



## ***PLA DIRECTOR PER A LA RESTAURACIÓ DE LES MURALLES DE TARRAGONA***

### ***ANNEXOS DE CÀLCUL***

*Octubre de 2015*





## ***PLA DIRECTOR PER A LA RESTAURACIÓ DE LES MURALLES DE TARRAGONA***

### ***ANNEXOS DE CÀLCUL***

Coordinador del Pla: Carles Brull Casadó - Arquitecte

Equip redactor:	Carles Brull Casadó -	Arquitecte
	Gemma Humbert Farrarons -	Arq. estructurista
	Jaume Massó Carballido -	Historiador
	Luciana Pocostaes Plaza -	Restauradora
	Joaquim Roset Piñol -	Enginyer geòleg
	Josep Maria Vila Carabasa -	Arqueòleg

Elena Belart Calvet  
Cap de Servei de Patrimoni Arquitectònic

Esther Colls i Rissech  
Cap de Secció de Restauració del Patrimoni Arquitectònic

*Octubre de 2015*





## **ÍNDEX**

### *ANNEXES DE CàLCUL*

*ANNEX 1. ESTUDI D'ESTABILITAT DE LA MURALLA ROMANA*

*ANNEX 2. ESTUDI GEOFÍSIC*

*ANNEX 3. ESTUDI GEOTÈCNIC*

*ANNEX 4. ESTUDI D'ESTABILITAT*

*ANNEX 5. ESTUDI COMPLEMENTARI D'ESTABILITAT*

*ANNEX 6. CONSIDERACIONS SOBRE LA MURALLA ROMANA*





**ANNEX 1 – ESTUDI D'ESTABILITAT DE LA MURALLA ROMANA**

Arquitecte: Gemma Humbert Farrarons





# ESTUDI D'ESTABILITAT DE LA MURALLA ROMANA DE TARRAGONA

Gemma Humbert Farrarons. Arquitecte calculista

El present estudi té per objectiu l'anàlisi de l'estabilitat de l'estat actual de la Muralla Romana de Tarragona, així com la de la solució genèrica que proposa el nou Pla director.

Amb anterioritat a aquest estudi se'n han realitzat d'altres on s'ha analitzat una secció genèrica de la muralla que no respon a la geometria real de la mateixa aquest nou estudi pretén un acostament més real a la morfologia i als factors que influencien la seva estabilitat.

Els dos objectius d'aquest nou estudi són:

- Estudi de l'estabilitat de 3 seccions reals de muralla, que, sense extrapolar-ne els resultats permetin donar una idea de l'estat actual de la muralla allà on es té més coneixement de la geometria i reblert que hi ha.
- Estudi comparatiu utilitzant una d'aquestes seccions de l'efecte que produeix la variació d'un dels tres factors que determinaran l'estabilitat del mur i que es descriuen breument a continuació:
  - Geometria del mur de la muralla: talús, gruix, trasdossat.
  - Reblert existent: cohesiu o detrític, si es considera la cohesió o no en cadascun dels casos.
  - Presència d'aigua en el reblert, amb la conseqüent possible pèrdua de cohesió (a l'informe geotècnic la cohesió augmenta en presència d'aigua, en aquest informe aquesta dada s'avalua de forma puntual, de manera que no resulta representativa de tot el terreny).

## 1. CRITERIS PEL CÀLCUL

L'abast d'aquest estudi és la comprovació de l'estabilitat a nivell de secció global de la muralla, no del conjunt muralla-terreny, ja que no es disposa de suficients dades per a fer-ho, a més cal afegir el fet que durant la llarga història de la muralla no hi ha hagut patologies en aquest sentit, ni d'estabilitat del terreny, ni de trencament del mateix.

S'estudia la seguretat a la bolcada  
S'estudia la seguretat en front al lliscament  
No s'estudia el mur a nivell tensional

Tot i que cal tenir en compte que la fallada local pot tenir conseqüències greus si es considera la fallada en cadena de les diferents peces.

Per a l'obtenció de les empentes actives es considera la teoria de Coulomb. Es fa l'estudi sense considerar la cohesió i tenint en compte aquest factor amb la corresponent reducció d'empentes que comporta la consideració de la cohesió del terreny (tot i que només es considera un % del valor total indicat en cada cas).

Només es considera la component horitzontal de l'empenta.

No es considera la reducció de les empentes que es produeix per tenir dos murs paral·lels propers, ja que en traçar la línia de trencament del terreny es pot observar com es mobilitza gairebé tot el gruix del reblert entre murs. (Veure el gràfic a l'apartat de descripció de seccions)

## 2. DADES CONSIDERADES

### 2.1. DADES GEOTÈCNiques

Es disposa del estudis geotècnics i geofísics realitzats per l'empresa LOSAN. S'han considerat els paràmetres del terreny i les recomanacions recollides a l'informe corresponent emès el juliol de 2006 (amb número d'expedient 14747-07-06).

A continuació es signifiquen els valors del sòl recomanats pel càlcul de les empentes:

Es descriuen dos tipus de reblert:

- **Reblert majoritàriament cohesiu:** des del punt de vista litològic està constituït per llims i llims sorrencs marró a marró fosc amb graves i gravetes, així com abundants restes antròpics dispersos (runa, escòries, etc).

Aquest material en presència d'aigua redueix les condicions de cohesió i fricció produint-se un augment de les empentes al disminuir l'angle de fregament intern.

- **Reblert majoritàriament detrític** (diferenciat en dos nivells):
  - o Nivell de graves i gravetes amb proporcions variables de matriu llimosa sorrenca amb restes antròpics dispersos. Atribuïble a aportacions posteriors de terra i runa.
  - o Nivell de graves, 'bolos' i blocs de calcària i calcarenita amb petites proporcions de matriu llimosa. Aquest nivell es localitza sempre al nivell més profund dels sondejos i s'atribueix al material de reblert original de la muralla format per capes de pedres i terra que sol arribar a les primeres filades de carreus.

En aquest tipus de reblert la presència d'aigua augmenta el pes específic i per tant la tensió vertical, donant lloc a un augment de les empentes.

#### CONDICIONS NO SATURADES

	Pes específic aparent (Tn / m <sup>3</sup> )	Angle de fregament (°)	Cohesió (Kg / cm <sup>2</sup> )
Reblert cohesiu	1,68 – 1,73	24,3 – 25,2	0,18 – 0,26
Reblert detrític	1,59 – 1,63	20 – 25,9	0,08 – 0,18

#### CONDICIONS SATURADES

	Pes específic aparent (Tn / m <sup>3</sup> )	Angle de fregament (°)	Cohesió (Kg / cm <sup>2</sup> )
Reblert cohesiu	1,89 – 1,94	9 – 15,2	0,28 – 0,37
Reblert detrític	1,98 – 2,02	20 – 25,9	0,08 – 0,18

Tot i les dades de l'informe geotècnic, tractant-se d'un terreny de reblert i no un terreny natural cal plantejar la possibilitat de la inexistència de cohesió per la composició heterogènia d'aquest reblert. Es per aquest motiu que es realitza en tots els casos la comprovació de l'estabilitat amb un 50% i sense cohesió, i en la comprovació de la proposta de reforç a més de realitzar la mateixa comprovació sense cohesió es farà també considerant-ne un 30% (que és el recomanat per les diferents bibliografies especialitzades).

### 2.2. DADES PER AL CÀLCUL DE LES EMPENTES

En tots els casos es considerarà:

El terreny sec i saturat

Angle de Fregament Mur – Terreny  $\delta_1 = 2 \phi / 3$

Inclinació mur-terreny  $\alpha_1 = 0^\circ$

Inclinació terreny superior  $\beta_1 = 0^\circ$

Gruix dels carreus: Mèdol secció original - 5cm

Llorito secció original - 10cm

Altres sobrecàrregues:

Per a la comprovació de l'estat actual NO es considera cap sobrecàrrega variable ja que els resultats obtinguts en el càlcul sense aquesta ja són prou desfavorables.

Per a la comprovació de la proposta de reforç es consideren les càrregues del element que formalitzaran aquest reforç i no es considera cap sobrecàrrega d'us ja que, si aquesta es recolza a les costelles de formigó que es proposen, es tractarà d'una càrrega estabilitzadora i per tant ens quedem del costat de la seguretat en no considerar-la.

### 2.3. COEFICIENTS DE SEGURETAT

En front la bolcada:

Accions estabilitzadores: 0.9

Accions desestabilitzadores: 1.8

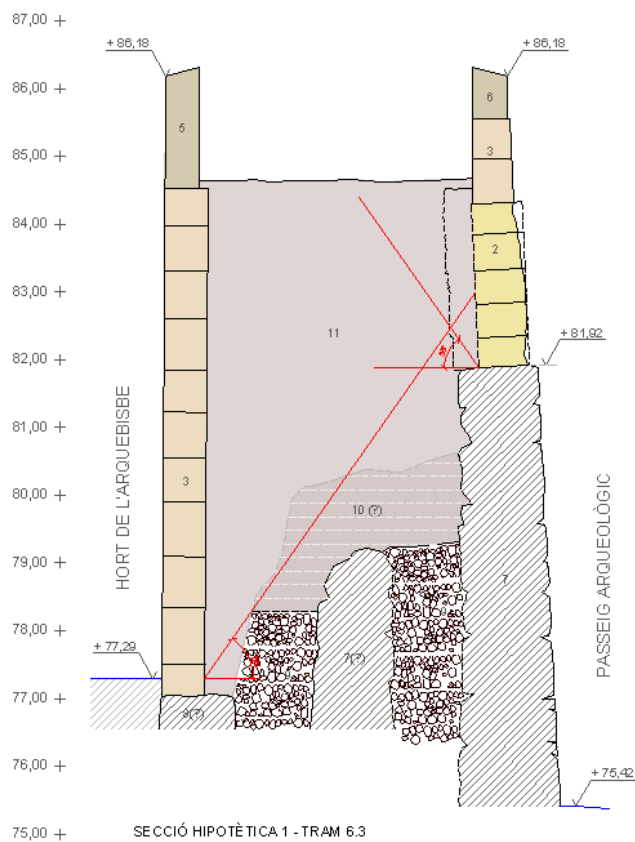
En front al lliscament:

Accions estabilitzadores: 1.0

Accions desestabilitzadores: 1.5

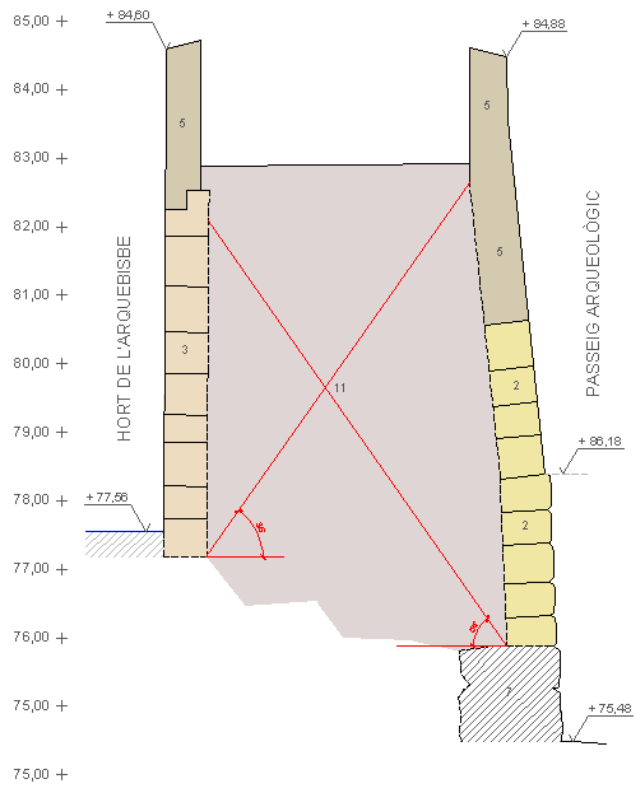
### 3. DESCRIPCIÓ DE LES SECCIONS ESTUDIADAES

#### SECCIÓ HIPOTÈTICA 1 – TRAM EE 6.3 HORT DE L'ARQUEBISBE



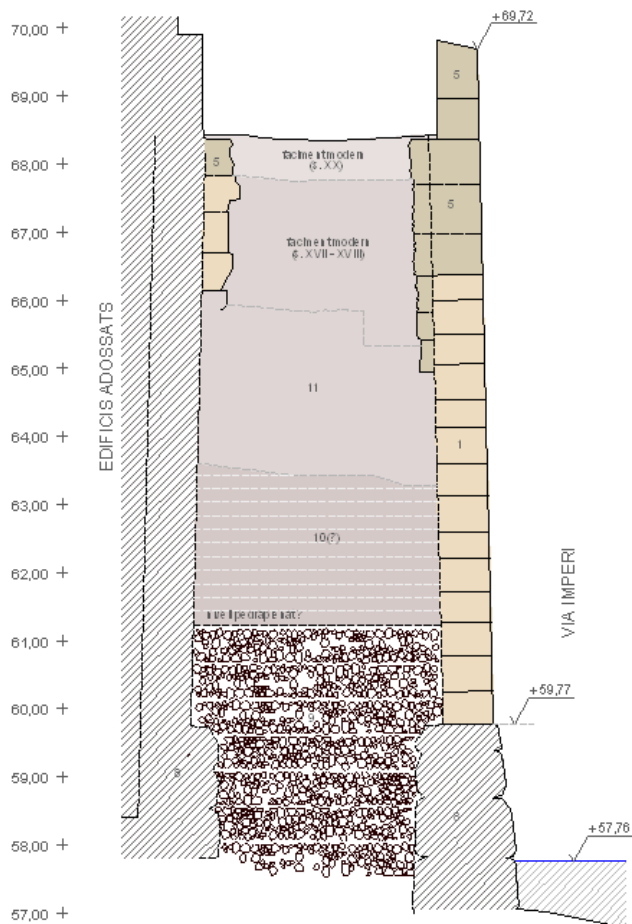
Es grafia la línia de trencament  
Terreny detrític  $\phi = 20^\circ$   
(saturat i no saturat)

## SECCIÓ HIPOTÈTICA 2 - TRAM EE 6.3 HORT DE L'ARQUEBISBE



Es grafia la línia de trencament  
 Terreny detrític  $\phi = 20^\circ$   
 (saturat i no saturat)

## SECCIÓ TRAM EE 7.6 PORTAL DEL ROSER



Aquesta secció s'estudiarà tenint en compte els diferents factors que poden variar al llarg de les diferents seccions tipus. Això permet fer-se una idea global de com cadascun d'aquests factors afecta en una mateixa secció.

A continuació s'adjunta un quadre de resultats comparatius segons es varia cadascun dels factors abans esmentats:

#### CONDICIONS NO SATURADES

	TERRENY COHESIU		TERRENY DETRÍTIC	
Dades de geotècnic sense reducció	$C=18 / \varphi =24^\circ$	$H \leq 6.75$	$C=8 / \varphi =20^\circ$	$H \leq 4.50$
Reducció de la cohesió 50%	$C=9 / \varphi =24^\circ$	$H \leq 6.00$	$C=4 / \varphi =20^\circ$	$H \leq 3.50$
Cohesió nul·la $C=0$	$C=0 / \varphi =24^\circ$	$H \leq 2.50$	$C=0 / \varphi =20^\circ$	$H \leq 2.50$

#### CONDICIONS SATURADES

	TERRENY COHESIU		TERRENY DETRÍTIC	
Reducció de la cohesió 50%	$C=9 / \varphi =9^\circ$	$H \leq 3.25$	$C=4 / \varphi =20^\circ$	$H \leq 3.00$
Cohesió nul·la $C=0$	$C=0 / \varphi =9^\circ$	$H \leq 1.75$	$C=0 / \varphi =20^\circ$	$H \leq 2.25$

Quan el terreny es troba saturat, a més, el marge de seguretat per lliscament és inferior al recomanat per la norma actual.

Del quadre anterior se'n extreu el següent:

1. El factor que més influeix en la bolcada del mur és la cohesió del terreny sec, en cas que realment es pogués confirmar la cohesió del reblert (i que aquesta no es veurà alterada). Això encaixa amb la idea inicial de construcció de les muralles romanes, construïdes amb un reblert autoestable.
2. En el terreny saturat, quan es tracta de terreny cohesiu, l'angle de fregament es veu molt reduït essent la principal causa en la pèrdua d'estabilitat del mur per l'augment de l'empenta. En el terreny detrític no es produeix aquesta diferència entre els resultats de terreny saturat o no ja que tan sols difereix el pes específic i no es tracta d'una diferència significativa.

#### 4. CONCLUSIONS

Dels resultats obtinguts del càlcul amb els diferents murs i situacions, i de l'anàlisi i visites realitzades 'in situ' als diferents trams de Muralla se'n extreuen les següents conclusions:  
(Veure l'annex de càlcul)

1. El coeficient de seguretat obtingut, en front la bolcada, en la majoria dels llenços de muralla estudiats es troba per sota del coeficient de seguretat recomanat per la normativa actual, i fins i tot per sota de 1, a cotes prou elevades com per considerar que la muralla es troba en un estat d'equilibri límit.
2. S'observa com, en considerar la cohesió del terreny, l'estabilitat millora però no de forma substancial ja que donat el desconeixement del reblert real (degut a les diferents alteracions històriques) només en considerem un 50% del seu valor, i tal i com s'ha comentat en apartats anteriors la realitat del reblert és molt heterogènia i per tant no es pot garantir cap cohesió.
3. Si considerem a més la situació en que el reblert està saturat la situació és encara més desfavorable. En aquesta situació, tot i que s'adjunten les dades de càlcul amb cohesió, s'acostaria més a la situació de reblert real considerar cohesió nul·la (també s'adjunten les dades de càlcul), donat que en un episodi de pluges es podria produir una escorrentia en la part sorrenca del reblert i arrossegar una cunya de terreny que produiria una gran empenta.
4. Cal fer notar que en els trams en que el reblert ha estat menys alterat (algunes zones de vivendes de la part mitja-baixa del Passeig de Sant Antoni) on es manté el reblert original de

toves i aquest es troba protegit de l'aigua, podem considerar que aquest reblert és pràcticament autoestable.

5. De la mateixa manera hi ha trams de muralla (part alta del Passeig de Sant Antoni) on hi pot haver problemes de compressió a la base del mur pel desgast de les peces que han reduït considerablement la seva secció.
6. Històricament els diferents ensulsiats de la muralla s'han produït després d'un període de fortes pluges i en trams on el pla de la muralla ja assenyalava un cert bombament.

Per tant, i com ja s'ha comentat en apartats anteriors, no es pot garantir l'estabilitat de la muralla romana sense tenir un coneixement exhaustiu del reblert, la garantia que l'aigua, ni cap altra factor no alterarà aquest reblert, i la morfologia real dels murs.

Nota: el fet que els coeficients de seguretat es troben per sota de 1 i la muralla no s'ha ensulsiat, no és garantia que segueixi essent així, malgrat no hi hagi un canvi d'ús i hagi estat dempeus durant 2200 anys. Qualsevol canvi a l'entorn (vibració, episodi de pluges, etc) o a les condicions d'empenta pot fer canviar aquest equilibri al límit.

## 5. RECOMANACIONS

Davant la situació abans exposada es proposen diferents tipus d'intervencions:

1. Als tram on les peces han vist reduïda la seva secció de forma considerable es recomana la substitució puntual de carreus erosionats i la protecció de la resta per tal de mantenir la secció de muralla el més constant possible (veure metodologia a seguir i recomanacions per al Camp A del Pla Director).
2. A les zones on el mur ha perdut la seva planeïtat, marcant un bombament, i/o on pugui produir-se un filtració d'aigua continua i no controlada. Es recomana protegir aquestes zones així com l'apuntalament provisional de la muralla per la part exterior de la mateixa i vinculant els dos fulls i protecció de la zona al públic.
3. Proposta de reforç a curt / llarg termini. Veure següent apartat.
4. A més de les intervencions directament als llenços de la muralla caldrà fer un seguit d'intervencions de manteniment, esbrossada i neteja (d'instal·lacions, vegetació, etc) tal i com s'explica als apartats corresponents.

## 6. PROPOSTA DE REFORÇ

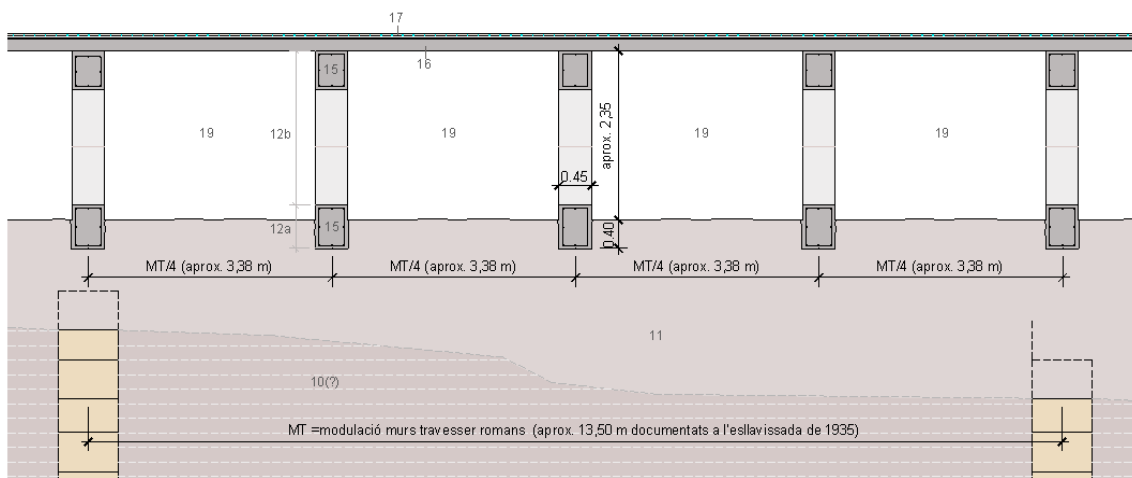
El reforç que es proposa parteix el concepte d'alliberar els fulls exteriors de la muralla de l'excés d'empenta generada per un deteriorament del reblert original que ha tingut lloc al llarg dels anys.

Es tracta de situar uns murs travessers en el nucli de la muralla a mode d'elements estabilitzadors en substitució del reblert. Aquests murs seran de formigó lleuger armat, d'uns 40cm de gruix i en ells es formalitzarà una obertura per permetre el manteniment i control de l'estat de l'interior de la muralla. Aquests murs es col·locaran cada 3.38 m aproximadament.

Aquests murs travessers a nivell d'estructura tindran diferents funcions:

1. Vincular els dos murs exteriors de la muralla fins a un mínim de 3,00m de profunditat, reduint així el vincament dels murs i una possible causa de fallida. En cas de fallar el murs per vincament (possible causa del bombament observat en alguns trams de la muralla actual) la càrrega ha de ser resistida pel reblert, que en cas de ser poc confinat pot produir la fallida definitiva.
2. En tractar-se d'elements prou rígids, per l'efecte de llinda, els elements superiors (llosa, coberta, etc) i càrregues que graviten sobre aquests, es transmetran directament als fulls exteriors (a la seva cara interior), alliberant així el reblert restant d'empentes afegides per l'ús.
3. En aquest sentit cal afegir a més, que les sobre càrregues per l'ús públic del Camí de Ronda, que actualment afegeixen empenta als murs exteriors, esdevindran càrregues estabilitzadores, en transmetre's de la llosa (o forjat) als murs travessers i d'aquests a fulls de la muralla.

4. Amb aquesta solució es buidarà una part del reblert no original (reduint les empentes) i s'afegirà el pes dels murs transversers que resultaran ser també càrregues estabilitzadores pels fulls exteriors de la muralla, transmeten la seva càrrega al mur mitjançant ancoratges col·locats amb resines (caldrà dimensionar els elements per cada cas particular).



Si es considera que en origen els reblerts romans eren autoestables (per la seva manera de ser construïts, toves apilades en fileres) es pot:

- Un cop es té un estudi prou aprofundit dels reblerts, si es pot arribar al reblert original i aquest resta inalterat per l'aigua i altres factors, només caldrà retirar el reblert afegit posteriorment.
- En cas que els estudis no conculguin de quin reblert es tracta, i no es defineixin unes cohesions reals, (no puntuals) es farà un estudi d'estabilitat del tram de muralla a reforçar considerant els paràmetres concrets de cada zona, amb la geometria coneguda, per tal de determinar a quina profunditat cal situar la base dels murs transversers per que la muralla sigui estable i es compleixin els coeficients de seguretat recomanats per la normativa actual.

Si es pren la SECCIÓ TRAM EE 7.6 PORTAL DEL ROSER com secció tipus es pot establir que amb una alçada de muralla de 8,50m la base dels murs transversers es situarà a 4,00/4,50m de profunditat. En cas que aquesta alçada sigui menor, fins a 6,00m d'alçada, serà suficient amb un buidat de 3,00m de profunditat.(\*)

(\*) NOTA: Aquestes dades són merament orientatives i fruit d'una aproximació realitzada en una secció real de la muralla, on s'han aplicat les empentes produïdes per un reblert cohesiu (Sondeig S2 definit en aquets tram per l'Informe Geotècnic de LOSAN ). S'ha considerat la cohesió donat que la proposta de reforç planteja també la protecció del reblert amb la formació d'una coberta. Per poder tenir un valor orientatiu es calcula també aquesta secció considerant un terreny detrític.

## 7. BIBLIOGRAFIA

CTE - CODI TÈCNIC DE L'EDIFICACIÓ. CTE  
ACCIONS A L'EDIFICACIÓ CTE, DB-SE-AE  
FONAMENTS CTE, DB-SE-C

NBE-Norma Bàsica de la Edificació AE-88

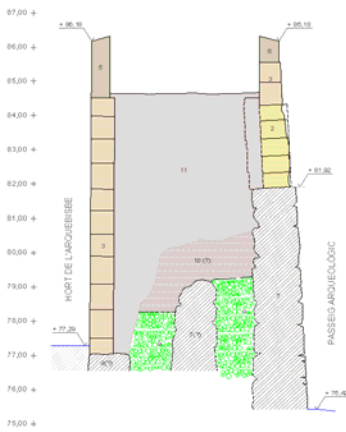
*El Terreno.* Matilde González Caballero. Edicions UPC

*El Gros de l'Obra.* Fructuós Mañá Reixach. Edicions UPC

*Muros de contenció y muros de sótano.* J. Calavera. Intemac.

*Les Muralles de Tarragona. Defenses i Fortificacions de la ciutat (S II aC – XX dC)*  
Joan Menchon Bes – Jaume Massó Carballido

COMPROVACIÓ ESTABILITAT MURALLA DE TARRAGONA



DADES DEL MUR

MUR	Tipus	MÈDOL	Ample dels carreus	ex=	0,60 m
MUR 1	FULL EXTERIOR		Densitat de la pedra <td>y=</td> <td>24,00 kNm3</td>	y=	24,00 kNm3
			Alçada del mur <td>Hx=</td> <td>7,00 m</td>	Hx=	7,00 m
			Separació interior entre fulles <td>Sx=</td> <td>3,90 m</td>	Sx=	3,90 m
MUR 2	FULL INTERN (Posterior)		Ample del mur <td>ei=</td> <td>0,00 m</td>	ei=	0,00 m
			Densitat de la mamposteria <td>y=</td> <td>24,00 kNm3</td>	y=	24,00 kNm3
			Alçada del mur <td>Hi=</td> <td>5,00 m</td>	Hi=	5,00 m
			Separació interior entre fulles <td>Si=</td> <td>3,20 m</td>	Si=	3,20 m
AMPIT SUPERIOR			Ample de fampit <td>ea=</td> <td>0,50 m</td>	ea=	0,50 m
			Densitat de la mamposteria <td>y=</td> <td>20,00 kNm3</td>	y=	20,00 kNm3
			Alçada <td>Ha=</td> <td>1,70 m</td>	Ha=	1,70 m
SOBRECARREGA D'US (Superficial)				q =	0,0 kNm2

DADES DEL GEOTÈCNIC

ESTRAT 1	Majoritàriament detritic	Cruix de l'estrat 1	h1=	7,00 m
		Densitat <td>y1=</td> <td>16,30 kNm3</td>	y1=	16,30 kNm3
		Inclinació mur-terreny <td>α1=</td> <td>0 °</td>	α1=	0 °
		Angle de freg. mur-terreny <td>β1=</td> <td>13 °</td>	β1=	13 °
		Angle de fregament intern <td>φ1=</td> <td>20 °</td>	φ1=	20 °
		Cohesió (50%) <td>c1=</td> <td>4,00 kNm2</td>	c1=	4,00 kNm2
		Inclinació terreny superior <td>β1=</td> <td>0 °</td>	β1=	0 °
		Coefficient d'empenta activa <td>λh1=</td> <td>0,42</td>	λh1=	0,42

EMPENTES AMB COHESIÓ

Empenta del terreny	Empenta Sobrec. Sup.	Empenta per Cohesió
$oa = Ka \cdot \gamma \cdot h$	$oq = Ka \cdot q$	$oc = 2 \cdot C \cdot \sqrt{Ka}$
$Ea = oa \cdot h / 2$	$Eq = oq \cdot h$	$Ec = oq \cdot h$

Estabilitat
$ys = W \cdot x \cdot 0,9 / E \cdot \gamma \geq 1,8$

Lliscament
$ys = W \cdot tg \phi / E \cdot \gamma \geq 1,5$

H	ESTRAT	oa	Ea	oq	Eq	oc	Ec	Ea-c	M estab.	COLUMNA 1		LLISCAMENT	ys ≥ 1,5
										M desest.	ys ≥ 1,8		
0,25	1	1,71	0,21	0,00	0,00	-5,18	-1,30		6,18				
0,50	1	3,42	0,86	0,00	0,00	-5,18	-2,59		7,26				
0,75	1	5,13	1,93	0,00	0,00	-5,18	-3,89		8,34				
1,00	1	6,85	3,42	0,00	0,00	-5,18	-5,18	0,21	9,42	0,02	489,88	OK	55,03
1,25	1	8,56	5,35	0,00	0,00	-5,18	-6,48	0,84	10,50	0,14	67,24	OK	15,11
1,50	1	10,27	7,70	0,00	0,00	-5,18	-7,78	1,91	11,58	0,48	21,86	OK	7,37
1,75	1	11,98	10,48	0,00	0,00	-5,18	-9,07	3,40	12,66	1,13	10,06	OK	4,62
2,00	1	13,69	13,69	0,00	0,00	-5,18	-10,37	5,32	13,74	2,22	5,58	OK	3,14
2,25	1	15,40	17,33	0,00	0,00	-5,18	-11,67	7,66	14,82	3,83	3,48	OK	2,35
2,50	1	17,12	21,39	0,00	0,00	-5,18	-12,96	10,44	15,90	6,09	2,35	OK	1,85
2,75	1	18,83	25,89	0,00	0,00	-5,18	-14,26	13,64	16,98	9,09	1,68	NO	1,51
3,00	1	20,54	30,81	0,00	0,00	-5,18	-15,55	17,27	18,06	12,95	1,25	NO	1,27
3,25	1	22,25	36,16	0,00	0,00	-5,18	-16,85	21,33	19,14	17,78	0,97	NO	1,09
3,50	1	23,96	41,93	0,00	0,00	-5,18	-18,15	25,82	20,22	23,67	0,77	NO	0,95
3,75	1	25,67	48,14	0,00	0,00	-5,18	-19,44	30,73	21,30	30,73	0,62	NO	0,84
4,00	1	27,38	54,77	0,00	0,00	-5,18	-20,74	36,07	22,38	39,08	0,52	NO	0,75
4,25	1	29,10	61,83	0,00	0,00	-5,18	-22,03	41,84	23,46	48,82	0,43	NO	0,68
4,50	1	30,81	69,32	0,00	0,00	-5,18	-23,33	48,04	24,54	60,05	0,37	NO	0,62
4,75	1	32,52	77,23	0,00	0,00	-5,18	-24,63	54,67	25,62	72,89	0,32	NO	0,57
5,00	1	34,23	85,58	0,00	0,00	-5,18	-25,92	61,72	26,70	87,44	0,27	NO	0,52
5,25	1	35,94	94,35	0,00	0,00	-5,18	-27,22	69,20	27,78	103,80	0,24	NO	0,49
5,50	1	37,65	103,55	0,00	0,00	-5,18	-28,52	77,11	28,86	122,09	0,21	NO	0,46
5,75	1	39,36	113,17	0,00	0,00	-5,18	-29,81	85,45	29,94	142,42	0,19	NO	0,43
6,00	1	41,08	123,23	0,00	0,00	-5,18	-31,11	94,21	31,02	164,88	0,17	NO	0,40
6,25	1	42,79	133,71	0,00	0,00	-5,18	-32,40	103,41	32,10	189,58	0,15	NO	0,38
6,50	1	44,50	144,62	0,00	0,00	-5,18	-33,70	113,03	33,18	216,64	0,14	NO	0,36
6,75	1	46,21	155,96	0,00	0,00	-5,18	-35,00	123,08	34,26	246,16	0,13	NO	0,34
7,00	1	47,92	167,73	0,00	0,00	-5,18	-36,29	133,55	35,34	278,24	0,11	NO	0,32

EMPENTES SENSE COHESIÓ

Empenta del terreny	Empenta Sobrec. Sup.	Empenta per Cohesió
$oa = Ka \cdot \gamma \cdot h$	$oq = Ka \cdot q$	$oc = 0$
$Ea = oa \cdot h / 2$	$Eq = oq \cdot h$	$Ec = 0$

Estabilitat
$ys = W \cdot x \cdot 0,9 / E \cdot \gamma \geq 1,8$

Lliscament
$ys = W \cdot tg \phi / E \cdot \gamma \geq 1,5$

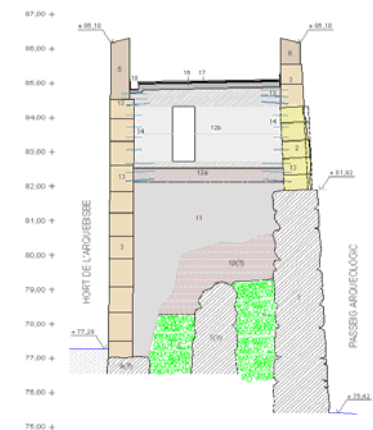
H	ESTRAT	oa	Ea	oq	Eq	oc	Ec	Ea-c	M estab.	COLUMNA 1		LLISCAMENT	ys ≥ 1,5
										M desest.	ys ≥ 1,8		
0,25	1	1,71	0,21	0,00	0,00				6,18	0,02	311,98	OK	35,05
0,50	1	3,42	0,86	0,00	0,00				7,26	0,14	45,81	OK	10,29
0,75	1	5,13	1,93	0,00	0,00				8,34	0,48	15,59	OK	5,26
1,00	1	6,85	3,42	0,00	0,00				9,42	1,14	7,43	OK	3,34
1,25	1	8,56	5,35	0,00	0,00				10,50	2,23	4,24	OK	2,38
1,50	1	10,27	7,70	0,00	0,00				11,58	3,85	2,71	OK	1,82
1,75	1	11,98	10,48	0,00	0,00				12,66	6,12	1,86	OK	1,47
2,00	1	13,69	13,69	0,00	0,00				13,74	9,13	1,35	NO	1,22
2,25	1	15,40	17,33	0,00	0,00				14,82	13,00	1,03	NO	1,04
2,50	1	17,12	21,39	0,00	0,00				15,90	17,83	0,80	NO	0,90
2,75	1	18,83	25,89	0,00	0,00				16,98	23,73	0,64	NO	0,80
3,00	1	20,54	30,81	0,00	0,00				18,06	30,81	0,53	NO	0,71
3,25	1	22,25	36,16	0,00	0,00				19,14	39,17	0,44	NO	0,64
3,50	1	23,96	41,93	0,00	0,00				20,22	48,92	0,37	NO	0,59
3,75	1	25,67	48,14	0,00	0,00				21,30	60,17	0,32	NO	0,54
4,00	1	27,38	54,77	0,00	0,00				22,38	73,02	0,28	NO	0,50
4,25	1	29,10	61,83	0,00	0,00				23,46	87,59	0,24	NO	0,46
4,50	1	30,81	69,32	0,00	0,00				24,54	103,97	0,21	NO	0,43
4,75	1	32,52	77,23	0,00	0,00				25,62	122,28	0,19	NO	0,40
5,00	1	34,23	85,58	0,00	0,00				26,70	142,63	0,17	NO	0,38
5,25	1	35,94	94,35	0,00	0,00				27,78	165,11	0,15	NO	0,36
5,50	1	37,65	103,55	0,00	0,00				28,86	189,83	0,14	NO	0,34
5,75	1	39,36	113,17	0,00	0,00				29,94	216,91	0,12	NO	0,32
6,00	1	41,08	123,23	0,00	0,00				31,02	246,46	0,11	NO	0,31
6,25	1	42,79	133,71	0,00	0,00				32,10	278,56	0,10	NO	0,29
6,50	1	44,50	144,62	0,00	0,00				33,18	313,35	0,10	NO	0,28
6,75	1	46,21	155,96	0,00	0,00				34,26	350,91	0,09	NO	0,27
7,00	1	47,92	167,73	0,00	0,00				35,34	391,36	0,08	NO	0,26





COMPROVACIÓ ESTABILITAT MURALLA DE TARRAGONA

PROPOSTA



DADES DEL MUR

SECCIÓ S1 / TRAM 6 / HORT ARQUEBISSE

MUR 1	FULL EXTERIOR	Ample dels carresus	ex = 0,60 m
		Densitat de la pedra	$\gamma = 24,00 \text{ kN/m}^3$
		Alçada del mur	Hx = 7,00 m
		Separació interior entre fulls	Sx = 3,90 m
MUR 2	FULL INTERN (Posterior)	Ample del mur	ei = 0,00 m
		Densitat de la mamposteria	$\gamma = 24,00 \text{ kN/m}^3$
		Alçada del mur	Hi = 5,00 m
		Separació interior entre fulls	Si = 3,20 m
AMPIT SUPERIOR		Ample de l'ampit	ea = 0,50 m
		Densitat de la mamposteria	$\gamma = 20,00 \text{ kN/m}^3$
		Alçada	Ha = 1,70 m
SOBRECÀRREGA D'US (Superficial)		DESFAVORABLE	q = 0,0 kN/m <sup>2</sup>
SOBRECÀRREGUES COBERTA + D'US		FAVORABLE	q = 4,0 kN/m <sup>2</sup>
DADES DEL GEOTÈCNIC			
TERRENY NO SATURAT			
MURS TRAVESSERS		Profunditat de buidat	h1 = 4,00 m
Pes E1 = 0,00 kN/m <sup>2</sup>			
Pes Mur Trav. = 24,42 kN/m			
Formigó	18,00 kN/m <sup>3</sup>		
Gruix	0,40 m		
Separació	3,38 m		
ESTRAT REBLERT Majoritàriament dètric		Gruix de l'estrat 2	h2 = 4,00 m
		Densitat	$\gamma_2 = 16,30 \text{ kN/m}^3$
		Inclinació mur-terreny	$\alpha_2 = 0^\circ$
		Angle de freg. mur-terreny	$\delta_2 = 13^\circ$
		Angle de fregament intern	$\alpha_2 = 20^\circ$
		Cohesió (30%)	C2 = 2,00 kN/m <sup>2</sup>
		Inclinació terreny superior	$\beta_2 = 0^\circ$
		Coefficient d'empena activa	$\lambda h_2 = 0,42$

EMPENTES AMB COHESIÓ

Empenta del terreny $\sigma_a = K_a \cdot \gamma \cdot h$ $E_a = \sigma_a \cdot h / 2$	Empenta Sobrec. Sup. $\sigma_q = K_a \cdot q$ $E_q = \sigma_q \cdot h$	Empenta per Cohesió $\sigma_c = 2 \cdot C \cdot \sqrt{K_a}$ $E_c = \sigma_c \cdot h$
--	--	--

Estabilitat $\gamma_s = W \cdot x \cdot 0,9 / E \cdot \gamma \geq 1,8$
---

Lliscament $\gamma_s = W \cdot \tan \phi / E_z \cdot 1,5$
--

H	ESTRAT	o <sub>a</sub>	E <sub>a</sub>	o <sub>q</sub>	E <sub>q</sub>	o <sub>c</sub>	E <sub>c</sub>	E <sub>a-c</sub>	M estab.	COLUMNA 1				
										M desest.	ys ≥ 1,8	OK/NO		
MURS	2,00	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		13,74					
	2,25	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		14,82					
	2,50	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		15,90					
	2,75	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		16,98					
	3,00	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		18,06					
	3,25	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		19,14					
	3,50	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		20,22					
	3,75	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		21,30					
	4,00	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		22,38					
REBLERT	4,25	2	1,71	0,21	0,00	0,00	-2,59	-0,65	38,11					
	4,50	2	3,42	0,86	0,00	0,00	-2,59	-1,30	39,19	0,01	4076,00	OK	286,72	OK
	4,75	2	5,13	1,93	0,00	0,00	-2,59	-1,94	40,27	0,11	342,15	OK	48,91	OK
	5,00	2	6,85	3,42	0,00	0,00	-2,59	-2,59	41,35	0,40	93,32	OK	20,31	OK
	5,25	2	8,56	5,35	0,00	0,00	-2,59	-3,24	42,43	0,99	38,41	OK	11,30	OK
	5,50	2	10,27	7,70	0,00	0,00	-2,59	-3,89	43,51	2,00	19,59	OK	7,30	OK
	5,75	2	11,98	10,48	0,00	0,00	-2,59	-4,54	44,59	3,52	11,40	OK	5,16	OK
	6,00	2	13,69	13,69	0,00	0,00	-2,59	-5,18	45,67	5,67	7,25	OK	3,87	OK
	6,25	2	15,40	17,33	0,00	0,00	-2,59	-5,83	46,75	8,54	4,93	OK	3,04	OK
	6,50	2	17,12	21,39	0,00	0,00	-2,59	-6,48	47,83	12,25	3,51	OK	2,46	OK
	6,75	2	18,83	25,89	0,00	0,00	-2,59	-7,13	48,91	16,91	2,60	OK	2,05	OK
	7,00	2	20,54	30,81	0,00	0,00	-2,59	-7,78	49,99	22,62	1,99	OK	1,74	OK

