



UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO



**FACULTAD
DE INGENIERÍA**

Operaciones en Yacimientos de Crudos Pesados y Extra pesados

TEMA IIB. MÉTODOS TÉRMICOS

Métodos Térmicos

A Saber

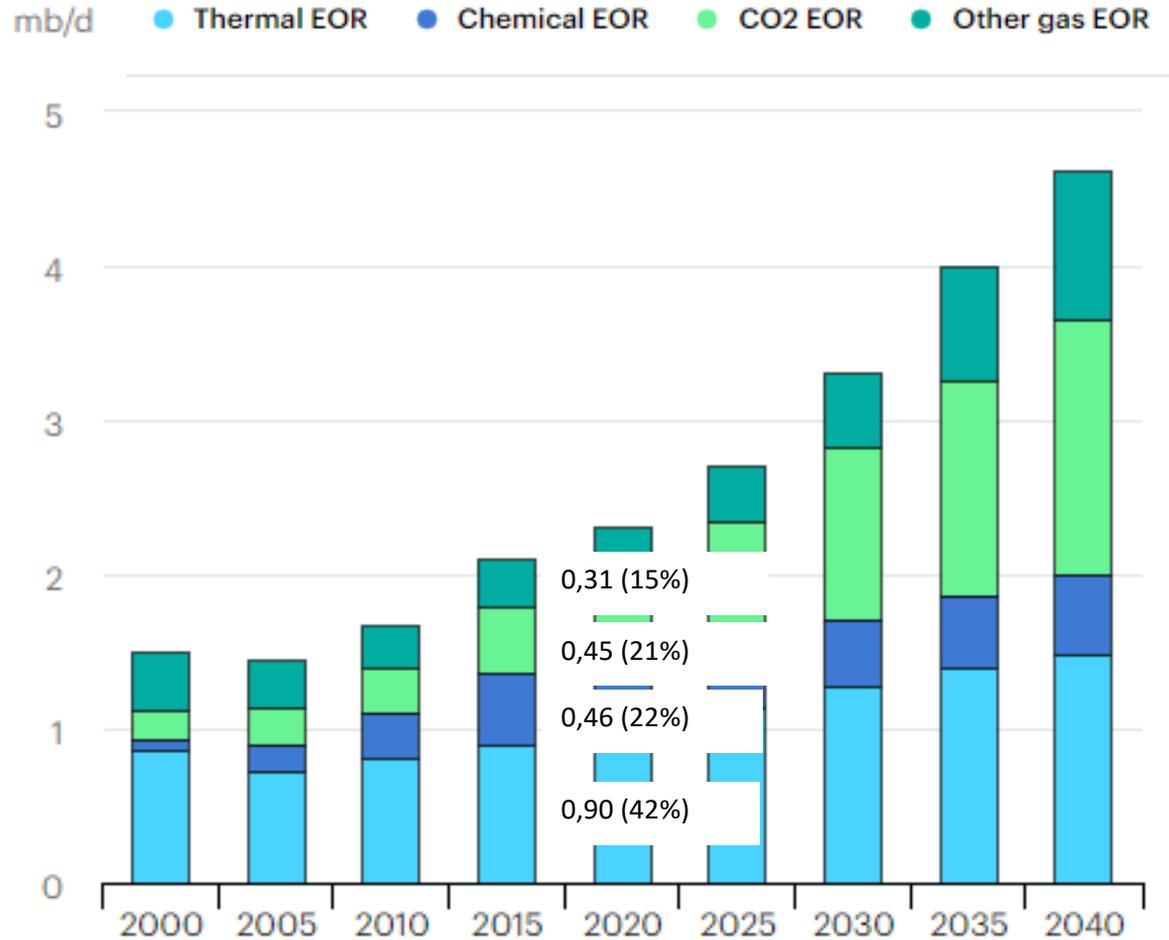
Son los más avanzados de los procesos EOR

Realizados desde los años 1950

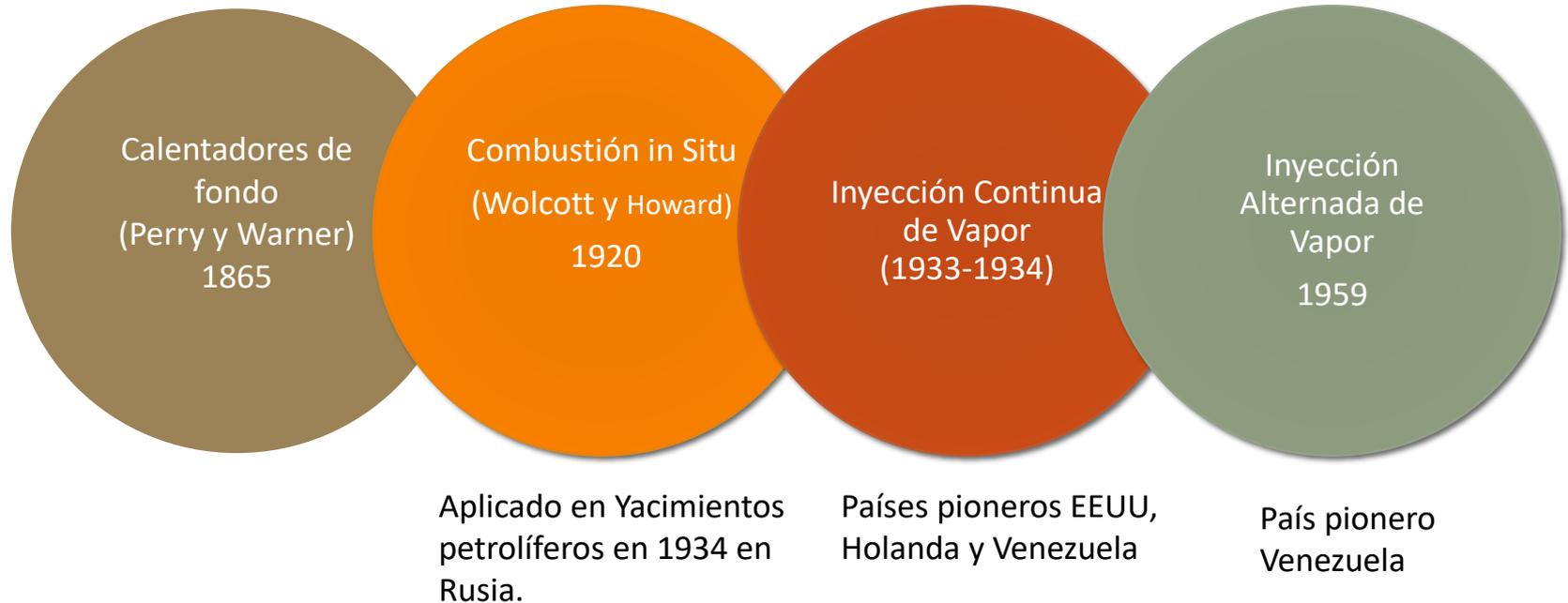
FR 30 – 70%

Fluidos Inyectados: agua caliente, vapor y aire

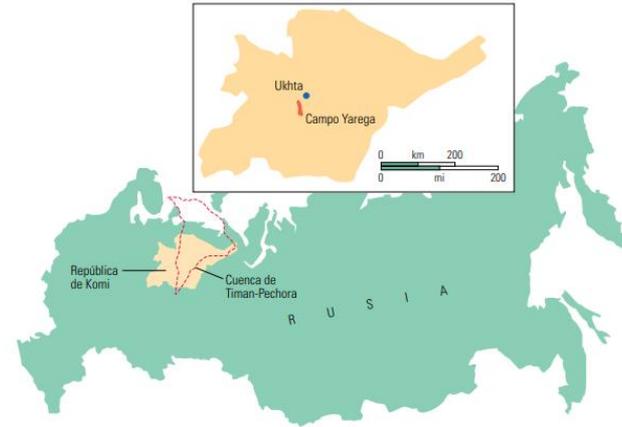
Son los más adecuados de implementar para crudos pesados, extra pesados y bituminosos.



