UNIDAD 5:
EXPLORACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

5.A. Métodos de Exploración
Distintos métodos de exploración: métodos indirectos y métodos directo. Criterios de selección de cada uno.

5.B. Métodos Indirectos
Prospección Geoeléctrica. SEV (Sondeos Eléctricos Verticales). Objetivos y trabajos de campo. Curva de campo y curva teórica. Interpretación de resultados (Cortes Geoeléctricos - Planos isopáquicos de espesores saturados. Planos estructurales del basamento de la cuenca. Planos de Isoresistividad Transversal).

5.C. Métodos Directos

Pozos de exploración, Perfil litológico. Perfilaje eléctrico, resistividad, Normales Cortas y Largas. Potencial Espontáneo (SP). Rayos gamma natural. Perfiles de penetración. Perfiles Múltiples de Pozos. Relación e interpretación.

Perforación Exploratoria

Una vez terminada la etapa de exploración superficial, del análisis de los datos obtenidos de los sondeos eléctricos verticales (SEV), surge la **ubicación de un lugar adecuado** para realizar una **perforación** que permita contrastar estos datos con la realidad de las formaciones subyacentes en ese lugar y saber si habrán posibilidades reales de encontrar agua subterránea.

El método más seguro para conocer las características de estas formaciones es el de perforar a través de ellas.



A ésta perforación se la conoce con el nombre de pozo de exploración o

PERFORACIÓN EXPLORATORIA

Perforación Exploratoria

Cuando la **zona** es **conocida**, porque ya existen varias perforaciones, en función de los antecedentes técnicos de esas perforaciones, se proyecta el Programa de Perforación y se construye el pozo; a la **primera carrera de perforación**, también se la denomina **perforación exploratoria**, puesto que servirá para realizar los estudios necesarios para **conocer cómo se va a terminar de construir el pozo**.

El diámetro de corte de esta perforación es de $8^{3/4}$”

Se realizan tres tipos de perfiles:



- **Perfil litológico**
- **Perfil de cronometraje**
- **Perfil o registro de pozo**

Con la información obtenida de la perforación exploratoria se diseña:

- Programa de ensanche
- Entubación
- Cementación / Engravado







Perfil litológico

Recoger material cada un metro o dos, o cada cambio de terreno.

Las muestras se **ordenan** en función de la **profundidad** a la que corresponden.

Luego se **acondicionan** y se **analizan** para determinar el tipo de sedimento.

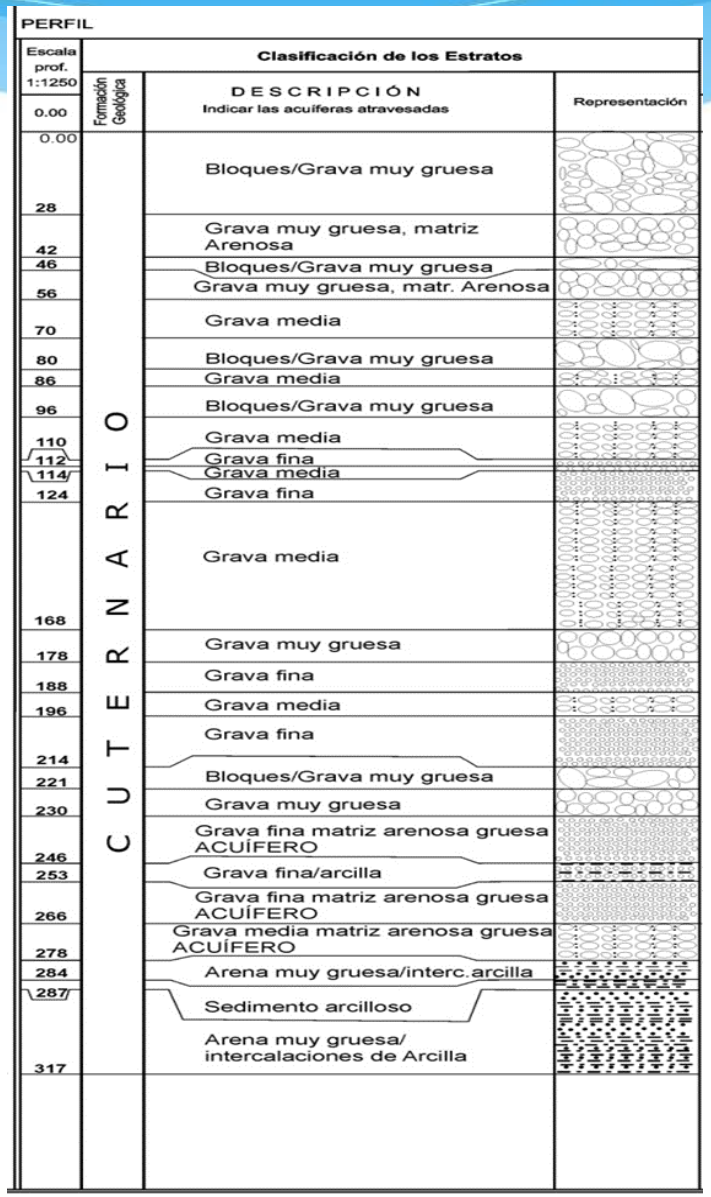




Perfil litológico

Luego del análisis se **grafican** los **tipos de terreno** atravesados en función de la **profundidad**, junto con su representación (rastras)

Perfil LITOLÓGICO

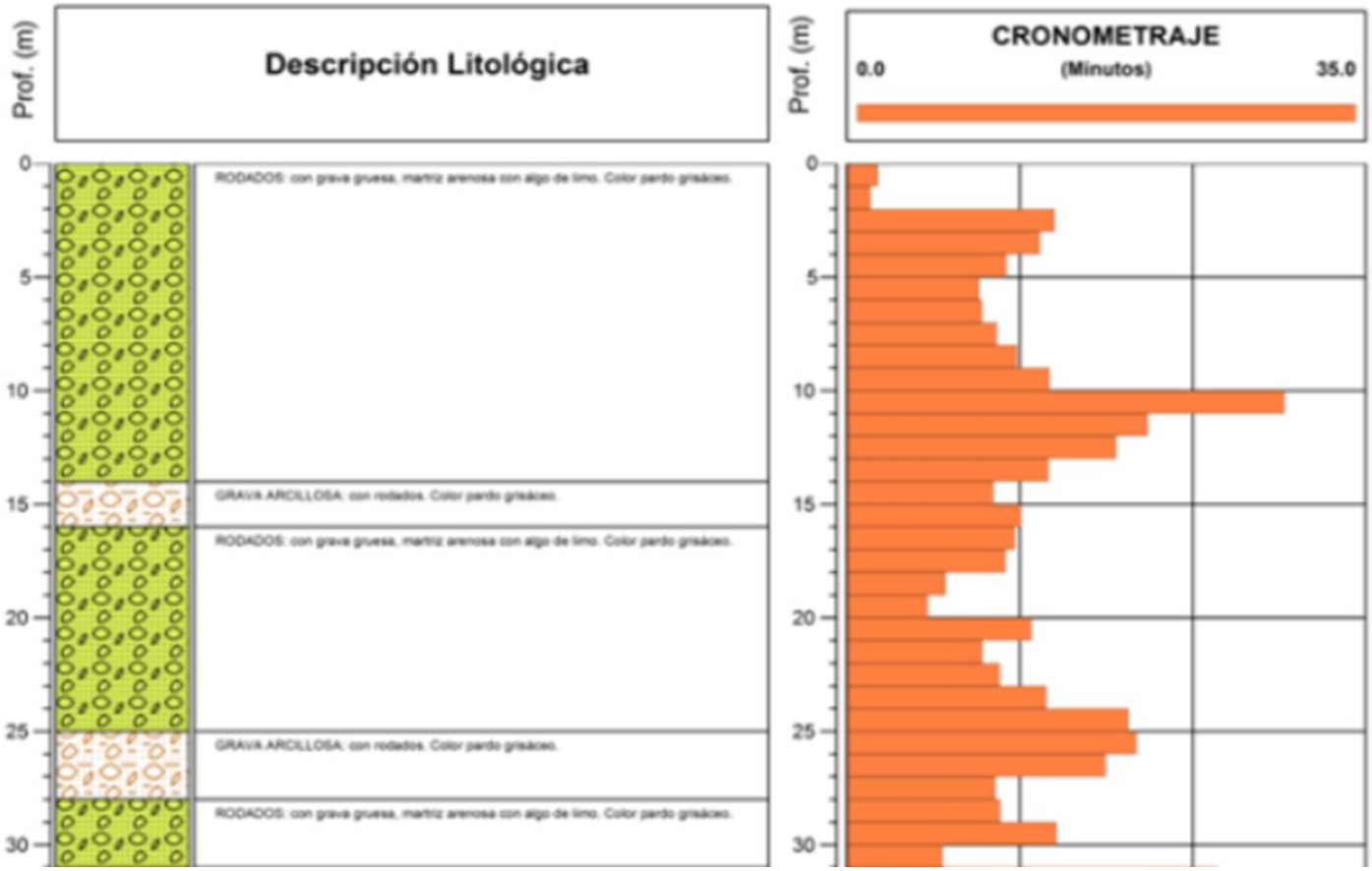


Perfil de cronometraje

Está estrechamente ligado al litológico. Consiste en ir tomando el **tiempo neto** que se tarda en **perforar el metro de formación**

tiempos "bajos" → **materiales finos y blandos**

tiempos "altos" → **formaciones duras** o más cohesivas



Perfil de cronometraje

Este tipo de registro brinda **información** sumamente **útil** relativa a las formaciones.

