

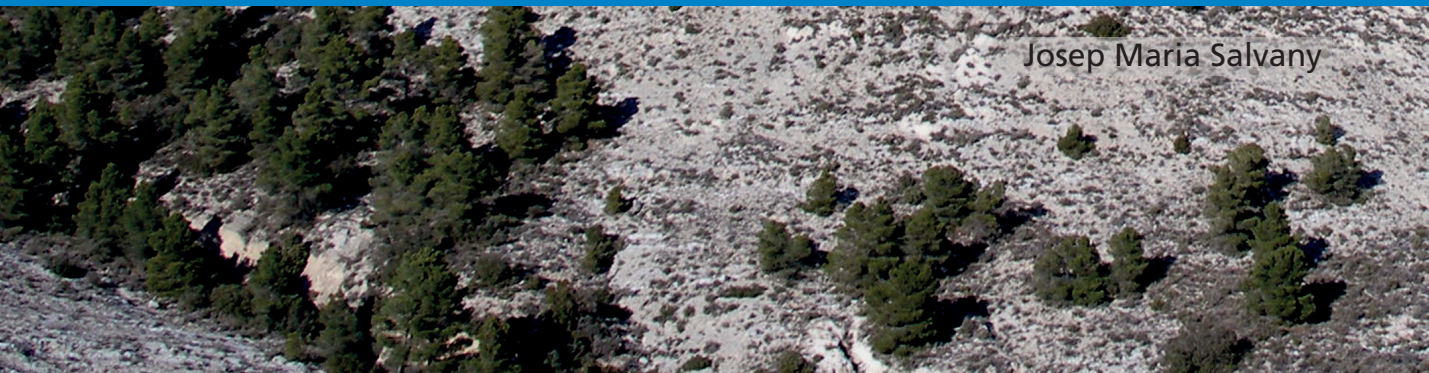


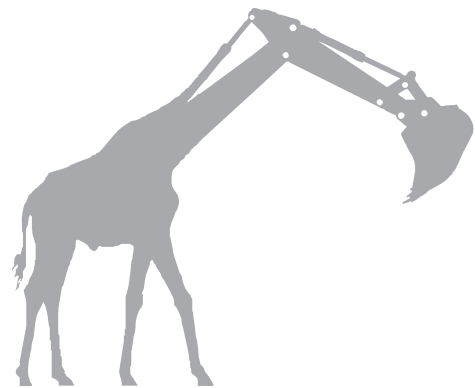
UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH



Mapes geològics aplicats a les obres públiques →

Josep Maria Salvany





UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH



iniciativa
digital politècnica
Publicacions Acadèmiques UPC



UPCGRAU

Mapes geològics aplicats a les obres públiques →

Josep Maria Salvany

Primera edició: juliol de 2020
Reimpresió: setembre de 2022

- © Josep Maria Salvany, 2020
- © Iniciativa Digital Politècnica, 2020
Oficina de Publicacions Acadèmiques Digitals de la UPC
Jordi Girona 31,
Edifici Torre Girona, Planta 1, 08034 Barcelona
Tel.: 934 015 885
www.upc.edu/idp
E-mail: info.idp@upc.edu

Dipòsit legal: B 13775-2020
ISBN: 978-84-9880-845-2

Qualsevol forma de reproducció, distribució, comunicació pública o transformació d'aquesta obra només es pot fer amb l'autorització dels seus titulars, llevat de l'excepció prevista a la llei.

Al llarg de la meua vida professional en el camp de l'enginyeria geològica aplicada a l'obra pública, he vist la importància de conèixer amb detall l'estructura geològica del terreny on hem d'actuar.

Els estudis geològics ben fets comencen sempre per un mapa que, a més de la naturalesa dels materials que formen el terreny, reflecteix la seva estructura (falles, plecs, etc.). Aquesta informació bàsica ens servirà per planificar una campanya de reconeixement i presa de mostres *in situ*. Les cales, els sondeigs i la presa de mostres constitueixen una informació molt important, però alhora puntual; sense un bon context sobre el marc geològic, és difícil d'interpretar i extrapolar la informació obtinguda.

Aquest manual que publica la Universitat Politècnica de Catalunya a la col·lecció UPCGrau ha estat escrit pel professor Josep M. Salvany, amb una llarga experiència docent, que hi exposa, d'una manera senzilla, ordenada i sistemàtica, tots els problemes que es presenten a l'hora d'interpretar els mapes geològics.

La interpretació d'un mapa geològic que es fa a partir dels perfils topogràfics on hi dibuixem l'estructura geològica ve a ser una mica com els mots encreuats: quan en veiem la solució, sembla tot molt fàcil, però trobar-la requereix una sistemàtica, uns coneixements i una pràctica que són l'objecte del llibre que ara es publica. El manual ve acompanyat d'una sèrie d'exercicis per resoldre que seran de gran ajuda per als estudiants de les escoles d'enginyeria civil.

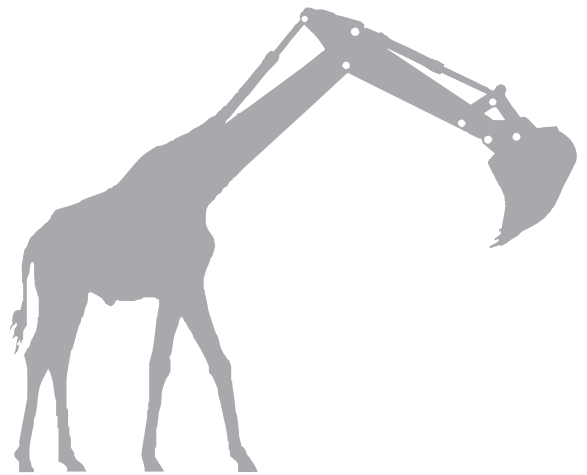
Jordi Jubany
Cap de Geologia i Obres Subterrànies
de la Generalitat de Catalunya



Pròleg.....	5
1. Introducció	11
2. El mapa topogràfic	15
2.1. Concepte de mapa topogràfic	15
2.2. Corbes de nivell.....	15
2.3. Orientació	16
2.4. Escala	17
2.5. Coordenades	17
2.6. Perfil topogràfic	18
2.7. Exercicis	19
3. El mapa geològic	23
3.1. Concepte de mapa geològic.....	23
3.2. Elements del mapa geològic	23
3.3. Mapes geològics en l'obra pública	25
3.4. Materials geològics.....	26
3.5. Estructura dels materials geològics.....	27
3.6. Edat dels materials i estructures geològiques.....	28
4. Les capes	31
4.1. Concepte de capa.....	31
4.2. Elements de les capes	32
4.3. Referència de les capes	34
4.4. Representació cartogràfica d'una capa.....	34
4.5. Tall d'una capa inclinada	38
4.6. Exercicis	40



5. Mapes amb monoclinals	47
5.1. Concepte de monoclinal.....	47
5.2. Simbologia de capes.....	48
5.3. Exercicis	50
6. Mapes amb dics	57
6.1. Concepte de dic.....	57
6.2. Roca encaixant	58
6.3. Exercicis	60
7. Mapes amb discordances	67
7.1. Concepte de discordança	67
7.2. Tipus de discordances	68
7.3. Exercicis	70
8. Mapes amb falles	77
8.1. Concepte de falla.....	77
8.2. Elements de les falles	78
8.3. Tipus de falles.....	78
8.4. Sistemes de falles	79
8.5. Bretxa de falla.....	81
8.6. Exercicis	82
9. Mapes amb plecs	93
9.1. Concepte de plec.....	93
9.2. Elements dels plecs	94
9.3. Tipus de plecs.....	96
9.4. Exercicis	98
10. Mapes multiestructurals	109
10.1. Concepte de mapa multiestructural	109
10.2. Datació relativa dels materials i les estructures geològiques	109
10.3. Exercicis	113
Solucions dels exercicis	123
Bibliografia	175



→ 1

Introducció

Els mapes geològics són una bona manera de conèixer la geologia d'una regió determinada. Avui pràcticament no hi ha cap país que no disposi d'una base cartogràfica geològica més o menys detallada. Aquesta cartografia permet conèixer els seus recursos geològics i planificar millor el desenvolupament del territori.

A Catalunya, la cartografia geològica es comença a desenvolupar a final del segle XIX amb els mapes de la província de Barcelona que elabora el canonge Jaume Almera per encàrrec de la Diputació de Barcelona. Posteriorment, el territori català ha estat cartografiat en diferents etapes, principalment per organismes públics com l'Instituto Geológico y Minero de España (IGME) o el Servei Geològic de Catalunya (SGC), reconvertit posteriorment en l'Institut Geològic de Catalunya (IGC), que l'any 2014 es va fusionar amb l'Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC) per constituir l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC). També les universitats i altres centres de recerca han realitzat mapes geològics de diferents parts del territori català, que podem trobar en nombroses tesis doctorals, publicacions científiques, informes tècnics, etc.

L'ICGC disposa d'una completa cartografia geològica i temàtica de Catalunya a diferents escales (v. fig. 1): 1:250.000 de tot Catalunya, 1:50.000 per comarques, 1:25.000 i 1:5.000 de zones urbanes. Aquests mapes i molta altra informació complementària es poden consultar o adquirir a través de la web: <<https://www.icgc.cat>>. També cal destacar l'*Atles Geològic de Catalunya*, a escala 1:50.000, publicat l'any 2010, que va acompanyat d'una àmplia informació geològica regional. L'ICGC també té disponible una base exhaustiva de mapes topogràfics i de fotografies aèries (ortofotografies) de tot el territori, que es pot consultar i descarregar a través de la mateixa web.

L'elaboració d'un mapa geològic consisteix a representar, sobre una base topogràfica prèvia, la distribució dels materials i de les estructures geològiques que



s'han identificat a la superfície del terreny. Aquesta elaboració es fonamenta en tres tipus principals de treballs: (1) l'estudi fotogeològic (fotografia aèria) de la superfície del terreny, que permet tenir una primera aproximació del tipus de relleu i de les estructures de la zona que es vol cartografiar; (2) el treball de camp, que consisteix en el reconeixement dels afloraments dels diferents tipus de materials geològics, el mostratge i la presa de mesures estructurals, i (3) el treball de gabinet, que permet integrar la informació dels treballs anteriors i dibuixar el mapa geològic. En aquest darrer treball, cal interpretar els buits d'informació per completar el mapa més enllà de les zones d'aflorament reconegudes. En terrenys àrids en què els afloraments són pràcticament continus, aquesta interpretació pot ser mínima, però sovint el territori està més o menys cobert de vegetació, de conreus, d'urbanitzacions o d'altres elements que cobreixen els afloraments, i completar la cartografia pot representar la part més difícil de l'elaboració del mapa.

Una virtut que tenen els mapes geològics és que s'hi poden fer seccions o talls del terreny que permeten conèixer com s'estenen els materials i les estructures que s'han identificat a la superfície cap al subsòl. Els talls geològics són especialment útils en el camp de les enginyeries de mines i d'obres públiques, perquè permeten preveure les característiques geològiques del subsòl i així poder planificar millor les seves actuacions.

La realització d'aquest tipus de talls requereix conèixer un seguit de procediments geomètrics, relativament senzills, però que cal aprendre amb atenció. S'han publicat diversos manuals sobre les tècniques d'interpretació dels mapes geològics, adreçats principalment a geòlegs i enginyers de mines i, menys habitualment, als enginyers d'obres públiques (v. bibliografia).

Fig. 1.
Diversos formats de mapa geològic publicats per l'ICGC



En aquest llibre, s'ofereixen un conjunt d'exercicis de mapes geològics relacionats amb diferents tipus d'obres públiques. Són mapes de nivell bàsic, per a estudiants que s'inicien en el coneixement de la geologia aplicada a l'enginyeria de les obres públiques. Estan basats en l'experiència docent de l'autor en diferents titulacions de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports de Barcelona.

→ 2

El mapa topogràfic

2.1. Concepte de mapa topogràfic

Un **mapa topogràfic** és el mapa d'una àrea determinada del territori en què se n'ha representat el relleu mitjançant corbes de nivell i altres elements addicionals, com poden ser la xarxa de drenatge, la línia de la costa, els cims, etc. La dimensió del territori representat pot ser molt diversa, des d'algunes desenes o centenars de metres quadrats (mapa local) fins a desenes o centenars de quilòmetres quadrats (mapa regional).

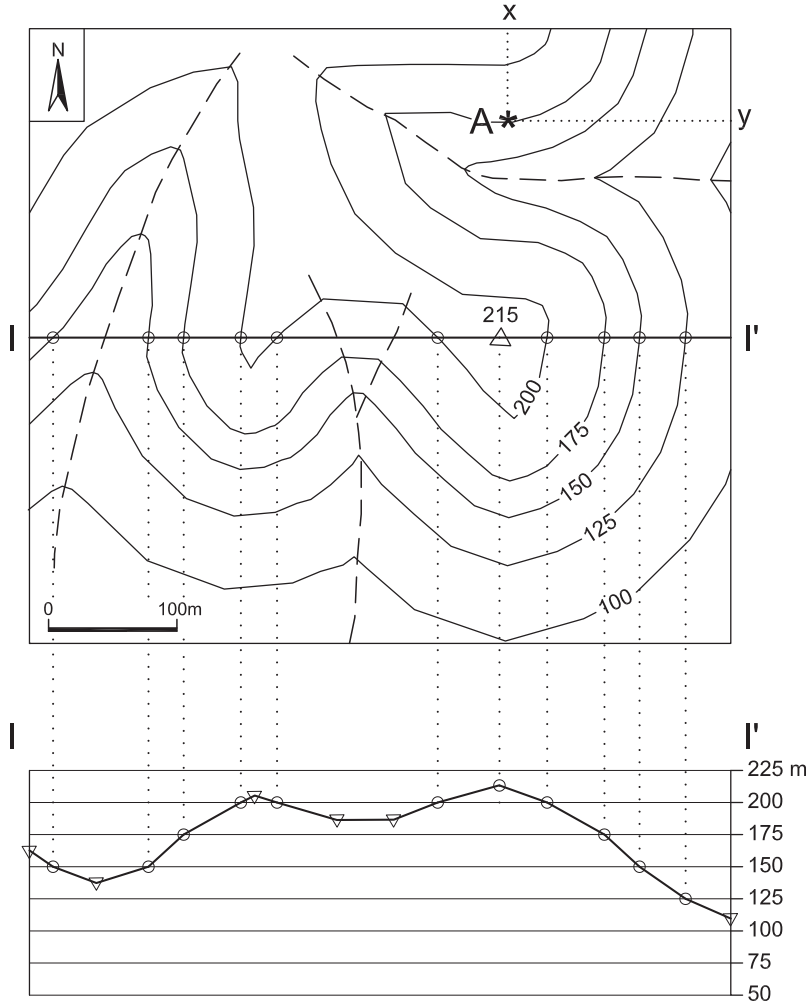
En qualsevol mapa topogràfic, com a mínim s'hi representa la informació següent (v. fig. 2): corbes de nivell, orientació, escala i coordenades.

2.2. Corbes de nivell

Les corbes de nivell són línies que uneixen tots els punts del relleu que estan a una mateixa cota. Aquestes línies tenen traçats no lineals, que van seguint les irregularitats del terreny (v. fig. 2). Cada línia es refereix a una cota altimètrica determinada. Són línies que estan separades per una mateixa distància vertical, que anomenem **equidistància**. En els mapes més detallats, l'equidistància pot ser d'1 m o menys, però també són freqüents les equidistàncies de 5, 10, 25 o 50 m en els mapes de més abast territorial. La cota 0 correspon al nivell de base del relleu, que generalment es refereix al nivell del mar. Per sobre, els valors són positius i, per sota (topografia submarina), són valors negatius. Es poden expressar en metres o bé amb altres unitats de mesurament (peus, vares, etc.).



Fig. 2.
A dalt, mapa topogràfic amb corbes de nivell a una equidistància de 25 m, amb orientació, escala i xarxa de drenatge (línies discontinües). A baix, perfil topogràfic I-I' (en cercles, els punts reals i, en triangles, els punts interpretats)



Quan les corbes de nivell estan separades entre si, representen relleus suaus, amb poc gradient topogràfic. En canvi, quan estan juntes, són relleus abruptes. Quan se superposen, indiquen cingles o penya-segats. Generalment, per facilitar la lectura del relleu, les corbes de nivell van associades a la xarxa de drenatge (barrancs, torrents, rius) i també a la situació dels cims principals, amb la seva cota.

2.3. Orientació

L'orientació del mapa és una fletxa que indica la direcció del nord. Generalment, aquesta direcció és paral·lela a un dels marges del mapa. En els mapes d'escala regional, se solen indicar dos tipus de nord: (1) el **nord geogràfic**, que indica la

posició de l'eix de rotació de la Terra i (2) el **nord magnètic**, que indica la posició de l'eix del camp magnètic de la Terra. Aquest segon nord és el que ens ve donat per l'agulla imantada d'una brúixola. Els dos nords no coincideixen, sinó que hi ha un petit angle de diferència, que varia segons la latitud a què està fet el mapa. El nord geogràfic té una posició fixa, mentre que el magnètic varia lentament amb el temps, però és el nord més útil per a l'orientació del mapa en el camp, amb l'ajut de la brúixola.

2.4. Escala

És una referència que ve indicada al mapa i que ens permet conèixer la relació que hi ha entre la mida del mapa i la mida de la realitat que representa. Es pot expressar de dues maneres diferents:

1. **Escala gràfica.** Mitjançant una barra graduada que indica la mida real que representa tota ella o els seus diferents segments.
2. **Escala numèrica.** Mitjançant dos valors separats per dos punts, per exemple 1:500. El primer valor és una unitat del mapa i el segon, el nombre de vegades que cal ampliar aquesta unitat perquè es correspongui amb la realitat. Així, per exemple, 1:500 vol dir que una unitat del mapa és 500 vegades més gran en la realitat. Si la unitat escollida és 1 cm del mapa, això vol dir que la realitat és 500 vegades més gran, és a dir, fa 500 cm, que és el mateix que 5 m. Generalment, la majoria dels mapes topogràfics indiquen l'escala de les dues maneres alhora.

L'escala gràfica té l'avantatge que, si variem la mida del mapa (per exemple, fent-ne una fotocòpia ampliada o reduïda), també varia en la mateixa proporció la mida de l'escala, que es manté fidel a la realitat. Això no passa amb l'escala numèrica, atès que, quan varia la mida del mapa, el valor numèric es manté igual però no la relació de la mida del mapa amb la realitat. Per exemple, si d'un mapa que indica una escala d'1:500 en fem una reducció a la meitat, l'escala real passarà a ser d'1:1.000, però en la reducció continuarà indicant 1:500, incorrectament.

2.5. Coordenades

Qualsevol punt d'un mapa es pot referir a tres valors, X, Y i Z, corresponents a les tres dimensions de l'espai. Els valors X i Y corresponen al pla horitzontal, als eixos O-E i N-S, respectivament (v. fig. 2, punt A). El valor Z correspon a la dimensió vertical, és a dir, a l'altura del punt respecte al nivell de base del mapa, normalment expressat en metres.

Els valors X i Y poden estar referits a diferents tipus de coordenades. Tradicionalment, s'ha utilitzat l'escala de **coordenades geogràfiques** (com a longitud la



X i com a latitud la Y), que venen donades en graus (°), minuts (') i segons ("). La longitud 0° correspon al meridià de Greenwich, que és la línia que uneix els pols Nord i Sud i que passa per l'Observatori Reial que hi ha en aquesta localitat anglesa. Des d'aquesta línia cap a l'est, el valor de la longitud augmenta fins a donar tota la volta al món després de 360°. La latitud 0° correspon a la línia de l'equador i augmenta cap al nord i cap al sud fins a assolir els 90° en cada un dels pols. Aquest sistema de coordenades és força útil perquè s'adapta a la forma esfèrica del planeta. Algunes aplicacions cartogràfiques d'internet (per exemple, a Google Earth) utilitzen aquest tipus de coordenades pel seu valor global.

Amb les noves tecnologies (mapes digitals, GPS, etc.), resulta necessari utilitzar un sistema de coordenades numèriques més simple que els valors en graus, minuts i segons de les coordenades geogràfiques. Així, progressivament s'han anat imposant les **coordenades UTM** (Universal Transverse Mercator), que constitueixen una quadrícula ortogonal, plana a escala local, en què cada unitat X, Y i Z correspon a un metre de distància. Per adaptar aquest sistema de coordenades ortogonals a la forma esfèrica del planeta, ha calgut subdividir la superfície de la terra en un conjunt de zones amb diferent orientació dels eixos X i Y. A Catalunya, per exemple, les coordenades UTM corresponen a la zona 31T: 31 és una zona delimitada entre dues línies nord-sud i T, entre dues línies est-oest. Atès que el territori espanyol s'estén per sis zones diferents, l'Instituto Geográfico Nacional de España (IGN) ha optat per utilitzar les coordenades de la zona 30T –que és on hi ha Madrid– per a tot el territori espanyol, estenent-les a les altres zones veïnes. Així doncs, per a un punt determinat d'un mapa de Catalunya, les coordenades UTM varien segons si el mapa l'ha fet l'ICGC o l'IGN. Per no crear confusions, cal indicar sempre en cada cas la zona a què corresponen les coordenades. Hi ha força programari lliure a internet que permet transformar les coordenades d'un sistema a un altre; per exemple, passar les coordenades geogràfiques a UTM o les coordenades d'una zona UTM a una altra zona UTM.

2.6. Perfil topogràfic

Un perfil topogràfic és una secció vertical del relleu del mapa en una direcció determinada que ens convingui, per exemple de l a l' a la figura 2. Per tal de realitzar-lo, cal fer els passos següents:

1. Dibuixar una quadrícula amb un eix horitzontal igual a la llargada del perfil que volem fer i un eix vertical subdividit en segments corresponents a les diferents cotes travessades pel mateix perfil. A cada segment, hem d'indicar el valor de les cotes en sentit creixent cap amunt. La mida dels segments ha de ser coherent amb l'escala del mapa. Per exemple, si l'escala del mapa és d'1:500, cada segment ha de ser d'1 cm i correspondre a una distància de 5 m.

2. Traslladar tots els punts d'intersecció del perfil amb les diferents corbes de nivell del mapa a la quadrícula feta al punt anterior. Cada punt ha d'estar situat a la cota de l'eix vertical que li correspongui, amb la mateixa distància horitzontal entre ells que hi ha al mapa.
3. Unir amb línies els diferents punts del perfil. Si, entre dos punts consecutius, el relleu té un mateix sentit ascendent o descendent, els punts es poden unir amb una línia recta. Si, entre dos punts consecutius, hi ha canvis en el sentit d'entremig, aleshores cal interpretar el punt i la cota on es produeix el canvi de sentit i fer una línia que s'adapti a aquest canvi. Això també cal fer-ho als extrems del perfil si no coincideixen amb una corba de nivell. Aquests punts interpretats (triangles al perfil de la figura 2) poden variar lleugerament segons els autors del perfil, però han d'estar acotats dins de les corbes de nivell, per sota i per sobre.

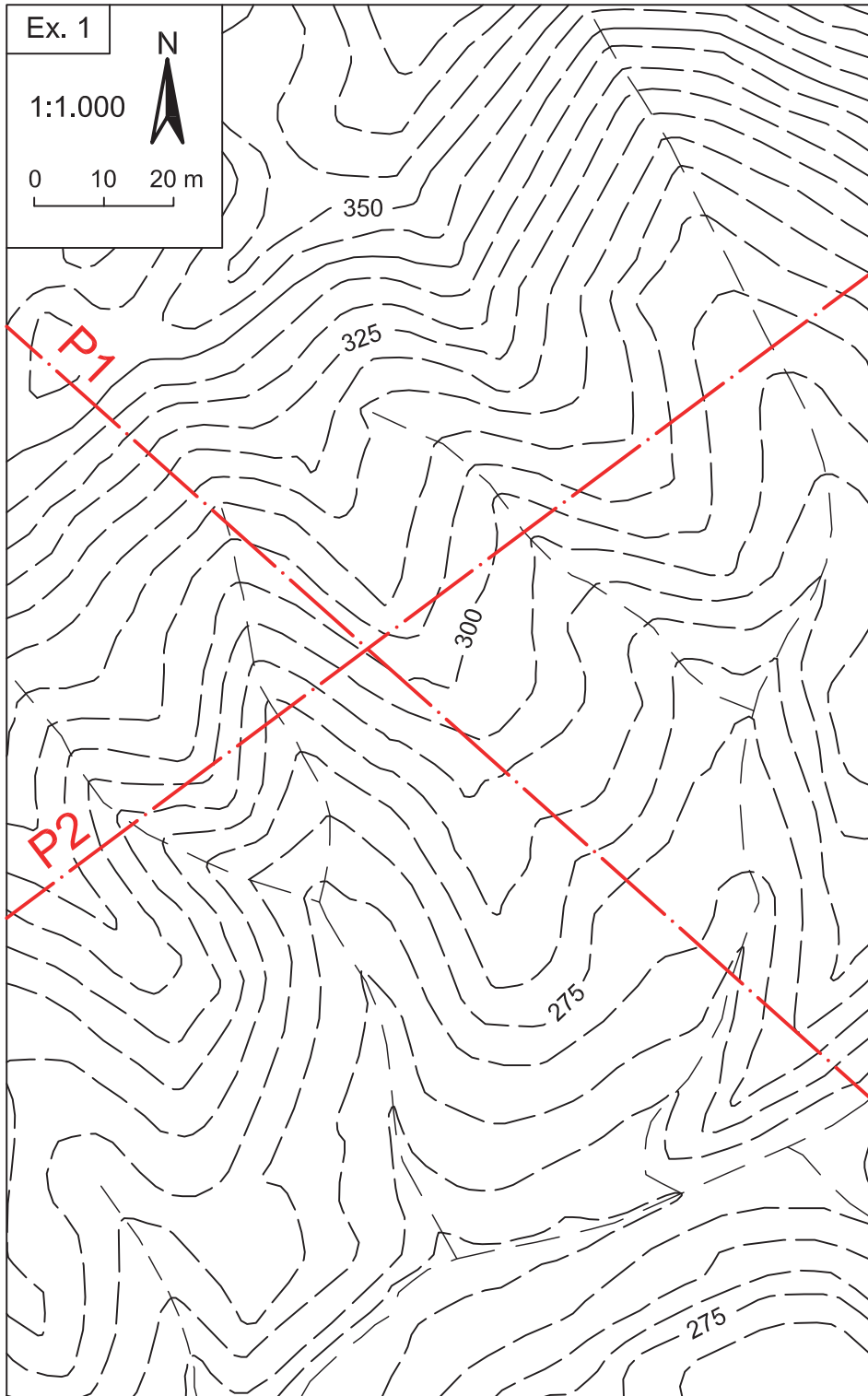
2.7. Exercicis

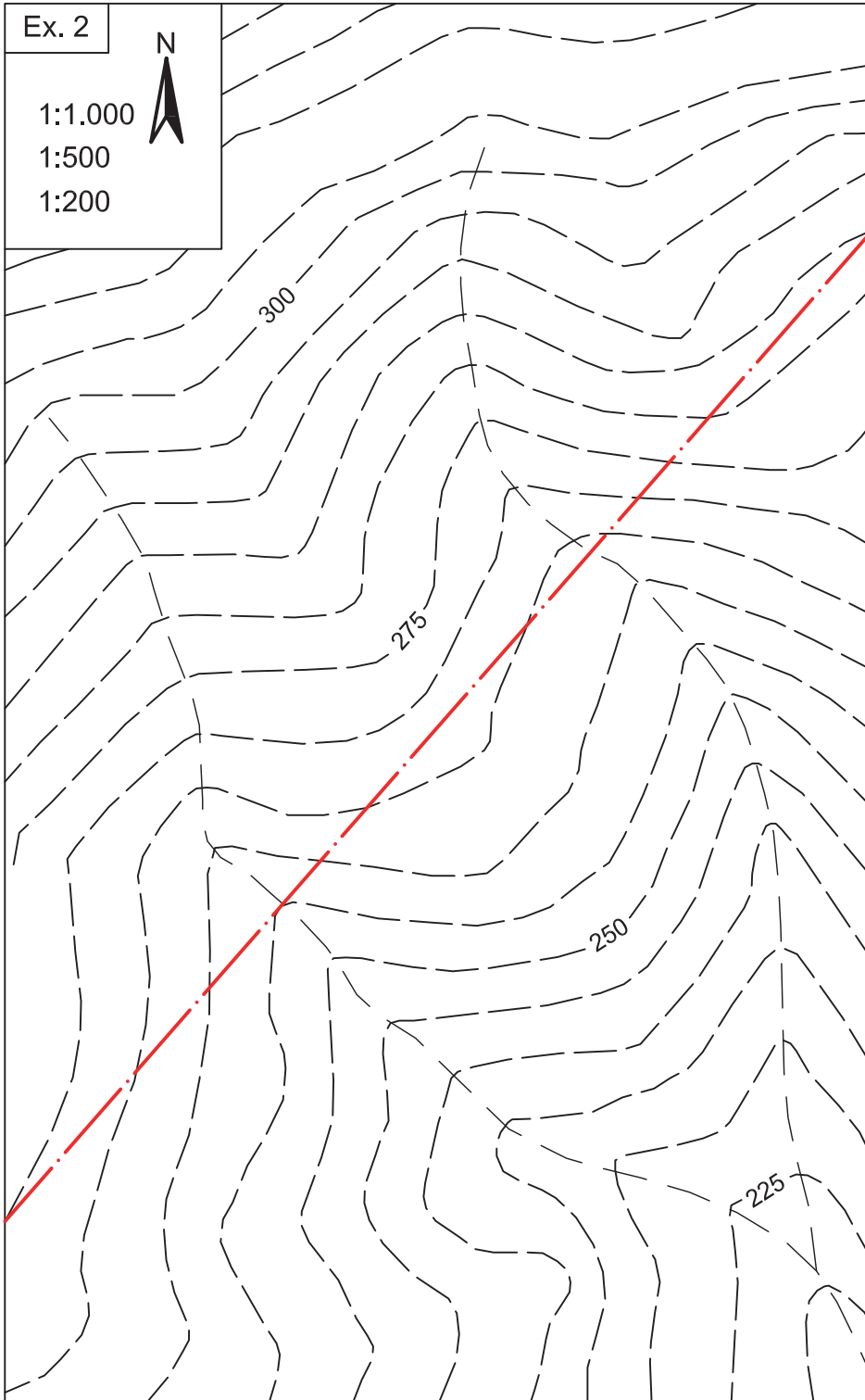
Exercici 1

Feu els perfils topogràfics P1 i P2 que s'indiquen al mapa.

Exercici 2

Feu el perfil topogràfic que s'indica al mapa, a les escales 1:1.000, 1:500 i 1:200.





→ 3

El mapa geològic

3.1. Concepte de mapa geològic

Un **mapa geològic** és un mapa en què es representa informació geològica de tres tipus principalment: (1) els materials geològics exposats a la superfície del terreny i els tipus de contactes que hi ha entre ells, (2) l'edat geològica d'aquests materials i (3) la seva estructura. Quan en un mapa només es representen els materials geològics, s'anomena **mapa litològic**. Quan només s'hi representa l'estructura, s'anomena **mapa estructural** o **tectònic**. Amb menys freqüència, alguns mapes només representen l'edat dels materials. Generalment, són mapes de gran escala (d'un país, d'un continent, del fons oceànic), en què cada unitat de temps pot englobar diferents litologies i estructures difícils de representar.

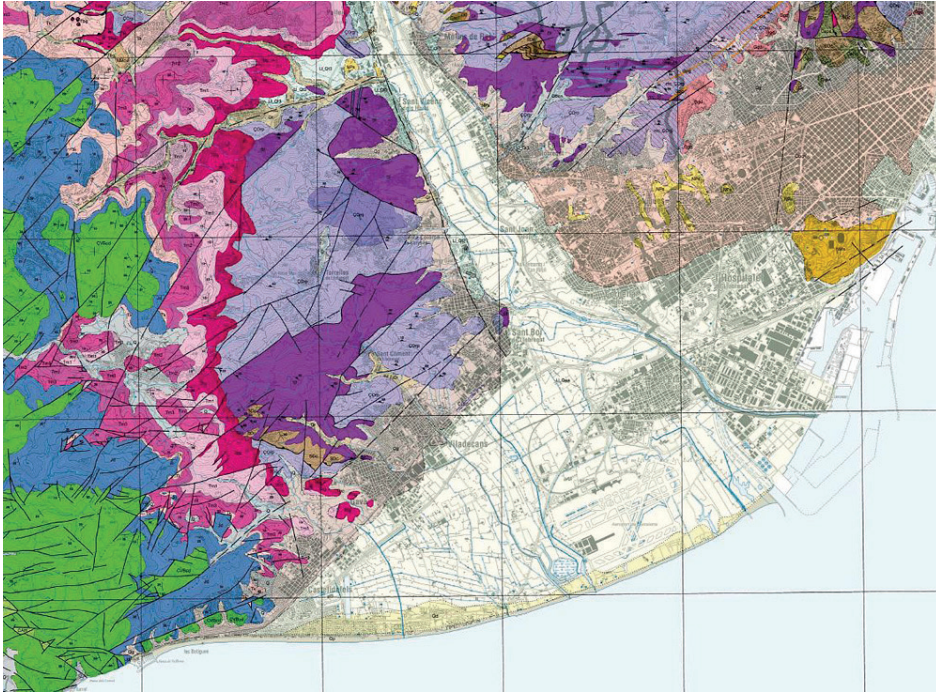
Parlem de **mapes temàtics** quan s'hi representen altres aspectes geològics d'interès. Així, per exemple, hi ha mapes geomorfològics, de sòls, de jaciments minerals, etc.

Els **mapes geotècnics** són mapes de tipus geològic en què les unitats cartografiades s'estableixen en funció de les seves propietats geotècniques. Solen incloure altres dades d'interès per a la construcció, com la hidrogeologia, els reblliments, les infraestructures, etc. Un exemple d'aquest tipus de mapes és el **Mapa geotècnic de Barcelona**, elaborat inicialment per Ventayol i altres (1978) i reeditat posteriorment en CD-ROM i publicat *online* per l'ICGC (2002).

3.2. Elements del mapa geològic

La majoria dels mapes geològics (especialment, els que realitzen i distribueixen els organismes públics, com l'IGME o l'ICGC) solen estar integrats pels elements següents:

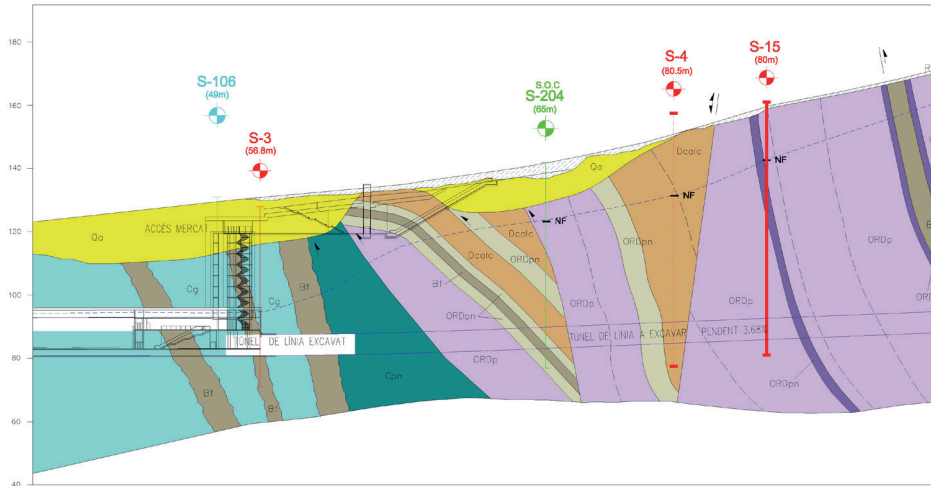
Fig. 3
Mapa geològic del Baix Llobregat, a escala 1:50.000.
Font: ICGC (2002)



1. **Mapa geològic** (v. fig. 3). És un mapa en el qual, sobre una base topogràfica amb les principals vies de comunicació, poblacions i xarxa de drenatge, s'hi representen els diferents materials geològics que s'exposen a la superfície (roques i sòls), així com les estructures que els afecten (falles, plecs, discordances, etc.). Cada material geològic està representat per una trama, generalment de color, i per una referència alfanumèrica. A més, també s'hi poden representar altres dades d'interès geològic, com mines, pedreres, sondejos, etc. Al marge del mapa, hi ha les coordenades, l'orientació i l'escala del mapa.
2. **Llegenda**. S'hi indiquen tots els materials del mapa, ordenats segons la seva antiguitat, amb la mateixa trama i referència que al mapa. Per a cada material, s'inclou una breu descripció litològica i se li atribueix una edat geològica. Se sol recomanar utilitzar uns colors de trama determinats en funció de l'edat del material. Per exemple, el blau per als materials juràssics, el verd per als del cretaci, etc. A més, la llegenda ha d'incloure tots els signes convencionals que apareixen en el mapa, per indicar les estructures, el tipus de contacte entre materials o d'altres dades representades.
3. **Talls geològics**. Per facilitar la lectura del mapa, s'hi solen adjuntar un o diversos talls geològics representatius de l'àrea cartografiada, en diferents direccions, amb la mateixa escala i simbologia que el mapa.
4. **Columnes litològiques**. S'hi solen representar una o diverses columnes lito-estratigràfiques, de sondejos o de camp, correlacionades entre si, que permeten tenir una visió més detallada (trams litològics, potència, seqüèn-



Fig. 5.
Tall geològic d'una part del mapa de la figura anterior, seguint la traça del túnel de la L5, amb indicació d'alguns dels sondejos d'exploració del subsòl.
Font: GISA (2001)



3.4. Materials geològics

Als mapes geològics, se solen representar dos tipus bàsics de materials: les roques i les formacions superficials.

Les roques són qualsevol material sòlid, compacte, més o menys dur, format per un o més minerals, que compon l'escorça de la Terra. Segons el seu origen, es classifiquen en tres grups principals: **ígnies** (o magmàtiques), **sedimentàries** i **metamòrfiques**. Cada un d'aquests grups està format per roques molt diverses, que es classifiquen en funció de la seva textura i composició mineral. La **petrologia** és la branca de la geologia que n'estudia les característiques i l'origen. En aquest capítol, no expliquem els diferents tipus de roques, perquè això s'apartaria dels objectius d'aquest manual. Qualsevol llibre de geologia general les explica àmpliament (v., per exemple, Tarbuck i Lutgens, 2005).

Les formacions superficials són capes de material granular (fragments de roca, minerals o restes orgàniques), més o menys solt, que cobreixen de manera discontinua la superfície de l'escorça. Segons el seu origen, poden ser **residuals** o **sedimentàries**.

Les **formacions residuals** provenen de l'alteració de les roques a la superfície o a la subsuperfície de l'escorça, produïda pels processos de **meteorització**. Aquests processos generen un material porós i de baixa cohesió que forma una capa superficial per damunt de la roca de la qual prové, que pot tenir gruixos molt variables (de menys d'1 m a diverses desenes de metres). És el cas, per exemple, del **sauló**, que és producte de l'alteració del granit, força abundant en diverses zones del territori català. La **geomorfologia** és la branca de la geologia que es dedica principalment a l'estudi d'aquest tipus de materials (Gutiérrez Elorza, 2008).

Les **formacions sedimentàries** provenen de l'acumulació de sediments a la superfície de l'escorça després d'haver estat transportats des d'una àrea font més o menys allunyada. Aquest transport es pot haver produït en forma sòlida o bé en solució. El primer cas dona lloc a les **formacions clàstiques** o **detrítiques**, que són les més abundants. El transport es pot haver produït per causes gravitacionals (formacions col·luvials) o pel flux de les geleres (formacions glaciars), per les aigües continentals (formacions al·luvials) o marines (formacions marines), o pel vent (formacions eòliques). Quan el transport s'ha efectuat en solució en aigua continental o marina, es tracta de formacions químiques, com és el cas de les evaporítiques. Un cas a part són les formacions que resulten de l'acumulació de restes d'organismes animals o vegetals, com és el cas, per exemple, dels **sediments bioclàstics**, els **travertins** o les **torbes**. L'**estratigrafia** i la **sedimentologia** són les branques de la geologia que n'estudien les característiques i l'origen.

Aquí tampoc no entrarem a explicar amb detall els diferents tipus de formacions superficials, que estan ben explicats en molts llibres de geologia sedimentària (v. Vera Torre, 1994; Nichols, 2009; Arche Millares, 2010; Boggs, 2012).

En el camp de l'enginyeria de les obres públiques, normalment es parla de **sòls** per referir-se a les formacions superficials. El concepte geològic de **formació superficial** es basa en com s'ha originat aquest material, mentre que el concepte enginyer de **sòl** es basa en les seves propietats geotècniques (González de Vallejo, 2002). En general, aquests dos termes solen coincidir bastant, llevat d'algunes excepcions. En el context d'aquest llibre, els considerem equivalents i, en endavant, parlarem preferentment de **sòls**.

3.5. Estructura dels materials geològics

Els materials geològics sovint s'han deformat una o diverses vegades. Aquestes deformacions són normalment d'origen **tectònic**, però també poden ser degudes a altres causes: terratrèmols, esllavissaments, col·lapses, diapirisme, etc. Aquestes deformacions poden ser de dimensions molt diverses: d'escala regional (de desenes i centenars de kilòmetres), local (de desenes i centenars de metres) o puntual (d'uns pocs metres). Es poden produir molt lentament (al llarg de centenars o milers d'anys) o bé ràpidament (en uns pocs segons o minuts). Algunes activitats humanes també poden produir deformacions, d'una manera lenta o més sobtada, per exemple amb la subsidència del terreny a les zones mineres, amb esllavissaments sobrevinguts en zones mal excavades, etc. La **geologia estructural** és la branca de la geologia que n'estudia les característiques i l'origen (Mattauer, 1976; Ragan, 1980).

A grans trets, tenim dos tipus bàsics de deformacions: (1) els **plecs**, quan els materials geològics (roques o sòls) es van deformant contínuament com a resultat d'un comportament dúctil, i (2) les **fractures**, quan els materials es deformen i creen discontinuïtats com a resultat d'un comportament fràgil. Hi ha dos



tipus bàsics de fractures: les **diàclasis**, quan els materials es fracturen sense moure's, i les **falles**, quan arran de la fractura es produeix un desplaçament dels materials. Als capítols següents, estudiarem amb detall aquests diferents tipus d'estructures i la seva representació cartogràfica.

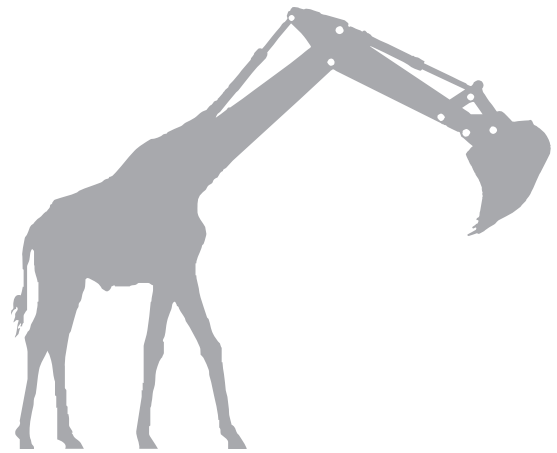
3.6. Edat dels materials i estructures geològiques

Per entendre millor la geologia d'una àrea determinada i poder-la comparar amb la d'altres àrees més o menys allunyades, cal poder establir l'ordre en què s'han format els diferents materials i les estructures geològiques, i referir-ho a l'**escala dels temps geològics**. Aquesta escala és de validesa universal i està homologada per la International Commission on Stratigraphy (ICS). La seqüència dels esdeveniments geològics, ordenats de més antic a més modern, s'anomena **història geològica** (v. cap. 10).

L'escala dels temps geològics està composta per un conjunt d'**unitats geocronològiques**, ordenades jeràrquicament (Eicher, 1973). Les unitats de rang més alt són els **eons** i n'hi ha quatre: l'Hadeà, l'Arqueà, el Proterozoic i el Fanerozoic. Els tres primers eons representen la part més antiga de la història de la Terra, de la qual es preserven molt poques roques. En conjunt, formen l'anomenat Precambrià (nom que s'utilitza per a qualsevol roca formada abans del Cambrià, que és el primer període del Fanerozoic). L'éó Fanerozoic se subdivideix en tres **eres** geològiques: el Paleozoic, el Mesozoic i el Cenozoic. Al seu torn, cada era se subdivideix en **períodes** i aquests se subdivideixen en **èpoques**. Aquestes diferents unitats representen intervals de temps que s'han definit amb un criteri paleontològic, és a dir, en funció d'una determinada associació de fòssils per a cadascuna d'elles. Són unitats temporals relatives, que no representen una edat concreta.

Posteriorment a aquestes definicions, els mètodes de **datació absoluta** (mètodes radiomètrics i altres) han permès datar els límits de les diferents unitats geocronològiques de l'escala dels temps geològics. Així, per exemple, malgrat que el Juràssic originàriament es va definir en funció d'un determinat contingut de fòssils, posteriorment s'ha sabut que representa un període comprès entre els 200 i els 145 milions d'anys d'antiguitat.

Per als objectius d'aquest llibre, les unitats cartogràfiques que s'utilitzen als exercicis són només de tipus litològic (tipus de roca) i no fan referència a les edats geològiques.



→ 4

Les capes

4.1. Concepte de capa

Una **capa** és un volum de roca o sòl, d'una relativa uniformitat litològica, que presenta una forma tabular, limitada per dues superfícies més o menys paral·leles, que en constitueixen el **sostre** i la **base**. Pot tenir qualsevol mida. Les capes que es poden representar cartogràficament s'anomenen **formacions** (v. fig. 6). Lateralment, les capes poden acabar per tasconament amb altres capes veïnes, per un canvi lateral gradual d'una capa cap a una altra o bé per alguna estructura (falles, discordances) que les talla.

Generalment, les capes estan formades per materials sedimentaris, que s'originen directament en forma de capes més o menys planes i horitzontals, anomenades **estrats**. Els altres tipus de materials geològics (ignis i metamòrfics) també es poden presentar en forma de capes, però aquesta no és la seva estructura original.



Fig. 6
Vista aèria de diverses formacions sedimentàries del Paleocè i Eocè que formen una estructura tabular (capes horitzontals) als cingles de Sant Miquel del Fai (comarca del Vallès Oriental).
Font: Google Earth

4.2. Elements de les capes

Una capa ideal, amb base i sostre plans i paral·lels entre si, es caracteritza pels elements següents (v. fig. 7):

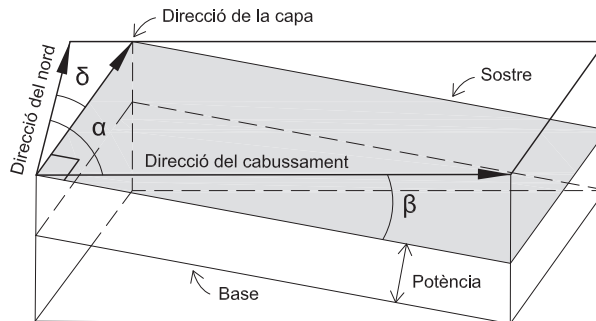
1. **Direcció de la capa** (o rumb). Equival a la direcció de qualsevol línia horitzontal continguda al sostre o a la base de la capa (totes elles paral·leles entre si). Ve donada per l'angle que fa aquesta línia respecte a la direcció del nord (angle δ). L'angle es mesura en el sentit de les agulles del rellotge i pot variar entre 0 i 180°. És de 0° quan la direcció de la capa és paral·lela al nord i és de 90° quan n'és perpendicular. Més enllà de 180° no té sentit ja que, per exemple, una direcció de 200° és equivalent a una de 20°.

Qualsevol capa es caracteritza perquè té una única direcció, excepte les capes horitzontals, en què les línies horitzontals contingudes a la superfície de la capa poden ser en qualsevol direcció i, per tant, en aquest cas, no hi ha cap direcció.

L'**orientació de la capa** és la disposició de la seva direcció respecte als eixos cardinals. Per exemple, una capa amb una direcció de 90° té una orientació E-O; una capa de 45°, una orientació NE-SO; una capa de 170°, una de SSE-NO, etc.

2. **Cabussament de la capa**. És la inclinació que té la capa (angle β , v. Fig. 7), mesurada en la direcció del màxim pendent. Aquesta direcció de màxim pendent és perpendicular a la direcció de la capa. Si la capa és horitzontal, el cabussament és de 0°. Si és vertical, és de 90°. Entre aquests dos valors, hi ha tots els graus possibles d'inclinació. Si mesurem la inclinació en altres direccions que no siguin la del màxim pendent, n'obtenim valors d'inclinació menors, que anomenem **cabussaments aparents** (angle β' , v. fig. 8). El valor del cabussament aparent pot variar entre 0° i el valor del cabussament real.

Fig. 7.
Elements que caracteritzen una capa inclinada



- δ = direcció de capa (entre 0 i 180°)
 α = direcció del cabussament (entre 0 i 360°)
 β = angle del cabussament (entre 0 i 90°)

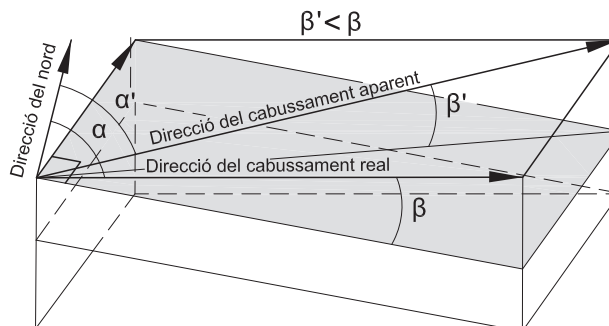


Fig. 8
Relació entre cabussament real i aparent

β = angle del cabussament real (entre 0 i 90°)
 β' = angle del cabussament aparent (entre 0 i β)
 α = direcció del cabussament real
 α' = direcció del cabussament aparent

3. **Direcció del cabussament.** Ve donada per l'angle entre la línia de cabussament i la del nord (angle α , v. fig. 8), i el sentit cap on està inclinada la capa. És una direcció perpendicular a la direcció de la capa. Aquest valor pot variar entre 0 i 360°. Així, per exemple, en una capa amb una direcció de 0° (paral·lela al nord) i inclinada 45° cap a l'est, el valor de la direcció del cabussament és de 90°, però, si està inclinada cap a l'oest, llavors la direcció de cabussament és de 270°.
4. **Potència (o gruix) de la capa.** És la distància que separa la base del sostre, mesurada perpendicularment. En les capes que tenen el sostre i la base paral·lels, és un valor constant. En la geologia real, és freqüent que les capes tinguin gruixos variables. Així, la potència de la capa sovint disminueix en una determinada direcció (forma de falca) o en dues direccions oposades (forma lenticular), o varia d'una manera més o menys irregular. No obstant això, a tots els exercicis d'aquest llibre es considera que les capes són de potència constant, per tal de simplificar la interpretació dels mapes.

La potència no l'hem de confondre amb el valor que ens dona la separació dels límits de la capa al mapa geològic, que és un valor de **potència aparent** que depèn de la forma de la superfície del terreny i de la inclinació de la capa (v. fig. 9).

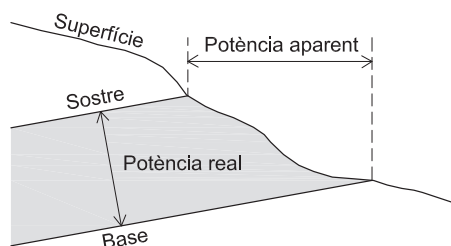
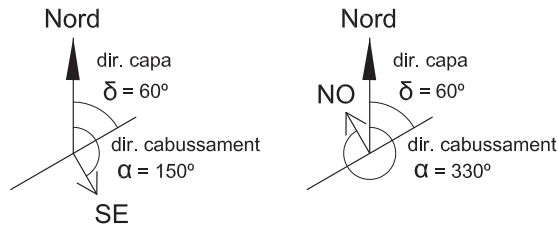


Fig. 9
Relació entre potència real i potència aparent d'una capa

4.3. Referència de les capes

Una capa pot ser referida de dues maneres diferents: (1) segons la direcció de la capa o (2) segons la direcció del cabussament. En el primer cas, s'indica primer el valor de la direcció (angle δ) i després el valor del cabussament (angle β) i el seu sentit respecte als eixos cardinals. En el segon cas, s'indica primer el valor de la direcció del cabussament (angle α), seguit del valor del cabussament (angle β). Per exemple (v. fig. 10), una capa de 60° de direcció i 45° de cabussament cap al SE és referenciada 060/45SE (la direcció ve expressada amb tres dígits i el cabussament amb dos). Si una capa amb la mateixa direcció i el mateix cabussament està inclinada en sentit contrari, és a dir, cap al NO, llavors és 060/45NO. Si fem servir de referència la direcció del cabussament, llavors la primera referència és equivalent a $150/45$ ($150^\circ = 60^\circ + 90^\circ$). La segona referència és $330/45$ ($330^\circ = 60^\circ + 270^\circ$). Aquesta segona manera de referir-se a les capes resulta més útil per fer càlculs que la primera, tot i que la primera és la que va millor per fer anotacions sobre el terreny, amb l'ajut d'una **brúixola de geòleg** (que permet mesurar les direccions i les inclinacions dels plans).

