

## LA RELACIÓ ENTRE EL VALOR $N_{30}$ DE L'SPT I LA RESISTÈNCIA A LA COMPRESSIÓ SIMPLE

Ignasi Capellà i Lluís Pallí

Àrea de Geodinàmica. Dept. de Ciències Ambientals. Universitat de Girona. Campus de Montilivi. 17071 Girona.

---

### RESUM

La resistència a la compressió simple és un paràmetre geotècnic que sol intervenir indirectament en el càlcul de la capacitat portant de sòls cohesius. El seu valor es pot determinar a partir de l'assaig de ruptura a compressió simple o, entre altres possibles assajos geotècnics *in situ*, mitjançant la prova de l'SPT. Tanmateix, quan es comparen els valors d'aquesta resistència obtinguts al camp i al laboratori, en sòls dels tipus CL, ML-CL i CH, s'observa una gran dispersió i no apareix una relació concreta. De tota manera, si que és destacable que la resistència obtinguda en l'assaig de laboratori se situa, en la majoria dels sòls analitzats, entre els valors més baix i més alt dels deduïts a partir dels SPT. Aquest fet és important per a aquells estudis geotècnics que basen la determinació d'aquest paràmetre en els SPT. Així, si per al càlcul de la capacitat portant s'utilitza el valor inferior, els resultats no seran gaire precisos però estaran probablement del costat de la seguretat.

### RESUMEN

La resistencia a la compresión simple es un parámetro geotécnico que suele intervenir de forma indirecta en el cálculo de la capacidad portante de los suelos cohesivos. Su valor se puede determinar mediante el ensayo de rotura a compresión simple y, entre otros posibles ensayos geotécnicos *in situ*, a partir de la prueba del SPT. Sin embargo, cuando se comparan los valores de dicha resistencia obtenidos en el laboratorio y en el campo, en suelos de los tipos CL, ML-CL y CH, se observa una gran dispersión y no aparece una relación definida. No obstante, si es destacable que la resistencia determinada en el laboratorio se halla, en la mayoría de los suelos analizados, entre los valores inferior y superior de los deducidos mediante los SPT. Este hecho debe tenerse en cuenta para los estudios geotécnicos que basan la valoración de este parámetro en los SPT. Así pues, si para el cálculo de la capacidad portante se toma el valor inferior, los resultados no serán muy precisos pero estarán probablemente del lado de la seguridad.

### ABSTRACT

The unconfined compression strength is a geotechnical parameter frequently used to determine the bearing capacity of foundations on clayey soils. Its value can be obtained from the unconfined compression test and, among several *in situ* tests, the standard penetration test (SPT). However, a comparison between the values of such a strength determined by both tests in CL, CL-ML and CH soils shows that it does not exist an approximate relationship. In any case it is remarkable that values of the test conducted in the laboratory fit between the lower and the higher ones calculated from the standar penetration number. This is very important for those geotechnical reports in which the unconfined compression strength is only based on the SPT. In this way, if the lower value is taken to evaluate the ultimate soil-bearing capacity the result will not be very accurate but it will probably be by the side of safety.

**Keywords:** Clayey soils, standard penetration number, standard penetration test, unconfined compression strength, unconfined compression test.

---

## INTRODUCCIÓ

La prova de l'SPT (Standard Penetration Test) és un assaig geotècnic *in situ* de penetració dinàmica discontinua. El seu primer objectiu és, igual que altres modalitats d'assajos de penetració, avaluar la resistència que ofereix el terreny a l'encastament d'una cullera metàl·lica. Posteriorment, a partir dels resultats obtinguts i mitjançant correlacions de base semiempírica, s'obtenen valors dels paràmetres que intervenen en els càlculs geotècnics. A diferència de les proves de penetració contínua o estàtica, els SPT es practiquen a l'interior d'un sondatge i a fondàries concretes. Aquesta prova consisteix a endinsar en el terreny un tub de mostreig estandaritzat mitjançant l'energia derivada de la caiguda lliure d'una massa de 63,50 kg des d'una alçada de 76,20 cm damunt un capçal de copejament (*yunque*). El tub esmentat proporciona un petit testimoni del sòl que només pot utilitzar-se per als assajos d'identificació. Quan es practica en sòls de gra gros, aquest tub se substitueix per una punta cònica. Per realitzar aquesta prova, es fa una neteja del fons del sondatge, es col·loca el tub de mostreig i, tot seguit, es copeja fins a fer-lo penetrar 45 cm en el terreny. El nombre de cops necessaris per endinsar el tub els darrers 30 cm, que s'indica com a  $N_{30}$  o simplement com a N, és el resultat de l'assaig. El comptatge sol fer-se en tres sèries de 15 cm; es rebutja la primera perquè correspon al tram de terreny que es troba alterat per la realització del sondatge.

