



Geologia, geotècnia i serveis
científico-tècnics

SONDATGES A RESSONÀNCIA MAGNÈTICA PER AL PROJECTE D'UNA ZONA ESPORTIVA A LA COMELLA, ANDORRA LA VELLA

UN EXEMPLE D'APLICACIÓ AL PIRINEU

Direcció: **Valentí TURU i MICHELS**
Av. Príncep Benlloch 66-72
Edifici Interceus, despatx 308
Telèfon i fax: 321815 - 820323
E-mail: igeotest@myp.ad
<http://www.igeotest.ad>
Expedient: **A-050-ACA-005.02.08**

ÍNDIX

- 1 INTRODUCCIÓ**
- 2 SITUACIÓ GEOGRÀFICA**
- 3 SITUACIÓ GEOLÒGICA**
 - 3.1 Substrat rocós**
 - 3.2 Formació superficial**
- 4 MODEL GEOLÒGIC DEL SUBSÒL I TIPOLOGIA D'AQUÍFERS**
 - 4.1 Model geològic del subsòl**
 - 4.1.1 Sector de la zona esportiva de La Comella**
 - 4.1.2 Sector de la zona de berenada de La Comella**
 - 4.2 Tipologia d'aquífers del subsòl**
- 5 ADQUISICIÓ DE DADES MRS**
 - 5.1 Mesures prèvies**
 - 5.1.1 El soroll electromagnètic**
 - 5.1.2 Variació del camp magnètic terrestre**
 - 5.1.3 Susceptibilitat magnètica dels materials de la parcel·la**
 - 5.2 Execució del sondatge MRS 1 al Pou de la Comella**
 - 5.3 Execució del sondatge MRS 2, zona de berenada la Comella**
- 6 QUALITAT I INTERPRETACIÓ DEL SENYAL MRS**
 - 6.1 Qualitat de la senyal MRS**
 - 6.1.1 Senyal MRS sense processar**
 - 6.1.1.1 Assaig MRS 1 al Pou de la Comella**
 - 6.1.1.2 Assaig MRS 2 al Pou de la Comella**

6.1.2 Processament del senyal MRS

6.1.2.1 Assaig MRS 1 al Pou de la Comella

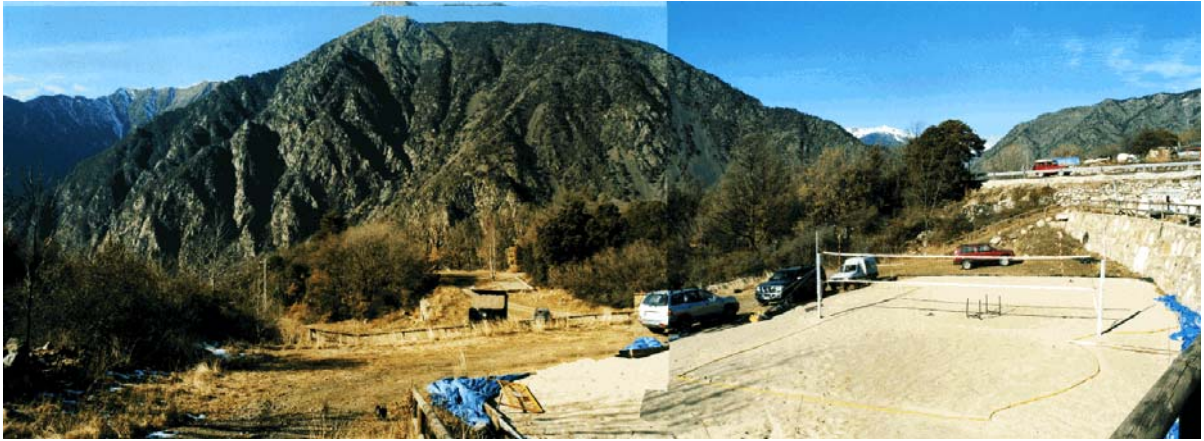
6.1.2.2 Assaig MRS 2 al sector de berenada de La Comella

6.2 Interpretació

6.2.1 Interpretació de l'assaig MRS 1 al Pou de la Comella

6.2.2 Interpretació de l'assaig MRS 2 sector berenada La Comella

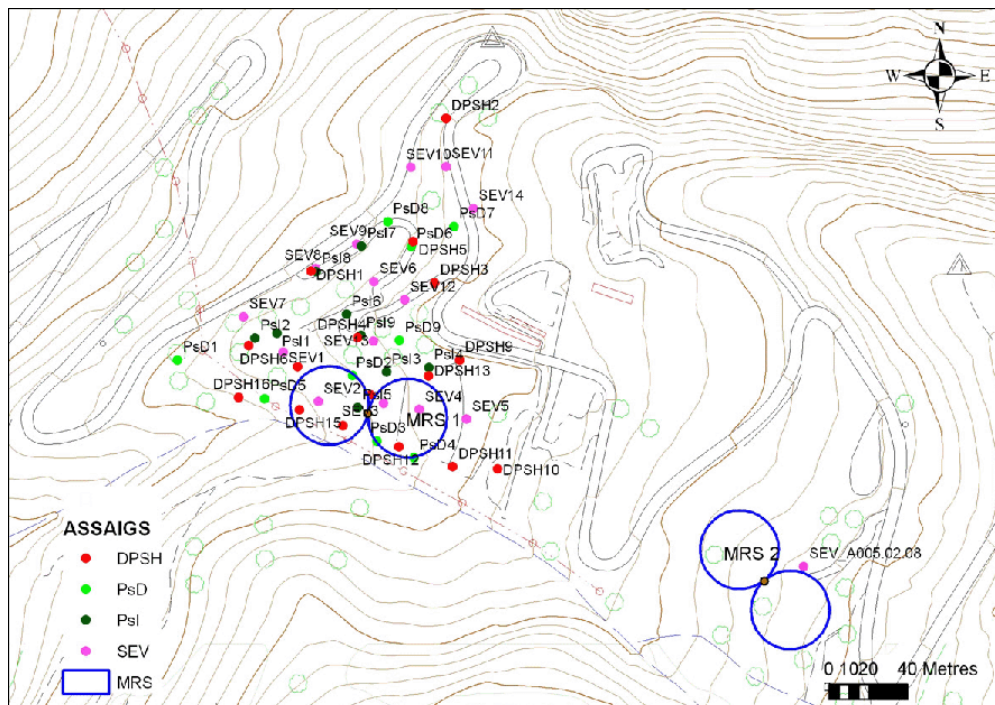
7 RESUM I CONCLUSIONS



Vista panoràmica del sector del pou de La Comella

En total s'han efectuat dos assaigs de ressonància magnètica al sector de La Comella. Tant en el sector del pou de La Comella com en el de la zona de berenada s'han efectuar sondatges elèctrics verticals per al reconeixement de la resistivitat del subsòl, ja que és imprescindible per a la correcta interpretació dels assaigs MRS.

Indret	X	Y	Z
Pou (MRS 1)	533469,6	22617,6	1265,5 m
Berenada (MRS 2)	533672,0	22531,8	1314,3 m
Unitats	Lambert III	Lambert III	Sobre el nivell del mar



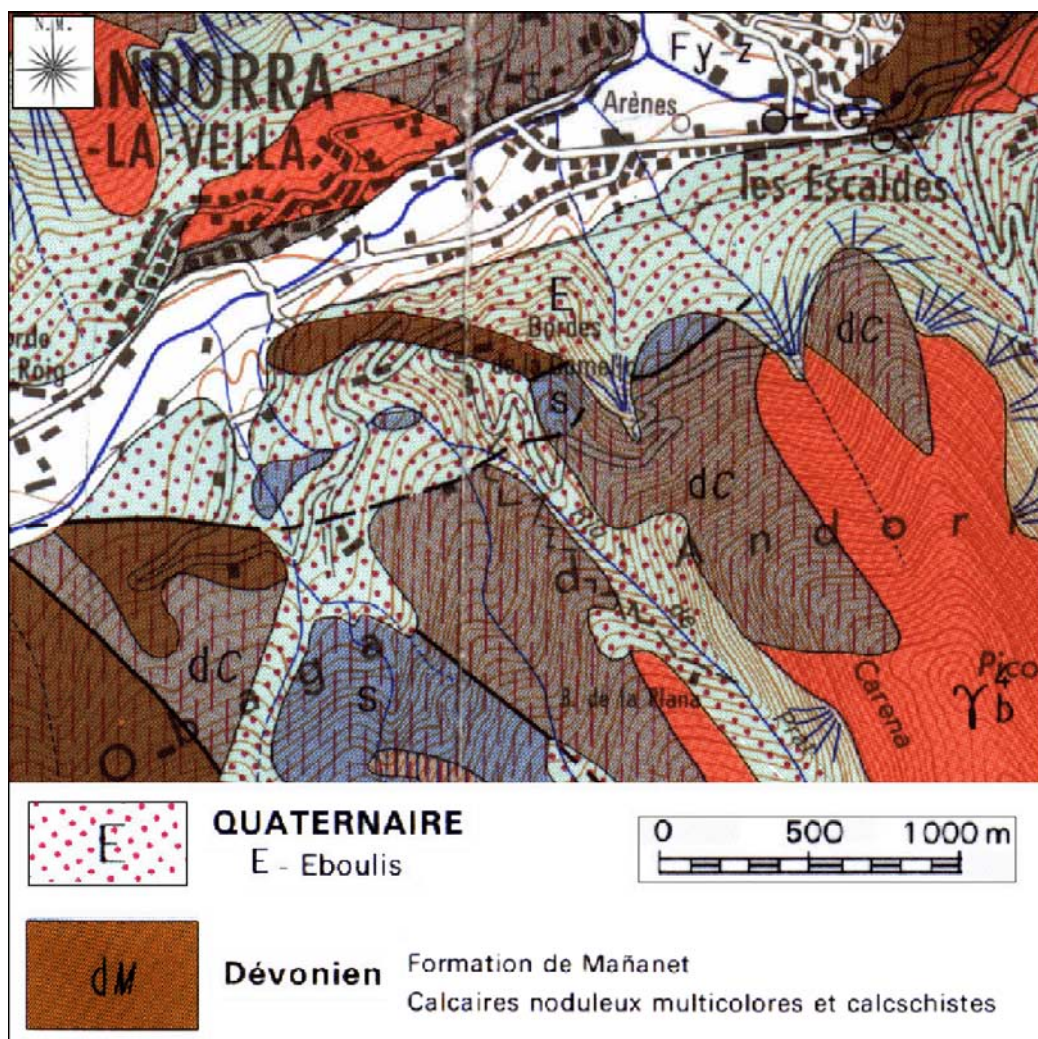
Mapa de situació de les prospeccions i de les antenes MRS

