

Promotor

Ajuntament de Lleida

Document

Juliol 2011

Informe

Expedient

12.690

Estudi de l'estabilitat dels talussos del turó de Gardeny a Lleida.

Índex

1	Antecedents	3
2	Documentació utilitzada	3
3	Descripció geològica del turó.	3
4	Anàlisi de l'estabilitat dels talussos.	4
4.1	Mètode de càlcul.....	4
4.2	Paràmetres geotècnics considerats.	4
4.3	Sobrecàrregues considerades	5
4.4	Seccions analitzades	5
5	Conclusions	8
5.1	Inestabilitats globals	8
5.2	Inestabilitats locals.....	9
5.3	Inestabilitats per degradació de les lutites.....	9
6	Recomanacions	9

1 Antecedents

Al juliol de 2011 es requereix a BOMA per a la realització d'un estudi sobre l'estabilitat dels talussos del front Sud del turó de Gardeny, situat a Lleida.

El turó de Gardeny està situat a l'extrem Sud-Oest de la ciutat de Lleida. La redacció del "*Pla especial urbanístic de Gardeny*" comprèn la intervenció en determinades zones d'aquests talussos, amb modificacions de pendents i execució de vials per tal de convertir-lo en un dels grans parcs de la ciutat i millorar l'accessibilitat actual al mateix.

2 Documentació utilitzada

Plantes i seccions del talús de Gardeny, en el seu estat actual i en la proposta que contempla el pla especial d'urbanització.

3 Descripció geològica del turó.

Des del punt de vista geològic la zona correspon al conjunt de la Depressió de l'Ebre. D'acord als estudis geotècnics realitzats a diversos punts del turó es poden distingir els següents estrats: un primer nivell superficial de materials de reblerts, un segon nivell de sediments granulars d'edat quaternària i origen fluvial, i un tercer nivell d'alternança de lutites vermelles amb gresos, altament resistents.

A continuació s'exposa un quadre resum amb els paràmetres geotècnics dels tres estrats esmentats:

Estrat	Cohesió (T/m2)	Densitat (T/m3)	Angle fregament
Reblerts	0	1.7	25°
Terrassa Fluvial (graves amb sorres i llims)	0	1.7-2.2	30-40°
Substrat terciari (alternança de lutites amb gresos)	5.50	2.35	20°

Aquestes dades han estat extretes dels següents estudis geotècnics realitzats pel "*Consorci Lleidatà de Control*", amb referències:

- L01X0093. "*Estudi geotècnic per a la instal·lació d'ascensor extern edifici H-29. Turó de Gardeny. Lleida*"
- L08X4962. "*Estudi geotècnic Edifici Fruitcentre. Parcel·la 10. Lleida*"
- L08X4900. "*Estudi geotècnic Centre de Disseny del coneixement. Turó de Gardeny. Lleida*"
- L09X2015. "*Estudi geotècnic Museu del medi ambient i el clima. Pujada Gardeny. Lleida*"

El tipus de superfície de lliscament depèn de l'angle del talús (β), de la cohesió i de l'angle de fregament del terreny.

El trencament que sol produir-se en aquest tipus de terreny és aquell que anomenem "trencament circular". Es diu així perquè la superfície de lliscament és assimilable a una superfície cilíndrica la secció transversal de la qual s'assembla a un arc de cercle.

Així doncs, és un tipus de trencament que s'observa en terrenys homogenis, ja sigui sòls o roques altament fracturades, sense direccions preferencials de lliscament, en els quals a més s'ha

de complir la condició de que el tamany de les partícules de sòl o roca sigui molt petit en comparació amb la dimensió del talús.