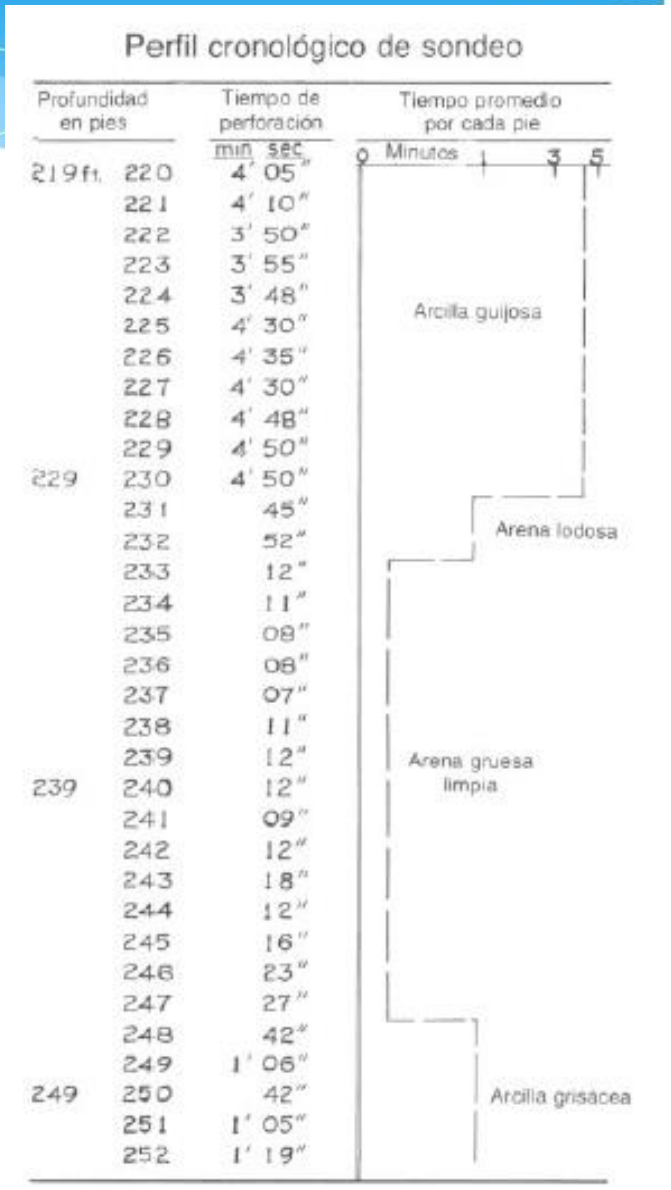
Cualquier perforador se da cuenta si la **velocidad de penetración aumenta o disminuye** e interpreta este hecho en alguna forma.

Existen **factores ajenos** al carácter de cada **formación** que también afectan la velocidad perforación.

Algunos de éstos, son:

- el peso del trépano
- afilado del trépano
- tipo de trépano
- diámetro del pozo
- velocidad del lodo a través de las boquillas
- velocidad de la rotación

Para obtener los mejores resultados, estos factores deben mantenerse **casi constantes**.



Perfil o registro de pozo

Serie de **procedimientos y técnicas** para obtener la mayor cantidad de **información** de los **materiales** (sedimentos o rocas) **atravesados** durante una perforación exploratoria y, **eventualmente**, del **tipo y calidad del fluidos** que puedan ocupar los poros interconectados del material que conforma el suelo y subsuelo.

Consiste en la **grabación continua** de alguna **característica** de las **formaciones atravesadas**, en **función** de la **profundidad**.

Con el perfil de pozo se **verifica y complementa el perfil litológico**.

- **Perfiles**
  - **Registros ELÉCTRICOS**
    - **Potencial Espontáneo (SP)**
    - **Resistividad (R)**
  - **Registros RADIACTIVOS**
    - **Rayos Gamma (GR)**

Componentes de un equipo de perfilaje

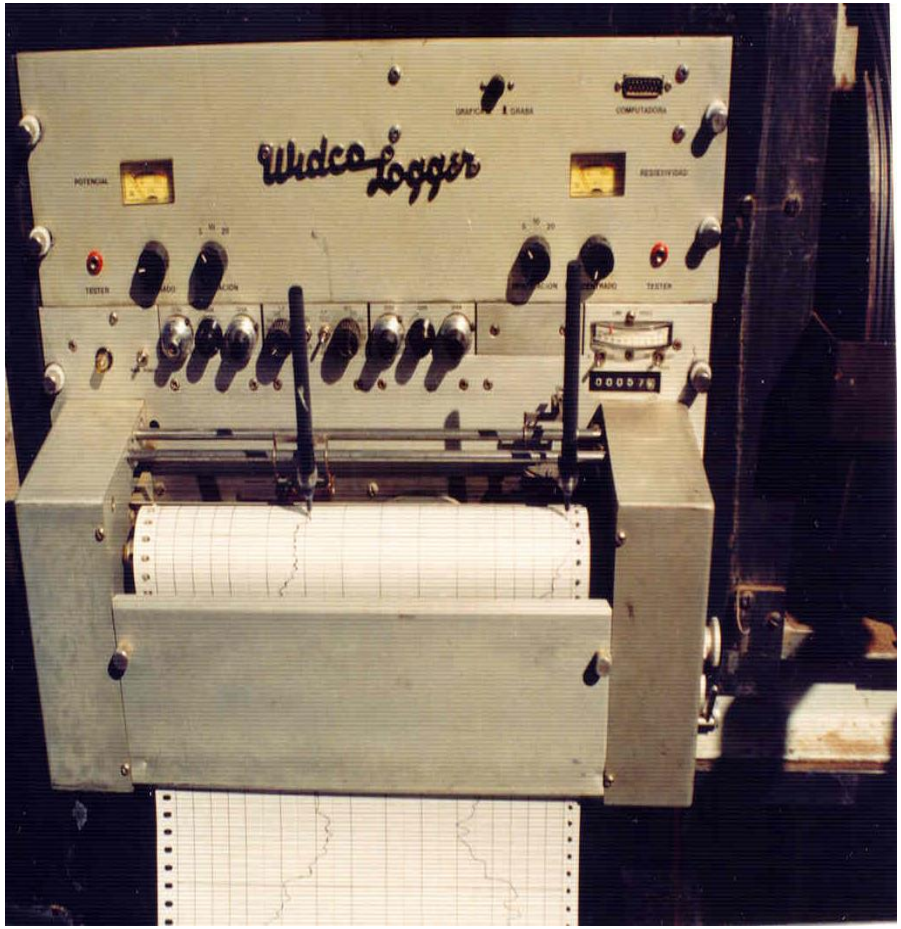
En general un equipo de perfilaje eléctrico incluye cuatro componentes principales:



1. Una **unidad electrónica o módulo de control** que alimenta de corriente eléctrica a la sonda y mide los parámetros eléctricos y la profundidad.
2. Una bobina o carretel para el **cable conductor** y una polea.
3. Una **sonda** donde se alojan los **electrodos**.
4. Un **registrador automático** de los valores de resistividad o potencial en función de la profundidad.