El nivell del soroll EM (electromagnètic) era excessiu per efectuar una configuració de l'antena destinat a assolir una important profunditat, per la qual cosa va ser necessari reduir la dimensió de la mateixa amb l'objectiu de reduir al màxim l'efecte d'aquest soroll EM. En aquest sentit els dos sondatges s'han efectuat amb una forma de 8 que anul·la part del soroll electromagnètic, les característiques de les antenes foren les següents:

Indret	Forma	Diàmetre	Voltes	Perímetre	Inductància suplementària	Orientació
Pou	8	40 m	1	240 ml	0 mH	E-W
Berenada	8	40 m	1	240 ml	0 mH	NW-SE

2 SITUACIÓ GEOLÒGICA

Des del punt de vista geològic, el terreny estudiat es compon d'una formació superficial de potència important, que es diposita sobre un substrat rocós format per esquists i calcàries del Devonian, tal com es pot veure en el següent mapa geològic (BESSON, 1990).

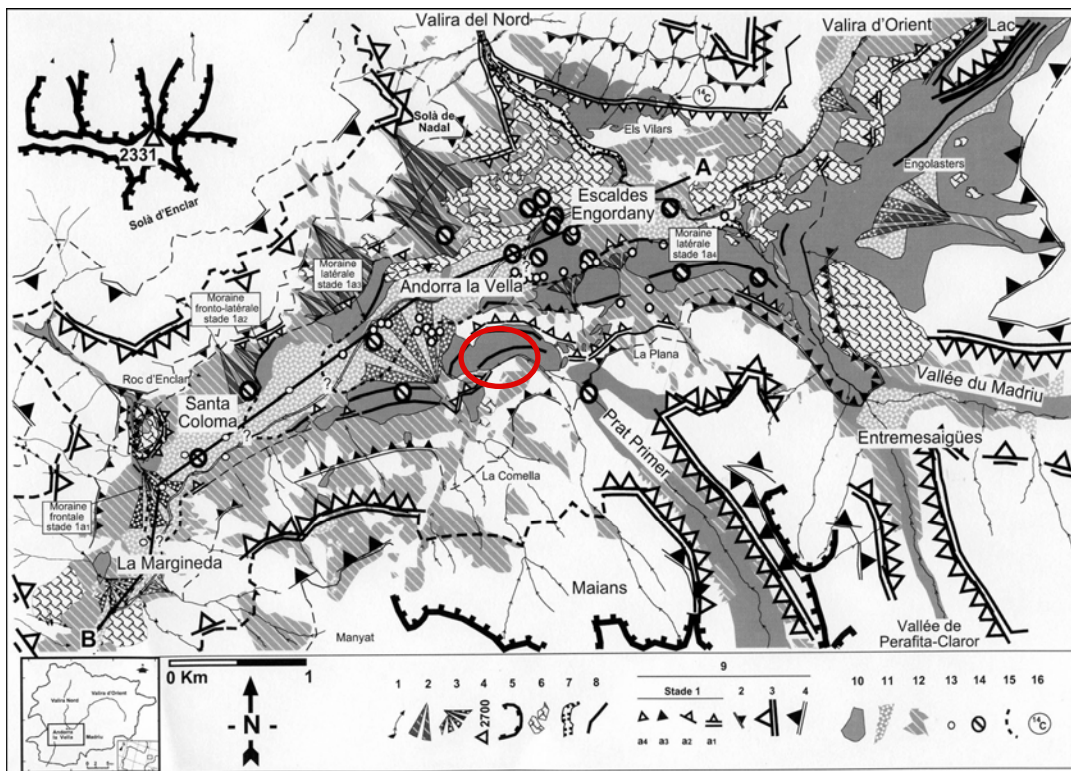


3.1 Substrat rocós

Al sector d'estudi de la zona esportiva de La Comella la tipologia de substrat rocós correspon a esquists i calcàries de la Formació Manyanet del Devonianà. Aquesta formació és una seqüència de calcàries noduloses versicolors dins la qual s'intercalen freqüentment esquists carbonatats (BESSON, 1990). Al sector d'estudi de la zona de berenada de La Comella la tipologia de substrat rocós correspon a pissarres carburoses del Silurià. Ambdós substrats no afloren en superfície dins de les zones d'estudi tot i què es situen a banda i banda de les mateixes (extrem sud i extrem nord).

3.2 Formació superficial

La formació superficial està representada per materials de diferent granulometria, formats per sediments d'origen glacial, al·luvial i d'origen antròpic. Al present mapa de context geomorfològic (TURU *et al.* 2007) es veu com en el sector de la Comella s'emplaça un till indiferenciat amb morfologies preservades de cordó morrènic, i que queda delimitat per un escarpament al nord i pel curs fluvial del torrent de la Comella.



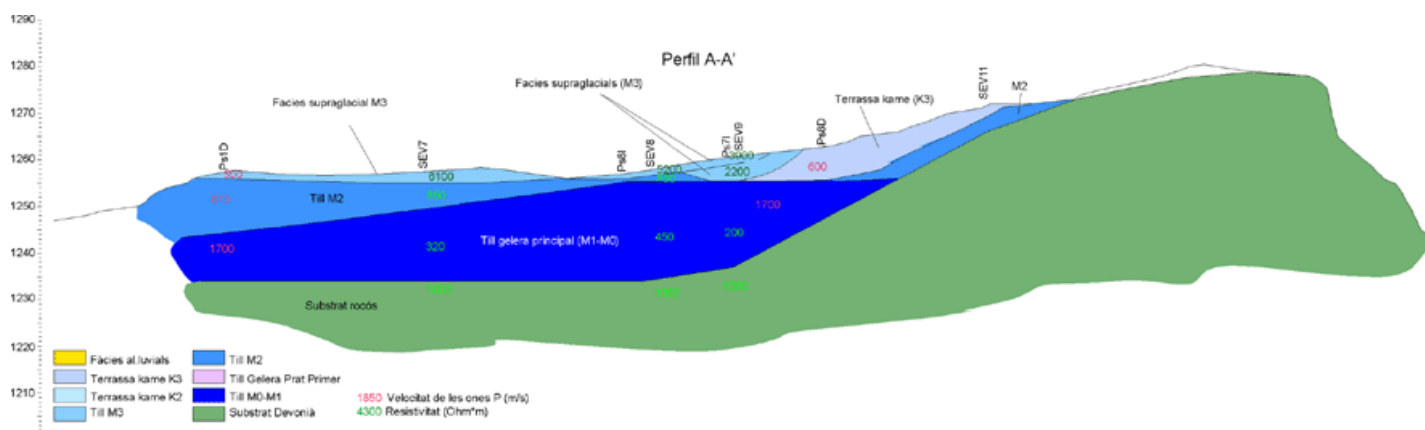
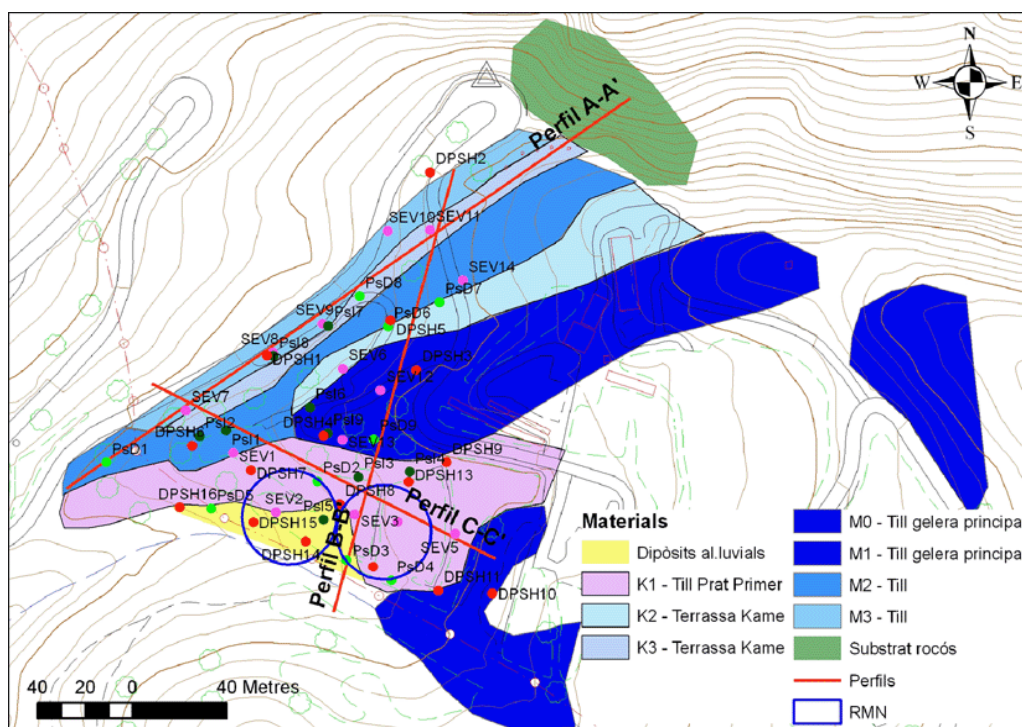
- | | | | | | |
|----|--|----|----------------|----|-------------------------|
| 1 | Xarxa fluvial | 2 | Con al·luvial | 3 | Con de dejecció |
| 4 | Pic | 5 | Circ glacial | 6 | Roques moltonades |
| 7 | Gorja sub-glacial | 8 | Cordó morrènic | | |
| 9 | Escarpaments glacials corresponents amb els estadis glacials detectats al subsòl d'Andorra | | | | |
| 10 | Till no diferenciat | 11 | Al·luvial | 12 | Col·luvial |
| 13 | Localització dels sondatges realitzats estudis | | 14 | | Localització dels punts |
| 15 | Probable situació dels fronts glacials a l'estadi glacial 1 | | | | |
| 16 | Datació AMS dels materials dipositats a l'estadi glacial 2 | | | | |