Fig. 10.
Relació entre la direcció de la capa i la direcció del cabussament segons el sentit del cabussament



4.4. Representació cartogràfica d'una capa

En un mapa geològic, s'hi representa la intersecció dels materials geològics amb la superfície del terreny. És el que s'anomena **l'aflorament**. Quan aquests materials formen una capa, l'aflorament ve delimitat per dues línies, que representen la intersecció entre les dues superfícies que delimiten la capa (base i sostre) i la superfície topogràfica.

Es poden donar tres situacions diferents:

1. Quan la capa és horitzontal (cabussament = 0°), les línies que en marquen la base i el sostre són línies paral·leles a les corbes de nivell (v. fig. 11-1). La diferència de cota entre aquestes dues línies és la potència de la capa.
2. Quan la capa és vertical (cabussament = 90°), les línies que en marquen la base i el sostre són dues línies rectes, paral·leles entre si, que tallen les corbes de nivell (v. fig. 11-2). La potència de la capa ve donada per la distància entre les dues línies, mesurada perpendicularment.

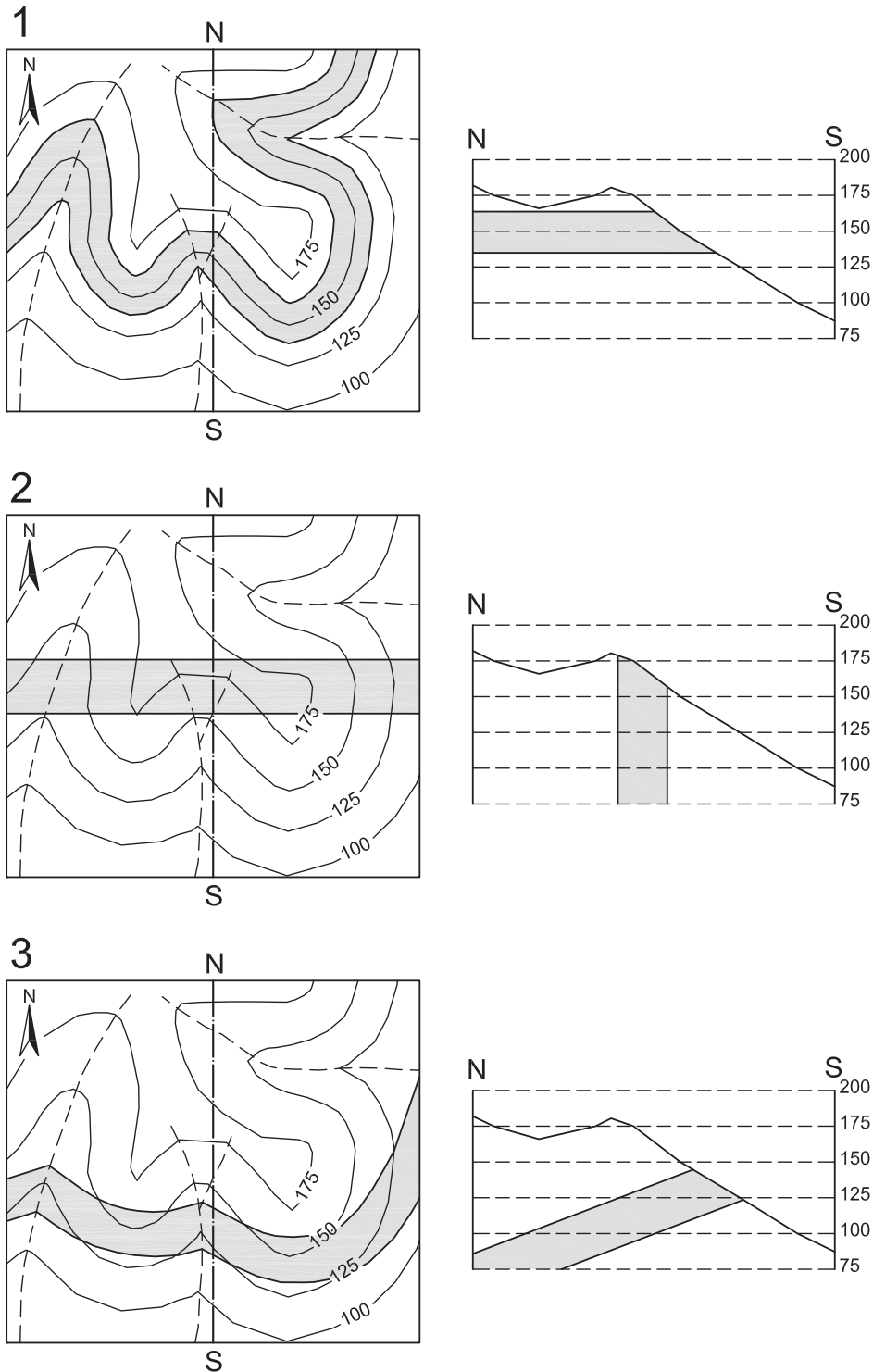
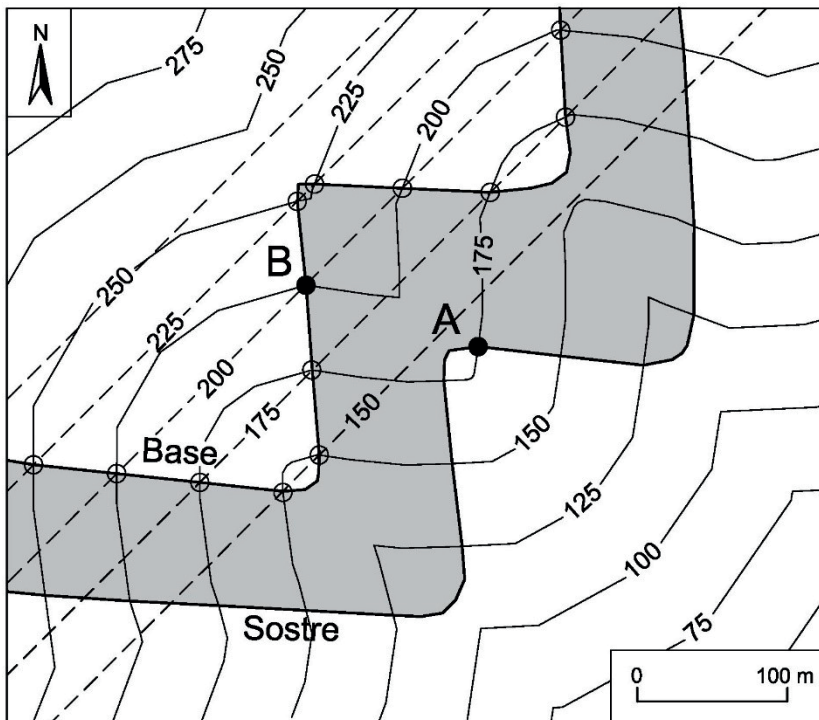
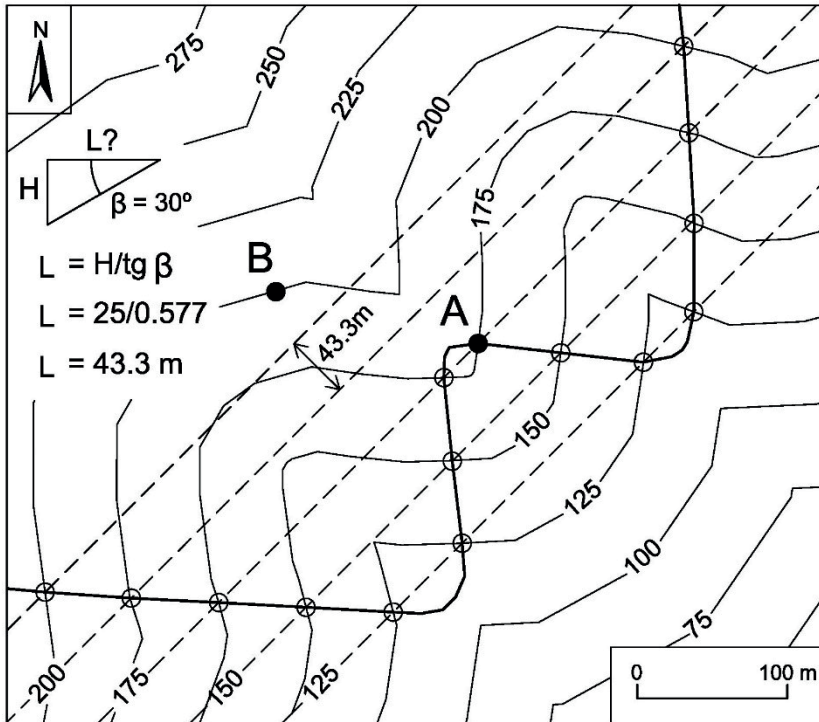


Fig. 11.
 Representació cartogràfica i tall d'una capa horitzontal (1), vertical (2) i inclinada (3)



Fig. 12.
Traçat de les línies que delimiten una capa amb una direcció de 45° i una inclinació de 30° cap al SE, i que passen pels punts A i B



3. Quan la capa és inclinada (cabussament superior a 0° i inferior a 90°), les línies que en marquen la base i el sostre són línies no paral·leles, que tallen les corbes de nivell (v. fig. 11-3). Segons la direcció de la capa i l'angle del cabussament, per a un mateix relleu aquestes línies poden donar formes diferents. La potència només es pot mesurar amb l'ajut d'un tall vertical de la capa.

Per dibuixar les dues línies que delimiten una capa inclinada en un mapa topogràfic, cal conèixer la direcció i el cabussament d'aquesta capa. Com que aquestes línies no són paral·leles, cal dibuixar-les per separat.

Per exemple, els punts A i B de la figura 12 representen la posició de la base i del sostre d'una capa de 45° de direcció i 30° de cabussament. Per dibuixar al mapa les línies que delimiten l'aflorament d'aquesta capa, cal seguir els passos següents:

1. Traçar una línia de 45° que passi pel punt A. Aquesta línia representa la direcció de capa (δ) a la cota 200 m a la qual està el punt A.
2. A partir de l'angle de cabussament ($\beta = 30^\circ$) i l'equidistància de les corbes de nivell ($H = 25$ m), calcular una longitud horitzontal L mitjançant la relació trigonomètrica $L=H/\text{tg}(\beta)$.
3. Traçar línies paral·leles a la direcció de la capa, separades totes elles pel valor L, en el sentit d'inclinació de la capa, que és cap al SE del punt A. Cada una d'aquestes línies representa una cota de 25 m inferior a l'anterior.
4. Unir amb una línia tots els punts d'intersecció entre les corbes de nivell i les línies de direcció de la capa a una mateixa cota. Aquesta línia representa una de les superfícies (sostre o base) que delimiten la capa.
5. Seguir el mateix procediment amb l'altre punt, per tal d'obtenir l'altra superfície.

Si es desconeixen la direcció i el cabussament d'una capa, es poden calcular a partir de tres punts a diferent cota que tallin el seu sostre o la base, mitjançant un exercici de triangulació (v. fig. 13). Si dos dels punts estan a la mateixa cota, el càlcul és més simple, perquè la línia recta que uneix aquests dos punts es correspon directament amb la direcció de la capa i el cabussament vindrà donat pel tercer punt seguint una direcció perpendicular a la direcció de la capa.

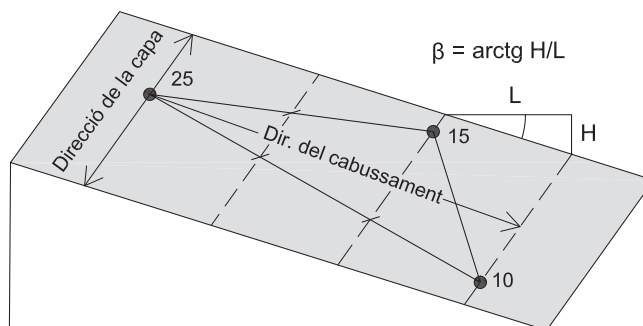


Fig. 13
Mètode per conèixer la direcció i el cabussament d'una superfície inclinada a partir de tres punts a diferent cota



4.5. Tall d'una capa inclinada

Es poden donar tres situacions diferents:

Tall segons la direcció del cabussament

El tall ha de ser perpendicular a la direcció de la capa. Tan bon punt s'ha fet el perfil topogràfic, per projectar la capa cal seguir els passos següents (v. fig. 14):

1. Projectar el punt d'intersecció de la línia de capa L1 amb la línia del tall (punt 1) al perfil topogràfic (punt 1').
2. Projectar el punt d'intersecció de la línia de la capa a la cota de 200 m (punt 2) al perfil (punt 2'). Aquest punt no és a la superfície del tall.
3. Fer la mateixa operació amb la línia de la capa a una altra cota, per exemple a 150 m (punt 3 al 3').
4. Unir amb una línia recta els punts 1', 2' i 3'. Aquesta línia recta és la base de la capa. La seva inclinació representa el cabussament real de la capa (angle β). El sentit de la inclinació, en aquest cas, és cap a la dreta, en el mateix sentit del pendent del relleu topogràfic.
5. Projectar el punt d'intersecció de la línia de capa L2 (punt 4) al perfil topogràfic (punt 4').
6. Traçar una línia recta paral·lela a la dels punts 1'-2'-3' pel punt 4'. Aquesta línia és el sostre de la capa. La separació entre aquestes dues línies representa la potència de la capa, de 37 m segons l'escala del mapa.

Una altra manera de fer el tall és calcular l'angle de cabussament a partir dels valors L i H (v. fig. 14). L representa la distància horitzontal entre dues línies de direcció de capa; per exemple, entre els punts 2 i 3, de 66 m. H representa la distància vertical entre les cotes a què es troben les línies de direcció de capa escollides, de 50 m entre les cotes de 200 i 150 m. L'angle de cabussament (β) serà igual a $\arctg H/L$. En aquest cas, $\arctg 50/66 = 37^\circ$.

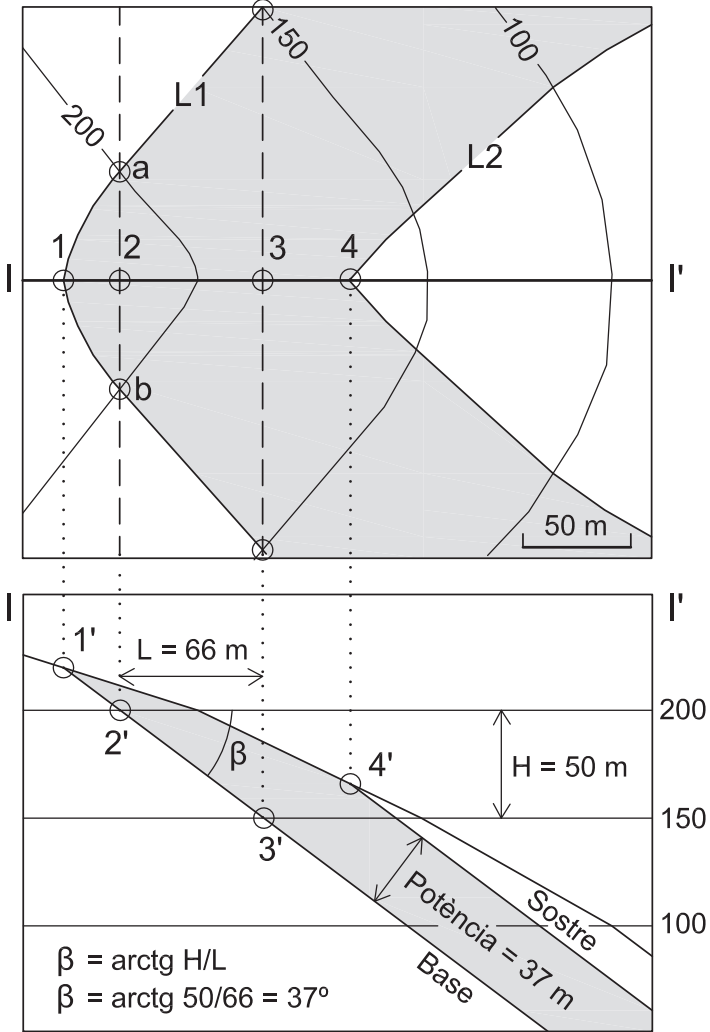
Tall en altres direccions

El procediment és el mateix, però en el tall resultant la capa presenta un cabussament aparent (β') menor que en el cas anterior (inferior a β), però la potència ha de ser la mateixa.

Tall seguint la direcció de capa

En aquest cas, $\beta' = 0^\circ$. La capa es veurà aparentment horitzontal. La potència serà també la mateixa que en els casos anteriors.

Fig. 14.
 Procediment per fer un tall
 d'una capa inclinada seguint
 la direcció del cabussament





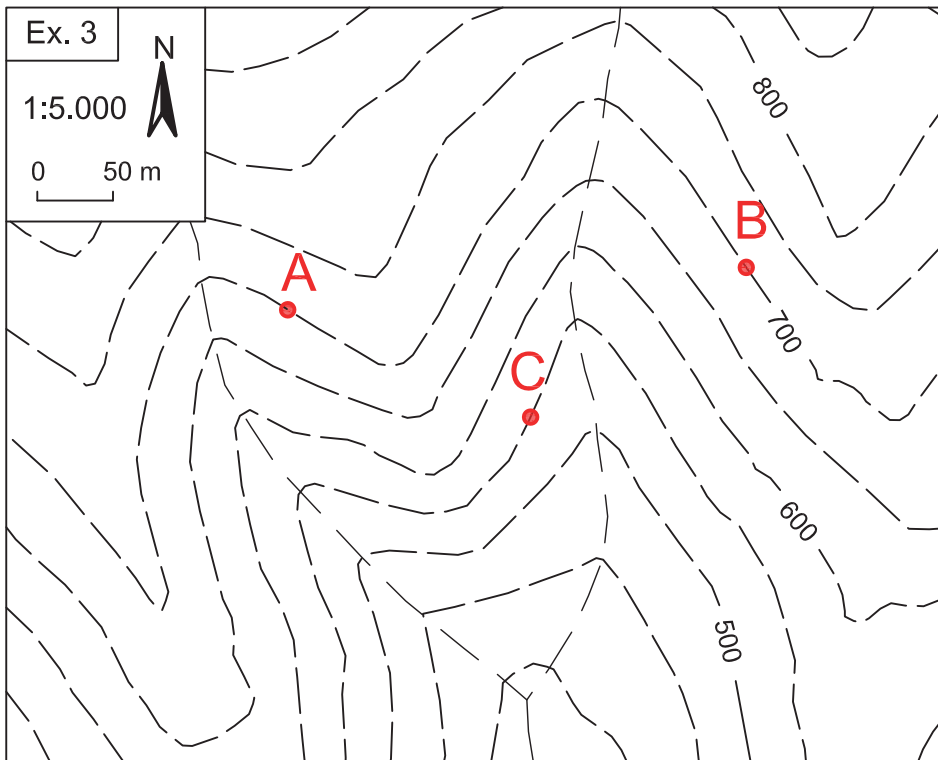
4.6. Exercicis

Exercici 3

Al mapa topogràfic, hi ha tres punts, A, B i C, que corresponen a una superfície de contacte entre dues capes. A i B estan a la mateixa cota, a 700 m, mentre que C està a la cota de 550 m.

Es demana:

1. Dibuixeu la línia que representa aquesta superfície de contacte.
2. Calculeu la direcció i el cabussament d'aquesta superfície de contacte.

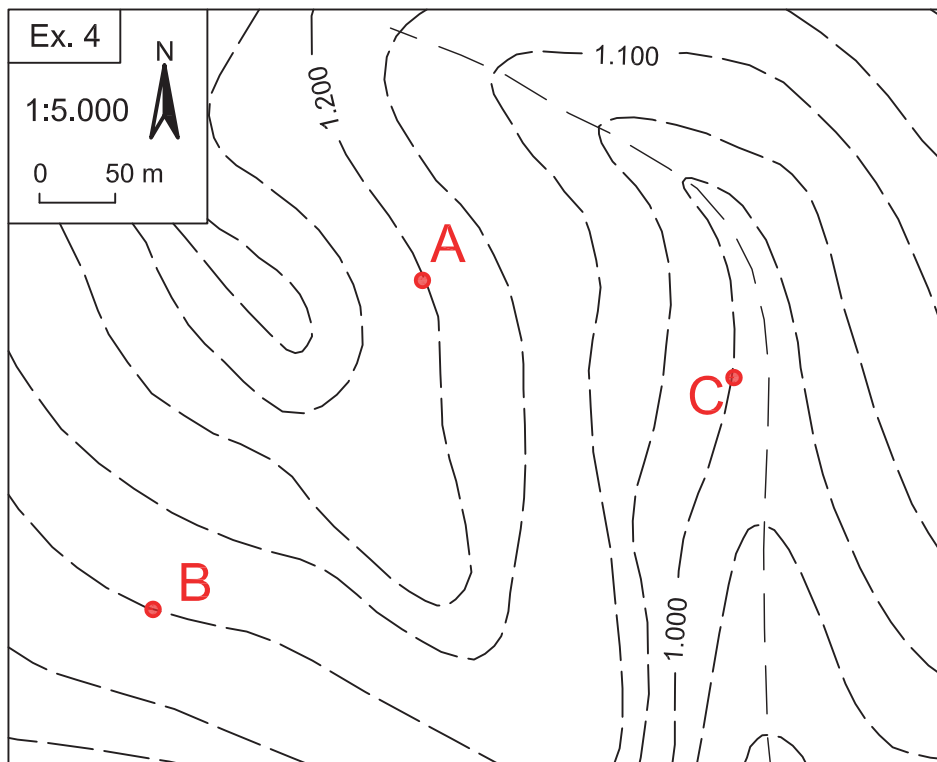


Exercici 4

Al mapa topogràfic, hi ha tres punts, A, B i C, que corresponen a una superfície de contacte entre dues capes. Els tres punts estan a les cotes de 1.200, 1.100 i 1.000 m, respectivament.

Es demana:

1. Dibuixeu la línia que representa aquesta superfície de contacte.
2. Calculeu la direcció i el cabussament d'aquesta superfície de contacte.



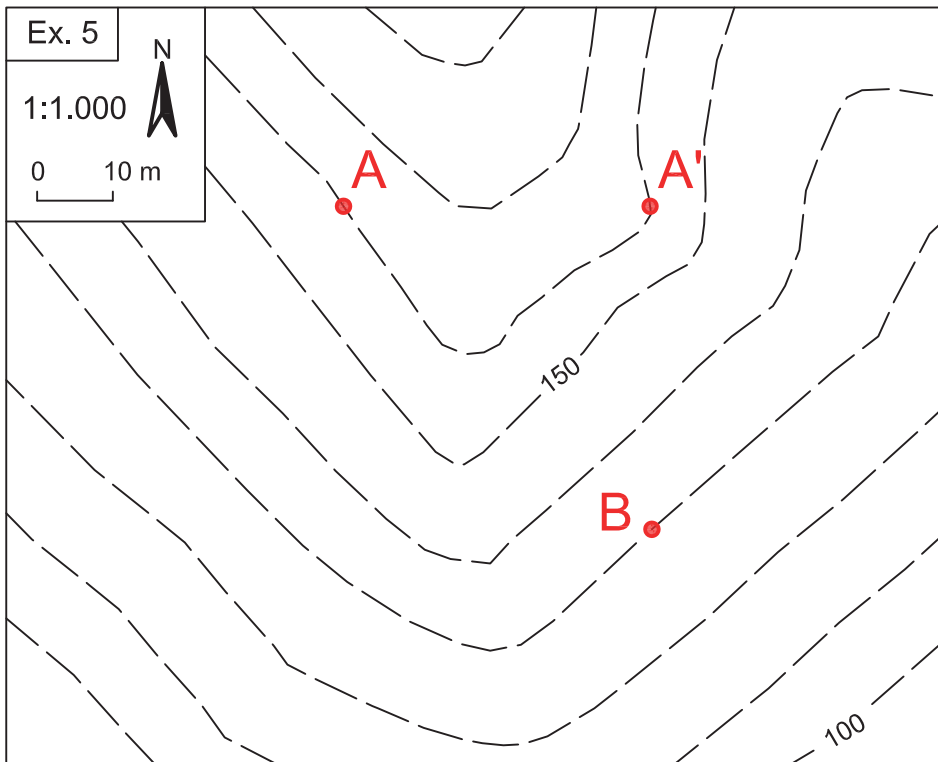


Exercici 5

Al mapa topogràfic, hi ha dos punts, A i A', a la cota de 190 m, que corresponen a la base d'una capa que està inclinada 60° cap al sud. El punt B, a la cota de 180 m, representa el sostre de la mateixa capa.

Es demana:

3. Dibuixeu les línies de la base i del sostre de la capa.
4. Doneu els valors de la direcció, el cabussament i la potència de la capa.



Exercici 6

Al mapa topogràfic, hi ha representada una capa amb trama puntejada.

Es demana:

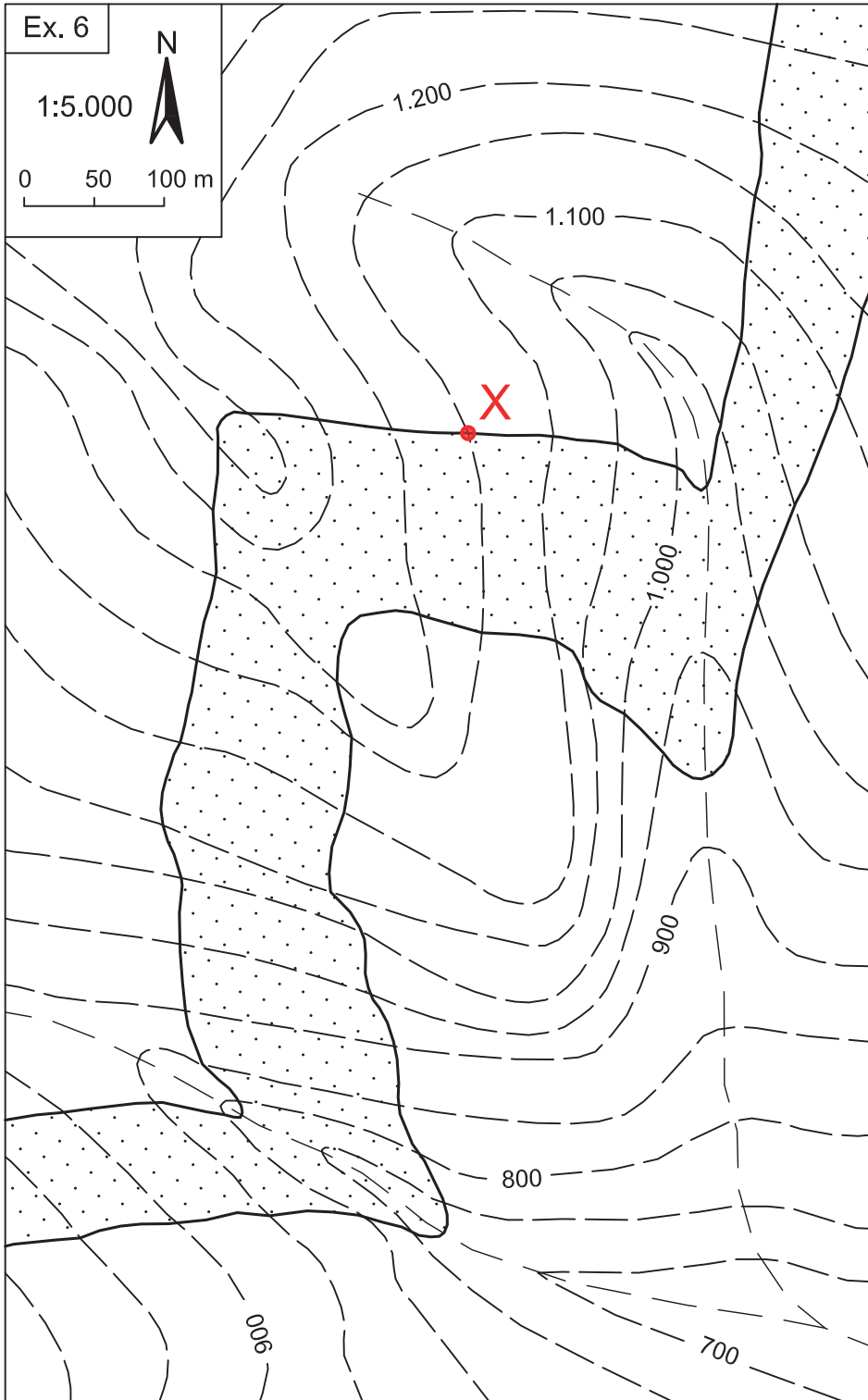
5. Feu un tall seguint la direcció del cabussament, que passi pel punt X.
6. Feu un tall seguint la direcció de la capa, que passi pel punt X.
7. Doneu el valor de la direcció i del cabussament de capa.
8. Doneu el valor de la potència de la capa.

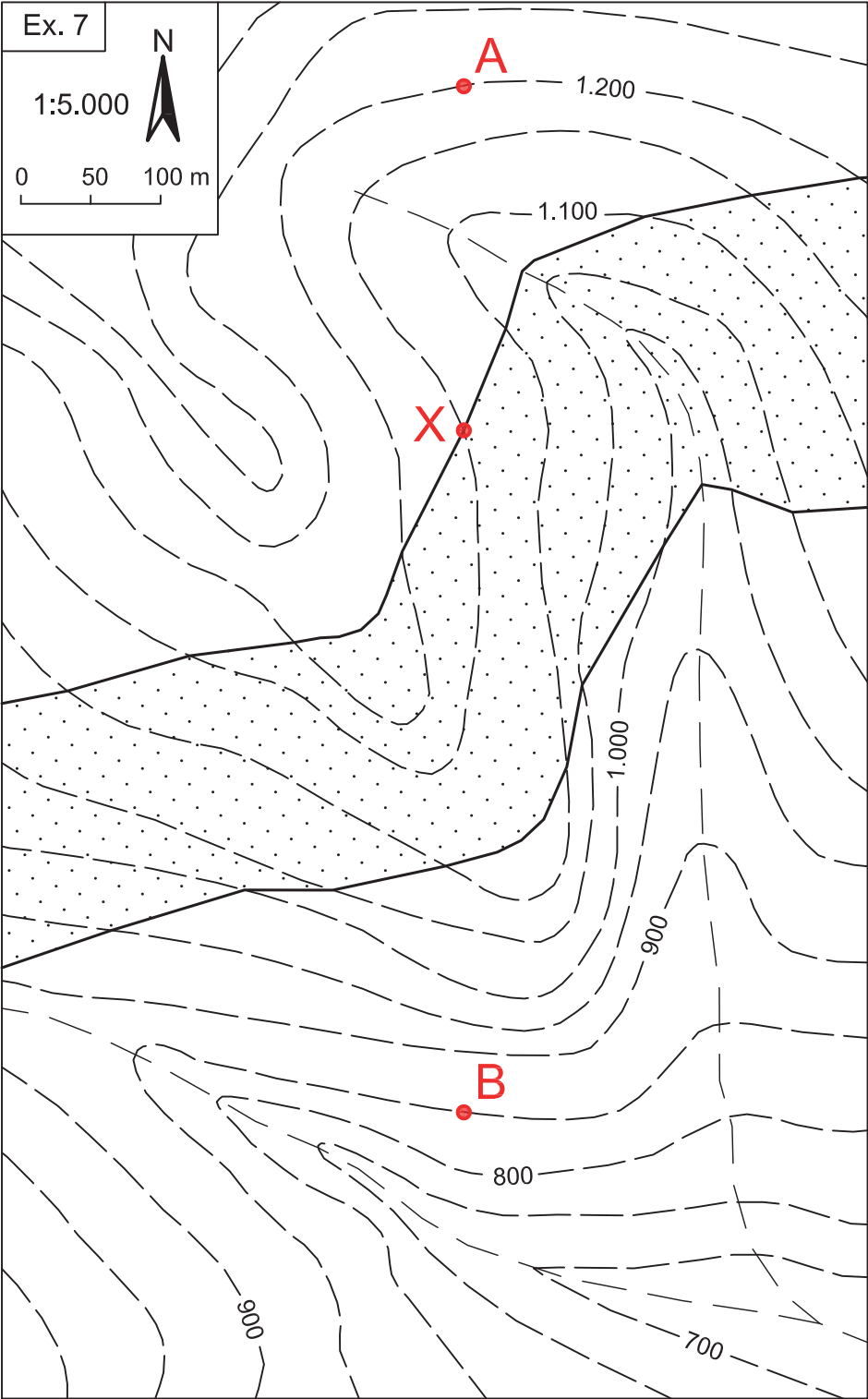
Exercici 7

Al mapa topogràfic, hi ha representada una capa amb trama puntejada.

Es demana:

1. Feu un tall paral·lel al nord que passi pel punt X.
2. Doneu els valors de la direcció de la capa, la direcció del cabussament, l'angle del cabussament real i l'angle del cabussament aparent segons el tall realitzat.
3. Calculeu a quina profunditat des dels punts A i B, situats a les cotes 1.200 i 850, respectivament, tallarem el sostre de la capa.





→ 5

Mapes amb monoclinals

5.1. Concepte de monoclinal

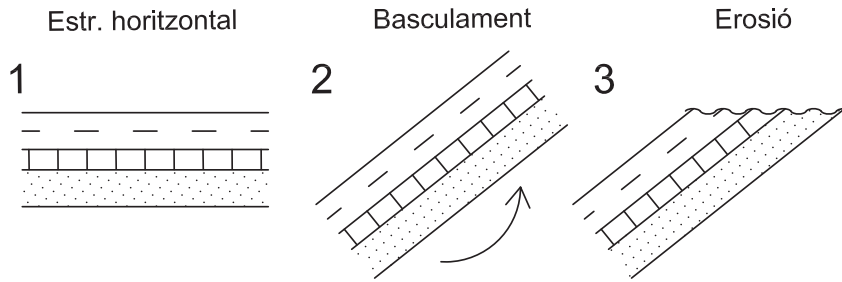
Un **monoclinal** és una estructura formada per un conjunt de capes paral·leles que estan inclinades regularment en una mateixa direcció (v. fig. 15). Es tracta d'una estructura de deformació de capes inicialment horitzontals, que han basculat i posteriorment s'han erosionat (v. fig. 16). Es dona en fronts d'encavalcament, en els flancs dels plecs, en zones de subsidència diferencial, etc.



Fig. 15.
Estructura monoclinal
amb alternança de capes
de guix (crestes) i argila
(barrancs) del Miocè a
Caparrosos (Navarra).
Font: Google Earth



Fig. 16.
Seqüència de formació
d'una estructura monoclinial



5.2. Simbologia de capes

En els mapes geològics, per indicar la direcció i la inclinació de les capes (en els monoclinals i en qualsevol altre tipus d'estructura) s'utilitza la simbologia següent (v. fig. 17):

1. Quan la capa és horitzontal (cabussament = 0°), s'indica mitjançant una creu, amb els dos segments de la mateixa mida.
2. Quan la capa és vertical (cabussament = 90°), s'indica amb una creu amb un segment llarg i l'altre curt. El segment llarg es dibuixa seguint la direcció de la capa i el curt, en la direcció del cabussament.
3. Quan la capa està inclinada (cabussament $< 90^\circ$ i $> 0^\circ$), s'indica amb un segment llarg i un de curt. El segment llarg es dibuixa seguint la direcció de la capa i el curt indicant el sentit del cabussament. Sovint s'indica també l'angle de cabussament de la capa.
4. Quan la capa està invertida, s'indica amb un segment recte seguint la direcció de la capa i amb un segment curt en forma de ganxo, dirigit cap al sentit d'inclinació de la capa. Sovint també s'indica l'angle de cabussament de la capa.

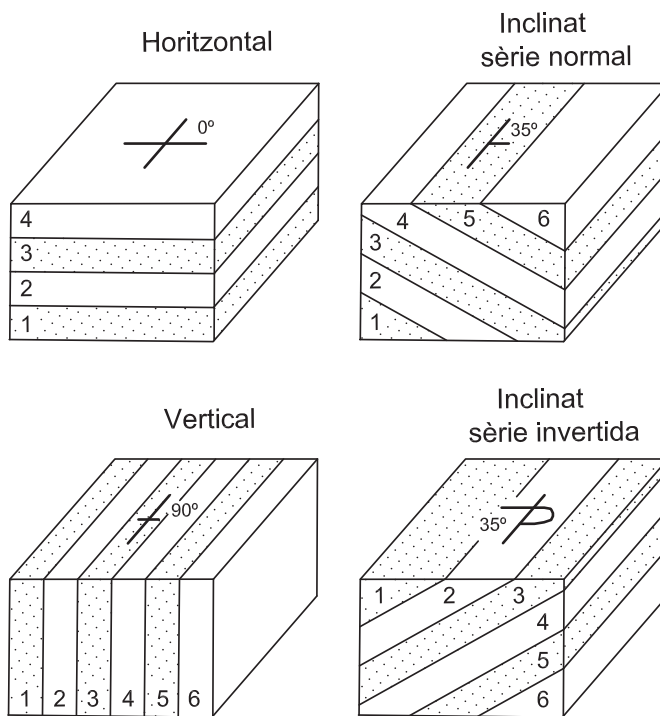


Fig. 17.
Simbologia que s'utilitza per
indicar les capes horizen-
tals, verticals i inclinades als
mapes geològics. L'antiguitat
de les capes s'indica d'1
a 6: 1 és la d'edat més
antiga i 6, la més moderna



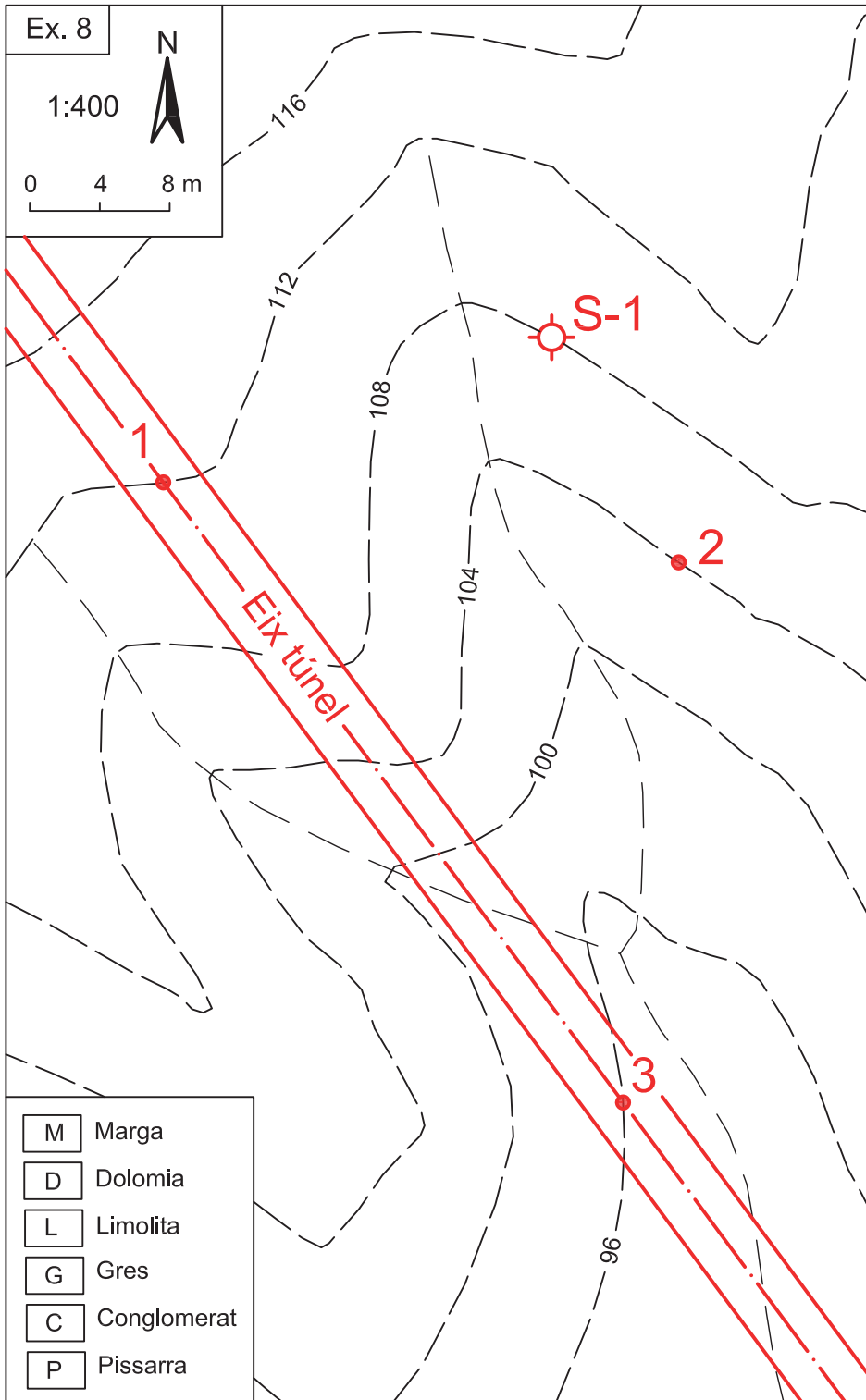
5.3. Exercicis

Exercici 8

Es vol fer un túnel horitzontal de 4 m de diàmetre, entre les cotes de 88 i 92 m. El túnel ha de travessar una sèrie monoclinal composta per sis capes: de pissarra (P), de conglomerat (C), de gres (G), de limolita (L), de dolomia (D) i de marga (M). Les capes són paral·leles entre si, amb una direcció i un cabussament de 53° i 31° , respectivament. Al punt 1, a la cota de 112 m, aflora el contacte entre la capa de gres (G) i la de limolita (L). Al punt 2, a la cota de 104 m, aflora el contacte entre la capa de limolita i la de dolomia. Al punt 3, a la cota de 96 m, aflora el contacte entre la capa de dolomia i la de marga. Es disposa també de la informació d'un sondeig (S-1) de 28 m de longitud, situat a la cota de 108 m. Aquest sondeig travessa la capa de gres fins a una profunditat de 12 m (cota de 96 m); després, la capa de conglomerat fins a una profunditat de 22 m (cota de 86 m), i finalment la capa de pissarra fins al final del sondeig.

Es demana:

1. Dibuixeu al mapa l'aflorament de les diferents capes.
2. Feu el tall seguint l'eix del túnel, indicant la distància en què es tallaran les diferents capes de roca des del seu extrem nord.





Exercici 9

A l'àrea del mapa s'ha reconegut una sèrie monoclinal composta per quatre capes: conglomerat (C), argil·lita (A), guix (G) i dolomia (D). S'hi han fet tres sondejors de 30 m de longitud cadascun.

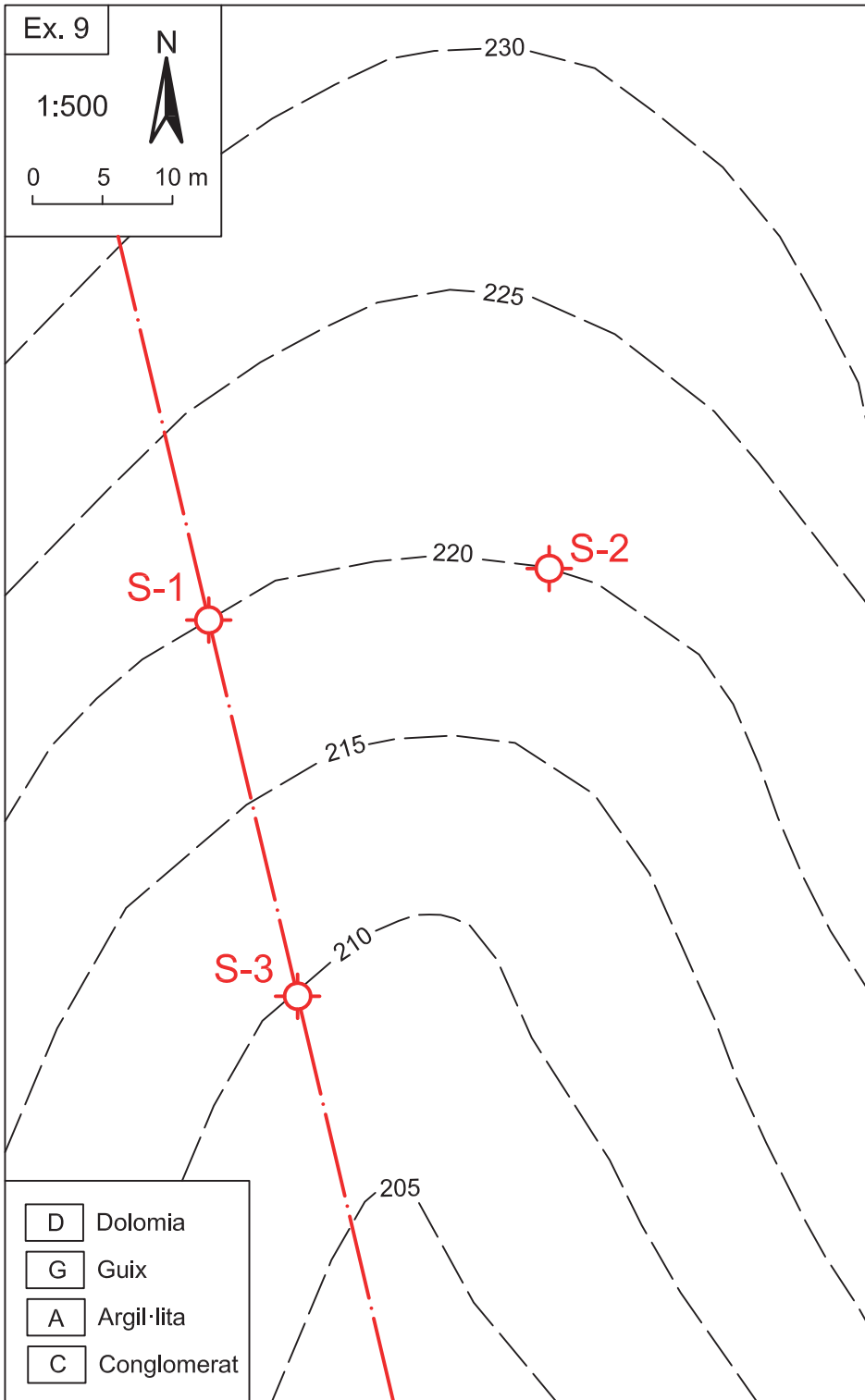
El sondeig S-1, situat a la cota de 220 m, ha travessat la capa de guix des de la superfície fins a una profunditat de 5 m (cota de 215 m). Després, la capa d'argil·lita, fins a una profunditat de 25 m (cota de 195 m). Finalment, la capa de conglomerat, fins al final del sondeig a 30 m de profunditat (cota de 190 m).

El sondeig S-2, situat a la cota de 220 m, ha perforat la capa de guix fins a una profunditat de 10 m (cota de 210 m). Després, la capa d'argil·lita, fins a una profunditat, fins al final del sondeig a 30 m de profunditat (cota de 190 m).

El sondeig S-3, situat a la cota de 210 m, ha perforat la capa de dolomia fins a una profunditat de 5 m (cota de 205 m). Després, la capa de guix, fins a una profunditat de 20 m (cota de 190 m). Finalment, la capa d'argil·lita, fins al final del sondeig a 30 m de profunditat (cota de 180 m).

Considerant que les capes són paral·leles entre si i de potència constant, es demana:

1. Feu el tall indicat, a través dels sondejors S-1 i S-3.
2. Dibuixeu al mapa els afloraments de les capes.
3. Doneu els valors de direcció, cabussament i potència de les capes.



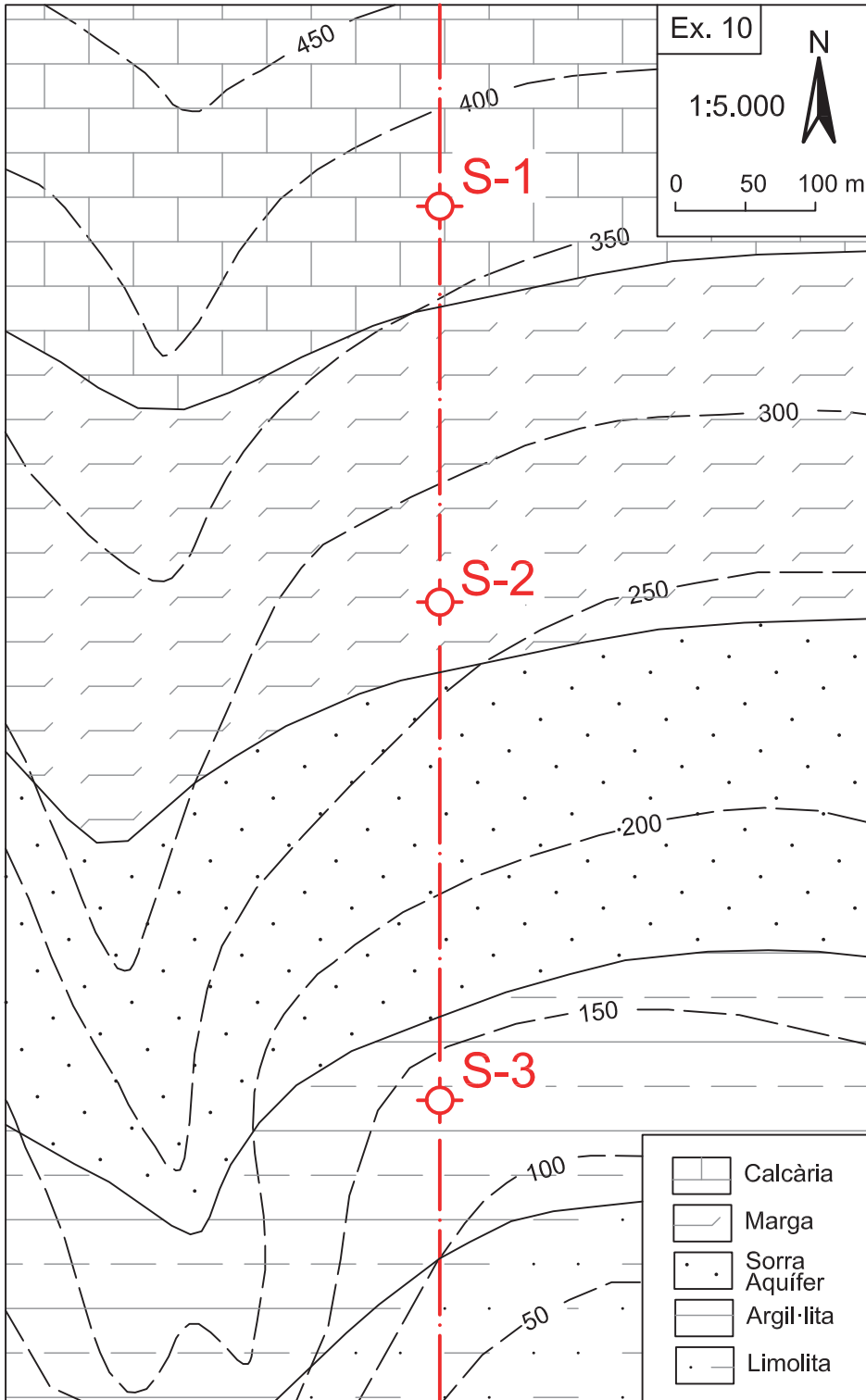


Exercici 10

Al mapa següent, hi ha representades diverses capes que formen una estructura monoclinal. La capa S, de sorra, constitueix un aqüífer que, en part, queda confinat sota les capes veïnes. Per tal d'explotar l'aigua subterrània d'aquest aqüífer, es volen fer tres pous: S-1, S-2 i S-3. En fer el pou S-2, s'ha travessat el nivell freàtic a la cota de 150 m.

