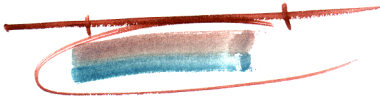


GEO3



Geologia, cartografia, prospecció geofísica i
serveis científico-tècnics

METODOLOGIA DE LA PROSPECCIÓ GEOELÈCTRICA APLICADA

- ANNEX DE DOCUMENTACIÓ -

Realització: **Valentí TURU i MICHELS**
Av. Príncep Benlloch 66-72
Edifici Interceus, despatx 406
Telèfon i fax: 321815 - 820323
Email: geo3@andorra.ad
[http\\www.igeotest.ad](http://www.igeotest.ad)

A1 METODOLOGIA DE LA PROSPECCIÓ GEOELÈCTRICA APLICADA

A1.1 Metodologia de la prospecció elèctrica

Els mètodes geofísics elèctrics s'utilitzen per determinar les característiques litològiques del subsòl, ja sigui de forma directa o indirecta. Segons sigui el camp elèctric utilitzat i la magnitud mesurada els mètodes poden classificar-se com segueix:

- * de resistivitat.
- * de potencials naturals o polarització espontània.
- * de potencials artificials.
- * de potencials induïts.
- * mètodes electromagnètics.

De fet, tots aquests mètodes es basen en la mesura de la resistivitat dels materials objecte d'estudi, però únicament en el grup dels mètodes de resistivitat es mesura de forma directa aquesta magnitud.

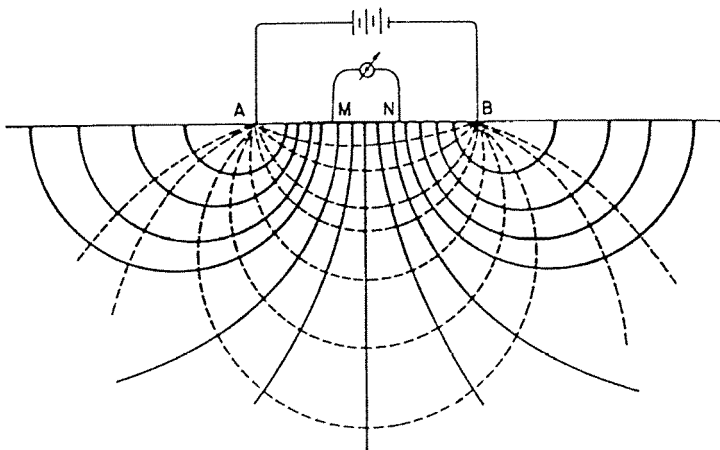
La resistivitat de les roques i els sediments és una propietat intrínseca, l'anomenada resistivitat real o vertadera. Aquesta depèn tant de les característiques elèctriques dels seus constituents sòlids com de les dels líquids i gasos que ocupen els espais buits que contenen, ja siguin porus i/o fractures.

El valor de la resistivitat R en ohms*m pot obtenir-se a partir de l'expressió següent:

$$R_a = K * (V / I)$$

on la que V és la diferència de potencial mesurada en mil.livolts, I la intensitat mesurada en mil.liampers i K una constant expressada en metres.

De forma general els mètodes de resistivitat s'introdueix en el subsòl un corrent elèctric mitjançant dos elèctrodes anomenats A i B i s'utilitzen dos elèctrodes addicionals, els M i N , per investigar el camp elèctric generat.



El circuit de corrent es complementa amb una font d'alimentació d'energia i un mil·liamperímetre, mentre que el de potencial requereix un mil·livoltímetre.

Dispositiu tetraelectròdic (Schlumberguer)

FIGURA 1

Són possibles diferents disposicions dels dispositius electrònics, però generalment són preferibles geometries simples, lineals i a ser possible simètriques. A cada un dels dispositius li correspon una expressió diferent de la constant K, anteriorment referida.

