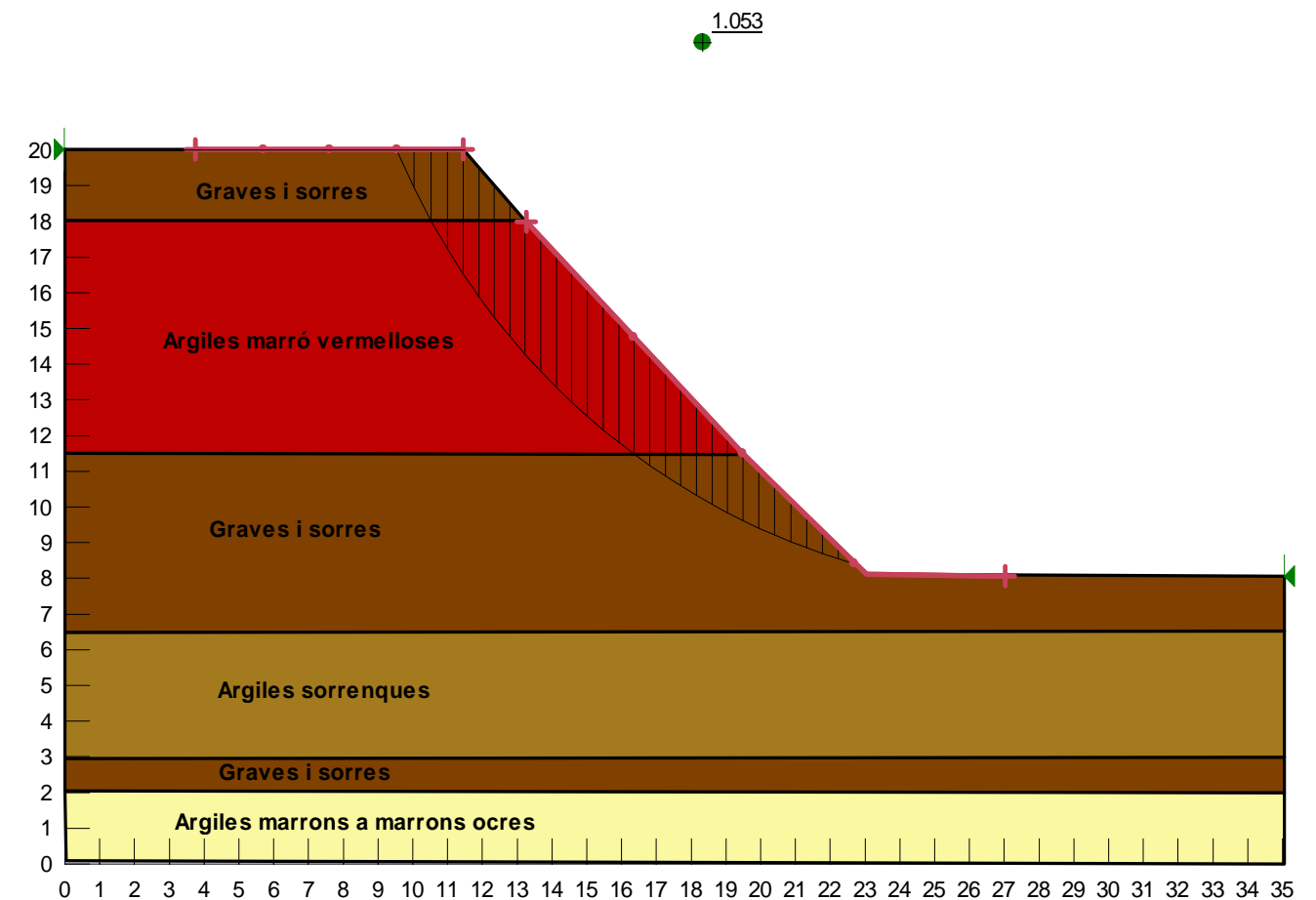
La superfície més crítica d'esllaviment dona un factor de seguretat de 0,809 i per tant inferior a 1,5, valor que es considera aconsellable adoptar per l'estabilitat de talussos a llarg termini.





**Figura 29:** Secció del terreny modelitzada a partir de les secció facilitades i el sondeig S-3R. El factor de seguretat obtingut ha sigut de 0,936, amb una pendent de 50°.

La superfície més crítica d'esllavament dona un factor de seguretat de 0,936 i per tant inferior a 1,5, valor que es considera aconsellable adoptar per l'estabilitat de talussos a llarg termini.



**Figura 30:** Secció del terreny modelitzada a partir de les secció facilitades i el sondeig S-3R. El factor de seguretat obtingut ha sigut de 1,053 amb una pendent de 45°.