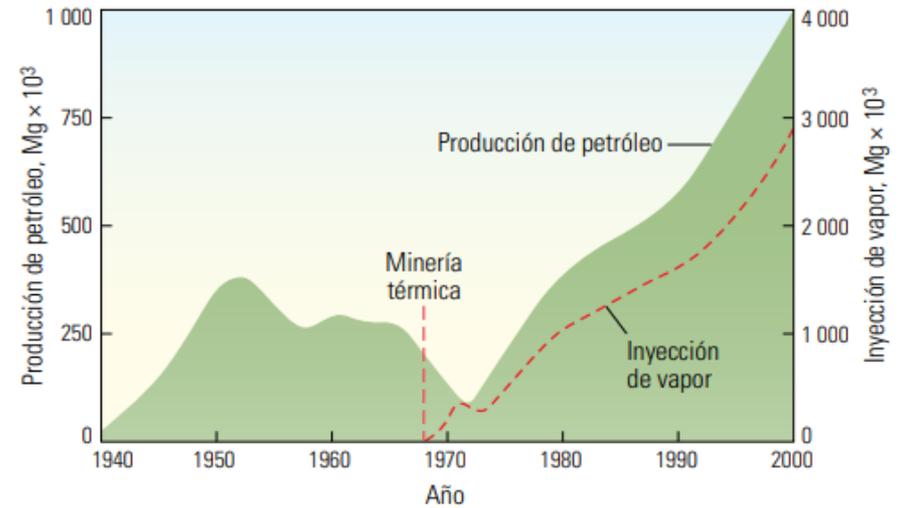
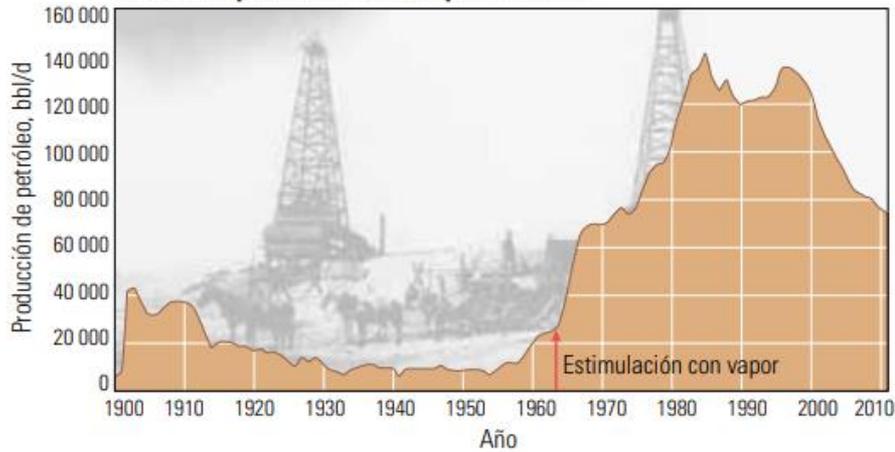
Métodos Térmicos: Cronología



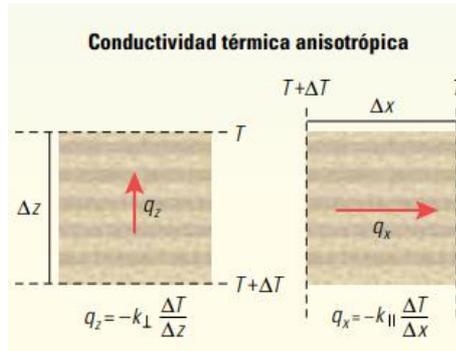
Métodos Térmicos



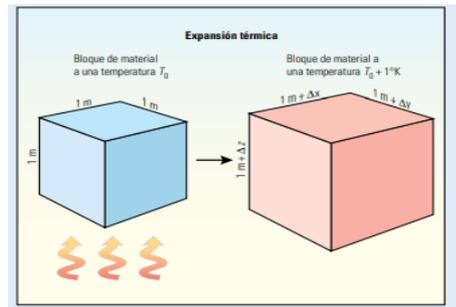
Historia de producción del campo Kern River



Propiedades Térmicas de la Roca: Temperatura y Calor



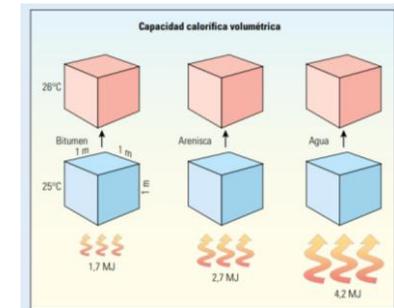
Determina dónde y cuánto calor fluye en respuesta a las diferencias de temperatura del yacimiento.



Relaciona las respuestas térmica y mecánica de la roca yacimiento mediante la determinación del grado de expansión de un volumen de roca a medida que se incrementa su temperatura.



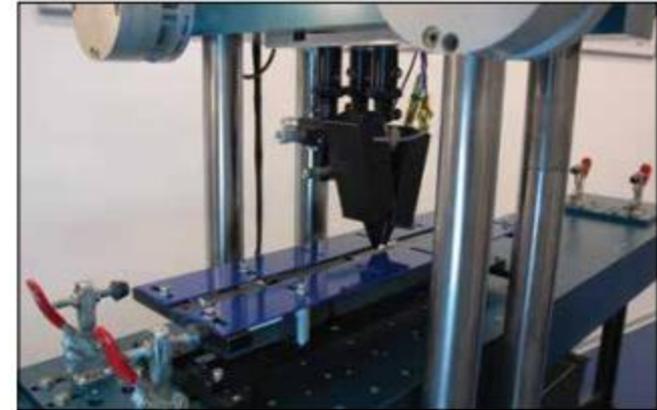
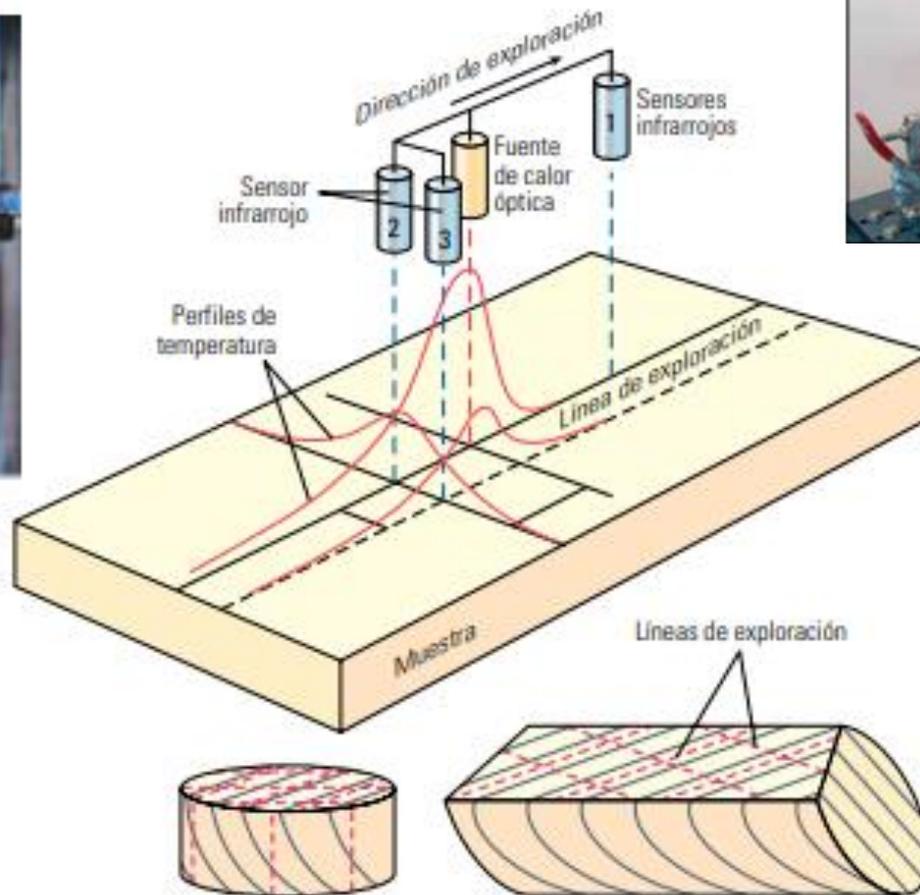
Cantidad de calor requerido para elevar la temperatura de una unidad (1m³) de volumen de roca (y de cualquier fluido intersticial contenido en su interior) en un 1° K.

