



Geologia, geotècnia i serveis  
científico-tècnics

# **PRINCIPIS I MÈTODE DE LA PROSPECCIÓ A RESSONÀNCIA MAGNÈTICA (MRS)**

***INTRODUCCIÓ I EQUIP DE MESURA  
PRINCIPI FÍSIC DEL MÈTODE  
TESTS PRÈVIS A LA EXECUCIÓ D'UN MRS  
EXECUCIÓ D'UN SONDATGE A RESSONÀNCIA MAGNÈTICA  
INFORMACIÓ OBTINGUDA I QUALITAT DE LA MATEIXA***

Direcció:

**Valentí TURU i MICHELS**

Av. Príncep Benlloch 66-72

Edifici Interceus, despatx 407

Telèfon i fax: 321815 - 820323

Email: [igeotest@myp.ad](mailto:igeotest@myp.ad)

<http://www.igeotest.ad>

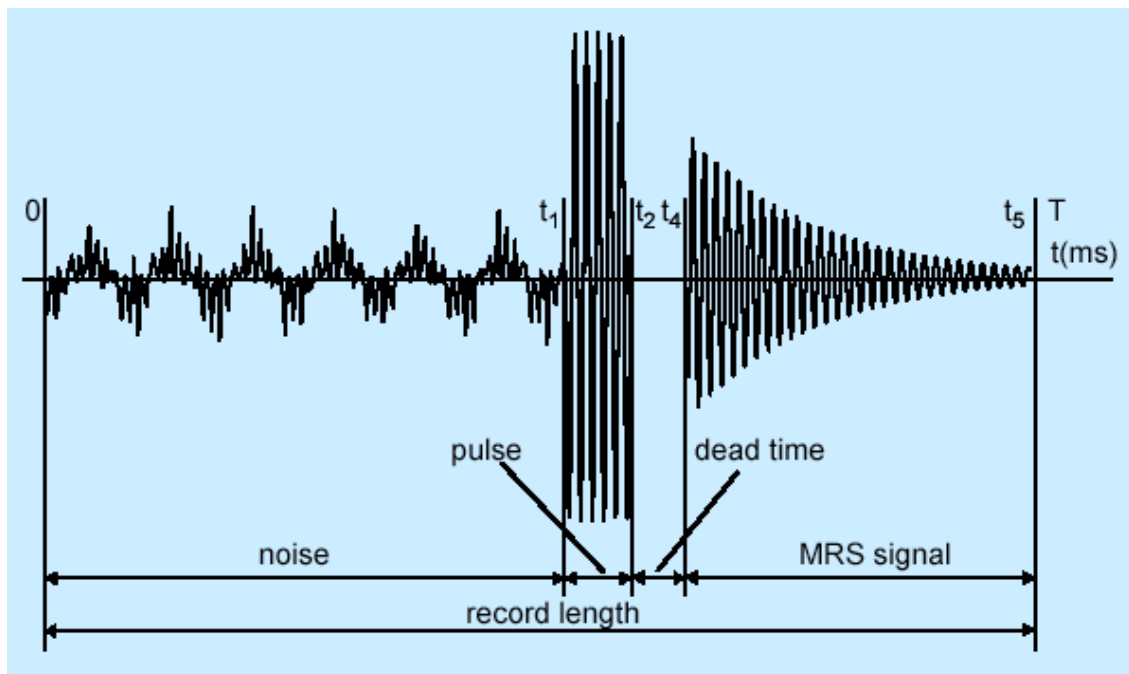
## PROSPECCIÓ A RESSONÀNCIA MAGNÈTICA

### 1.6 Informació obtinguda i qualitat de la mateixa

#### 1.6.1 Informació obtinguda d'un senyal MRS

El contingut d'aigua (porositat) és proporcional a l'amplitud del senyal, el que permet fer una estimació del contingut percentual de l'aigua en profunditat. I la constant del temps de decaïment del senyal permet calcular la mida dels porus del medi (permeabilitat)

Paràmetre mesurat	Paràmetre hidrològic
Amplitud del senyal $E_0$	Contingut en aigua (porositat)
Temps de decaïment $T_2^*$	Mida dels porus (permeabilitat)
Fase del senyal $\phi_0$	Resistivitat de la roca
Moment del pols $q$	Profunditat d'investigació



**Figura 14:** Finestra d'adquisició de dades d'un registre del Numis Lite™, entre zero i  $t_1$  registre del soroll, entre  $t_1$  i  $t_2$  impuls d'intensitat elèctrica que està en funció de la profunditat a assolir,  $t_2$ - $t_4$  temps mort,  $t_4$ - $t_5$  senyal MRS.

