

**materia**

Enxeñaría e Morfoloxía do Terreo

unidade didáctica 13

# RECOÑECIMENTO DO TERREO

Carlos Núñez Temes

Departamento de Enxeñaría Agroforestal  
Escola Politécnica Superior

**titulación**

Enxeñaría Técnica de Obras Públicas



Vicerreitoría de Cultura



unidade **didáctica** 13

# **RECOÑECIMENTO DO TERREO**

Carlos Núñez Temes  
Departamento de Enxeñaría Agroforestal  
Escola Politécnica Superior



© Universidade de Santiago de Compostela, 2009

**Deseño**

Unidixital

**Edita**

Vicerreitoría de Cultura  
da Universidade de Santiago de Compostela  
Servizo de Publicacións  
da Universidade de Santiago de Compostela

**Imprime**

Unidixital  
Servizo de Edición Dixital da  
Universidade de Santiago de Compostela

**Dep. Legal:** C 875-2009

**ISBN** 978-84-9887-128-9

ADVERTENCIA LEGAL: reservados todos os dereitos.  
Queda prohibida a duplicación parcial ou total desta obra, en calquera forma ou por calquera medio (electrónico, mecánico, gravación, fotocopia ou outros) sen consentimento expreso por escrito dos editores.

**MATERIA: Enxeñaría e Morfoloxía do Terreo**  
**TITULACIÓN: Enxeñaría Técnica en Obras Públicas**  
PROGRAMA XERAL DO CURSO  
Localización da presente unidade didáctica

## **MÓDULO I: Mecánica de solos**

### **Unidade 1. Introducción á enxeñaría do terreo**

Concepto de solo, rocha, macizo rochoso  
Problemas formulados polos solos na enxeñaría

### **Unidade 2. Orixe, descrición e clasificación de solos**

Orixe dos solos  
Propiedades índice dos solos: volume de ocos, humidade, pesos específicos, grado de saturación  
Relación entre variables  
Granulometría: ensaio de peneirado e de sedimentación  
Estudo da curva granulométrica  
Plasticidade: determinación dos límites de Atterberg  
Gráfico de plasticidade de Casagrande  
Identificación e descrición xeotécnica de solos  
Métodos máis comúns de clasificación xeotécnica de solos  
Compactación. Ensaio Proctor Normal e Proctor modificado

### **Unidade 3. Estados tensionais do terreo**

Tensión e deformación  
Lei de Terzaghi: principio das tensións efectivas  
Lei de Hooke  
Deformación plana e tensión plana  
Círculos de Mohr  
Tensións *in situ*  
Criterio de rotura de Mohr-Coulomb  
Relacións tensión-deformación en solos  
Modelos elásticos: análise en servizo  
Modelos plásticos: análise en rotura

### **Unidade 4. Fluxo de auga en solos saturados**

Movemento da auga a través do solo. Lei de Darcy  
A auga na zona capilar  
Determinación da permeabilidade en laboratorio  
Determinación da permeabilidade *in situ*  
Fluxo en medios heteroxéneos e anisótropos  
Ecuación xeral do fluxo en medios saturados  
Resolución da ecuación do fluxo. Solucións analíticas, gráficas e numéricas  
Sifonamento en solos

### **Unidade 5. Consolidación**

O edómetro. Ensaio de consolidación unidimensional  
Arxilas normalmente consolidadas e sobreconsolidadas  
Teoría de Terzaghi para a consolidación  
Cálculo de asentos a partir dos datos do ensaio edométrico  
Coeficiente de consolidación  
Método de Casagrande

### **Unidade 6. Resistencia ó corte**

- Criterio de rotura de Mohr-Coulomb
- Cohesión e rozamento interno dun solo
- Ensaio de corte directo
- Ensaos drenados e non drenados en areas e arxilas
- Ensaio de compresión triaxial
- Ensaio de compresión simple ou non confinado
- Outros ensaios de corte

### **Unidade 7. Empuxes de terras**

- Coefficiente de empuxe ó repouso
- Teoría de Rankine: empuxes de terra activo e pasivo
- Distribución de presións sobre muros de contención
- Teoría de Coulomb do empuxe de terras sobre muros
- Empuxes en solos cohesivos

### **Unidade 8. Estruturas de contención ríxida**

- Xeneralidades
- Tipos de estruturas de contención
- Condicións xerais para o proxecto

### **Unidade 9. Taludes en solos**

- Factor de seguridade
- Estabilidade de taludes infinitos sen e con fluxo de auga
- Taludes finitos
- Análise de roturas circulares
- Ábacos de Taylor
- Método de doelas
- Métodos de Bishop e Janbu
- Medidas de corrección
- Drenaxe de taludes

### **Unidade 10 Estruturas de contención flexible**

- Introdución
- Tipos de estruturas de contención flexible
- Cálculo analítico: pantallas en berirado, pantallas cun apoio, pantallas con varios apoios
- Sistemas de reforzo e soporte lateral
- Métodos numéricos de cálculo

### **Unidade 11. Cimentacións superficiais**

- Xeneralidades
- Ecuacións de Prandtl e de Terzaghi
- Expresións de Meyerhof e Brinch-Hansen
- Influencia da forma e da profundidade da cimentación
- Ecuación xeral da capacidade de carga dunha cimentación superficial
- Asentos en cimentacións

### **Unidade 12. Cimentacións profundas**

- Xeneralidades
- Tipos de pilotes
- Determinación da carga admisible dun pilote aislado
- Grupos de pilotes
- Construción e control da execución de pilotes

### **Unidade 13. Recoñecemento do terreo**

Introdución  
O estudo xeotécnico  
Dimensionamento dos traballos de campo  
Sondaxes e perforacións  
Piezómetros: medidas das presións intersticiais  
Ensaio de permeabilidade  
Ensaio de penetración  
Ensaio de molinete “vane test”  
Ensaio presiométrico  
Ensaio de placa de carga  
Prospección xeofísica

### **MÓDULO II: Mecánica de rochas**

**Unidade 14. Introducción á mecánica de rochas**

**Unidade 15. Taludes en rocha**

### **MÓDULO III: Enxeñaría do terreo**

**Unidade 16. Túneles**

**Unidade 17. Tratamentos do terreo**

**Unidade 18. Ancoraxes e micropilotes**

**Unidade 19. Patoloxía de taludes**

**Unidade 20. Construción de terrapléns**



## ÍNDICE

---

<b>Presentación</b> .....	9
<b>Os obxectivos</b> .....	10
<b>Os principios metodolóxicos</b> .....	10
<b>Actividades propostas</b> .....	10
<b>Os contidos</b> .....	11
1. Introducción .....	11
2. O estudo xeotécnico .....	12
2.1. Información previa .....	12
2.2. Programación do recoñecemento .....	13
2.3. Recoñecemento profundo .....	14
2.4. Tipos de mostras .....	15
3. Dimensionamento dos traballos de campo .....	22
3.1. Procedemento do Código Técnico da Edificación .....	23
3.2. Procedemento da Guía de Cimentacións .....	28
4. Sondaxes e perforacións .....	34
4.1. Catas e gabias .....	34
4.2. Sondaxes .....	35
5. Piezómetros: medida das presións intersticiais .....	44
6. Ensaio de permeabilidade .....	45
6.1. Ensaio Lefranc .....	45
6.2. Ensaio Lugeon .....	46
6.3. Ensaio de bombeo en pozos .....	47
7. Ensaio de penetración .....	47
7.1. Ensaio de penetración estándar SPT. ....	48
7.2. Ensaio de penetración continua .....	56
7.3. Correlacións entre ensaios de penetración .....	60
8. Ensaio de molinete “vane test” .....	62
8.1. Factores que influencian os resultados .....	63
9. Ensaio presiométrico .....	64
10. Ensaio de placa de carga .....	66
11. Prospección xeofísica .....	67
11.1. Métodos eléctricos .....	68
11.2. Métodos sísmicos .....	70
11.3. Xeorradar (GPR Ground Penetration Radar) .....	72
<b>Avaliación da unidade didáctica</b> .....	73
<b>Índice de figuras</b> .....	74
<b>Bibliografía</b> .....	77



## PRESENTACIÓN

---

Esta unidade didáctica serve de peche ó primeiro módulo da programación da materia “Enxeñaría e Morfoloxía do Terreo” do segundo curso da titulación de Enxeñeiro Técnico de Obras Públicas, Especialidade Transportes e Servizos Urbanos, que se dedica a sentar-las bases da mecánica de solos.

Os primeiros temas expoñen con detalle as principais características dos solos e os fundamentos básicos do seu comportamento tenso-deformacional, definindo os parámetros resistentes que se precisan nos cálculos.

A continuación, estúdanse as principais estruturas xeotécnicas, noiros, muros de contencións, cimentacións... Trátanse os procedementos construtivos máis habituais, os métodos de deseño e de cálculo e as recomendacións xerais para a súa construción. Nestes temas, aplícanse os parámetros xeotécnicos descritos con anterioridade.

Na presente unidade didáctica, preténdese mostrar como se poden obter as características e os parámetros xeotécnicos dos solos a partir de técnicas de recoñecemento. Explícase unha vez que se viron as principais estruturas xeotécnicas porque as campañas de recoñecemento débense axustar, tanto en número de ensaios como en profundidade alcanzada, ós condicionantes que se presentan en cada caso.

No seguinte módulo estúdase a mecánica de rochas. Moitos dos contidos desta unidade didáctica vólvense a estudar nese momento pero adaptándoos a eses materiais.

No último módulo da materia trátanse estruturas xeotécnicas máis complexas, como túneles, e tamén cales son as principais patoloxías que se producen nas obras e os métodos para remedialas. Neses apartados, as técnicas de recoñecemento do terreo xogan un papel moi importante, xa que canto maior é a dificultade da obra, tamén debe ser máis exhaustiva a campaña de prospeccións. Ademais, unha das principais causas de patoloxía adoita ser un insuficiente estudo xeotécnico no proxecto ou na obra.

Para o seguimento da unidade didáctica, é necesario que o alumnado teña claros os tipos de solos que existen, as dificultades que presentan e tamén os parámetros resistentes que necesita coñecer para o deseño dos proxectos e a execución das obras.

A unidade didáctica impártese en catro horas de clase, aínda que debe terse en conta que está moi relacionada con outras partes da materia, e que a maioría dos contidos teóricos son coñecidos polo alumnado, incidindo máis nos procedementos e nas recomendacións técnicas durante a exposición teórica.

Ademais de ós alumnos de 2º curso de enxeñaría Técnica de Obras Públicas, os contidos presentados poden serlle de utilidade a outros técnicos ou licenciados que teñan interese na prospección xeotécnica, xa que a maior parte dos ensaios que se describen non só se empregan en enxeñaría civil, senón tamén en minería, hidroloxía subterránea ou xeoloxía.

## **OS OBXECTIVOS**

---

- Clasifica-las diferentes técnicas de recoñecemento do terreo.
- Coñece-los procedementos adecuados de cada técnica de recoñecemento do terreo, e as dificultades que presenta.
- Saber planificar unha campaña de prospeccións.
- Saber adecua-las técnicas ou ensaios ás necesidades e ós condicionantes do problema exposto, e interpreta-los resultados que proporcionan.
- Coñece-las normativas que se aplican no recoñecemento xeotécnico.

## **OS PRINCIPIOS METODOLÓXICOS**

---

- Os principios teóricos e os contidos fundamentais expóñense nas clases maxistras. Para iso, o profesor empregará os medios audiovisuais da aula para realizar presentacións.
- Para un mellor coñecemento do funcionamento da maquinaria e os equipos que se empregan, propóñense visitas voluntarias ó laboratorio ou a obras nas que se estean efectuando prospeccións fóra do horario contemplado para a unidade didáctica.
- Propóñense casos prácticos nos que o alumnado, mediante debate, debe analiza-la corrección de estudos xeotécnicos previos ou as causas de posibles patoloxías.
- O alumnado elaborará ó finalizar cada sesión presencial un resumo dos contidos explicados na clase, no que se recollan reflexións básicas sobre as técnicas e os procedementos.
- No conxunto da materia, o alumnado ten a posibilidade de realizar un traballo voluntario para afondar nalgún tema. Desta unidade didáctica, poden escollerse os seguintes puntos:
  - análise dun estudo xeotécnico;
  - procedementos para a realización de perforacións;
  - ensaios de permeabilidade *in situ*;
  - ensaios de penetración;
  - métodos xeofísicos.

## **ACTIVIDADES PROPOSTAS**

---

Como ampliación e aplicación dos contidos teóricos, animarase ó alumnado a elaborar:

- casos prácticos nos que hai que face-la programación de campañas de prospección de proxectos habituais;
- traballos voluntarios teóricos nos que o alumnado buscará información para afondar no coñecemento dalgunha técnica en concreto;
- análise de estudos xeotécnicos reais co obxectivo de coñecer se se programaron axeitadamente, de detectar puntos que poidan xerar dificultades e que propoñan recomendacións de ampliación.

## OS CONTIDOS BÁSICOS

---

### 1. Introducción

Nas diversas fases do proxecto e execución dunha obra de enxeñaría é preciso coñecer as principais características e os parámetros xeotécnicos do terreo no que se están a introducir continuas modificacións do seu estado tensional e deformacional.

O documento encargado de proporcionar toda a información necesaria sobre o terreo é o estudo xeotécnico, que debe adaptarse en cada momento ó nivel de detalle no que se atopa a definición dos traballos. O proxecto dunha obra pasa por diferentes fases: estudo informativo, anteprojecto e proxecto de construción, de modo que se vai aumentando o detalle de cada elemento e a precisión no seu deseño. Durante este proceso que é evolutivo, o estudo xeotécnico tamén vai evolucionando, de modo que cambios no proxecto poden requirir novas prospeccións do mesmo xeito que, a medida que se coñecen novos datos do terreo, débese adaptar o deseño da solución óptima.

Esa solución óptima que se pretende deseñar necesita que o estudo xeotécnico se articule o suficientemente amplo para cumprir cos seguintes obxectivos:

- seguridade da obra. É un obxectivo non só do estudo xeotécnico, senón tamén do proxecto, que debe defini-las dimensións, os materiais e os procedementos construtivos que garantan a seguridade da man de obra durante a súa construción e a da estrutura durante toda a súa vida útil;

- deseño das cimentacións. Defini-los elementos encargados de transmitir as cargas ó terreo, de modo que non se supere a súa resistencia, e o nivel de movementos inducido sexa tolerable. Deséñase desde o punto de vista de que resista os estados límite últimos e de que non supere os estados límite de servizo;

- deseño das estruturas xeotécnicas. Tamén debe recoller as recomendacións acerca das dimensións, dos materiais a empregar de todas as escavacións ou recheos que se deban realizar durante os traballos;

- proposición de tratamentos do terreo. No caso de que existan zonas problemáticas nas que non se poida garantir a seguridade das obras ou estruturas co estado natural do terreo, deben especificarse os procedementos que se poden levar a cabo para poder mellorar as súas características.

Para poder poñer a disposición do proxectista todos os datos que poida necesitar, o redactor do estudo xeotécnico, que debe ser un técnico debidamente cualificado ou, no seu caso, un equipo multidisciplinar, debe organizar os traballos en dúas fases interrelacionadas entre si:

- recompilación de información previa: xeolóxica, xeomorfolóxica, hidroxeolóxica, xeotécnica, do emprazamento no que se queren executar as obras;

- programación de ensaios de laboratorio, ensaios de recoñecemento superficial e de recoñecemento profundo.

A información previa serve para o deseño da campaña de prospeccións, e os resultados desta, corríxen ou confirman a información.

## 2. O estudo xeotécnico

### 2.1. Información previa

O redactor do estudo xeotécnico debe recompilar a maior cantidade posible de información dispoñible sobre as características dos materiais presentes no emprazamento no que se atopan as obras. Como orientación, débese consultar a información seguinte:

- estudos previos de terreos, da Dirección Xeral de Estradas;
- documentos xeolóxicos diversos publicados polo Instituto Xeolóxico e Mineiro de España (IGME). Das seguintes publicacións deste organismo, son especialmente relevantes as seguintes:

- mapa xeolóxico E=1/200.000;
- mapa xeolóxico E=1/50.000;
- mapa de rochas industriais E=1/200.000;

- pares estereoscópicos de fotografías aéreas;
- mapas antigos. De especial interese para a localización de pozos antigos, zonas con vertedoiros antrópicos ou valgadas antigas cubertas polas que actualmente poidan discorrer augas subterráneas;

- referencias bibliográficas relativas a proxectos e obras en zonas próximas. Tanto desde o punto de vista de prospeccións realizadas como das solucións adoptadas;

- experiencia local contrastada;

- traballos de tipo xeolóxico-xeotécnico de estradas ou outras construcións próximas;

- información específica sobre antigas construcións ou usos especiais do terreo, particularmente a relativa a recheos artificiais e ós labores mineiros;

- localización de xacementos e canteiras de interese;

- outras informacións de xacementos que puideran condiciona-lo proxecto xeotécnico (instalacións afectadas, cimentacións antigas, etc.).

Nesta fase do estudo xeotécnico é imprescindible a visita ó emprazamento, como ferramenta básica que vai permitir completa-la información recompilada en gabinete.

Ademais, pódese unificar a información xeolóxica, confirmando con algunha inspección *in situ* os detalles máis relevantes e reflectíndoa nun plano de escala axeitada (adoita ser suficiente empregar planos a escala E=1/5.000).

Mediante o emprego dalgúns recoñecementos xeotécnicos sinxelos tamén se pode ir concretando a información xeotécnica básica da que se dispón, tipos de materiais presentes, estimación da súa permeabilidade, resistencia e deformabilidade, a presenza de auga, etc.

Toda esta información debe expresarse nun apartado específico do estudo xeotécnico denominado antecedentes, no que deben constar os seguintes datos:

- descrición da estrutura xeolóxica xeral (marco xeolóxico) e local da zona;

- secuencias de tipos diferentes de formacións rochosas (columnas tipo);

- identificación dos diferentes tipos de rocha e solo;
- identificación de riscos xeotécnicos: inestabilidades, zonas de baixa capacidade portante ou especialmente deformables, posible expansividade, risco de colapso, etc;
- primeira avaliación da resistencia, deformabilidade e permeabilidade dos distintos tipos de formación (rochas e solos) que poidan afectar ó proxecto das cimentacións;
- datos hidroxeolóxicos. En especial, a situación do nivel freático e das súas posibles oscilacións estacionais;
- calquera outra información que poida resultar de interese.

Con estes antecedentes débese emitir un informe xeolóxico-xeotécnico previo que ten dúas misións principais: identifica-las zonas que poidan xerar máis problemas e aqueles aspectos que non son ben coñecidos e que requiran un estudo posterior. Este documento será a base de partida para programa-los recoñecementos necesarios.

## **2.2. Programación de recoñecementos**

Nun estudo xeotécnico, o seguinte paso consiste en decidi-lo alcance da investigación dos solos, adecua-lo número e o tipo de ensaios ó tipo de materiais que nos afectan. O tipo de ensaio e o procedemento para levalo hai que decidilos tendo en conta os seguintes aspectos:

- estrutura xeolóxica e características do terreo;
- cimentacións que hai que realizar, polo que o Proxecto debe estar completamente definido. A nivel de anteprojecto pode ser suficiente cunha estimación do nivel de cargas que se van transmitir, mentres que cando se trate dun proxecto construtivo, deben estar definidas con precisión tanto en magnitude como en posición;
- necesidades concretas de recoñecemento, que serán expresamente identificadas no informe xeolóxico-xeotécnico previo que tamén identificou as zonas conflitivas;
- posibles técnicas de recoñecemento en función dos materiais presentes e a tecnoloxía presente na área de estudo. A loxística necesaria para levar a cabo certos ensaios pode facer que sexan non recomendables en determinadas ocasións.

A definición da campaña de prospección exprésase nun documento que recolle a identificación dos obxectivos dos recoñecementos (parámetros xeotécnicos ou características que se pretenden coñecer), os traballos de campo a realizar, incluíndo cantos elementos se pensen utilizar (catas, rozas, estacións xeomecánicas, xeofísica, ensaios de penetración, sondaxes mecánicas, etc.), o tipo de mostras que se deben recoller e o procedemento para obtelas e os ensaios de laboratorio que se crean máis convenientes para cumpri-los obxectivos.

Debe acompañarse de planos que mostren a situación suficientemente precisa dos recoñecementos a realizar, de modo que permitan a súa traza, así como dos criterios de adaptación do programa inicial en función dos resultados parciais que se vaian obtendo, que poidan confirmar ou contradici-la información previa.

### 2.3. Recoñecemento profundo

A visita ó emprazamento permite obter información sobre os materiais que afloran á superficie, pero na maior parte das obras de enxeñaría vai ser preciso realizar escavacións ou recheos que supoñan unha alteración do estado tensional de terreos que se atopen a unha certa profundidade. Do mesmo xeito, os materiais superficiais poden ter pouca capacidade portante ou ser demasiado deformables para resisti-las solicitacións que se lle van facer, polo que é necesario atopar outros niveis máis resistentes que poidan asumir as cargas que transmitirá a obra.

Para coñecer as características deses niveis profundos existen unha serie de procedementos que se poden empregar, e que se clasifican en función do seu tamaño, da profundidade alcanzada e dos medios que precisan para a súa execución. Cabe destacar:

- catas: son escavacións de pequena profundidade pero relativamente anchas, que se poden escavar con medios manuais ou maquinaria convencional de movemento de terras. Utilízanse en obras de pouca responsabilidade e na obtención de mostras en bloque de gran calidade;

- pozos: escavacións de maior profundidade ( $h < 10$  m) e de menor extensión. Xeralmente son circulares ( $\varnothing > 1$  m). Empréganse en obras lineais, porque en xeral son caros, aínda que proporcionan unha información moi completa;

- sondaxes: perforacións profundas de pequeno diámetro. Escávanse con máquinas perforadoras específicas. En función do procedemento elixido, permiten clasificar os solos que atravesan e obter as mostras que se utilizarán para determinar as súas características;

- ensaios de permeabilidade: co obxectivo de determinar a permeabilidade dun solo ou dun estrato do terreo, trátase de estudar a evolución das presións intersticiais no tempo;

- ensaios de penetración: consisten en fincar unha barra ríxida no terreo e estudar a resistencia que este opón á finca. Son moi utilizados para detectar zonas débiles sobre todo en perfís de terreos erráticos e para obter a información que proporcionan as sondaxes;

- ensaios de bombeo: para determinar caudais dispoñibles ou permeabilidade de zonas extensas;

- ensaios xeofísicos: son métodos indirectos e non destrutivos nos que, a partir do estudo dalgunha propiedade física do terreo e comparando os resultados con outras prospeccións xeotécnicas nas que se obteñan mostras, permiten correlacionar parámetros xeotécnicos do terreo coa magnitude física estudada. Son métodos que permiten o estudo de grandes áreas dun xeito bastante económico, pero que deben ser sempre contrastados con outros ensaios. Por exemplo, existen métodos xeofísicos que miden a velocidade de propagación de ondas elásticas, a resistividade eléctrica fronte a correntes eléctricas ou a susceptibilidade magnética cando se xera un campo electromagnético no subsolo, propiedades que están directamente relacionadas coa rixidez e a resistencia das unidades xeolóxicas que atravesan.

## 2.4. Tipos de mostras

As sondaxes e os ensaios citados permiten estudar *in situ* certas propiedades dos solos, pero hai outras características que teñen que ser determinadas en laboratorio, xa que requiren procedementos ou equipos que non se poden trasladar ó campo. Por exemplo, para coñecer a distribución dos tamaños das partículas dun solo é preciso realiza-los ensaios descritos na unidade didáctica 2, de granulometría por peneirado e/ou granulometría por sedimentación. Para iso, é necesario dispoñer dunha porción de material que se poida trasladar ó laboratorio. O mesmo sucede co resto de ensaios de identificación de solos, co ensaio edométrico ou cos ensaios de resistencia ó corte.

