

**EPS**Escola Politècnica
Superior

Projecte/Treball Fi de Carrera

Estudi: Enginyeria Industrial. Pla 2002

Títol: Proposta de consolidació d'un talús a l'estadi municipal de futbol de Montilivi (Girona)

Document: Memòria

Alumne: Carles Arana Perez

Director/Tutor: Miquel Llorens

Departament: Eng. Mecànica i de la Construcció Industrial

Àrea: Mecànica de medis continus i teoria de les estructures

Convocatòria (mes/any): Juny / 2012

ÍNDEX

1	INTRODUCCIÓ	3
1.1	Antecedents	3
1.2	Objecte	5
1.3	Especificacions i abast.....	5
2	ESTABILITAT DELS TALUSSOS	6
2.1	Definició de talús	6
2.2	Definició d'estabilitat.....	7
2.2.1	Trencaments del terreny.....	8
2.2.2	Factors que influeixen en l'estabilitat	11
2.3	Anàlisi d'estabilitat de talussos	13
2.3.1	Introducció	13
2.3.2	Càlcul manual.....	13
2.3.3	Tècniques d'estabilització	20
2.3.4	Discussió de la solució.....	29
3	TALUS MONTILIVI	32
3.1	Documentació del terreny	32
3.1.1	Situació i emplaçament.....	32
3.1.2	Memòria històrica.....	32
3.1.3	Seccions del talús	34
3.1.4	Estudi geotècnic.....	37
3.2	Talús a estudi.....	39
3.2.1	Anàlisi d'estabilitat global del talús	39
3.2.2	Anàlisi d'estabilitat superficial del talús.....	43
3.2.3	Consideracions preliminars.....	44
3.2.4	Requisits a complir per la solució proposada.....	45
3.2.5	Selecció del tipus d'estructura d'estabilització	46
3.2.6	Definició i dimensionament de la solució proposada	49
4	RESUM DEL PRESSUPOST.....	52
5	CONCLUSIONS	53
6	BIBLIOGRAFIA	55

1 INTRODUCCIÓ

1.1 Antecedents

Els moviments de massa de terra representen, per la seva magnitud i freqüència, un risc geològic important que pot provocar grans desperfectes materials en infraestructures, edificacions... i fins hi tot baixes humanes.

A la ciutat de Girona, concretament al barri de Montilivi existeix un problemàtica que es va reiterant any rere any. Degut a les característiques geomecàniques del seu subsòl, argiles expansives, quan s'augmenta les condicions d'humitat del terreny, es produeix una solifluxió del terreny i desencadena en esllavissades.

S'hi ha intentat posar solució però el fet és que només s'ha apedaçat el problema de manera provisional, ja que amb el temps ha anat reapareixent:

- El 28 de març 1996 es produeix la primera esllavissada del talús. S'ensorra la grada preferent del camp del Girona. Motiu: L'informe assenyala com a causant d'aquesta circumstància les obres d'urbanització del sector de Montilivi i, especialment, la reforma per crear el campus universitari.

- 7 de maig de 2004. Un nou esfondrament a la grada est del camp Municipal de Montilivi que afecta al nou vial realitzat a sobre i d'accés a la Universitat de Girona.



Figura 1: Foto del esllavissament de l'any 2004 (Font: Lithos Geotècnia)

Les argiles de característiques expansives, on està fonamentat el camp de futbol Municipal de Girona, se saturen d'aigua, degut a les pluges, i es mobilitzen, provocant un trencament de la canonada de desguàs de les instal·lacions esportives de la Universitat de Girona i desencadenant una solifluxió dels materials superficials i generant un nou esllavissament.



Figura 2: Foto del tub de drenatge trencat (Font: Lithos Geotècnia)

- Després de la gran nevada del 8 de març de 2010, el dia 12, sobre les 4 de la tarda es produeix un esllavissament en el recinte de l'obra d'ampliació de l'estadi de Montilivi. Aquest afecta a la via de circumval·lació de la Universitat de Girona i es decideix tallar el trànsit en ambdós sentits de la marxa.



Figura 3: Foto de l'esllavissament de l'any 2010 (Font: Servei d'esports UdG)

I fins al dia d'avui.

1.2 Objecte

En aquest estudi es pretén proposar una solució per a la consolidació del talús adjacent a la grada est de l'Estadi municipal de Montilivi (Girona).

Es comprovarà l'estabilitat global del terreny i es determinaran els requeriments a complir per la solució final.

S'estudiaran diverses possibilitats i es dimensionarà la que, com a resultat de l'estudi efectuat, es consideri més oportuna.

Una vegada s'hagi dimensionat es faran les comprovacions d'estabilitat de la solució pertinents.

1.3 Especificacions i abast

Per tal d'aconseguir els objectius proposats primerament s'haurà de fer una recerca d'informació i documentació. Es buscarà, de manera general, quins tipus de trencaments del terreny existeixen, quins són els motius principals que els provoquen i les mesures correctores més habituals.

S'estudiarà l'històric del lloc. Les patologies observades amb anterioritat i les mesures correctores aplicades. I amb l'ajuda de l'estudi geotècnic s'analitzarà l'estabilitat d'aquest talús.

Es confrontarà cadascuna de les possibles mesures correctores al nostre problema per determinar quines es poden descartar i quines són susceptibles d'estudi. D'aquesta manera s'obtindrà una solució que es definirà i dimensionarà. Per a la comprovació de la solució final s'utilitzarà el programari SnailzWin.

Finalment i com exigeix el Codi Tècnic de l'Edificació es realitzaran les comprovacions pertinents

2 ESTABILITAT DELS TALUSSOS

Els problemes d'estabilitat en els terrenys han vingut al llarg de la història quan, tant els homes com la natura, han pertorbat el finíssim equilibri del sòl natural.

Aquest fet, i la creixent demanda tant en volum com en complexitat dels projectes de construcció, no han fet més que incrementar la necessitat d'investigar en la mecànica del sòl. Per, d'aquesta manera, poder entendre, desenvolupar i perfeccionar nous mètodes per solucionar els problemes d'estabilització dels talussos.

La evolució d'aquests mètodes han estat molt lligats al desenvolupament i al coneixement de la mecànica del sòl, i per tant de la geologia i la hidrologia .

2.1 Definició de talús

S'entén per talús qualsevol superfície inclinada respecte l'horitzontal que hagin d'adoptar permanentment les estructures de terra.

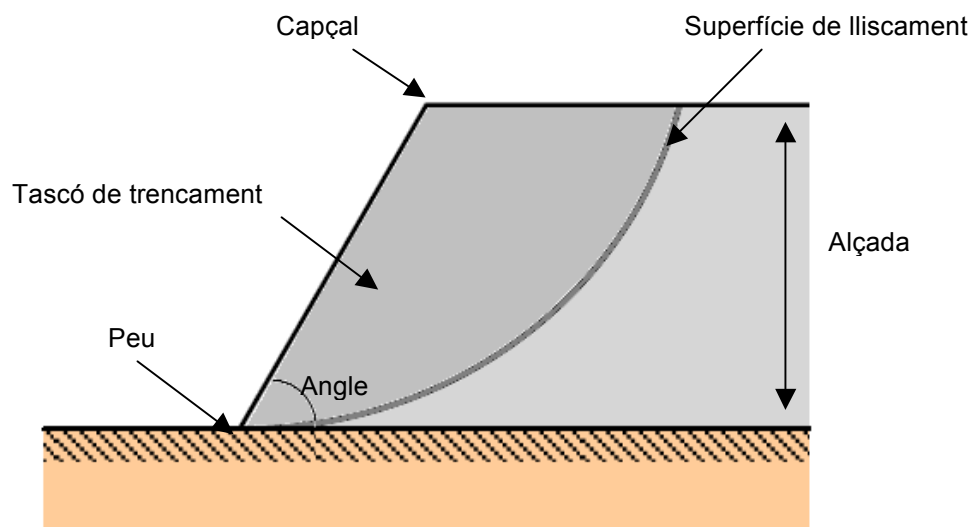


Figura 4: Parts d'un talús

Quan el talús es genera de forma natural, sense intervenció humana, s'anomena "vessant". Per altra banda, quan és l'home qui hi intervé, es pot classificar en dos tipus, depenent de si les terres s'aporten o es retiren:

En el primer cas hi hauria els “talussos artificials”. Masses de terra inclinada a la bora dels terraplens, fruit de la generació d'aquests.

En el segon dels casos, el “tall” o “rebaix”, massa de terra resultant quan es realitza una excavació al terreny natural.

No hi ha dubte que els talussos conformen una part important en les obres d'avui en dia, i per tant és necessari definir criteris per a l'estabilitat d'aquests.

2.2 Definició d'estabilitat

S'entén com a estabilitat d'un talús a la seguretat de la massa de terra en front del moviment o trencament.

Aquesta estabilitat ve determinada tant per la seva geometria, ja sigui la alçada o el pendent, com per les característiques intrínseques del propi sòl, com poden ser l'angle de fregament intern o la cohesió, i que defineixen la seva resistència a cisalla.

Els problemes relacionats amb l'estabilitat dels vessants naturals difereixen radicalment dels que presenten els talussos construïts per l'home. Les diferències significatives són, en primer lloc, la naturalesa dels materials involucrats, i en segon, tot el conjunt de circumstàncies que envolten la formació del talús. La seva història geològica, les condicions climàtiques que va tenir al llarg de l temps i la influència que ha patit per part de l'home en l'actualitat o en un passat.

Dintre dels talussos artificials també existeixen algunes diferències entre els talls i els terraplens. Aquests últims, i donada la seva condició d'aportar material, es constitueixen amb materials relativament controlats, o que almenys, es poden controlar.

Un altre aspecte a tenir molt en compte en l'estabilitat és l'anomenat “trencament del terreny”. Ja que hi ha gran varietat de fenòmens que envolten el concepte.

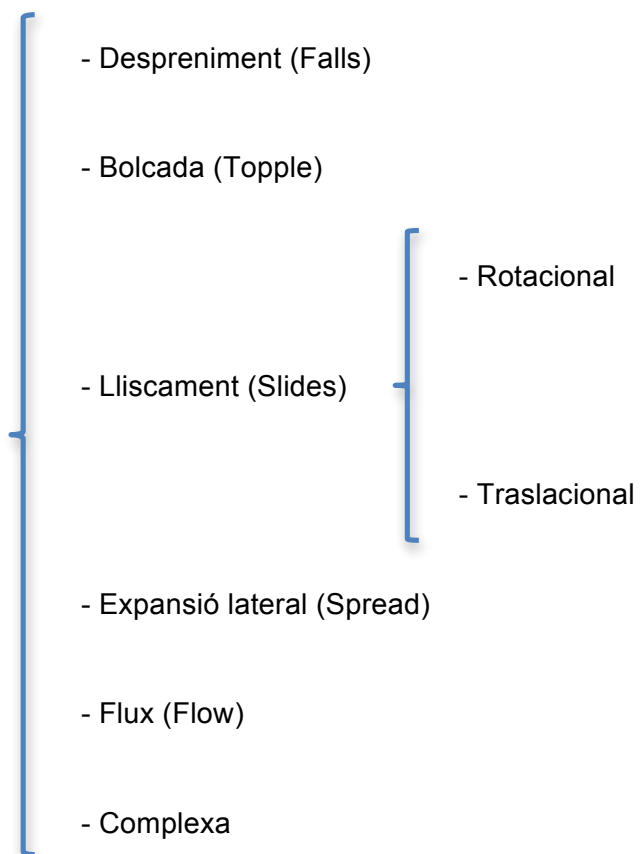
2.2.1 Trencaments del terreny

Quan una massa de terreny es desestabilitza i es desplaça per influència de la gravetat vessant avall s'anomena esllavissada.

Dins d'aquesta definició s'inclouen una gran diversitat de processos pels quals un talús pot deixar de complir la seva funció estructural, i que a més, es poden classificar de diverses maneres depenent de la font escollida.

Per exemple la classificació de trencaments del terreny segons Varnes (1978), una de les més utilitzades.

Tipus trencament de Terreny



- **Despreniment:** Dit d'aquell moviment d'una part de sòl o roca, en forma de blocs aïllats o material massiu que, la seva trajectòria és majoritàriament en vertical i/o caiguda lliure.

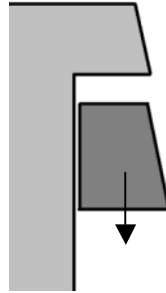


Figura 5: Despreniment

- **Bolcada:** Dit d'aquells moviments de rotació cap a l'exterior, d'una unitat o d'un conjunt de blocs, al voltant d'un eix pivotant situat per sota del centre de gravetat de la massa moguda.

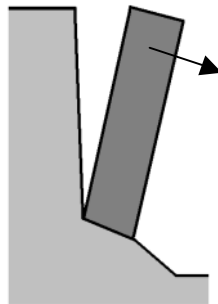


Figura 6: Bolcada

- **Lliscaments:** Dit d'aquells moviments on el desplaçament del terreny es produeix a sobre d'una o varies superfícies de ruptura ben definides. Es considera que la massa mobilitzada es desplaça com un bloc únic. Depenent de la geometria de la superfície de ruptura es poden classificar en rotacionals o traslacionals.

- **Traslacional:** Quan la superfície de ruptura és un pla amb més o menys inclinació. Es solen produir quan el terreny es heterogeni i amb superfícies de discontinuïtat ben definides

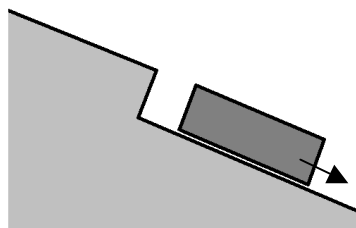


Figura 7: Lliscament Traslacional

- **Rotacional:** Quan la superfície de ruptura és cònca. Es produeixen fonamentalment quan el material es homogeni

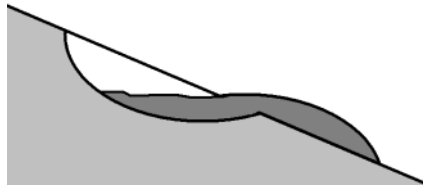


Figura 8: Lliscament Rotacional

- **Expansió lateral:** Dit d'aquell moviment de massa de sòl o roca que es desplaça molt lentament de manera lateral. Aquest fet pot ser degut a petits pendents o per la pròpia expansió plàstica dels materials.

