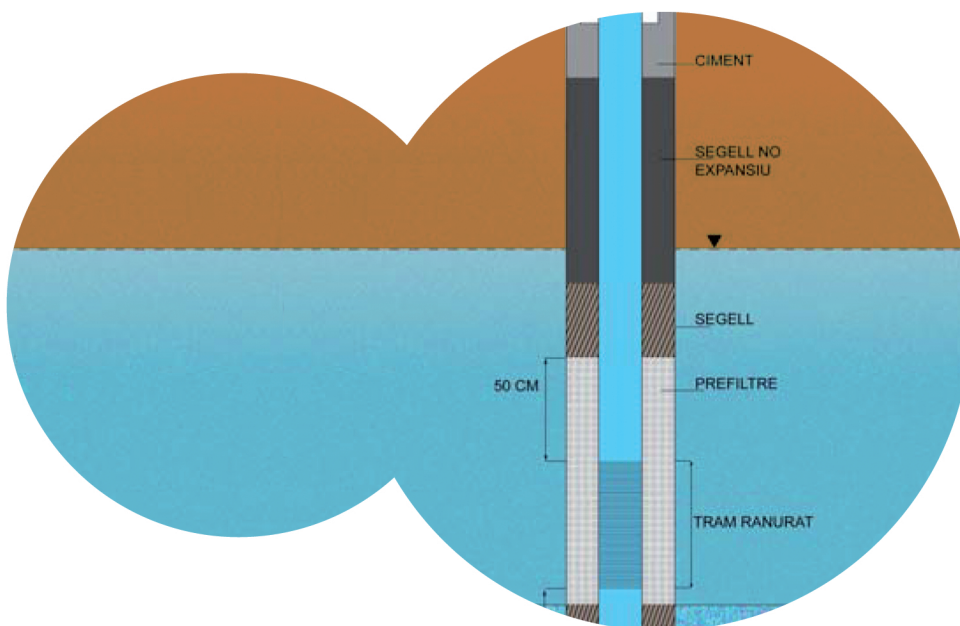


Guia d'instal·lació de piezòmetres






Avaluació de la qualitat d'aigües subterrànies
en episodis de contaminació d'origen puntual.

Desembre 2009

**PLA O PROGRAMA: EFICIÈNCIA EN LA UTILITZACIÓ I MILLORA DE LA
QUALITAT DE LES MASSES D'AIGUA SUBTERRÀNIA.**

**GUIA D'INSTAL·LACIÓ DE PIEZÒMETRES PER A L'AVAUACIÓ DE LA
QUALITAT DE LES AIGÜES SUBTERRÀNIES EN EPISODIS DE CONTAMINACIÓ
PER ORIGEN PUNTIUAL**

EQUIP DE TREBALL	
 Agència Catalana de l'Aigua	Direcció
 dma <small>GESTIO</small> Directiva Marc de l'Aigua	Coordinació i supervisió
 d D'ENGINY biorem	Equip tècnic execució. Redacció dels criteris.

ÍNDEX

1. INTRODUCCIÓ	1
1.1. Antecedents	1
1.2. Objectius i continguts de la guia	1
2. DISSENY I INSTAL·LACIÓ DE PIEZÒMETRES DE CONTROL D'AIGÜES SUBTERRÀNIES	3
2.1. Tècniques de perforació	4
2.2. Característiques constructives	6
2.2.1. Diàmetres de perforació i del tub piezomètric	6
2.2.2. Profunditat de la perforació i del tub piezomètric	8
2.2.3. Materials del tub piezomètric	9
2.2.4. Trams ranurats i trams cecs	11
2.2.5. Tap de fons	12
2.2.6. Juntes i rosques	13
2.2.7. Prefiltres	14
2.2.8. Segells	15
2.2.9. Acabats superficials: taps, arquetes i altres	17
2.2.10. Desenvolupament del piezòmetre	17
2.3. Mostreig a diferents nivells	18
2.4. Taula resum de característiques tècniques	19
3. CONSIDERACIONS D'INSTAL·LACIÓ I MANTENIMENT	22
4. DOCUMENTACIÓ I REGISTRE	25
5. REFERÈNCIES	27
6. GLOSSARI	28

Pla o programa: eficiència en la utilització i millora de la qualitat de les Masses d'Aigua Subterrània

GUIA D'INSTAL·LACIÓ DE PIEZÒMETRES PER A L'AVALUACIÓ DE LA QUALITAT DE LES AIGÜES SUBTERRÀNIES EN EPISODIS DE CONTAMINACIÓ PER ORIGEN PUNTIUAL

1. INTRODUCCIÓ

1.1. Antecedents

El comportament dels contaminants al medi subterrani és un fenomen complex, condicionat tant per les característiques físico-químiques del propi contaminant com per l'heterogeneïtat de l'entorn. Disposar de punts de control que encaixin amb els objectius del mostreig i que permetin obtenir mostres representatives de les aigües subterrànies és, doncs, un element clau per a les tasques de caracterització i control de la contaminació.

En aquest context, els punts de mostreig d'aigües subterrànies ofereixen un accés directe al subsòl amb els que podem avaluar la qualitat de l'aigua subterrània i estimar tant les propietats hidràuliques de l'aqüífer com la direcció i velocitat del flux subterrani. Així, podem caracteritzar la hidrogeologia de l'entorn, definir el plomall de contaminació i, si s'escau, avaluar alternatives de restauració i/o contenció de la contaminació.

1.2. Objectius i continguts de la guia

Aquesta guia pretén definir les característiques constructives dels punts de mostreig d'aigües subterrànies (piezòmetres) a fi de desenvolupar-hi tasques de caracterització hidrogeològiques i, particularment, de gestió i control de la contaminació. Amb aquest document, l'Agència Catalana de l'Aigua vol promoure la correcta instal·lació de piezòmetres i col·laborar, així, a millorar la qualitat de les dades obtingudes.

Abans de detallar el contingut de la guia, cal fer un incís en relació a la terminologia adoptada. En termes generals, entenem per *punt de mostreig* qualsevol tipus de punt

d'accés al medi subterrani, sigui pou, piezòmetre o font, a través del qual podem realitzar lectures del nivell piezomètric així com obtenir mostres representatives de les aigües subterrànies. D'altra banda, distingim:

- **pou**, per indicar perforacions de gran diàmetre, superior a 200 mm, destinades habitualment a l'explotació del recurs hídric subterrani;
- **piezòmetre**, per a perforacions de diàmetres inferiors a 200 mm, generalment emprades per a la mesura i mostreig de les aigües subterrànies.

Les diferències són, doncs, de tipus geomètric, tot i que en alguns casos també n'hi ha de constructives. Les característiques de l'entubat dels pous, ja sigui amb tub piezomètric o d'obra, en limita sovint llur utilització com a punt de mostreig de la qualitat de les aigües subterrànies, ja que no sempre garanteixen la representativitat de la mostra. Així, aquesta guia es centra en la instal·lació de piezòmetres com a punts de mostreig d'aigües subterrànies, destinats a la caracterització i monitoreig d'episodis de contaminació per fonts d'origen puntual.

Aquesta guia es complementa amb el *Protocol de mostreig d'aigües subterrànies. Guia pràctica*, editat per l'Agència Catalana de l'Aigua el febrer del 2005, del qual se'n recomana la lectura a fi de completar el disseny d'un pla de mostreig d'aigües subterrànies.

2. DISSENY I INSTAL·LACIÓ DE PIEZÒMETRES DE CONTROL D'AIGÜES SUBTERRÀNIES

Per a la correcta instal·lació i ús del piezòmetre, és necessari conèixer amb exactitud la situació del nivell o nivells permeables que es volen monitoritzar, i ubicar, en conseqüència, els trams de mostreig de les aigües. Per aquesta raó cal determinar amb detall el perfil litològic del sondeig, objectiu que pot assolir-se mitjançant l'estudi de la columna obtinguda. D'aquesta columna, caldrà estudiar-ne i definir-ne acuradament el perfil, anotant la litologia, les cotes, així com d'altres observacions organolèptiques (com ara color i/o olor). Així mateix, en cas que es realitzin mesures *in situ* o assaigs de laboratori de mostres de sòl, també caldrà anotar-ho a la descripció de la columna.

En bona part dels casos, el desenvolupament de sondeigs i la instal·lació de piezòmetres, tant en sentit del flux de l'aigua subterrània, com en sentit transversal, ens permetrà obtenir una bona imatge de l'entorn geològic i hidrogeològic del plomall. El perfil que se'n derivi haurà de ser avaluat dins el marc estratigràfic i/o geològic regional, a fi de verificar-ne la coherència i alhora les característiques locals. En entorns geològics complexos, per contra, és possible que calgui emprar mètodes complementaris de caracterització geològica, com ara mètodes geofísics o de registre videogràfic (obtenció d'imatges a l'interior del sondeig), paral·lelament a l'execució dels sondeigs. En aquest cas, és important preveure-ho amb antelació a fi d'assegurar la compatibilitat de tots aquests mètodes.