As porcións de solo que se extraen clasifícanse en primeiro lugar en representativas e non representativas, en función de que manteñan exactamente a mesma distribución de tamaños de partículas que tiña o terreo orixinal. En xeral, o procedemento de extracción debe ser coidadoso, xa que, por exemplo, se se emprega auga a presión na perforación da sondaxe a auga pode arrastrar as partículas finas e eliminalas da mostra, co que o material enviado ó laboratorio non concordará co que atopamos na obra. As mostras non representativas non se deben empregar para estudos xeotécnicos.

Entre as mostras representativas distínguense varios tipos en función do método de extracción e a cantidade de propiedades físicas que non se ven afectadas por ese proceso:

a) denomínanse mostras alteradas (MA) aquelas porcións de solo que non manteñen a estrutura orixinal que tiña *in situ* e nas que non se toman as medidas axeitadas para que non perdan a auga intersticial. Dentro deste tipo, pódense citar bolsas nas que se introduce solo procedente de catas, anacos de testemuño extraídos en sondaxes, etc;

b) denomínanse mostras inalteradas aquelas nas que o procedemento de extracción é máis coidadoso e a súa conservación e almacenamento permite manter máis propiedades do terreo. Hai varios tipos en función da súa xeometría ou finalidade:

- mostras bloque (MB), elementos paralelepípedicos de entre 60 e 80 cm de lado, que se obteñen por tallada en catas, pozos ou escavacións. O proceso de tallado é delicado, xa que non se debe empregar moita enerxía que poida altera-lo estado tensional do terreo. En caso de que se empregue moita presión, a mostra pasa a denominarse remoldeada;

- para a determinación da humidade (MH). Trátase de mostras ás que inmediatamente despois da súa extracción se lles aplica unha capa de parafina en toda a súa área lateral exposta ó ambiente, de modo que se impermeabiliza e se impide a saída de auga intersticial do interior da estrutura do solo;

- para a determinación de propiedades xeotécnicas (M1). En xeral trátase de elementos cilíndricos obtidos en sondaxes ou outras escavacións mediante o emprego de tomamostras axeitados, diferentes segundo o tipo de terreo de que se trata, e que permiten non altera-la estrutura e disposición orixinal das partículas no terreo.

No caso do Código Técnico de Edificación, as mostras clasifícanse en tres grupos segundo as propiedades que non se ven alteradas, e especificanse os ensaios que se poden realizar sobre cada tipo (táboa 2.1):

a) mostras de categoría A: manteñen inalteradas a estrutura, densidade, humidade, granulometría, plasticidade e compoñentes químicos estables;

b) mostras de categoría B: manteñen inalteradas a humidade, granulometría, plasticidade e compoñentes químicos estables;

c) mostras de categoría C: non cumpren as especificacións da categoría B.

Táboa 2.1: Categoría das mostras de solos e rochas para ensaios de laboratorio	
Propiedades para determinar	Categoría mínima da mostra
- Identificación organoléptica	C
- Granulometría	C
- Humidade	B
- Límites de Atterberg	C
- Peso específico das partículas	B
- Contido en materia orgánica e en CaCO <sub>3</sub>	C
- Peso específico aparente. Porosidade	A
- Permeabilidade	A
- Resistencia	A
- Deformabilidade	A
- Expansividade	A
- Contido en sulfatos solubles	C

Para poder obter mostras M1, deben empregarse equipos axeitados ó tipo de solo de que se trata. O método máis habitual é a finca por presión dun tubo oco no que se introduce o terreo, e que deben ter unhas proporcións determinadas para non remoldealo, ou polo menos que se se produce algunha alteración, esta sexa aceptable.

É evidente que a introdución dun tubo sacamostras no terreo produce algo de remoldeo que depende do espesor da parede do tomamostras: a maior espesor de parede, prodúcese máis alteración no terreo. Ademais, hai que ter en conta que o espesor da parede do sacamostras debe ser suficiente para soporta-los esforzos da finca.

O grao de alteración dunha mostra pode avaliarse mediante un coeficiente calculado a partir dos diámetros interior  $d$  e exterior  $D$  do tubo. Defínese  $C_a$  (relación de áreas) como:

$$C_a = \frac{D^2 - d^2}{d^2} \cdot 100$$

Se  $C_a \leq 10$  pode considerarse que a mostra queda inalterada na extracción. Nos tubos sacamostras habitualmente empregados,  $C_a$  adoita cumprir esta condición.

Hai varios tipos de tomamostras:

-tomamostras de parede delgada. Por exemplo, tipo Shelby, que se empregan con empuxe constante, nunca con golpeo. De uso recomendado en solos cohesivos de consistencia baixa a media e en areas soltas. No seu interior poden levar ou non outro cilindro de plástico que serve de recubrimento da mostra para evitar que se deteriore na súa manipulación ou no tempo de almacenaxe;

-tomamostras de parede grossa. Uso en solos cohesivos de ríxidos a duros, arxilas areosas e areas soltas con gravas;

-tomamostras de pistón. Poden ser de parede delgada ou grossa, incorporan un pistón interior, que permanece no extremo inferior durante a escavación e que permite recolle-la mostra cando se procede ó levantamento da hasta de penetración. Válido para todo tipo de solos;

-tomamostras bipartido estándar. É un cilindro que está dividido en dúas seccións lonxitudinais, que se emprega en ensaios de penetración e que conta cunha válvula que axuda á extracción da mostra;

-tomamostras Denison. Está deseñado para a obtención de mostras inalteradas en solos e materiais de fácil descomposición que poden ser "lavados" durante a perforación. A batería de tubo dobre xiratorio permite obter mostras inalteradas en materiais brandos así como tamén en solos duros onde as presións requiridas para fincar tomamostras de parede delgada serían excesivas.

Durante a perforación, presiónase firmemente o tubo interior na formación mentres rota o tubo exterior. Para protexe-la mostra, o tubo interior permanece estático en todo momento. O tubo interior leva unha fina camisa de plástico no seu interior para protexe-la integridade da mostra durante a perforación e a manobra de extracción. A mostra mantense no interior do tomamostras, ben por fricción coas paredes ou mediante unha cesta;

-tomamostras de xanela que son normalmente utilizados como un método simple, de baixo custo e efectivo para obter mostras inalteradas en profundidades de ata 15 metros. Teñen como principais campos de aplicación estudos agrícolas, medioambientais e arqueolóxicos, aínda que tamén se empregan en xeotecnia.

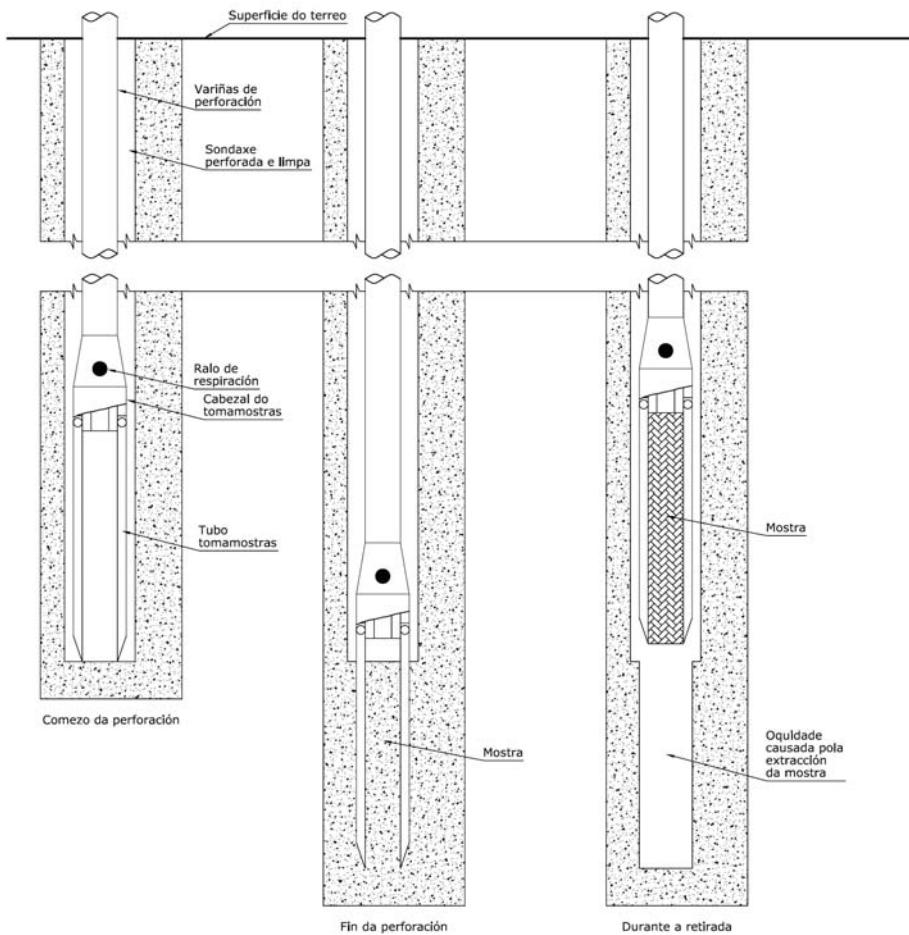
Para a toma de mostras, introdúcese no terreo por medio dun martelo eléctrico, pneumático ou hidráulico e cunha hasta de perforación de extensión para alcanza-la profundidade desexada.



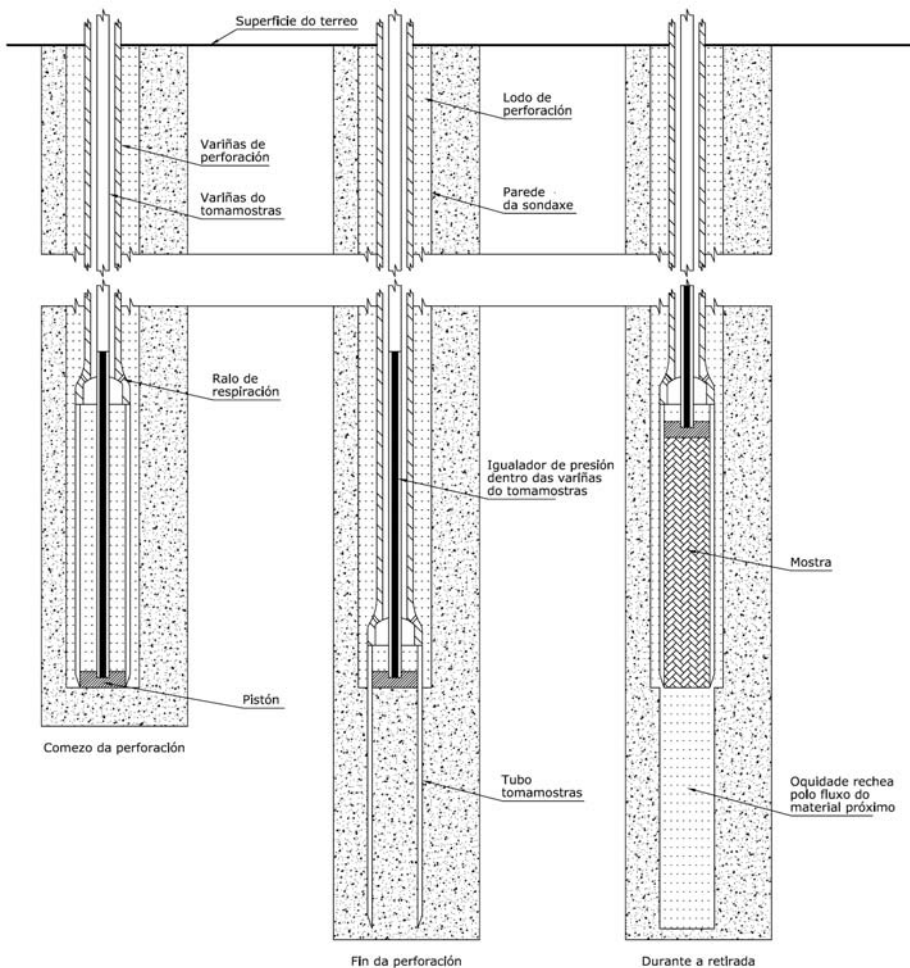
**Figura 2.1: Mostra bloque obtida nunha cata**



**Figura 2.2: Mostra inalterada protexida nunha funda de PVC**



**Figura 2.3: Procedemento operativo da extracción dunha mostra inalterada cun tomamostras aberto de parede delgada**



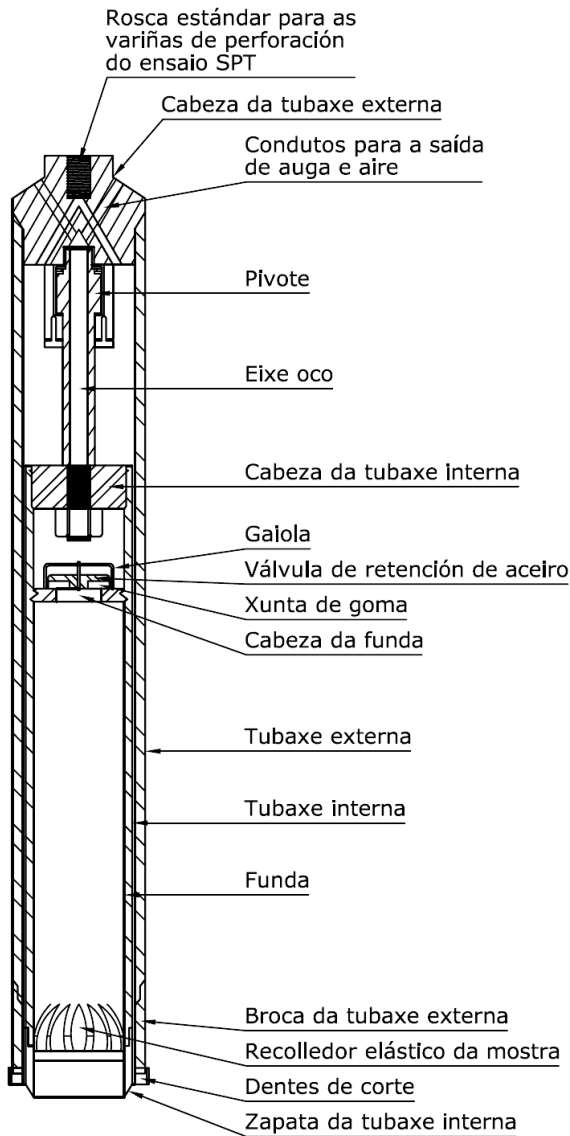
**Figura 2.4: Procedemento operativo da extracción dunha mostra inalterada cun tomamostras de pistón**



**Figura 2.5: Tomamostras de pistón**



**Figura 2.6: Tomamostras bipartido estándar**



**Figura 2.7: Tomamostras Denison**

**Figura 2.8: Tipos de cestas empregadas para a recollida da mostra en solos de fácil desintegración, usadas nos tomamostras Denison**





**Figura 2.9:**  
**Tomamostras de xanela**

Táboa 2.2: Tipoloxía e utilización de diferentes sistemas de extracción de mostrax.

Método de mostraxe	Tomamostras	Sistema de finca	Calidade da mostra	Solo apropiado
Manual	Bloque	Tallada a man	Excelente	Cohesivo de mediana consistencia
Manual	Cilindro	Finca coa man	Boa a excelente	Cohesivo de mediana a baixa consistencia
Mecánico	Aberto de parede delgada	Percusión	Regular a boa	Cohesivo de mediana a baixa consistencia. Areas soltas
Mecánico	Pistón de parede delgada	Presión	Regular a boa	Cohesivo de mediana a baixa consistencia. Areas soltas
Mecánico	Pistón con parede grossa	Presión	Regular	Cohesivo de consistencia baixa a alta
Mecánico	Tubo perforador	Rotación	Regular a boa	Compacto (rochas)
Mecánico	Tubo perforador dobre	Rotación	Regular a boa	Compacto (rochas brandas)

### 3. Dimensionamento dos traballos de campo

A seguinte fase na programación dun estudo xeotécnico consiste en decidir que ensaios se van executar, cantos son necesarios para evitar incertezas e que profundidade se debe investigar para ter un certo grao de seguridade de que non vai ser necesario amplia-las prospeccións para atopalo substrato rochoso inalterado. Todas estas decisións deben tomarse tendo en conta os condicionantes específicos do proxecto e as conclusións obtidas no estudo previo.

En moitas ocasións, os técnicos redactores dos estudos xeotécnicos tenden a adoptar a mesma campaña de recoñecemento independentemente das características especiais do caso, co que poden estar ofrecendo unha solución antieconómica ou, o que é máis importante, que non permita detectar zonas conflitivas. Un dos principais motivos para que se faga isto é a mala aplicación das recomendacións que fixan as normativas vixentes nos diferentes ámbitos da enxeñaría civil, que recollen o mínimo recomendable para deseña-las prospeccións, pero iso non quere dicir que haxa que executar sempre ese mínimo.

Na edificación, a norma de referencia é o Código Técnico de Edificación e en obra pública pódense seguir as recomendacións da Guía de Cimentacións da D. X. de Estradas do Ministerio de Fomento. Neste apartado imos repasa-los procedementos estándar que marcan ámbalas normativas, pero deixando quedar claro que sempre indican cantidade mínima de ensaios.

No mesmo sentido, preséntase un resumo de tres estudos nos que non existen ningún tipo de zona conflitiva, a modo de recomendacións xerais para saber por onde comezar:

- para un edificio de menos de 4 plantas, en parcela de 20x30 m poden ser suficientes 2 sondaxes (duns 20 metros de lonxitude, sempre que se chegue ó substrato máximo) e 3 penetrómetros continuos;

- para un edificio de máis de 20 plantas en solar de 40x50 m débense realizar, polo menos, 4-5 sondaxes mecánicas, duns 40 m de lonxitude mínima (xa que haberá varios sotos), sempre chegando ó substrato profundo, e unha dúcia de penetrómetros continuos;

- no caso dun túnel urbano (metro, por exemplo) débense realizar sondaxes mecánicas cada 250-300 m, pasando uns 10 metros por debaixo da cota da soleira e dúas sondaxes, como mínimo, en cada estación (pasando 30 metros por debaixo da soleira, por se hai que construír pilas-pilote). Ademais, nas zonas de valgadas e de recheos antrópicos débense realizar penetrómetros continuos (5, como mínimo, por zona). Tamén resulta conveniente, neste caso, realizar traballos xeofísicos e, se hai carstificacións, utilizar tomógrafos eléctricos;

- no caso dunha autovía na que as profundidades que alcanza o proxecto son menores, poden cambiarse e adoptar:

- a) catas superficiais cada 300-400 metros, para estudar-los materiais que se poidan utilizar en terrapléns;

- b) sondaxes en desmontes importantes, en valgadas e en estruturas (xeralmente, un por apoio);

- c) penetrómetros cada 300-400 metros, para coñecer recubrimentos en zonas de recheos e valgadas;
- d) recoñecementos xeofísicos, etc.

### 3.1. Procedemento do Código Técnico de Edificación

O Código Técnico de Edificación, no seu apartado SE-C no que se fai referencia ós estudos xeotécnicos, ten como ámbito de aplicación a seguridade estrutural, capacidade portante e aptitude ó servizo dos elementos de cimentación e de contención de todo tipo de edificios, no que respecta unicamente ás condicións do terreo, xa que as características propias dos materiais e o seu deseño estrutural regúlase noutros apartados ou na instrución EHE.

Para a programación do recoñecemento do terreo deben terse en conta tódolos datos relevantes da parcela, tanto os topográficos ou urbanísticos e xerais do edificio, como os datos previos de recoñecementos e estudos da mesma parcela ou parcelas limítrofes se existen, e os xerais da zona realizados na fase de planeamento ou urbanización.

Para os efectos do recoñecemento do terreo, a unidade que se vai considerar é o edificio ou o conxunto de edificios dunha mesma promoción, e o primeiro punto de partida é precisamente clasificar a obra que se pretende construír en función do número de plantas, do seu volume ou da singularidade. Existen cinco categorías de edificios, da C-0 a C-4, de importancia crecente, que se describen na táboa 3.1, na que se debe ter en conta que no cómputo das plantas dun edificio se inclúen tamén os sotos.

Táboa 3.1: Tipo de construción	
Tipo	Descrición
C-0	Construcións de menos de 4 plantas e superficie construída inferior a 300 m <sup>2</sup>
C-1	Outras construcións de menos de 4 plantas
C-2	Construcións entre 4 e 10 plantas
C-3	Construcións entre 11 e 20 plantas
C-4	Conxuntos monumentais ou singulares, ou de máis de 20 plantas

O segundo paso é clasificar o tipo de terreo no que se vai realizar a construción da obra en tres grandes grupos (favorables, intermedios e desfavorables), tendo en conta fundamentalmente a variabilidade e a deformabilidade das unidades xeotécnicas identificadas no estudo previo ou na visita á parcela.

Na práctica, o modo no que se redacta o significado dun terreo favorable fai que só se empreguen terreos T-2 na maioría dos casos e T-3 cando se agarda atopar algunha dificultade, xa que no deseño dunha cimentación non se adoitan empregar cimentacións directas illadas e é moi habitual a posible presenza de recheos antrópicos ou solos residuais na

maioría dos solos urbanizables, xa que se atopan moi próximos a núcleos urbanos en zonas que se empregaban como vertedoiros no pasado.

Grupo	Descrición
T-1	Terreos favorables: aqueles con pouca variabilidade, e nos que na práctica habitual da zona é de cimentación directa mediante elementos illados
T-2	Terreos intermedios: os que presentan variabilidade, ou que na zona non sempre se recorre á mesma solución de cimentación, ou nos que se pode supoñer que teñen recheos antrópicos de certa relevancia, aínda que probablemente non superen os 3,0 metros.
T-3	Terreos desfavorables: os que non se poden clasificar en ningún dos tipos anteriores. De forma especial, consideráranse neste grupo os seguintes terreos: Solos expansivos Solos colapsables Solos brandos ou soltos Terreos kársticos en xesos ou calizas Terreos variables en canto a composición e estado Recheos antrópicos con espesores superiores a 3 m Terreos en zonas susceptibles de sufrir deslizamentos Rochas volcánicas en coladas delgadas ou con cavidades Terreos con desnivel superior a 15° Solos residuais Terreos de marismas

A partir da clasificación da obra e do terreo xa se pode deseña-la densidade e a profundidade dos recoñecementos, a partir da táboa 3.3 e buscando poder ter unha cobertura correcta da zona a edificar.

Tipo de construción	Grupo de terreo			
	T1		T2	
	$d_{\text{máx}}$ (m)	P (m)	$d_{\text{máx}}$ (m)	P (m)
C-0, C-1	35	6	30	18
C-2	30	12	25	25
C-3	25	14	20	30
C-4	20	16	17	35

O mínimo de puntos a recoñecer será de tres, e debe terse en conta que os valores da táboa son mínimos orientativos que se deben cumprir pero que en cada caso se adaptarán os condicionantes do proxecto e do emprazamento.

Se a superficie que se vai recoñecer é moi importante (superior ós 10.000 m<sup>2</sup>) poderase reduci-la densidade de puntos, pero mantendo como límite o 50% dos ensaios.

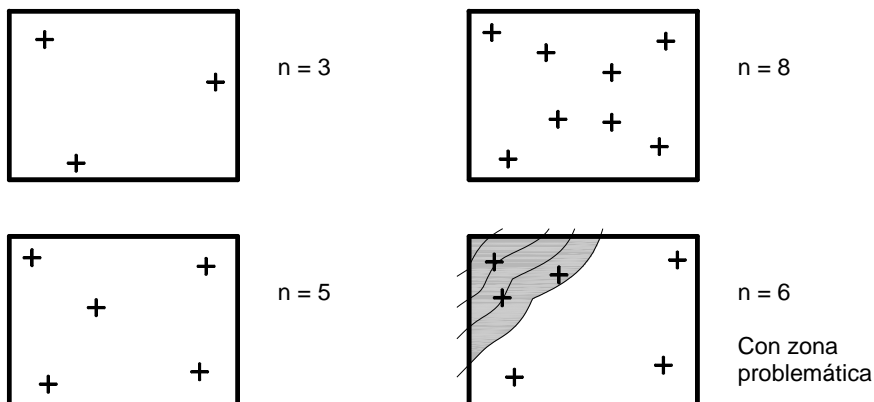
Na táboa 3.4 establécese o número mínimo de sondaxes mecánicas e a porcentaxe total de substitución por probas continuas de penetración, cando o número de sondaxes garante ter como mínimo 3 mostras inalteradas de cada unha das unidades xeotécnicas presentes na parcela.