Segons es desitgi investigar les variacions verticals o horitzontals de la resistivitat s'apliquen dues tècniques diferents, els anomenats Sondeigs Elèctrics Verticals (S.E.V.) o les Calicates Elèctriques (C.E.), respectivament.

En el cas que ens ocupa s'ha dut a terme una prospecció mitjançant la tècnica del Sondeig Elèctric Vertical, que utilitza un dispositiu tetraelectròdic del tipus Schlumberguer, que és un dels més utilitzats.

Aquest és un dispositiu lineal i simètric en el que els elèctrodes M i N estan situats entre els A i B, essent necessari que es mantingui una distància entre els elèctrodes del circuit de potencial inferior a la cinquena part de la distància que separa els elèctrodes del circuit de corrent.

Per obtenir lectures de resistivitats a profunditats progressivament majors cal anar augmentant la distància entre els elèctrodes. Cal dir que els valors de resistivitat que s'obtenen al camp són valors de resistivitat aparent, degut a que el subsòl no és un medi homogeni ni isòtrop.

Per obtenir les resistivitats reals dels materials investigats cal dur a terme un procés d'interpretació de les dades que actualment pot servir-se de software específicament concebut. En aquest procés primerament es realitza una primera interpretació automàtica d'ajust a la corba de camp, seguidament es realitza un ajust manual i finalment es restitueix el tram final de la corba de camp en funció del que caldria esperar en profunditat, sempre i quan hom disposi de les dades necessàries per poder realitzar aquest últim pas.

Les dades que s'obtenen al camp es representen en coordenades logarítmiques representant la variació de la resistivitat aparent en funció de la meitat de la distància que separava A i B al realitzar cada lectura.

El concepte teòric en el qual es fonamenta la prospecció elèctrica suposa la simplificació geològica d'una distribució de capes amb contactes planoparalels, de composició homogènia i distribució areal infinita. Qualsevol variació sobre aquest quadre teòric, les corbes de camp presentaran anomalies respecte a les teòriques.

La superfície sobre la qual es realitza la prospecció ha de ser plana, de forma que la topografia també pot influir sobre les corbes de camp trobades. Aquestes anomalies poden portar a interpretacions incorrectes en el número de capes o bé en la potència de les mateixes.

A1.2 Anomalies més comunes

Les situacions típiques són les que presenten anomalies a causa d'una topografia acusada o bé per una situació geològica complexa en profunditat.

Hom es referenciarà en aquest capítol sobre el treball de POUS *et al*, (1996).

A1.2.1 Anomalies topogràfiques

Les anomalies topogràfiques distorsionen les pendents de les corbes de camp. L'efecte és similar a l'obtingut en un medi estratificat, però les pendents són superior als 45° per presència d'aire, el qual representa un contacte lateral resistiu.

Aquest efecte es veu atenuat per llargues distàncies d'AB/2 (**figura 2**).

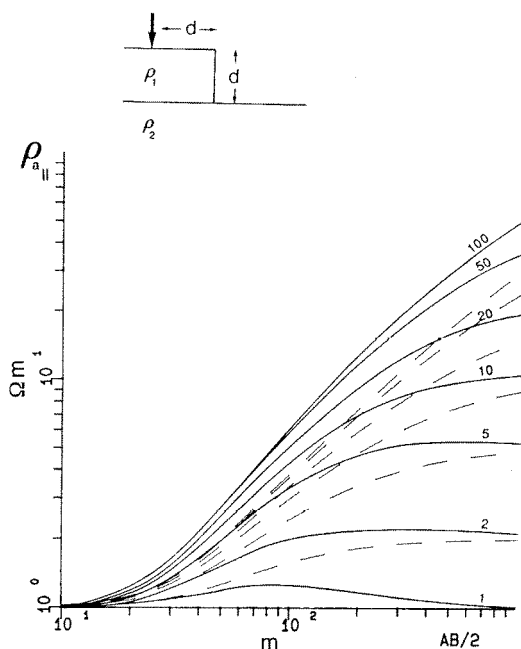


Figura 2: Efecte topogràfic. Únicament s'ha calculat per una configuració paral·lela. Paràmetres del model: $\rho_1 = 1 \Omega m$, $d = 25 m$ i ρ_2 variable. Les corbes del model estratificat teòric s'han representat a les línies discontinües per diferents valors de ρ_2 . Les resistivitats aparents estan en Ωm i les distàncies mitges entre els elèctrodes de corrent (AB/2) en metres.