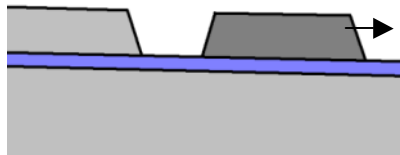


Figura 9: Expansió lateral

- **Fluxos:** Dit d'aquells moviments en els que el comportament de la massa desplaçada s'assembla a un fluid viscos, adoptant la morfologia del vessant per on discorre. La massa desplaçada està desordenada i mesclada, i es caracteritza per l'absència d'una superfície neta de desplaçament.

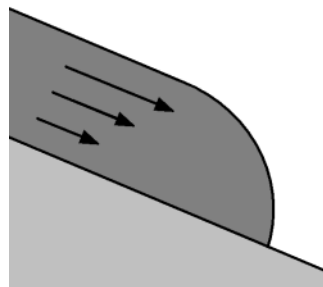


Figura 10: Fluxos

- **Complexa:** Dit d'aquell moviment que resulta de la mescla de 2 o més tipus de moviments elementals descrits anteriorment. Els més habituals són els lliscaments que esdevenen fluxos al peu

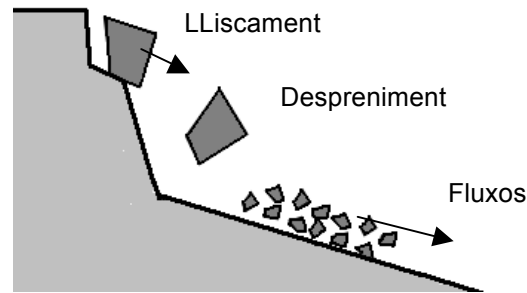


Figura 11: Complexa

2.2.2 Factors que influeixen en l'estabilitat

Les esllavissades de talussos poden succeir de moltes maneres diferents, com ja s'ha vist, i existeix un cert grau d'incertesa a l'hora de predir-les. No obstant, conèixer els desprendiments que han succeït per la zona d'interès pot ser un bon punt de partida per a la detecció i avaluació de possibles futures.

Per a realitzar aquesta tasca es poden revisar diverses fonts, com ara diaris, mapes de zonificació de inestabilitat geològica, base de dades de esllavissaments, etc. En el cas que no fos possible accedir a aquesta informació, sempre es pot preguntar als veïns de la zona.

Resulta molt difícil establir les causes de les esllavissades, però tot seguit es citen alguns dels processos constructius que causen més problemes:

- Modificació de les condicions naturals del flux intern de l'aigua quan es crea un terraplè o es fa un rebaix.
- Sobrecàrrega d'estrats dèbils per replè.
- Sobrecàrrega del terreny amb plans d'estratificació desfavorable per replè
- Eliminació per tall d'algun estrat prim de material permeable que funciona com una capa de drenant natural d'estrats d'argiles
- Augment de les pressions de filtració en canviar la direcció del flux intern d'aigua per l'acció d'un tall o rebaix

- Eliminació de capes superficials del terreny pot causar el lliscament de les capes del mateix estrat vessant amunt sobre capes de terreny més dur o roca
- Increment de la càrrega hidrostàtica sota la superfície quan es realitza un tall i es cobreix amb una capa impermeable.

En general les causes de les esllavissades poden ser les següents:

Factors geomorfològics:

- Topografia del voltant del talús
- Distribució de les discontinuïtats i estratificacions

Factor interns:

- Propietats mecàniques del terreny
- Estats dels esforços actuant
- Factors climàtics com ara l'aigua superficial i subterrània

Les externes o geomorfològiques produeixen augments dels esforços tallants actuant sense modificar la resistència de l'esforç tallant del material. Per exemple, l'augment de l'alçada del talús, col·locar algun tipus de sobrecàrrega en el capçal, o el moviment produït per un sisme son algunes d'elles.

Per altra banda, les internes, son les que apareixen sense cap canvi de les condicions exteriors del talús. Van lligades sempre a la disminució de l'esforç tallant del terreny. L'augment de la pressió hidrostàtica o la dissipació de la cohesió son causes d'aquesta classe.

2.3 Anàlisi d'estabilitat de talussos

2.3.1 Introducció

Actualment hi ha molts treballs d'Obra Civil on és necessari distribuir el sòl en forma de talús, ja sigui per fer plataformes, vials, canals etc. I com ja se sap, en tota obra prima la seguretat i la economia. És per això que adquireix una rellevància important el fet de poder avaluar aquests factors de manera virtual, sense fer cap intervenció en el medi natural.

La naturalesa i la homogeneïtat dels materials constitutius són bàsics per definir i plantejar el problema d'estabilitat del talús. L'enginyer analitza aquests paràmetres i intenta extreure el major volum de dades possible. D'aquesta manera es podrà escollir quin tipus de model i procediment aplicar en l'estabilització del terreny.

El lliscament d'un talús es produeix per la ruptura i posterior desplaçament d'un tascó de terreny al llarg del seu pla de debilitat. Les causes poden ser varies: Canvis d'humitat en l'ambient, vibracions, etc. El que fa difícil la seva parametrització.

2.3.2 Càlcul manual

Un enginyer suec anomenat Petterson va estudiar a fons aquest problema, i va concloure que el lliscament del sòl es produeix al llarg d'una corba variable. Posteriorment i per a simplificar els càlculs es va aproximar a un arc de circumferència. En honor a la nacionalitat del descobridor, les superfícies de ruptura s'anomenen cercles suecs.

Cercles Suecs

Depenent del tipus de sòl y de la geometria del talús es poden classificar de la següent manera:

Cercle superficial de peu: La superfície de lliscament passa per el peu del talús, essent aquest el punt més baix d'ambdós. Son característics d'aquest tipus de trencament els sòls amb un angle de fregament intern elevat, graves i sorres, i els talussos molt inclinats.



Figura 12: Cercle superficial de peu

Cercle profund: En aquest cas la superfície de trencament passa per sota del peu del talús. En aquest tipus hi trobaríem sòls amb angles de fregament baix, llims i argiles, i talussos poc inclinats.

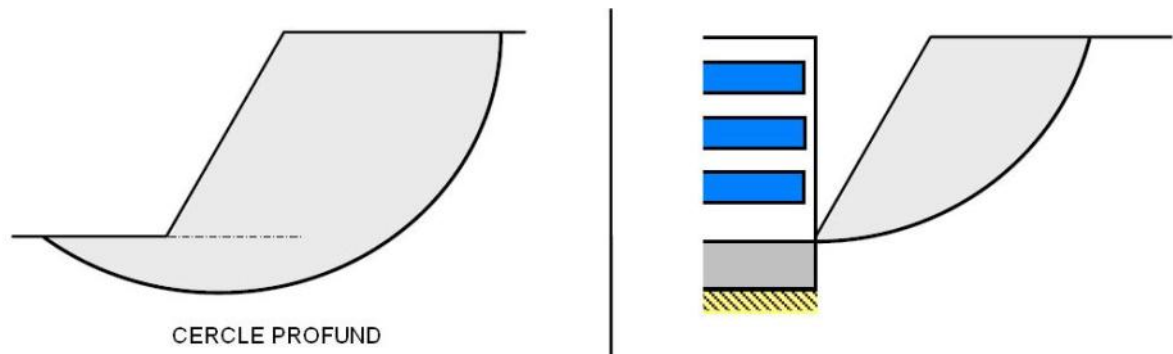


Figura 13: Cercle profund

Cercle profund de peu: Com veiem en el primer cas, la superfície de lliscament intersecciona amb el peu del talús, però en aquest cas no es el punt més baix. Vindria a ser com un cas entremig dels dos vistos anteriorment.

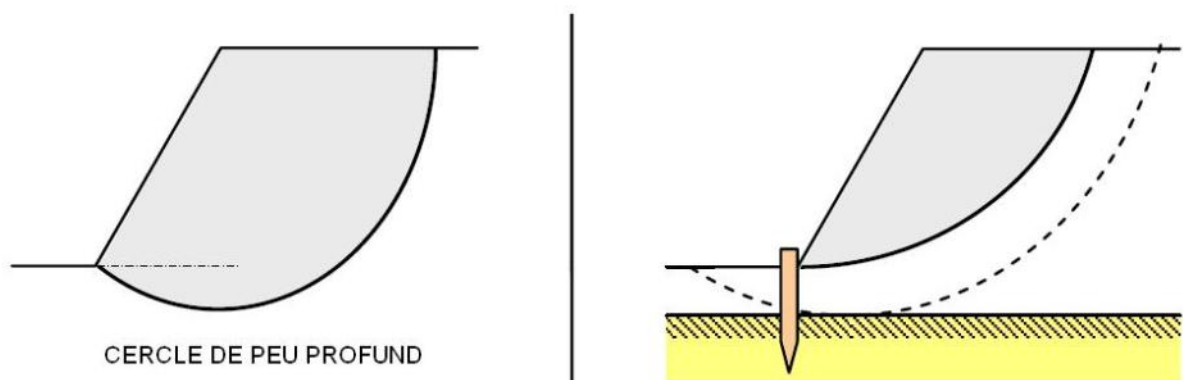


Figura 14: Cercle profund de peu

Cercle condicionat: Degut a la presència d'elements resistents com ara murs, pilots, etc la magnitud i profunditat de la superfície de trencament queda condicionada.

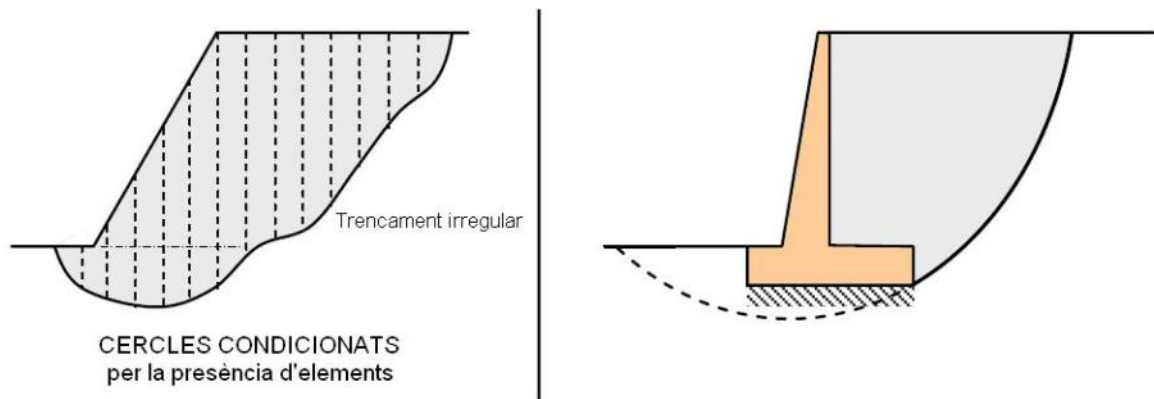


Figura 15: Cercle condicionat

Els mètodes de càlcul, per a definir l'estabilitat, estableixen un mecanisme cinemàtic de falla, extret de l'experimentació, en el qual s'analitza les forces que tendeixen a provocar el moviment, com ara la gravetat, la filtració de l'aigua, la pressió etc. I les forces que tendeixen a impedir que aquest moviment no es propagui, com ara la resistència al terreny i d'altres forces resistents.

Un bon exemple, per la seva simplicitat, racionalitat i validesa didàctica és el mètode de Fellenius.

Mètode de Fellenius

Aquest mètode de càlcul es basa en l'aplicació dels fonaments de la Mecànica Racional clàssica. D'aquesta manera Fellenius divideix el tascó de trencament de l'esslavisament en llesques, i estudia l'estat de les forces en cadascuna d'elles. Com més es divideixi, més fiable serà el resultat.

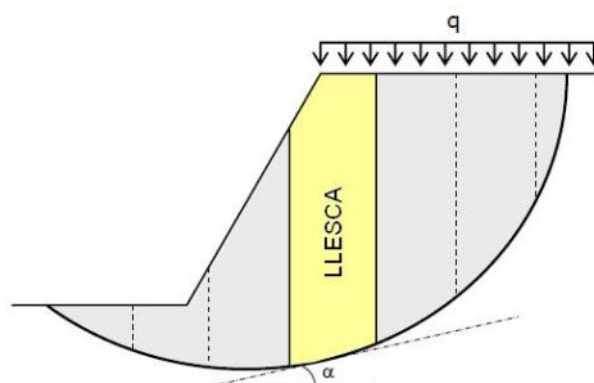


Figura 16: Divisió de llesques del Mètode Fellenius

La condició d'equilibri de cada llesca vindrà determinada per el venciment de les forces estabilitzadores sobre les desestabilitzadores en la superfície de lliscament.

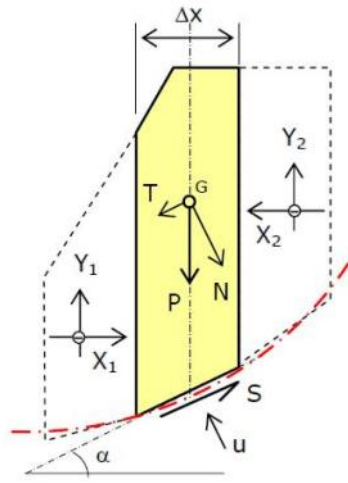


Figura 17: Estat de forces

Forces estabilitzadores (S) > Forces desestabilitzadores (T)

Les forces estabilitzadores (S) son la suma de les forces de cohesió i del fregament intern:

$$S = F_R + F_C = P \cdot \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi + c \cdot \frac{\Delta x}{\cos \alpha}$$

On P és la càrrega sobre la superfície de ruptura ($P = W + q \cdot \Delta x$, essent W el pes del tascó de terra i q la sobrecàrrega d'us).

α és l'angle que forma la superfície de ruptura amb la horitzontal

φ és l'angle de fregament intern del terreny

c és la cohesió del sòl

Δx és l'amplada de la llesca

Les **forces desestabilitzadores** (T) s'identifiquen amb la component tangencial de les càrregues sobre la superfície de ruptura:

$$T = P \cdot \sin \alpha = (W + q \cdot \Delta x) \cdot \sin \alpha = (\gamma \cdot A + q \cdot \Delta x) \cdot \sin \alpha$$

On γ és el pes específic del sòl i

A és la superfície del tascó de terreny que forma la llesca.

Aquest mètode suposa que les forces d'interacció entre les llesques no son rellevants a la secció del cercle, ja sigui per que la magnitud sigui tant baixa que la puguem descartar o per que s'anul·lin entre elles. Aquest fet no és del tot cert ja que, com sabem, les càrregues en el terreny no son sempre uniformes.