Equipos registradores

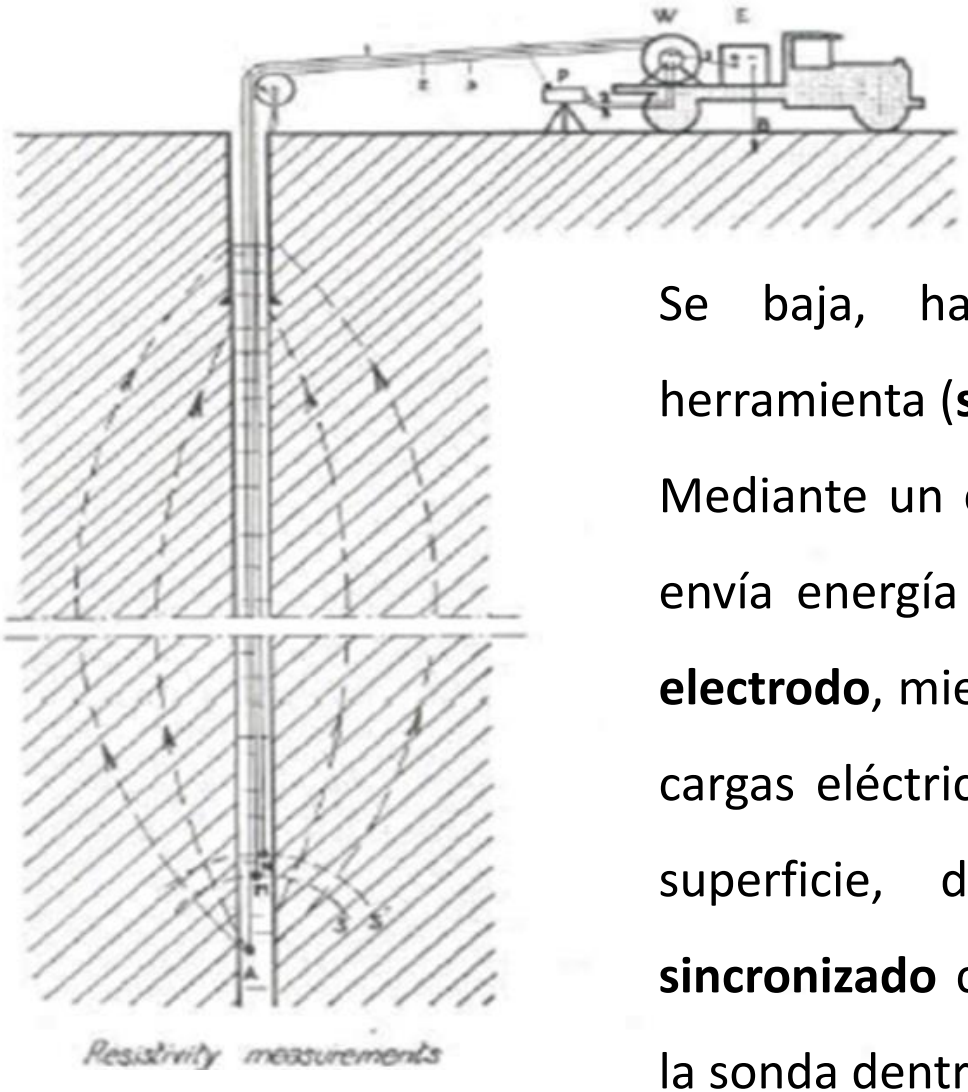
ANALÓGICO



DIGITAL



Maniobra



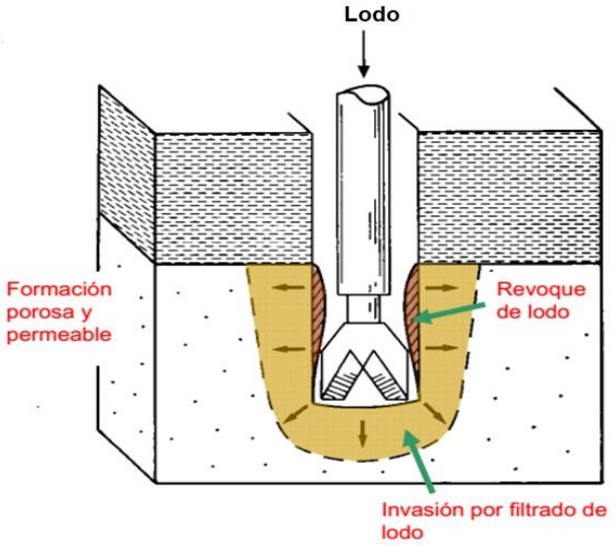
Se baja, hasta el fondo del pozo, una herramienta (**sonda**) que posee **electrodos**.

Mediante un **cable,** un **generador** en superficie envía energía a las formaciones a través de un **electrodo**, mientras **otros electrodos** recogen las cargas eléctricas que por otro cable retornan a superficie, donde se genera un **registro sincronizado** con el **movimiento ascendente** de la sonda dentro del pozo.

En Argentina, mayormente se perfora con el sistema **rotary**, que utiliza un **lodo** o inyección que genera un **"revoque"** en las paredes del pozo y una **"zona invadida"**, que es el espesor hasta donde se filtra el lodo dentro de los estratos perforados.

La **distancia radial** hasta donde el lodo se **infiltra** estará en función de:

- **tipo de lodo**
- **permeabilidad de la capa**



Este concepto es importante porque existen perfilajes que miden propiedades:

- del **revoque**
- de la **zona invadida**
- de la **zona virgen o no invadida**

Perfil de invasión del lodo

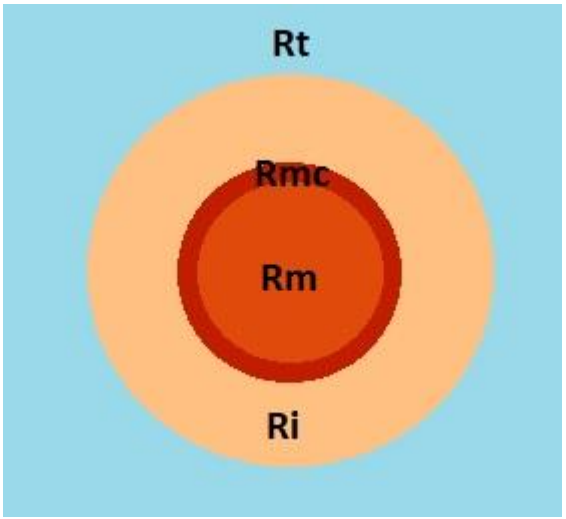
Durante la perforación de un pozo, el fluido de perforación (lodo) penetra en las formaciones y afecta su resistividad.

Regiones y Capas

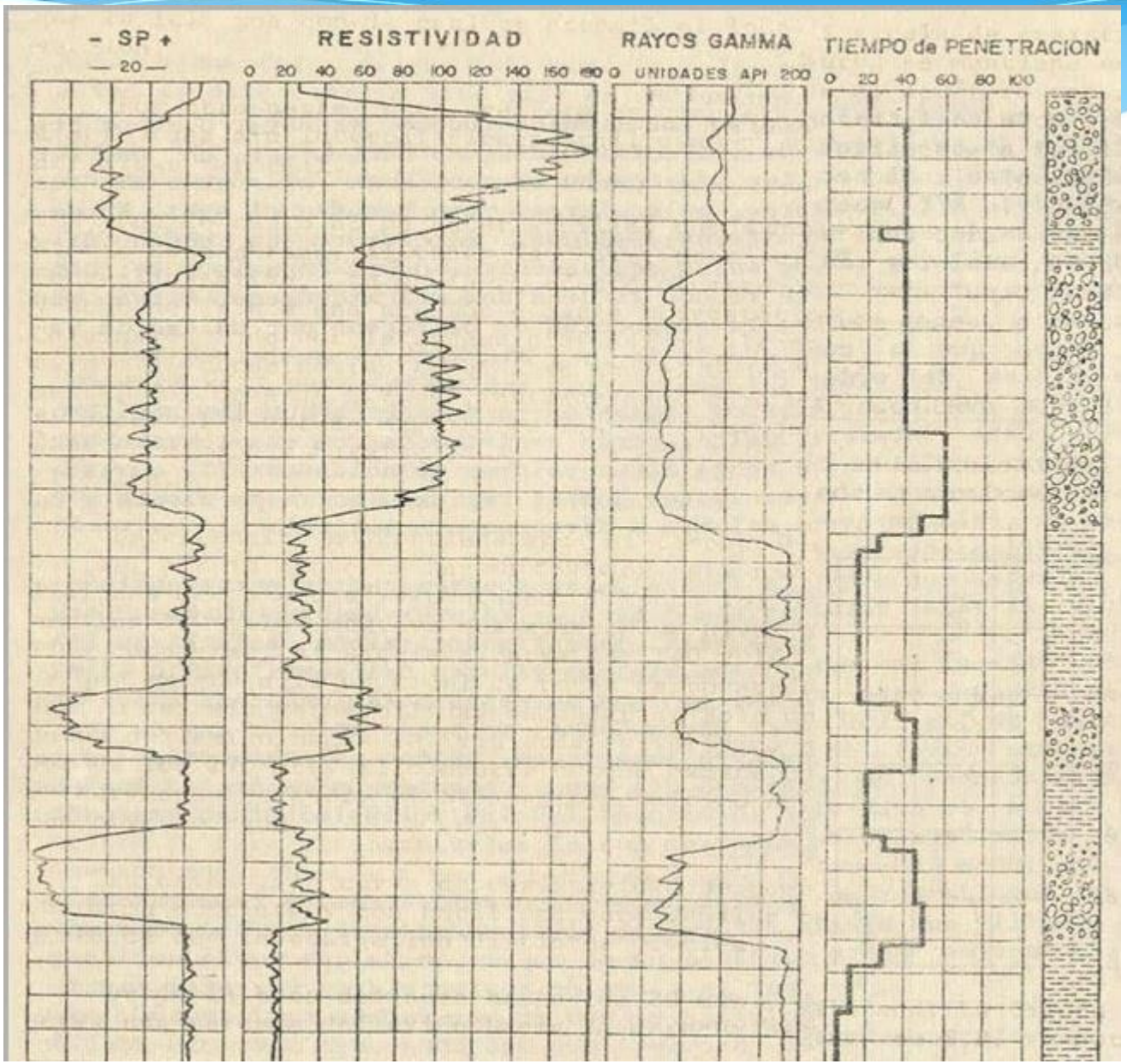
Rm: Resistividad del fluido de perforación (mud)
Rmc: Resistividad del revoque (mudcake)
Ri: Resistividad de la zona invadida, donde el filtrado del lodo ha desplazado casi por completo a los fluidos originales (agua).
Rt: Resistividad de la zona virgen o no invadida que contiene los fluidos originales de la formación, sin alteración.