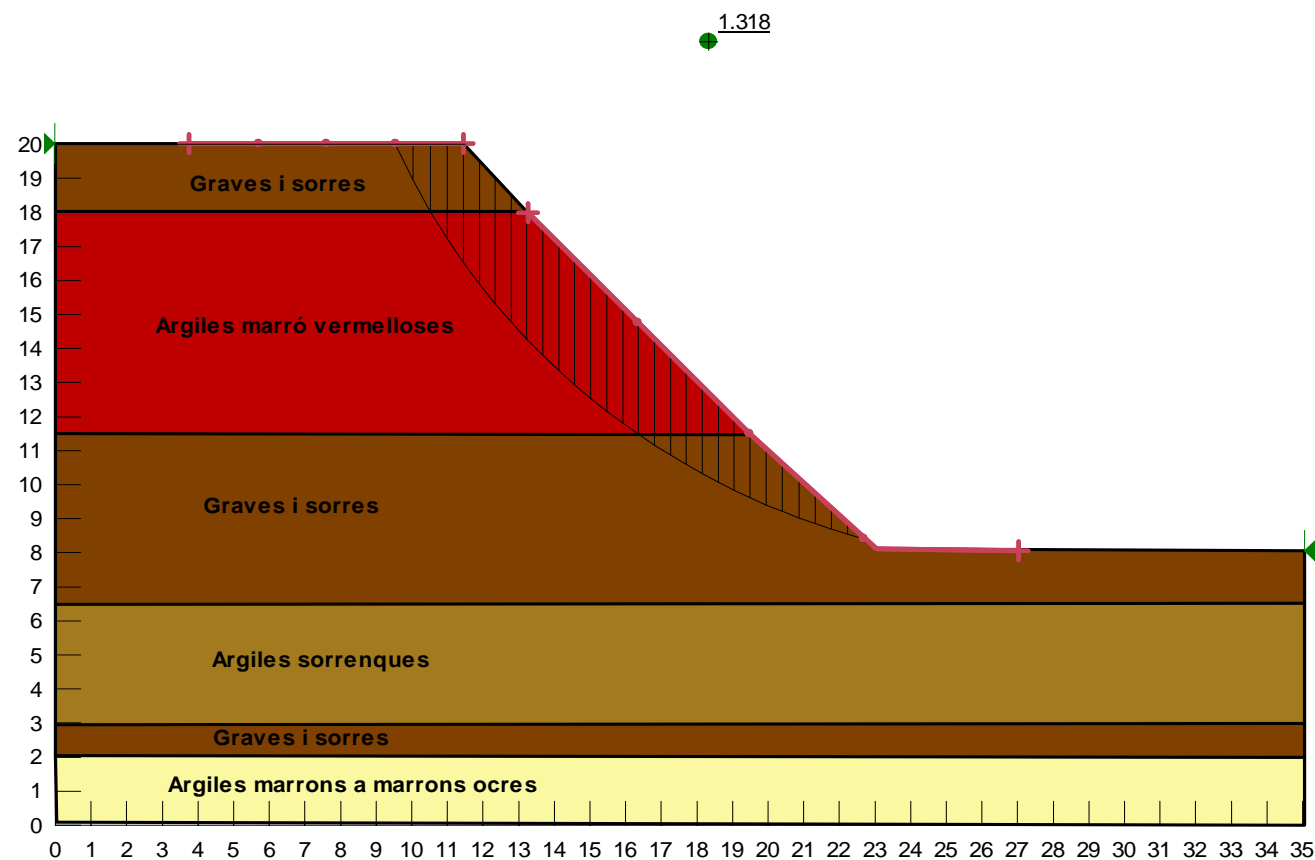
La superfície més crítica d'esllavament dona un factor de seguretat de 1,053 i per tant inferior a 1,5, valor que es considera aconsellable adoptar per l'estabilitat de talussos a llarg termini.

En conclusió, tenint en compte els diferents models analitzats, els únics que superen el  $F.S. > 1$ , són els que tenen una relació  $H:V=1:1$  (inclinació de 45°). No obstant, el valor obtingut és molt just (no s'arriba a  $F.S.=1.3$  habitual en obres de carreteres, ni al  $F.S.=1.5$  indicat pel C.T.E).

Una forma de millorar aquests factors de seguretat podria implicar l'execució d'un tractament dels materials del talús. Aquest tractament podria implicar:

- Gunitat de tota la superfície del talús, sobretot els materials detrítics (sorres i graves).
- Instal·lació de bulons, pernos o similars en els materials detrítics (ja que són els més favorables de generar inestabilitats).

Com exemple, hem considerat que aquestes actuacions arribessin a millorar un 30 % les característiques friccional dels materials detrítics (model D amb 45°), i en tornat a recalcular el factor de seguretat en un dels casos, obtenint-se un F.S de 1,318 (que per obres de carreteres ja seria un valor òptim).



## 9.- RIPABILITAT I EMPENTA DE TERRES

Tant per l'excavació del terreny (de l'ordre de 13 a 17 m respecte de la cota actual), així com per l'execució de les fonamentacions superficials, profundes o dels elements de contenció s'hauran de tenir en compte els següents aspectes:

- Les baixes i heterogènies característiques geotècniques que presenta la unitat de reblert, on s'han localitzat abundants serveis enterrats. Cal indicar que al costat del penetròmetre P-1 s'ha detectat un pou abandonat, i que en el pati del Parc de Bombers existeix un dipòsit de hidrocarburs enterrat.
- La nul·la cohesió que presentarà la unitat de reblert.
- La presència de nòduls de carbonat càlcic a la unitat Quaternària que arriben a constituir crostes carbonatades d'espessor centimètric-decimètric i consistència rociosa.
- La presència de nivells de baixa cohesió a la unitat Quaternària i al Substrat Terciari
- La presència d'algun còdol dispers a la subunitat de argiles sorrenques, sorres i graves.
- La presència de nivell freàtic a una fondària aproximada de 18,0 a 19,0 m.
- L'elevada consistència que presenten els materials que componen el Substrat Terciari, sobretot els nivells d'argiles margoses i argil·lites marrons.
- La presència al Substrat Terciari de nivells de sorres cimentades de gruix decimètric, d'elevada duresa i abrassivitat. Aquests materials presenten valors de compressió simple superiors a 300 Kg/cm².