EMPENTES SENSE COHESIÓ

Empenta del terreny $\sigma_a = K_a \cdot \gamma \cdot h$ $E_a = \sigma_a \cdot h / 2$	Empenta Sobrec. Sup. $\sigma_q = K_a \cdot q$ $E_q = \sigma_q \cdot h$	Empenta per Cohesió $\sigma_c = 0$ $E_c = 0$
--	--	--

Estabilitat $\gamma_s = W \cdot x \cdot 0,9 / E \cdot \gamma \geq 1,8$
---

Lliscament $\gamma_s = W \cdot \tan \phi / E_z \cdot 1,5$
--

H	ESTRAT	o <sub>a</sub>	E <sub>a</sub>	o <sub>q</sub>	E <sub>q</sub>	M estab.	COLUMNA 1				
							M desest.	ys ≥ 1,8	OK/NO		
MURS	2,00	1	0,00	0,00	0,00	13,74	0,00				
	2,25	1	0,00	0,00	0,00	14,82	0,00				
	2,50	1	0,00	0,00	0,00	15,90	0,00				
	2,75	1	0,00	0,00	0,00	16,98	0,00				
	3,00	1	0,00	0,00	0,00	18,06	0,00				
	3,25	1	0,00	0,00	0,00	19,14	0,00				
	3,50	1	0,00	0,00	0,00	20,22	0,00				
	3,75	1	0,00	0,00	0,00	21,30	0,00				
	4,00	1	0,00	0,00	0,00	22,38	0,00				
REBLERT	4,25	2	1,71	0,21	0,00	38,11	0,02	1923,83	OK	133,04	OK
	4,50	2	3,42	0,86	0,00	39,19	0,14	247,29	OK	34,79	OK
	4,75	2	5,13	1,93	0,00	40,27	0,48	75,29	OK	16,14	OK
	5,00	2	6,85	3,42	0,00	41,35	1,14	32,62	OK	9,46	OK
	5,25	2	8,56	5,35	0,00	42,43	2,23	17,14	OK	6,30	OK
	5,50	2	10,27	7,70	0,00	43,51	3,85	10,17	OK	4,55	OK
	5,75	2	11,98	10,48	0,00	44,59	6,12	6,56	OK	3,47	OK
	6,00	2	13,69	13,69	0,00	45,67	9,13	4,59	OK	2,75	OK
	6,25	2	15,40	17,33	0,00	46,75	13,00	3,24	OK	2,25	OK
	6,50	2	17,12	21,39	0,00	47,83	17,83	2,41	OK	1,88	OK
	6,75	2	18,83	25,89	0,00	48,91	23,73	1,86	OK	1,61	OK
	7,00	2	20,54	30,81	0,00	49,99	30,81	1,46	NO	1,39	NO

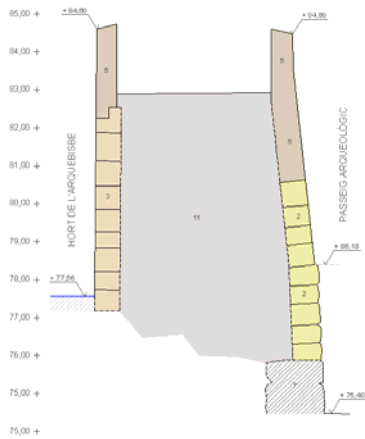








COMPROVACIÓ ESTABILITAT MURALLA DE TARRAGONA



DADES DEL MUR

SECCIÓ S2 / TRAM 6 / HORT DE L'ARQUEBISBE

MUR 1	FULL EXTERIOR	MÈDOL	Ample dels carres	ex=	0,60 m
			Densitat de la pedra	y=	24,00 kNm3
			Alçada del mur	Hx=	5,75 m
			Separació interior entre fulls	Sx=	3,90 m
MUR 2	FULL INTERN (Posterior)		Ample del mur	ei=	0,00 m
			Densitat de la mamposteria	y=	24,00 kNm3
			Alçada del mur	Hi=	5,00 m
			Separació interior entre fulls	Si=	3,20 m
AMPIT SUPERIOR			Ample de l'ampit	ea=	0,50 m
			Densitat de la mamposteria	y=	20,00 kNm3
			Alçada	Ha=	1,80 m
SOBRECÀRREGA D'US (Superficial)				q=	0,0 kNm2

DADES DEL GEOTÈCNIC

TERRENY SATURAT

ESTRAT 1	Majoritàriament detritic	Gruix de l'estrat 1	h1=	5,75 m
		Densitat	y1=	19,80 kNm3
		Inclinació mur-terreny	α1=	0°
		Angle de Freg. mur-terreny	δ1=	13°
		Angle de Fregament Intern	φ1=	20°
		Cohesió (50%)	c1=	4,00 kNm2
		Inclinació terreny superior	β1=	0°
		Coefficient d'empenya activa	Ah1=	0,42
Pes E1 =	113,85 kNm2			

EMPENTES AMB COHESIÓ

Empenta del terreny oa = Ka * γ * h Ea = oa * h / 2	Empenta Sobrec. Sup. oq = Ka * q Eq = oq * h	Empenta per Cohesió oc = 2 * C * √Ka Ec = oq * h
---	--	--

Estabilitat ys = W * x * 0,9 / E * y ≥ 1,8
---

Lliscament ys = W * tg φ / E ≥ 1,5
---------------------------------------

H	ESTRAT	oa	Ea	oq	Eq	oc	Ec	Ea-c	M estab.	M desest.	ys ≥ 1,8
0,25	1	2,08	0,26	0,00	0,00	-5,18	-1,30		6,48		
0,50	1	4,16	1,04	0,00	0,00	-5,18	-2,59		7,56		
0,75	1	6,24	2,34	0,00	0,00	-5,18	-3,89	0,13	8,64	0,01	709,32 OK
1,00	1	8,32	4,16	0,00	0,00	-5,18	-5,18	0,78	9,72	0,13	87,05 OK
1,25	1	10,40	6,50	0,00	0,00	-5,18	-6,48	1,95	10,80	0,49	19,90 OK
1,50	1	12,47	9,36	0,00	0,00	-5,18	-7,78	3,64	11,88	1,21	8,80 OK
1,75	1	14,55	12,73	0,00	0,00	-5,18	-9,07	5,86	12,96	2,44	4,78 OK
2,00	1	16,63	16,63	0,00	0,00	-5,18	-10,37	8,59	14,04	4,29	2,94 OK
2,25	1	18,71	21,05	0,00	0,00	-5,18	-11,67	11,84	15,12	6,90	1,97 OK
2,50	1	20,79	25,99	0,00	0,00	-5,18	-12,96	15,61	16,20	10,40	1,40 NO
2,75	1	22,87	31,44	0,00	0,00	-5,18	-14,26	19,89	17,28	14,92	1,04 NO
3,00	1	24,95	37,42	0,00	0,00	-5,18	-15,55	24,70	18,36	20,59	0,80 NO
3,25	1	27,03	43,92	0,00	0,00	-5,18	-16,85	30,03	19,44	27,53	0,64 NO
3,50	1	29,11	50,94	0,00	0,00	-5,18	-18,15	35,88	20,52	35,88	0,51 NO
3,75	1	31,19	58,47	0,00	0,00	-5,18	-19,44	42,25	21,60	45,77	0,42 NO
4,00	1	33,26	66,53	0,00	0,00	-5,18	-20,74	49,14	22,68	57,33	0,36 NO
4,25	1	35,34	75,10	0,00	0,00	-5,18	-22,03	56,55	23,76	70,68	0,30 NO
4,50	1	37,42	84,20	0,00	0,00	-5,18	-23,33	64,47	24,84	85,97	0,26 NO
4,75	1	39,50	93,81	0,00	0,00	-5,18	-24,63	72,92	25,92	103,31	0,23 NO
5,00	1	41,58	103,95	0,00	0,00	-5,18	-25,92	81,89	27,00	122,83	0,20 NO
5,25	1	43,66	114,60	0,00	0,00	-5,18	-27,22	91,38	28,08	144,68	0,17 NO
5,50	1	45,74	125,78	0,00	0,00	-5,18	-28,52	101,38	29,16	168,97	0,16 NO
5,75	1	47,82	137,47	0,00	0,00	-5,18	-29,81	111,91	30,24	195,84	0,14 NO

LLISCAMENT	ys ≥ 1,5
------------	----------

EMPENTES SENSE COHESIÓ

Empenta del terreny oa = Ka * γ * h Ea = oa * h / 2	Empenta Sobrec. Sup. oq = Ka * q Eq = oq * h	Empenta per Cohesió oc = 0 Ec = 0
---	--	---

Estabilitat ys = W * x * 0,9 / E * y ≥ 1,8
---

Lliscament ys = W * tg φ / E ≥ 1,5
---------------------------------------

H	ESTRAT	oa	Ea	oq	Eq	M estab.	M desest.	ys ≥ 1,8
0,25	1	2,08	0,26	0,00	0,00	6,48	0,02	269,30 OK
0,50	1	4,16	1,04	0,00	0,00	7,56	0,17	39,27 OK
0,75	1	6,24	2,34	0,00	0,00	8,64	0,58	13,30 OK
1,00	1	8,32	4,16	0,00	0,00	9,72	1,39	6,31 OK
1,25	1	10,40	6,50	0,00	0,00	10,80	2,71	3,59 OK
1,50	1	12,47	9,36	0,00	0,00	11,88	4,68	2,29 OK
1,75	1	14,55	12,73	0,00	0,00	12,96	7,43	1,57 NO
2,00	1	16,63	16,63	0,00	0,00	14,04	11,09	1,14 NO
2,25	1	18,71	21,05	0,00	0,00	15,12	15,79	0,86 NO
2,50	1	20,79	25,99	0,00	0,00	16,20	21,66	0,67 NO
2,75	1	22,87	31,44	0,00	0,00	17,28	28,82	0,54 NO
3,00	1	24,95	37,42	0,00	0,00	18,36	37,42	0,44 NO
3,25	1	27,03	43,92	0,00	0,00	19,44	47,58	0,37 NO
3,50	1	29,11	50,94	0,00	0,00	20,52	59,42	0,31 NO
3,75	1	31,19	58,47	0,00	0,00	21,60	73,09	0,27 NO
4,00	1	33,26	66,53	0,00	0,00	22,68	88,70	0,23 NO
4,25	1	35,34	75,10	0,00	0,00	23,76	106,40	0,20 NO
4,50	1	37,42	84,20	0,00	0,00	24,84	128,30	0,18 NO
4,75	1	39,50	93,81	0,00	0,00	25,92	148,54	0,16 NO
5,00	1	41,58	103,95	0,00	0,00	27,00	173,25	0,14 NO
5,25	1	43,66	114,60	0,00	0,00	28,08	200,56	0,13 NO
5,50	1	45,74	125,78	0,00	0,00	29,16	230,60	0,11 NO
5,75	1	47,82	137,47	0,00	0,00	30,24	263,49	0,10 NO

LLISCAMENT	ys ≥ 1,5
------------	----------

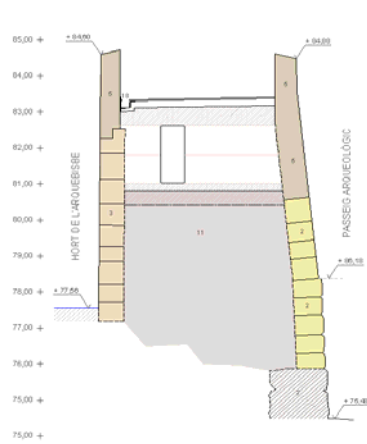








COMPROVACIÓ ESTABILITAT MURALLA DE TARRAGONA **PROPOSTA**



**DADES DEL MUR** **SECCIÓ S2 / TRAM 6 / PASSEIG ARQUEOLÒGIC**

MUR 1	FULL EXTERIOR	<b>LLORITO</b>	Ample dels carreus	ex=	0,60 m
			Densitat de la pedra	y=	24,00 kN/m3
			Alçada del mur	Hx=	7,00 m
			Separació interior entre fulls	Sx=	3,80 m
Pes Mx =	14.4	kN/m2			
MUR 2	FULL INTERN (Posterior)		Ample del mur	ei=	0,00 m
			Densitat de la mamposteria	y=	24,00 kN/m3
			Alçada del mur	Hi=	5,00 m
			Separació interior entre fulls	Si=	3,20 m
Pes Mi =	0	kN/m2			
AMPIT SUPERIOR			Ample de l'ampit	ea=	0,55 m
			Densitat de la mamposteria	y=	20,00 kN/m3
			Alçada	Ha=	1,70 m
Pes Ma =	18.7	kN/m (*)			
SOBRECÀRREGA D'US	(Superficial)		DESFAVORABLE	q =	0,0 kN/m2
SOBRECÀRREGUES COBERTA + D'US			FAVORABLE	q =	4,0 kN/m2
<b>DADES DEL GEOTÈCNIC</b> <b>TERRENY NO SATURAT</b>					
MURS TRAVERSERS			Profunditat de buidat	h1=	4,00 m
Pes E1 =	0,00	kN/m2			
Pes Mur Trav. =	23.79	kN/m			
Formigó	18,00	kN/m3			
Gruix	0,40	m			
Separació	3,38	m			
ESTRAT REBLERT	Majoritàriament detritic		Gruix de l'estrat 2	h2=	3,00 m
			Densitat	y2 =	16,30 kN/m3
Pes E2 =	48.9	kN/m2	Inclinació mur-terreny	α2 =	0 °
			Angle de Freg. mur-terreny	β2 =	13 °
			Angle de Fregament Intern	φ2 =	20 °
			Cohesió (30%)	c2 =	2,00 kN/m2
			Inclinació terreny superior	α2 =	0 °
			Coefficient d'empena activa	λh2=	0,42

**EMPENTES AMB COHESIÓ**

Empenta del terreny $oa = Ka \cdot y \cdot h$ $Ea = oa \cdot h / 2$	Empenta Sobrec. Sup. $oq = Ka \cdot q$ $Eq = oq \cdot h$	Empenta per Cohesió $oc = 2 \cdot C \cdot \sqrt{Ka}$ $Ec = oq \cdot h$
---	--	--

Estabilitat $ys = W \cdot x \cdot 0,9 / E \cdot \gamma \geq 1,8$
---

LLISCAMENT $ys = W \cdot tg \phi / Es \cdot 1,5$
---

H	ESTRAT	oa	Ea	oq	Eq	oc	Ec	Ea-c	M estab.	COLUMNA 1		
										M desest.	$\gamma_s \geq 1,8$	
MURS	2,00	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		14,25			
	2,25	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		15,33			
	2,50	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		16,41			
	2,75	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		17,49			
	3,00	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		18,57			
	3,25	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		19,65			
	3,50	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		20,73			
	3,75	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		21,81			
	4,00	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		22,89			
BUIDAT	4,25	2	1,71	0,21	0,00	0,00	-2,59	-0,65	38,24			
	4,50	2	3,42	0,86	0,00	0,00	-2,59	-1,30	39,32	0,01	4089,98	OK
	4,75	2	5,13	1,93	0,00	0,00	-2,59	-1,94	40,40	0,11	343,29	OK
	5,00	2	6,85	3,42	0,00	0,00	-2,59	-2,59	41,48	0,40	93,62	OK
	5,25	2	8,56	5,35	0,00	0,00	-2,59	-3,24	42,56	0,99	38,53	OK
	5,50	2	10,27	7,70	0,00	0,00	-2,59	-3,89	43,64	2,00	19,65	OK
	5,75	2	11,98	10,48	0,00	0,00	-2,59	-4,54	44,72	3,52	11,43	OK
	6,00	2	13,69	13,69	0,00	0,00	-2,59	-5,18	45,80	5,67	7,28	OK
	6,25	2	15,40	17,33	0,00	0,00	-2,59	-5,83	46,88	8,54	4,94	OK
	6,50	2	17,12	21,39	0,00	0,00	-2,59	-6,48	47,96	12,25	3,52	OK
	6,75	2	18,83	25,89	0,00	0,00	-2,59	-7,13	49,04	16,91	2,61	OK
	7,00	2	20,54	30,81	0,00	0,00	-2,59	-7,78	50,12	22,62	1,99	OK

**EMPENTES SENSE COHESIÓ**

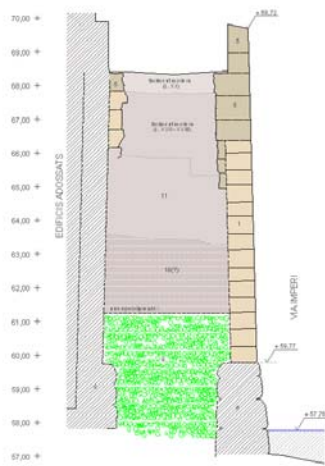
Empenta del terreny $oa = Ka \cdot y \cdot h$ $Ea = oa \cdot h / 2$	Empenta Sobrec. Sup. $oq = Ka \cdot q$ $Eq = oq \cdot h$	Empenta per Cohesió $oc = 0$ $Ec = 0$
---	--	---

Estabilitat $ys = W \cdot x \cdot 0,9 / E \cdot \gamma \geq 1,8$
---

LLISCAMENT $ys = W \cdot tg \phi / Es \cdot 1,5$
---

H	ESTRAT	oa	Ea	oq	Eq	oc	Ec	Ea-c	M estab.	COLUMNA 1		
										M desest.	$\gamma_s \geq 1,8$	
MURS	2,00	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		14,25	0,00		
	2,25	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		15,33	0,00		
	2,50	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		16,41	0,00		
	2,75	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		17,49	0,00		
	3,00	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		18,57	0,00		
	3,25	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		19,65	0,00		
	3,50	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		20,73	0,00		
	3,75	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		21,81	0,00		
	4,00	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		22,89	0,00		
BUIDAT	4,25	2	1,71	0,21	0,00	0,00			38,24	0,02	1930,62	OK
	4,50	2	3,42	0,86	0,00	0,00			39,32	0,14	248,14	OK
	4,75	2	5,13	1,93	0,00	0,00			40,40	0,48	75,54	OK
	5,00	2	6,85	3,42	0,00	0,00			41,48	1,14	32,72	OK
	5,25	2	8,56	5,35	0,00	0,00			42,56	2,23	17,19	OK
	5,50	2	10,27	7,70	0,00	0,00			43,64	3,85	10,20	OK
	5,75	2	11,98	10,48	0,00	0,00			44,72	6,12	6,58	OK
	6,00	2	13,69	13,69	0,00	0,00			45,80	9,13	4,52	OK
	6,25	2	15,40	17,33	0,00	0,00			46,88	13,00	3,25	OK
	6,50	2	17,12	21,39	0,00	0,00			47,96	17,83	2,42	OK
	6,75	2	18,83	25,89	0,00	0,00			49,04	23,73	1,88	OK
	7,00	2	20,54	30,81	0,00	0,00			50,12	30,81	1,46	NO

COMPROVACIÓ ESTABILITAT MURALLA DE TARRAGONA



DADES DEL MUR

MUR 1	FULL EXTERIOR	LLORITO	Ample dels carreus	ex=	0,70 m
			Densitat de la pedra	y=	24,00 kN/m3
			Alçada del mur	Hx=	8,50 m
			Separació interior entre fulls	Sx=	3,00 m
			Excentricitat del talús (base)	e talús =	0,2 m
MUR 2	FULL INTERN (Posterior)		Ample del mur	ei=	0,25 m
			Densitat de la mamposteria	y=	24,00 kN/m3
			Alçada del mur	Hi=	3,50 m
			Separació interior entre fulls	Si=	2,75 m
AMPIT SUPERIOR			Ample de l'ampit	ea=	0,60 m
			Densitat de la mamposteria	y=	20,00 kN/m3
			Alçada	Ha=	1,40 m
SOBRECÀRREGA D'US (Superficial)				q =	0,0 kN/m2

SECCIÓ S3 / TRAM 7 / VIA IMPERI

DADES DEL GEOTÈCNIC

ESTRAT 1	Majoritàriament cohesiu	Gruix de l'estrat 1	h1=	8,50 m
		Densitat	y1=	17,30 kN/m3
		Inclinació mur-terreny	α1=	0 °
		Angle de Freg. mur-terreny	β1=	16 °
		Angle de Fregament Intern	φ1=	24 °
		Cohesió	C1=	18,00 kN/m2
		Inclinació terreny superior	β1=	0 °
		Coefficient d'empenta activa	λh1=	0,36

TERRENY NO SATURAT

EMPENTES AMB COHESIÓ

Empenta del terreny	Empenta Sobrec. Sup.	Empenta per Cohesió
$oa = Ka \cdot \gamma \cdot h$	$oq = Ka \cdot q$	$oc = 2 \cdot C \cdot \sqrt{Ka}$
$Ea = oa \cdot h / 2$	$Eq = oq \cdot h$	$Ec = oq \cdot h$

Estabilitat	$ys = W \cdot x \cdot 0,9 / E \cdot \gamma \geq 1,8$
-------------	--

Lliscament	$ys = W \cdot \tan \phi / E \geq 1,5$
------------	---------------------------------------

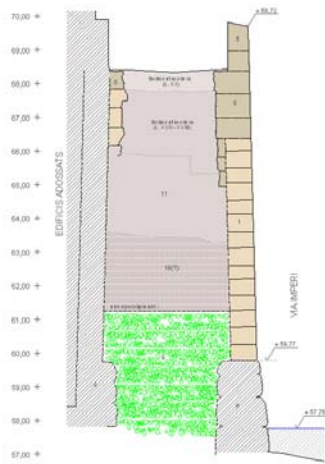
H	ESTRAT	oa	Ea	oq	Eq	oc	Ec	Ea-c	M estab.	M desest.	ys ≥ 1,8	LLISCAMENT	ys ≥ 1,5	
0,25	1	1,56	0,19	0,00	0,00	-21,60	-5,40		9,40		-12,85			
0,50	1	3,11	0,78	0,00	0,00	-21,60	-10,80		12,88		-4,51			
0,75	1	4,67	1,75	0,00	0,00	-21,60	-16,20		16,30		-2,60			
1,00	1	6,23	3,11	0,00	0,00	-21,60	-21,60		19,67		-1,81			
1,25	1	7,79	4,87	0,00	0,00	-21,60	-27,00		23,00		-1,39			
1,50	1	9,34	7,01	0,00	0,00	-21,60	-32,40		26,28		-1,14			
1,75	1	10,90	9,54	0,00	0,00	-21,60	-37,80		29,50		-0,97			
2,00	1	12,46	12,46	0,00	0,00	-21,60	-43,20		32,68		-0,84			
2,25	1	14,01	15,76	0,00	0,00	-21,60	-48,60		35,81		-0,75			
2,50	1	15,57	19,46	0,00	0,00	-21,60	-54,00		38,88		-0,68			
2,75	1	17,13	23,55	0,00	0,00	-21,60	-59,40		41,91		-0,63			
3,00	1	18,68	28,03	0,00	0,00	-21,60	-64,80		44,89		-0,58			
3,25	1	20,24	32,89	0,00	0,00	-21,60	-70,20		47,82		-0,55			
3,50	1	21,80	38,15	0,00	0,00	-21,60	-75,60	0,02	50,70	0,00	22124,79	OK	1737,74	OK
3,75	1	23,36	43,79	0,00	0,00	-21,60	-81,00	0,44	52,30	0,07	643,65	OK	103,81	OK
4,00	1	24,91	49,82	0,00	0,00	-21,60	-86,40	1,24	53,84	0,31	156,06	OK	38,72	OK
4,25	1	26,47	56,25	0,00	0,00	-21,60	-91,80	2,43	55,34	0,81	61,37	OK	20,79	OK
4,50	1	28,03	63,06	0,00	0,00	-21,60	-97,20	4,02	56,78	1,67	30,54	OK	13,24	OK
4,75	1	29,58	70,26	0,00	0,00	-21,60	-102,60	5,99	58,18	2,99	17,49	OK	9,30	OK
5,00	1	31,14	77,85	0,00	0,00	-21,60	-108,00	8,35	59,52	4,87	11,00	OK	6,98	OK
5,25	1	32,70	85,83	0,00	0,00	-21,60	-113,40	11,10	60,82	7,40	7,40	OK	5,48	OK
5,50	1	34,25	94,20	0,00	0,00	-21,60	-118,80	14,24	62,07	10,68	5,23	OK	4,45	OK
5,75	1	35,81	102,96	0,00	0,00	-21,60	-124,20	17,76	63,27	14,80	3,85	OK	3,71	OK
6,00	1	37,37	112,10	0,00	0,00	-21,60	-129,60	21,68	64,41	19,87	2,92	OK	3,15	OK
6,25	1	38,93	121,64	0,00	0,00	-21,60	-135,00	25,99	65,51	25,99	2,27	OK	2,73	OK
6,50	1	40,48	131,57	0,00	0,00	-21,60	-140,40	30,68	66,56	33,24	1,80	OK	2,39	OK
6,75	1	42,04	141,88	0,00	0,00	-21,60	-145,80	35,77	67,56	41,73	1,46	NO	2,12	OK
7,00	1	43,60	152,59	0,00	0,00	-21,60	-151,20	41,24	68,52	51,55	1,20	NO	1,90	OK
7,25	1	45,15	163,68	0,00	0,00	-21,60	-156,60	47,11	69,42	62,81	0,99	NO	1,72	OK
7,50	1	46,71	175,16	0,00	0,00	-21,60	-162,00	53,36	70,27	75,59	0,84	NO	1,57	OK
7,75	1	48,27	187,03	0,00	0,00	-21,60	-167,40	60,00	71,07	90,00	0,71	NO	1,44	NO
8,00	1	49,82	199,30	0,00	0,00	-21,60	-172,80	67,03	71,83	106,13	0,61	NO	1,32	NO
8,25	1	51,38	211,95	0,00	0,00	-21,60	-178,20	74,45	72,53	124,09	0,53	NO	1,23	NO
8,50	1	52,94	224,99	0,00	0,00	-21,60	-183,60	82,26	73,19	143,96	0,46	NO	1,14	NO







COMPROVACIÓ ESTABILITAT MURALLA DE TARRAGONA



DADES DEL MUR

MUR	Tipus	Material	Ample dels carreus	ex=	0,70 m
MUR 1	FULL EXTERIOR	LLORITO	Densitat de la pedra	y=	24,00 kN/m3
			Alçada del mur	Hx=	8,50 m
			Separació interior entre fulls	Sx=	3,00 m
			Excentricitat del talús (base)	e talús =	0,2 m
MUR 2	FULL INTERN (Posterior)		Ample del mur	ei=	0,25 m
			Densitat de la mamposteria	y=	24,00 kN/m3
			Alçada del mur	Hi=	3,50 m
			Separació interior entre fulls	Si=	2,75 m
AMPIT SUPERIOR			Ample de l'ampit	ea=	0,60 m
			Densitat de la mamposteria	y=	20,00 kN/m3
			Alçada	Ha=	1,40 m
SOBRECÀRREGA D'US (Superficial)				q =	0,0 kN/m2

DADES DEL GEOTÈCNIC

ESTRAT	Tipus	Majoritàriament detritic	Gruix de l'estrat 1	h1=	8,50 m
			Densitat	y1 =	16,30 kN/m3
			Inclinació mur-terreny	α1 =	0 °
			Angle de Freg. mur-terreny	δ1 =	13 °
			Angle de Fregament Intern	φ1 =	20 °
			Cohesió	C1 =	8,00 kN/m2
			Inclinació terreny superior	β1 =	0 °
			Coefficient d'empenta activa	λh1 =	0,42

TERRENY NO SATURAT

EMPENTES AMB COHESIÓ

Empenta del terreny	Empenta Sobrec. Sup.	Empenta per Cohesió
$oa = Ka \cdot \gamma \cdot h$	$oq = Ka \cdot q$	$oc = 2 \cdot C \cdot \sqrt{Ka}$
$Ea = oa \cdot h / 2$	$Eq = oq \cdot h$	$Ec = oq \cdot h$

Estabilitat
$ys = W \cdot x \cdot 0,9 / E \cdot \gamma \geq 1,8$

Lliscament
$ys = W \cdot \tan \phi / E \geq 1,5$

H	ESTRAT	oa	Ea	oq	Eq	oc	Ec	Ea-c	M estab.	M desest.	ys ≥ 1,8	LLISCAMENT	ys ≥ 1,5
0,25	1	1,71	0,21	0,00	0,00	-10,37	-2,59		9,40				
0,50	1	3,42	0,86	0,00	0,00	-10,37	-5,18		12,88				
0,75	1	5,13	1,93	0,00	0,00	-10,37	-7,76		16,30				
1,00	1	6,85	3,42	0,00	0,00	-10,37	-10,37		19,67				
1,25	1	8,56	5,35	0,00	0,00	-10,37	-12,96		23,00				
1,50	1	10,27	7,70	0,00	0,00	-10,37	-15,55		26,28				
1,75	1	11,98	10,48	0,00	0,00	-10,37	-18,15	0,20	29,50	0,02	1581,92	OK	102,46
2,00	1	13,69	13,69	0,00	0,00	-10,37	-20,74	0,83	32,68	0,14	212,43	OK	27,34
2,25	1	15,40	17,33	0,00	0,00	-10,37	-23,33	1,89	35,81	0,47	68,28	OK	13,13
2,50	1	17,12	21,39	0,00	0,00	-10,37	-25,92	3,37	38,88	1,12	31,13	OK	7,96
2,75	1	18,83	25,89	0,00	0,00	-10,37	-28,52	5,29	41,91	2,20	17,13	OK	5,47
3,00	1	20,54	30,81	0,00	0,00	-10,37	-31,11	7,63	44,89	3,81	10,60	OK	4,07
3,25	1	22,25	36,16	0,00	0,00	-10,37	-33,70	10,40	47,82	6,06	7,10	OK	3,18
3,50	1	23,96	41,93	0,00	0,00	-10,37	-36,29	13,59	50,70	9,06	5,04	OK	2,59
3,75	1	25,67	48,14	0,00	0,00	-10,37	-38,88	17,22	52,30	12,91	3,55	OK	2,16
4,00	1	27,38	54,77	0,00	0,00	-10,37	-41,48	21,27	53,84	17,72	2,73	OK	1,85
4,25	1	29,10	61,83	0,00	0,00	-10,37	-44,07	25,75	55,34	23,60	2,11	OK	1,61
4,50	1	30,81	69,32	0,00	0,00	-10,37	-46,66	30,66	56,78	30,66	1,67	NO	1,42
4,75	1	32,52	77,23	0,00	0,00	-10,37	-49,25	35,99	58,18	38,99	1,34	NO	1,27
5,00	1	34,23	85,58	0,00	0,00	-10,37	-51,85	41,76	59,52	48,72	1,10	NO	1,14
5,25	1	35,94	94,35	0,00	0,00	-10,37	-54,44	47,95	60,82	59,94	0,91	NO	1,04
5,50	1	37,65	103,55	0,00	0,00	-10,37	-57,03	54,57	62,07	72,76	0,77	NO	0,95
5,75	1	39,36	113,17	0,00	0,00	-10,37	-59,62	61,62	63,27	87,29	0,65	NO	0,87
6,00	1	41,08	123,23	0,00	0,00	-10,37	-62,22	69,09	64,41	103,64	0,56	NO	0,81
6,25	1	42,79	133,71	0,00	0,00	-10,37	-64,81	76,99	65,51	121,91	0,48	NO	0,75
6,50	1	44,50	144,62	0,00	0,00	-10,37	-67,40	85,32	66,56	142,21	0,42	NO	0,70
6,75	1	46,21	155,96	0,00	0,00	-10,37	-69,99	94,08	67,56	164,65	0,37	NO	0,66
7,00	1	47,92	167,73	0,00	0,00	-10,37	-72,58	103,27	68,52	189,33	0,33	NO	0,62
7,25	1	49,63	179,92	0,00	0,00	-10,37	-75,18	112,88	69,42	216,36	0,29	NO	0,59
7,50	1	51,35	192,54	0,00	0,00	-10,37	-77,77	122,93	70,27	245,85	0,26	NO	0,56
7,75	1	53,06	205,59	0,00	0,00	-10,37	-80,36	133,40	71,07	277,91	0,23	NO	0,53
8,00	1	54,77	219,07	0,00	0,00	-10,37	-82,95	144,30	71,83	312,64	0,21	NO	0,50
8,25	1	56,48	232,98	0,00	0,00	-10,37	-85,55	155,62	72,53	350,15	0,19	NO	0,48
8,50	1	58,19	247,31	0,00	0,00	-10,37	-88,14	167,38	73,19	390,54	0,17	NO	0,46







COMPROVACIÓ ESTABILITAT MURALLA DE TARRAGONA

PROPOSTA



DADES DEL MUR

SECCIÓ S3 / TRAM 7 / VIA IMPERI

MUR 1	FULL EXTERIOR	Ample dels carreus	ex=	0,70 m
		Densitat de la pedra	y=	24,00 kN/m3
		Alçada del mur	Hx=	8,50 m
		Separació interior entre fulls	Sx=	3,00 m
		Excentricitat del talús (base)	e talús =	0,2 m
MUR 2	FULL INTERN (Posterior)	Ample del mur	ei=	0,25 m
		Densitat de la mamposteria	y=	24,00 kN/m3
		Alçada del mur	Hj=	3,50 m
		Separació interior entre fulls	Si=	2,75 m
AMPIT SUPERIOR		Ample de l'ampit	ea=	0,60 m
		Densitat de la mamposteria	y=	20,00 kN/m3
		Alçada	Ha=	1,40 m
SOBRECÀRREGA D'US (Superficial)		DESFAVORABLE	q=	0,0 kN/m2
SOBRECÀRREGUES COBERTA + D'US		FAVORABLE	q=	4,0 kN/m2
<b>DADES DEL GEOTÈCNIC</b>		<b>TERRENY NO SATURAT</b>		
MURS TRAVESSERS		Profunditat de buidat	h1=	4,50 m
		Pes E1 =	0,00 kN/m2	
		Pes Mur Trav. =	20,38 kN/m	
		Formigó	18,00 kN/m3	
		Gruix	0,40 m	
		Separació	3,38 m	
ESTRAT REBLERT	Majoritàriament Detritic	Gruix de freatat 2	h2=	4,50 m
		Densitat	y2=	16,30 kN/m3
		Inclinació mur-terreny	α2=	0 °
		Angle de Freg. mur-terreny	δ2=	13 °
		Angle de Fregament Intern	φ2=	20 °
		Cohesió (30%)	C2=	2,00 kN/m2
		Inclinació terreny superior	β2=	0 °
		Coefficient d'empenta activa	Ah2=	0,42

EMPENTES AMB COHESIÓ

Empenta del terreny	Empenta Sobrec. Sup.	Empenta per Cohesió
$oa = Ka \cdot \gamma \cdot h$	$oq = Ka \cdot q$	$oc = 2 \cdot C \cdot \sqrt{Ka}$
$Ea = oa \cdot h / 2$	$Eq = oq \cdot h$	$Ec = oq \cdot h$

Estabilitat	$ys = W \cdot x \cdot 0,9 / E \cdot \gamma \geq 1,8$
-------------	--

Lliscament	$ys = W \cdot \tan \phi / E \geq 1,5$
------------	---------------------------------------

H	ESTRAT	oa	Ea	oq	Eq	oc	Ec	Ea-c	M estab.	M desest.	ys ≥ 1,8	LLISCAMENT	ys ≥ 1,5	
MURS	2,00	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		32,68					
	2,25	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		35,81					
	2,50	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		38,88					
	2,75	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		41,91					
	3,00	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		44,89					
	3,25	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		47,82					
	3,50	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		50,70					
	3,75	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		66,56					
	4,00	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		68,11					
	4,25	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		69,60					
	4,50	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		71,05					
REBLERT	4,75	2	1,71	0,21	0,00	0,00	-2,59	-0,65	72,44					
	5,00	2	3,42	0,86	0,00	0,00	-2,59	-1,30	73,79					
	5,25	2	5,13	1,93	0,00	0,00	-2,59	-1,94	75,08					
	5,50	2	6,85	3,42	0,00	0,00	-2,59	-2,59	76,33	0,04	1550,44	OK	97,34	OK
	5,75	2	8,56	5,35	0,00	0,00	-2,59	-3,24	77,53	0,25	280,74	OK	36,10	OK
	6,00	2	10,27	7,70	0,00	0,00	-2,59	-3,89	78,68	0,72	98,39	OK	19,42	OK
	6,25	2	11,98	10,48	0,00	0,00	-2,59	-4,54	79,78	1,56	45,89	OK	12,35	OK
	6,50	2	13,69	13,69	0,00	0,00	-2,59	-5,18	80,83	2,89	25,17	OK	8,66	OK
	6,75	2	15,40	17,33	0,00	0,00	-2,59	-5,83	81,83	4,80	15,33	OK	6,47	OK
	7,00	2	17,12	21,39	0,00	0,00	-2,59	-6,48	82,78	7,41	10,05	OK	5,05	OK
	7,25	2	18,83	25,89	0,00	0,00	-2,59	-7,13	83,68	10,82	6,96	OK	4,08	OK
	7,50	2	20,54	30,81	0,00	0,00	-2,59	-7,78	84,53	15,14	5,02	OK	3,39	OK
	7,75	2	22,25	36,16	0,00	0,00	-2,59	-8,42	85,34	20,48	3,75	OK	2,87	OK
	8,00	2	23,96	41,93	0,00	0,00	-2,59	-9,07	86,09	26,93	2,88	OK	2,47	OK
	8,25	2	25,67	48,14	0,00	0,00	-2,59	-9,72	86,80	34,62	2,26	OK	2,15	OK
	8,50	2	27,38	54,77	0,00	0,00	-2,59	-10,37	87,45	43,64	1,80	OK	1,90	OK

EMPENTES SENSE COHESIÓ

Empenta del terreny	Empenta Sobrec. Sup.	Empenta per Cohesió
$oa = Ka \cdot \gamma \cdot h$	$oq = Ka \cdot q$	$oc = 0$
$Ea = oa \cdot h / 2$	$Eq = oq \cdot h$	$Ec = 0$

Estabilitat	$ys = W \cdot x \cdot 0,9 / E \cdot \gamma \geq 1,8$
-------------	--

Lliscament	$ys = W \cdot \tan \phi / E \geq 1,5$
------------	---------------------------------------

H	ESTRAT	oa	Ea	oq	Eq	M estab.	M desest.	ys ≥ 1,8	LLISCAMENT	ys ≥ 1,5	
MURS	2,00	1	0,00	0,00	0,00	32,68	0,00				
	2,25	1	0,00	0,00	0,00	35,81	0,00				
	2,50	1	0,00	0,00	0,00	38,88	0,00				
	2,75	1	0,00	0,00	0,00	41,91	0,00				
	3,00	1	0,00	0,00	0,00	44,89	0,00				
	3,25	1	0,00	0,00	0,00	47,82	0,00				
	3,50	1	0,00	0,00	0,00	50,70	0,00				
	3,75	1	0,00	0,00	0,00	66,56	0,00				
	4,00	1	0,00	0,00	0,00	68,11	0,00				
	4,25	1	0,00	0,00	0,00	69,60	0,00				
	4,50	1	0,00	0,00	0,00	71,05	0,00				
REBLERT	4,75	2	1,71	0,21	0,00	72,44	0,00				
	5,00	2	3,42	0,86	0,00	73,79	0,02	3724,95	OK	222,53	OK
	5,25	2	5,13	1,93	0,00	75,08	0,14	473,80	OK	58,06	OK
	5,50	2	6,85	3,42	0,00	76,33	0,48	142,72	OK	26,88	OK
	5,75	2	8,56	5,35	0,00	77,53	1,14	61,15	OK	15,73	OK
	6,00	2	10,27	7,70	0,00	78,68	2,23	31,78	OK	10,45	OK
	6,25	2	11,98	10,48	0,00	79,78	3,85	18,65	OK	7,53	OK
	6,50	2	13,69	13,69	0,00	80,83	6,12	11,90	OK	5,73	OK
	6,75	2	15,40	17,33	0,00	81,83	9,13	8,07	OK	4,54	OK
	7,00	2	17,12	21,39	0,00	82,78	13,00	5,73	OK	3,71	OK
	7,25	2	18,83	25,89	0,00	83,68	17,83	4,22	OK	3,10	OK
	7,50	2	20,54	30,81	0,00	84,53	23,73	3,21	OK	2,64	OK
	7,75	2	22,25	36,16	0,00	85,34	30,81	2,49	OK	2,29	OK
	8,00	2	23,96	41,93	0,00	86,09	39,17	1,98	OK	2,01	OK
	8,25	2	25,67	48,14	0,00	86,80	48,92	1,60	NO	1,78	OK
	8,50	2	27,38	54,77	0,00	87,45	60,17	1,31	NO	1,59	OK





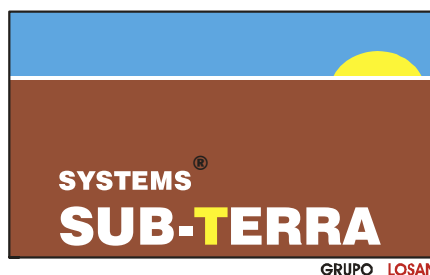


<b><u>Obra:</u></b>	<b>ESTUDIO DEL SUBSUELO MEDIANTE TOMOGRAFIA ELÉCTRICA</b>
<b><u>Dirección:</u></b>	<b><u>MURALLA DE TARRAGONA</u> <u>TARRAGONA</u></b>
<b><u>Informe:</u></b>	<b>Nº 144/07/06 ESTUDIO GEOFÍSICO</b>



## **ESTUDIO GEOFÍSICO**

**JULIO DE 2006**



## ÍNDICE

<b>1.- ANTECEDENTES.....</b>	<b>2</b>
<b>2.- TÉCNICA GEOFÍSICA UTILIZADA.....</b>	<b>2</b>
2.1. <u>Perfiles de tomografía eléctrica.....</u>	2
2.1.1. Localización y características generales del estudio.....	2
2.1.2. Metodología.....	7
<b>3.- TRABAJOS REALIZADOS CON EL MÉTODO DE PROSPECCIÓN ELÉCTRICA</b>	
3.1. <u>Trabajos de campo.....</u>	8
3.2. <u>Equipos de medida utilizados.....</u>	9
3.3. <u>Procesado de datos.....</u>	10
<b>4. - ANÁLISIS DE LOS RESULTADO INTERPRETACIÓN.....</b>	<b>11</b>
<b>PERFIL 1 .....</b>	<b>12</b>
<b>PERFIL 2 .....</b>	<b>14</b>
<b>PERFIL 3 .....</b>	<b>17</b>
<b>PERFIL 4 + 6.....</b>	<b>19</b>
<b>PERFIL 5 .....</b>	<b>21</b>
<b>PERFIL 7 .....</b>	<b>23</b>
<b>PERFIL 8 .....</b>	<b>25</b>
<b>5. -CONCLUSIONES.....</b>	<b>27</b>
<b>ANEXO 1 .....</b>	<b>30</b>
<b>ANEXO 2 .....</b>	<b>32</b>



## 1.- ANTECEDENTES

A petición del *Ayuntamiento de Tarragona* se presenta en este estudio el resultado de la campaña de geofísica realizada con el método de la tomografía eléctrica. Según las instrucciones recibidas, y en base al presupuesto Nº 085-05-06-SUB, se ha realizado en el lugar indicado en el plano adjunto un estudio de la resistividad eléctrica del subsuelo con la finalidad de:

- a) Caracterizar el material de relleno que forma algunos tramos de la muralla y determinar zonas vacías no rellenas con relleno, sino que deuen formar part d'alguna part habitable.