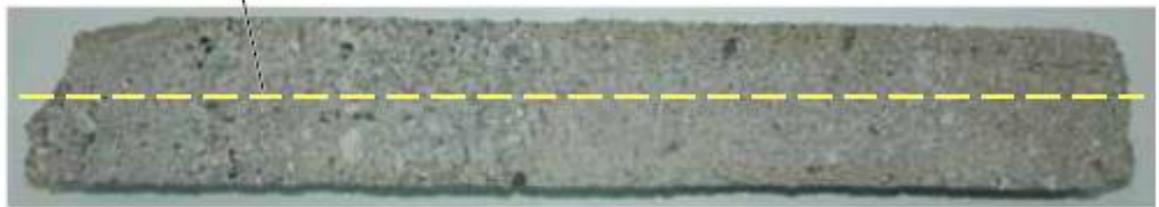
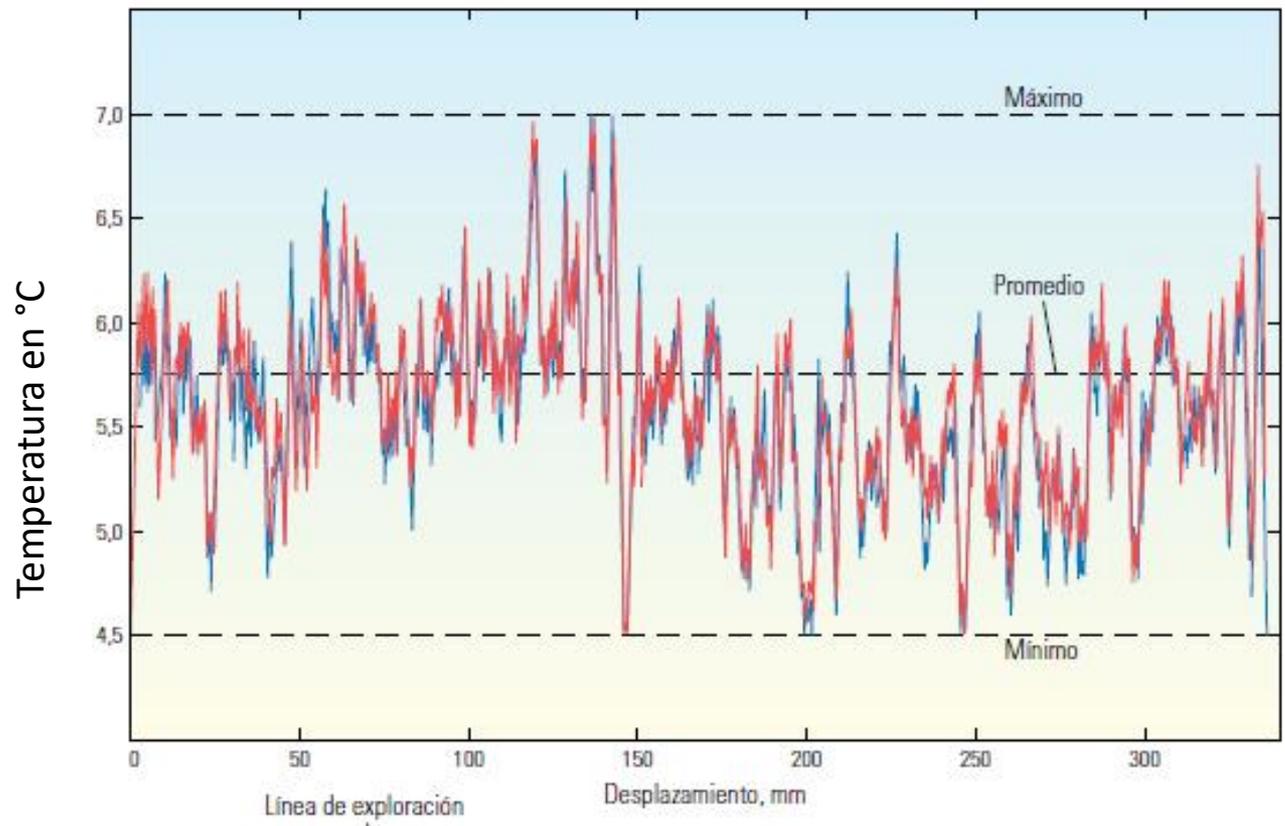


Determina la velocidad con la que se desplaza un frente de temperatura a través del yacimiento.

La difusividad térmica es la relación entre la conductividad térmica y la capacidad calorífica volumétrica.

Método de Exploración óptica





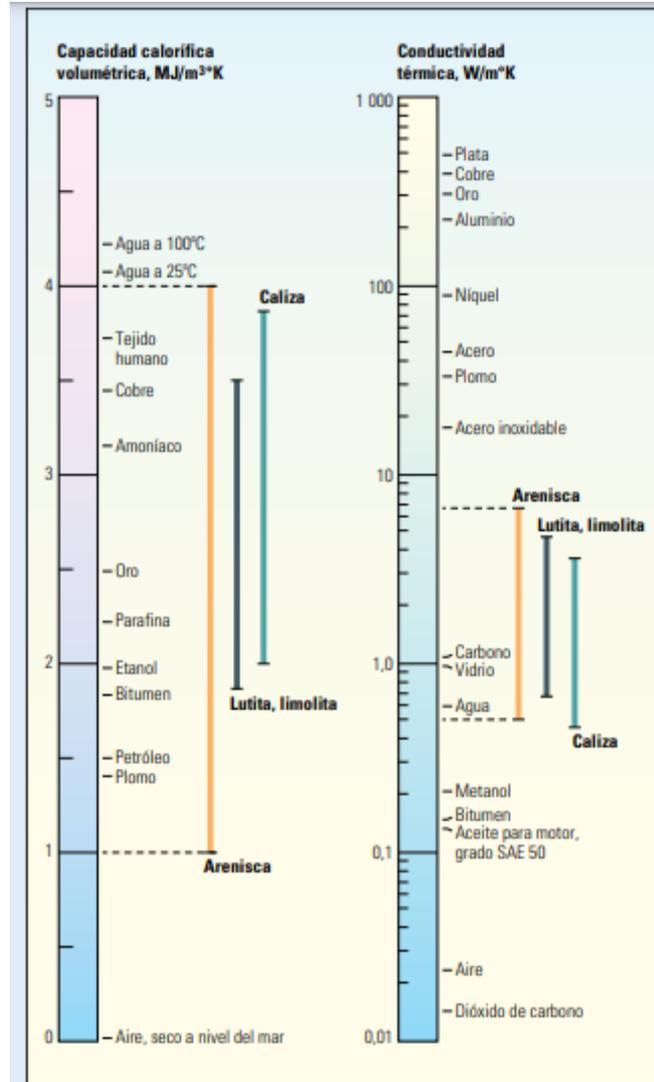
Propiedades Térmicas

Capacidad Calorífica Volumétrica
EL Agua es de aproximadamente
4,2 MJ/m³ °K.

Las rocas en general es más baja y
se encuentra en el rango de

1 a 4 MJ/m³ °K

0,05 y 0,2 BTU/hr-pie-°F



La conductividad térmica
El agua es de alrededor de 0,6 W/m³°K.
Las rocas en general es más alta y su rango oscila
entre 0,5 y 6,5 W/m²°K aproximadamente.