Rt = Ro + Rw

Ro: Resistividad del sedimento saturado al 100% con agua de la formación.
Rw: representa la resistividad del agua de formación.



Registros


- SP +
— 20 —
RESISTIVIDAD
0 20 40 60 80 100 120 140 160 180
RAYOS GAMMA
0 UNIDADES API 200
TIEMPO de PENETRACION
0 20 40 60 80 100

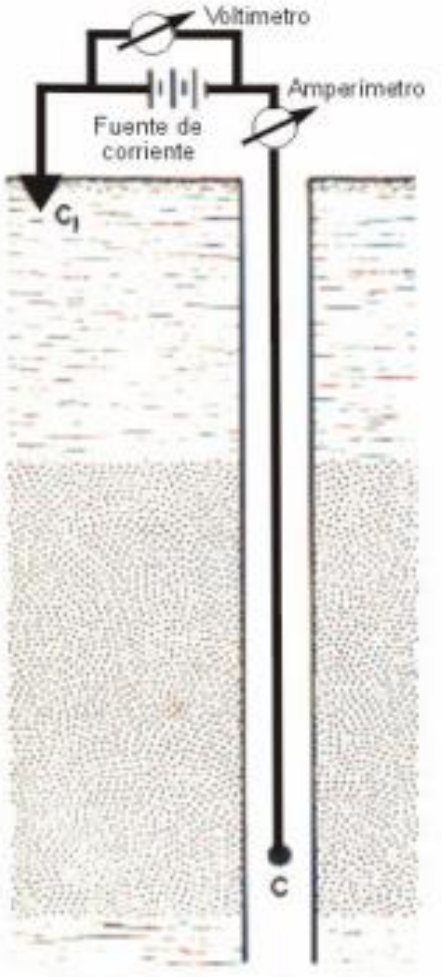
Potencial espontáneo (SP)

La curva de SP **registra** el **potencial eléctrico** producido por la **interacción del agua de formación, el lodo de perforación y ciertas rocas** (lutitas o arcillas).

Se mide la diferencia natural en el potencial eléctrico (mV), entre un electrodo móvil dentro del pozo (C) y un electrodo fijo (de referencia) en la superficie (C_1), en función de la profundidad.

Se lo utiliza en forma **cualitativa**.

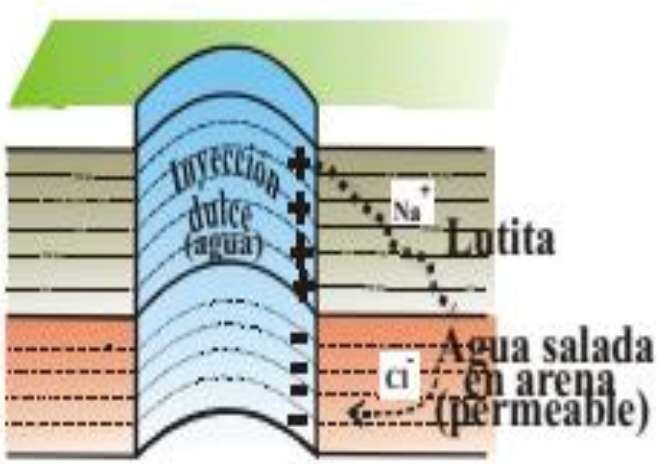
- Identificar zonas permeables y porosas.
- Determinar los horizontes de arcillas.
- Correlacionar unidades litológicas (combinado con Resistivo).



Potencial espontáneo (SP)

Se presenta por un fenómeno natural que ocurre cuando un nuevo fluido (lodo de perforación) rompe el equilibrio de la formación.

Los iones **Na^+** y **Cl^-** se mueven de las **soluciones más concentradas** a las **menos concentradas**.
Este **movimiento** de **iones cargados** constituye una **corriente eléctrica**.
La **fuerza** que causa que se **muevan**, constituye un **potencial** a través de las arcillas.



Las **corrientes eléctricas** son **inducidas químicamente**, sólo si la **salinidad del fluido de perforación** es **diferente** a la **salinidad del agua o sedimentos** (movimiento de Cl^- y Na^+).

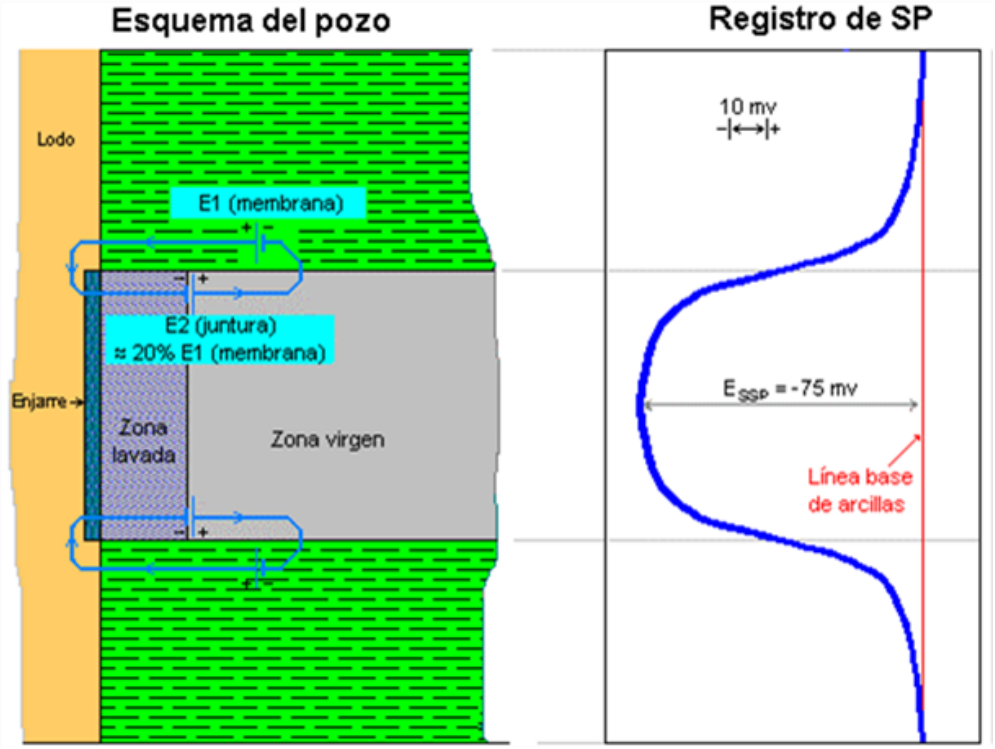
Sólo se puede registrar en pozo abierto y con **lodos base agua**.

Potencial espontáneo (SP)

Cerca del borde derecho de un registro de SP se encuentra la llamada "**línea base de arcillas**", **indica**ndo la presencia de **horizontes impermeables** como arcillas, lutitas y rocas compactas.