	Número mínimo		% de substitución	
	T-1	T-2	T-1	T-2
C-0	-	1	-	66
C-1	1	2	70	50
C-2	2	3	70	50
C-3	3	3	50	40
C-4	3	3	40	30

O estrato profundo máis resistente, que serve de apoio a unha posible cimentación profunda ou como límite para o cálculo de asentos dunha cimentación superficial, deberá estudarse nunha profundidade de polo menos 2 m, máis 0,3 m adicionais por cada planta do edificio.

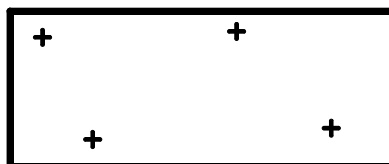
Tódolos puntos de recoñecemento, en planimetría e altimetría, deben quedar reflectidos nun plano, referidos a puntos fixos claramente recoñecibles do contorno, ou no seu defecto a coordenadas UTM.

Os puntos de recoñecemento deben situarse segundo esquemas regulares, concentrándoos se é preciso en zonas conflitivas. Convén cubrir ben o perímetro do solar, con distancias a este non superiores a uns 3 m, progresando cara ó interior. Poden seguirse esquemas como os das figuras 3.1 a 3.4.

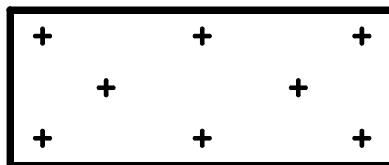


**Figura 3.1: Esquemas orientativos de emprazamento de puntos de recoñecemento en solares cadrados ou rectangulares**

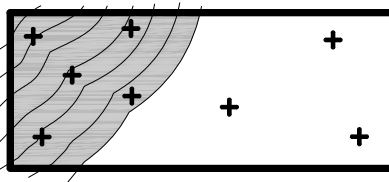
En caso de terreos do grupo T-3 ou cando o recoñecemento derive doutro que resultara insuficiente, intercalaranse puntos de recoñecemento nas zonas problemáticas ata definilas axeitadamente.



n = 4



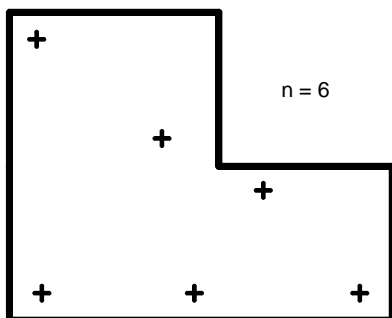
n = 8



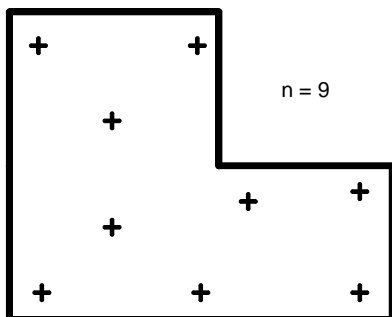
n = 8

Con zona problemática

**Figura 3.2: Esquemas orientativos de emprazamento de puntos de recoñecemento en solares alongados**

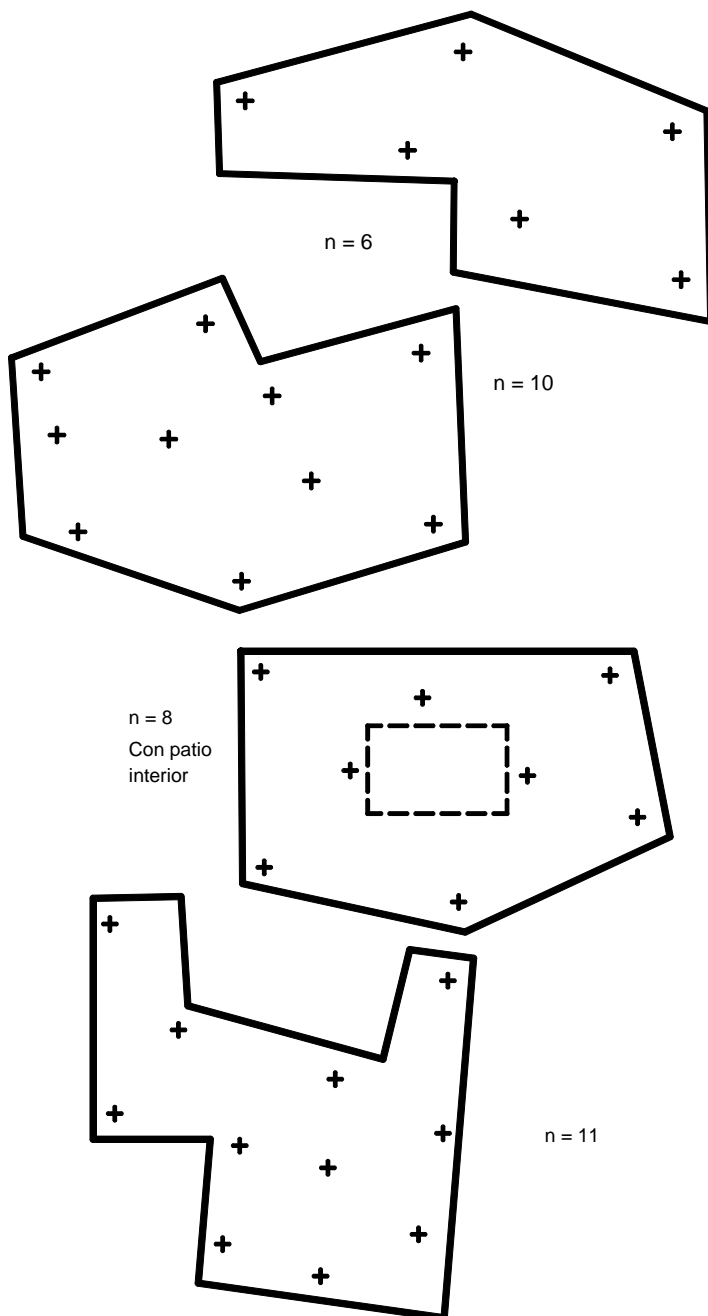


n = 6



n = 9

**Figura 3.3: Esquemas orientativos de emprazamento de puntos de recoñecemento en solares en L**



**Figura 3.4: Esquemas orientativos de emprazamento de pontos de reconhecimento em solares de forma irregular**

## 3.2. Procedemento da Guía de Cimentacións do Mº de Fomento

A guía de cimentacións da Dirección Xeral de Estradas do Ministerio de Fomento pretende describi-las regras de boa práctica que se deben aplicar nos proxectos, na construción e na conservación das obras de cimentación en estradas. Neste ámbito, fórmulanse unhas indicacións que intentan axudar ó proxectista nas fases de investigación do terreo, no estudo das alternativas e no proxecto construtivo dunha estrada, e tamén durante a construción desta.

Como primeira premisa, establece que os recoñecementos do terreo deben ser suficientemente extensos para permitir coñece-lo terreo nas zonas de influencia das cimentacións, tanto en planta, respecto ó eixe do trazado, como en profundidade, ata sobrepassa-la zona onde as cargas da cimentación poidan ter efecto.

A primeira análise do estudo xeotécnico basease en ter en conta dúas características do proxecto e o seu emprazamento, que son a natureza do terreo e o tipo de obra a estudar.

A natureza do terreo estúdase segundo dúas características esenciais que son a variabilidade e a capacidade portante relativa (respecto da necesaria para soportar ben a obra en cuestión).

–Respecto á súa variabilidade, os terreos pódense cualificar en homoxéneos, normais e heteroxéneos.

–Respecto á súa capacidade de soporte relativa á execución dunha determinada cimentación, pódense distinguir situacións favorables, normais ou adversas.

Considérase que a variabilidade dun terreo é "normal" cando as características xeotécnicas na vertical dun punto poden predicirse con precisión axeitada ó fin que se persegue, interpolándoas entre as obtidas en sondaxes espazadas aproximadamente uns 20 m entre si.

As condicións de cimentación poden ser similares, mellores ou peores que as correspondentes a unha situación que se podería clasificar como "normal", definida como a que conduce a unha cimentación usual, sinxela de executar, sobre a que se ten certa experiencia e que non é especialmente sensible ás variacións de calidade esperables no terreo de cimentación.

Poden darse condicións de cimentación adversas naqueles terreos problemáticos que obriguen a utilizar procedementos especiais de cimentación, mentres que as condicións de cimentación favorables (mellores que o normal) son aquelas nas que a solución aplicada é de bo comportamento aínda que as condicións do terreo cambien dentro do rango esperado.

### 3.2.1. Clases de recoñecementos

A partir do estudo destas dúas condicións, procédese a defini-las necesidades de recoñecemento, agrupadas en tres categorías principais —intenso, normal e reducido—, outra categoría para os casos moi preocupantes, control especialmente intenso, e un recoñecemento xeotécnico esporádico para situacións homoxéneas e favorables.

A relación que existe entre as condicións do terreo, as condicións de cimentación e a intensidade que se lles esixen ós recoñecementos pode consultarse na táboa 3.5 adxunta.

Condições de cimentación	Variabilidade do terreo	Heteroxéneo	Normal	Homoxéneo
	Adversas		Especial	Intenso
Normais		Intenso	Normal	Reducido
Favorables		Normal	Reducido	Espóradico

### 3.2.2. Número de puntos que se van investigar

O número de puntos de recoñecemento e a súa situación están xa bastante condicionados pola xeometría prevista das obras que se van realizar e pola información preexistente, así como pola confirmación ou non desta, nos primeiros ensaios. Neses casos convén reconsiderar a situación e ampliar ou reducir a intensidade da campaña consecuentemente.

A intensidade dos recoñecementos tamén depende do tipo de cimentación para estudar, xa que cada tipoloxía precisa de información axeitada ás dimensións do terreo afectado.

Na figura 3.5 indícase o número ou a separación dos perfís transversais que se deben investigar e no número de puntos de recoñecemento que se deben facer en cada un.

Nesa táboa debe terse en conta que:

a) normalmente, en cada punto de recoñecemento realizarase unha sondaxe mecánica cos requirimentos de lonxitude, toma de mostras e ensaios precisos para coñecer as propiedades mecánicas de todas as unidades xeotécnicas afectadas polas obras, aínda que se permite que parte das sondaxes se substitúan polas seguintes técnicas:

- en solos brandos, entre 1/3 e 2/3 dos puntos deben recoñecerse mediante ensaios penetrométricos estáticos, piezocono preferiblemente;
- en solos de consistencia “media” ou algo menor da “media”, ata a metade dos puntos do recoñecemento pódense substituír por ensaios penetrométricos dinámicos continuos;
- en situacións de solo firme ou moi firme, ata a metade das sondaxes pódense substituír por exploracións mediante catas;
- en situacións de rocha aflorante, ata dous terzos dos puntos pódense recoñecer mediante estacións xeomecánicas con censado de litoclasas;

	Nº de perfiles transversales al eje de la obra	Nº de puntos por perfil	Esquema
Puentes de varios tramos	1 perfil por cada apoyo (cimentaciones superficiales o profundas)	$L \leq 10m$	
		$L > 10m$	
Puentes de un tramo y Pasos inferiores	$L \geq 20m$ 1+1 perfil por cada 50 m o fracción, de longitud total de la obra de paso	$B \leq 8m$	
		1	
Muros	1 perfil por cada 20 m o fracción, de longitud total del muro	$H \leq 5m$	
		1 ud	
Apoyo de terraplenes	$L \geq 200m$ 1 perfil por cada 100 m o fracción de longitud total del terraplén	$H_{max} \leq 10m$	
		2 uds	
Depósitos de suelos blandos que se van a tratar	1 perfil por cada 50 m de longitud o fracción, según el eje del tratamiento	$B \leq 30m$	
		2 uds	

**Figura 3.5: Número de puntos de reconocimiento recomendado en situaciones de control normal**

b) na cimentación dunha ponte en varios tramos é recomendable recoñecer todos e cada un dos apoios, e se son de grandes dimensións será necesario recoñecer polo menos dous puntos de cada estribo;

c) na cimentación dunha ponte dun tramo e en pasos inferiores de van similar a 8 m como máximo pódese estudar só un apoio, sempre que non se teña detectado a presenza de fallas, discontinuidades ou singularidades doutro tipo entrambas;

d) a cimentación de muros debe cuidarse especialmente porque son estruturas moi sensibles a pequenas variacións do terreo, polo que se deben recoñecer con espazamentos curtos. Cando superan os 5 m de altura convén establecer polo menos dous puntos de recoñecemento en cada perfil e pasar a tres puntos cando superan os 10 m;

e) o apoio de terrapléns debese investigar mediante perfís espazados non máis duns 100 m entre si, e en cada perfil realizar polo menos dous recoñecementos puntuais en terrapléns baixos ( $H \leq 10$  m) e polo menos tres en terrapléns altos ( $H > 10$  m);

f) a intensidade do recoñecemento en depósitos de solos brandos que requiran efectuar tratamentos é maior que a indicada para os apoios de terrapléns sobre terreos que non o precisan, de modo que o número de puntos por perfil recomendados depende da anchura da sección transversal da obra. Se non se superan os 30 m de ancho é suficiente con dous puntos, ampliándose a tres se é maior. Os perfís elixidos non deberán estar espazados entre si máis de 50 m.

### 3.2.3. Profundidade dos ensaios

Ademais de defini-lo número e situación dos ensaios de recoñecemento, tamén é preciso defini-la profundidade da prospección, que como se comentou depende da tipoloxía da estrutura xeotécnica que se pretenda proxectar e executar.

#### Cimentacións de terrapléns

A profundidade de recoñecemento necesaria para o proxecto dos cimentos dos terrapléns debe ser tal que abarque a zona de rotura de posibles inestabilidades globais. Esa profundidade será a menor das tres seguintes:

a) profundidade igual ó ancho da zona de apoio, cando se trata de solos brandos;

b) ata atopar un terreo de resistencia suficiente para garantira-la estabilidade global;

c) ata atopar rocha suficientemente sa.

#### Cimentacións de estruturas

Antes de decidi-la profundidade dos recoñecementos é conveniente considera-lo tipo de cimentación que se pensa proxectar. En caso de dúbidas suporase que a cimentación será profunda.

#### -Cimentacións superficiais

$$z_{\min} \geq 1,5 \cdot B$$

En xeral

$$z_{\min} \geq 10 \text{ m} + \sqrt{A}$$

Cando poidan existir solos brandos en profundidade

onde

$Z_{\min}$	Profundidade mínima do recoñecemento
B	Ancho da cimentación (dimensión menor en planta)
A	Área de apoio da cimentación, expresada en $m^2$

-Pilotes por punta

$$Z_{\min} = Z_0 + 10 \cdot \phi$$

$$Z_{\min} = Z_0 + 1'5 \cdot B$$

onde

$Z_{\min}$	Profundidade mínima do recoñecemento
$Z_0$	Profundidade do estrato ou nivel competente onde se vaian apoia-los pilotes
$\phi$	Diámetro do pilote
B	Ancho do grupo ou conxunto de pilotes (dimensión menor, en planta, do rectángulo circunscrito ó grupo)

-Pilotes por fuste

$$Z_{\min} = L + 5 \cdot \phi$$

$$Z_{\min} = 1'5 \cdot (L + B)$$

onde

$Z_{\min}$	Profundidade mínima do recoñecemento
L	Lonxitude do pilote
$\phi$	Diámetro do pilote
B	Ancho do grupo ou conxunto de pilotes (dimensión menor, en planta, do rectángulo circunscrito ó grupo)

#### 3.2.4. Número de mostras e de ensaios

Ó mesmo tempo que se van realizando os ensaios de recoñecemento vanse realizando perfís xeotécnicos que recollan tódolos tipos de solos e rochas que se van atopando nas prospeccións (figura 3.6).

Cada tipo de terreo debe estudarse con suficiente amplitude, fixando como mínimo que se obteñan tres mostras representativas de cada un.

Coas mostras representativas de cada unidade xeotécnica deben programarse os ensaios de laboratorio que cumprirán o seguinte:

-tódalas mostras deben ser sometidas a ensaios de identificación (humidade, granulometría e de consistencia), e polo menos dúas mostras representativas deben someterse a ensaios de identificación máis completos (mineraloxía, pesos específicos, densidades extremas en areas);

-tódalas mostras inalteradas deben ensaiarse para determina-la súa densidade e a súa humidade natural;

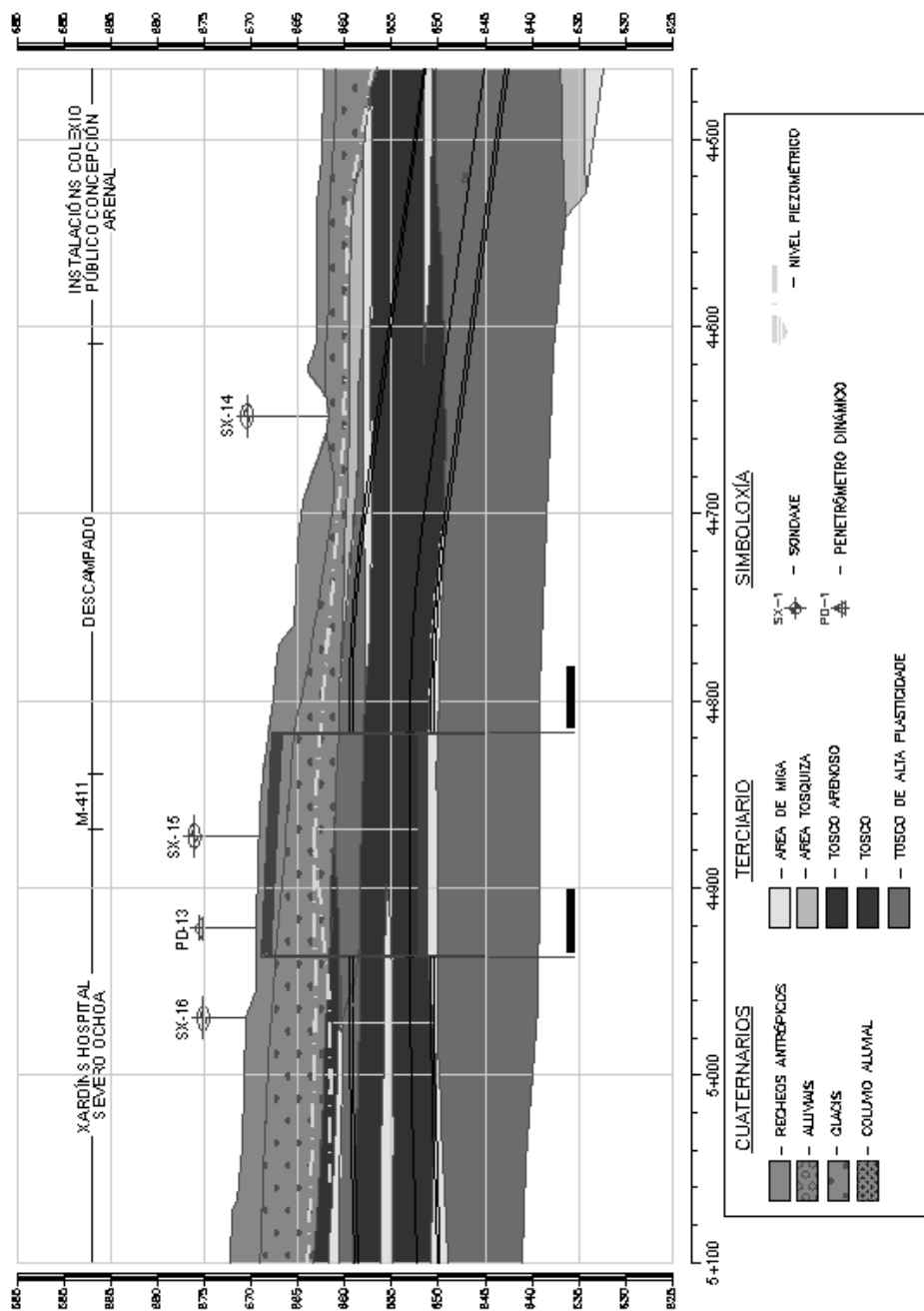


Figura 3.6: Exemplo de perfil xeotécnico para unha obra lineal

-cada terreo debe caracterizarse con, polo menos, dous ensaios de resistencia e deformabilidade en laboratorio. Dependendo do tipo de terreo estes ensaios serán triaxiais, de corte directo e/ou edométricos;

-cando sexa de interese, realizaranse ensaios de permeabilidade en célula triaxial, en permeámetro ou en edómetro, dependendo do tipo de terreo.

O programa de ensaios de laboratorio debe axustarse e ir evolucionando a medida que se vaian coñecendo os resultados dos ensaios de identificación.

Toda a información que se obteña durante as diferentes campañas de recoñecemento reflectirase tamén no perfil xeotécnico, para que o proxectista poida ter un resumo da información nun único plano. Debe sinalarse que na elaboración dos perfís xeotécnicos o técnico redactor do estudo vai interpolando a información dispoñible nos puntos que foron investigados para poder representa-lo perfil máis probable do terreo interpretando os datos coñecidos. É dicir, os únicos puntos realmente coñecidos son os investigados e o resto do perfil é unha interpretación subxectiva do redactor, coas implicacións que isto conleva.

#### **4. Sondaxes e perforacións**

As diferentes solucións para a cimentación de estruturas requiren estuda-lo terreo ata unha determinada profundidade sobre a que exercen influencia, e no estudo xeotécnico debe mostrarse, por tanto, a situación exacta de cada tipo de terreo que se poida ver afectado. Para coñecer as características deses niveis profundos existen unha serie de procedementos que se poden empregar, e que se describen a continuación, facendo fincapé nos pasos que se seguen para a execución do ensaio, nas recomendacións básicas para que o procedemento sexa de utilidade, nos casos en que son indicados e na interpretación dos resultados que proporcionan.

##### **4.1. Catas e gabias**

Pequenas escavacións (ata 3-4 m de profundidade) con anchura de 1-2 metros que se fan manualmente ou con retroescavadoras, que permiten a observación directa da superficie e do perfil xeolóxico do terreo ata unha profundidade moderada e para tomar mostras alteradas e inalteradas.

A mostraxe realízase recollendo o material acumulado dunha determinada cota en bolsas de distinto tamaño (mostra alterada) para identificación en ensaios de laboratorio ou mediante tomamostras metálicos e cilíndricos fincados (se o permite o terreo), para obter en laboratorio parámetros de consistencia e resistencia, etc. Cada bolsa referénciase debidamente.

As catas realízanse mediante retroescavadoras de potencia suficiente para escavar solos e rocha moi meteorizada, ata unha profundidade máxima duns cinco metros. Adóitase indicar o tipo de maquinaria usada e a súa potencia.

A execución de catas e a correspondente toma de mostras debe quedar ben documentada. Para iso, convén deixar constancia de polo menos, os seguintes detalles:

- datos administrativos como o identificador, o nome do cliente e da obra, a máquina empregada, etc;
- situación, indicando as súas coordenadas, tanto en planta como a cota da superficie;
- data de realización;
- documentación fotográfica, en cor;
- descrición dos terreos atopados;
- existencia de auga. Posible situación do nivel freático. Caudais, volumes e cantos datos se estimen de interese ó respecto;
- relación das mostras tomadas, con identificación suficiente;
- relación de ensaios *in situ*, no seu caso;
- dificultade de escavación (ripabilidade);
- outros posibles detalles que se consideren de interese.