El valor  $N_{30}$  esmentat es pot correlacionar empíricament amb paràmetres geotècnics que s'utilitzen en el càlcul de la capacitat portant i de la deformabilitat del terreny, com ara: el mòdul elàstic, la densitat relativa i l'angle de fregament intern, en sòls granulars sorrencs (taula I); i la resistència a la compressió simple, en sòls cohesius (taula II).

Valor N (SPT)	Densitat relativa (D <sub>r</sub> )	Compacitat	Angle de fregament intern (φ°)
<4	<0,15	molt solta	<30
4-10	0,15-0,35	solta	30-35
10-30	0,35-0,65	mitjanament densa	35-40
30-50	0,65-0,85	densa (compacta)	40-45
>50	0,85-1	molt densa	>50

Taula I. Correlació entre els valors  $N_{30}$  de l'SPT i diferents propietats i paràmetres de sòls no cohesius (ampliat d'Ayala et al., 1991).

Valor N (SPT)	Qualificació de la consistència	Densitat saturada ( $\gamma_{sat}$ ) g/cm	Resistència a la compressió simple $q_u$ (kg/cm <sup>2</sup> )
<2	molt tova	1,44-1,60	<0,25
2-4	tova	1,60-1,76	0,25-0,5
4-8	mitjana	1,76-1,92	0,5-1
8-15	rígida	1,92-2,08	1,0-2,0
15-30	molt rígida	2,08-2,24	2,0-4,0
>30	dura	>2,0	>4,0

Taula II. Correlació entre els valors  $N_{30}$  de l'SPT i diferents propietats i paràmetres de sòls cohesius (modificat d'Ayala et al., 1991).

La resistència a la compressió simple és, per la seva banda, un paràmetre geotècnic que s'obté a partir d'un assaig de laboratori de resistència al tall (ruptura a compressió simple). Es practica amb una premsa simple i consisteix a aplicar un augment progressiu de càrrega vertical ( $\sigma_v$ ) fins que s'assoleix la ruptura d'una proveta de sòl no confinada ( $\sigma_3 = 0$ ). La pressió vertical aplicada en el moment que la proveta es trenca correspon a la resistència a la compressió simple ( $q_u$ ). Es tracta d'un assaig ràpid que s'aplica a sòls cohesius relativament impermeables, amb la qual cosa l'aigua intersticial no pot ser expulsada al llarg de la prova. Els dos fets, l'increment ràpid de càrrega i la dificultat de la circulació de l'aigua, fan que aquest assaig sigui pràcticament equivalent a la modalitat del triaxial, que no comporta ni consolidació ni drenatge. Es correspondria amb un assaig triaxial en el qual la pressió confinant fos nul·la ( $\sigma_3 = 0$ ). A partir de la resistència a la compressió simple es pot obtenir la cohesió aparent ( $c_u$ ) mitjançant l'expressió  $c_u = q_u/2$ .

La cohesió és un paràmetre que intervé directament en el càlcul de la capacitat portant dels terrenys argilosos. Per aquest motiu, és molt important poder disposar d'un valor representatiu. La seva obtenció comporta, des del punt de vista teòric, la realització d'un assaig de tall directe. Es tracta d'una prova de laboratori relativament laboriosa i cara que només es porta a terme realment en estudis geotècnics específics. A la pràctica, per a la majoria de casos convencionals, la quantificació d'aquest paràmetre es fa mitjançant la resistència a la compressió simple, ja sigui deduïda a partir dels valors  $N_{30}$  dels SPT, entre altres possibles proves *in situ*, o de l'assaig de laboratori. La realització de SPT és molt més senzilla, ràpida i conseqüentment barata que l'assaig de resistència a la compressió simple, el qual obliga a disposar de mostres inalterades. Això ha comportat, moltes vegades, que els valors d'aquesta resistència s'hagin basat únicament en els resultats d'aquest assaig *in situ* (taula II). En aquest treball s'analitza la fiabilitat dels valors obtinguts *in situ* mitjançant la seva comparació amb els del laboratori. Per fer-ho, s'han estudiat un

seguit de sòls cohesius en els quals la resistència a la compressió simple s'ha determinat alhora a partir dels SPT i la taula II d'interpretació i mitjançant l'assaig de laboratori en mostres inalterades.