A1.2.2 Anomalies geològiques

Els models geològics que suposen un problema d'interpretació són bàsicament el de l'existència d'un sòcol que presenti un relleu, tipus *Horst* (elevació del sòcol) o *Graben* (depressió del sòcol).

La forma de poder identificar l'existència d'aquestes estructures en profunditat resulta ser el de realitzar diferents sondatges de forma paral·lela i perpendiculars a l'eix de l'estructura.

Les corbes que es troben afectades per una anomalia d'aquest tipus es poden identificar per que les corbes de camp detecten el sòcol amb una pendent superior a 45° quan existeix un contrast de resistivitats important entre la formació superficial i el sòcol.

En el cas d'un *Horst* (**figura 3**) cal comparar els resultats de les interpretacions d'una disposició del dispositiu de forma paral·lela i perpendicular a l'eix de l'estructura. Quan el dispositiu es troba paral·lel a l'estructura i apartat del *Horst*, la influència sobre les corbes resulta ser negligible.

40

J. Pous et al. / Journal of Applied Geophysics 35 (1996) 237-248

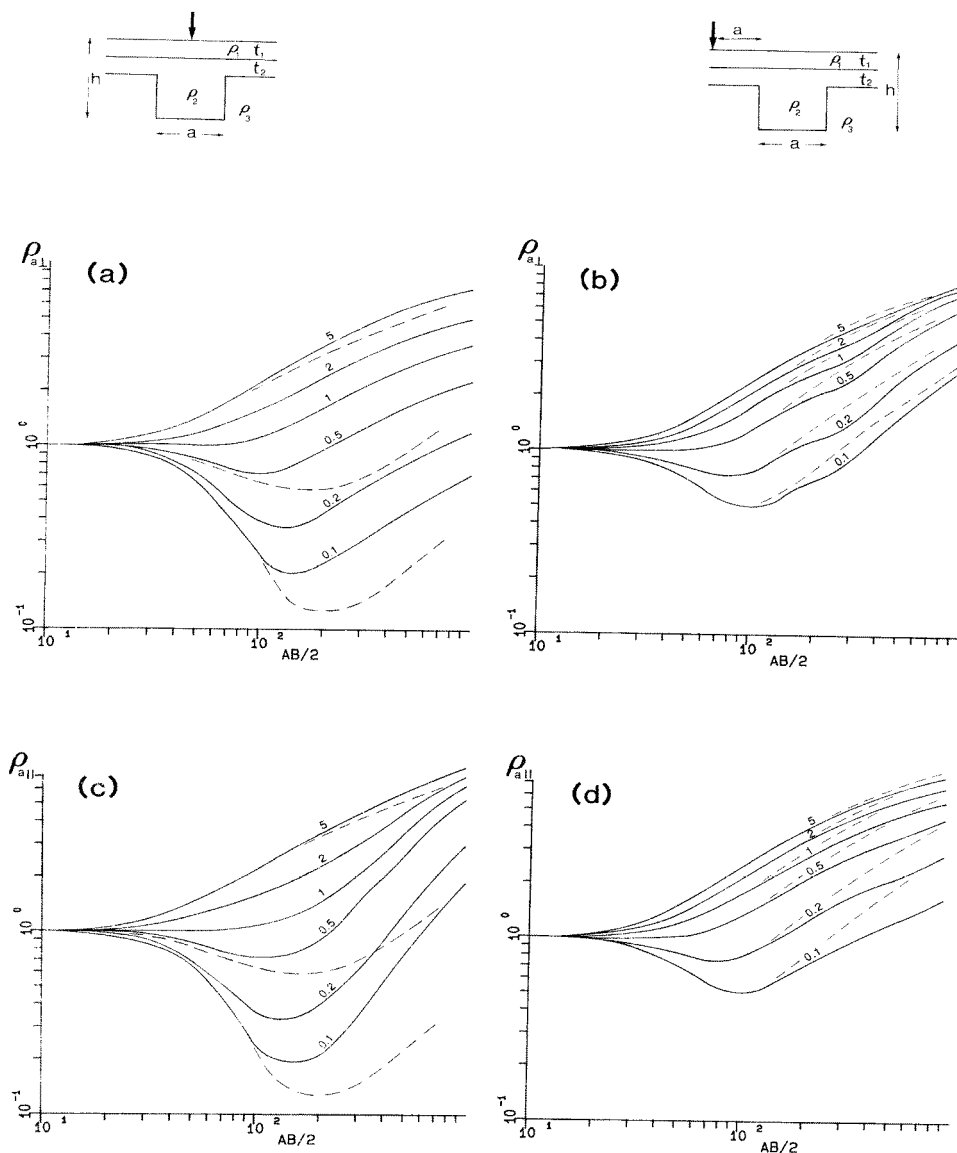


Figura 3: Model d'elevació. Corbes perpendiculars (a, b) i paral·leles (c i d) a l'orientació de l'estructura. Les fletxes representen els centres dels sondatges. Els valors dels paràmetres del model són: $\rho_1 = 1 \Omega\text{m}$, $\rho_3 = 1 \Omega\text{m}$, $t_1 = 30 \text{ m}$, $t_2 = 220 \text{ m}$, $h = a = 250 \text{ m}$. Les resistivitats de la formació superficial (ρ_2) es variable i els valors s'han representat a les corbes. Les línies sòlides corresponen a un model 1D en el sondatge.

En el cas d'un *Graben* resulta ser menys conflictiu, únicament es produeixen corbes amb inclinacions majors de 45° quan el centre del sondatge es troba situat en el *Graben* (**figura 4**).