No momento da súa escavación debe estar presente un técnico cualificado, que é quen realiza as fotografías, redacta o parte e realiza a descrición dos solos e os ensaios de campo (penetrómetro ou vane test) que lle axuden a estima-la consistencia dos materiais cohesivos. Encárgase, tamén, da toma de mostras para a realización de ensaios.

As catas débense reencher inmediatamente, salvo que se solicite o contrario para poder observar por algún tempo a afluencia de auga, estabilidade das paredes, etc.

É interesante indicar que este método de investigación deteriora o substrato base de cimentación polo que se recomenda evitar situálas baixo puntos onde se proxecte apoiar zapatas ou na proximidade de cimentacións existentes para evitar problemas de estabilidade, descalces, etc.

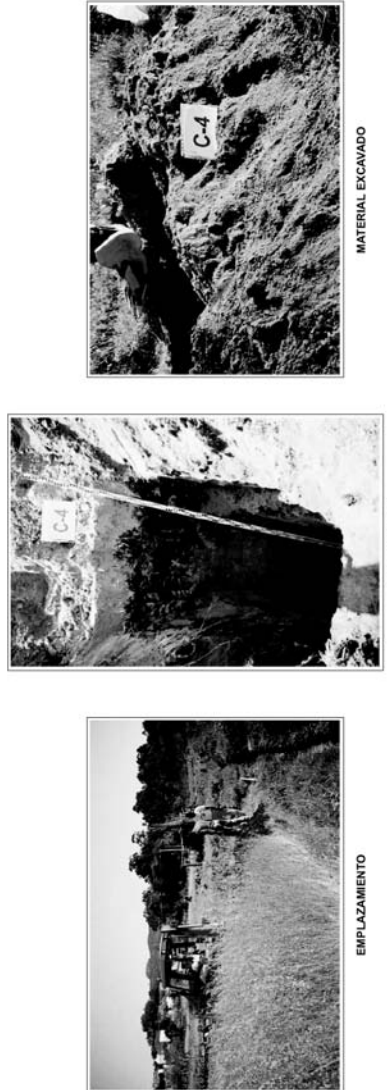
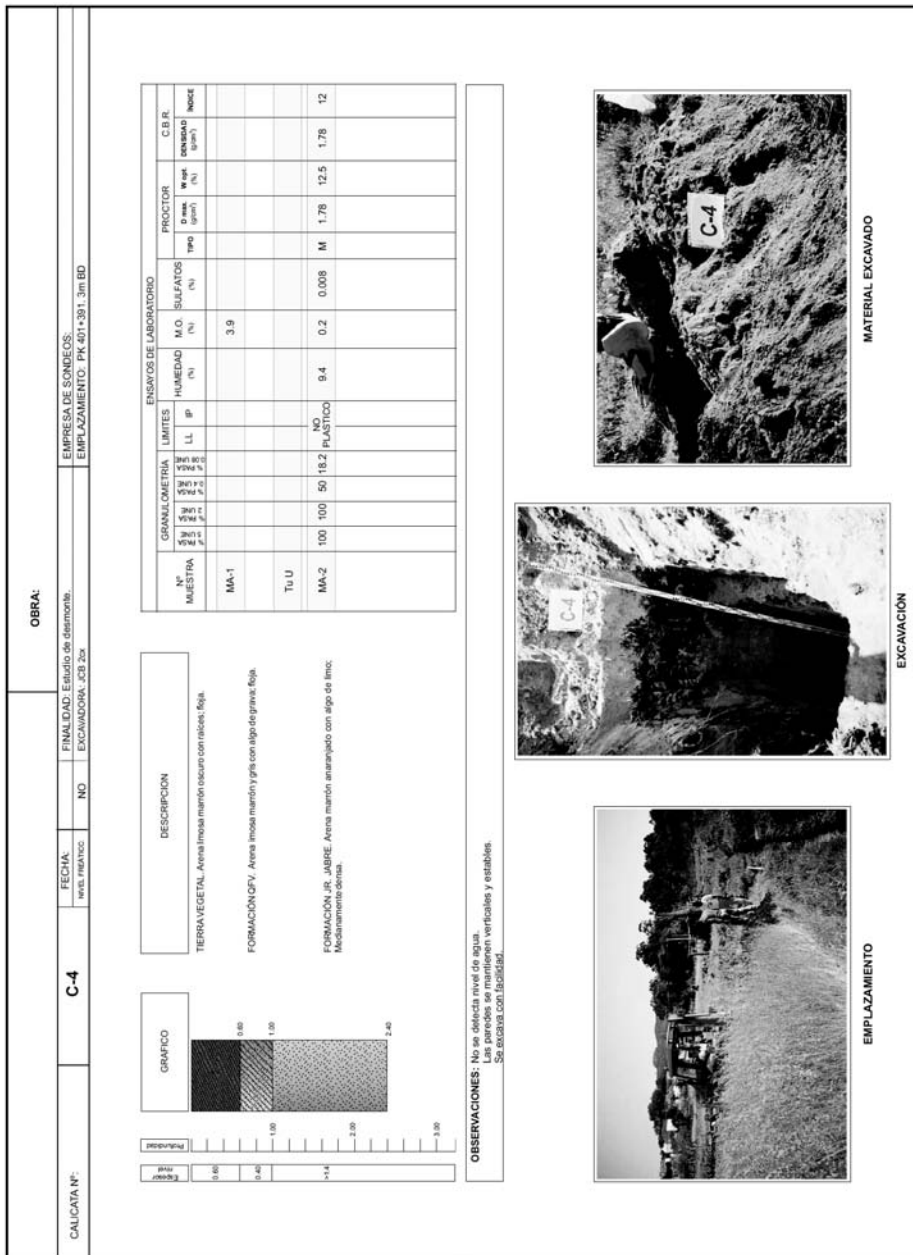
## **4.2. Sondaxes**

Son perforacións feitas con máquina ata profundidades de centos de metros, aínda que as xeotécnicas adoitan ser de 10-40 m, con diámetros que oscilan entre 70 e 200 mm.

O equipo é un sistema mecánico que fai penetrar por diferentes medios unha tubaxe no terreo que ten a dobre función de manter estables as paredes do taladro e de introduci-lo terreo na tubaxe para que cando toda a hasta de perforación se retira se obteña un “testemuño” do material atravesado, que permite a súa descrición e a posterior realización de ensaios de identificación.

A medida que avanza a perforación pode introducirse no seu interior un “tomamostras”, de menor diámetro, que se finca a presión ou por golpeo, que intenta extraer “mostras inalteradas”, destinadas a ensaios de estado, resistencia e deformación.

Na penetración da tubaxe no terreo prodúcese un incremento de temperatura polo esforzo necesario para rompe-la estrutura do solo, polo que é necesario empregar un líquido refrixerante que protexa o equipo do desgaste. O líquido empregado (que adoita ser auga) pode altera-lo solo que se perfora, polo que se empregan baterías de perforación de tubo



**Figura 4.1: Exemplo de parte que se debe realizar nunha cata simple, tubo dobre ou tubo triplo, para evitar ou non que a auga de**

refrixeración estea en contacto co terreo. Nos casos de máis dun tubo, un ten a función de escavación e outro pode ir avanzando diante para extrae-lo “testemuño inalterado”.

Os mecanismos empregados para a perforación dependen da natureza dos solos que se teñan que atravesar. Poden ser:

- por inxección de auga en solos moi brandos;
- por presión en solos brandos;
- por percusión cando o material a perforar son gravas ou materiais cementados;
- por rotación dun elemento cortante, no caso de solos duros ou rochas.

En solos non moi duros con certa cohesión, son de interese as sondaxes helicoidais con barrena maciza ou oca, sobre todo cando hai problemas coa auga. Teñen interese porque son rápidas e económicas, pero só se poden obter mostras alteradas. Utilízanse moito cando se quere realizar algún ensaio que precise un taladro previo.

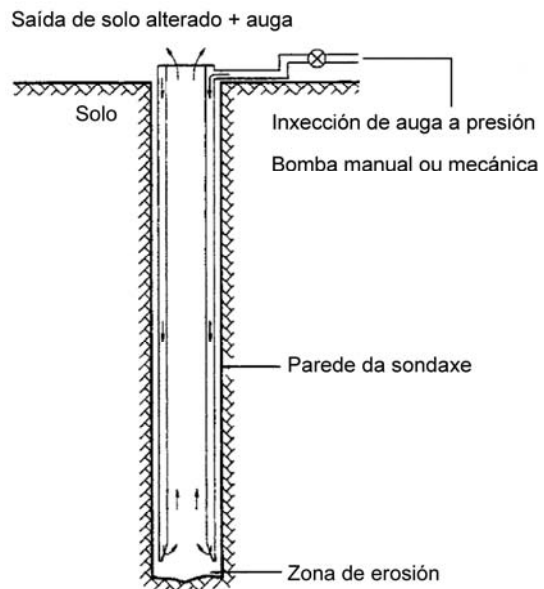
#### 4.2.1. Sondaxe por inxección de auga

Neste procedemento o solo extráese mediante a erosión provocada pola inxección de auga a unha presión comprendida entre 0,5 e 5 MPa, dependendo da compacidade do terreo. Este tipo de perforación so é efectiva en terreos relativamente brandos.

Inxéctase auga desde a superficie mediante unha bomba, facéndose circular a través da oquidade entre dous tubos concéntricos que se van fincando no terreo a medida que vai saíndo o solo, misturado coa auga, á superficie.

O diámetro da sondaxe adoita estar arredor dos 8 cm. A medida que se vai profundizando vanse conectando, desde a superficie, tubos que adoitan ter lonxitudes de entre 2 e 3 m cada un. Nestas condicións pode chegarse, se o terreo o permite, ata profundidades duns 20 m. A figura 4.2 mostra unha disposición do conxunto de elementos necesarios para o funcionamento do equipo.

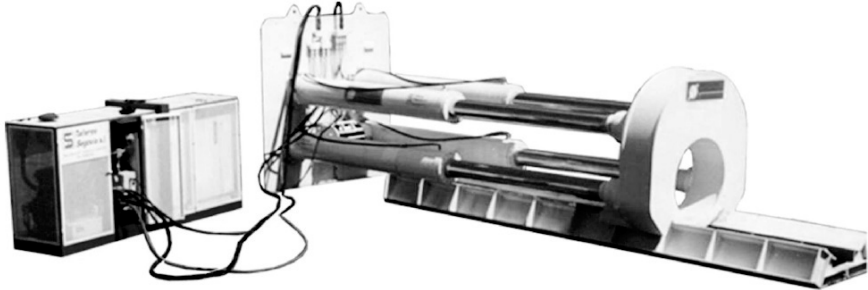
O procedemento é sinxelo e barato, pero ten o inconveniente de que o solo sae totalmente alterado e non se pode dispoñer de testemuños. Na actualidade é pouco utilizado.



**Figura 4.2: Sondaxe por inxección de auga**

#### 4.2.2. Sondaxes por presión

Neste caso a tubaxe penetra no terreo grazas á acción dunha presión estática proporcionada por un gato hidráulico. Unicamente se poden empregar en solos cohesivos de consistencia branda, xa que o gato necesita apoiarse no camiión sobre o que vai montado e que serve de reacción. Se se queren atravesar solos que ofrezan moita resistencia, debería incrementarse moito o peso do camiión.



**Figura 4.3: Equipo para a realización dunha sondaxe por presión**

#### 4.2.3. Sondaxes a percusión

Empréganse en solos cementados ou duros, nos que se precisa máis enerxía para favorecer a finca da tubaxe. A caída dun trépano ou unha culler dende unha altura suficiente proporciona a enerxía dinámica que corta o terreo. O trépano utilízase para atravesar bolos, grava grosa, arxila compacta ou capas delgadas de rocha, mentres que a culler é máis apropiada para solos arxilosos máis brandos e en areas.

Se se producen desprendementos, empréganse lodos bentoníticos para favorecer a estabilidade das paredes do taladro, ou ben se protexe a escavación mediante unha camisa metálica.

Estes equipos son similares ós empregados nos ensaios de penetración que se describirán máis adiante.

#### 4.2.4. Sondaxes a rotación con barrena helicoidal

É un equipo sinxelo, no que mediante o xiro dunha barrena helicoidal pola acción dun motor, a perforación avanza no terreo de modo que vai provocando a saída do solo á superficie. Na figura 4.4 móstrase un esquema da disposición do equipo.

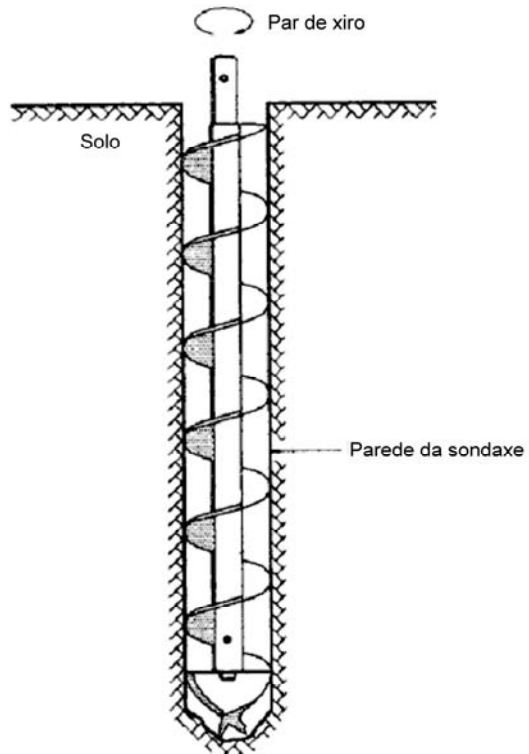
O solo extraído alterase completamente, polo que é utilizable exclusivamente para identificación básica. Por outra parte, é difícil precisar a profundidade exacta á que estaba.

Utilízase en sondaxes pouco profundas (menos de 20 m). O avance na perforación é rápido e o custo baixo.

Resulta un procedemento de sondaxe moi eficaz en solos brandos, aínda que é impracticable en solos con certa compacidade.

Pode utilizarse tanto en solos cohesivos como non cohesivos; neste último caso debe dispoñerse dunha camisa metálica protectora das paredes. Se no extremo inferior da hélice se coloca un pequeno sacamostras, é posible dispoñer dun testemuño a unha altura controlada; non obstante, co barrenado non é posible extraer un testemuño continuo en profundidade como no caso da rotación ou a percusión.

Os elementos perforadores dependen das características do terreo, xa que se son duros empréganse picas e se son máis brandos óptase por ferramentas con dentes, en aceiros especiais e antidesgaste e sempre recambiables. Os diámetros van desde 400 mm ata 2.500 mm, en función do obxectivo da sondaxe.

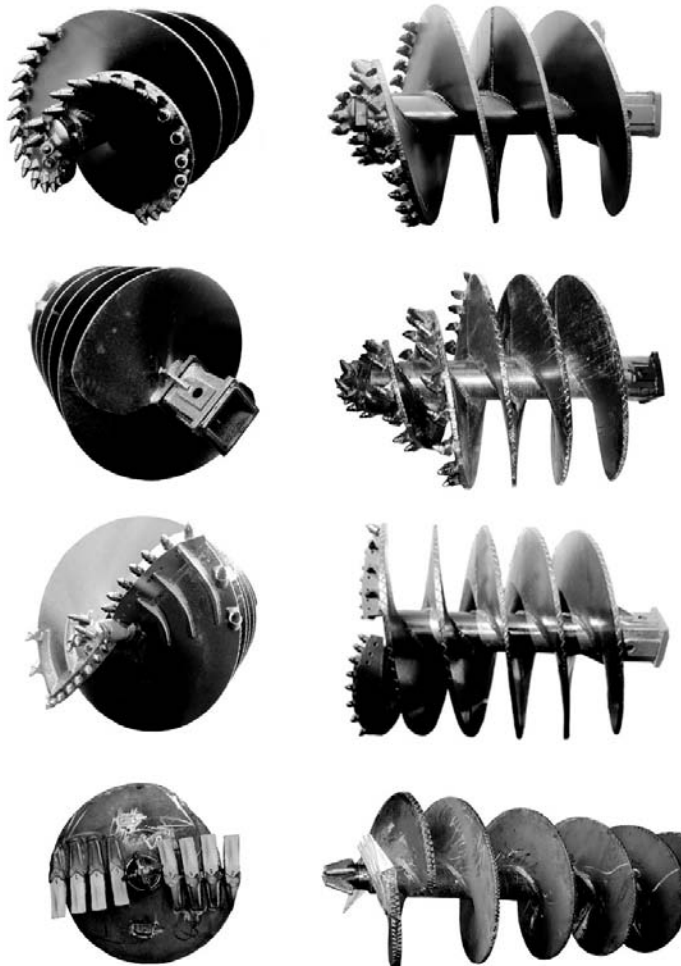


**Figura 4.4: Sondaxe a rotación con barrena helicoidal**

#### 4.2.5. Sondaxes a rotación con coroa

O sistema de perforación rotativa é un procedemento moi utilizado pola súa eficacia e pola posibilidade de chegar a gran profundidade xa que, co equipo apropiado, pódese chegar a profundidades de ata algúns kilómetros. O equipo dispón dunha cabeza perforadora que xira accionada xeralmente por un motor hidráulico; esta cabeza adoita ser de aceiro endurecido. As zonas que rozan directamente co terreo habitualmente protéxense do desgaste mediante po de diamante.

O equipo adoita ser autopropulsado ou ben arrastrado. Ademais da enerxía de corte aplícase unha carga vertical que se transmite a través da barra de perforación, para axudar no avance da tubaxe e para regula-la velocidade. Se o solo é duro a velocidade de avance debe reducirse para evita-lo sobrequecemento da cabeza e evitar así un prematuro desgaste. A temperatura mantense mediante a aplicación de auga a presión sobre a



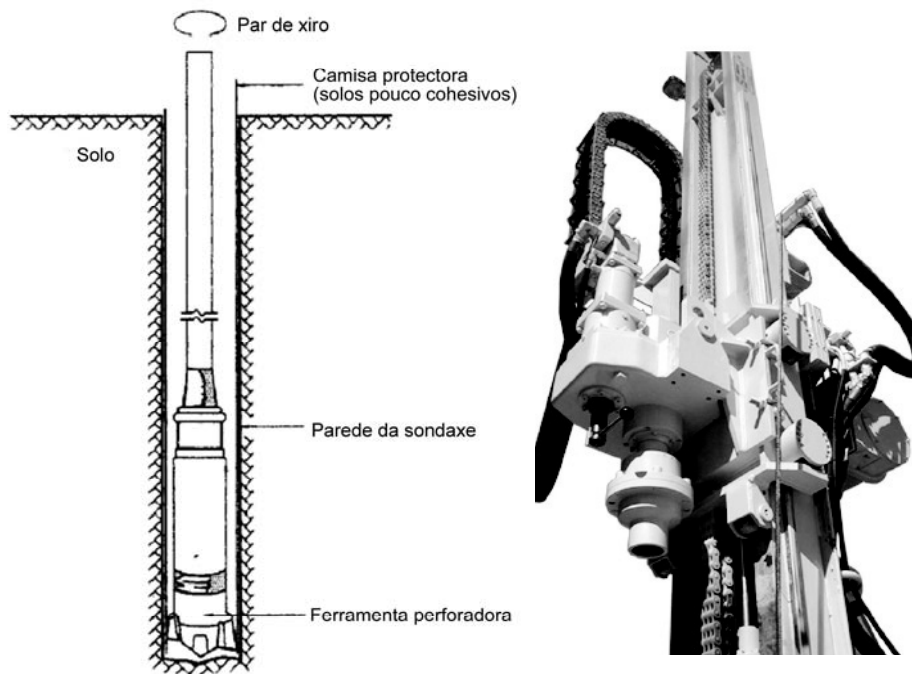
**Figura 4.5: Ferramentas de perforación de sondaxes helicoidais**

cabeza perforadora, pero se é demasiado elevada pode alterarse demasiado o testemuño.

A figura 4.6 mostra a disposición dos elementos do equipo. Igual que nos casos anteriores, pódense empregar camisas metálicas ou lodos bentoníticos para a estabilización dunha perforación en solos pouco cohesivos.

Cando a profundidade da sondaxe é elevada, poden utilizarse varios diámetros de perforación decrecentes coa profundidade.

Na figura 4.7 móstranse diferentes cabezas de coroa que permiten obter testemuños de solo, que quedan retidos no interior da hasta de perforación, que se retiran cada certo tempo, ó mesmo tempo que se aproveita para comproba-lo estado da ferramenta de corte. Aínda que o equipo de perforación rotativa é relativamente caro, o seu uso está moi estendido.



**Figura 4.6: Sondaxe a rotación. Detalle da cabeza de rotación**



**Figura 4.7: Coroas para a realización de sondaxes a rotación con extracción de testemuño**

#### 4.2.6. Sondaxes a rotación con cabeza perforadora

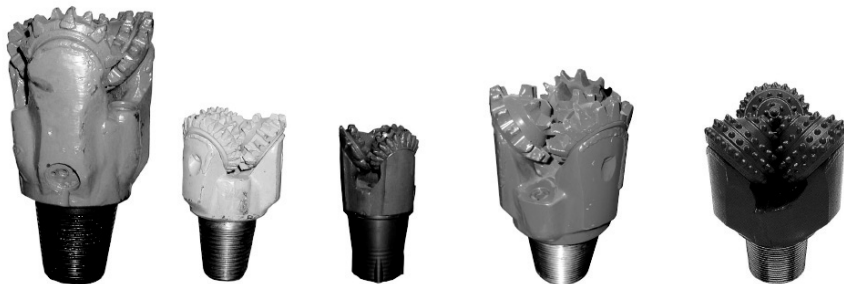
Trátase do mesmo equipo que o das sondaxes de rotación con coroa, pero neste caso a ferramenta de perforación é maciza e non permite a extracción dun testemuño de solo que manteña a súa estrutura. A ferramenta destroza o terreo e o detritus sae cara arriba pola tubaxe co líquido de refrixeración.

As ferramentas de perforación poden ser trialetas e tetraletas que cortan polo xiro dunhas palas planas que se empregan en terreos medios a duros e triconos que teñen como elementos de corte conos que xiran

independentes, para todo tipo de terreos. Hai ferramentas preparadas para circulación inversa, de maior paso central para evacuación do detritus.



**Figura 4.8: Trialetas e tetraletas para a realización de sondaxes de destroza**



**Figura 4.9: Triconos para a realización de sondaxes de destroza**

#### 4.2.7. Presentación dos resultados dunha sondaxe

Cada sondaxe debe quedar ben documentada. Para iso, requírese un parte de execución onde figure expresamente, polo menos, a seguinte información:

- datos de identificación da sondaxe. Para estes efectos usaranse denominacións sinxelas;
- identificación da empresa e do sondista;
- coordenadas da boca da sondaxe. É obrigatorio reconsiderar cada sondaxe e especialmente importante defini-la cota absoluta da boca;
- descrición do equipo de perforación utilizado;
- diámetros de perforación e procedementos de entubación;
- relación de mostras tomadas ó longo da perforación;
- relación de ensaios *in situ* realizados na sondaxe;
- incidencias da execución;
- rexistro de parámetros de perforación. Nalgúns recoñecementos pode ser de interese rexistrar automaticamente algúns datos de execución

tales como velocidade de avance, empuxe sobre o elemento cortante, par de torsión, etc.