Per avaluar el grau d'estabilitat de cada llesca s'ha d'introduir el concepte de coeficient de seguretat de lliscament (F), definit com el quocient entre les forces estabilitzadores i les desestabilitzadores:

$$F = \frac{S}{T} = \frac{P \cdot \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi + c \cdot \frac{\Delta x}{\cos \alpha}}{P \cdot \sin \alpha}$$

Un factor que pot posar en risc l'estabilitat del talús és la pressió intersticial (u), produïda per la presència d'aigua en el terreny. Aquesta influència negativa provoca una disminució en les forces estabilitzadores disminuint la fricció entre el tascó i el terreny:

$$F = \frac{(P \cdot \cos \alpha + u \cdot \Delta x) \cdot \operatorname{tg} \varphi + c \cdot \frac{\Delta x}{\cos \alpha}}{P \cdot \sin \alpha}$$

El mètode Fellenius es basa en trobar el coeficient de seguretat global, corresponent al sumatori de tots els coeficients de seguretat de les llesques. D'aquesta manera, la superfície de lliscament més pròxima a la realitat, anomenada cercle crític, serà aquella que presenti el valor del coeficient més baix:

$$F = \sum F_i = \frac{\sum (P_i \cdot \cos \alpha_i + u_i \cdot \Delta x_i) \cdot \operatorname{tg} \varphi + c \cdot \frac{\Delta x_i}{\cos \alpha_i}}{\sum P_i \cdot \sin \alpha}$$

De manera general, per garantir l'estabilitat d'un talús es sol agafar un valor mínim de referència de F de **1,5**. Però això no vol dir que es compleixi en tots els casos. Dependrà de cada cas i de les mínims exigits.

Existeix un altre mètode per determinar de manera més simple, però alhora menys fiable, l'estabilitat d'un talús. El mètode de l'Àbac de Taylor (1948).

Àbac de Taylor

Aquest mètode permet determinar el pendent màxim d'un talús (β) en funció de la seva alçada (H), cohesió (c), angle de fregament intern (ϕ), pes específic (γ) i el coeficient de seguretat establert (F).

Per a simplificar encara més aquesta eina de càlcul es va idear l'anomenat coeficient d'estabilitat (N)

$$N = \frac{c}{\gamma \cdot H \cdot F}$$

On c és la cohesió en (T/m^2)

γ és el pes específic del terreny (T/m^3)

H és l'alçada del talús en (m)

F és el coeficient de seguretat

Amb els valors del pes específic, l'angle de fregament intern, la cohesió i el coeficient de seguretat coneguts, es pot trobar l'alçada màxima que pot assolir el talús en funció del seu pendent. S'ha de tenir en compte que l'alçada crítica està directament relacionada amb la càrrega vertical, no només la del pes propi de les terres, sinó també per les sobrecàrregues fixes i d'ús.

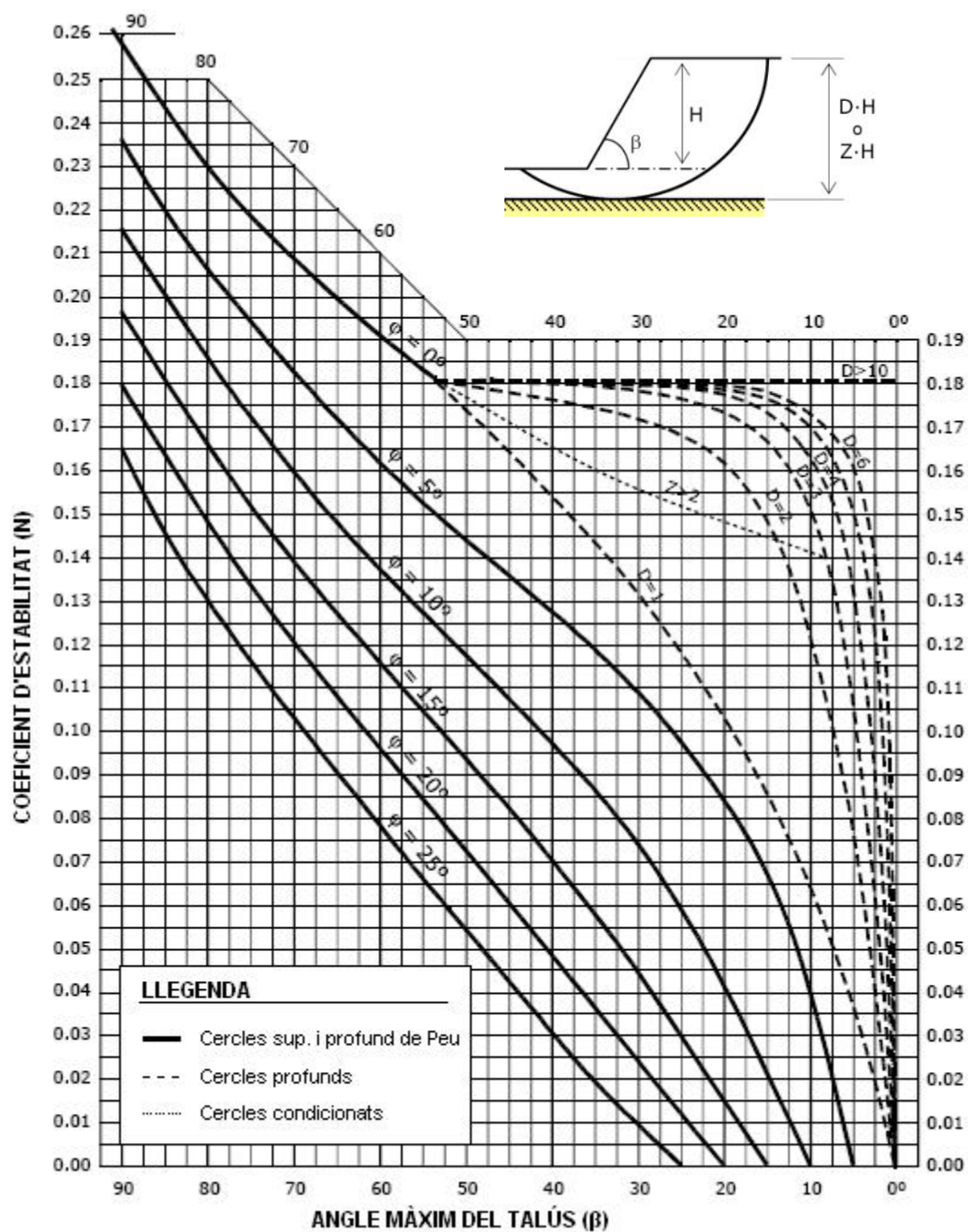


Figura 18: Àbac de Taylor

2.3.3 Tècniques d'estabilització

A l'hora d'estabilitzar una vessant existeix una gran varietat de sistemes i tècniques. Tots segueixen alguna d'aquestes directrius:

1. Reduir les forces desestabilitzadores.
2. Augmentar les forces resistents.

A grans trets, per a reduir les forces desestabilitzadores es pot aconseguir de dues maneres: eliminant material en determinades zones, i aconseguint un bon drenatge a l'interior del talús per reduir l'efecte de les empentes hidrostàtiques i el pes de la massa de terra, que com es pot suposar és menor quan menys aigua conté.

La línia d'acció que ens permet més variants és la d'augmentar les forces residents. Per exemple creant estructures de retenció, o millorant el material per a que sigui més estable.

Els principals mètodes d'estabilització són els següents:

- Modificació de la geometria
- Drenatges
- Armat del terreny
- Murs i elements de contenció
- Mesures de contenció superficial

Modificació de la geometria

Aquesta tècnica permet que es redistribueixin les forces del propi pes del talús obtenint una configuració més estable. Però això no és sempre possible ja que poden sorgir incompatibilitats amb les infraestructures existents. A més, aquesta solució sol ser bastant antieconòmica ja que implica grans moviments de terra. En qualsevol cas, es podrien aplicar les següents metodologies:

- **Disminuint l'angle de talús.** Suavitzant el pendent obtindrem una geometria més estable.

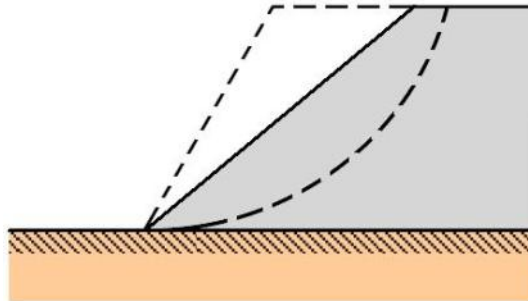


Figura 19: Disminuir angle talús

- **Esglaonant el talús.** D'aquesta manera es divideix la superfície de trencament en varies de mes petites, i s'evita que els trencaments afectin a tot el talús. A més, les berms poden retenir possibles ruptures locals del talús, permeten la instal·lació de drenatges i faciliten l'accés per al control i sanejament de l'estructura.

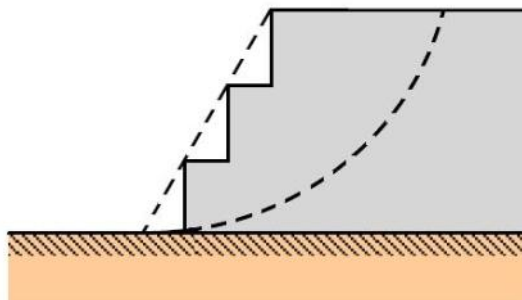


Figura 20: Esglaonament del talús

- **Escapçament del talús.** Eliminem pes de la capçalera del talús reduint així les forces desestabilitzadores.

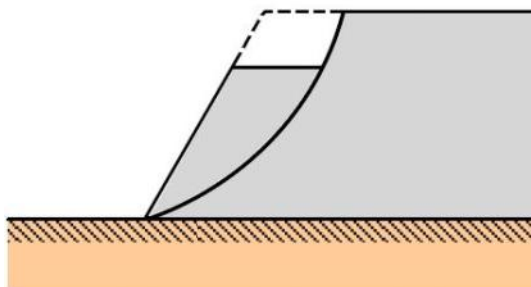


Figura 21: Escapçament del talús

- **Talons i esculleres.** Augmentar la massa de terres al peu del talús, d'aquesta manera augmentem les tensions normals i per tant l'estabilitat. Aquesta tècnica pot ser contraproduent si aquests materials aportats a la base no estan suficientment drenats.

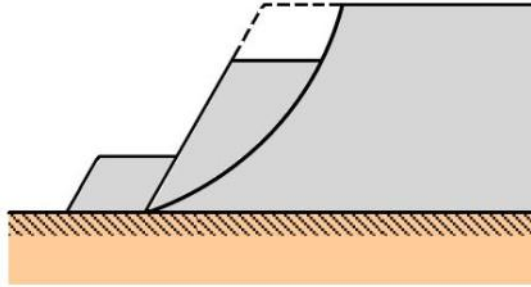


Figura 22: Talons i esculleres

Drenatges

La seva finalitat és disminuir o eliminar l'aigua del talussos, i per tant les pressions intersticials que actuen com a desestabilitzador, debilita l'estructura i afavoreix el seu col·lapse.

- **Superficials.** Els drenatges superficials com ara les rases de drenatge o les canalitzacions, eviten que l'aigua s'infiltri en el talús.

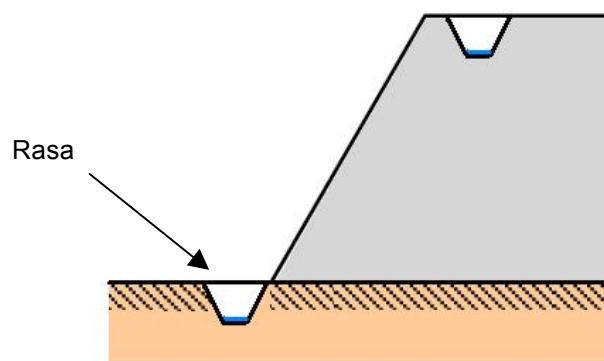


Figura 23: Drenatges superficials

- **Profunds.** Tenen la finalitat d'evacuar l'aigua de dins el talús. Això es pot aconseguir mitjançant pous o drens verticals, drens horitzontals o californians, pantalles drenants, etc.

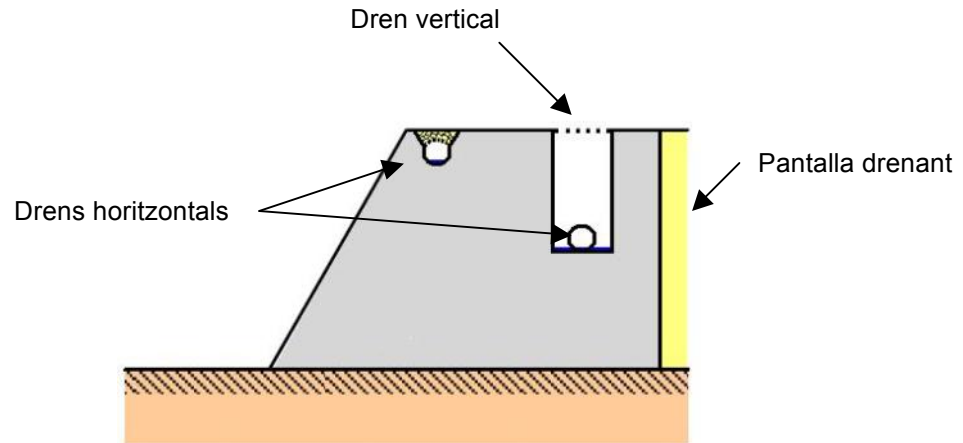


Figura 24: Drenatges prouls

Armat del terreny

D'aquesta manera i mitjançant elements exteriors es proporciona al terreny una resistència que inicialment no tenia.

- **Pilots i micropilots.** La seva tasca és estabilitzar el talús travessant les possibles superfícies de ruptura i arribant a la zona estable, evitant així el lliscament de la massa de terreny. Internament estan sotmeses a esforços de flexió i tallant.

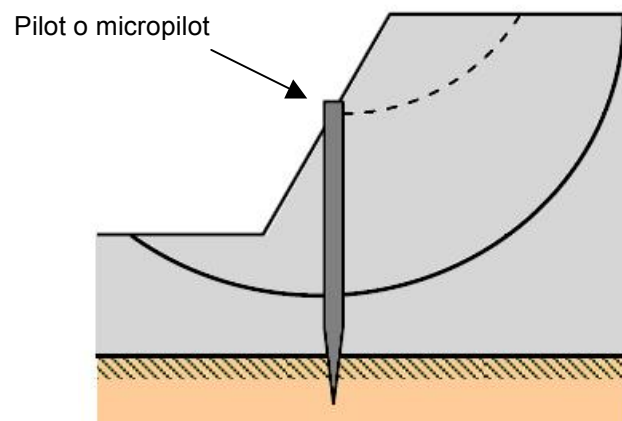


Figura 25: Pilots i micropilots

Aquests elements poden estar enriostats pel capçal i ancorats al terreny per augmentar la seva eficàcia. Se sol requerir una quantitat important d'aquests per estabilitzar el desplaçament.