## 2.- TÈCNICA GEOFÍSICA UTILITZADA

Los días **10, 11, 12 y 17 de Julio de 2006** se realizó una campaña de geofísica consistente en la realización de 8 perfiles de tomografía eléctrica en el área ocupada por la antigua Muralla Romana de Tarragona.

### 2.1. Perfiles de tomografía eléctrica

Este estudio presenta los resultados del os trabajos de tomografía eléctrica realizados dentro de la zona de estudio..

#### 2.1.1. Localización y características generales del estudio

Los 8 perfiles de tomografía eléctrica realizados presenten una longitud variable, adaptándose a la morfología de la zona de estudio. La muralla presenta muchas zonas

cortadas que no permiten alargar los perfiles, muestra poca tomografía pero hay mucho cambio en el tipo de pavimento, pasando de materiales naturales a zonas embaldosadas o pavimentadas.

Los perfiles siguen la dirección de la muralla, desde la calle Salines pasando por el Palacio del Arzobispado de Tarragona, Archivo Diocesano, Capilla de Sant Pau, Plaza de l'Ensenyança hasta la calle del Portal del carro.

Los tres primeros perfiles se ha realizado antes de la zona del deslizamiento y presentan una longitud de 48, 123 y 48 metros lineales respectivamente. El cuarto y el sexto perfil se encuentran superpuestos unos 19 metros lineales, el quinto perfil corresponde a la zona del seminario con una longitud de 39 metros, el séptimo perfil con 41 metros se va realizar en la zona de la escuela i finalmente, el octavo perfil de 24 metros en la zona de las Mojas....(Tabla 1).

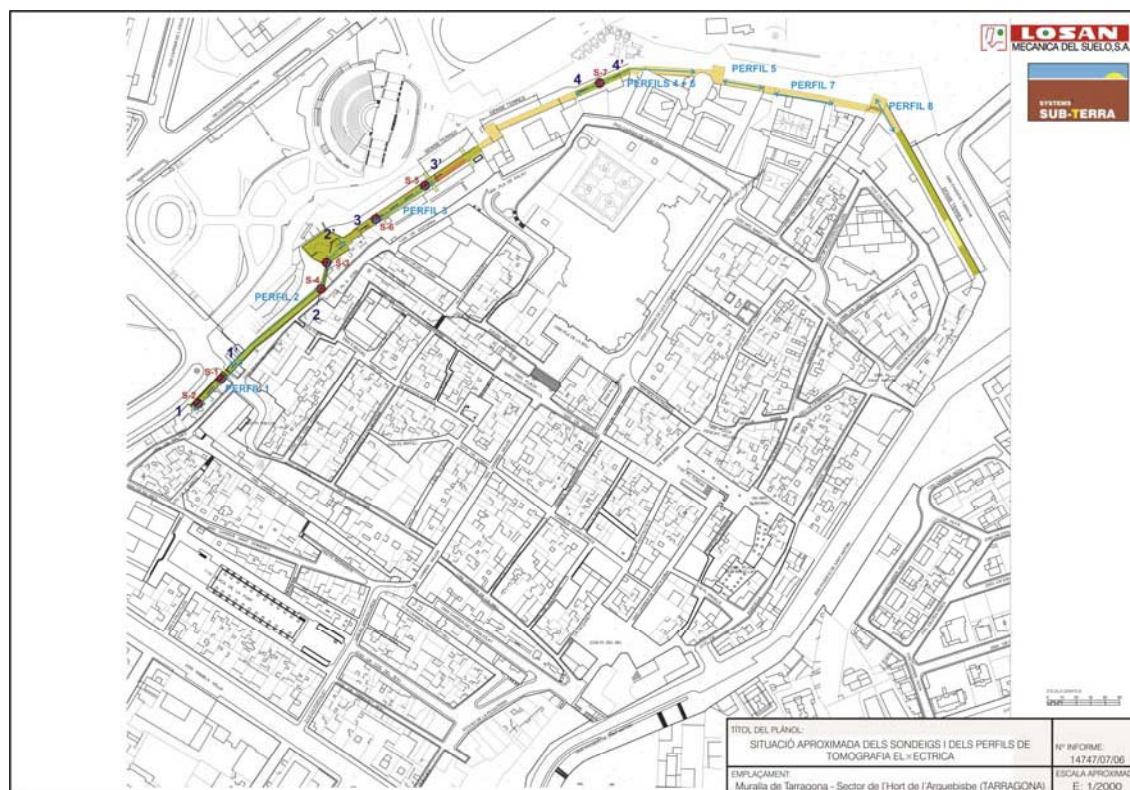
Nº perfil	Zona	Longitud (m)	Nº electrodos/ separación, profundidad investigación aprox.
1	Calle Salines.	48	N=48 / a= 1m. / Z=8m.
2	Calle Salines – Plaza Sant Joan.	123	N=41 / a= 3m. / Z=23m.
3	Zona antes del deslizamiento (Palacio del Arzobispado de Tarragona).	48	N=48 / a= 1m. / Z=8m.
4	Palacio del Arzobispado de Tarragona.	48	N=48 / a= 1m. / Z=8m.
5	Archivo Diocesano – Capilla de Sant Pau.	39	N=39 / a= 1m. / Z=7m.
6	Archivo Diocesano.	48	N=48 / a= 1m. / Z=8m.
7	Plaza de la Enseñanza.	41	N=41 / a= 1m. / Z=8m.
8	Calle Portal del Carro.	24	N=24 / a= 1m. / Z=5m.

**Taula 1 .** Resumen de los perfiles realizados y las configuraciones adoptadas en función de las características del terreno.

La situación de la zona de estudio global se muestra en las figuras 1 y 2. El plano de la zona de estudio utilizada para la aplicación de la tomografía eléctrica y la ubicación de los perfiles se muestra en la figura 3 y en el anexo 1.

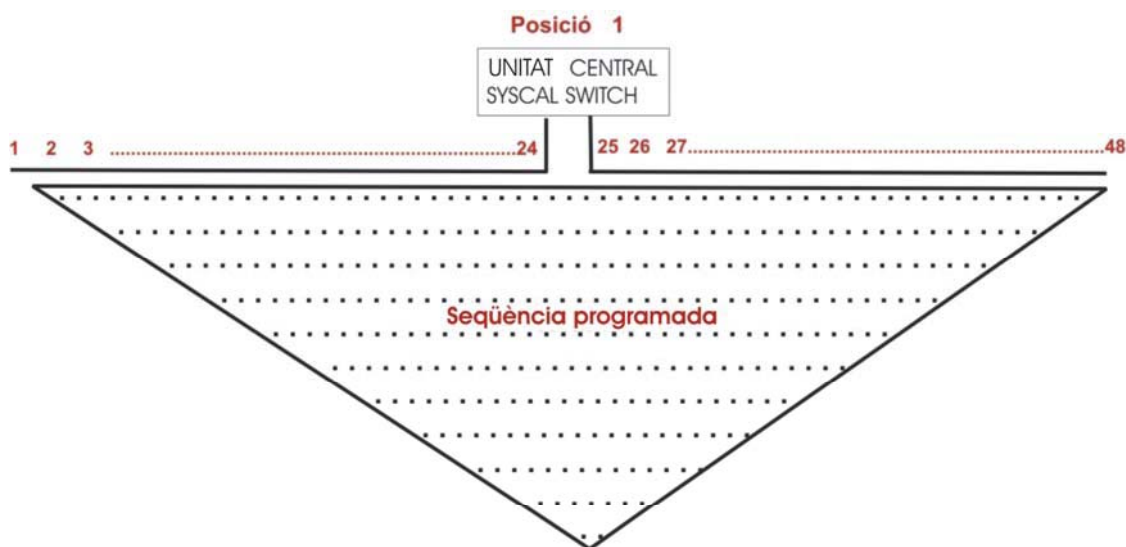


*Figures 1 i 2 . Ortofotomapa de la zona de estudio y plano de la zona de la muralla estudiada señalizada en rojo.*



**Figura 3.** Localización de los perfiles de tomografía eléctrica en la zona de estudio, juntamente con la posición de los sondeos mecánicos y los perfiles geológicos deducidos.

Los datos experimentales medidos en campo se colocan en forma de triángulo, tal y como se muestra en la figura 4. Se puede observar en el gráfico que esta metodología pierde resolución cuando gana profundidad debido, entre otras cosas, a que las líneas de corriente eléctrica pierden intensidad a medida que se separan los electrodos y se consigue una profundidad superior.



**Figura 4.** Esquema de la disposición de los datos medidos en el campo para la posterior aplicación del programa d'inversió, que permite obtener un modelo del subsuelo..

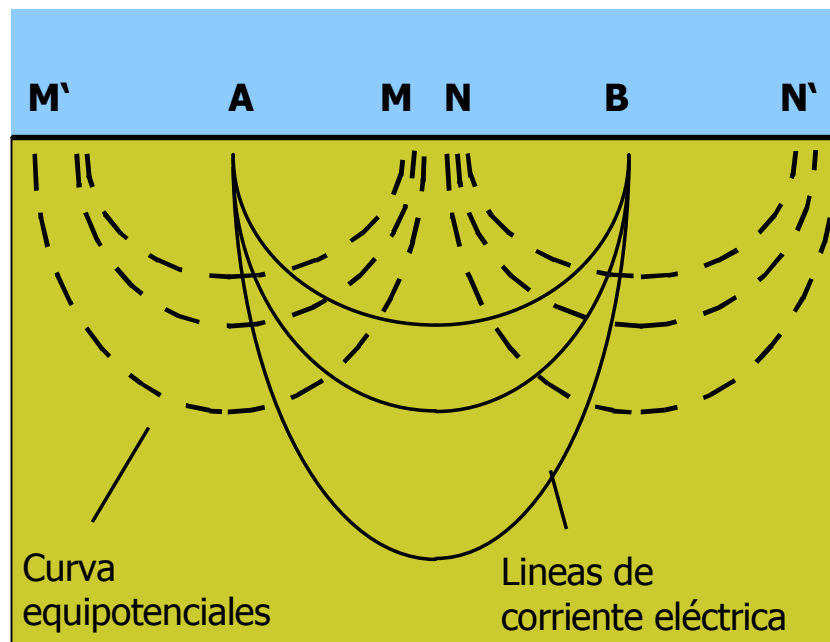
Las imágenes geoelectricas bidimensionales permiten:

- caracterizar la continuidad tanto vertical como lateral de los diferentes materiales que componen el subsuelo, en este caso los diferentes tipos de relleno que componen aproximadamente los 10 metros de altura de la muralla.
- interpretar el tipo de material que forma el subsuelo gracias a la correlación de la información procedente de los estudios geotécnicos, sondeos con muestra directa.

### 2.1.2. Metodología

El método geofísico que s'ha utilizado es la **tomografía elèctrica** debido a que los materiales que componen el terreno presentan diferencias importantes en el parámetro físico de la *resistividad eléctrica*, y porque la profundidad a la que se debe penetrar se encuentra dentro del rango de investigación de este método geoelectrico.

El fundamento de este método consiste en clavar 4 electrodos en el terreno; dos de ellos (A y B) se utilizan para introducir corriente eléctrica al subsuelo y los otros dos (M i N) para medir la diferencia de potencial. La intensidad inyectada al subsuelo es creada por un generador de corriente continua y mediada por un amperímetro que está en contacto con los electrodos A y B. Para medir el potencial eléctrico, los electrodos M i N se encuentran en contacto con un voltímetro (Orellana, 1982), figura 5.



**Figura 5.** Dispositivo geoelectrico donde se indican los electrodos de corriente (A y B) en contacto con el amperímetro y los electrodos de potencial (M y N) en contacto con el voltímetro.

A partir de la diferencia de potencial y la intensidad eléctrica medidas, se puede determinar el valor de la resistividad aparente en diferentes puntos del terreno. La representación gráfica de las medidas realizadas en el campo permite crear una imagen bidimensional del subsuelo que muestra las variaciones laterales y verticales de la resistividad eléctrica. Esta imagen se denomina pseudosección y no se ha de considerar en ningún caso, la estructura geoelectrica real del subsuelo.

Para determinar el modelo de resistividad eléctrica real del terreno será necesario procesar los datos utilizando programas de inversión que permiten crear un posible modelo del subsuelo terrestre (resultado final del estudio).

Por eso, es necesario disponer de programas específicos que filtren los datos y eliminen aquellas medidas que poseen un ruido eléctrico elevado o un error que supere el 10%, y programas de inversión que realicen los cálculos de forma automática y muestren un modelo del subsuelo que sea compatible con las medidas realizadas en el campo después de horas de computación.

### **3.- TRABAJOS REALIZADOS CON EL MÉTODO DE LA PROSPECCIÓN ELÉCTRICA**

#### **3.1. Trabajos de campo**

Los trabajos de prospección eléctrica van a consistir en la realización de 8 perfiles de tomografía eléctrica de longitud variable entre los 39 y los 123 metros. Como máximo se dispone de 48 electrodos que se pueden separar diferentes distancias en función de la longitud de la zona de estudio. En nuestro caso se van a configurar los perfiles con una separación de 1 metro para todos los perfiles, a excepción del perfil 2, que se va a

configurar con una separación de 3 metros para estudiar la parte de la muralla que iría desde la calle Salines a la Plaza Sant Joan.

Con los parámetros sobre los diferentes perfiles se determina que la profundidad de investigación varía entre los 5 metros, para el perfil más corto, y los 20 metros para el perfil más largo. Aunque, la mayoría de ellos alcanzan una profundidad de 8 metros.

### 3.2. Equipos de medida utilizados

El equipo utilizado es resistivímetro (modelo SYSCAL R1+ Switch) de última generación (2004) que lleva incorporado un sistema de filtrado y almacenaje de datos, para su posterior procesado (*figuras 6, 7 y 8*).



**Figura 6.** Fotografía del resistivímetro utilizado por SUB-TERRA, que muestra el valor de la intensidad eléctrica que introduce el aparato al medio, y la medida del potencial eléctrico.





**Figuras 7 y 8.** A la izquierda, fotografía de una técnica de SUB-TERRA con el equipo de tomografía eléctrica (batería, cables que unen los electrodos, cables de conexión con el equipo central). A la derecha, imagen de la conexión entre un electrodo y el cable que conecta con el equipo central de medida (cable amarillo y conexión naranja).

### **3.3. Procesado de los datos**

El trabajo de gabinete ha consistido en el filtrado, el procesado, y la interpretación de los datos geofísicos de campo, así como la realización de las imágenes de los modelos geoelectricos bidimensionales de Tomografía Eléctrica y la elaboración del informe.

Para el filtrado de los datos experimentales se utiliza el programa PROSYS, el cual permite seleccionar los datos de mejor calidad y obtener así un buen resultado final.

Para la obtención del modelo bidimensional final se utiliza un programa de inversión de datos de tomografía eléctrica **RES2DINV ver. 3.54 para Windows (Geoelectrical Imaging 2-D Geotomo Software, Febrero 2004) (Griffiths y Barker 1993).**

Este programa se comporta de forma muy estable en el proceso de la inversión y aporta un modelo de resistividad eléctrica del subsuelo con un buen ajuste entre los datos medidos y los datos calculados.

#### **4.- ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS E INTERPRETACIÓN**

En este apartado se presenta la interpretación realizada de los modelos geoelectricos obtenidos del subsuelo (figuras de la 9 a la 15).

Los modelos finales presenten errores inferiores al 15 %, conseguidos después de 21 iteraciones. Valores que representen errores pequeños y muy aceptables cuando se trabaja con datos reales.

Los resultados obtenidos aportan la diferenciación entre dos tipos de materiales, los materiales conductivos con valores de resistividad eléctrica comprendida entre los 15 y los 100 Ohm-m, que se asociarían o correlacionarían con los materiales más cohesivos del estudio geotécnico, y los materiales más resistivos con valores que oscilan entre los 300 y los 3000 Ohm-m, que se corresponderían con los materiales más detríticos.

## **PERFIL 1:**

En este primer perfil de 48 metros de longitud en la dirección SW-NE se muestra un modelo del subsuelo formado por diferentes materiales que forman el relleno de la muralla y se interpretan de la siguiente manera gracias a la testificación aportado por los sondeos mecánicos (figura 9). El perfil se inicia en el lado SW (electrodo 1) y finaliza al lado NE (electrodo 48).

- Superficialmente aparecen zonas con alta resistividad eléctrica que serían propias de zona de relleno poco compactado con valores de resistividad eléctrica que oscila entre los 3000 Ohm-m (color amarillo).
- En toda la extensión del perfil y hasta profundidades de 9 metros aproximadamente se identifican en general material conductivo como podrían ser los limos con valores de resistividad eléctrica entre los 15 Ohm-m y los 100 Ohm-m (colores azules).
- Finalmente, intercalado en los niveles de limos conductivos aparecen zonas más resistivas (colores verdes) en forma de cuerpos cerrados o boques. El valor de la resistividad eléctrica de estos materiales es del orden de los 1000 Ohm-m, indicando que podrían corresponder a materiales más detríticos.

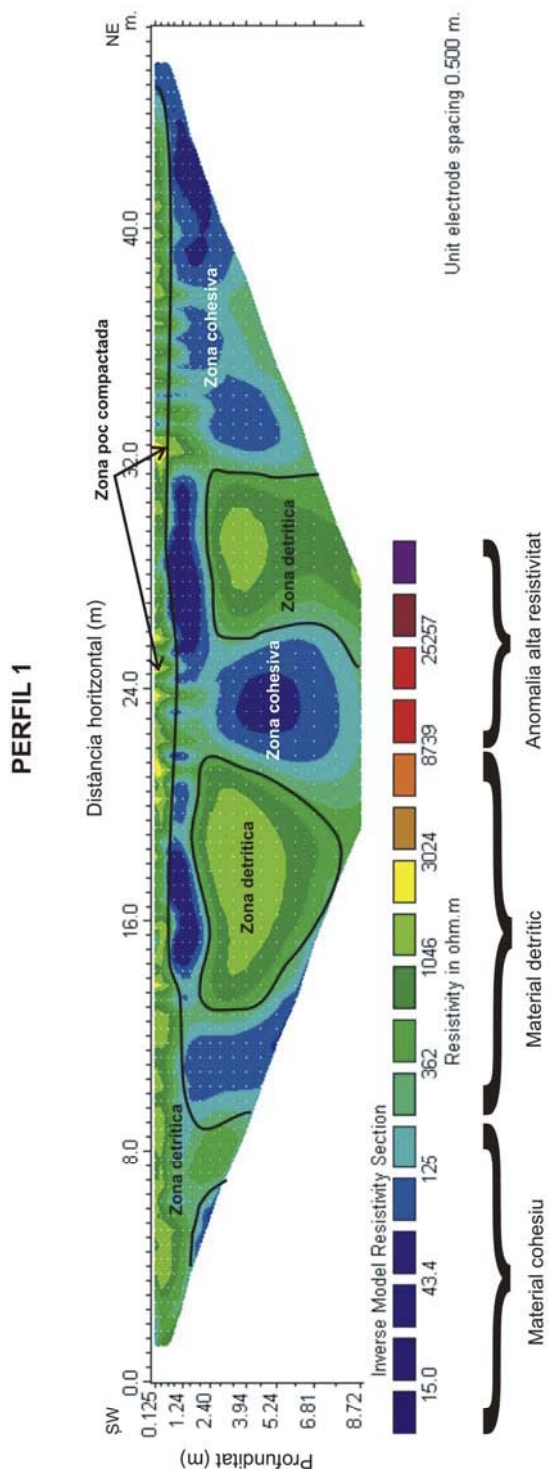


Figura 9. Modelo geoelectrico resultado de la inversión de los datos del perfil 1.

## **PERFIL 2:**

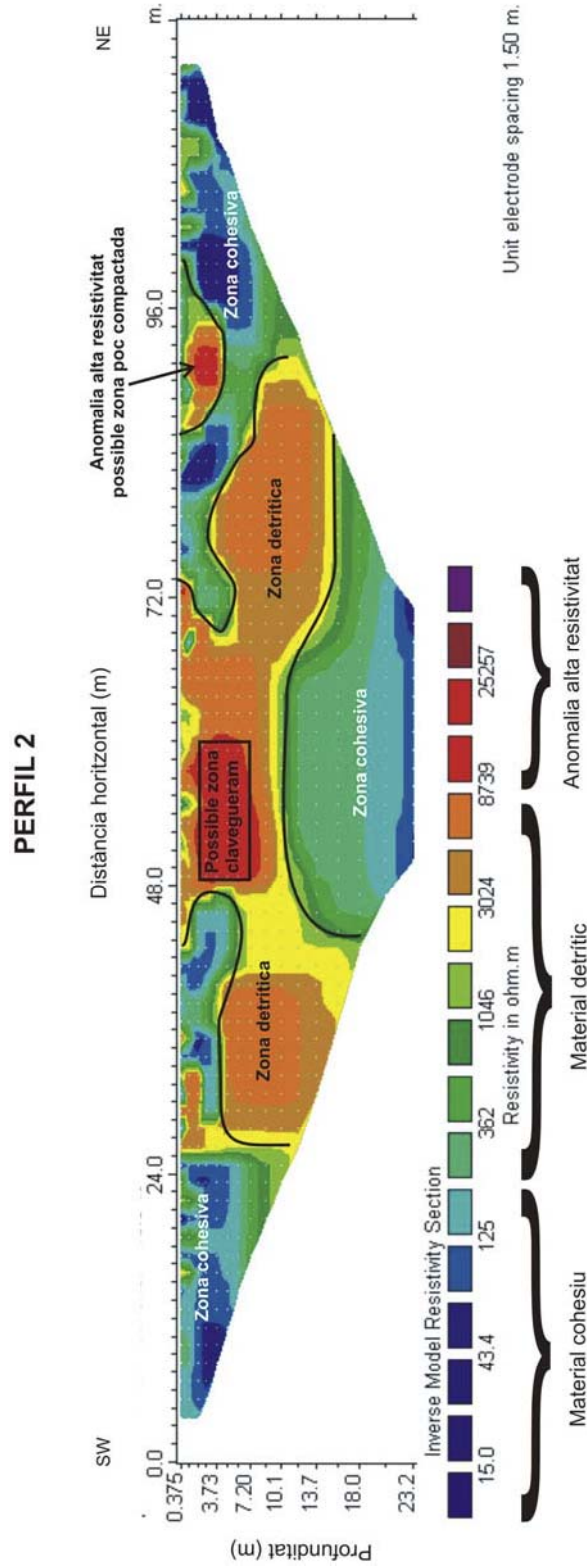
El segundo perfil tiene una longitud de 123 metros, alcanzado una profundidad de investigación aproximada de 23 metros. Este perfil se ubicaría desde la calle Salines hasta la altura de la Plaza Sant Joan.

El perfil 2 se inicia en el lado SW (electrodo 1) y finaliza en el lado NE (electrodo 41). Para poder desplegar el perfil en toda su extensión, i consecuentemente alcanzar la máxima profundidad de investigación, va a ser necesario superponer parte del perfil 1 (10 metros).

La interpretación realizada del perfil es la siguiente:

- Del modelo se destacaría principalmente la zona de alta resistividad eléctrica, anomalía, situada entre los 48 y los 60 metros horizontales y localizados de forma muy superficial en el primer metro de profundidad. Este cuerpo marcado en color roja presenta resistividades eléctricas del orden de los 25000 Ohm-m, indicando la presencia de una zona hueca. Esta zona coincide con la ubicación en superficie de una tapa de clavegueram, por lo que, se podría asociar esta anomalía con la presencia de este servicio.
- En la posición entre los 90 y los 93 metros horizontales vuelve a aparecer una zona de alta resistividad eléctrica y también de forma superficial.
- Inmediatamente en ambos lados de la anomalía que se asociaría al clavegueram, aparecen dos zonas resistivas de valores próximos a los 5000 Ohm-m señalizados en color naranja. Igual que en el perfil anterior, estas partes del modelo indicarían la presencia de cuerpos cerrados o bloques de carácter más detrítico a una profundidad aproximada de 3,5 metros. La presencia próxima de la anomalía de alta resistividad haría aumentar la resistividad final de estos cuerpos respecto a la resistividad detectada en el modelo del perfil 1.

- Finalmente, el material conductivo se va intercalando y se encuentra tanto al se puede identificar por debajo de la zona anómala (clavegueram) y por debajo de los cuerpos más resistivos y hasta la máxima profundidad alcanzada por el perfil, que en este caso es de aproximadamente 23 metros.



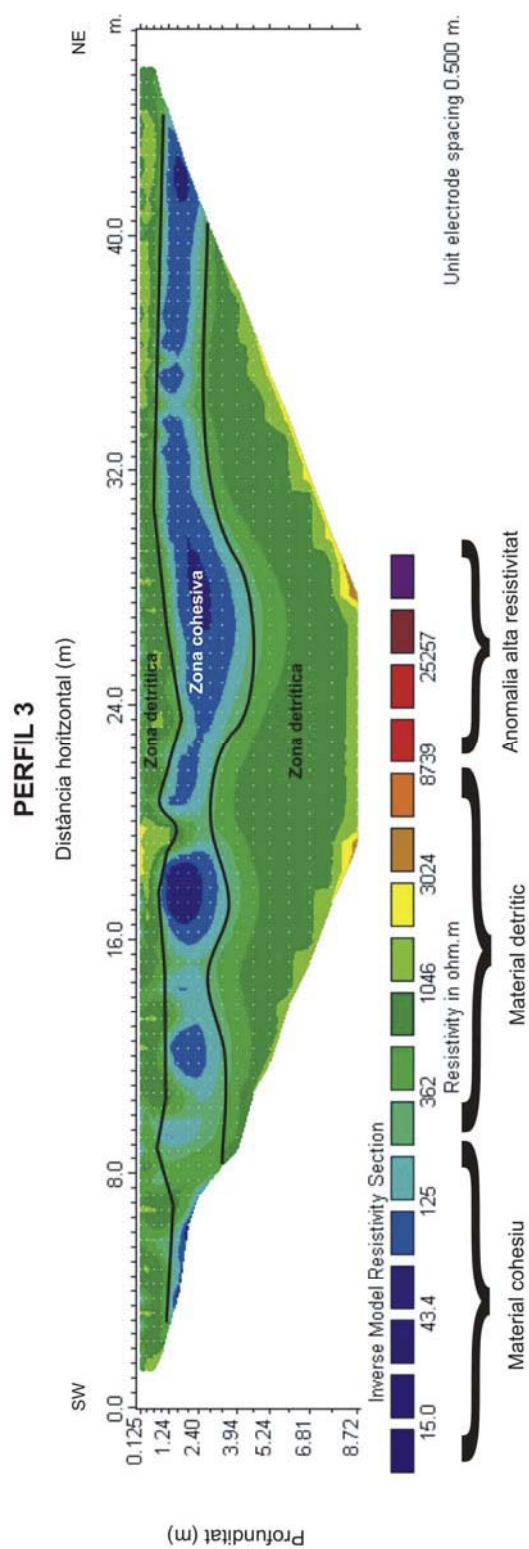
**Figura 10.** Modelo geolèctric resultat de la inversió de los datos del perfil 2.

### **PERFIL 3:**

El tercer perfil de tomografía eléctrica tiene 48 metros de longitud y está situado igualmente en la dirección SW-NE desde el electrodo 1 al 48, justo antes de la zona de deslizamiento de la muralla que corresponde con el Palacio del Arzobispado de Tarragona.

- En es modelo se observan claramente dos tipos de materiales que formarían el relleno. Por un lado, el material más resistivo de color verde y con valores que irían de los 300 a los 1000 Ohm-m, y después el material más conductivo con valores de resistividades que se encontrarían entre los 15 y los 100 Ohm-m, colores azules.
- Los dos tipos de materiales se irían alternando en niveles. Primero superficialmente aparecería un material más detrítico, después hacia al 1,25 metros se intercalaría el material más cohesivo con un espesor que llegaría a los 4 metros de profundidad. Finalmente, por debajo, se muestra otra vez el material detrítico hasta llegar a la máxima profundidad alcanzada por el perfil, los 8 metros.



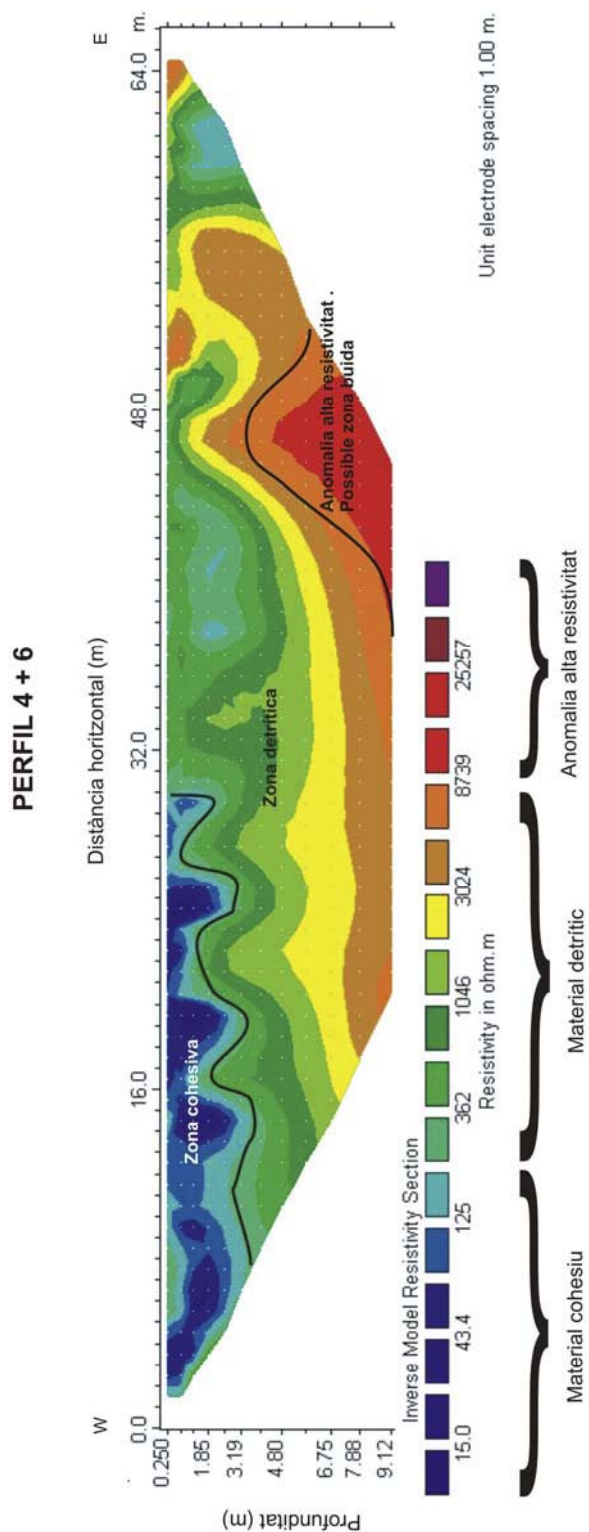


**Figura 11.** Modelo geoelectrico resultado de la inversión de los datos del perfil 3.

### **PERFIL 4 + 6:**

Estos perfiles se han unido para tener una visión más continua de la zona. Serían en realidad 2 perfiles de 48 metros de longitud que están superpuestos una distancia de 19 metros. Esta se encuentra situada entre el Palacio del Arzobispado de Tarragona y el Archivo Diocesano, y alcanza una profundidad máxima de investigación de unos 9,0 metros. El perfil se inicia en la dirección SW-NE, pero en medio, el perfil se modifica para tener una dirección W-E.

- En el inicio del perfil (SW) el material que se muestra es conductivo hasta una profundidad de unos 4 metros y se encuentra señalizado en colores azules. Los valores de resistividad eléctrica se encontrarían en el rango que va desde los 15 a los 100 Ohm-m.
- A partir de los 32 metros horizontales, el modelo pasaría a tener un comportamiento más resistivo (colores verdes, amarillos, marrones) y más continuidad tanto lateral como vertical, hasta llegar a profundidades a del orden de 5,5 metros aproximadamente. La resistividad de estos niveles oscilaría entre los 300 y los 5000 Ohm-m.
- Cal destacar que en la posición de 48 metros horizontales, o sea a unos 18 metros aproximadamente y a una profundidad de 4 metros, aparece una zona anómala con una resistividad muy elevada que indicaría la presencia de alguna sala o habitación que se introduce dentro de la muralla. Esta anomalía parece que tiene cierta continuidad hacia la izquierda del modelo, hacia el Sur, pero no es posible delimitar su dimensión.



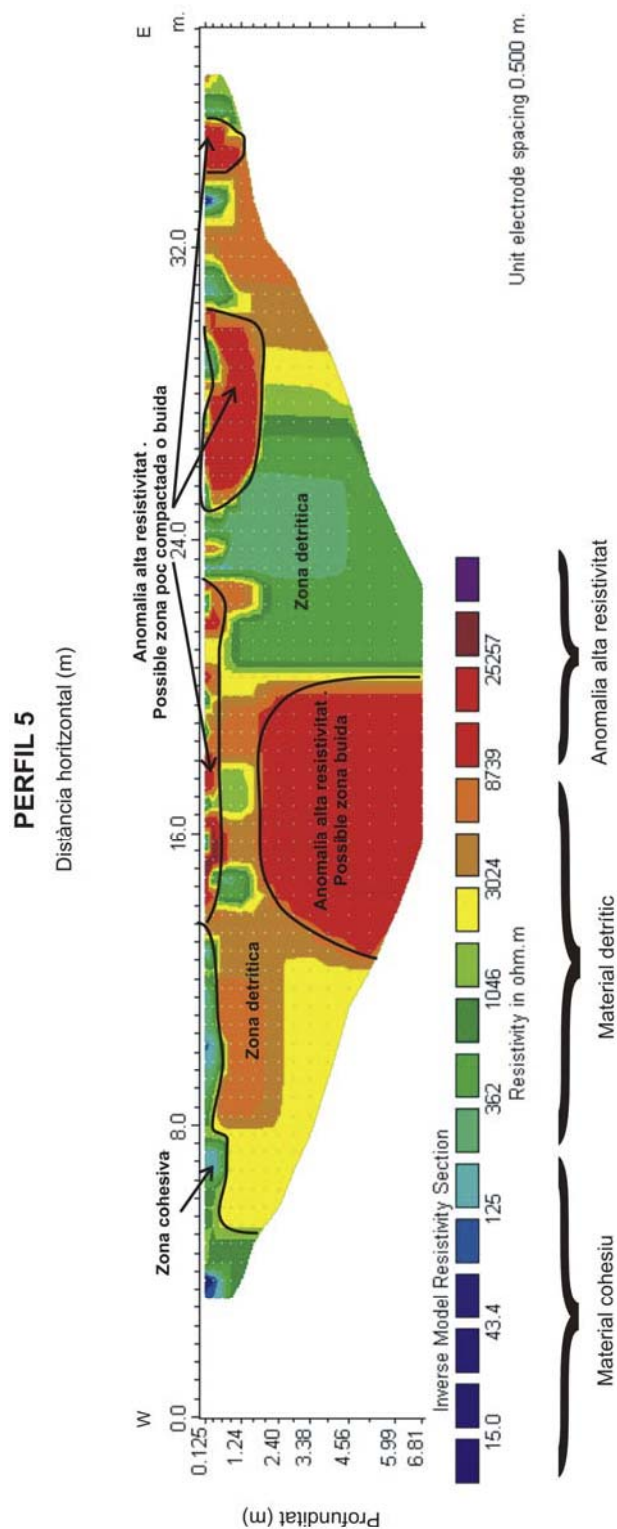
**Figura 12.** Modelo geoelectrico resultado de la inversión de los datos del perfil 4 + 6.

### **PERFIL 5:**

El perfil 5 tiene una longitud de 39 metros, alcanzando una profundidad de investigación aproximada de 7 metros. Este perfil se ubicaría en la zona del Archivo Diocesano y la Capilla de Sant Pau, desde la zona donde se conoce la existencia de una sala que se introduce dentro de la muralla hasta la pared que comunica con la escuela situada en la Plaza de l'Ensenyança. El perfil se inicia en el lado W (electrodo 1) y finaliza en el lado E (electrodo 39).

La interpretación realizada del perfil es la siguiente:

- En este perfil se detectan materiales más resistivos que conductivos con valores que van desde los 300 a los 1000 Ohm-m (colores verdes, amarillos, marrones). Tan solo al inicio del perfil aparecen materiales más conductivos y de manera superficial.
- Destaca en el modelo una anomalía de alta resistividad con un comportamiento muy limitado que se movería entre los 13 y los 20 metros horizontales. Esta anomalía se podría asociar con la presencia de una zona habitable a una profundidad aproximada de unos 2 metros.
- Además, entre los 25 y los 30 metros, y entre los 34 y 36 metros, aparecen de nuevo cuerpos cerrados de alta resistividad eléctrica que se podrían asociar con algún servicio como sería la interpretación del modelo 2, o a la presencia de un relleno muy poroso o poco compactado.



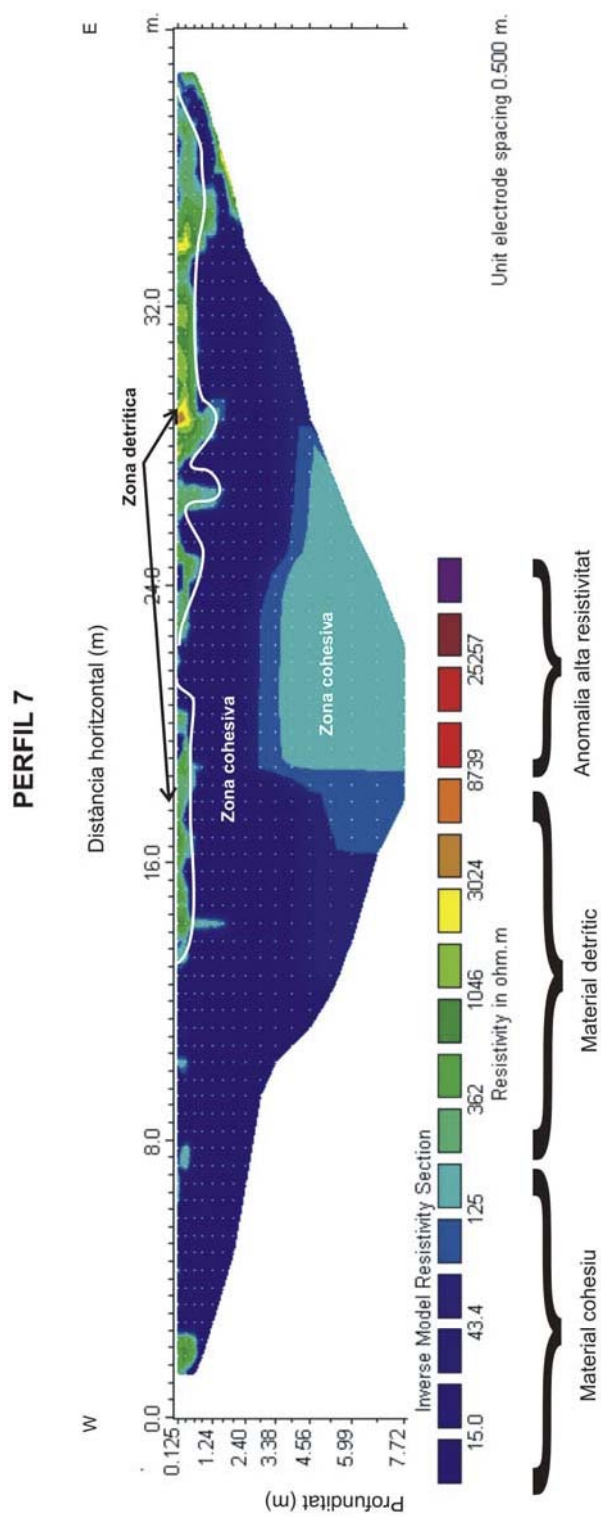
**Figura 13.** Modelo geoelectrico resultado de la inversión de los datos del perfil 5.

