



UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO

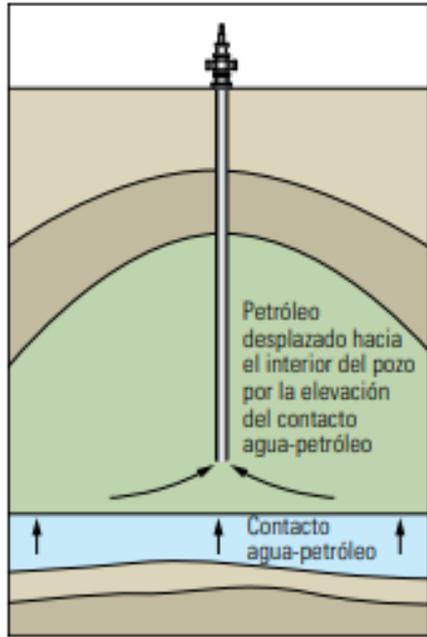


**FACULTAD
DE INGENIERÍA**

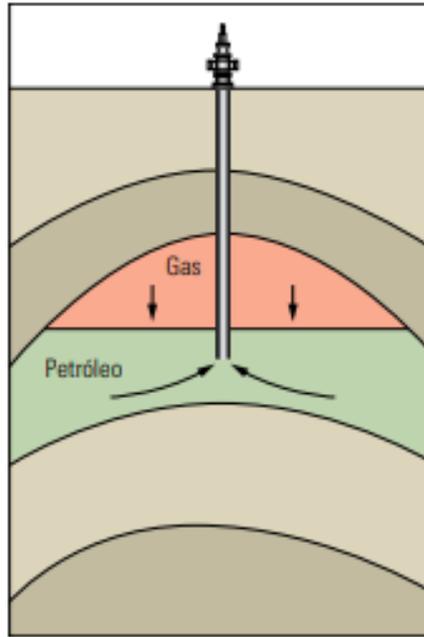
Operaciones en Yacimientos de Crudos Pesados y Extra pesados

TEMA I

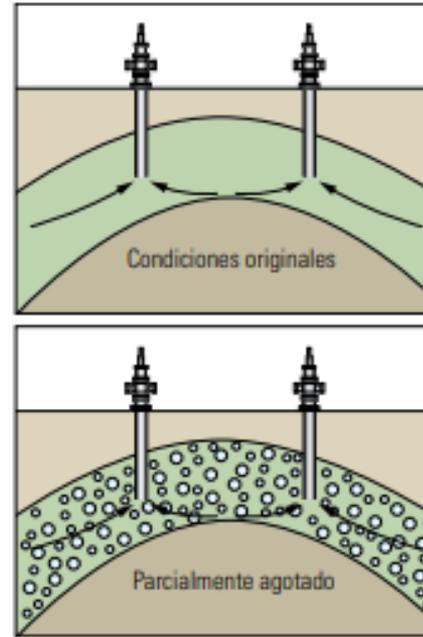
MECANISMOS DE DRENAJE O DESPLAZAMIENTOS



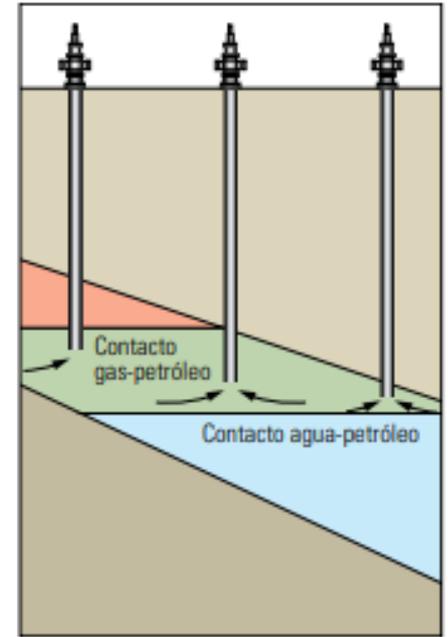
Empuje de agua o Hidráulico
FR 35 al 75%
Promedio: 40%



Casquete o Capa de gas
FR 20 al 40%
Promedio: 30%



Gas Disuelto o en Solución
FR 5 al 30%
Promedio: 15%



Segregación o Drenaje Gravitacional
"Drenaje combinado"
FR 5 al 85%
Promedio: 50%

FUERZAS RESPONSABLES DEL MOVIMIENTO DE LOS FLUIDOS Y EL PROCESO DE PRODUCCIÓN

En Reservorios Convencionales, existen tres fuerzas que determinan la dirección de desplazamiento de los fluidos en el subsuelo:

Fuerzas de Impulsión o Viscosas

Son las que provocan el movimiento de los fluidos desde las zonas de *mayor presión* a aquellas de *presión inferior*. El movimiento dependerá de la viscosidad.

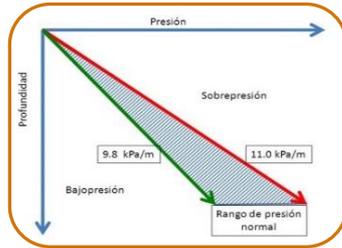
Fuerzas Gravitatorias

Son las que hacen que los *fluidos se muevan de acuerdo con su densidad*: los de menor densidad relativa tenderán a elevarse, y los de mayor densidad, a bajar estructuralmente.

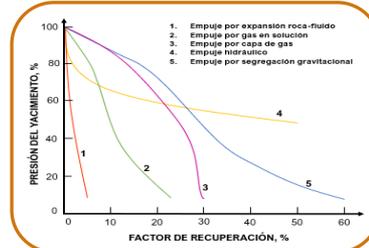
Fuerzas Capilares

Son las responsables de que *el líquido mojante tienda a entrar en las regiones de menor radio capilar* y, por ende, de menor permeabilidad, o en las zonas con menor saturación de este fluido, y desplazan de ellas a los fluidos no mojantes.

FACTORES QUE AFECTAN EL RECOBRO DE UN YACIMIENTO



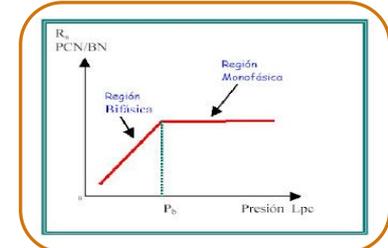
Presión (P_r o P_Y)



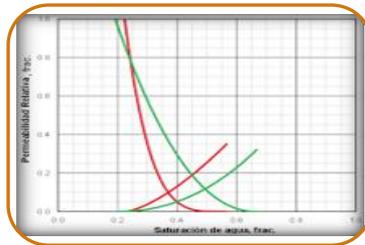
Mecanismos de Drenaje



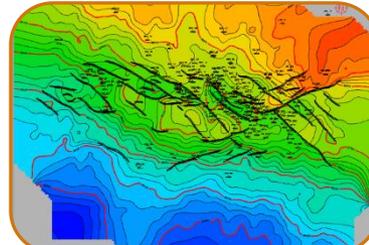
Viscosidad (μ_o)



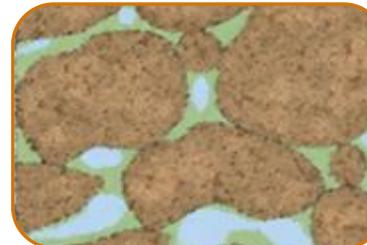
Solubilidad del Gas (R_s)



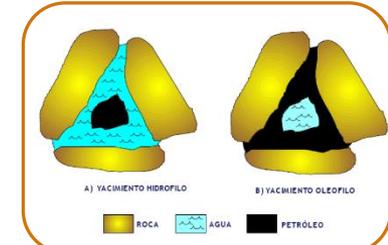
Permeabilidades efectivas y relativas (K_r)