A l'hora d'iniciar la instal·lació d'un nou piezòmetre, caldrà avaluar-ne el disseny i les característiques, amb l'objectiu d'assegurar llur qualitat i posterior utilitat com a punt de mostreig de les aigües subterrànies. A la figura 2.1 podeu veure l'esquema d'un piezòmetre típic. Habitualment, els paràmetres que haurem de considerar inclouen:

- el mètode de perforació;
- el diàmetre de perforació i de tub piezomètric;
- la profunditat de la perforació i del piezòmetre;
- el material de construcció del piezòmetre;
- les característiques constructives relacionades amb l'interior del piezòmetre i els acabats: el(s) tram(s) ranurat(s), el reblliment de l'espai anular (prefiltre), els taps i segells i, finalment, la tapa o arqueta que n'ha de garantir la permanència, estanqueïtat i accessibilitat;
- el desenvolupament del piezòmetre.

D'aquests aspectes n'haurà de dur a terme un control i registre a peu d'obra un tècnic geòleg especialista (vegeu apartat 3). Als apartats següents trobareu una breu presentació de llurs característiques.

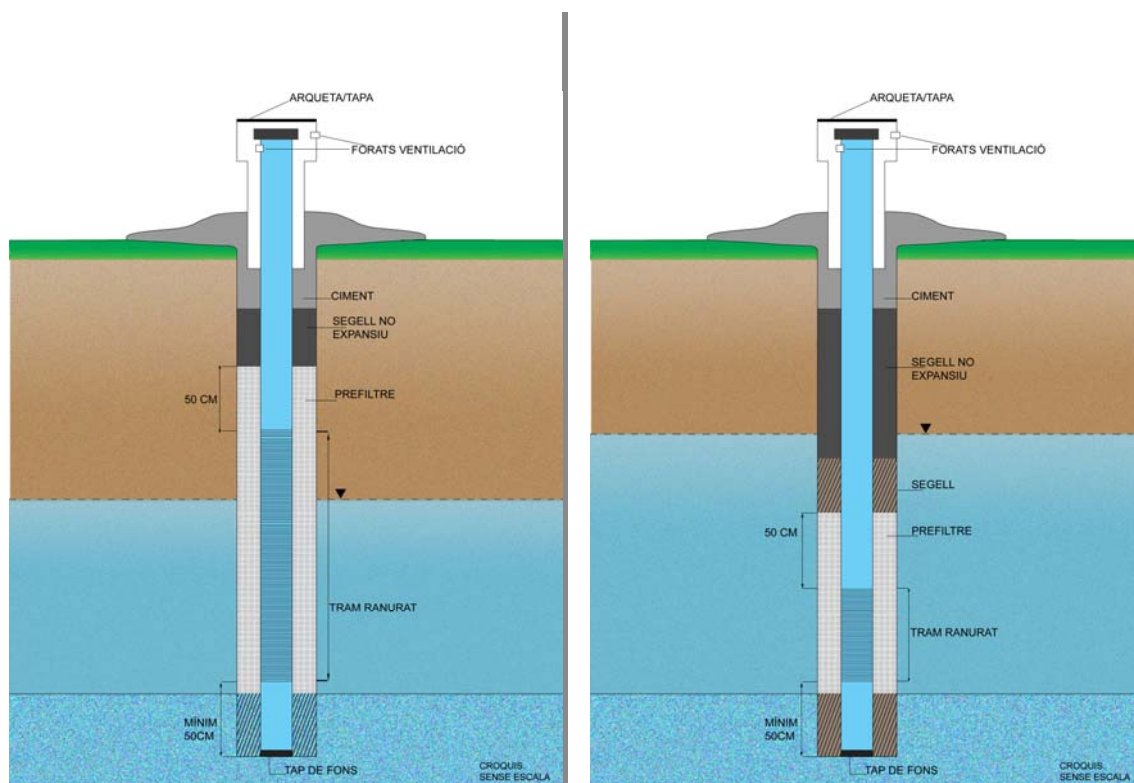


Figura 2.1. Esquema d'un piezòmetre tipus. Font: adaptat de la US-EPA, 1991.

2.1. Tècniques de perforació

La instal·lació de piezòmetres requereix d'una tasca prèvia de perforació a fi d'accedir al nivell aquífer que volem monitoritzar. Actualment existeixen distintes tècniques de perforació per a la instal·lació de piezòmetres, les més habituals de les quals són l'helicoidal, la de rotació i la de percussió/rotopercussió¹. La taula 2.1 en resumeix els principals avantatges i desavantatges, i a la figura 2.2. se'n pot veure un esquema del funcionament.

La selecció de la tècnica de perforació ha d'assegurar:

- l'obtenció de dades i mostres representatives;

¹ Per al mostreig d'aigües subterrànies també es poden emprar tecnologies sense instal·lació de piezòmetre, com ara l'ús de penetròmetres, que permeten realitzar mostreigs i lectures *in situ* mitjançant sondes perdudes, de forma puntual i sense alteració de la mostra. Aquests mètodes, però, no són objecte de presentació en aquesta guia.

- la minimització o eliminació del potencial de contaminació del medi i de les mostres, així com de contaminacions creuades; i,
- la reducció dels costos de perforació.

Mètode	Avantatges	Desavantatges
Helicoidal	<ul style="list-style-type: none"> ▪ mínim impacte sobre l'aqüífer. ▪ no requereix fluids de perforació. ▪ la broca de perforació actua com a entubat temporal, evitant el col·lapse de les parets. ▪ apte per a materials no consolidats. ▪ poden obtenir-se mostres de sòl mitjançant mètodes de barilles. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ofereix un reconeixement litològic deficient. ▪ no és apte per a dipòsits consolidats. ▪ profunditat de construcció de piezòmetres o pous màxima de 30 m. ▪ pot requerir abandonament del sondeig en cas que s'interceptin còdols grollers. ▪ no permet un control exhaustiu dels compostos volàtils a la zona no saturada.
Rotació	<ul style="list-style-type: none"> ▪ mètode ràpid i eficaç. ▪ vàlid tant per a sondeigs de diàmetres grans com petits. ▪ viable fins a grans profunditats. ▪ apte per a medis consolidats i no consolidats. ▪ permet obtenir mostra de sòl en testimoni continu (en cas de perforació amb corona) o bé en reblums (perforació amb tricon). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ en determinats casos requereix fluid de perforació que poden alterar el nivell i la química de l'aigua subterrània. ▪ pot provocar una impermeabilització parcial de les parets del sondeig, de manera que cal un posterior desenvolupament molt exhaustiu. També podria alterar-se la química de l'aigua.
Percussió / rotopercussió	<ul style="list-style-type: none"> ▪ viable fins a grans profunditats. ▪ requereix poca quantitat de fluid de perforació i no en tots els casos. ▪ apte per a medis consolidats i no consolidats. ▪ idoni per a zones de graves. ▪ permet un bon control litològic. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ en el cas de la percussió, es tracta d'un mètode d'execució lenta.

Taula 2.1. Avantatges i desavantatges de les tècniques de perforació per a la instal·lació de piezòmetres.

Font: adaptat de la US-EPA, 1991.

En bona part dels casos d'instal·lació de piezòmetres per a objectius ambientals, és recomanable l'ús de tècniques de rotació amb recuperació de testimoni continu ja que permeten un bon desenvolupament de les tasques de caracterització litològica, mostreig i control de vapors associades al control i caracterització de la contaminació del subsòl.

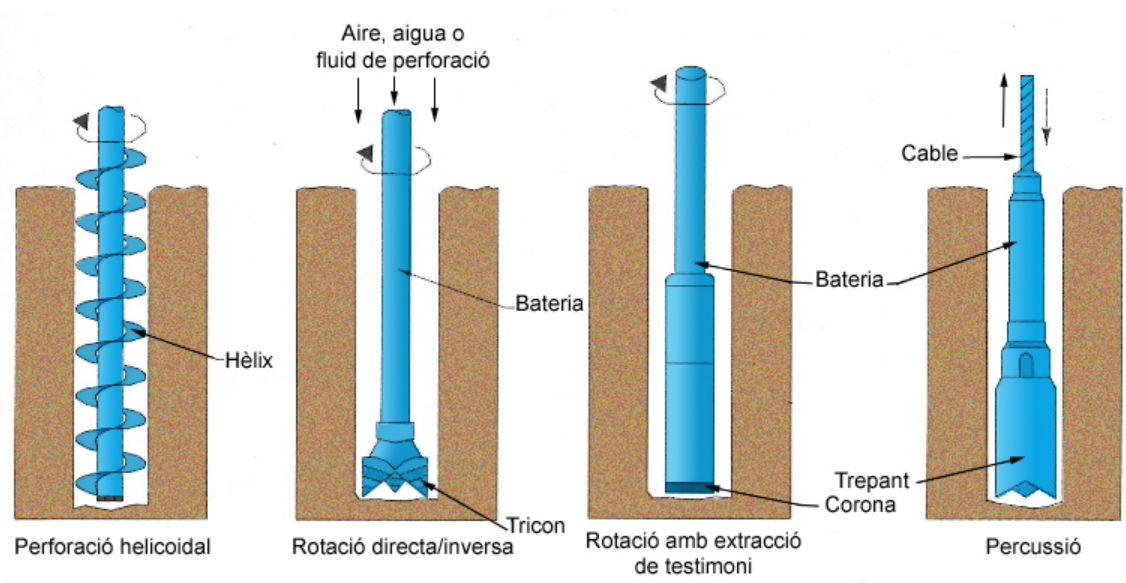


Figura 2.2. Mètodes de perforació per a la instal·lació de piezòmetres. Font: adaptat de la US-EPA, 1991.