- **Ancoratges i perns.** Formats per cables o barres d'acer que s'ancoren a les zones estables mitjançant injeccions de ciment. Treballen a tracció, proporcionant una força contrària al moviment. Aquests poden ser *actius*, si es tensa posteriorment a la seva col·locació, o *passius*, si aquest comença a treballar quan es produeix el moviment. També poden ser enriostats per a treballar de forma solidària. Solen ser molt útils per a estabilitzar grans blocs individuals.

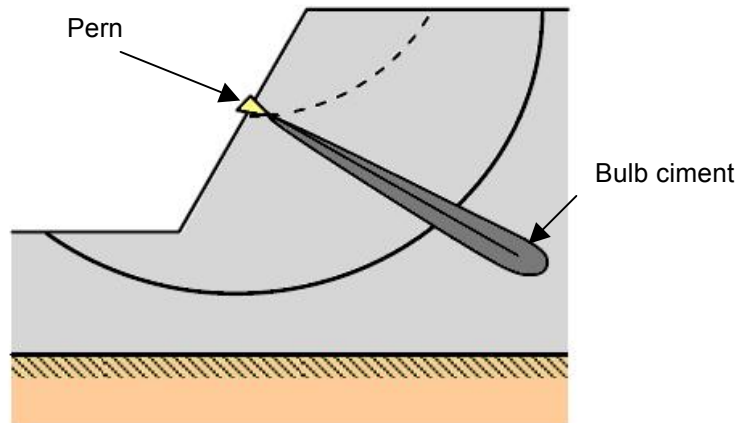


Figura 26: Ancoratges i perns

S'ha de tenir en compte la corrosió que poden patir els elements metàl·lics que conformen l'estructura, i el manteniment que comporten els actius, ja que periòdicament s'hauran de tensar.

- **Soil Nailing.** Es defineix com un sistema per consolidar el terreny mitjançant la instal·lació d'un gran nombre d'ancoratges passius. D'aquesta manera el que es pretén és cosir les terres inestables a la zona estable.

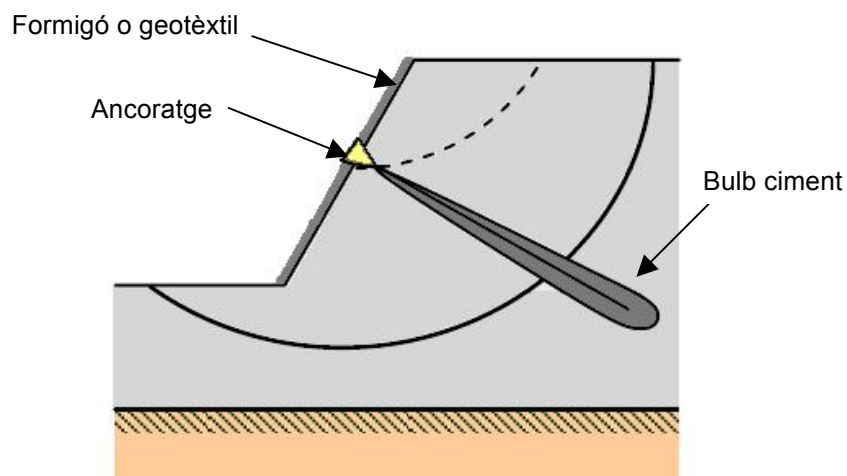


Figura 27: Soil nailing

A més per a complementar aquesta tècnica s'hi pot afegir una capa de formigó projectat reforçat, o una malla geotèxtil. És una solució molt eficaç per a estabilitzar talussos i rebaixos en edificació. D'altra banda s'ha de tenir en compte la corrosió que poden patir els elements de reforç i la impermeabilitat que li proporciona el recobriments de formigó.

- **Malla torsió ancorada.** Com el seu propi nom indica, aquest sistema consta d'una malla de triple torsió ancorada al terreny i reforçada amb cables d'acer. D'aquesta manera s'eviten les esllavissades superficials i l'erosió del talús. És permeable i de fàcil instal·lació però s'ha de tenir en compte la corrosió dels materials constituents.

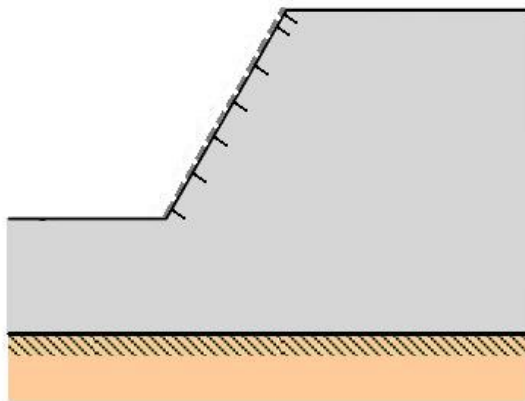


Figura 28: Malla de torsió ancorada

- **Jet grouting.** Es tracta d'injectar ciment al sòl a través d'un o varis dolls a gran velocitat. L'energia d'aquest doll provoca la ruptura del terreny i conseqüentment es barreja amb el material aportat. Aconseguint així un terreny amb propietats millorades. Generalment s'aplica aquesta tècnica per a millorar terrenys per a fonamentacions o impermeabilitzar el sòl.

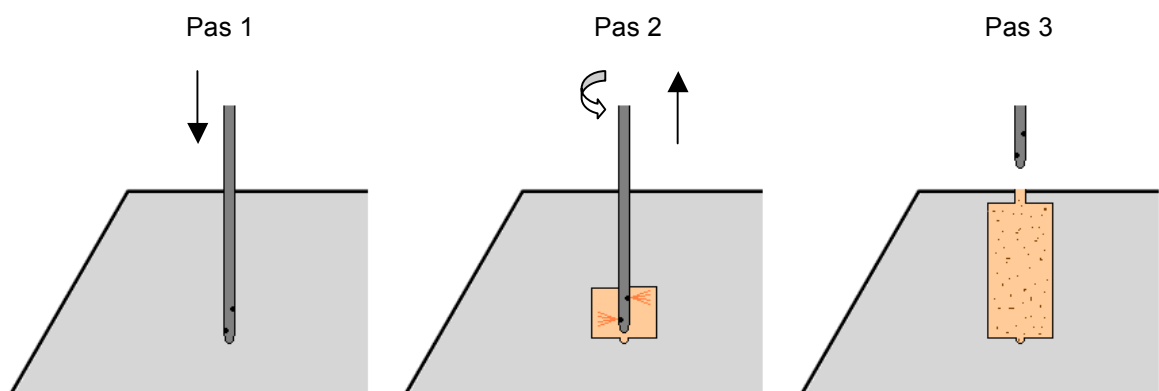


Figura 29: Passos a seguir per a la realització del Jet Grouting

Murs i elements de contenció

Resisteixen els esforços transmesos per les terres evitant el desplaçament de la massa. També poden anar ancorats al terreny.

- **Murs de contenció i murs ancorats.** Son estructures rígides, generalment de formigó, que no permeten deformacions importants sense trencar-se. Es recolzen sobre el terreny per transmetre les forces de la seva fonamentació a l'estructura del mur per absorbir les forces de desestabilització.

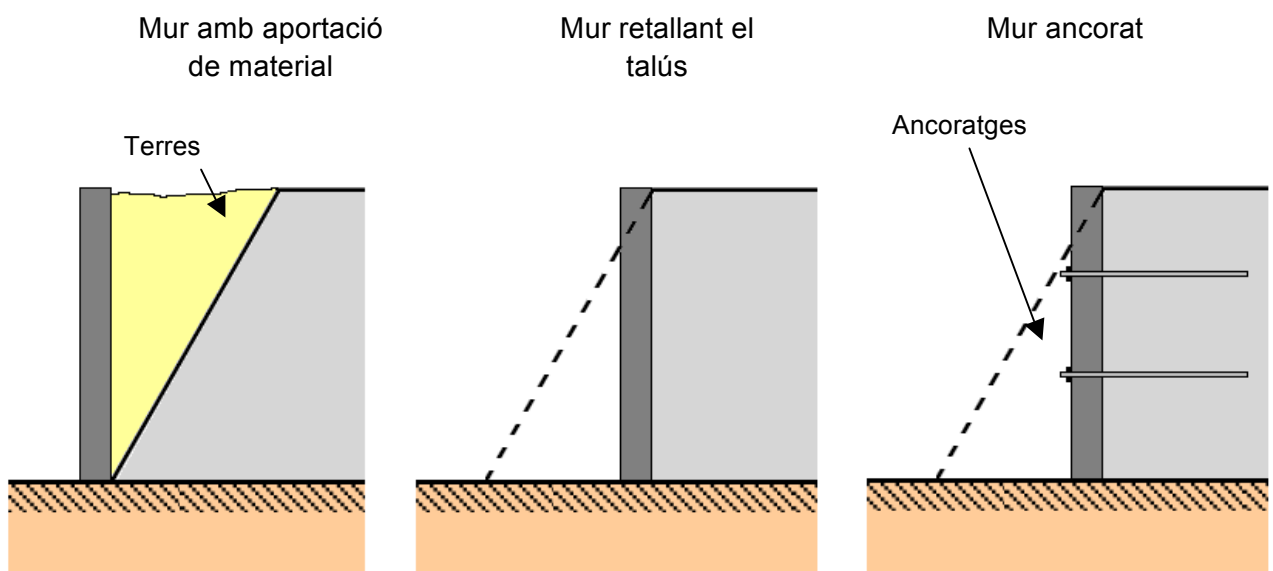


Figura 30: Diferents tipus de murs de contenció

Els murs de formigó son relativament fàcils de construir, ja que s'utilitzen mètodes convencionals per a la seva construcció, i fàcils de mantenir. Per altra banda s'ha de tenir en compte que necessiten un bon terreny per a la fonamentació, i grans quantitats de formigó per a la construcció, a banda del temps que es necessita per el curat. A més com ja s'ha esmentat anteriorment no permeten deformacions importants.

- **Murs de gabions.** Gàbies de tela metàl·lica de forma prismàtica plena de pedres i grava grossa. La flexibilitat intrínseca de l'estructura li permet treballar sense trencar-se. Aquest sistema és permeable al pas de l'aigua, d'aquesta manera es permet el drenatge natural i alleuja la pressió hidrostàtica. Per contra, les xarxes de tela

metàl·lica son sensibles a la corrosió. Aquest sistema s'empra en murs de contenció, defenses fluvials, correctors de torrents, etc.

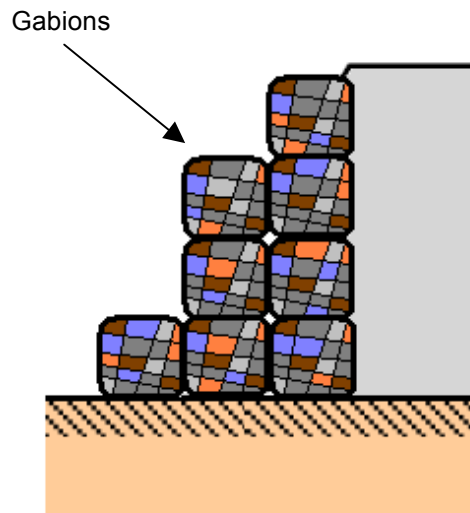


Figura 31: Murs de gabions

Mesures de contenció superficial

Mitjançant aquestes tècniques s'evita l'erosió de les capes superficials del terreny i les petites esllavissades.

Hidrosembra. Projecció d'una mescla d'aigua amb una sèrie de productes: llavors, fertilitzants orgànics i inorgànics, fibres vegetals i estabilitzant adherent natural.

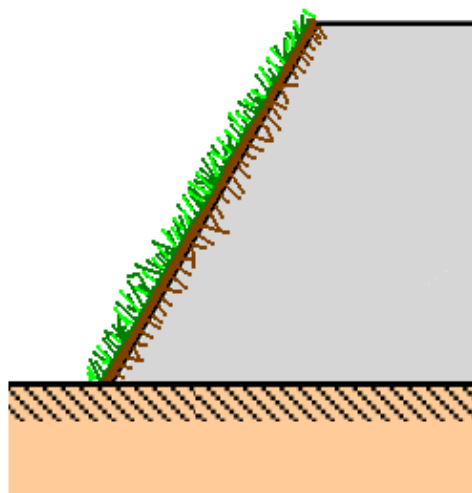


Figura 32: Hidrosembra

És el sistema més idoni per a la revegetació de talussos, amb el que s'aconsegueix controlar l'erosió i integrar les obres al paisatge disminuint l'impacte ambiental. La finalitat de les hidrosembres és aconseguir una coberta vegetal herbàcia inicial que serveixi com a punt de sortida per a l'establiment posterior de plantes autòctones.

Murs verds o ecològics. Fets a base de material geotèxtil d'alta durabilitat i residents a la tracció. Aquest sistema evita l'erosió i afavoreix la revegetació, S'adapta a tots els terrenys i és fàcil i ràpid d'instal·lar. Per altra banda son molt flexibles i fàcils de deformar. A més, i depenent del material constitutiu, la xarxa es pot descompondre.

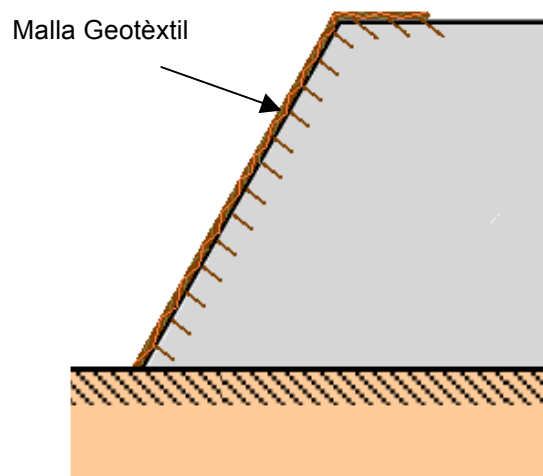


Figura 33: Malla geotèxtil

Gunitat. La gunita és una barreja d'aigua, àrid, ciment i additius que, amb la bomba i el canó adequats, es projecten sobre la superfície a recobrir.