Geología y Litología



Saturación de agua connata (SWC)



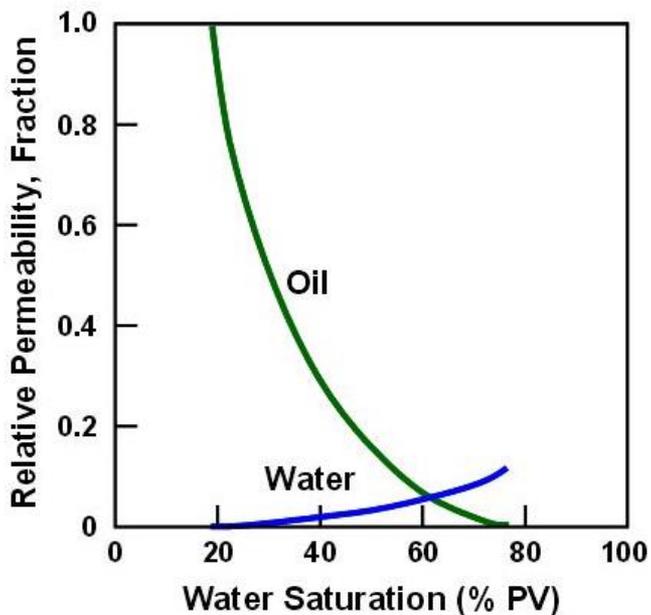
Humectabilidad/Mojabilidad



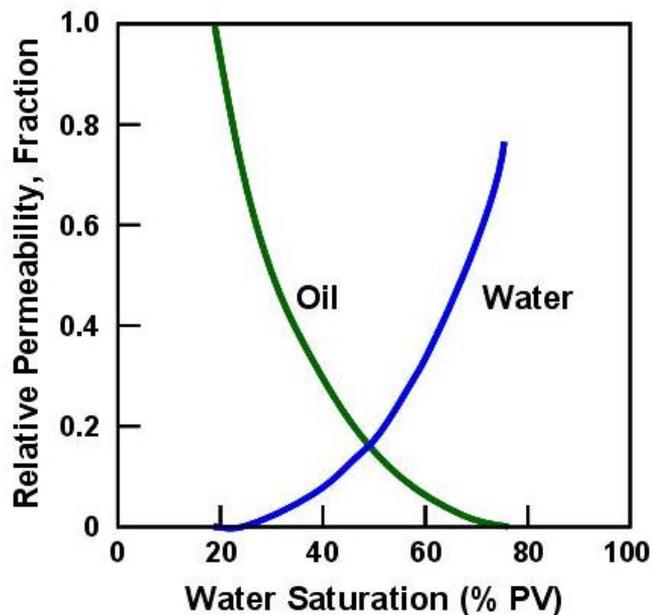
<https://www.slb.com/-/media/files/oilfield-review/p44-61-spanish>

FACTORES QUE AFECTAN EL RECOBRO DE UN YACIMIENTO

Permeabilidad Relativa: Diferente mojabilidad



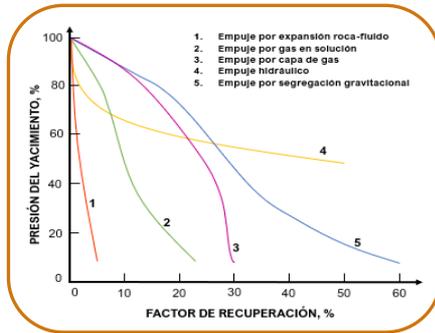
Strongly Water-Wet Rock



Strongly Oil-Wet Rock

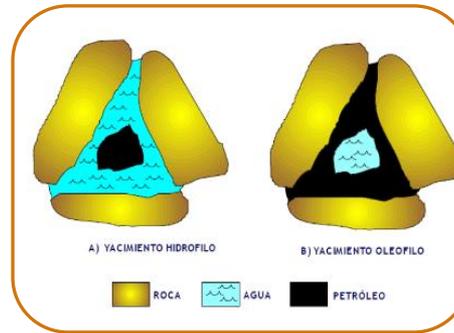
EL MOVIMIENTO DE LOS FLUIDOS DEPENDERÁN

Fuente de Energía



Mecanismos de drenaje

Roca



Mojabilidad y Presión Capilar

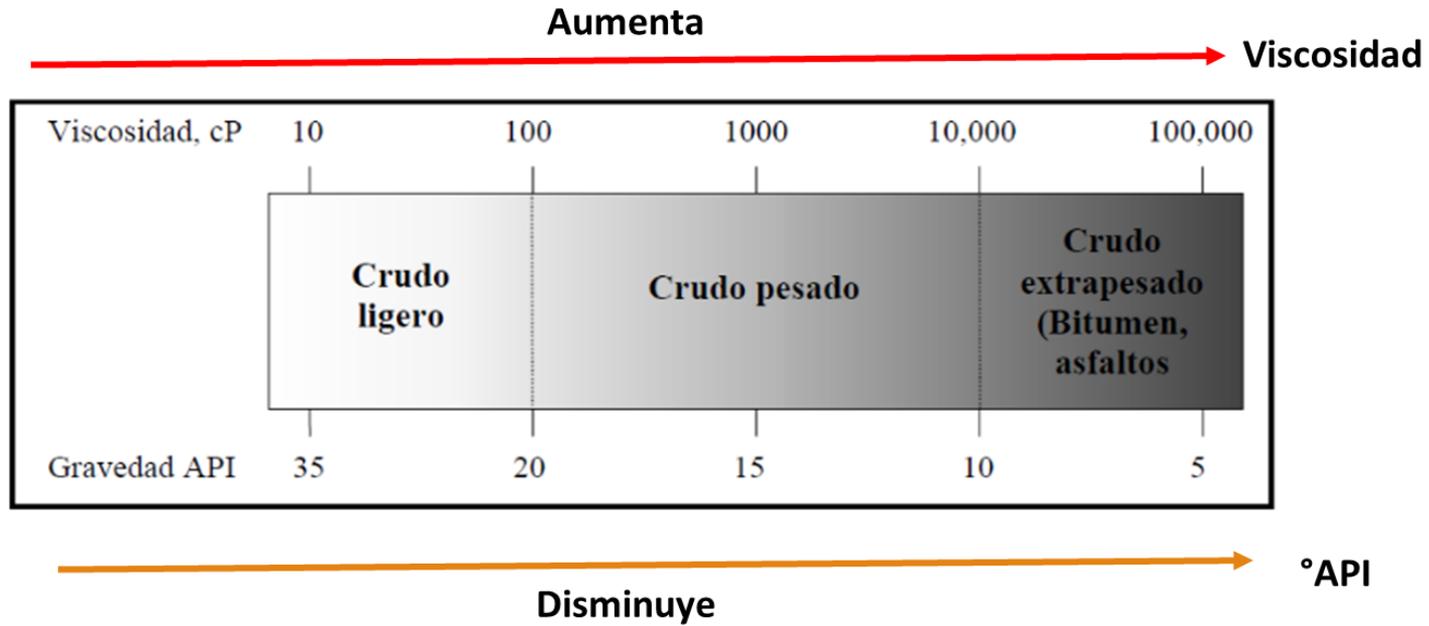
Fluido



Viscosidad y Densidad

Los fluidos no se mueven de manera uniforme en el reservorios

CARACTERÍSTICAS DE LOS CRUDOS NO CONVENCIONALES



$$\gamma_o = \rho_o / \rho_w$$

Donde:

ρ_o = Densidad del Petróleo

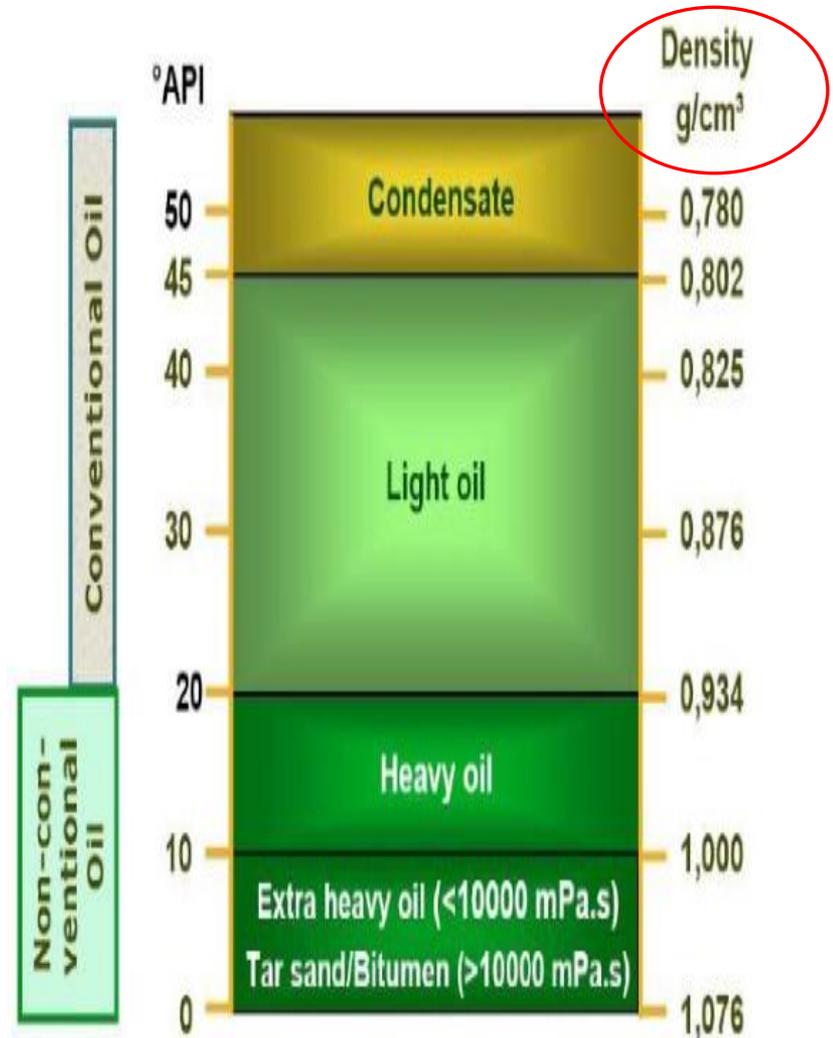
ρ_w = Densidad del Agua

Generalmente las densidades de ambos fluidos son medidas a 14.7 lpc y 60 °F (Condiciones Normales o Standard)

$$^{\circ}\text{API} = \frac{141.5}{\text{SG}} - 131.5$$

CARACTERÍSTICAS DE LOS CRUDOS NO CONVENCIONALES

Aceite crudo	Densidad (gr/cm ³)	Densidad (grados API)
Extrapesado	> 1.0	< 10.0
Pesado	1.01 – 0.92	10.1 – 22.3
Mediano	0.91 – 0.87	22.4 – 31.1
Ligero	0.86 – 0.83	31.2 – 39
Superligero	< 0.83	> 39



LA VISCOSIDAD

Es una magnitud física que mide la resistencia interna al flujo de un fluido, resistencia producto del frotamiento de las moléculas que se deslizan unas contra otras.

La inversa de la viscosidad, es la fluidez.

Sus unidades son el poise o centipoise:

1 poise (P) $\equiv 1 \text{ g} \cdot (\text{s} \cdot \text{cm})^{-1} \equiv 1 \text{ dina} \cdot \text{s} \cdot \text{cm}^{-2} \equiv 0,1 \text{ Pa} \cdot \text{s}$

1 centipoise (símbolo: cP o cps), equivalente a un milipascal x segundo (mPa·s).

Existen dos formas físicas básicas para reducir la viscosidad del crudo:

- Aumento de la temperatura del crudo con calor.
- Mezclar el crudo con un solvente de baja viscosidad.

VISCOSIDAD

Su magnitud depende y esta afectada:

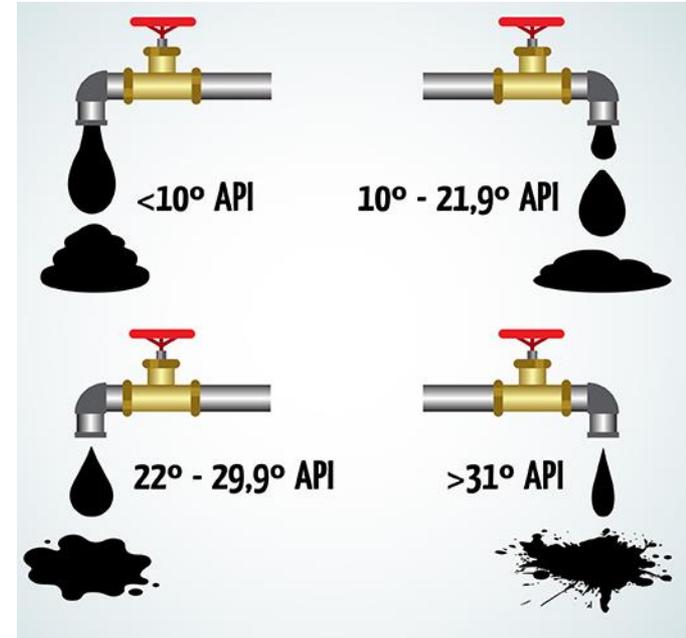
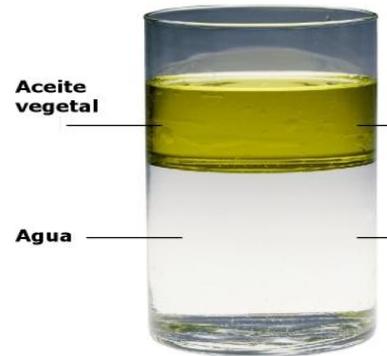
- Densidad (°API)
- Temperatura
- Presión
- Gas disuelto / solubilidad del gas (R_s)
- Composición química
- Entre otras.

¿ Cómo se determina?

- Laboratorio a la Temp. y presión del yacimiento.
- La viscosidad es reportada en los análisis PVT.
- Correlaciones matemáticas.

Densidad vs Viscosidad

+ ↑ m ↑ ρ +



Cuanto más viscoso, más espeso pero no necesariamente es más denso.
La densidad varía poco con la temperatura.

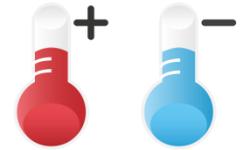
Viscosidad Vs Densidad

Una mayor densidad no necesariamente esta acompañada por una mayor viscosidad o viceversa, deben realizarse adicionalmente otros análisis de tipo estructural-composicional.

Tipo de Crudo	Densidad @ 15,0 °C (gr/cm ³)	Viscosidad (cPoise)	
		a 25 °C	a 80 °C
C.G.S.J. - A	0,9285	> 100.000	21.500
C.G.S.J. - B	0,9375	76.000	660
C.G.S.J. - C	0,9440	42.600	835
C.G.S.J. - D	0,9445	> 100.000	1.650
C.G.S.J. - E	0,9640	23.900	1.015
C.G.S.J. - F	0,9675	59.000	890

Fuente: Nota Técnica GPA 75 – Viscosidad y estructura en crudos pesados de la C.G.S.J.