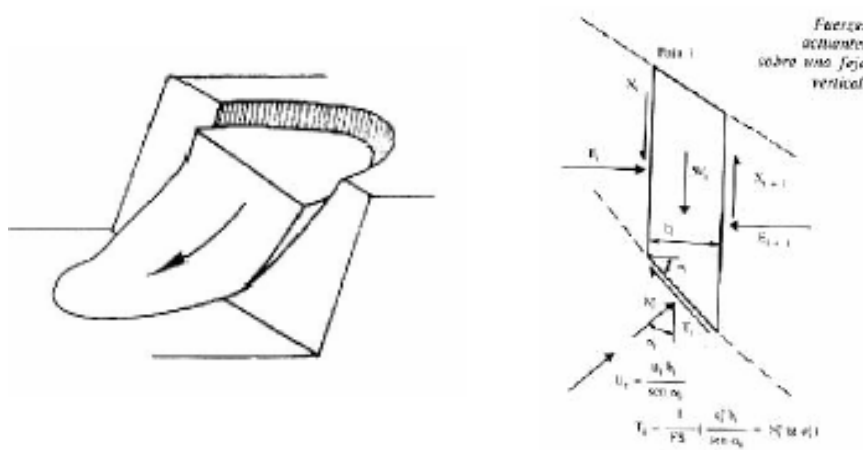
4 Anàlisi de l'estabilitat dels talussos.

4.1 Mètode de càlcul

El mètode de càlcul que s'ha fet servir per l'estudi dels talussos es basa exclusivament en les lleis de l'estàtica per tal de determinar l'estat d'equilibri d'una massa de terreny potencialment inestable. Aquests mètodes no tenen en compte les deformacions del terreny, suposant que la resistència al tall es mobilitza total i simultàniament al llarg de tota la superfície de trencament.

Dins d'aquest grup es troben els mètodes anomenats de les dovels o rebanades, que consideren a la massa lliscant dividida en una sèrie de franges verticals. En concret, s'ha tingut en compte el mètode aproximat de Bishop.

Aquest mètode suposa la superfície de trencament circular. S'interpreta la massa lliscant dividida en "n" franges verticals i s'estableix l'equilibri de moments de tota la massa lliscant respecte el centre del cercle de lliscament.



Figures 1 i 2. Representació de trencament circular d'un terreny i esquema de forces equilibrants i desequilibrants sobre una dovella de terreny amb trencament circular.

Per a la comprovació d'aquets cercles de trencament s'ha fet servir el programa *Talud*, realitzat per Lluís Moya Ferrer, Dr. Arquitecte, Catedràtic d'estructures de l'Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona (UPC).

Aquest programa calcula el factor de seguretat F_s de cada cercle de trencament amb centre contingut en una malla de punts prèviament definida i segons uns radis igualment predefinits.

Aquest factor de seguretat F_s és la relació entre les forces equilibrants i les desequilibrants, sent teòricament inestables aquells que resultin inferiors a 1.

4.2 Paràmetres geotècnics considerats.

El turó és una gran altipla d'uns 40m d'alçada aproximadament. El primer estrat, anomenat "terrassa fluvial", assoleix com a màxim una profunditat de 5m, la resta del turó està format pel substrat terciari d'alternança de lutites vermelles amb gresos. Segons això s'ha fet la comprovació global del talús amb els paràmetres geotècnics següents, corresponents al substrat terciari:

- Cohesió= $5,5 \text{ T/m}^2$

- Densitat= $2,35 \text{ T/m}^3$
- Angle de fregament= 20°

Per a establir els factors de seguretat F_s de cada secció, donat que la incidència de la potència de l'estrat de graves de la terrassa fluvial és molt limitada en relació amb l'alçada total del talús, s'ha tingut en compte un terreny homogeni amb les dades geotècniques del substrat terciari.

A més, s'ha fet una comprovació local de la part superior del talús per tal de tenir en compte les possibles inestabilitats locals de l'estrat més superficial, compostat per graves amb sorres i llims o "terrassa fluvial", amb els següents paràmetres:

- Cohesió= 0 T/m^2
- Densitat= $2,20 \text{ T/m}^3$
- Angle de fregament= 30°

Nota: Cal puntualitzar que, en aquesta comprovació local de la zona superior del talús, per tractar-se d'un terreny sense cohesió, es produeix un trencament planar. Per tant el mètode emprat en aquest cas no ha estat el de Bishop.