### Descripció dels treballs

Els resultats que es presenten s'han obtingut arran dels estudis geotècnics de 31 parcel·les de les comarques gironines. Aquests estudis s'han portat a terme en relació amb diferents projectes constructius, la majoria d'edificació, i han tingut com a objectiu bàsic determinar les càrregues admissibles del terreny.

En aquestes parcel·les s'han realitzat una mitjana de tres sondatges i de nou proves SPT. A més, en cadascuna de les parcel·les, s'ha agafat un mínim d'una mostra inalterada. Cal tenir present que les dades esmentades en relació amb el nombre de SPT i de mostres fan referència exclusivament al nivell o nivells de materials cohesius que s'ha interceptat en fer els sondatges.

Les mostres inalterades han estat analitzades al laboratori de terres per determinar, entre altres propietats i paràmetres, la humitat, la plasticitat (límits líquid i plàstic) i la resistència a la compressió simple.

Els assajos d'identificació practicats a les mostres han constatat que els sòls estudiats corresponen, en la classificació USCS (Unified Soil Classification System), als tipus CL, ML-CL i CH. D'altra banda, siguin d'un tipus o un altre, tots són sòls no consolidats o només lleugerament preconsolidats.

### Resultats

Ateses les diferències en el grau de plasticitat dels materials estudiats, les relacions entre els resultats dels SPT i els de l'assaig de resistència a la compressió simple es tracten i es presenten separatament per als grups de sòls següents:

#### (a) Sòls de plasticitat mitjana (CL)

Són els més freqüents entre els estudiats (24 dels 38 casos analitzats) i posen de manifest una dispersió important en les relacions existents entre els valors que s'han contrastat.

En primer lloc, a nivell de cada sòl es pot observar que els intervals de valors de  $q_u$  obtinguts dels SPT són relativament grans. Així, el valor superior és, de mitjana, unes tres vegades més gran que l'inferior, amb uns extrems que van des d'1,21 fins a 5,50. La magnitud d'aquests intervals es redueix significativament quan el que es compara són els mateixos valors però obtinguts al laboratori. En les cinc parcel·les, en les quals s'han agafat un mínim de dues mostres que possibiliten contrastar aquestes dades, la relació mitjana entre els valors superior i inferior és d'1,78. Cal esmentar, però, que hi ha dos casos en què els resultats són pràcticament equivalents i la relació és molt pròxima a 1.

En segon lloc, quan es contrasten els valors de  $q_u$  obtinguts per ambdós mètodes, les relacions són poc definides. Així, els valors inferiors i superiors de  $q_u$  obtinguts amb els SPT són, de mitjana, un 39,40 i un 72,90 % més baixos i més alts, respectivament, en relació amb la quantificació feta al laboratori. Pel que fa a les relacions extremes, el valor de  $q_u$  obtingut al laboratori arriba a ser entre un 78 % més alt i un 60 % més baix que l'inferior dels deduïts a partir dels SPT. Aquest mateix interval s'accentua notablement en el cas dels valors superiors de  $q_u$  que proporcionen els SPT. Així, aquests valors poden ser des d'un 36 % més baix fins a un 572 % més alt que els que es determinen al laboratori.

Malgrat les dispersions detectades, sí que sembla que se segueix la tendència que el valor de  $q_u$  de laboratori sol situar-se numèricament entre els aconseguits amb els SPT. Aquest fet, que pot arribar a semblar poc significatiu si es té en compte que pot ser afavorit per la mateixa dispersió dels valors  $N_{60}$ , té una gran importància per als estudis geotècnics, tal com es comenta a l'apartat de conclusions i discussió.

#### (b) Sòls de plasticitat baixa (CL i ML-CL)

Corresponen a quasi una tercera part dels casos estudiats (11 de 38) i sembla que no mostren diferències importants respecte dels sòls del primer grup. Com aquells, els valors de  $q_u$  obtinguts dels SPT practicats en cadascun dels sòls reconeguts formen intervals amplis. La relació mitjana entre els valors més alts i més baixos d'aquests intervals és de 3,19. D'altra banda, també hi ha una certa coincidència en les diferències detectades entre els valors de  $q_u$  determinats *in situ* i al laboratori. Així, els extrems inferiors i superiors dels intervals de  $q_u$  obtinguts amb els SPT són, de mitjana, un 29,24 % i un 73,66 % més baixos i més alts, respectivament, en relació amb el resultat de l'assaig de compressió simple. Probablement, la poca diferència que hi ha entre els sòls dels grups (a) i (b) rau en les proporcions de casos en què el valor de  $q_u$  obtingut al laboratori s'escau dins de l'interval dels deduïts a partir dels SPT, les quals són d'un 62 % i 82 %, respectivament.