De cada tramo de sondaxe, ou cada tipo de terreo, deberase especificar:

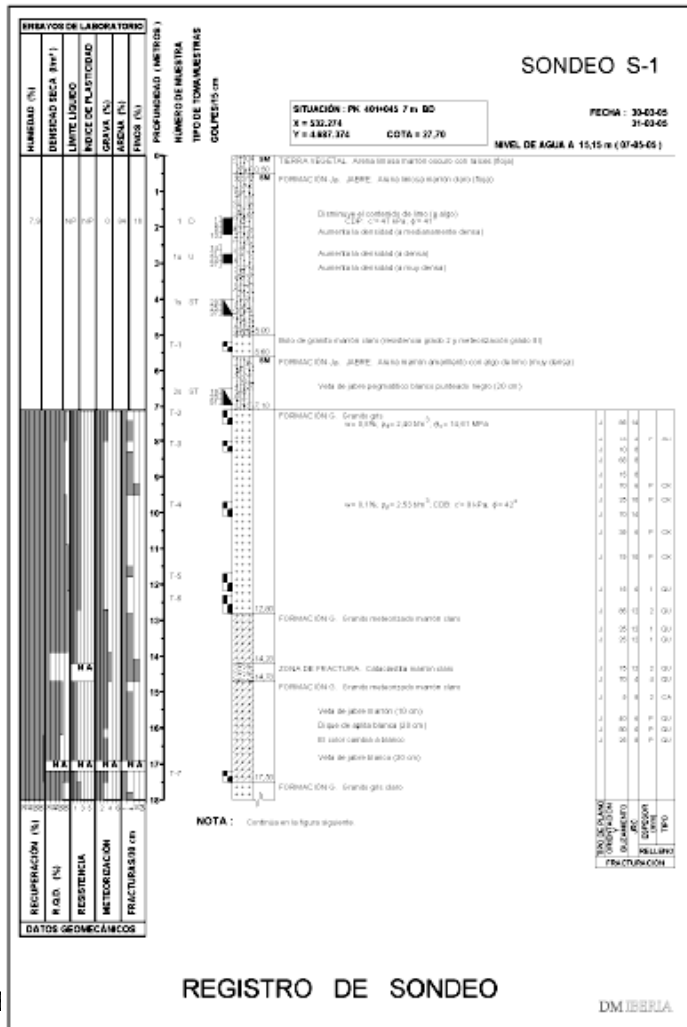
- a porcentaxe de testemuño recuperado;
- no caso de rochas, valor do RQD. O índice que mide para cada tramo de avance da sondaxe, a porcentaxe que supón a suma de lonxitudes daqueles testemuños de lonxitude individual maior de 10 cm.

Os testemuños das sondaxes deben quedar almacenados en caixas robustas, ordenados secuencialmente e con marcas que indiquen as profundidades de maior interese: cotas de toma de mostras, de realización de ensaios, cambios de litoloxía, etc.

Antes de proceder ó seu almacenamento temporal, cada caixa debe ser convenientemente fotografada (a cor e non máis de 5 m de sondaxe por cada fotografía) figurando en cada instantánea a identificación, claramente visible nesta, da sondaxe. Pode ser conveniente realizar fotografías de detalle dalgúns elementos específicos (detalle de formas de fractura de testemuños de rocha, estado dalgúnhas xuntas, etc.)

**Figura 4.10:**  
**Exemplo**  
**do parte**  
**dunha**  
**sondaxe**

UNIDAD I



REGISTRO DE SONDEO

DMIBERLA

## 5. Piezómetros: medida das presións intersticiais

Como se viu ó longo do curso, é moi importante determina-la posición do nivel freático, para poder calcula-las leis de presións efectivas que son as que gobernan o comportamento tenso-deformacional do terreo. Para coñece-la posición desa superficie na que a auga se atopa a presión atmosférica o procedemento máis sinxelo é realizar unha perforación e esperar ata que o nivel que acada a auga na sondaxe se estabilice.

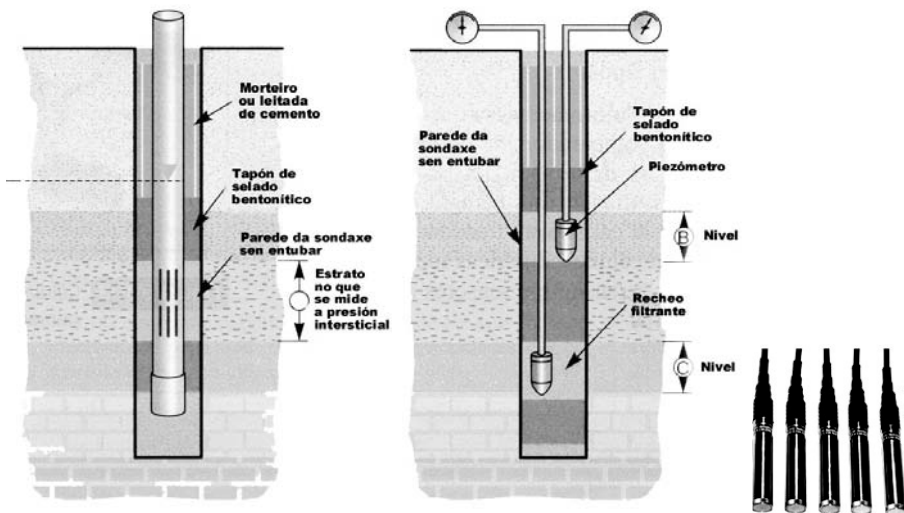
O principal problema deste procedemento está en solos de baixa permeabilidade, nos que o tempo que debe transcorrer ata que a medida sexa realmente a asociada ó nivel freático é moi elevado.

Do mesmo xeito, a posición do nivel freático varía coa estación na que se realiza a medida e tamén pola acción de bombeos próximos, etc., co que a instalación dun piezómetro e a posterior análise dos resultados que produza debe ser coidadosa.

É importante ter claro o concepto de tempo de retardo, como aquel que ten que transcorrer para que se iguallen as presións no piezómetro e no terreo. Depende da permeabilidade do solo, da súa compresibilidade, da xeometría do estrato permeable e a porcentaxe de igualación buscada.

Hai varios tipos de piezómetros en función do instrumento de medida, que proporcionan diferente precisión:

- piezómetros abertos: a presión da auga determínase polo ascenso do nivel da auga nun tubo vertical, pero que presenta os inconvenientes de non ser válido para alturas piezométricas grandes ou negativas, e tampouco cando os tempos de retardo son moi longos;
- piezómetros pechados hidráulicos: non se deixa que a auga intersticial estea a presión atmosférica, senón que se illa e se mide a presión cun manómetro;
- piezómetros pechados de diafragma: mídese a presión exercida pola auga intersticial sobre unha membrana situada na punta do piezómetro. Poden ser de fluído ou eléctricos.



**Figura 5.1: Piezómetro aberto. Piezómetro pechado. Equipo de medida**

## 6. Ensaio de permeabilidade

Trátase de ensaios destinados a medida *in situ* da permeabilidade dos solos, xa que como se comentou na unidade didáctica 4 de «Fluxo de auga en solos saturados», a determinación en laboratorio desta propiedade do terreo é complicada, tanto pola dificultade da preparación das mostras, como pola discutible representatividade dos resultados.

En tódolos casos vaise tratar de analiza-lo comportamento da auga no interior dunha perforación que se fará seguindo os procedementos descritos no apartado 4. Os ensaios máis comúns son o ensaio Lefranc, o ensaio Lugeon e os ensaios de bombeo en pozos.

### 6.1. Ensaio Lefranc

Nun momento da realización dunha sondaxe, párase a perforación, levántase a tubaxe de entibación unha lonxitude  $l$  e énchese de auga ata a boca. A través desta zona en contacto coa auga prodúcese unha filtración a través dos poros do terreo. Hai dous modos de analiza-la evolución da auga, repoñendo cun certo caudal  $Q$  para conseguir mante-lo nivel de auga constante no interior da tubaxe, ou controla-lo tempo necesario para que se produza a filtración dun determinado volume.

Estas situacións son idénticas ós ensaios que se realizan no laboratorio, desde o punto de vista do cálculo, pero elimínanse os erros que introducen as pedras porosas e os sistemas de tubos empregados.

-Permeámetro de carga constante *in situ*

$$K = \frac{Q}{C \cdot h_m}$$

K Permeabilidade hidráulica

Q Caudal inxectado

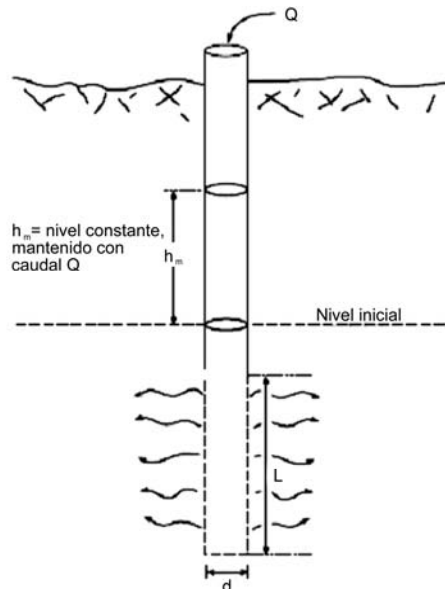
$h_m$  Altura da auga dentro da sondaxe, por riba do nivel freático previo

C factor de forma, que se calcula coa seguinte expresión

$$C = \frac{2 \cdot \pi \cdot L}{\ln\left(\frac{2 \cdot L}{d}\right)}$$

L Lonxitude da zona filtrante

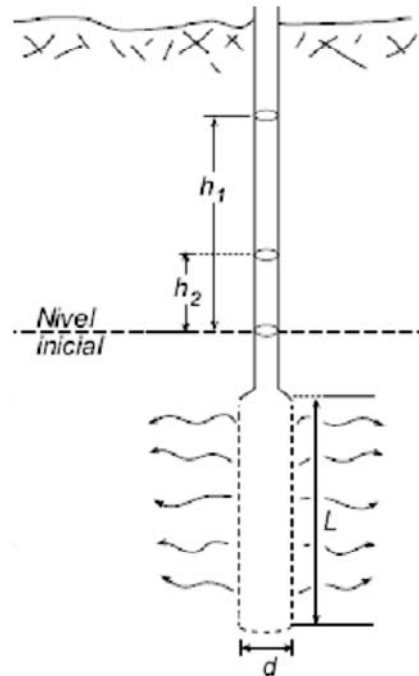
d diámetro da sondaxe



-Permeámetro de carga variable *in situ*

$$K = \frac{d_e^2 \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot L}{d}\right)}{8 \cdot L \cdot t} \cdot \ln \frac{h_1}{h_2}$$

- K Condutividade hidráulica
- $h_1$  altura da auga ó principio do ensaio
- $h_2$  altura da auga ó final do ensaio
- t tempo transcorrido entre a observación dos niveis  $h_1, h_2$
- L lonxitude da zona filtrante
- d diámetro da zona filtrante
- $d_e$  diámetro da entubación (pode ser igual a d)

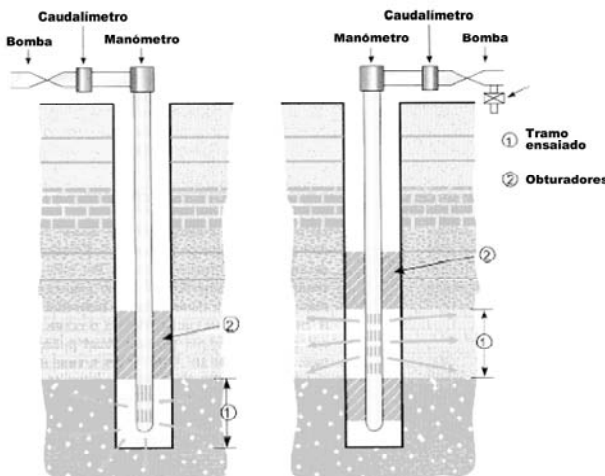


## 6.2. Ensaio Lugeon

É un ensaio no que se determina a permeabilidade do material cando se inxecta auga a presión entre 2,5 e 10 kg/cm<sup>2</sup> cunha bomba a través do terreo, medindo o volume realmente filtrado.

A zona que se vai estudar limitábase con obturadores que fan que a auga soamente poida fluír por un sitio determinado. Pode ser de obturador sinxelo ou dobre.

O emprego fundamental é sobre materiais rochosos, xa que foi proposto inicialmente para determina-la permeabilidade do macizos nos que se quería construír unha presa. De feito existe unha unidade de medida propia, o Lugeon (aquela permeabilidade que permite filtrar 1 litro/min/m cando a presión e de 10 kg/cm<sup>2</sup>), que define unha escala na que se clasifican os macizos rochosos segundo a súa idoneidade para o almacenamento de auga:



- <1 Lugeon Óptimo
- <10 Lugeon Corrixible
- >10 Lugeon Non acceptable

**Figura 6.1: A) Ensaio en fondo de sondaxe con obturador simple. B) Ensaio nun tramo de sondaxe con dobre obturador**

### 6.3. Ensaio de bombeo en pozos

Outra maneira de determina-la permeabilidade *in situ* dun terreo consiste en avalia-lo seu comportamento cando se establece un bombeo permanente. É un ensaio que afecta a grandes masas de terreo e proporcionan valores medios, teñen o inconveniente de que son custosos e longos, xa que se debe agardar a que se estabilicen os caudais extraídos e as presións intersticiais.

Unha vez establecido o bombeo permanente, con caudal ben definido, mídese o descenso do nivel freático en determinados puntos afastados do pozo a distancias coñecidas, coa axuda de piezómetros

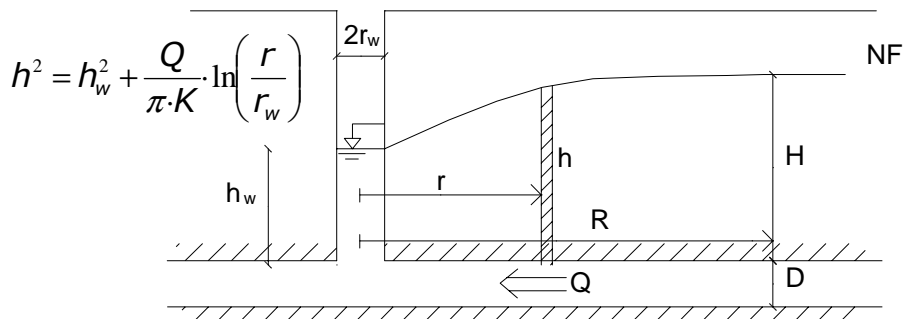


Figura 6.2: Ensaio de bombeo nun acuífero confinado

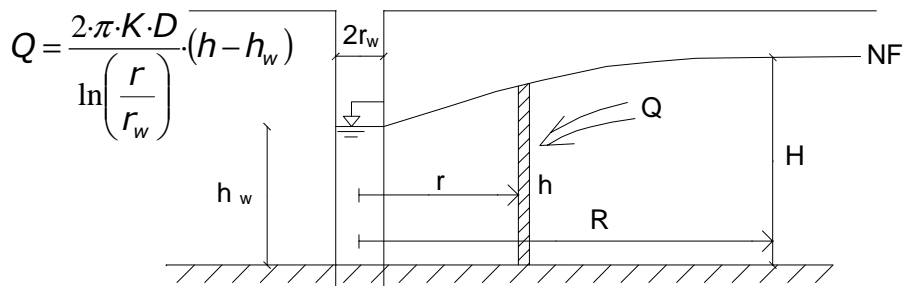


Figura 6.3: Ensaio de bombeo en acuífero libre

### 7. Ensaio de penetración

As sondaxes permiten a extracción de mostras para realizar ensaios de laboratorio, pero en ocasións, é máis representativo ensaia-lo terreo *in situ*, de modo que manteña exactamente a estrutura interna, a humidade, etc.

Son especialmente interesantes no caso de solos granulares, nos que é máis complicado obter mostras inalteradas.

Existen moitos tipos de ensaios de penetración, pero con carácter xeral pódense clasificar por dous criterios:

- polo tipo de enerxía empregada na finca:
  - penetómetros estáticos → Solos cohesivos;
  - penetómetros dinámicos → Solos granulares;
- polo seu carácter:
  - continuo;
  - descontinuo.

### **7.1 Ensaio de penetración estándar SPT (UNE 103800)**

O ensaio SPT (Standard Penetration Test) é probablemente o máis estendido dos realizados *in situ*. Trátase dun ensaio de penetración dinámica e descontinuo, xa que non se realiza de forma independente, senón no fondo dunha sondaxe e permite, á vez que se mide a consistencia do terreo, extraer unha mostra deste que non se pode considerar inalterada.

O método consiste en alcanza-la profundidade á que se vai realiza-la proba, dete-la entubación da sondaxe, limpa-lo fondo e facer descender mediante o conxunto de variñas un tomamostras característico deste ensaio, que se chama culler SPT.

Unha vez apoiada a culler, procédese a fincala coa achega de enerxía dinámica deixando caer unha maza de 63,5 kg sobre a cabeza da transmisión desde unha altura de 76 cm. O resultado do ensaio, o índice N, é o número de golpes precisos para profundizar 30 cm. O recuento de golpes efectúase por tramos de 15 cm, facendo para iso penetra-la punta un total de 45 cm (aínda que é normal chegar a 60 cm). O primeiro tramo (denominado “penetración de asentamento”) non se ten en conta; son o segundo (de 15 a 30 cm de profundidade) e o terceiro (de 30 a 45 cm) os que interveñen no resultado, que se expresa como suma dos golpes en ámbolos tramos.

No caso de que se alcancen 50 golpes durante a “penetración de asentamento”, ou ben en calquera dos dous seguintes intervalos (segundo e terceiro) de 15 cm, darase por finalizado o ensaio, ó obterse o denominado “rexeitamento” na dita proba.

Os ensaios de penetración estándar SPT realízanse a cotas requiridas polo técnico presente na obra, de modo xeral cada 2,5 metros en solos con cohesión e cada 1,5 metros en areas, pero debe adaptarse ós niveis xeotécnicos que se detectan na sondaxe.

#### **7.1.1. Equipo de perforación**

O equipo de perforación debe ser capaz de executar unha sondaxe que se manteña estable durante a realización do ensaio e co seu fondo limpo, con obxecto de que o ensaio se leve a cabo nun solo inalterado.

Non se deben permitir procedementos de avance con descarga frontal de auga nas proximidades do nivel onde se realizará o ensaio, xa que se alteraría a estrutura interna do terreo. Tampouco se permitirá a utilización dunha barrena helicoidal baixo o nivel freático, en solos susceptibles de afrouxarse ou sifonar.

Cando se perfere con barrenas, culleres ou outras ferramentas empregando un revestimento temporal o diámetro dos útiles de perforación non será superior ó 90% do diámetro interior do revestimento.

O diámetro da perforación estará comprendido entre 60 mm e 150 mm.

### 7.1.2. Transmisión

A transmisión é o elemento que une a culler tomamostras e a cabeza de golpeo sobre a que se proporciona a enerxía que induce a penetración no terreo. Debe ter unha rixidez alta, para poder transmitir-la enerxía sen deformarse, que dependerá da profundidade á que se realice o ensaio.

Por normativa está prohibido o emprego de conxunto de varriñas de masa unitaria maior que 10,03 kg/m.

A transmisión debe ser suficientemente rectilínea, comprobándose periodicamente *in situ* que a deformación relativa medida entre os extremos de cada varilla ou entre os puntos medios de dúas adxacentes non é superior a 1/750.

As varriñas acoplaranse a tope mediante unións roscadas.

### 7.1.3. Tomamostras

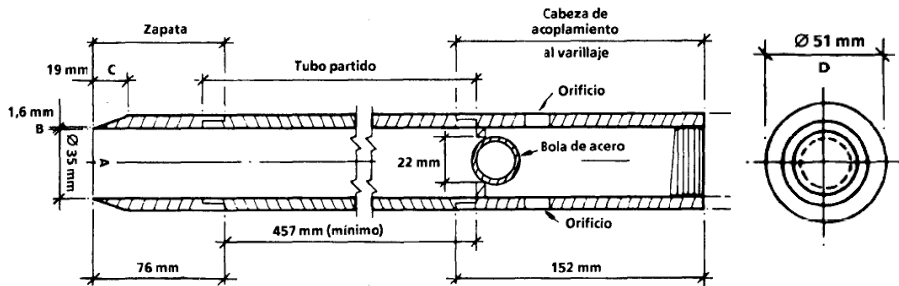
O tomamostras tubular é moi robusto, de 51 mm de diámetro exterior e 35 mm interior, coa punta biselada para solos e constará de tres elementos, zapata, tubo bipartido e cabeza de acoplamento.

A zapata e o tubo bipartido serán de aceiro endurecido, con superficies lisas tanto interior como exteriormente.

A cabeza de acoplamento disporá dunha rosca de conexión á hasta de perforación. Terá catro orificios laterais de 13 mm de diámetro mínimo e unha válvula de retención de bola de aceiro de 25 mm asentada nun orificio cun diámetro superior a 22 mm situado por debaixo dos orificios laterais. A bola e o seu asento sobre o orificio deberá proporcionar un peche estanco mentres se eleva o tomamostras unha vez executado o ensaio.

En solos con gravas, a zapata é substituída ás veces por unha puntaza cónica de aceiro macizo de 51 mm de diámetro e 60° de ángulo cónico, para evita-lo deterioro do bisel ó atopar terreos máis duros. En tal caso o número de golpes obtido pode ser diferente polo que a substitución debe anotarse no rexistro do ensaio.

O tubo bipartido pode dispoñer dun rebaxe no seu interior de magnitude tal que permita aloxar unha camisa do mesmo espesor rebaxado e polo tanto con diámetro interior de 35 mm. No caso de que se empregue a dita camisa o valor de N pode verse modificado polo que a súa utilización tamén se debe rexistrar no informe do ensaio.



**Figura 7.1: Esquema do tomamostras do ensaio SPT**



**Figura 7.2: Imaxe da culler SPT coa mostra de solo no seu interior**

#### 7.1.4. Dispositivo de golpeo

O dispositivo de golpeo é o encargado de xera-la enerxía dinámica que producirá a finca do tomamostras e comprende:

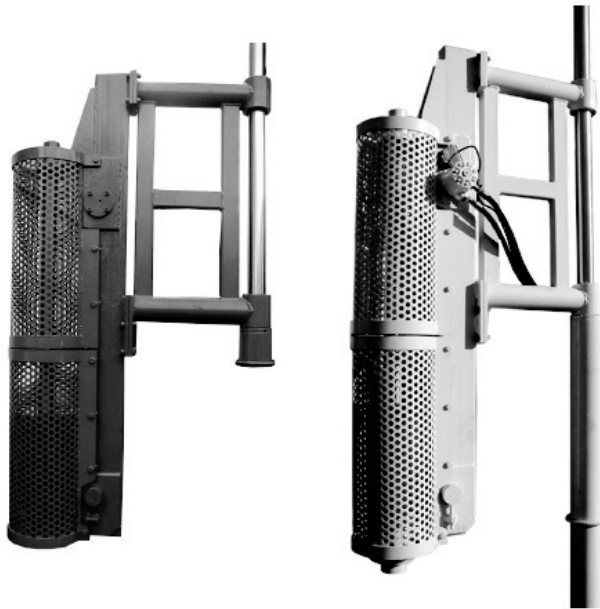
- a maza, de aceiro, de  $63,5 \text{ kg} \pm 0,5 \text{ kg}$  de masa;
- a cabeza de impacto, de aceiro, deseñada especialmente para favorece-la máxima transmisión de enerxía no impacto e que se rosca á tope ó extremo superior da hasta de perforación;
- a guiadeira, que deberá ofrece-la mínima resistencia á maza na súa baixada;
- o sistema de elevación e escape que asegura que a maza é elevada á altura de  $760 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$  sobre a cabeza de impacto e permite que seguidamente se libere e caia libremente sen coacción ningunha.

Durante a realización do ensaio, debe observarse cumprir determinadas condicións, como asegurarse de que a velocidade da maza cando se libera sexa nula, que non se produzan desprazamentos do

conxunto de varíñas ó elevarse ou que a masa total do dispositivo de golpeo non sexa superior a 115 kg.