Por conveniencia, esa línea de arcillas **representa** el cero o el **potencial de referencia**, de manera que:

- los registros hacia la **derecha** de la línea son **positivos**
- los registros hacia la **izquierda** de la línea son **negativos**

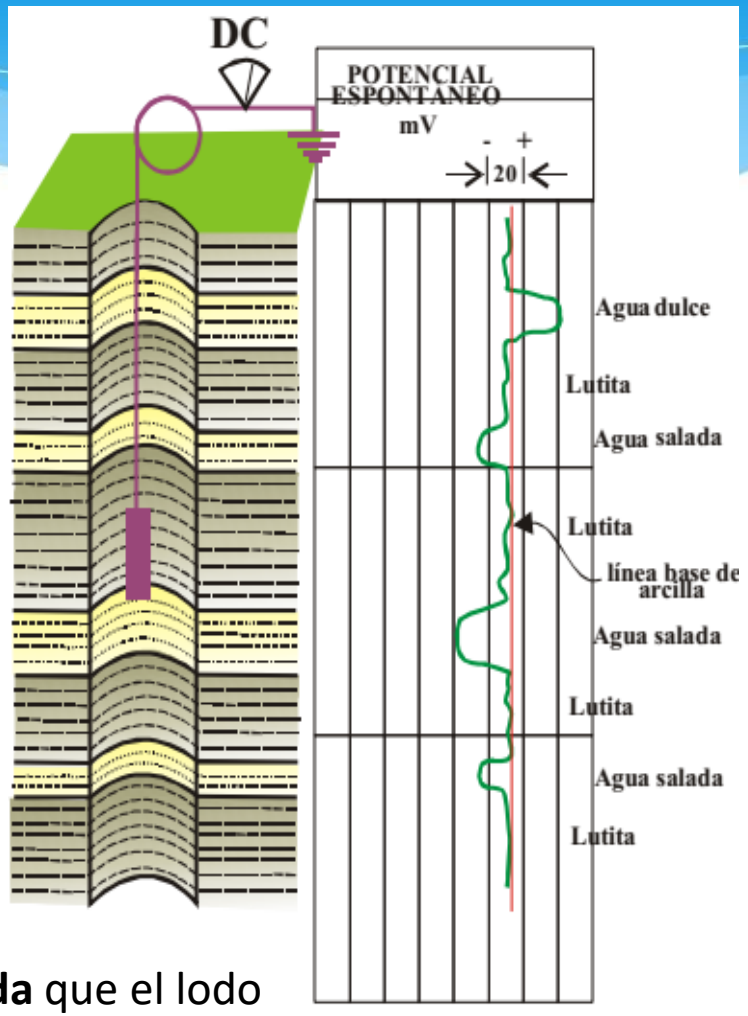


Potencial espontáneo (SP)

Más que los valores de la medición, lo **importante es la deflexión relativa** entre una capa y otra.

El perfil de potencial espontáneo da una **idea cualitativa** de si el **agua de formación** es de **mayor o menor salinidad** con respecto al **lodo de perforación**.

Por lo tanto, es imprescindible **medir** la **conductividad** del **lodo** para poder analizar el registro de potencial espontáneo.



Desvíos:

- hacia la **izquierda**; agua de formación **más salada** que el lodo
- hacia la **derecha**; agua de formación **más dulce** que el lodo

En caso de que el **lodo** y el **agua de formación** sean de **igual salinidad** la curva de SP **no muestra desviación**.

Resistividad (R)

Estos registros **miden** la **resistividad** de las **capas atravesadas** cuando se hace circular una **corriente eléctrica**.

- Identificar zona **saturada y no saturada** (posición del NE acuíf. libre)
- Identificar la **calidad** del agua
- Correlacionar unidades litológicas (combinado con SP o GR)

El **principio** es **igual** al del **método geoeléctrico de superficie** (se basa en la ley de Ohm); cambia el dispositivo geométrico (y la constante).

La resistividad del sistema fluido-roca (sedimentos) saturada depende de tres factores fundamentales:

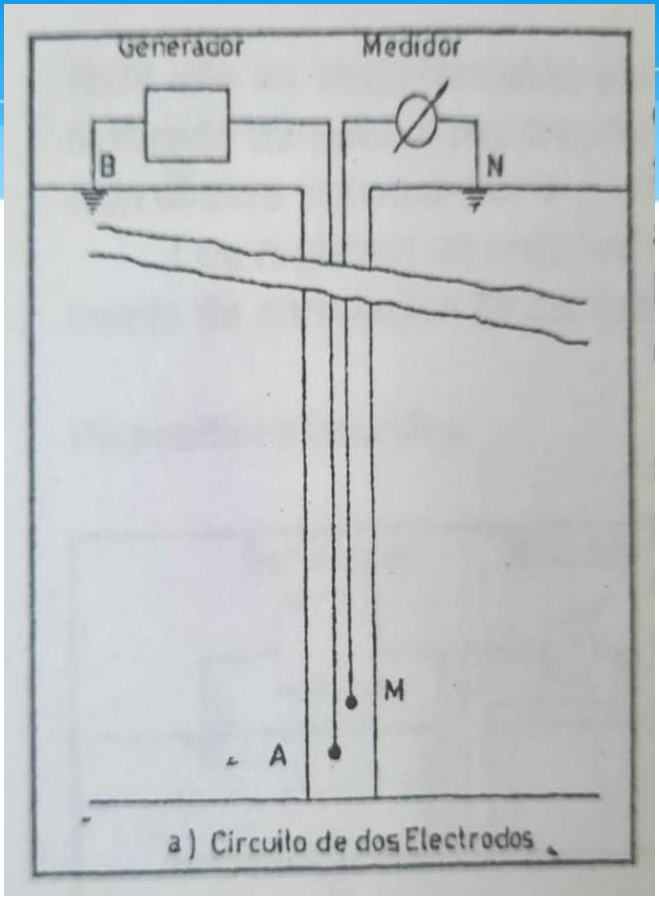
- **salinidad** del fluido intersticial
- **porosidad** de la roca o sedimentos
- **temperatura** de ambos (roca-fluido)

Otros factores a tener en cuenta son:

- la mineralogía de los materiales sólidos
- la geometría del espacio poroso.

Resistividad (R)

El **dispositivo** que más se utiliza es el denominado **Normal**, donde un electrodo de corriente **(A)** y uno de potencial **(M)** están en la sonda que se introduce en el pozo y el otro electrodo de potencial **(N)** se dispone en superficie, en la pileta de inyección y el segundo electrodo de corriente **(B)** puede instalarse en superficie, en la boca del pozo, o puede estar en el cable a 15 metros por encima de la sonda.



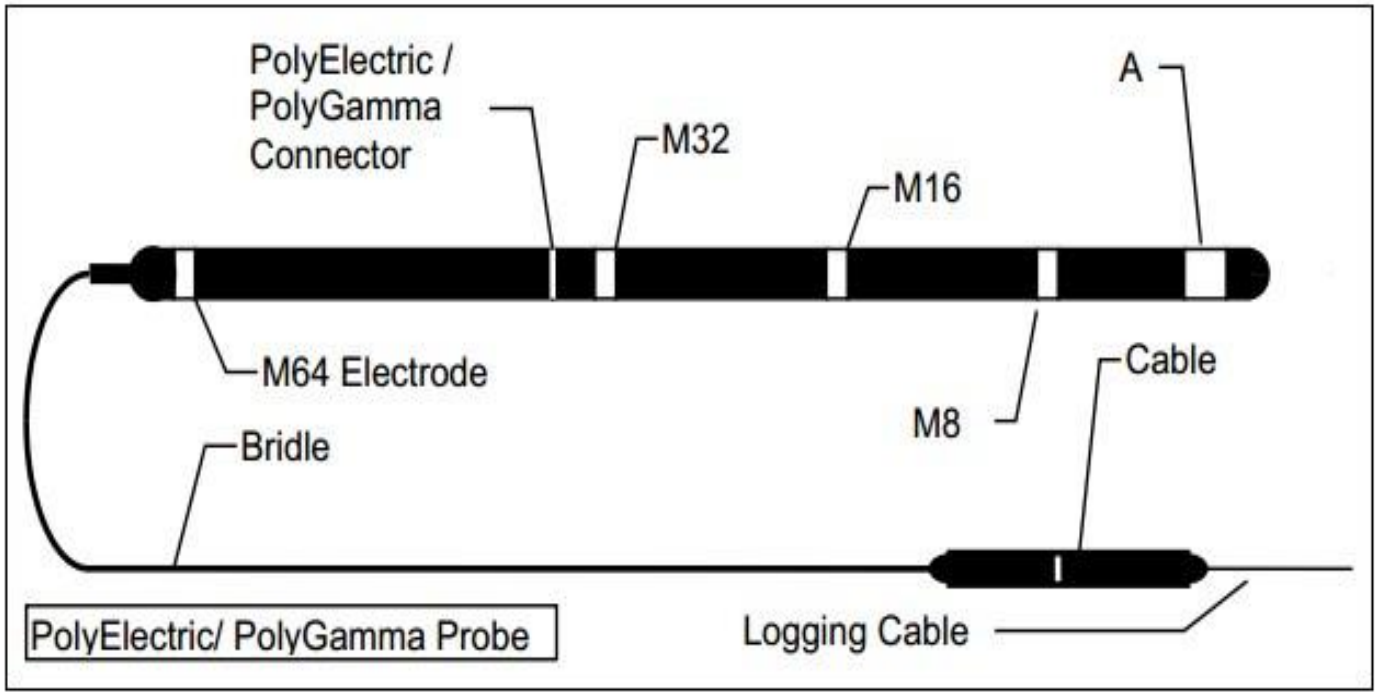
Existen 3 tipos comunes de **resistividad Normal**

- **Corta:** distancia **AM** es de **8''**
- **Media:** distancia **AM** es de **16'' o 32''**
- **Larga:** distancia **AM** es de **64''**

El campo de investigación de una sonda Normal se asume que es una **esfera** de diámetro **2AM**. Por lo que, desde el centro del pozo:

- **Normal Corta** investiga hasta **0,20 m** (resistividad de la **zona invadida)**
- **Normal Larga** investiga hasta **1,60 m** (resistividad de la formación sin alterar)