4 MODEL GEOLÒGIC DEL SUBSÒL I TIPOLOGIA D'AQUÍFERS

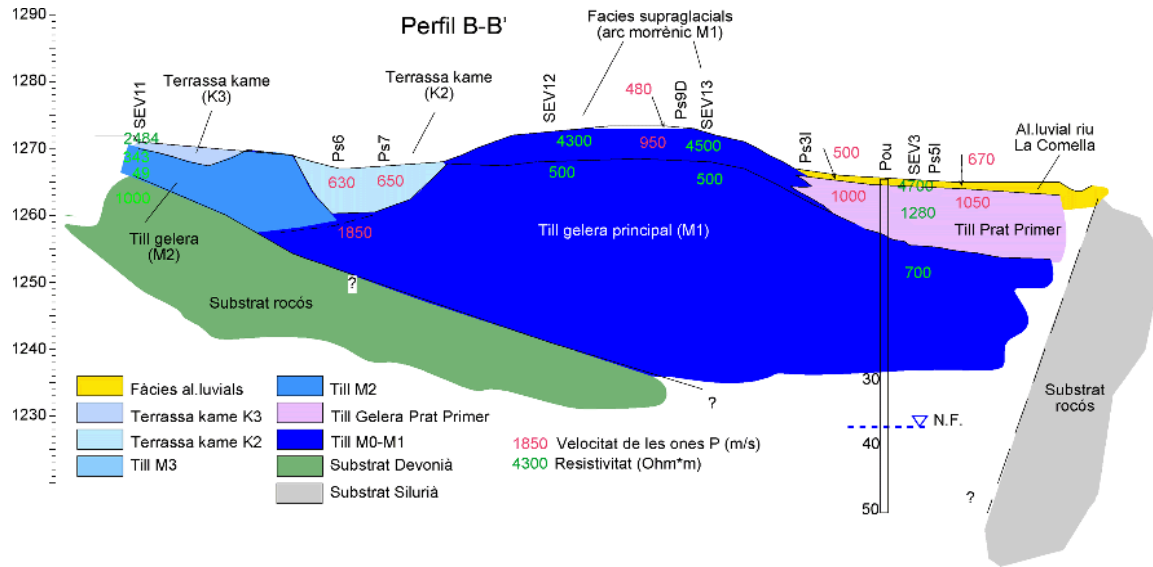
4.1 Model geològic del subsòl

4.1.1 Sector de la zona esportiva de La Comella

El model geològic del subsòl s'ha establert a partir de les prospeccions geofísiques i geomecàniques i de la cartografia de camp realitzades a la parcel·la, la síntesi del qual queda resumit en l'expedient d'Igeotest G-040-ACA-016.06.07. Els perfils interpretatius corresponen a l'esmentat expedient i per observar la morfologia dels contactes.



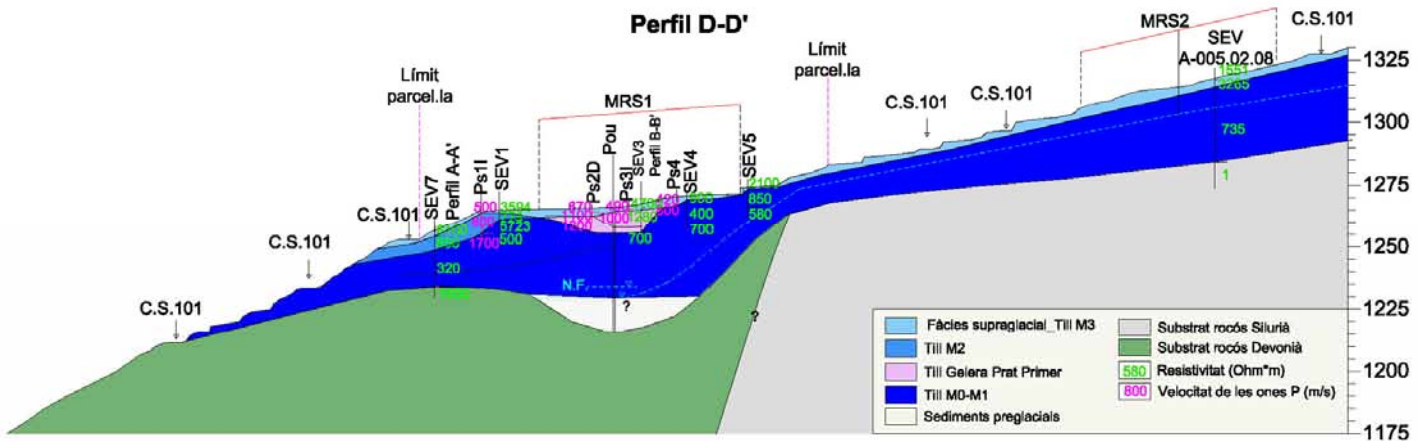
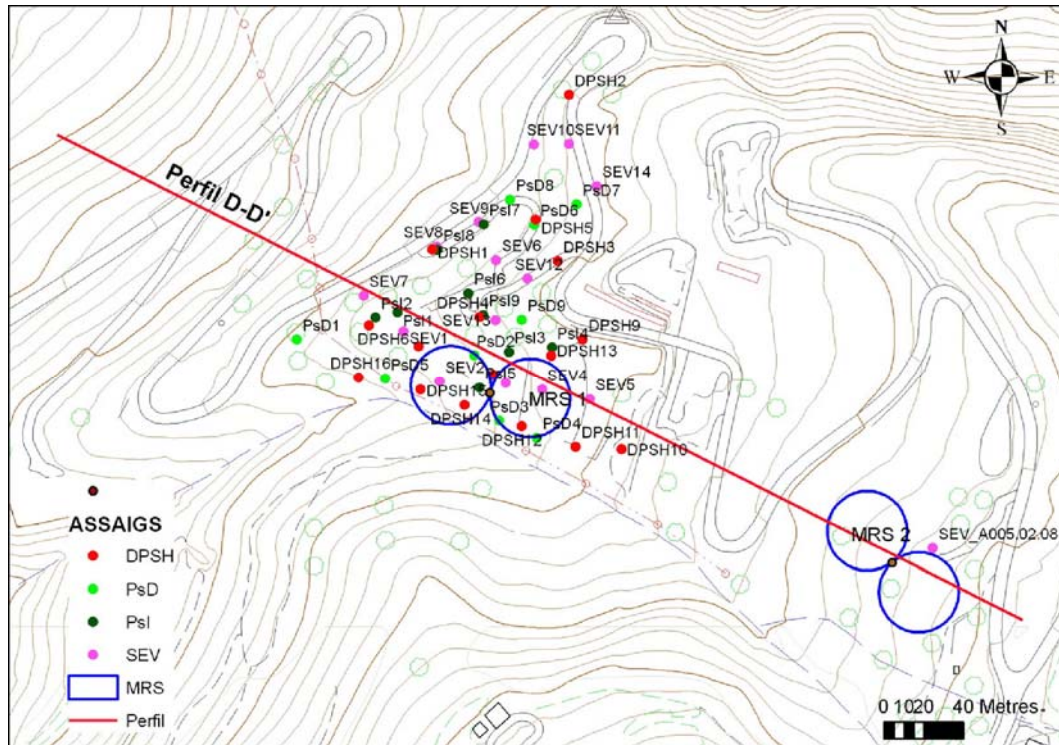
El perfil A-A' s'ha realitzat en direcció SW-NE. Es pot observar el contacte entre els diferents dipòsits de gelera i el substrat rocós. En aquest perfil es troba que el substrat rocós es troba aflorant al sector nord-est mentre que al sector sud-oest es troba a una fondària d'uns 23 metres.