Viscosidad - Temperatura



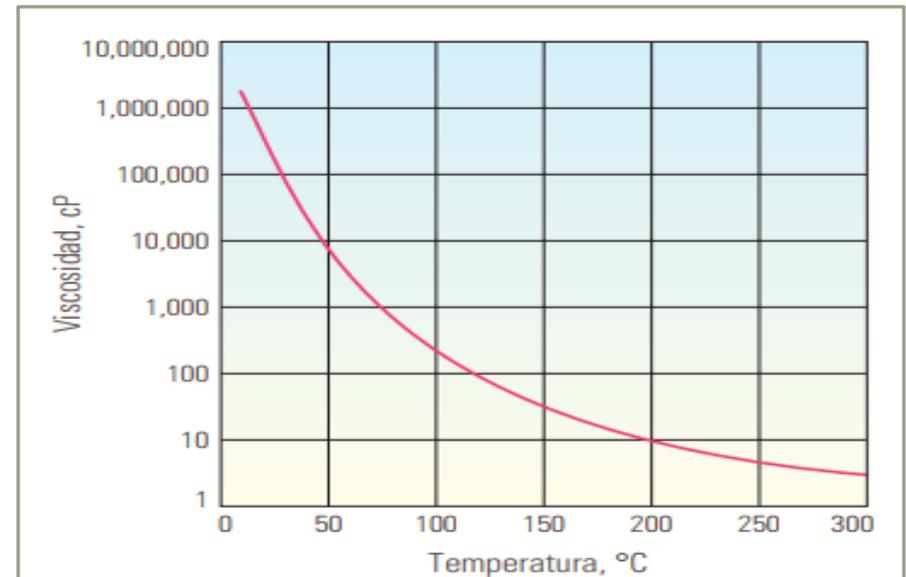
La **temperatura** es una variable que tiene mucha influencia sobre la viscosidad y sus efectos son muy diferentes tanto en los gases y en los líquidos.

En los Líquidos

Al incrementar la temperatura disminuye su viscosidad.

Causas:

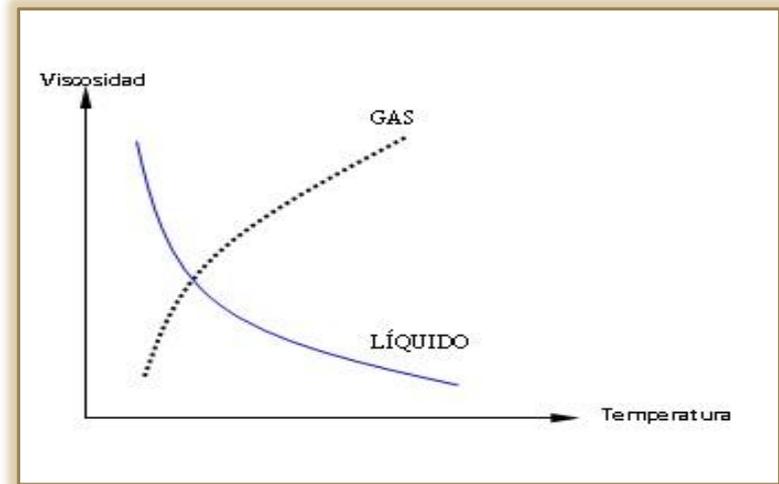
- Incremento de la velocidad de las moléculas y, por ende, tanto la disminución de su fuerza de cohesión.
- Disminución de la resistencia molecular al desplazamiento.



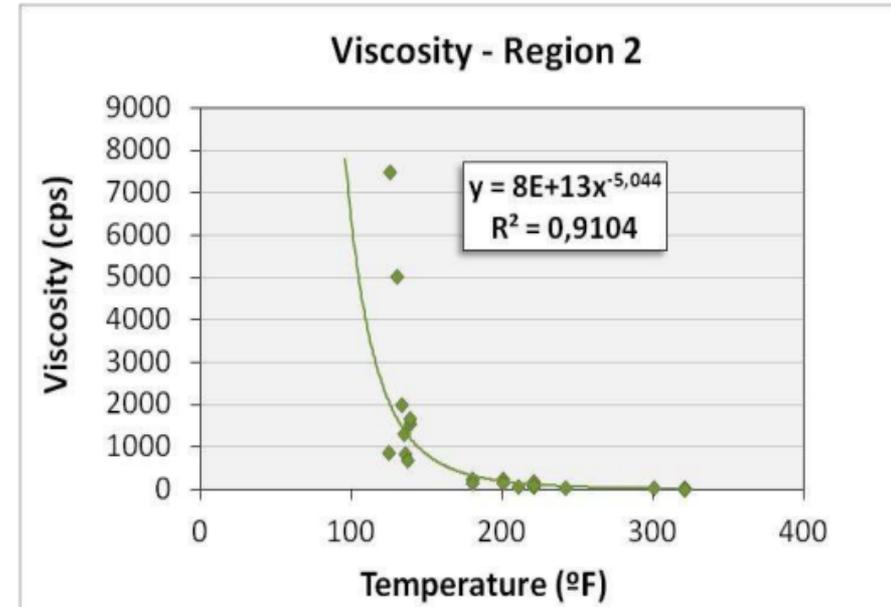
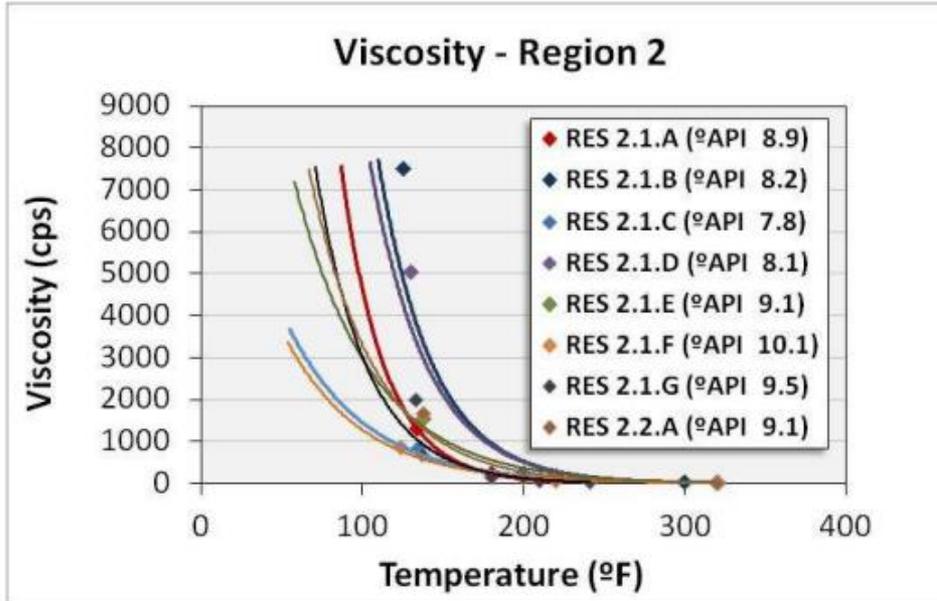
Viscosidad - Temperatura

En los Gases

Cuando la temperatura es mayor, mayor es la agitación y los choques de las moléculas de gas, oponiéndose al movimiento y produciendo un aumento de la viscosidad.