A l'hora de dur a terme la perforació, s'ha de prestar especial atenció a fi d'evitar les contaminacions creuades entre els diferents punts de mostreig i/o amb el material de perforació. Amb aquest objectiu, es recomana planificar amb antelació la seqüència dels sondeigs a realitzar, començant pels (potencialment) menys contaminats i acabant pels més contaminats. D'altra banda, cal limitar l'ús d'olis, lubricants i/o altres productes d'engreixat de l'utilatge, així com dur a terme una neteja del material abans i després de cada perforació. Un bon mètode de neteja, tot i que no l'únic, és l'ús de detergent, seguit d'un aclarit amb aigua i, si cal, l'aplicació d'un dissolvent lleuger que no interfereixi amb la potencial contaminació de l'emplaçament, com ara etanol o metanol.

2.2. Característiques constructives

Entenem per característiques constructives tots aquells aspectes relacionats amb les propietats del piezòmetre i que no es relacionen amb la tècnica de perforació, com ara les dimensions del piezòmetre (profunditat, diàmetre i localització dels trams ranurats), així com llurs acabats (materials, prefiltres, taps, segells, i tapes superficials).

2.2.1. Diàmetres de perforació i del tub piezomètric

El diàmetre de perforació ha de ser prou gran per a encabir-hi el tub piezomètric i, a més, permetre un espai anular que actuï de prefiltrer. Així, generalment s'opta per una perforació d'un diàmetre entre 50 i 150 mm superior al diàmetre exterior del tub piezomètric. En cas que es vulguin instal·lar elements fora del tub piezomètric, com ara tubs o sondes, caldrà considerar un major diàmetre de perforació a fi de disposar

d'un major espai anul·lar² on encabir-los. En tot cas, però, cal tenir en compte que un espai anul·lar massa gran limitarà la viabilitat de desenvolupament del piezòmetre alhora que requerirà d'un major volum de purga per al mostreig.

Pel que fa al diàmetre del tub piezomètric (vegeu fotografia 2.1), cal tenir en compte l'ús al qual es destinarà el punt de mostreig així com el material que s'emprarà per a llur bombament, purga o mostreig. Així, per a piezòmetres destinats a la mesura del nivell piezomètric i l'obtenció de mostres d'aigua subterrània, es recomana un diàmetre de tub de 50 mm (diàmetre intern). Aquest diàmetre permet, d'una banda, l'ús de material estàndard de mostreig i bombament a baix cabal –com ara mostrejadors tipus *bailers*, o bombes estàndards de mostreig (vegeu fotografies 2.2, i 2.3)-, i, de l'altra, és prou petit per evitar l'emmagatzematge de grans volums d'aigua i, per tant, evitar un excessiu volum de purga.

En el cas de punts destinats a l'execució d'assaigs hidràulics, com ara assaigs de bombament, on cal l'ús de bombes de major cabal i diàmetre, s'aconsella un diàmetre mínim del tub piezomètric de 101 mm. Aquest diàmetre permet una bona entrada d'aigua a l'interior del piezòmetre i, alhora, facilita el desenvolupament de les tasques de bombament i mesura *in situ*. També, per a piezòmetres de gran longitud, sol ser necessari un major diàmetre de tub. En qualsevol cas, els diàmetres majors de tub piezomètric requereixen majors diàmetres de perforació, fet que sol alentir i encarir el procés de construcció.

El resum dels diàmetres recomanats es mostra a la taula 2.1.

² Espai existent entre la paret del sondeig i la paret exterior del tub piezomètric.



Fotografia 2.1. Tub piezomètric de PVC.

ús del piezòmetre	diàmetre del tub piezomètric (mm)	
	intern	extern ³
mostreig	50	63
assaigs hidrogeològics	101	110

Taula 2.1. Diàmetres del tub piezomètric.



Fotografia 2.2. Mostrejador tipus bailer (d'un sol ús).



Fotografia 2.3. Bomba submergible per a purga i mostreig de piezòmetres.

2.2.2. Profunditat de la perforació i del tub piezomètric

La profunditat del piezòmetre es determina cas per cas i depèn, principalment, de les condicions hidrogeològiques de l'emplaçament i dels objectius de mostreig. Sigui quina sigui la profunditat seleccionada, la perforació ha de realitzar-se com a mínim fins a 50 cm per sota de la profunditat on s'ubiqui el darrer tram ranurat del piezòmetre (vegeu figura 2.1). En alguns medis, especialment en al·luvials multicapa, aquesta distància

³ Per a tubs de PVC.

entre el límit de perforació i el límit inferior del tram ranurat pot ser menor, d'uns 25 cm, a fi de reduir el risc de connexió entre capes durant les tasques de perforació. En cas que la profunditat de perforació sigui encara major -per motius de caracterització del medi o d'altres-, es recomana segellar o reomplir el darrer tram de la perforació amb material de baixa permeabilitat⁴ a fi d'evitar el risc d'aparició de fluxos verticals preferencials i/o l'obtenció de mostres poc representatives quan es dugui a terme el mostreig. Aquest reblliment s'ha de fer bo i d'acord als criteris esmentats als apartats 2.2.5 i 2.2.8.

En perforacions a gran profunditat, o en certs substrats geològics, és possible patir una desviació del sondeig. En alguns casos, com ara en caracteritzacions de focus de DNAPLs o en estudis litològics de detall, conèixer aquesta desviació i/o assegurar la verticalitat del sondeig esdevé un punt crític. En aquests casos, es poden dur a terme assaigs de verticalitat del sondeig. Generalment, però, l'escassa incidència de les desviacions, sobretot en piezòmetres de poca profunditat, i el cost elevat d'aquests assaigs, fa que no s'usin de forma regular.

2.2.3. Materials del tub piezomètric

Amb la instal·lació del tub piezomètric hem de garantir la funcionalitat del punt de mostreig al llarg del temps i, alhora, l'obtenció de mostres representatives de l'aigua subterrània. Actualment existeixen diferents tipus de materials que poden ser emprats com a tub piezomètric, els quals difereixen principalment en llur resistència mecànica, resistència a la corrosió, potencial d'interferència amb el medi i cost, entre d'altres. A l'hora de seleccionar el material més idoni haurem de tenir en compte, principalment:

- llur durabilitat al llarg del temps, ja sigui en termes de resistència mecànica o resistència a la corrosió química i/o biològica;
- llur potencial d'alteració de les mostres, que haurà de ser mínim, evitant processos de sorció, desorció i/o reacció amb un compost o contaminant present a l'aigua.

La taula següent resumeix els avantatges i desavantatges dels principals materials emprats per als tubs piezomètrics: PVC, polipropilè, polietilè, Teflón®, acer inoxidable i acer al carboni.

Material	Avantatges	Desavantatges
clorur de polivinil (PVC)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ lleuger ▪ resistent a bases febles, alcohols, hidrocarburs alifàtics i olis 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ més fràgil que l'acer i el ferro ▪ es deteriora en contacte amb dissolvents organoclorats a elevades

⁴ En qualsevol cas, material de menor permeabilitat que la de l'entorn.

Material	Avantatges	Desavantatges
	<ul style="list-style-type: none"> resistència moderada a àcids i bases fortes 	<ul style="list-style-type: none"> concentracions menor resistència química que el PTFE
polipropilè (PP)	<ul style="list-style-type: none"> lleuger resistent a l'atac d'àcids minerals moderadament resistent a bases, alcohols, cetones i ésters 	<ul style="list-style-type: none"> menor resistència mecànica que altres materials es deteriora en contacte d'àcids oxidants i hidrocarburs (alifàtics i aromàtics) menor resistència química que el PTFE i major que el PVC
polietilè (PE) ⁵	<ul style="list-style-type: none"> lleuger bona resistència a l'impacte i a l'abradió bona resistència química 	<ul style="list-style-type: none"> es deteriora en contacte amb cetones, ésters i hidrocarburs aromàtics menor resistència química que el PTFE i major que el PVC
politetrafluoretilè (PTFE) o Teflón®	<ul style="list-style-type: none"> lleuger resistent a la majoria de compostos químics 	<ul style="list-style-type: none"> fràgil (el més fràgil de tots els plàstics) pot absorbir alguns compostos orgànics, principalment tetracloretilè
acer inoxidable	<ul style="list-style-type: none"> gran resistència mecànica bona resistència química 	<ul style="list-style-type: none"> pot alliberar crom (i altres metalls) en entorns de pH baixos pot catalitzar algunes reaccions químiques
ferro o acer al carbó	<ul style="list-style-type: none"> gran resistència mecànica 	<ul style="list-style-type: none"> es rovella amb facilitat, originant una superfície de fàcil sorció de metalls es deteriora en medis corrosius
acer galvanitzat	<ul style="list-style-type: none"> gran resistència mecànica 	<ul style="list-style-type: none"> pot esdevenir una font de zinc es rovella amb facilitat en cas que la superfície s'hagi deteriorat, originant una superfície de fàcil sorció de metalls

Taula 2.2. Avantatges i desavantatges dels principals materials de tub piezomètric.