El decreixement de la senyal de relaxació (temps  $t_4$ - $t_5$ ) de l'excitació dels protons es produeix quan s'ha deixat d'injectar corrent en l'antena, segueix la següent relació harmònica

$$E = E_0 e^{-(t/T_2^*)} \text{Sen}(2\pi f_0 t + \phi_0)$$

On  $T_2^*$  és la constant de temps de decreixement i  $\varphi_0$  el desfase entre la corrent d'excitació i la relaxació del voltatge mesurat en l'antena (caiguda de l'impuls).  $T_2^*$  està en l'ordre d'algunes desenes de mili segons per argila saturada en aigua i és de l'ordre d'alguns centenars de mili segons per a l'aigua lliure.

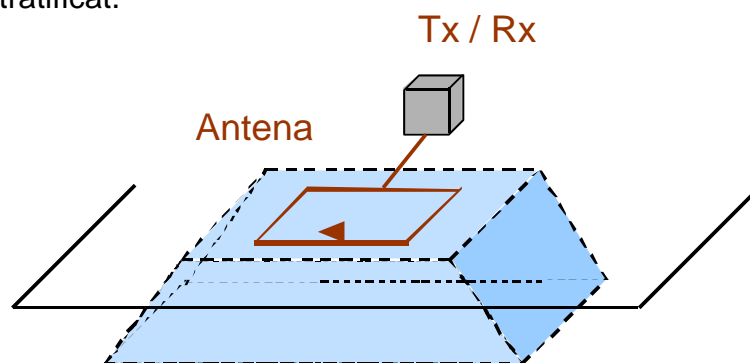
El sondatge a ressonància magnètica pot efectuar-se amb un impuls o amb doble impuls, obtenint-se els valors de  $T_2^*$  i  $T_1$  respectivament.  $T_1$  correspon a la component longitudinal del temps de relaxació ( $T_d$ ), mentre que  $T_2^*$  és la component transversal. El menys influenciat per les inestabilitats magnètiques és el  $T_1$  (Plata & Rubio, 2007, pag. 453).

Per altra banda  $E_0$  correspon a l'expressió de la relaxació del voltatge mesurat en la superfície just després que l'excitació del corrent ha estat tancat

$$E_0 = \int_V 2\pi f_0 H_{\perp}(r) M_0 f(r) \sin\left(\frac{\gamma}{2} H_{\perp}(r) q\right) dv$$

On:  $M_0$  És el moment magnètic de les molècules d'aigua  
 $f(r)$  És el contingut d'aigua  
 $q$  És el moment de l'impuls (intensitat x duració)  
 $H(r)$  És el component d'excitació perpendicular al camp magnètic de la Terra per una unitat de corrent ( $I = 1A$ )

El valor inicial de  $E_0$ , que està en funció d'un volum efectiu d'investigació (mida de l'antena i forma, l'actual moment d'impuls, la magnitud i inclinació del camp magnètic terrestre i de la conductivitat del subsòl. Així doncs el valor inicial de  $E_0$  és directament proporcional al contingut en aigua *in situ*,  $\theta_{MRS}$ , del volum investigat. Donat que els protons que es troben més distants generen una senyal més dèbil limitada en part per  $3 \sqrt{S}$  (superfície), tot i què en la pràctica s'acosti més a una relació de  $1,5 \sqrt{S}$  tenint en compte un model estratificat.



**Figura 15:** El volum de protons involucrats en la senyal està en funció de la influència d'un volum trapezoïdal (rectangle o quadrat) o cònica truncada (cercle). La profunditat d'investigació depèn fonamentalment de la superfície de l'antena i del moment d'impulsió (intensitat de la corrent).

A partir d'aquestes dades de la senyal MRS es poden obtenir les següents paràmetres hidrogeològics:

$$T_{MRS} = C_T \sum_{i=1} (\Delta z_{MRsi} \Theta_{MRsi} T_{di}^2)$$

Els valors del coeficient  $C_T$  depenen de la variable de relaxació utilitzada:

Litologia	$C_T$ en funció de $T_2^*$	$C_T$ en funció de $T_1^*$
Granits	$1,1 \times 10^{-8}$	$1,3 \times 10^{-9}$
Sorres	$2,0 \times 10^{-8}$	$4,9 \times 10^{-9}$
Carbonats	$62 \times 10^{-8}$	$3,5 \times 10^{-8}$

Com a referència es poden tenir en compte els següent temps de relaxació de la senyal per estimar la permeabilitat del terreny.

CONSTANT DE TEMPS $T_2^*$ (ms)	MIDA DELS PORUS	PERMEABILITAT
1000	(aigua lliure) llac, riu	FORTA
500	grava	
200	Sorra grollera	MITJANA
100	Sorra mitja	
50	Sorra fina	
20	argile (aigua lligada)	FEBLE

### 1.6.2 Qualitat de la 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 LITE™ 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.