238

J. Pous et al. / Journal of Applied Geophysics 35 (1996) 237-248

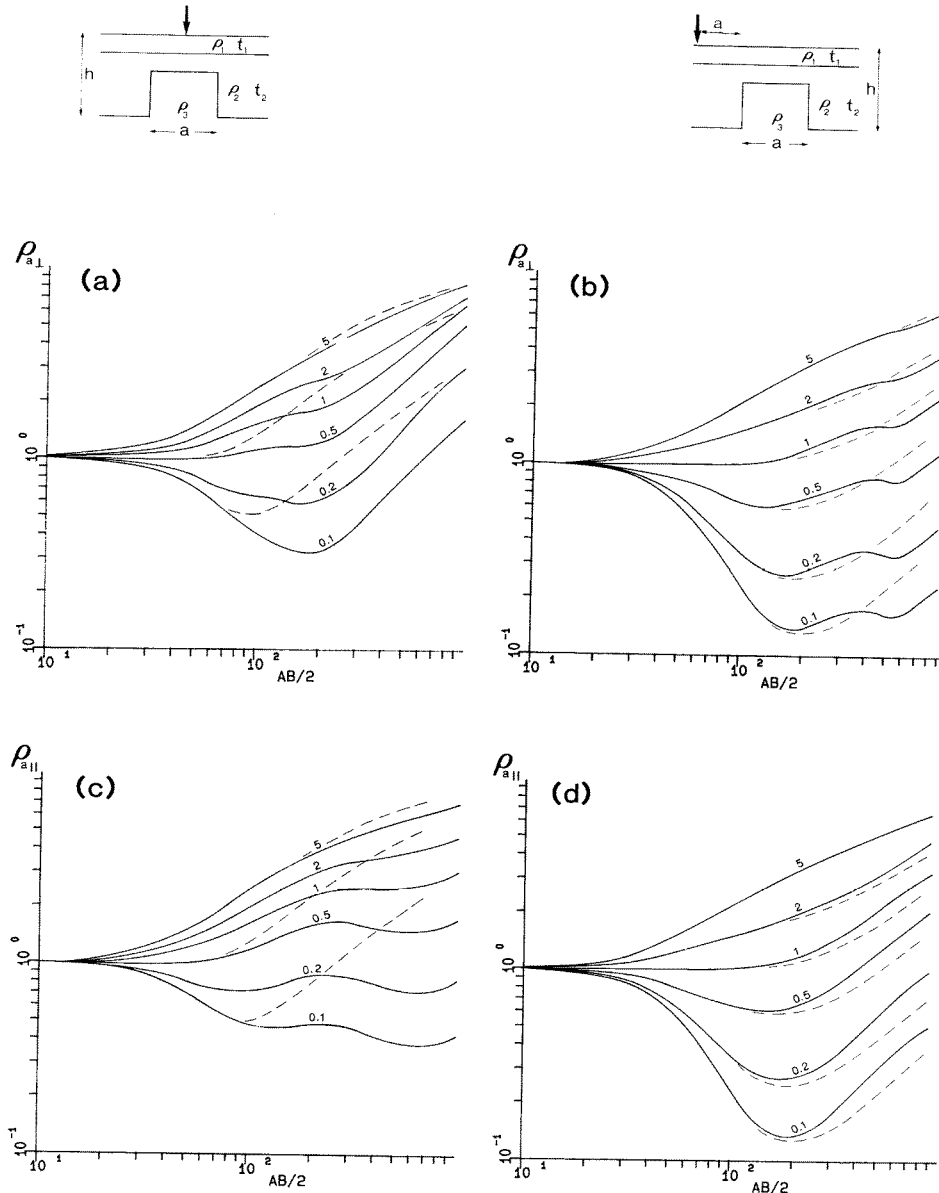


Figura 4: Model de depressió. Corbes perpendiculars (a, b) i paral·leles (c i d) a l'orientació de l'estructura. Les fletxes representen els centres dels sondatges. Els valors dels paràmetres del model són: $\rho_1 = 1 \Omega\text{m}$, $\rho_3 = 1 \Omega\text{m}$, $t_1 = 30 \text{ m}$, $t_2 = 220 \text{ m}$, $h = a = 250 \text{ m}$. Les resistivitats de la formació superficial (ρ_2) es variable i els valors s'han representat a les corbes. Les línies sòlides corresponen a un model 1D en el sondatge.

Quan el centre del sondatge es troba situat fora del *Graben*, únicament es produeix una petita inflexió en les corbes de camp per un dispositiu configurat de forma perpendicular al *Graben*. Si la configuració és paral·lela les pendents resulten ser menors que les teòriques i la seva influència no és important per petits contrastes de resistivitat. En el cas de l'existència d'una inhomogeneïtat lateral es distorsionen les corbes de resistivitat aparent (**figura 5**).

Les corbes que s'obtenen en una configuració perpendicular del dispositiu presenten un pic a l'indret on l'elèctrode travessa el contacte verticalitzat (**figura 5a**) i seguidament les corbes tendeixen a ser asimptòtiques a un mateix punt. Quan la configuració es paral·lela no apareix aquest pic.

La **figura 5b** mostra l'efecte de diferents contrastes de resistivitat i amb pendents que sobrepassen els 45° . No obstant aquests efectes tendeixen a desaparèixer amb importants obertures dels elèctrodes.