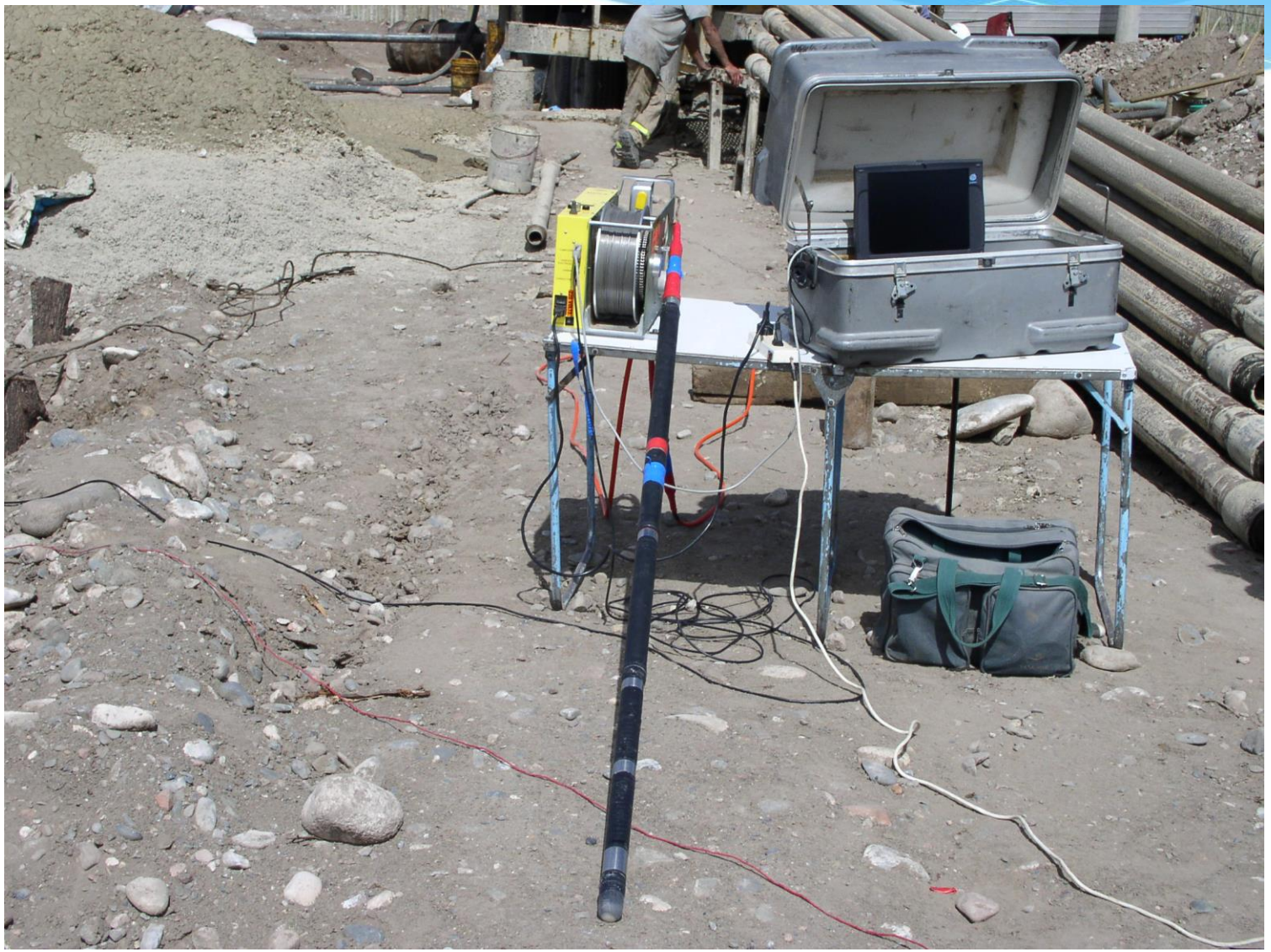
Resistividad (R)



Electrodes:

Electrode	Functional Name
Bottom electrode	'A' electrode or Current Electrode, and 'R': single point resistance electrode
Second from bottom	'M8' electrode: 8inch normal resistivity measure electrode
Third from bottom	'M16' electrode: 16inch normal resistivity measure electrode
Fourth from bottom	'M32' electrode: 32inch normal resistivity measure electrode
Top electrode	'M64' electrode: 64inch normal resistivity measure electrode; and 'SP': self potential electrode
Cable Armor	'N' electrode: measure reference electrode
Surface Electrode	'B' electrode: current return electrode (Mudplug)

Equipo perfilador



Rayos Gamma (RG)

- Identificar litologías.
- Correlacionar unidades litológicas (combinado con SP o con R).

Principio:

Algunos **elementos** tienen **isótopos radioactivos naturales** (emiten radiación) muy abundantes en la corteza terrestre: **^{40}K** y en menor medida Th y U

átomo ^{40}K (inestable) → **átomo estable** → **emite radiación gamma**

Estos elementos forman parte de:

- Rocas ígneas: mayoría de los silicatos
- Sedimentos:
  - se concentra en **ARCILLAS** y lutitas
  - menor cantidad en arenas y calcáreos

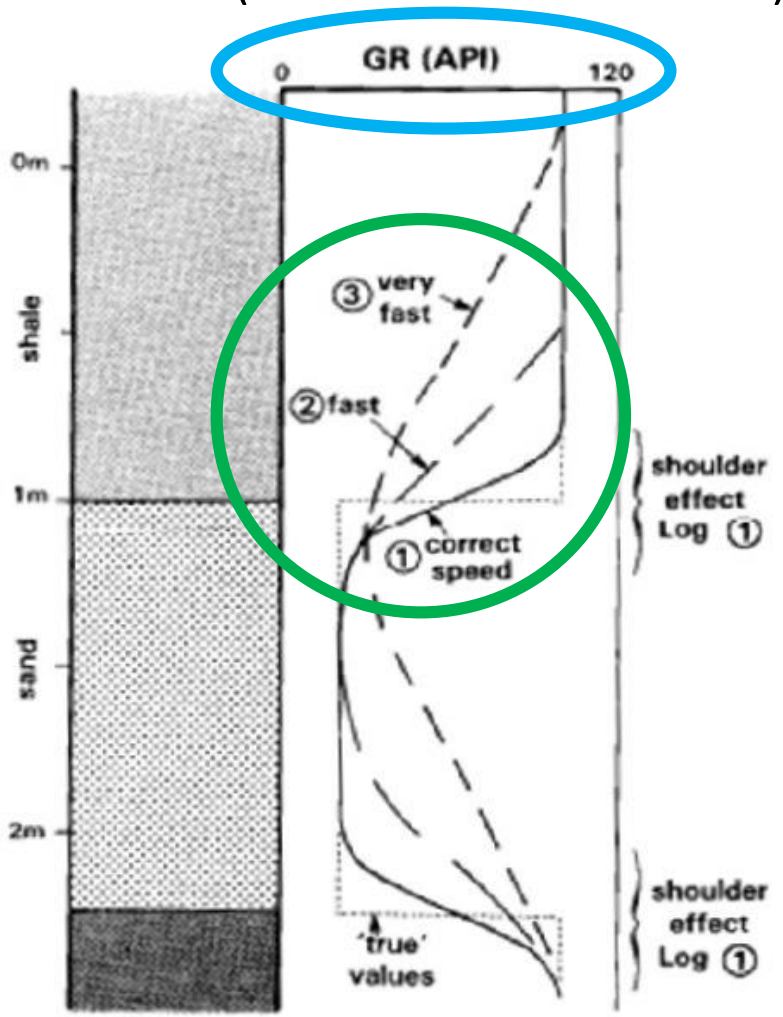
Perfilaje de Rayos Gamma permite discriminar arcillas de otras formaciones