Pel càlcul de l’empenta de terres sobre els elements de contenció podran adoptar-se els valors de resistència al tall i densitat natural:

CURT TERMINI

			Cohesió, [Kg/cm²]	Á. de fregament intern, [º]	Densitat natural [Tn/m³]
U. de reblert			Nul·la	28	2,00
Ut. Quaternària	Sut. d'argiles i llims	N. d'argiles	0.19-0.40	17-27	1.99
		N. de llims	0.38	11	1.85
	Sut. d'argiles sorrenques, sorres i graves	N. d'argiles sorrenques	0.36-1.83	11-21.5	2.03
		N. de sorres i graves	0.05	30	2.08
	Sut. d'argiles i sorres	N. argiles marró ocre	0.38-1.83	12-18	2.06
		N. de sorres amb matriu	0.08	29	2.06
Substrat Terciari		N. d'argiles margoses i argilites	0.35-2.02	15-27	1,98
		N. de sorres	0.05	35	2.05

Valors obtinguts dels assaigs de tall directe i triaxials de tipus UU,CU i d’estimacions realitzades a partir dels assaigs “ in situ”.

LLARG TERMINI

			Cohesió, [Kg/cm²]	Á. de fregament intern, [°]	Densitat natural [Tn/m³]
U. de reblert			Nul·la	26	2,00
Ut. Quaternària	Sut. d'argiles i llims	N. d'argiles	0.15	27	1.99
		N. de llims	0.11	25	1.85
	Sut. d'argiles sorrenques, sorres i graves	N. d'argiles sorrenques	0.07	29	2.03
		N. de sorres i graves	0.05	31	2.08
	Sut. d'argiles i sorres	N. argiles marró ocre	0.30	27	2,00
		N. de sorres amb matriu	0.05	29	2.06
Substrat Terciari		N. d'argiles margoses i argilites	0,66	29	1,98
		N. de sorres	0.08	34	2.05

Valors obtinguts dels assaigs de tall directe i Triaxials de tipus CD i d’estimacions realitzades a partir dels assaigs “ in situ”.



