

Estudis geotècnics per a l'edificació. Parts integrants i resultats que proporcionen

54

*Ignasi Capellà i Solà
Lluís Pallí i Buxó*

Introducció

Els estudis geotècnics tenen com a objectiu proporcionar la informació necessària d'un terreny per tal de poder projectar-hi la fonamentació més adequada. El seu àmbit es limita a una parcel·la o solar en què hi ha projectada una obra, com ara la construcció d'una casa, un edifici de pisos o una nau industrial, entre altres. Algunes vegades, però, l'estudi no està lligat a cap obra concreta i la seva sol·licitud està simplement motivada per conèixer les aptituds constructives d'un terreny. Així, en funció d'aquestes i del consegüent cost que es preveu en la fonamentació, aquest terreny despertarà o no interès de cara a la seva adquisició o per desenvolupar-hi un projecte concret.

Estructura i resultats

Pel que fa a la seva estructuració, els estudis geotècnics consten de dos grans apartats: el d'informació prèvia, antecedents i metodologia i el de resultats.

En el primer figuren les referències següents:

- Dades de què es disposa del terreny. Es particularitza als usos previs de la parcel·la, a la geomorfologia, a la litologia i a la hidrogeologia.

Els estudis geotècnics tenen com a objectiu proporcionar la informació necessària d'un terreny per tal de poder projectar-hi la fonamentació més adequada o conèixer-ne les aptituds constructives



El reconeixement del terreny és bàsic per la fonamentació a realitzar
(Foto: Arxiu UG)

- Detalls atribuïbles a l'edificació projectada que ha d'aportar qui sol·licita l'estudi. Són importants, entre altres, el nombre de plantes que hi haurà per damunt i per sota de la rasant del terreny, si hi haurà o no moviments de terres, i els punts de l'estructura que més carregaran al terreny.
- Experiència de fonamentacions prèvies i properes. Són d'especial interès aquelles que han resultat ser problemàtiques, ja que es tindran en compte a l'hora de recomanar o descartar opcions de fonamentació.
- Treballs realitzats per reconèixer el terreny. S'indiquen els tipus de prospecció, el nombre de punts de reconeixement, les fondàries assolides, les mostres preses i els assaigs *in situ* i de laboratori que s'han practicat. A més, tot sovint, s'explica en què consisteixen alguns d'aquests assaigs i s'esmenta l'aparellatge utilitzat.

El segon apartat, el de resultats, proporciona les dades d'interès per a la fonamentació. Sol constar dels quatre subapartats següents: el de caracterització dels materials, el d'hidrogeologia, el de càlcul de la capacitat portant i dels assentaments i el de conclusions.

Caracterització dels materials

En aquest subapartat, el sòl i/o subsòl del terreny es divideix en un seguit de nivells de materials geològicament i mecànicament homogenis fixats mitjançant l'estudi dels testimonis dels sondatges i a partir dels resultats dels assaigs practicats *in situ* i al laboratori. Els horitzons es defineixen i caracteritzen per separat, sempre amb un ordre descendent (primer el més som i finalment el més profund), i s'identifiquen mitjançant lletres o números successius.

Des del punt de vista geològic, la caracterització se centra en la composició, la geometria i la posició que aquests nivells ocupen en el sòl. Així, per a cadascun es proporcionen les dades següents:

- Composició litològica. Es descriuen els materials que formen el nivell.
- Variacions laterals o verticals de fàcies. Es fa referència a si hi ha variacions progressives en la composició dels materials.
- Extensió horitzontal. S'indica si el nivell s'estén per a tota la parcel·la o, si no, en quina part es troba.
- Fondària a què es troben els límits superior i inferior. Es pot concretar per a cadascun dels punts de reconeixement o mitjançant els valors extrems. A més, se sol especificar si són uniformes i la tendència que segueixen.
- Potència o gruix. Es donen els valors extrems i, si es considera oportú, es detallen les variacions entre diferents punts de la parcel·la.