Segons aquest mateix autor es proposa que per 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 necessita 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.

Un cop obtingudes les dades MRS i validades cal tenir en compte les següents consideracions:

- 1) Després d'efectuar el stack cal que la corba estigui per sobre del nivell del soroll i observar l'existència d'un decreixement per cada impuls (q)

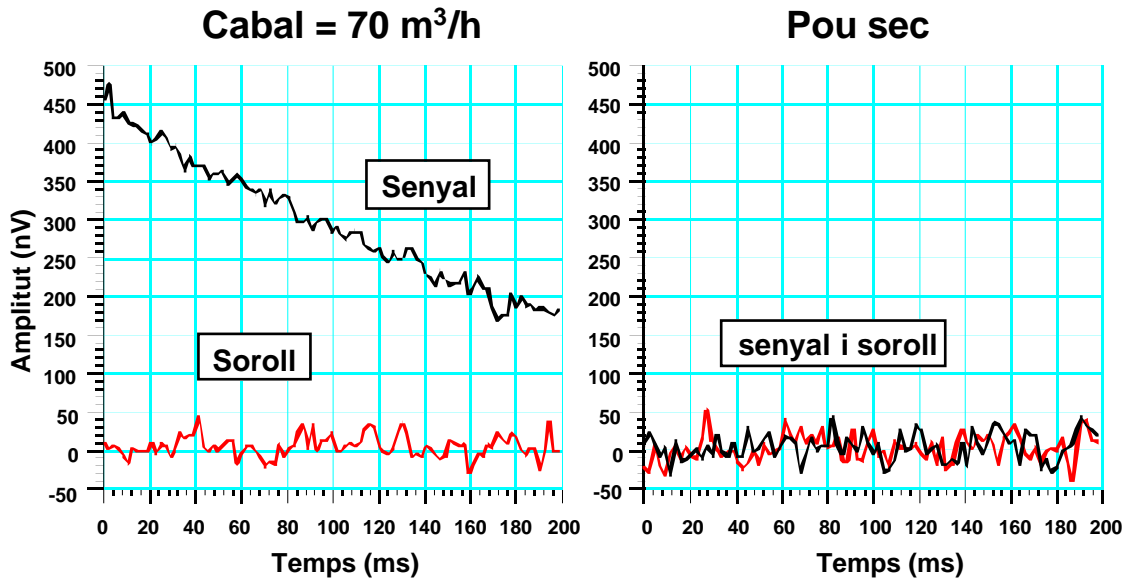


Figura 16: Dues senyals MRS, una amb presència d'aigua i l'altra sense.

- 2) La freqüència de Larmor ha de tenir una variació mínima, de l'ordre d'un a pocs hertz i ha de sobresortir del soroll