Font: adaptat de la US-EPA, 1991.

A la pràctica, per a la selecció del material del tub piezomètric, considerarem els aspectes següents:

- el medi geològic;
- l'entorn geoquímic tant de l'aqüífer com de la zona vadosa;
- la profunditat prevista del tub piezomètric;
- el tipus i concentració de contaminants;
- el temps estimat de vida útil (necessari) del punt de mostreig;
- l'ús del punt de mostreig.

⁵ Habitualment polietilè d'alta densitat (PEAD o HDPE, de l'anglès *high-density polyethylene*).

La taula següent (Taula 2.3) mostra algunes recomanacions genèriques de selecció de material del tub piezomètric en relació al tipus de contaminació de les aigües i a llur entorn geoquímic:

Tipus de contaminants	Material de tub piezomètric recomanat
hidrocarburs i LNAPLs	PVC, PEAD, PTFE
compostos organoclorats i DNAPLs	PEAD, acer
metalls	PVC, PEAD

Taula 2.3.a. Material del tub piezomètric per tipus de contaminació.

Evitar l'ús de:	En el seu lloc, emprar:
PTFE si la profunditat del piezòmetre és superior als 65 m	PVC, acer inoxidable
PVC si la profunditat del piezòmetre és superior als 350 m	acer inoxidable
acer inoxidable si el pH < 7.0	PVC, PTFE
acer inoxidable si l'oxigen dissolt > 2 ppm	PVC, PTFE
acer inoxidable si l'H ₂ S dissolt és ≥ 1 ppm	PVC, PTFE
acer inoxidable si els sòlids dissolts són ≥ 1000 ppm	PVC, PTFE
acer inoxidable si el CO ₂ dissolt és ≥ 50 ppm	PVC, PTFE
acer inoxidable si el Cl ⁻ és ≥ 500 ppm	PVC, PTFE
PVC en cas d'elevades concentracions de solvents	acer inoxidable, PTFE
coles i adhesius per a les juntes i unions de tubs piezomètrics	juntes de rosca

Taula 2.3.b. Recomanacions genèriques per a la selecció del material del tub piezomètric.

Font: adaptat de la California-EPA, 1995.

2.2.4. Trams ranurats i trams cecs

El tram ranurat correspon al tram del piezòmetre on es permet l'entrada d'aigua del medi a l'interior del tub i, per tant, s'ha d'ubicar allà on volem obtenir mostra d'aigua de l'aqüífer (vegeu figura 2.1). La longitud d'aquest tram pot ser molt variable, en funció de l'heterogeneïtat del medi i dels objectius del mostreig. En entorns on no es detectin fluxos preferencials, es poden emprar trams de gran longitud, si cal equivalents al gruix de l'aqüífer, a fi d'assegurar la detecció de potencials contaminacions de les aigües. En aquest cas, però, cal tenir en compte que les zones amb major permeabilitat aportaran major quantitat d'aigua al punt de mostreig i, en conseqüència, a la mostra. Per permetre el mostreig del nivell superior de l'aqüífer, el límit superior del tram ranurat s'haurà d'ubicar per sobre la franja d'oscil·lació del nivell freàtic. En cas que es desconegui el gruix de la franja d'oscil·lació, es recomana instal·lar-lo uns 2 m per sobre de la lectura del nivell freàtic determinada durant la perforació el sondeig.

Contràriament, en entorns on es conegui l'existència de fluxos preferencials, com ara en formacions sorrenques amb llenques d'elevada permeabilitat, o en medis fracturats, on l'aigua circula a través de les fractures, els trams ranurats es poden limitar al gruix d'aquestes zones amb l'objectiu de centrar el monitoreig en les zones de major circulació d'aigua. Així mateix, en casos en què es conegui o s'intueixi la localització i

forma del plomall, la ubicació del tram ranurat es pot enfocar cap a la detecció i/o delimitació de la contaminació, mostrejant únicament els punts d'interès⁶. En qualsevol cas, la selecció del tram ranurat determinarà la representativitat de la mostra i llur potencial de detecció de la contaminació. I viceversa, el tipus de contaminació (i de formació geològica) ens condicionarà la localització i extensió del tram ranurat.

La mida i tipologia de la ranura del tram ranurat ha de permetre maximitzar tant l'entrada d'aigua com la retenció de sòlids. Una major àrea oberta, és a dir, una major àrea d'entrada d'aigua a l'interior del tub, permet un millor desenvolupament del piezòmetre, una ràpida recuperació de la mostra, i una adequada obtenció de dades de l'entorn durant el desenvolupament d'assaigs hidrogeològics. Una mida excessiva de la ranura, però, facilitarà l'entrada de fins i produirà l'aparició de terbolesa a l'aigua del piezòmetre i, per tant, a la mostra. La selecció de la ranura ha de permetre, doncs, trobar un bon punt d'equilibri entre ambdues necessitats. D'altra banda, cal que aquesta ranura sigui homogènia, permetent l'entrada d'aigua en tot el perímetre del tub i en tot el tram ranurat. Per aquest motiu, cal usar tub piezomètric que ja vingui ranurat de fàbrica, i conèixer les dades tècniques de la ranura.

Finalment, en aquells trams on no es vulgui obtenir aigua subterrània, cal emprar tub cec⁷. Tots els trams de tub piezomètric –ranurat o cec- que s'emprin per a la instal·lació del piezòmetre, s'han de rentar abans de llur instal·lació, amb l'objectiu d'eliminar contaminacions i/o restes de material del procés de producció. Per a la neteja, es poden emprar solucions de detergents no fosfatats en aigua potable, i posteriorment dur a terme un aclarit amb aigua (potable). En cas que se sospiti la presència d'olis, compostos orgànics o lubricants als tubs, també es pot utilitzar aigua calenta a pressió. Si els piezòmetres es destinen al monitoreig de compostos orgànics volàtils, és recomanable dur a terme una neteja del tubs amb aigua destil·lada o aigua potable no clorada abans d'usar-los. Un cop rentats, i fins al moment de llur instal·lació, cal mantenir els tubs en un entorn net i lliure de contaminació.

2.2.5. Tap de fons

En el tram inferior del tub piezomètric s'ha d'instal·lar un tap de fons, amb l'objectiu d'evitar l'entrada de sediments i fins a l'interior del piezòmetre. Aquest tap s'ha d'ubicar a l'extrem del tub, preferiblement amb una unió de tipus rosca. Per sobre del tap es recomana instal·lar un tram de tub cec d'un mínim de 50 cm per facilitar la

⁶ Per exemple, els límits superiors i/o inferiors del plomall en llur extensió vertical. Cal tenir en compte, però, que l'ús de trams ranurats en un gruix inferior al de l'aqüífer proporcionarà lectures piezomètriques corresponents al tram ranurat. En cas que existeixin fluxos verticals, aquesta lectura serà distinta al nivell piezomètric de l'aqüífer.

⁷ Tub piezomètric sense obertures per a entrada de fluid.

sedimentació dels fins que puguin entrar a l'interior del tub (vegeu figura 2.1). En alguns medis, especialment en al·luvials multicapa on es vulgui evitar la perforació de capes inferiors, aquest tram podrà ser de 25 cm.

2.2.6. Juntes i rosques

La unió dels tubs piezomètrics necessaris per a la instal·lació del piezòmetre pot fer-se de distintes maneres, en funció del tipus de material del tub. En tots els casos, però, cal evitar la utilització de coles, dissolvents o adhesius que poden esdevenir una font de contaminació de les aigües. Així mateix, és aconsellable limitar l'ús de juntes o elements que modifiquin el diàmetre del piezòmetre, ja que poden originar processos de migració de l'aigua –per variacions del diàmetre extern-, problemes d'instal·lació del tub –en xocar amb les parets del sondeig- o bé limitacions en l'ús de bombes i material de mostreig –per reducció del diàmetre intern.