Propiedades Térmicas

ROCA	DENSIDAD $\frac{lb}{pie^3}$	CALOR ESPECIFICO $\frac{BTU}{lb-F}$	COND. TERMICA $\frac{BTU}{h-pie-F}$	DIF. TERMICA $\frac{pie^2}{h}$	
Rocas secas					
2,08 gr/cm ³	Arenisca	130	0,183	0,507 ★	0,0213
	Arena cienosa	119	0,202	(0,400)	(0,0167)
	Limolita	120	0,204	0,396	0,0162
	Lutita	145	0,192	0,603	0,0216
2,32 gr/cm ³	Caliza	137	0,202	0,983 ★	0,0355
	Arena (Fina)	102	0,183	0,362	0,0194
	Arena (Gruesa)	109	0,183	0,322	0,0161
Rocas saturadas de agua					
2,27 gr/cm ³	Arenisca	142	0,252	1,592 ★	0,0445
	Arena cienosa	132	0,288	(1,500)	(0,0394)
	Limolita	132	0,276	(1,510)	(0,0414)
	Lutita	149	0,213	0,975	0,0307
2,39 gr/cm ³	Caliza	149	0,266	2,050 ★	0,0517
	Arena (fina)	126	0,339	1,590	0,0372
	Arena (gruesa)	130	0,315	1,775	0,0433

(los valores entre paréntesis son estimados)

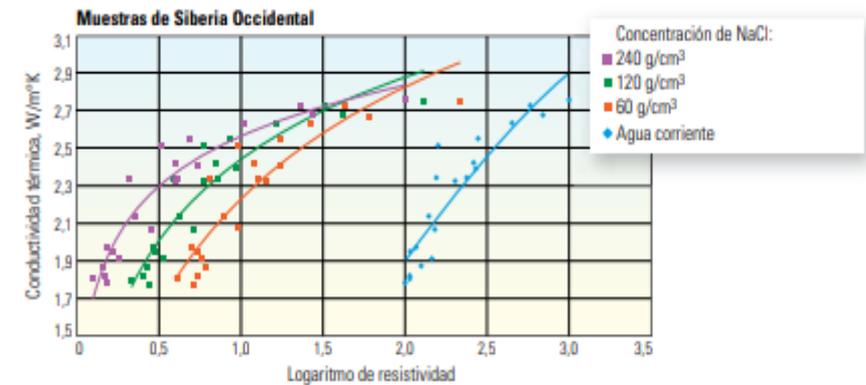
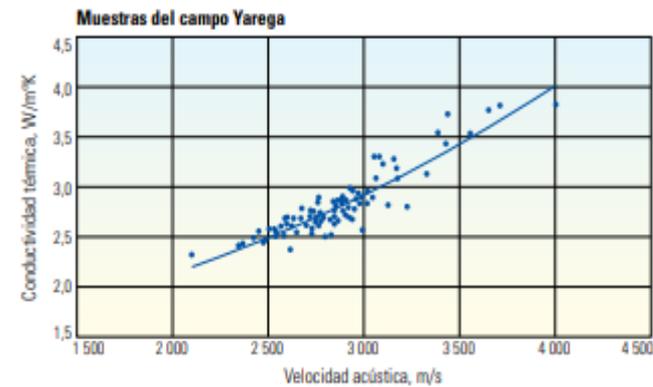
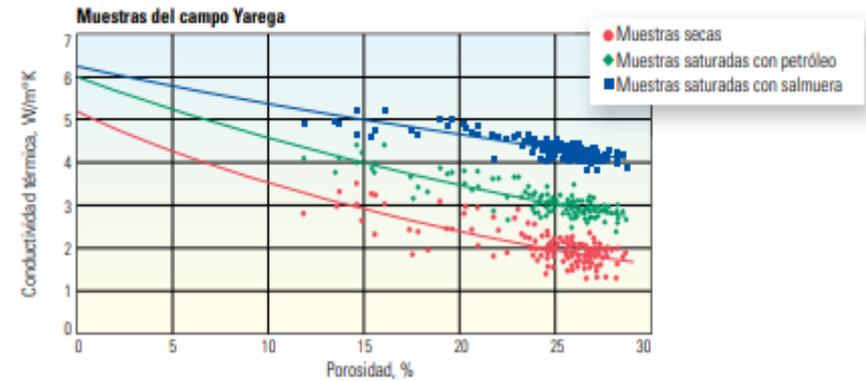
M y Kh, suele aumentar con la saturación de agua y densidad de la roca.

Conductividad Térmica

- Porosidad
- Velocidad acústica
- Salinidad del agua de formación
- Saturación de los fluidos
- Permeabilidad
- Mineralogía

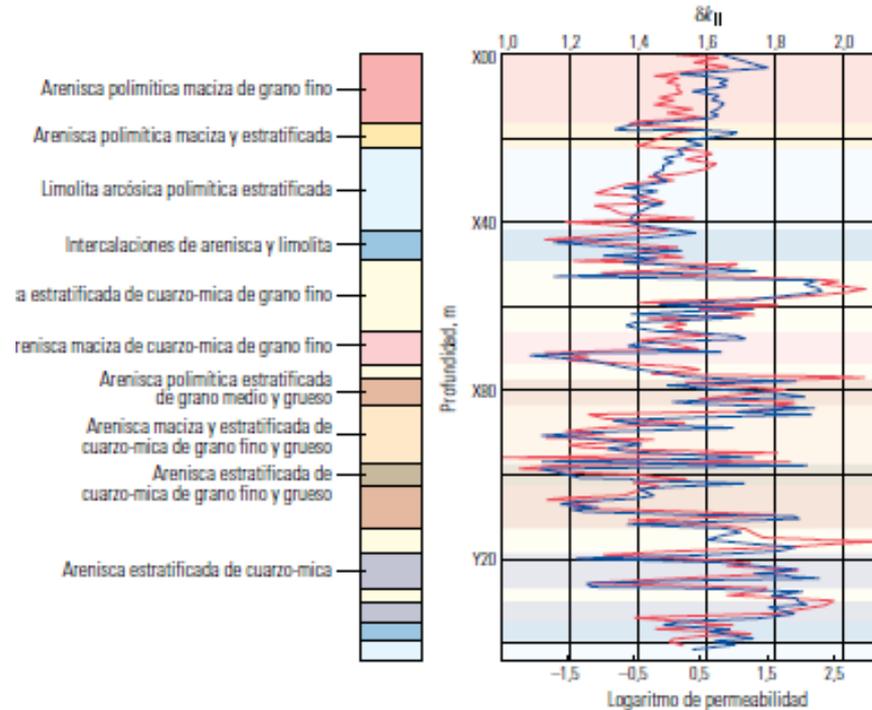
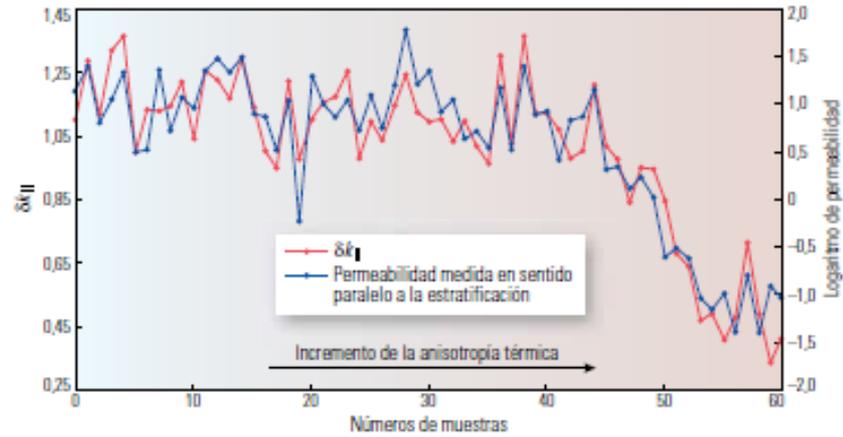
$$Rw@75^{\circ}F = 0.0123 + \frac{3647.5}{[NaCl(ppm)]^{0.955}}$$