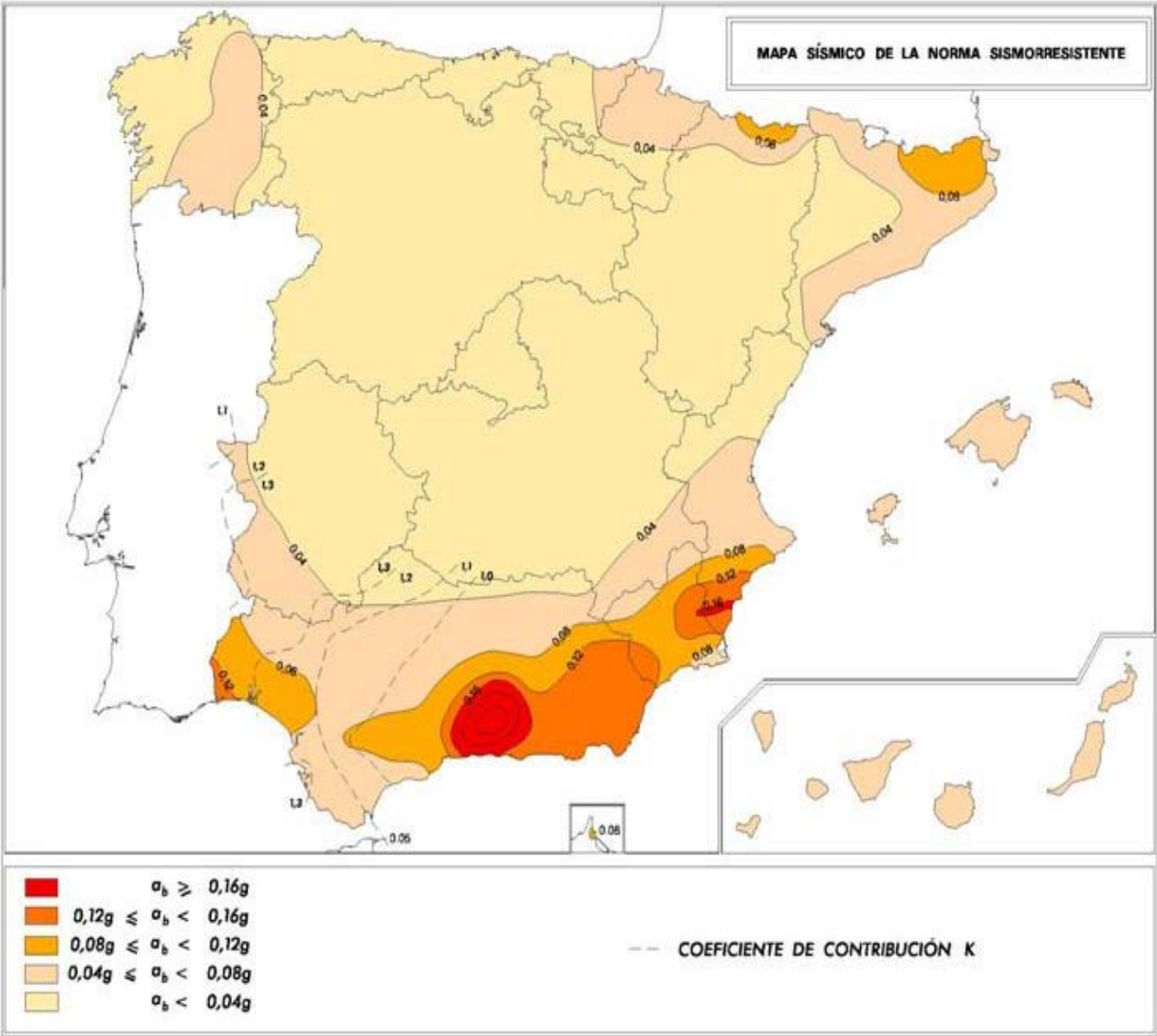
10.- SISMICITAT

Segons les prescripcions de la Norma de Construcció Sismorresistent (NCSE-02) RD 997/02, l'acceleració sísmica bàsica ( $a_b/g$ ) i el coeficient de contribució (K) pel terme municipal de Barcelona, es corresponen amb els següents valors:

$a_b/g$	0,04
K	1,0

Així doncs, pels materials detectats poden considerar-se els coeficients del sòl (C):

Unitat		Tipus de sòl	Coeficient (C)
Unitat de reblert		IV	2,0
Ut. Quaternària	Sut. d'argiles i llims	III	1,6
	Sut. d'argiles sorrenques, sorres i graves	III	1,6
	Sut. d'argiles i sorres grolleres	II	1,3
Substrat Terciari		I	1,0



**Figura. 31.** Valor de l'acceleració sísmica bàsica (Font: Norma de construcción sismorresistente: parte general y edificación (NCSR-02) Real Decreto 997/2002, de 27-SEP, del Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente B.O.E.: 8-FEB-95).

11.- CONCLUSIONS

A partir dels resultats obtinguts al present estudi geotècnic per un nou edifici per l'Hospital Clínic i Provincial de Barcelona, situat a la confluència del C/ Provença-C/ Casanovas-C/ Villaroel de Barcelona, es pot concloure el següent:

- A la zona d'estudi s'han identificat tres unitats geotècniques:
  - a) Unitat de reblert, que presenta un gruix variable entre 2,0 i 4,0 m.
  - b) Unitat Quaternària, que en base al context geomorfològic de la zona presenta una composició litològica molt heterogènia i una distribució estratigràfica molt erràtica, pel que s'han definit quatre subunitats:
    - Subunitat d'argiles i llims (Tricicle).
    - Subunitat d'argiles sorrenques, sorres i graves.
    - Subunitat d'argiles marrons i sorres grolleres.
  - c) Substrat Terciari, constituït per argiles margoses- argil.lites de tonalitats marró verdoses, marrons i marró grisenques.
- Alhora de definir les possibles fonamentacions s'han diferenciat dos sectors, un on es construirà l'edifici A (que presenta 4 plantes soterrani, planta baixa i set plantes pis) i l'edifici B (que només presentarà 3 plantes soterrani). Degut a les elevades càrregues que transmetiran els pilars de l'edifici A, s'han indicat els valors de capacitat portant per fonamentacions profundes. En el cas de les zones amb menys càrrega de l'edifici A i per l'edifici B, s'ha proposat resoldre la fonamentació de forma superficial mitjançant llosa de fonamentació.

- Pel dimensionament de les fonamentacions profundes es podran adoptar els següents valors de resistència per **fuste, punta i adherència micropiló-terreny**:

Resistència unitària per fuste, $r_f$		
Unitat		$r_f$ (kg/cm <sup>2</sup> ) (*)
Unitat de reblert		No es considera
Ut. Quaternària	Sut. d'argiles i llims	0,7
	Sut. d'argiles sorrenques, sorres i graves	0,6
	Sut. d'argiles marrons i sorres grolleres	0,5
Substrat Terciari		1,0

(\*) Aquests valors no es troben afectats per cap coeficient de seguretat.

Resistència unitària per punta, $r_p$ (PILONS)			
Unitat	Encastament	Diàmetre del pilon	$r_p$ (kg/cm <sup>2</sup> ) (*)
Substrat Terciari	6D	85-100 cm	84

(\*) Aquests valors no es troben afectats per cap coeficient de seguretat.

Resistència unitària per punta, $r_p$ (BASTAIXOS)			
Unitat	Encastament	Espessor del bastaix	$r_p$ (kg/cm <sup>2</sup> ) (*)
Substrat Terciari	6E	60-100 m	67

(\*) Aquests valors no es troben afectats per cap coeficient de seguretat.

- En el cas, de les fonamentacions superficials es podran adoptar els següents valors de capacitat portant:

Edifici A	
Capacitat portant	Assentament
$q_a = 1,5 \text{ Kg/cm}^2$	0,20 cm
$q_a = 2,0 \text{ Kg/cm}^2$	0,30 cm
$q_a = 2,5 \text{ Kg/cm}^2$	0,65 cm

Edifici B	
Capacitat portant	Assentament
$q_a = 1,0 \text{ Kg/cm}^2$	0,30 cm
$q_a = 1,5 \text{ Kg/cm}^2$	0,90 cm
$q_a = 2,0 \text{ Kg/cm}^2$	1,92 cm

- Prèviament a l'excavació del terreny, es podria optar per la realització de murs pantalla permetrals com element de contenció de terres. Aquests es podrien encastar tant al Substrat Terciari com a la subunitat d'argiles marrons i sorres. Pel seu disseny es podran aplicar els mateixos valors de resistència en punta i fuste que l'indicat per fonamentacions profundes.