En el cas de tubs de material plàstic (PVC, PP, PE, Tefló), el mètode més habitual és l'ús de juntes roscades entre dos tubs, on un tub s'insereix a l'interior de l'altre. Aquest mètode evita l'ús de juntes exteriors i, per tant, l'aparició de nusos que alterin el diàmetre del piezòmetre. Si les rosques s'esquerden o es trenquen en el moment de la instal·lació, pot debilitar-se la resistència estructural del piezòmetre.

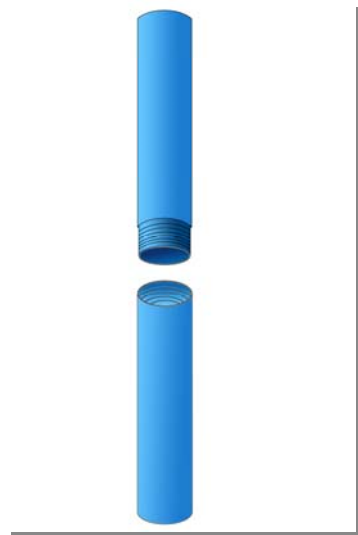


Figura 2.3. Juntes roscades entre trams de tub piezomètric.

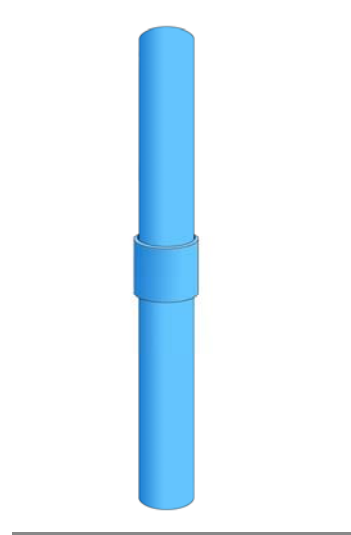


Figura 2.4. Juntes exteriors entre trams de tub piezomètric.

En el cas de tubs metàl·lics, també s'utilitzen juntes roscades o, alternativament, s'aplica calor per inserir un tub a l'interior de l'altre. Ambdós mètodes aconseguen resultats similars pel que fa a la modificació del diàmetre del tub. En el cas de la resistència estructural, però, les juntes roscades redueixen lleugerament la resistència

del piezòmetre, tot i que fins a nivells encara vàlids per a l'ús en campanyes de monitoreig. L'ur avantatge, emperò, és el menor temps d'instal·lació que requereixen.

2.2.7. Prefiltres

L'espai existent entre el tub piezomètric i les parets del sondeig, conegut com a espai anular, ha de ser reomplert amb material sòlid que eviti el col·lapse i el deteriorament del sondeig. En el tram corresponent al tub ranurat, aquest material de rebliment –o prefiltre (vegeu figura 2.1)- ha de reduir el risc d'entrada de fins a l'interior del piezòmetre i llur potencial acumulació a les parets del tub piezomètric –fet que originaria un tamponament de les ranures-; alhora, ha de garantir la mínima alteració de les característiques del medi, permetent l'entrada d'aigua al piezòmetre però evitant l'aparició de fluxos preferencials i l'alteració química de la mostra. En aquest sentit, el material del prefiltre sol ser una grava silícia inerta, neta i homogènia, d'una mida de gra adequada per retenir els materials de l'entorn (vegeu fotografia 2.4).



Fotografia 2.4. Grava silícea.



Fotografia 2.5. Col·locació del prefiltre.

L'ús d'un prefiltre artificial és adequat per a la majoria d'entorns geològics, particularment en aquells en què (Aller et al., 1989):

- 1) la formació sigui molt heterogènia, amb una granulometria variada,
- 2) la longitud del tram ranurat sigui notable i/o creui diversos estrats de distinta granulometria,
- 3) l'aquífer sigui sorrenc, llimós o argilós,
- 4) el gruix de la capa sigui molt reduït,
- 5) la formació correspongui a gres poc cimentat,
- 6) el medi sigui de tipus fracturat,

- 7) la formació la conformin pissarres o carbons que puguin generar terbolesa a la mostra, o bé
- 8) el diàmetre del sondeig sigui significativament major que el diàmetre del piezòmetre.

Contràriament, l'ús del material geològic de l'entorn com a prefiltrre es recomana únicament en aquells casos en què la formació geològica correspongui a un medi granular homogeni.

En general, el prefiltrre ha de tenir una amplada aproximada de 25-75 mm⁸. Verticalment, el filtre s'ha d'instal·lar fins aproximadament 50 cm per sobre del tram ranurat⁹, per assegurar l'entrada d'aigua. Cal recordar que la longitud del prefiltrre determina la zona efectiva de monitoreig; en conseqüència, si el prefiltrre s'estén per sobre del tram ranurat fins a una altra capa de la formació, es crearà una via de comunicació i de potencial transport de contaminants entre ambdues zones, alterant la qualitat del medi. D'altra banda, si la longitud del prefiltrre és inferior a la del tram ranurat, es limitarà la zona efectiva d'entrada d'aigua al piezòmetre.

A l'hora d'introduir el material del prefiltrre a l'espai anul·lar (vegeu fotografia 2.5), cal evitar la formació d'heterogeneïtats, com ara l'aparició d'espais buits o la segregació del material per diferents mides de gra, principalment en piezòmetres instal·lats a gran profunditat. L'ús de grava homogènia i llur introducció de forma contínua redueix, però, aquest risc. Prèviament a la instal·lació, cal calcular el volum necessari de material del prefiltrre, i anotar posteriorment les diferències amb el volum emprat a fi de detectar potencials problemes durant la perforació i/o la instal·lació. Actualment, també es pot utilitzar tub piezomètric amb prefiltrre instal·lat de fàbrica, garantint així una bona homogeneïtzació del prefiltrre que limita amb les parets del tub.

2.2.8. Segells

Per sobre del prefiltrre, i també com a reblliment de l'espai anul·lar, cal col·locar un material segellant. L'objectiu del segell és doble: d'una banda, aïllar diferents trams productius d'un mateix sondeig, i evitar així l'aparició de fluxos verticals i mescles entre les aigües dels diferents trams saturats; i, de l'altra, generar un segell sanitari per sobre del prefiltrre, per tal d'evitar l'entrada d'aigua o d'altres productes líquids (hidrocarburs, dissolvents, etc) des de la boca del piezòmetre i cap a l'interior del

⁸ Entès com la distància entre les parets del sondeig i la paret exterior del tub piezomètric.

⁹ En piezòmetres a gran profunditat (>75 m), el material del prefiltrre pot comprimir-se un cop reomplert tot l'espai anul·lar. En aquests casos, és recomanable instal·lar el prefiltrre fins aproximadament 120 cm per sobre el tram ranurat, a fi que llur potencial compressió no afecti el correcte funcionament del piezòmetre.

subsòl. En aquest sentit, per sobre del prefiltrat és recomanable col·locar un material de separació¹⁰ que eviti el contacte directe entre el prefiltrat i el material segellant i que garanteixi la funcionalitat del tram filtrant.

En general, el material emprat com a segell ha de ser inert, a fi d'evitar l'alteració de les aigües, i d'una permeabilitat com a mínim 1 o 2 ordres de magnitud inferior a la menor permeabilitat de la formació geològica que estigui en contacte amb el piezòmetre. Habitualment, el material emprat és ciment o bentonita¹¹. Tal i com s'esmenta en el cas del prefiltrat, prèviament a la instal·lació cal calcular el volum necessari de material segellant, i anotar posteriorment les diferències respecte el volum real emprat.

En cas que el tram ranurat se situï a la zona saturada, es recomana instal·lar un segell de bentonita d'un gruix mínim de 50 cm. La introducció de bentonita sota el nivell freàtic pot provocar l'aparició de discontinuïtats al segell, principalment a causa de la ràpida hidratació del material, i pot deixar espais buits entremig. Per evitar aquest problema, sobretot en piezòmetres majors de 10 m, és aconsellable no realitzar la introducció per gravetat des de la capçalera del sondeig sinó emprar un tub ubicat a la profunditat de treball. Un cop instal·lada la bentonita, cal deixar que s'hidrati bo i d'acord a les recomanacions del fabricant. Per sobre el segell de bentonita, i un cop hidratada, es pot instal·lar un tap de ciment, fins a cota de terreny o aproximadament fins 50 cm per sobre. Si el nivell freàtic es troba a una profunditat superior als 2 m, entre el segell de bentonita i el tap de ciment es pot emprar material de separació, i reduir així les dificultats tècniques i econòmiques associades a la introducció del ciment a profunditat.

Si el segell s'ha d'ubicar a la zona no saturada, cal tenir en compte que la baixa humitat del medi pot alterar la correcta hidratació de la bentonita. En aquest cas, el material més idoni és el ciment, preferiblement sense additius de bentonita que puguin reduir l'estabilitat del segell. També es pot utilitzar bentonita en gra (en *pellets*) i, un cop hidratada amb addició externa d'aigua, instal·lar un tap de ciment que eviti l'evaporació a l'atmosfera.

¹⁰ Per exemple una capa de sorra inert.