$$Rw@Tr = Rw@75^{\circ}F * \left(\frac{75 + 6.77}{Tr + 6.77} \right)$$



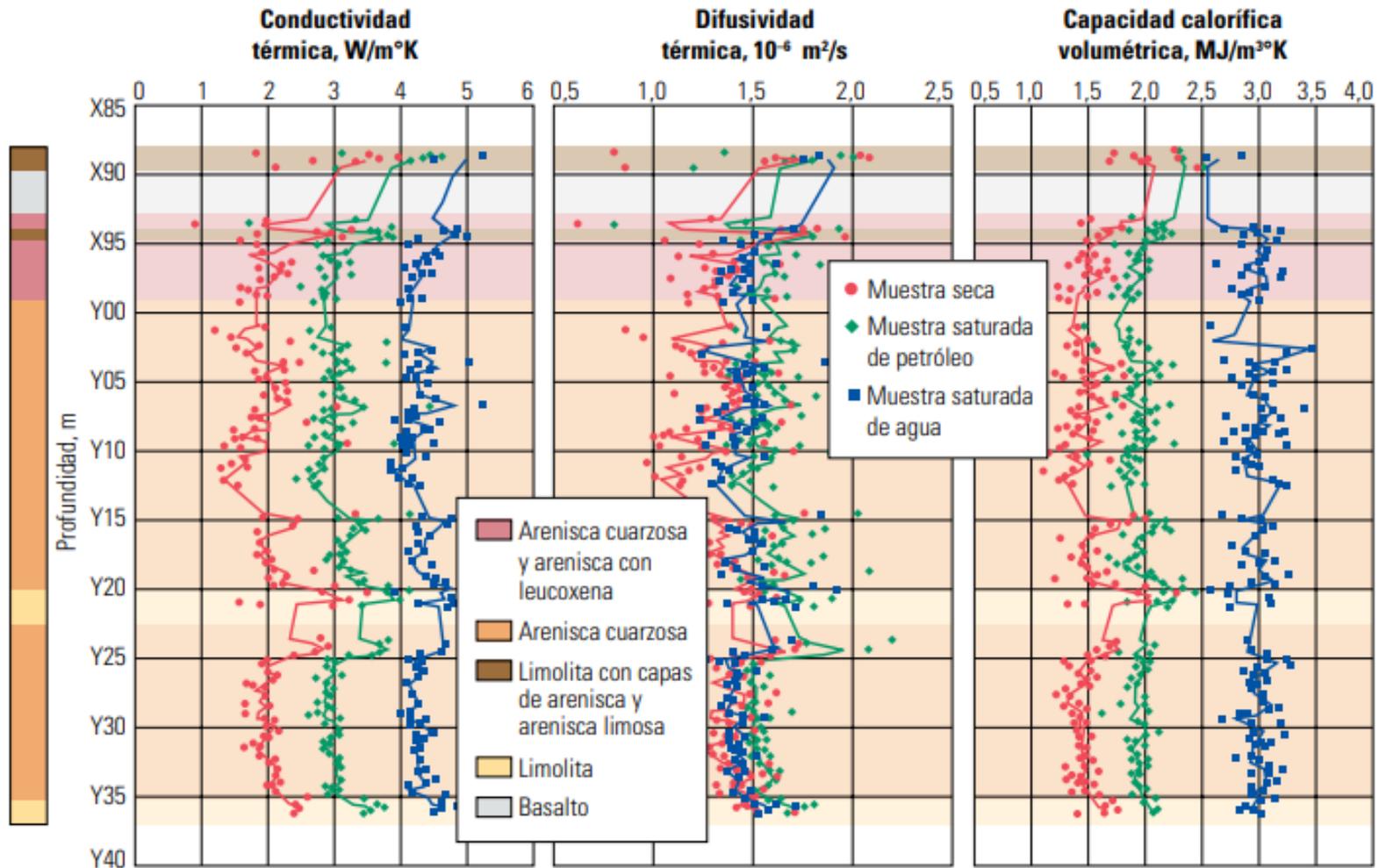
Conductividad Térmica

La anisotropía térmica alta generalmente poseen una permeabilidad más baja.



Propiedades Térmicas

50 m
(162 ft)



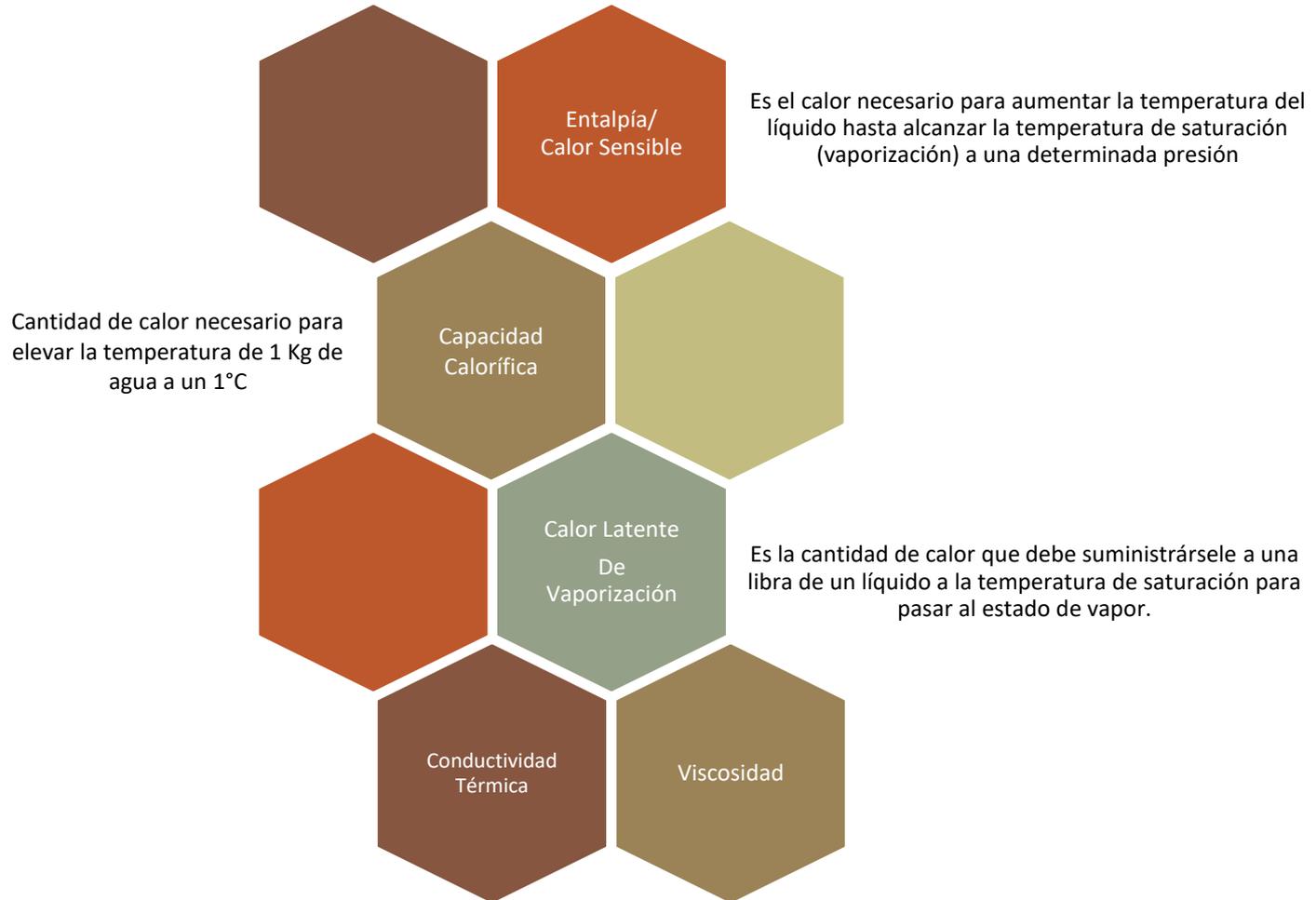
Propiedades Térmicas

La variabilidad natural de las propiedades térmicas de los yacimientos; causada por:

- La heterogeneidad natural de la textura de las rocas
- La composición mineral
- La composición orgánica
- Cambios en la saturación de fluido
- La temperatura
- La presión

Todos estos factores afectan el flujo de calor hacia el interior del yacimiento y, por consiguiente, los pronósticos de producción para los proyectos de recuperación térmica.