4.3 Sobrecàrregues considerades

Les sobrecàrregues considerades pel càlcul han estat les següents:

- Vial de tràfic rodat a la part superior del talús: $1,5 \text{ T/m}^2$
- Base del talús: 0 T/m^2
- Resta del talús i zones de vianants: $0,5 \text{ T/m}^2$

4.4 Seccions analitzades

4.4.1 Inestabilitat del talús per trencament

Atenent a les premisses de càlcul esmentades, s'han estudiat la totalitat de les seccions del turó de Gardeny definides al pla urbanístic. Aquest estudi s'ha fet dels perfils dels talussos actuals i d'aquells modificats d'acord a les actuacions del pla d'urbanització que quedin en una situació més crítica que la del talús original, excloent les que es configuren amb aportacions de noves terres.

A la part Nord i Sud del turó els diferents perfils del talús gairebé no experimenten variacions respecte el seu estat actual, seria el cas de les seccions N1 a N5 i S01 a S28. A la coronació del talús d'alguna d'aquestes seccions s'ha previst la sobrecàrrega d'un vial de tràfic rodat.

A la zona Sud-Oest del turó, on es situa un nou parc, és a on el perfil actual pateix alteracions més acusades. El cas de les seccions S29 a S34 i O1 a O4 el resultat és un aterrament amb més estabilitat que el del perfil existent. Les comprovacions d'estabilitat en aquesta zona s'han realitzat sobre les seccions actuals per ser més desfavorables que les que en principi es preveuen a futur.

De cada una de les seccions s'ha realitzat un càlcul amb el programa "TALUD" amb el perfil específic descrit per a cadascuna però amb idèntics paràmetres geotècnics. Els resultats d'aquests càlculs son un conjunt de cercles de trencament del terreny ordenats segons el factor de seguretat resultant en cada un d'ells.

D'aquests cercles s'han descartat aquells que tallen estructures de contenció existents des de la fonamentació fins a la coronació, suposant que qualsevol d'aquestes estructures existents té un coeficient de seguretat suficient per a garantir la seva estabilitat.

També s'han descartat aquells cercles que resultin quasi tangents al perfil del talús, ja que en aquests casos la massa de terreny potencialment inestable seria despreciable.

S'han agrupat els cercles segons el factor de seguretat resultant i de cada grup s'ha dibuixat sobre la secció l'envolupant dels cercles corresponents a l'interval de factor de seguretat indicat. D'aquesta manera queda representat sobre cada secció la massa de terreny potencialment inestable corresponent a un determinat factor de seguretat.

S'indica també sobre la secció el cercle pèssim de trencament, és a dir, aquell que té un factor de seguretat més baix.