El perfil B-B' s'ha realitzat en direcció SW-NE i és el perfil que millor s'observa la geometria del substrat rocós i els sediments mobles. Es pot observar el contacte entre els diferents tills amb el substrat rocós i com els dipòsits de la gelera principal M1 presenta una potència considerable. Cal destacar que per sota del al.luvial de La Comella s'ha detectat el till de la gelera de Prat Primer.

4.1.2 Sector de la zona de berenada de La Comella

Les dades del sector de la zona esportiva de La Comella s'han relacionat amb el sondatge elèctric vertical efectuat en un únic tall longitudinal:



En aquesta secció longitudinal s'observa que al sector de la zona de berenada de La Comella existeix un gruix considerable de formació superficial. Aigües amunt d'aquest sector és conegut que el riu de Prat Primer s'infiltra, existint de forma molt ocasional escolament superficial per aquest riu. La formació superficial es recolza sobre un substrat rocós elèctricament conductor (pissarres del Silurià).

4.2 Tipologia d'aqüífers del subsòl

En funció de les dades del subsòl hom interpreta que existeix un únic aqüífer en el subsòl, contingut en els materials de la formació superficial i limitat pel substrat rocós que actua com a vorera impermeable. Hom suposa que l'aqüífer és lliure i la posició del nivell freàtic (zona esportiva de la Comella) es situa sobre els 38 m de profunditat segons les dades del pou existent.

Així doncs els models a tenir en compte per generar la matriu de dades que permetrà la inversió dels sondatges MRS són:

matrix.mrm	MRS 1		MRS 2	
Material	ρ_0	z	ρ_0	z
Supraglacial	2000	2	2000	3,5
Till	800	11	600	15
Kame	650	40	-	-
Silurià	-	-	15	40
Unitats	Ωm	m	Ωm	m

5 ADQUISICIÓ DE DADES MRS

El procediment per a l'adquisició de dades en efectuar un sondatge a ressonància magnètica està àmpliament explicat als annexos de documentació (<http://www.igeotest.ad>) que acompanya el present expedient. En concret es pot dividir en dues fases, una de mesures prèvies per determinar la millor configuració per la prospecció, i una segona de mesures reals on s'efectua el procés de registre de les dades.

5.1 Mesures prèvies

Les mesures prèvies van destinades a millorar l'efectivitat de la presa de dades en el moment de l'execució del sondatges MRS. Bàsicament es prenen dades del camp magnètic local, dades de la susceptibilitat magnètica del terreny i dades del soroll electromagnètic (EM) de l'indret. Amb aquestes dades i les de la prospecció definirem la configuració de l'antena (cercle, quadrada, rectangular, doble zero, vuit quadrat, ...), l'orientació preferent o possible (pel cas d'antenes no simètriques, rectangle, doble zero, vuit quadrat), les dimensions, la profunditat de prospecció i la tipologia de tractament de la senyal a realitzar.

En aquest sentit cal fer esment que el lloc de La Comella presentava una important variació del camp magnètic terrestre així com un important soroll EM. Per aquest motiu es va decidir efectuar configuracions en 8 tant en el sector de la zona esportiva de la Comella com en el sector de la zona de Berenada.

5.1.1 El soroll electromagnètic

A continuació es poden observar els paràmetres que s'han mesurat prèviament al sondatge MRS:

Soroll EM	
6X6 m X 20 voltes	Forma
20	Quadrada
13	Quadrada
8	Quadrada
13	Quadrada
14	Quadrada
9	Quadrada
20	Quadrada
18	Quadrada
13	Quadrada
9	Quadrada
μV	Quadrada
Promig	Desviació
13,7 μV	$\pm 4,42 \mu V$

Cal fer esment que en la zona esportiva de La Comella existeix un generador elèctric i una línia de 380V soterrada. A prop s'està duent a terme la construcció de la casa de Colònies de la Comella amb la presència d'una grua elèctrica. També hi ha l'existència d'una línia elèctrica aèria d'alta tensió i una de mitja tensió a menys de 20 metres. Finalment fer esment que a uns 300 m existeix un repetidor de telefonia i televisió. Per aquest motiu les mesures de soroll electromagnètic són molt importants i la següent taula ens indica que la qualitat dels sondatges MRS obtinguts seran qualitatius (detecció i estimació d'un mínim de contingut en aigua).

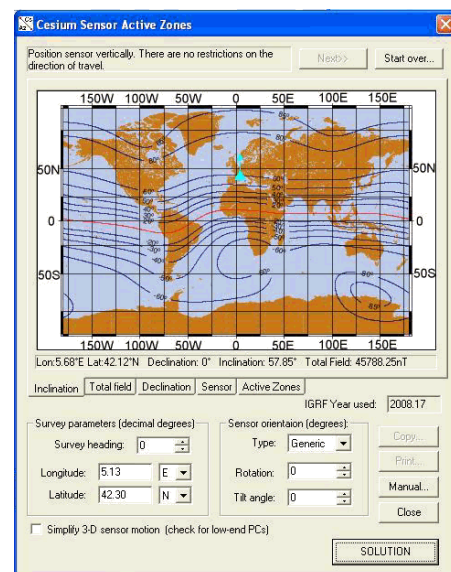
Antena 800 m²	100 nV	100 < nV < 1000	> 1000 nV
(Factor d'escala 4,5)	0,1 μV	0,1 < μV < 1	> 1 μV
Valoració	Molt bona senyal	Senyal regular	Senyal dolenta
Configuració	Sense límit	8 orientat en paral·lel	a la font de soroll
Informació obtinguda	Quantitativa	Limitada en fondària	Un mínim d'aigua



Mesura de la dimensió de l'antena real

5.1.2 Variació del camp magnètic terrestre

La variació del camp magnètic terrestre és força important per poder entrar en ressonància amb els àtoms d'hidrogen de l'aigua, principi del mètode en MRS. Per la mesura del camp magnètic terrestre es disposa d'un magnetòmetre GEOMETRICS (G-856AX). La sensibilitat de l'aparell és força elevada, de forma que qualsevol presència de camps magnètics o metalls propers (cotxes, pilones, formigó armat, grues i altres) poden pertorbar la bona mesura del camp magnètic, la qual cosa no vol dir que el camp magnètic terrestre estigui alterat. En aquest sentit hom disposa d'una rutina de GEOMETRICS (programa CSAZ) que permet obtenir el camp magnètic terrestre i la inclinació magnètica en funció de la longitud i la latitud.



Camp magnètic teòric	Inclinació del camp magnètic
≈45.788 nT	≈57,85°

Les mesures del camp magnètic terrestre preses al sector de la Comella han estat els següents:

Camp magnètic local	$\Delta d = 80 \text{ m}$ Observacions
45.476,9	Punt 7, cotxes
45.475,3	Punt 7, cotxes
45.476,5	Punt 7, cotxe
45.573,8	Punt 8, material obra
45.574,6	Punt 8, material obra
45.573,5	Punt 8, material obra
45.148,9	Punt 6, bàscula
45.154,8	Punt 6, bàscula
50.027	Punt 3, Línia soterrada
45.721	Punt 4, Pou
45.408	Punt 2, Pou
48.285	Punt 5, Pou
45.512	Punt 1, prat
45.512,1	Punt 1, prat
45.513,3	Punt 1, prat
45.551,1	Punt 9, línia mitja tensió
45.550,8	Punt 9, línia de mitja tensió
45.554,4	Punt 9, línia de mitja tensió
44.731	Punt 10, línia d'alta tensió
44.723	Punt 10, línia d'alta tensió
Promig	Desviació
45.777,15 nT	±1.219 nT



Magnetòmetre

La variabilitat espacial no ha de ser superior a 200 nT (nano Teslas) ja que en cas contrari difícilment podria la freqüència de Larmor. El camp magnètic terrestre guarda una relació amb la freqüència de:

$$1 \text{ Hz} \approx 22 \text{ nT}$$

A continuació s'exposa una taula de valors amb una estimació de la qualitat de la senyal que pot aconseguir-se:

$\Delta f < 2 \text{ Hz}$	$\Delta f = 2 \text{ Hz}$	$\Delta f < 5 \text{ Hz}$	$5 \text{ Hz} < \Delta f < 10 \text{ Hz}$	$\Delta f > 10 \text{ Hz}$
< 44 nT	44 nT	< 110 nT	$110 < \text{nT} < 220$	> 220 nT
Excel·lent	Molt bo	Regular	Dolent a molt dolent	No possible

Amb les dades d'aquesta taula ja s'està veient que les mesures del camp magnètic terrestre local està molt influenciat per les infraestructures dels voltants, de forma que per estimar la freqüència de Larmor s'ha efectuat un nou promig eliminant els valors excessius i no possibles pel context regional. La freqüència d'excitació de Larmor escollida ha estat de:

Valor del camp magnètic triat	Freqüència de Larmor
45.744 nT	1.948,8 Hz

5.1.3 Susceptibilitat magnètica dels materials de la parcel·la

La susceptibilitat magnètica influeix de forma clara en la senyal MRS per a la detecció de l'aigua en el subsòl. Aquesta està en funció dels minerals magnètics que pugui tenir el terreny i les roques del subsòl. Els valors de susceptibilitat magnètica de referència són els següents:

BO	REGULAR	DIFÍCIL
$< 10^{-3} \text{ SI}$	entre 10^{-3} i 10^{-2}	$> 10^{-2} \text{ SI}$

Susceptibilitat magnètica local	Observacions
$0,356 * 10^{-3} \text{ SI}$	Camp de volei
$0,070 * 10^{-3} \text{ SI}$	Camp de volei
$0,218 * 10^{-3} \text{ SI}$	Línia elèctrica soterrada
$0,012 * 10^{-3} \text{ SI}$	Torrent de La Comella
$0,142 * 10^{-3} \text{ SI}$	Prat del Pou
$0,186 * 10^{-3} \text{ SI}$	Bàscula
Promig	Desviació
$1,64 * 10^{-4} \text{ SI}$	$1,2 * 10^{-4} \text{ SI}$



Els valors de la susceptibilitat magnètica son força baixos i no influiran en la senyal MRS.