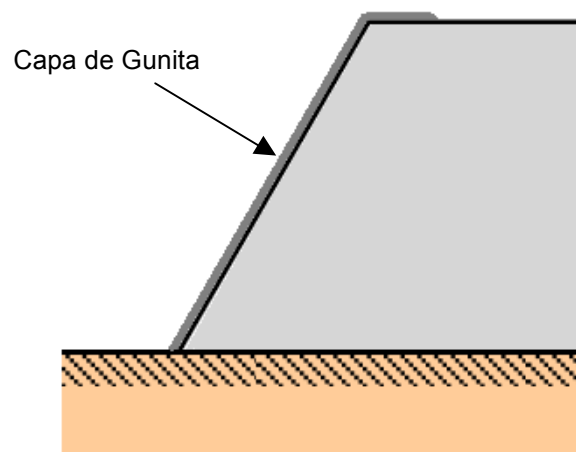


Figura 34: Gunitat

Això crea una capa impermeable a l'aigua i ajuda a evitar petites esllavissades. Es pot combinar amb una malla ancorada per a augmentar la seva efectivitat. Es sol aplicar en talussos rocosos i de material no cohesiu.

2.3.4 Discussió de la solució

Com s'ha vist anteriorment existeixen varies maneres d'estabilitzar el terreny, i depenent dels requeriments i les necessitats existiran uns sistemes més apropiats i factibles que d'altres. En aquest capítol es tracta de trobar quin és el model més adequat per als nostres necessitats tenint en compte que la quantitat i abast de les actuacions siguin apropiades/proporcionals a la importància de l'estructura.

D'altra banda, quan existeixin varies alternatives possibles d'estructures d'estabilització s'hauran de comparar des del punt de vista econòmic, basant-se en els costos d'execució i de manteniment del sistema.

D'aquesta manera l'elecció del sistema més eficient i eficaç, vindrà determinada per:

- Causes que provoquen la inestabilitat
- Tipus d'infraestructura que afecta
- Risc dels desperfectes que es puguin generar
- Procés d'execució
- Durabilitat i manteniment
- Impacte visual i ambiental

Causes que provoquen la inestabilitat: Per a poder realitzar un bon disseny de l'estructura d'estabilització primerament s'han de buscar les causes del desequilibri. No es podria posar remei a una situació que no se'n sap l'origen. Amb la coneixença d'aquests factors es podrà determinar de manera més acurada el sistema d'estabilització.

Tipus d'infraestructura que afecta: S'ha de tenir en compte la localització del talús i la seva posició relativa a les infraestructures del seu entorn. De quina manera es poden veure afectades aquestes per l'estructura final i també durant el temps d'execució. Com és lògic no

afecta de la mateixa manera una estructura en una zona rural entre camps que en mig d'una zona urbana envoltada d'edificis i carreteres.

Nivell de seguretat: La qualitat d'un bon disseny no depèn únicament del factor de seguretat assumit, sinó també del model geològic, dels paràmetres geotècnics, entre d'altres. Per tant els factors de seguretat per si sols no representen una garantia per a l'estabilitat de l'estructura.

A més s'ha de tenir en compte que els factors de seguretat no cobreixen els errors ni l'incompliment de les especificacions d'execució, equivocacions en els càlculs, diferències de la resistència dels materials en el laboratori o in situ.

Procés d'execució: A l'hora de determinar la millor tècnica per estabilitzar el talús s'ha de tenir en compte la seqüència i el mètode de construcció. No s'ha de pensar només en el resultat final sinó també de quina manera pot afectar l'execució de la solució a l'estabilitat. A més s'han de tenir en compte les càrregues que suportaran els talussos durant el període de construcció i els moviments d'assentament posteriors.

És important per la seguretat i l'economia que es tingui especial consideració en els mètodes i materials que s'empraran, d'aquesta manera s'ajudarà a evitar estructures perilloses que poden ser contraproductes. A més, generalment, es pot aconseguir estalviar incorporant part de les feines temporals d'execució dins de l'estructura permanent.

Durabilitat i manteniment: Una durabilitat inadequada pot significar un cost molt alt de manteniment. És per això que s'ha de tenir molt present la durabilitat de l'estructura o sistema d'estabilització i els requisits de manteniment. S'han de tenir en compte el clima i l'ambient de la zona d'estudi per a poder triar els materials amb les especificacions adequades.

Impacte visual i ambiental: Les estructures d'estabilització dels talussos poden ser part important d'un paisatge ja sigui rural o urbà, i és per això que s'ha de minimitzar l'impacte visual i ambiental que pugui generar, intentant que aquest fet no incrementi el preu del conjunt. A banda de satisfer els requeriments funcionals l'estructura d'estabilització s'ha de integrar en el seu entorn.

La millora de l'aspecte visual es pot aconseguir, a vegades, amb algun tipus de vegetació, tenint en compte sempre que no puguin causar cap desperfecte ni a curt ni a llarg termini.

A banda de l'aspecte estètic, i abans de realitzar cap tipus d'acció, s'ha de comprovar si la zona on es vol fer l'actuació és un espai natural de protecció especial. Es pot demanar aquesta informació a l'administració corresponent.

3 TALÚS MONTILIVI

3.1 Documentació del terreny

3.1.1 Situació i emplaçament

El talús a estudi està situat al barri de Montilivi, dins la ciutat de Girona (Catalunya). Entre la grada est del camp de futbol municipal de Montilivi i la carretera de circumval·lació de la Universitat de Girona.



Figura 35: Foto aèria de la ubicació del talús (Font: UMAT)

3.1.2 Memòria històrica

L'Estadi Municipal de Montilivi es va inaugurar l'any 1970. Es va construir en una vessant de la muntanya, de manera que la grada sud es va haver d'excavar mentre que la grada nord es va edificar sobre el material resultant de l'excavació.

En els primers anys de funcionament de l'Estadi, es van produir deformacions importants en la grada nord, resultat, possiblement, d'una defectuosa compactació i el natural assentament dels materials sobreposats. Malgrat això, entre els anys 1970 i 1996 els talussos de l'Estadi van esdevenir estables, i no es van detectar esllavissaments.

Segons la memòria històrica, l'Estadi disposava d'una xarxa de recollida d'aigües pluvials i de drenatge en direcció NW, seguint el curs natural dels torrents. Aquest fet indica que aquell sistema de drenatge funcionava de manera adequada. Tanmateix, l'any 1995-96 es realitzen les obres d'urbanització de la Universitat de Girona, canviant així la morfologia de la zona. Des de llavors l'Estadi Municipal del Girona ha sofert esllavissaments i inestabilitat en el terreny. Segons els estudis, quan es va fer la reordenació del sector es van tallar tots els sistemes de drenatge natural i l'aigua queda retinguda en els talussos.

La problemàtica que existeix en aquests terrenys està directament relacionada amb les propietats geomecàniques del sòl. Aquest està format per argiles amb una alta expansivitat que amb una variació d'humitat o el contacte amb l'aigua minven i es mouen. Aquest fet provoca que qualsevol element que s'hi instal·li no quedi ben consolidat

A més, els tècnics indiquen que els problemes són extensius a tot el sector, ja que passa el mateix en els talussos de la carretera de Quart, i en els de la zona comercial de Mas Gri.

A l'any 2004, i degut a les pluges, el terreny es va saturar d'aigua i es va mobilitzar, provocant el trencament de la canonada de desguàs de les instal·lacions esportives de la Universitat de Girona i desencadenant una solifluxió dels materials.



Figura 36: Foto de l'esllavissament de l'any 2004 (Font: Lithos Geotècnia)

Posteriorment, a l'any 2010, i durant les obres de remodelació de l'estadi, es va generar una nova esllavissada. En aquest cas el factor desencadenant va ser la intensa nevada que va caure en dies anteriors, que com en tots els casos va alterar les propietats mecàniques del sòl i va desestabilitzar l'estructura. Com a conseqüència es va haver de tallar un carril de la

carretera de circumval·lació de la universitat ja que va posar en entredit la seguretat d'aquesta.



Figura 37: Foto de l'esllavissada de l'any 2010 (Font: Aragirona.cat)

3.1.3 Seccions del talús

El talús a estudi presenta una morfologia complexa. És un tascó que va incrementant la seva amplada alhora que incrementa l'alçada, i en la seva part més alta defineix una semicircumferència resseguint els límits de l'estadi de Montilivi.

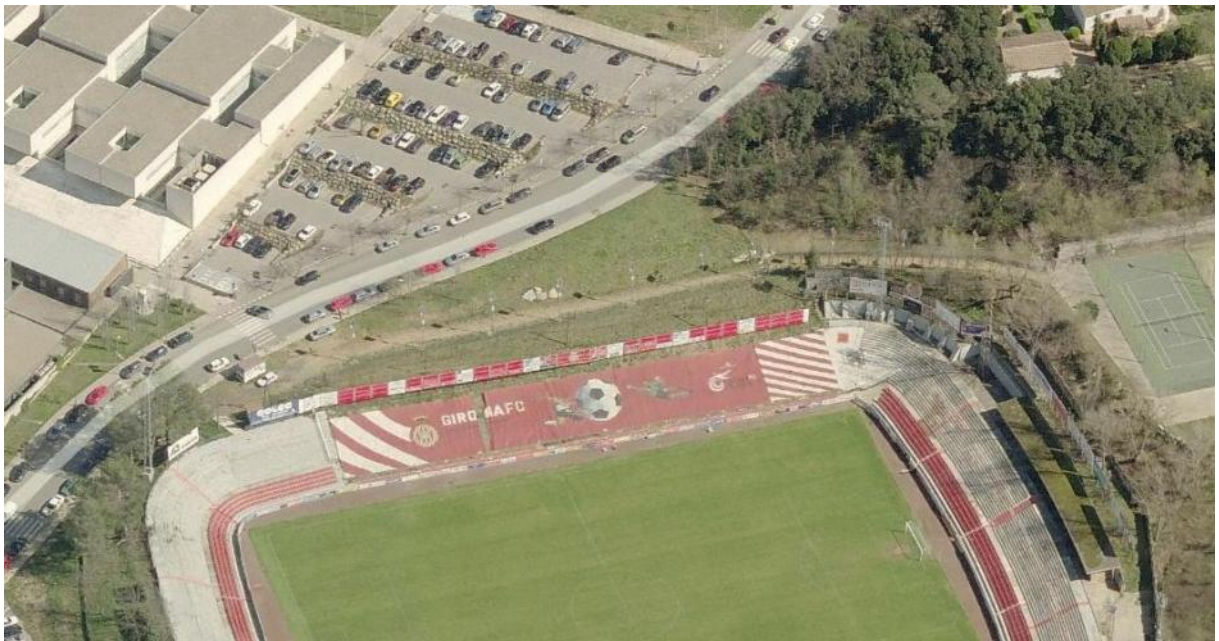


Figura 38: Foto obliqua del talús 2007 (Font:UMAT)

Per aquest motiu, no es podria simplificar amb una secció representativa de tot el talús i es decideix fer-ho amb tres, de la següent manera:

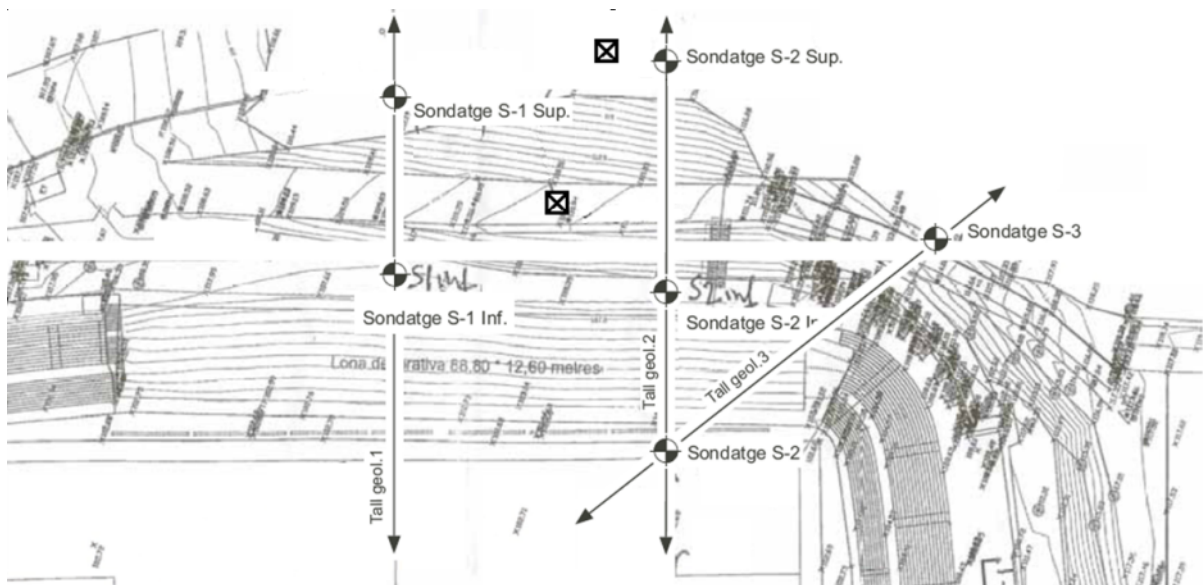


Figura 39: Croquis de les seccions a estudi (Font: Estudi Geotècnic Cecam)

D'aquesta manera s'analitzarà l'estabilitat per cadascuna de les seccions i es prendrà com a referència el cas més desfavorable. A continuació es detallen les seccions a estudi:

Secció 1

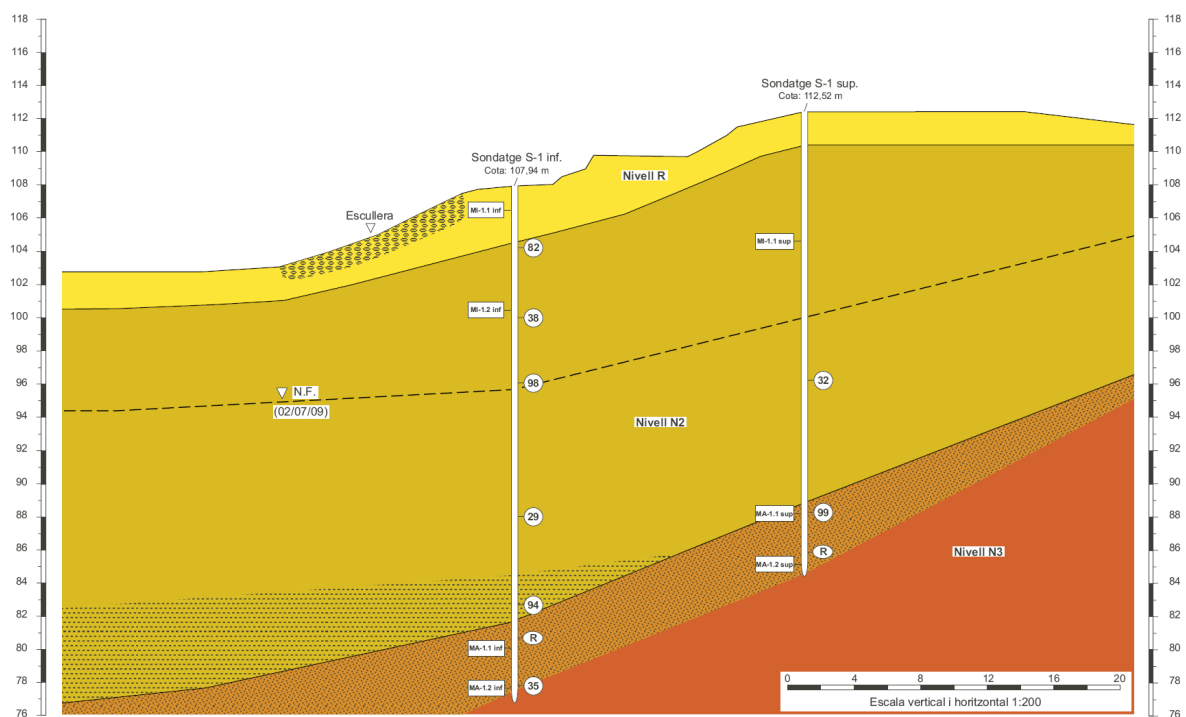


Figura 40: Tall geològic de la primera secció (Font: Estudi Geotècnic Cecam)

Secció 2

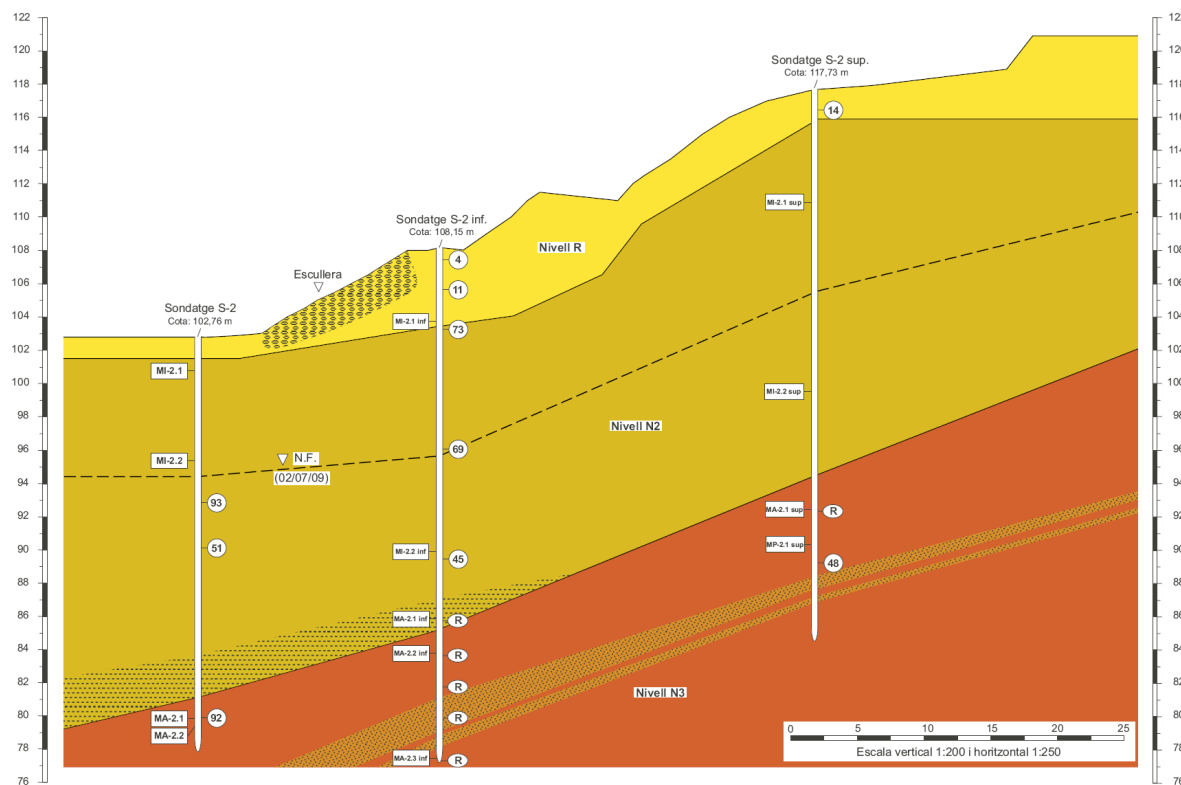


Figura 41: Tall geològic de la segona secció (Font: Estudi Geotècnic Cecam)

Secció 3

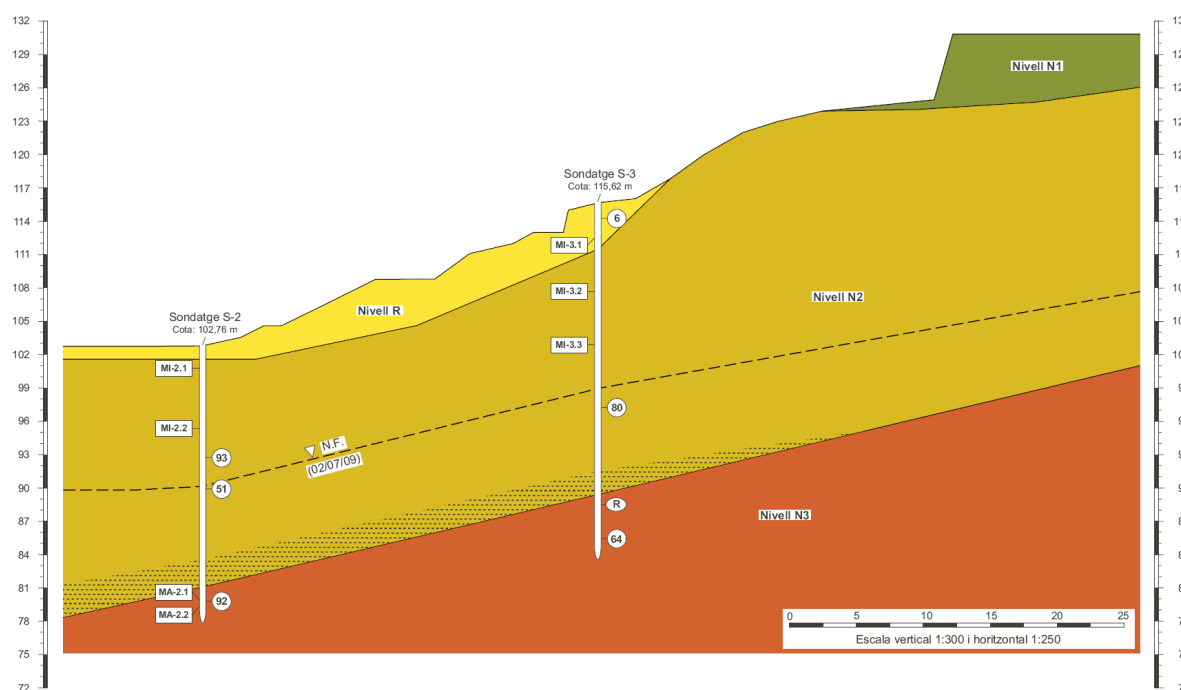


Figura 42: Tall geològic de la tercera secció (Font: Estudi Geotècnic Cecam)

Com es pot observar cada secció presenta una morfologia diferent on a més hi apareixen uns determinats estrats. En el capítol següent Estudi Geotècnic es detallarà la caracterització i propietats de cadascun d'ells.

3.1.4 Estudi geotècnic

El talús objecte d'estudi s'ubica geològicament sobre els materials Neògens (Miocè superior) dipositats ara fa 10.2 milions d'anys, que constitueixen la part meridional de la Depressió de la Selva. Aquests materials són bàsicament sorres arcoses, argiles i graves, en ocasions cimentades. Provenen de l'erosió dels relleus que envolten a la depressió. De la Serralada Transversal i de les Guàrdies al nord i a l'oest, i del Massís de les Gavarres i de la Serra de la Selva marítima a l'est i al sud respectivament.

En concret, es troba als turons de Palau, a cavall entre els al·luvials dels rius Ter i Onyar. Els materials que conformen aquests turons en el sector estudiat són, d'una banda graves i sorres amb algunes pinzellades d'argiles, i de l'altra, argiles de colors variats amb algunes intercalacions sorrenques.

Caracterització geotècnica dels materials

Nivell R

Litologia: Rebliment d'argiles sorrenques, sorres i graves argiloses

És una successió irregular d'argiles sorrenques i sorres argiloses amb còdols. La natura, la mida i la seva presència són variables i en alguns trams es passa a tenir una grava argilosa. També formaria part d'aquesta unitat, malgrat que no s'ha interceptat en cap dels punts de reconeixement, l'escullera que es va construir a la part inferior del talús.

Nivell N1

Litologia: Graves sorrenco-argiloses de color marró clar.

És una successió de graves formades per còdols mil·limètrics a decimètrics (no solen sobrepassar els 25 cm) i per una matriu de sorres de gra mitjà a gros lleugerament argiloses

a argiloses. Els còdols de les graves corresponen majorment a fragments rocallosos de roques metamòrfiques i alguns d'ells es troben alterats i es disgreguen.

Nivell N2

Litologia: Argiles de colors marró i gris amb nòduls i concrecions de carbonat.

Es tracta d'un paquet d'argiles molt potent que es caracteritza per presentar un color marró amb tonalitats grises, verdoses i blavoses. El seu contingut en carbonat sol ser important, bé que en els trams de coloracions gris-blavoses aquest disminueix i sol coincidir amb el fet que el seu aspecte plàstic és més manifest.

Cal esmentar que en fondària, prop de la base de la unitat, hi ha zones on les argiles es fan menys plàstiques i passen a argiles llimoses, llims argilo-sorrencs i sorres fines llimo-argiloses.

Nivell N3

Litologia: Sorres i graves de color beix amb algunes passades d'argiles.

Es tracta de sorres de gra fi a gros lleugerament argiloses a argiloses que tot sovint engloben còdols mil·limètrics a centimètrics de roques ígnies metamòrfiques i de quars que presenten contorns subangulosos a arrodonits. En diferents trams el contingut en còdols s'incrementa i es passa a tenir unes graves sorrenco-argiloses.

Hidrogeologia

Gràcies a la construcció de dos piezòmetres es va poder constatar l'existència d'una zona saturada d'aigua amb un sentit de flux, local, cap a l'oest o nord-oest i que podria seguir la morfologia de la zona. És a dir, l'aigua subterrània cercaria l'eix de la vall que, aproximadament ve donada per la tribuna i l'aparcament adjacent, i separa la zona de la Universitat dels turons de la Solana de Palau.

Amb els nivells detectats l'aigua satura parcialment el nivell N2 i totalment l'N3.

Val a dir que la natura argilosa dels materials del nivell N2, on s'han instal·lat els dos piezòmetres, fa que hi hagi quelcom d'incertesa en relació als gradients que defineix la zona saturada.

Propietats mecàniques del sòl

Nivell	Densitat humida (g/cm ³)	Cohesió aparent (kg/cm ²)	Cohesió efectiva (kg/cm ²)	Angle de fregament intern aparent (graus)	Angle de fregament intern efectiu (graus)
R	2,06	0,35	0,20	7,40	25,01
N1	2,10	0,2	0,20	34	34
N2	2,08	1,058	0,73	13,38	17,02
N3	2,15	0,60	0,60	34	34

3.2 Talús a estudi

3.2.1 Anàlisi d'estabilitat global del talús

En aquest apartat s'estudiarà l'estabilitat global del talús. Per a fer-ho s'utilitzaran les eines de càlcul explicades a l'apartat 2.3.2. Amb el mètode de Fellenius es determinaran els factors de seguretat de cada secció. Si els factors de seguretat resulten estar compresos entre 1,5 i 2 voldrà dir que les seccions són estables i per tant, el talús. Per altra banda també es comprovarà l'estabilitat de les seccions amb el mètode de Taylor. Aquest com s'ha comentat anteriorment és un mètode més imprecís, però alhora, més senzill. D'aquesta manera, si els angles de les nostres seccions a estudi son inferiors a els angles de talús màxims obtinguts, es podrà afirmar que les seccions son estables.