Os equipos de golpeo actuais levan un martelo de seguridade, un dispositivo de golpeo automático que permite que a maza se ice e libere sempre á mesma altura sen producir movementos sobre a transmisión, de forma que a caída pola guíadeira sexa totalmente libre. Desta forma, a enerxía transferida á cabeza de impacto é a mesma en tódolos golpes e ensaios. O martelo de seguridade permite igualmente establecer unha frecuencia de golpeo uniforme.

A utilización doutros dispositivos de golpeo que non cumpran as especificacións descritas na norma UNE citada implica que se poidan obter un número de golpes diferente de N, co se deben corrixir para a súa correcta interpretación.



**Figura 7.3: Dispositivo de golpeo con martelo de seguridade**

#### 7.1.5. Factores que poden altera-lo resultado do ensaio

Debe coidarse o estado do fondo da sondaxe antes de realiza-lo ensaio de penetración, en concreto co relativo á presenza de auga. Se, por exemplo, existe un fluxo de auga cara ó interior da sondaxe, o terreo pode sifonar ou verse afrouxado pola diminución das presións efectivas, co que os resultados do ensaio corresponderían a un terreo peor que o realmente existente. Para evitar este problema debe procurarse que o nivel de auga ou o fluído empregado como refrixerante na sondaxe sexa superior ó nivel piezométrico no terreo.

Unha limpeza deficiente do fondo da sondaxe tamén fai que se realice o ensaio sobre un terreo alterado, o mesmo que sucede se se

levanta demasiado a entubación e se producen desprendementos, ou se a entubación penetrou ata máis abaixo do nivel ensaiado.

Tamén se debe observa-la cantidade de enerxía aplicada, que pode ser diferente da fixada pola normativa, co que dificulta a interpretación dos resultados e a aplicación de correlacións empíricas. A enerxía aplicada pode variar polos seguintes motivos:

- maza de diferente peso, ou altura de caída diferente á normalizada;
- perdas por rozamento na caída da maza;
- variñas con distinto peso do estándar, con unións frouxas ou desviacións da vertical;
- sufrideira e guía defectuosas ou descentradas, golpeo excéntrico.

O estado de mantemento do tomamostras tamén altera o resultado do ensaio, xa que se está deteriorado, ten os biseles romos ou está atascado ou sucio, precisará máis enerxía para a finca e a extracción da mostra.

Un diámetro excesivo da sondaxe tamén inflúe no valor de N medido.

O principal problema que teñen os ensaios de penetración, que o técnico que o supervisa *in situ* debe vixiar, consiste en que o rexeitamento se deba á presenza dun pequeno bolo ríxido pero o resto do terreo arredor sexa frouxo. Ó analiza-los resultados do ensaio, estaríamos sobrevalorando a resistencia do terreo a esa profundidade, xa que unha vez salvada esa dificultade se podería profundizar máis. As recomendacións son: repeti-lo ensaio, analizar con coidado os detritus que saen da sondaxe e avalia-la dificultade que ten a maquinaria para a escavación do taladro.

#### 7.1.6. Interpretación dos resultados dos ensaios

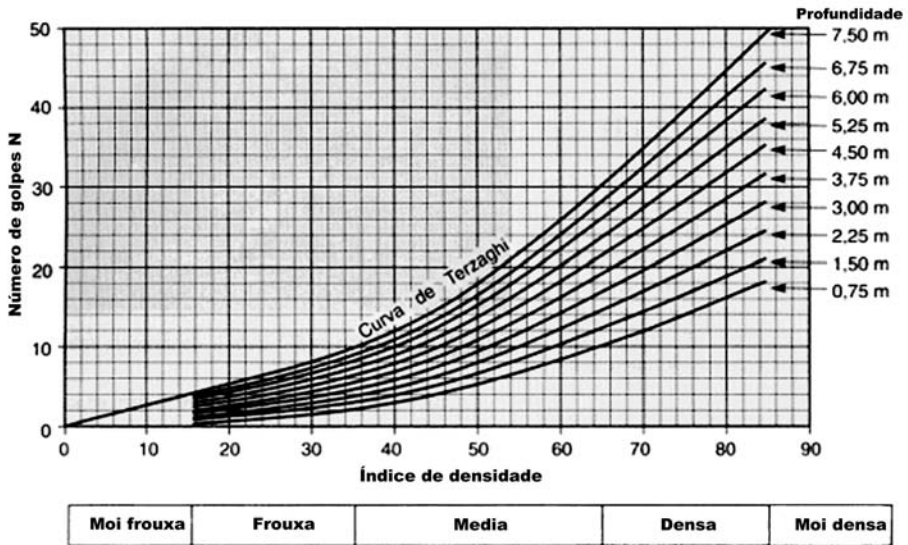
Como se comentou o resultado dun ensaio SPT é sempre un número N que representa o número de golpeo necesario para a penetración do tomamostras 30 cm no terreo.

Por tratarse dun ensaio dinámico, hai que corrixir o valor atopado cando se realiza o ensaio por debaixo do nivel freático e en solos cohesivos, xa que se son pouco permeables, parte da enerxía dinámica gástase en sobrepresións intersticiais. A corrección é debida a Terzaghi e Peck e calcúlase coa seguinte expresión

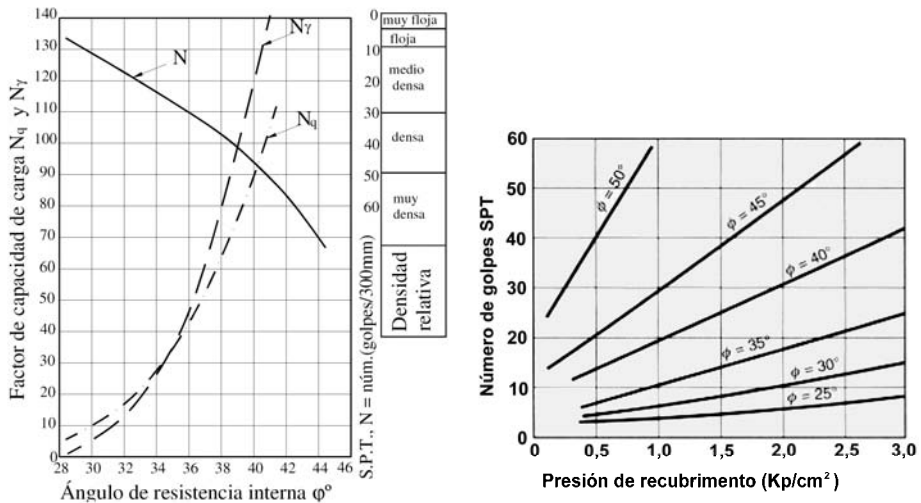
$$N = 15 + \frac{(N' - 15)}{2} \quad N > 15$$

O ensaio SPT está especialmente indicado para solos granulares, e os seus resultados, a través das correlacións pertinentes (baseadas nunha gran cantidade de datos de campo), permiten estima-la carga de afundimento de cimentacións superficiais ou profundas, así como estimar asentos, ben directamente, ben por medio doutras correlacións co módulo de deformación.

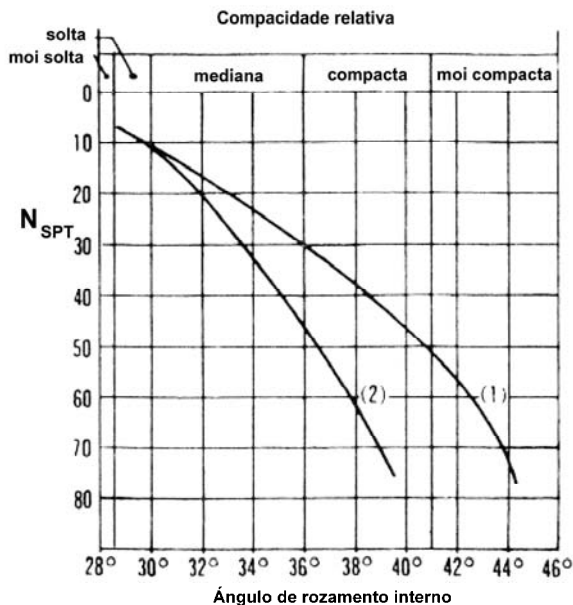
Aínda que tamén existen relacións empíricas entre os resultados do ensaio e a resistencia dos solos cohesivos, deben empregarse con gran prudencia e a información que proporciona o SPT en arxilas e rochas brandas considerarse simplemente orientativa.



**Figura 7.4: Interpretación de datos SPT, tendo en conta a profundidade (Thornburn, 1963)**

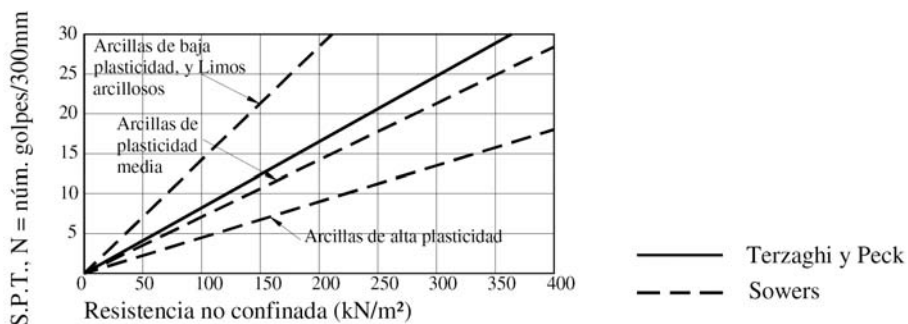
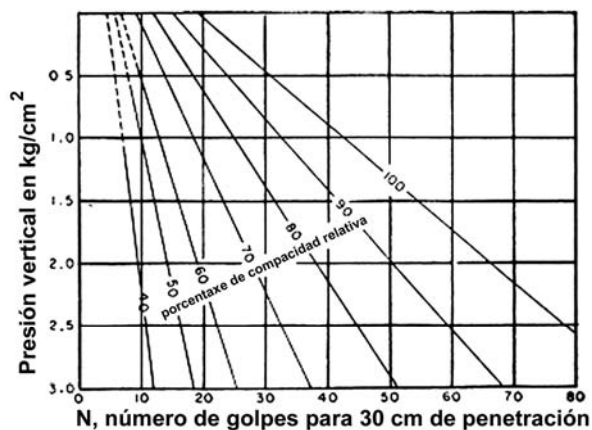


**Figura 7.5: (1) Correlación empregada para o cálculo dos factores de capacidade de carga en cimentacións superficiais. (2) Estimación do valor do ángulo de rozamento interno efectivo do terreo a partir do valor N en áreas (De Mello, 1971)**



**Figura 7.6:** Relación entre  $N$  e  $\phi'$  para: (1) áreas de gran anguloso e redondeado de mediano a grosso, (2) áreas finas e áreas limosas

**Figura 7.7:** Relación entre a penetración estándar, a presión vertical e a compacidade relativa para áreas (Gibbs e Holtz, 1957)



**Figura 7.8:** Relación entre  $N$  e a resistencia a compresión simple para solos cohesivos

Táboa 7.1: Correlacións de N con parámetros resistentes (Terzaghi e Peck)

Areas				Arxilas			
N	Compacidade media	Densidade relativa en %	Ángulo $\phi'$	N	$q_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Consistencia	$C_u$
0-4	moi frouxa	8-15	<30°	<2	<0,25	moi branda	0,125
4-10	solta	15-35	30-35°	2-4	0,2-0,5	branda	0,12-0,25
10-30	media	35-65	35-40°	4-8	0,5-1,0	media	0,25-0,5
30-50	densa	65-85	40-45°	8-15	1-2	firme	0,5-1,0
>50	moi densa	85-100	>45°	15-30	2-4	moi firme	1,0-2,0
				>30	>4	dura	>2,0

Tamén se relacionou o valor de N co módulo de deformación do solo E:

-Para areas finas:  $E = 350 \cdot \log N$  (E en kg/cm<sup>2</sup>)

-Para areas grosas:  $E = 500 \cdot \log N$

Táboa 7.2: Clasificación da compacidade dos solos a partir do  $N_{SPT}$

Número de golpes	Densidade relativa
0-4	Moi solta
4-10	Solta
10-30	Mediana
30-50	Densa
Maior de 50	Moi densa

Táboa 7.3: Relación da consistencia coa resistencia a compresión simple e o golpeo obtido nun ensaio de penetración estándar  $N_{SPT}$

Consistencia	N	$q_u$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\gamma_{sat}$ (t/m <sup>3</sup> )
Moi branda	0-2	0-0,25	1,60-1,90
Branda	2-4	0,25-0,50	
Media	4-8	0,50-1,00	1,76-2,07
Consistente	8-15	1,00-2,00	1,90-2,24
Moi consistente	15-30	2,00-4,00	
Dura	$\geq 30$	$\geq 4,00$	

## 7.2. Ensaio continuo

Son ensaios que permiten medi-la resistencia á penetración dun elemento (puntaza) que se introduce no terreo por diferentes sistemas, pero de modo que se analiza todo o perfil do terreo.

Pódense diferenciar dúas categorías de ensaios, dependendo do tipo de enerxía empregada na finca:

- ensaios de penetración dinámica: consisten na introdución dunha puntaza de dimensións normalizadas por medio de dispositivos de percusión, contando o número de golpes realizados para un determinado avance;
- ensaios de penetración estática: o avance realízase por medio de dispositivos mecánicos ou hidráulicos, medindo a presión aplicada en cada instante de tempo.

### 7.2.1. Ensaio de penetración dinámica continua

O ensaio de penetración dinámica é un ensaio de rexistro continuo que consiste en contabiliza-lo número de golpes  $N$  necesarios para fincar tramos de varíñas de 10 ou 20 cm de lonxitude. Os golpes son dados por unha maza de peso coñecido que cae libremente desde unha altura constante.

Estes ensaios permiten unha medida continua da resistencia ou deformabilidade do terreo, determinándose estas propiedades a través de correlacións empíricas.

O terreo máis adecuado para este tipo de ensaios son areas e limos areosos, sendo de ningunha utilidade en terreos rochosos, bolos e gravas compactas, niveis cementados ou preconsolidados e recheos antrópicos de bloques e fragmentos grosos, que rapidamente producen o denominado rexeitamento á finca.

Segundo o peso da maza, a altura de caída e as dimensións da hasta de perforación e puntaza os ensaios de penetración dinámica divídense en:

- ensaio lixeiro ou DPL;
- ensaio pesado ou DPH;
- ensaio superpesado ou DSPH.

O ensaio de penetración lixeiro ou DPL consiste na penetración dunha puntaza de aceiro cónica perdida de  $60^\circ$  de ángulo na punta, que penetra no terreo polo golpeo dunha maza de 30 kg cunha altura de caída constante de 25 cm, cun ritmo de 15 a 30 golpes por minuto, sendo neste caso o número  $N_{10}$  o necesario para que a puntaza penetre 10 cm. O ensaio dáse por finalizado cando se alcance o rexeitamento (80-100 golpes para un tramo de 10 cm).

Existen no mercado diferentes equipos de penetración lixeira como o STUMP ou o SUNDA DL-030, suficientemente contrastados que permiten a correlación do  $N_{10}$  co golpeo do ensaio SPT  $N_{30}$  da maneira presentada na táboa 7.4.

Táboa 7.4: Correlación do ensaio DPL co ensaio $N_{SPT}$	
Terreos cohesivos	Terreos granulares
$N_{10}=0,7-0,8 \cdot N_{30}$ Para golpes $N_{10}$ comprendidos entre 8 e 14	$N_{10}=0,95-1,0 \cdot N_{30}$ Para golpes $N_{10}$ comprendidos entre 8 e 15
$N_{10}=0,8-1,0 \cdot N_{30}$ Para golpes $N_{10}$ comprendidos entre 14 e 18	$N_{10}=1,0-1,2 \cdot N_{30}$ Para golpes $N_{10}$ comprendidos entre 15 e 30

O ensaio de penetración pesado ou DPH consiste na penetración dunha puntaza perdida de aceiro de sección cadrada de 4 x 4 cm que ten unha lonxitude de 20 cm e termina nunha pirámide de 90° que penetra no terreo polo golpeo dunha maza de 63,5 kg cunha altura de caída constante de 50 cm, cun ritmo de 15 a 30 golpes por minuto, sendo neste caso o número  $N_{20}$  o necesario para que penetre 20 cm a puntaza.

O ensaio dáse por finalizado cando se alcance o rexeitamento, considerándose como tal cando se superen os 200 golpes para un tramo de 20 cm ou máis de 100 golpes en varios tramos consecutivos.

Este ensaio de penetración pesado coñécese habitualmente como ensaio de penetración dinámica tipo BORROS, por ser este o nome da casa comercial sueca que empezou a comercializalo.

O ensaio de penetración superpesado ou DPSH consiste na penetración dunha puntaza similar á do penetrómetro pesado que penetra no terreo. A enerxía de golpeo proporciona a unha maza de 63,60 kg de peso en caída libre desde 75 cm de altura a un ritmo de 30 golpes por minuto.

Este ensaio consiste en contabilizar o número de golpes necesarios para a penetración no terreo dunha puntaza cónica de ferro macizo de 50 mm de diámetro rexistrados en tramos de 20 cm,  $N_{20}$ . Recoméndase utilizar un penetrómetro con puntaza cónica, de 90° de ángulo no vértice e 50 mm de diámetro (20 cm<sup>2</sup> de área nominal).

A hasta de perforación deste dispositivo é macizo e o seu diámetro (32 mm) é inferior á da puntaza co obxecto de evitar, no posible, o rozamento lateral deste coas paredes da penetración.

Dáse por finalizado o ensaio cando dadas tres series de 75 golpes cada unha a penetración sexa igual ou inferior a 20 cm en cada unha delas illadamente, cando dados 100 golpes a penetración non supera os 20 cm ou ben cando se chegue ó límite estimado suficiente de recoñecemento do subsolo.

Os ensaios de penetración utilízanse para a localización e correlación de capas que previamente foron recoñecidas en sondaxes e/ou catas.

Hai que ter en conta que, como método exclusivo de investigación, os penetrómetros só poden utilizarse a nivel de estudo previo ou

anteprojecto, debendo confirmarse os ditos resultados na fase posterior de proxecto por medio de sondaxes.

### **Recomendacións**

- As penetracións dinámicas execútanse ata o rexeitamento.
- A finca será o máis continua posible, rexistrándose no informe calquera interrupción superior a 5 minutos.
- Rexístrase o número de golpes para cada 20 cm de penetración, que se toma como resistencia á penetración  $N$  nese tramo.
- Se non se consegue unha penetración de 20 cm con 100 golpes considérase “rexeitamento”, rexistrando no informe a penetración correspondente e dándose por finalizado o ensaio.
- Os resultados do ensaio preséntanse en forma de gráficos que amosen os valores de penetración  $N$  no eixo horizontal e a profundidade no vertical, indicando as razóns de dar por terminado o ensaio.

### **Penetrómetro Borros**

Por ser o ensaio de penetración dinámica máis empregado, explícase con maior detalle o procedemento que se debe seguir e as correlacións máis habitual con outros ensaios e outras propiedades mecánicas dos solos.

Consiste na penetración por finca no solo dunha varíña ou barra, mediante golpes dunha maza, que cae desde unha altura determinada, cunha velocidade duns 30 golpes por minuto.

O proceso de ensaio consiste en conta-lo número de golpes necesarios para facer avanzar a dita punta 20 cm e anotar  $N_{20}$ . A varíña debe ir marcada cada 20 cm, para facilita-lo control do ensaio.

Proporciona unha información continua ó longo da profundidade a estudar. Finalízase o ensaio cando, tras dar 5 andanadas de 100 golpes cada unha, a penetración é menor de 5 cm en cada andanada; neste caso dise ter chegado ó rexeitamento.

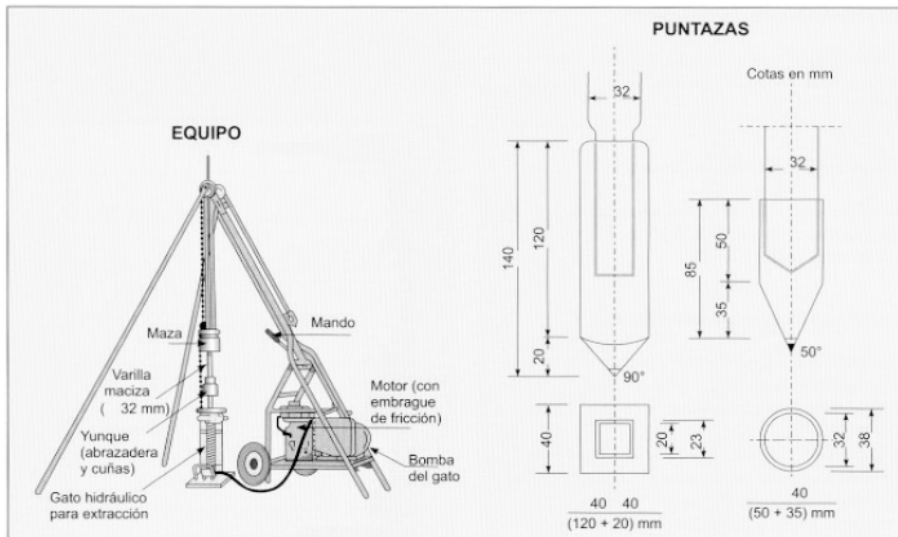
A representación gráfica do ensaio continuo de penetración dinámica é en gráfico coa abscisa marcando o nº de golpes e a ordenada marcando profundidades cada 20 cm ata a profundidade total do ensaio.

Debido a que a concepción do ensaio é diferente á do ensaio de penetración descontinuo SPT, realizado en sondaxes, o número de golpes de ámbolos ensaios non coincide directamente. Ademais, é interesante coñecer-la relación que existe entre eles, porque na sondaxe obtemos ademais mostras que permiten realizar ensaios de laboratorio.

Poden usarse calquera das seguintes expresións:

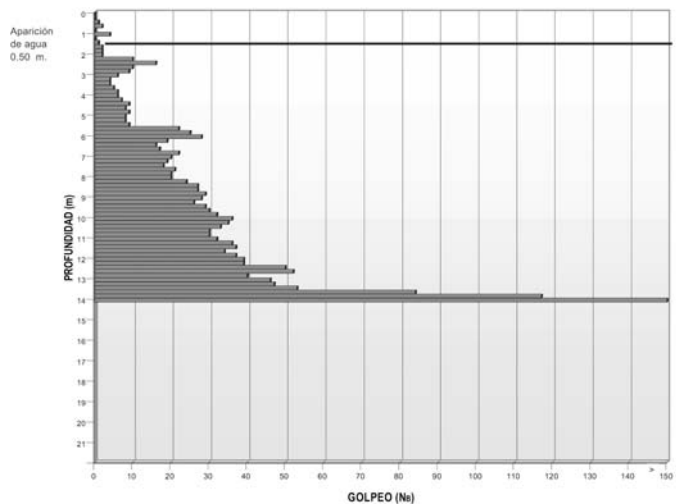
$$\log(N_B) = 0.035 \cdot N + 0.668 \pm 0.044$$

$$N = 25 \cdot \log(N_B) - 15.16 \pm 1.16$$



**Figura 7.9: Esquema dun ensaio de penetración dinámica tipo Borros e dimensións das puntazas máis empregadas**

**Figura 7.10: Presentación habitual dos resultados dun ensaio de penetración dinámica tipo Borros**



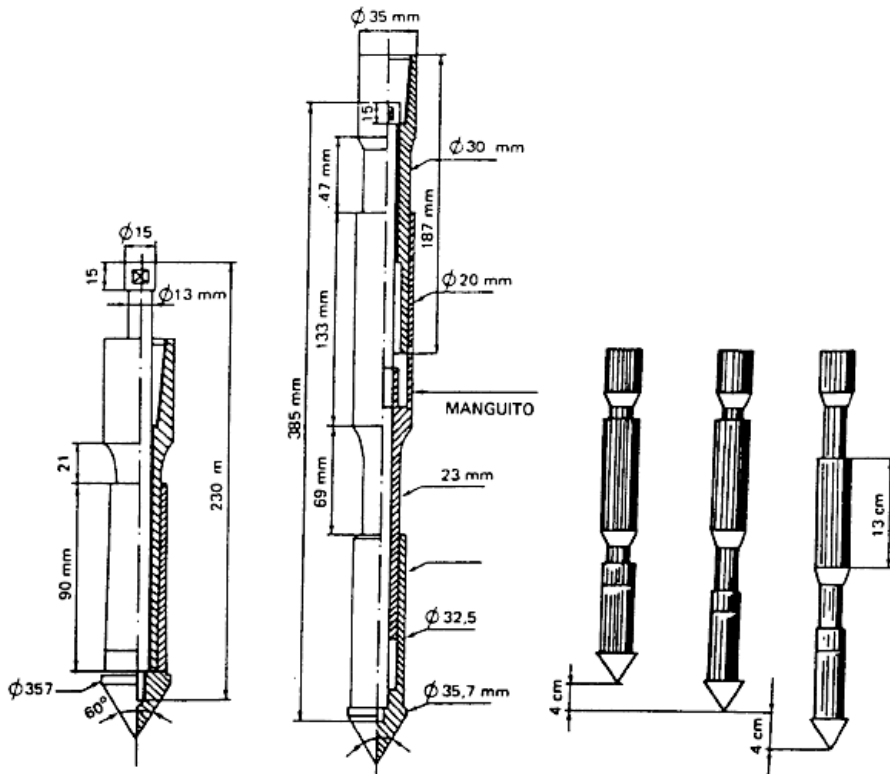
### 7.2.2. Ensaio de penetración continua estática CPT

Os ensaios de penetración estática miden a resistencia do solo á penetración dunha varriña ou barra con punta en forma de cono, e introdúcese o suficientemente a modo como para que os efectos dinámicos sexan desprezables e para que non se produzan sobrepresións intersticiais. A velocidade de penetración está comprendida entre 0,2 e 0,5 m/min (sempre menor de 1m /min), pero o valor óptimo debe adaptarse ó terreo atravesado.