J. Pous et al. / Journal of Applied Geophysics 35 (1996) 237–248

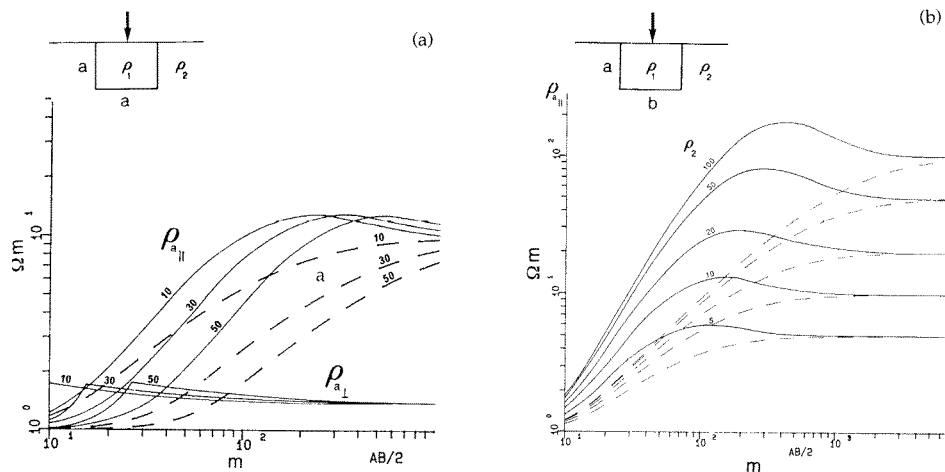


Figura 5: Efectes d'una inhomogeneïtat lateral. (a) Paràmetres del model: $\rho_1 = 1$ Ωm i ρ_2 es variable. Les corbes corresponen a un dispositiu paral·lel a l'estructura. Les corbes sòlides corresponen al comportament d'un model de capes paral·leles.

A1.2.3 Anomalies geològiques i topogràfiques

Per petites estructures en 2 dimensions (*Horst* i *Grabens*), una configuració del dispositiu tetraelectròdic paral·lela a la estructura resulta ser la que minimitza els efectes laterals que afecta a la resistivitat aparent de les corbes. Quan existeix en profunditat una marcada estructura en 2D resulta important conèixer l'efecte que produeix aquesta a la pendent de les resistivitats aparents, de forma a evitar possibles interpretacions errònies. En molts casos si l'estructura es investigada en un únic eix (paral·lel o perpendicular), la resistivitat aparent no mostra cap influència de l'existència d'una depressió o una elevació. Sempre i quan sigui possible resulta interessant realitzar diversos sondatges elèctrics amb configuracions perpendiculars per obtenir els models de resistivitat.

Els trets generals de l'influència d'estructures com *Horsts* o *Grabens* quan es comparen amb els models estratificats són els següents:

- 1) Les corbes són compatibles amb un medi estratificat amb inflexions que s'han d'interpretar com nivells ficticis.
- 2) Les corbes són compatibles amb un model estratificat sense afegir les inflexions.
- 3) Les corbes presenten pendents superiors als 45°.
- 4) Les corbes presenten pics anòmals.

A1.3 Correspondència entre resistivitats i litologia

Normalment s'associa la resistència del flux elèctric induït (resistivitat) a la major o menor dificultat de la circulació elèctrica per un medi sòlid amb major o menor presència d'aigua entre les partícules que el formen.

En aquest sentit els sediments amb granulometries grolleres presenten una major proporció de buits (porositat) o cavitats (macroporus) que els sediments amb granulometries fines. També val a dir que en els sediments de granulometries fines també existeix un major contacte entre partícules, fet que augmenta la superfície conductora i disminueix les cavitats buides resistives.

Cal fer esment que, encara que existeixi una correlació entre la conductivitat elèctrica i la humitat del terreny, això no implica que la saturació completa d'un sediment sigui més conductor que el mateix sediment sense saturar, sempre i quan es conservi la seva humitat natural.

Al mateix temps si la litologia dels clasts és més o menys cristal·lina, també influeix en el flux elèctric. Al Principat, les roques metamòrfiques ofereixen menys resistència al flux elèctric que les roques ígnies.