Es demana:

1. Feu el tall alineat amb els tres pous.
2. Calculeu la potència de la capa S que constitueix l'aqüífer.
3. Calculeu a quina profunditat tallaran l'aqüífer els sondejos S-1 i S-3.



→ 6

Mapes amb dics

6.1. Concepte de dic

Els dics són **filons** de roca que s'han originat per la intrusió d'un **magma** a l'interior de fractures que travessen una roca preexistent, que s'anomena **roca encaixant** (v. fig. 18). Aquestes fractures poden ser diàclasis o falles, d'origen tectònic o bé causades per la pròpia intrusió del magma. Els dics tendeixen a donar formes tabulars, les quals, igual que les capes, venen delimitades per dues superfícies més o menys paral·leles entre si, amb una direcció i una inclinació determinades. El gruix del dic pot ser des d'uns pocs metres fins a més d'un centenar. Lateralment, els dics poden canviar de gruix, ramificar-se, entrellagar-se i donar xarxes que poden arribar a ser complexes.

Quan la intrusió del magma ha tingut lloc a través de superfícies d'estratificació de la roca encaixant, llavors s'anomenen **sills** quan tenen formes tabulars, lo-

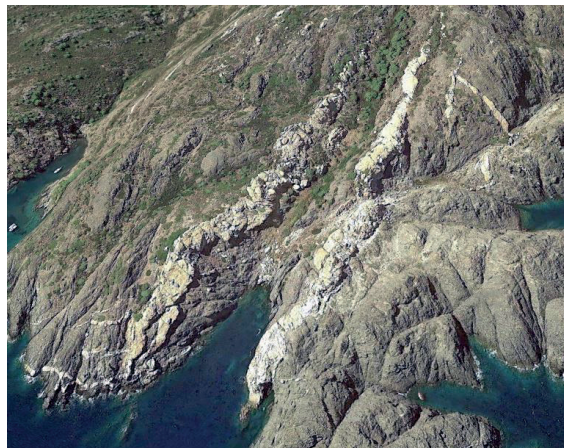
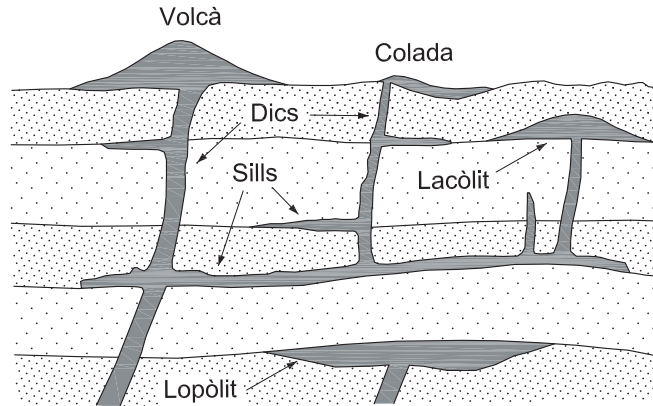


Fig.18
Dics de pegmatita (blanc)
que travessen una roca
encaixant metamòrfica al
cap de Creus (Girona).
Font: Google Earth

pòlits quan tenen una forma lenticular amb base còncava o **lacòlits** quan tenen una forma lenticular amb sostre convex (v. fig. 19).

En conjunt, constitueixen el grup de les roques ígnies **filonianes** o **hipabissals**, que parteixen de cossos magmàtics més profunds (**plutons**) i poden acabar per tasconament a l'interior de l'escorça, o bé prolongar-se fins a la superfície i connectar amb aparells volcànics.

Fig. 19
Diferents tipus de roques ígnies filonianes i la seva relació amb la roca encaixant i amb aparells volcànics superficials



6.2. Roca encaixant

Els dics i altres roques filonianes que hem citat es poden donar entre qualsevol tipus de roca encaixant: ígnia, sedimentària o metamòrfica.

Roca encaixant ígnia

Bona part de la Serralada Litoral catalana (des de Collserola fins al cap de Creus) està formada per roques granítiques travessades per abundants dics de diferents tipus de roca (aplites, pòfirs, lampròfirs, etc.). Formen part d'una història geològica magmàtica ocorreguda al final de l'era paleozoica. Bona part d'aquestes roques granítiques es presenten actualment força alterades per la meteorització, des de la superfície fins a una profunditat que pot variar unes quantes desenes de metres. Aquest granit alterat s'anomena **sauló**. És un material de baixa consistència, porós, que es pot excavar fàcilment amb una pala o un minador. Per contra, els dics solen ser força resistents a la meteorització i es mantenen com a roques molt dures entremig del sauló, que cal excavar amb martell o amb explosius.

Roca encaixant sedimentària

Les roques del triàsic superior a Catalunya són principalment roques evaporítiques, compostes per argiles i guixos a la superfície, i argiles, anhidrita i sal al subsòl. Són les anomenades **fàcies Keuper**, ben representades a les serres Pre-

litoral i Sud-pirenaica catalanes. Aquestes roques evaporítiques solen englobar dics de roques ígnies bàsiques, tradicionalment anomenades **ofites**.

Les propietats geomecàniques d'aquests materials evaporítics i magmàtics són molt diferents entre si. Les argiles i els guixos són materials tous, fàcils d'excavar i normalment força estables. Sovint s'aguanten bé sense cap tipus de sosteniment. Per contra, les ofites són roques dures i fràgils, que sovint estan molt fracturades i meteoritzades. La meteorització es presenta en graus molt diferents i dona lloc a una roca molt heterogènia, d'escassa consistència i poca estabilitat en els fronts d'excavació.

Roca encaixant metamòrfica

En diferents indrets del Pirineu, es troben dics encaixats entre roques metamòrfiques paleozoiques. Un dels millors exemples el trobem al cap de Creus. En els penya-segats d'aquest cap, s'hi poden veure dics de roques àcides (pegmatites) entre roques esquistoses força meteoritzades (v. fig. 18). En aquest cas, també s'observa un contrast litològic important entre el dic i la roca encaixant.



6.3. Exercicis

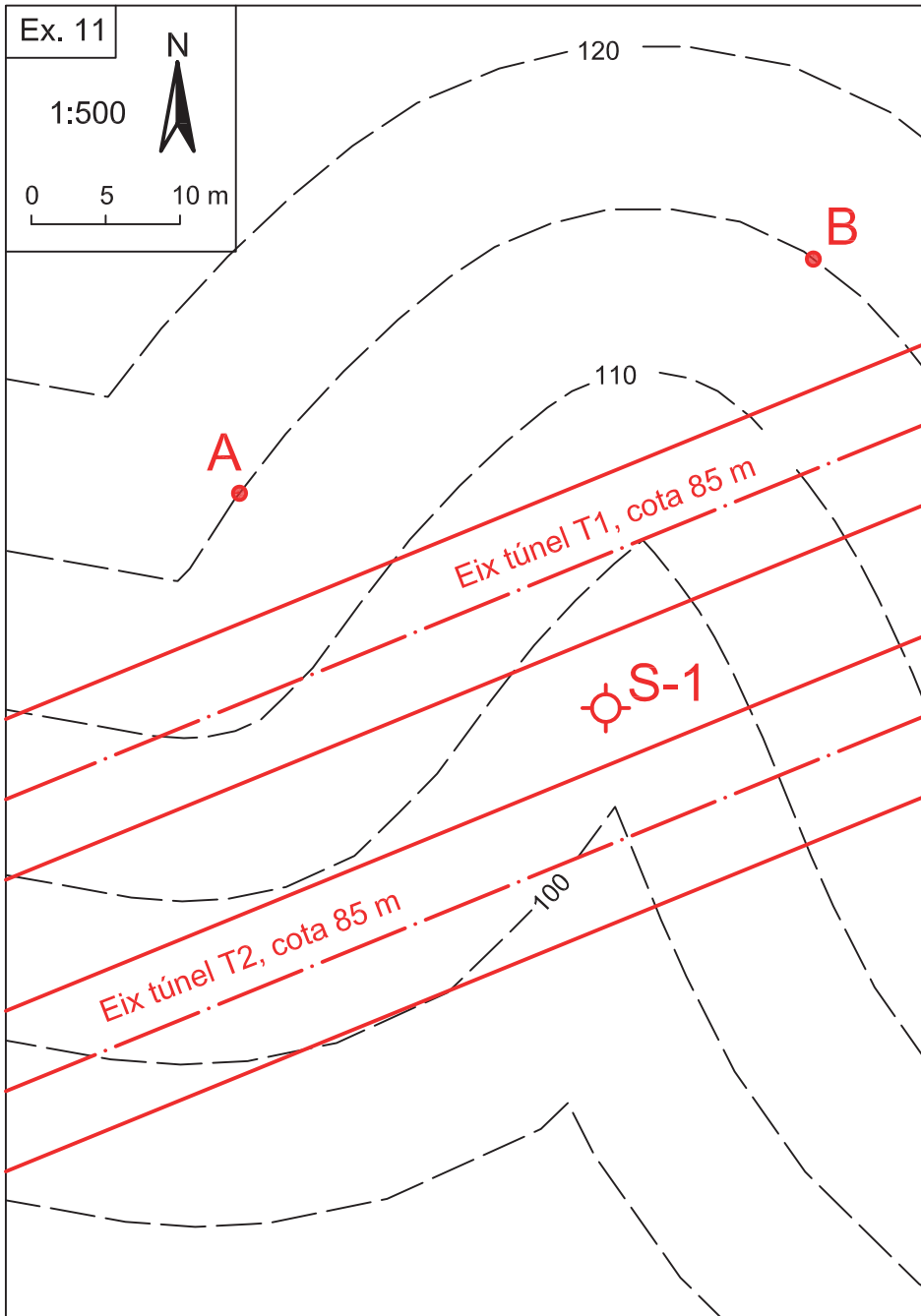
Exercici 11

El mapa representa una àrea de granit alterat (sauló), travessada per un dic de pòrfir. El contacte entre el dic, al sud, i el sauló, al nord, aflora als punts A i B, situats a la cota de 110 m. S'ha fet un sondeig (S-1) a la cota de 103 m, de 75 m de longitud, per conèixer la situació del dic al subsòl. El dic s'ha tallat entre 8 i 18 m de profunditat.

En aquesta zona, es vol fer un túnel horitzontal amb tuneladora de 10 m de diàmetre, a una profunditat (eix del túnel) de 85 m. Interessa que el túnel no talli el dic de pòrfir, perquè la tuneladora està preparada per perforar només materials tous, com el sauló. Travessar el dic de pòrfir seria un greu obstacle per a la tuneladora. Hi ha dos possibles traçats del túnel: T1 i T2, paral·lels entre si, en la posició que s'indica al mapa.

Es demana:

1. Dibuixeu al mapa l'aflorament del dic.
2. Feu un tall perpendicular a la direcció del dic i que passi pel sondeig S-1, situant la secció transversal dels dos possibles túnels.
3. Doneu els valors del cabussament del dic, la seva direcció i la potència.
4. Indiqueu quins dels dos possibles túnels permet evitar el dic de pòrfir.



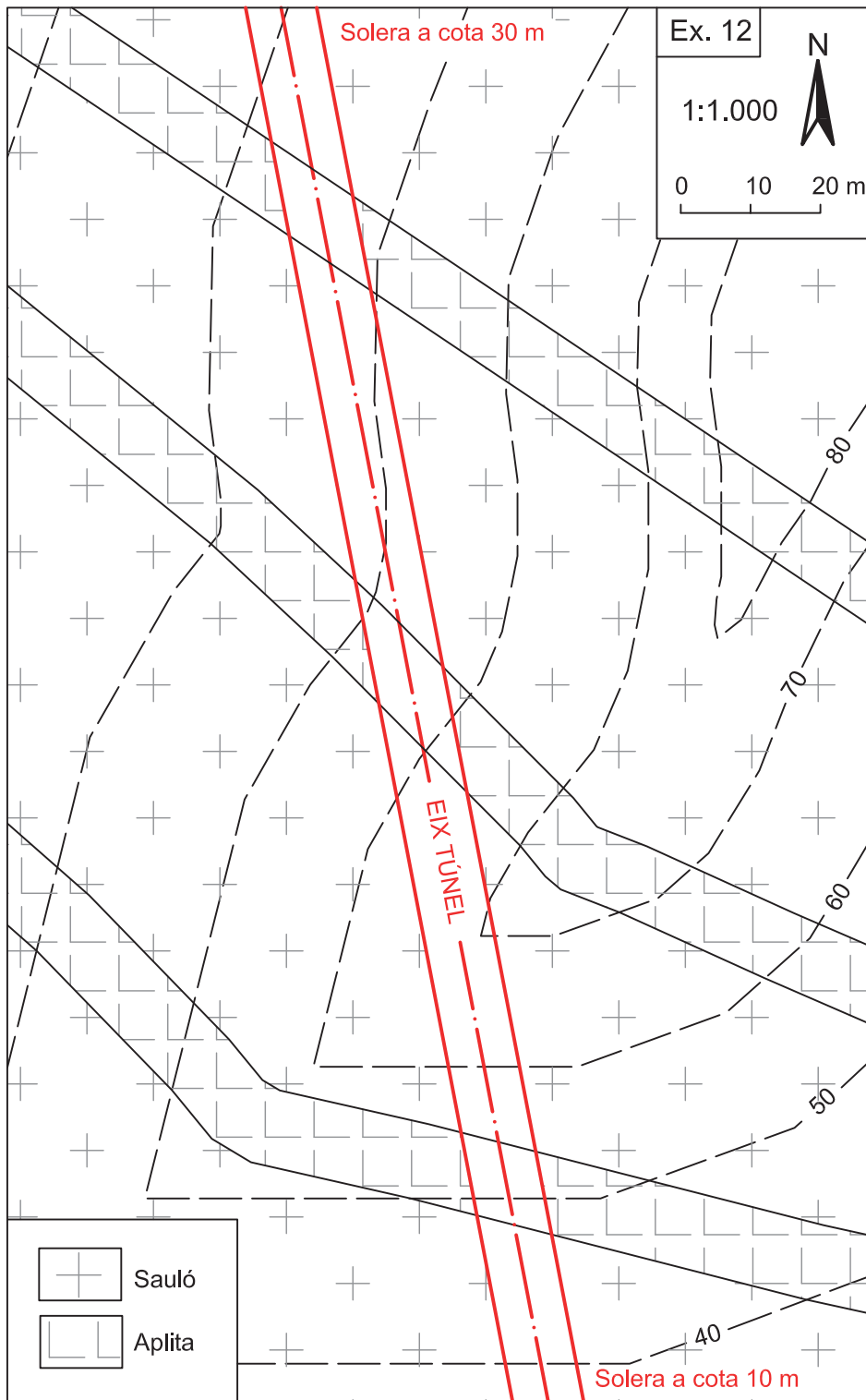


Exercici 12

Es volen conèixer els canvis de tipus de roca amb què es trobarà un túnel excavat amb tècnica minera a través d'un massís granític alterat (sauló) amb diversos dics d'aplita. Aquest aspecte condicionarà el tipus de mètode d'excavació: amb pala o minador quan el material sigui tou com el sauló, o amb martell o explosius quan sigui una roca dura com l'aplita. Es tracta d'un túnel de 10 m de diàmetre, que comença a la cota de 30 m a l'extrem nord i finalitza a la cota de 10 m a l'extrem sud, amb una longitud total de 204,4 m.

Es demana:

1. Feu el tall geològic seguint l'eix del túnel.
2. Indiqueu a quina distància des de l'extrem nord del túnel es travessaran els canvis successius entre el sauló i l'aplita.

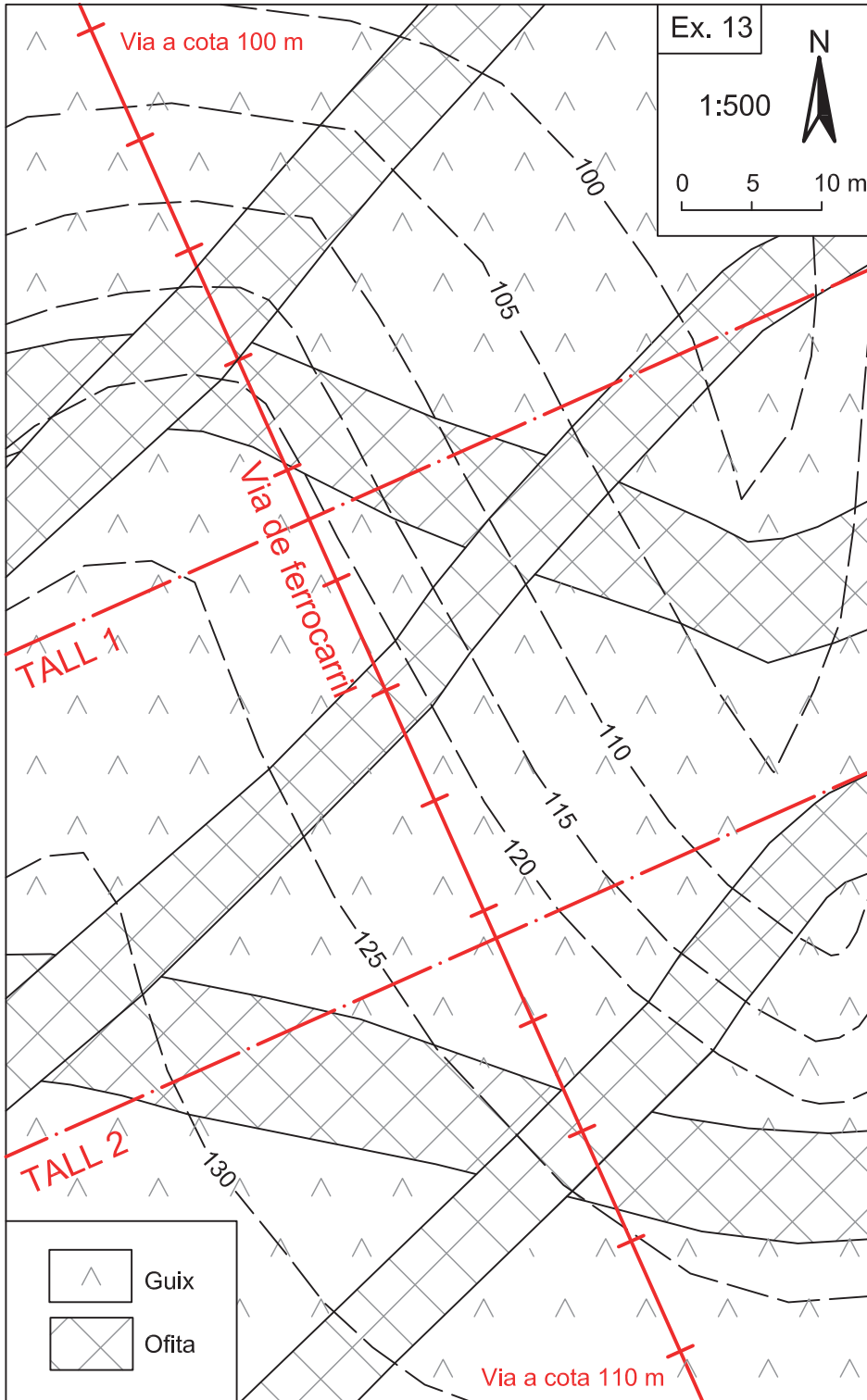


Exercici 13

Es vol conèixer l'estructura geològica dels talussos d'una via de ferrocarril que travessa un massís de guixos amb dics d'ofita en diferents direccions. La base de la via se situa a la cota 100 m a l'extrem NO, i a 110 m a l'extrem SE. Els talussos tenen un inclinació de 65° i una altura que varia segons el relleu del terreny.

Es demana:

1. Feu els dos talls transversals al traçat del ferrocarril que s'indiquen al mapa.
2. Atès que l'ofita és un material de menys qualitat que el guix i que la inclinació de les capes en el mateix sentit que la del talús és més desfavorable que en sentits oposats, indiqueu quin dels quatre talussos pot presentar més problemes d'estabilitat.



→ 7

Mapes amb discordances

7.1. Concepte de discordança

Una **discordança** és una superfície que separa dos conjunts de materials geològics que no guarden paral·lelisme entre si. Generalment, les discordances es donen entre formacions sedimentàries, però també es poden donar entre altres tipus de roques (volcàniques, metamòrfiques).

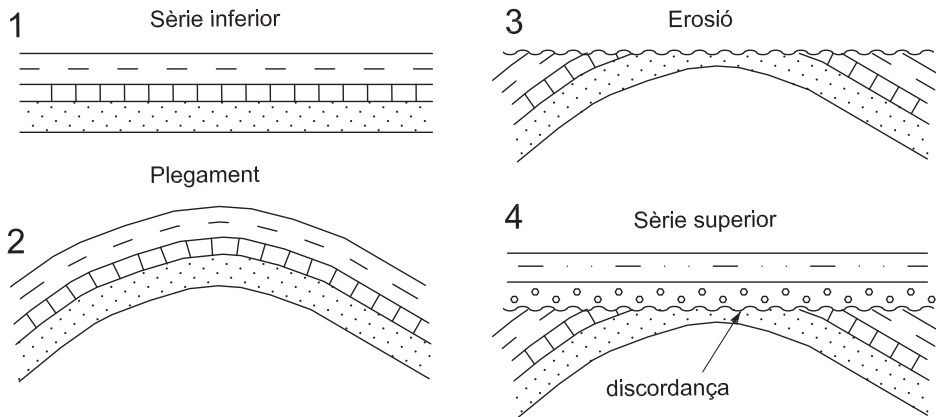


Fig. 20
Discordança angular
entre una formació inclinada
d'argil·la i gresos rogencs, i
una formació horitzontal de
graves grises, a les proximitats
de Monistrol de Montserrat
(comarca del Bages)

7.2. Tipus de discordances

Es parla de **discordança angular** quan els dos conjunts de materials estan formats per capes amb diferents angles d'inclinació, delimitades per una superfície de caràcter erosiu (v. fig. 20). Aquesta superfície pot ser plana o no, horitzontal o inclinada. Aquest tipus de discordances són el resultat de la seqüència següent d'esdeveniments geològics (v. fig. 21): (1) formació d'una primera sèrie de capes horitzontals; (2) deformació (basculament, plegament) d'aquestes primeres capes; (3) erosió d'una part d'aquesta sèrie deformada; (4) formació d'una segona sèrie de capes horitzontals, disposades per damunt de la primera sèrie.

Fig. 21
Seqüència evolutiva d'una
discordança angular



Es parla de **discordança progressiva** (o discordança sintectònica) quan la inclinació de les capes varia de manera gradual i no hi ha pròpiament una superfície que separi dos conjunts de materials, com en el cas de les angulars. L'angle d'inclinació de les capes augmenta en sentit estratigràfic descendent (v. fig. 22). És a dir, les capes més altes són les que tenen menys inclinació, i aquesta va augmentant gradualment cap a baix, de manera que les capes més baixes poden arribar a estar verticals i, fins i tot, invertides.

Aquest tipus de discordança s'origina quan la deposició de les capes té lloc al mateix temps que un dels seus marges s'aixeca, normalment per causes tectòniques. Se'n poden diferenciar dues etapes (v. fig. 23):

1. L'etapa inicial, amb un fort aixecament tectònic, en què les capes es van sobreposant en reculada i formen un ventall en **offlap**. A la zona de més aixecament hi ha erosió.
2. L'etapa final d'alentiment de l'aixecament tectònic, en què les capes s'expandeixen progressivament sobre la zona erosionada i formen un **onlap**. Aquesta zona erosionada constituirà una discordança angular menor dintre de la discordança progressiva.



Fig. 22
Discordança progressiva en una formació de conglomerats a la comarca del Mataranya (província de Terol). S'observa com les capes de conglomerat de la dreta estan pràcticament verticals, mentre que el seu cabussament va disminuint gradualment cap a l'esquerra

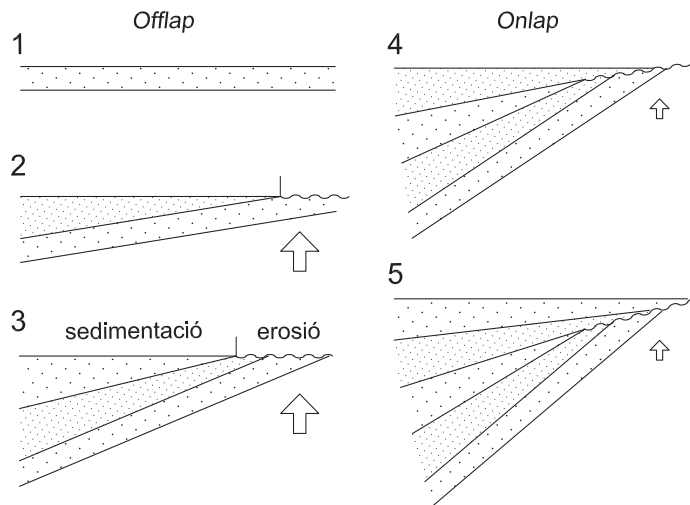


Fig. 23
Seqüència evolutiva d'una discordança progressiva



7.3. Exercicis

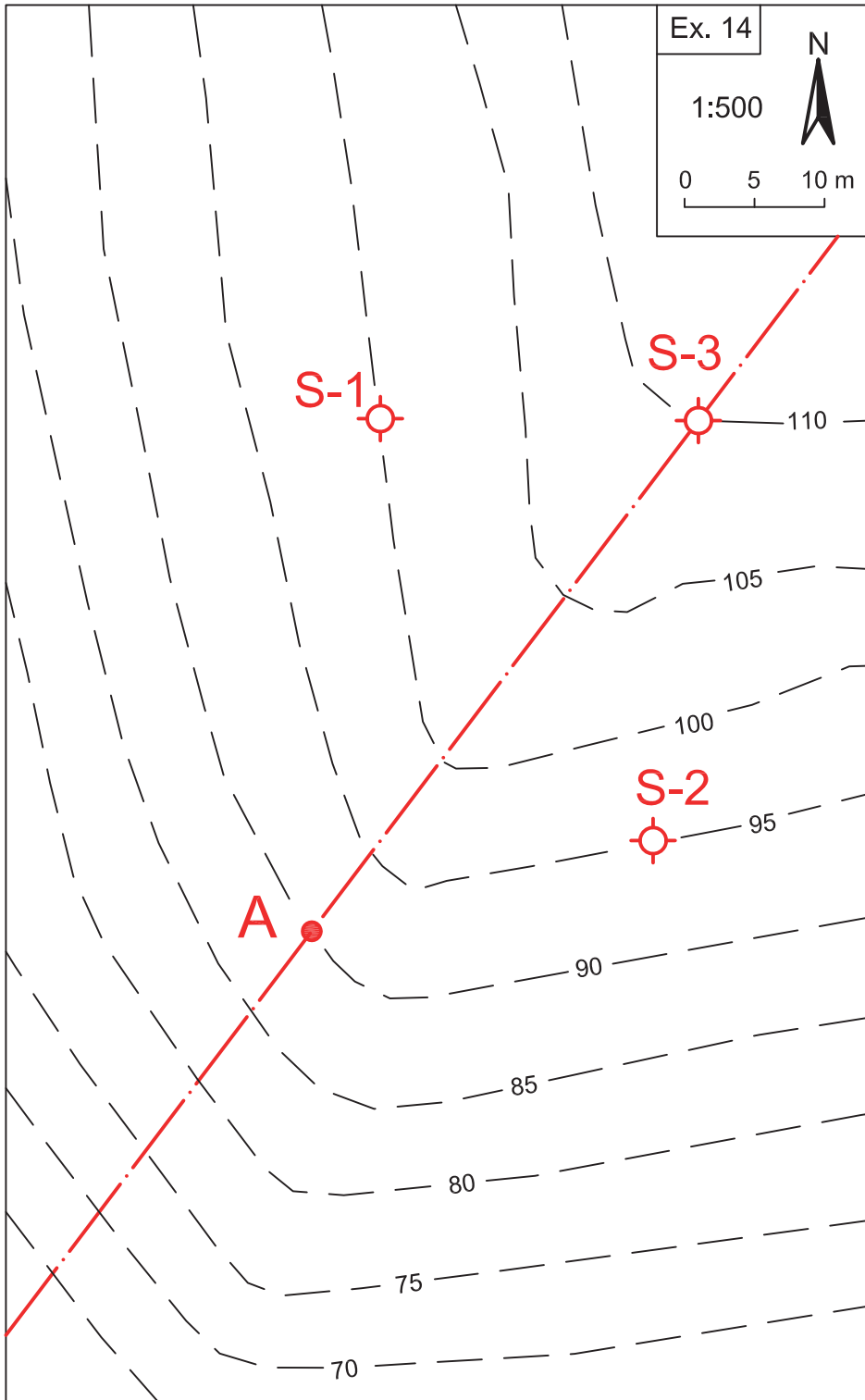
Exercici 14

Es vol fer el mapa geològic d'una zona coberta de vegetació en què s'han reconegut quatre tipus de roques: pissarra (P), bretxa (B), gres (G) i dolomia (D). Es disposa de la informació següent:

1. Al punt A, situat a la cota de 90 m, aflora el contacte entre la pissarra i el gres.
2. Els sondejors S-1, a la cota de 100 m, i S-2, a la cota de 95 m, de 30 m de longitud cadascun, han tallat el contacte entre la dolomia i el gres a la cota de 97,5 m; el contacte entre el gres i la bretxa, a 82,5 m, i el contacte entre la bretxa i la pissarra, a 80 m.
3. El sondeig S-3, a la cota de 110 m, també de 30 m de longitud, ha tallat el contacte entre la dolomia i el gres a 12,5 m de profunditat, i el contacte entre el gres i la bretxa, a 27,5 m de profunditat.

Es demana:

1. Feu el tall que passa pel punt A i el sondeig S-3.
2. Dibuixeu al mapa l'aflorament dels diferents tipus de roca reconeguts i definiu el tipus de contacte que hi ha entre ells.



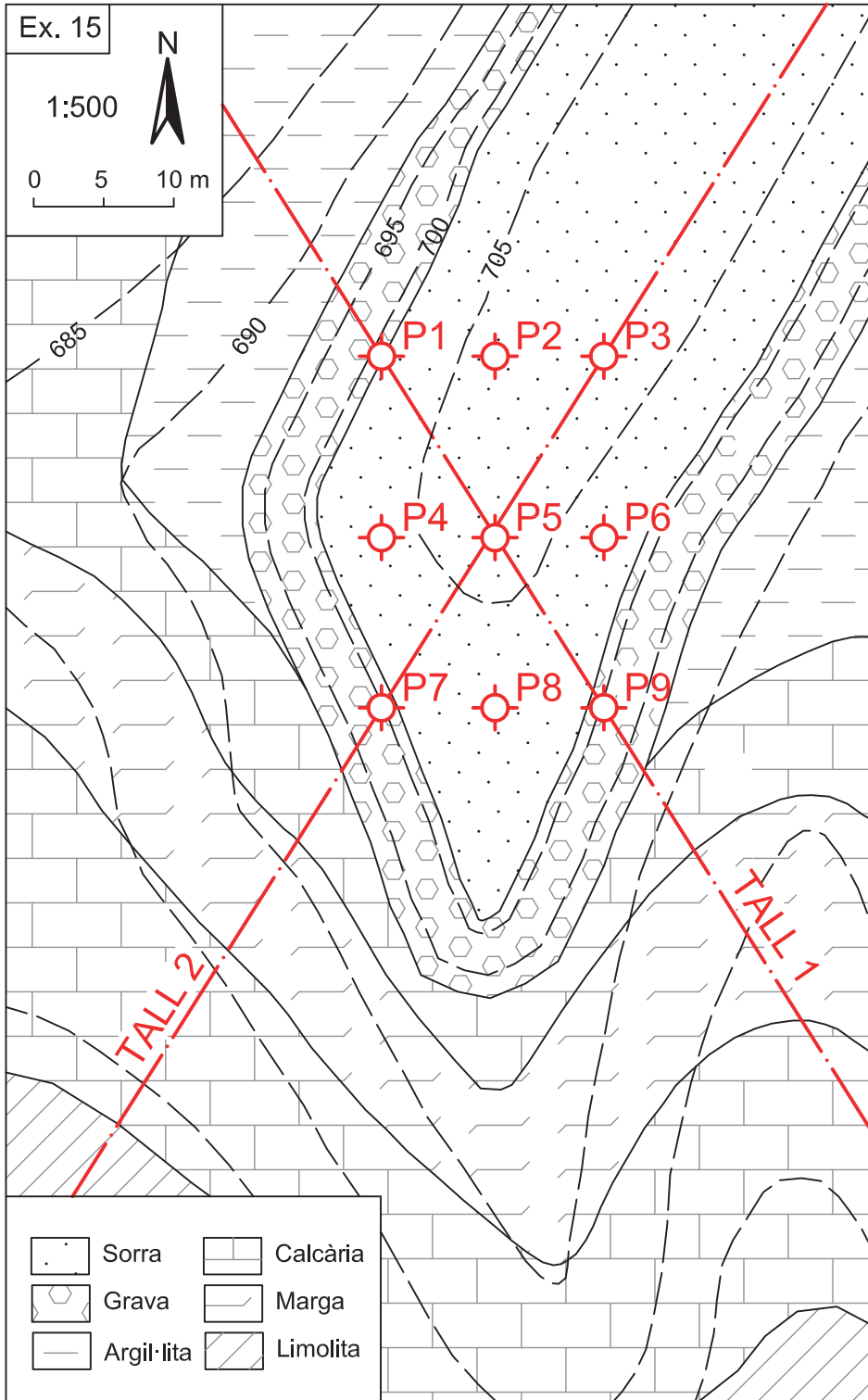


Exercici 15

Es vol construir un edifici a la part més alta d'un relleu format per una terrassa al·luvial composta per grava i sorra, que està discordant sobre una sèrie monoclinal formada per diverses formacions sedimentàries (argil·lita, calcària, marga i limolita). Atesa la baixa resistència dels materials de la terrassa i de l'argil·lita subjacent, es vol cimentar l'edifici a la capa calcària mitjançant una xarxa rectangular de 9 pilots (P1 a P9).

Es demana:

1. Feu els dos talls que s'indiquen al mapa, a través dels pilots P3-P5-P7 i P1-P5-P9.
2. Indiqueu la longitud de cadascun dels pilots d'aquests talls per tal d'arribar a la capa de calcària i penetrar-hi fins a 5 m.



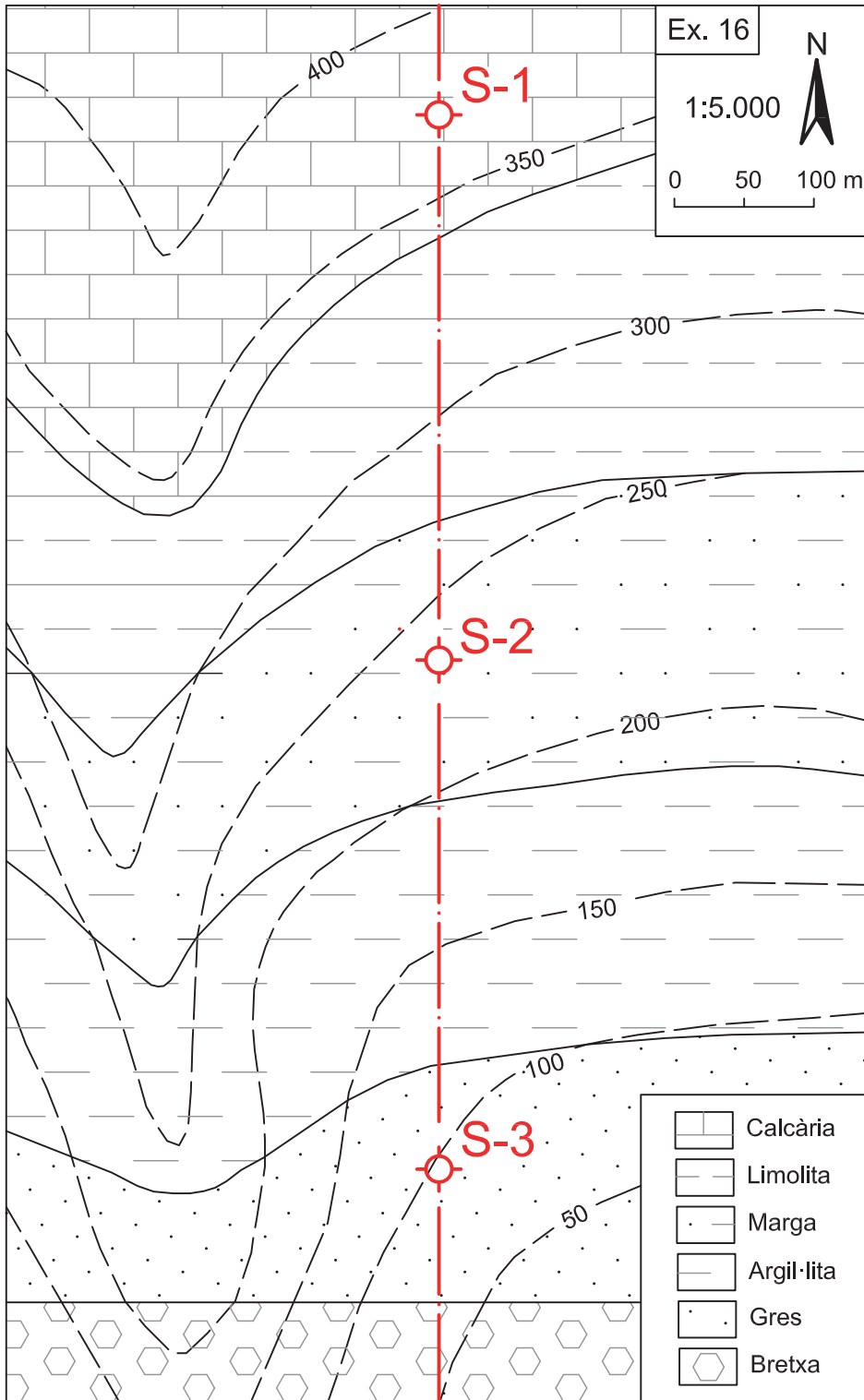


Exercici 16

En el mapa hi tenim representades diverses formacions sedimentàries (bretxa, gres, argil·lita, marga, limolita i calcària) que formen una discordança progressiva. Amb el propòsit d'explorar la hidrogeologia de la zona, s'han realitzat tres sondejos, S-1, S-2 i S-3, situats a les cotes de 375, 235 i 100 m respectivament. Els tres sondejos han travessat les diferents formacions fins a la cota de -100 m.

Es demana:

1. Feu el tall seguint els tres sondejos indicats al mapa i indiqueu el cabussament del sostre i/o base de cada formació
2. Indiqueu per cada sondeig les formacions travessades i la profunditat en que es talla el seu sostre o base.
3. Donat que la bretxa constitueix el material potencialment més idoni per contenir aigua subterrània, dir quin dels tres sondejos la tallarà i a quina profunditat.



→ 8

Mapes amb falles

8.1. Concepte de falla

Una **falla** és una fractura que travessa el subsòl del terreny i produeix el desplaçament dels materials que hi ha a cadascun dels seus costats (v. fig. 24). Pot afectar qualsevol tipus de material geològic, roques o sòls. El desplaçament pot ser en qualsevol direcció, però sempre paral·lelament a la fractura. La seva longitud i el seu desplaçament poden ser molt variables, des de pocs metres fins a desenes o centenars de quilòmetres. Les falles generalment són d'origen tectònic, però també poden estar causades per l'activitat magmàtica, el diapirisme, esfondraments o esllavissaments.



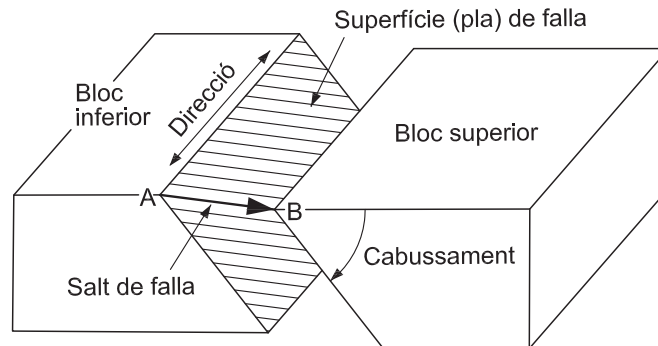
Fig. 24
Falla normal en una formació calcària de la serra del Montsec, a les proximitats de Vilanova de Meià (comarca de la Noguera)

8.2. Elements de les falles

En qualsevol falla, s'hi poden diferenciar els elements següents (v. fig. 25):

1. **Superfície de falla.** Pot ser plana (pla de falla) o corbada. Es caracteritza per una direcció i un cabussament determinat. Quan la superfície és corba, la direcció pot ser constant però el cabussament varia de forma gradual.
2. **Blocs de falla.** Per a cada falla, són dos: un a cada costat de la superfície de la falla. El bloc que està situat per sobre de la superfície de la falla s'anomena **bloc superior** i el **bloc inferior** és el que està per sota. Només quan la superfície de la falla és vertical resulta impossible determinar quin bloc és a sobre o a sota.
3. **Salt de falla.** És la distància en línia recta, mesurada a la superfície de la falla, que hi ha entre dos punts situats a cadascun dels dos blocs que abans de produir-se el moviment de la falla estaven en contacte (punts A i B de la figura 25). Representa el desplaçament de la falla, que es pot haver produït d'un sol cop o bé ser la suma en el temps de diferents petits moviments de la falla.

Fig. 25
Bloc-diagrama d'una falla
amb indicació dels seus
elements principals



8.3. Tipus de falles

Segons la manera com s'ha produït el moviment dels blocs, hi ha quatre tipus bàsics de falles (v. fig. 26 i 27):

1. **Falles normals.** Són falles de salt vertical en què el bloc superior ha baixat respecte a l'inferior. Estan associades principalment a règims tectònics extensionals, però també poden estar produïdes per esfondraments, diapirisme o esllavissaments.
2. **Falles inverses.** Són falles de salt vertical en què el bloc superior ha pujat respecte a l'inferior. Estan associades principalment a règims tectònics compressius, però també a altres causes, com fronts d'esllavissaments.

3. **Falles dextres.** Són falles de salt lateral (o en direcció) en què els blocs s'han desplaçat en el sentit de les agulles del rellotge (situats sobre un dels blocs, l'altre bloc s'ha desplaçat cap a la dreta respecte a nosaltres).
4. **Falles senestres.** Són falles de salt lateral en què els blocs s'han desplaçat en el sentit invers al de les agulles del rellotge (situats sobre un dels blocs, l'altre bloc s'ha desplaçat cap a l'esquerra respecte a nosaltres).

Aquests dos darrers tipus de falles estan relacionats amb forces de cisalla, tant en un règim extensional com compressiu.

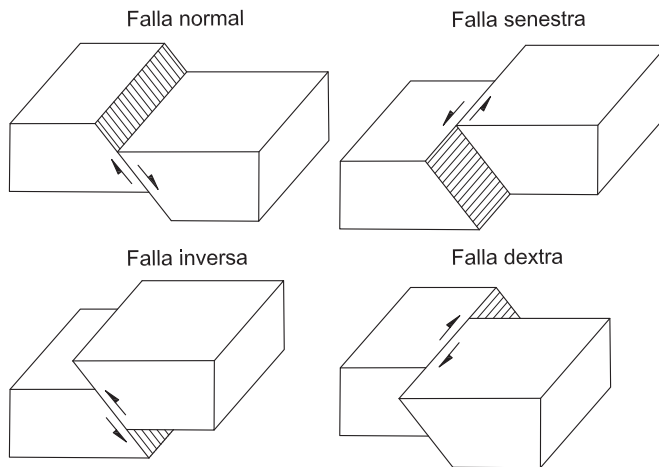


Fig. 26
Principals tipus de falles segons el moviment relatiu dels blocs. A l'esquerra, falles de salt vertical, normal i inversa. A la dreta, falles de salt en direcció, senestra i dextra

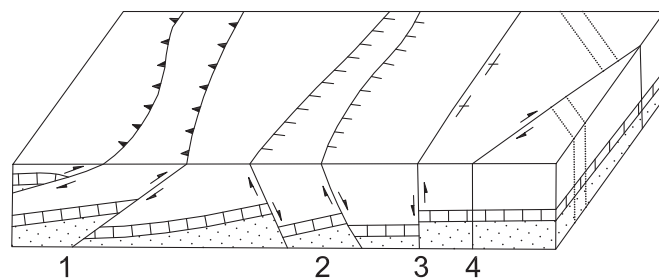


Fig. 27
Bloc-diagrama que representa els diferents tipus de falles en tall i en mapa, i la seva simbologia cartogràfica: 1. falles inverses, 2. falles normals, 3. falla vertical i 4. falla en direcció. Font: Mattauer (1976)

8.4. Sistemes de falles

Les falles formen sistemes o conjunts de falles orientades coherentment amb el tipus de procés geològic que les ha originat.

Els sistemes de falles normals solen constituir dues famílies de falles, de la mateixa direcció però amb el cabussament en sentit oposat (v. fig. 28). Quan un bloc està enfonsat entre dues falles normals, es tracta d'un **graben** o **fossa tectònica**. Quan



un bloc està elevat entre dues falles normals, llavors es tracta d'un **horst**. Les falles normals també solen donar conjunts de blocs que s'enfonsen esglaonadament en el sentit del cabussament de les falles. Aquestes estructures són típiques de zones de rift que han estat sotmeses a prolongats períodes extensionals.

Els sistemes de falles inverses solen estar constituïts per una única família de falles, desplaçades en un mateix sentit, que formen una sèrie de blocs imbricats que s'encavalquen successivament (v. fig. 29). Aquests **encavalcaments** o **mantells de corriment** són típics de zones orogèniques que han estat sotmeses a prolongats períodes de compressió, com és el cas del Pirineu, els Alps o altres serralades d'arreu del món.

Fig. 28
Sistemes de falles normals

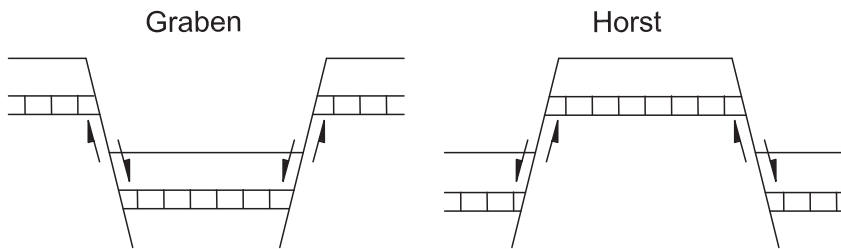


Fig. 29
Sistema de falles inverses
formant encavalcaments.
Font: Mattauer (1976)

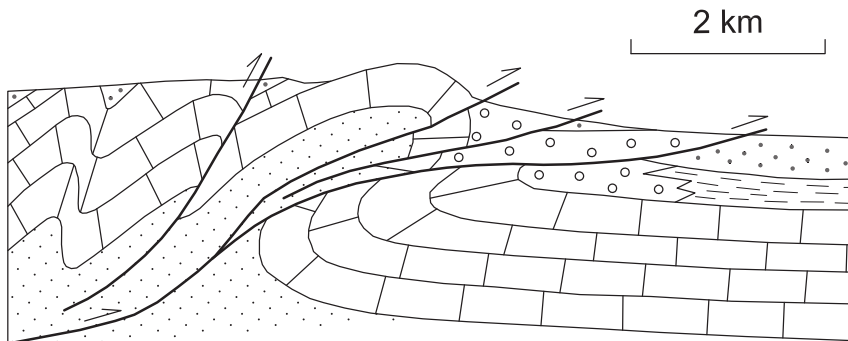
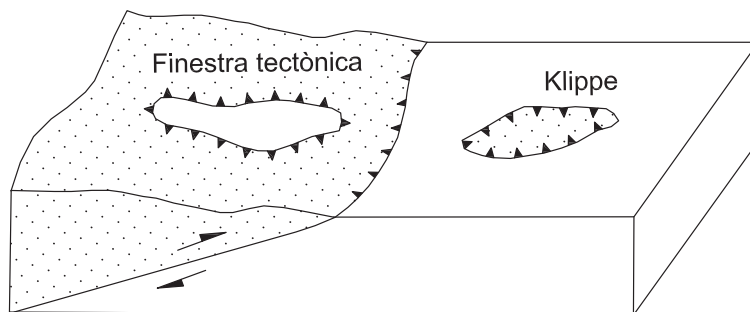


Fig. 30
Bloc-diagrama d'un
encavalcament amb
finestra tectònica i klippe



Quan aquests encavalcaments són erosionats, poden donar lloc a **klippes** i **finestres tectòniques** (v. fig. 30). Una **klippe** és un fragment de bloc superior que ha resistit l'erosió i ha quedat aïllat sobre els materials del bloc inferior. Una finestra tectònica és un forat erosiu que permet aflorar part dels materials del bloc inferior a través del bloc superior.

8.5. Bretxa de falla

Una **bretxa de falla** és un material rocós triturat, disposat al llarg de la falla, procedent de la fricció i l'esmicolament de les irregularitats de la superfície de la falla durant el seu moviment (v. fig. 31). Generalment, constitueix un material heteromètric (barreja de fragments de roca de mides molt diverses) poc consistent, que forma una capa de gruix variable de fins a algunes desenes de metres, en alguns casos. Quan aquest material és de gra fi, s'anomena **farina de falla**. Quan està associat a un metamorfisme, dona lloc a un material cohesiu, més compacte, anomenat **milonita**.

És important controlar aquests tipus de materials de falla en l'excavació d'obres subterrànies (túnels), perquè indiquen una caiguda de la qualitat de la roca que pot donar lloc a eventuais problemes constructius.

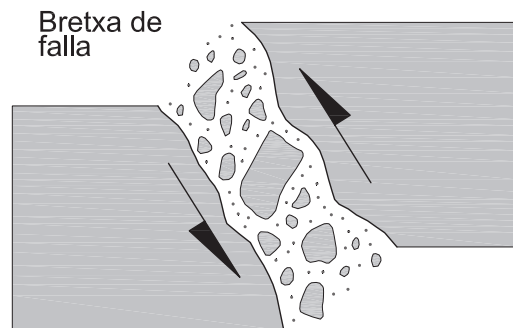


Fig. 31
Bretxa de falla



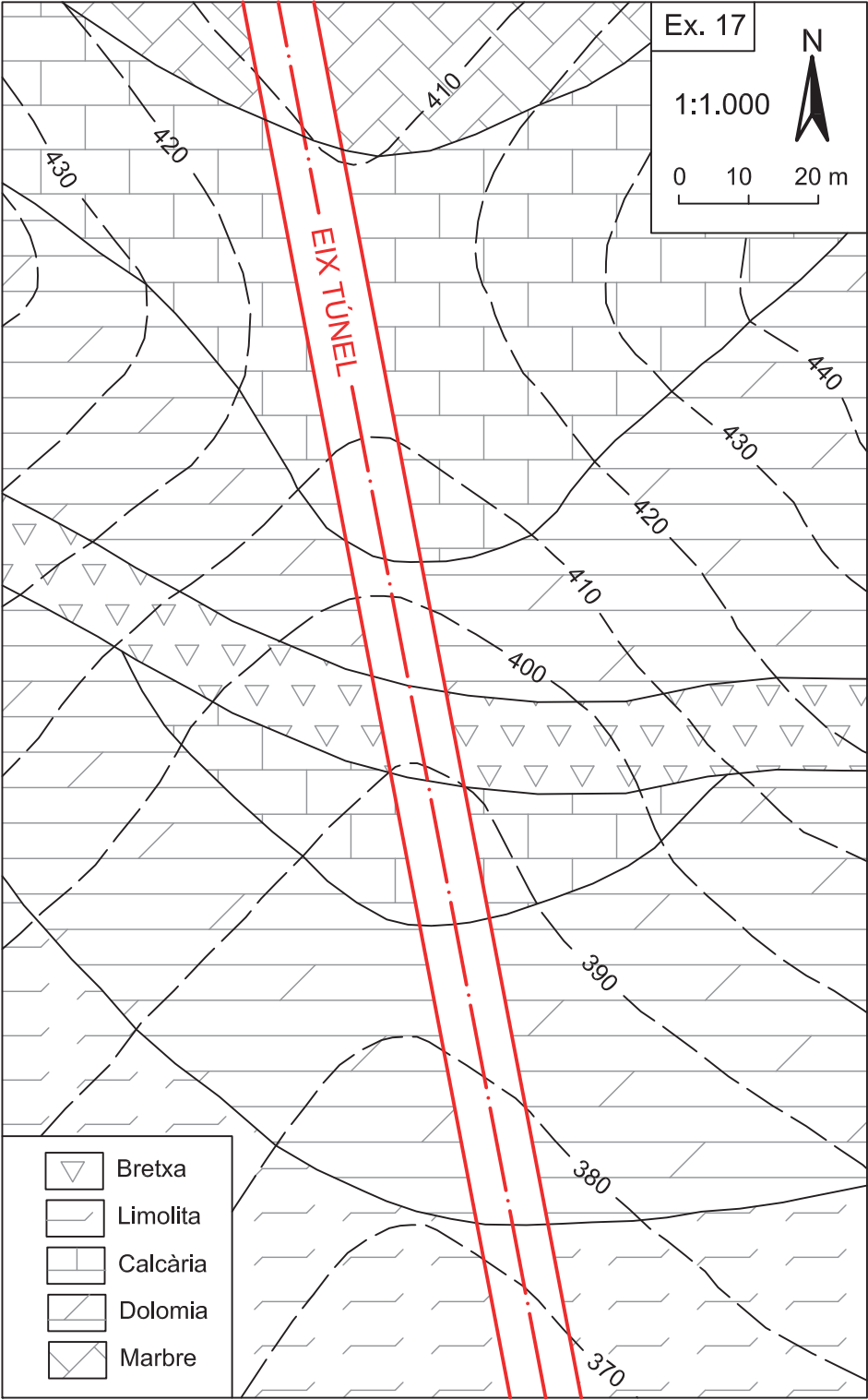
8.6. Exercicis

Exercici 17

Es vol construir un túnel a través d'un massís format per diversos tipus de roques carbonatades (marbre, calcària, dolomia i marga), afectats per una falla que presenta una bretxa de falla contínua de diversos metres de gruix. El túnel és de 10 m de diàmetre. S'inicia a l'extrem NNO del mapa, a la cota de 360 m, i finalitza al SSE, a la cota de 340 m.