Resistència unitària per punta,  $r_p$

Unitat	Encastament	Espessor del bastaix	$r_p \text{ (kg/cm}^2 \text{)}^{(*)}$
Sut. d'argiles marrons i sorres grolleres	6E	60-100 m	38.5
Substrat Terciari	6E	60-100 m	67

<sup>(\*)</sup> Aquests valors no es troben afectats per cap coeficient de seguretat.

- Com elements de sustentació d'aquest murs pantalla es podrien realitzar ancoratjes. Pel seu disseny es podran aplicar els següents valors d'adherència micropiló-terreny:

Adherència micropiló-terreny

		INJECCIÓ IGU <sup>(*)</sup>	INJECCIÓ IR	INJECCIÓ IRS <sup>(*)</sup>
Unitat de reblert		No es considera	No es considera	No es considera
Ut. Quaternària	Sut. d'argiles i llims	$r_f = 1,0 \text{ Kg/cm}^2 \text{ }^{(*)}$	$r_f = 1,4 \text{ Kg/cm}^2$	$r_f = 1,8 \text{ Kg/cm}^2 \text{ }^{(*)}$
	Sut. d'argiles sorrenques, sorres i graves	$r_f = 1,5 \text{ Kg/cm}^2 \text{ }^{(*)}$	$r_f = 1,8 \text{ Kg/cm}^2$	$r_f = 2,0 \text{ Kg/cm}^2 \text{ }^{(*)}$
	Sut. d'argiles marrons i sorres	$r_f = 0,8 \text{ Kg/cm}^2 \text{ }^{(*)}$	$r_f = 1,3 \text{ Kg/cm}^2$	$r_f = 1,6 \text{ Kg/cm}^2 \text{ }^{(*)}$
Substrat Terciari		$r_f = 2,5 \text{ Kg/cm}^2 \text{ }^{(*)}$	$r_f = 3,0 \text{ Kg/cm}^2$	$r_f = 3,5 \text{ Kg/cm}^2 \text{ }^{(*)}$

<sup>(\*)</sup> Aquests valors no es troben afectats per cap coeficient de seguretat.

- Altre opció, podria ser l'execució de banquetes de terreny, que es deixen sense excavar. Degut a l'alçada d'aquestes banquetes (12,0 m), s'analitza l'estabilitat de 5 models geològics representatius de tot el subsòl de la zona. En aquests anàlisis s'ha constatat que la relació H:V=1:1, presenta valor de F.S una mica superiors a 1. Per tal d'aconseguir augmentar aquest F.S, es recomana el tractament de la superfície dels talussos (sobretot dels nivells detrítics).
- Tant per l'excavació del terreny, així com per l'execució dels diferents elements de fonamentació s'haurà de tenir en compte la presència de **nivell freàtic** a una fondària aproximada de 18,0-19,0 m respecte a la boca dels sondeigs (de l'ordre de 1,0-2,0 m per sota de la cota d'excavació), la presència de **nivells de nul·la a baixa cohesió** i la presència de **nivells cimentats (crotres carbonatades i sorres cimentades)** de gruix decimètric.





- Pel càlcul de l'empenta de terres, es podran agafar els següents valors de resistència al tall i densitat natural:

CURT TERMINI

			Cohesió, [Kg/cm²]	À. de fregament intern, [º]	Densitat natural [Tn/m³]
U. de reblert			Nul·la	28	2,00
Ut. Quaternària	Sut. d'argiles i llims	N. d´argiles	0.19-0.40	17-27	1.99
		N. de llims	0.38	11	1.85
	Sut. d'argiles sorrenques, sorres i graves	N. d´argiles sorrenques	0.36-1.83	11-21.5	2.03
		N. de sorres i graves	0.05	30	2.08
	Sut. d'argiles i sorres	N. argiles marró ocre	0.38-1.83	12-18	2.06
		N. de sorres amb matriu	0.08	29	2.06
Substrat Terciari		N. d´argiles margoses i argilites	0.35-2.02	15-27	1,98
		N. de sorres	0.05	35	2.05

Valors obtinguts dels assaigs de tall directe i Triaxials de tipus CD i d'estimacions realitzades a partir dels assaigs " in situ".

LLARG TERMINI

			Cohesió, [Kg/cm <sup>2</sup> ]	Á. de fregament intern, [°]	Densitat natural [Tn/m <sup>3</sup> ]
U. de reblert			Nul·la	26	2,00
Ut. Quaternària	Sut. d'argiles i llims	N. d´argiles	0.15	27	1.99
		N. de llims	0.11	25	1.85
	Sut. d'argiles sorrenques, sorres i graves	N. d´argiles sorrenques	0.07	29	2.03
		N. de sorres i graves	0.05	31	2.08
	Sut. d'argiles i sorres	N. argiles marró ocre	0.30	27	2,00
		N. de sorres amb matriu	0.05	29	2.06
Substrat Terciari		N. d´argiles margoses i argilites	0,66	29	1,98
		N. de sorres	0.08	34	2.05

Valors obtinguts dels assaigs de tall directe i Triaxials de tipus UU,CU.