A grans trets, hom pot assignar a els diferents materials litològics els següents valors de resistivitats:

Resistivitats en $\Omega \cdot m$	Materials
1 - 100,000	Roques endògenes i metamòrfiques
1 - 100	Argiles
50 - 100	Llims
100 - 1100	Arenes
700 - 10,000	Graves

No obstant els materials geològics acostumen a presentar granulometries diverses, és a dir, les sorres difícilment es troben sense una fracció llimosa o sense una certa quantitat de graves, per la qual cosa en el camp s'acostuma a detectar una barreja d'aquestes granulometries.

Les referències que hom disposa de sondatges realitzats a Andorra són les següents:

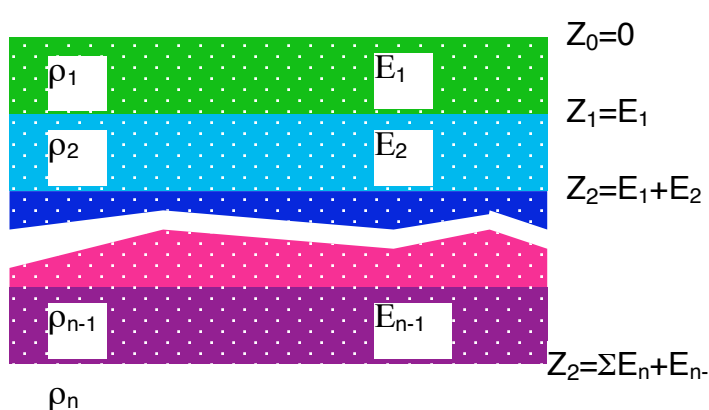
Resistivitats en $\Omega \cdot m$	Materials
1300 - 3000	Roques metamòrfiques
1 - 50	Silurià amb abundant grafit
4,000 - 20,000	Roques cristal·lines
10 - 100	Argiles
70 - 150	Llims
250 - 350	Arenes
500 - 700	Graves
800 - 900	Còdols
1000 - 8000	Blocs

Des del punt de vista genètic, els diferents materials glacials disposen d'abundants barreges de granulometries així com canvis laterals de fàcies que poden ser molt bruscs.

A1.4 Medis estratificats, Talls geoelèctrics, Notació i nomenclatura

Segons ORELLANA (1982, pàg, 148) es considera un medi estratificat general, compost per dos semiespais. El primer d'ells, de conductivitat nul·la, representa l'atmosfera; el segon, que representa el terreny, és un medi heterogeni compost de medis homogenis e isòtrops, d'extensió lateral indefinida amb superfícies de separació paral·leles entre sí i al pla aire-terreny.

Per caracteritzar cada medi estratificat, serà suficient en donar l'espessor E_i i la resistivitat ρ_i de cada medi parcial isòtrop d'índex i , numerats aquests de dalt a baix. Cada un d'aquests medis parcials serà denominat *capa geoelèctrica*. Les distàncies de la superfície límit aire-terra a cada una de les demés, o sigui les profunditats dels contactes respectius es representen per $z_1, z_2, z_3, \dots, z_i,$



L'especificació d'espessors i resistivitats de cada medi estratificat del tipus descrit rep el nom de *tall geoelectric*. Un tall geoelectric compost per n capes requereix per la seva especificació el coneixement de n resistivitats i n-1 espessors o n-1 profunditats (ja que l'última capa, denominat com substrat, té sempre espessor infinit) o sigui en total $2n - 1$ paràmetres.