Es demana:

1. Feu el tall segons l'eix del túnel.
2. Indiqueu de quin tipus de falla es tracta, el seu cabussament i la potència de la bretxa.
3. Digueu a quina distància hi haurà la bretxa de falla en el traçat del túnel.



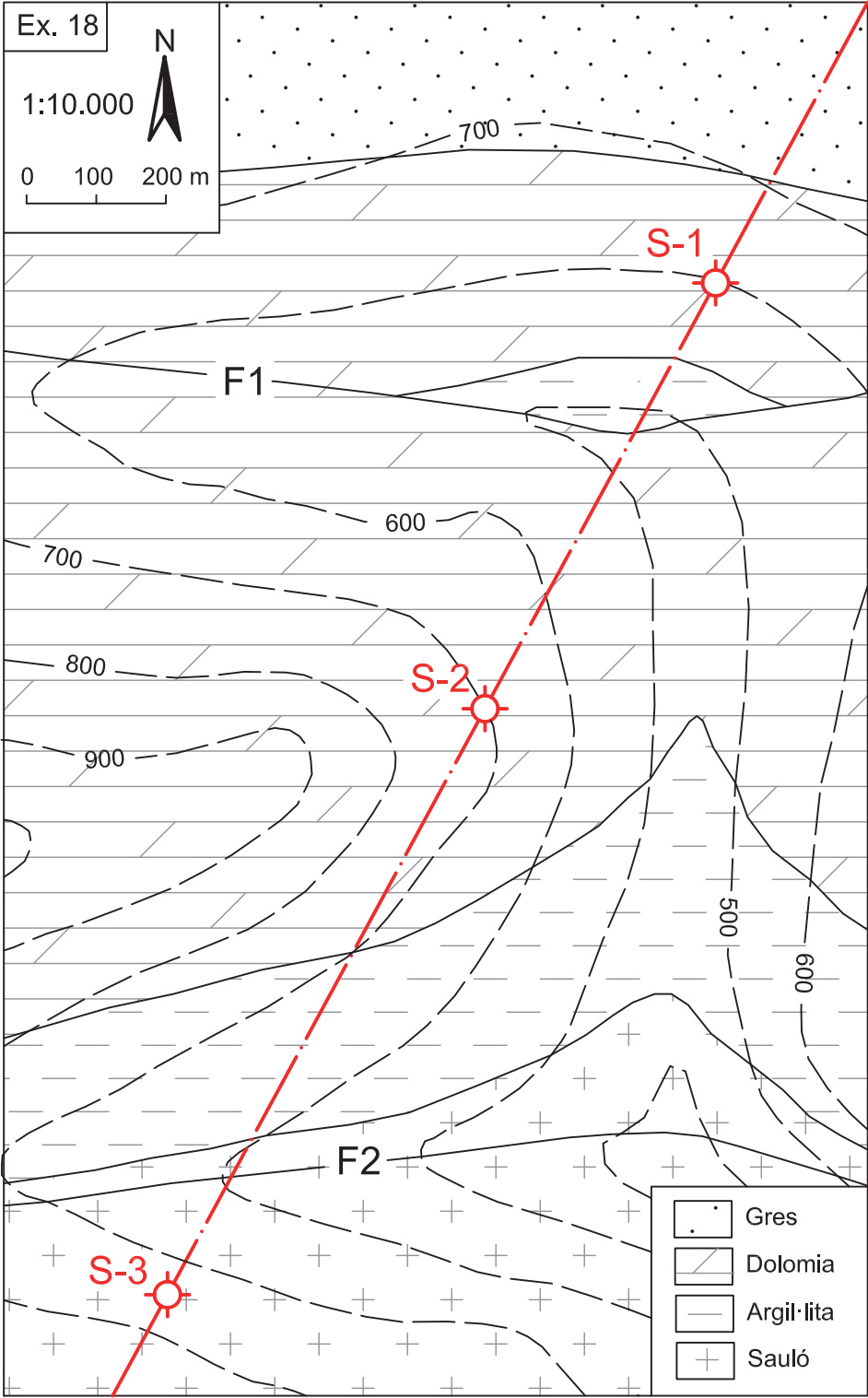


Exercici 18

Es volen fer tres pous (S-1, S-2 i S-3) per extreure aigua subterrània d'un aqüífer de sauló. L'aqüífer és lliure a la part del mapa on aflora el sauló i està confinat sota diverses formacions sedimentàries impermeables (argil·lita, dolomia i gres) a la resta del mapa. El conjunt està afectat per dues falles (F1 i F2). El nivell freàtic de l'aqüífer està situat a la cota de 350 m.

Es demana:

1. Feu el tall a través dels tres sondejors.
2. Diguen de quin tipus de falles es tracta, la seva direcció i el cabussament.
3. Indiqueu la longitud mínima a què cal perforar cada pou per assolir l'aigua subterrània.



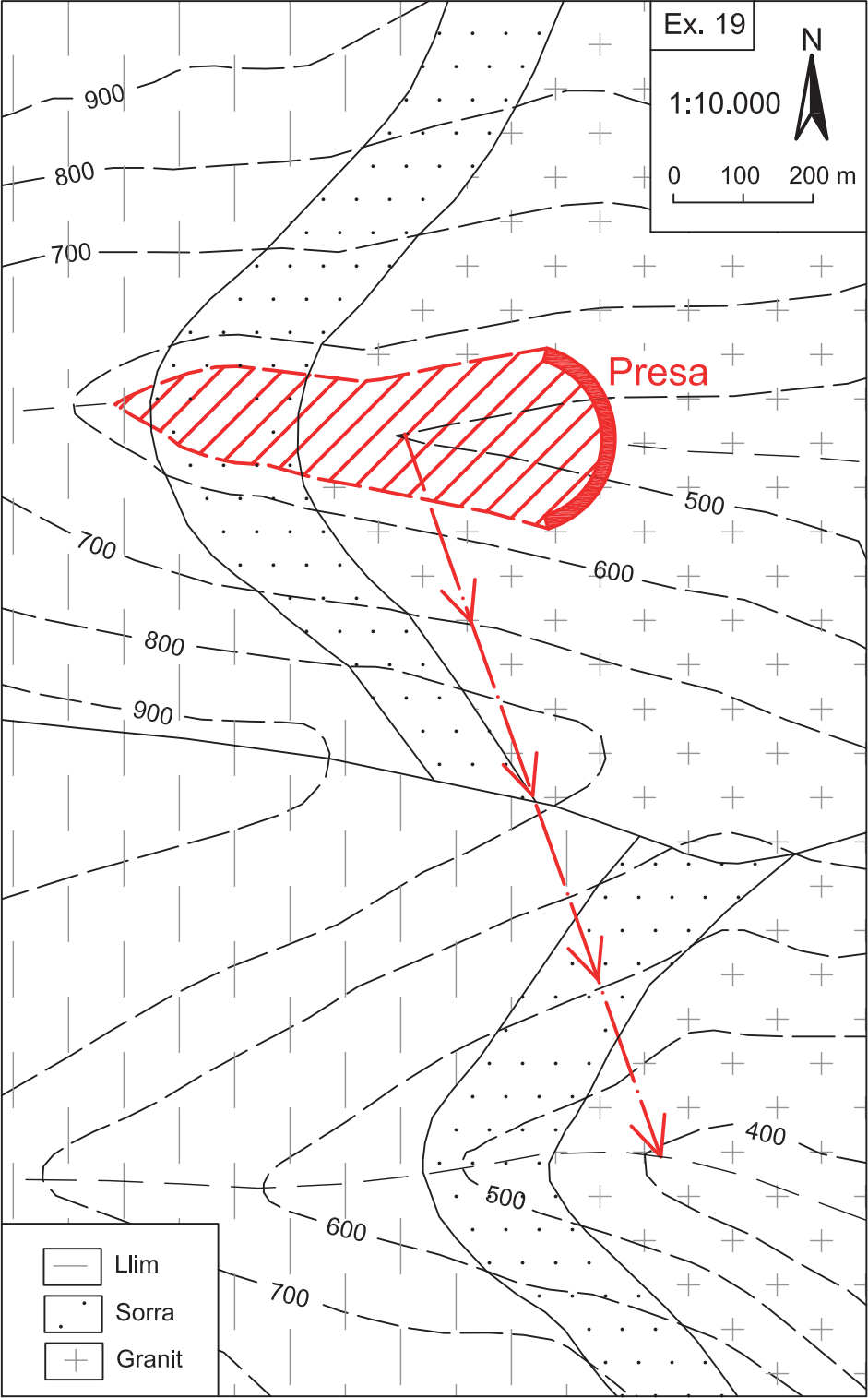


Exercici 19

Es vol fer un transvasament d'aigua des d'una presa situada en una vall de la zona nord del mapa a la vall de la zona sud, mitjançant l'excavació d'un aqüeducte subterrani que connecti les dues valls. El traçat travessa una falla que separa dos blocs compostos per un substrat granític i dues formacions sedimentàries de sorra i llim. Es vol que l'aqüeducte es pugui excavar totalment a través de la roca granítica, de més qualitat per als objectius de l'obra.

Es demana:

1. Feu el tall seguint el traçat de l'aqüeducte.
2. Diguen de quin tipus de falla es tracta, quina és la seva direcció i el cabussament aparent segons la direcció del tall.
3. Verifiqueu si el traçat de l'aqüeducte transcorre totalment pel substrat granític, com es vol, o bé talla alguna de les capes superiors.



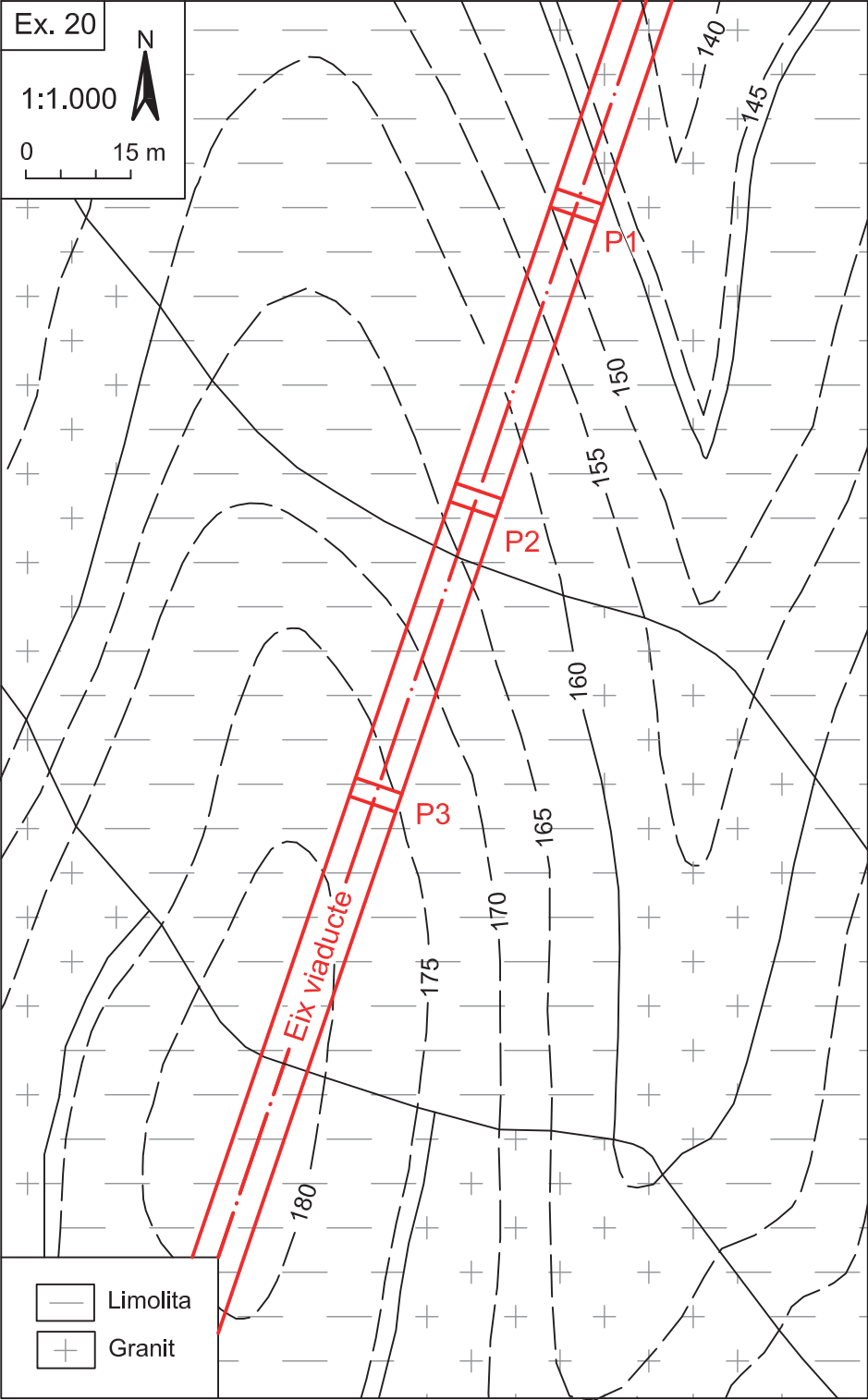


Exercici 20

Es vol construir un viaducte per travessar una vall on afloren roques granítiques i limolites, afectades per falles. El viaducte és horitzontal, a una altura de 193 m, i està aguantat per tres pilars (P1, P2 i P3) amb una separació de 42 m. Atès que la limolita és un material de poca consistència, es considera convenient fer els fonaments de les piles en el granit, penetrant-hi 5 m.

Es demana:

1. Feu el tall seguint l'eix del viaducte.
2. Determineu el tipus de falla, el seu cabussament segons el tall i el salt de falla per a cadascuna d'elles.
3. Digues fins a quina profunditat cal penetrar els fonaments de les piles seguint el criteri esmentat.





Exercici 21

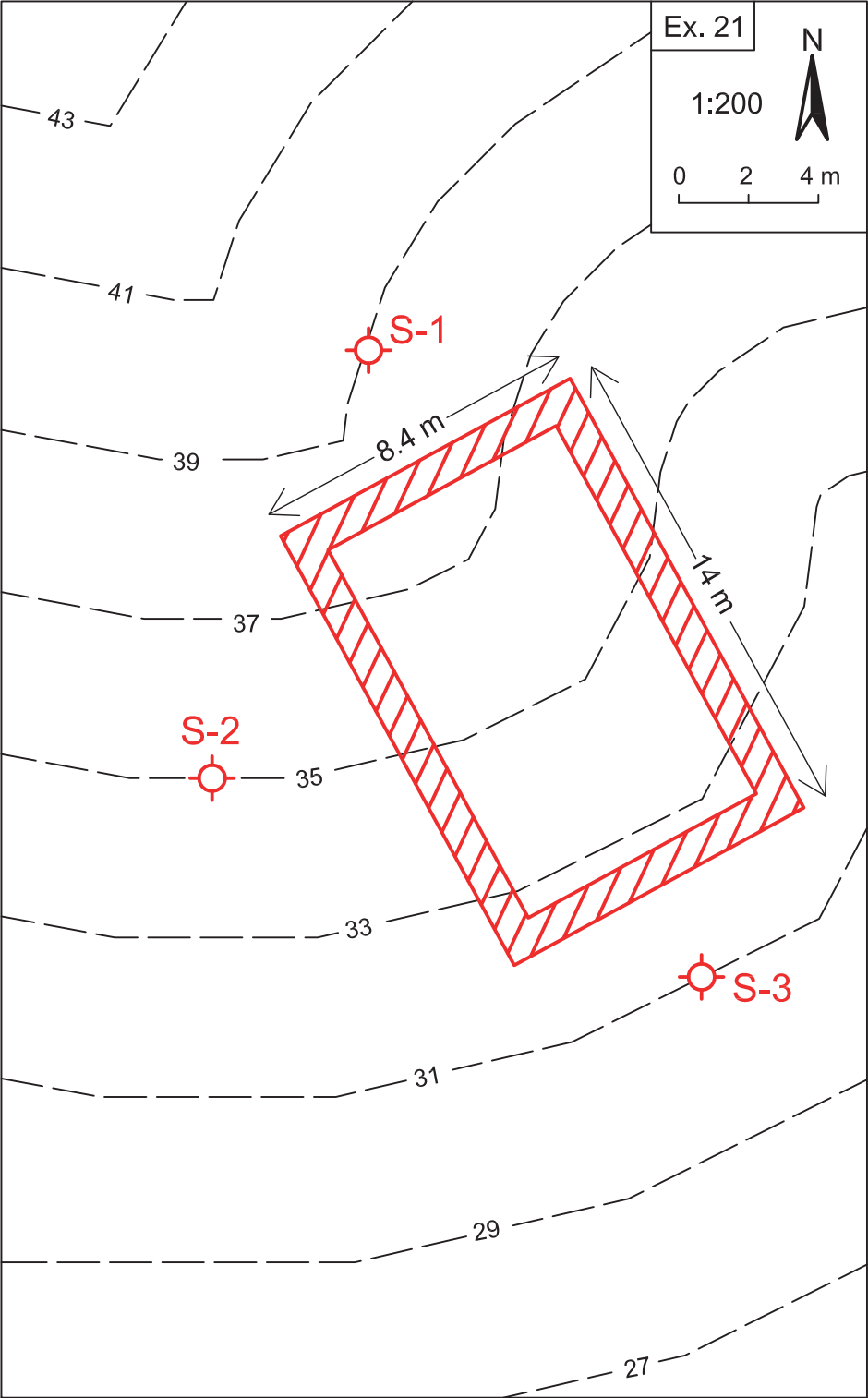
Es vol construir una bassa rectangular de 14 m de llargada per 8,4 m d'amplada, per emmagatzemar residus d'una granja de purins sobre una formació calcària molt fracturada, que constitueix una antiga esllavissada de potència desconeguda.

S'han fet tres sondejos de 10 m de longitud per conèixer la geologia del subsòl: S-1 a la cota de 39 m, S-2 a la cota de 35 m i S-3 a la cota de 31 m. En tots tres, s'ha observat que, per sota de la calcària, hi ha una capa de marga, que constitueix el material sobre el qual s'ha desplaçat l'esllavissada. El contacte entre la calcària i la marga s'ha tallat, respectivament, a les cotes de 37, 31 i 23 m.

Per evitar filtracions a través de la calcària, es vol construir la bassa amb pantalles de formigó de 50 cm de gruix, que quedin fonamentades en la marga un mínim de 2 m, i posteriorment buidar-ne l'interior.

Es demana:

1. Dibuixeu al mapa l'aflorament de la superfície basal de l'esllavissada.
2. Feu un tall longitudinal a la bassa, que passi pels sondejos S-1 i S-3.
3. Indiqueu en el tall quina és la cota de profunditat mínima que han d'assolir les pantalles per complir els requisits de construcció de la bassa.



→ 9

Mapes amb plecs

9.1. Concepte de plec

Un **plec** és una estructura de deformació que resulta de la torsió d'una roca o d'un sòl en què una superfície de referència que abans del plegament era plana esdevé corba. Els plecs típicament s'observen en els materials sedimentaris, on les superfícies de referència són els plans d'estratificació (v. fig. 32). També les roques metamòrfiques solen presentar plecs, però rarament les ígnies, en ser massa rígides per plegar-se.



Fig. 32
Plec anticlinal asimètric,
format per capes calcàries,
a la comarca del Maestrat
(província de Terol)

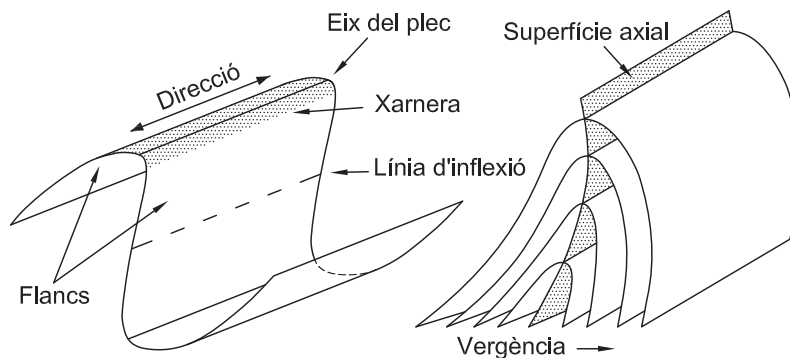
Els plecs solen donar formes allargades, des de pocs metres fins a desenes o centenars de quilòmetres de longitud, però també poden ser circulars (doms). Generalment, són d'origen tectònic, relacionats amb forces compressives, però també poden respondre a altres causes, com el diapirisme, els esllavissaments o els esfondraments.

9.2. Elements dels plecs

En tots els plecs, es poden diferenciar els elements següents (v. fig. 33):

1. **Xarnera.** És la zona de més curvatura del plec, on la roca ha estat sotmesa a més deformació. Els plecs poden tenir una xarnera o més d'una (plecs en cofre), però també no tenir-ne cap, en el cas dels plecs cilíndrics de curvatura constant.
2. **Flancs.** Són les dues parts del plec, de menor curvatura, que s'estenen des de la xarnera fins a la línia d'inflexió.
3. **Línia d'inflexió.** És la línia que marca el final d'un plec i l'inici del següent. Constitueix una zona plana, sense curvatura.
4. **Superfície axial.** És la superfície imaginària, plana o corba que passa pel centre de totes les zones de xarnera de les diferents capes que integren un plec.
5. **Eix del plec.** És la línia que resulta de la intersecció entre la superfície axial i qualsevol superfície de xarnera del plec. Generalment, constitueix una línia d'inclinació variable al llarg del plec.
6. **Direcció del plec.** Equival a la direcció de l'eix.
7. **Vergència.** És el sentit cap on està inclinat un plec asimètric. És també el sentit oposat al de la inclinació de la superfície axial del plec.

Fig. 33
Elements dels plecs



El **periclinal** és el tancament o acabament lateralment un plec. Cada plec en té dos, un a cada extrem. Als mapes, s'observa com les capes dels dos flancs es troben formant corbes concèntriques (v. fig. 34).

El **nucli** d'un plec són els materials que es troben al seu interior i que queden confinats entre els dos flancs (v. fig. 35).



Fig. 34
Vista aèria del periclinal d'un plec (anticlinal de Falces), a la Ribera de Navarra.
Font: Google Earth



Fig. 35
Vista aèria del nucli salí de l'anticlinal de Cardona, a la comarca del Bages.
Font: Google Earth

9.3. Tipus de plecs

Segons la seva morfologia, es poden diferenciar els següents tipus bàsics de plecs (v. fig. 36):

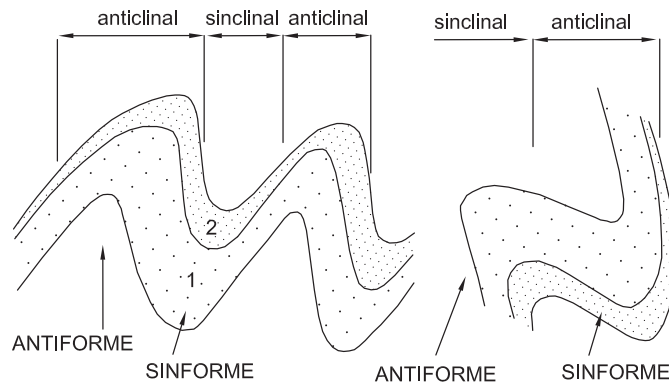
1. **Antiforme.** És un plec que està corbat cap amunt, formant una cresta. La xarnera ocupa la part més alta del plec i els flancs des de la xarnera cauen cap avall.
2. **Siniforme.** És un plec que està corbat cap a baix, formant una vall o canal. La xarnera ocupa la part inferior del plec i els flancs s'alcen cap amunt.

Segons la disposició de les capes que integren el plec, aquest pot ser (v. fig. 36):

1. **Anticlinal.** Quan al nucli del plec hi ha els materials més antics que el formen.
2. **Sinclinal.** Quan al nucli del plec hi ha els materials més moderns.

En estructures de plegament senzilles, els anticlinals i els sinclinals es corresponen amb antiformes i sinformes. En estructures complexes, amb plecs tombats o invertits, sol passar que un anticlinal correspon a un sinforme i un sinclinal, a un antiforme, amb els materials més antics i més moderns als seus nuclis respectius. Aquest aspecte és rellevant a l'hora d'interpretar correctament l'estructura.

Fig. 36
Nomenclatura dels plecs segons la forma (antiforme, sinforme) i la disposició de les capes (anticlinal, sinclinal). La capa 1 és més antiga que la capa 2



Segons la inclinació de la superfície axial, podem distingir diversos tipus de plecs (v. fig. 37 i 38):

1. **Plecs rectes.** En aquest cas, la superfície axial és vertical i separa dues meitats simètriques del plec. El plec no té vergència.

2. **Plecs en ventall.** Són plecs que tenen més d'una xarnera (normalment, fins a dues). Cada xarnera va associada a una superfície axial diferent, que sol ser de vergències oposades.
3. **Plecs inclinats.** La superfície axial està inclinada en un determinat sentit del plec. Els flancs presenten diferents angles d'inclinació, però en sentit oposat.
4. **Plecs bolcats i tombats.** Es donen quan la inclinació del plec és accentuada i això fa que els dos flancs es trobin inclinats en un mateix sentit. En els plecs tombats, el plec pot arribar a invertir-se.

Segons l'angle que formen els seus flancs, hi poden haver **plecs suaus**, de més de 120°; **plecs oberts**, d'entre 120 i 70°; **plecs tancats**, d'entre 70 i 30°, i **plecs isòpacs**, d'entre 30 i 10°.

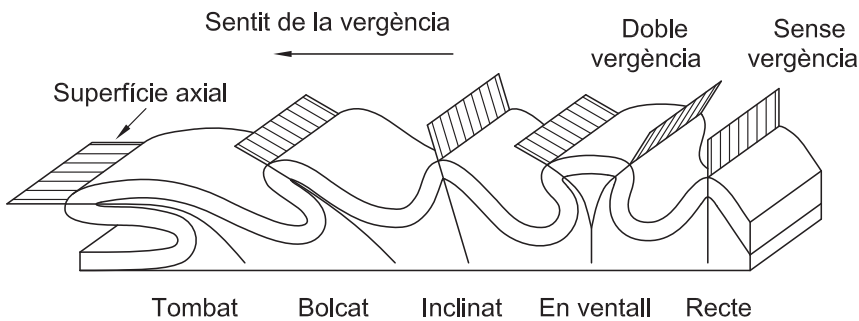


Fig. 37
Tipus de plecs segons la disposició de la seva superfície axial.
Font: Mattauer (1976)

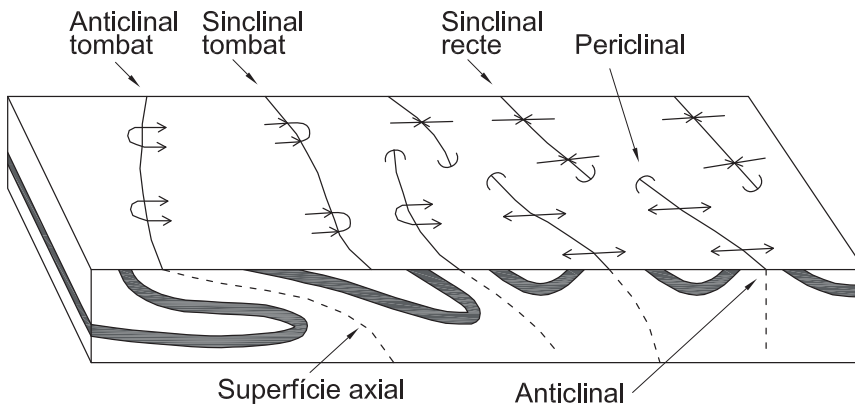


Fig. 38
Simbologia cartogràfica dels plecs.
Font: elaboració pròpia a partir de Mattauer (1976)



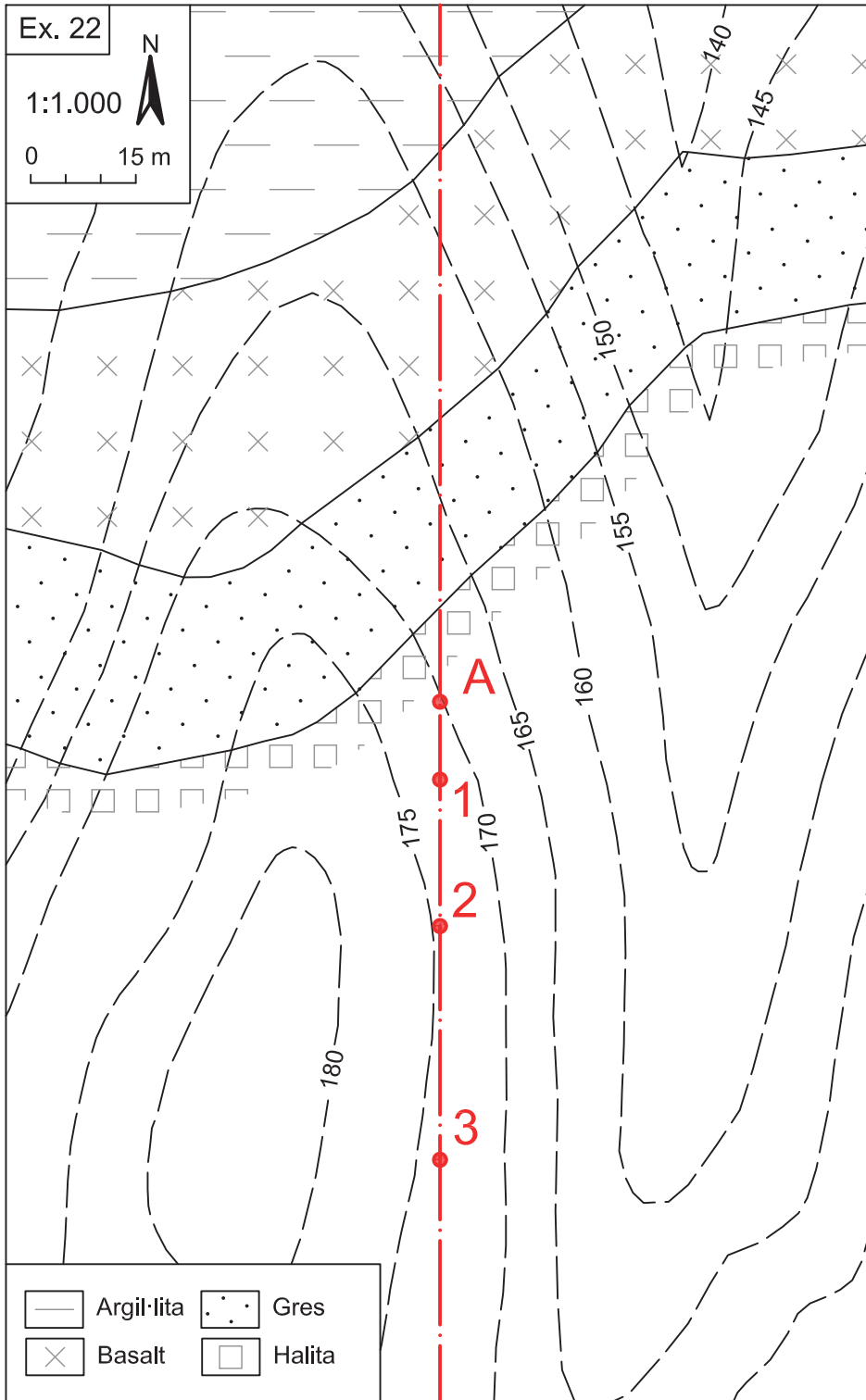
9.4. Exercicis

Exercici 22

Al mapa, s'ha representat una part d'un plec format per quatre capes: halita, gres, basalt i argil·lita. El punt A indica la posició de la superfície axial del plec.

Es demana:

1. Feu un tall N-S del mapa que passi pel punt A, considerant que el plec és simètric i que la superfície axial és una superfície plana i vertical.
2. A partir de les dades del tall, completeu la cartografia geològica del mapa.
3. Poseu la simbologia de les capes i del plec.



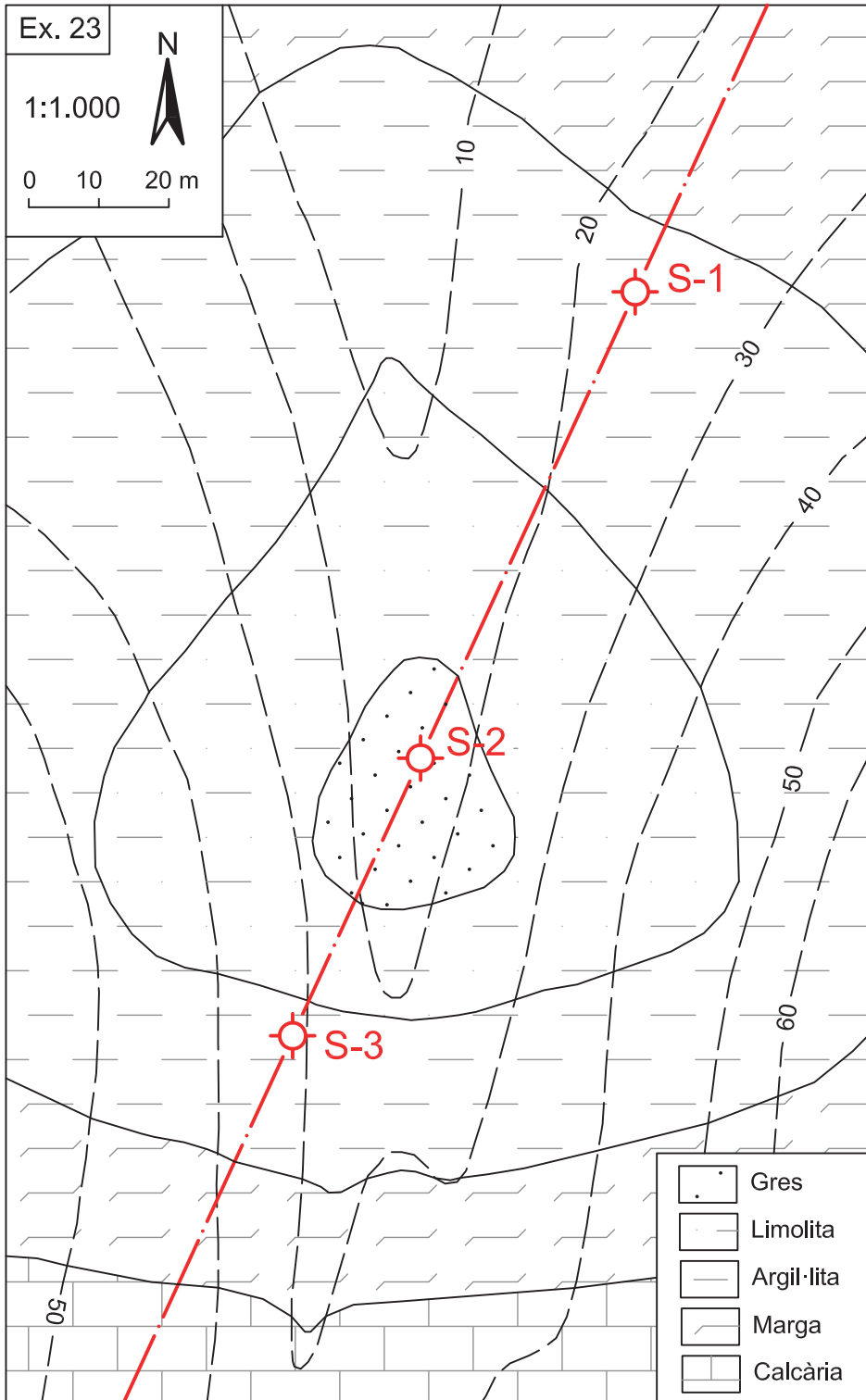


Exercici 23

Al mapa, s'hi representa un plec format per cinc capes de materials sedimentaris (gres, limolita, argil·lita, marga i calcària). El plec ha estat travessat per tres sondejos: S-1 i S-3, als flancs del plec, i S-1, al seu nucli, de 50, 62 i 45 m de longitud, respectivament.

Es demana:

1. Feu el tall del plec segons la línia que uneix els tres sondejos.
2. Doneu els valors de cabussament del plec als seus dos flancs.
3. Digues a quina profunditat tallaran els sondejos les diferents capes que formen el plec.



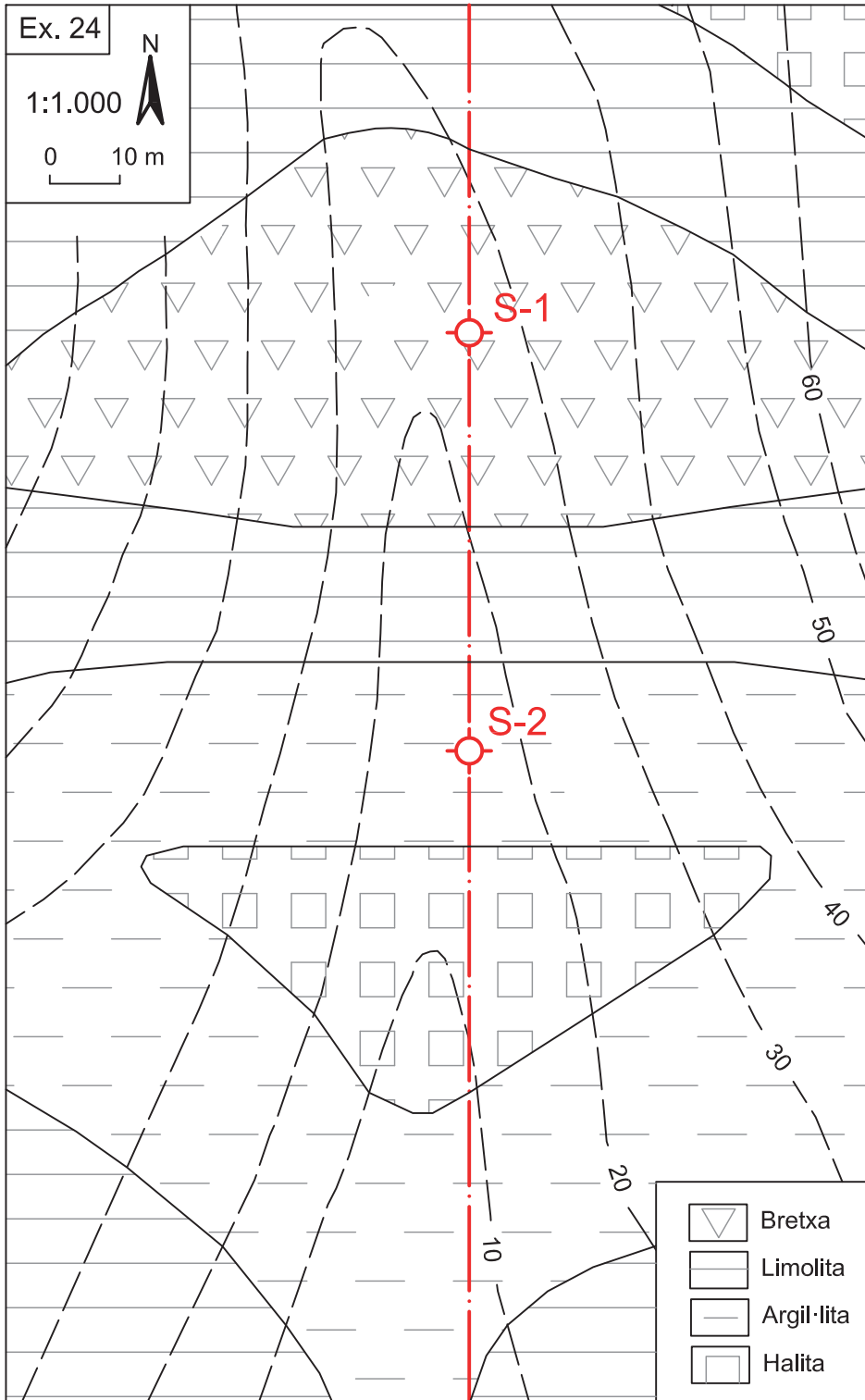


Exercici 24

Es vol conèixer l'estructura d'una formació salina que aflora al nucli d'un plec, potencialment interessant per excavar-hi una mina per tal d'emmagatzemar residus industrials altament contaminants. A més de la cartografia geològica, es disposa de la informació de dos sondejors: el S-1, que ha travessat el sostre de la capa de sal a 83 m de profunditat, i el S-2, a 57 m de profunditat.

Es demana:

1. Feu el tall de l'estructura de plegament alineat amb els sondejors.
2. Indiqueu la potència i el cabussament de les capes que formen els flancs del plec.



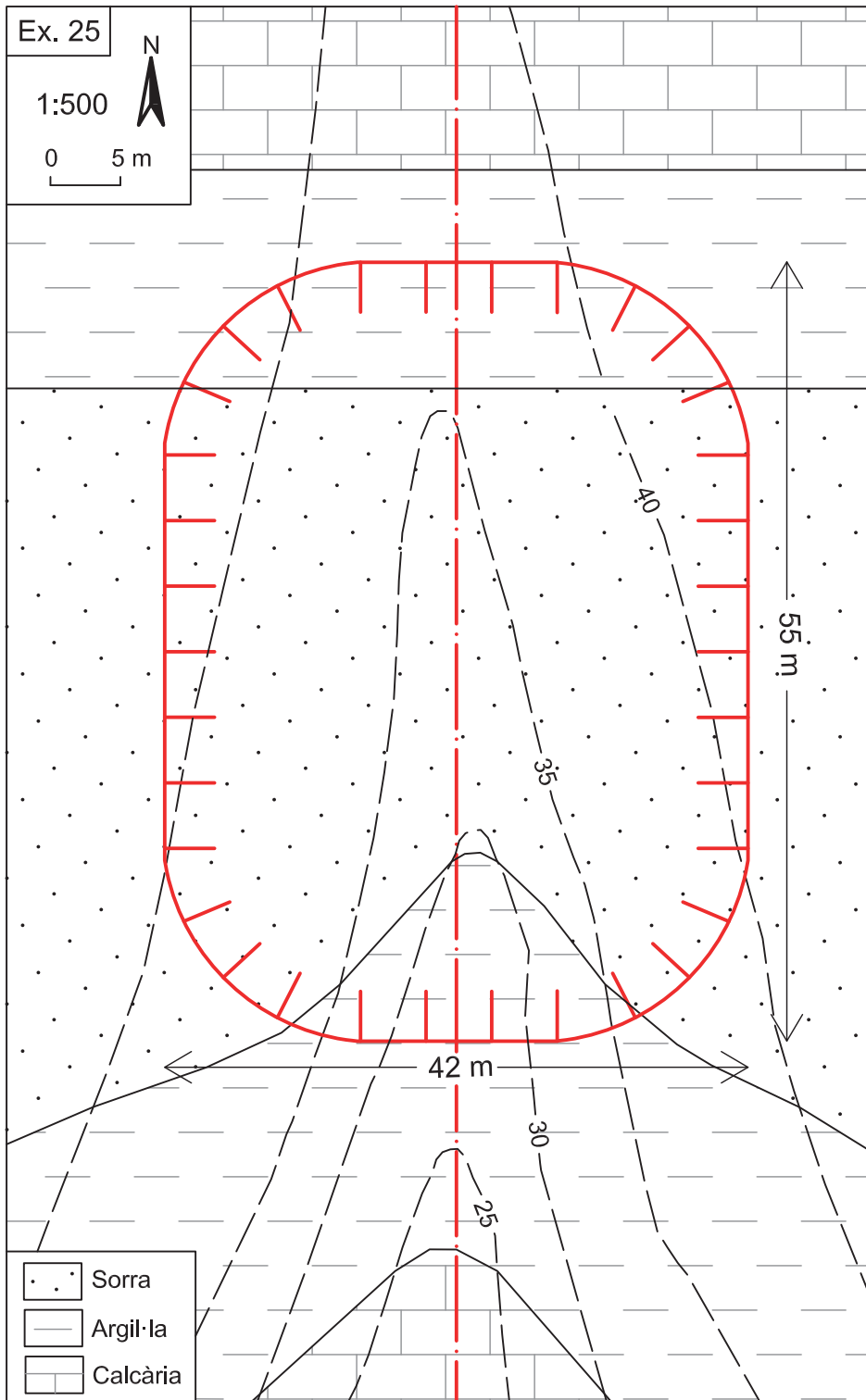


Exercici 25

Es vol excavar una bassa de 55 m de llargada per 42 m d'amplada, per tal d'emmagatzemar-hi l'aigua que baixa per un barranc, en un terreny on afloren capes de calcària, argila i sorra. Es vol que la bassa tingui un fons pla, excavat a la capa d'argila, que constitueix un material impermeable idoni per evitar possibles pèrdues d'aigua per filtracions.

Es demana:

1. Feu el tall transversal a la bassa tal com s'indica al mapa.
2. Indiqueu quin tipus d'estructura formen les capes i el seu angle de cabussament.
3. Digueu quina serà la profunditat (cota) idònia per al fons de la bassa perquè compleixi els requisits de l'obra, i quin serà el volum màxim d'aigua que s'hi podrà emmagatzemar.





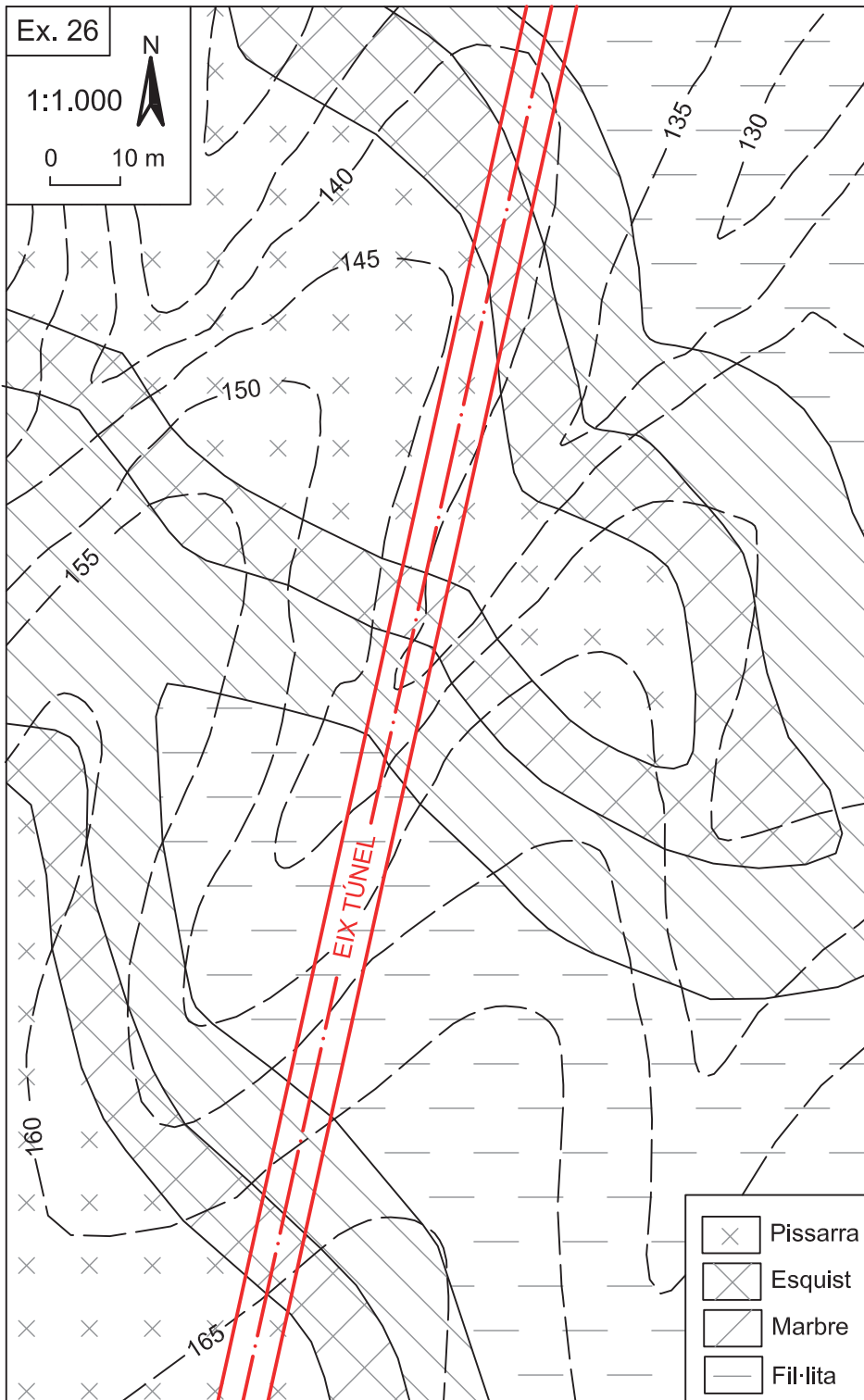
Exercici 26

Es vol construir un túnel ferroviari lineal, de 7 m de diàmetre, amb solera a la cota constant de 125 m. L'excavació es realitzarà de nord a sud. El túnel ha de travessar una estructura de plegament composta per roques metamòrfiques de fil·lita, marbre, esquist i pissarra.

La disposició de la direcció i el cabussament de les capes respecte a la direcció del túnel és un factor que determinarà la qualitat de l'excavació. En general, per a una direcció de capa transversal a l'eix del túnel, quan el sentit del cabussament va cap a l'interior del túnel, les condicions d'excavació són desfavorables, atès que aquesta situació estructural facilita la caiguda dels blocs cap a l'interior a través dels plans d'estratificació. En sentit oposat, les condicions d'excavació seran més, favorables, perquè no hi podran caure blocs, en estar dirigits cap a l'interior del massís.

Es demana:

1. Feu el tall de l'estructura de plegament seguint l'eix del túnel, situant el traçat del túnel.
2. Dibuixeu la simbologia dels plecs i les capes al mapa.
3. Determineu els trams del túnel en què l'excavació serà favorable o desfavorable, segons la disposició de les capes.