¹¹ És recomanable emprar la bentonita més adequada a l'emplaçament en funció de la capacitat de bescanvi iònic del medi, la permeabilitat del medi i la presència de certs contaminants. En general, en sòls calcaris caldrà emprar bentonita càlcica (i no sòdica), que aportarà una menor capacitat de bescanvi iònic. D'altra banda, si se sospita la presència de sals de clor, àcids, alcohols, cetones o compostos polars, que poden alterar les propietats segellants de la bentonita, caldrà emprar un material alternatiu.

2.2.9. Acabats superficials: taps, arquetes i altres

Per tal de protegir el piezòmetre cal instal·lar una protecció a la superfície, ja sigui arran de terra o per sobre de la cota del terreny –sempre i quan el piezòmetre es trobi en una zona sense circulació de vehicles o limitacions d'ús-. La protecció més habitual és l'ús d'una arqueta, el tipus i material de la qual dependrà de la resistència que sigui necessària¹². L'arqueta s'ha d'instal·lar sobre un tap de ciment que limiti l'entrada d'aigua al piezòmetre i, alhora, en redueixi el risc de trencament. En emplaçaments ubicats en entorns freds i humits, on hi hagi risc de gelades que puguin alterar la porositat del sòl, el tram inferior del tap de ciment s'ha d'instal·lar per sota el tram superficial del sòl que sigui susceptible de congelació.

Pel que fa a l'arqueta, és aconsellable que inclogui un fermall o tancadura per evitar l'ús no autoritzat del piezòmetre, un forat per a la ventilació de potencials acumulacions de gasos explosius i un punt de drenatge per limitar l'acumulació d'aigua de pluja i/o llur congelació a l'interior de l'arqueta. Paral·lelament, a la capçalera del tub piezomètric es pot emprar un tap per evitar l'entrada de material o aigua acumulats a l'arqueta. En cas que els fermalls o taps siguin metàl·lics, caldrà evitar l'ús de lubricants i olis anti-corrosió, principalment el dia de mostreig, ja que poden causar contaminació de les mostres.

Finalment, en cas que la instal·lació del piezòmetre es faci en un sòl no pavimentat, on puguin créixer matolls i herbes, és recomanable senyalitzar-ne l'arqueta mitjançant l'ús de fites o tanques per tal de facilitar-ne la posterior localització (vegeu apartat 3).

2.2.10. Desenvolupament del piezòmetre

Un cop instal·lats, els piezòmetres han de ser desenvolupats abans de poder-ne fer ús. El *desenvolupament* del piezòmetre implica llur bombament amb l'objectiu de reduir les alteracions creades a la formació durant el sondeig, recuperar la qualitat pròpia de les aigües subterrànies de l'entorn, eliminar els fins resultants de les tasques de perforació, així com altres productes o materials que hagin estat introduïts al medi, estabilitzar el prefiltrat, i optimitzar la comunicació hidràulica entre el piezòmetre i el seu entorn a fi d'assegurar el bon funcionament com a punt de mostreig d'aigües subterrànies. Una bona instal·lació i un bon desenvolupament del piezòmetre ens permetrà obtenir mostres representatives de les aigües de l'entorn i, alhora, lliures de terbolesa¹³.

¹² Funció de l'ús del terreny i la circulació de vehicles principalment.

¹³ La terbolesa pot interferir en la posterior anàlisi de la mostra.

A l'inici del desenvolupament, l'aigua obtinguda sol arrossegar molts fins, motiu pel qual cal emprar bombes que pugui bombar aigües carregades¹⁴. En alguns casos, és possible que el desenvolupament realitzat mitjançant un bombament continu de l'aigua, generi l'acumulació de fins en alguns dels porus del prefiltre i/o de la formació, reduint localment la permeabilitat del medi. Per tal de minimitzar aquest potencial problema, és recomanable realitzar un bombament en discontinu, un bombament amb períodes intercalats d'injecció, o una injecció d'aire. Aquests dos darrers mètodes es centren en la modificació de la direcció del flux de l'aigua com a mètode d'eliminació de les partícules acumulades, però poden alterar la qualitat de les aigües, de manera que cal avaluar-ne l'ús per als piezòmetres de mostreig de la qualitat de les aigües. En la majoria de casos, de fet, el sobrebombament del pou sol ser un mètode adequat.

Un punt crític del desenvolupament és el temps necessari de bombament. En general, serà el temps necessari per assegurar l'eliminació de la terbolesa¹⁵. En formacions molt permeables, el període de sobrebombament serà llarg. En aquest cas, un bon indicador de l'assoliment d'un desenvolupament correcte vindrà indicat per l'estabilització de paràmetres de camp com ara el pH o la conductivitat.

2.3. Mostreig a diferents nivells

La informació que hem vist fins ara en aquesta guia fa referència a les característiques d'un piezòmetre d'un sol tub, habitualment amb un únic tram ranurat. A l'hora de dissenyar un piezòmetre per a mostreig d'aigües, però, ens pot interessar obtenir mostres a diferents profunditats o de diferents capes del subsòl. En aquest cas, podem optar per la instal·lació d'un piezòmetre multinivell, amb trams ranurats a diferents profunditats, o bé per la instal·lació de multipiezòmetres o *clústers* de piezòmetres, formats per la instal·lació de diferents tubs piezomètrics de distinta longitud i ubicats en una mateixa perforació o en perforacions veïnes (vegeu figura 2.5).

¹⁴ Aigua amb sòlids fins.

¹⁵ Cal comprovar-ho després d'un període de repòs de la bomba.

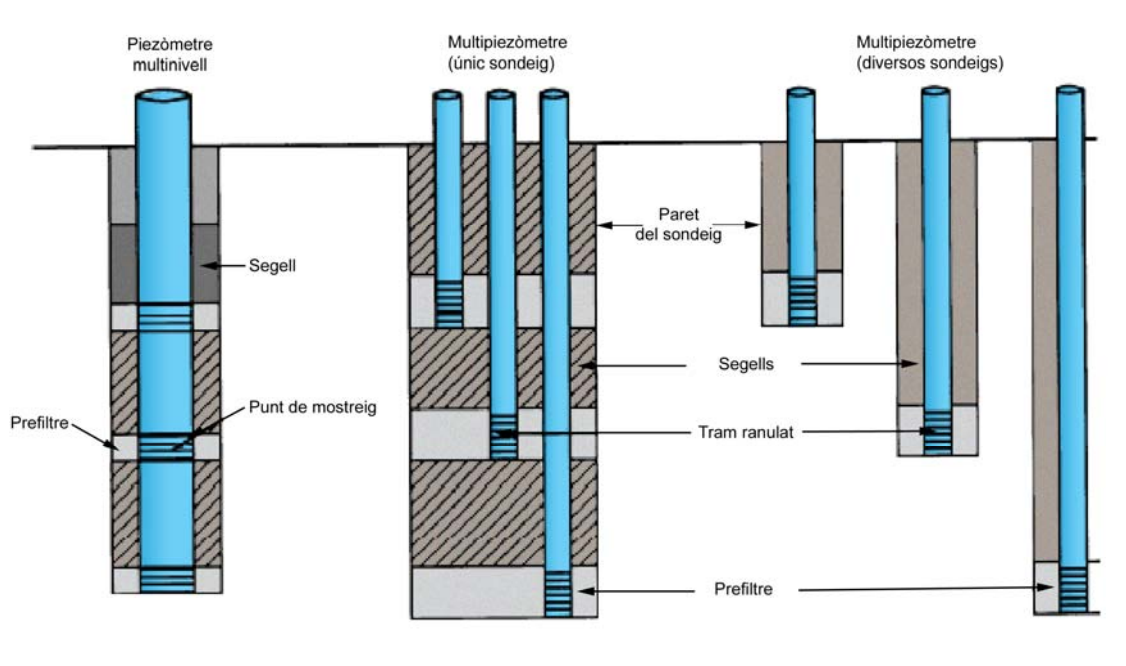


Figura 2.5. Tipus de piezòmetres per a mostreig a diferents nivells (esquema).
 Font: adaptat de la US-EPA, 1991.

En el cas de piezòmetres multinivell, cal assegurar el correcte aïllament entre els diferents trams ranurats, a fi d'evitar la mescla d'aigües a l'interior del piezòmetre. Es poden emprar segells -com ara bentonita- o bé obturadors de tipus inflable. En el cas de multipiezòmetres, d'altra banda, caldrà tenir en compte les característiques de disseny per a cadascun dels tubs.