Propiedades Térmicas de los Fluidos: Temperatura y Calor



Procesos Físicos



Algunas Consideraciones

Petróleo Original in Situ (POIS)

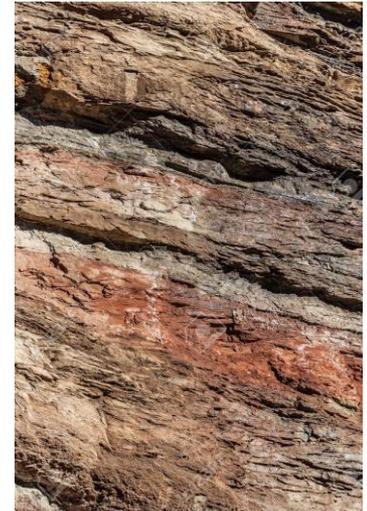
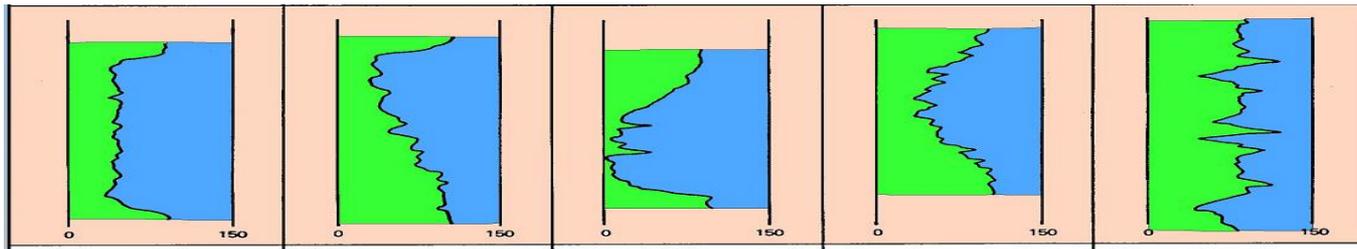
- ¿Cuánto petróleo debe existir en sitio para iniciar un proyecto de recuperación térmica?

Porosidad

- A medida que la porosidad aumenta, mayor es el volumen de petróleo y menor el volumen de roca que se calientan.

Estratificación y Laminación

- Severa en un yacimiento hace difícil correlacionar propiedades de pozo a pozo. Esto puede resultar en cálculos erróneos del petróleo in situ, al mismo tiempo que dificulta la predicción de la eficiencia areal y vertical.



Algunas Consideraciones

Saturación de Agua (S_w)

- En un reservorio con altas saturaciones de agua no es conveniente realizar una inundación térmica.
- En la estimulación con vapor autores indican que alrededor del **30 - 35%** del agua inyectada como vapor es producida cuando el pozo se abre a producción.

Profundidad

- A medida que la profundidad aumenta, la presión de inyección requerida normalmente aumenta. Para vapor, esto se traduce en la necesidad de generadores de mayor capacidad y de mejor calidad del agua de alimentación.
- Para aire, se traduce en un mayor número de etapas de compresión

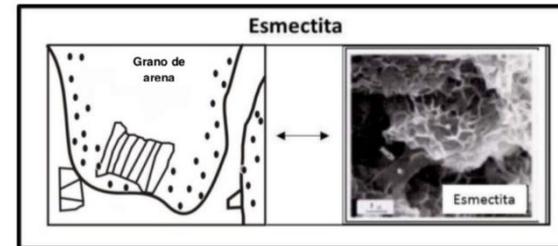
Espesor

- Este es un parámetro importante en todos los procesos térmicos.
- Para inyección de vapor o de agua caliente, es conveniente tener espesores moderadamente altos, ya que de esta manera las pérdidas de calor hacia las formaciones adyacentes son bajas.
- La presencia de una buena roca sello (arcilla) al tope de la arena es importante para el confinamiento del vapor.
- Unidades de flujo amplias y continuas.

Algunas Consideraciones

Mineralogía

- Arcillas sensibles al agua fresca (Baja salinidad) .
 - Hinchamiento por hidratación.

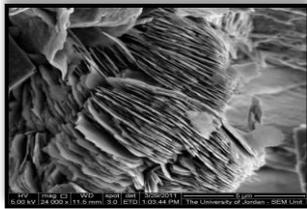


Alto Contraste de la K_v y K_h

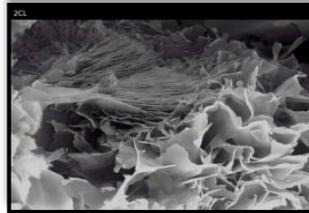
Entre otras

Mineralogía

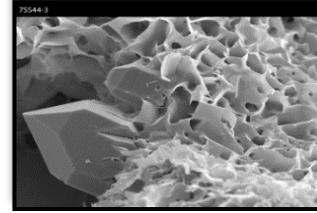
Minerales Arcillosos



Caolinita



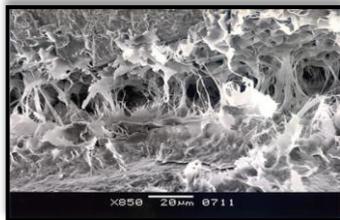
Clorita



Esmectitas

Ilita

Glaucionita



Mineralogía

Minerales no Arcillosos

Cuarzo

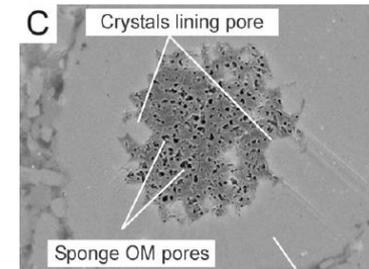
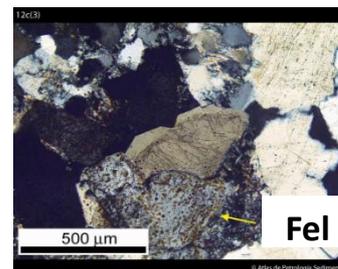
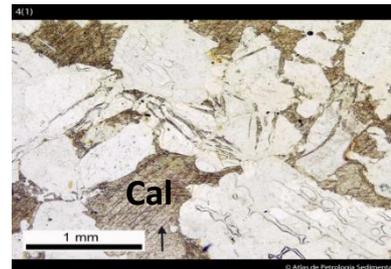
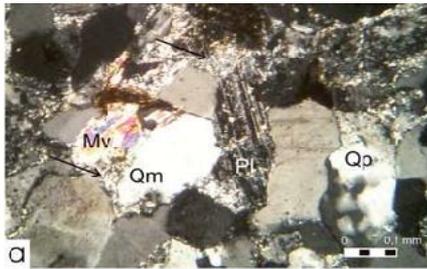
Muscovita