5.2 Execució del sondatge MRS 1 al Pou de la Comella

Un cop s'han executat totes les mesures prèvies hom ha iniciat el muntatge de l'antena MRS a escala real. El temps que s'ha trigat per prendre les mesures prèvies ha estat d'una hora i 4 hores pel muntatge del dispositiu. S'ha efectuat una intent d'adquisició de dades amb una configuració rectangular però el soroll EM detectat era excessiu, per la qual cosa s'ha efectuat una nova configuració de l'antena en doble zero. Un cop en l'adquisició de dades s'ha optat per efectuar 8 mesures d'impulsió:



Hora	Config.	Orientac.	Voltes	Camember	SI	nT	Hz	soroll EM
16H45	8	EW	1	no	10 ⁻⁴	45744	1948,8	36.000 nV
Dades observades en el decurs de la prova								
Impulsió	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8
Stacks	200	124	124	124	124	124	124	252
Tipus Stack	Simple	Simple	Simple	Simple	Simple	Simple	Simple	Simple
Filtre Notch	no	no	no	no	no	no	no	no
Cut (nV)	36.000	1700	2500	1300	1300	2500	2500	1700
Throw	0	2	4	8	54	8	0	176
EM max nV	63340	64709	62333	35338	38515	39316	46652	45904
EM min nV	1431,3	2875,9	2365,5	554,4	1914,7	2241,4	2248,2	2876,7
T2* Hz Decay Eo (nV)	1949 80 ms 1150	1949 100 ms 3650	1950 - -	1950 130 ms 850	1950 - 3050	1950 90 ms 2550	1950 - -	1948 40 ms -
T1 Hz Decay Eo								

Els moments d'impulsió son, com a mínim, de 5. La tipologia d'acumulació de registres (*Stacks*) pot ser simple o promitjada (per soroll variable, WS). El filtre per a la presència de línies elèctriques de 50-60 Hz pot ser amb un harmònic proper a la freqüència de Larmor (*Notch narrow*) o bé mes separat (*Notch wide*), però en ambdós casos pot produir-se una alteració de la senyal si un d'aquests harmònic presenta una freqüència de pocs hertz respecte a la de Larmor (4 Hz). També pot utilitzar-se un filtre de tall superior, a partir del qual el registre queda eliminat (*throw*) per excessiu soroll EM. A l'inici de les mesures el soroll EM detectat és màxim (EM max) però al final del procés aquest va baixant (EM min) aconseguint un augment de la relació senyal/soroll. Finalment s'observarà la detecció de l'aigua si la freqüència de detecció en T2*, i en T1 si s'ha efectuat doble impuls, és proper a la de Larmor i si presenta temps de caiguda (*Decay*), en aquest cas l'amplitud (Eo) serà funció del contingut d'aigua en el decurs de la prova.

5.3 Execució del sondatge MRS 2, zona de berenada la Comella

Per a la demostració de l'assaig MRS efectuat a la zona de berenada de La Comella s'ha efectuat el muntatge de l'antena MRS directament a escala real amb les mesures de l'anterior indret. El temps que s'ha trigat per prendre les mesures prèvies ha estat d'una hora pel muntatge del dispositiu. Vista l'experiència de l'anterior sondatge s'ha efectuat una nova configuració de l'antena en doble zero. Un cop en l'adquisició de dades s'ha optat per efectuar 8 mesures d'impulsió:



Hora	Config.	Orientac.	Voltes	Camember	SI	nT	Hz	soroll EM
11H30	8	NW-SE	1	no	10 ⁻⁴	45744	1948,8	17.000 nV
Dades observades en el decurs de la prova								
Impulsió	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8
Stacks	200	200	200	200	200	200	200	200
Tipus Stack	Simple	Simple	Simple	Simple	Simple	Simple	Simple	Simple
Filtre Notch	no	no	no	no	no	no	no	no
Cut (nV)	800	800	1000	1000	1000	1000	1500	1500
Throw	4	3	52	20	2	2	9	2
EM max nV	20.116	26.673	17.888	24.954	15.214	19.862	28.010	33.644
EM min nV	1.351,2	515,6	1.565	2.349,3	559,7	2.011	536,1	1.923,5
T2* Hz	1950	1950,4	1950,3	1950,4	1953,1	1948,3	1950,3	1948,8
Decay	-	-	-	-	-	701	-	-
Eo (nV)	1765	271	2.582	3.007	880	1.253	1.074	1.321
T1 Hz								
Decay								
Eo								

La tipologia d'acumulació de registres (*Stacks*) pot ser simple o promitjada (per soroll variable, WS). El filtre per a la presència de línies elèctriques de 50-60 Hz pot ser amb un harmònic proper a la freqüència de Larmor (Notch *narrow*) o bé mes separat (Notch *wide*). També pot utilitzar-se un filtre de tall superior, a partir del qual el registre queda eliminat (*throw*) per excessiu soroll EM. A l'inici de les mesures el soroll EM detectat és màxim (EM max) però al final del procés aquest va baixant (EM min) aconseguint un augment de la relació senyal/soroll. Finalment s'observarà la detecció de l'aigua si la freqüència de detecció en T2*, i en T1 si s'ha efectuat doble impuls, és proper a la de Larmor i si presenta temps de caiguda (*Decay*), en aquest cas l'amplitud (Eo) serà funció del contingut d'aigua en el decurs de la prova.

6 QUALITAT I INTERPRETACIÓ DEL SENYAL MRS

Segons Legchenko (2007) normalment la senyal MRS detecta aigua per aquífers inclosos en roques no magnètiques, que és el cas d'Andorra en la seva major part. La senyal de ressonància magnètica pot variar entre 0 i 4500 nV. A les latituds d'Europa el rang varia entre 0 i 500 nV però en roques ígnees pot disminuir entre 0 i 150 nV. El límit de detecció de l'aparell NUMIS LITETM mitjançant el procés del Stack pot arribar a ser de 5 nV, fet que porta a pensar que un límit raonable per a la detecció d'aigua és d'uns 10 nV.

6.1 Qualitat de la senyal MRS

Segons aquest mateix autor proposa que primerament estimar la qualitat de la senyal MRS podem tenir en compte els següents paràmetres:

- 1) El soroll EM extern, després d'efectuar el procés de *stacking* i de filtrat, es compara amb aquest *threshold* instrumental de 5 nV. Quan la senyal de MRS és molt petita llavors el procés de *stacking* cal efectuar-lo fins que:

$$EN \text{ (external noise)} / IN \text{ (internal noise)} \approx 1$$

Si $EN / IN \approx 1$ llavors el sondatge pot ser considerat com de bona qualitat, encara que no s'hagi detectat cap senyal.

- 2) La relació senyal / soroll (S/N) es considera acceptable quan:

$$S / N > 2$$

Llavors pot efectuar-se una interpretació quantitativa de la senyal MRS mitjançant el procés d'inversió, i s'obté una informació vàlida dels aquífers prospectats. Quan la relació $S/N > 2$ llavors no es necessari que $EN / IN \approx 1$, ja que es considera que l'amplitud del senyal és superior a la del soroll i s'ha detectat aigua.