Cada secció serà analitzada per condicions a curt i llarg termini, o el que és el mateix, en condicions no drenades i drenades. Generalment, a l'augmentar l'angle de fregament intern en condicions drenades sol provocar un lleu increment en la seguretat. Així doncs s'analitzaran sis casos:

Secció 2:

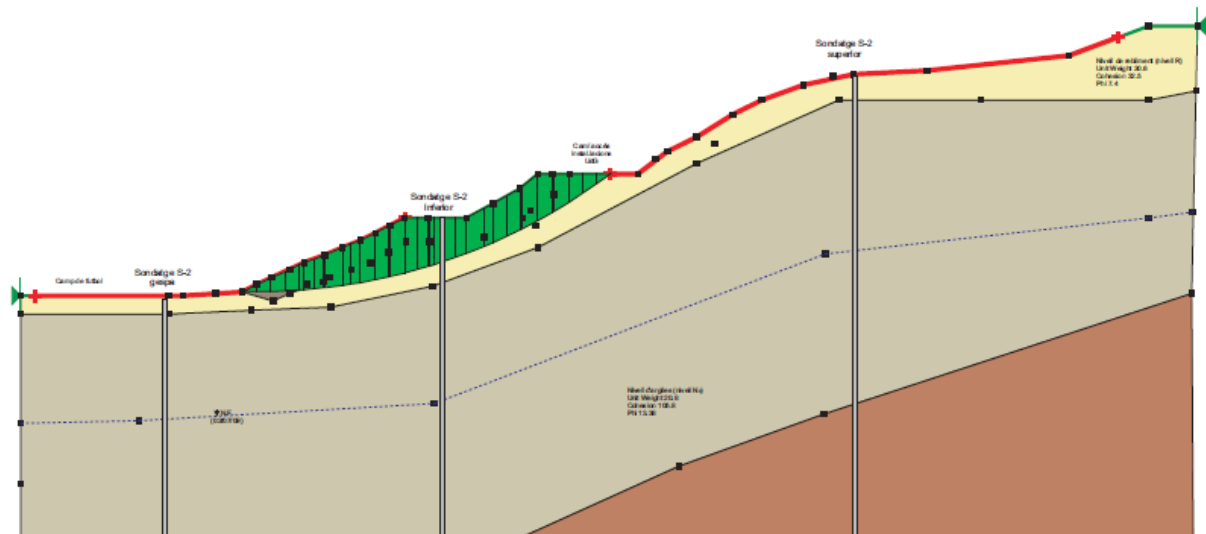


Figura 44: Tascó de lliscament de la segona secció (Font: Estudi Geotècnic Cecam)

Secció 3:

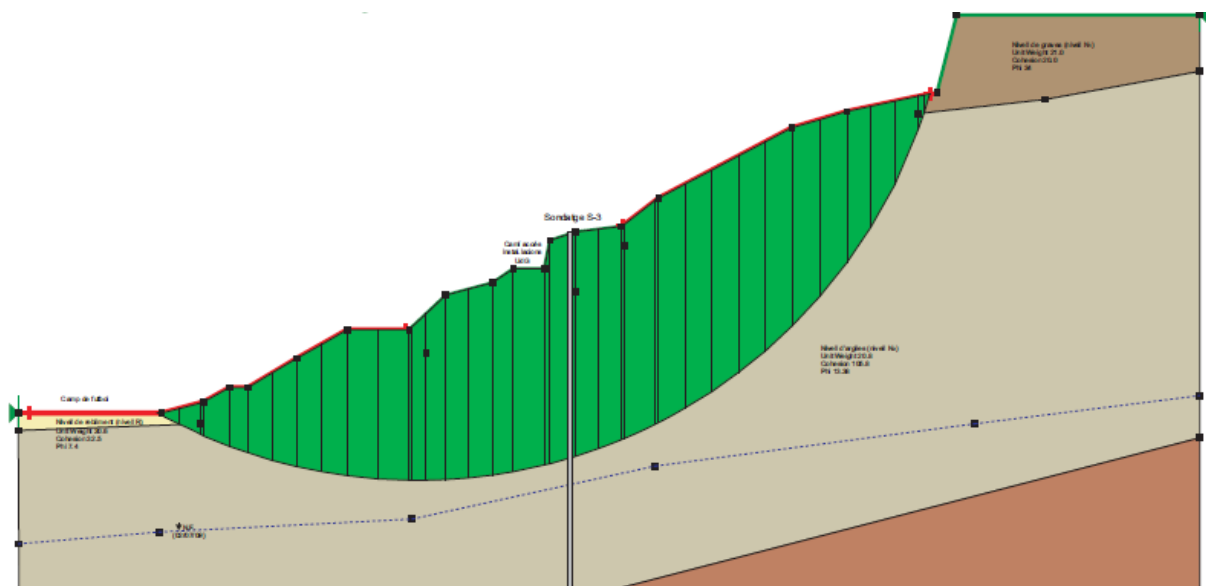


Figura 45: Tascó de lliscament de la tercera secció (Font: Estudi Geotècnic Cecam)

Com es pot observar en els gràfics les dues primeres figures descriuen un cercle superficial de peu, i la secció 3 un cercle de peu profund.

Tot seguit s'estudia l'estabilitat pel mètode de Fellenius (An A.1), que com s'ha vist anteriorment és un mètode aproximat.

S'obté el factor de seguretat per cada cas:

	Cas 1	Cas 2	Cas 3	Cas 4	Cas 5	Cas 6
F	7,25	6,48	6,19	5,8	5,86	4,69

A banda de que el mètode pugui ser més o menys acurat i tant en condicions drenades com no drenades, s'obtenen uns valors d'estabilitat molt elevats. De l'ordre de tres vegades més del que es podria considerar estable ($F=2$).

Tot i haver obtingut els resultats anteriors es comprova l'estabilitat pel segon mètode, l'Àbac de Taylor. En aquest cas, en comptes d'obtenir el factor de seguretat s'obté l'angle de talús màxim. Si l'angle del talús a estudi és més petit que el l'angle màxim obtingut voldrà dir que és estable.

Els resultats del mètode de Taylor són els següents:

	Cas 1	Cas 2	Cas 3	Cas 4	Cas 5	Cas 6
β (°)	48°	52°	40°	55°	60°	52°

Considerat que els angles del talús de cada secció són els següents:

	Secció 1	Secció 2	Secció 3
β (°)	16,26°	17°	21,8°

Es pot considerar que el talús és estable, ja que tots els angles de talús són més petits que els angles de talús màxims obtinguts, tant a curt com a llarg termini.

Aquests resultats contrasten amb el que inicialment s'esperava, ja que es creia que els esllavissaments que havia patit aquest talús al llarg de la història eren causats per la inestabilitat global d'aquest. De totes maneres, amb aquests resultats el que es pot afirmar és que el talús és estable a lliscaments rotacionals.

En la mateixa direcció, l'estudi geotècnic realitzat per Cecam considera que la situació teòrica és prou estable, i que la situació més crítica d'inestabilitat en produeix entre els nivells R i N2. Es considera que quan la zona de contacte resta exposada a una saturació important d'aigua, les argiles de N2 s'expandeixen i les seves prestacions resistents minven.

En aquesta situació el contacte entre les unitats R i N2 fa de pla de lliscament i motiva el desplaçament del terreny sobreposat. Així doncs, i donat que s'han de considerar totes les configuracions potencials d'inestabilitat que siguin rellevants, s'analitzarà l'estabilitat superficial d'aquest talús.

3.2.2 Anàlisi d'estabilitat superficial del talús

S'ha comprovat que el talús és teòricament estable globalment, però es detecta una inestabilitat superficial entre dos estrats, R i N2. Per aquest motiu s'analitza l'estabilitat d'aquestes capes.

Desplaçament de R sobre N2:

Aplicant l'equilibri de forces i resolent les equacions (An. A.3) s'han obtingut els resultats següents:

	Curt termini	Llarg termini
F	5,55	4,07

Com es pot apreciar, s'obtenen factors de seguretat molt elevats en ambdós casos. Això es degut a que no s'ha tingut en compte com l'aigua afecta al terreny. En el pitjor dels casos, si les argiles es saturessin d'aigua la cohesió desapareixeria. Així doncs, eliminant la cohesió de l'expressió de les forces estabilitzadores s'obtenen els factors de seguretat següents:

	Curt termini (Argiles saturades)	Llarg termini (Argiles saturades)
F	0,41	0,53

Es pot observar que, quan el terreny es satura d'aigua, degut per exemple a fortes precipitacions, apareixen els problemes d'estabilitat. Que, evidentment, podrien desencadenar en una esllavissada. Per aquest motiu s'haurà de dissenyar i dimensionar una solució que consolidi aquest talús.

3.2.3 Consideracions preliminars

Com es pot apreciar a l'estudi del terreny en aquesta zona hi predominen les argiles expansives. Això provoca que les terres que podrien semblar consolidades a priori modifiquin el seu estat amb una petita o gran variació de la humitat i esdevinguin inestables. A més, i com així ho reflexen els estudis, és el que ha passat. S'han trencat els fluxos de drenatge natural del terreny i l'aigua queda retinguda, comportant un augment del pes de les terres i l'expansió de les argiles.

S'ha trobat molta aigua retinguda en aquest indret, i els experts no poden explicar gaire aquesta situació, ja que aquesta zona queda pràcticament al cim de la carena dels turons de Palau, i el volum d'aigua trobada és més elevat del que es considera normal.

Una altra de les circumstàncies a tenir en compte és la infraestructura que queda al damunt d'aquest talús, la carretera de circumval·lació del campus de Montilivi. No només hi accedeixen estudiants de la universitat sinó que a més, és un nexa d'unió entre Montilivi-Palau i la sortida est de la ciutat de Girona. Així doncs és una via per on hi circulen un volum considerable de vehicles.

A més, i dividint en dos el talús de manera transversal, hi trobem el camí d'accés a les instal·lacions esportives de la Universitat de Girona. No és un vial transitable per a vehicles de motor conseqüentment només hi circulen vianants.

Per altra banda i en la part més alta del talús s'hi troba el Mas Argall, una vivenda particular on actualment s'hi resideix. Si continuessin les esllavissades al llarg del temps la seguretat per els habitants d'aquesta residència perillaria.

El talús a estabilitzar no està ubicat dins de cap nucli sensible d'afectació de flora i fauna, per tant, no es precisa de cap tipus de mesura de protecció especial a nivell Medi Ambiental. S'ha comprovat mitjançant el SIMA (Servidor Interactiu de Mapes Ambientals) del Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya:

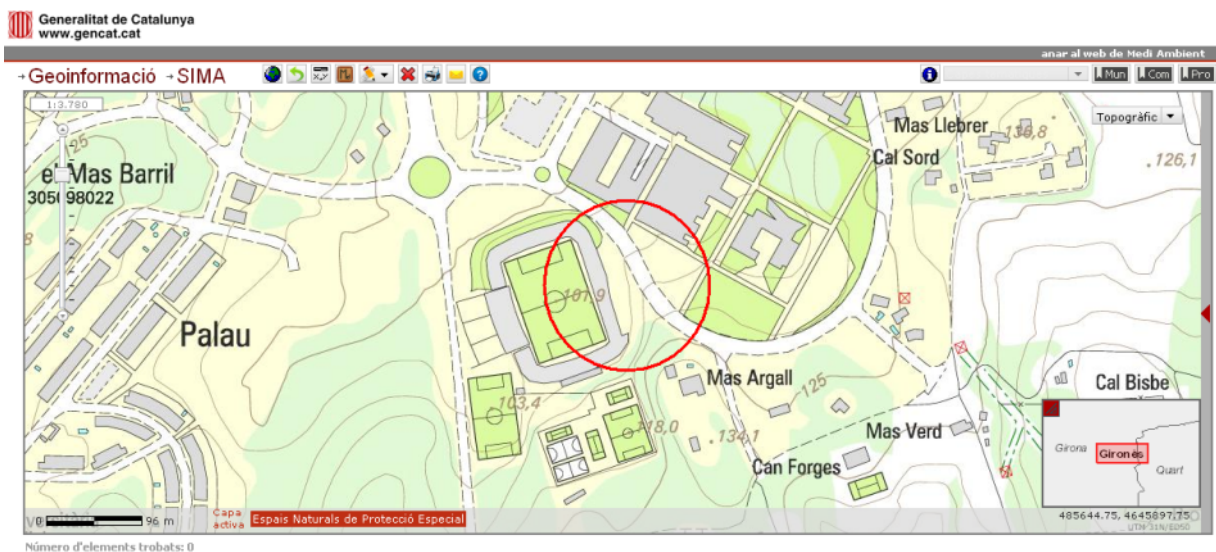


Figura 46: Imatge de la zona d'estudi (Font: SIMA)

No està ni dins ni a prop de cap espai natural de protecció especial. D'altra banda, si que es tindrà en compte minimitzar en la mesura del possible l'impacte visual que es pugui generar intentant aconseguir una òptima integració en l'entorn.

3.2.4 Requisits a complir per la solució proposada

Com s'ha vist en apartats anteriors hi ha tota una sèrie de circumstàncies que s'han de tenir en compte a l'hora d'estabilitzar el talús a estudi. Aquest sembla molt estable fins que, per causes meteorològiques, es canvien les propietats del sòl i es produeixen esllavissades. Per tant, i com que no es pot actuar sobre la voluntat de la natura, el que s'ha d'aconseguir és que aquest terreny quedi consolidat encara que se li canviïn les propietats mecàniques del sòl.

A més s'ha de tenir en compte la gran concentració d'aigua que existeix dins d'aquest terreny. Com que es desconeix la procedència i no es pot quantificar el seu impacte s'haurà

de deixar que flueixi lliurement sense posar cap impediment al seu drenatge natural. La solució proposada ha de permetre la continuïtat dels fluxos i no posar impediments a la lliure circulació d'aquests. En cas contrari es posaria en perill la estabilitat del talús, una altra vegada. Sí es podria, en qualsevol cas, canalitzar aquestes aigües per evitar que s'introduïssin al talús, i una vegada hagin eixit del terreny.

La solució proposada ha de tenir en compte les infraestructures confrontants. No es podrà aplicar cap tècnica que modifiqui substancialment la geometria del talús.

3.2.5 Selecció del tipus d'estructura d'estabilització

En aquest apartat es confrontaran els requisits i els consideracions inicials que ha de complir la solució proposada amb cada tècnica d'estabilització de talussos. S'analitzaran els avantatges i els inconvenients per cada cas i es determinarà si és un mètode vàlid o no per el cas a estudi:

Tècniques d'estabilització		A favor	En contra	Conclusió
Modificació de la geometria	Disminuir pendent	Primera idea per estabilitzar un talús de manera fàcil. Geometria més estable	Interferirà amb infraestructures confrontants.	En aquest cas no és vàlida
	Esglaonat	Solució per a estabilitat Global	No soluciona les esllavissades superficials.	En aquest cas no és vàlida
	Escapçament	Solucionaria les esllavissades del capçal	No soluciona el problema general de les esllavissades	En aquest cas no és vàlida
	Talons i esculleres	Bona solució per a pendents poc pronunciats	No soluciona les esllavissades superficials	Vàlida per a la zona de poc pendent
Drenatges	Superficials	Impedeix que l'aigua provinent dels terrenys anteriors o la carretera s'infiltri en el talús	No impedeix que el flux de drenatge natural s'infiltri en el talús	Vàlid com a mesura complementària
	Profunds	Ajudaria a evacuar l'aigua de l'interior del talús	Grans dificultats d'execució. No resoldria el problema de les esllavissades superficials	Vàlid com a mesura complementària

Armat del terreny	Pilots i micropilots	Contindrien en gran part les esllavissades. Deixaria circular lliurement el flux de drenatge natural del terreny	S'hauria de disposar d'un gran nombre de pilots i molt junts per a que fos eficaç. No resol les esllavissades superficials.	Mesura vàlida però antieconòmica. Es descarta
	Ancoratges i perns	Contindrien en gran part les esllavissades. Deixaria circular lliurement el flux de drenatge natural del terreny	No resol les esllavissades superficials. S'utilitza per a grans blocs individuals, roca.	En aquest cas no és vàlida
	Soil Nailing + gunitat	Contindria totes les esllavissades	No deixa circular lliurement el flux de drenatge natural, degut al projectat de formigó	En aquest cas no és vàlida
	Soil Nailing + geotèxtil	Consolidaria el terreny i permetria la lliure circulació de l'aigua	Necessitaria un reforç sobre del geotèxtil	Mesura vàlida
	Malla torsió	Mantindria el terreny compacte. Deixaria circular lliurement el flux de drenatge natural del terreny	No conté les esllavissades superficials, els fins passarien a través de l'estructura.	Mesura a considerar per a ser complementada
	Jet grouting	Milloraria les propietats del terreny i és de fàcil execució	S'utilitza en terrenys granulars, tot el contrari del cas a estudi	En aquest cas no és vàlida
Murs de contenció	Murs de contenció i ancorats	Contindria les esllavissades	Poc drenant. Dificultats a l'hora de l'execució. No conté esllavissades superficials. Antiestètic. Molt car	En aquest cas no és vàlida
	Murs de gabions	Contindria les esllavissades. Deixaria circular lliurement el flux de drenatge natural del terreny	Dificultats a l'hora de l'execució. No conté esllavissades superficials.	En aquest cas no és vàlida
Contenció superficial	Hidrosembra	Bona mesura en contra de l'erosió del terreny. Bon impacte visual.	No conté les esllavissades superficials.	Vàlid com a mesura complementària
	Geotèxtil	Bona mesura en contra de l'erosió. Fàcil i ràpid d'executar. Mesura econòmica	No estableix el terreny per si sol.	En aquest cas no és vàlida

	Gunitat	Contindria les esllavissades superficials. Fàcil i ràpid d'executar. Mesura econòmica	No estabilitza el terreny. No deixa circular el flux de drenatge natural.	En aquest cas no és vàlida
--	---------	---	---	----------------------------

De la taula anterior se'n pot extreure el següent:

Una de les solucions a considerar son els talons i esculleres. Aquest sistema de contenció evitaria que el terreny esllavisses però, com s'indica a la taula, només seria factible per a zones amb pendents poc pronunciats. L'angle màxim del talús que es podria considerar seria el mateix angle de fregament intern, que com es pot observar en la taula de propietats mecàniques del sòl aquests no son gaire grans. Entre 7 i 25 graus per a la capa R. A més per a determinar aquests valors no s'ha tingut en compte la saturació de les argiles i el possible lliscament de R sobre N2.