### **PERFIL 7:**

El perfil 7 tiene una longitud de 41 metros, alcanzado una profundidad de investigación de 8 metros. Este perfil se ubicaría en la zona de la escuela situada en la Plaza de l'Ensenyança. El perfil se inicia al lado W (electrodo 1) y finaliza en el lado E (electrodo 41).

La interpretación realizada del perfil es la siguiente:

- En este perfil se detectan prácticamente solo materiales conductivos con valores que van desde los 15 a los 100 Ohm-m (colores azules). Se muestran a lo largo de todo el modelo, presentando una continuidad tanto vertical como lateral.
- Solo aparece de forma superficial y con un pequeño espesor de un metro, un pequeño nivel de material más resistivo que se podría interpretar con un material de relleno menos compactado, ubicado entre los 14 y el final del modelo (colores verdes y amarillos).
- En este caso no se detecta ninguna zona anómala de alta resistividad eléctrica que indique la presencia de una zona hueca.



**Figura 14.** Modelo geoelectrico resultado de la inversión de los datos del perfil 7.

### **PERFIL 8:**

El perfil 8 tiene solo una longitud de 24 metros debido a que la zona de estudio no va permitir una extensión superior del perfil. La profundidad de investigación aproximada va ser de 5 metros.

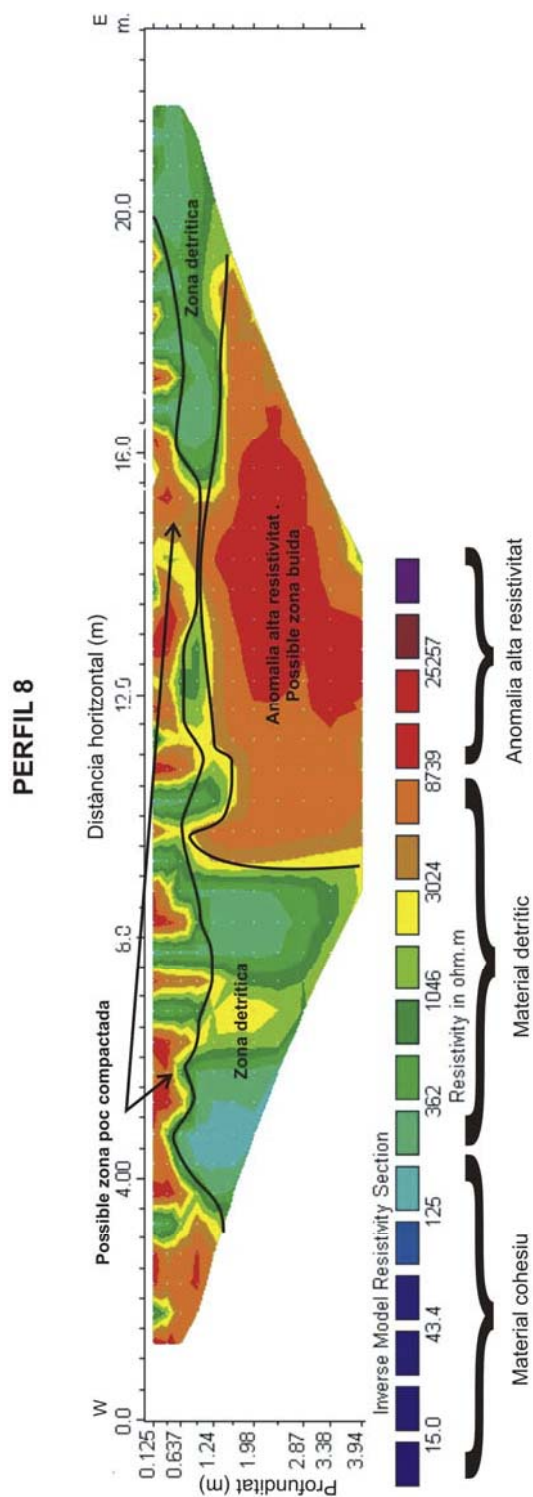
Este perfil se situaría en la calle del Portal del Carro, desde la zona más próxima a la escuela hasta llegar a la altura de la calle Escorxador. El perfil se inicia en lado NW (electrodo 1) y finaliza en el lado SE (electrodo 24).

- De esta parte de la muralla solo se va a poder estudiar los 8 primeros metros ya que la morfología de la zona no va permitir trabajar en ningún área más que aquella zona en la que por debajo era evidente que existía zona habitada.

La interpretación realizada del perfil es la siguiente:

- Superficialmente parece que aparezca un relleno de materiales poco compactados i y por eso, su resistividad es elevada (colores rojos). El espesor es aproximadamente de un metro y llega hasta los 16 metros horizontales, donde el relleno pasaría a ser más resistivo.
- Por debajo, de este nivel, el perfil muestra materiales resistentes con valores que van desde valores de 300 a los 1000 Ohm-m (colores verdes) hasta los 9 metros horizontales aproximadamente.
- Después, el modelo cambia bruscamente y muestra la anomalía de alta resistividad eléctrica provocada por la presencia de una zona habitable la cual se puede observar desde la misma zona de estudio. Esta anomalía se presenta hasta al final del modelo tanto en continuidad vertical como horizontal.





**Figura 15.** Modelo geoelectrico resultado de la inversión de los datos del perfil 8.

## **5.- CONCLUSIONES**

El método geofísico de la tomografía eléctrica ha permitido caracterizar de forma satisfactoria los diferentes tipos de relleno (cohesivo – detrítico) y detectar aquellas zonas donde existe material o por el contrario, aparece una anomalía de alta resistividad eléctrica que se interpretaría como la presencia de zonas huecas, cumpliendo con los objetivos básicos del estudio.

Los materiales conductivos se correlacionarían con los materiales más cohesivos testificados a partir de los sondeos en el estudio geotécnico. Estos materiales se han identificado como materiales limosos, los cuales es conocido que presentan un comportamiento eléctrico conductivo.

Por otro lado, los materiales más resistivos con valores que se encuentran en el rango entre los 300 i los 1000 Ohm-m estarían asociados con los materiales más detríticos formados por gravas, gravillas y bolos.

La detección de las zonas huecas se traducen en anomalías de alta resistividad eléctrica debido a que el aire es un medio totalmente resistivo. Por esta razón, la localización de las zonas habitadas por debajo de la muralla o la existencia de zonas porosas o de relleno poco compactado es un objetivo relativamente accesible por el método de la tomografía eléctrica.

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.

**Por SUB-TERRA**

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, física o jurídica, 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.

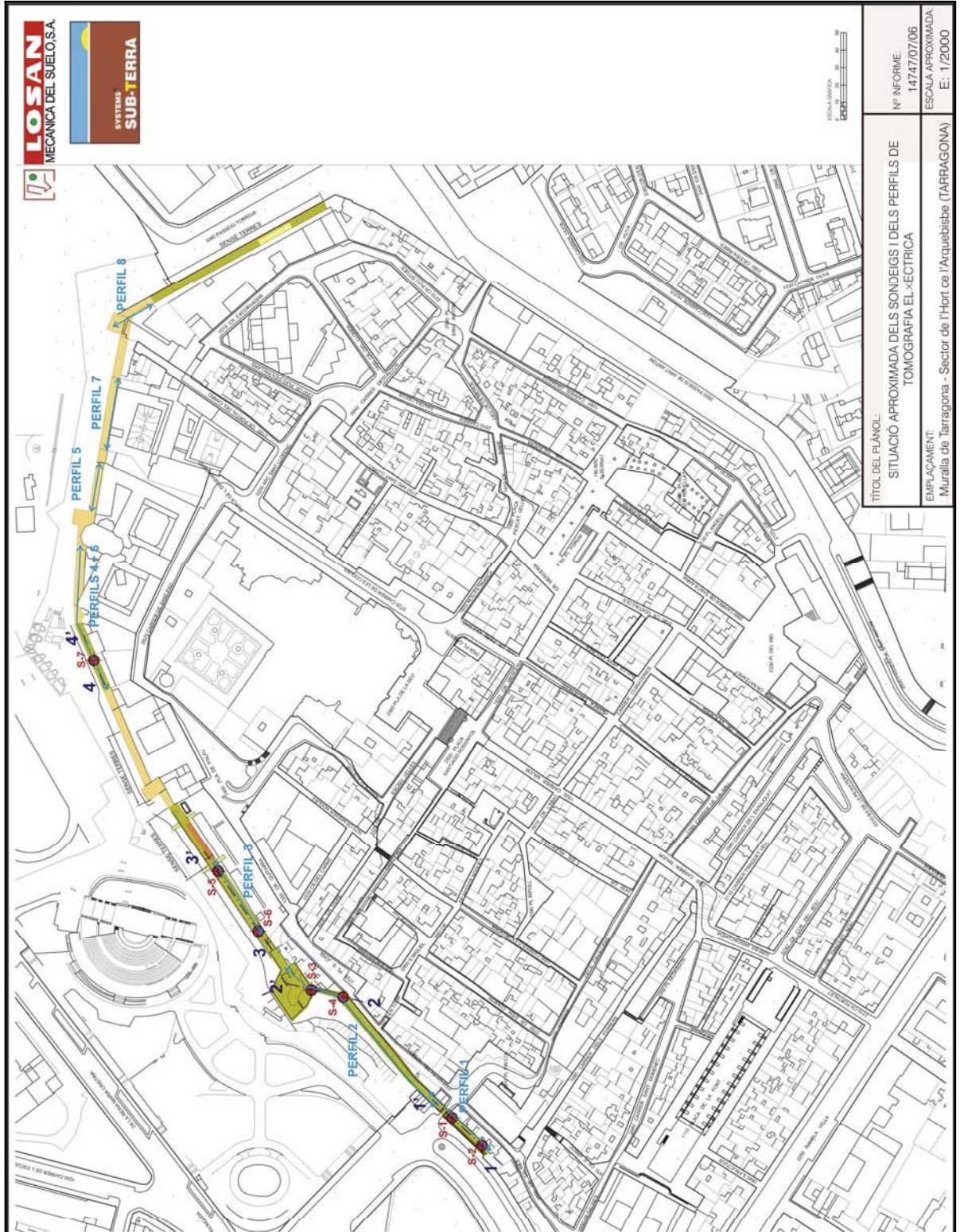
3.- La columna litológica de cada sondeo suministra información localizada solamente en la vertical del propio sondeo, y en el momento en que se efectúa la investigación.

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, albañales... que no se nos hubieran indicado con anterioridad mediante planos con acotaciones precisas de dichas instalaciones en su posicionamiento subterráneo ó exterior.

**ANEXO 1**  
**(PLÁNO DE LA SITUACIÓN DE LOS PERFILES DE LA CAMPAÑA**  
**DE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA)**



**Figura 16.** Plano de la ubicació de los perfils de tomografia elèctrica, juntament amb la posició de los sondeos y los perfils geològics.

**ANEXO 2**  
**(FOTOGRAFÍAS DE LA CAMPAÑA DE TOMOGRAFÍA**  
**ELÉCTRICA)**



**Fotografias 1 i 2.** Fotografias del perfil 1 de tomografía eléctrica localizada en la zona del calle Salines.



**Fotografias 3 i 4.** Fotografias del perfil 2 de tomografía eléctrica. A la izquierda, perfil 2 donde se ve como va ser necesario superar escalas para poder extender los 123 metros de perfil. A la derecha, fotografía de como el electrodo se clava sobre el pavimento y se fija al suelo con arcilla para tener un buen contacto y una respuesta aceptable.





*Fotografias 5 y 6. Fotografias del perfil 3 de tomografía eléctrica realizado justo antes de la zona del material deslizado.*



*Fotografias 7 y 8. Fotografias del perfil 4 que muestra como se va a superar la ubicación del perfil sobre el pavimento con la utilización de arcilla y agua, que mejora el contacto con el terreno. Perfil ubicado entre el Palacio de l'Arquebispadó y el Archivo Diocesano.*



*Fotografias 9 y 10. Fotografias del perfil 5 realizado sobre el suelo embaldosado. Imagen de los electrodos colocados cada metro a lo largo de una línea recta.*



*Fotografias 11 y 12. Fotografias del perfil 6 donde se muestra como se perforó el terreno y la perforación posterior donde se ubican los diferentes electrodos.*



*Fotografias 13 y 14. Fotografias del perfil 7 que muestra como se va superar la ubicación del perfil sobre el pavimento embaldosado en la parte de la muralla que afecta a la escuela de la Plaça de l'Ensenyança.*



*Fotografias 15 y 16. Fotografias del perfil 8 que muestra la ubicación del perfil. A la izquierda del perfil sobre la zona de la muralla llena de tierras y a la derecha sobre la zona donde existe parte habitable.*







**Obra: ESTUDIO DE SUELOS**  
Muralla de Tarragona  
**TARRAGONA**

**Informe: Nº 14747·07·06**

**ESTUDIO GEOTÉCNICO**

**JULIO DE 2006**



**EMPRESA ACREDITADA POR LA GENERALITAT DE CATALUNYA, según R.D. 257/2003 de 21 de Octubre, 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), a 9 de Septiembre de 2005.**

## Í N D E X

- 1.- ANTECEDENTES
- 2.- TRABAJOS REALIZADOS
- 3.- SITUACIÓN
- 4.- LITOLOGIA Y CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS
  - 4.1. Relleno mayoritariamente cohesivo
  - 4.2. Relleno mayoritariamente detrítico
- 5.- NIVEL FREÁTICO
- 6.- EMPUJES DE TIERRA
- 7.- CONCLUSIONES
- 8.- SISMICIDAD

ANNEXES: PLANO DE SITUACIÓN  
PERFILES ESTRATIGRÁFICOS  
GRÁFICOS DE LOS SONDEOS  
ACTAS DE LABORATORIO



## **1.- ANTECEDENTES**

A petición del **AYUNTAMIENTO DE TARRAGONA**, según las instrucciones recibidas y en base a nuestro presupuesto **Nº 473/06/06/ES**, se ha realizado en el lugar indicado en el plano adjunto, un estudio de suelo con la finalidad de conocer:

- a) Resultados de los sondeos 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) Cota y tipología de la cimentación.

## **2.- TRABAJOS REALIZADOS**

Durante el mes de Julio de 2006, se ha realizado un total de:

**7 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. Esta 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 hincia (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.

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 14 ensayos "in situ", con el presiómetro TEXAM.

### 3.- SITUACIÓN

El terreno objeto de estudio se encuentra situado sobre la muralla romana presente en el término municipal de Tarragona, situándose los sondeos tal y como se muestra a continuación:

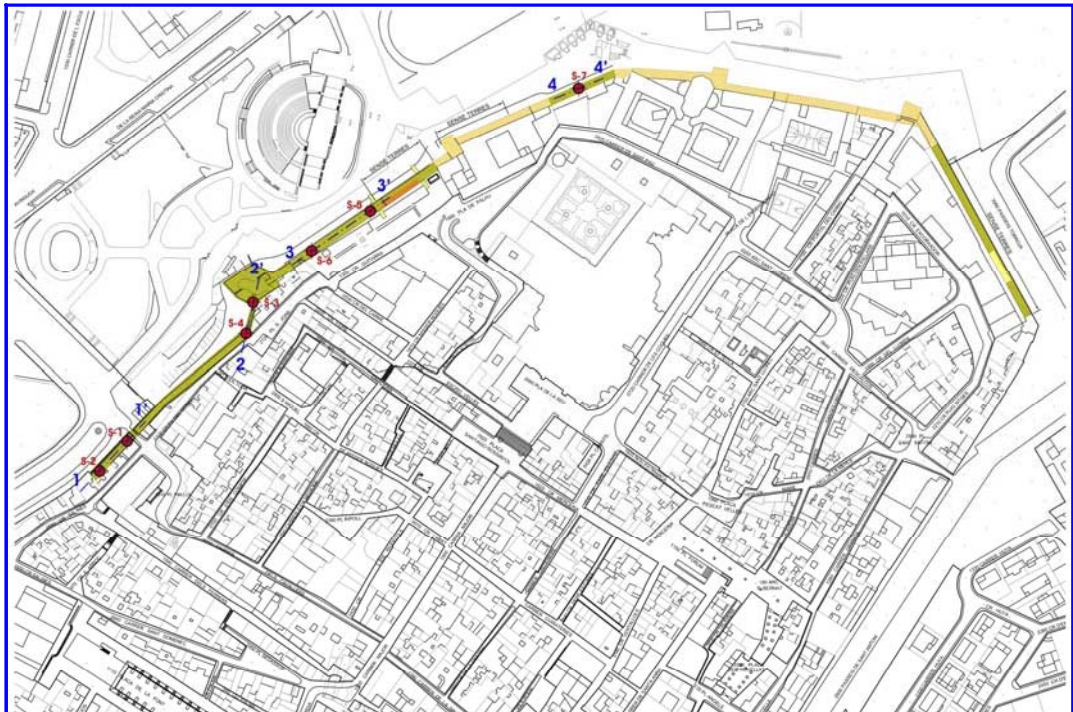


Figura 1. Situación de los sondeos.

Este terreno presenta una topografía algo irregular, siendo las diferencias topográficas entre las bocas de los sondeos de centimétrico a decimétrico.

#### **4.- LITOLOGIA Y CARACTERÍSTICAS GEOTÈCNICAS**

A partir de los sondeos se puede diferenciar dos tipos de relleno que se describirán a continuación:

4.1. Relleno mayoritariamente cohesivo

4.2. Relleno mayoritariamente detrítico

##### 4.1. Relleno mayoritariamente cohesivo

Des del punto de vista litológico está constituido por limos y limos arenosos marrones a marrones oscuros con gravas y gravillas, así como abundantes restos antrópicos dispersos (cascotes, escorias, etc.).

Este tipo de relleno se localiza principalmente en la zona estudiada por los sondeos S-1 y S-3. A la zona estudiada por los sondeos S-5, S-6 y S-7 es menos representativo, se localiza en superficie y presenta un espesor de 1,0-3,0 m.

Desde el punto de vista geotécnico se trata de un material dotado de unas consistencias blandas a moderadamente firmes:

*Ensayos de identificación*

Humedad natural	$W = 7,9-14,8 \%$
Límite líquido	$L.L. = 23,9-24,2 \%$
Índice de plasticidad	$I.P. = 5,9-9,7 \%$
Índice de expansividad	$I_H = 0,02$
Cambio potencial de volumen	C.P.V. = No crítico
Presencia de sulfatos	Negativo

*Ensayos de resistencia*

Penetración dinámica	$N_{10} = 1-21$ (nº de cops per 10 cm)
Presión límite	$P_L = 0,5-3,6 \text{ Kg/cm}^2$
Módulo de deformación	$E = 5-32 \text{ Kg/cm}^2$
Cohesión	$C = 0,18-0,26 \text{ Kg/cm}^2$
Angulo de rozamiento interno	$\varphi = 24,3-25,2^\circ$
Índice de poros estimado	$e = 0,7$
Peso específico de partículas	$G = 2,52-2,63 \text{ Tn/m}^3$
Peso específico aparente seco	$\gamma_d = 1,48-1,52 \text{ Tn/m}^3$
Peso específico aparente saturado	$\gamma_{sat} = 1,89-1,94 \text{ Tn/m}^3$
Peso específico aparente	$\gamma_{ap} = 1,68-1,73 \text{ Tn/m}^3$

Para determinar la cohesión y el ángulo de rozamiento interno de estos materiales en condiciones saturadas (por ejemplo, después de lluvias intensas), se han realizado dos ensayos de corte directo con muestras previamente saturadas:

<b>Cohesión</b>	<b>C= 0,28-0,37 Kg/cm<sup>2</sup></b>
<b>Ángulo de rozamiento interno</b>	<b><math>\phi=9-15,2^\circ</math></b>

#### 4.2. Relleno mayoritariamente detrítico

Se incluye dentro de este relleno, aquellos materiales que presentan un comportamiento claramente detrítico. Desde el punto de vista litológico se diferencian dos niveles:

- Nivel de gravas i gravillas con proporciones variables de matriz limosa-arenosas con restos antrópicos dispersos. Este nivel se localiza principalmente en la zona estudiada por los sondeo S-3, S-4 i S-7.

- Nivel de gravas, bolos y bloques de caliza y calcarenita con pequeñas proporciones de matriz limosa. Este nivel se localiza siempre hacia la base del sondeo a una profundidad comprendida entre 8,0-9,0 m referida a la embocadura de los sondeos, a excepción de la zona estudiada por los sondeos S-5 i S-6 en que aparece más superficial (1,5-3,0 m).

No se descarta que estos materiales coincidan con la base de la muralla.



Desde el punto de vista geotécnico se trata de un material dotado de unas compacidades flojas a medianamente densas:

*Ensayos de identificación*

<b>Granulometría</b>	$T_{0,08} = 14,6-31,6 \%$
<b>Humedad natural</b>	$W = 5,1-7,8 \%$
<b>Límite líquido</b>	L.L. = N.P.
<b>Índice de plasticidad</b>	I.P. = N.P.

*Ensayos de resistencia*

<b>Penetración dinámica</b>	$N_{10} = 2-10$ (nº de cops per 10 cm)
<b>Presión límite</b>	$P_L = 2,0-8,1 \text{ Kg/cm}^2$
<b>Módulo de deformación</b>	$E = 18-72 \text{ Kg/cm}^2$
<b>Cohesión</b>	$C = 0,08-0,18 \text{ Kg/cm}^2$ (*)
<b>Ángulo de rozamiento interno</b>	$\phi = 20-25,9^\circ$ (*)
<b>Índice de poros estimado</b>	$e = 0,65$
<b>Peso específico de partículas</b>	$G = 2,63-2,69 \text{ Tn/m}^3$
<b>Peso específico aparente seco</b>	$\gamma_d = 1,59-1,63 \text{ Tn/m}^3$
<b>Peso específico aparente saturado</b>	$\gamma_{sat} = 1,98-2,02 \text{ Tn/m}^3$
<b>Peso específico aparente</b>	$\gamma_{ap} = 1,59-1,63 \text{ Tn/m}^3$
<b>Índice de expansividad</b>	$I_H = 0,01$
<b>Cambio potencial de volumen</b>	C.P.V. = No crítico

(\*) Valores obtenidos en niveles de gravas y gravillas con proporciones variables de matriz limosa-arenosa.

En este caso no es considera necesario realizar ensayos de corte directo en condiciones saturadas debido a que se trata de materiales detríticos con poca matriz.

## **5.- NIVEL FREÁTICO**

Durante la ejecución de los sondeos (Julio de 2006), no se detectó la presencia de agua hasta las máximas profundidades referidas a la embocadura de los sondeos.

No obstante, en épocas de elevada infiltración, no se descarta la posible presencia de circulaciones temporales de agua a través de las superficies de mayor permeabilidad o de los límites estratigráficos.

Cabe señalar que de manera puntual y coincidiendo con épocas de lluvias intensas que de manera puntual se puede llegar a la saturación de los materiales de relleno detectados, produciéndose los siguientes efectos:

- Aumento del peso específico aparente de los materiales.
- Aumento de la cohesión interna y disminución del ángulo de rozamiento interno en materiales cohesivo por aumento de las presiones intersticiales.

## 6.- EMPUJE DE TIERRAS

Para el cálculo del empuje de tierras, sobre elementos de contención, podrán adoptarse los valores de resistencia al corte y peso específico aparente:

### CONDICIONES NO SATURADAS

	Peso específico aparente [Tn/m <sup>3</sup> ]	Angulo de rozamiento [°]	Cohesión [Kg/cm <sup>2</sup> ]
<b>Relleno mayoritariamente cohesivo</b>	1,68-1,73	24,3-25,2	0,18-0,26
<b>Relleno mayoritariamente detrítico</b>	1,59-1,63	20-25,9	0,08-0,18

### CONDICIONES SATURADAS

	Peso específico aparente [Tn/m <sup>3</sup> ]	Angulo de rozamiento [°]	Cohesión [Kg/cm <sup>2</sup> ]
<b>Relleno mayoritariamente cohesivo</b>	1,89-1,94	9-15,2	0,28-0,37
<b>Relleno mayoritariamente detrítico</b>	1,98-2,02	20-25,9	0,08-0,18

## 7.- CONCLUSIONES

A partir de los datos obtenidos de los sondeos a percusión, de los ensayos de laboratorio y del estudio de tomografía eléctrica se han diferenciado dos tipos de relleno según su comportamiento geotécnico y resistente:

- Reblleno mayoritariamente cohesivo. Cabe destacar que que este tipo de material en presencia de agua, reduce considerablemente sus características cohesivas y friccionales (la cohesión aumenta pero el ángulo de rozamiento interno disminuye). También se produce un incremento del peso específico aparente.

- Relleno mayoritariamente detrítico. En este tipo de materiales, en cambio, la presencia de agua únicamente afecta al peso específico aparente, que aumenta debido al peso de agua, generando un incremento de la tensión vertical que se traduce en un mayor empuje de tierras.

Por estos motivos, para el cálculo del empuje de tierras, se considera apropiado considerar ambos comportamientos (saturado y no saturado) y coger el más desfavorable.

## 8.- SISMICIDAD

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

<b><math>a_b/g</math></b>	<b>0,04</b>
<b>K</b>	<b>1,0</b>

Así pues, para los materiales detectados pueden considerarse los siguientes coeficientes del terreno (C):

<b>Unidad</b>	<b>Tipo de suelo</b>	<b>Coficiente (C)</b>
<b>Relleno mayoritariamente cohesivo</b>	<b>IV</b>	<b>2,0</b>
<b>Relleno mayoritariamente detrítico</b>	<b>III</b>	<b>1,6</b>

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 y de su presupuesto, estamos a su disposición en lo que considere necesario.

Responsable Técnico Dpto. de Geotecnia:

Beatriz Lapresta Tascón  
Geóloga, nº: 4.311

Miquel López Somoza  
Geólogo, nº 5.218

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.

**Nº: 14747/07/06**

# **ESTUDIO DE SUELOS**

MURALLA DE TARRAGONA - SECTOR DE L'HORT DE L'ARQUEBISBE

TARRAGONA

RESULTADO DE LOS SONDEOS

I

ENSAYOS GEOTÉCNICOS

---

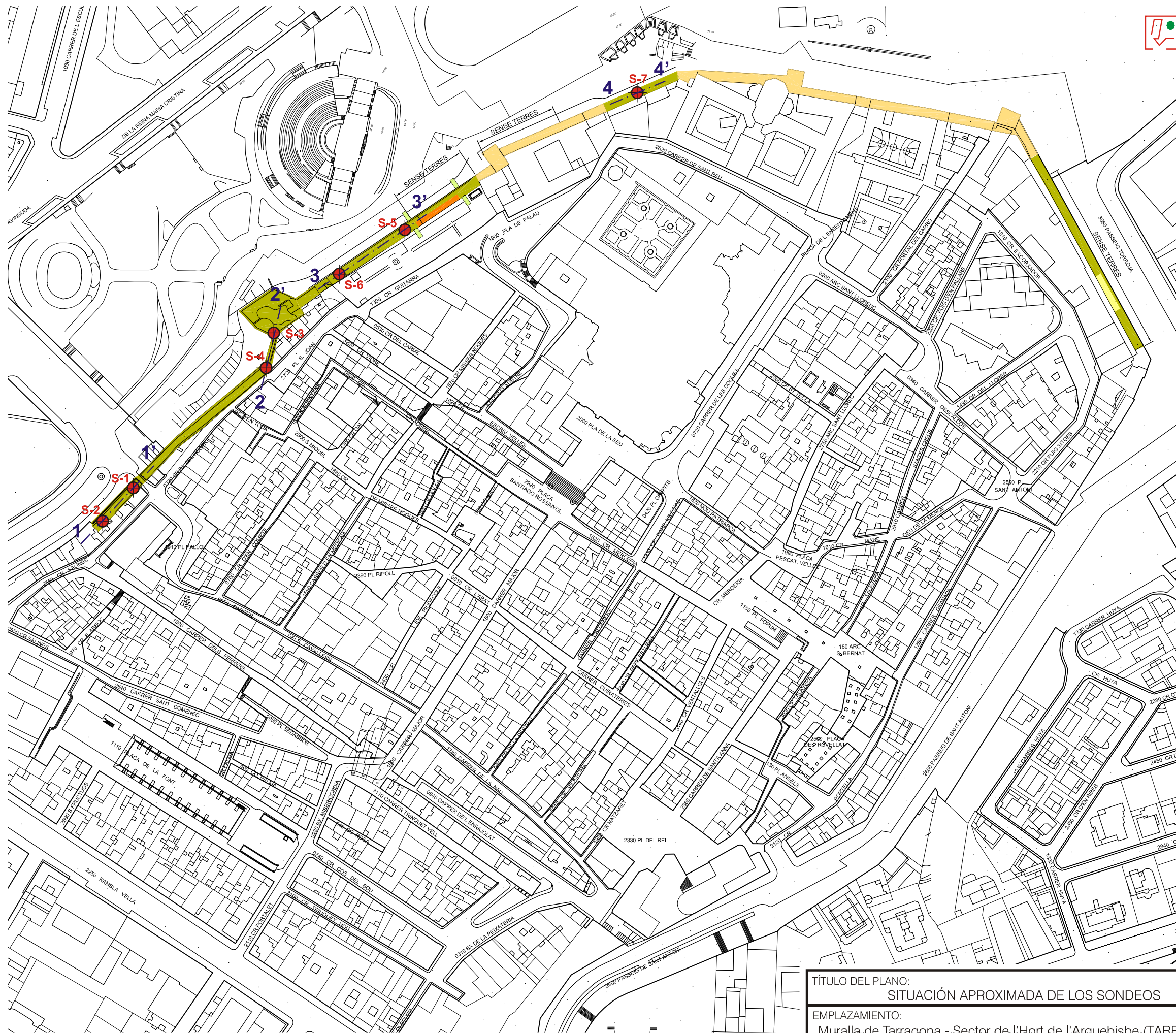
JUNIO DE 2006

---



**LOSAN**  
**MECANICA DEL SUELO, S.A.**  
C/ CIENCIA, 41 - 08850 GAVÀ (Barcelona)





TÍTULO DEL PLANO:  
SITUACIÓN APROXIMADA DE LOS SONDEOS

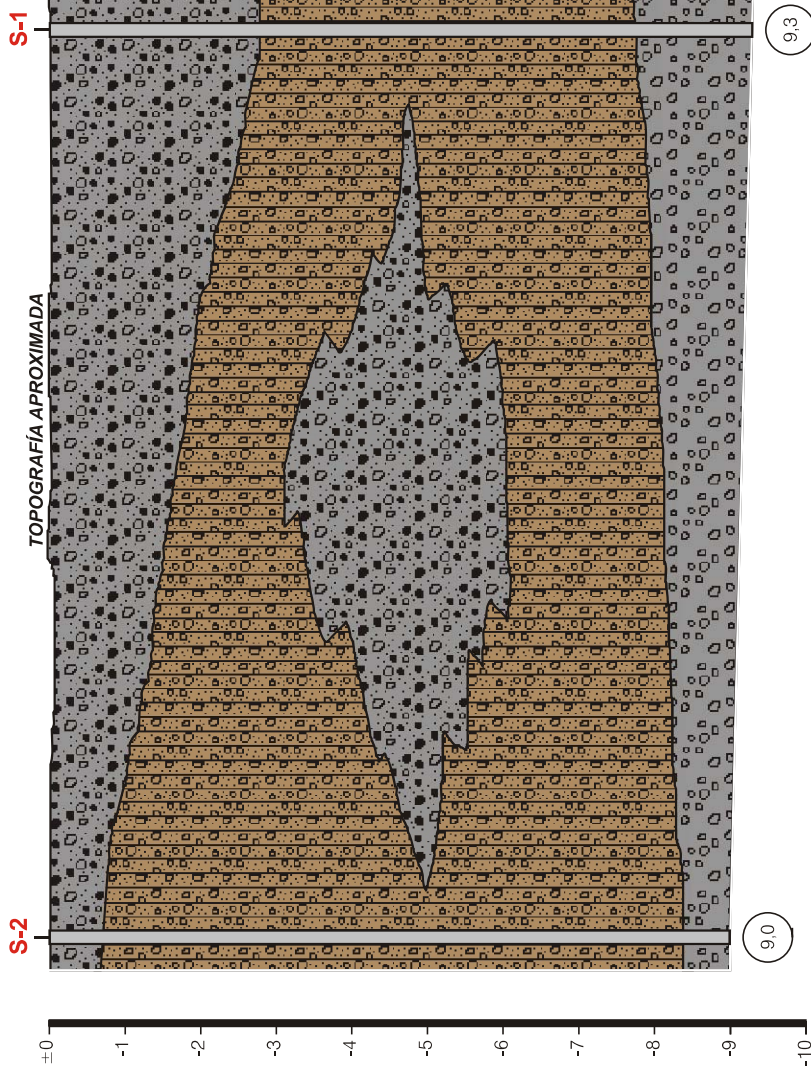
EMPLAZAMIENTO:  
Muralla de Tarragona - Sector de l'Hort de l'Arquebisbe (TARRAGONA)

Nº INFORME:  
14747/07/06

ESCALA APROXIMADA:  
E: 1/2000



## PERFIL 1-1'



### **LEYENDA**

 Unidad de relleno mayoritariamente cohesivo.

 Unidad de relleno mayoritariamente difrítico.

 Nivel de gravas, bolos y bloques.

 Nivel de gravas y gravetas con matriz limosa-arenosa.

 Profundidad alcanzada en metros.

ESCALA HORIZONTAL: 1/200  
ESCALA VERTICAL: 1/100

**NOTA: ESTE PERFIL CONTIENE INFORMACIÓN INTERPOLADA ENTRE SONDEOS, POR LO TANTO DEBE INTERPRETARSE CON LAS NATURALES RESERVAS.**



Muralla de Tarragona - Sector de l'Hort de l'Arquebisbe (TARRAGONA)

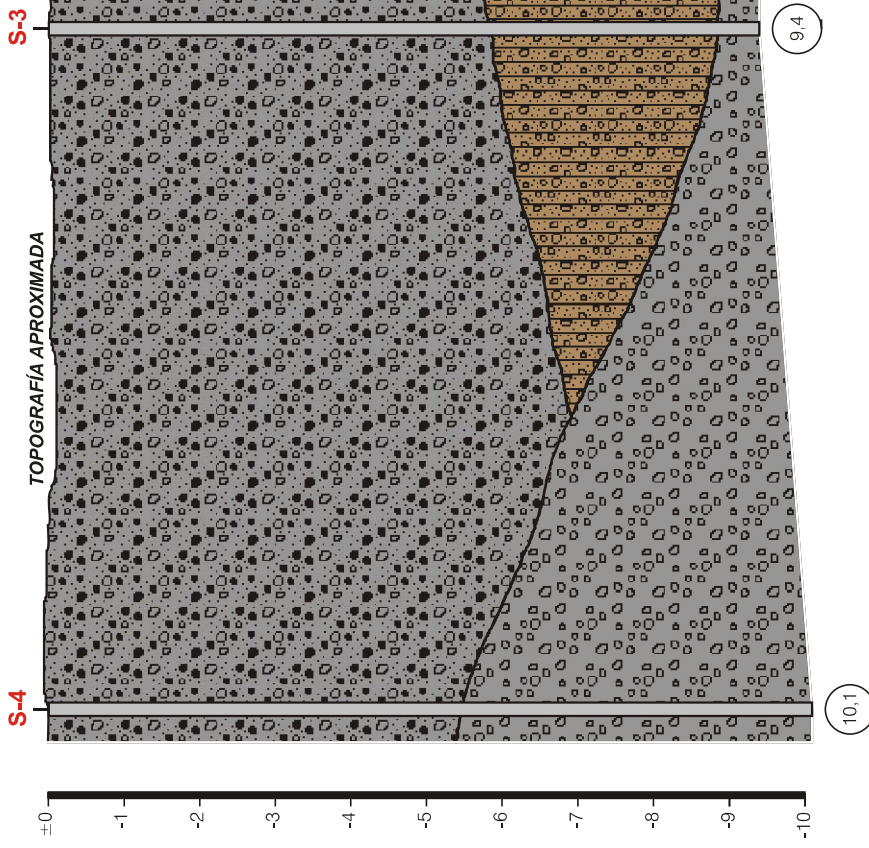
14747/07/06

PERFIL ESTRATIGRÁFICO

JULIO - 06



## PERFIL 2-2'



ESCALA HORIZONTAL: 1/200  
ESCALA VERTICAL: 1/100

NOTA: ESTE PERFIL CONTIENE INFORMACIÓN INTERPOLADA ENTRE SONDEOS, POR LO TANTO DEBE INTERPRETARSE CON LAS NATURALES RESERVAS.

### LEYENDA

 Unidad de relleno mayoritariamente cohesivo.

 Unidad de relleno mayoritariamente difrítico.

 Nivel de gravas, bolos y bloques.

 Nivel de gravas y gravetas con matriz limosa-arenosa.

 Profundidad alcanzada en metros.

Muralla de Tarragona - Sector de l'Hort de l'Arquebisbe (TARRAGONA)

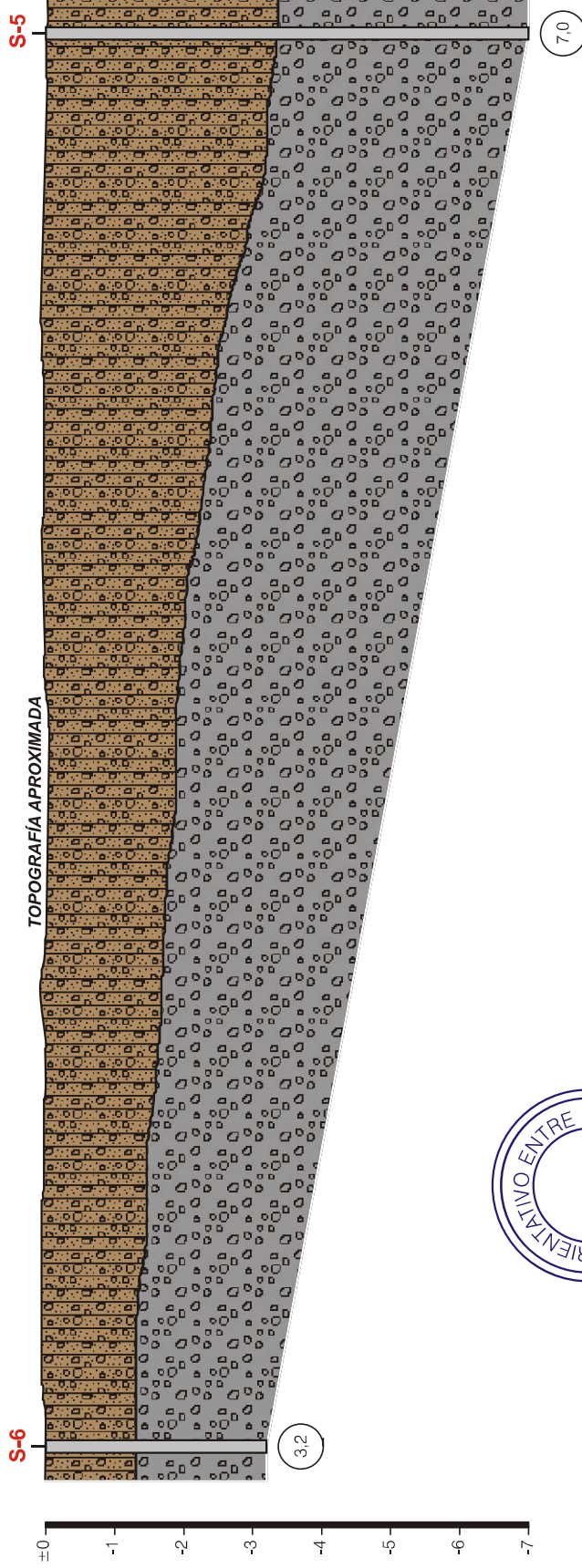
14747/07/06

PERFIL ESTRATIGRÁFICO

JULIO - 06







### PERFIL 3-3'



ESCALA HORIZONTAL: 1/200  
ESCALA VERTICAL: 1/100

NOTA: ESTE PERFIL CONTIENE INFORMACIÓN INTERPOLADA ENTRE SONDEOS, POR LO TANTO DEBE INTERPRETARSE CON LAS NATURALES RESERVAS.