Feldespato

Carbonatos

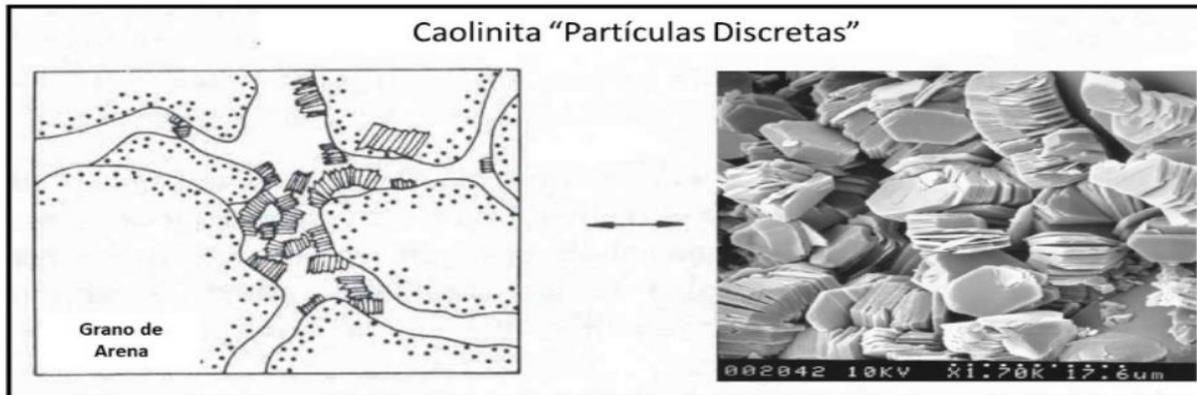
Pirita

Materia
Orgánica o
Bitúmenes

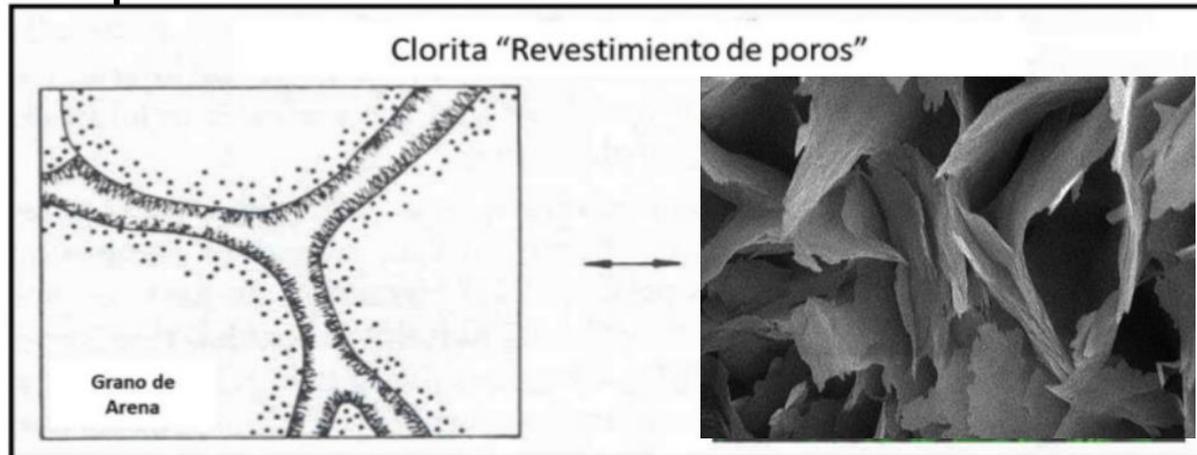


Mineralogía de las Arcillas

Reducen la porosidad y permeabilidad.

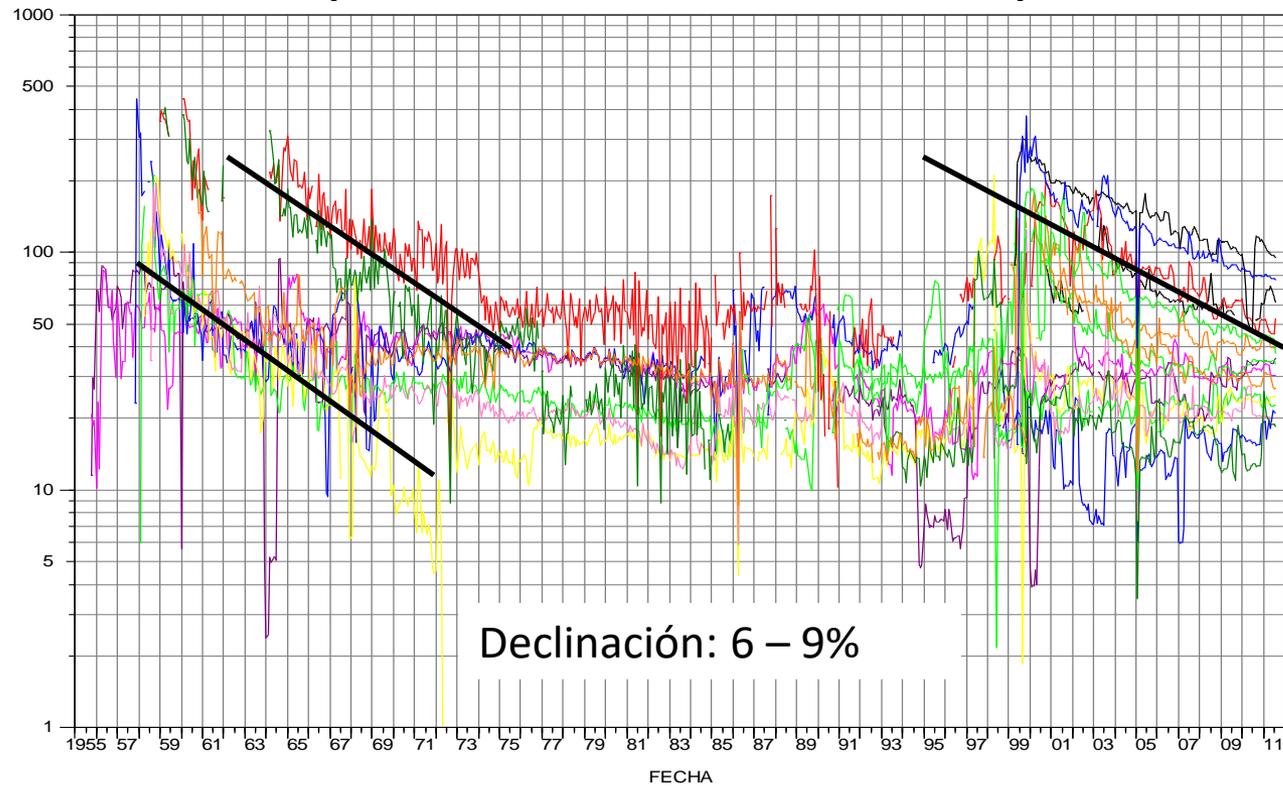


Reducción menor de la porosidad y reducción significativa de la permeabilidad.