Des del punt de vista mecànic, la caracterització fa referència a les seves propietats, intrínseques i extrínseques i, a més, als paràmetres geotècnics que informen de la seva resposta davant d'un estímul extern (taula I).

En relació amb les propietats, les que s'analitzen més sovint són les següents:

- Granulometria. Examina la distribució de mides de les partícules constituents del sòl. Així, s'esbrina si es tracta de graves o sorres, ben o mal classificades, o bé si correspon a un sòl de gra fi format per partícules inferiors a 0,08 mm (llims i argiles). Aquest és un aspecte molt important dels sòls ja que, a efectes pràctics, permet dividir-los en dos grups, els cohesius i els no cohesius o granulars. En els primers predominen els fins i en els segons les sorres i les graves. El seu comportament mecànic diferenciat fa que exhibeixin propietats particulars i que s'estudiïn de manera desigual.
- Consistència. Correspon al grau de solidesa que mostren els sòls cohesius. S'indica la que presenta el sòl en el moment de ser reconegut.
- Humitat natural. És la relació entre el pes de l'aigua intersticial d'un volum de sòl inalterat i el seu pes un cop assecat.
- Estats de consistència. Es determinen els valors de la humitat del sòl que marquen el trànsit entre els estats de consistència líquida, plàstica, semisòlida i sòlida.
- Capacitat. S'expressa mitjançant la densitat relativa i s'utilitza per fer referència al grau d'empaquetament dels sòls granulars.
- Densitat aparent o humida. És la que presenta el sòl en el seu estat natural.

Pel que fa als paràmetres geotècnics, es quantifiquen els vinculats a la resistència al tall i a la deformació dels sòls. Els valors que s'obtenen són molt valuosos ja que tenen incidència directa en els càlculs de la capacitat portant i dels assentaments. A més, també s'utilitzen per determinar les pressions horitzontals que exerciten les terres. D'aquests paràmetres, els més usuals són els següents:

- Cohesió. És la resistència a la ruptura derivada de les forces d'atracció electroquímiques que existeixen entre les partícules del sòl. Només s'estudia en sòls en què hi ha una fracció mínima d'argila.
- Angle de fregament intern. És l'angle límit per damunt del qual, un cop superada la cohesió, es pot produir el lliscament. Correspon, de manera aproximada, a l'angle del talús natural, aquell per sota el qual el terreny es manté estable un cert període. Juntament amb la cohesió, regeixen l'equació fonamental de la resistència dels sòls d'acord amb el criteri de ruptura de Mohr-Coulomb.
- Índex de compressió i mòdul edomètric. Indiquen, de manera diferent, el grau de deformació que pateixen els sòls en relació amb un interval concret de pressions creixents.

Altres dades importants, però menys usuals, són aquelles que estan lligades amb alguna problemàtica concreta del terreny que es vol fonamentar. En el cas de sòls amb argiles expansives se sol donar, per exemple, la magnitud de la pressió d'inflament. Una altra situació és aquella en què se sospita que el terreny és agressiu al formigó, fet que exigeix una anàlisi química del sòl per tal de poder dir quins són els elements nocius i en quina concentració es troben. D'aquesta manera es podrà saber a quin tipus de ciment especial s'ha de recórrer.

Des del punt de vista geològic, la caracterització dels nivells de materials se centra en la seva composició, geometria i posició en el sòl

Des del punt de vista mecànic, la caracterització fa referència a les seves propietats intrínseques i extrínseques, a més dels paràmetres geotècnics sobre la seva resposta a un estímul extern