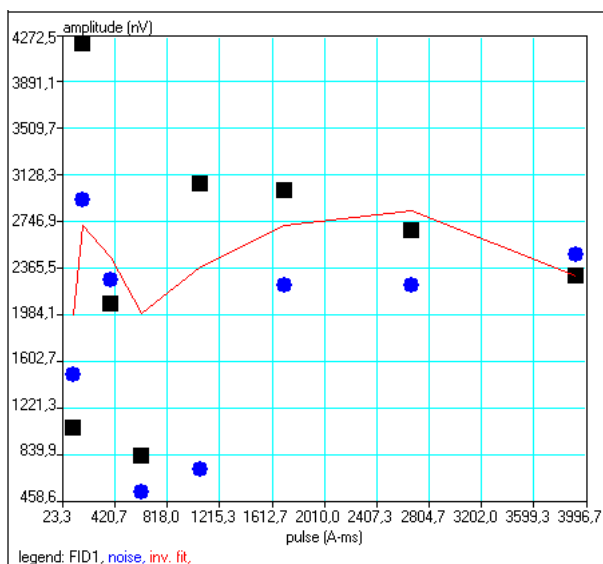
- 3) Quan $EN/IN > 1$ i $S/N \approx 1$ el sondatge MRS no pot ser considerat com de bona qualitat. En aquest cas únicament poden obtenir-se unes conclusions qualitatives de les dades de l'amplitud, en ésser aquesta inferior a la del soroll EM detectat. No obstant la inversió de les senyals MRS amb $S/N \approx 1$ pot donar informació qualitativa en el sentit d'un màxim d'aigua possible. Aquestes conclusions qualitatives totes convergeixen en dir el sostre d'aigua possible, però no es pot garantir l'existència d'aigua.

6.1.1 Senyal MRS sense processar

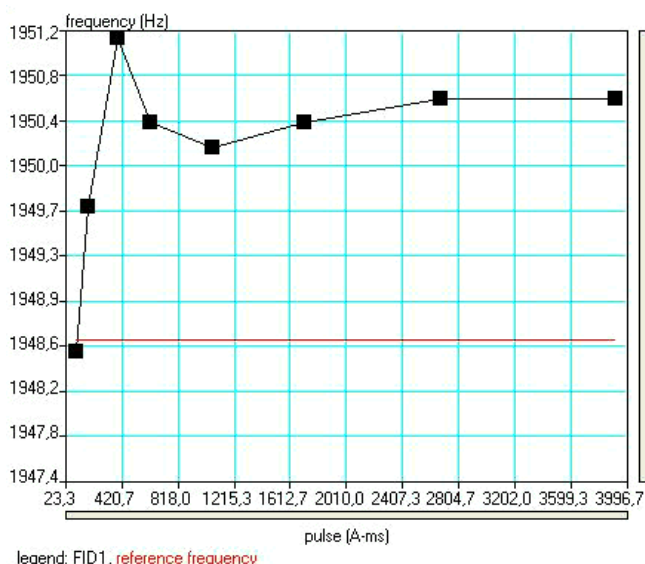
6.1.1.1 Assaig MRS 1 al Pou de la Comella

A continuació es mostren les dades de la senyal MRS un cop efectuat el *stacking*:

Larmor Hz			Rx gain factor				Loop Impedance		
1948,6			7089				5,85		
Senyal bruta									
T2*	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Unitats
Impuls	99,77	180,32	390,53	623,27	1064,94	1710,45	2676,35	3920,73	A. ms
Amplitud	1111	4316	2112	839	3043	3122	2650	2325	nV
Decay	1000	1000	898	1000	1000	651	1000	1000	ms
Freqüència	1948,7	1949,7	1950,9	1950,2	1950,1	1950,4	1950,6	1950,8	Hz
Fase	291	291	65	50	307	342	283	267	°
Soroll mínim	1431,3	2875,9	2365,5	554,4	1914,7	2241,4	2248,2	2876,7	nV
S/N	0,78	1,50	0,89	1,51	1,59	1,39	1,18	0,81	(> 2)
EN / IN	143	287	236	55	191	224	224	287	(≈ 1)



Amplitud



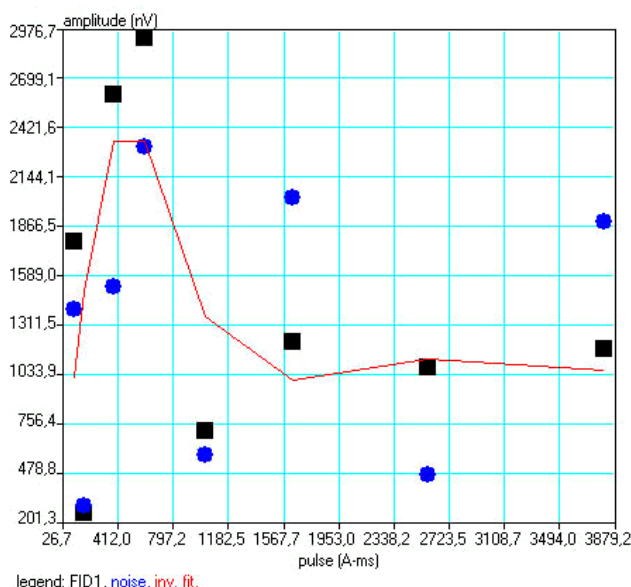
Freqüència

De la senyal bruta hom pot dir que la freqüència detectada es situa entre els 1948,6 Hz (freqüència estimada amb el magnetòmetre) i els 1950,4 (freqüència de Larmor regional), puntualment però la freqüència s'ha situat ja lluny de la fixada (1951,2 Hz). En aquest sentit es pot dir que, en situar-se la major part dels impulsos a ± 2 Hz de la freqüència fixada, la senyal MRS és interpretable. Pel que fa referència a l'amplitud el soroll és molt elevat i no s'ha efectuat un *stacking* suficient o suficientment efectiu (*weighted average satacking*), ja que la relació entre la senyal i el soroll és baixa (≈ 1) i la relació EN / IN (soroll extern / límit de detecció) és molt superior a la unitat. En aquest cas l'assaig sense filtrat únicament pot aportar una estimació qualitativa i caldria repetir-lo un temps més llarg (6 a 8 hores) per millorar la senyal.

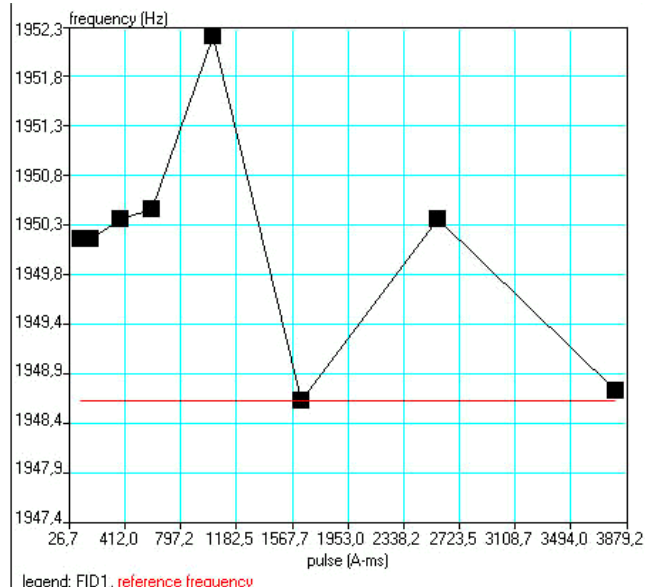
6.1.1.2 Assaig MRS 2 al Pou de la Comella

A continuació es mostren les dades de la senyal MRS un cop efectuat el *stacking*:

Larmor Hz			Rx gain factor				Loop Impedance		
1948,6			11.507				5,89		
Senyal bruta									
T2*	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Unitats
Impuls	100,84	174,23	376,65	598,72	1.021	1.634,5	2.574	3.805	A. ms
Amplitud	1.765	271	2.582	3.007	880	1.253	1.074	1.321	nV
Decay	1000	1000	1000	1000	83	701	1000	103	ms
Freqüència	1950	1950,4	1950,3	1950,4	1953,1	1948,3	1950,3	1948,8	Hz
Fase	239	118	313	278	392	116	309	84	º
Soroll mínim	1.351	515,6	1.565	2.349,3	559,7	2.011	536,1	1.923,5	nV
S/N	1,31	0,53	1,65	1,28	1,57	0,62	2,00	0,69	(> 2)
EN / IN	135	51	156	235	56	201	54	8,4	(≈ 1)



Amplitud



Freqüència

De la senyal bruta hom pot dir que la freqüència detectada es situa entre els 1948,6 Hz (freqüència estimada amb el magnetòmetre) i els 1950,4 (freqüència de Larmor regional), puntualment però la freqüència s'ha situat ja lluny de la fixada (1952,3 Hz). En aquest sentit es pot dir que, en situar-se la major part dels impulsos a ± 2 Hz de la freqüència fixada, la senyal MRS és interpretable. Pel que fa referència a l'amplitud el soroll és molt elevat i no s'ha efectuat un *stacking* suficient o suficientment efectiu (*weighted average satacking*), ja que la relació entre la senyal i el soroll és baixa (≈ 1) i la relació EN / IN (soroll extern / límit de detecció) és molt superior a la unitat. En aquest cas l'assaig sense filtrat únicament pot aportar una estimació qualitativa i caldria repetir-lo un temps més llarg (6 a 8 hores) per millorar la senyal.

6.1.2 Processament del senyal MRS

Un de les majors limitacions del mètode de ressonància magnètica (MRS) és la seva sensibilitat al soroll electromagnètic (EM) natural o artificial. Aquest pot ser degut a tempestes magnètiques, corrents tel·lúriques, tempestes meteorològiques, línies elèctriques, generadors elèctrics i altres artefactes elèctrics artificials. És considerat com a soroll industrial el que presenta una superposició d'harmònics en el rang de freqüències industrial (50 o 60 Hz). La modulació de les freqüències de les emissions de radio i telefonia també produeixen soroll EM. La presència d'important soroll electromagnètic (EM) per línies elèctriques que treballen amb freqüències de 1900 a 2400 Hz pot ser una important limitació del mètode, particularment quan la freqüència de Larmor és propera a un dels harmònics de la freqüència fonamental (50 o 60 Hz). Aquest soroll electromagnètic pot interferir en el senyal d'excitació dels protons i sumar-se a l'amplitud d'aquesta. Per millorar la qualitat del senyal existeix la possibilitat d'imposar diferents procediments en l'adquisició de les dades així com el filtrat de les mateixes.