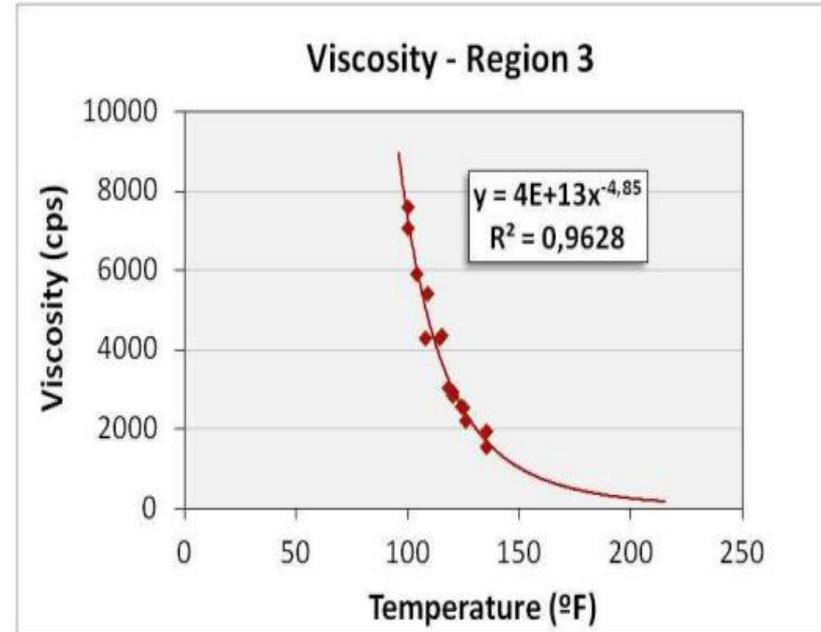
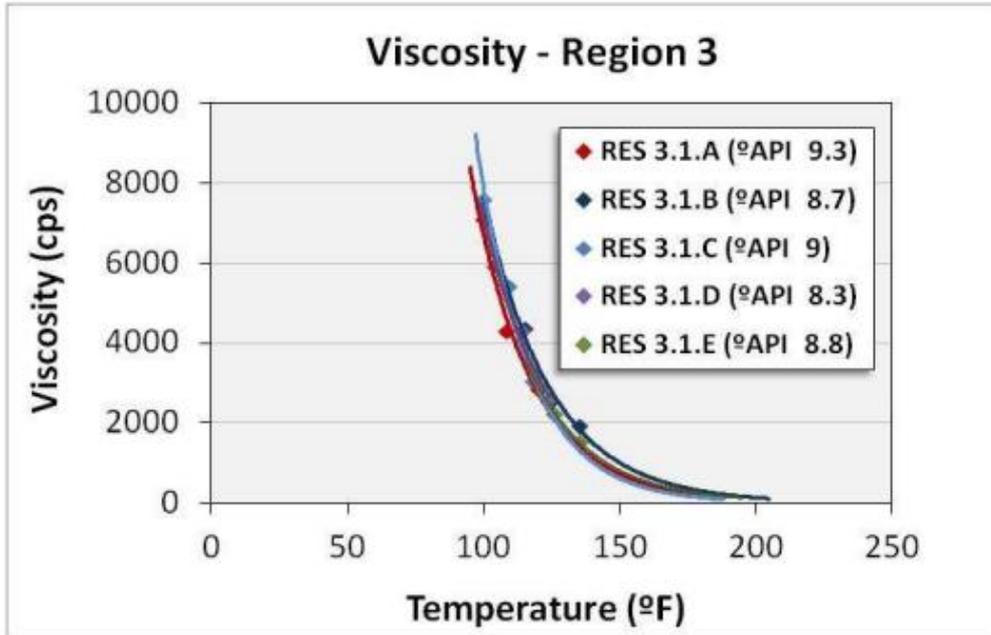


Viscosidad Vs Temperatura



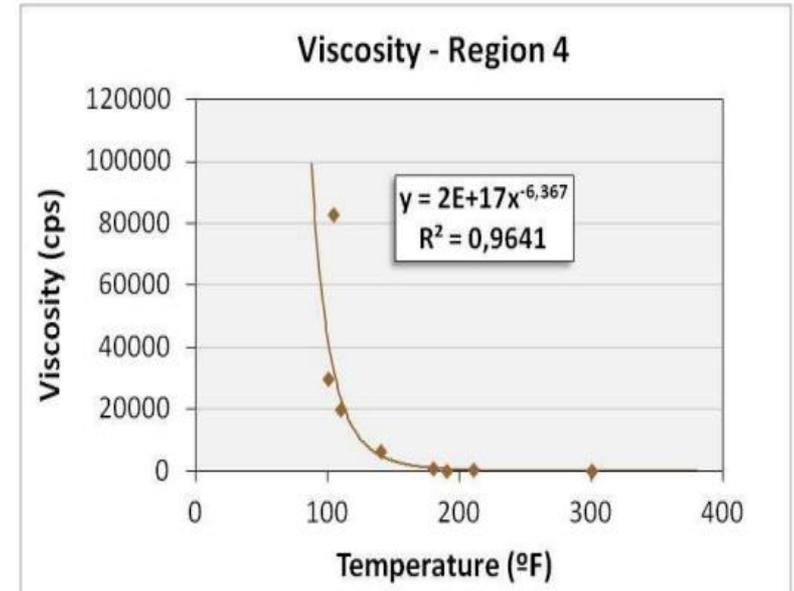
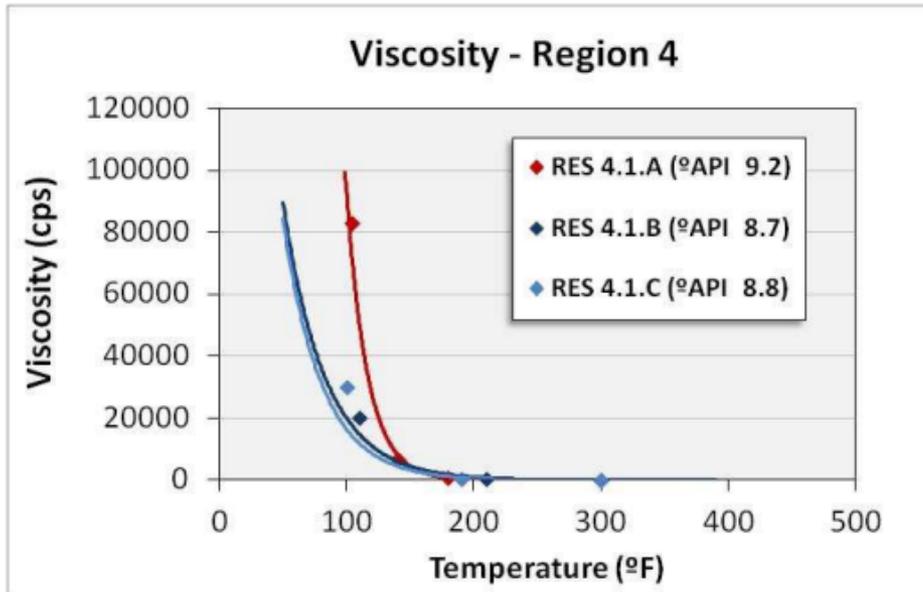
Región número 2, la base de datos obedece a 8 yacimientos con sus respectivas variaciones de viscosidad en función de la temperatura producto de los análisis PVT realizados.

Viscosidad Vs Temperatura



Muestras obtenidas para estos 5 yacimientos de crudo extra pesado

Viscosidad Vs Temperatura



Crudo bituminoso en donde las viscosidades exceden los 10.000 cps, alcanzando cifras topes en algunos yacimientos de hasta 80.000 cps.

CONCLUSIONES A PARTIR DE LOS GRAFICOS

Notables variaciones composicionales en base a su estructura geoquímica.

Se hace consistente en todas las muestras analizadas la disminución abrupta de la viscosidad con el incremento de la temperatura desde 100 °F hasta 200 °F.