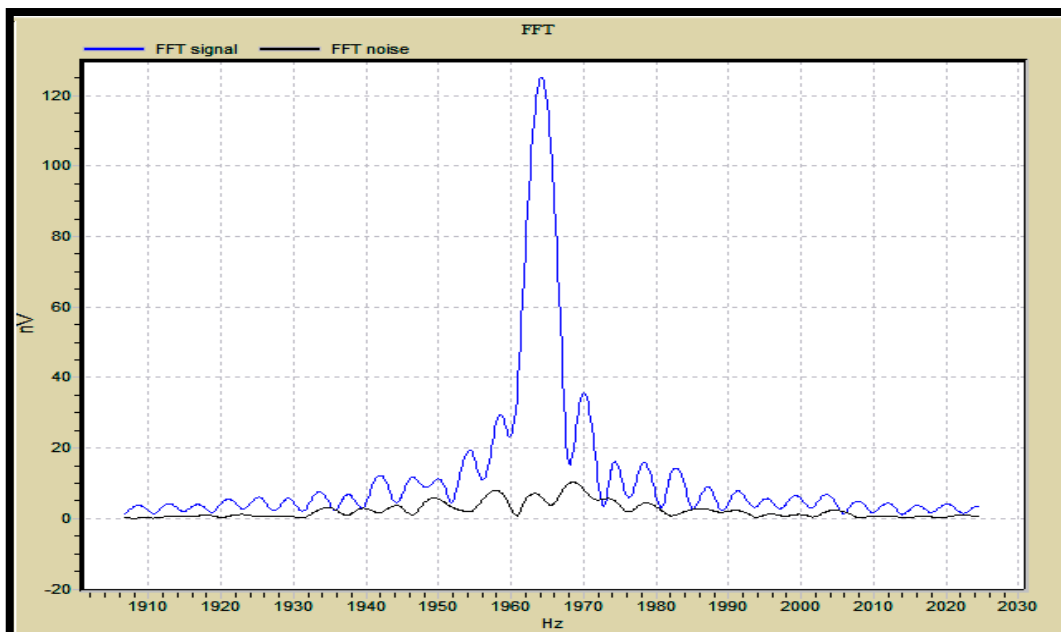


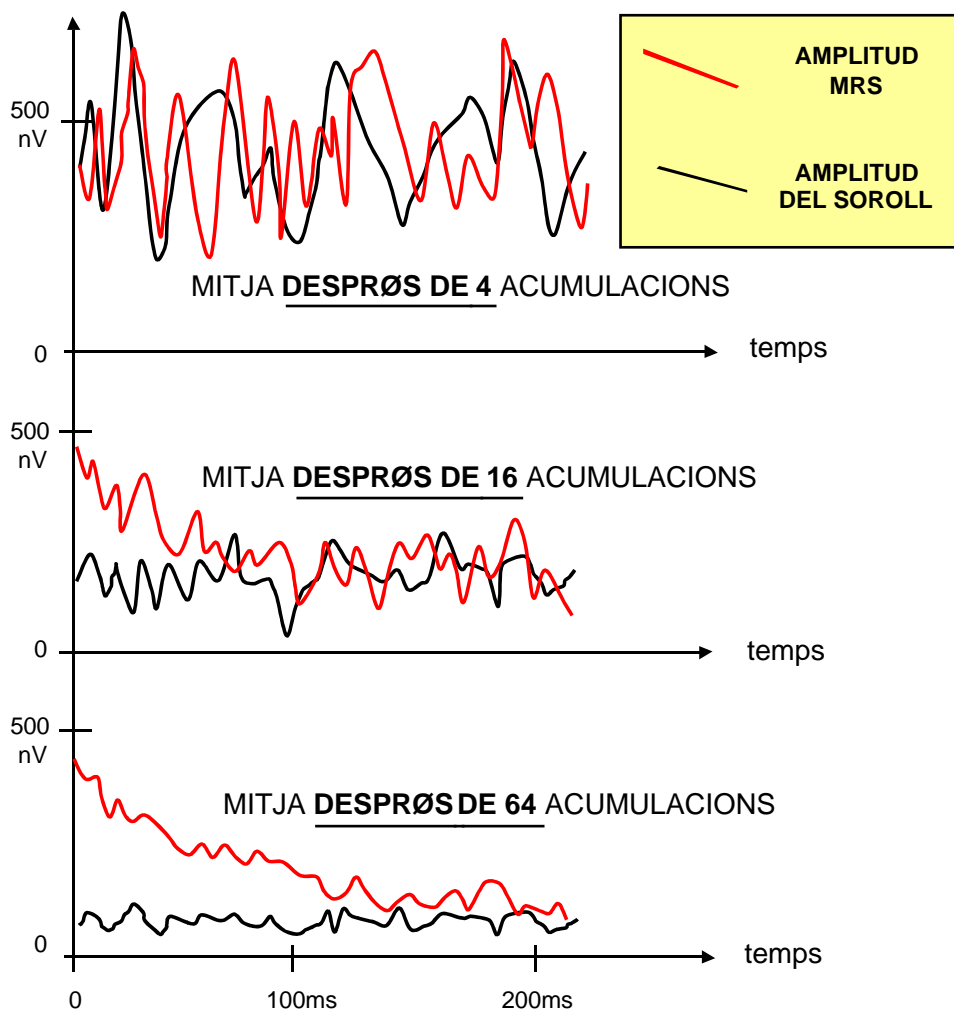
Figura 17: S'observa una clara senyal MRS (color blau) per sobre del soroll (color negre)

3) La caiguda de tensió dels moments d'impuls no han de ser inferiors al 20%

Si un cop efectuat el procés de stacking no es detecten senyals de MRS pot ser degut a:

a) La freqüència d'excitació està separada més d'uns 5 Hz respecte a la de Larmor.

b) Els soroll EM és excessivament alt en comparació de l'amplitud del MRS pel número de stacks utilitzats (baix número de stacks). Cal tenir en compte que la millora de la senyal respecte al soroll efectuant el stack guarda una relació potencial ( $\sqrt{n}$ ), per la qual cosa en certs casos poden ser necessàries moltes hores per aconseguir un bon registre.



**Figura 18:** Efecte d'amplificació de la senyal amb la tècnica de el stacking

c) No hi ha aigua en el rang de la detecció del MRS. Donat que la senyal MRS oscil·la amb la freqüència de Larmor, la qual està en funció de la magnitud del camp magnètic, la senyal ha de tenir la mateixa freqüència que la de l'impuls (q). Donat que el soroll electromagnètic (natural i/o artificial) oscil·la amb una freqüència aleatòria, si no s'ha detectat aigua, la freqüència mesurada (la del soroll) també serà aleatòria.