Propietats	Assaig	Normativa aplicada
Granulometria	Anàlisi granulomètrica per tamisatge o per sedimentació (mètode del densímetre)	UNE 103-101-95 UNE 103-102-95
Humitat natural	Determinació del contingut d'humitat d'un sòl mitjançant assecatge en estufa	UNE 103-300-93
Estats de consistència (plasticitat)	Determinació del límit líquid d'un sòl pel mètode de l'aparell de Casagrande	UNE 103-103-94
	Determinació del límit plàstic d'un sòl	UNE 103-104-93
	Determinació del límit de retracció d'un sòl	UNE 103-108-96
Pes específic	Determinació de la densitat d'un sòl. Mètode de la balança hidrostàtica	UNE 103-301-94

Paràmetres geotècnics	Assaig	Normativa aplicada
Resistència al tall (cohesió i angle de fregament intern)	Assaig de tall directe	UNE 103-401-98
Deformació (índex de compressió i mòdul edomètric)	Assaig de consolidació unidimensional d'un sòl en l'edòmetre	UNE 103-405-94

Taula 1.
Relació dels assaigs de laboratori
més freqüents, juntament amb
la normativa per portar-los a terme.

La caracterització mecànica es completa amb la indicació, per a cadascun dels nivells de materials definits, del tipus de sòl a què correspon. Aquesta indicació està lligada a un sistema de classificació establert, el qual no és més que un llenguatge comú per poder identificar de manera ràpida el tipus de terreny. El més emprat és el sistema unificat de classificació dels sòls (USCS), adaptat del que Casagrande va proposar l'any 1942 basat en la granulometria i la plasticitat.

Cal dir que, en definir els nivells de materials, té més importància la uniformitat mecànica que no pas la geològica. Així, per exemple, sorres de la mateixa composició i origen, però de diferent grau de compacitat, quedarien dividides en dos nivells diferenciats. De la mateixa manera, argiles d'aspecte similar però de consistència desigual s'agruparien per separat. Tanmateix, en la majoria d'ocasions, els límits geològics solen coincidir amb aquells que es defineixen a partir de criteris mecànics.

Així mateix, la caracterització dels materials va acompanyada gràficament de la realització de tall geològic on, a més de traçar els límits entre els nivells reconeguts, se solen indicar els resultats d'alguns dels assaigs *in situ*.

Hidrogeologia

En aquest subapartat es proporciona informació de l'aigua del terreny amb les dades següents:

- Fondària a què es troba el nivell freàtic, amb referència de la data en què s'ha mesurat.
- Oscil·lacions que es preveuen.
- Extensió de la zona saturada en l'àmbit de la parcel·la.

La hidrogeologia proporciona informació de l'aigua en el terreny estudiat

- Existència de fluxos preferents per damunt del nivell freàtic relacionats amb algunes litologies concretes.
- Agressivitat de l'aigua al formigó, a partir d'una anàlisi química de l'aigua per determinar la presència i concentració de substàncies nocives.

Càlcul de la capacitat portant i dels assentaments

A partir de les dades proporcionades fins al moment en els altres subapartats, ara ja es pot calcular la capacitat portant del terreny. Tanmateix, abans cal plantejar-se les diferents opcions de fonamentació, és a dir, decidir quin o quins nivells poden suportar-la. Per fer-ho cal tenir present, d'una banda, el gruix, l'extensió, la fondària i la qualitat geotècnica de cada nivell, i de l'altra, els aspectes relacionats amb l'obra projectada. Així, per exemple, no se solen considerar per a la fonamentació els nivells de molt poc gruix, els d'extensió horitzontal limitada i els de poca consistència o compacitat. També es descarten aquells horitzons propers a la superfície que es preveu que siguin excavats en fer-se un rebaix o en executar la fonamentació.