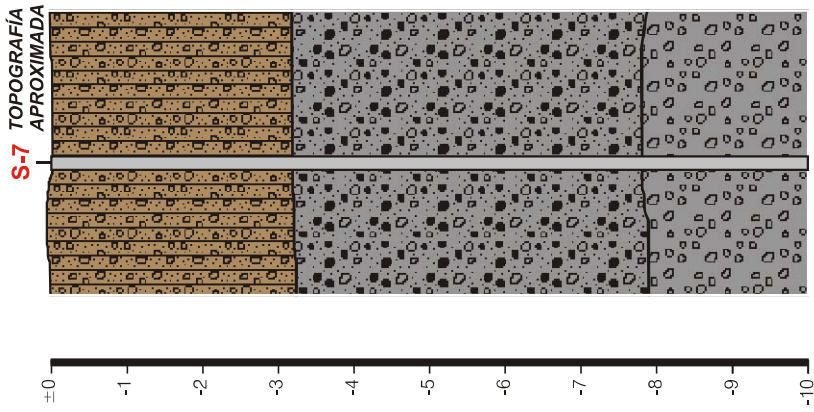
#### LEYENDA

-  Unidad de relleno mayoritariamente cohesivo.
-  Unidad de relleno mayoritariamente difrítico.
-  Nivel de gravas, bolos y bloques.
-  Profundidad alcanzada en metros.






Muralla de Tarragona - Sector de l'Hort de l'Arquebisbe (TARRAGONA)	14747/07/06
PERFIL ESTRATIGRÁFICO	JULIO - 06



## PERFIL 4-4'



### LEYENDA

-  Unidad de relleno mayoritariamente cohesivo.
-  Unidad de relleno mayoritariamente difrítico.
-  Nivel de gravas, bolos y bloques.
-  Nivel de gravas y gravetas con matriz limosa-arenosa.
-  Profundidad alcanzada en metros.



ESCALA HORIZONTAL: 1/200  
ESCALA VERTICAL: 1/100

NOTA: ESTE PERFIL CONTIENE INFORMACIÓN INTERPOLADA ENTRE SONDEOS, POR LO TANTO DEBE INTERPRETARSE CON LAS NATURALES RESERVAS.

Muralla de Tarragona - Sector de l'Hort de l'Arquebisbe (TARRAGONA)

14747/07/06

PERFIL ESTRATIGRÁFICO

JULIO - 06

SITUACION: MURALLA DE TARRAGONA  
 - TARRAGONA -  
 - ESTUDIO DE SUELOS -

INFORME NUM.: 14747/07/06

SONDEO 1

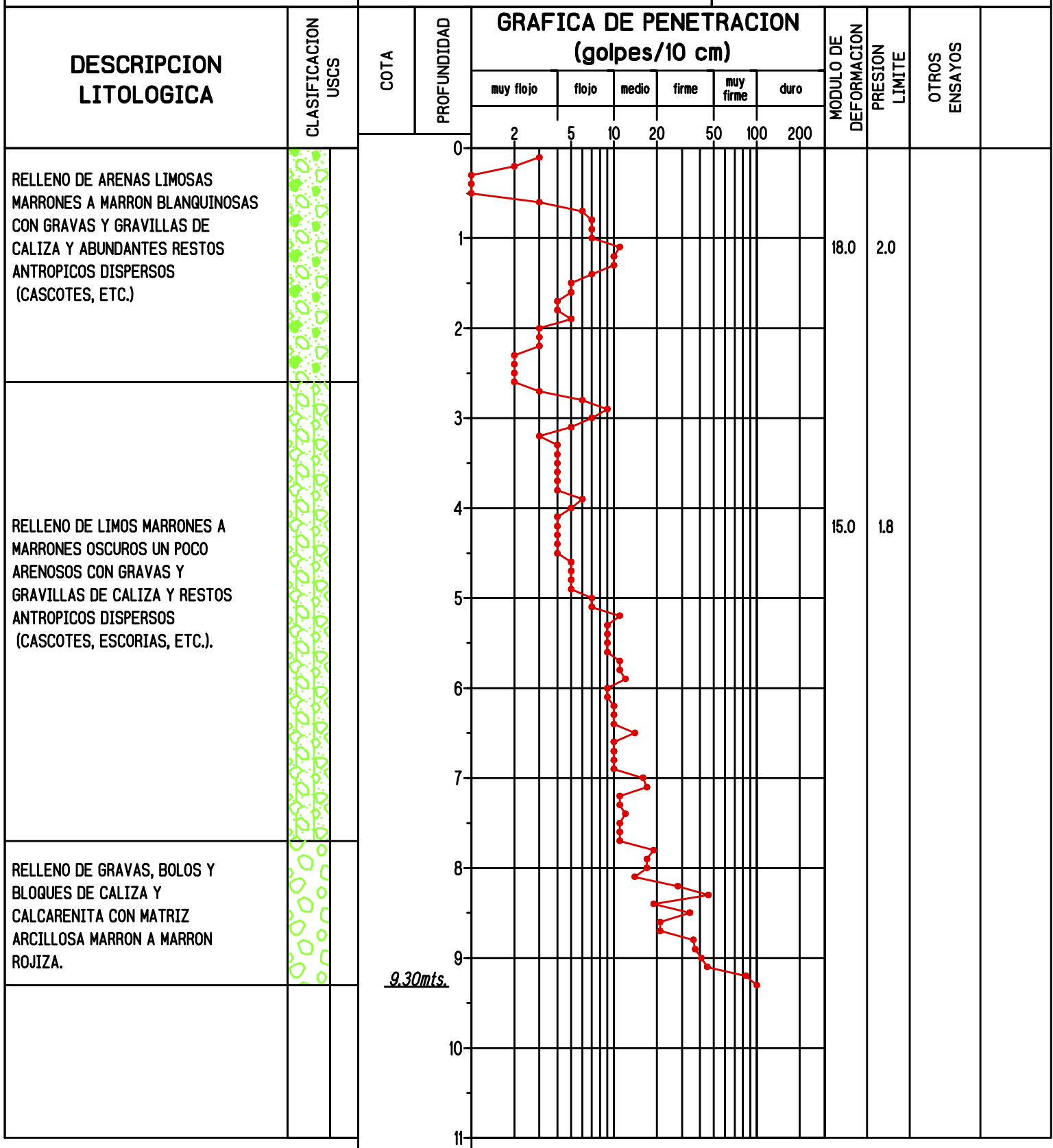
FECHA PERFORACION: 10/07/06

COTA:

PERCUSION

NIVEL DE AGUA:

PROFUNDIDAD: 9.30mts.



OTROS ENSAYOS  
 G/ Granulometria  
 L/ Limites de Attenberg

Printed by unregistered copy of SPLOT

SITUACION: MURALLA DE TARRAGONA  
 - TARRAGONA -  
 - ESTUDIO DE SUELOS -

INFORME NUM.: 14747/07/06

SONDEO 2

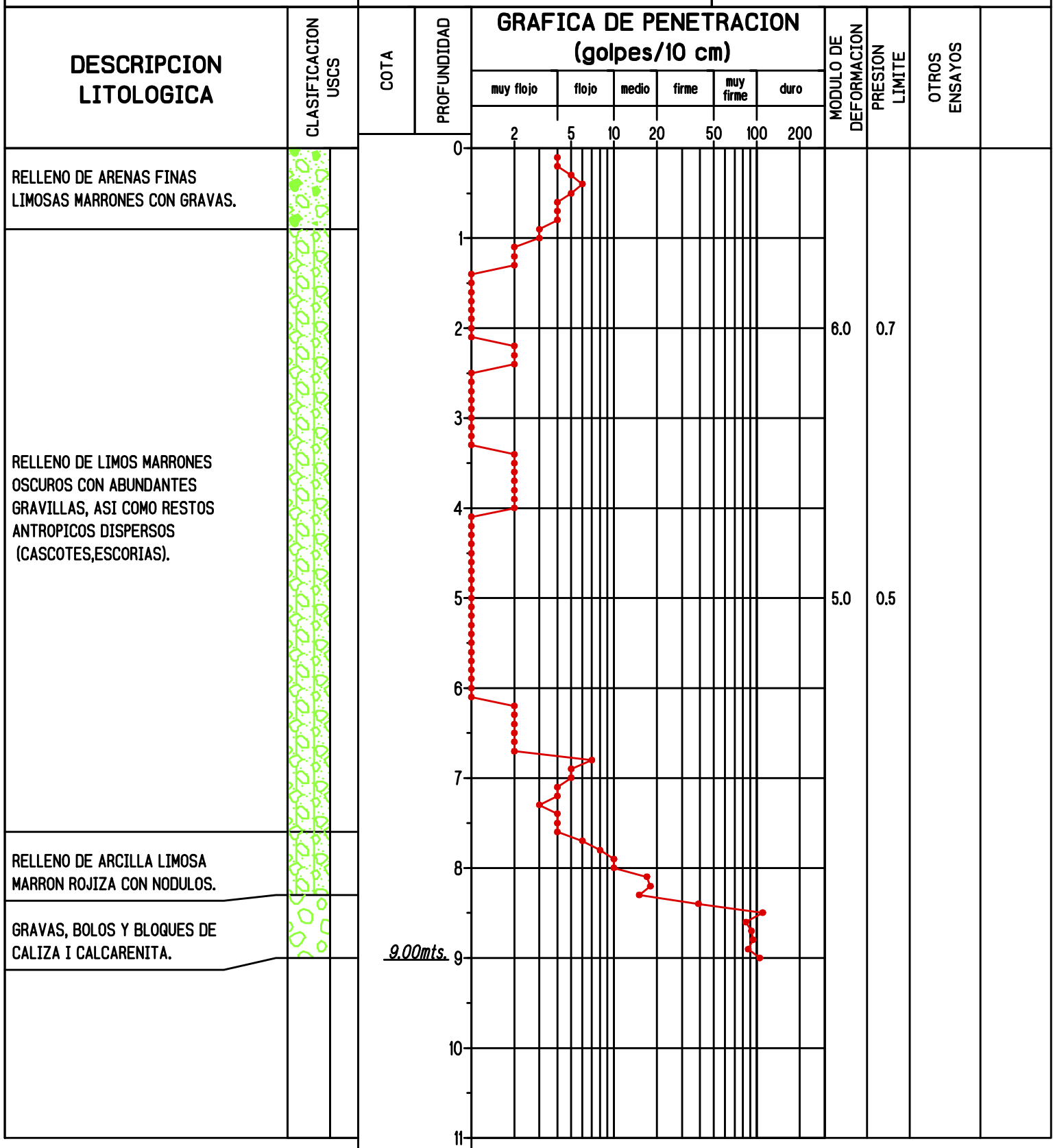
FECHA PERFORACION: 10/07/06

COTA:

PERCUSION

NIVEL DE AGUA:

PROFUNDIDAD: 9.00mts.



OTROS ENSAYOS  
 G/ Granulometria  
 L/ Limites de Attenberg

Printed by unregistered copy of SPLOT

SITUACION: MURALLA DE TARRAGONA  
 - TARRAGONA -  
 - ESTUDIO DE SUELOS -

INFORME NUM.: 14747/07/06

SONDEO 3

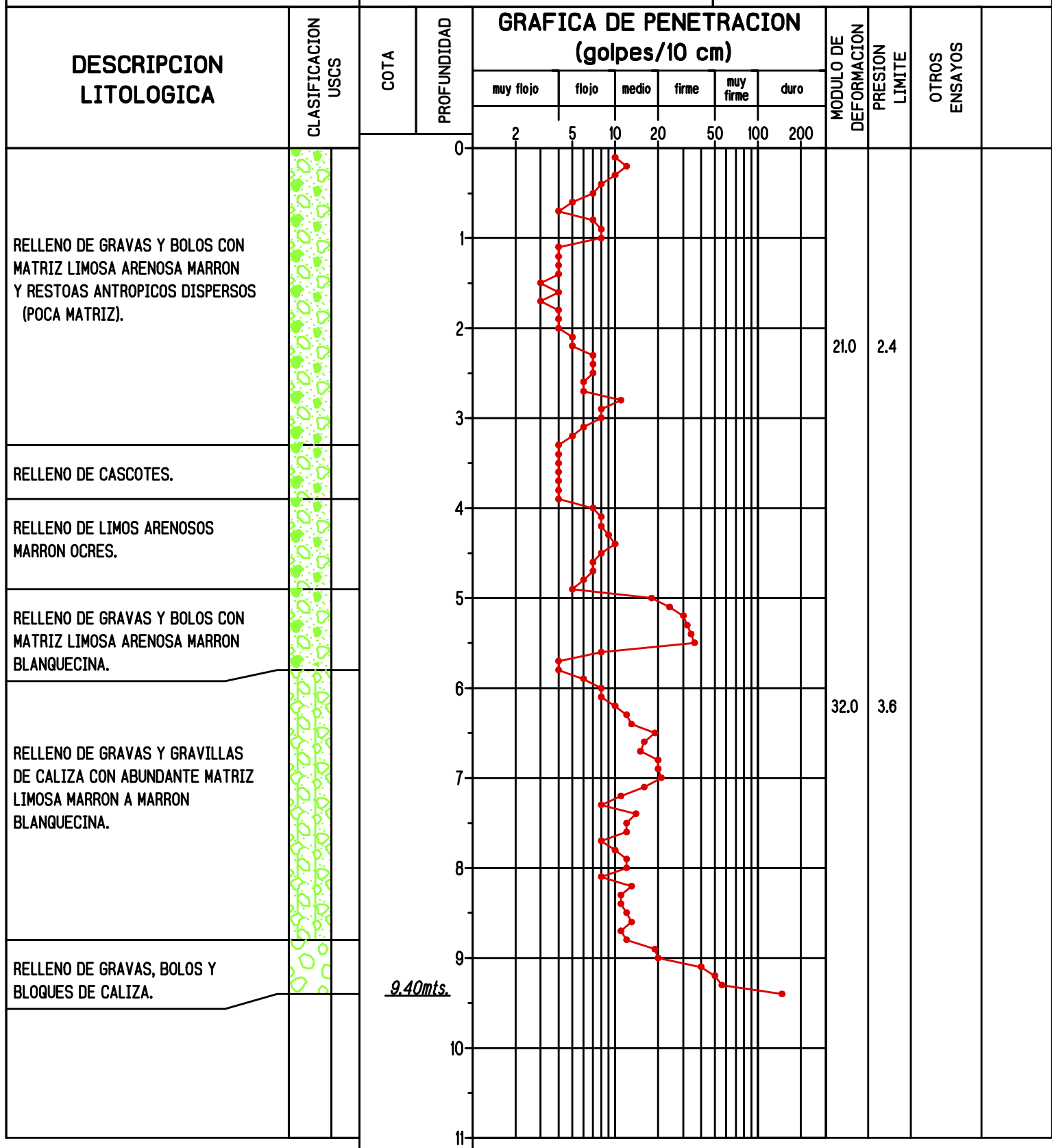
FECHA PERFORACION: 10/07/06

COTA:

PERCUSION

NIVEL DE AGUA:

PROFUNDIDAD: 9.40mts.



9.40mts.

OTROS ENSAYOS  
 G/ Granulometria  
 L/ Limites de Attenberg

Printed by unregistered copy of SPLOT





SITUACION: MURALLA DE TARRAGONA  
 - TARRAGONA -  
 - ESTUDIO DE SUELOS -

INFORME NUM.: 14747/07/06

SONDEO 4

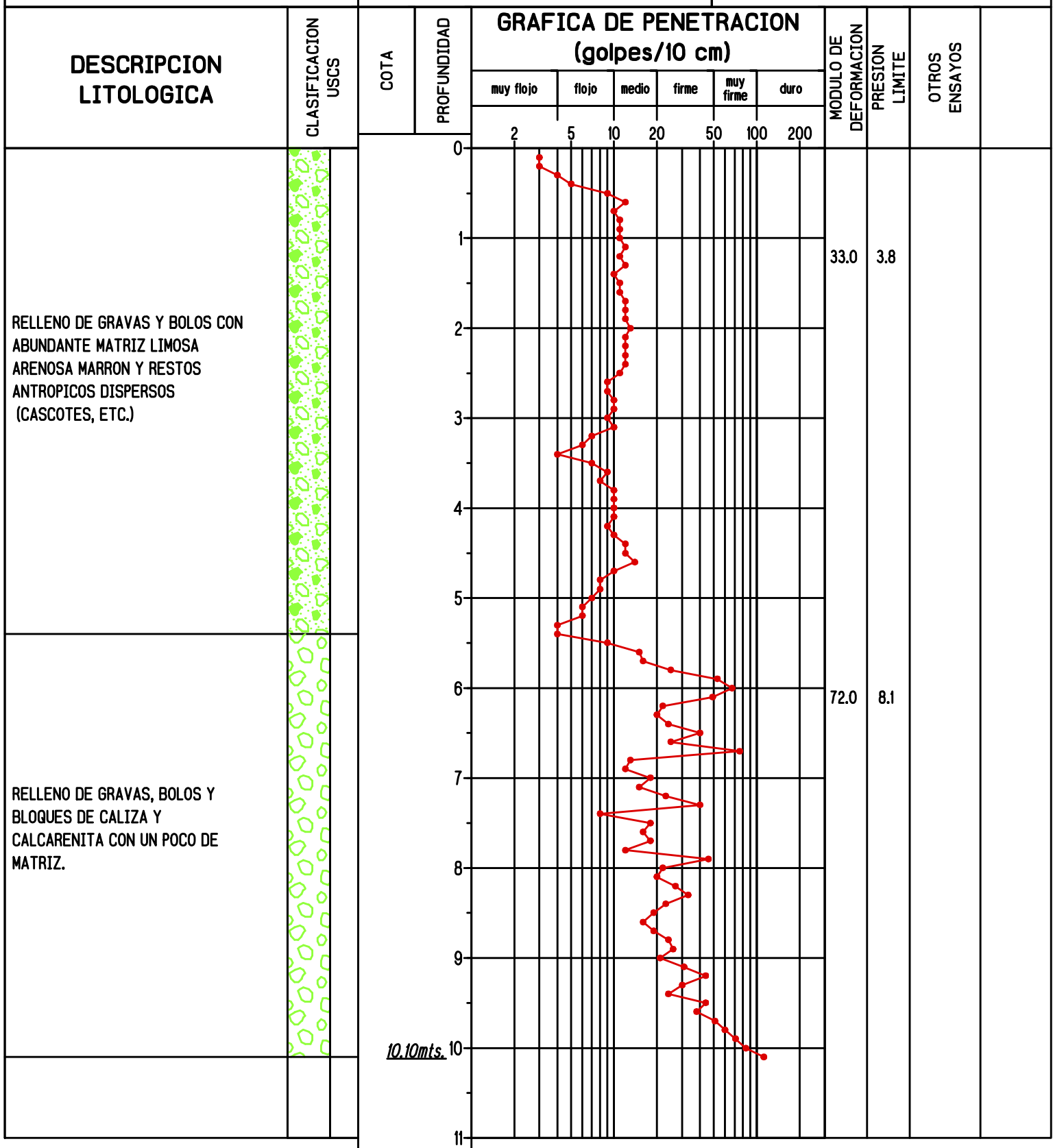
FECHA PERFORACION: 11/07/06

COTA:

PERCUSION

NIVEL DE AGUA:

PROFUNDIDAD: 10.10mts.



OTROS ENSAYOS  
 G/ Granulometria  
 L/ Limites de Attenberg

Printed by unregistered copy of SPLOT

SITUACION: MURALLA DE TARRAGONA  
 - TARRAGONA -  
 - ESTUDIO DE SUELOS -

INFORME NUM.: 14747/07/06

SONDEO 5

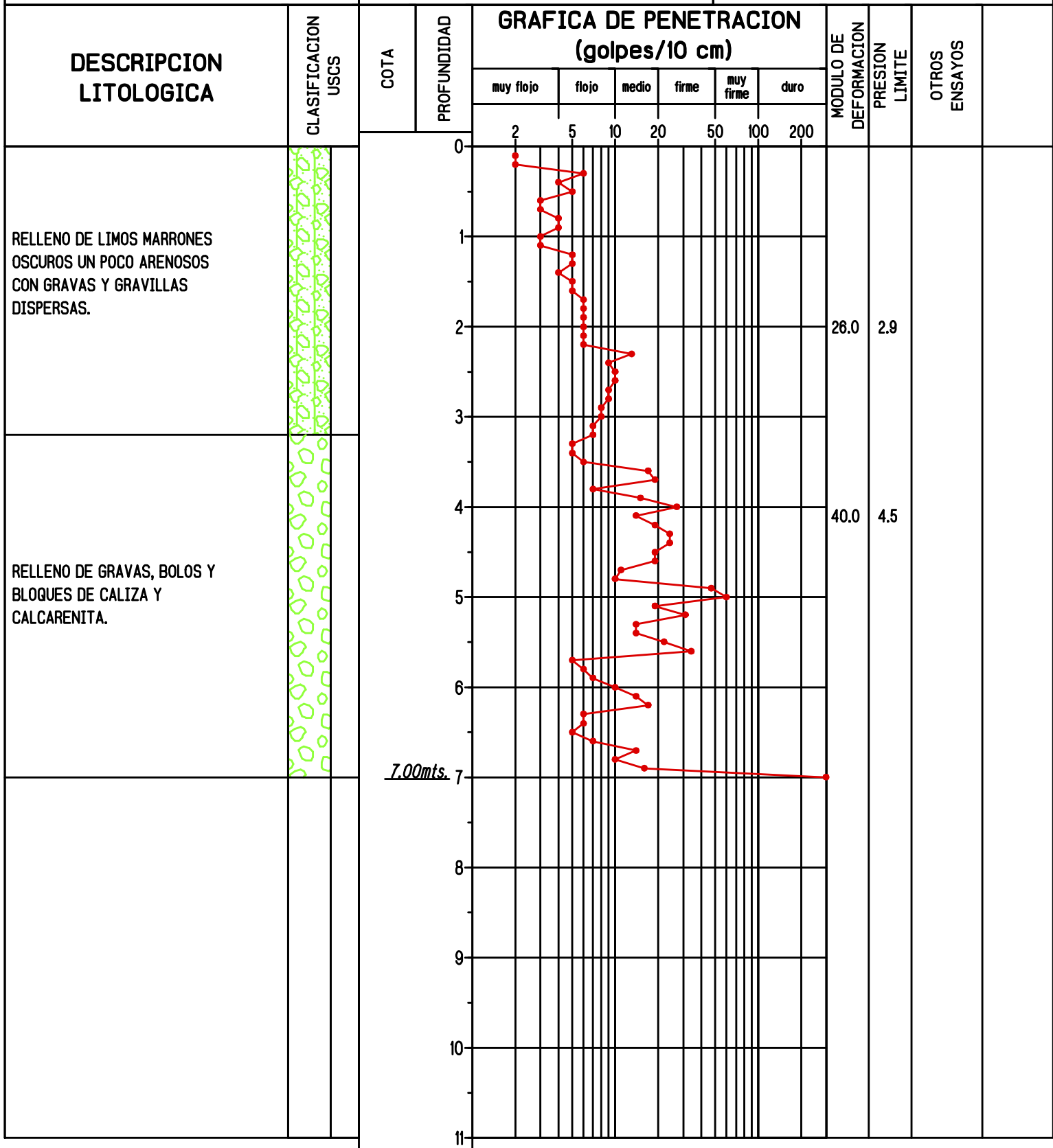
FECHA PERFORACION: 11/07/06

COTA:

PERCUSION

NIVEL DE AGUA:

PROFUNDIDAD: 7.00mts.



OTROS ENSAYOS  
 G/ Granulometria  
 L/ Limites de Attenberg

Printed by unregistered copy of SPLOT

SITUACION: MURALLA DE TARRAGONA  
 - TARRAGONA -  
 - ESTUDIO DE SUELOS -

INFORME NUM.: 14747/07/06

SONDEO 6

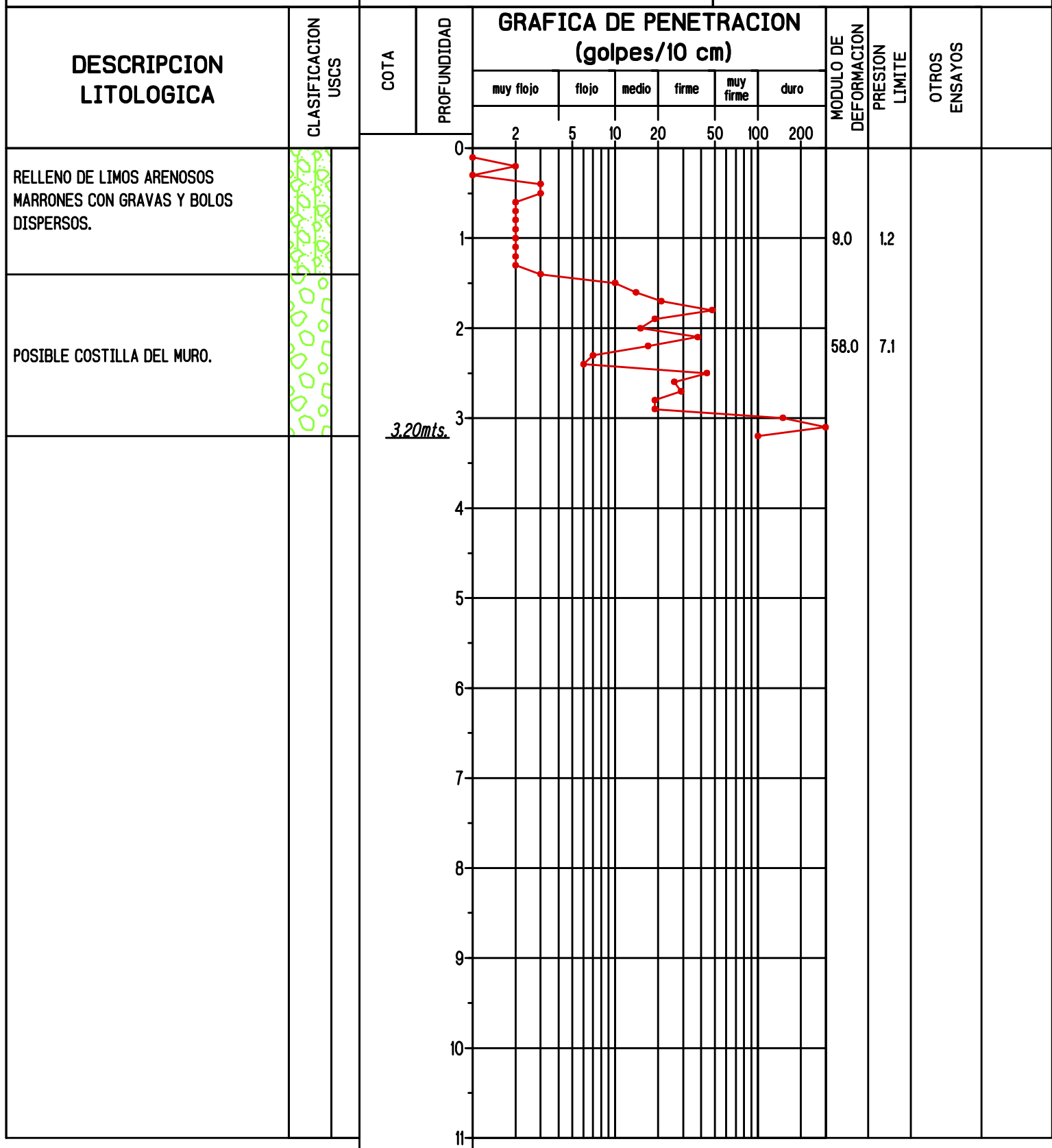
FECHA PERFORACION: 11/07/06

COTA:

PERCUSION

NIVEL DE AGUA:

PROFUNDIDAD: 3.20mts.



OTROS ENSAYOS  
 G/ Granulometria  
 L/ Limites de Attenberg

Printed by unregistered copy of SPLOT



SITUACION: MURALLA DE TARRAGONA  
 - TARRAGONA -  
 - ESTUDIO DE SUELOS -

INFORME NUM.: 14747/07/06

SONDEO 7

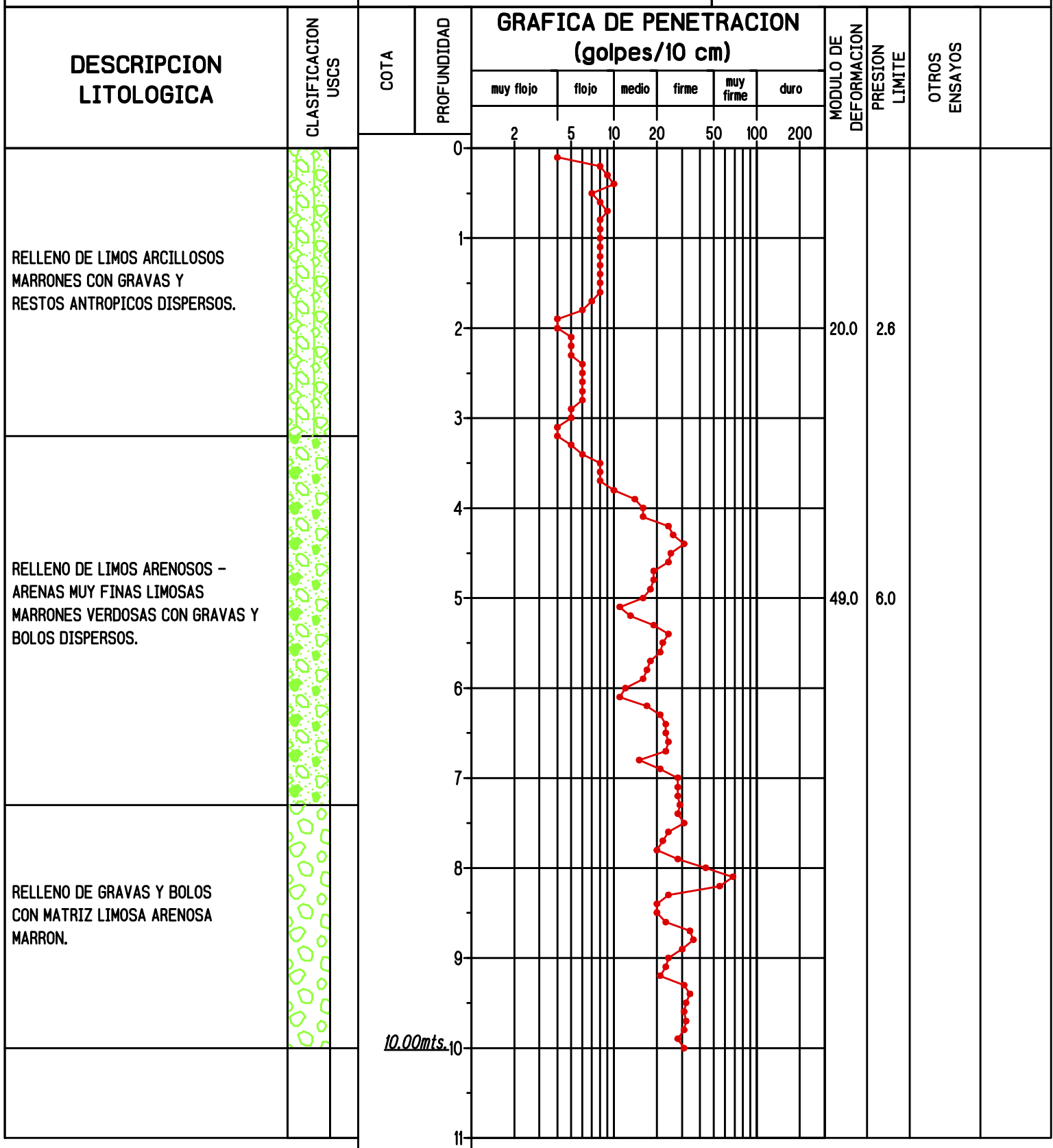
FECHA PERFORACION: 11/07/06

COTA:

PERCUSION

NIVEL DE AGUA:

PROFUNDIDAD: 10.00mts.



OTROS ENSAYOS  
 G/ Granulometria  
 L/ Limites de Attenberg

Printed by unregistered copy of SPLOT

# NUESTRO LABORATORIO

---

## VISIÓN PARCIAL



A la izquierda aparatos de edómetro y al fondo prensa automática multiensayo de 20 Tn. servocontrolada.



Aparato de ensayo Triaxial.



**LOSAN**  
MECANICA DEL SUELO, S.A.

- Àmbit d'assaigs de laboratori de geotècnia (GTL), assaigs bàsics,  
n. d'identificació: **06163GTL06(B)**, a 24 d'abril de 2006  
- Àmbit de sondeigs, presa de mostres i assaigs in situ per reconeixements  
geotècnics (GTC), assaigs bàsics,  
n. d'identificació: **06048GTC05(B)**, a 9 de setembre de 2005

## ACREDITACIÓ DELS LABORATORIS DE LA CONSTRUCCIÓ

PER LA GENERALITAT DE CATALUNYA - DECRET 257/2003 de 21 d'octubre

**NÚMERO D'EXPEDIENT:** 14747/07/06

**DATA:** 17-jul-06

**CLIENT:** AJUNTAMENT DE TARRAGONA

**DIRECCIÓ CLIENT:** Plaça de la Font, 1

**N.I.F.:** P-4315000-B

Tarragona

### DADES DE L'OBRA:

**TIPUS D'OBRA:** Estudi de sòls

**DIRECCIÓ DE L'OBRA:** Muralla de Tarragona

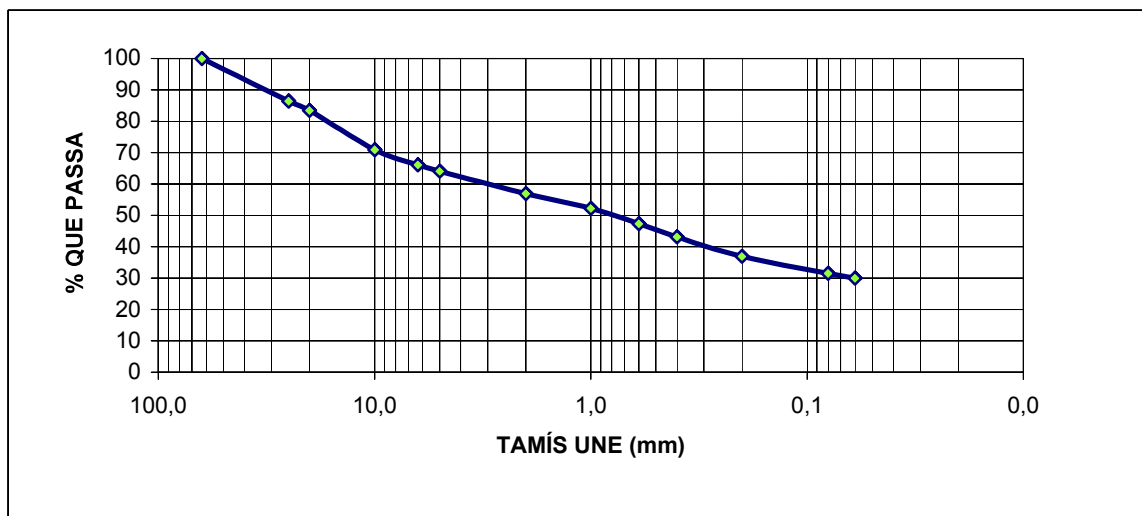
**LOCALITAT:** Tarragona

**DESCRIPCIÓ DE MOSTRA:** Reblert majoritàriament detrític

**PROCEDÈNCIA:** S-1      **PROFUNDITAT (m):** 1,00

### ANÀLISI GRANULOMÈTRIC DE SÒLS PER TAMISAT, UNE 103-101-95

TAMÍS UNE (mm):	63	25	20	10	6,3	5	2	1	0,6	0,4	0,2	0,08	0,06
% QUE PASSA:	100,0	86,4	83,5	70,9	66,2	64,1	57,0	52,2	47,3	43,1	37,0	31,6	30,0



CLASSIFICACIÓ DE CASAGRANDE

**SM**

**Sorra Ilimosa**

TÈCNIC RESPONSABLE DEL LABORATORI:

SONIA LÓPEZ PACHA

DIRECTOR TÈCNIC DEL LABORATORI:

MIGUEL LÓPEZ SOMOZA



**LOSAN**  
MECANICA DEL SUELO, S.A.

- Àmbit d'assaigs de laboratori de geotècnia (GTL), assaigs bàsics,  
n. d'identificació: **06163GTL06(B)**, a 24 d'abril de 2006  
- Àmbit de sondeigs, presa de mostres i assaigs in situ per reconeixements  
geotècnics (GTC), assaigs bàsics,  
n. d'identificació: **06048GTC05(B)**, a 9 de setembre de 2005

## ACREDITACIÓ DELS LABORATORIS DE LA CONSTRUCCIÓ

PER LA GENERALITAT DE CATALUNYA - DECRET 257/2003 de 21 d'octubre

**NÚMERO D'EXPEDIENT:** 14747/07/06

**DATA:** 17-jul-06

**CLIENT:** AJUNTAMENT DE TARRAGONA

**DIRECCIÓ CLIENT:** Plaça de la Font, 1

**N.I.F.:** P-4315000-B

Tarragona

### DADES DE L'OBRA:

TIPUS D'OBRA: Estudi de sòls

DIRECCIÓ DE L'OBRA: Muralla de Tarragona

LOCALITAT: Tarragona

DESCRIPCIÓ DE MOSTRA: Reblert majoritàriament detrític

PROCEDÈNCIA: S-1 PROFUNDITAT (m): 1,00

### ASSAIG DE TALL DIRECTE EN SÒLS, UNE 103-401-98

#### CARACTERÍSTIQUES DE L'ASSAIG:

MOSTRA INALTERADA/REMOLDEJADA: **Remoldejada**

MODALITAT D'ASSAIG CD/CU/UU: **UU**

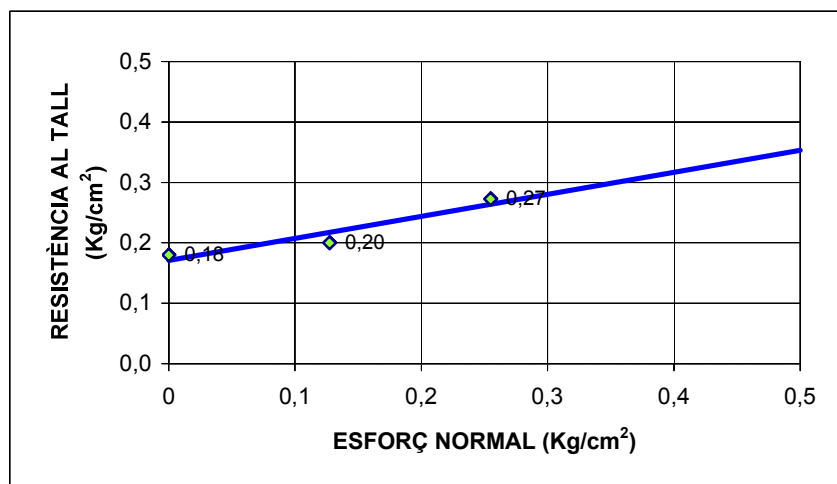
VELOCITAT DE L'ASSAIG (mm/min): **1,5**

SUPERFÍCIE DE LA SECCIÓ (cm<sup>2</sup>): **19,63**

#### RESULTATS DE L'ASSAIG:

TENSIÓ NORMAL (Kg/cm<sup>2</sup>): **0,0**      **0,1**      **0,3**

TENSIÓ TANGENCIAL MÀXIMA (Kg/cm<sup>2</sup>): **0,18**      **0,20**      **0,27**



COHESIÓ (Kg/cm<sup>2</sup>): **0,18**

ANGLE DE FREGAMENT INTERN (°): **20**

TÈCNIC RESPONSABLE DEL LABORATORI:

DIRECTOR TÈCNIC DEL LABORATORI:

SONIA LÓPEZ PACHA

MIGUEL LÓPEZ SOMOZA



**ACREDITACIÓ DELS LABORATORIS DE LA CONSTRUCCIÓ**

PER LA GENERALITAT DE CATALUNYA - DECRET 257/2003 de 21 d'octubre

**NÚMERO D'EXPEDIENT:** 14747/07/06

**DATA:** 17-jul-06

**CLIENT:** AJUNTAMENT DE TARRAGONA

**DIRECCIÓ CLIENT:** Plaça de la Font, 1

**N.I.F.:** P-4315000-B

Tarragona

**DADES DE L'OBRA:**

TIPUS D'OBRA: Estudi de sòls

DIRECCIÓ DE L'OBRA: Muralla de Tarragona

LOCALITAT: Tarragona

DESCRIPCIÓ DE MOSTRA: Reblert majoritàriament cohesiu

PROCEDÈNCIA: S-1 PROFUNDITAT (m): 4,00

**DETERMINACIÓ DE LA HUMITAT NATURAL D'UN SÒL, UNE 103-300-93**

CONTINGUT EN HUMITAT (%): **10,6**

**DETERMINACIÓ DE LA DENSITAT D'UN SÒL, UNE 103-301-94**

DENSITAT HUMIDA ( $g/cm^3$ ):

DENSITAT SECA ( $g/cm^3$ ):

**DETERMINACIÓ DE LA DENSITAT RELATIVA D'UN SÒL, UNE 103-302-94**

PES ESPECÍFIC ( $g/cm^3$ ): **2,63**

**DETERMINACIÓ DELS LÍMITS D'ATTERBERG D'UN SÒL, UNE 103-103-94 I 103-104-93**

LÍMIT LÍQUID (%):

LÍMIT PLÀSTIC (%):

ÍNDIX DE PLASTICITAT (%):

**DETERMINACIÓ QUALITATIVA DEL CONTINGUT DE SULFATS SOL.LUBLES D'UN SÒL,  
UNE 103-202-95**

CONTINGUT QUALITATIU: **Negatiu**

TÈCNIC RESPONSABLE DEL LABORATORI:

DIRECTOR TÈCNIC DEL LABORATORI:

SONIA LÓPEZ PACHA

MIGUEL LÓPEZ SOMOZA





**LOSAN**  
MECANICA DEL SUELO, S.A.

- Àmbit d'assaigs de laboratori de geotècnia (GTL), assaigs bàsics,  
n. d'identificació: **06163GTL06(B)**, a 24 d'abril de 2006  
- Àmbit de sondeigs, presa de mostres i assaigs in situ per reconeixements  
geotècnics (GTC), assaigs bàsics,  
n. d'identificació: **06048GTC05(B)**, a 9 de setembre de 2005

## ACREDITACIÓ DELS LABORATORIS DE LA CONSTRUCCIÓ

PER LA GENERALITAT DE CATALUNYA - DECRET 257/2003 de 21 d'octubre

**NÚMERO D'EXPEDIENT:** 14747/07/06

**DATA:** 17-jul-06

**CLIENT:** AJUNTAMENT DE TARRAGONA

**DIRECCIÓ CLIENT:** Plaça de la Font, 1

**N.I.F.:** P-4315000-B

Tarragona

### DADES DE L'OBRA:

**TIPUS D'OBRA:** Estudi de sòls

**DIRECCIÓ DE L'OBRA:** Muralla de Tarragona

**LOCALITAT:** Tarragona

**DESCRIPCIÓ DE MOSTRA:** Reblert majoritàriament cohesiu

**PROCEDÈNCIA:** S-1 **PROFUNDITAT (m):** 4,00

### DETERMINACIÓ DE L'EXPANSIVITAT D'UN SÒL, UNE 103-600-96

#### CARACTERÍSTIQUES DE L'ASSAIG:

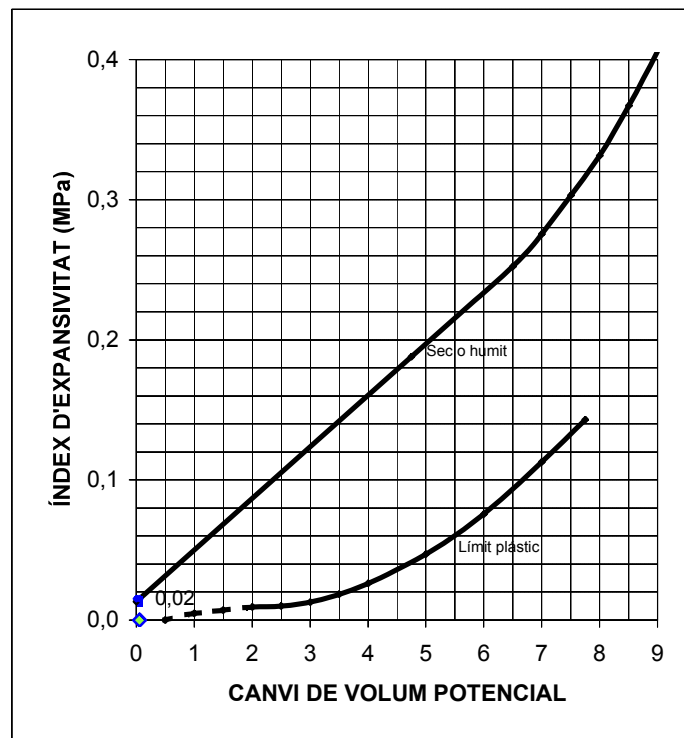
**ESTAT DE L'ASSAIG:** SEC

**SUPERFICIE DE LA SECCIÓ (cm<sup>2</sup>):** 38,48

#### RESULTATS DE L'ASSAIG:

**ÍNDEX D'EXPANSIVITAT (MPa):** 0,02

**CANVI DE VOLUM POTENCIAL:** 0,05 **No crític**



TÈCNIC RESPONSABLE DEL LABORATORI:

SONIA LÓPEZ PACHA

DIRECTOR TÈCNIC DEL LABORATORI:

MIGUEL LÓPEZ SOMOZA



**LOSAN**  
MECANICA DEL SUELO, S.A.

- Àmbit d'assaigs de laboratori de geotècnia (GTL), assaigs bàsics,  
n. d'identificació: **06163GTL06(B)**, a 24 d'abril de 2006  
- Àmbit de sondeigs, presa de mostres i assaigs in situ per reconeixements  
geotècnics (GTC), assaigs bàsics,  
n. d'identificació: **06048GTC05(B)**, a 9 de setembre de 2005

## ACREDITACIÓ DELS LABORATORIS DE LA CONSTRUCCIÓ

PER LA GENERALITAT DE CATALUNYA - DECRET 257/2003 de 21 d'octubre

**NÚMERO D'EXPEDIENT:** 14747/07/06

**DATA:** 17-jul-06

**CLIENT:** AJUNTAMENT DE TARRAGONA

**DIRECCIÓ CLIENT:** Plaça de la Font, 1

**N.I.F.:** P-4315000-B

Tarragona

### DADES DE L'OBRA:

**TIPUS D'OBRA:** Estudi de sòls

**DIRECCIÓ DE L'OBRA:** Muralla de Tarragona

**LOCALITAT:** Tarragona

**DESCRIPCIÓ DE MOSTRA:** Reblert majoritàriament cohesiu

**PROCEDÈNCIA:** S-1      **PROFUNDITAT (m):** 6,00

### ASSAIG DE TALL DIRECTE EN SÒLS, UNE 103-401-98

#### CARACTERÍSTIQUES DE L'ASSAIG:

**MOSTRA INALTERADA/REMOLDEJADA:** Remoldejada saturada

**MODALITAT D'ASSAIG CD/CU/UU:** UU

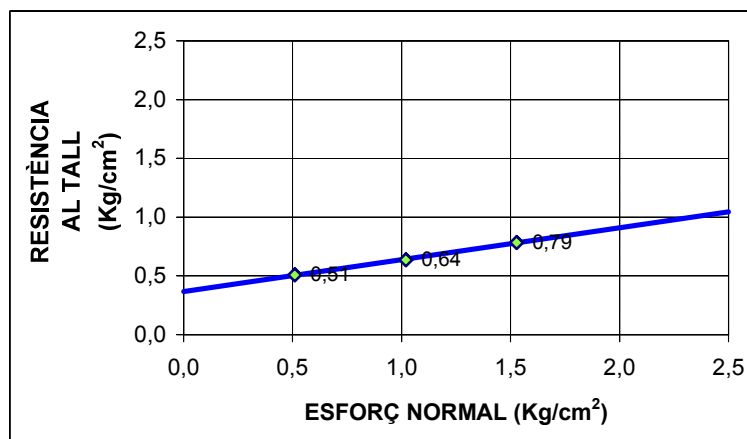
**VELOCITAT DE L'ASSAIG (mm/min):** 1,5

**SUPERFÍCIE DE LA SECCIÓ (cm<sup>2</sup>):** 19,63

#### RESULTATS DE L'ASSAIG:

**TENSIÓ NORMAL (Kg/cm<sup>2</sup>):** 0,5      1,0      1,5

**TENSIÓ TANGENCIAL MÀXIMA (Kg/cm<sup>2</sup>):** 0,51      0,64      0,79



**COHESIÓ (Kg/cm<sup>2</sup>):** 0,37

**ANGLE DE FREGAMENT INTERN (°):** 15,2

**TÈCNIC RESPONSABLE DEL LABORATORI:**

SONIA LÓPEZ PACHA

**DIRECTOR TÈCNIC DEL LABORATORI:**

MIGUEL LÓPEZ SOMOZA



## ACREDITACIÓ DELS LABORATORIS DE LA CONSTRUCCIÓ

PER LA GENERALITAT DE CATALUNYA - DECRET 257/2003 de 21 d'octubre

**NÚMERO D'EXPEDIENT:** 14747/07/06

**DATA:** 17-jul-06

**CLIENT:** AJUNTAMENT DE TARRAGONA

**DIRECCIÓ CLIENT:** Plaça de la Font, 1

**N.I.F.:** P-4315000-B

Tarragona

### **DADES DE L'OBRA:**

TIPUS D'OBRA: Estudi de sòls

DIRECCIÓ DE L'OBRA: Muralla de Tarragona

LOCALITAT: Tarragona

DESCRIPCIÓ DE MOSTRA: Reblert majoritàriament cohesiu

PROCEDÈNCIA: S-1 PROFUNDITAT (m): 7,00

### **DETERMINACIÓ DE LA HUMITAT NATURAL D'UN SÒL, UNE 103-300-93**

CONTINGUT EN HUMITAT (%): **7,9**

### **DETERMINACIÓ DE LA DENSITAT D'UN SÒL, UNE 103-301-94**

DENSITAT HUMIDA ( $\text{g/cm}^3$ ):

DENSITAT SECA ( $\text{g/cm}^3$ ):

### **DETERMINACIÓ DE LA DENSITAT RELATIVA D'UN SÒL, UNE 103-302-94**

PES ESPECÍFIC ( $\text{g/cm}^3$ ): **2,60**

### **DETERMINACIÓ DELS LÍMITS D'ATTERBERG D'UN SÒL, UNE 103-103-94 I 103-104-93**

LÍMIT LÍQUID (%):

LÍMIT PLÀSTIC (%):

ÍNDEX DE PLASTICITAT (%):

### **DETERMINACIÓ QUALITATIVA DEL CONTINGUT DE SULFATS SOL.LUBLES D'UN SÒL, UNE 103-202-95**

CONTINGUT QUALITATIU: **Negatiu**

TÈCNIC RESPONSABLE DEL LABORATORI:

DIRECTOR TÈCNIC DEL LABORATORI:

SONIA LÓPEZ PACHA

MIGUEL LÓPEZ SOMOZA

## ACREDITACIÓ DELS LABORATORIS DE LA CONSTRUCCIÓ

PER LA GENERALITAT DE CATALUNYA - DECRET 257/2003 de 21 d'octubre

**NÚMERO D'EXPEDIENT:** 14747/07/06

**DATA:** 17-jul-06

**CLIENT:** AJUNTAMENT DE TARRAGONA

**DIRECCIÓ CLIENT:** Plaça de la Font, 1

**N.I.F.:** P-4315000-B

Tarragona

### **DADES DE L'OBRA:**

TIPUS D'OBRA: Estudi de sòls

DIRECCIÓ DE L'OBRA: Muralla de Tarragona

LOCALITAT: Tarragona

DESCRIPCIÓ DE MOSTRA: Reblert majoritàriament cohesiu

PROCEDÈNCIA: S-2 PROFUNDITAT (m): 3,00

### **DETERMINACIÓ DE LA HUMITAT NATURAL D'UN SÒL, UNE 103-300-93**

CONTINGUT EN HUMITAT (%): **14,8**

### **DETERMINACIÓ DE LA DENSITAT D'UN SÒL, UNE 103-301-94**

DENSITAT HUMIDA ( $g/cm^3$ ):

DENSITAT SECA ( $g/cm^3$ ):

### **DETERMINACIÓ DE LA DENSITAT RELATIVA D'UN SÒL, UNE 103-302-94**

PES ESPECÍFIC ( $g/cm^3$ ):

### **DETERMINACIÓ DELS LÍMITS D'ATTERBERG D'UN SÒL, UNE 103-103-94 I 103-104-93**

LÍMIT LÍQUID (%): **23,9**

LÍMIT PLÀSTIC (%): **18,0**

ÍNDEX DE PLASTICITAT (%): **5,9**

### **DETERMINACIÓ QUALITATIVA DEL CONTINGUT DE SULFATS SOL.LUBLES D'UN SÒL, UNE 103-202-95**

CONTINGUT QUALITATIU:

TÈCNIC RESPONSABLE DEL LABORATORI:

SONIA LÓPEZ PACHA

DIRECTOR TÈCNIC DEL LABORATORI:

MIGUEL LÓPEZ SOMOZA



**LOSAN**  
MECANICA DEL SUELO, S.A.

- Àmbit d'assaigs de laboratori de geotècnia (GTL), assaigs bàsics,  
n. d'identificació: **06163GTL06(B)**, a 24 d'abril de 2006  
- Àmbit de sondeigs, presa de mostres i assaigs in situ per reconeixements  
geotècnics (GTC), assaigs bàsics,  
n. d'identificació: **06048GTC05(B)**, a 9 de setembre de 2005

## ACREDITACIÓ DELS LABORATORIS DE LA CONSTRUCCIÓ

PER LA GENERALITAT DE CATALUNYA - DECRET 257/2003 de 21 d'octubre

**NÚMERO D'EXPEDIENT:** 14747/07/06

**DATA:** 17-jul-06

**CLIENT:** AJUNTAMENT DE TARRAGONA

**DIRECCIÓ CLIENT:** Plaça de la Font, 1

**N.I.F.:** P-4315000-B

Tarragona

### DADES DE L'OBRA:

**TIPUS D'OBRA:** Estudi de sòls

**DIRECCIÓ DE L'OBRA:** Muralla de Tarragona

**LOCALITAT:** Tarragona

**DESCRIPCIÓ DE MOSTRA:** Reblert majoritàriament cohesiu

**PROCEDÈNCIA:** S-2      **PROFUNDITAT (m):** 3,00

### DETERMINACIÓ DE L'EXPANSIVITAT D'UN SÒL, UNE 103-600-96

#### CARACTERÍSTIQUES DE L'ASSAIG:

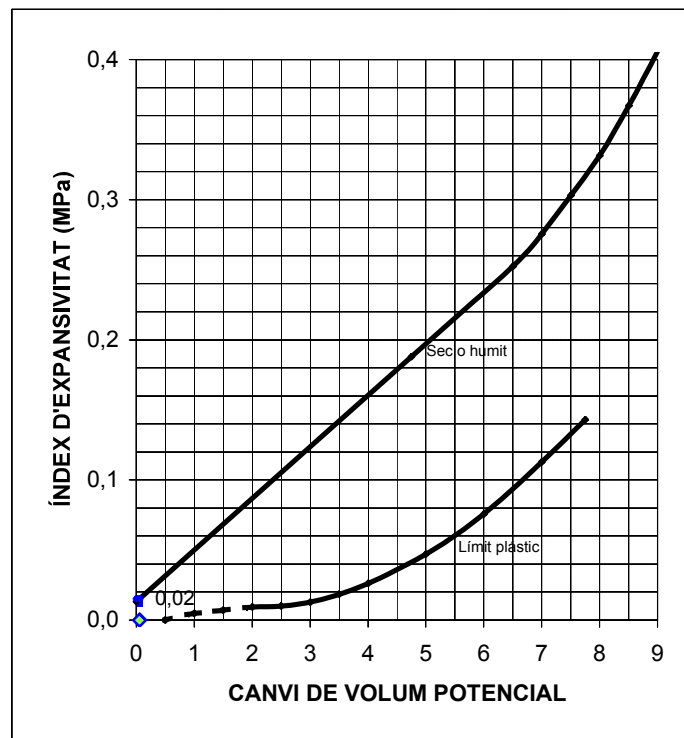
**ESTAT DE L'ASSAIG:** SEC

**SUPERFICIE DE LA SECCIÓ (cm<sup>2</sup>):** 38,48

#### RESULTATS DE L'ASSAIG:

**ÍNDEX D'EXPANSIVITAT (MPa):** 0,02

**CANVI DE VOLUM POTENCIAL:** 0,05      **No crític**



TÈCNIC RESPONSABLE DEL LABORATORI:

DIRECTOR TÈCNIC DEL LABORATORI:

SONIA LÓPEZ PACHA

MIGUEL LÓPEZ SOMOZA

## ACREDITACIÓ DELS LABORATORIS DE LA CONSTRUCCIÓ

PER LA GENERALITAT DE CATALUNYA - DECRET 257/2003 de 21 d'octubre

**NÚMERO D'EXPEDIENT:** 14747/07/06

**DATA:** 17-jul-06

**CLIENT:** AJUNTAMENT DE TARRAGONA

**DIRECCIÓ CLIENT:** Plaça de la Font, 1

**N.I.F.:** P-4315000-B

Tarragona

### **DADES DE L'OBRA:**

TIPUS D'OBRA: Estudi de sòls

DIRECCIÓ DE L'OBRA: Muralla de Tarragona

LOCALITAT: Tarragona

DESCRIPCIÓ DE MOSTRA: Reblert majoritàriament detrític

PROCEDÈNCIA: S-3 PROFUNDITAT (m): 2,00

### **DETERMINACIÓ DE LA HUMITAT NATURAL D'UN SÒL, UNE 103-300-93**

CONTINGUT EN HUMITAT (%): **7,80**

### **DETERMINACIÓ DE LA DENSITAT D'UN SÒL, UNE 103-301-94**

DENSITAT HUMIDA ( $\text{g/cm}^3$ ):

DENSITAT SECA ( $\text{g/cm}^3$ ):

### **DETERMINACIÓ DE LA DENSITAT RELATIVA D'UN SÒL, UNE 103-302-94**

PES ESPECÍFIC ( $\text{g/cm}^3$ ): **2,69**

### **DETERMINACIÓ DELS LÍMITS D'ATTERBERG D'UN SÒL, UNE 103-103-94 I 103-104-93**

LÍMIT LÍQUID (%): **NP**

LÍMIT PLÀSTIC (%): **NP**

ÍNDEX DE PLASTICITAT (%): **NP**

### **DETERMINACIÓ QUALITATIVA DEL CONTINGUT DE SULFATS SOL.LUBLES D'UN SÒL, UNE 103-202-95**

CONTINGUT QUALITATIU: **Negatiu**

TÈCNIC RESPONSABLE DEL LABORATORI:

DIRECTOR TÈCNIC DEL LABORATORI:

SONIA LÓPEZ PACHA

MIGUEL LÓPEZ SOMOZA



**LOSAN**  
MECANICA DEL SUELO, S.A.

- Àmbit d'assaigs de laboratori de geotècnia (GTL), assaigs bàsics,  
n. d'identificació: **06163GTL06(B)**, a 24 d'abril de 2006  
- Àmbit de sondeigs, presa de mostres i assaigs in situ per reconeixements  
geotècnics (GTC), assaigs bàsics,  
n. d'identificació: **06048GTC05(B)**, a 9 de setembre de 2005

## ACREDITACIÓ DELS LABORATORIS DE LA CONSTRUCCIÓ

PER LA GENERALITAT DE CATALUNYA - DECRET 257/2003 de 21 d'octubre

**NÚMERO D'EXPEDIENT:** 14747/07/06

**DATA:** 17-jul-06

**CLIENT:** AJUNTAMENT DE TARRAGONA

**DIRECCIÓ CLIENT:** Plaça de la Font, 1

**N.I.F.:** P-4315000-B

Tarragona

### DADES DE L'OBRA:

**TIPUS D'OBRA:** Estudi de sòls

**DIRECCIÓ DE L'OBRA:** Muralla de Tarragona

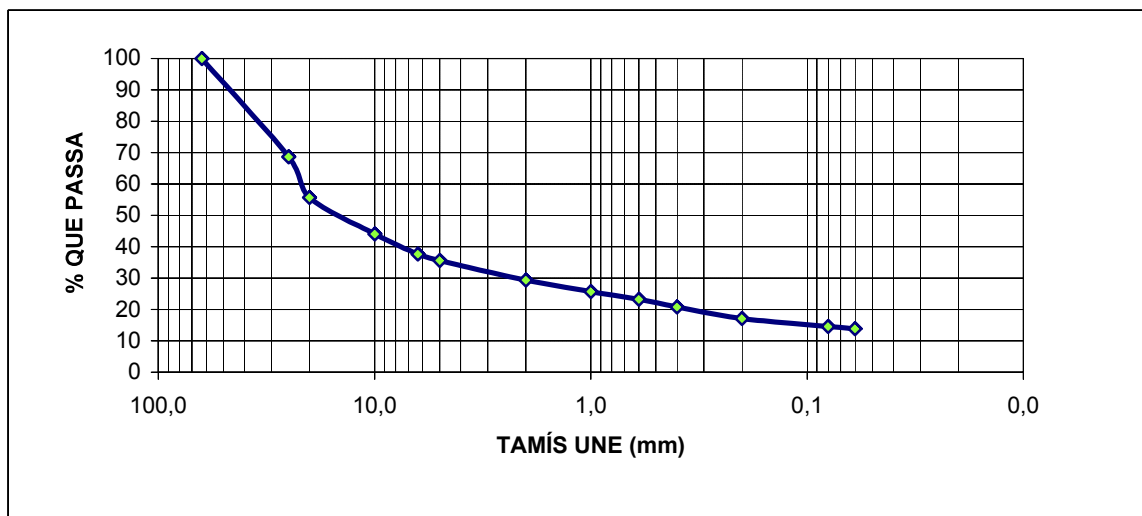
**LOCALITAT:** Tarragona

**DESCRIPCIÓ DE MOSTRA:** Reblert majoritàriament detrític

**PROCEDÈNCIA:** S-3      **PROFUNDITAT (m):** 2,00

### ANÀLISI GRANULOMÈTRIC DE SÒLS PER TAMISAT, UNE 103-101-95

TAMÍS UNE (mm):	63	25	20	10	6,3	5	2	1	0,6	0,4	0,2	0,08	0,06
% QUE PASSA:	100,0	68,7	55,8	44,0	37,7	35,6	29,4	25,8	23,3	20,8	17,1	14,6	13,9



CLASSIFICACIÓ DE CASAGRANDE

**GM**

**Barreja de graves, sorres i llims**

TÈCNIC RESPONSABLE DEL LABORATORI:

SONIA LÓPEZ PACHA

DIRECTOR TÈCNIC DEL LABORATORI:

MIGUEL LÓPEZ SOMOZA



## ACREDITACIÓ DELS LABORATORIS DE LA CONSTRUCCIÓ

PER LA GENERALITAT DE CATALUNYA - DECRET 257/2003 de 21 d'octubre

**NÚMERO D'EXPEDIENT:** 14747/07/06

**DATA:** 17-jul-06

**CLIENT:** AJUNTAMENT DE TARRAGONA

**DIRECCIÓ CLIENT:** Plaça de la Font, 1

**N.I.F.:** P-4315000-B

Tarragona

### DADES DE L'OBRA:

TIPUS D'OBRA: Estudi de sòls

DIRECCIÓ DE L'OBRA: Muralla de Tarragona

LOCALITAT: Tarragona

DESCRIPCIÓ DE MOSTRA: Reblert majoritàriament detrític

PROCEDÈNCIA: S-3 PROFUNDITAT (m): 2,00

### ASSAIG DE TALL DIRECTE EN SÒLS, UNE 103-401-98

#### CARACTERÍSTIQUES DE L'ASSAIG:

MOSTRA INALTERADA/REMOLDEJADA: **Remoldejada**

MODALITAT D'ASSAIG CD/CU/UU: **UU**

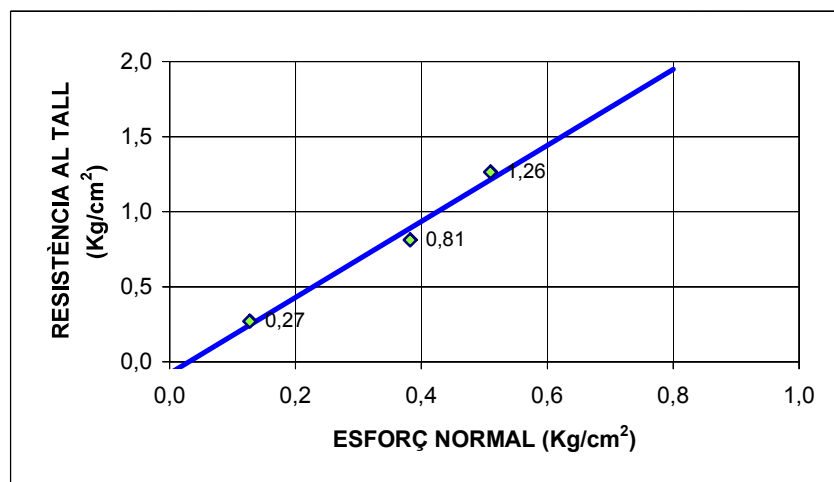
VELOCITAT DE L'ASSAIG (mm/min): **1,5**

SUPERFÍCIE DE LA SECCIÓ (cm<sup>2</sup>): **19,63**

#### RESULTATS DE L'ASSAIG:

TENSIÓ NORMAL (Kg/cm<sup>2</sup>): **0,1**      **0,4**      **0,5**

TENSIÓ TANGENCIAL MÀXIMA (Kg/cm<sup>2</sup>): **0,27**      **0,81**      **1,26**



COHESIÓ (Kg/cm<sup>2</sup>): **-0,08**

ANGLE DE FREGAMENT INTERN (°): **68**

TÈCNIC RESPONSABLE DEL LABORATORI:

DIRECTOR TÈCNIC DEL LABORATORI:

SONIA LÓPEZ PACHA

MIGUEL LÓPEZ SOMOZA



## ACREDITACIÓ DELS LABORATORIS DE LA CONSTRUCCIÓ

PER LA GENERALITAT DE CATALUNYA - DECRET 257/2003 de 21 d'octubre

**NÚMERO D'EXPEDIENT:** 14747/07/06

**DATA:** 17-jul-06

**CLIENT:** AJUNTAMENT DE TARRAGONA

**DIRECCIÓ CLIENT:** Plaça de la Font, 1

**N.I.F.:** P-4315000-B

Tarragona

### **DADES DE L'OBRA:**

**TIPUS D'OBRA:** Estudi de sòls

**DIRECCIÓ DE L'OBRA:** Muralla de Tarragona

**LOCALITAT:** Tarragona

**DESCRIPCIÓ DE MOSTRA:** Reblert majoritàriament cohesiu

**PROCEDÈNCIA:** S-3      **PROFUNDITAT (m):** 7,00

### **DETERMINACIÓ DE LA HUMITAT NATURAL D'UN SÒL, UNE 103-300-93**

**CONTINGUT EN HUMITAT (%):** 14,4

### **DETERMINACIÓ DE LA DENSITAT D'UN SÒL, UNE 103-301-94**

**DENSITAT HUMIDA (g/cm<sup>3</sup>):**

**DENSITAT SECA (g/cm<sup>3</sup>):**

### **DETERMINACIÓ DE LA DENSITAT RELATIVA D'UN SÒL, UNE 103-302-94**

**PES ESPECÍFIC (g/cm<sup>3</sup>):** 2,52

### **DETERMINACIÓ DELS LÍMITS D'ATTERBERG D'UN SÒL, UNE 103-103-94 I 103-104-93**

**LÍMIT LÍQUID (%):**

**LÍMIT PLÀSTIC (%):**

**ÍNDEX DE PLASTICITAT (%):**

### **DETERMINACIÓ QUALITATIVA DEL CONTINGUT DE SULFATS SOL.LUBLES D'UN SÒL, UNE 103-202-95**

**CONTINGUT QUALITATIU:**

**TÈCNIC RESPONSABLE DEL LABORATORI:**

SONIA LÓPEZ PACHA

**DIRECTOR TÈCNIC DEL LABORATORI:**

MIGUEL LÓPEZ SOMOZA



**LOSAN**  
MECÁNICA DEL SUELO, S.A.

- Àmbit d'assaigs de laboratori de geotècnia (GTL), assaigs bàsics,  
n. d'identificació: **06163GTL06(B)**, a 24 d'abril de 2006  
- Àmbit de sondeigs, presa de mostres i assaigs in situ per reconeixements  
geotècnics (GTC), assaigs bàsics,  
n. d'identificació: **06048GTC05(B)**, a 9 de setembre de 2005

## ACREDITACIÓ DELS LABORATORIS DE LA CONSTRUCCIÓ

PER LA GENERALITAT DE CATALUNYA - DECRET 257/2003 de 21 d'octubre

**NÚMERO D'EXPEDIENT:** 14747/07/06

**DATA:** 17-jul-06

**CLIENT:** AJUNTAMENT DE TARRAGONA

**DIRECCIÓ CLIENT:** Plaça de la Font, 1

**N.I.F.:** P-4315000-B

Tarragona

### **DADES DE L'OBRA:**

TIPUS D'OBRA: Estudi de sòls

DIRECCIÓ DE L'OBRA: Muralla de Tarragona

LOCALITAT: Tarragona

DESCRIPCIÓ DE MOSTRA: Reblert majoritàriament detrític

PROCEDÈNCIA: S-6 PROFUNDITAT (m): 2,00

### **DETERMINACIÓ DE LA HUMITAT NATURAL D'UN SÒL, UNE 103-300-93**

CONTINGUT EN HUMITAT (%): **5,1**

### **DETERMINACIÓ DE LA DENSITAT D'UN SÒL, UNE 103-301-94**

DENSITAT HUMIDA ( $\text{g/cm}^3$ ):

DENSITAT SECA ( $\text{g/cm}^3$ ):

### **DETERMINACIÓ DE LA DENSITAT RELATIVA D'UN SÒL, UNE 103-302-94**

PES ESPECÍFIC ( $\text{g/cm}^3$ ): **2,67**

### **DETERMINACIÓ DELS LÍMITS D'ATTERBERG D'UN SÒL, UNE 103-103-94 I 103-104-93**

LÍMIT LÍQUID (%):

LÍMIT PLÀSTIC (%):

ÍNDIX DE PLASTICITAT (%):

### **DETERMINACIÓ QUALITATIVA DEL CONTINGUT DE SULFATS SOL.LUBLES D'UN SÒL, UNE 103-202-95**

CONTINGUT QUALITATIU:

TÈCNIC RESPONSABLE DEL LABORATORI:

DIRECTOR TÈCNIC DEL LABORATORI:

SONIA LÓPEZ PACHA

MIGUEL LÓPEZ SOMOZA

### ACREDITACIÓ DELS LABORATORIS DE LA CONSTRUCCIÓ

PER LA GENERALITAT DE CATALUNYA - DECRET 257/2003 de 21 d'octubre

**NÚMERO D'EXPEDIENT:** 14747/07/06

**DATA:** 17-jul-06

**CLIENT:** AJUNTAMENT DE TARRAGONA

**DIRECCIÓ CLIENT:** Plaça de la Font, 1

**N.I.F.:** P-4315000-B

Tarragona

#### **DADES DE L'OBRA:**

**TIPUS D'OBRA:** Estudi de sòls

**DIRECCIÓ DE L'OBRA:** Muralla de Tarragona

**LOCALITAT:** Tarragona

**DESCRIPCIÓ DE MOSTRA:** Reblert majoritàriament detrític

**PROCEDÈNCIA:** S-6      **PROFUNDITAT (m):** 2,00

#### **DETERMINACIÓ DE L'EXPANSIVITAT D'UN SÒL, UNE 103-600-96**

#### **CARACTERÍSTIQUES DE L'ASSAIG:**

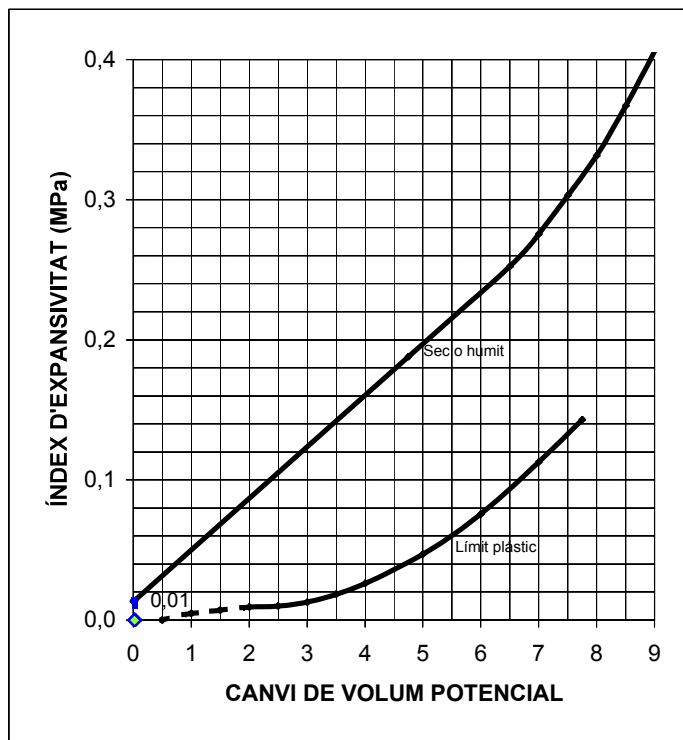
**ESTAT DE L'ASSAIG:** SEC

**SUPERFICIE DE LA SECCIÓ (cm<sup>2</sup>):** 38,48

#### **RESULTATS DE L'ASSAIG:**

**ÍNDEX D'EXPANSIVITAT (MPa):** 0,01

**CANVI DE VOLUM POTENCIAL:** 0,02      **No crític**



TÈCNIC RESPONSABLE DEL LABORATORI:

DIRECTOR TÈCNIC DEL LABORATORI:

SONIA LÓPEZ PACHA

MIGUEL LÓPEZ SOMOZA



**LOSAN**  
MECANICA DEL SUELO, S.A.

- Àmbit d'assaigs de laboratori de geotècnia (GTL), assaigs bàsics,  
n. d'identificació: **06163GTL06(B)**, a 24 d'abril de 2006  
- Àmbit de sondeigs, presa de mostres i assaigs in situ per reconeixements  
geotècnics (GTC), assaigs bàsics,  
n. d'identificació: **06048GTC05(B)**, a 9 de setembre de 2005

## ACREDITACIÓ DELS LABORATORIS DE LA CONSTRUCCIÓ

PER LA GENERALITAT DE CATALUNYA - DECRET 257/2003 de 21 d'octubre

**NÚMERO D'EXPEDIENT:** 14747/07/06

**DATA:** 17-jul-06

**CLIENT:** AJUNTAMENT DE TARRAGONA

**DIRECCIÓ CLIENT:** Plaça de la Font, 1

**N.I.F.:** P-4315000-B

Tarragona

### DADES DE L'OBRA:

**TIPUS D'OBRA:** Estudi de sòls

**DIRECCIÓ DE L'OBRA:** Muralla de Tarragona

**LOCALITAT:** Tarragona

**DESCRIPCIÓ DE MOSTRA:** Reblert majoritàriament detrític

**PROCEDÈNCIA:** S-6      **PROFUNDITAT (m):** 2,00

### ASSAIG DE TALL DIRECTE EN SÒLS, UNE 103-401-98

#### CARACTERÍSTIQUES DE L'ASSAIG:

**MOSTRA INALTERADA/REMOLDEJADA:** Remoldejada

**MODALITAT D'ASSAIG CD/CU/UU:** UU

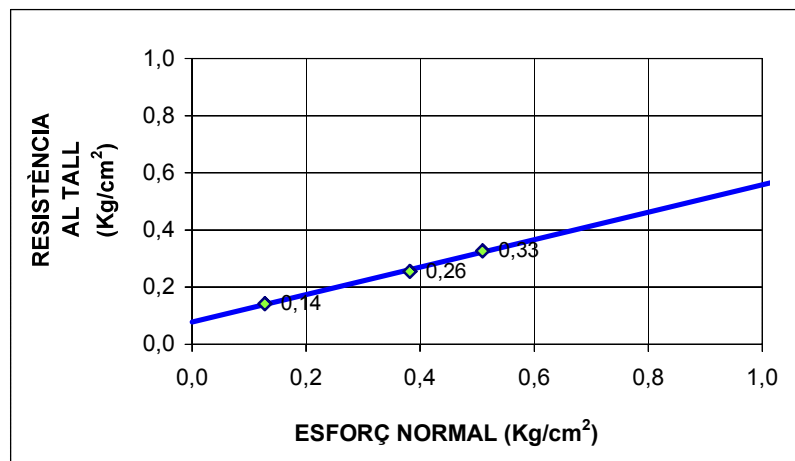
**VELOCITAT DE L'ASSAIG (mm/min):** 1,5

**SUPERFÍCIE DE LA SECCIÓ (cm<sup>2</sup>):** 19,63

#### RESULTATS DE L'ASSAIG:

**TENSIÓ NORMAL (Kg/cm<sup>2</sup>):** 0,1      0,4      0,5

**TENSIÓ TANGENCIAL MÀXIMA (Kg/cm<sup>2</sup>):** 0,14      0,26      0,33



**COHESIÓ (Kg/cm<sup>2</sup>):** 0,08

**ANGLE DE FREGAMENT INTERN (°):** 25,9

TÈCNIC RESPONSABLE DEL LABORATORI:

DIRECTOR TÈCNIC DEL LABORATORI:

SONIA LÓPEZ PACHA

MIGUEL LÓPEZ SOMOZA



**LOSAN**  
MECÁNICA DEL SUELO, S.A.

- Àmbit d'assaigs de laboratori de geotècnia (GTL), assaigs bàsics,  
n. d'identificació: **06163GTL06(B)**, a 24 d'abril de 2006  
- Àmbit de sondeigs, presa de mostres i assaigs in situ per reconeixements  
geotècnics (GTC), assaigs bàsics,  
n. d'identificació: **06048GTC05(B)**, a 9 de setembre de 2005

## ACREDITACIÓ DELS LABORATORIS DE LA CONSTRUCCIÓ

PER LA GENERALITAT DE CATALUNYA - DECRET 257/2003 de 21 d'octubre

**NÚMERO D'EXPEDIENT:** 14747/07/06

**DATA:** 17-jul-06

**CLIENT:** AJUNTAMENT DE TARRAGONA

**DIRECCIÓ CLIENT:** Plaça de la Font, 1

**N.I.F.:** P-4315000-B

Tarragona

### **DADES DE L'OBRA:**

**TIPUS D'OBRA:** Estudi de sòls

**DIRECCIÓ DE L'OBRA:** Muralla de Tarragona

**LOCALITAT:** Tarragona

**DESCRIPCIÓ DE MOSTRA:** Reblert majoritàriament cohesiu

**PROCEDÈNCIA:** S-7      **PROFUNDITAT (m):** 2,00

### **DETERMINACIÓ DE LA HUMITAT NATURAL D'UN SÒL, UNE 103-300-93**

**CONTINGUT EN HUMITAT (%):** 14,5

### **DETERMINACIÓ DE LA DENSITAT D'UN SÒL, UNE 103-301-94**

**DENSITAT HUMIDA (g/cm<sup>3</sup>):**

**DENSITAT SECA (g/cm<sup>3</sup>):**

### **DETERMINACIÓ DE LA DENSITAT RELATIVA D'UN SÒL, UNE 103-302-94**

**PES ESPECÍFIC (g/cm<sup>3</sup>):**

### **DETERMINACIÓ DELS LÍMITS D'ATTERBERG D'UN SÒL, UNE 103-103-94 I 103-104-93**

**LÍMIT LÍQUID (%):** 24,2

**LÍMIT PLÀSTIC (%):** 14,6

**ÍNDEX DE PLASTICITAT (%):** 9,7

### **DETERMINACIÓ QUALITATIVA DEL CONTINGUT DE SULFATS SOL.LUBLES D'UN SÒL, UNE 103-202-95**

**CONTINGUT QUALITATIU:**

**TÈCNIC RESPONSABLE DEL LABORATORI:**

SONIA LÓPEZ PACHA

**DIRECTOR TÈCNIC DEL LABORATORI:**

MIGUEL LÓPEZ SOMOZA



**LOSAN**  
MECANICA DEL SUELO, S.A.

- Àmbit d'assaigs de laboratori de geotècnia (GTL), assaigs bàsics,  
n. d'identificació: **06163GTL06(B)**, a 24 d'abril de 2006  
- Àmbit de sondeigs, presa de mostres i assaigs in situ per reconeixements  
geotècnics (GTC), assaigs bàsics,  
n. d'identificació: **06048GTC05(B)**, a 9 de setembre de 2005

## ACREDITACIÓ DELS LABORATORIS DE LA CONSTRUCCIÓ

PER LA GENERALITAT DE CATALUNYA - DECRET 257/2003 de 21 d'octubre

**NÚMERO D'EXPEDIENT:** 14747/07/06

**DATA:** 17-jul-06

**CLIENT:** AJUNTAMENT DE TARRAGONA

**DIRECCIÓ CLIENT:** Plaça de la Font, 1

**N.I.F.:** P-4315000-B

Tarragona

### DADES DE L'OBRA:

**TIPUS D'OBRA:** Estudi de sòls

**DIRECCIÓ DE L'OBRA:** Muralla de Tarragona

**LOCALITAT:** Tarragona

**DESCRIPCIÓ DE MOSTRA:** Reblert majoritàriament cohesiu

**PROCEDÈNCIA:** S-7      **PROFUNDITAT (m):** 2,00

### DETERMINACIÓ DE L'EXPANSIVITAT D'UN SÒL, UNE 103-600-96

#### CARACTERÍSTIQUES DE L'ASSAIG:

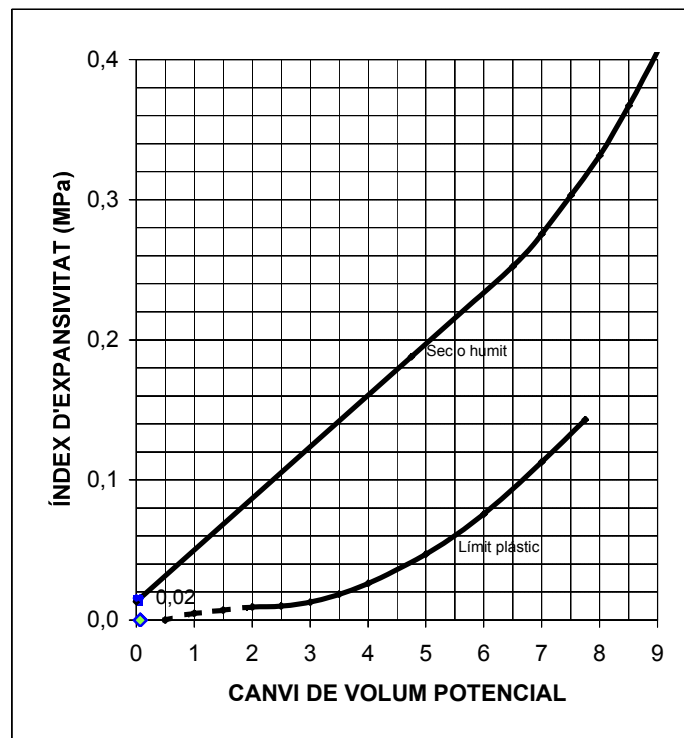
**ESTAT DE L'ASSAIG:** SEC

**SUPERFICIE DE LA SECCIÓ (cm<sup>2</sup>):** 38,48

#### RESULTATS DE L'ASSAIG:

**ÍNDEX D'EXPANSIVITAT (MPa):** 0,02

**CANVI DE VOLUM POTENCIAL:** 0,07      **No crític**



TÈCNIC RESPONSABLE DEL LABORATORI:

SONIA LÓPEZ PACHA

DIRECTOR TÈCNIC DEL LABORATORI:

MIGUEL LÓPEZ SOMOZA



**LOSAN**  
MECÁNICA DEL SUELO, S.A.

- Àmbit d'assaigs de laboratori de geotècnia (GTL), assaigs bàsics,  
n. d'identificació: **06163GTL06(B)**, a 24 d'abril de 2006  
- Àmbit de sondeigs, presa de mostres i assaigs in situ per reconeixements  
geotècnics (GTC), assaigs bàsics,  
n. d'identificació: **06048GTC05(B)**, a 9 de setembre de 2005

## ACREDITACIÓ DELS LABORATORIS DE LA CONSTRUCCIÓ

PER LA GENERALITAT DE CATALUNYA - DECRET 257/2003 de 21 d'octubre

**NÚMERO D'EXPEDIENT:** 14747/07/06

**DATA:** 17-jul-06

**CLIENT:** AJUNTAMENT DE TARRAGONA

**DIRECCIÓ CLIENT:** Plaça de la Font, 1

**N.I.F.:** P-4315000-B

Tarragona

### DADES DE L'OBRA:

**TIPUS D'OBRA:** Estudi de sòls

**DIRECCIÓ DE L'OBRA:** Muralla de Tarragona

**LOCALITAT:** Tarragona

**DESCRIPCIÓ DE MOSTRA:** Reblert majoritàriament cohesiu

**PROCEDÈNCIA:** S-7      **PROFUNDITAT (m):** 2,00

### ASSAIG DE TALL DIRECTE EN SÒLS, UNE 103-401-98

#### CARACTERÍSTIQUES DE L'ASSAIG:

**MOSTRA INALTERADA/REMOLDEJADA:** Remoldejada

**MODALITAT D'ASSAIG CD/CU/UU:** UU

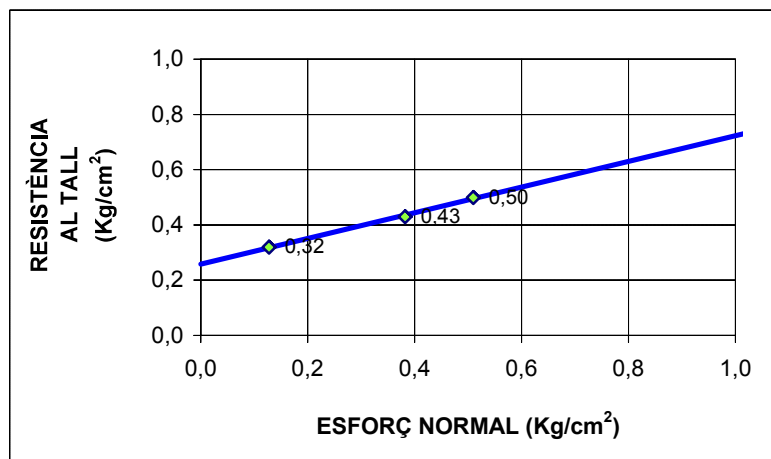
**VELOCITAT DE L'ASSAIG (mm/min):** 1,5

**SUPERFÍCIE DE LA SECCIÓ (cm<sup>2</sup>):** 19,63

#### RESULTATS DE L'ASSAIG:

**TENSIÓ NORMAL (Kg/cm<sup>2</sup>):** 0,1      0,4      0,5

**TENSIÓ TANGENCIAL MÀXIMA (Kg/cm<sup>2</sup>):** 0,32      0,43      0,50



**COHESIÓ (Kg/cm<sup>2</sup>):** 0,26

**ANGLE DE FREGAMENT INTERN (°):** 25,2

TÈCNIC RESPONSABLE DEL LABORATORI:

DIRECTOR TÈCNIC DEL LABORATORI:

SONIA LÓPEZ PACHA

MIGUEL LÓPEZ SOMOZA

## SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS - U.S.C.S.

GRUPOS PRINCIPALES			SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN DEL SUELO		
SUELOS DE GRANO GRUESO  Más del 50 % del material queda retenido sobre el tamiz nº 200	GRAVAS Y SUELOS DE GRAVAS Más del 50 % de la fracción gruesa queda retenida sobre el tamiz nº 4	GRAVAS LIMPIAS	GW	Gravas bien graduadas mezclas de gravas y arenas. Con pocos finos o sin ellos.		
			GP	Gravas mal graduadas. Mezclas de gravas y arenas. Con pocos finos o sin ellos.		
		GRAVAS CON FINOS Más del 12 % de finos	GM	Gravas limosas. Mezclas de grava-arena-limo.		
			GC	Gravas arcillosas. Mezclas de grava-arena-arcilla.		
	GRAVAS Y SUELOS ARENOSOS Más del 50 % de la fracción gruesa pasa por el tamiz nº 4	ARENAS LIMPIAS	SW	Arenas bien graduadas. Arenas con gravas. Con pocos finos o sin ellos.		
			SP	Arenas mal graduadas. Arenas con grava. Con pocos finos o sin ellos.		
		ARENAS CON FINOS Más del 12 % de finos	SM	Arenas limosas. Mezclas arena-limo.		
			SC	Arenas arcillosas. Mezclas arena-arcilla.		
			SUELOS DE GRANO FINO  Más del 50 % del material pasa por el tamiz nº 200	LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido menor de 50	ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas. Polvo de roca. Arenas finas limosas o arcillosas.
					CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media. Arcillas con gravas. Arcillas arenosas. Arcillas limosas. Arcillas magras.
OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas poco plásticas.					
LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido mayor de 50	MH	Limos inorgánicos. Arena fina micéica o de diatomeas. Limos plásticos.				
	CH	Arcillas inorgánicas muy plásticas. Arcillas grasas.				
	OH	Arcillas y limos orgánicos de plasticidad media a alta.				
	SUELOS ORGÁNICOS Muy compresibles y de fácil identificación, generalmente de color gris	PT		Turbas y suelos muy orgánicos.		



ALGUNOS SUELOS REPRESENTATIVOS EN BARCELONA Y CATALUÑA			
GRUPO	AMBIENTE SEDIMENTARIO	ÁREA EJEMPLO	SITUACIÓN
GW-GP GM-GC	Terrenos típicos de: rieras, torrentes, terrazas fluviales, cabeceras de piedemonte	- Sarrià - Gràcia - Horta - Bonanova	- C/ Major de Sarrià - IQS - C/ Torrent de l'Olla - C/ Amilcar - Pg. Maragall - C/ Mandri - Pg. Bonanova
SW-SP SM-SC	Terrenos típicos de: llanuras litorales, playas, deltas	- Zona del Maresme - Delta del Llobregat - Barcelona	- Calella, Canet - Prat de Llobregat - Av. Paralelo esq. C/ Lleida
ML CL	Terrenos típicos de: llanuras coluviales	- Zona central de Barcelona	- C/ Muntaner - C/ Balmes
OH PT	Terrenos típicos de: zonas pantanosas	- Poble Sec - Zona costera Baix Penedes - Delta del Ebro	- Avda. del Paralelo - Calafell - Amposta
Los datos contenidos en esta tabla deben tomarse con las debidas reservas y a título informativo por tratarse en algunos casos de zonas muy concretas.			

RELLENOS MÁS SIGNIFICATIVOS EN BARCELONA			
TIPO		CARACTERÍSTICAS	EJEMPLOS
RELLENOS INERTES	Heterogéneos	Vacíos rellenados y terraplenados de forma desordenada e incoherente por suelos, cascotes, hormigón, restos vegetales, ...	En sectores de Horta, L'Hospitalet, Badalona y en sectores muy concretos de la margen derecha del río Llobregat, son típicos este tipo de rellenos.
	Homogéneos compactados	Vacíos rellenados con materiales naturales (gravas, arenas, arcillas...) con compactación y control de los mismos	Rellenos de carreteras, urbanizaciones, polígonos y zonas urbanas. En zonas de San Andreu y L'Hospitalet contiguas al escarpe cuaternario, son frecuentes rellenos en ocasiones de 15 - 20 cm.
RELLENOS NO INERTES		Compuestos por residuos urbanos e industriales	Antiguos vertederos incontrolados, antiguas graveras y canteras. También algunos ejemplos son típicos de la margen derecha del río Llobregat.

BASE DE DATOS: ARCHIVOS LOSAN S.A.

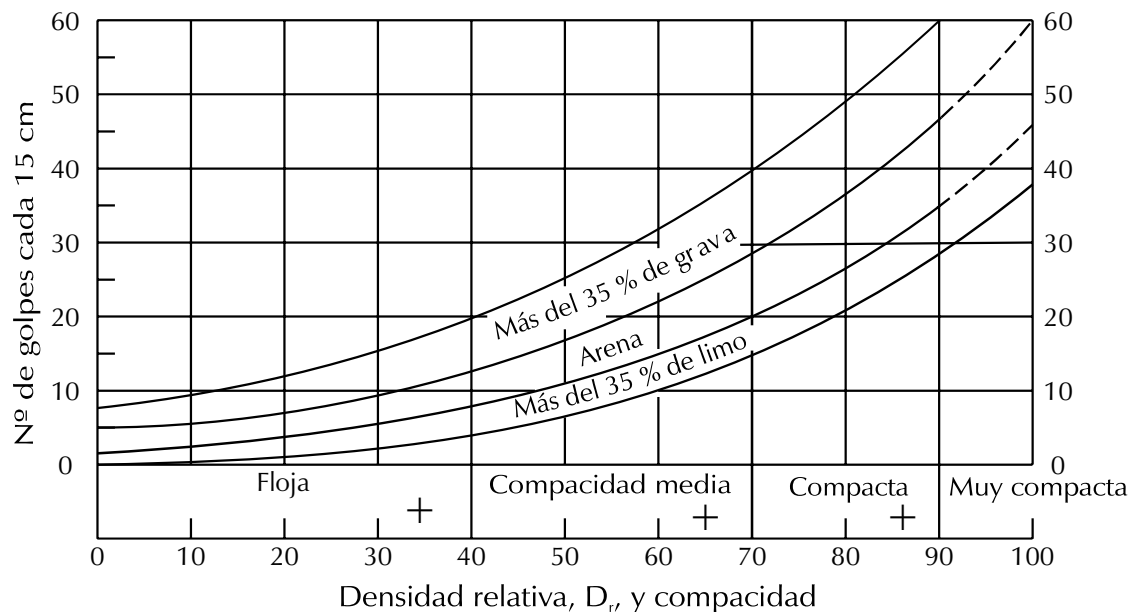
## UNIDADES MÁS UTILIZADAS EN MECÁNICA DEL SUELO

CANTIDAD	UNIDADES	SÍMBOLO	FACTORES DE CONVERSIÓN
Longitud	Micra Milímetro Metro Pulgada Pie	m mm m in ft	$1 \text{ m} = 10^{-6} \text{ m}$ $1 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ m}$ $1 \text{ in} = 25.4 \text{ mm}$ $1 \text{ ft} = 0.3048 \text{ m}$
Área	Milímetro cuadrado Metro cuadrado Pie cuadrado Pulgada cuadrado	$\text{mm}^2$ $\text{m}^2$ $\text{ft}^2$ $\text{in}^2$	$1 \text{ mm}^2 = 10^{-6} \text{ m}^2$ $1 \text{ ft}^2 = 0.0929 \text{ m}^2$ $1 \text{ in}^2 = 645.2 \text{ mm}^2$
Volumen	Centímetro cúbico Metro cúbico Mililitro Litro Yarda Galón	$\text{cm}^3$ $\text{m}^3$ ml l yd galón	$1 \text{ cm}^3 = 1 \text{ ml}$ $1 \text{ in}^3 = 16.39 \text{ cm}^3$ $1 \text{ ft}^3 = 28.32 \text{ l}$ $1 \text{ ft}^3 = 0.02832 \text{ m}^3$ $1 \text{ yd} = 0.7646 \text{ m}^3$ $1 \text{ galón} = 4.546 \text{ l}$
Masa	Gramo Kilogramo Tonelada Megagramo Libra	g Kg Tn Mg lb	$1 \text{ Tn} = 10^3 \text{ Kg}$ $1 \text{ Kg} = 10^3 \text{ g}$ $1 \text{ Mg} = 1.016 \text{ Tn}$ $1 \text{ lb} = 0.4536 \text{ Kg}$
Densidad	Toneladas por $\text{m}^3$ Gramos por $\text{cm}^3$	$\text{Tn}/\text{m}^3$ $\text{g}/\text{cm}^3$	$100 \text{ lb}/\text{ft}^3 = 1.602 \text{ Mg}/\text{m}^3 = 1.602 \text{ Tn}/\text{m}^3$ $1 \text{ gr}/\text{cm}^3 = 1 \text{ Tn}/\text{m}^3 = 1 \text{ Mg}/\text{m}^3$
Fuerza	Newton Kilonewton	N KN	$1 \text{ MN} = 1000 \text{ KN}$ $1 \text{ MN} = 100.36 \text{ Tn}$ $1 \text{ Kg} = 9.807 \text{ N}$ $1 \text{ lb} = 4.448 \text{ N}$ $1 \text{ Tn} = 9.964 \text{ KN}$
Presión	Kilonewton por $\text{m}^2$ bar	$\text{KN}/\text{m}^2$ bar	$1 \text{ lb}/\text{in}^2 = 6.895 \text{ KN}/\text{m}^2$ $1 \text{ bar} = 100 \text{ KN}/\text{m}^2$ $1 \text{ Tn}/\text{ft}^2 = 107.3 \text{ KN}/\text{m}^2$ $1 \text{ Kg}/\text{cm}^2 = 98.07 \text{ KN}/\text{m}^2$ $1 \text{ lb}/\text{ft}^2 = 0.04788 \text{ KN}/\text{m}^2$
Módulo de elasticidad	Newton por $\text{mm}^2$	$\text{N}/\text{mm}^2$	$1000 \text{ lb}/\text{ft}^2 = 0.04788 \text{ N}/\text{mm}^2$ $1 \text{ Tn}/\text{m}^2 = 15.44 \text{ N}/\text{mm}^2$
Coef. de consolidación	$\text{m}^2$ por año	$\text{m}^2/\text{año}$	$1 \text{ cm}^2/\text{sg} = 3154 \text{ m}^2/\text{año}$ $1 \text{ ft}/\text{año} = 0.029 \text{ m}^2/\text{año}$
Coef. de permeabilidad	metros por seg.	m/sg	$1 \text{ cm}/\text{sg} = 0.01 \text{ m}/\text{sg}$ $1 \text{ ft}/\text{año} = 0.03048 \text{ m}/\text{año}$ $1 \text{ ft}/\text{año} = 0.9651 \cdot 10^{-8} \text{ m}/\text{sg}$
Temperatura	Grados Celsius (centígrados)	C	$n \text{ F} = 0.556 \cdot (n-32) \text{ C}$

SUELOS DE GRANO GRUESO: GRAVAS, ARENAS. DENSIDAD RELATIVA EN FUNCIÓN DEL ENSAYO SPT	
DENSIDAD	GOLPEO SPT/ 30 cm
MUY FLOJO	< 4
FLOJO	5 a 10
MEDIANAMENTE DENSO	11 a 30
DENSO	31 a 50
MUY DENSO	> 50

SUELOS DE GRANO FINO: ARCILLAS, LIMOS. RESISTENCIA EN FUNCIÓN DE LA COHESIÓN		
DENSIDAD	COHESIÓN Kg/cm <sup>2</sup>	GOLPEO SPT/30 cm
MUY BLANDO	< 0.125	< 2
BLANDO	0.125 a 0.25	2 a 4
MOD. FIRME	0.25 a 0.50	4 a 8
FIRME	0.50 a 1	8 a 15
MUY FIRME	1 a 2	15 a 30
DURO	>2	> 30

CON DATOS OBTENIDOS EN ENSAYOS SPT SE PUEDE ESTIMAR LOS SIGUIENTES VALORES:



CARACTERÍSTICAS DEL SPT:

-MAZA  
-ALTURA DE CAÍDA  
-DIÁMETRO DE PERFORACIÓN

63.5 Kg  
76.2 cm  
3.5 - 5.1 cm





**ANNEX 4 – ESTUDI D'ESTABILITAT**  
Arquitecte: Joan C. Gavaldà



## 1.- Antecedentes

A raíz del derrumbamiento de noviembre de 2005, en la que cayó un tramo de unos veinticinco metros de la hoja interior de la muralla en la zona del Huerto del Arzobispo, se ha planteado la necesidad de determinar hasta qué punto nos encontramos delante de un elemento estructuralmente estable y, si es así, qué es su grado de seguridad.

El hecho es especialmente preocupante dadas las características monumentales y de uso público del conjunto, y más todavía cuando repasando las referencias históricas, se constata que se han ido produciendo este tipo de derribo accidental en anteriores ocasiones.

Son significativamente relevantes, por la documentación que se conserva de los posteriores trabajos arqueológicos y de reparación, los deslizamientos producidos entre 1932 y 1936:

1932, hoja externa al constado de la Torre de Santo Magín

1935, hoja externa en un tramo entre el Fortín Negro y el Portal del Roser

1936, hoja interna a la zona del Matadero

Estas dos últimas tuvieron un parecido extraordinario en forma y magnitud con la de 2005:

a.- Se desmorona un tramo importante de uno de los lienzos de la muralla, dejando a cuerpo descubierto el reblimiento de tierras.

b.- El lienzo está formado por sillares de piedra de entre 70 y 80 cm. de grueso.

c.- Rotura por esbombamiento de la zona baja, involucrando gran cantidad de material, el que denota la existencia real de empujón del relleno sobre los lienzos exteriores.

## 2.- Propuesta de estudio:

Con este antecedentes y por tal de cuantificar correctamente cuál es la magnitud de los empujones del relleno interior entre los dos hojas de sillares, se encargan por parte del Ayuntamiento de Tarragona, unos estudios geofísicos y geotécnicos que permitirán conocer la composición y las características físicas del relleno interior, así como también su variabilidad en toda la extensión de la muralla.

A partir de los dos estudios hemos podido ver qué materiales componen el relleno y cuál es su estratigrafía general a lo largo de todo el recorrido. En resumen se diferencian entre dos materiales básicos:

a.- El relleno mayoritariamente cohesivo

b.- El relleno mayoritariamente las características de los cuales se resumen en el siguiente cuadro:

**CONDICIONES NO SATURADAS**

	Peso específico aparente (T/m <sup>3</sup> )	Ángulo rozamiento (°)	Cohesión (kg/cm <sup>2</sup> )
Relleno básicamente. Cohesivo	1,68-1,73	24,3-25,2	0,18-0,26
Relleno básicamente Detrítico	1,59-1,63	20-25,9	0,08-0,18

**CONDICIONES SATURADAS**

Relleno básicamente. Cohesivo	1,89-1,94	9-15,2	0,28-0,37
Relleno básicamente Detrítico	1,98-2,02	20-25,9	0,08-0,18

A parte de los datos numéricos, se puede observar en primer lugar el bajo ángulo de rozamiento que comporta unos empujones elevados. Y como se modifica en caso de saturación en el relleno cohesivo, todo y el pequeño aumento de la cohesión.

### 3.- Criterios de cálculo

La comprobación de la estabilidad se hace a nivel de la sección global de la muralla, no se tienen en cuenta, por lo tanto, los fallos locales debidos al deterioro de la piedra de los sillares. Este puede traer a fallas locales tan graves como las generales por el efecto en cadena que produce.

A partir de los datos del estudio geotécnico se han estudiado las secciones tipos de los cuatro perfiles propuestos, correspondiente en concreto a los sondeos S1, S3, S5 y S7, con las siguientes situaciones:

Terreno seco y terreno saturado.

Rozamiento relleno-muro 0°.

Se analiza la seguridad en vuelco.

No se tiene en cuenta el colapso por el deslizamiento horizontal entre sillares.

No se analiza el muro a nivel tensional.

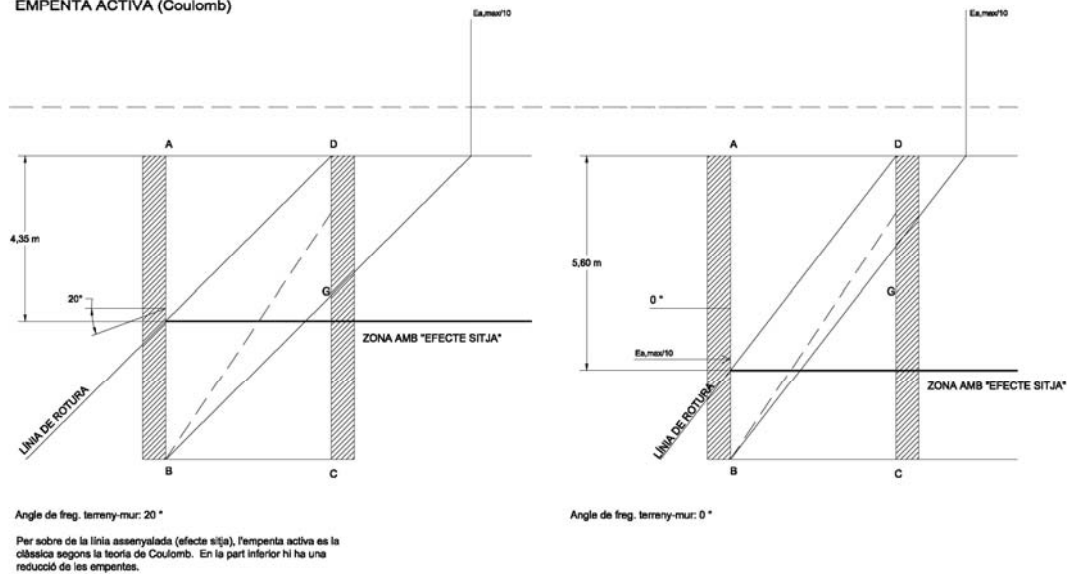
El estudio se realiza según los empujones activos de la teoría de Coulomb para terrenos granulares. Pero, por tal de tener una aproximación más real, se analiza también la situación de equilibrio en presencia del término de la cohesión, rebajando el diagrama de empujones.

Por otra parte, no se tiene en cuenta el efecto silo que comporta la existencia de dos muros de contención paralelos. La reducción de la situación de empujón que comporta, tal y como se ve en la figura, en este caso es poco significativa y se produce a una hondura considerable, a partir de 4,35 y 5,60 m, según el tipo de rozamiento terreno-muro que se considere.

Los esquemas anteriores nos permiten ver también como la inclinación de la línea de rotura hace que el mecanismo que produce los empujones a las hojas exteriores, involucre todo el grueso del relleno de la muralla.



#### EMPENTA ACTIVA (Coulomb)



#### 4.- Análisis de los resultados y conclusiones

En resumen de los resultados de los cálculos realizados se puede ver que efectivamente, en el caso de una situación con el terreno saturado por la aportación del agua de la lluvia infiltrada directamente al relleno por la superficie del paso de ronda, o por otras aportaciones debidas a la vecindad de la muralla, la seguridad al vuelco tiene un coeficiente inferior al de cotas relativamente pequeñas.

En cualquier caso, teniendo en cuenta el efecto favorable de la cohesión del terreno, la situación de las secciones de muralla rebuscadas -que se pueden generalizar- no tienen una situación de seguridad suficiente, por tal de garantizar la seguridad de las personas y la integridad del monumento.

**MURALLA DE TARRAGONA, COMPROVACIÓN DE SEGURIDAD**

SITUACIÓN Perfil 1-1". Sondeo S-1

Ancho hoja sillares (m)	0,8
Peso hoja exterior (T/m3)	2,4
Distancia entre hojas (m)	4
Muro superior, Ancho (m):	0,45
Alto (m):	0,90
Peso (T/m3):	2,00

DATOS ESTUDIO		Terreno no saturado		Ang. freg	Peso esp ap.	Cohesión	$\lambda_s$	$(\lambda_s)^{0,5}$
GEOTÉCNICO		Estrato	cota sup. estrat	$\phi$	$\gamma$ (T/m3)	(T/m2)		
	mat. Detritico	1		20	1,63	0,8	0,49	0,7
	mat. Cohesivo	2	2,25	24	1,73	1,8	0,49	0,7
		terreno saturado		Ang. freg	Peso esp ap.	Cohesión	$\lambda_s$	$(\lambda_s)^{0,5}$
		Estrato		$\phi$	$\gamma$ (T/m3)	(T/m2)		
	mat. Detritico	1		20	2,02	0,8	0,49	0,7
	mat. Cohesivo	2		9	1,94	2,8	0,49	0,7

**SEGURIDAD DEL TRAMO CONSIDERANDO EL TÉRMINO DE COHESIÓN (TERRENO SATURADO Y NO SATURADO)**

Perfil 1-1". Sondeo S-1

H	Estrato	Empuje H No saturado	Empuje H Saturado	M. volcador No saturado	M. volcador Saturado	MOMENTO ESTABILIZ.	COEF. SEG. NO SATURAD.	COEF. SEG. SATURADO	COEF. SEG. >1.8
1,00	1					1,09	>100	>100	ok !!
1,25	1					1,28	>100	>100	ok !!
1,50	1					1,48	>100	>100	ok !!
1,75	1					1,67	>100	>100	ok !!
2,00	1					1,86	>100	>100	ok !!
2,25	2				0,14	2,05	>100	14,51	ok !!
2,50	2		0,29		0,66	2,24	>100	3,40	ok !!
2,75	2		0,66		1,03	2,44	>100	2,36	ok !!
3,00	2	0,24	1,10	0,84	1,50	2,63	3,13	1,76	NO
3,25	2	0,58	1,59	1,21	2,09	2,82	2,33	1,35	NO
3,50	2	0,97	2,14	1,67	2,81	3,01	1,80	1,07	NO
3,75	2	1,42	2,76	2,24	3,67	3,20	1,43	0,87	NO
4,00	2	1,91	3,44	2,92	4,70	3,40	1,16	0,72	NO
4,25	2	2,46	4,18	3,73	5,91	3,59	0,96	0,61	NO
4,50	2	3,05	4,99	4,69	7,31	3,78	0,81	0,52	NO
4,75	2	3,69	5,85	5,80	8,91	3,97	0,68	0,45	NO
5,00	2	4,39	6,78	7,08	10,74	4,16	0,59	0,39	NO
5,25	2	5,13	7,77	8,53	12,81	4,36	0,51	0,34	NO
5,50	2	5,93	8,82	10,18	15,14	4,55	0,45	0,30	NO
5,75	2	6,77	9,93	12,04	17,73	4,74	0,39	0,27	NO
6,00	2	7,66	11,10	14,11	20,61	4,93	0,35	0,24	NO
6,25	2	8,61	12,34	16,41	23,80	5,12	0,31	0,22	NO
6,50	2	9,60	13,64	18,95	27,30	5,32	0,28	0,19	NO
6,75	2	10,64	15,00	21,75	31,13	5,51	0,25	0,18	NO
7,00	2	11,74	16,42	24,81	35,31	5,70	0,23	0,16	NO
7,25									
7,50									
7,75									
8,00									
8,25									
8,50									
8,75									

**SEGURIDAD DEL TRAMO SIN CONSIDERAR EL TÉRMINO DE COHESIÓN (TERRENO SATURADO Y NO SATURADO)**

Perfil 1-1". Sondeo S-1

H	Estrato	Empuje H No saturado	Empuje H Saturado	M. volcador No saturado	M. volcador Saturado	MOMENTO ESTABILIZ.	COEF. SEG. NO SATURAD.	COEF. SEG. SATURADO	COEF. SEG. >1.8
1,00	1	0,40	0,50	0,13	0,17	1,09	8,20	6,62	ok !!
1,25	1	0,62	0,77	0,26	0,32	1,28	4,94	3,98	ok !!
1,50	1	0,90	1,11	0,45	0,66	1,48	3,28	2,65	ok !!
1,75	1	1,22	1,52	0,71	0,98	1,67	2,34	1,89	ok !!
2,00	1	1,60	1,98	1,07	1,32	1,86	1,75	1,41	NO
2,25	2	2,02	2,51	1,52	1,88	2,05	1,35	1,09	NO
2,50	2	2,50	3,09	2,59	3,21	2,24	0,87	0,70	NO
2,75	2	3,02	3,74	3,78	4,69	2,44	0,64	0,52	NO
3,00	2	3,60	4,46	5,11	6,34	2,63	0,51	0,41	NO
3,25	2	4,22	5,23	6,60	8,17	2,82	0,43	0,35	NO
3,50	2	4,89	6,07	8,24	10,21	3,01	0,37	0,29	NO
3,75	2	5,62	6,96	10,06	12,46	3,20	0,32	0,26	NO
4,00	2	6,39	7,92	12,06	14,95	3,40	0,28	0,23	NO
4,25	2	7,22	8,94	14,27	17,69	3,59	0,25	0,20	NO
4,50	2	8,09	10,03	16,69	20,68	3,78	0,23	0,18	NO
4,75	2	9,02	11,17	19,33	23,96	3,97	0,21	0,17	NO
5,00	2	9,99	12,38	22,21	27,53	4,16	0,19	0,15	NO
5,25	2	11,01	13,65	25,34	31,41	4,36	0,17	0,14	NO
5,50	2	12,09	14,98	28,73	35,61	4,55	0,16	0,13	NO
5,75	2	13,21	16,37	32,40	40,15	4,74	0,15	0,12	NO
6,00	2	14,39	17,83	36,36	45,05	4,93	0,14	0,11	NO
6,25	2	15,61	19,34	40,61	50,33	5,12	0,13	0,10	NO
6,50	2	16,88	20,92	45,18	55,99	5,32	0,12	0,09	NO
6,75	2	18,21	22,56	50,07	62,05	5,51	0,11	0,09	NO
7,00	2	19,58	24,26	55,29	68,52	5,70	0,10	0,08	NO
7,25									
7,50									
7,75									
8,00									
8,25									
8,50									
8,75									

NOTAS: 1.-Se considera ángulo derozamiento, muro-terreno 0°. Por tanto no hay componente vertical de empuje.  
2.- Los empujes se calculan sin efecto silo (se produce a partir de 5,2 m, de profundidad aprox.)

**MURALLA DE TARRAGONA, COMPROVACIÓN DE SEGURIDAD**

SITUACIÓN Perfil 2-2'. Sondeo S-3

Ancho hoja sillares (m)	0,8
Peso exterior (T/m3)	2,4
Distancia entre hojas (m)	4
Muro superior.	Ancho (m): 0,45
	Alto (m): 0,90
	Peso (T/m3): 2,00

DATOS ESTUDIO		Terreno no saturado		Ang. freg	Peso esp apa	Cohesión	$\lambda_s$	$(\lambda_s)^{0,5}$
GEOTÉCNICO		Estrato	cota sup. Est.	$\phi$	$\gamma$ (T/m3)	(T/m2)		
	mat. Detritico	1		20	1,63	0,8	0,49	0,7
	mat. Cohesivo	2	6	24	1,73	1,8	0,49	0,7
		terreno saturado		Ang. freg	Peso esp apa	Cohesión	$\lambda_s$	$(\lambda_s)^{0,5}$
		Estrato		$\phi$	$\gamma$ (T/m3)	(T/m2)		
	mat. Detritico	1		20	2,02	0,8	0,49	0,7
	mat. Cohesivo	2		9	1,94	2,8	0,49	0,7

**SEGURIDAD DEL TRAMO CONSIDERADO EL TÉRMINO DE COHESIÓN (TERRENO SATURADO Y NO SATURADO)**

Perfil 2-2'. Sondeo S-3

H	Estrato	Empuje H No saturado	Empuje H Saturado	M. volcador No saturado	M. volcador Saturado	MOMENTO ESTABILIZ.	COEF. SEG. NO SATURAD.	COEF. SEG. SATURADO	COEF. SEG. >1.8
1,00	1					1,09	>100	>100	ok !!
1,25	1					1,28	>100	>100	ok !!
1,50	1					1,48	>100	>100	ok !!
1,75	1					1,67	>100	>100	ok !!
2,00	1					1,86	>100	>100	ok !!
2,25	1					2,05	>100	>100	ok !!
2,50	1					2,24	>100	9,16	ok !!
2,75	1		0,29		0,25	2,44	>100	4,00	ok !!
3,00	1	0,24	1,10	0,13	1,10	2,63	20,97	2,40	ok !!
3,25	1	0,58	1,59	0,36	1,72	2,82	7,90	1,64	NO
3,50	1	0,97	2,14	0,68	2,50	3,01	4,42	1,20	NO
3,75	1	1,42	2,76	1,11	3,45	3,20	2,89	0,93	NO
4,00	1	1,91	3,44	1,66	4,59	3,40	2,05	0,74	NO
4,25	1	2,46	4,18	2,33	5,93	3,59	1,54	0,61	NO
4,50	1	3,05	4,99	3,15	7,48	3,78	1,20	0,51	NO
4,75	1	3,69	5,85	4,12	9,26	3,97	0,96	0,43	NO
5,00	1	4,39	6,78	5,26	11,30	4,16	0,79	0,37	NO
5,25	1	5,13	7,77	6,58	13,59	4,36	0,66	0,32	NO
5,50	1	5,93	8,82	8,09	16,17	4,55	0,56	0,28	NO
5,75	1	6,77	9,93	9,81	19,03	4,74	0,48	0,25	NO
6,00	2	7,66	11,10	25,90	33,57	4,93	0,19	0,15	NO
6,25	2	8,61	12,34	30,24	38,89	5,12	0,17	0,13	NO
6,50	2	9,60	13,64	34,82	44,53	5,32	0,15	0,12	NO
6,75	2	10,64	15,00	39,66	50,51	5,51	0,14	0,11	NO
7,00	2	11,74	16,42	44,77	56,83	5,70	0,13	0,10	NO
7,25									
7,50									
7,75									
8,00									
8,25									
8,50									
8,75									

**SEGURIDAD DEL TRAMO SIN CONSIDERAR EL TÉRMINO DE COHESIÓN (TERRENO SATURADO Y NO SATURADO)**

Perfil 2-2'. Sondeo S-3

H	Estrato	Empuje H No saturado	Empuje H Saturado	M. volcador No saturado	M. volcador Saturado	MOMENTO ESTABILIZ.	COEF. SEG. NO SATURAD.	COEF. SEG. SATURADO	COEF. SEG. >1.8
1,00	1	0,40	0,50	0,13	0,17	1,09	8,20	6,62	ok !!
1,25	1	0,62	0,77	0,26	0,32	1,28	4,94	3,98	ok !!
1,50	1	0,90	1,11	0,45	0,56	1,48	3,28	2,65	ok !!
1,75	1	1,22	1,52	0,71	0,88	1,67	2,34	1,89	ok !!
2,00	1	1,60	1,98	1,07	1,32	1,86	1,75	1,41	NO
2,25	1	2,02	2,51	1,52	1,88	2,05	1,35	1,09	NO
2,50	1	2,50	3,09	2,08	2,58	2,24	1,08	0,87	NO
2,75	1	3,02	3,74	2,77	3,43	2,44	0,88	0,71	NO
3,00	1	3,60	4,46	3,60	4,46	2,63	0,73	0,59	NO
3,25	1	4,22	5,23	4,57	5,67	2,82	0,62	0,50	NO
3,50	1	4,89	6,07	5,71	7,08	3,01	0,53	0,43	NO
3,75	1	5,62	6,96	7,02	8,70	3,20	0,46	0,37	NO
4,00	1	6,39	7,92	8,52	10,56	3,40	0,40	0,32	NO
4,25	1	7,22	8,94	10,22	12,67	3,59	0,35	0,28	NO
4,50	1	8,09	10,03	12,14	15,04	3,78	0,31	0,25	NO
4,75	1	9,02	11,17	14,27	17,69	3,97	0,28	0,22	NO
5,00	1	9,99	12,38	16,65	20,63	4,16	0,25	0,20	NO
5,25	1	11,01	13,65	19,27	23,89	4,36	0,23	0,18	NO
5,50	1	12,09	14,98	22,16	27,46	4,55	0,21	0,17	NO
5,75	1	13,21	16,37	25,32	31,38	4,74	0,19	0,15	NO
6,00	2	14,39	17,83	28,77	35,65	4,93	0,17	0,14	NO
6,25	2	15,61	19,34	36,11	44,76	5,12	0,14	0,11	NO
6,50	2	16,88	20,92	43,77	54,24	5,32	0,12	0,10	NO
6,75	2	18,21	22,56	51,75	64,14	5,51	0,11	0,09	NO
7,00	2	19,58	24,26	60,07	74,44	5,70	0,09	0,08	NO
7,25									
7,50									
7,75									
8,00									
8,25									
8,50									
8,75									

NOTAS: 1.-Se considera ángulo derozamiento, muro-terreno 0°. Por tanto no hay componente vertical de empuje.  
2.- Los empujes se calculan sin efecto silo (se produce a partir de 5,2 m, de profundidad aprox.)

MURALLA DE TARRAGONA. COMPROVACIÓN DE SEGURIDAD

SITUACIÓN Perfil 3-3', Sondeo S-5

Ancho hoja sillares (m)	0,8
Peso hoja exterior (T/m3)	2,4
Distancia entre hojas (m)	4
Muro superior.	
Ancho (m):	0,45
Alto (m):	0,90
Peso (T/m3):	2,00

DATOS ESTUDIO		Terreno no saturado		Ang. freg	Peso esp apa	Cohesión	$\lambda_n$	$(\lambda_n)^{0,5}$
GEOTÉCNICO	Estrato	cota sup. Estra.	$\phi$	$\gamma$ (T/m3)	$\gamma$ (T/m3)	(T/m2)		
mat. Cohesivo	1	24	1,73	1,8	0,42	0,65		
mat. Detritico	2	2,5	20	1,63	0,8	0,49		0,7
		terreno saturado		Ang. freg	Peso esp apa	Cohesión	$\lambda_n$	$(\lambda_n)^{0,5}$
	Estrato	$\phi$	$\gamma$ (T/m3)	$\gamma$ (T/m3)	(T/m2)			
mat. Cohesivo	1	9	1,94	2,8	0,73	0,85		
mat. Detritico	2	20	2,02	0,8	0,49	0,7		

SEGURIDAD DEL TRAMO CONSIDERANDO EL TÉRMINO DE COHESIÓN (TERRENO SATURADO Y NO SATURADO)

Perfil 3-3', Sondeo S-5		Empuje H		M. volcador		MOMENTO	COEF. SEG.	COEF. SEG.	COEF. SEG.
H	Estrato	No saturado	Saturado	No saturado	Saturado	ESTABILIZ.	NO SATURAD.	SATURADO	>1,8
1,00	1					1,09	>100	>100	ok !!
1,25	1					1,28	>100	>100	ok !!
1,50	1					1,48	>100	>100	ok !!
1,75	1					1,67	>100	>100	ok !!
2,00	1					1,86	>100	>100	ok !!
2,25	1					2,05	>100	>100	ok !!
2,50	2		0,29		0,36	2,24	>100	6,29	ok !!
2,75	2		0,66		0,69	2,44	>100	3,53	ok !!
3,00	2	0,24	1,10	0,59	1,12	2,63	4,44	2,34	ok !!
3,25	2	0,58	1,59	0,93	1,67	2,82	3,02	1,69	NO
3,50	2	0,97	2,14	1,37	2,35	3,01	2,20	1,28	NO
3,75	2	1,42	2,76	1,91	3,18	3,20	1,68	1,01	NO
4,00	2	1,91	3,44	2,56	4,17	3,40	1,32	0,81	NO
4,25	2	2,46	4,18	3,35	5,34	3,59	1,07	0,67	NO
4,50	2	3,05	4,99	4,28	6,70	3,78	0,88	0,56	NO
4,75	2	3,69	5,85	5,36	8,26	3,97	0,74	0,48	NO
5,00	2	4,39	6,78	6,61	10,06	4,16	0,63	0,41	NO
5,25	2	5,13	7,77	8,05	12,09	4,36	0,54	0,36	NO
5,50	2	5,93	8,82	9,67	14,38	4,56	0,47	0,32	NO
5,75	2	6,77	9,93	11,50	16,93	4,74	0,41	0,28	NO
6,00	2	7,66	11,10	13,54	19,78	4,93	0,36	0,25	NO
6,25	2	8,61	12,34	15,81	22,92	5,12	0,32	0,22	NO
6,50	2	9,60	13,64	18,33	26,38	5,32	0,29	0,20	NO
6,75	2	10,64	15,00	21,10	30,18	5,51	0,26	0,18	NO
7,00	2	11,74	16,42	24,14	34,32	5,70	0,24	0,17	NO
7,25									
7,50									
7,75									
8,00									
8,25									
8,50									
8,75									

SEGURIDAD DEL TRAMO SIN CONSIDERAR EL TÉRMINO DE COHESIÓN (TERRENO SATURADO Y NO SATURADO)

Perfil 3-3', Sondeo S-5		Empuje H		M. volcador		MOMENTO	COEF. SEG.	COEF. SEG.	COEF. SEG.
H	Estrato	No saturado	Saturado	No saturado	Saturado	ESTABILIZ.	NO SATURAD.	SATURADO	>1,8
1,00	1	0,36	0,71	0,12	0,24	1,09	8,98	4,63	ok !!
1,25	1	0,57	1,11	0,24	0,46	1,28	5,41	2,79	ok !!
1,50	1	0,82	1,59	0,41	0,80	1,48	3,60	1,85	ok !!
1,75	1	1,12	2,17	0,65	1,26	1,67	2,56	1,32	NO
2,00	1	1,46	2,83	0,97	1,89	1,86	1,91	0,99	NO
2,25	1	1,85	3,58	1,39	2,69	2,05	1,48	0,76	NO
2,50	2	2,50	3,09	1,90	3,69	2,24	1,16	0,61	NO
2,75	2	3,02	3,74	3,10	6,01	2,44	0,79	0,41	NO
3,00	2	3,60	4,46	4,42	8,57	2,63	0,59	0,31	NO
3,25	2	4,22	5,23	5,89	11,38	2,82	0,48	0,25	NO
3,50	2	4,89	6,07	7,51	14,46	3,01	0,40	0,21	NO
3,75	2	5,62	6,96	9,29	17,83	3,20	0,35	0,18	NO
4,00	2	6,39	7,92	11,24	21,49	3,40	0,30	0,16	NO
4,25	2	7,22	8,94	13,39	25,47	3,59	0,27	0,14	NO
4,50	2	8,09	10,03	15,73	29,77	3,78	0,24	0,13	NO
4,75	2	9,02	11,17	18,29	34,42	3,97	0,22	0,12	NO
5,00	2	9,99	12,38	21,08	39,43	4,16	0,20	0,11	NO
5,25	2	11,01	13,65	24,11	44,82	4,36	0,18	0,10	NO
5,50	2	12,09	14,98	27,38	50,60	4,55	0,17	0,09	NO
5,75	2	13,21	16,37	30,93	56,78	4,74	0,15	0,08	NO
6,00	2	14,39	17,83	34,74	63,39	4,93	0,14	0,08	NO
6,25	2	15,61	19,34	38,85	70,43	5,12	0,13	0,07	NO
6,50	2	16,88	20,92	43,25	77,93	5,32	0,12	0,07	NO
6,75	2	18,21	22,56	47,98	85,90	5,51	0,11	0,06	NO
7,00	2	19,58	24,26	53,03	94,35	5,70	0,11	0,06	NO
7,25									
7,50									
7,75									
8,00									
8,25									
8,50									
8,75									

NOTAS: 1.-Se considera ángulo derozamiento, muro-terreno 0°. Por tanto no hay componente vertical de empuje.  
2.- Los empujes se calculan sin efecto silo (se produce a partir de 5,2 m. de profundidad aprox.)