Pola forma da punta, o terreo ofrece resistencia á penetración mediante dous mecanismos, similares ós xa tratados no tema de cimentacións profundas, a resistencia por punta e por rozamento lateral ou fuste. Por iso este ensaio é moi indicado para o proxecto de posibles cimentacións por pilotaxes, xa que a correlación entre os resultados dos ensaios e os parámetros necesarios para o cálculo é directa.

O penetrómetro estático de cono ou CPT (cone penetration test), tamén recibe o nome de «holandés», xa que é de onde é orixinario. O resultado que proporciona é un rexistro continuo de resistencia  $q_c$ .

A puntaza máis utilizada é a punta Gouda. Se se quere coñecer tamén a porcentaxe da resistencia que é debida ó rozamento por fuste, débese empregar un dispositivo denominado manguito Begemann, que permite o avance independente da punta e da varriña, rexistrando os dous sumandos.

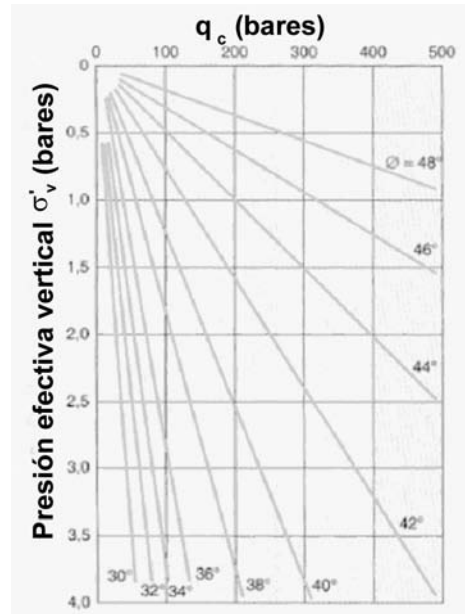


**Figura 7.11: Esquema das puntazas empregadas en ensaios de penetración dinámica CPT**

### 7.3. Correlacións entre ensaios de penetración

Existen cada vez máis correlacións entre os resultados do penetrómetro e os parámetros xeotécnicos usuais, como son a cohesión ou resistencia ó corte sen drenaxe, para determina-la consistencia das arxilas, o módulo edométrico, o ángulo de rozamento interno, etc.

**Figura 7.12: Relación entre a resistencia por punta  $q_c$  e o ángulo de rozamento interno para areas non cementadas (Robertson e Campanella, 1983)**



Outra correlación importante é cos resultados do ensaio de penetración dinámica descontínuo SPT:

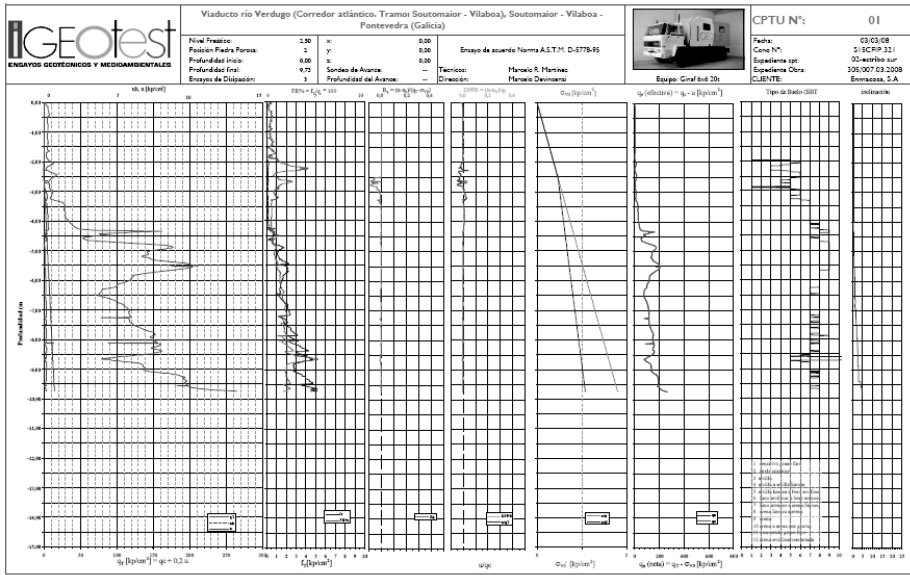
$$q_c = \beta \cdot N$$

onde os valores de  $\beta$  son función do tipo de solo

Valores de $\beta$	Tipos de solo
2	Limos
3 a 4	Areas finas
5 a 6	Areas grosas
6 a 8	Gravas

Cando se emprega por debaixo do nivel freático pode ser interesante empregar unha punta diferente, que conte cun piezómetro eléctrico que rexistre tamén a compoñente de empuxe debida á auga. Nese caso, o ensaio recibe o nome de penetrómetro eléctrico Delft ou piezocono ou CPTU.

Ademais do rexistro da  $u$ , con este dispositivo pódense realizar ensaios de consolidación *in situ*, xerando unha sobrepresión rápida e agardando o tempo necesario para que se disipe. Este ensaio dá idea da permeabilidade horizontal do terreo, difícil de obter por outros medios, e interesante para os casos de cálculo de terrapléns sobre solos cohesivos brandos.



**Figura 7.13: Exemplo da presentación de resultados dun ensaio de piezocono, no que se rexistran diferentes parámetros fronte á profundidade**

## 8. Ensaio de molinete “vane test”

“Vane-test”, escisiómetro ou molinete (ou catavento) é un ensaio que proporciona unha medida directa, *in situ*, da resistencia ó corte. O ensaio angular normalizado (ASTM D2573) consiste en introducir no extremo da varíña un sistema de aspas, de dimensións establecidas, que xirando no solo cunha velocidade regular de 0,1 %/seg corta o solo. Mídese o momento torsor de rotura,  $M_r$ , e correlaciónase co valor da cohesión.

Como o cizallamento é relativamente rápido, a auga non ten tempo de ser evacuada e trátase entón dun ensaio non drenado (UU).

É un ensaio útil para determina-la resistencia sen drenaxe ó esforzo cortante e a sensibilidade das arxilas.

Os molinetes máis habituais son rectangulares ou lanceolados, aínda que tamén se empregan pas romboidais, circulares, trapezoidais, etc. O tamaño das pas tamén é en función da resistencia do solo.

A evolución do momento torsor en función do tempo presenta o típico aspecto dunha curva de cizallamiento. Obsérvase un primeiro tramo horizontal que corresponde á medida do rozamento das varíñas máis o niple de unión (valor que debe ser restado da resistencia pico), e despois crece ata alcanzar unha resistencia máxima de pico e un valor asintótico de resistencia residual.

Nos equipos actuais, o par torsor é aplicado por un motor eléctrico que permite regula-la velocidade do ensaio. Mediante un captor e convertedores A/D o ensaio é monitorado en tempo real nun PC.

Para calcula-la resistencia ó corte non drenada  $C_u$ , utilízase o máximo momento torsor  $T$  corrixido para deducir os rozamentos parasitos:

$$C_u = \frac{T}{k}$$

Sendo

$T$  = Torsión máxima aplicada

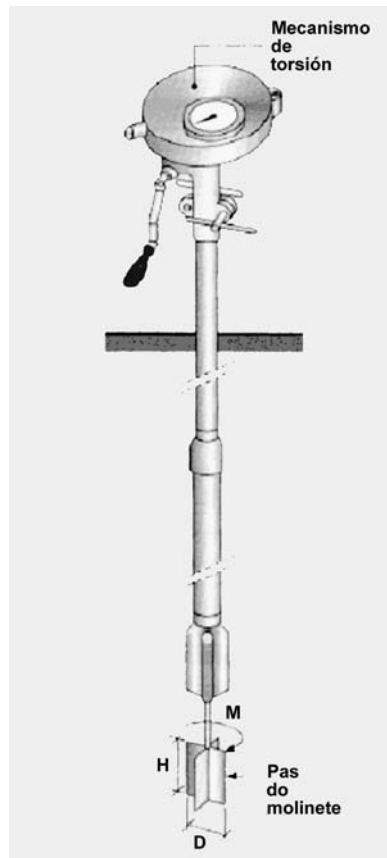
$k$  = Constante dependente da xeometría da paleta

Resumindo, a expresión xeral para paletas rectangulares de altura  $H$  e diámetro  $D$ , é:

$$C_u = \frac{2 \cdot M_r}{\pi \cdot D^2 \cdot H \cdot \left(1 + \frac{D}{3 \cdot H}\right)}$$

Para paletas trapezoidais, obtense:

$$C_u = \frac{T}{\frac{2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^3}{3} \cdot \left(1 + \frac{1}{\text{sen } \alpha} + \frac{3 \cdot H}{D/2}\right)}$$



### 8.1. Factores que influencian os resultados

- A alteración que sofre o terreo aumenta co tamaño do molinete fincado.
- Un aumento da velocidade de rotación tradúcese nun “endurecemento” aparente da arxila. Polo contrario, cunha diminución da velocidade, obtéñense valores de  $C_{u,max}$  inferiores.
- Un retardo no inicio da proba unha vez fincada a paleta causa un apreciable incremento da  $C_{u,max}$ , que pode chegar do 20 ó 50% en 24 horas.
- A relación  $H/D$  pode influír no valor de  $C_{u,max}$  a causa da resistencia mobilizada nos extremos e ó longo da superficie vertical das paletas, máis por influencia de posibles anisotropías do solo que pola distribución das tensións de corte.

- En solos de elevada sensibilidade a alteración do solo ó finca-lo molinete é maior.
- A heteroxeneidade do terreo debido á presenza de conchiñas, fibras vexetais, lentellóns areosos, etc., inflúen notablemente no valor medido de  $C_u$ .
- Estudos de esvaramentos en terrapléns construídos sobre arxilas plásticas (Bjerrum, 1972, 1973) demostraron que a cohesión mobilizada no terreo é realmente máis débil que a cohesión medida con este ensaio, sendo a diferenza función do Índice de Plasticidade IP. Bjerrum propón a introdución dun coeficiente corrector  $\mu$ :

$$C_u = C_{u,vane} \cdot \mu$$

$C_{u,vane}$  está tanto máis sobreestimada canto máis plástico é o solo. Esta corrección resulta importante para solos con Índice de Plasticidade > 30.

## 9. Ensaio presiométrico

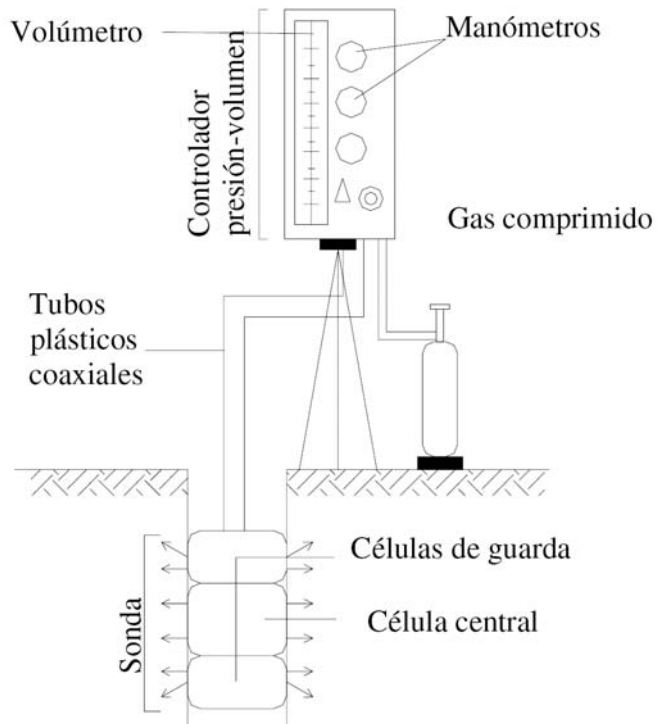
O ensaio presiométrico de Ménard pode considerarse como un dos ensaios *in situ* máis completos, xa que permite obter información de parámetros de deformabilidade e de resistencia do terreo estudado. Consiste en introducir no interior dunha sondaxe un aparato que na punta ten un dispositivo deformable con líquido no seu interior. Sobre ese líquido aplícase unha presión determinada, que produce unha deformación do dispositivo, un empuxe sobre as paredes do taladro e a expansión da cavidade cilíndrica que xa estaba perforada. O ensaio vai controla-la presión que aplica e medila deformación en sentido radial.

Para evitar que a perforación previa dun taladro altere o estado tensional do terreo, úsanse equipos presiométricos autopercutores (tipo Palsor ou Camkometer) que perfora e entuba ó mesmo tempo que vai avanzando a sonda para que o medio permaneza inalterado durante a introdución do presiómetro.

O resultado do ensaio é unha gráfica como a da figura 9.3 na que se representa no eixo de abscisas a deformación do terreo e no de ordenadas a presión exercida polo equipo. Tras unha primeira fase de axuste do equipo na trade e unha vez que a presión aplicada se exerce directamente sobre o solo, existe unha fase de comportamento elástico do terreo, para o final, mostrar un comportamento plástico cando se supera a resistencia máxima do terreo.

Os datos que proporciona son o módulo presiométrico, relación elástica entre tensión e deformación, e a presión límite, valor máximo de empuxe que resiste o terreo antes de entrar en estado plástico.

É útil para o cálculo de asentos, a determinación de módulos de deformación e para o cálculo de empuxes de terras en muros ou pantallas, xa que permite a determinación do coeficiente de empuxe ó repouso,  $K_0$ .



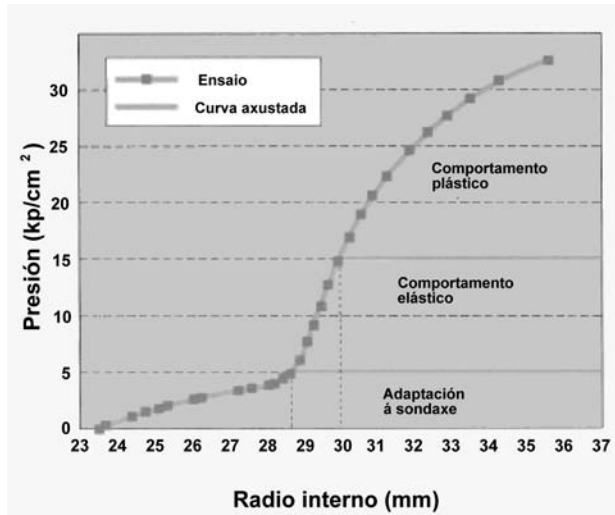
**Figura 9.1: Esquema do equipo necesario para a realización dun ensaio presiométrico de Menard**



**Figura 9.2: Imaxes da sonda presiométrica e o equipo de control do ensaio de Menard**

$$E_p = (1 + \nu) \cdot M \cdot r$$

- $E_p$  Módulo presiométrico
- $\nu$  Coeficiente de Poisson
- $M$  Rixidez do solo no tramo elástico
- $r$  Radio da perforación



**Figura 9.3: Exemplo de curva de resultados dun ensaio presiométrico**

## 10. Ensaio de placa de carga

O ensaio de placa de carga é tamén moi utilizado para a determinación da deformabilidade do terreo. A súa principal aplicación é como instrumento de control da compactación en obras de terra, como presas de materiais soltos, terrapléns, recheos portuarios, etc, aínda que tamén se emprega para a determinación de asentos en cimentacións superficiais.

Consiste en aplicar unha carga vertical de forma escalonada sobre unha placa lisa e ríxida cadrada ou circular (de 30 cm a 100 cm de lado). Mantense incremento de carga ata que a variación de asento sexa inferior a 0,01 mm en 5 min. Xeralmente realízanse varios ciclos de carga e descarga.

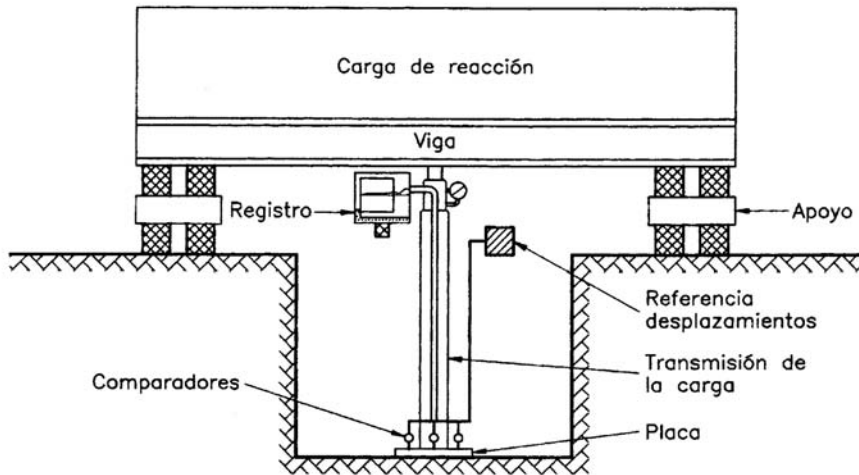
Pode realizarse en gabias ou pozos, ou directamente sobre a superficie do terreo se está acondicionada.

Está especialmente indicado para a súa aplicación de solos granulares, permeables.

Pódense determina-lo módulo de deformación  $E$  e o coeficiente de balasto  $K_s$  a partir da presión aplicada  $P_s$ , o asento  $S$  e o radio da placa  $r$ .

$$E = 1,5 \cdot (P_s / S) \cdot r$$

$$K_s = P / S$$



**Figura 10.1: Esquema do ensaio de placa de carga**

## 11. Prospección xeofísica

Na actualidade estanse a empregar moito en enxeñaría civil outras técnicas e procedementos que se desenvolveron para a prospección petrolífera, mineira ou xeodésica. Consisten na medición da variación dalgunha propiedade física dos materiais que se poida correlacionar despois coas propiedades xeolóxicas e xeotécnicas.

Trátase de métodos indirectos, porque non miden directamente a magnitude desexada, e ademais non destrutivos, xa que, en xeral, non precisan da realización de escavacións ou da aplicación de cargas sobre o terreo, co que este se mantén inalterado.

Ademais, teñen a gran vantaxe de que permiten explorar grandes extensións de terreo con poucos medios e a baixo custo, pero os resultados que proporcionan deben tratarse con coidado, xa que para a súa interpretación requiren métodos matemáticos e físicos moi complexos, e por tratar de resolver un problema inverso existen múltiples solucións igual de válidas.

Por este motivo, sempre hai que realizar unha campaña de sondaxes e/ou catas para poder identifica-las unidades xeotécnicas presentes en cada zona, e dispoñer de ensaios que proporcionen parámetros resistentes reais que se poidan vincular ós parámetros xeofísicos.

Outro inconveniente para a aplicación xeotécnica destes métodos é que a súa aplicación inicial corresponde a estudos xeofísicos de maior profundidade, e débense adaptar para poder estudar espesores pequenos de solos coa suficiente precisión.

Segundo a propiedade física que se mide, as técnicas xeofísicas pódense clasificar en:

- |                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| a) prospección Gravimétrica →     | Densidade;  |
| b) prospección Magnética →        | Susceptibilidade magnética;                           |
| c) prospección Eléctrica →        | Resistividade eléctrica;                              |
| d) prospección Electromagnética → | Constante dieléctrica;                                |
| e) prospección Sísmica →          | Propiedades elásticas<br>(velocidade de propagación); |
| f) outras →                       | Prospeccións radiométricas,<br>xeotérmicas, etc...    |

### 11.1 Métodos eléctricos

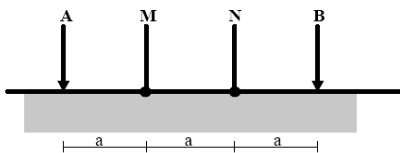
Trátase dunha serie de métodos nos que se mide a resistividade eléctrica do terreo, unha propiedade intrínseca dos materiais e que está moi influenciada pola presenza de auga e pola porosidade do solo.

As súas aplicacións máis habituais corresponden coa detección do nivel freático ou de acuíferos, ou tamén de atopa-la rocha sa, que presenta unha resistividade moi alta.

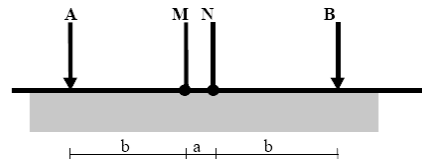
O procedemento sempre vai consistir en introducir unha corrente eléctrica no terreo mediante dous eléctrodos de inxección (A e B) que se sitúan na superficie e se conectan a unha fonte de enerxía. Mediante outros dous eléctrodos (M e N) utilízase un voltímetro para determina-la caída de potencial eléctrico entre eses puntos. Esa caída de potencial é debida a todo o terreo que se atopa na vertical dos puntos polo que circula a corrente eléctrica.

O cálculo da resistividade aparente do terreo depende da configuración xeométrica dos eléctrodos que se empreguen. Hai máis dispositivos, pero nas figuras 11.1 e 11.2 están os máis empregados, Wenner cos catro eléctrodos equidistantes entre si, e o Schlumberger, en que os eléctrodos de medida están máis xuntos.

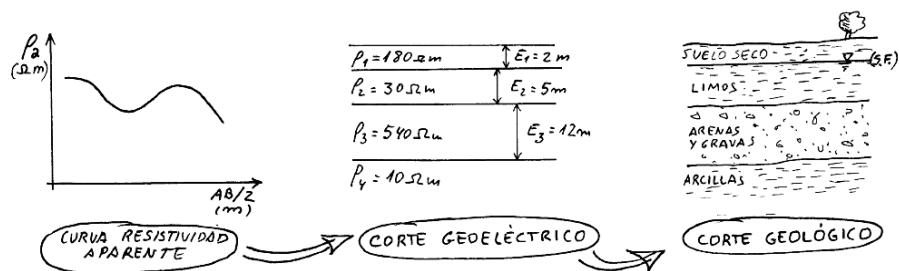
O procedemento de actuación vai consistir sempre en medi-la resistividade eléctrica aparente, a partir das variacións que presente adoptar un perfil xeoelectrico, no que se coñezan espesores de cada material de diferente resistividade, e por último correlacionar este perfil xeoelectrico co perfil xeotécnico do terreo. Este é o paso máis conflitivo, xa que en dous materiais de diferente resistividade pódese medir o mesmo valor por cambios de humidade, de porosidade ou de espesor.