Per als nivells de fonamentació es calcula la càrrega d'esfondrament i, a partir d'aquí, la càrrega admissible. La primera correspon a la pressió màxima que teòricament pot suportar el terreny sense que es produeixi la ruptura. Es calcula a partir dels valors de la cohesió i de l'angle de fregament intern del nivell que es tracta. La càrrega admissible, per la seva banda, és la pressió de treball, és a dir, la que els elements de fonamentació podran transmetre, com a màxim, al terreny. Així, a partir d'aquesta càrrega, els fonaments s'hauran de dimensionar per tal de no superar-la. Aquesta càrrega s'obté en dividir la d'esfondrament per un factor de seguretat que, en general, sol prendre un valor 3. Malgrat el que pugui semblar, aquest no és un valor excessivament conservador si es considera que els sòls no són ni homogenis ni isòtrops, fet que comporta un cert grau d'incertesa amb els resultats que s'obtenen. En el cas dels sòls granulars, en els quals quantificar els dos paràmetres geotècnics esmentats és difícil, la càrrega admissible se sol determinar directament a partir de paràmetres de resistència o deformabilitat deduïts en assaigs *in situ* practicats amb penetròmetres, pressiòmetres o plaques de càrrega. Les càrregues d'esfondrament i admissible s'indiquen respectivament com a q_i i q_{adm} i s'expressen en kg/cm^2 o t/m^2 .


Cal advertir que, en el càlcul de la pressió d'esfondrament, els valors de la cohesió i de l'angle de fregament intern que s'adapten són els més conservadors. D'aquesta manera, la càrrega admissible resultant és vàlida a tots els punts de la parcel·la i, a més, amb un marge de seguretat mínim com el que s'ha esmentat abans. Si es procedís d'una altra manera, és a dir, si es fessin els càlculs a partir dels valors mitjans o dels més alts, l'aplicació de la càrrega admissible comportaria el risc de sobrepassar la

Per als nivells de fonamentació es calculen la càrrega d'esfondrament (pressió màxima que pot suportar el terreny) i la càrrega admissible (pressió màxima que hi podran transmetre els elements de fonamentació)



pressió d'esfondrament en les zones relativament més defectuoses. A més, per considerar la càrrega admissible com a vàlida, des del punt de vista de la resistència al tall, també es té en compte la capacitat portant dels materials que hi ha per sota del nivell que s'estudia. En el cas que sigui inferior, es comprova si la sobrepressió que afectaria aquests materials és inferior o superior a la seva pròpia capacitat portant. En el darrer cas es procedeix a reduir el valor de la càrrega admissible abans determinada.

Un cop determinades les càrregues es preveu l'assentament. Com a tal s'entén el descens que experimentarà la superfície on recolza la fonamentació. Aquest descens està relacionat amb la disminució del volum de porus del sòl, és a dir, amb la compressió del sòl, i és provocat per les pressions que transmeten els fonaments. El càlcul de l'assentament es basa en paràmetres com l'índex de compressió o mòdul edomètric i se sol expressar en cm. És important destacar que la pressió amb què es calcula la seva magnitud correspon a la de la càrrega admissible. Això vol dir que, en el cas que la fonamentació treballi amb pressions per sota de l'admissible, l'assentament serà també teòricament inferior.