- Cap unitat presenta expansivitat ni agressivitat en front del formigó segons la EHE Instrucció del Hormigón Estructural.
- L'aigua del nivell freàtic presenta atac dèbil-no agressiva segons la EHE Instrucció del Hormigón Estructural.
- Per últim, cal dir, que el terme municipal de Barcelona presenta un valor d'acceleració sísmica bàsica ( $a_b/g$ ) de 0,04.

Donada la lògica variabilitat de la naturalesa dels sòls, que algunes vegades presenta, inclòs en zones o àrees molt pròximes als punts d'assaigs, si es detecta alguna discordança, varietat o dubte respecte a les dades d'aquest informe, durant el procés d'excavació i/o de fonamentació, els indiquem que estem a la seva disposició per qualsevol consulta o ampliació de l'estudi.

Responsable Tècnic Dept. de Geotècnia:

Miquel López Somoza  
Geòleg, nº 5.218



**ANNEX I****FONAMENTACIONS PROFUNDES**

La resistència unitària d'enfonsament per punta de pilons en sòls granulars es podrà estimar amb la expressió següent:

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

On,

$f_p = 3$  per a pilons hincats;

$f_p = 2,5$  per a pilons formigonats in situ;

$\sigma'_{vp}$  la pressió vertical efectiva al nivell de la punta abans d'instal·lar el piló;

$N_q$  el factor de capacitat de càrrega definit per la expressió:

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

La resistència unitària per fuste es podrà estimar amb l'expressió següent:

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

On:

$\sigma'_v$  la pressió vertical efectiva al nivell considerat;

$k_f$  coeficient d'empenta horitzontal;

$F$  factor de reducció del fregament del fuste;

$\varphi$  angle de fregament intern del sòl granular.

Per a pilons hincados s'agafarà  $k_f = 1$  i per a pilons perforats s'agafarà  $k_f = 0,75$ .

Per a pilons de formigó in situ o de fusta s'agafarà  $f = 1$ , per a pilons de formigó s'agafarà  $f = 0,9$  i per a pilons d'acer en el fuste s'agafarà  $f = 0,8$ .

**CÀLCUL DE LA TENSIÓ ADMISSIBLE D'UNA FONAMENTACIÓ SUPERFICIAL**

Pel càlcul de la càrrega d'enfonsament s'ha utilitzat formulació generalitzada proposada per Brinch Hansen (1970):

$$q_h = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c + q_o \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q + \frac{1}{2} \cdot B \cdot \gamma \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma$$

on:

$d_c, d_q, d_\gamma$ : son coeficients d'influència que depenen de la fondària del plànol inferior de la sabata.

$s_c, s_q, s_\gamma$ : factors d'influència que depenen de la forma en planta de la sabata

$i_c, i_q, i_\gamma$ : factors d'influència que depenen de la inclinació de la càrrega.

**Factors de correcció deguts a l'influència de la fondària de la fonamentació**

Per tenir en compte aquest efecte, que òbviament augmenta la tensió d'enfonsament disponible, es fa servir un coeficient de correcció  $d_c$ , a aplicar al termini de cohesió, funció de la relació fondària/ample de la fonamentació definit per la següent expressió (Blanco, 1997):

$$d_c = 1 + 0,35 \frac{D}{B}$$

Sent  $D$  l'espessor del terreny per sobre de la base de la sabata.

Als factors corresponents als termes de densitat i de sobrecàrrega poden considerar-se la unitat ( $d_\gamma=1$ ,  $d_q = 1$ ).

Factors de correcció deguts a la influència de la forma de la fonamentació

En general, la tensió d'enfonsament d'una sabata circular o quadrada resulta major que la d'una sabata indefinida. L'efecte de la forma del fonament es té en compte mitjançant els factors de correcció que s'indiquen a continuació

- Terme  $N_c$ :
  - $s_c = 1'20$ , per a sabata circular
  - $s_c = 1 + 0'2 \frac{B}{L}$ , per a sabata rectangular d'ample B i longitud L en planta
- Terme  $N_q$ :
  - $s_q = 1'20$ , per a sabata circular
  - $s_q = 1 + 1'5 \cdot \tan \phi' \frac{B}{L}$ , per a sabata rectangular
- Terme  $N_\gamma$ :
  - $s_\gamma = 0'60$ , per a sabata circular
  - $s_\gamma = 1 + 0'1 \frac{B}{L}$ , per a sabata rectangular

Factors de correcció deguts a la Influència de l'excentricitat de la fonamentació

Els coeficients a aplicar per efecte de l'existència de components horitzontals de càrregues sobre la sabata són:

- Terme  $N_q$ :

$$i_q = (1 - 0'7 \cdot \tan \delta_B)^3 \cdot (1 - \tan \delta_L)$$

- Terme  $N_c$ :

$$i_c = \frac{i_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}; \text{ para } \phi' = 0: i_c = 0'5 \cdot \left( 1 + \sqrt{1 - \frac{H}{B \cdot L \cdot c}} \right)$$

- Terme  $N_\gamma$ :

$$i_\gamma = (1 - \tan \delta_B)^3 \cdot (1 - \tan \delta_L)$$

on,  $\delta_B$ ,  $\delta_L$ : angles de desviació de la càrrega respecte a la vertical.