→ 10

Mapes multiestructurals

10.1. Concepte de mapa multiestructural

Un **mapa multiestructural** és un mapa en què els materials geològics representats presenten diverses estructures sobreposades: basculaments, discordances, falles i/o plecs, principalment. El resultat és una cartografia geològica complexa en què, per facilitar-ne la comprensió, cal afegir la simbologia d'estructures que s'han explicat als capítols anteriors (v. fig. 17, 27 i 38). Els talls geològics es realitzen amb el mateix criteri que als mapes d'una sola estructura que s'han presentat als capítols anteriors, però òbviament amb un grau més alt de complexitat.

El conjunt de materials i estructures d'aquests mapes representa una successió d'esdeveniments o episodis geològics que s'han anat sobreposant els uns sobre els altres i que responen a una **història geològica** més o menys complexa, segons els casos. Els episodis d'aquesta història geològica tenen un valor cronològic relatiu, és a dir, indiquen l'ordre en què s'han anat succeint, però no l'edat. Per poder-los datar i assignar-los a les unitats de l'escala dels temps geològics (v. apartat 3.6), cal disposar de dades paleontològiques adequades i/o de datacions absolutes, cosa no sempre possible. En qualsevol cas, la història geològica sempre es pot establir a partir de les relacions geomètriques entre els diferents materials i estructures. Constitueix una manera molt valuosa d'entendre la geologia representada al mapa i facilita les aplicacions que se'n puguin fer.

10.2. Datació relativa dels materials i les estructures geològiques

La datació relativa es basa en tres principis bàsics de relació geomètrica entre els materials i les estructures, que són els següents:



1. **Principi de la superposició d'estrats.** Només és aplicable als materials sedimentaris (i volcànics). Indica que les capes o els estrats són originalment horitzontals i s'acumulen uns sobre els altres, de manera que un estrat determinat és més jove que els que té per sota i, alhora, més antic que els que pugui tenir per sobre. Si aquesta relació d'horitzontalitat i d'antiguitat no es compleix és perquè les capes han estat deformades després de la seva formació.
2. **Principi d'inclusió.** Indica que, si una roca determinada està englobada per una altra roca, la primera és d'edat més antiga que la segona. Aquest fenomen es pot donar en tot tipus de roques. És el cas, per exemple, dels enclavaments a les roques ígnies o de la presència de blocs de roca a dintre dels estrats.
3. **Principi de les relacions d'intersecció.** Indica que, si una roca o superfície talla una altra roca o superfície, la primera és d'edat més jove que la segona. És el cas, per exemple, dels filons que travessen una roca preexistent, d'una falla o superfície erosiva que talla un conjunt de roques.

Com a exemple, la figura 39 mostra un tall geològic ideal en què s'han representat diferents materials i estructures geològiques. Segons els tres principis de datació relativa que hem enunciat, aquest tall constitueix una història geològica formada per nou episodis. De més antic a més modern, són els següents (v. fig. 40):

1. Inicialment, es van originar les capes de roques sedimentàries 1 a 5, en forma de capes horitzontals. Segons el primer principi, la capa 1 és la d'edat més antiga i la 5. la més moderna. Les altres són d'edats intermèdies.
2. En una etapa posterior, aquestes capes van bascular i van formar una estructura monoclinal.
3. Tot seguit, es va produir la intrusió (intersecció) d'un magma a través de les capes sedimentàries basculades, que va generar el granit. El granit talla les capes i, per tant, és posterior. El granit engloba un fragment de roca calcària (2'), caigut dins el magma durant la seva intrusió. Constitueix un enclavament englobat en el granit i, per tant, compost de roca més antiga.
4. Després, es produeixen les falles A i B. Són falles normals que intersequen tots els materials anteriors (capes sedimentàries i granit); per tant, són posteriors.
5. Posteriorment, es produeix la intrusió dels dics de pòfir, que tallen els materials anteriors i també les falles.
6. Després, s'esdevé un procés d'erosió que talla part de les roques sedimentàries i ígnies formades prèviament, i també les falles.

7. Sobre la superfície erosiva plana de l'episodi anterior, es diposita un segon conjunt de capes sedimentàries horitzontals, que forma una discordança (C) sobre els materials anteriors. Igual que abans, la capa 8 inferior és la d'edat més antiga; la 10 superior és la més jove, i la 9, d'una edat intermèdia.
8. Tot seguit, es produeix un episodi erosiu (F) que excava una vall que interseca totes les capes de l'episodi anterior i també part dels materials per sota de la discordança.
9. En el darrer episodi, es produeixen les esllavissades (D) en un vessant de la vall i el rebliment sedimentari de la part més profunda de la vall (capa 11). Aquest darrer material sedimentari es disposa discordant (E) sobre el granit i les capes 4 i 5. Amb la informació del tall, no es pot dir si les esllavissades són anteriors o posteriors al rebliment sedimentari, o bé si han tingut lloc de manera conjunta.

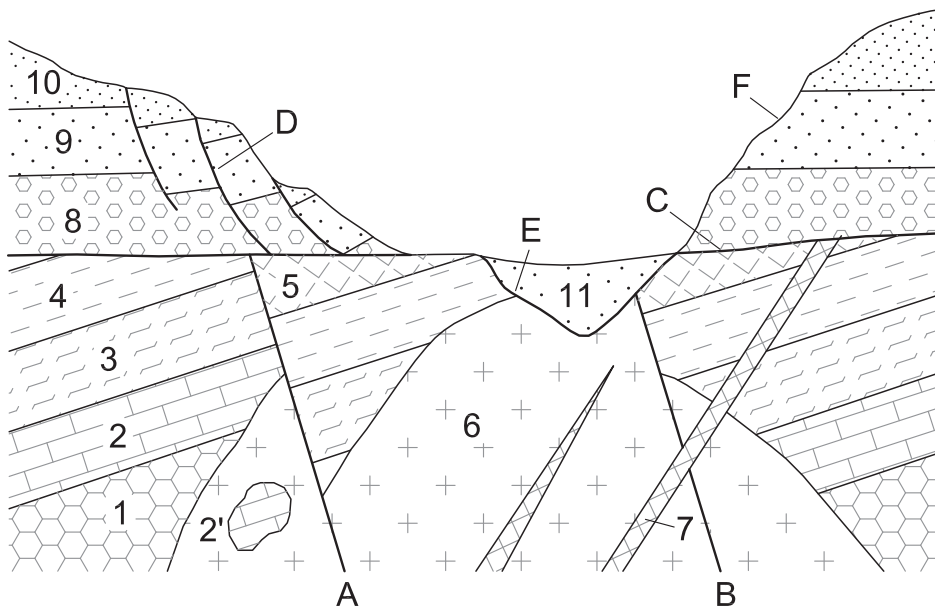


Fig. 39
Tall geològic sintètic
amb representació de
diferents materials i
estructures geològiques

MATERIALS:

1 Bretxa	6 Granit
2 Calcària	7 Pòfir
2' Enclavament	8 Conglomerat
3 Marga	9 Gres
4 Argil·lita	10 Limolita
5 Guix	11 Sorra

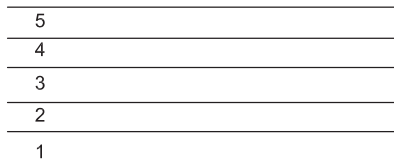
ESTRUCTURES:

A Falla_1
B Falla_2
C Discordança_1
D Falles_3
E Discordança_2
F Erosió actual

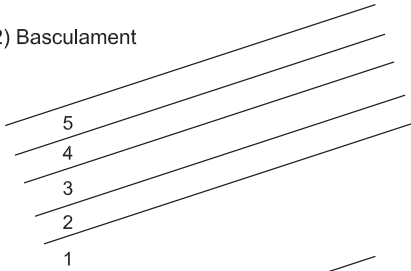


Fig. 40
Història geològica del
tall de la figura anterior

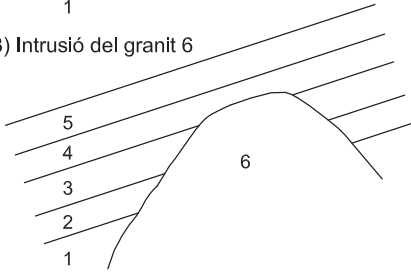
1) Deposició de les capes 1, 2, 3, 4 i 5



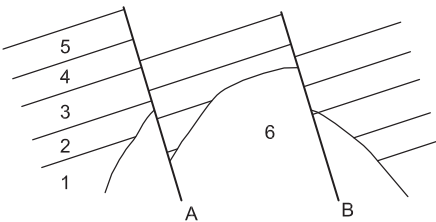
2) Basculament



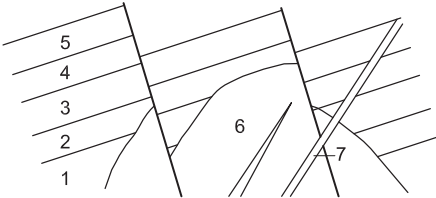
3) Intrusió del granit 6



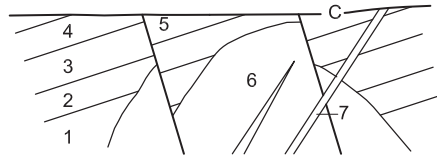
4) Falles A i B



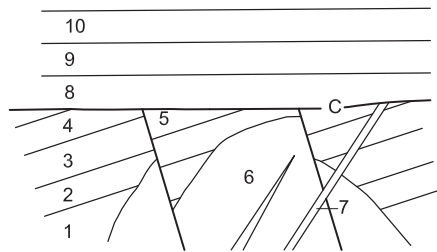
5) Intrusió del pòrfir 7



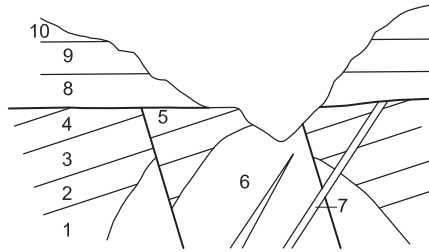
6) Erosió



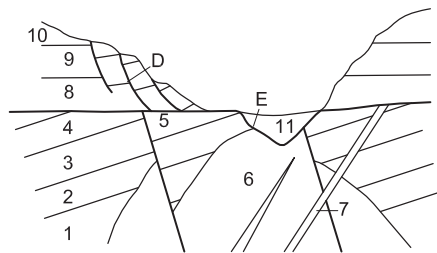
7) Deposició de les capes 8, 9 i 10
i la discordança C



8) Erosió



9) Esliviçades D, deposició de la capa 11
i la discordança E



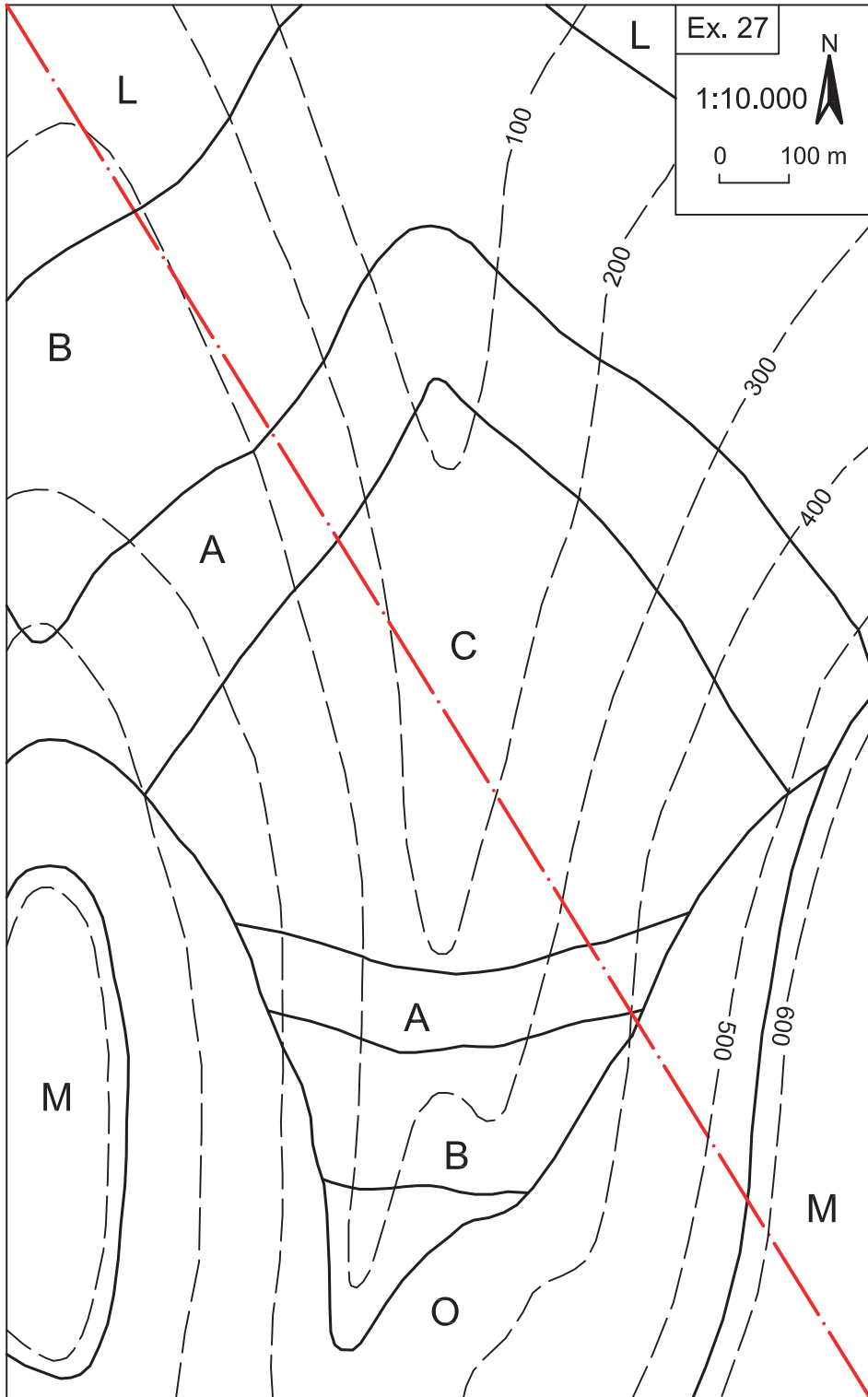
10.3. Exercicis

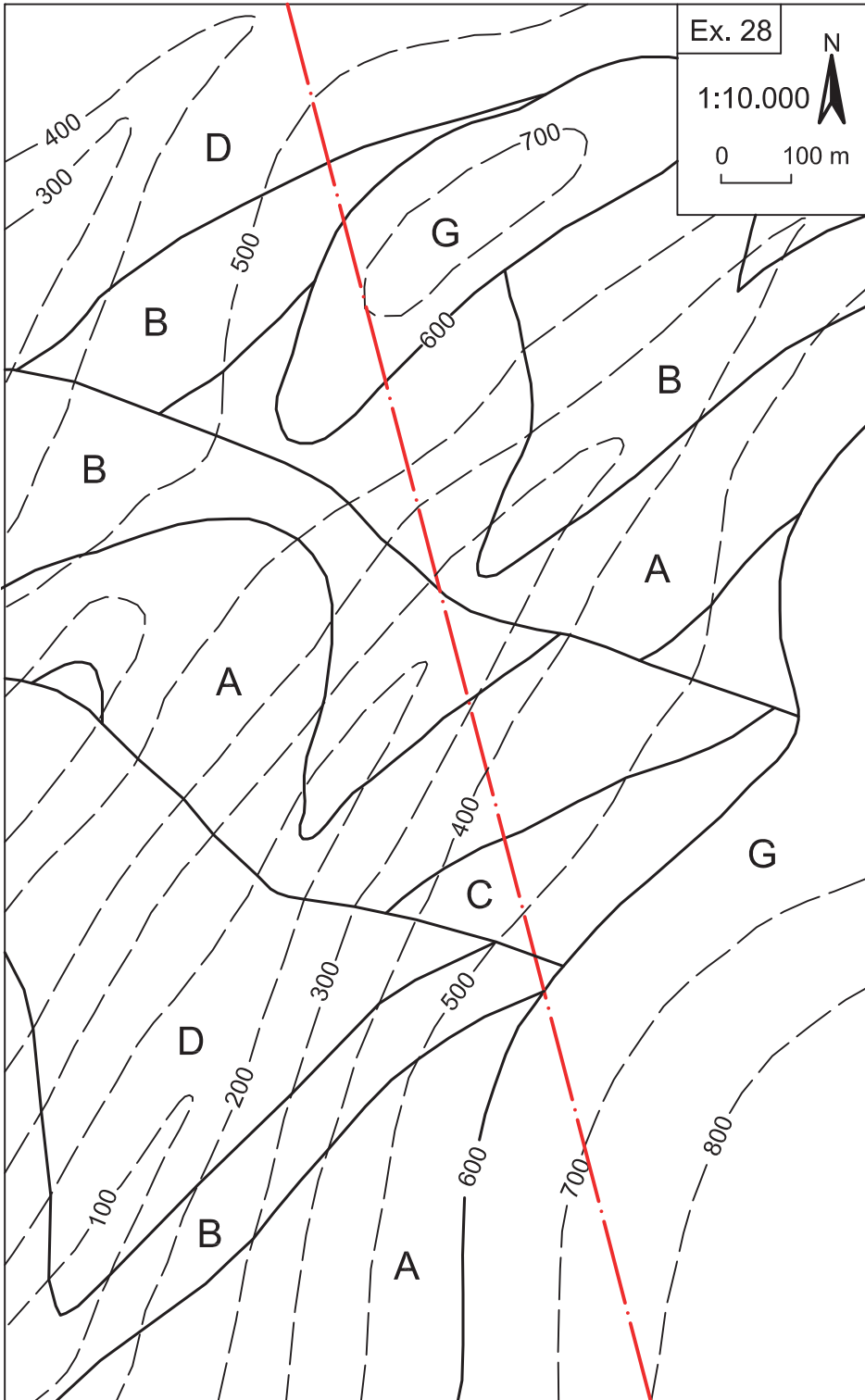
Exercicis 27, 28, 29, 30, 31, 32 i 33

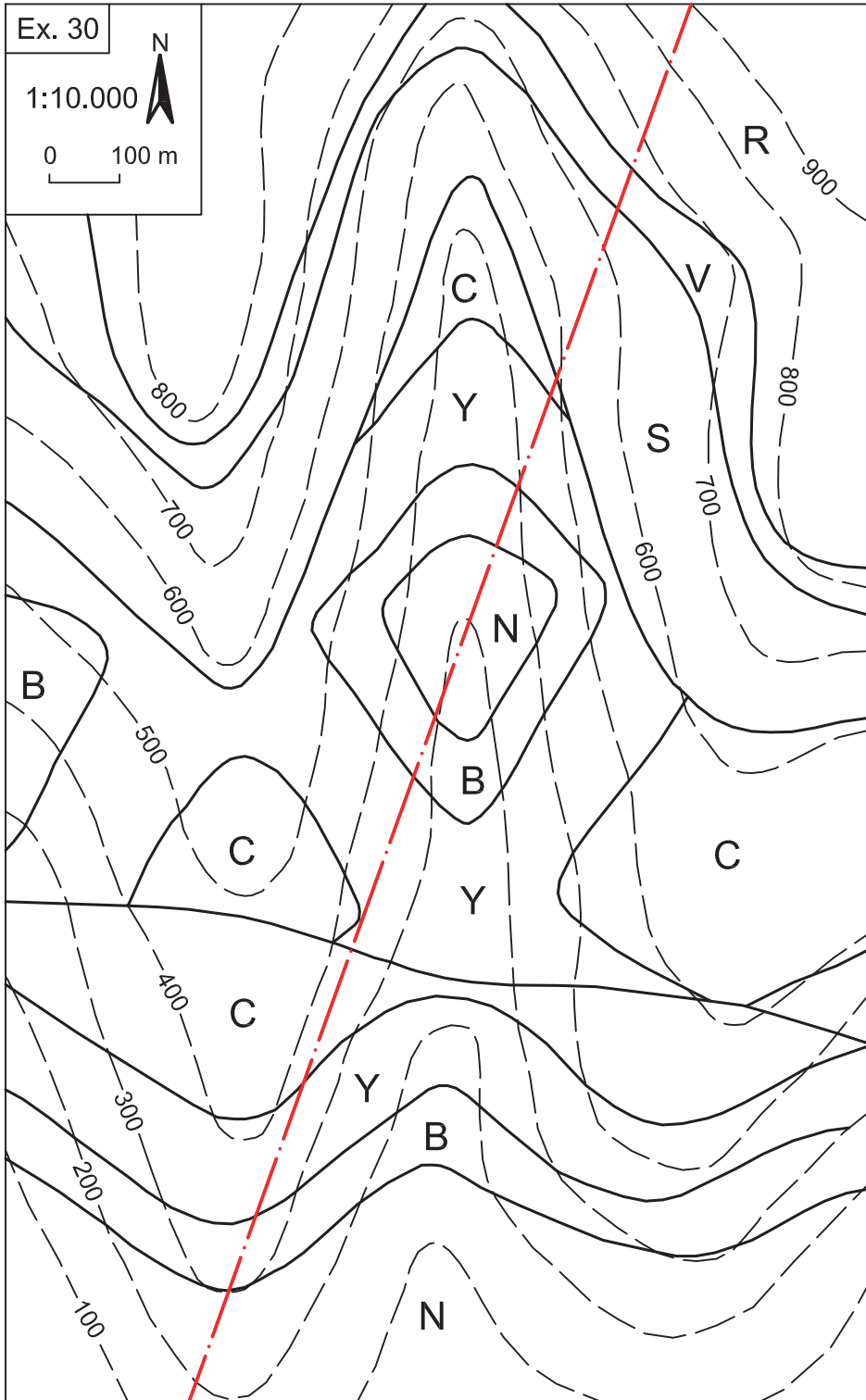
Als mapes següents, s'hi representen materials geològics afectats per diferents estructures.

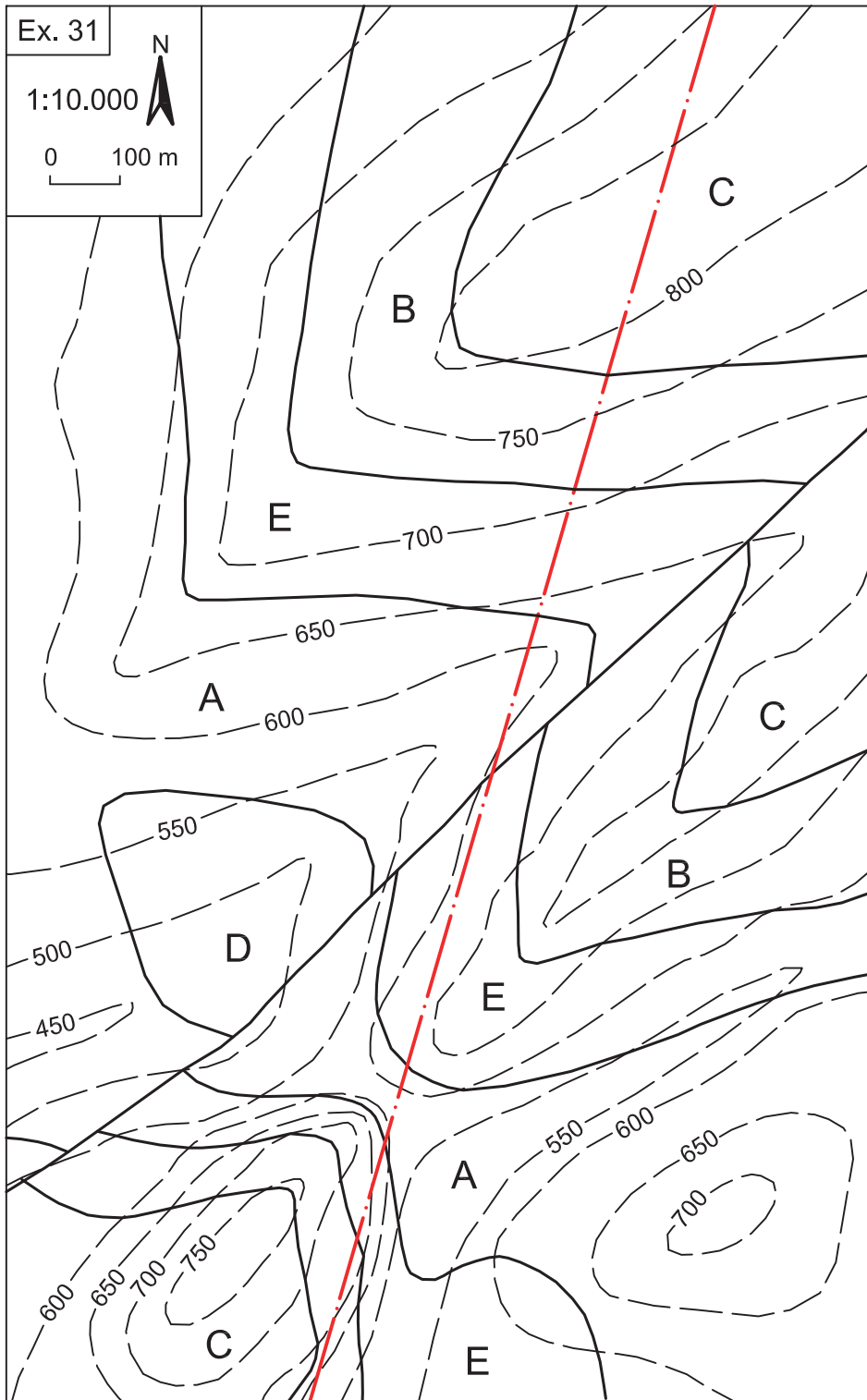
Es demana:

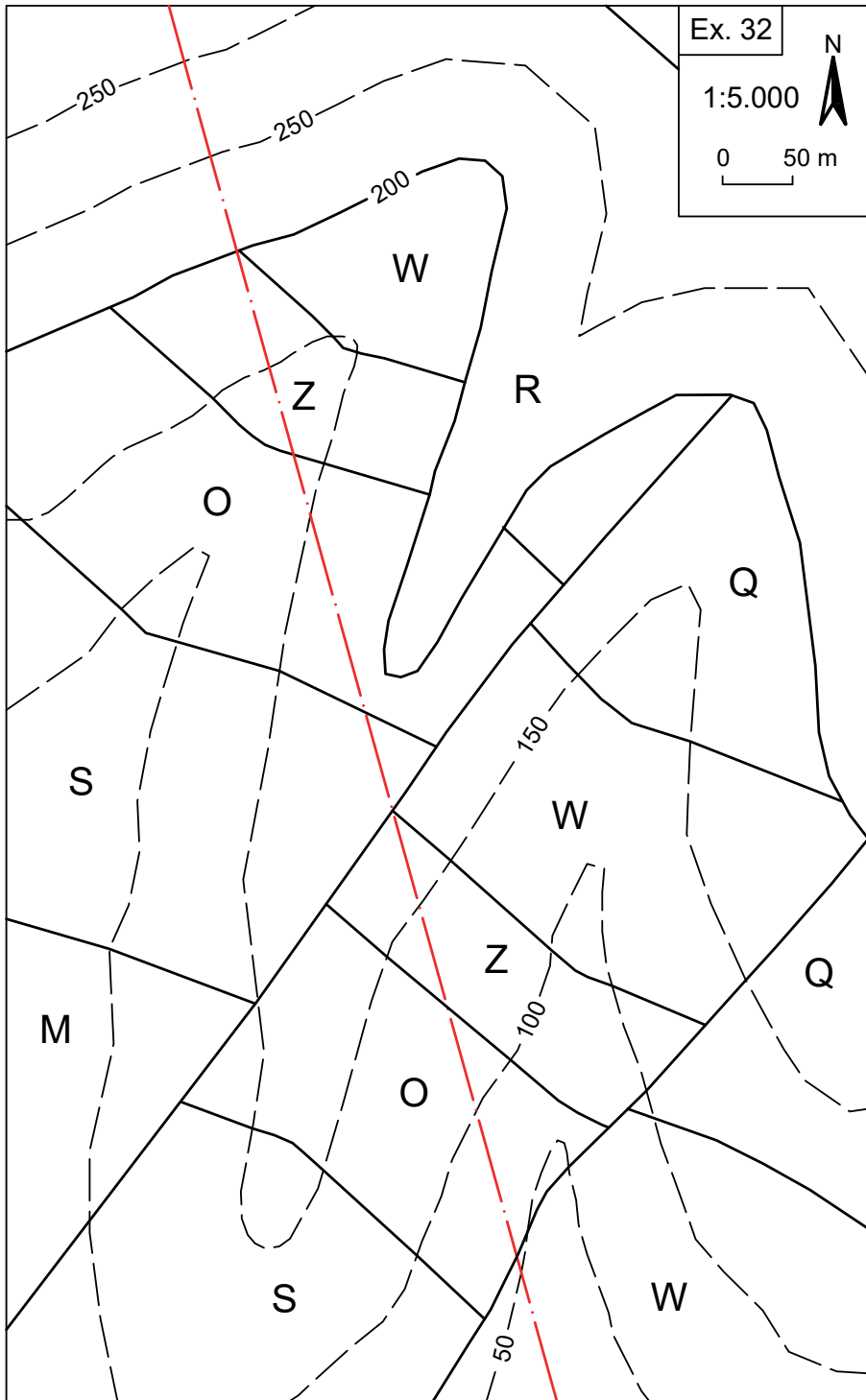
1. Feu-hi el tall indicat.
2. Doneu la seqüència d'episodis que en van ser la història geològica.

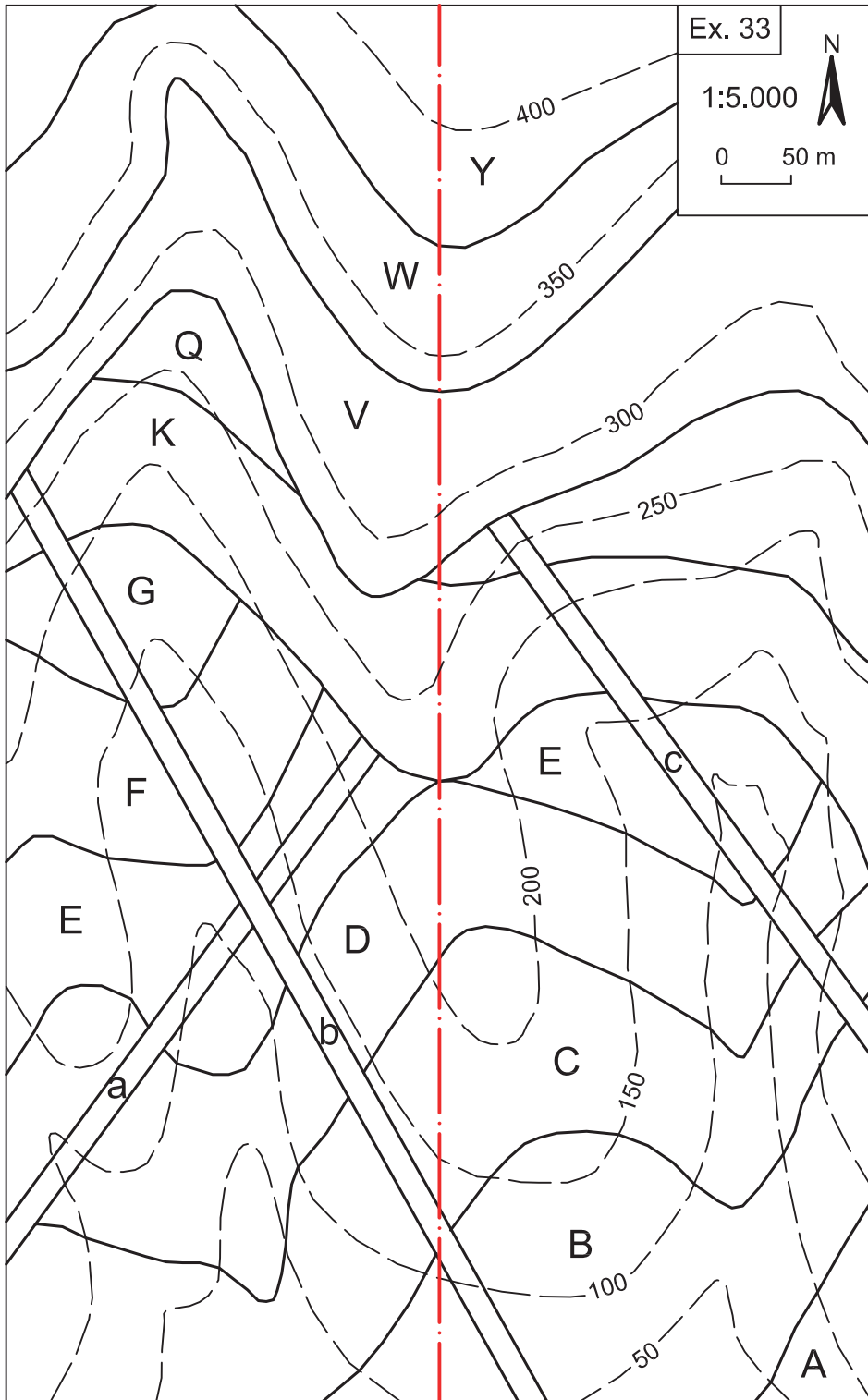


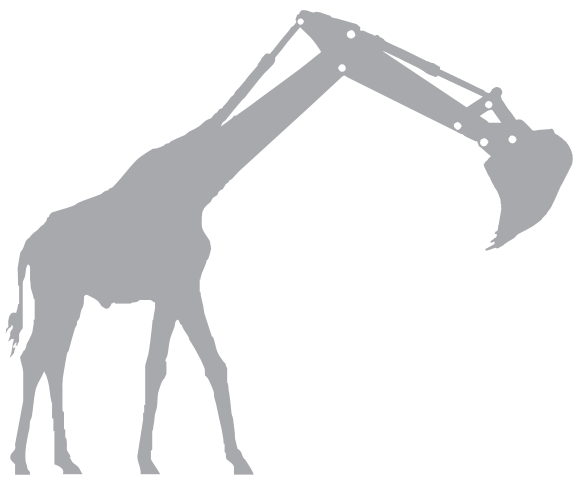












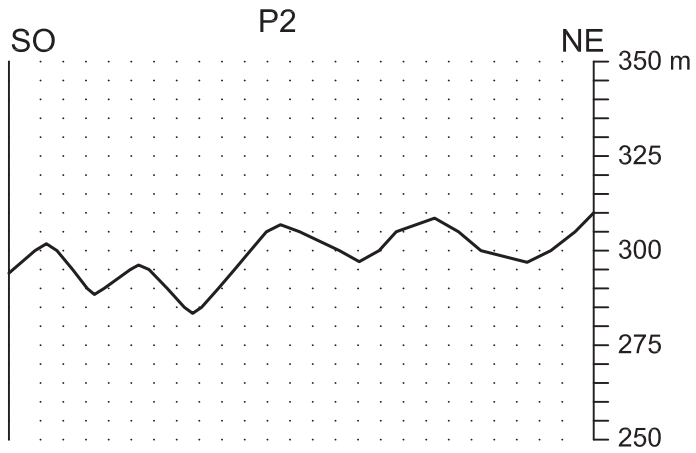
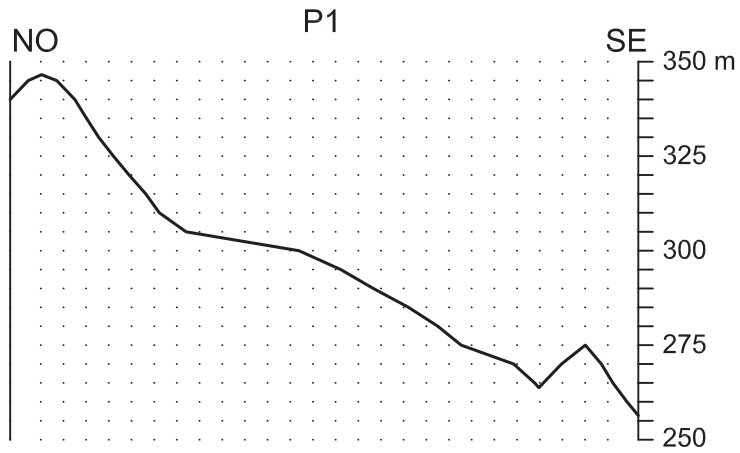


Solucions dels exercicis



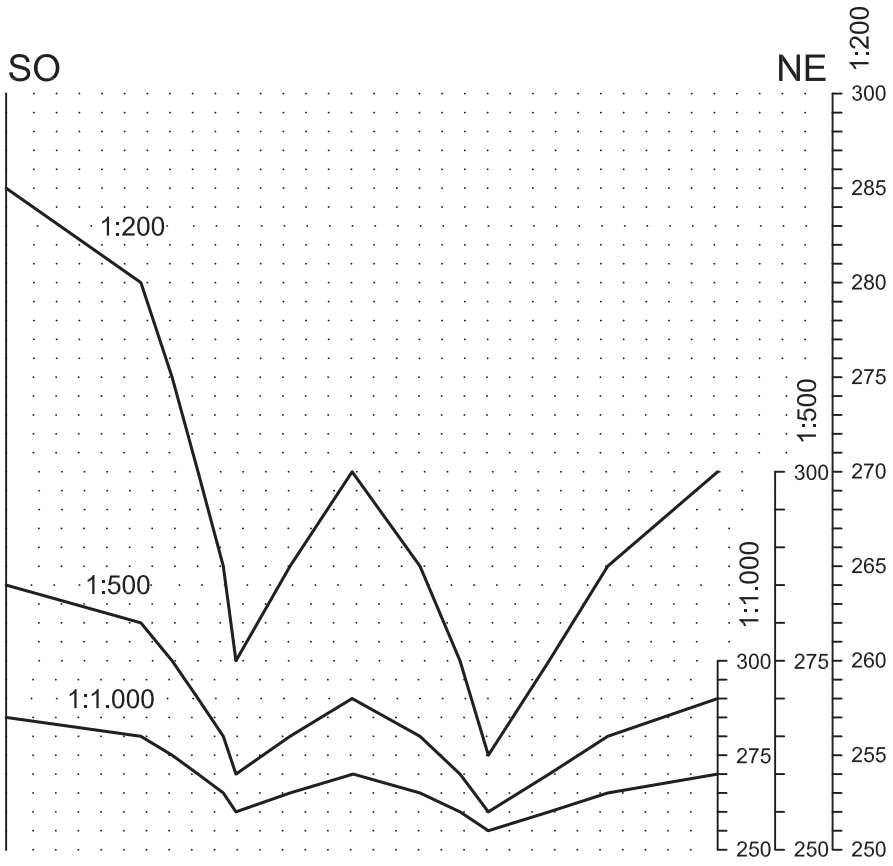
Ex. 1

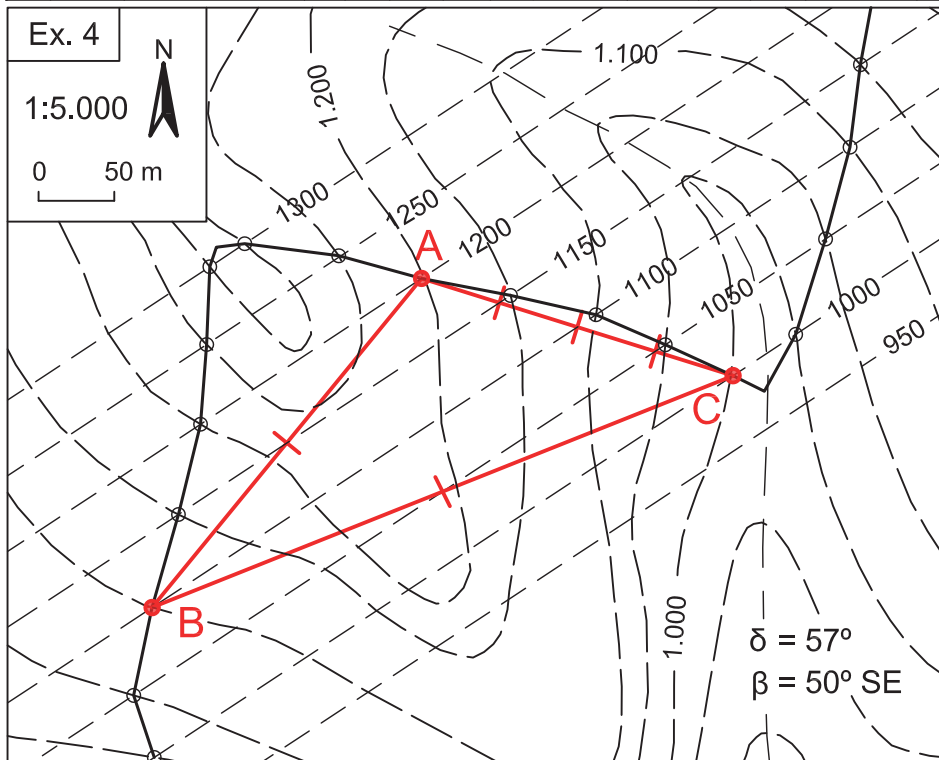
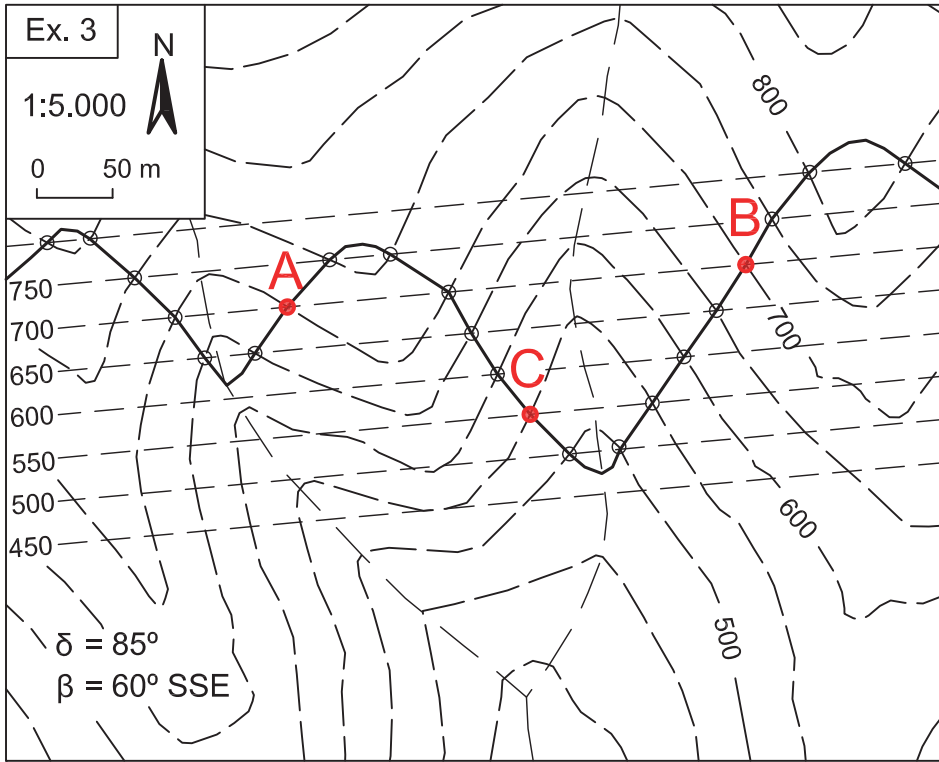
(Reducció 50%)

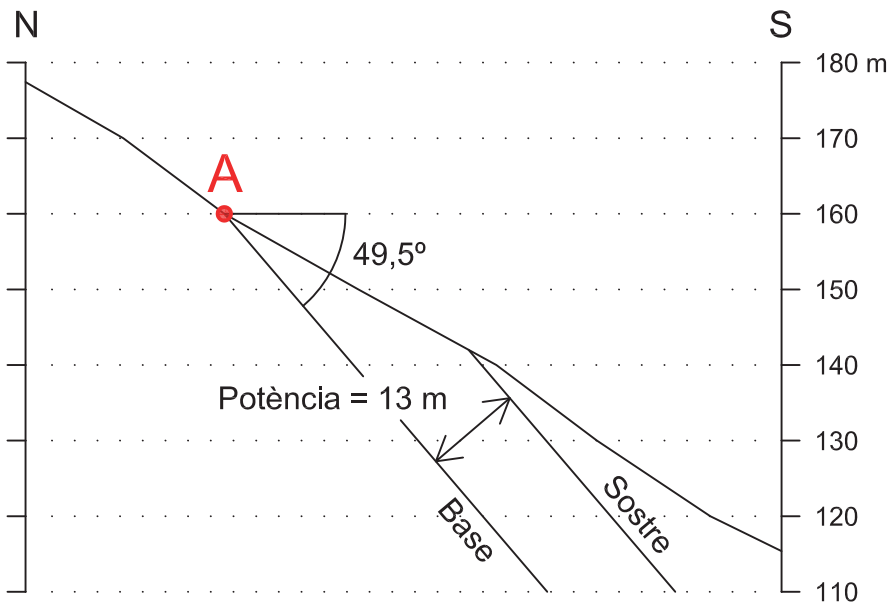
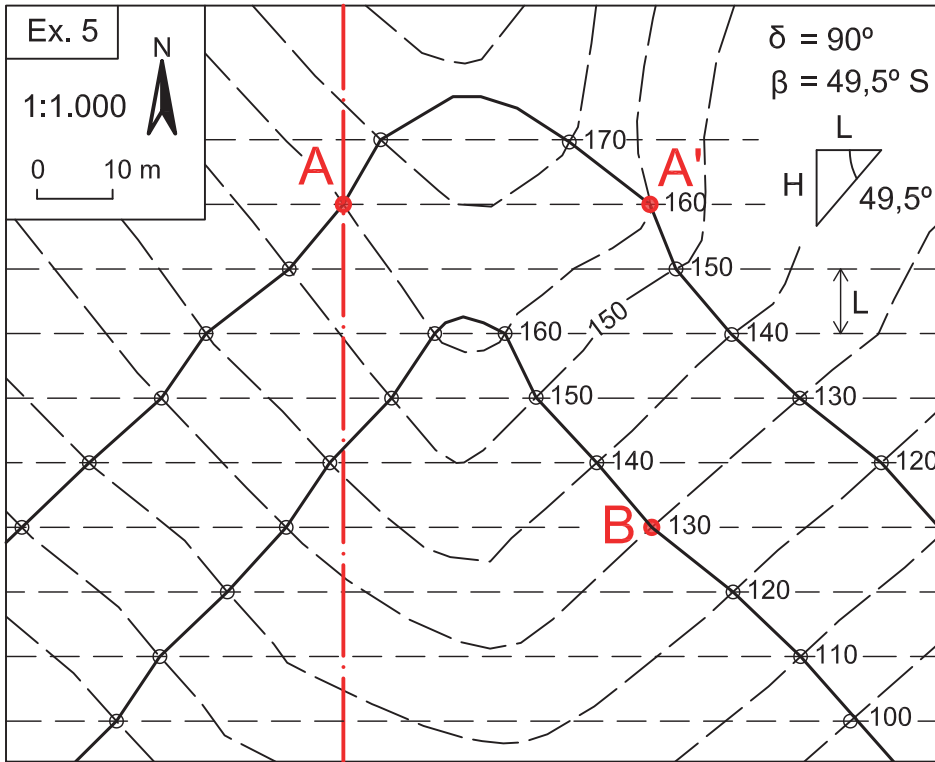


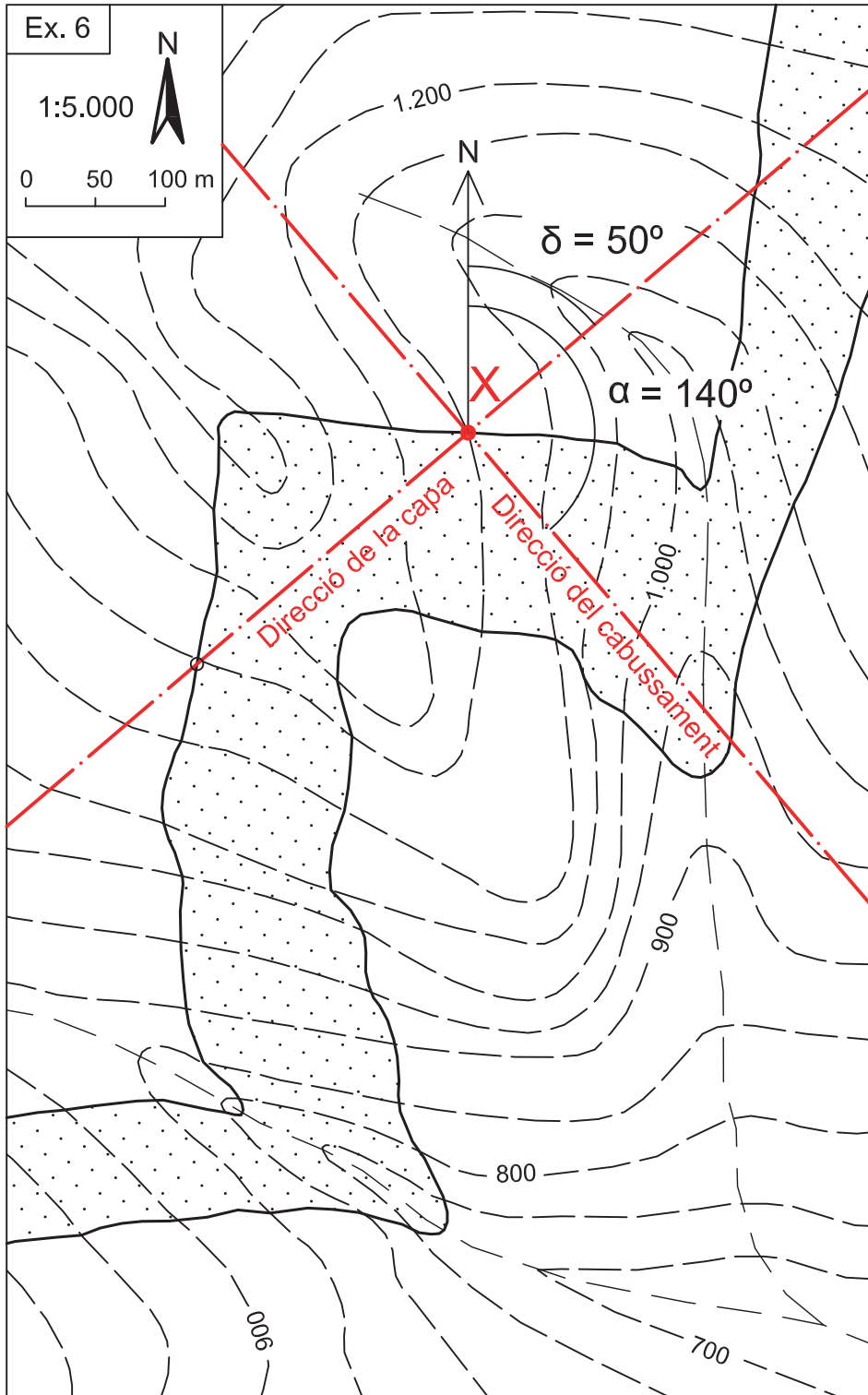
Ex. 2

(Reducció 50%)



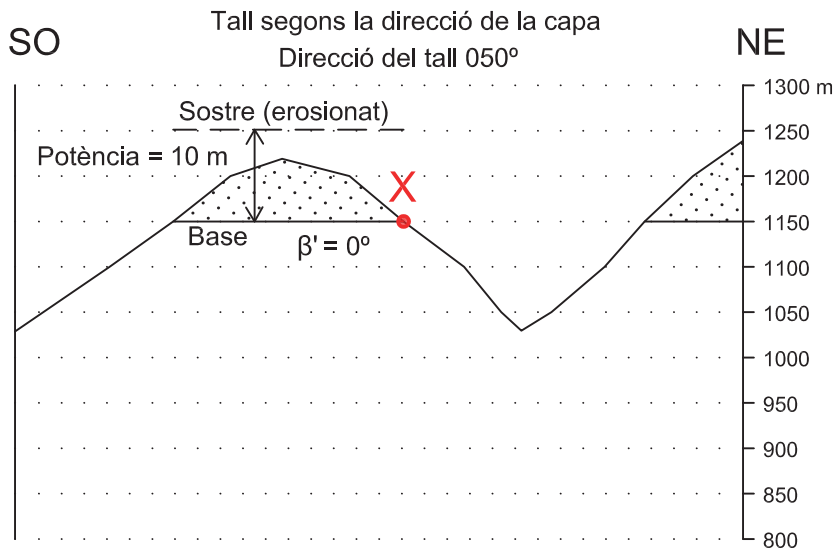
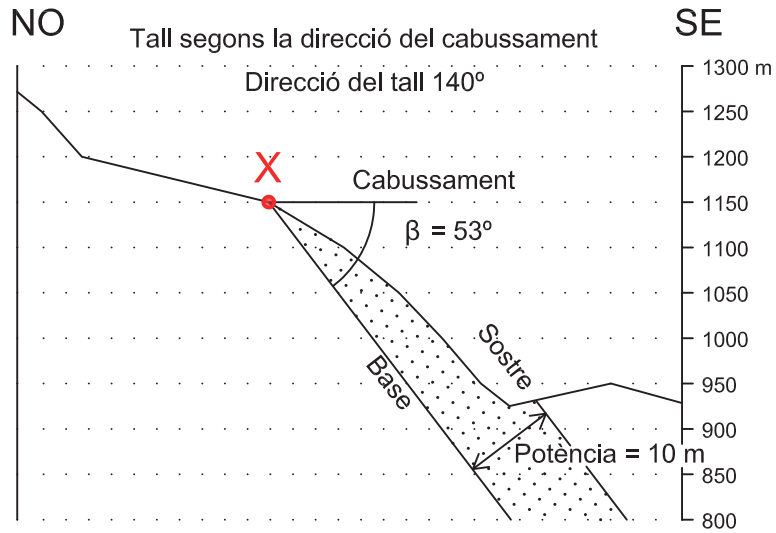