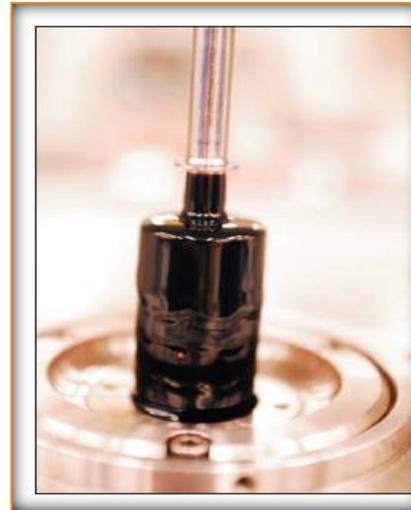
A partir de 250 °F no se evidencia una reducción importante en la viscosidad de las muestras de crudo de los distintos yacimientos.

El reservorio requiere de calentamiento

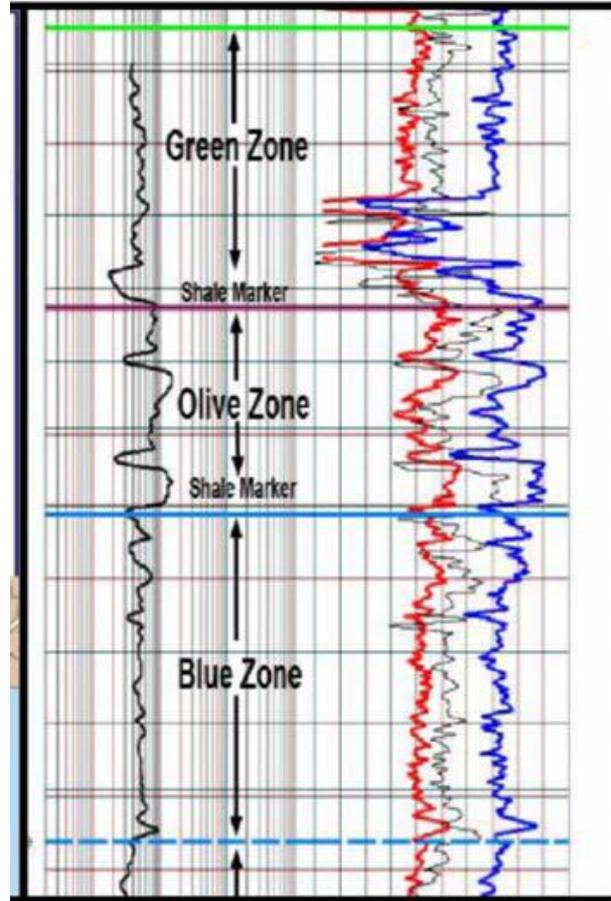
VISCOSIDAD

El conocimiento de la viscosidad en todo el yacimiento es vital para el modelado de la producción y la predicción de la recuperación de las reservas.

No obstante, la viscosidad del petróleo pesado puede exhibir grandes variaciones, incluso dentro de la misma formación.



LLANCANELO



Zona verde

11.200 cp

Zona Oliva

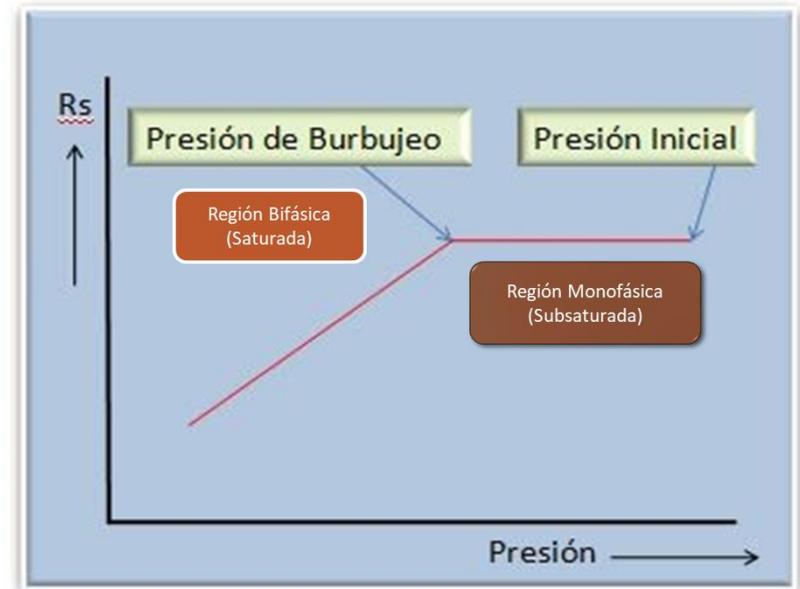
3.880 cp

S. Ucan, E. Savoy, M.A. Federici and M. Azcurra, YPF SA. Electrical Wellbore Heating in Environmentally Sensitive Llanquanello Field, Argentina.. SPE-169326-MS. SPE Conference, Maracaibo, Venezuela, 21-23 May 2014.