**MÈTODE PROPOSAT PER MICHEL BUSTAMANTE PEL CÀLCUL DE MICROPILONS**

Aquest mètode consisteix en calcular la longitud de transmissió d'esforços al sòl  $L_s$  o longitud de bulb, a partir de la fórmula:

$$Q_L^S = \pi \cdot D_s \cdot L_s \cdot q_s$$

On:

$Q_L$  = és la tracció límit del Micropilo aïslat,

$D_s$  = és el diàmetre mig del bulb de sellat

$q_s$  = es la fricció lateral unitària límit que s'exerceix a llarg de la superfície lateral del bulb.

El valor  $D_s$  depèn del diàmetre de trepant  $D_d$ , de la naturalesa i la compacitat del sòl i del tipus d'injecció, *IRG* o *IGU*. Aquest valor s'agafa igual a  $D_s = \alpha \cdot D_d$ , introduint un coeficient de majoració  $\alpha$  (quadre I). El valor de la fricció lateral límit unitària  $q_s$  depèn de la naturalesa del sòl, de la seva consistència o compacitat i de la mena de sellat agafat (*IRS* o *IGU*) per realitzar els Micropilons. Aquests valors són facilitats pels àbacs de les figures 2, 3 i 4 , als que s'ha d'associar el quadre II per efectuar les seleccions que s'imposen.

QUADRE I: Coeficient de majoració  $\alpha$  en funció del tipus de sòl i mètode d'injecció.

SUELOS	IRS*	IGU**	Cantidad mínima de lechada aconsejada $V_i$
Grava	1,8	1,3 a 1,4	1,5 $V_s$
Grava arenosa	1,6 a 1,8	1,2 a 1,4	1,5 $V_s$
Arena en grava	1,5 a 1,6	1,2 a 1,3	1,5 $V_s$
Arena gruesa	1,4 a 1,5	1,1 a 1,2	1,5 $V_s$
Arena media	1,4 a 1,5	1,1 a 1,2	1,5 $V_s$
Arena fina	1,4 a 1,5	1,1 a 1,2	1,5 $V_s$
....			
Arena limosa	1,4 a 1,5	1,1 a 1,2	1,5 a 2,0 $V_s$ para IRS 1,5 $V_s$ para IGU
Limo	1,4 a 1,6	1,1 a 1,2	2,0 $V_s$ para IRS 1,5 $V_s$ para IGU
Arcilla	1,8 a 2,0		2,5 a 3,0 $V_s$ para IRS 1,5 a 2,0 $V_s$ para IGU
Marga	1,8	1,1 a 1,2	1,5 a 2,0 $V_s$ para capa compacta
Marga-calçàrea	1,8	1,1 a 1,2	
Creta alterada o fragmentada	1,8	1,1 a 1,2	2,0 a 6,0 $V_s$ ó más si la capa está fracturada
Roca alterada o fragmentada	1,2 a 1,8	1,1	1,1 a 1,5 $V_s$ si la capa está finamente fisurada 2,0 $V_s$ ó más si la capa está fracturada

$V_s$ : Volum del bulb de sellat

IRS: Injecció Repetitiva i Selectiva

IGU: Injecció Global Unificada

\*: amb  $p_i \geq p_e$

\*\*: con  $0,5 p_e < p_i < p_e$

QUADRE II: Selecció del tipus d'àbac que s'haurà d'utilitzar segons el tipus de sòl i mètode d'injecció.

SUELOS	Modo de inyección	
	IRS*	IGU**
Grava Grava arenosa Arena con grava Arena gruesa Arena media Arena fina Arena limosa	SG. 1	SG. 2
Limo Arcilla	AL. 1	AL. 2
Marga Marga-calçàrea Creta alterada o fragmentada	MC. 1	MC. 2
Roca alterada o fragmentada	≥R. 1	≥R. 2

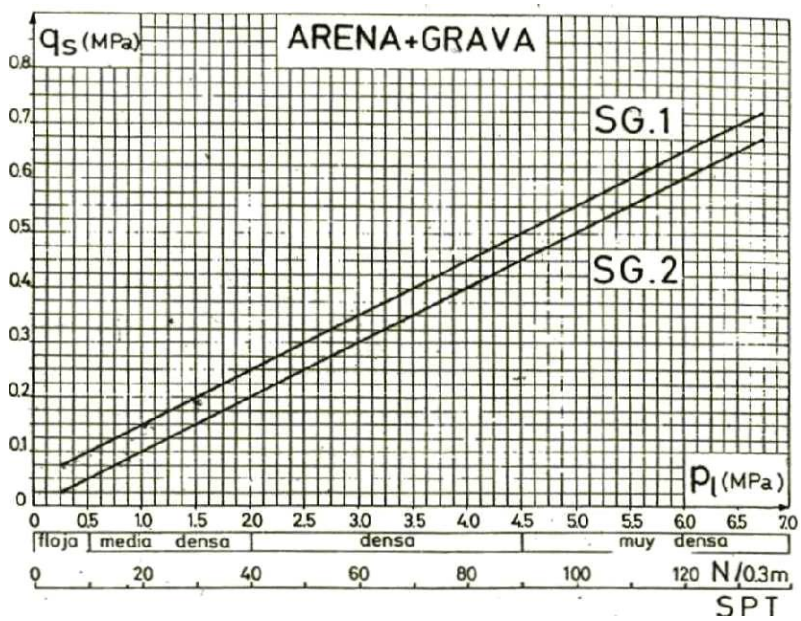


Fig. 2: Àbacs pel càlcul de  $q_s$  per sorres i graves.