Segons Legchenko (2007) podem distingir quatre tipologies majors de soroll EM, soroll quasi-constant, soroll variable en el temps, interferències i soroll industrial. En funció de la natura del soroll EM poden emprar-se diferents estratègies en el processament de les dades.

Els filtres son molt útils per descartar senyals no volgudes, com pot ser el soroll artificial, industrial o natural. En SAMOVAR podem distingir tres tipologies de filtres, els que actuen sobre la amplitud del senyal (*Running average filter*), els que actuen sobre el temps de relaxació del senyal (*Bandpass filter*), o bé els que actuen sobre els dos si existeixen línies elèctriques properes (*Notch filter*). En aquest darrer cas pot ser útil la combinació de filtres (*Bandpass + Notch i Running + Notch*) en funció de si en la distorsió del senyal hi ha més influència de la suma d'amplituds amb la del soroll o bé en el temps de relaxació. Donat que el filtre *Notch* pot afectar a la senyal SAMOVAR (*Filter corrections*) disposa de la opció de correcció segons Legchenko & Valla (2003). És important conèixer (si possible) el número d'harmònic de la línia elèctrica més proper a la freqüència de Larmor i si aquest es troba a prop (*narrow*) o no (*wide*) de la freqüència d'excitació. Si la freqüència de Larmor no és estable SAMOVAR disposa de l'opció *Centre fixed* que facilita al filtre *Notch* a triar-la sense centrar-se en la escollida en un inici.

6.1.2.1 Assaig MRS 1 al Pou de la Comella

Pel cas que ens ocupa s'ha observat que l'amplitud detectada és superior al 500 ms, fet que implica que en gran mesura la senyal i el soroll estan sumats. Per aquest motiu és recomanable utilitzar el *Running Average Filter* en mode automàtic pel marge de temps (15 ms) ja que desconexim el seu abast.

Per altra banda la presència de línies elèctriques i una potent torre de telecomunicacions son evidents en el sector d'estudi, per la qual cosa és important l'ús del filtre *Notch* per freqüències múltiples de 50 - 60 Hz. L'opció *Wide* en modus automàtic pel número d'harmònic (3 Nb) ha donat millor resultat que la *Narrow*.



Torre de telecomunicacions a la Comella

Donat que s'ha observat una deriva de la freqüència d'excitació (de 1948,6 a 1950,4 Hz) resulta convenient utilitzar l'opció *Centre fixed*.

Pel que fa referència als paràmetres de regularització que tenen en compte la distribució de l'aigua en el subsòl (concentrada en una sola capa o múltiples capes aquíferes), s'ha donat l'opció automàtica al programa SAMOVAR. De igual forma s'ha fet per al coeficient de permeabilitat Cpx.

També s'ha efectuat una tria dels punts vàlids en funció de la seva alineació i ajust respecte al model d'inversió i s'han eliminat les mesures de Q4, Q5 i Q7.

6.1.2.2 Assaig MRS 2 al sector de berenada de La Comella

Pel cas que ens ocupa s'ha observat que l'amplitud detectada és superior al 500 ms, fet que implica que en gran mesura la senyal i el soroll estan sumats. Per aquest motiu és recomanable utilitzar el *Running Average Filter* en modus automàtic pel marge de temps (15 ms) ja que desconexim el seu abast.

Per altra banda la presència de línies elèctriques i una potent torre de telecomunicacions son evidents en el sector d'estudi, per la qual cosa és important l'ús del filtre *Notch* per freqüències múltiples de 50 - 60 Hz. L'opció *Wide* en modus automàtic pel número d'harmònic (3 Nb) ha donat millor resultat que la *Narrow*.

També s'ha efectuat una tria dels punts vàlids en funció de la seva alineació i ajust respecte al model d'inversió i s'han eliminat les mesures de Q5 i Q8. En eliminar aquests punts la freqüència de resposta no presenta importants variacions (1950,6 Hz) i no utilitzat l'opció *Centre fixed* ja que sense aquesta el model és més similar al conceptual d'un aquífer granular situat per sobre d'un substrat rocós.

Pel que fa referència als paràmetres de regularització que tenen en compte la distribució de l'aigua en el subsòl (concentrada en una sola capa o múltiples capes aquíferes), s'ha donat l'opció automàtica al programa SAMOVAR. De igual forma s'ha fet per al coeficient de permeabilitat Cpx.

6.2 Interpretació

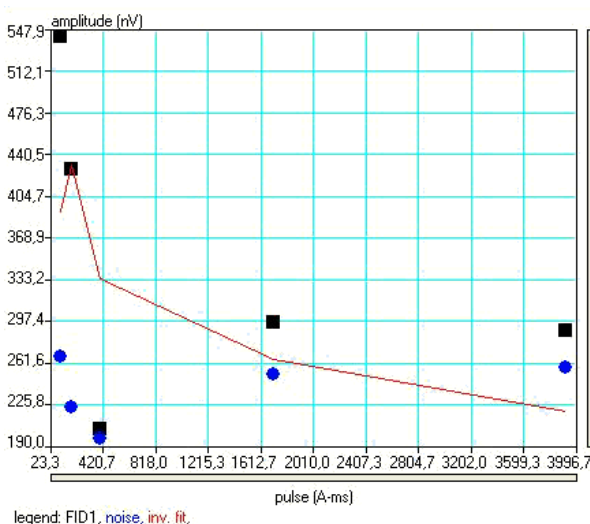
El processament del senyal MRS inicial s'ha efectuat seguint el següent quadre:

MRS	Punts eliminats	Bandpass	Running	Filtre				Regularització		Cpx
				W	N	CF	FC	T2*	T1	
1	4, 5 i 7	No	Auto	3Nb	-	Si	-	Auto	Auto	Auto
2	5 i 8	No	Auto	3Nb	-	No	-	Auto	Auto	Auto

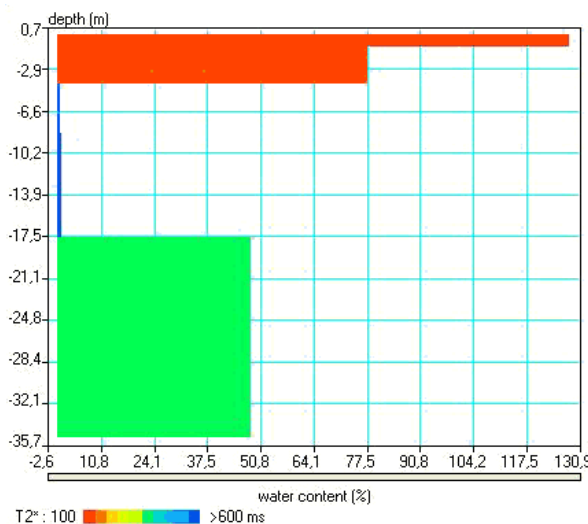
6.2.1 Interpretació de l'assaig MRS 1 al Pou de la Comella

El procés de filtrat i eliminació de punts anòmals ha permès obtenir una senyal qualitativament més bona que la senyal bruta.

Larmor Hz			Rx gain factor				Loop Impedance		
1948,6			7089				5,85		
Senyal processada									
T2*	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Unitats
Amplitud	547	430	200			297		295	nV
Soroll	265	225	195			260		261	nV
S/N	2,06	1,91	1,03			1,14		1,13	(> 2)
EN / IN	26	22	19			26		26	(≈ 1)