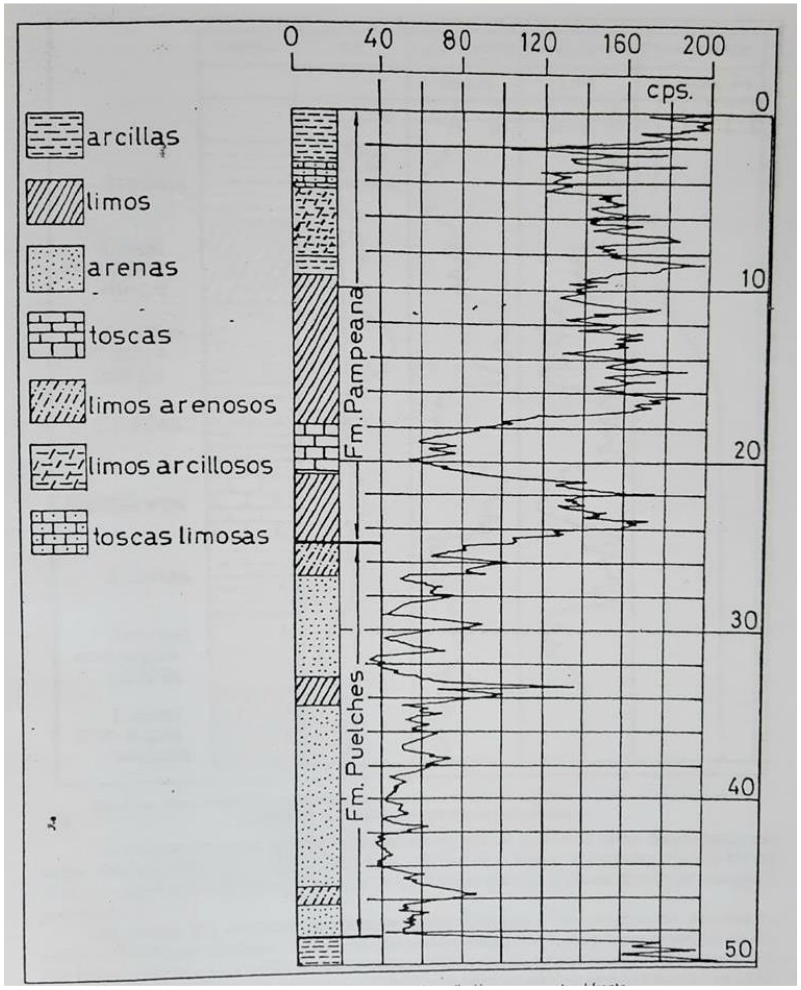
La herramienta registra la radiación gamma espontáneamente emitida por los tres isótopos en las proximidades del pozo.

El nivel de GR se registra en:

Unidades API (en escala de 0 – 150 API)

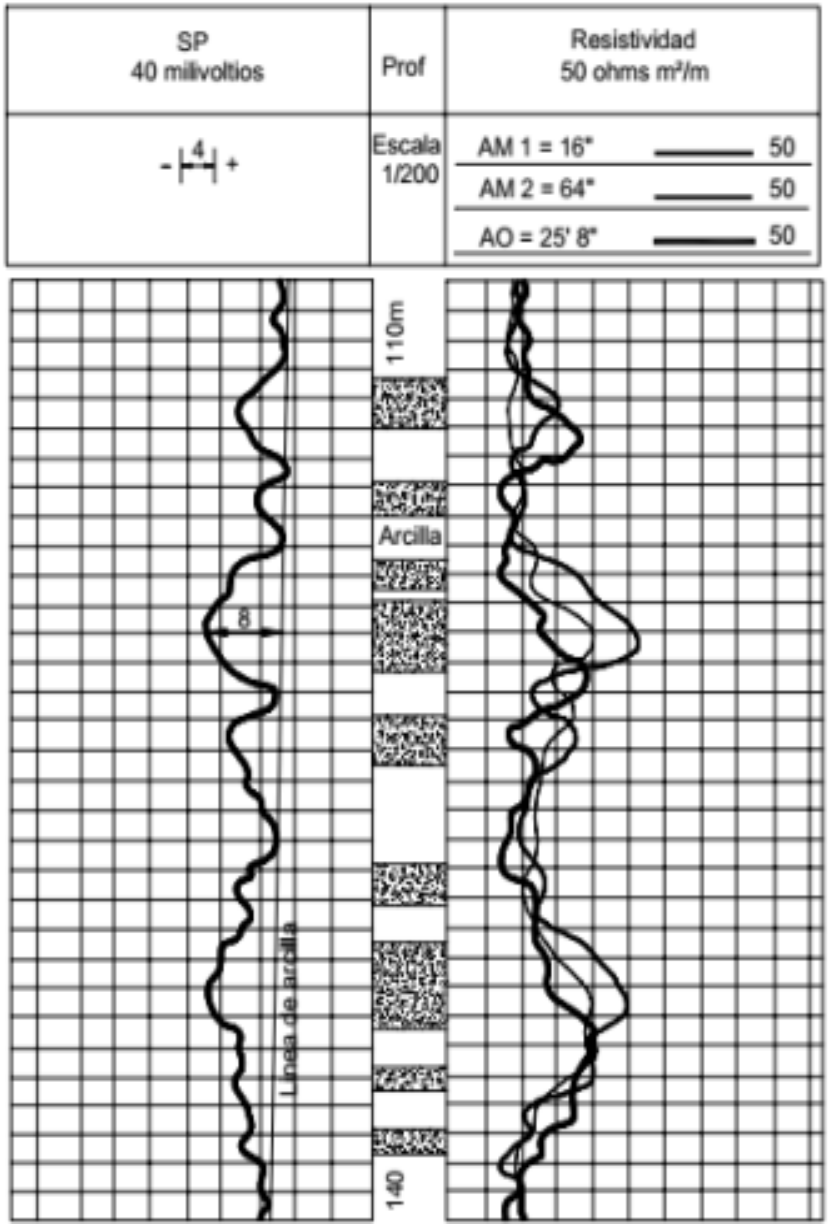
CPS (cuentas por segundo)





Los registros de GR tienen el 0 a la izquierda y el máximo a la derecha

Interpretación de los perfiles Hidrogeología



- Análisis **cualitativo**
- **Resistivo** nos indica datos **litología y calidad** agua.
- **SP y GR** nos indica sobre todo la **litología**.
- **SP** generalmente sirve para litologías de grano grueso.
- **GR** generalmente sirve para litologías finas.

Modo de trabajar

1. **Se observan las diferencias significativas.**
2. **Se analizan con detalle los sectores donde las curvas se separan.**
3. Se analizan con detalle las escalas y se estudia que tipo de litología según el lugar.

Efecto de la SALINIDAD

Salinidad Acuífero ≅ Salinidad Lodo
Pot. acuífero pequeño vs. Pot. arcilla

Salinidad Acuífero **<** Salinidad Lodo
Pot. acuífero más POS vs. Pot. arcilla
Curva → DER

Salinidad Acuífero **>** Salinidad Lodo
Pot. acuífero más NEG vs. Pot. arcilla
Curva → IZQ

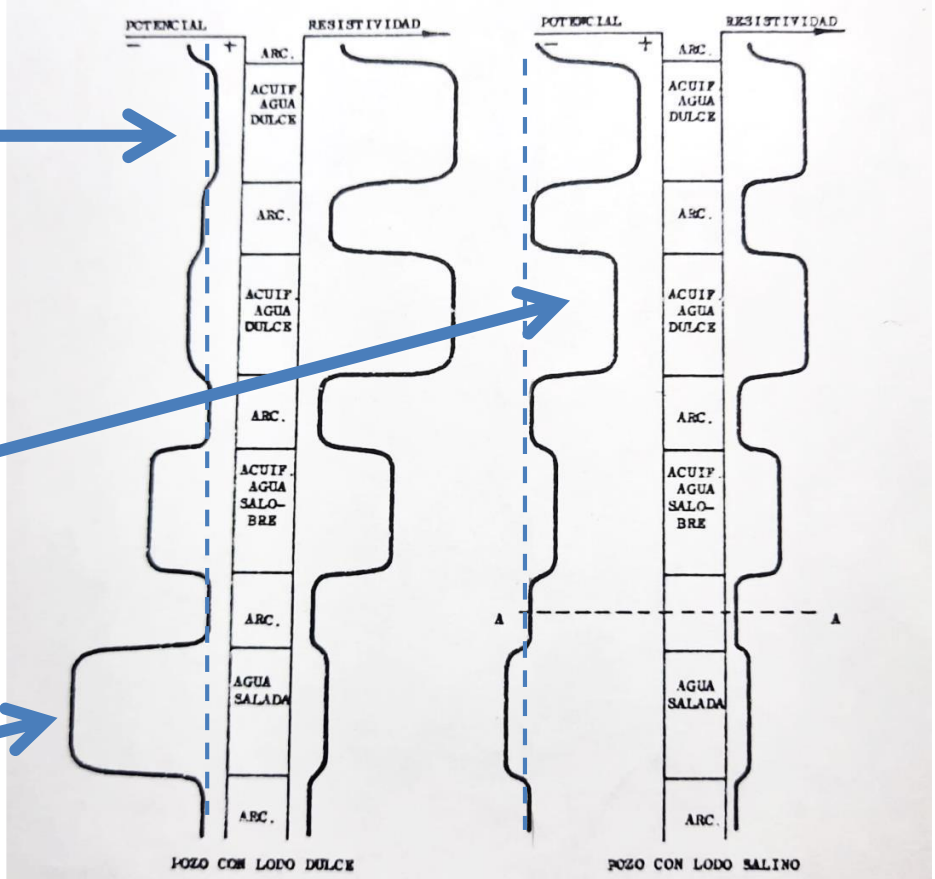


Fig. 2. Registro eléctrico idealizado mostrando el efecto de una formación de agua salina.