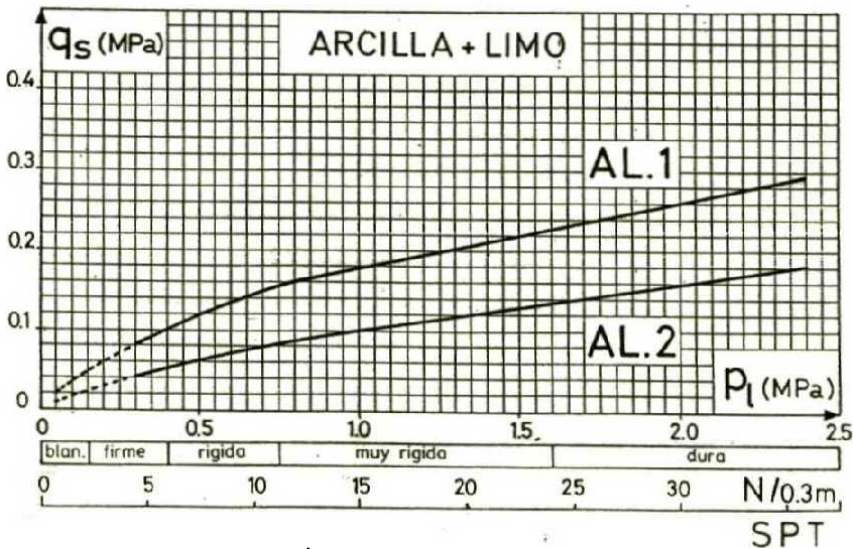
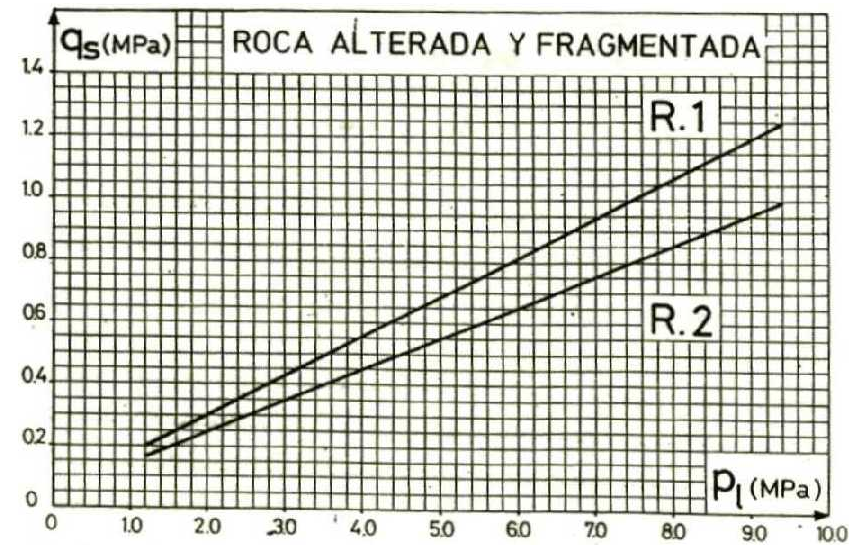


Fig. 3: Àbacs pel càlcul de  $q_s$  per argiles i llims.

Fig. 4: Àbac pel càlcul de  $q_s$  per roca alterada i fragmentada.

Quan el bulb d'un Micropiló al terreny  $L_s$  travessa diverses capes,  $q_{si}$  serà

$$Q_L^s = \sum \pi \cdot D_{si} \cdot q_{si} \cdot l_{si}$$

amb  $l_{si}$  longitud de bulb sellat a la capa  $i$ , com s'indica en la figura 5.

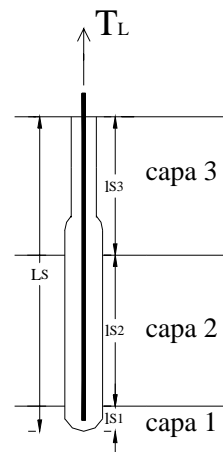


Fig. 5: Representació esquemàtica d'un Micropiló sellat en una multicapa.

AQUEST INFORME: s'emet sota les clàusules següents:

- 1.- Com a tal es considera Document confidencial, tant en la seva redacció com en el seu contingut, conseqüentment.  
M. del S. LOSAN S.A. no facilitarà informació relativa a aquest informe, ni total, ni parcial a terceres persones, físiques o jurídiques, excepte autorització expressa de la Propietat o en casos previstos per les lleis.
- 2.- No està autoritzada la reproducció total o parcial de les dades contingudes en aquest INFORME, si no és per l'ús del propi Propietari o dels Tècnics responsables.
- 3.- La columna litològica de cada sondeig subministra informació localitzada només en la vertical del propi sondeig i en el moment que s'efectua l'investigació.
- 4.- M. del S. LOSAN S.A. per la realització dels sondeigs els assaigs i proves, el personal i els medis adequats a cada cas, no acceptant més responsabilitat i obligacions que les completen els treballs específicament encarregats.
- 5.- Les medicions del nivell freàtic, si existeixen, sempre es referiran al dia en que s'han efectuat i al propi sondeig on s'ha realitzat, el seu nombre i posició figuren a l'INFORME.
- 6.- M. del S. LOSAN S.A. no es fa responsable dels possibles danys a conduccions i instal·lacions que no s'hagin indicat amb anterioritat.