MAGATZEMISTA DE FERROS, FERRETERIA INDUSTRIAL I CONSTRUCCIÓ

<p>FERRETERIA</p> <p>Eines de mà - Electroportàtils - Cargoleria Soldadura - Abrasius - Eines de tall - Panyes Rodes - Forja - Escales</p>	<p>CONSTRUCCIÓ I OBRES PÚBLIQUES</p> <p>Eines - Maquinària - Formigoneres Elevadores - Talladores Trossejadores - Bastides - Puntals Encofrats metàl·lics Fustes - Fosa - Carretons - Senyalització Barres - Portes basculants - Discs diamant</p>	<p>PROTECCIÓ LABORAL</p> <p>Calçat de seguretat - Ulleres Guants - Cascos - Pantalles Màscares - Vestuari Protecció oïda</p>
<p>SUBMINISTRAMENTS INDUSTRIALS</p> <p>Materials d'elevació - Cables - Eslingues Materials d'equipament de tallers Metall desplegat - Productes químics Lubricants - Adhesius - Silicones - Pintures Electricitat - Grups electrògens Hidràulica - Pneumàtica - Metrologia</p>	<p>TREFILATGES</p> <p>Filats - Puntets Teles metàl·liques Enreixats - Tancats</p>	<p>SIDERÚRGICS</p> <p>Rodons - Plans - Angulars - Tubs Perfils en fred - Calibrats - Ferros Inoxidables - Alumini - Xapes neg. prelacades i perforades</p>
<p>MAQUINÀRIA</p> <p>Trossejadores - Trepants columna - Equips de soldadura - Cissalla - Plegadores Guillotines - Palanquins - Roscadors Hidronejadores - Compresors</p>	<p>PORTES</p> <p>Portes tallafocs - Vianants Extensibles i de garatges</p>	<p>LÍNIA DE TALL DE BIGUES</p> <p>BIGUES - IPN - IPE HEB - HEA UPN - UAP</p>
<p>PREFORMATS PER A LA CONSTRUCCIÓ</p> <p>Rodons corrugats - Malles electrosoldades Armatures - Ferrallats - Cèrcols</p>		<p>SERVEI • QUALITAT • EXPERIÈNCIA PROFESSIONALITAT • EFICÀCIA ECONOMIA</p>



Polígon Industrial MAS XIRGU - c/ George Stephenson, 2 - 17005 GIRONA - Tel. 972 23 90 60 - Fax 972 24 16 19

Un aspecte molt important al qual es fa referència és quan es preveu que els assentaments no siguin homogenis i simultanis a tota la parcel·la. En aquest cas, que està relacionat amb el fet que les zones actives dels fonaments afectin materials de comportament mecànic diferenciat, se sol donar el valor de l'assentament diferencial. Aquest valor correspon a la diferència entre els dos assentaments extrems que es preveuen.

És bàsic esmentar que les càrregues admissibles ofereixen seguretat tant respecte de la ruptura com en relació amb els assentaments. Aquest darrer aspecte significa que, si s'aplica aquesta pressió, la deformació del terreny que s'hi preveu associada serà acceptable per a l'estructura. Per això l'interès de saber el grau de tolerància als assentaments diferencials que tindrà l'edificació que es vol fonamentar. Algunes vegades les càrregues són segures pel que fa a la resistència, però, si s'arribessin a aplicar, comportarien una deformació excessiva del terreny. En aquest cas, per tal que aquestes pressions es considerin admissibles, es minoren fins al punt que els assentaments que es preveu siguin tolerables. Aquesta situació descrita és freqüent en sòls granulars, els quals solen presentar càrregues d'esfondraments molt importants a causa del seu elevat angle de fregament intern. Tanmateix, no hi ha garantia que els assentaments associats a les pressions de treball així obtingudes siguin acceptables. Aquest fet motiva que en aquest tipus de materials les càrregues admissibles es calculin a partir d'unes deformacions prèviament fixades.

Conclusions

Les conclusions completen l'apartat de resultats i solen fer referència a les opcions de fonamentació que s'han considerat viables. De cadascuna d'elles s'esmenten el tipus de fonamentació (directa, semiprofunda o profunda), el nivell on aquesta s'ha d'encastar, les pressions que podrà transmetre i els assentaments que comportarà. També s'hi acompanyen les recomanacions oportunes i les dades que poden influir en la decisió d'escollir una fonamentació o una altra. Entre aquestes destaquen la fondària del nivell freàtic, l'agressivitat de les aigües al formigó i la dificultat d'excavació dels materials. Si es preveu un volum d'excavació important, es fa també referència als paràmetres de cohesió i l'angle de fregament intern per tal que es puguin calcular les pressions de les terres i l'estabilitat dels talussos.

Bibliografia

CASAGRANDE, A. (1948), *Classification and identification of soils*. Transactions, ASCE, vol. 113, 901-930.

Un cop determinades les càrregues es preveu l'assentament, o descens que experimentarà la superfície on recolzarà la fonamentació