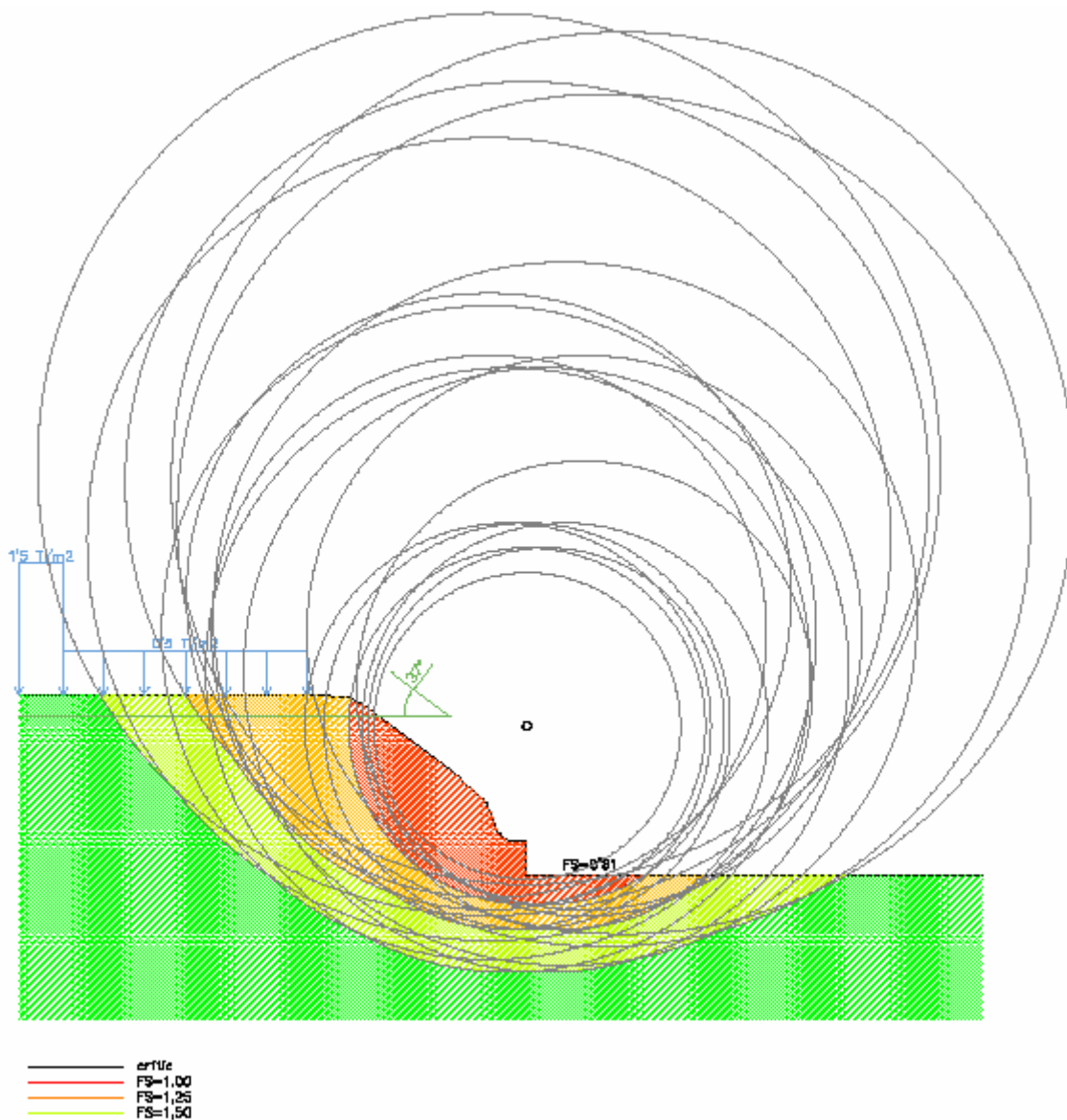


Figura 3. Secció del terreny amb representació dels cercles de trencament agrupats segons intervals de factors de seguretat. S'indica l'envolupant màxima dels cercles per a cada interval així com el factor de seguretat del cercle crític o pèssim.

A l'annex gràfic d'aquest document s'han representat totes i cadascuna de les seccions amb els mateixos criteris. De la mateixa manera, aquets resultats s'han reflectit en una planta general del turó de Gardeny.