Els talls geoelectrics poden classificar-se atenent al número de capes que els componen. Els talls del mateix número de capes poden subdividir-se segons l'ordre en que apareixen, en els successius contactes, resistivitats majors o menors que en la capa suprajacent. Per un ús més còmode d'aquesta classificació, és molt convenient establir un sistema de notació. Hom emprà aquí la seguida pels autors soviètics i sintetitzada per ORELLANA (1982).

a) Talls de dos capes, de les quals existeixen dos tipus ($\rho_1 < \rho_2$ i $\rho_1 > \rho_2$) que no porten simbologia especial.

b) Les lletres llatines H, K, Q, A, representen respectivament els quatre tipus possibles de talls geoelectrics de tres capes que són:

- Tipus H: $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3$
- Tipus K: $\rho_1 < \rho_2 > \rho_3$
- Tipus Q: $\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$
- Tipus A: $\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$

c) Els talls de quatre capes es distribueixen en 8 grups, que es designen com combinacions de les anteriors, per això es consideren les tres primeres capes i se les assigna la lletra corresponent a la llista anterior; després es realitza el propi amb les tres últimes capes. Així, el tipus AA correspon a la combinació de resistivitats $\rho_1 < \rho_2 < \rho_3 < \rho_4$ i HK a $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3 > \rho_4$, Solament són possibles els tipus següents:

- HK, HA, KH, KQ
- QQ, QH, AK, AA

Els tipus KK, HH, HQ, etc, manquen de sentit, doncs impliquen condicions contradictòries.

d) Els talls de cinc o més capes es simbolitzen seguin el mateix mètode. Es consideren en primer lloc les tres primeres capes i s'assigna la lletra corresponent indicada en el punt b); després es realitza el mateix amb les capes segona, tercera i quarta, després com la tercera, quarta i cinquena, etc.

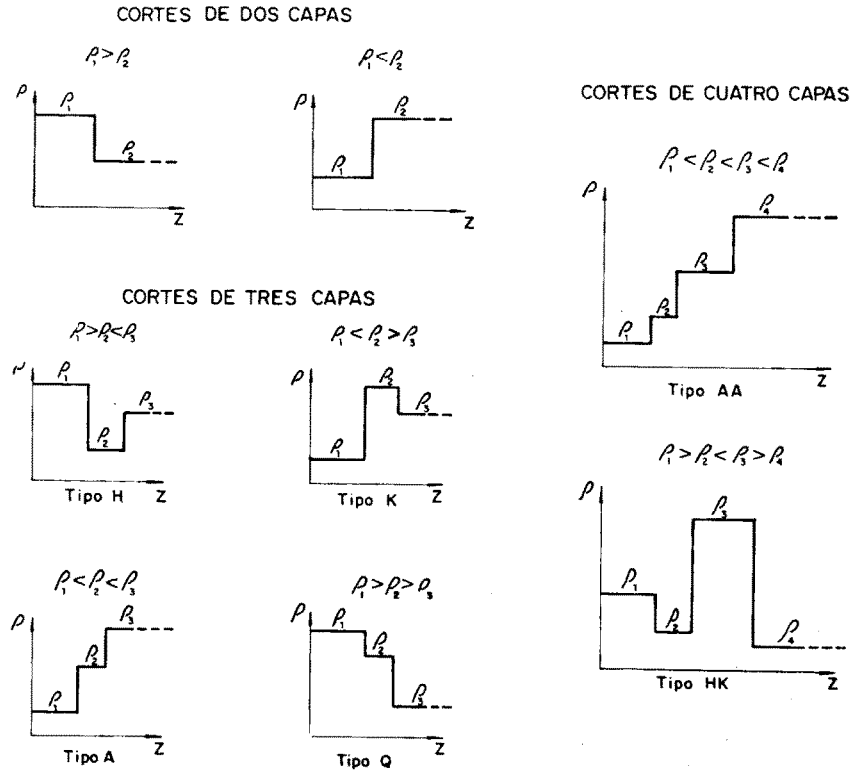


FIG. IV-4. Curvas de resistividad verdadera (CRV) para diversos cortes geoelectricos. Nomenclatura de los tipos de cortes.

Al representar gràficament la distribució de resistivitats en un tall geoelectric empram escales logarítmiques en ambdós eixos, s'obindrà una gràfica esglaonada del mateix tipus que les representades a la present figura. S'anomenen a aquests gràfics logarítmic, corbes de resistivitats vertaderes (abreviat CRV).