Amplitud

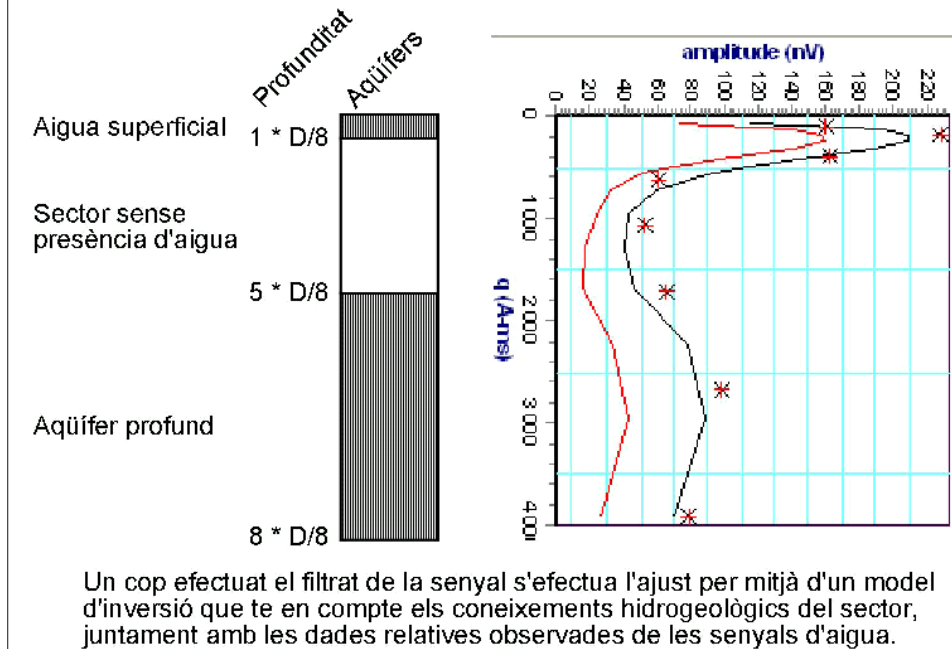


Aqüífers i contingut en aigua

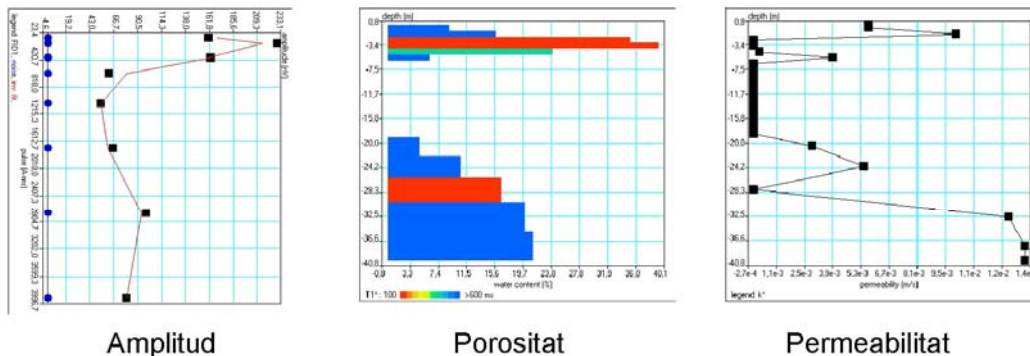
La amplitud el soroll és encara elevat i la relació entre la senyal i el soroll continua essent baixa (≈ 1) i la relació EN / IN (soroll extern / límit de detecció) continua essent superior a la unitat. En aquest cas l'assaig filtrat aporta una millor estimació que la senyal bruta però igualment qualitativa.

Per altra banda s'ha efectuat un model d'inversió amb el programa SAMOGON per determinar com pot ser la senyal teòrica en funció d'un model hidrogeològic conegut (cas del Pou de La Comella).

Establiment d'un model d'inversió



Ajust final del model



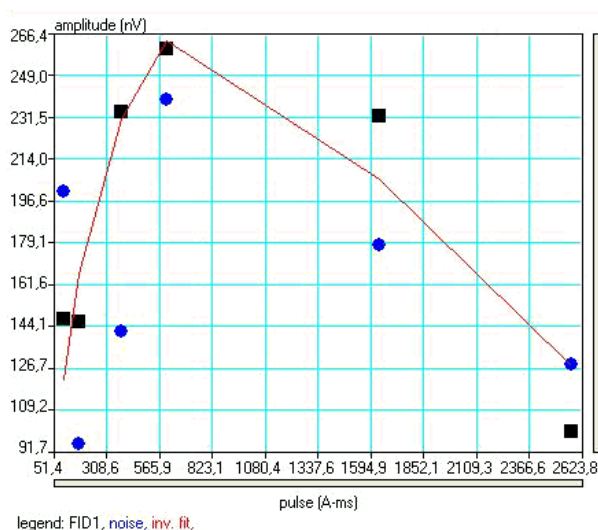
L'ajust final del model estableix la presència de dos nivells d'aigua, un superficial amb importants continguts d'aigua i una important permeabilitat, mentre que a una profunditat d'uns 30 m es situa un aquífer amb valors variables de permeabilitat

Comparant el model d'inversió i el obtingut amb el filtrat s'observa que la ubicació dels nivells aquífers és bona, no obstant el valor absolut del contingut en aigua està sobreestimat en un factor de 2.

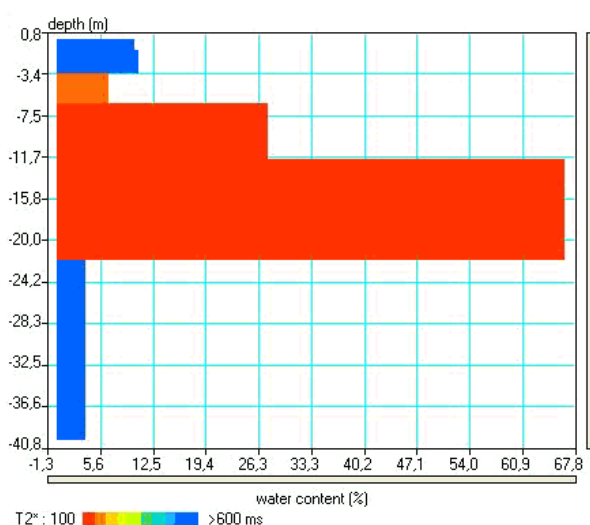
6.2.2 Interpretació de l'assaig MRS 2 sector berenada La Comella

El procés de filtrat i eliminació de punts anòmals ha permès obtenir una senyal qualitativament més bona que la senyal bruta.

Larmor Hz			Rx gain factor				Loop Impedance		
1948,6			11.507				5,89		
Senyal processada									
T2*	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Unitats
Amplitud	145	144,4	233	255		231		127	nV
Soroll	198	92	144	235		178		96	nV
S/N	0,73	1,57	1,62	1,09		1,30		1,32	(> 2)
EN / IN	20	9,2	14,4	23,5		17,8		9,6	(≈ 1)



Amplitud



Aqüífers i contingut en aigua

La amplitud el soroll és encara elevat i la relació entre la senyal i el soroll continua essent baixa (≈ 1) i la relació EN / IN (soroll extern / límit de detecció) continua essent superior a la unitat. En aquest cas l'assaig filtrat aporta una millor estimació que la senyal bruta però igualment qualitativa.

De la prova geoelectrica efectuada a la parcel·la (SEV 15) s'ha determinat que el substrat rocós es situa a uns 19 metres de profunditat. De la inversió obtinguda de les dades prèviament exposades s'observa que l'aquífer te la seva base als 20 m de profunditat. Aquest substrat rocós detectat amb la prospecció geoelectrica actua com a vorera impermeable de l'aquífer granular que es situa per sobre i detectat amb la senyal MRS. Aquest fet mostra que la informació qualitativa de la senyal MRS permet estimar un màxim de contingut en aigua i situar la seva fondària i gruix.

7 RESUM I CONCLUSIONS

El present informe és part dels estudis del terreny **relatiu al projecte de construcció d'una zona esportiva a la Comella. Parròquia d'Andorra la Vella**. Les prospeccions es van efectuar el passat 31 de gener, 6 i 19 de febrer del 2008 amb un total de 2 sondatges a ressonància magnètica per a la detecció de l'aigua subterrània (MRS). El terreny estudiat en la prospecció MRS 1 es troba situat entre 1250 i 1280 metres d'alçada, mentre que el segon sector d'estudi (MRS 2) correspon a la zona de berenada (cota 1315 m).

Un cop efectuades totes les mesures prèvies (soroll, camp magnètic, susceptibilitat magnètica) hom ha iniciat el muntatge de l'antena MRS a escala real. En ambdós s'han efectuat un total de 8 mesures d'impulsió. La qualitat del senyal MRS obtinguda es pot dir que és acceptable pel que fa referència a la freqüència de Larmor, mentre que pel que fa referència a la amplitud es conclou que el soroll és molt elevat i no s'ha efectuat un *stacking* suficient. En aquest sentit hom conclou que els assaigs efectuats aporten una estimació qualitativa dels aqüífers. Per millorar la senyal caldria repetir ambdós sondatges un temps més llarg (varies hores de mesura).

Dels resultats de l'assaig MRS 1 es desprèn l'existència d'un primer nivell amb un fort contingut en aigua situat a una fondària màxima de 5 metres i una segona formació situada a partir dels 30 metres de fondària. En el primer cas aquest nivell es podria deure a l'existència del torrent de la Comella infiltrat, o a algun tub que passi per la zona i que porta aigua. El segon nivell aqüífer coincideix amb les dades obtingudes al pou de La Comella, la seva porositat es situa entorn el 20 % i podria tractar-se d'unes sorres o al·luvions segons CUSTODIO & LLAMAS (2001) i la seva permeabilitat màxima entorn als 1200 m/dia el que classifica l'aqüífer com a molt permeable. Del model d'inversió efectuat amb SAMOGON s'ha observat un decalatge de 2 en la estimació de la porositat en el MRS 1.

Dels resultats de l'assaig MRS 2 es desprèn l'existència d'un important aqüífer a una profunditat compresa entre els 22 metres de fondària i els 11 metres. Es detecta la presència d'aigua a prop dels 7,5 metres que hom interpreta que és el mateix aqüífer ubicat en la part alta del terreny, ja que aquest presenta una important inclinació. En base a les conclusions obtingudes del model d'inversió efectuat al MRS 1, hom creu que els valors de porositat obtinguts en el MRS 2 també estan sobreestimats en un factor de 2, per la qual cosa la porositat de l'aqüífer pot ser de l'ordre del 30 %.



Valentí TURU i MICHELS
IGEOTEST SL

Andorra la Vella, 31 de març de 2008