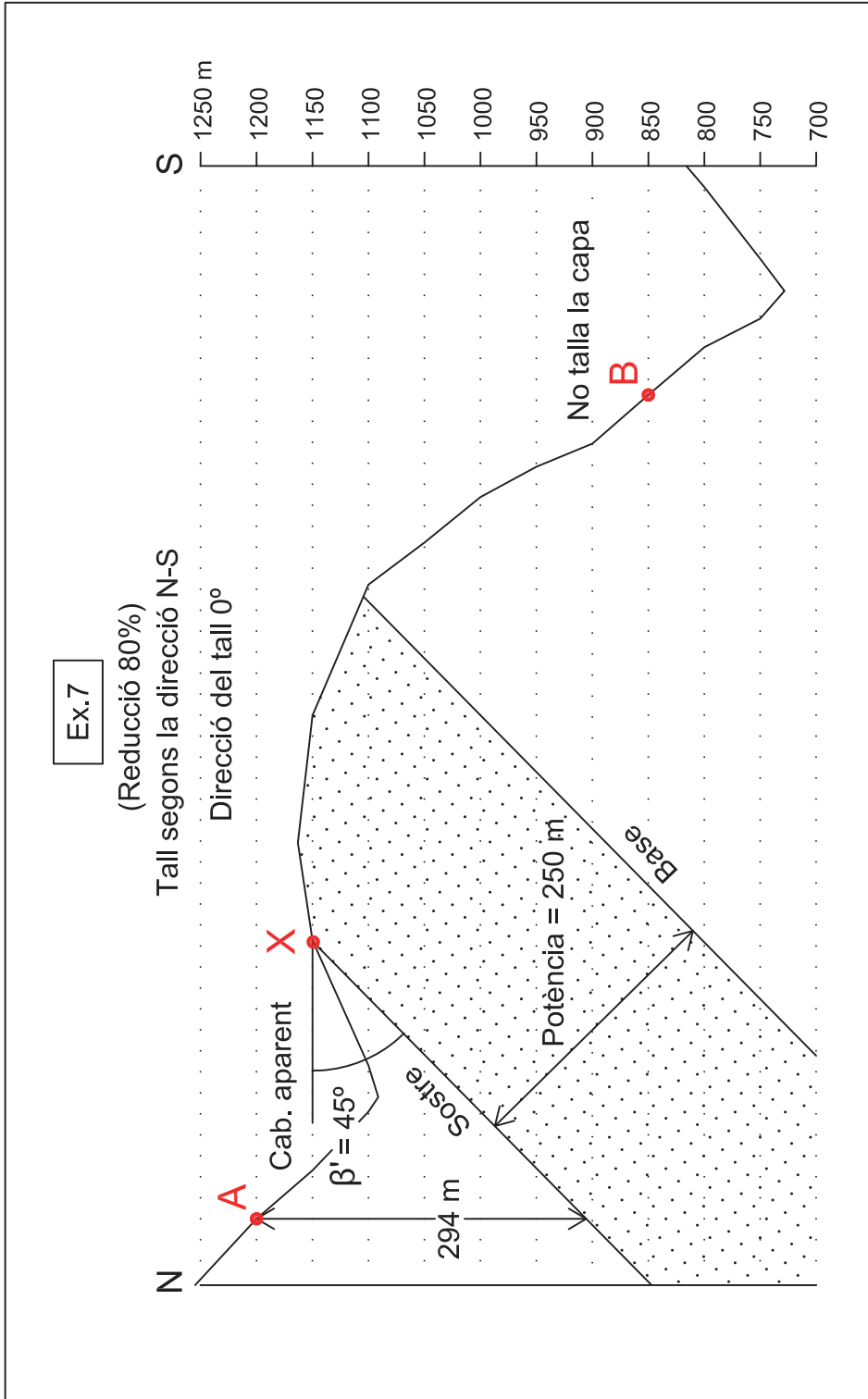


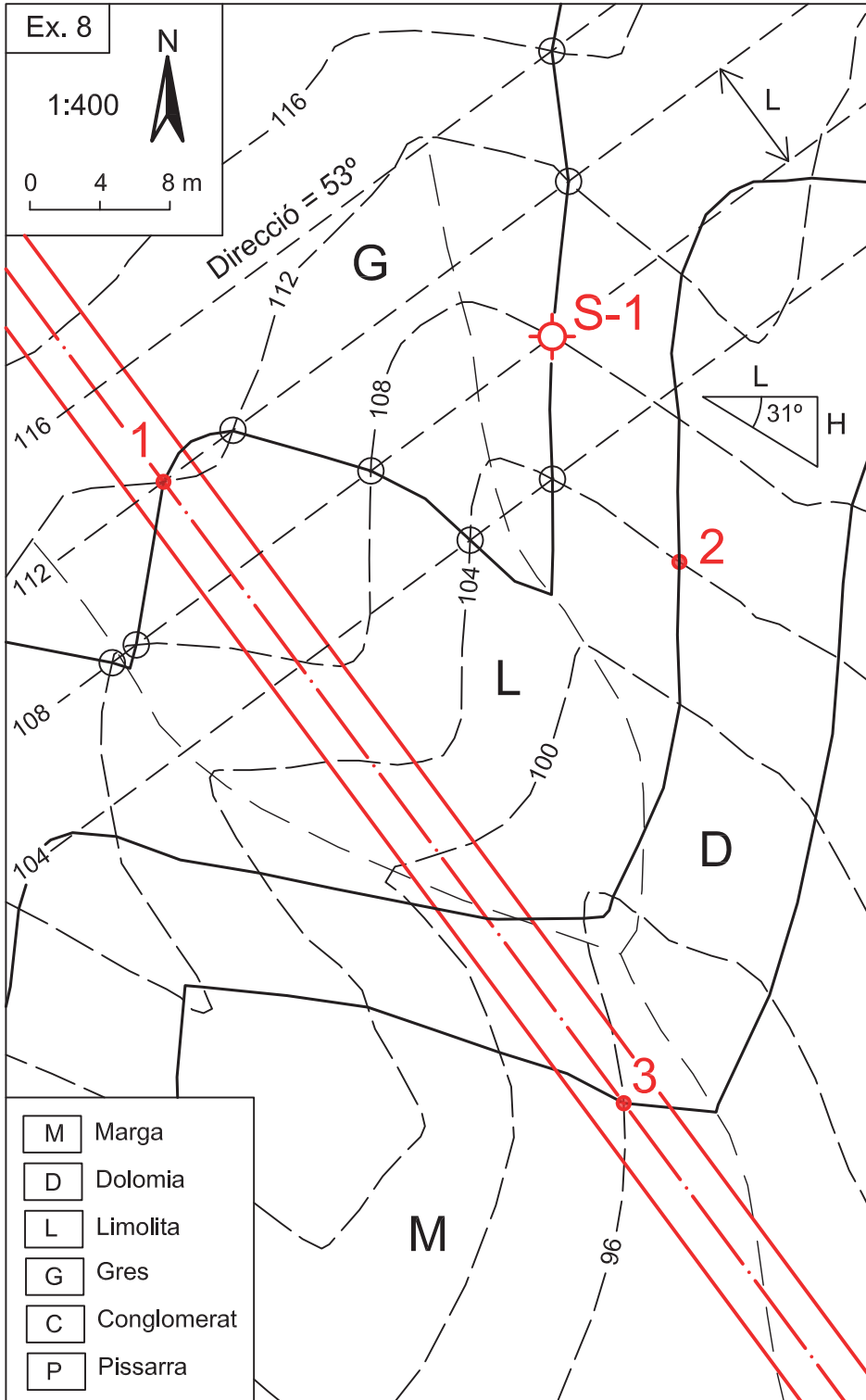


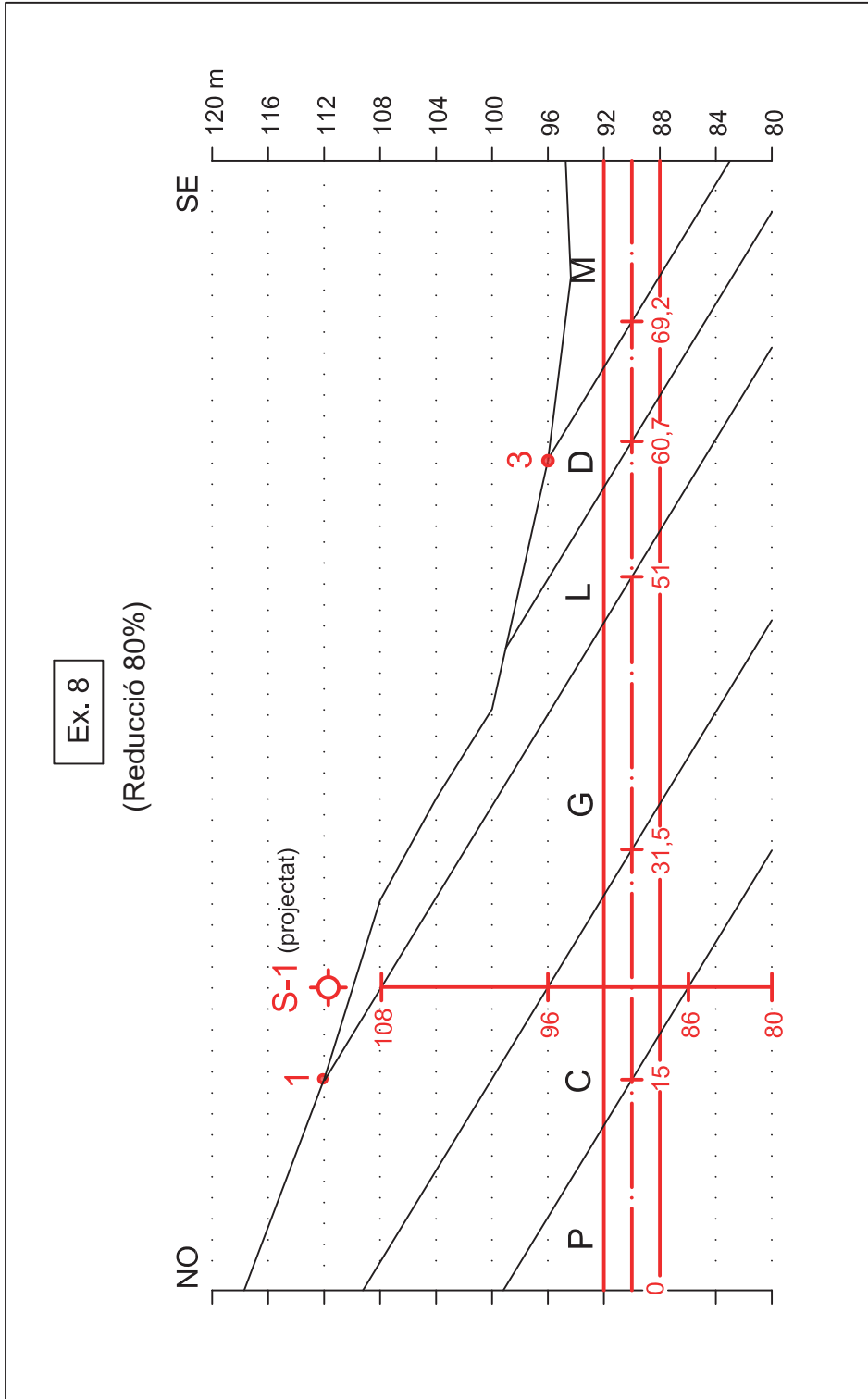
Ex. 6

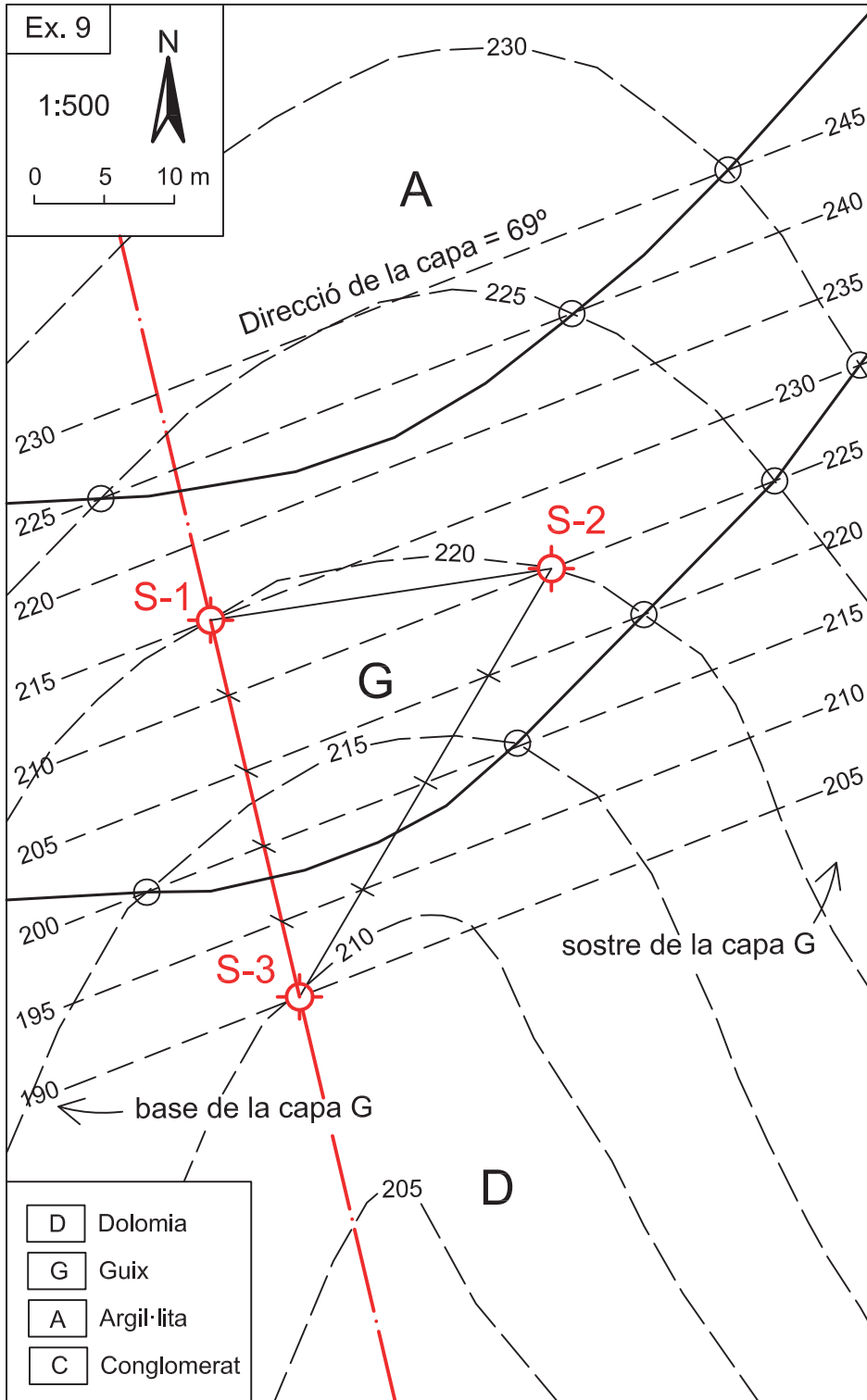
(Reducció 60%)







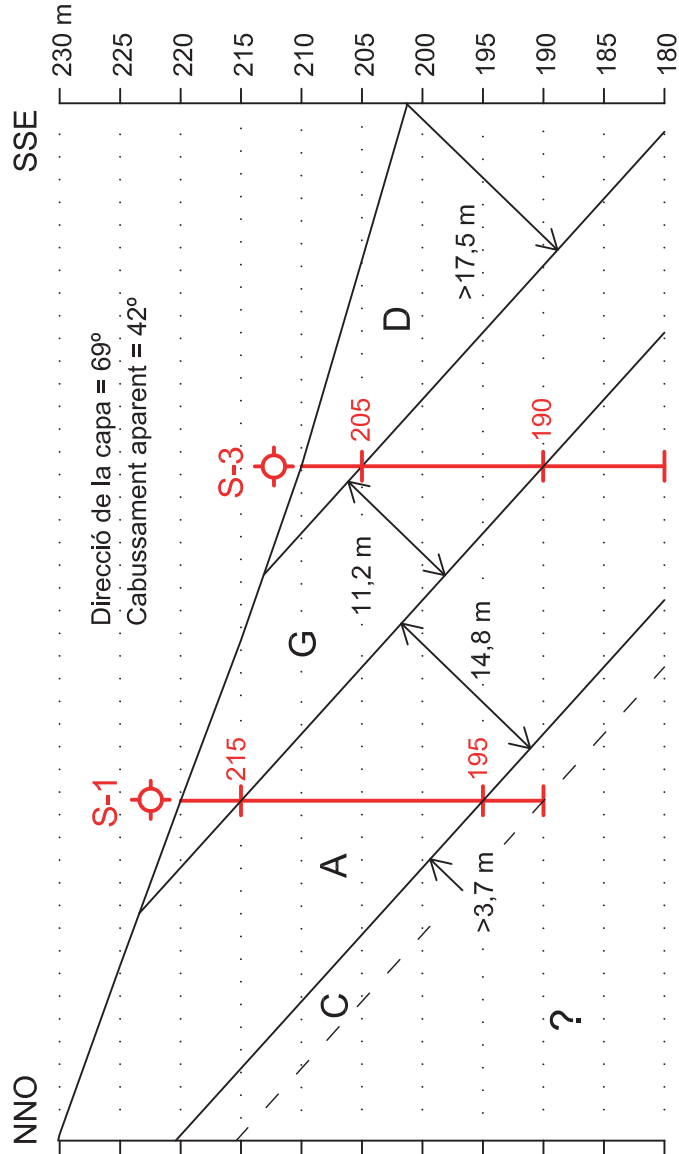


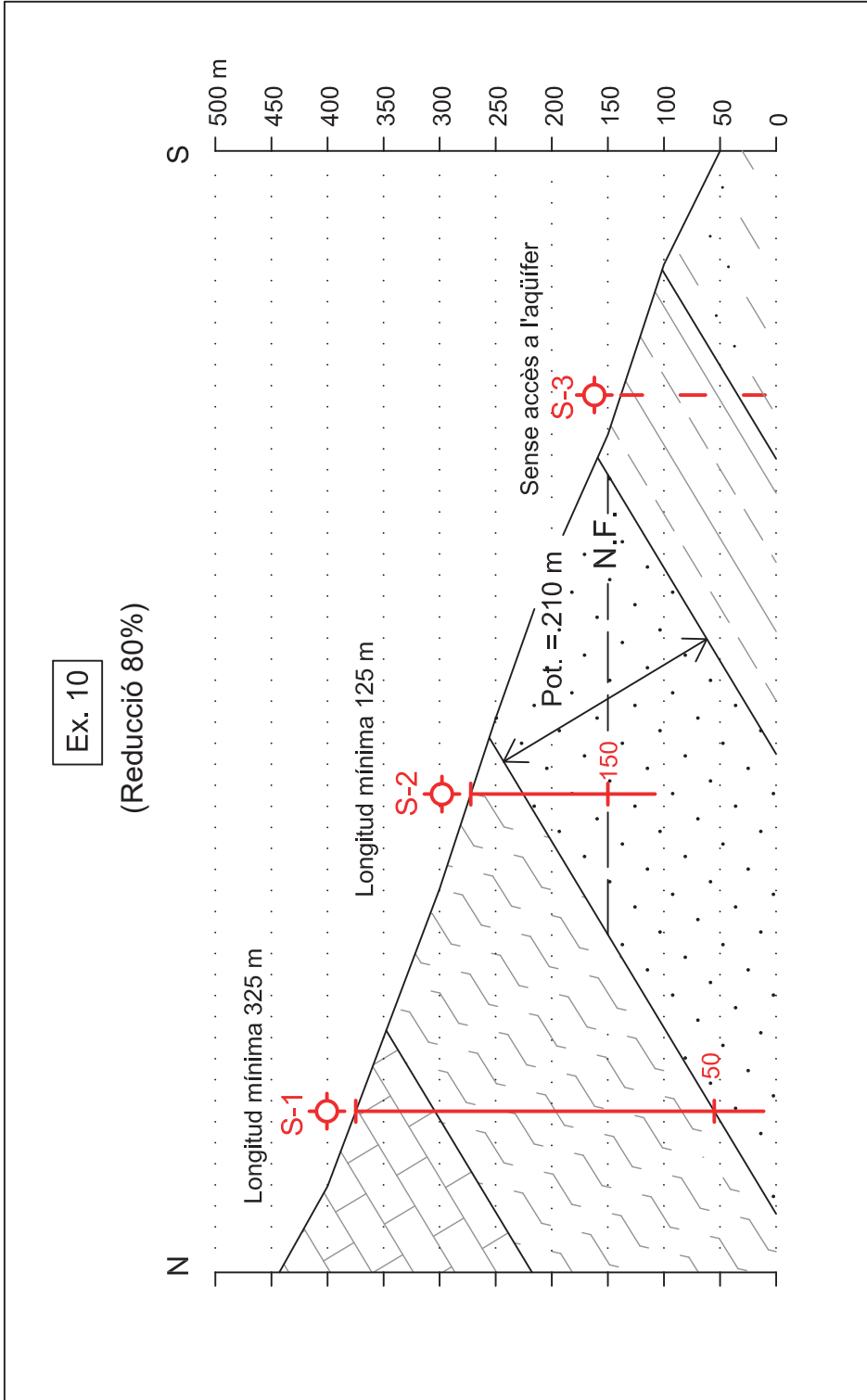


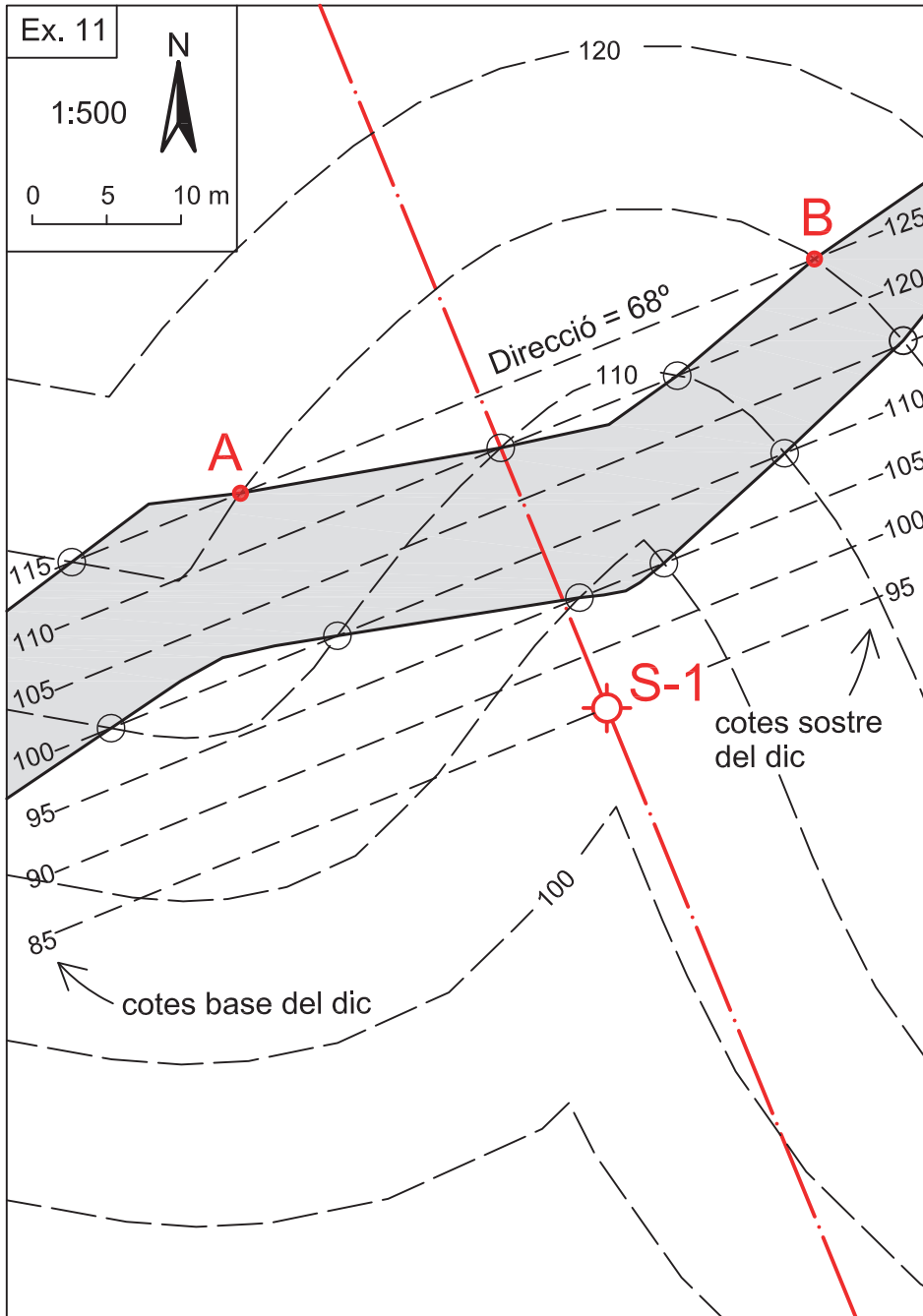


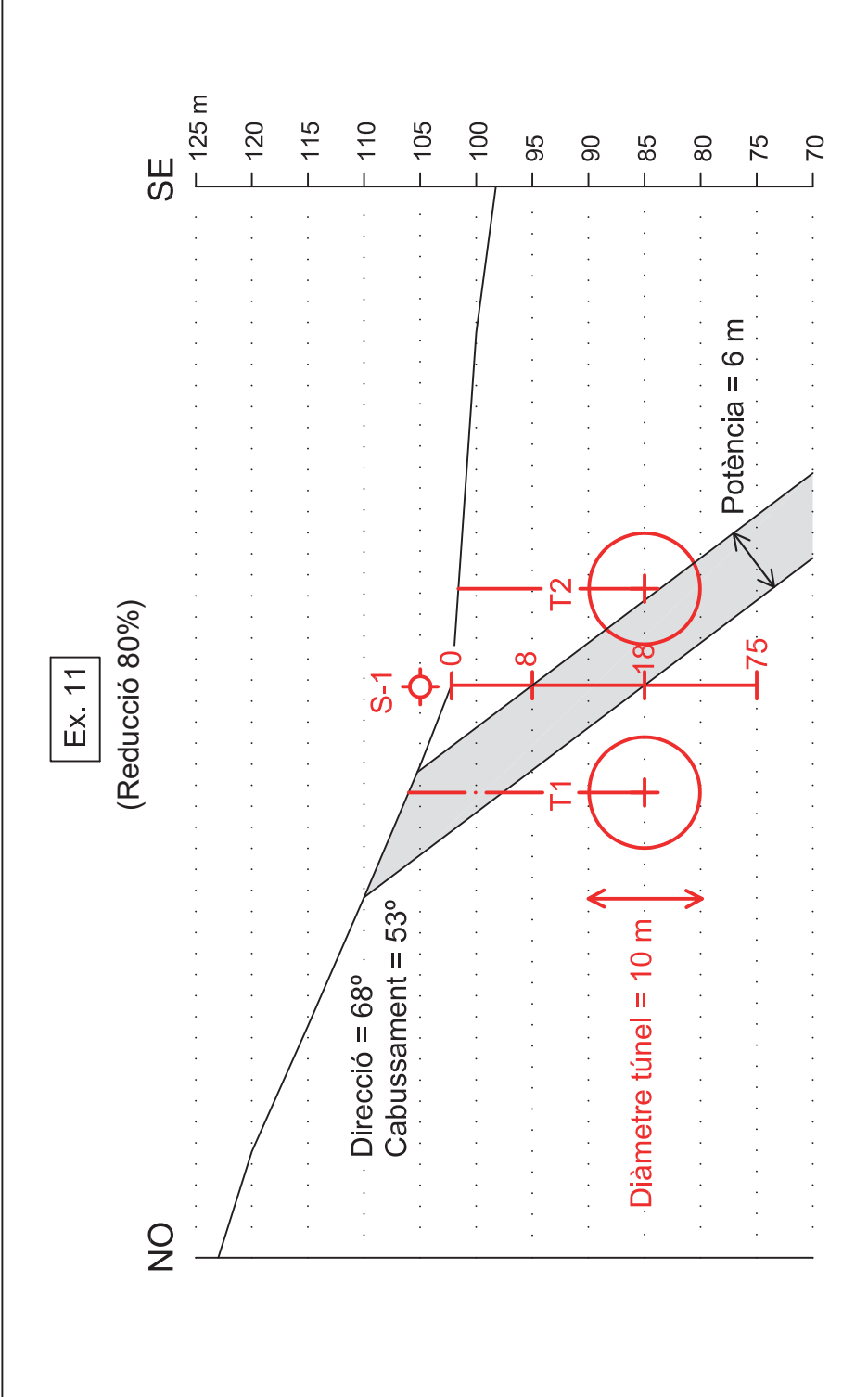
Ex. 9

(Reducció 80%)





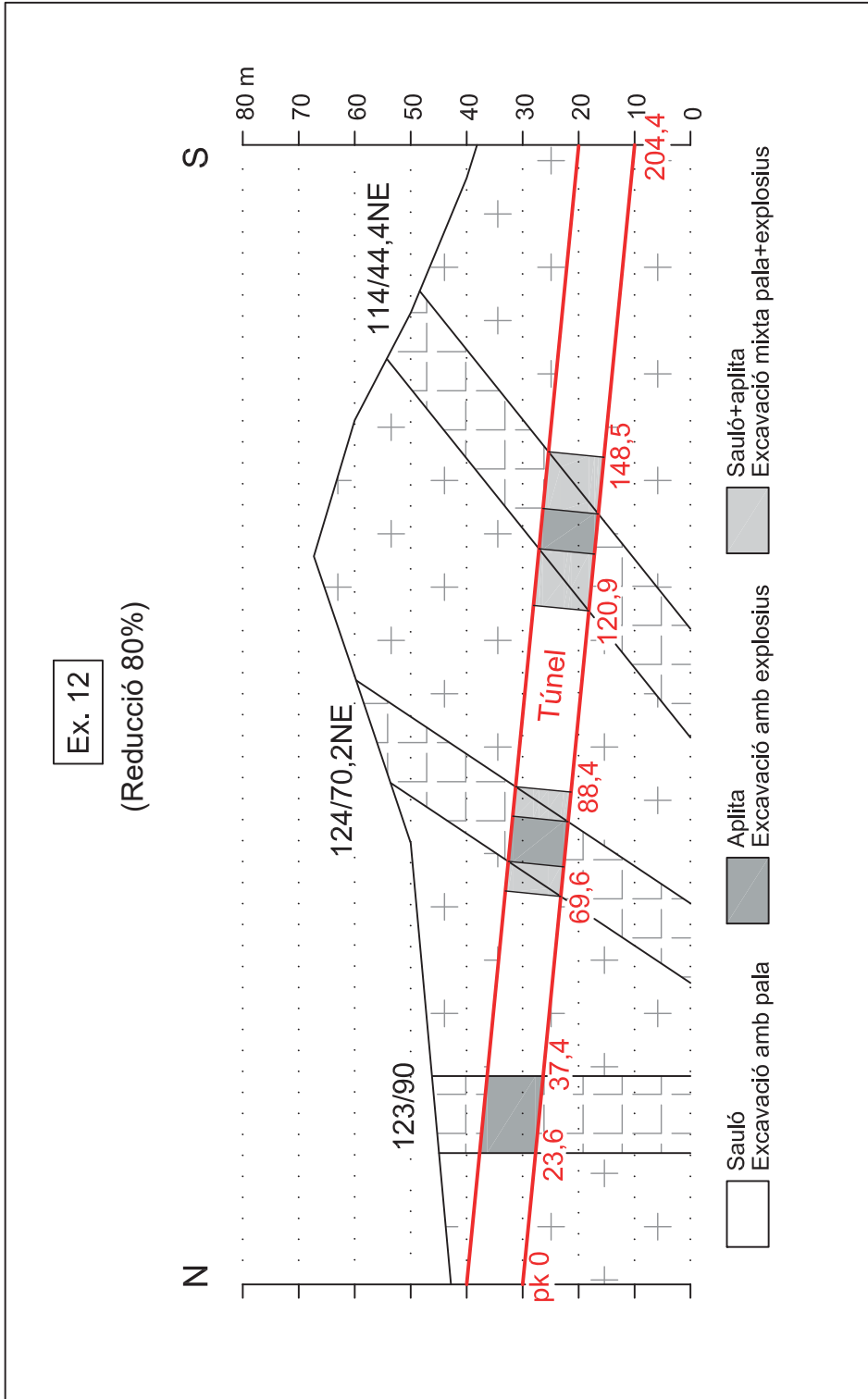






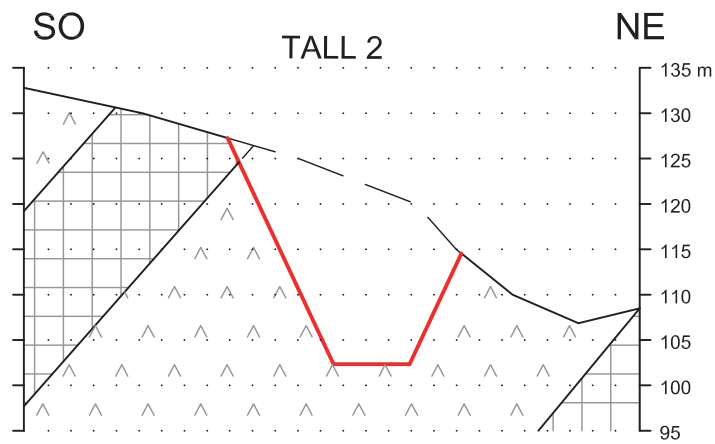
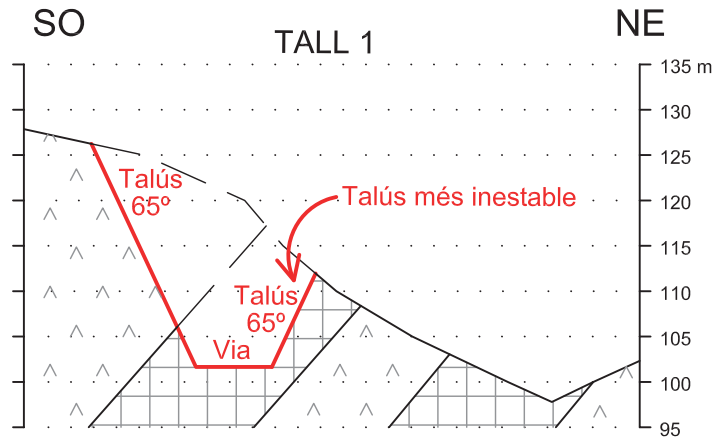
Ex. 12

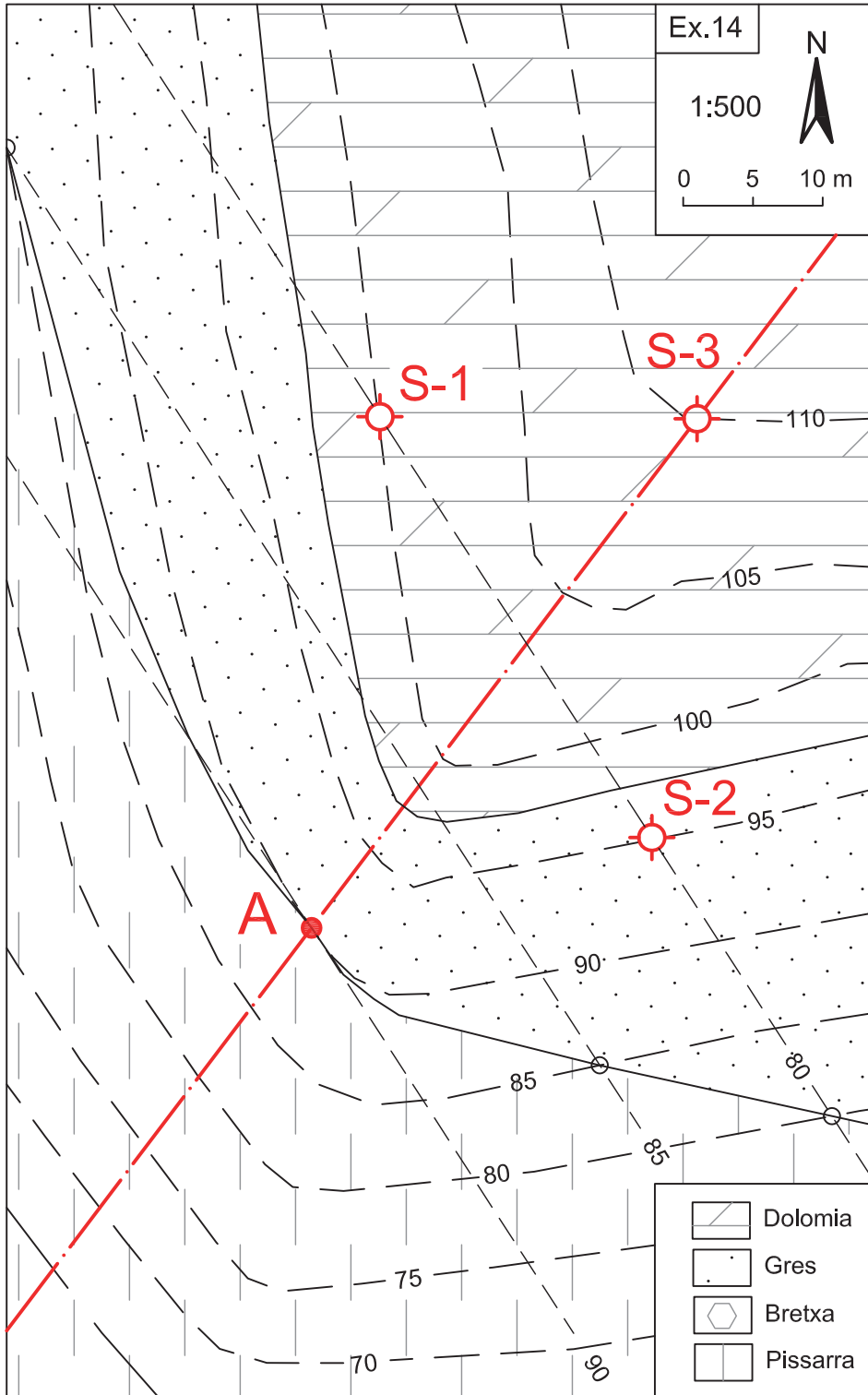
(Reducció 80%)

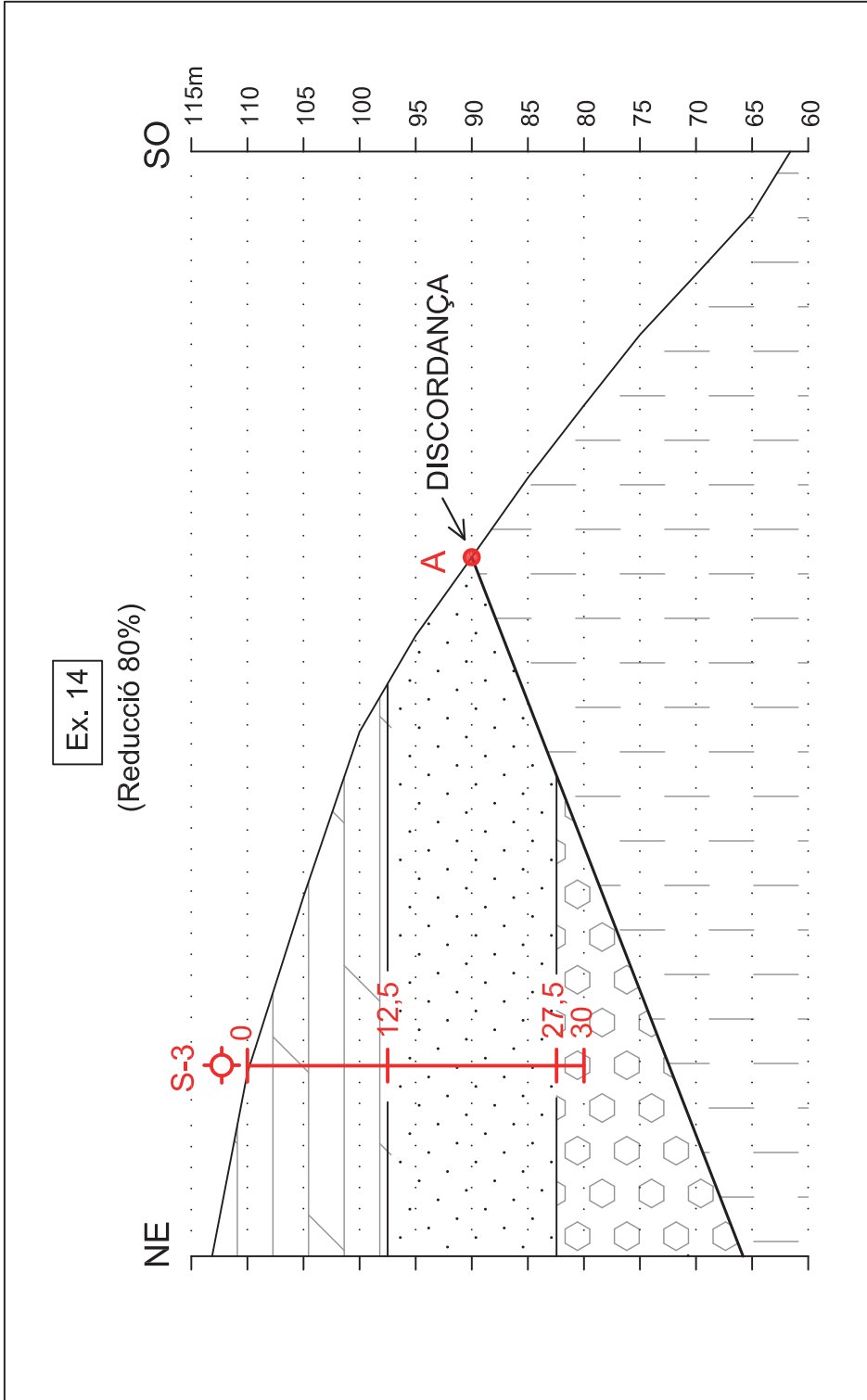


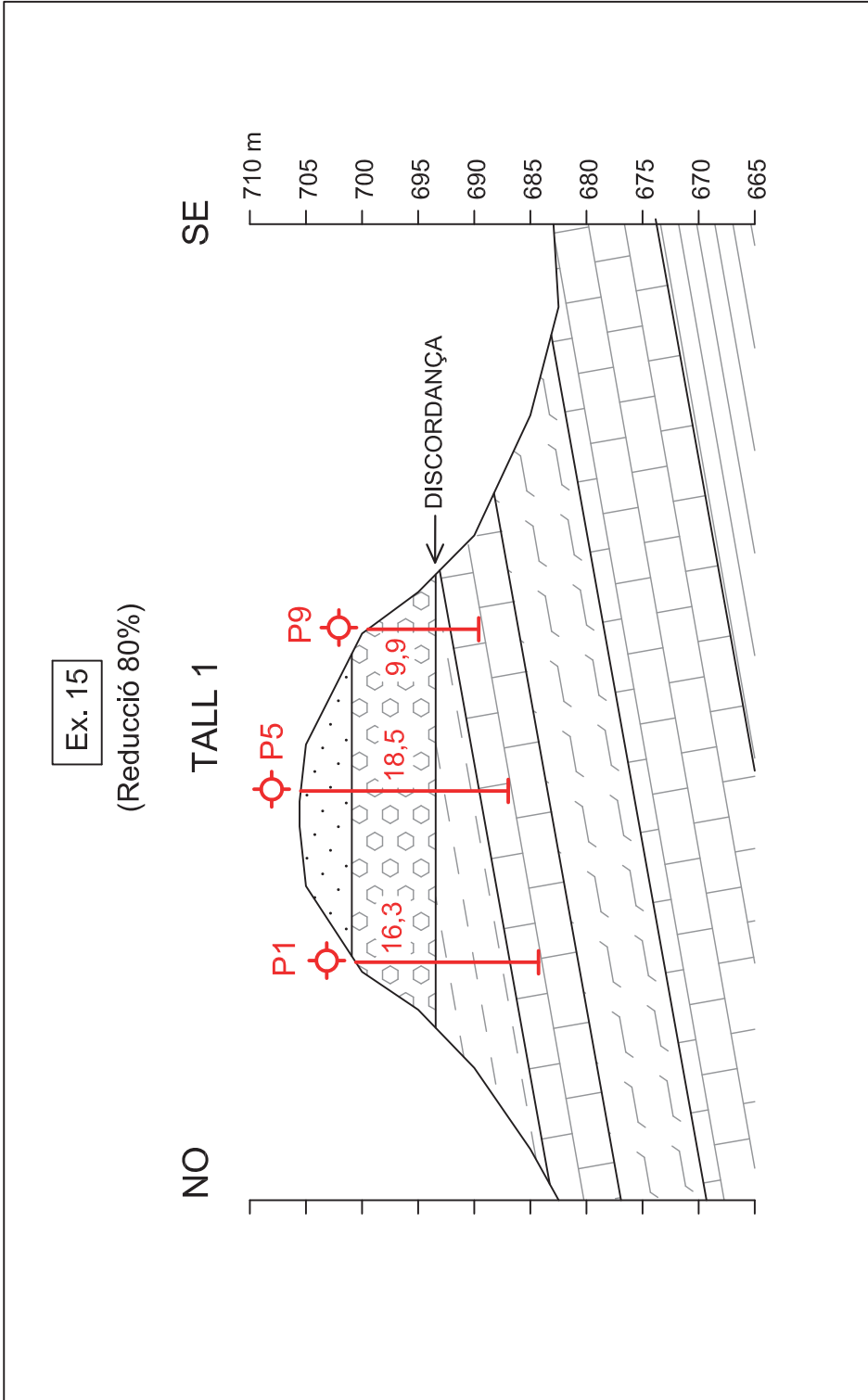
Ex. 13

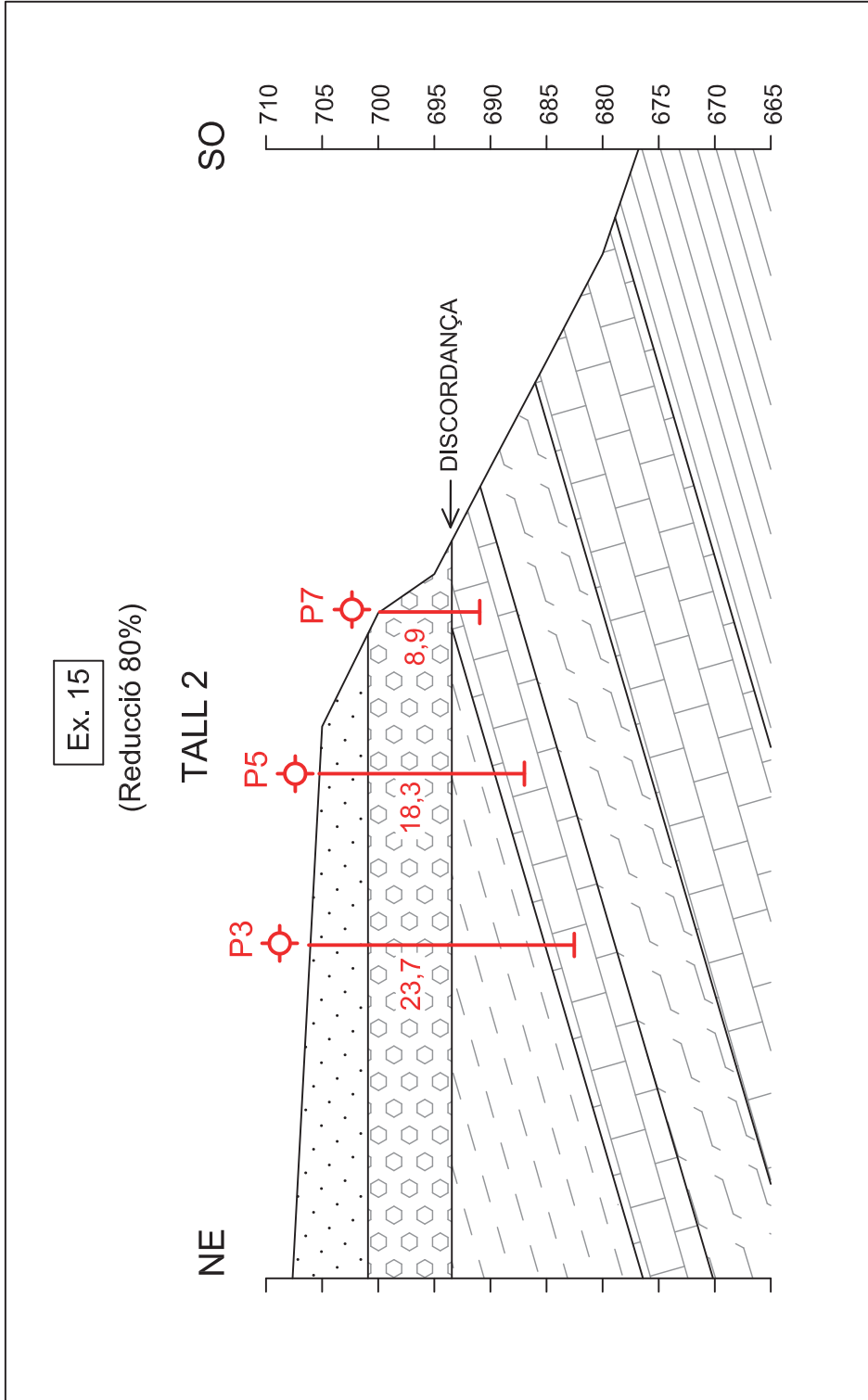
(Reducció 60%)