2.4. Taula resum de característiques tècniques

La taula següent mostra el resum de característiques tècniques que hem presentat en aquesta guia per als piezòmetres de nova instal·lació destinats al mostreig d'aigües subterrànies. Per aquells paràmetres pels quals s'han descrit distintes alternatives, es detallen els estàndards aconsellats per l'Agència Catalana de l'Aigua.

concepte/paràmetre	tipus	Objectius	observacions
mètode de perforació	<ul style="list-style-type: none"> rotació amb extracció de testimoni continu i, sempre que sigui possible, en sec; 	<ul style="list-style-type: none"> bona identificació litològica; identificació precisa de la contaminació de la zona no saturada (ZNS); 	<ul style="list-style-type: none"> permet definir model hidrogeològic i certes tendències en la migració de la contaminació; permet explicar la contaminació a la zona saturada (ZS);
diàmetre perforació – exterior tub piezomètric	<ul style="list-style-type: none"> 101 - 63 mm; 	<ul style="list-style-type: none"> definició piezometria, mesures <i>in situ</i> i caracterització de la contaminació; 	<ul style="list-style-type: none"> el tub de Ø 63 mm permet l'ús de material comú de mesura, mostreig i purga, com ara lectors de nivell, mostrejadors tipus <i>bailers</i> , i bombes submergibles;
	<ul style="list-style-type: none"> ≥143,5 - ≥ 110; 	<ul style="list-style-type: none"> caracterització hidrogeològica (assaigs de bombeig i de traçadors); 	<ul style="list-style-type: none"> si no cal assaig de bombeig les perforacions de més de 101 mm suposen més lentitud en l'execució dels sondeigs i, per tant, l'encariment del preu de la campanya;
material tub piezomètric	<ul style="list-style-type: none"> PVC; 	<ul style="list-style-type: none"> caracterització i monitoreig d'hidrocarburs, metalls i altres contaminants (excepte compostos organoclorats); 	<ul style="list-style-type: none"> les característiques del filtre, juntes i acabats es faran bo i d'acord a les especificacions esmentades en aquesta guia (apartats 2.2.4-2.2.9);
	<ul style="list-style-type: none"> acer inoxidable; 	<ul style="list-style-type: none"> caracterització i monitoreig d'organoclorats; 	<ul style="list-style-type: none"> les característiques del filtre, juntes i acabats es faran bo i d'acord a les especificacions esmentades en aquesta guia alternativament també pot usar-se polietilè d'alta densitat (PEAD);
tap de fons	<ul style="list-style-type: none"> tap de fons amb rosca, del mateix material que el tub piezomètric; 	<ul style="list-style-type: none"> evitar l'entrada de sediments i fins del medi; 	<ul style="list-style-type: none"> en cap cas pot establir-se bentonita com a tap de fons sense que existeixi el tap de plàstic;
prefiltres	<ul style="list-style-type: none"> situar-lo entre 0,5 m i 1 m per sobre del tram ranurat; 	<ul style="list-style-type: none"> evitar l'entrada de fins per assentament del prefiltre per sota del tram ranurat; 	<ul style="list-style-type: none"> cal calcular el volum necessari de material prefiltre abans de la instal·lació i anotar posteriorment el volum i cota reals per avaluar les potencials diferències.
segells	<ul style="list-style-type: none"> gruix mínim de 50 cm; 	<ul style="list-style-type: none"> aïllar diferents trams productius dins d'un mateix sondeig; 	<ul style="list-style-type: none"> permeabilitat com a mínim 1 o 2 ordres de magnitud inferior a la menor permeabilitat de la

concepte/paràmetre	tipus	Objectius	observacions
		<ul style="list-style-type: none"> generar un segell sanitari per sobre del filtre que eviti l'entrada de líquids des de la superfície; 	<ul style="list-style-type: none"> formació geològica que estigui en contacte amb el piezòmetre; calcular el volum necessari de material abans de la instal·lació i anotar posteriorment el volum i cota reals;
tapa superficial	<ul style="list-style-type: none"> arqueta prefabricada o d'obra; 	<ul style="list-style-type: none"> protegir el piezòmetre; evitar l'entrada d'aigua no subterrània –o l'abocament de productes– a l'interior del piezòmetre; evitar l'ús no autoritzat del punt de mostreig; 	<ul style="list-style-type: none"> la ubicació i material de l'arqueta es determina en funció de les característiques de l'entorn; cal instal·lar-la sobre un tap de ciment; ha de disposar d'un sistema de tancament que n'eviti l'obertura no autoritzada;

Taula 2.4. Taula resum de característiques tècniques dels piezòmetres de nova instal·lació. Criteris estàndard de l'ACA.

3. CONSIDERACIONS D'INSTAL·LACIÓ I MANTENIMENT

En el moment de dur a terme la instal·lació del piezòmetre, i un cop avaluat llur disseny, cal tenir en compte diversos aspectes i consideracions, tant de les tasques de perforació, com de les d'instal·lació i acabat. Aquestes consideracions ens permetran obtenir un piezòmetre útil, i alhora afavorir-ne el manteniment i la utilitat a llarg termini. Amb l'objectiu aleshores de garantir aquesta utilitat com a punt de mostreig d'aigües subterrànies dins el marc de gestió dels episodis de contaminació d'aigües subterrànies per fonts d'origen puntual, l'Agència Catalana de l'Aigua estableix els següents criteris d'instal·lació i manteniment:

1. considerar, per a l'elecció de l'emplaçament on s'instal·li el piezòmetre, els aspectes de planejament urbanístic, evolució temporal d'obres, zones de circulació de maquinària, zones de lliure accés -terrenys públics- i facilitat en la logística¹⁶, amb l'objectiu d'assegurar l'accés i operativitat del piezòmetre durant tot el període de monitoreig previst.
2. disposar d'un hidrogeòleg a peu d'obra que:
 - testifiqui la columna litològica i en faci llur interpretació hidrogeològica;
 - defineixi la posició del tram ranurat així com les característiques constructives del piezòmetre;
 - recopili les incidències de la perforació i interpreti llur incidència sobre la correcta execució del piezòmetre;
 - realitzi els registres dels paràmetres considerats (conductivitat elèctrica, pH, temperatura, variacions piezomètriques, identificació de contaminacions, detecció de canvis de conductivitat hidràulica);
3. instal·lar els piezòmetres per tal que mostregin un únic nivell aquífer, ja que la connexió hidràulica entre dos o més nivells aquífers comporta l'obtenció de dades piezomètriques i de qualitat no representatives. Amb aquest objectiu, cal aïllar els diferents nivells aquífers que s'hagin connectat amb la perforació, essent la metodologia més emprada l'especificada a l'apartat 2.8.8.
4. definir la posició i longitud del tram ranurat cas per cas, en funció de la litologia i l'objectiu del monitoreig;

¹⁶ Evitant preferiblement dependre de tercers per a poder dur a terme el mostreig. Així, per exemple, en zones d'aparcament els vehicles estacionats impossibiliten l'accés als piezòmetres, de manera que es requereix un dispositiu previ que sovint comporta la col·locació de tanques per part de la policia i/o l'empresa amb dies d'antelació.

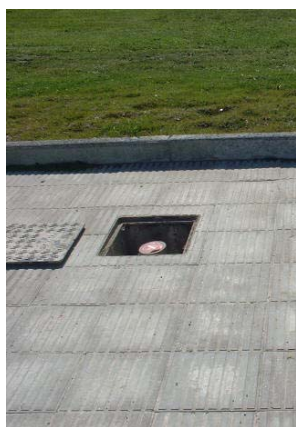
5. reduir i controlar l'ús d'olis, combustibles i/o altres productes similars per als equips de sondeig durant les tasques de perforació que puguin originar contaminació a les aigües subterrànies;
6. en cas que calgui entubar el sondeig per mantenir estables les parets durant la perforació, evitar sempre la utilització de fluids que puguin alterar la qualitat de les aigües subterrànies, com ara aigües residuals, aigües estancades o altres de similars;
7. controlar l'ús de fangs de perforació –en cas que se n'utilitzin- de manera que no produeixin filtracions o abocaments al medi, habilitant un dipòsit o una bassa de fangs impermeabilitzat que permeti llur correcta gestió. En particular, si s'utilitzen additius o productes químics, la gestió s'haurà de fer d'acord amb la pertinent aprovació de l'Agència de Residus de Catalunya (ARC). Resta prohibit abandonar a la llera o a la zona de policia el material resultant de la perforació així com el material utilitzat durant la realització dels treballs¹⁷;
8. realitzar l'anivellament topogràfic dels piezòmetres amb l'objectiu de mesurar nivells piezomètrics. L'anivellament s'ha de referir al nivell del mar. Es recomana anivellar la part superior del tub piezomètric, atès que aquest punt té més probabilitat de romandre estable en cas de trencament de l'arqueta de protecció;
9. senyalitzar els piezòmetres instal·lats per facilitar llur localització al territori. En funció de la vida útil del punt, les característiques de la fita o senyal poden variar. Així es poden utilitzar daus de formigó (fotografia 3.1) o arquetes a nivell de terra. En zones d'obres, o en terrenys amb coberta vegetal, es poden delimitar els piezòmetres amb tanques per a indicar-ne la ubicació.

¹⁷ Els aquífers del Delta del Llobregat, la Vall Baixa i les Cubetes de Sant Andreu i d'Abrera són aquífers protegits i, per tant, es consideren en tota la seva extensió zona de policia.