**MURALLA DE TARRAGONA, COMPROVACIÓN DE SEGURIDAD**

SITUACIÓN Perfil 4-4', Sondeo S-7

Ancho hoja sillares (m)	0,8
Peso hoja exterior (T/m3)	2,4
Distancia entre hojas (m)	4
Muro superior, Ancho (m):	0,45
Alto (m):	0,90
Peso (T/m3):	2,00

DATOS VERANO		Terreno no saturat		Ang. freg	Peso esp apa	Cohesión	$\lambda_h$	$(\lambda_h)^{0,5}$
GEOTÉCNICO		Estrato	cota sup. Estra.	$\phi$	$\gamma$ (T/m3)	(T/m2)		
mat. Cohesivo	1		24	1,73	1,8	0,42	0,65	
mat. detritic	2	3,5	20	1,63	0,8	0,49	0,7	
		Terreno saturado		Ang. freg	Peso esp apa	Cohesión	$\lambda_h$	$(\lambda_h)^{0,5}$
		Estrato	$\phi$	$\gamma$ (T/m3)	(T/m2)			
mat. Cohesivo	1		9	1,94	2,8	0,73	0,85	
mat. Detritico	2		20	2,02	0,8	0,49	0,7	

**SEGURIDAD DEL TRAMO CONSIDERANDO EL TÉRMINO DE COHESIÓN (TERRENO SATURADO Y NO SATURADO)**

Perfil 4-4', Sondeo S-7

H	Estrato	Empuje H No saturado	Empuje H Saturado	M. volcador No saturado	M. volcador Saturado	MOMENTO ESTABILIZ.	COEF. SEG. NO SATURAD.	COEF. SEG. SATURADO	COEF. SEG. >1,8
1,00	1					1,09	>100	>100	ok !!
1,25	1					1,28	>100	>100	ok !!
1,50	1					1,48	>100	>100	ok !!
1,75	1					1,67	>100	>100	ok !!
2,00	1					1,86	>100	>100	ok !!
2,25	1					2,05	>100	>100	ok !!
2,50	1					2,24	>100	>100	ok !!
2,75	1					2,44	>100	>100	ok !!
3,00	1					2,63	>100	>100	ok !!
3,25	1					2,82	>100	>100	ok !!
3,50	2	0,97	2,14	1,23	2,19	3,01	2,44	1,37	NO
3,75	2	1,42	2,76	1,74	2,97	3,20	1,85	1,08	NO
4,00	2	1,91	3,44	2,36	3,90	3,40	1,44	0,87	NO
4,25	2	2,46	4,18	3,10	5,02	3,59	1,16	0,72	NO
4,50	2	3,05	4,99	4,00	6,32	3,78	0,95	0,60	NO
4,75	2	3,69	5,85	5,04	7,84	3,97	0,79	0,51	NO
5,00	2	4,39	6,78	6,26	9,58	4,16	0,67	0,43	NO
5,25	2	5,13	7,77	7,65	11,56	4,36	0,57	0,38	NO
5,50	2	5,93	8,82	9,23	13,79	4,55	0,49	0,33	NO
5,75	2	6,77	9,93	11,02	16,29	4,74	0,43	0,29	NO
6,00	2	7,66	11,10	13,03	19,08	4,93	0,38	0,26	NO
6,25	2	8,61	12,34	15,27	22,18	5,12	0,34	0,23	NO
6,50	2	9,60	13,64	17,75	25,58	5,32	0,30	0,21	NO
6,75	2	10,64	15,00	20,48	29,32	5,51	0,27	0,19	NO
7,00	2	11,74	16,42	23,48	33,41	5,70	0,24	0,17	NO
7,25									
7,50									
7,75									
8,00									
8,25									
8,50									
8,75									

**SEGURIDAD DEL TRAMO SIN CONSIDERAR EL TÉRMINO DE COHESIÓN (TERRENO SATURADO Y NO SATURADO)**

Perfil 4-4', Sondeo S-7

H	Estrato	Empuje H No saturado	Empuje H Saturado	M. volcador No saturado	M. volcador Saturado	MOMENTO ESTABILIZ.	COEF. SEG. NO SATURAD.	COEF. SEG. SATURADO	COEF. SEG. >1,8
1,00	1	0,36	0,71	0,12	0,24	1,09	8,98	4,63	ok !!
1,25	1	0,57	1,11	0,24	0,46	1,28	5,41	2,79	ok !!
1,50	1	0,82	1,59	0,41	0,90	1,48	3,80	1,85	ok !!
1,75	1	1,12	2,17	0,65	1,26	1,67	2,56	1,32	NO
2,00	1	1,46	2,83	0,97	1,89	1,86	1,91	0,99	NO
2,25	1	1,85	3,58	1,39	2,69	2,05	1,48	0,76	NO
2,50	1	2,28	4,42	1,90	3,69	2,24	1,18	0,61	NO
2,75	1	2,76	5,35	2,53	4,91	2,44	0,96	0,50	NO
3,00	1	3,28	6,37	3,28	6,37	2,63	0,80	0,41	NO
3,25	1	3,85	7,47	4,17	8,10	2,82	0,68	0,35	NO
3,50	2	4,89	6,07	5,21	10,11	3,01	0,58	0,30	NO
3,75	2	5,62	6,96	7,53	14,60	3,20	0,43	0,22	NO
4,00	2	6,39	7,92	10,02	19,42	3,40	0,34	0,17	NO
4,25	2	7,22	8,94	12,69	24,58	3,59	0,28	0,15	NO
4,50	2	8,09	10,03	15,56	30,09	3,78	0,24	0,13	NO
4,75	2	9,02	11,17	18,64	35,97	3,97	0,21	0,11	NO
5,00	2	9,99	12,38	21,94	42,24	4,16	0,19	0,10	NO
5,25	2	11,01	13,65	25,48	48,92	4,36	0,17	0,09	NO
5,50	2	12,09	14,98	29,26	56,01	4,55	0,16	0,08	NO
5,75	2	13,21	16,37	33,30	63,53	4,74	0,14	0,07	NO
6,00	2	14,39	17,83	37,62	71,51	4,93	0,13	0,07	NO
6,25	2	15,61	19,34	42,22	79,95	5,12	0,12	0,06	NO
6,50	2	16,88	20,92	47,11	88,86	5,32	0,11	0,06	NO
6,75	2	18,21	22,56	52,32	98,28	5,51	0,11	0,06	NO
7,00	2	19,58	24,26	57,85	108,20	5,70	0,10	0,05	NO
7,25									
7,50									
7,75									
8,00									
8,25									
8,50									
8,75									

NOTAS: 1.-Se considera ángulo derozamiento, muro-terreno 0°. Por tanto no hay componente vertical de empuje.  
2.- Los empujes se calculan sin efecto silo (se produce a partir de 5,2 m, de profundidad aprox.)





**ANNEX 5 – ESTUDI COMPLEMENTARI D'ESTABILITAT**

Arquitecte: Robert Brufau





El abajo firmante, Robert Brafaú i Niubó, Dr. Arquitecto, con domicilio en la C/ Herzegovina, 23 de Barcelona, actuando en el ejercicio libre de su profesión, ha sido requerido por Jaume Costa, Arquitecto, que actúa en representación del Departamento de Cultura de Tarragona, para emitir el siguiente:

## **INFORME PREVIO**

Sobre el estado de la Muralla de Tarragona, afectada por unos desprendimientos patológicos, que se han sucedido en diferentes períodos.

### **ANTECEDENTES**

El 15 de noviembre de 2005 se produjo un derrumbamiento en un tramo de 20 m. aproximadamente de la hoja interna de la muralla en el sector del Huerto del Arzobispo. A raíz de estos desprendimientos, se redactaron los siguientes Informes que se han entregado:

- INFORME Y PROPUESTA DE ACTUACIÓN URGENTE EN LA MURALLA DE TARRAGONA, firmado por Joan Figuerola y Joan C. Gavaldà, con fecha Noviembre de 2005.
- INFORME ARQUEOLÓGICO, firmado por Joan Menchon y Immaculada Teixell, con fecha Noviembre de 2005.
- Estudio Geotécnico realizado por Losan con número de expediente: 14747.07.06, con fecha Julio de 2006.

Toda esta documentación ha sido analizada.

El pasado 7 de septiembre de 2006, el abajo firmante, acompañado por Clara Bretón, arquitecta de BOMA, se personaron en Tarragona, visitando algunos tramos de la muralla, objeto de este informe. Fueron acompañados por Joan Figuerola, Joan C. Gavaldà y Jaume Costa. Se tomaron numerosas fotografías de las zonas visitadas.

Se redacta el presente informe, en base a la visita y la documentación entregada, destacando como datos más relevantes las que se desprenden del Estudio Geotécnico que se concretan en 7 sondeos a percusión en diferentes puntos del relleno de la muralla romana.

### **ANÁLISIS**

A partir de los datos resultantes de los 7 sondeos del Estudio Geotécnico, se han analizado diferentes secciones del muro, sometiéndose a los empujes producidos por el terreno tanto en la situación en seco como en situación de saturación, y con las diferentes variantes del relleno definidas en el Estudio Geotécnico: relleno mayoritariamente cohesivo y relleno mayormente detrítico.

Los parámetros de fregamiento del terreno son, en general, bajos, dando unos coeficientes de empuje bastante elevados.

El ángulo de fregamiento del relleno detrítico tanto en seco como en saturado, esta alrededor de 20-25°. El relleno cohesivo en seco esta alrededor de 25°, mientras que en saturación es de 10°.

Se ha hecho un primero encaje a partir de los datos del Estudio Geotécnico, que tienen una gran variabilidad según puntos sondeados, obteniendo resultados orientativos, que servirán para tener una cierta idea global de la estabilidad actual de la muralla.

Por otro lado se ha examinado el material fotográfico realizado durante la visita y el que figura el Informe recibido.

Se señala, por ejemplo, que en la foto núm. 3 del paso de ronda del sector archivo (Informe de Joan Figuerola y Joan C. Gavaldà), la importante erosión de los sillares con pérdida importante de su sección, generando zonas muy debilitadas, lo que no ayuda a la estabilidad.

En las fotografías núm. 1, 2 y 3 adjuntas en este Informe, se ven sillares totalmente degradados, que se deshacen con la mano.

Se observan sillares muy cavados en la parte inferior del muro, precisamente donde mayor son los esfuerzos (fotos núm. 4 y núm. 5).

## CONCLUSIONES

En líneas generales, la muralla será reforzada en bastantes tramos, ya que se encuentran en una situación de peligro inminente.

El cálculo numérico desarrollado da, como resultado, que a más del 75% de las secciones comprobadas no ofrezcan el nivel de seguridad suficiente en frente a la volcada, siendo el margen de seguridad inferior a 1,00 en más de la mitad de ellas. Las compresiones a las que queda sometido el muro tampoco son aceptables, teniendo en cuenta la dimensión real de los sillares, que en muy pocos casos están erosionados y presentan menos sección. Por otra parte se ven tramos de muro reconstruido con mampostería, lo que mejora la situación, a pesar de que no es una solución definitiva.

Las condiciones iniciales del reblert entre los dos muros, tal como se explica en el Informe de Joan Figuerola y Joan C. Gavaldà, estaba realizado con tobas apiladas que, por su geometría, casi no producen empujes sobre los muros. Este material, con el paso del tiempo y los efectos de la penetración del agua, se ha ido degradando, provocando empujes sobre los muros, muy superiores a las iniciales, habiendo, hasta algunas secciones que sorprenden que todavía estén en pie.

En opinión del abajo firmante se tendría que actuar:

Colocando unos perfiles provisionales para la cara exterior de cada muro, a una tercera parte de la altura de la muralla des del coronamiento de esta, uniendo las dos hojas con anclajes, por tal de autoestabilizar el conjunto.

En una segunda etapa se tendría que hacer un vaciado de las tierras del interior de la muralla para poder colocar unas vigas ancladas a los muros que los autoetabilizadores definitivamente. Estas vigas podrían emplazarse a nivel del actual pavimento superior, y se utilizarían para construir un forjado debidamente impermeabilizante que evite las filtraciones de agua.



**ANNEX 6 – CONSIDERACIONS SOBRE LA MURALLA ROMANA**  
Arquitecte: Fructuós Mañà



## IMPORTÀNCIA DE LA QUALITAT DEL NUCLI EN PARETS A LA ROMANA

Se'm pregunta si és possible l'estabilitat d'una paret amb el nucli farcit de terra i si té lògica intentar substituir-lo de forma sistemàtica, sigui per injeccions de portland o calç o bé sigui per substitució amb "agulles" resistents de morters o de formigons, armats o no (amb la tècnica dels micropilons desenvolupada per Fondedile, per exemple).

Se suposa que la paret de referència no mostra símptomes d'aixafament ni de desvinculació (per vinclament) de les capes carreuades exterior i interior.

Per començar sembla adequat esmentar alguns del teoremes de Heyman sobre les solucions constructives d'abans.

*"Si al retirar las cimbras de un arbotante se sostiene durant 5 minutos, entonces lo hará durante 500 años".*

*"Si la cimentación de una estructura de fábrica permite pequeños movimientos, estos nunca provocarán por si mismos el colapso de la estructura".*

Dels quals teoremes en podem extreure la següent generalització:

Tot allò que, subjecte a accions laterals, es va aguantar quan les pastes eren toves s'aguantarà encara millor en el futur amb les pastes endurides per carbonatació. En situació límit, la no rigidesa pot ser una propietat favorable respecte la estabilitat del conjunt.

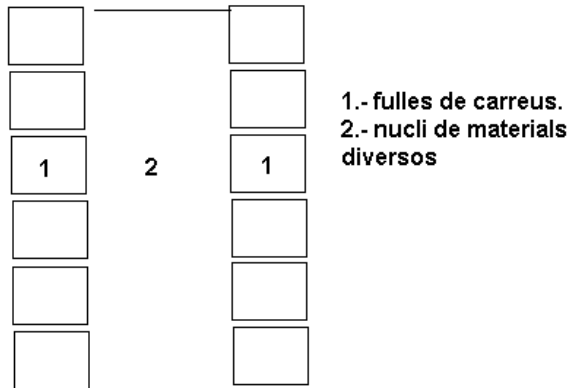
També sembla oportú esmentar la forma com es va produir la fallida dels pilars del cimbori de la catedral de Sevilla al 1888 ja que aquests pilars així com la resta de la nau es van construir molt de pressa, segons el coetanis, i sempre va tenir problemes d'estabilitat per causa de la mala qualitat dels materials ( i, afegiríem, per causa dels diversos terratrèmols que la van afectar al llarg de la seva vida).



*"Empieza por notar-se una quiebra vertical, desde unos cinco metros del pavimento en el frente del arco toral de la Epístola, En seguida se presenta otra bajo el arco diagonal del mismo lado, y se desprende un pequeño trozo de piedra, Se ve, inmediatamente, abrirse en el mismo costado y a la altura, como de diez metros, una hienda transversal inclinada al crucero, cae otro trozo de piedra, mayor que el anterior, por cuyo hueco empieza a vaciarse el pilar y, a los pocos instantes, se produce el derrumbamiento general de este apoyo y de las partes de bóvedas que en él descansan, y que arrastran, a más, en pos de sí, las ramas de los arcos torales y las porciones de embovedamientos que son, directamente, contrarrestados por los elementos similares caídos."*

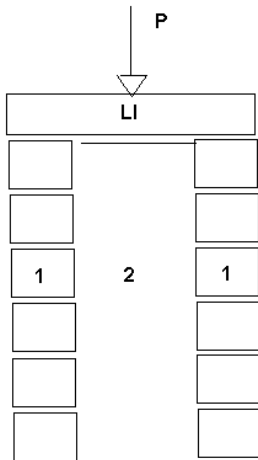
## 1.- Estimació del comportament en front càrregues verticals

Per a fer una primera estimació de com es comporten les paret mixtes front les càrregues verticals, adoptarem com referència la següent secció:



Nota: el nucli pot haver estat tractat de molt diverses formes: com un formigó de importants característiques (Roma), com una paret de tàpia on els carreus fan el paper de encofrats, sigui tàpia de terra a seques o tàpia real (estabilitzada amb calç). És molt probable que en aquesta darrera situació, la calç (una calç de mala qualitat procedent d'una cocció per sota de la temperatura idònia) no arribés a carbonatar-se mai i, segons la seva situació, banyada més o menys per aigua de pluja, acabés desapareixent.

### 1.1.- Anàlisi del comportament en estat elàstic.



on **P**.- és la càrrega aplicada a una paret de tres fulls per mitjà d'una llinda **LI** que homogeneïtza la deformació del coronament dels tres fulls.

S'assenyalen amb un **1** els fulls exterior i interior que són molt més rígids que el farcit **2**.

La deformació dels dos materials és la mateixa per efecte de la llinda, per tant,  $\epsilon_1 = \epsilon_2$ , és dir  $\sigma_1 / E_1 = \sigma_2 / E_2$  la qual cosa implica que  $\sigma_1 = E_1 \cdot \sigma_2 / E_2$

Si diem **n** a la relació  $E_1 / E_2$  (entre els mòduls d'elasticitat dels dos materials, sent  $E_1 > E_2$ ), podem concloure que la tensió que adopta el material més rígid,  $\sigma_1$ , és igual a **n** vegades la tensió del que ho és menys,  $\sigma_2$ .

Si **E1** d'una fàbrica de carreus és de l'ordre de **1000 · fk** (sent **fk** la resistència característica de la compressió d'una fàbrica, segon l'eurocodi) i aquesta resistència pot ser de l'ordre dels **200 kf/cm2** podem concloure que **E1** és de l'ordre **E1 = 200.000 kf/cm2**.

Si **E2** és el de una terra ben compactada confinada lateralment (el mòdul d'elasticitat l'hauríem de substituir pel mòdul edomètric), pot ser de l'ordre de **100-250 kf/cm2**.

El valor de **n** seria el de **n = E1 / E2 = 100.000/100 = 1000**

La càrrega que aniria a para al nucli, **P2**, i la que aniria al revestiment, **P1** les podríem deduir de les següents equacions:

$$P1 + P2 = P$$

$$P1 / A1 = E1 \cdot P2 / ( E2 \cdot P1 )$$

Si fem que **R1 = A1 · E1** i **R2 = A2 · E2**, podem escriure :

**P1 = R1 · P2 / R2** i que **P1 + P2 = P** que formen un sistema de dos equacions, on la solució val:

$$P1 = P \cdot R1 / ( R1 + R2 )$$

$$P2 = P \cdot R2 / ( R1 + R2 )$$

Si **E1** és molt més gran que **E2** (tal i com passaria en un cas com el proposat), **R1** tendeix a ser molt més gran que **R2** i, per tant, **P1** tendeix al valor de **P**, i la càrrega que va a para al nucli és pràcticament nul·la.

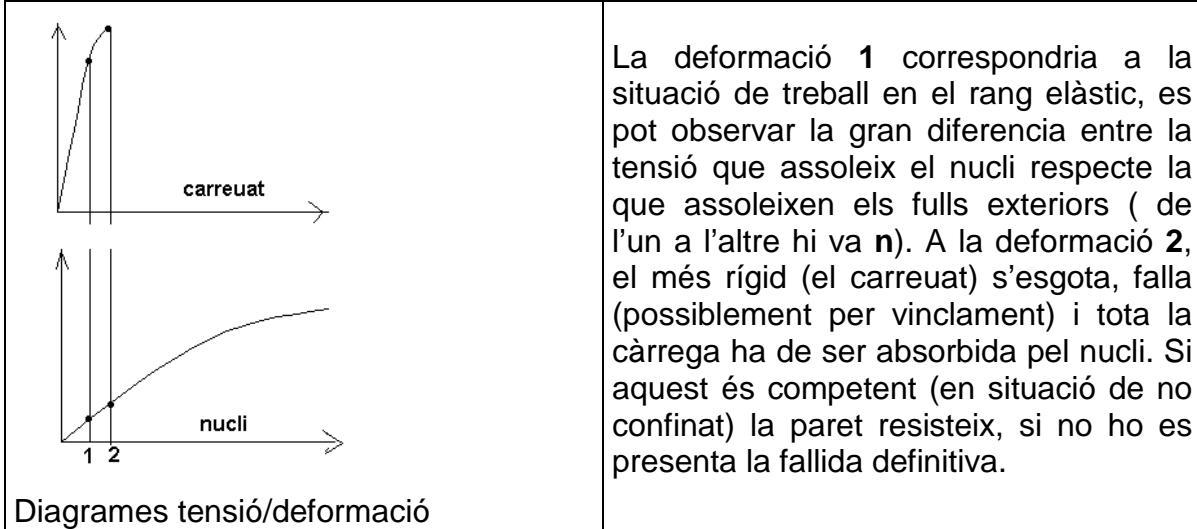
## 1.2.- Anàlisi en la ruptura.

Es molt probable que si quasi tota la càrrega va a para al revestiment pensem que el primer col·lapse sobrevindria per causa del vinclament dels fulls de carreus exteriors. De presentar-se aquesta situació, de cop, la càrrega passaria tota ella al farcit del nucli. Si aquest fos competent per a resistir la totalitat de la càrrega, la paret sobreviuria, però si aquest no ho fos (com podria ser el cas dels nuclis especialment tous com els de terra), el col·lapse final es produiria poc després que s'observés el vinclament dels fulls exteriors, donant la sensació d'una fallida en cadena. Que és el cas de la fallida del pilars de la Catedral de Sevilla que hem esmentat abans.

Una vegada més cal pensar en que s'ha d'evitar, de totes a totes, el vinclament dels fulls exteriors amb la disposició d'elements constructius específics que els arriostren (com poden ser grans peces passadores tal i com va fer la construcció romana, de forma sistemàtica), o, en altre cas, el nucli ha d'estar preparat per a resistir la totalitat de la càrrega. En la realitat Roma va fer les dues coses, amb

grans peces passadores que vinculaven els dos fulls de carreus i un nucli absolutament competent per a resistir el que fos. Aquesta pràctica, com tantes altres, va davallar en la construcció medieval.

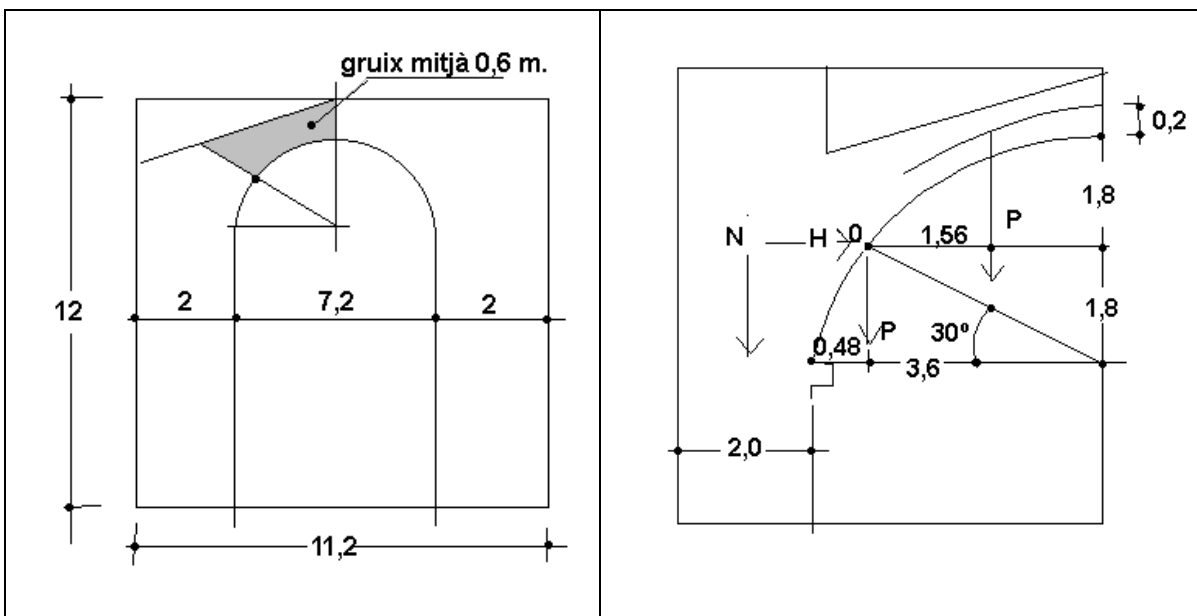
Sobre el diagrama tensió/deformació podem observar el mateix:



## 2.- Estimació del comportament sota efectes combinats.

### 2.1.- La elecció del model:

Prenem com referència una nau "ad quadratum" de seguretat **2**.



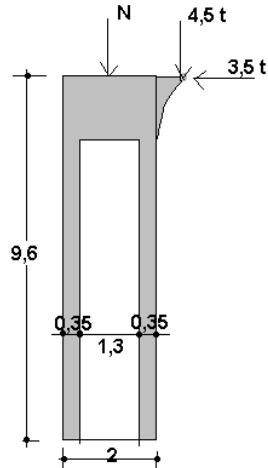
$H \cdot 2 = P \cdot 1,56$  de on  $H = 0,78 \cdot P$  de on  $H = 0,78 \times 0,6 \times 3,12 \times 2,4 = 3,5 \text{ t}$   
 $N$  (pes paret) =  $2 \times 12 \times 2,2 = 52,8 \text{ t}$



$M_b$  (bolcada) =  $3,5 \times (12 - 1,8 + 0,6) - 4,49 \times (0,48 + 1) = 33,6 - 6,65 = 26,95 \text{ m}\cdot\text{t}$   
 $M_e$  (estabilitzant) =  $52,8 \times 1 = 52,8 \text{ m}\cdot\text{t}$   
 El coeficient de seguretat, val  $\gamma = 52,8 / 26,95 = 2$  (aprox.)

**2.2.- Sobre la façana d'aquest model plantegem una anàlisi per elements finits per a posar en evidència la importància de les característiques mecàniques en el comportament del conjunt:**

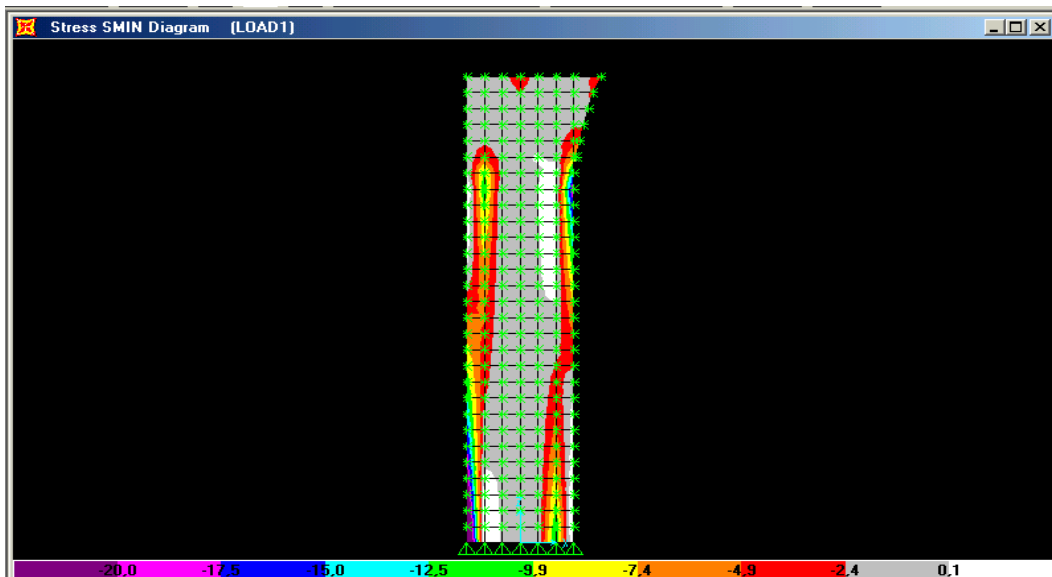
La geometria:



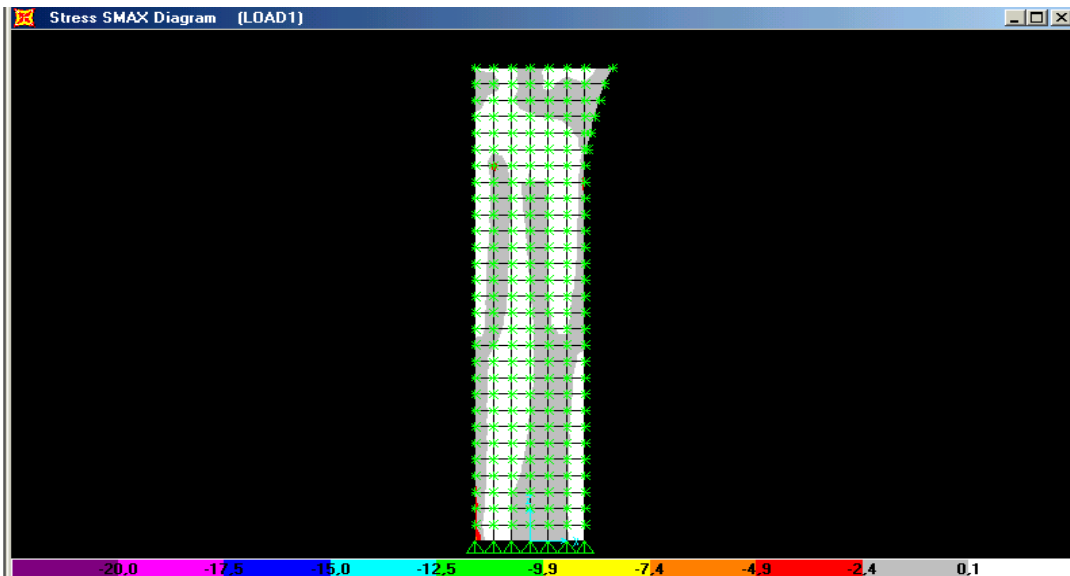
on  $N = (12 - 9,6) \times 2 \times 2,2 = 10,56 \text{ t}$  (densitat mur  $2,2 \text{ t/m}^3$ )

a).- Anàlisi en el cas que el nucli tingués una rigidesa de  $E = 250 \text{ kf/cm}^2$ . i una resistència a la tracció inferior al valor convencional de  $0,1 \text{ kf/cm}^2$ . La densitat del material del nucli és  $1,8 \text{ t/m}^3$ . La paret de pedra li atribuïm una densitat de  $2,4 \text{ t/m}^3$  i un mòdul d'elasticitat de  $E = 200.000 \text{ kf/cm}^2$ .

1.- Tensions principals de compressió (fonamentalment són verticals), en  $\text{kf/cm}^2$



## 2.- Tensions principals de tracció (combinació de tallants i normals), en kf/cm2



Es representa en blanc quan la tensió principal supera el límit convencional de 0,1 kf/cm2 (tracció) i en morat quan se supera el límit de - 20 kf/cm2 (compressió).

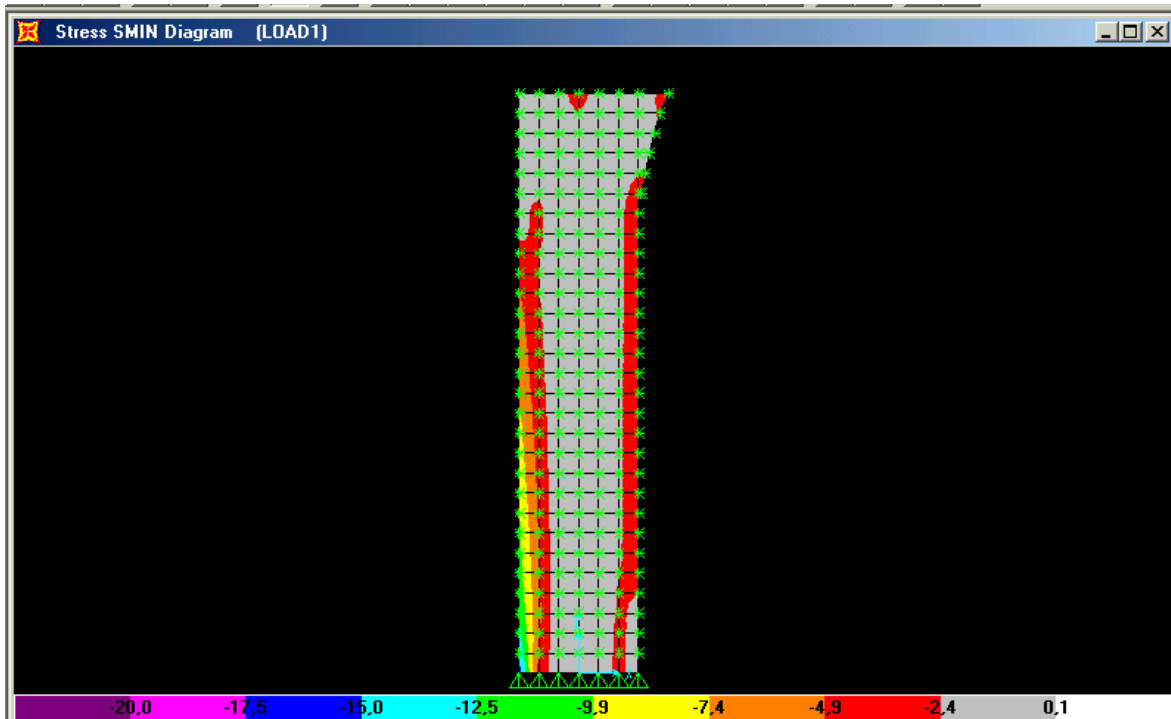
El comportament d'aquesta paret el relacionem amb el fet que les compressions se concentren sobre els fulls exteriors (els més rígids i el que tendeixen a vinclar quan s'independitzen del nucli) i amb les traccions que es presenten darrera aquests. Les traccions desvincularien les zones de compressió del nucli i el sistema podria fallar per vinclament de les fulles comprimides. Com sigui que el fenomen de vinclament es relaciona amb la esveltesa, és dir, amb la quantitat de full comprimit que queda solt, podríem convenir en que la seguretat és funció de la localització de les taques blanques i, sobre tot, **de la seva longitud** (presa en sentit vertical).

Si es demostrés que canviant la resistència i rigidesa del material que conforma el nucli varia la longitud de la taca blanca (sobre el diagrama de tensions principals de compressió, per exemple), tindríem una dada significativa sobre la importància del material que conforma el nucli en la estabilitat del conjunt.

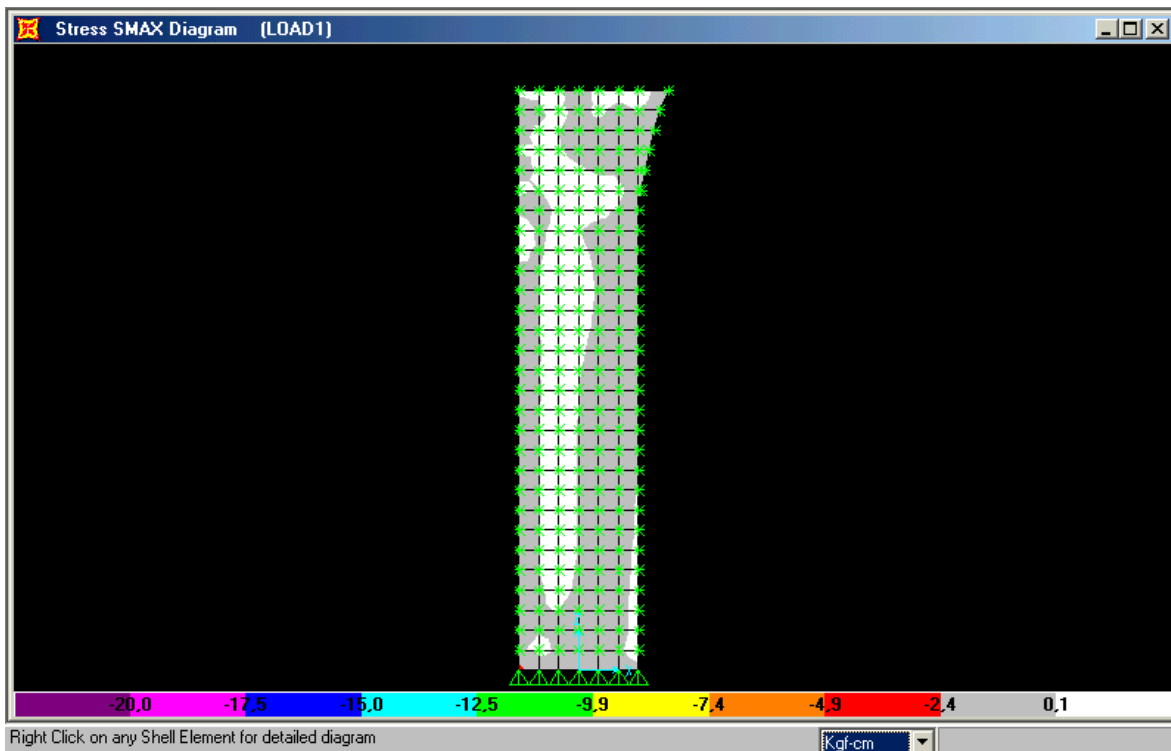
**b).- Anàlisi en el cas que el nucli tingués una rigidesa major  $E = 10000$  kf/cm2. però tampoc tingués una resistència a la tracció superior al valor convencional de 0,1 kf/cm2.**

**La densitat del material del nucli augmentaria a 2,2 t/m3.**

**3.- Tensions principals de compressió** (fonamentalment són verticals), en kf/cm<sup>2</sup>



**2.- Tensions principals de tracció** (combinació de tallants i normals), en kf/cm<sup>2</sup>



Ens adonem que les compressions han augmentat lleugerament ja que hem augmentat la densitat del nucli. La faixa de traccions es desplaça cap a la cara exterior, la qual cosa tendeix a evitar el vinclament de la fulla que suporta directament la volta. Però pel mateix efecte tendeix a augmentar de forma molt important la longitud de la zona de traccions propera a la fulla exterior afavorint el vinclament d'aquesta fulla.

Podríem concloure que:

1.- La rigidesa del material del nucli afecta poc el bon o mal comportament de les fulles carreuades, pel que fa referència al seu possible vinclament.

2.- Si la resistència a la tracció del material del nucli (i entre aquest i els carreus) no adopta un valor significatiu amb el que s'hi pugui comptar, la única propietat que té una importància realment significativa és la seva resistència a la compressió i encara matisada amb el que hem dit abans.

3.- Es molt important que aquestes fulles estiguin vinculades mitjançant peces travesseres capaces d'assolir el tallants que es generen entre ells i entre ells i el nucli i jo diria que aquesta condició s'hauria d'acomplir sigui quin sigui el material que conforma el nucli.

Conclusió: Amb les càrregues de servei la qualitat del nucli no té massa efecte en la estabilitat dels fulls comprimits (serien necessàries peces "perpiañes" que els vincuessin. En ruptura la qualitat del nucli és essencial ja que fallats, per vinclament, els revestiments l'únic recurs que resta és que el nucli sigui competent per a resistir tota la càrrega.

7/2/2011