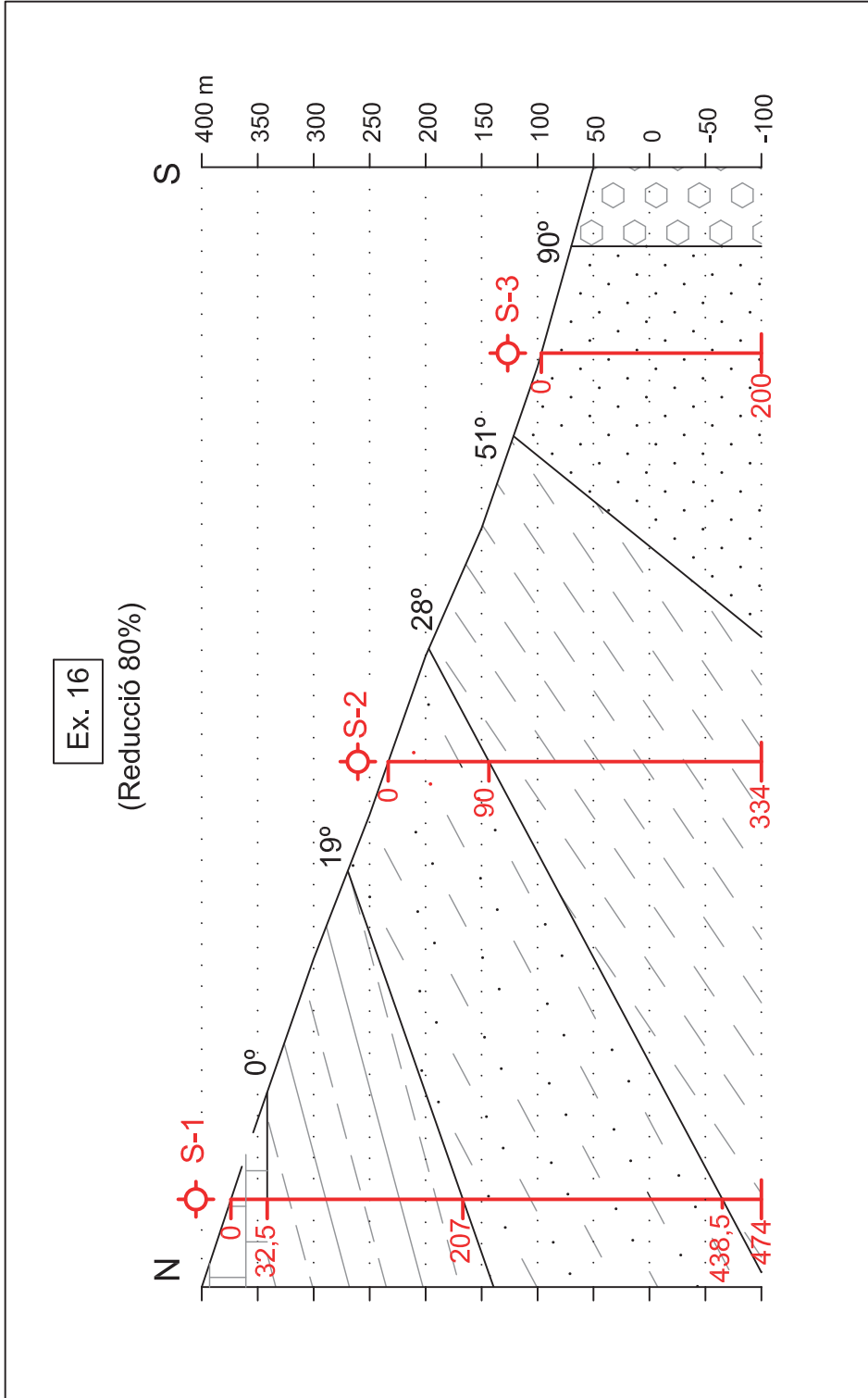


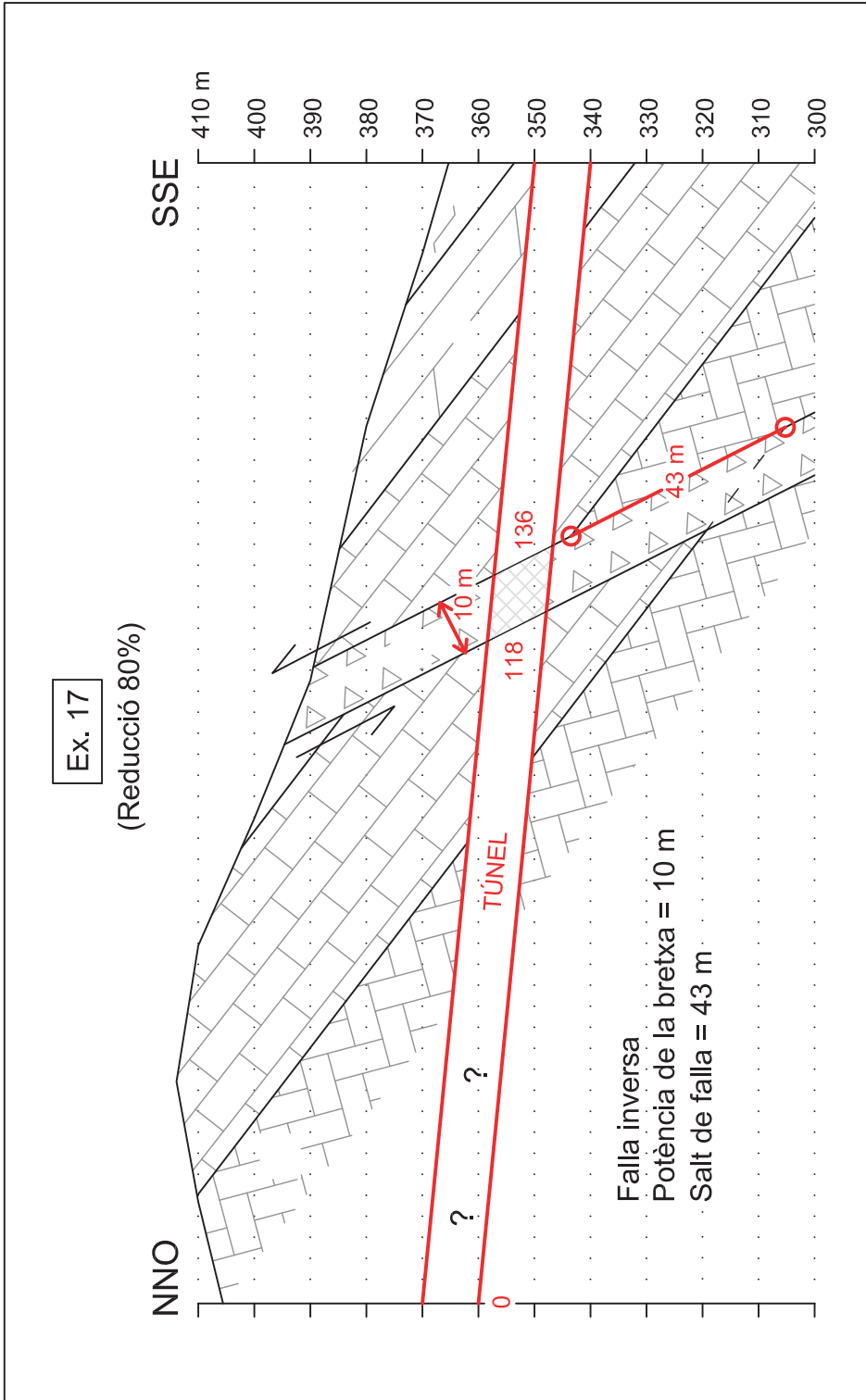


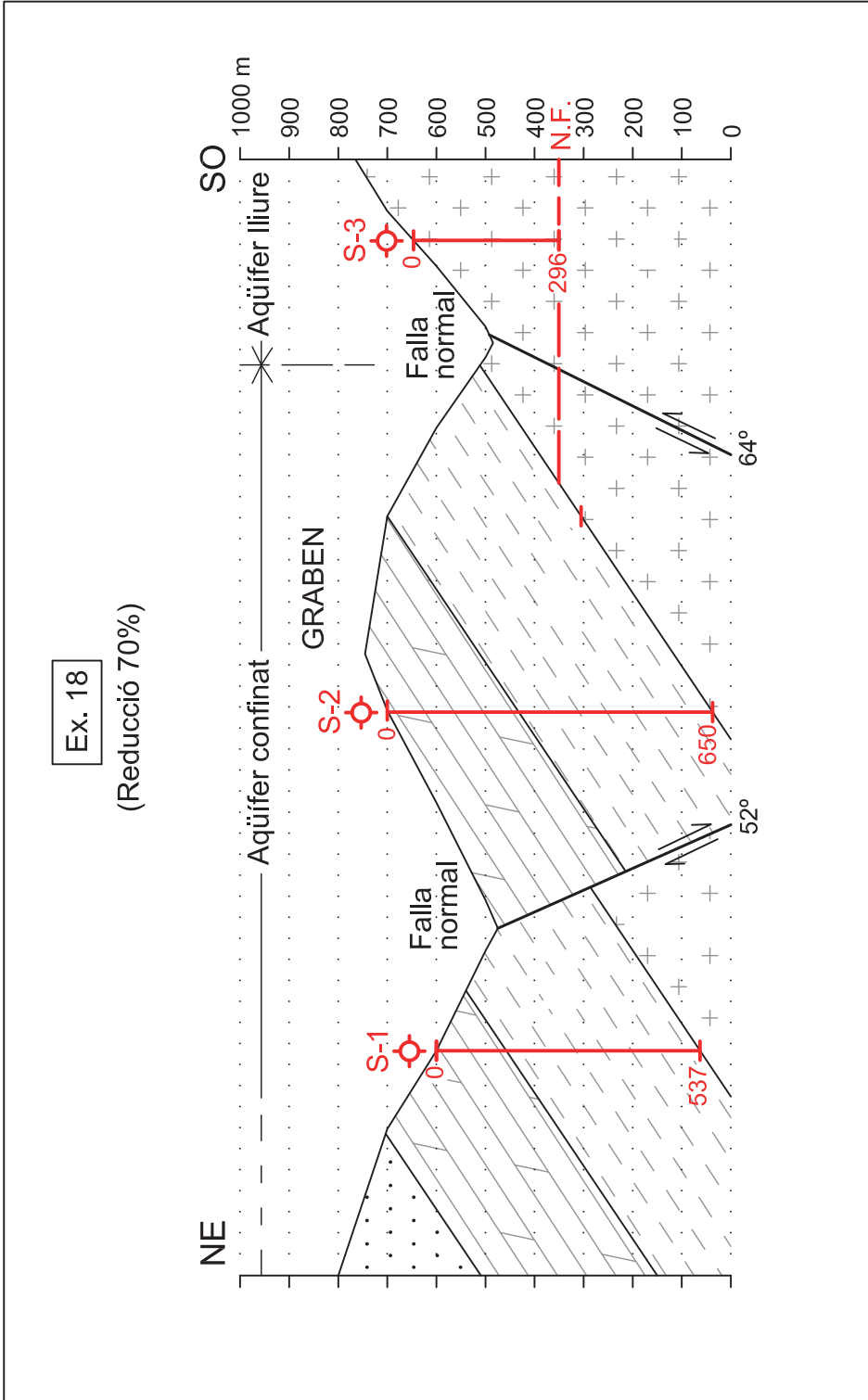








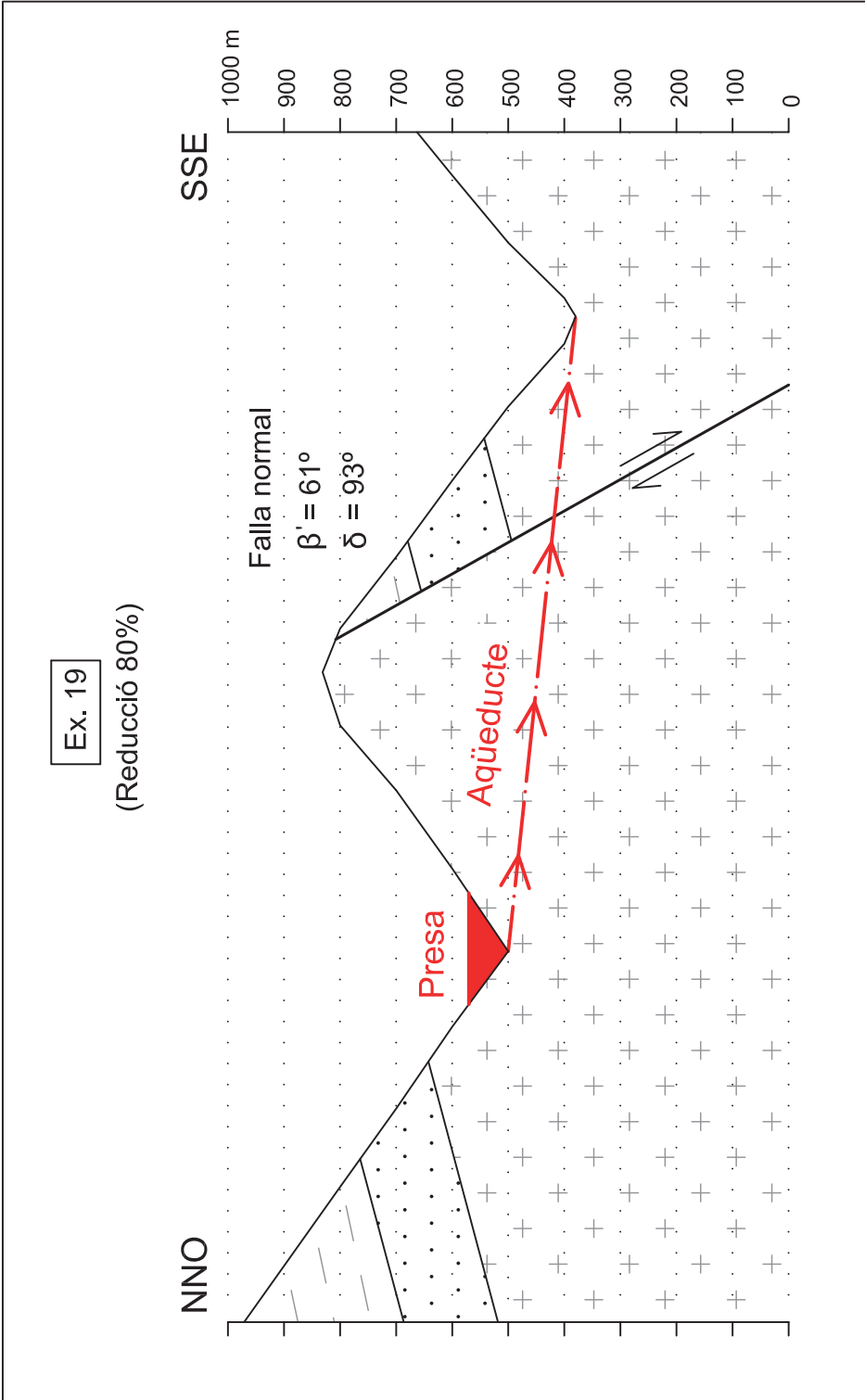






Ex. 19

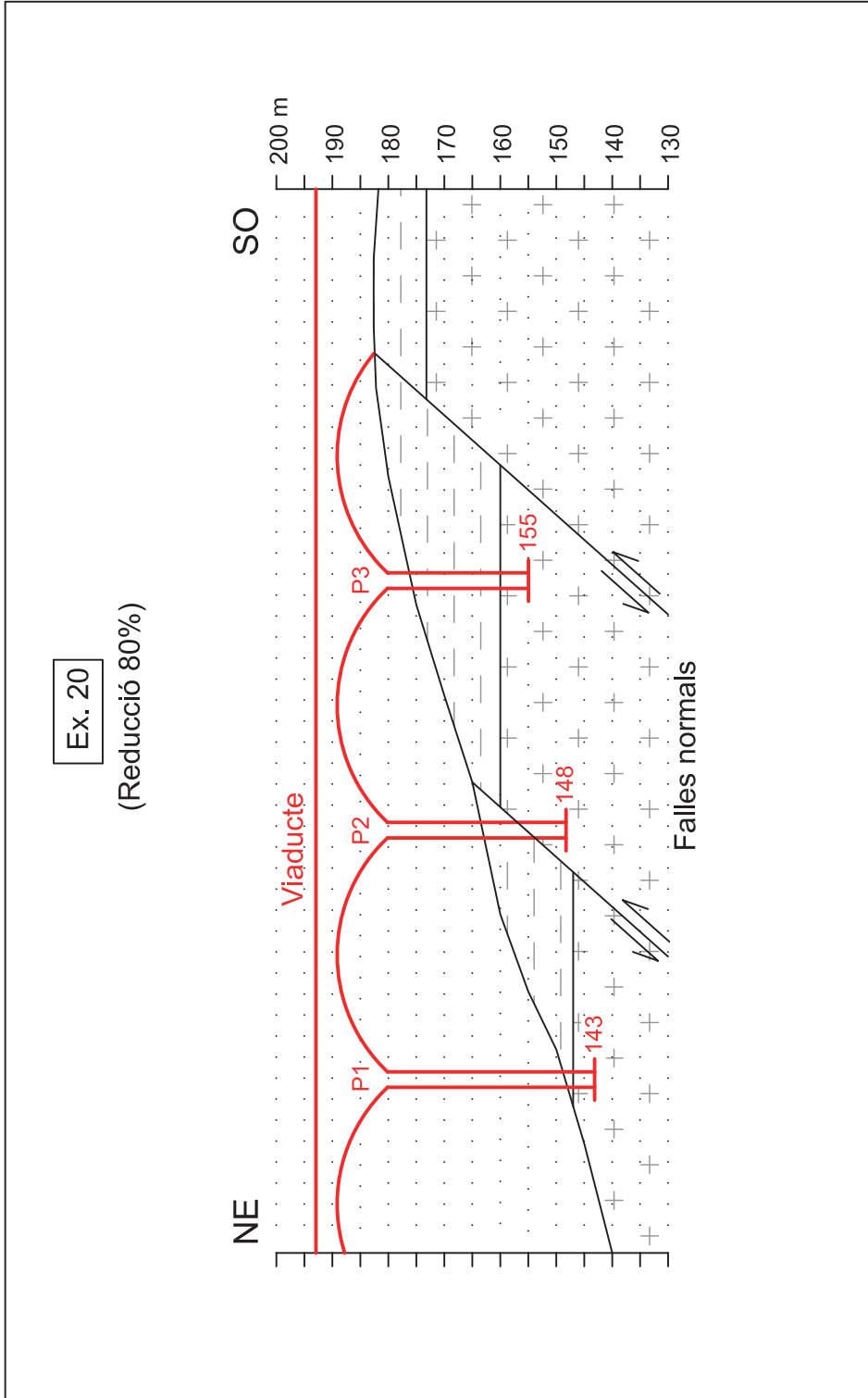
(Reducció 80%)

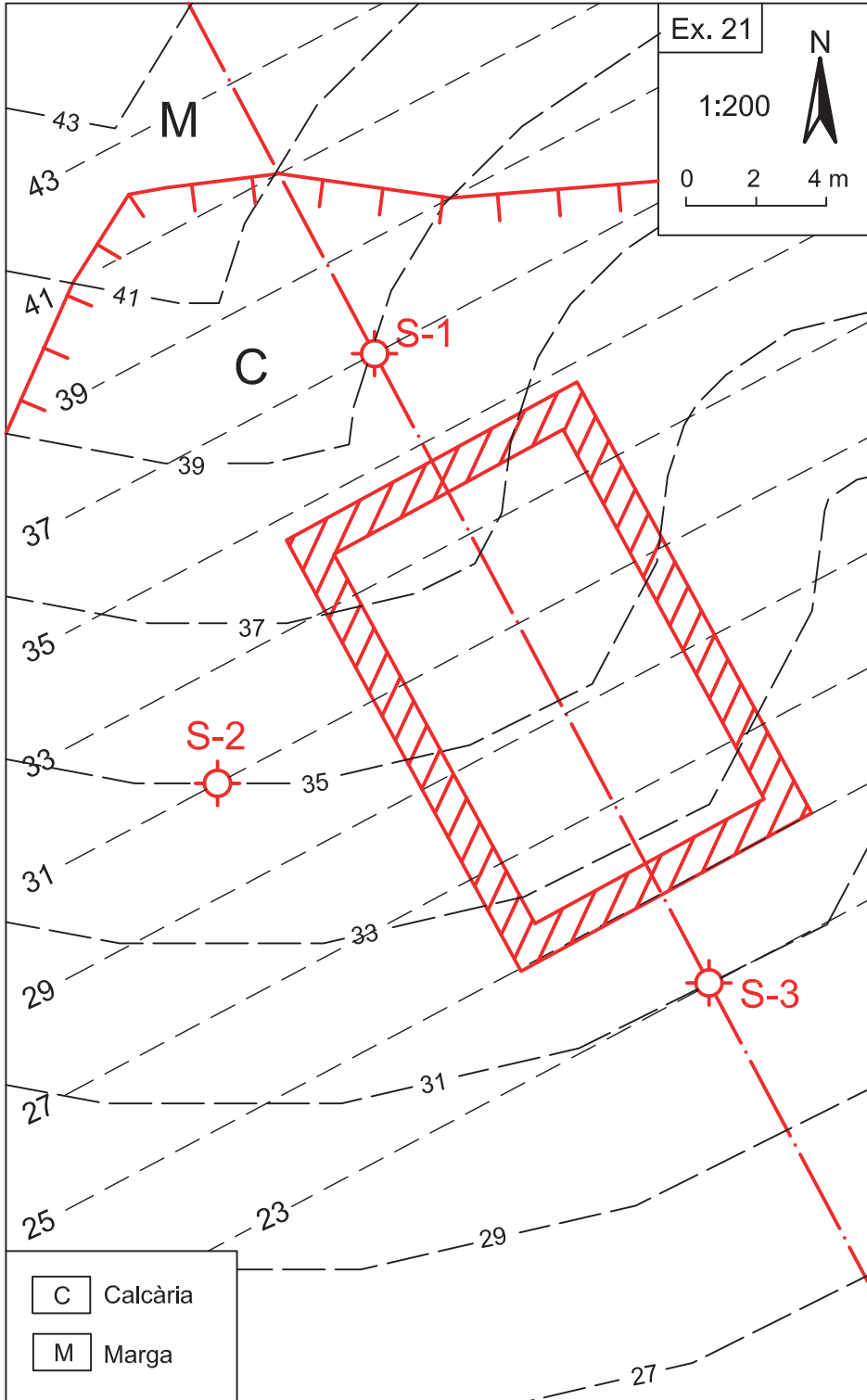


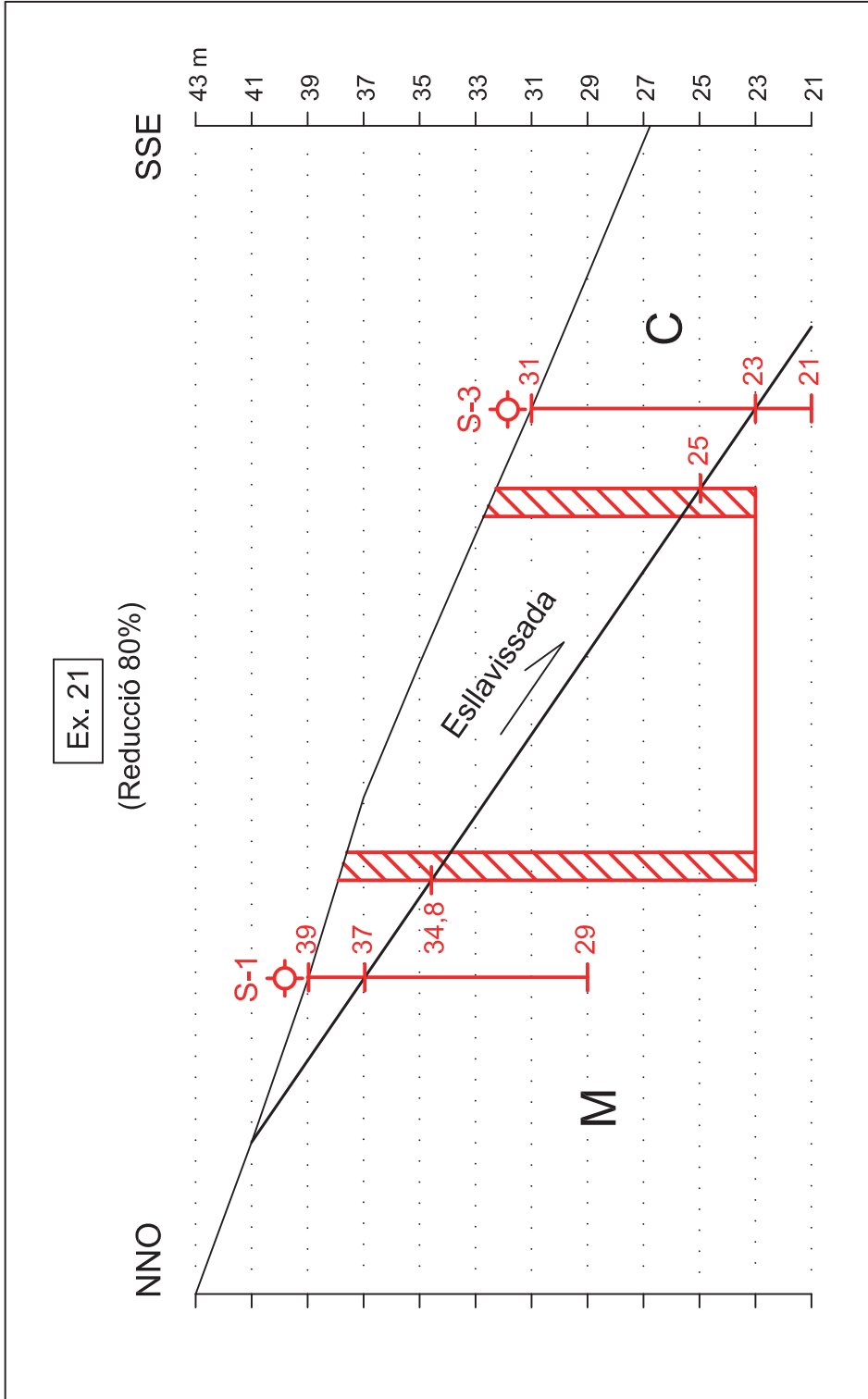


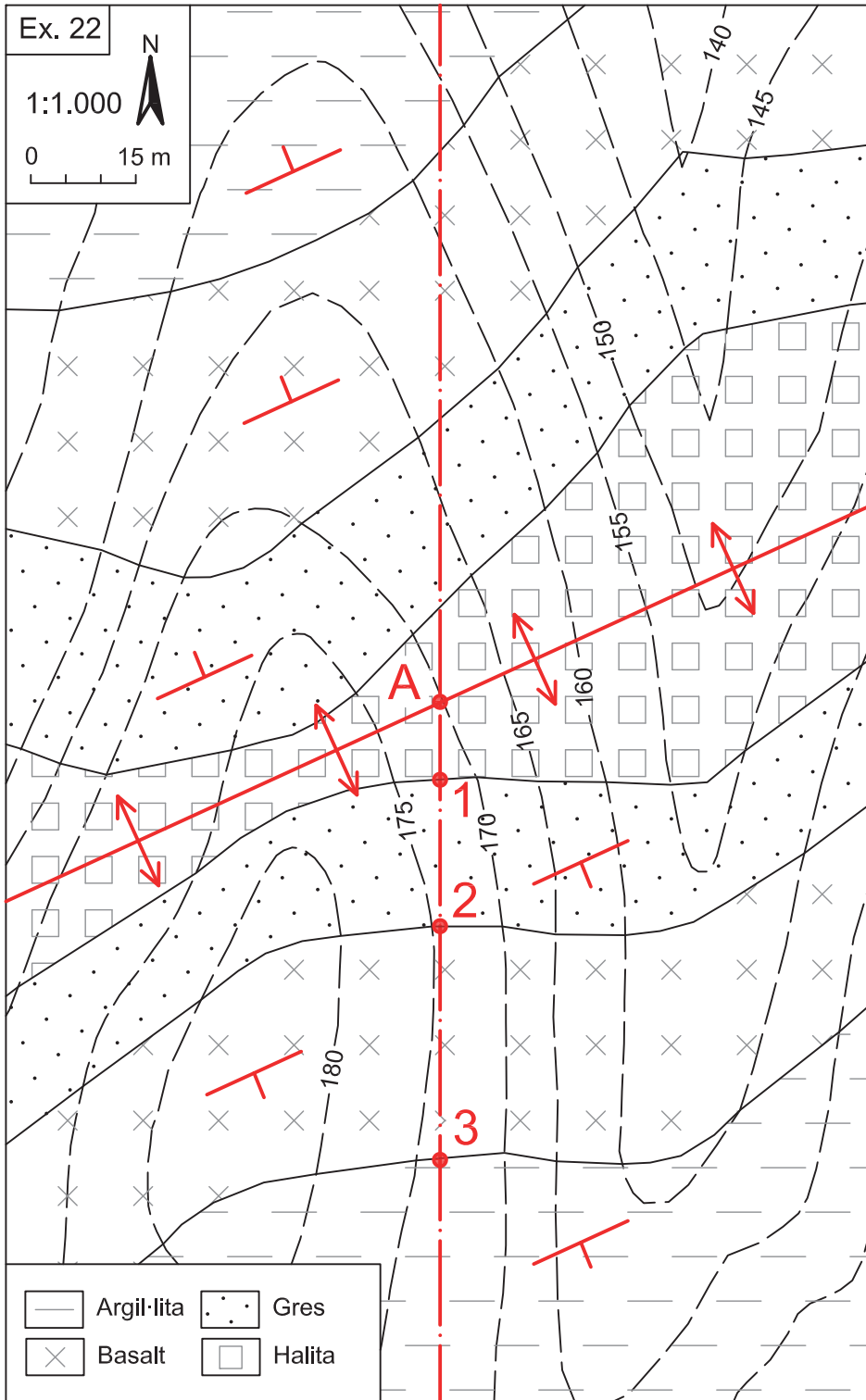
Ex. 20

(Reducció 80%)





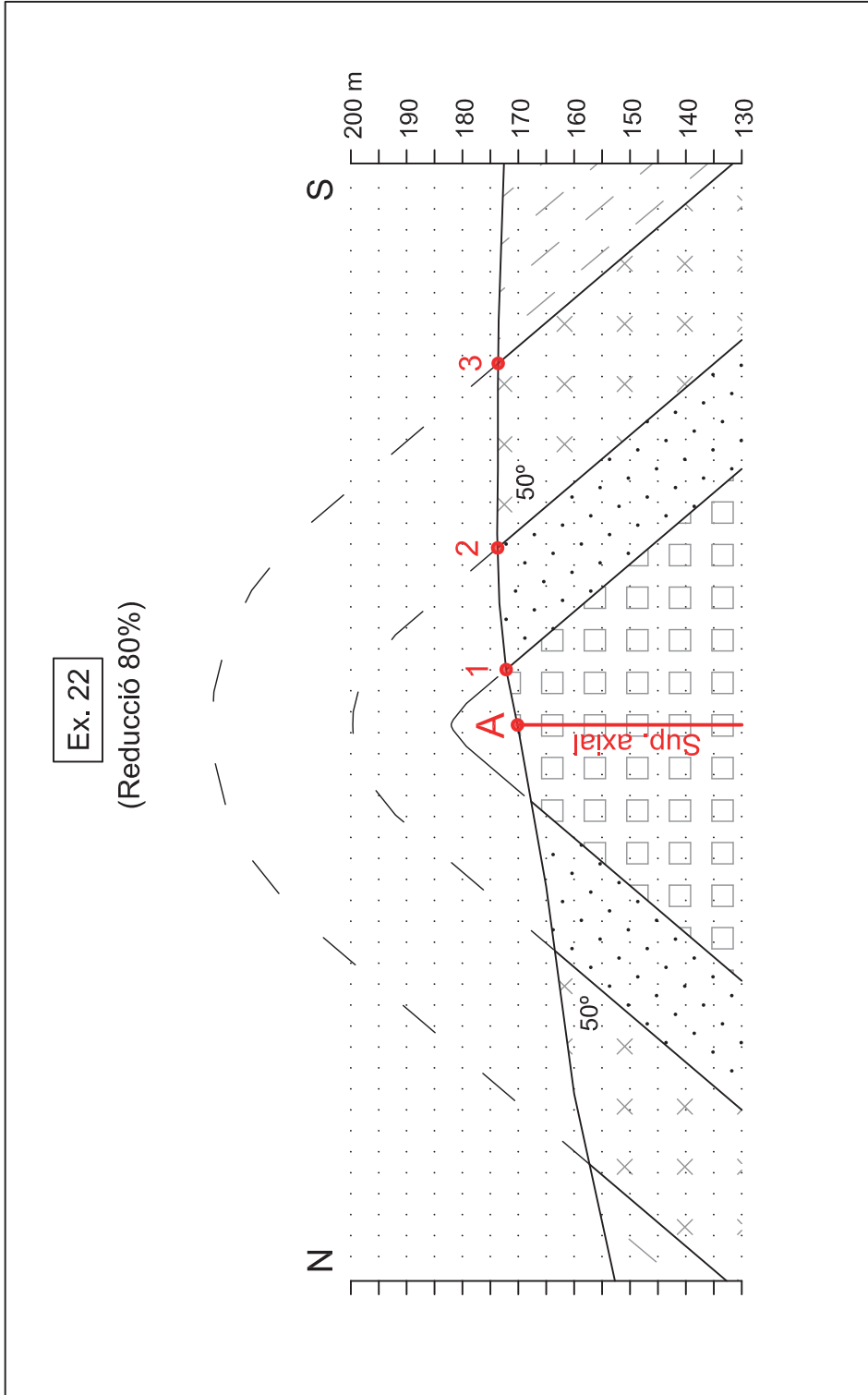






Ex. 22

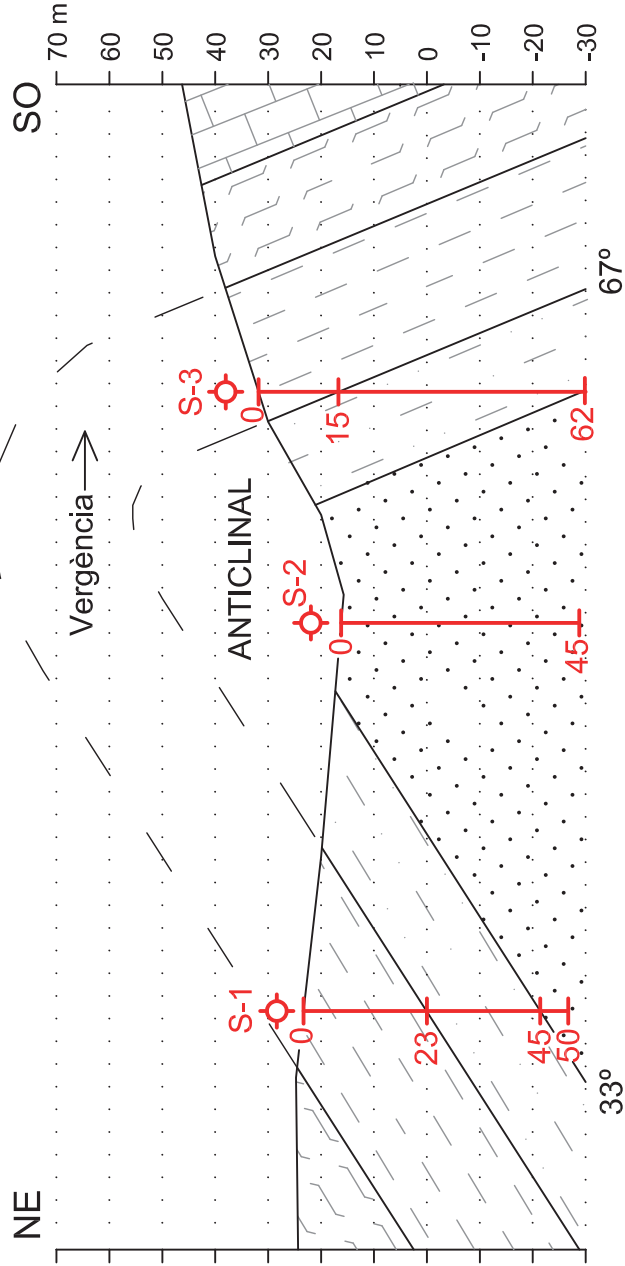
(Reducció 80%)

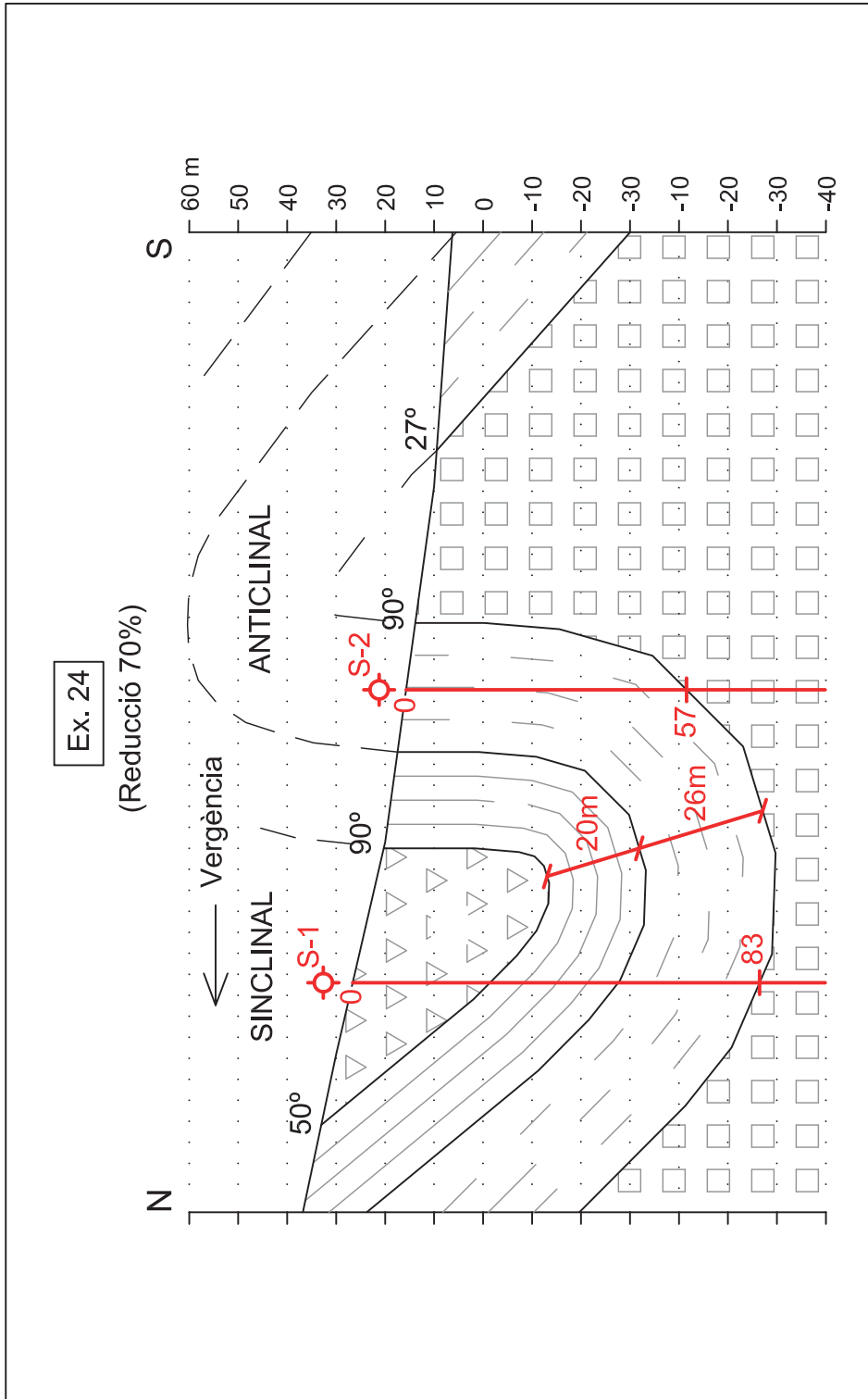




Ex. 23

(Reducció 70%)





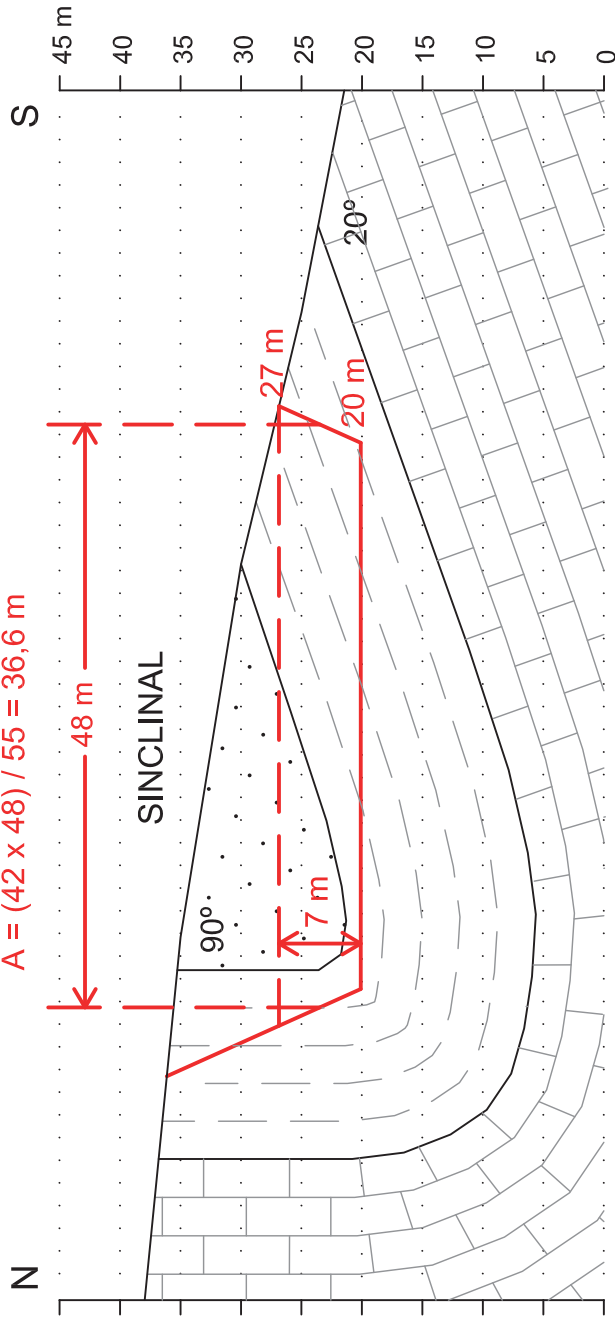


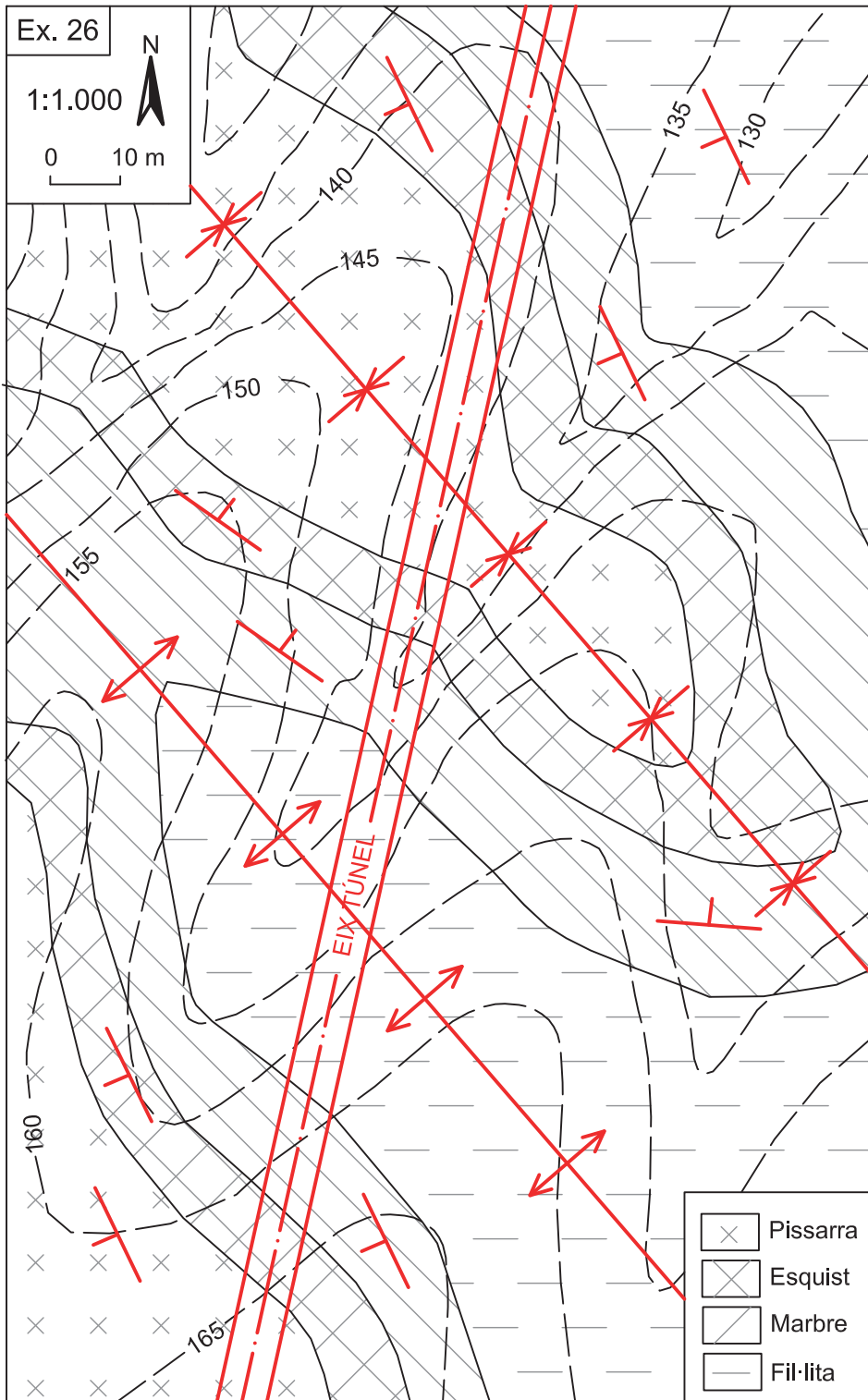
Ex. 25

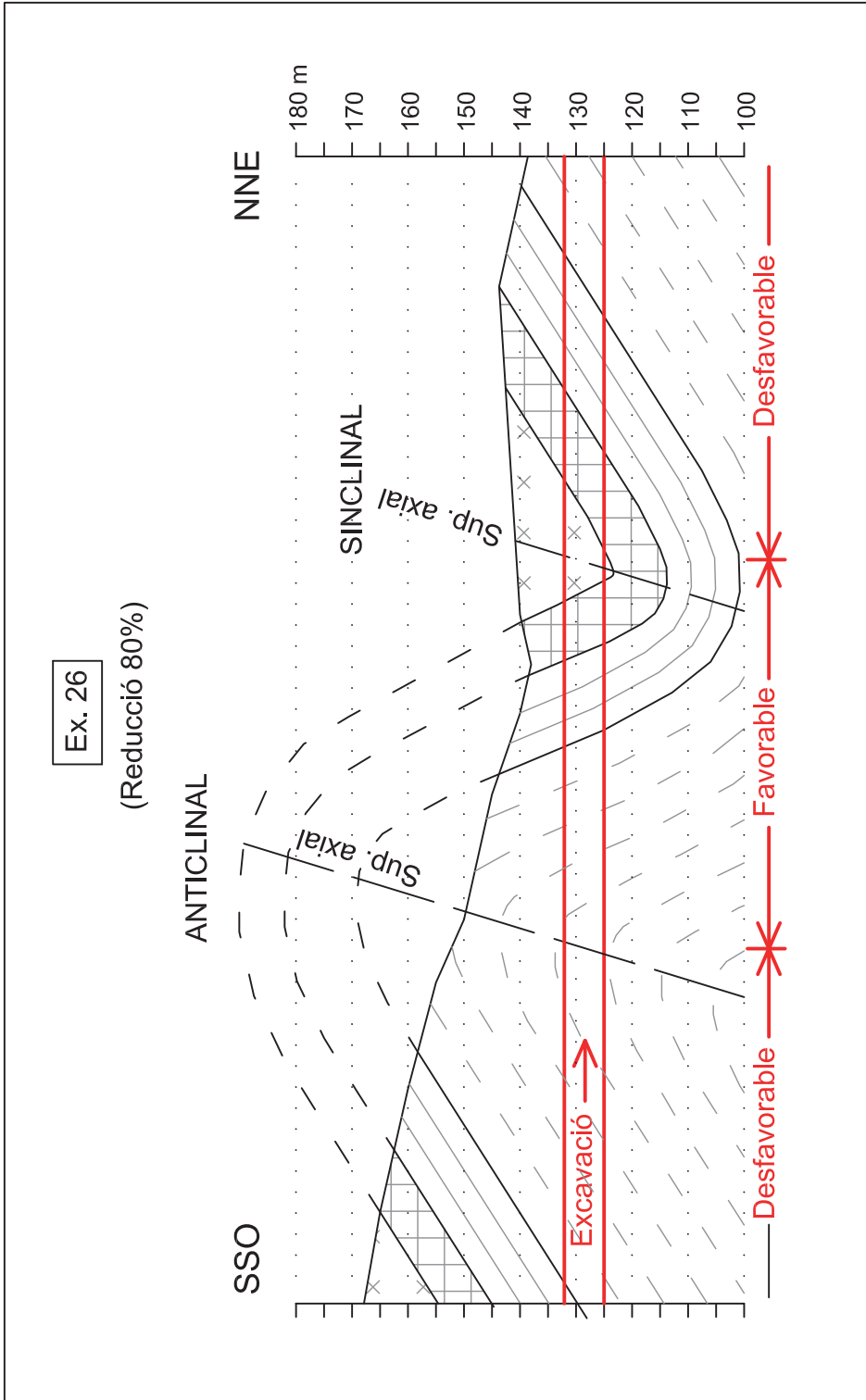
(Reducció 80%)

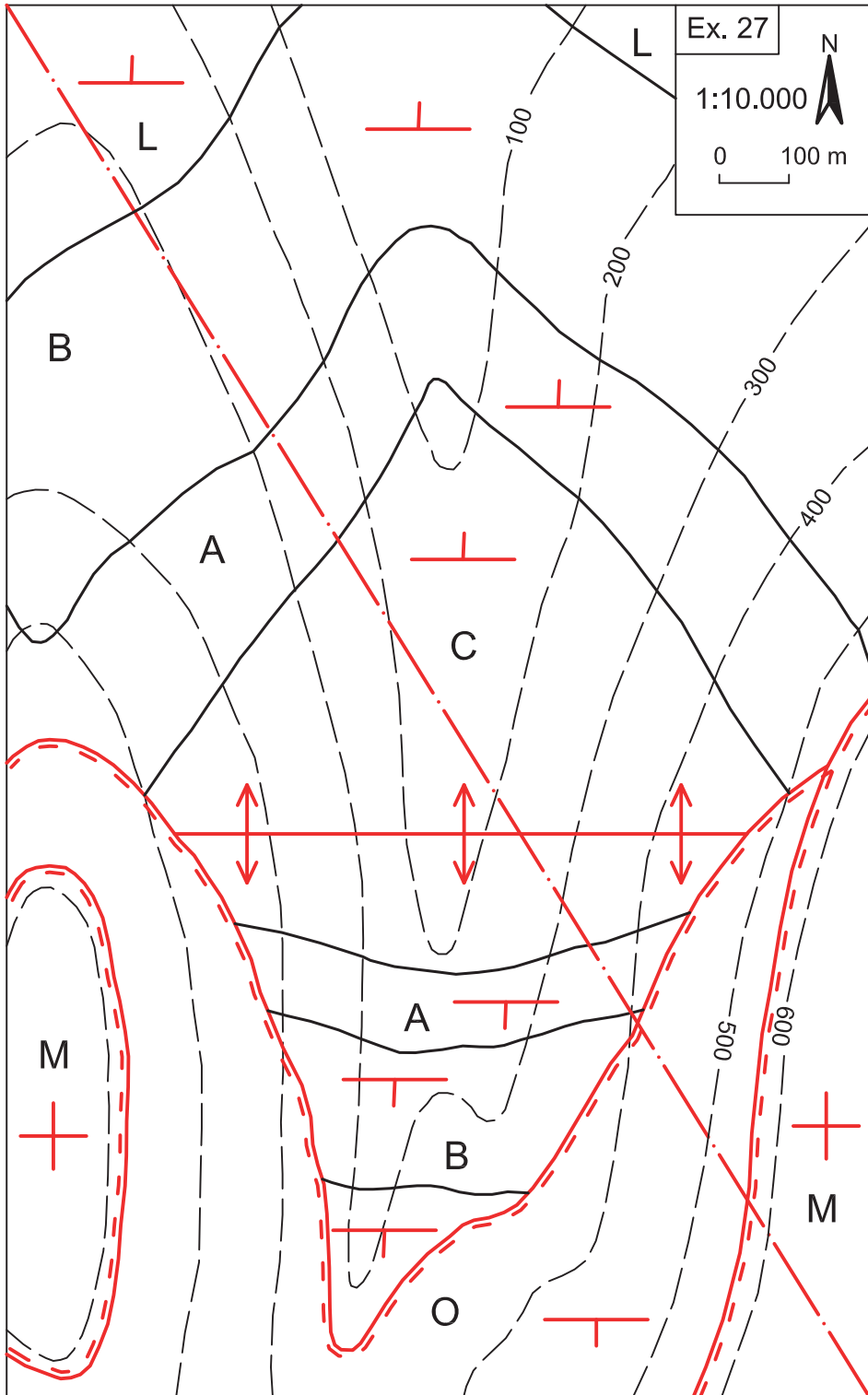
Volum d'aigua = $48 \times A \times 7 = 12.297,6 \text{ m}^3$