**Figura 11.1: Dispositivo Wenner**



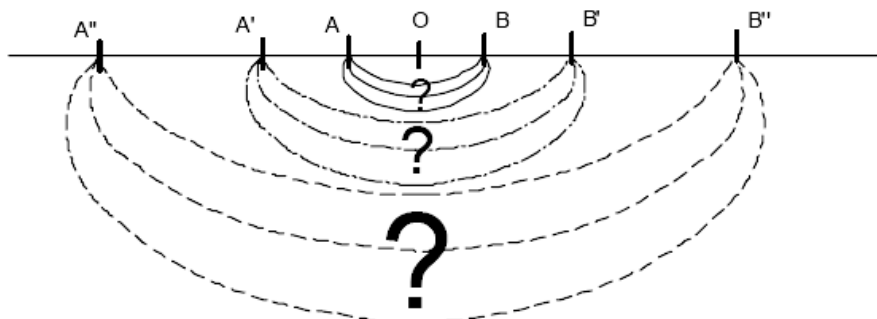
**Figura 11.2: Dispositivo Schlumberger**



**Figura 11.3: Procedemento de interpretación dunha prospección eléctrica**

Hai tres tipos fundamentais de prospeccións eléctricas, nas que se pode empregar calquera dos dispositivos descritos, pero que en función de como se fagan as medidas se obtén a variación nunha dirección.

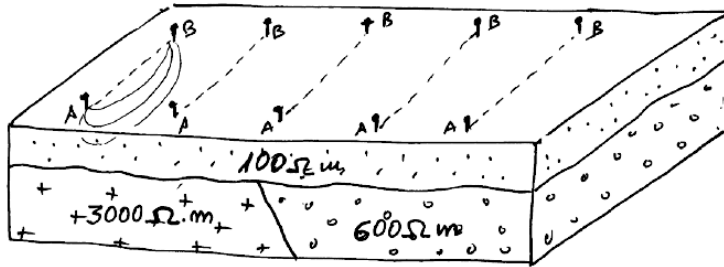
As sondaxes eléctricas verticais SEV's consisten en ir ampliando a distancia entre os eléctrodos de inxección de modo que o fluxo de corrente entre eles cada vez alcance unha maior profundidade. Dese xeito, se se manteñen os eléctrodos de medida no mesmo punto, é posible analizar un perfil en profundidade como se se tratase dunha perforación. (Figura 11.4).



**Figura 11.4: Esquema simplificado dunha sondaxe eléctrica. A medida que aumenta a distancia entre eléctrodos de inxección aumenta a profundidade investigada**

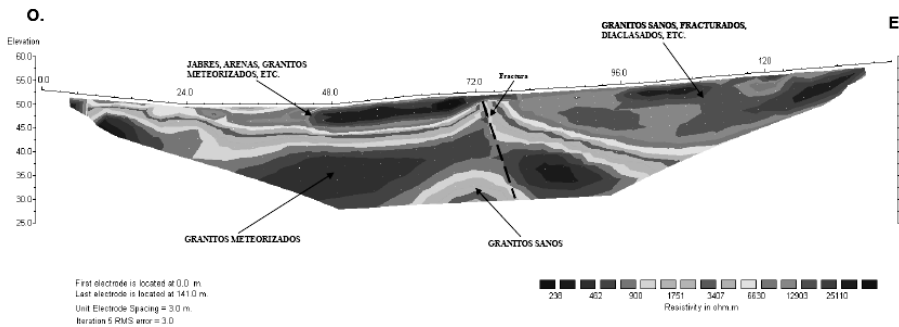
Outra posibilidade é manter a mesma configuración (en posición e en distancias) dos eléctrodos e despraza-lo dispositivo en paralelo sobre a superficie do terreo. Dese modo, as medicións que proporcionan é a variación lateral de resistividade, de utilidade para a localización de fallas ou na zonificación da ripabilidade dos materiais.

Outra técnica sería a tomografía eléctrica, que coa combinación dos dous movementos descritos anteriormente, permite realizar unha modelización tridimensional do terreo, xa que mide variacións en profundidade e variacións laterais. O seu principal inconveniente consiste en que é precisa a utilización de métodos matemáticos complexos para a resolución do problema inverso e para a interpolación de valores. O resultado é unha sección eléctrica como a mostrada na figura 11.6.



**Figura 11.5: Esquema simplificado dunha cata eléctrica**

**PERFIL TE-1**



**Figura 11.6: Perfil que reflicte os resultados dunha tomografía eléctrica**

**11.2 Ensaio sísmicos**

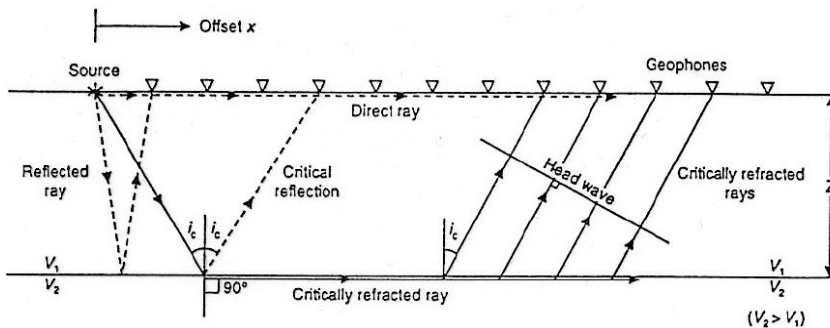
Os métodos sísmicos analizan o terreo dende o punto de vista da velocidade que teñen as ondas elásticas ó propagarse por ese medio. O terreo, como material sólido, pode transmitir vibracións mecánicas cunha velocidade que depende da súa rixidez, que se representa polo seu módulo de elasticidade. Se se dispón dun sistema capaz de medi-la velocidade de propagación, poderase correlacionar con parámetros xeotécnicos. A velocidade de propagación de ondas sísmicas en solos depende do tipo de onda, pero adoita estar comprendida entre 200 e 6000 m/s.

O ensaio consiste, basicamente, en provocar, mediante un impacto mecánico, unha vibración nun punto do terreo e a unha certa distancia instalar un xeófono que rexistra a chegada da vibración.

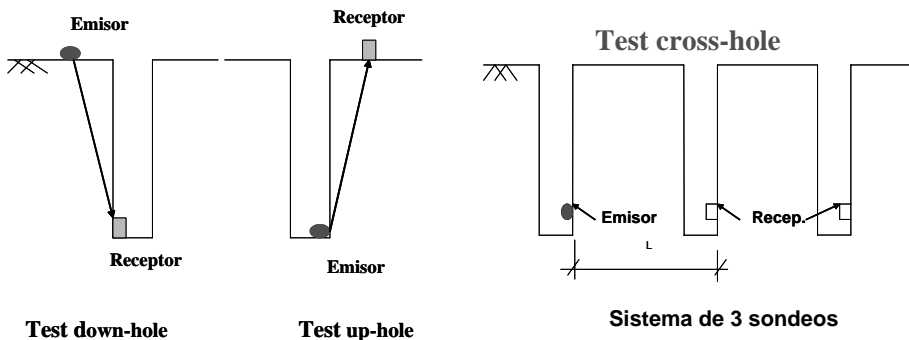
Existen diferentes tipos de ensaios sísmicos en función da disposición que teñan o punto de golpeo e a sarta de xeófonos que rexistran a chegada das ondas, así como dos fenómenos que sofre a onda ó cambiar de medio.

Tamén se clasifican en función da profundidade á que se tomen as medidas.

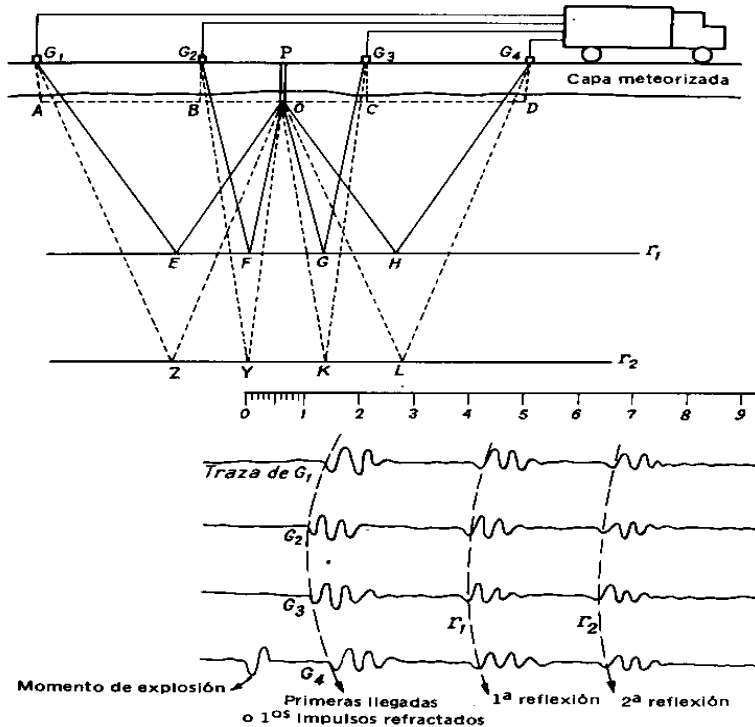
- Ensaio de superficie:
  - ensaio de refracción: baséase na refracción pura das ondas ó cambiar a un medio máis ríxido. Analízanse só as primeiras chegadas de ondas ós xeófonos. Axeitado para a medida de módulos de elasticidade e a determinación da profundidade dos estratos. É moi usado;
  - ensaio de reflexión: as ondas reflectíñense nos contactos entre materiais con diferente velocidade de propagación e volven á superficie. Analízase todo o sismograma de chegadas de ondas. Axeitado para estudos xeolóxicos é útil no estudo de grandes áreas. Pouco usado en xeotecnia, procede das prospeccións petrolíferas.
- Ensaio de profundidade:
  - ensaio up-hole: o dispositivo de xeración de ondas sitúase nunha sondaxe e o xeófono en superficie. Analízase a onda directa entre eles. Pouco usado;
  - ensaio down-hole: similar ó anterior pero alternáanse as posicións dos dispositivos;
  - ensaio cross-hole: empréganse dúas ou máis perforacións para coloca-los dispositivos e poder obter un perfil continuo en profundidade. Bastante usado.



**Figura 11.7: Exemplo da sismica de refracción. As ondas vense refractadas ó cambiar a un medio máis rápido, e “adianta” á onda directa superficial**



**Figura 11.8: Métodos sísmicos de profundidade**



**Figura 11.9: Exemplo da sismica de reflexión. As ondas vense reflectidas nos contactos entre dous materiais diferentes e volven á superficie**

### 11.3 Xeorradar (GPR Ground Penetration Radar)

O xeorradar ou radar de subsolo (Ground Penetration Radar) é unha técnica de prospección xeofísica baseada na emisión de impulsos electromagnéticos de moi curta duración (entre 1-10 ms), nunha banda de frecuencias entre 100 MHz e 1 GHz, de modo que os impulsos son dirixidos mediante unha antena en vertical polo terreo. Cando varía a constante dieléctrica do terreo, eses impulsos varían en velocidade e en traxectoria, co que cando retornan á superficie e se captan mediante outra antena, a análise da perturbación permite identificar propiedades xeolóxicas, hidroxeolóxicas e xeotécnicas do subsolo.

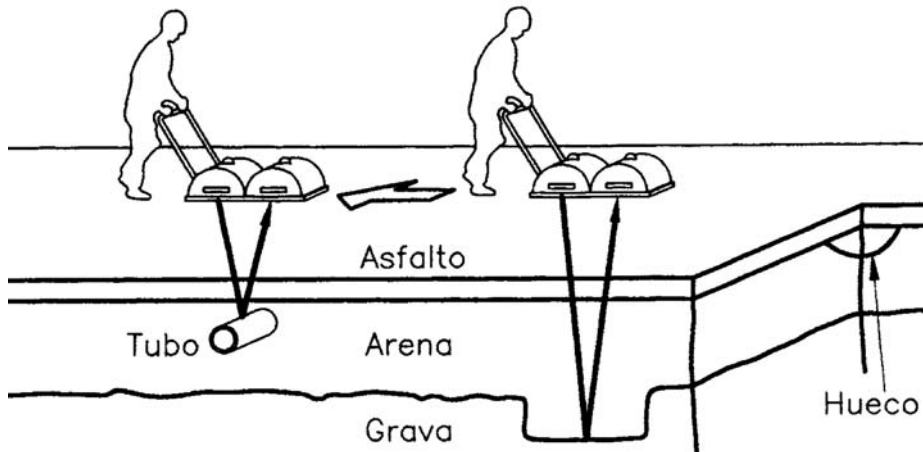
Hai que dispoñer dunha antena emisora de ondas e dunha antena receptora das ondas reflectidas, que se van desprazando pola superficie do terreo e permiten detecta-la potencia dos estratos e a profundidade á que están situados.

Na figura 11.10 móstrase a disposición do equipo necesario para este ensaio.

Un ensaio con técnicas de radar permite o estudo de áreas extensas de terreo, pero ó igual que no caso do método de recoñecemento

eléctrico e sísmico, é conveniente contrasta-los resultados con algunha sondaxe convencional.

A utilización do equipo para a realización dun ensaio con técnicas de radar é aínda restrinxida, xa que o custo do equipo é elevado en comparación con outros métodos de ensaio máis convencionais.



**Figura 11.10: Equipo empregado na prospección electromagnética. O sinal recibido na antena receptora depende dos materiais que atravesa o impulso e do seu espesor**

## **AVALIACIÓN DA UNIDADE DIDÁCTICA**

- Na avaliación da aprendizaxe dos conceptos teóricos da unidade didáctica terase en conta a resposta correcta das cuestións curtas formuladas no exame final da materia.
- Nos casos prácticos de debate presentados nas clases, valorarase a claridade e a precisión na exposición das opinións. Esta información recollerase a través dunha folla de rexistro ou anecdotario.
- Nos traballos voluntarios valorarase fundamentalmente a calidade dos contidos. Tamén se terá en conta a claridade na exposición, o apartado de conclusións e reflexións persoais sobre o tema elixido, a cantidade e a calidade da bibliografía consultada.
- Valórase a atención prestada nas clases de teoría e o interese amosado pola materia a través dos resumos entregados en cada sesión.

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

- 2.1: Mostra bloque obtida nunha cata [13]
- 2.2: Mostra inalterada protexida nunha funda de PVC [14]
- 2.3: Procedemento operativo da extracción dunha mostra inalterada cun tomamostras aberto de parede delgada
- 2.4: Procedemento operativo da extracción dunha mostra inalterada cun tomamostras de pistón
- 2.5: Tomamostras de pistón [15]
- 2.6: Tomamostras bipartido estándar (internet) [20]
- 2.7: Tomamostras Denison [15]
- 2.8: Tipos de cestas empregadas para a recollida da mostra en solos de fácil desintegración, usadas nos tomamostras Denison [15]
- 2.9: Tomamostras de xanela [21]
  
- 3.1: Esquemas orientativos de emprazamento de puntos de recoñecemento en solares cadrados ou rectangulares
- 3.2: Esquemas orientativos de emprazamento de puntos de recoñecemento en solares alongados
- 3.3: Esquemas orientativos de emprazamento de puntos de recoñecemento en solares en L
- 3.4: Esquemas orientativos de emprazamento de puntos de recoñecemento en solares de forma irregular
- 3.5: Número de puntos de recoñecemento recomendado en situacións de control normal [7]
- 3.6: Exemplo de perfil xeotécnico para unha obra lineal
  
- 4.1: Exemplo de parte que se debe realizar nunha cata
- 4.2: Sondaxe por inxección de auga [10]
- 4.3: Equipo para a realización dunha sondaxe por presión [16]
- 4.4: Sondaxe a rotación con barrena helicoidal [10]
- 4.5: Ferramentas de perforación de sondaxes helicoidais [16]
- 4.6: Sondaxe a rotación. Detalle da cabeza de rotación [10] [16]
- 4.7: Coroas para a realización de sondaxes a rotación con extracción de testemuño [16]
- 4.8: Trialetas e tetraletas para a realización de sondaxes de destroza [16]
- 4.9: Triconos para a realización de sondaxes de destroza [16]
- 4.10: Exemplo do parte dunha sondaxe
  
- 5.1: Piezómetro aberto. Piezómetro pechado. Equipo de medida [4]
  
- 6.1: A) Ensaio en fondo de sondaxe con obturador simple. B) Ensaio nun tramo de sondaxe con dobre obturador [4]
- 6.2: Ensaio de bombeo nun acuífero confinado
- 6.3: Ensaio de bombeo en acuífero libre
  
- 7.1: Esquema do tomamostras do ensaio SPT [1]
- 7.2: Imaxe da culler SPT coa mostra de solo no seu interior [13]

- 7.3: Dispositivo de golpeo con martelo de seguridade [16]
- 7.4: Interpretación de datos SPT, tendo en conta a profundidade (Thornburn, 1963) [4]
- 7.5: (1) Correlación empregada para o cálculo dos factores de capacidade de carga en cimentacións superficiais. (2) Estimación do valor do ángulo de rozamento interno efectivo do terreo a partir do valor N en areas (De Mello, 1971) (1) [3] (2) [4]
- 7.6: Relación entre N e  $\phi'$  para: (1) areas de gran anguloso e redondeado de mediano a grosso, (2) areas finas e areas limosas [11]
- 7.7: Relación entre a penetración estándar, a presión vertical e a compacidade relativa para areas [2]
- 7.8: Relación entre N e a resistencia a compresión simple para solos cohesivos [3]
- 7.9: Esquema dun ensaio de penetración dinámica tipo Borros e dimensións das puntazas máis empregadas [5]
- 7.10: Presentación habitual dos resultados dun ensaio de penetración dinámica tipo Borros
- 7.11: Esquema das puntazas empregadas en ensaios de penetración dinámica CPT [1]
- 7.12: Relación entre a resistencia por punta  $q_c$  e o ángulo de rozamento interno para areas non cementadas (Robertson e Campanella, 1983) [4]
- 7.13: Exemplo da presentación de resultados dun ensaio de piezocono, no que se rexistran diferentes parámetros fronte á profundidade
  
- 9.1: Esquema do equipo necesario para a realización dun ensaio presiométrico de Menard [3]
- 9.2: Imaxes da sonda presiométrica e o equipo de control do ensaio de Menard [4]
- 9.3: Exemplo de curva de resultados dun ensaio presiométrico [4]
  
- 10.1: Esquema do ensaio de placa de carga [10]
  
- 11.1: Dispositivo Wenner [18]
- 11.2: Dispositivo Schlumberger [18]
- 11.3: Procedemento de interpretación dunha prospección eléctrica [19]
- 11.4: Esquema simplificado dunha sondaxe eléctrica. A medida que aumenta a distancia entre eléctrodos de inxección aumenta a profundidade investigada [19]
- 11.5: Esquema simplificado dunha cata eléctrica [19]
- 11.6: Perfil que reflicte os resultados dunha tomografía eléctrica
- 11.7: Exemplo da sísmica de refracción. As ondas vense refractadas ó cambiar a un medio máis rápido, e “adianta” á onda directa superficial [18]
- 11.8: Métodos sísmicos de profundidade [18]
- 11.9: Exemplo da sísmica de reflexión. As ondas vense reflectidas nos contactos entre dous materiais diferentes e volven á superficie [18]

11.10: Equipo empregado na prospección electromagnética. O sinal recibido na antena receptora depende dos materiais que atravesa o impulso e do seu espesor [10]

## BIBLIOGRAFÍA

---

- [1] AENOR (1999): *Geotecnia: ensayos de campo y de laboratorio*, Madrid.
- [2] GIBBS, H.J. E HOLTZ, W.G. (1957): *Re-search on determining the density os sand by spoon penetration test*, Proc. 4th Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 1, pp. 35-39.
- [3] GONZÁLEZ, M. (2001): *El Terreno*, Barcelona: Ed. Universidad Politécnica de Cataluña.
- [4] GÓNZÁLEZ-VALLEJO, L., FERRER, M., ORTUÑO, L. E OTEO, C. (2002): *Ingeniería Geológica*, Madrid: Ed. Prentice Hall.
- [5] JIMÉNEZ SALAS, J.A. *et al* (1975-1981): *Geotecnia y Cimientos*, Madrid: Ed. Rueda.
- [6] MINISTERIO DE FOMENTO (2002): *Construcción de explanaciones, drenajes y cimentaciones. PG-3*, Madrid.
- [7] MINISTERIO DE FOMENTO (2003): *Guía de Cimentaciones en Obras de Carreteras*, Madrid.
- [8] MINISTERIO DE VIVIENDA (2006): *Código Técnico de la Edificación: Libro 3: Seguridad Estructural: cimientos*, Madrid.
- [9] RODRÍGUEZ ORTIZ, J.M. *et al* (1995): *Curso Aplicado de Cimentaciones*, Madrid: Ed. Colegio de Arquitectos de Madrid, 6ª edición.
- [10] SURIOL, J., LLORET, A. E GARCÍA, A. (1995): *Geotecnia. Reconocimiento del Terreno*, Barcelona: Ed. Universidad Politécnica de Cataluña.
- [11] TERZAGHI, K. E PECK, R.B. (1948): *Soil Mechanics in Engineering Practice*, New York, Ed. Jonh Wiley and Sons.

## Citas de recursos en internet

- [12] Atlas Copco, S.A.E. Equipos de construcción e minería.  
<http://www.atlascopco.es> [citado 28 xan 2009]
- [13] LDH Ingenieros  
<http://www.ldh-geotecnia.com/> [citado 28 xan 2009]
- [14] “Los estudios geotécnicos en edificación”.  
Colegio de Aparelladores e Arquitectos Técnicos de Girona.  
A. Escriu Giró  
<http://www.conanma.com/descargas/geotecnia%20sondeos.pdf>  
[citado 28 xan 2009]
- [15] “Manual on Subsurface Investigations. Geotechnical Site  
Characterization”.  
National Highway Institute, Washington DC.  
P.W. Mayne *et al*, 2001  
[http://www.sil.ucdavis.edu/downloads/NHI\\_SI\\_Manual.pdf](http://www.sil.ucdavis.edu/downloads/NHI_SI_Manual.pdf) [citado 28  
xan 2009]
- [16] Maquinaria de perforación. Talleres Segovia S.L.  
<http://www.tallersegovia.com/> [citado 28 xan 2009]
- [17] Recomendacións sobre equipos de perforación  
<http://sondistas.mforos.com/> [citado 28 xan 2009]
- [18] Recursos docentes da Materia de Xeofísica da Universidade Politécnica  
de Cataluña  
[www.epsem.upc.edu/~emrn/Geofisica.Xarxa/](http://www.epsem.upc.edu/~emrn/Geofisica.Xarxa/) [citado 28 xan 2009]
- [19] Recursos docentes das Materias de Hidroloxía e Hidroxeoloxía da  
Universidade de Salamanca  
<http://web.usal.es/~javisan/hidro/> [citado 28 xan 2009]
- [20] Recursos docentes do Grupo de Xeotecnia da Facultade de Enxeñaría  
da Universidade Católica de Valparaiso, Chile  
[http://icc.ucv.cl/geotecnia/03\\_docencia/03\\_clases\\_catedra/clases\\_c  
atedra\\_ms1/13\\_reconocimiento.pdf](http://icc.ucv.cl/geotecnia/03_docencia/03_clases_catedra/clases_catedra_ms1/13_reconocimiento.pdf) [citado 28 xan 2009]
- [21] Van Walt Limited - Groundwater & Soil Sampling  
<http://www.vanwalt.com/window-sampling-groundwater.htm> [citado  
28 xan 2009]



Unha colección orientada a editar materiais docentes de calidade e pensada para apoiar o traballo de profesores e alumnos de todas as materias e titulacións da universidade.



Servizo de Normalización  
Lingüística