#### (c) Sòls de plasticitat alta (CH)

Aquests són uns sòls molt més específics que els anteriors, tal com reflecteix el fet d'haver-ne reconegut només tres. Malgrat que s'exposen també els resultats aconseguits en aquests sòls, les valoracions s'han de fer amb reserves, atès el poc volum de dades en què s'han basat.

Els intervals de valors de  $q_u$  deduïts mitjançant els SPT són lleugerament més estrets que en els casos precedents. Així, la relació mitjana entre els valors extrems d'aquests intervals és de 2,67. Pel que fa a les relacions entre els valors de  $q_u$  determinats mitjançant ambdós tipus d'assaig, s'observa també una dispersió, bé que no tan manifesta com en els sòls menys plàstics. Les mitjanes dels valors més baixos i més alts que s'han obtingut dels assajos *in situ* són un 32,00 % i 28,58 % per sota i per sobre, respectivament, de la resistència determinada al laboratori. D'altra banda, en aquest grup de sòls, el percentatge de casos en què la  $q_u$  del laboratori s'escau entre els valors obtinguts dels SPT baixa numèricament fins a un 66,67 %.

## Conclusions i discussió

Els resultats de l'estudi posen de manifest que les relacions entre les  $q_u$  obtingudes amb la prova de l'SPT i l'assaig de laboratori són molt disperses. Els valors de  $q_u$  obtinguts *in situ* són des d'un 30 % més baixos fins a un 73 % més alts que els determinats al laboratori. En el cas dels sòls CH, aquest interval de fluctuació sembla que es redueix, *a priori*, ja que aquests mateixos percentatges són, respectivament, del 32 % i el 28,58 %. Aquesta dispersió dels valors obtinguts d'ambdues maneres, malgrat que més limitada en el darrer cas, sembla que és independent del tipus de sòl.

Aquesta variabilitat en els resultats aconseguits s'atribueix a la influència conjunta de diverses causes. La més destacable és la mateixa heterogeneïtat del sòl, la qual es manifesta per variacions en la composició mineral i en el contingut de material granular. Cal tenir en compte, a més, tal com indica Cassan (1982), les pressions intersticials que es generen en el terreny i els fregaments paràsits que apareixen en la cullera metàl·lica en el moment d'executar l'assaig SPT. Aquests fets provoquen una dispersió en els  $N_{30}$  dels SPT i, en conseqüència, en els valors de  $q_u$  deduïts a partir d'aquests. D'aquesta manera, s'obtenen valors extrems que s'allunyen considerablement dels resultats de laboratori.

El que s'ha expressat abans indica i constata que la prova de l'SPT està bàsicament pensada per ser executada en sòls granulars, predominantment sorrencs i, com a màxim, en llims de gra gros. Probablement, en aquest tipus de terreny les correlacions establertes entre els  $N_{30}$  i les diferents propietats i paràmetres són molt més definides que les analitzades en aquest treball per a sòls cohesius.

Malgrat la correlació problemàtica entre l'SPT i la resistència a la compressió simple, és destacable el fet que la  $q_u$  determinada al laboratori s'escau, en la majoria dels sòls, entre els valors inferior i superior d'aquest paràmetre obtinguts *in situ*. Així, de cara a la realització d'estudis geotècnics, si el càlcul de la capacitat portant en els sòls cohesius es basa en el valor de  $q_u$  més baix que proporcionen els SPT, els resultats no seran precisos. Tanmateix, el més important és que les càrregues que s'obtindran estaran del costat de la seguretat. Tot i aquest fet rellevant, és aconsellable contrastar els resultats de camp amb un valor, com a mínim, de resistència determinada al laboratori.

## Agraïments

Les dades que consten en aquest treball s'han obtingut en diferents estudis geotècnics realitzats dins el marc de col·laboració entre la Universitat de Girona i el Centre d'Estudis de la Construcció i Anàlisi de Materials (CECAM).

**Bibliografia**

- CASAGRANDE, A. (1948). Classification and identification of soils. *Transactions, ASCE*, vol. 113, 901-930.
- CASSAN, M. (1982). *Los ensayos in situ en la mecánica del suelo, su ejecución y interpretación*. Editores Técnicos Asociados S.A. Barcelona.
- AYALA, F.J. (dir.) (1991). *Manual de ingeniería de taludes*. Instituto Tecnológico y Geominero de España.