$A = (42 \times 48) / 55 = 36,6 \text{ m}$



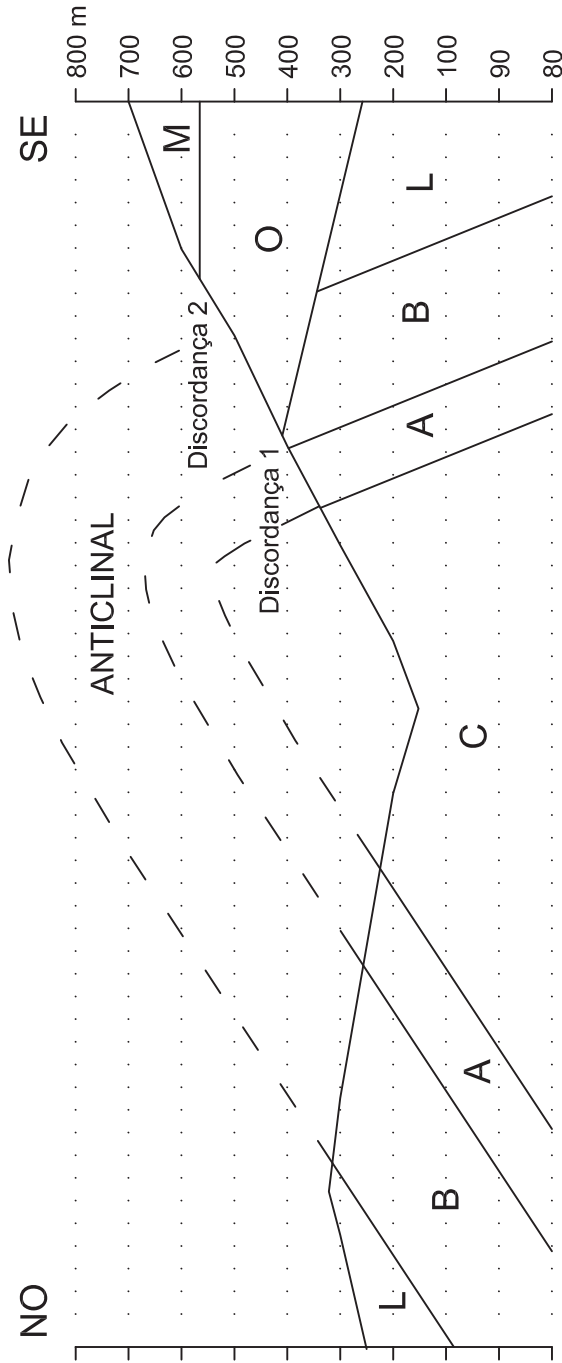




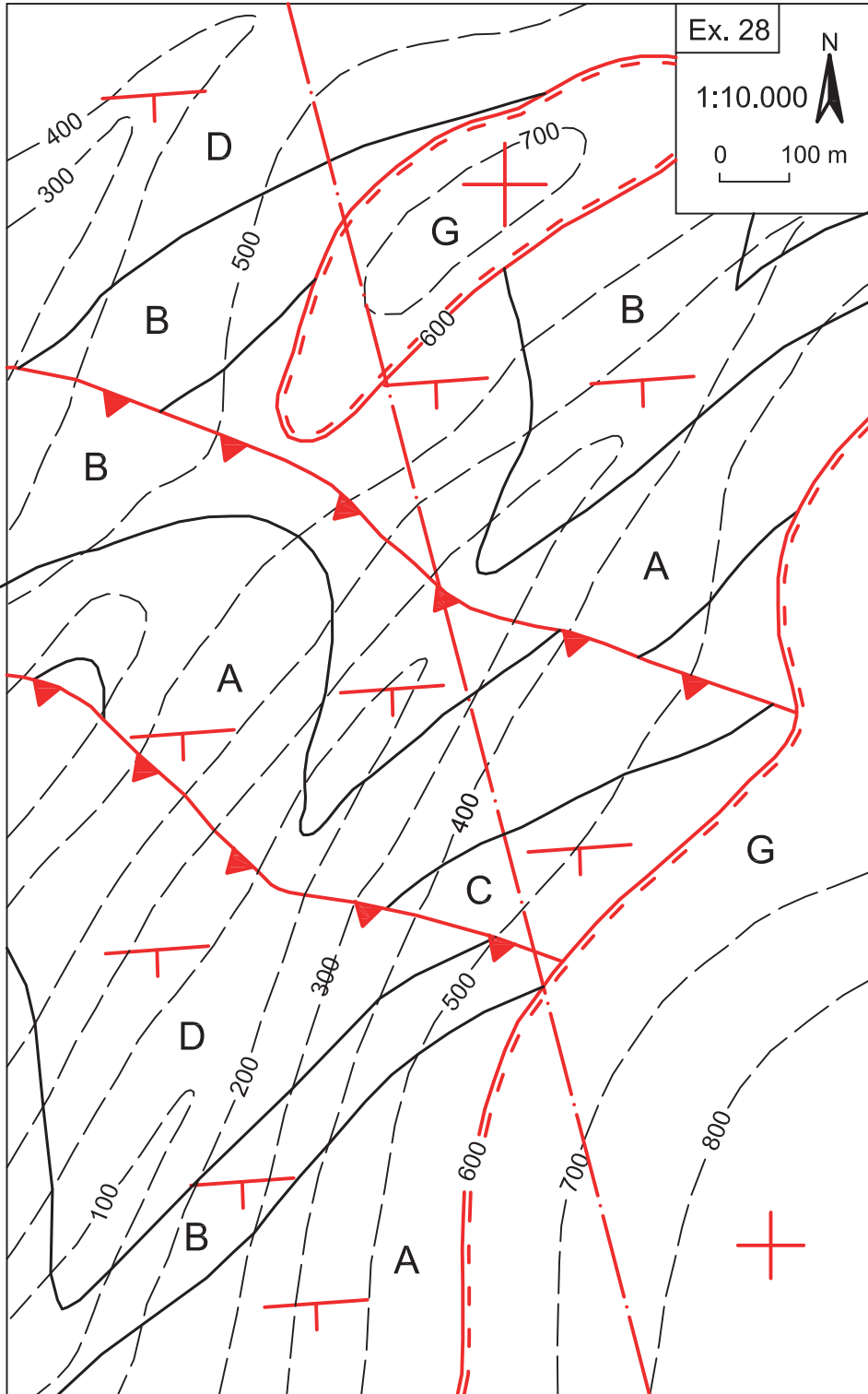




Ex. 27 (Reducció 70%)

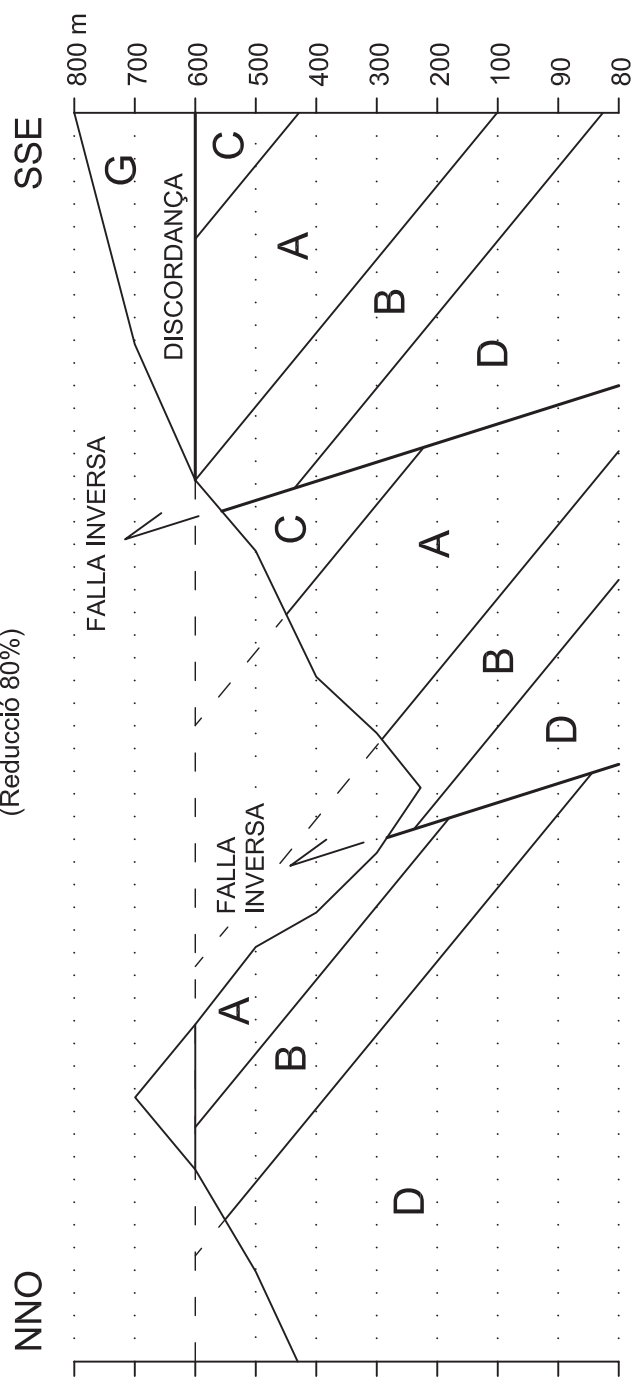


- (1) Deposió de les capes C, A, B i L
- (2) Plegament
- (3) Erosió del plec
- (4) Deposió de la capa O discordant sobre el plec erosionat
- (5) Basculament de la capa O
- (6) Erosió de la capa O
- (7) Deposió de la capa M discordant sobre la capa O
- (8) Erosió actual

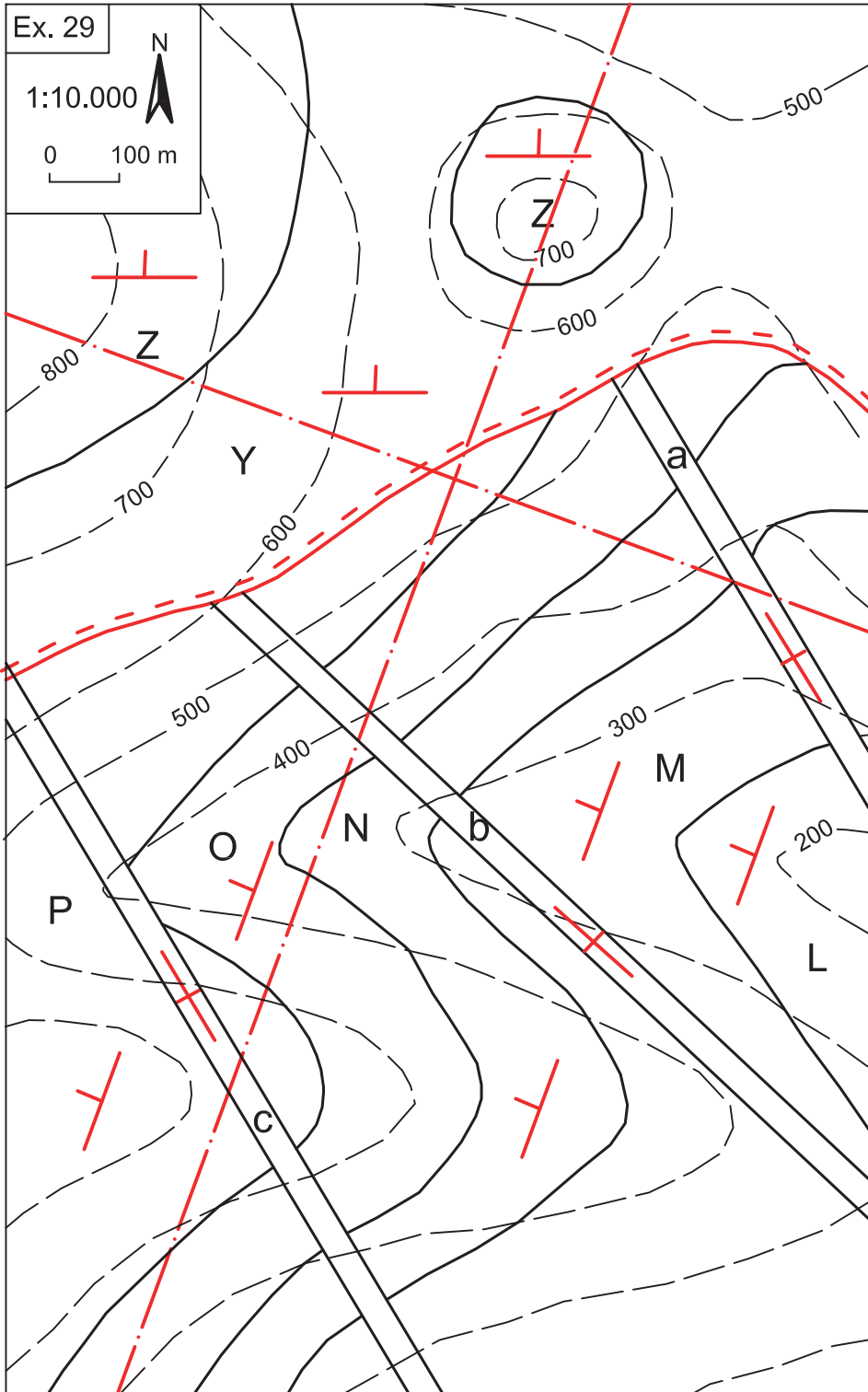


Ex. 28

(Reducció 80%)

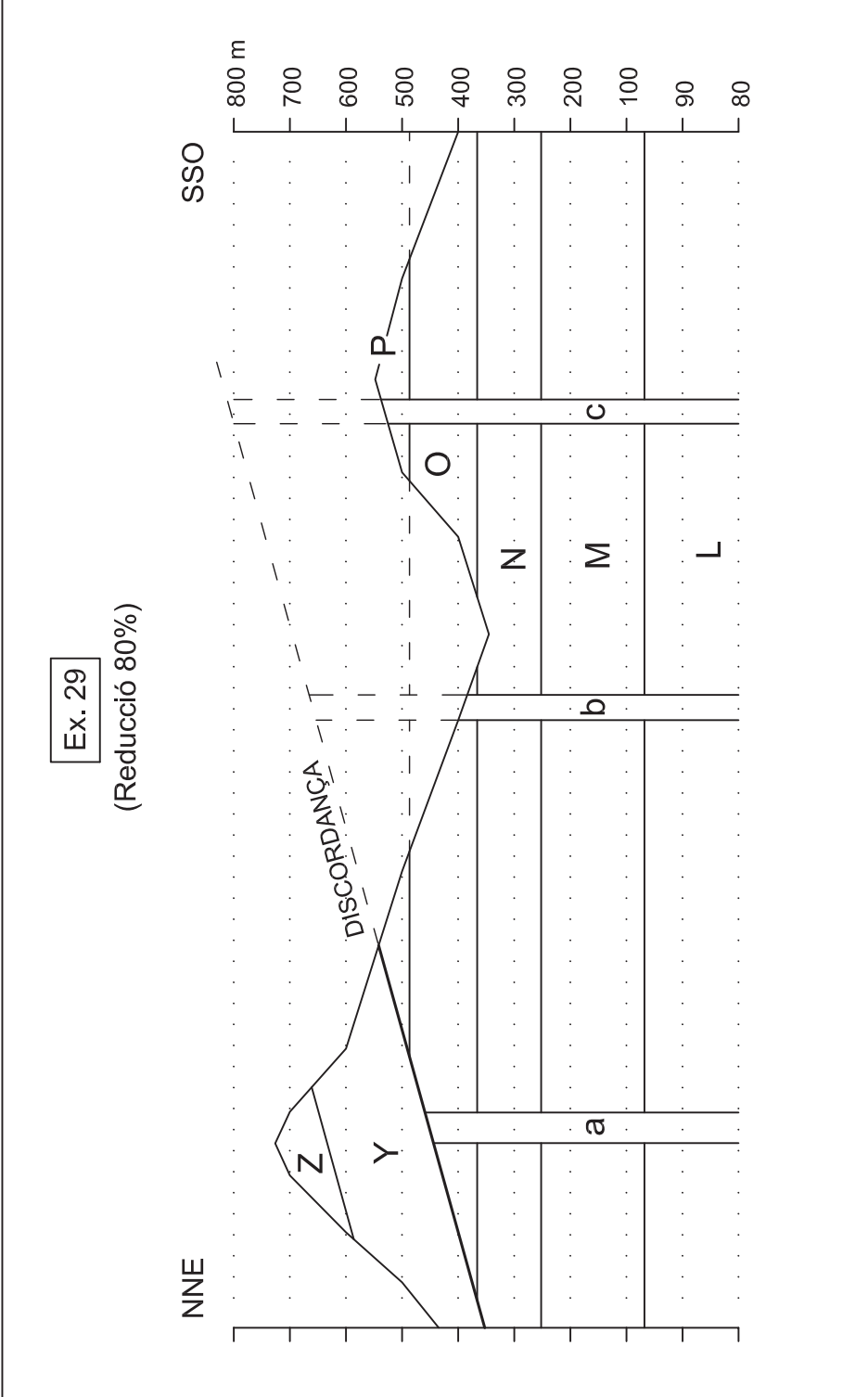


- (1) Deposició de les capes D, B, A i C
- (2) Baculament
- (3) Falles inverses
- (4) Erosió
- (5) Deposició de la capa G discordant
- (6) Erosió actual



Ex. 29

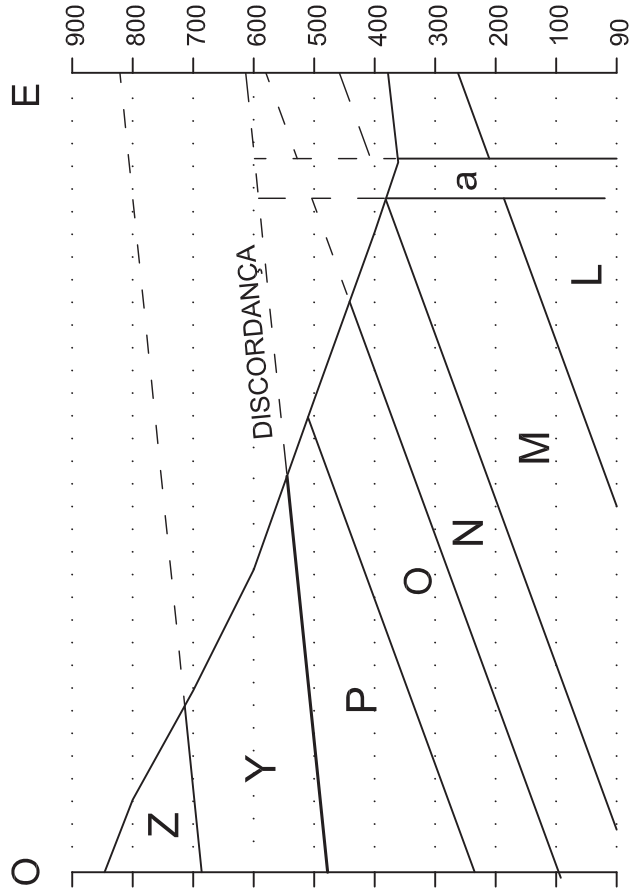
(Reducció 80%)



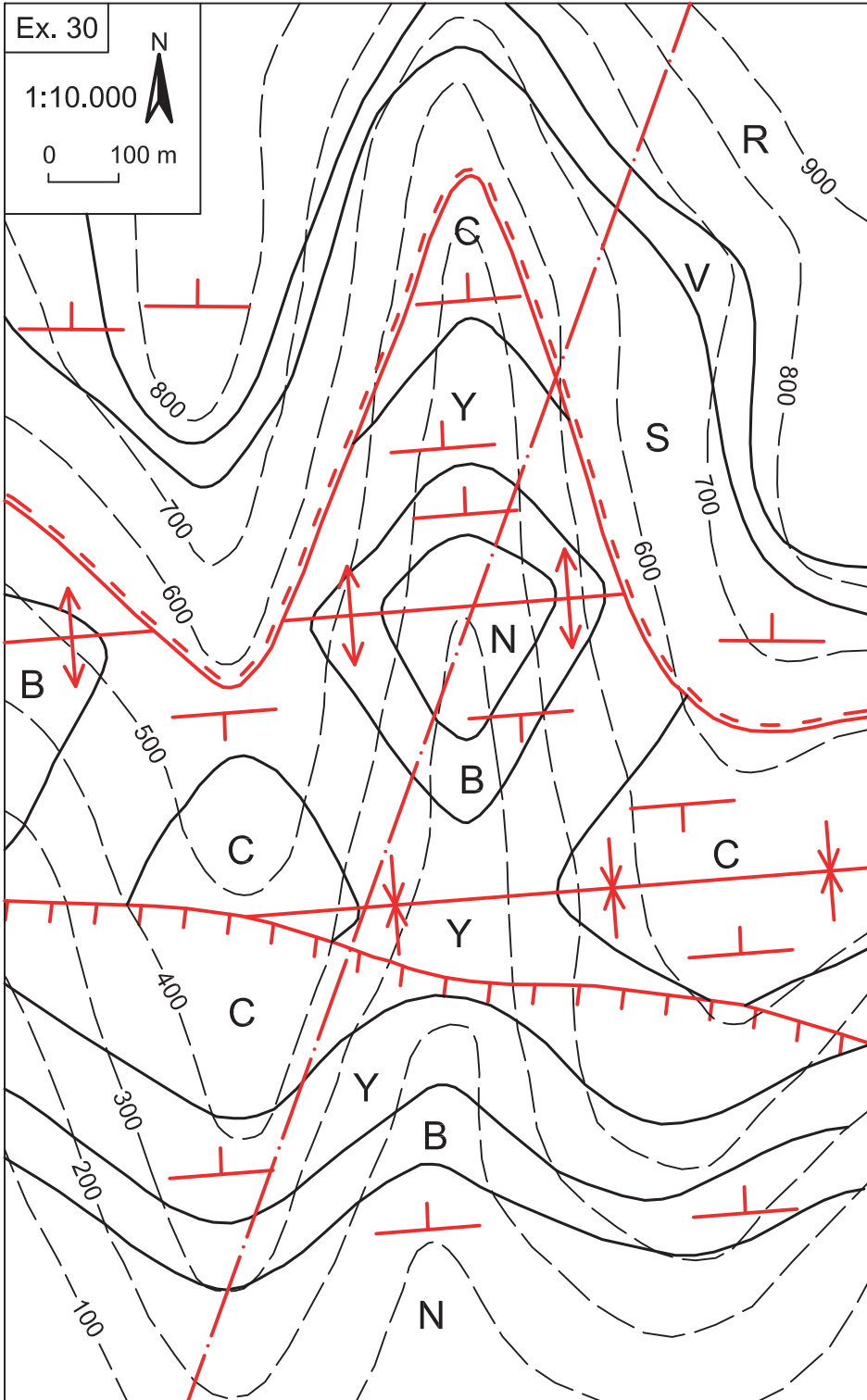


Ex. 29

(Reducció 80%)



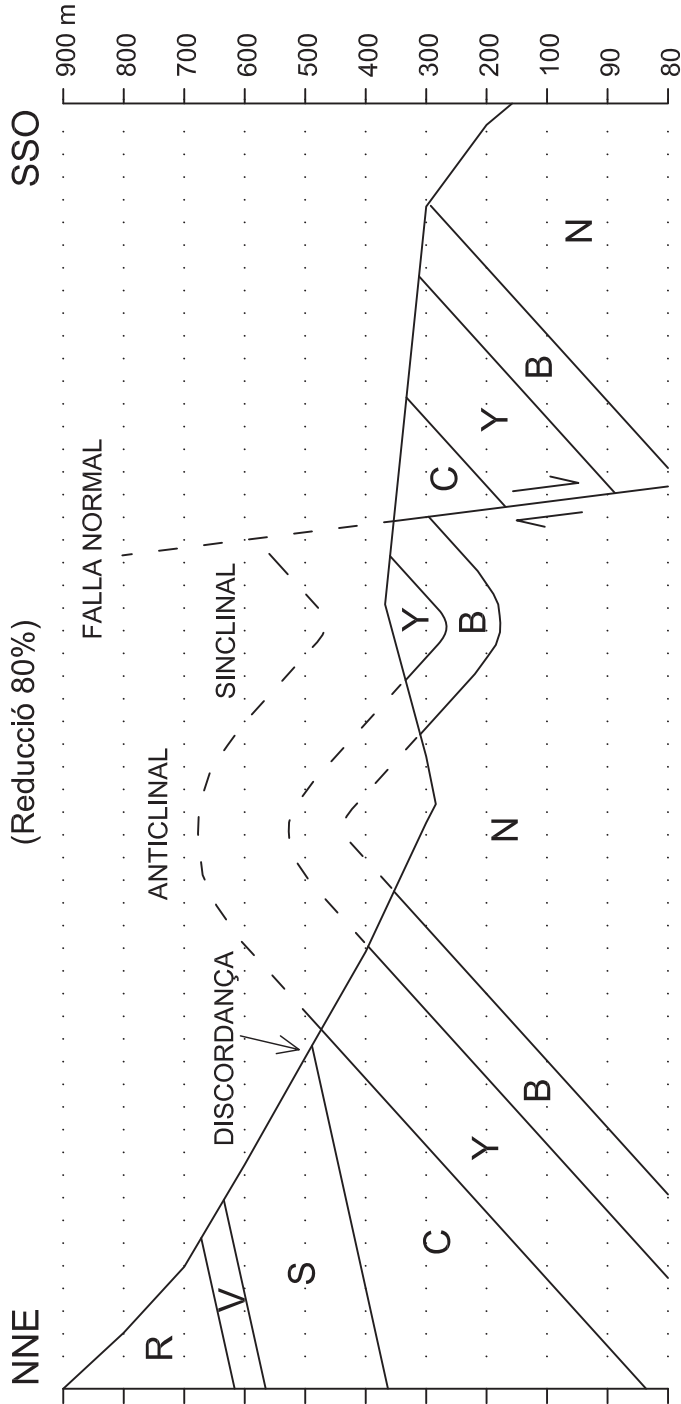
- (1) Deposició de les capes L, M, N, O i P
- (2) Basculament cap a l'oest
- (3) Intrusió dels dics a, b i c
- (4) Erosió
- (5) Deposició de les capes Y i Z discordants
- (6) Basculament cap al nord
- (7) Erosió actual



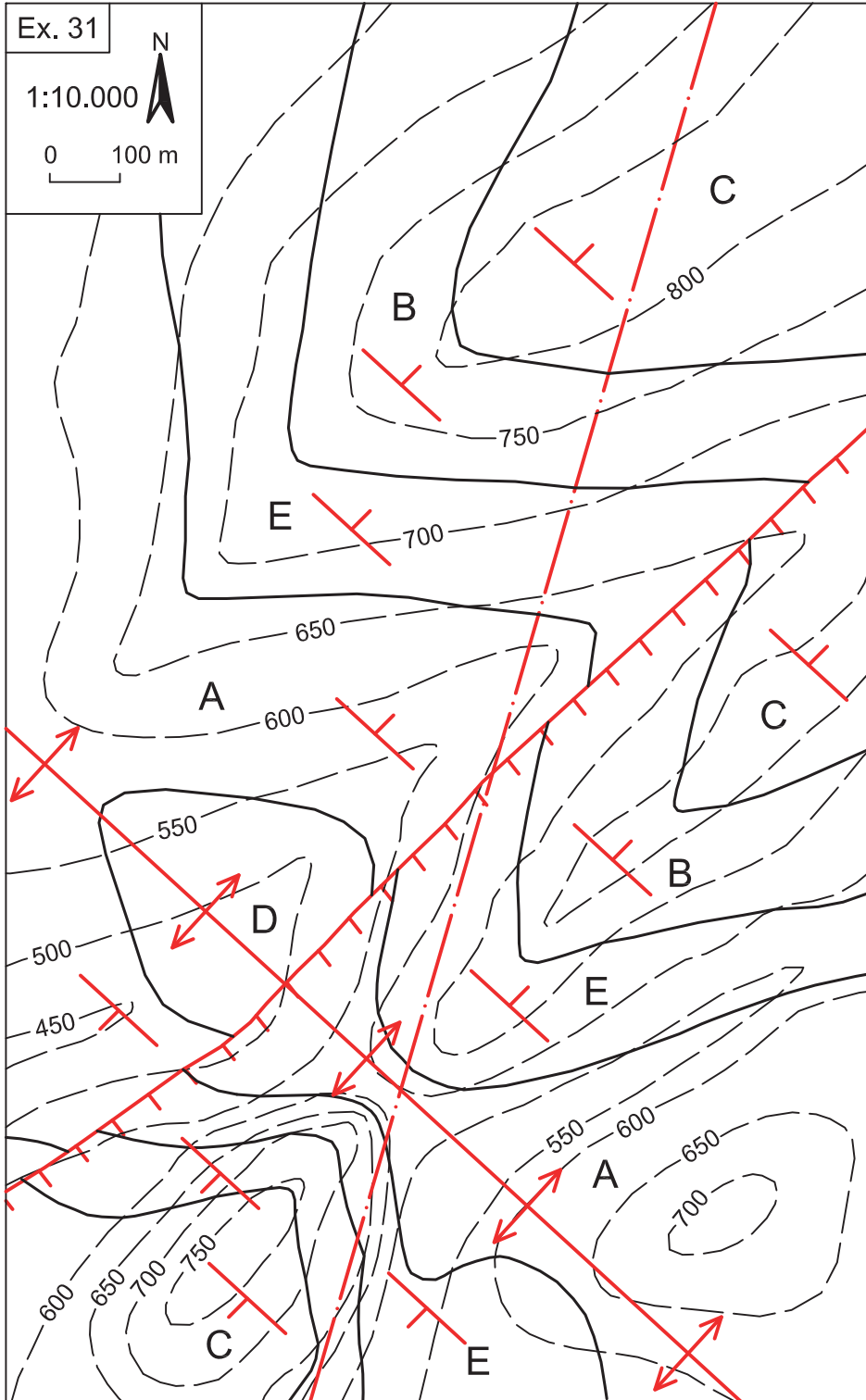


Ex. 30

(Reducció 80%)



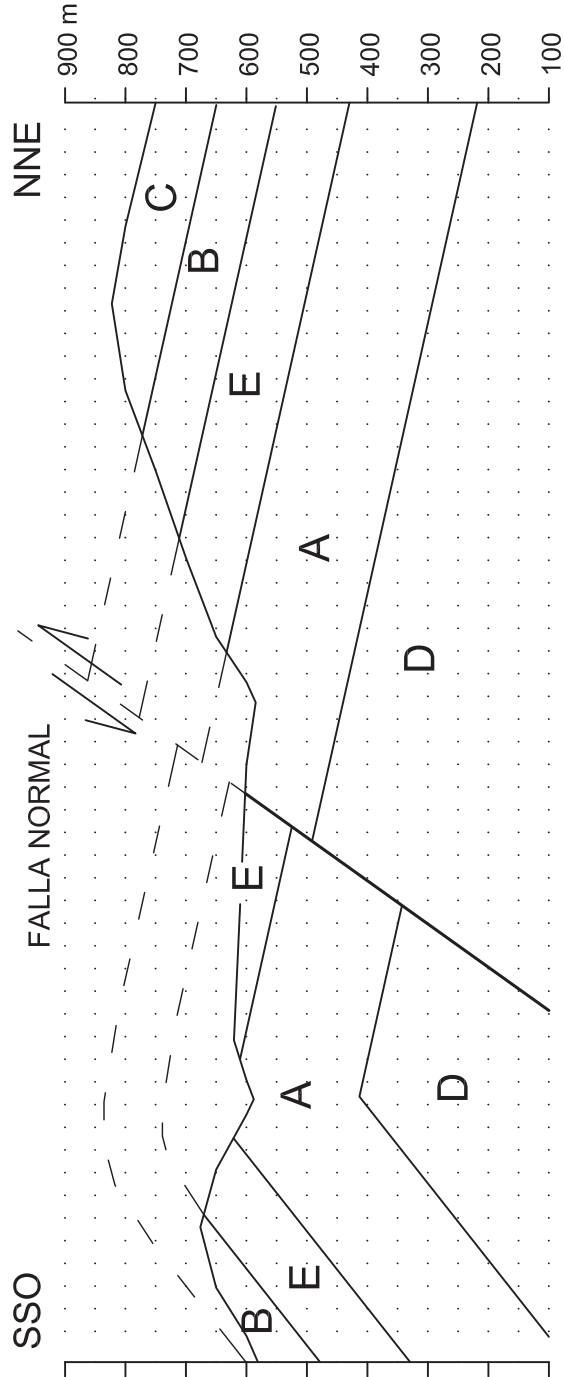
- (1) Deposició de les capes N, B, Y i C
- (2) Plegament
- (3) Falla
- (4) Erosió
- (5) Deposició de les capes S, V i R discordants
- (6) Erosió actual





Ex. 31

(Reducció 80%)

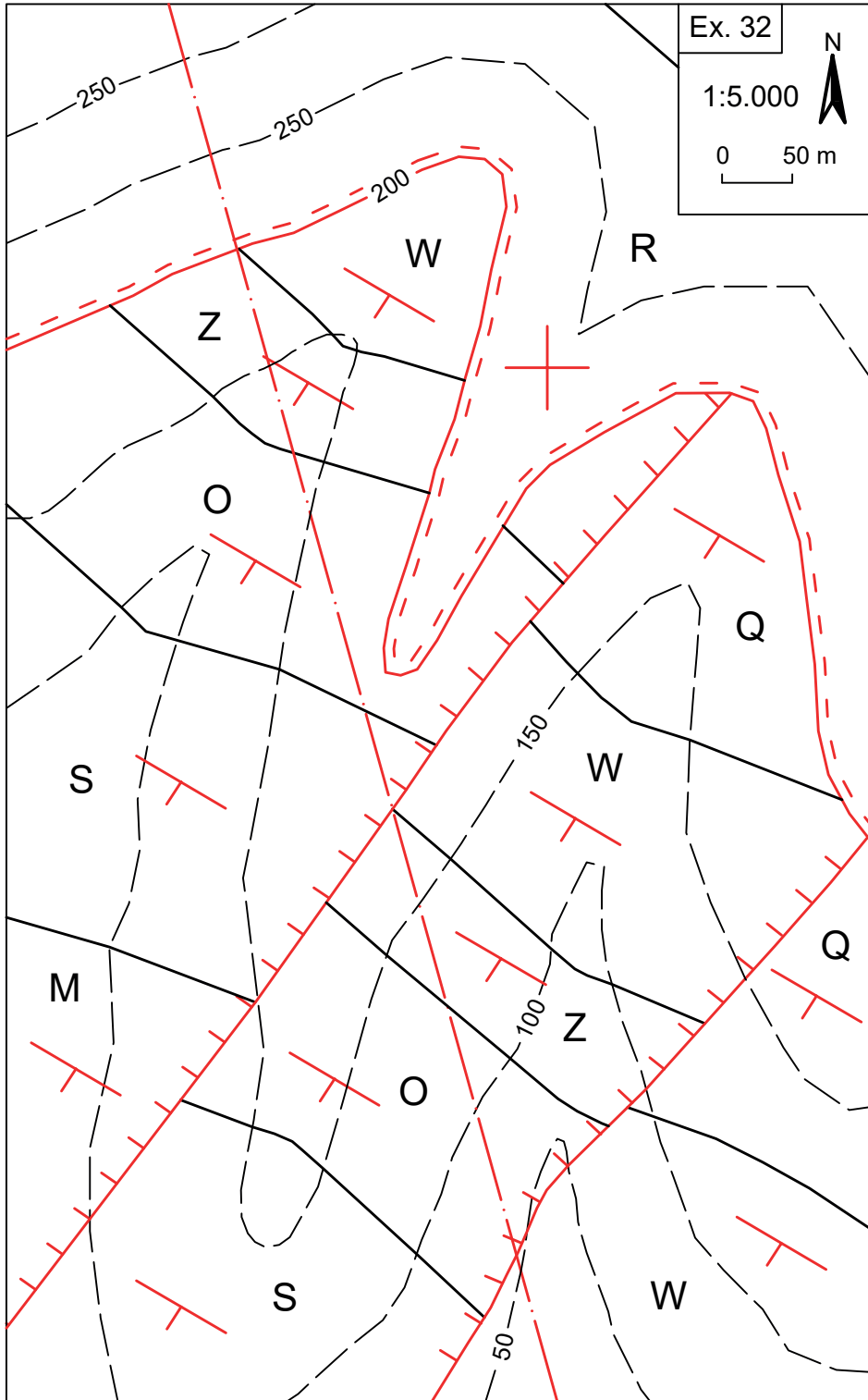


(1) Deposició de les capes D, A, E, B i C

(2) Plegament

(3) Falla normal

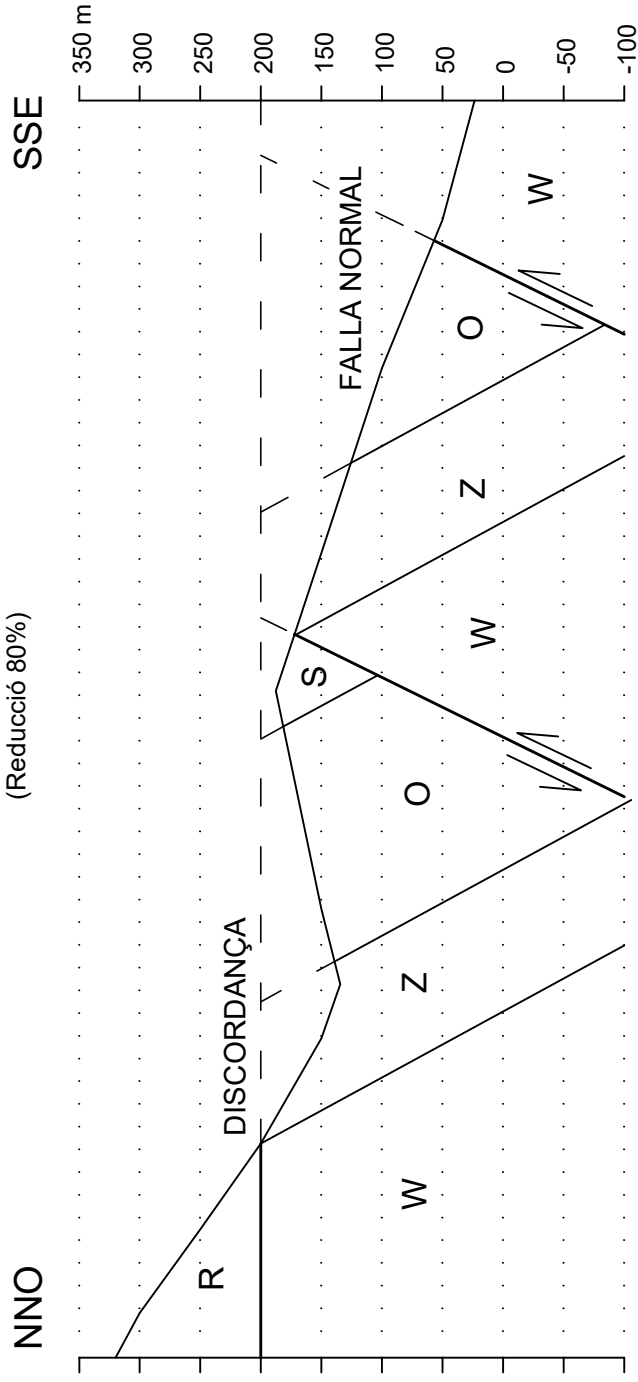
(4) Erosió



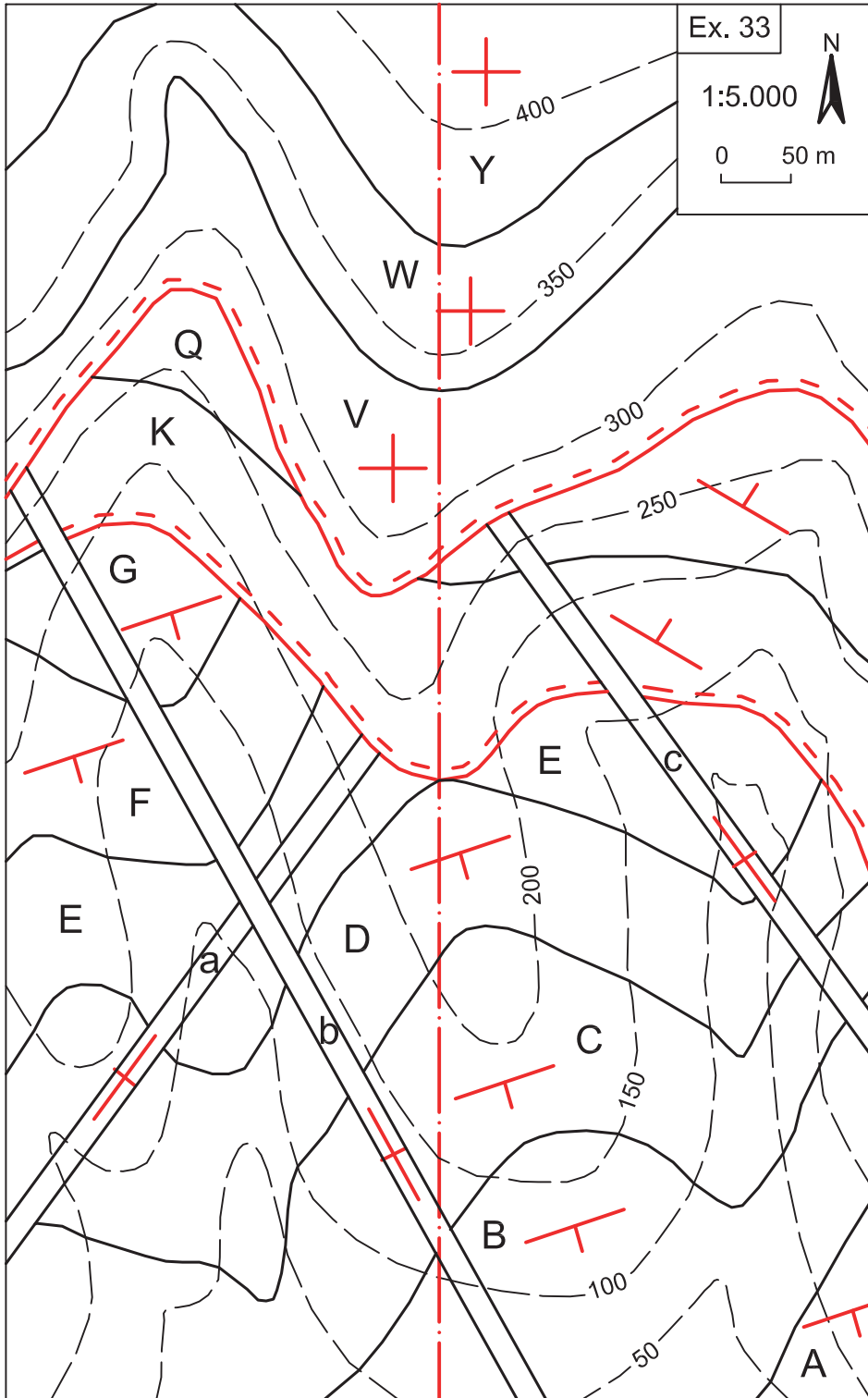


Ex. 32

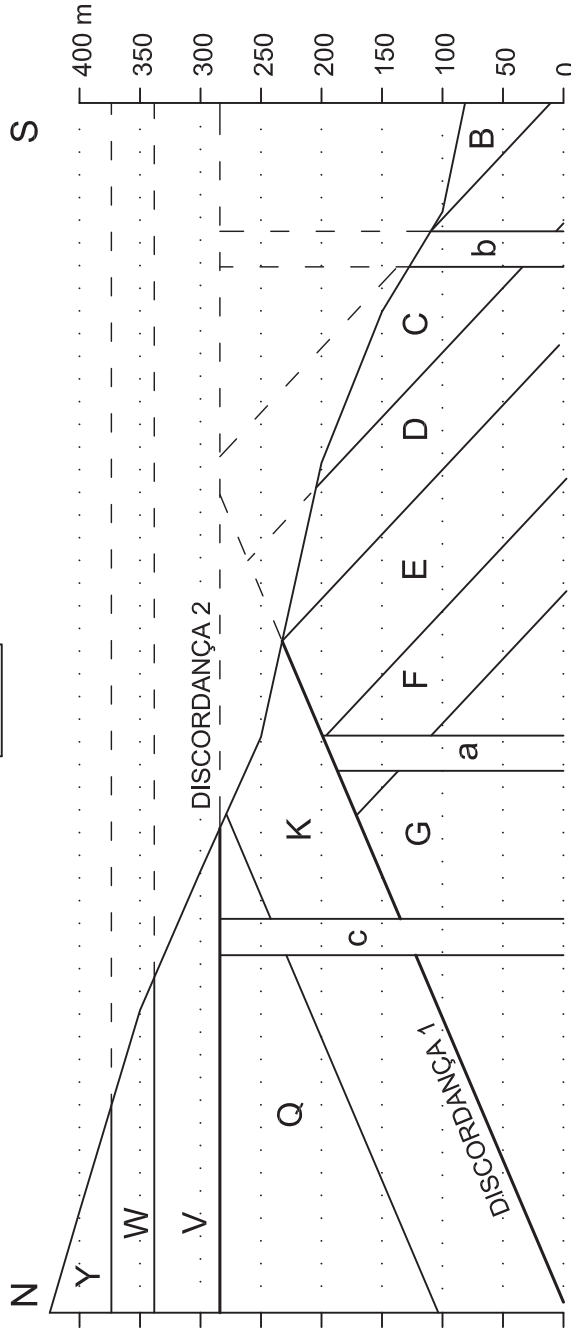
(Reducció 80%)



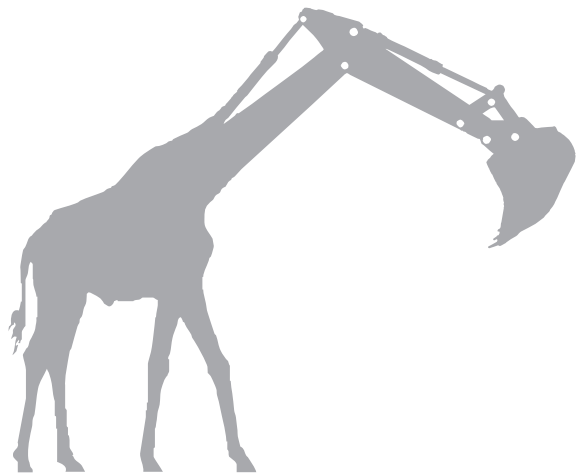
- (1) deposició capes Q, W, Z, O, S i M
- (2) basculament
- (3) falles normals
- (4) erosió
- (5) deposició capa R discordant



Ex. 33 (Reducció 80%)



- (1) Deposició de les capes A, B, C, D, E, F i G
- (2) Basculament cap al sud
- (3) Intrusió del dic a
- (4) Erosió
- (5) Deposició de les capes K i Q, discordança 1
- (6) Basculament cap al nord
- (7) Intrusió dels dics b i c
- (8) Erosió
- (9) Deposició de les capes V, W i Y, discordança 2
- (10) Erosió actual







Bibliografía

Bibliografía citada

Arche Millares, A. (2010): *Sedimentología. Del proceso físico a la cuenca sedimentaria*. Madrid: CSIC. 1288 p. ISBN 9788400091453

Boggs, S. (2012): *Principles of Sedimentology and Stratigraphy*. Pearson. 585p. ISBN 9780321643186.

Eicher, Don L. (1973): *El tiempo geológico. Fundamentos de las ciencias de la Tierra*. Omega. 149p. ISBN 8428203377

González de Vallejo, L. I. (2002): *Ingeniería geológica*. Madrid: Prentice Hall. 715p. ISBN 8420531049

Gutiérrez Elorza, M. (2008): *Geomorfología*. Pearson Prentice Hall. 920 p. ISBN 9788483223895

Mattauer, M. (1976): *Las deformaciones de los materiales de la corteza terrestre*. Barcelona: Omega. Col. Métodos. 524 p. ISBN 8428204403

Nichols, G. (2009): *Sedimentology and Stratigraphy*. WileyBlackwell. 432 p. ISBN 9781405193795

Ragan, D. M. (1980): *Geología estructural. Introducción a las técnicas geométricas*. Omega. 207p. ISBN 8428205558

Tarbuck E. J.; Lutgens, F. K. (2005): *Ciencias de la Tierra. Una introducción a la geología física*. 5a edició. Pearson Prentice Hall. 710p. ISBN 8420544000



Ventayol, A.; Albaigés, J. M.; Cortal, J. M.; Gallart, F.; López, C.; López, J. L.; Mascareñas, P.; Santaulària, J. (1978): *Mapa geotècnic de Barcelona, Badalona, Esplugues, L'Hospitalet, Sant Adrià i Santa Coloma*. Editat pels autors. Barcelona. 32 p.

Vera Torres, J. A. (1994): *Estratigrafía. Principios y métodos*. Madrid: Rueda. 806 p. ISBN 8472070743

Bibliografia sobre mapes geològics

Bennison, G. M.; Moseley, K. A. (2003): *An Introduction to Geological Structures and Maps*. London: Hodder Education. 160p. ISBN 9780340809563

Blyth, F. G. H. (1976): *Geological Maps and Their Interpretation*. Londres: Edward Arnold. ISBN 0713125683

Bolton, T. (1989): *Geological Maps: Their Solution and Interpretation*. Cambridge: University Press. 144p. ISBN 0521361583

Butler, B. C. M.; Bell, J. D. (1988): *Interpretation of Geological Maps*. Nova York: Longman Scientific & Technical. 236p. ISBN 0582301696

Lisle, R. J. (2004): *Geological Structures and Maps: A Practical Guide*. Amsterdam: Elsevier. 106 p. ISBN 9750657804

Maltman, A. (1990): *Geological Maps. An Introduction*. Milton Keynes: Open University Press. 184 p. ISBN 0335152228

Martínez Álvarez, J. A. (1981): *Geología cartográfica. Ejercicios sobre interpretación de mapas geológicos*. Madrid: Paraninfo. 271 p. ISBN 8428311358

Martínez Álvarez, J. A. (1985): *Mapas geológicos. Explicaciones e interpretación*. Madrid: . 281 p. ISBN 8428314101

Martínez Álvarez, J. A. (1989): *Cartografía geológica*. Madrid: Paraninfo. 477 p. ISBN 8428316848

Moseley, F. (1979): *Advanced Geological Maps Interpretation*. Londres: Edward Arnold. 80 p. ISBN 0713127384

Oms, O.; Vicens, E.; Obrador, A. (2010): *Introducción al mapa geológico (1): topografía y fundamentos*. Girona: Asociación Española para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra. 51p.

Platt, J. I. (1974): *Selected Exercises upon Geological Maps. Metric Edition*. Oxford: George Allen & Unwin Ltd. 31p. ISBN 0045500215



Platt, J. I. (1977): *A series of elementary exercises upon geological maps*. Oxford: George Allen & Unwin Ltd. ISBN 0045500193

Platt, J. I.; Challinor, J. (1974): *Simple geological structures: a series of notes and map exercises*. Oxford: George Allen & Unwin Ltd. 56p. ISBN 004550207

Pozo Rodríguez, M.; González Yélamos, J.; Giner Robles, J. (2004): *Geología práctica. Introducción al reconocimiento de materiales y análisis de mapas*. Madrid: Pearson Prentice Hall. 304p. ISBN 8420539082

Roberts, J. L. (1982): *Introduction to Geological Maps and Structures*. Oxford: Pergamon Press. 332p. ISBN 0080209203

Román, F. (2018): *Geología aplicada a las obras públicas. Problemas y ejercicios. Ejemplos y fundamentos*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. 301 p. ISBN 9788409073979