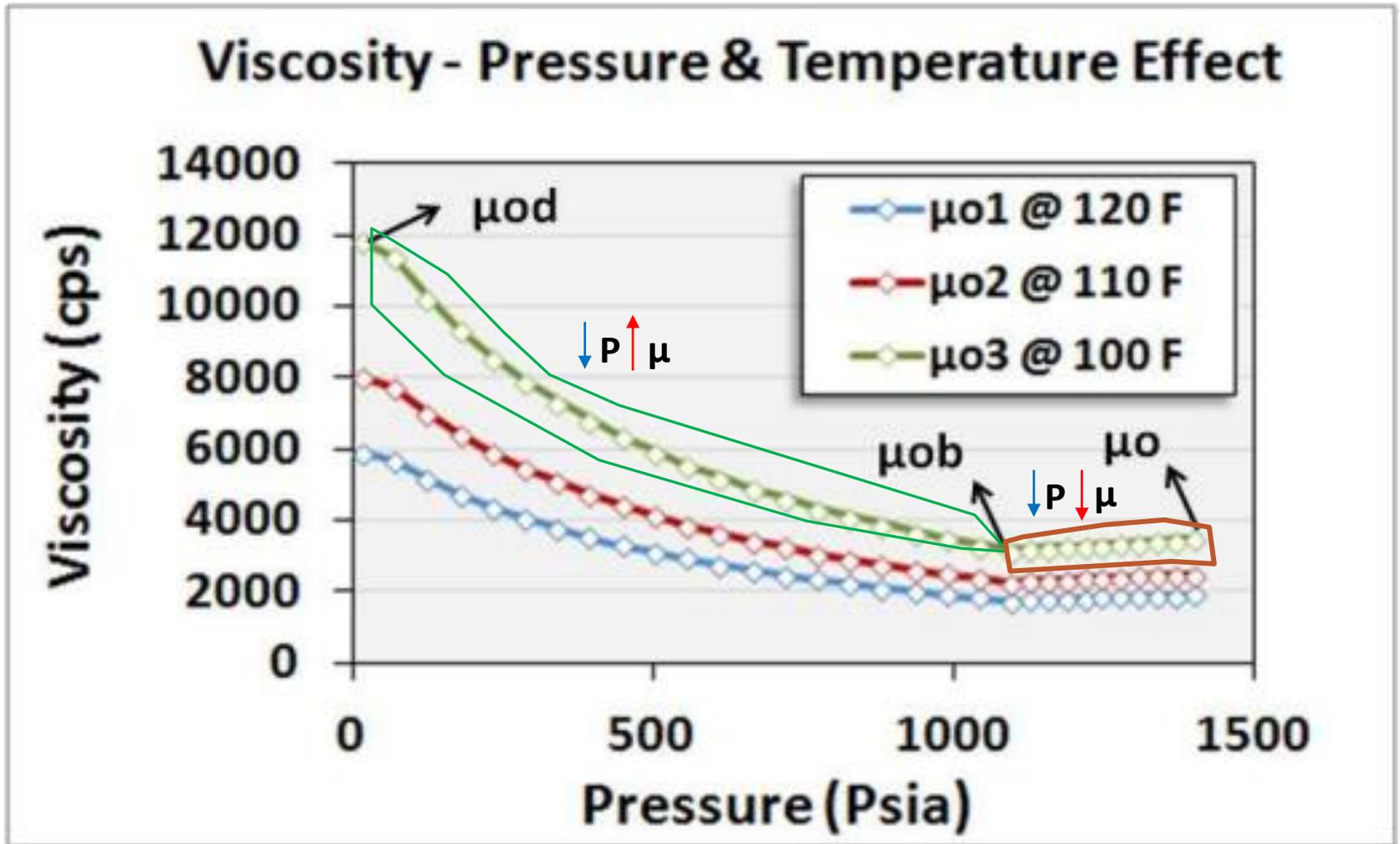
PRESIÓN

En base a la presión a la que está sometido el petróleo, la viscosidad puede clasificarse:

- **Viscosidad de Crudo Muerto (μ_{od}):** La viscosidad de crudo muerto es definida como la viscosidad a presión atmosférica, no hay gas en solución, y a condiciones de temperatura del sistema o yacimiento.
- **Viscosidad de Crudo Sub-Saturado (μ_o):** Es definida como la viscosidad del crudo por encima de la presión de burbuja y a condiciones de temperatura del yacimiento.
- **Viscosidad de Crudo Saturado (μ_{ob}):** Es definida como la viscosidad del crudo a la presión de burbuja y a condiciones de temperatura del yacimiento.



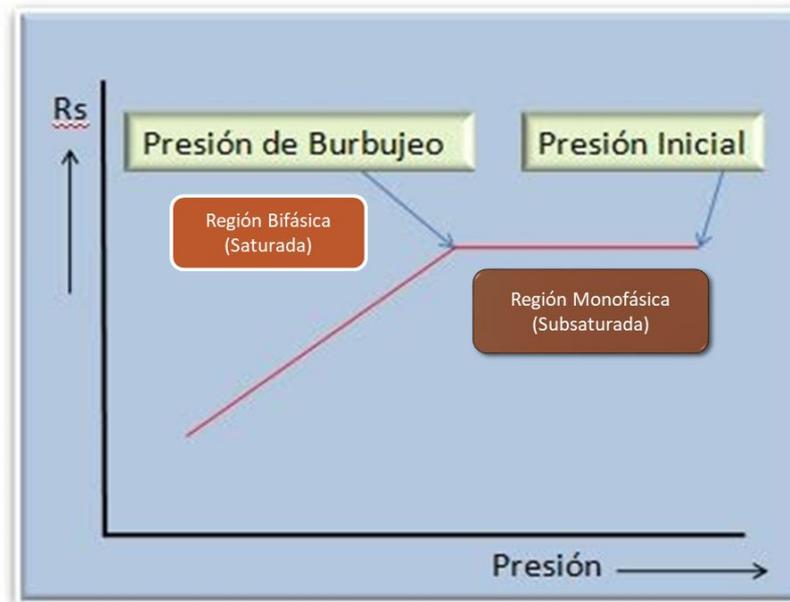
EFFECTO DE LA PRESIÓN Y TEMPERATURA SOBRE LA VISCOSIDAD



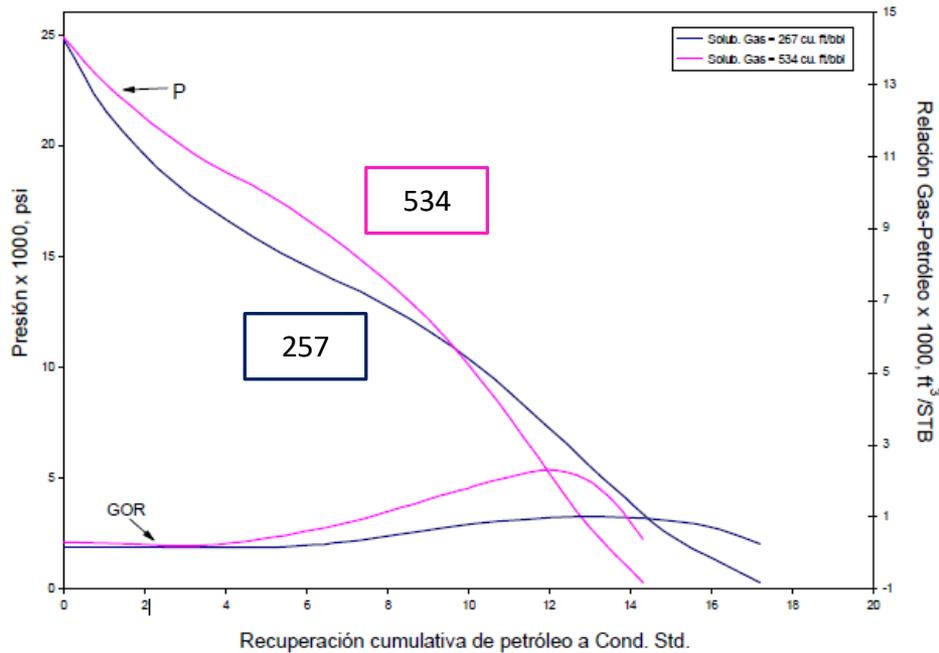
Gas Disuelto (R_s) o Solubilidad del Gas

Es la cantidad de gas que se encuentra en solución en un barril de petróleo crudo a determinadas condiciones de presión y temperatura prevalcientes en el yacimiento.

Esta expresada en pies cúbicos de gas a condiciones normales (PCN) disueltos en un barril de petróleo a las mismas condiciones (BN) y se denomina $R_s = [PCN/BN]$



Gas en Solución o Solubilidad del Gas



Crudos Convencionales



Rs



Recobro

Excepción en los Crudos Pesados

Autores indican que los yacimientos con más de 500 psi y solubilidades de gas menores o cercanos a 100 PCN/BN su recobro dependen más del movimiento de los fluidos que de la energía del yacimiento.

Gas en Solución o Solubilidad del Gas

Crudos Pesados

Entre 100 – 200
PCN/SBN (aprox.)