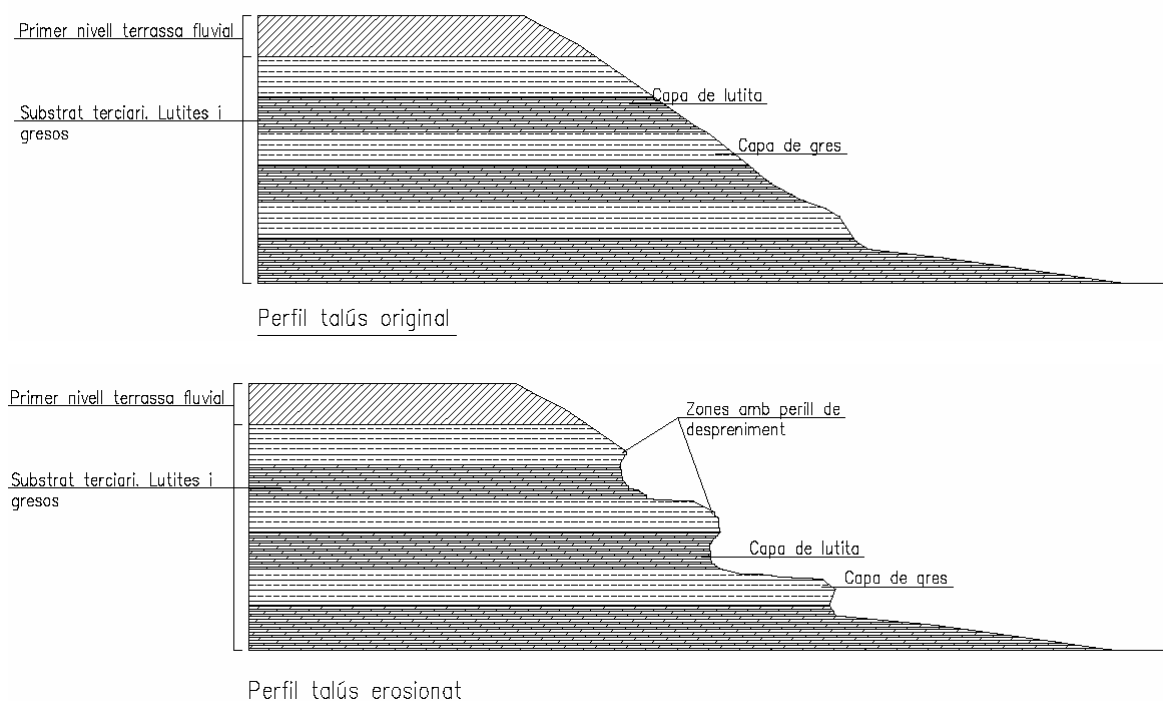
Donat que aquest estudi s'ha realitzat amb dades geotècniques extrapolades d'altres estudis geotècnics realitzats pels voltants, s'ha de dir que els resultats no es consideren absoluts o definitius, sinó que indiquen valors relatius o comparatius dels factors de seguretat que presenten les diferents seccions i zones del turó.

Per una major precisió en la determinació dels factors de seguretat de les seccions més crítiques, serà necessari realitzar estudis geotècnics detallats per tal de poder extreure els paràmetres geotècnics reals d'aquelles zones en concret.

4.4.2 Inestabilitat del talús per l'alteració i erosió de les lutites

Segons les dades obtingudes en els esmentats estudis geotècnics, en alguns cassos es detecta que el substrat terciari està compost geològicament per una alternança de lutites vermelles i gresos. Aquests materials apareixen disposats en capes horitzontals, que poden coincidir amb plans de fractura. Les lutites són argiles inorgàniques de baixa a mitja plasticitat que experimenten un procés d'alteració i erosió major i més ràpid que no pas els gresos, que són roques de duresa mitja.

Com a resultat, el perfil natural del terreny es va modificant donant lloc a sobresortints de gresos que veuen alterada greument la seva capa inferior d'argiles i, degut al pes que suporten, poden arribar a trencar-se i tornar-se inestables.



Figures 4 i 5. Procés de degradació de les lutites intercalades amb les capes de gresos.

Per tant, amb el fi d'evitar aquest procés de degradació seria convenient estudiar solucions de millora en les seccions on aquest procés sigui evident. Aquestes solucions de millora passen per una protecció superficial que eviti la degradació superficial de les lutites que quedin en contacte amb la superfície i que puguin estar sotmeses a l'erosió.

S'indiquen algunes tècniques que poden resultar útils:

- Malles metàl·liques clavades al terreny.
- Formigó projectat sobre malla metàl·lica clavada.
- Construcció d'un mur de protecció amb rocalla.
- Plantació de vegetació.



Figures 6 i 7. Exemples de protecció amb xarxes metàl·liques i cables ancorats amb piquetes al terreny.



Figures 8 i 9. Protecció de amb formigó projectat sobre malla metàl·lica clavada i amb mur de rocalla al peu del talús.