Fotografia 3.1. piezòmetre sobre un cilindre de formigó amb caixa protectora i part superior de l'anular cimentada.

10. seleccionar la tapa i/o altre mecanisme de tancament del piezòmetre¹⁸ en funció de l'ús, de l'emplaçament, de la vida útil del punt de control i d'altres condicionants (pas de vehicles pel damunt, etc). En zones urbanes la tapa no ha de sobresortir del terreny per evitar possibles accidents de transeünts (fotografia 3.2).



Fotografia 3.2. Piezòmetre condicionat en zona urbana mitjançant una arqueta.

¹⁸ Vegeu apartat 2.2.9.

4. DOCUMENTACIÓ I REGISTRE

Per a cada piezòmetre de nova instal·lació caldrà detallar una fitxa de control que inclogui les principals dades del punt que es citen a continuació:

- la denominació assignada al punt;
- el titular/explotador del punt de control;
- les coordenades UTM de l'emplaçament així com la cota absoluta del brocal. Caldrà adjuntar, així mateix, un plànol de situació¹⁹;
- la data d'instal·lació;
- el mètode de perforació emprat i les incidències ocorregudes durant el desenvolupament de les tasques;
- la columna litològica detallada, amb fotos de les caixes amb els testimonis;
- les característiques constructives del piezòmetre:
 - diàmetres de perforació i de tub piezomètric;
 - la profunditat de la perforació i la longitud total del piezòmetre;
 - els materials del tub piezomètric;
 - la longitud, situació i tipus de tram ranurat
 - el tipus i ubicació del prefiltrre;
 - el tipus d'acabat superficial del piezòmetre;
- el desenvolupament i/o neteja realitzats;
- el metratge i/o assaigs de qualitat desenvolupats;

Aquesta informació es facilitarà a l'Agència Catalana de l'Aigua en el moment que es dugui a terme la comunicació de l'episodi a la mateixa Agència en qualsevol de les etapes de gestió (caracterització, restauració, o seguiment). A continuació s'inclou una fitxa descriptiva tipus.

¹⁹ Les coordenades UTM han d'estar validades com a mínim en un mapa topogràfic 1:5000

FITXA DESCRIPTIVA DE PIEZÒMETRE

Denominació del piezòmetre:	Títular/explotador:
Coordenades UTM:	Cota topogràfica ²⁰ :

PERFORACIÓ:

Data:	Mètode de perforació emprat:
Descripció columna litològica:	Incidències durant la perforació:

CARACTERÍSTIQUES CONSTRUCTIVES:

Diàmetre de perforació:	Diàmetre de tub piezomètric:
Profunditat perforació:	Profunditat tub piezomètric: Longitud total del piezòmetre:
Material del tub piezomètric:	Longitud(s) del(s) tram(s) ranurat(s):
Tipus de tram ranurat:	Ubicació del(s) tram(s) ranurat(s) ²¹ :
Tipus de prefiltrre:	Ubicació del(s) prefiltrre(s) ²² :
Tipus de segell:	Ubicació del(s) segell(s) ²³ :
Descripció arqueta/tapa:	Ubicació arqueta:
Esquema piezòmetre:	

DESENVOLUPAMENT I ASSAIGS

Característiques del desenvolupament:	Assaigs realitzats:
	Paràmetres hidràulics:

²⁰ Detallar el punt d'anivellament.

²¹ Profunditat i/o cota.

²² Profunditat i/o cota.

²³ Profunditat i/o cota.

5. REFERÈNCIES

1. Agència Catalana de l'Aigua. Protocol de mostreig d'aigües subterrànies. Guia pràctica. 2005.
2. Aller, L., T.W. Bennett, G. Hackett, R.J. Petty, J.H. Lehr, H. Sedoris, D.M. Nielsen, i J.E. Denne. *Handbook of suggested practices for the design and installation of ground-water monitoring wells*. EPA/EMSL-Las Vegas, USEPA Cooperative Agreement CR-812350-01, EPA/600/4-89/034, NTIS #PB90-159807. 1989.
3. California-EPA. *Monitoring well design and construction for hydrogeologic characterization. Guidance manual for groundwater investigations*. 1995.
4. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Comunidad de Madrid. *Guía de investigación de la calidad del suelo*. 2004.
5. Custodio et al. *Hidrología subterránea*. 1983.
6. Nielsen, D.M. i Nielsen, G.L. *The essential handbook of ground-water sampling*. CRC Press. 2007.
7. Kraemer, C.A., Shucutz, J.A., i Ashley J.W. *Practical Handbook of Environmental site characterization and groundwater monitoring*. Capítol 12, Monitoring well post-installation considerations. CRC Press. 2006.
8. US-EPA. *Seminar Publication. Site characterization for subsurface remediation*. 1991.

6. GLOSSARI

- **bentonita:** argila de gra molt fi emprada com a material segellant per llur baixa permeabilitat.
- **caracterització:** conjunt d'actuacions destinades a conèixer l'abast de l'episodi de contaminació de les aigües subterrànies i, especialment, la tipologia del focus de la contaminació, els medis afectats, les dimensions i comportament del plomall, i l'existència de receptors.
- **clúster de piezòmetres:** conjunt de tubs piezomètrics en una mateixa perforació o en perforacions veïnes. Multipiezòmetre.
- **desenvolupament del piezòmetre:** procés de bombament del piezòmetre posterior a llur instal·lació i que té per objectiu reduir les alteracions creades a la formació durant el sondeig, recuperar la qualitat pròpia de les aigües subterrànies de l'entorn, eliminar els fins resultants de les tasques de perforació, així com altres productes o materials que hagin estat introduïts al medi, estabilitzar el prefiltrat, i optimitzar la comunicació hidràulica entre el piezòmetre i el seu entorn.
- **DNAPL:** de l'anglès, *Dense Non-Aqueous Phase Liquid*. Fase lliure més densa que l'aigua.
- **LNAPL:** de l'anglès, *Light Non-Aqueous Phase Liquid*. Fase lliure sobrenedant, menys densa que l'aigua.
- **monitoreig:** mostreig continuat al llarg d'un temps i/o espai a fi de seguir l'evolució d'un o més paràmetres del medi.
- **mostreig:** procés d'obtenció d'una mostra.
- **multipiezòmetre:** instal·lació de diferents tubs piezomètrics de distinta longitud i ubicats en una mateixa perforació o en perforacions veïnes. També es denomina *clúster* de piezòmetres.
- **piezòmetre:** perforació entubada, de diàmetre inferior a 200 mm, generalment emprada per a la mesura i mostreig de les aigües subterrànies.

- **piezòmetre multinivell:** piezòmetre que conté trams ranurats a diferents profunditats, habitualment aïllats entre ells, a fi d'obtenir mostres d'aigua representatives de distintes profunditats.
- **pou:** excavació, perforació del subsòl, entubada o d'obra, de diàmetre superior als 200 mm, i emprada generalment per l'explotació de les aigües subterrànies.
- **prefiltre:** tram de l'espai anular reomplert de material permeable i homogeni que permet la circulació de l'aigua cap al piezòmetre alhora que en redueix l'entrada de fins de l'entorn.
- **punt de mostreig:** qualsevol tipus de punt d'accés al medi subterrani, sigui pou o piezòmetre, a través del qual podem realitzar lectures del nivell piezomètric així com obtenir mostres representatives de les aigües subterrànies.
- **purga:** procediment de buidatge del piezòmetre abans de llur mostreig²⁴. Habitualment es realitza mitjançant el buidatge 3 vegades del volum d'aigua contingut al piezòmetre i/o fins a l'estabilització dels paràmetres de camp mesurats (pH, conductivitat i/o potencial redox). Es pot realitzar mitjançant bombes submergibles.
- **restauració:** actuacions de recuperació de la qualitat de les aigües destinades a (a) garantir l'ús de l'aigua subterrània, (b) evitar l'afectació d'altres masses d'aigua i/o la pèrdua de qualitat aigües avall del plomall, i (c) assolir el bon estat qualitatiu de la massa d'aigua.
- **segell:** tram de material impermeable destinat a aïllar diferents trams productius d'un mateix piezòmetre i/o a evitar l'entrada d'aigua o d'altres productes líquids des de la superfície del terreny a l'interior del piezòmetre.
- **seguiment:** etapa de monitoreig que, un cop efectuada la caracterització efectiva i/o la restauració del medi, ha de permetre conèixer l'evolució de la contaminació romanent a les aigües subterrànies.
- **tram ranurat:** tram del piezòmetre on es permet l'entrada d'aigua del medi a l'interior del tub. Amb aquest objectiu, el tram ranurat correspon al tub piezomètric que presenta ranures o solcs preferentment distribuïts de forma regular.
- **tram cec:** tram del piezòmetre on vol evitar-se l'entrada d'aigua del medi a l'interior del tub i que, per tant, no presenta ranures.

²⁴ Vegeu Agència Catalana de l'Aigua, 2005.