Per altra banda, s'ha considerat com a bona solució complementaria els drenatges superficials i profunds. Realitzant una rasa al capçal i al peu del talús s'evitaria que l'aigua provinent de la carretera i terrenys superiors s'infiltrés al talús. A més la realització d'un drenatge profund ajudaria a alleugerir les empentes hidrostàtiques i a alliberar el flux natural del terreny . De totes maneres aquestes solucions per si soles no impedirien les esllavissades superficials, això sí, ajudarien a evitar la saturació del terreny.

Una altra de les tècniques a considerar és el Soil Nailing + geotèxtil. Aquest mètode, com el seu nom indica, cosiria la capa R sobre N2 i evitaria qualsevol tipus de desplaçament. Per una banda estabilitzaria el terreny i per l'altra deixaria circular lliurement el flux natural del terreny. A més la malla geotèxtil evitaria l'erosió del terreny i contindria les petites esllavissades més superficials. Així doncs amb aquesta tècnica es resoldrien tots els requisits.

La malla de torsió metàl·lica no compliria els requisits per si sola ja que no estabilitzaria el terreny ni contindria les esllavissades superficials que es poguessin produir. Està pensada per estabilitzar terrenys rocosos que són l'antítesi de la situació d'estudi, però sí es podria considerar com a reforç de la malla geotèxtil.

Finalment es pot considerar l'hidrosembra com a mesura complementaria. Aquesta evitaria l'erosió del terreny i donaria un molt bon impacte visual. En cap cas es podria considerar com a única solució per estabilitzar el terreny.

3.2.6 Definició i dimensionament de la solució proposada

Com s'ha vist en l'apartat anterior la solució que millor s'adapta als requisits de la situació és el Soil Nailing + Malla geotèxtil. Així doncs es proposa aquest mètode per a ser dimensionat.

Per a la realització del Soil Nailing primerament s'ha de realitzar una perforació en el terreny amb una màquina rotativa de capçal basculant. El diàmetre del forat serà el diàmetre obtingut en la realització dels càlculs del bulb de segellat. Si s'hagués de treballar en llocs tancats la màquina rotativa hauria de ser elèctrica per evitar el soroll i els gasos contaminants generats per el motor d'explosió.

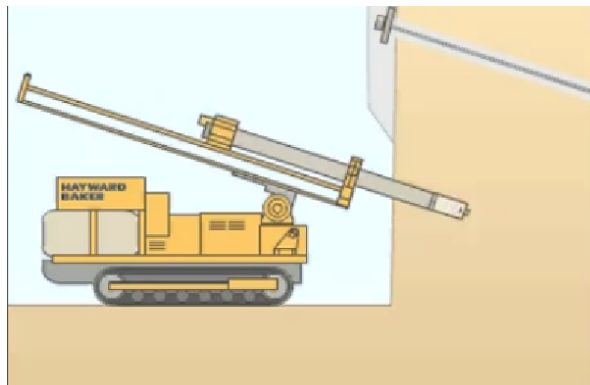


Figura 47: Execució Soil Nailing. Perforació (Font: www.youtube.com)

Una vegada s'ha realitzat la perforació fins a la cota determinada per el projecte, s'injecta el formigó juntament amb el tirant.

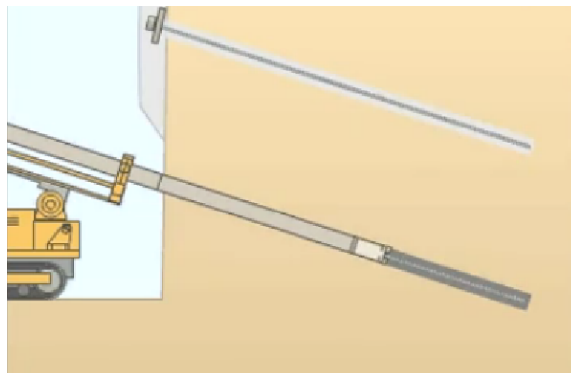


Figura 48: Execució Soil Nailing. Injecció de formigó (Font: www.youtube.com)

Finalment només falta col·locar-hi la placa de repartiment en el capçal del tirant.

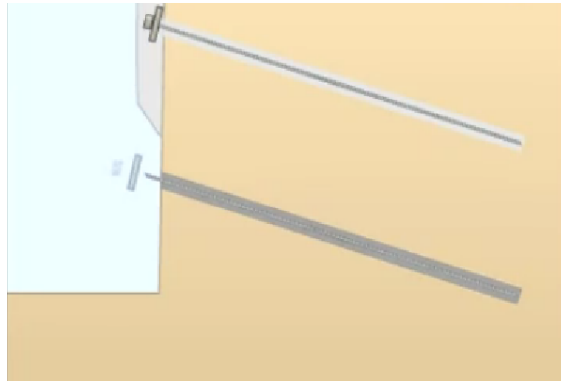


Figura 49: Execució Soil Nailing. Col·locació placa de repartiment (Font: www.youtube.com)

DIMENSIONAMENT DE LA SOLUCIÓ

A efectes de càlcul, i com així ho indica el Codi Tècnic de l'Edificació, es prendran els coeficients de seguretat per a ancoratges permanents, ja que es pretén que la vida útil de tota l'estructura es prolongui més de dos anys.

Es suposarà una quadricula d'ancoratges de 2 metres en horitzontal i 2 metres en vertical, ja que son unes dimensions bastant habituals. I l'alçada, la de la capa R, 2 metres.

L'angle β es considerarà 30° ja que és l'angle màxim que assoleix el talús i per tant, el cas més desfavorable.

L'angle de fregament intern (φ) de les forces estabilitzadores (S) prendrà per valor el de N2 en el cas més desfavorable ($\varphi=13,38^\circ$).

L'objectiu és obtenir la força que ha d'exercir l'ancoratge per mantenir estable el terreny. Aquesta força esta desviada 10° respecte l'horitzontal. És un dels valors habituals amb que es perfora per a fer ancoratges. Interessa que estiguin el més horitzontal possible per treballar a tracció, però alhora ha de permetre retenir el formigó una vegada injectat.

Finalment, aplicant l'equilibri de forces i resolent les equacions (An A.3) s'obtenen els resultats següents:

La força requerida en el tirant és de **97kN**.

Així doncs es busca en el mercat un material que suporti aquesta càrrega. En el cas a estudi s'ha determinat un tirant de 25mm de diàmetre on la càrrega és de 246kN i la càrrega de treball 1,47kN.

Amb aquestes dades s'ha determinat la longitud del bulb efectiva, **5,1m**, i el diàmetre mig **40mm**.

Una vegada definida la solució s'han fet les comprovacions pertinents per a l'estabilització dels ancoratges:

- Comprovació de la tensió admissible del tirant. (An B.1)
- Comprovació del lliscament del tirant dintre del bulb d'ancoratge.(An B.2)
- Comprovació de la seguretat enfront l'arrencament del bulb. (An B.3)

Resultat: Han complert les tres comprovacions.

Com a mesura complementària, per intentar evitar situacions de risc com les de l'any 2004, es podria contemplar la possibilitat de fer unes rases al capçal i al peu del talús per evitar que l'aigua provinent de la carretera de circumval·lació de la universitat s'introdueixi al talús. A més, es podria canviar el tub de desguàs del servei d'esports de l'Udg rígid per un de més flexible. D'aquesta manera si es produís un petit moviment de terra existiria un cert marge abans de trencar la canonada i provocar més desperfectes.

4 RESUM DEL PRESSUPOST

El cost de realització de l'estudi és de QUATRE MIL DOS-CENTS QUARANTA-TRES euros AMB TRENTA cèntims (4.243,30 €), IVA no inclòs.

5 CONCLUSIONS

Amb aquest estudi es pretenia proposar una solució per a la consolidació del talús adjacent a la grada est de l'Estadi municipal de Montilivi, i s'ha complert.

Primerament s'ha analitzat l'estabilitat global del talús, amb els mètodes de Fellenius i Taylor, i s'han obtingut resultats sorprenents. Els factors de seguretat han estat tres vegades superiors respecte les condicions que es podrien considerar estables. Així doncs, l'estabilitat global del talús queda garantida.

Per altra banda, s'ha analitzat l'estabilitat del talús a esllavissades translacionals (superficials), ja que és una configuració potencial d'inestabilitat. I s'ha determinat que existeix una zona crítica entre els estrats R i N2. Quan aquests entren en contacte amb l'aigua, les argiles de N2 s'expandeixen i les seves prestacions resistents davallen substancialment. És pot concloure doncs que aquesta situació no és estable, i s'hi ha de posar remei.

Es confronten els requeriments del talús amb les tècniques més habituals per trobar la més adient, i es determina que el Soil Nailing amb un recobriment de Geotèxtil és la millor solució. El Soil Nailing impedirà els desplaçaments de la massa de terra, alhora que el Geotèxtil evitarà l'erosió del terreny i permetrà drenar lliurement l'aigua.

Es calcula la força que han d'exercir els tirants del Soil Nailing per a estabilitzar el terreny i es dimensiona la solució:

La càrrega de treball requerida serà de 97kN, en una graella de tirants cada 2 metres en horitzontal i 2 metres en vertical, on el diàmetre de cada tirant serà de 25mm i la dimensió del forat per injectar-hi el formigó de 40mm.

Posteriorment, i tal com s'indica en el Codi Tècnic de l'Edificació, es comprova l'estabilitat dels ancoratges, de tres maneres:

- Comprovació de la tensió admissible del tirant.
- Comprovació del lliscament del tirant dintre del bulb d'ancoratge.
- Comprovació de la seguretat enfront l'arrencament del bulb.

Les tres comprovacions son favorables.

Com a recomanació, i per evitar situacions de risc com les de l'any 2004, fora bo que es prenguessin certes mesures complementàries. Drenatges al capçal i al peu del talús per evitar que l'aigua provinent de la carretera de circumval·lació de la universitat s'introdueixi al talús. A més, es podria canviar el tub de desguàs del servei d'esports de la UdG rígid per un de més flexible. D'aquesta manera si es produís un petit moviment de terra existiria un cert marge abans de trencar la canonada i provocar més desperfectes.

6 BIBLIOGRAFIA

ABANCÓ C. Validació de mapes de susceptibilitat d'esllavissaments elaborats mitjançant diferents tècniques a la zona de Sant Salvador de Toló; caracterització de les zones inestables i estudi de la seva activitat. Minor thesis. Enginyeria Geològica. Universitat Politècnica de Catalunya. 2009.

BAÑÓN L., BEVIÁ J.F. Manual de carreteras. Departamento de Ingeniería de la construcción. Universidad de Alicante. 2000

CANDELA J. Sistema de estabilización de taludes y laderas, casos prácticos. Terratest técnicas especiales S.A.

CAPELLÀ I., FERRER M. Informe geotècnic per a la construcció de la grada est de l'Estadi Montilivi (Girona). CECAM SLU. 2009

COPONS R. El risc d'esllavissades a Catalunya. Grup de recerca RISKMAT de la Universitat de Barcelona. 2008

DE MATTEIS A., ANGELONE S., GARIBAY M.T. Estabilidad de Taludes. Facultad de Cs. exactas, ingeniería y agrimensura, Universidad Nacional de Rosario. 2003

FERRER J. Historia esllavissament Girona FC (<http://www.lithosgeotecnia.com.htm>, 15 de maig de 2011)

FERRER J. Esllavissament Camp de Futbol del Girona FC Primavera 2004 (<http://www.lithosgeotecnia.com.htm>, 16 de maig de 2011)

GUANTER LL. Recomanacions per tenir en compte pel disseny de futures fonamentacions a l'estadi municipal de Montilivi, de Girona. Blazquez-Guanter arquitectes assessors d'estructures. 2008.

HERRERA F. Análisis de estabilidad de taludes. (<http://www.geotecnia2000.com>, 28 de maig de 2010)

LEONI A.J. Apuntes sobre micropilotes inyectados. Facultad de Ingenieria Universidad Nacional de la Paz. (<http://www.ingenieroleoni.com.ar>, 09 d'Abril de 2012)

MARTÍN M., FERRER J. Estudi geotècnic al Camp municipal de Montilivi a Girona. Igeotest, Lithos Geotècnia. 2008

MINISTERIO DE FOMENTO. Código Técnico de la Edificación. DB SE-Cimientos. 2008

UNIVERSITAT DE GIRONA. Apunts de l'assignatura Infraestructures, ferss industrials i fonaments. Girona. 2009

Carles Arana Perez

Girona, 14 de juny de 2012