5 Conclusions

5.1 Inestabilitats globals

Segons el que es desprèn dels càlculs realitzats es detecten tres zones on el factor de seguretat referent a l'estabilitat global del talús és més crítica:

- A la cara Sud-Est, les seccions S15; S16 i S17, sent la primera la més crítica, situada aproximadament a un terç de distància entre els extrems Nord-Est i Sud-Oest del turó. Aquesta zona presenta una pendent pronunciada en el peu, pròxima als 60°, que es va rebaixant a la coronació. Totes tres tenen també un mur de contenció, de 4,5 a 6,5m d'alçada, situat al peu. La presència d'aquest murs fa que tots els cercles de trencament considerat passin per sota del peu del talús, suposant que l'estructura existent està evitant que es produeixin inestabilitats mer sobre d'aquest punt. Donat que el desnivell en aquesta zona és de més de 40m, l'àmbit de terreny potencialment inestable abasta una zona extensa. Els factors de seguretat resultants són lleugerament inferiors a 1 en la secció S15 i lleugerament superiors a 1 en les seccions S16 i 17, així que es considera que la zona és potencialment inestable, encara que com tots els cercles crítics passen immediatament per sota del peu del mur existent, depenent de la profunditat de la seva fonamentació resultarà un factor de seguretat més o menys elevat.
- A l'extrem Sud-Oest, les seccions S30 a S34, corresponents al "morro elevat" de l'extrem Nord-Oest; a la cara Oest, les seccions O1; O2 i O3. Ambdues zones presenten pendents molt pronunciats, superiors a 60°, però amb desnivells petits, ~20m, en comparació amb la resta del turó. D'aquestes seccions s'obtenen factors de seguretat clarament inferiors a 1,

el que indica que el risc d'inestabilitat es potencialment elevat, però, per contra, amb cercles de trencament que mobilitzen una massa de terreny molt limitada, per la qual cosa l'àmbit de terreny potencialment és petit, tal i com s'observa en el plànol de planta adjunt. El cercle pèssim passa en tots aquets cassos entre el peu i el mig del talús.

- Les zones de les seccions S01 a S05; S07; S10 a S13; S20 a S22 i S24 a S29 situades la cara Sud del turó, resulten amb un factor de seguretat entre 1 i 1,5.
- La resta seccions, especialment les de la zona Nord, resulten amb un factor de seguretat superior a 1,5.
- Els factors de seguretat resultants son indicatius del risc d'inestabilitat relatiu a tot el conjunt, però no són definitius, donat que les dades geotècniques que s'han fet servir per aquest informe no són pròpies de les zones analitzades.

5.2 Inestabilitats locals

De la comprovació de l'estabilitat local de la part superior del talús es dedueix que aquells perfils del terreny que presenten pendents de l'ordre de 30°, es podrien considerar estables, donat que no supera l'angle de fregament intern del terreny.

Hi ha tota una sèrie de seccions, que presenten pendents a la coronació de fins a 60° que, per estar a dins de l'estrat granular que forma la terrassa fluvial, es consideren inestables, a on es produirien falles locals i per les quals s'haurà de preveure algun tipus d'actuació.

5.3 Inestabilitats per degradació de les lutites

Segons es descriu a l'apartat 4.4.2 d'aquest estudi es poden produir inestabilitats provocades per la degradació de les lutites intercalades amb gresos. Aquesta degradació es pot impedir mitjançant la protecció segons els sistemes definits en el mateix apartat. Aquesta degradació no és immediata sinó que es produeix al llarg del temps, però pot donar lloc a situacions d'inestabilitat.

6 Recomanacions

Abans de qualsevol actuació de reforç o estabilització de les zones amb factors de seguretat més crítics, es recomana realitzar un estudi detallat amb dades geotècniques extretes d'assajos localitzats en aquelles zones.

Qualsevol actuació de moviment de terres haurà de tendir a reduir pendents per tal de no empitjorar el factor de seguretat en front a la estabilitat global.

S'hauran de preveure elements estabilitzadors a la coronació dels talussos en aquelles zones on el pendent superi l'angle de fregament del material granular, especialment allà on està previst el traçat d'un nou vial de tràfic rodat.

S'hauran de dur a terme actuacions que afavoreixin la protecció superficial de les lutites en aquelles zones que siguin més susceptibles de patir una degradació al llarg del temps, com aquelles que estiguin desprovistes de vegetació.

Barcelona, Juliol de 2011

Miquel Angel Sala i Mateus
Arquitecte
Brufau, Obiol, Moya & Ass., S.L.P.