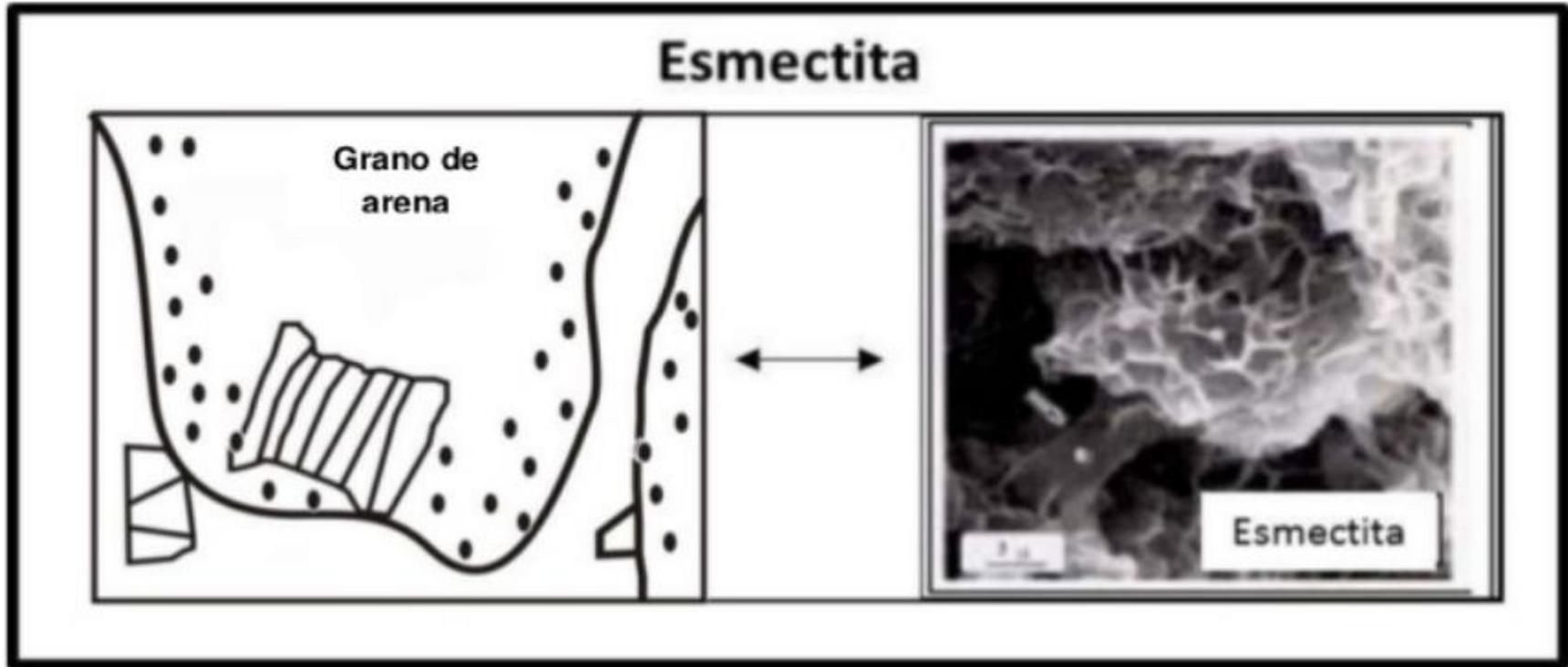
Mineralogía de las Arcillas

Comportamiento de Producción de los pozos

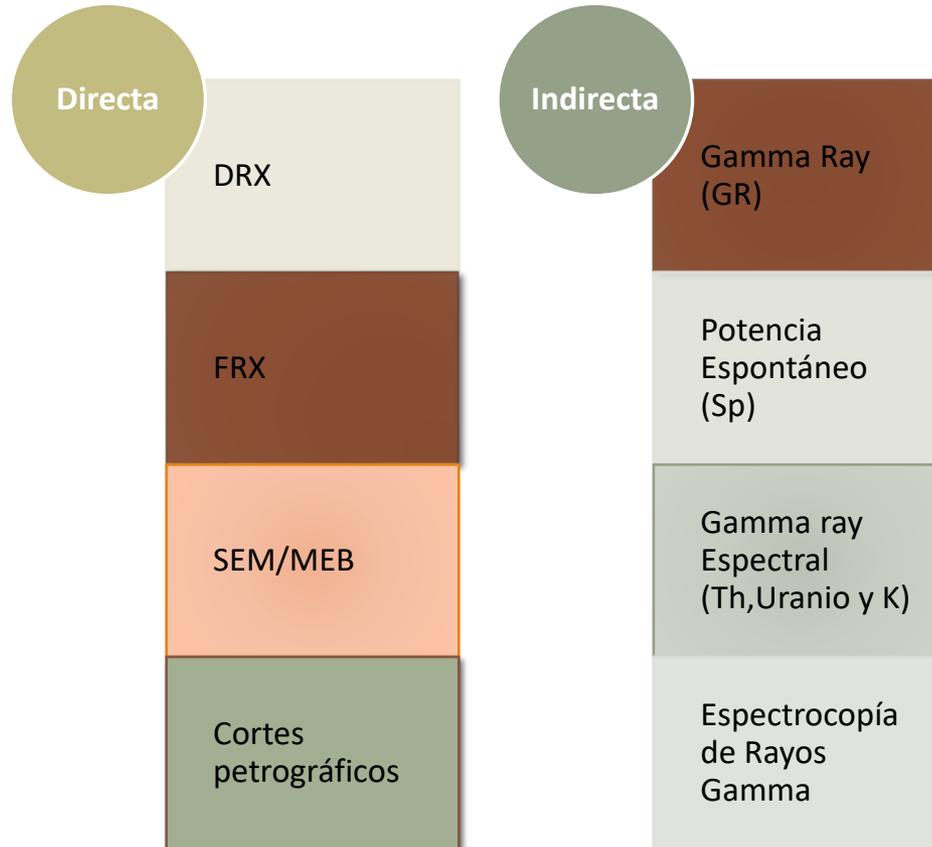


Mineralogía de las Arcillas

Reduciendo la porosidad y permeabilidad



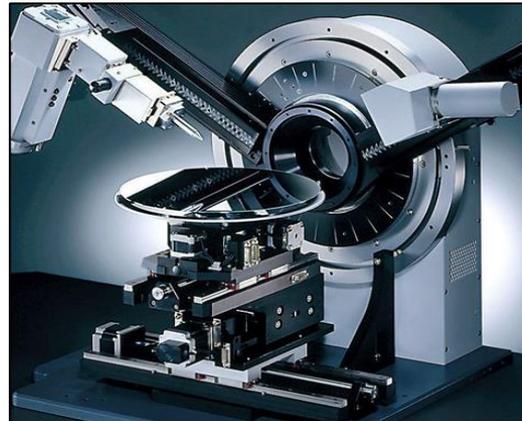
Mineralogía



Ensayos Directos

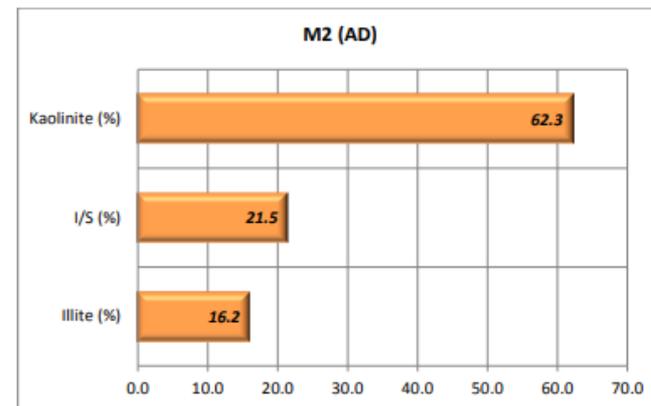
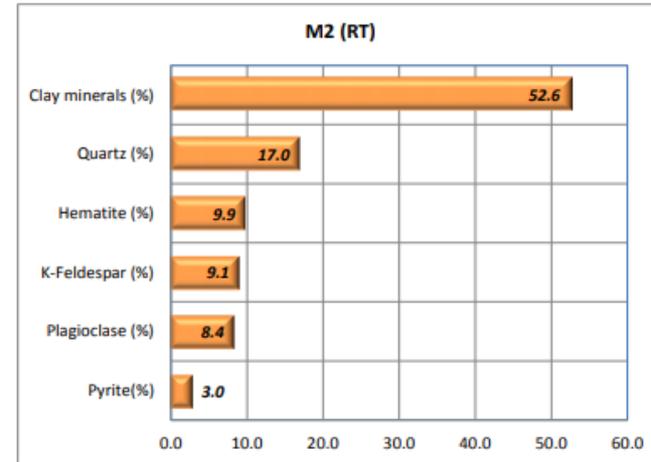
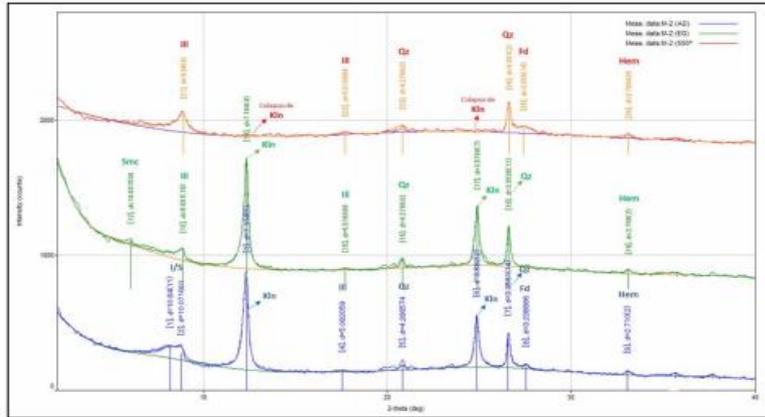
DIFRACCIÓN DE RAYOS X (DRX)

Método analítico capaz de suministrar información cualitativa y cuantitativa sobre los compuestos cristalinos presentes en un sólido, basándose en el hecho de que cada sustancia cristalina presenta un diagrama de difracción único.



Ensayos Directos

DIFRACCIÓN DE RAYOS X (DRX)



Método Indirecto

Perfil Mineralógico