Efecto de la POROSIDAD

A medida que

AUMENTA la porosidad,

DISMINUYE resistividad

AUMENTA potencial

Arenas y Gravas

tienen:

Menor resistividad

Mayor potencial

que

Areniscas y Calizas

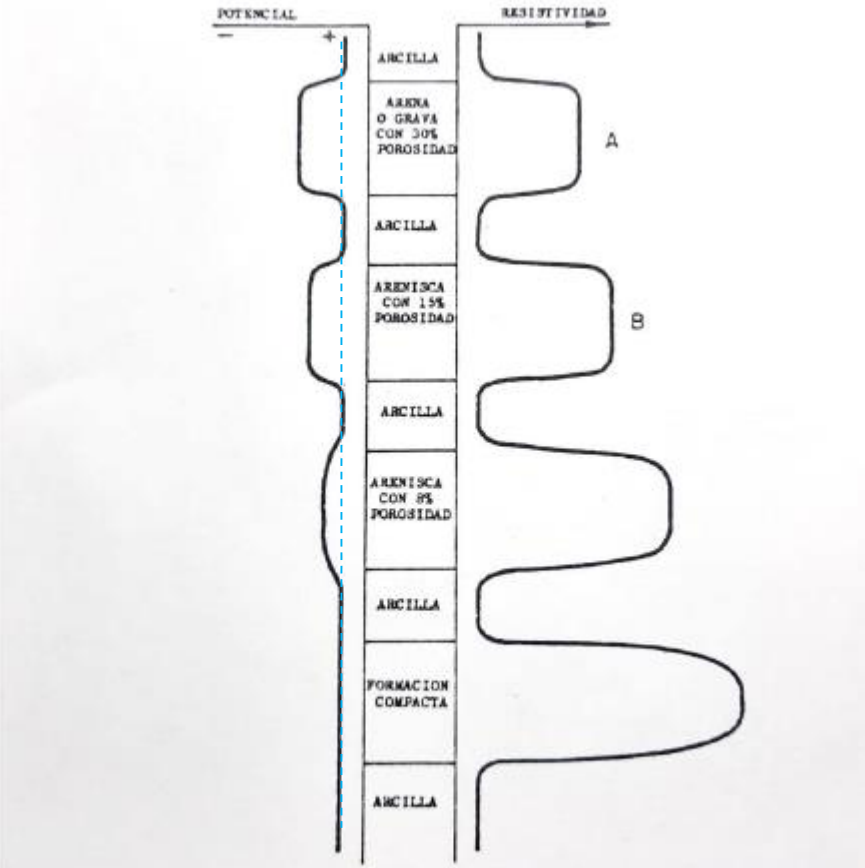


Fig. 3. Registro eléctrico idealizado mostrando el efecto debido a cambios de porosidad en el acuífero.

Efecto del CONTENIDO DE ARCILLA

Arcillas son de
BAJA resistividad
y
BAJO potencial
comparadas con un acuífero.

Un acuífero ARCILLOSO tiene
MENOR resistividad
y
MENOR potencial
que un acuífero LIMPIO

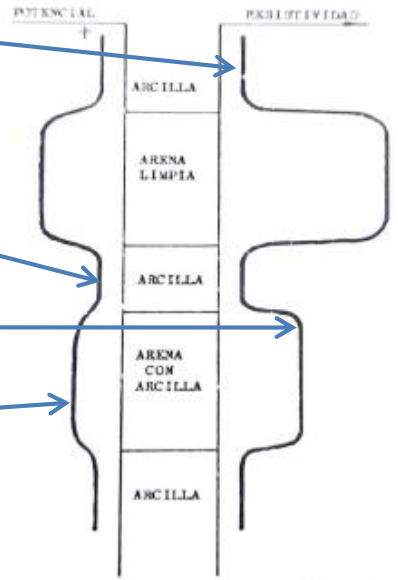


Fig. 4. Registro eléctrico mostrando el efecto de contenido de arcilla en el acuífero.

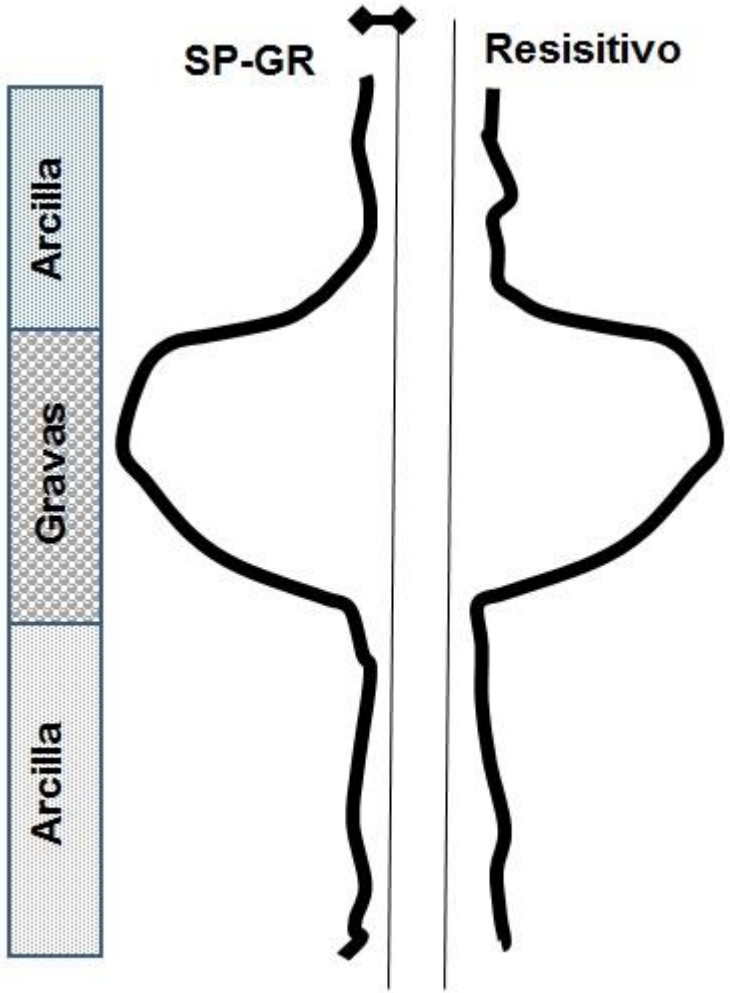
Efecto de la SATURACIÓN

Resistividad formación SATURADA **<** Resistividad formación NO SATURADA

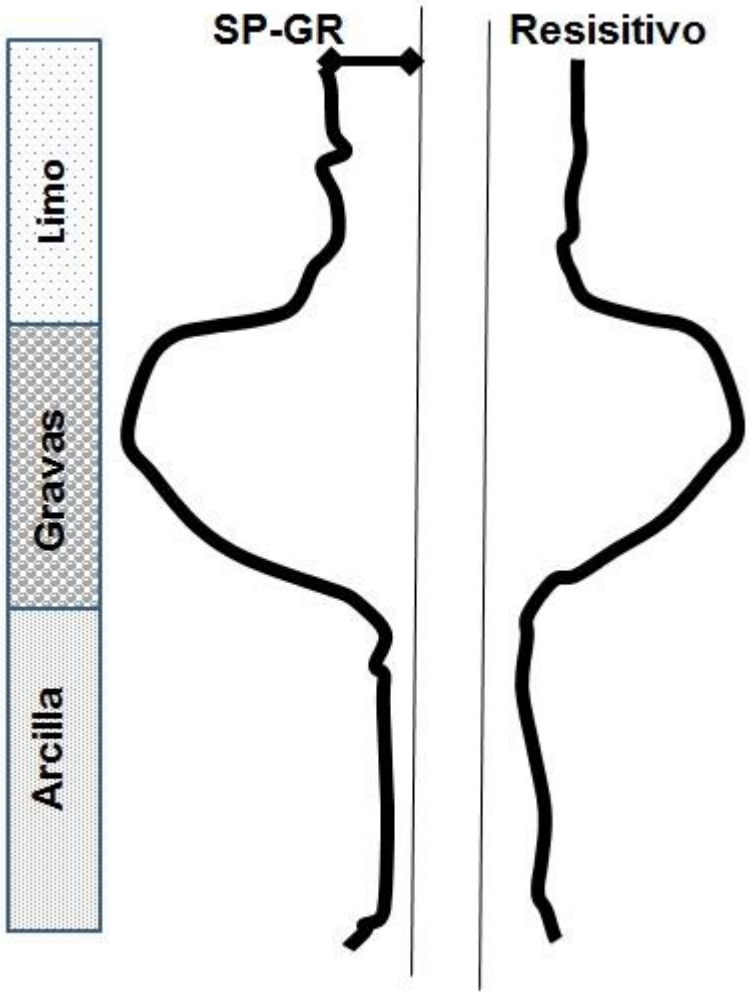
A menor SATURACIÓN, menor Potencial

Resistividad acuífero SECO es similar a una roca compacta

Acuífero confinado



Acuífero semiconfinado



Acuífero libre