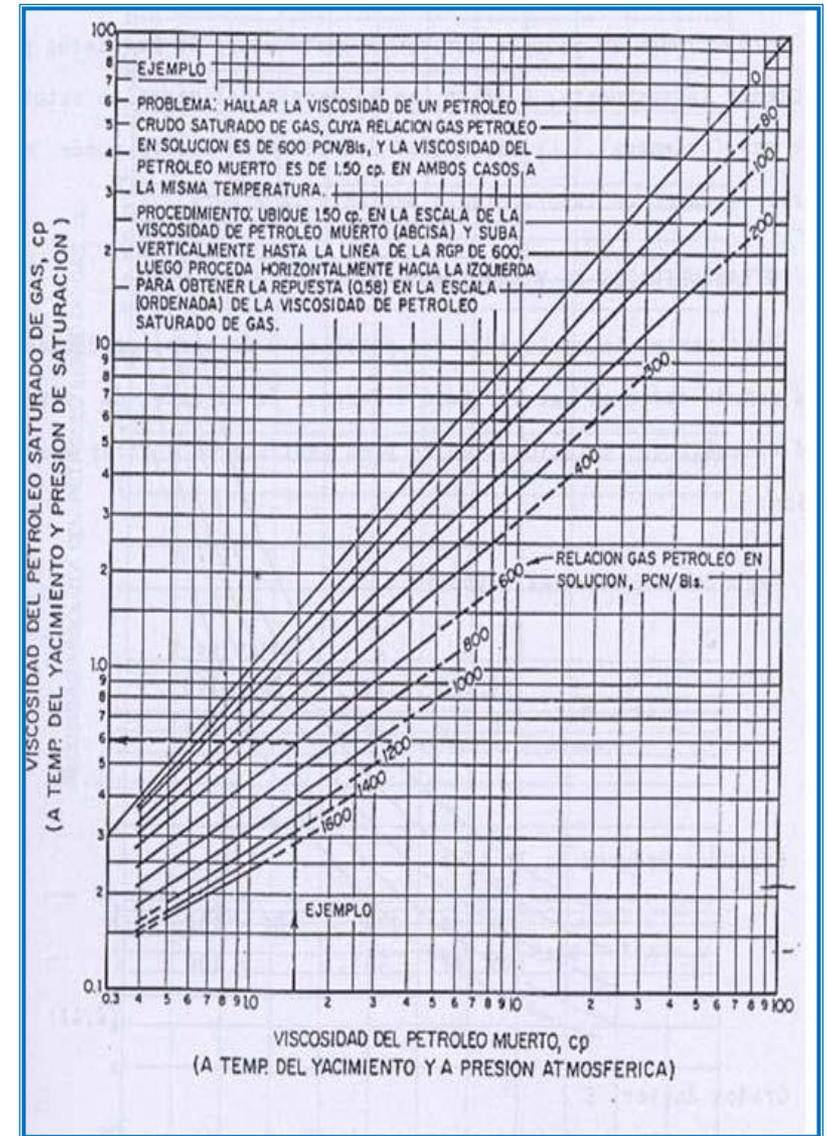
Crudos
Extra Pesados

Oscilan entre 20 y 50
PCN/SBN (aprox.)

Forma típica del comportamiento de la viscosidad del petróleo en función de la presión, a temperatura de yacimiento constante



La viscosidad del petróleo a cualquier temperatura puede ser corregida por gas en solución, utilizando correlaciones.



CARACTERÍSTICAS DE LOS CRUDOS PESADOS

Acidez

Clasificación	Azufre (%)
Dulces	<0.5 %
Semi-amargos	0.5 – 1.5 %
Amargos o Agrios	> 1.5 %



costo de refinamiento se incrementa

El azufre debe ser eliminado de los productos destilados por las siguientes razones :

- Contaminación atmosférica
- Al transformarse en anhídrido sulfuroso más la presencia de agua *produce ácido sulfúrico (H₂SO₄)* el cual corroe los tubos de escape, catalizadores y las chimeneas de una destilería.
- Su presencia disminuye la calidad de las naftas.

CONTENIDO DE AZUFRE EN LOS CRUDOS PESADOS

	API	Sulfur (wt.%)
Bachaquero	13.0	2.6
Boscan	10.1	5.5
Cold Lake	13.2	4.1
Huntington Beach	19.4	2.0
Kern River	13.3	1.1
Lagunillas	17.0	2.2
Lloydminster	16.0	2.6
Lost Hills	18.4	1.0
Merey	18.0	2.3
Midway Sunset	12.6	1.6
Monterey	12.2	2.3
Morichal	11.7	2.7
Mount Poso	16.0	0.7
Pilon	13.8	1.9
San Ardo	12.2	2.3
Temblador	19.0	0.8
Tia Juana	12.1	2.7
Wilmington	17.1	1.7
Zuata Sweet	15.7	2.7

Fuente: Libro Heavy Oil Recovery and Upgrading (James Speight, 2019)

Contenido de Azufre en los Crudos Pesados

The crude barrel composition is changing and ranges from heavy/sour to light/sweet, by region:

Location	Low Quality Range	High Quality Range
Africa	Angola (Kuito) 19°, 0.68%	Nigeria (Agbami Light) 47°, 0.04%
Asia	China (Peng Lai) 22°, 0.29%	Indonesia (Senipah Condensate) 54°, 0.03%
Australia	Enfield 22°, 0.13%	Bayu Undan 56°, 0.07%
Europe	UK (Alba) 19°, 1.24%	Norway (Snohvit Condensate) 61°, 0.02%
Mid East ★	Saudi Arabia (SA heavy) 27°, 2.87%	Abu Dhabi (Murban) 39°, 0.8%
North America	Canada (Albian) 19°, 2.1%	US (Williams Sugarland Blend) 41°, 0.20%
Latin America	Venezuela (Bascan) 10°, 5.7%	Columbia (Cupiaga) 43°, 0.14%
Central Asia ★	Russia (Espo) 35°, 0.62%	Kumkol (Kazakhstan) 45°, 0.81%

For more information see: http://205.254.135.7/pub/oil_gas/petroleum/data_publications/weekly_petroleum

Propiedades entre el bitumen y Crudo Extra pesado

		Athabasca Bitumen	Zuata Extra Heavy Oil
Whole oil	API gravity	8	8
	Sulfur, % w/w	4.8	4.2
650F+	% v/v	85	86
	Sulfur, % w/w	5.4	4.6
	Ni + V, ppm	420	600
	CCR, % w/w ^a	14	15

^aConradson carbon residue.
1: Canada.
2: Venezuela.

Fuente: Libro Heavy Oil Recovery and Upgrading (James Speight, 2019)

Sales

¿ Que implica la presencia de sales en petróleo?

En la producción: Cuando estos depósitos llegan a ser importantes, el diámetro del pozo disminuye, lo que lleva consigo una disminución de la producción.

En la Destilería: Las sales se depositan en las tuberías, en los tubos de los intercambiadores, lo que disminuye la transferencia de calor, y en los tubos de los hornos, lo que crea puntos calientes y favorece la deposición de coque.

Propiedades de Crudos Pesados, Extra pesados y Bituminosos

Crudos	API	Visc (60°). cSt	Carbón Conradson, % peso	Azufre, % peso	Nitrógeno, % peso	Asfaltenos, % peso	Ni, ppm	V, ppm
VENEZUELA								
Hamaca	9	9100		3.75	0.42	23.10	99	441
Cerro Negro	8.9	5000	15.2	3.99	0.76	10.1		430
Boscan	10.1	1832	15.0	5.66	0.44	15.2	117	1220
Bachaquero	12.4	280	8.8	2.94	0.38	8.8		470
Jobo/Morichal	9.0	5400	11.8	3.92	0.52	8.6		390
Tía Juana pesado	11.1	925	12.3	2.53	0.30	7.5		397
CANADA								
Athabasca	5.9	820*	18.5	4.9	0.41	11.4	86	167
Cold Lake	10.0		13.6	4.4	0.39	10.8	62	164
Lloydminster	14.5		9.1	4.3			40	100
IRAQ								
Qayarah	15.3		15.6	8.4	0.7	13.5	60	130
ESTADOS UNIDOS								
PR Spring	10.3	200000 ^a	12.5	0.8	1.0	16.0	98	25
(Bitumen)	14.4		3.2	0.6	1.0	3.4	120	25
Asphakt Ridge	11.1	7000 ^b	21.6	4.38	0.46	26.0	53	108
(Bit.)								
Tar Sand								
Triangle								

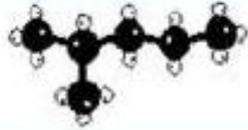
TIPO DE HC SEGÚN AL TIPO MOLECULAR

ALIFÁTICOS (Saturados)

AROMÁTICOS
(Insaturado)



Paraffins



Iso-Paraffins



Naphtenes



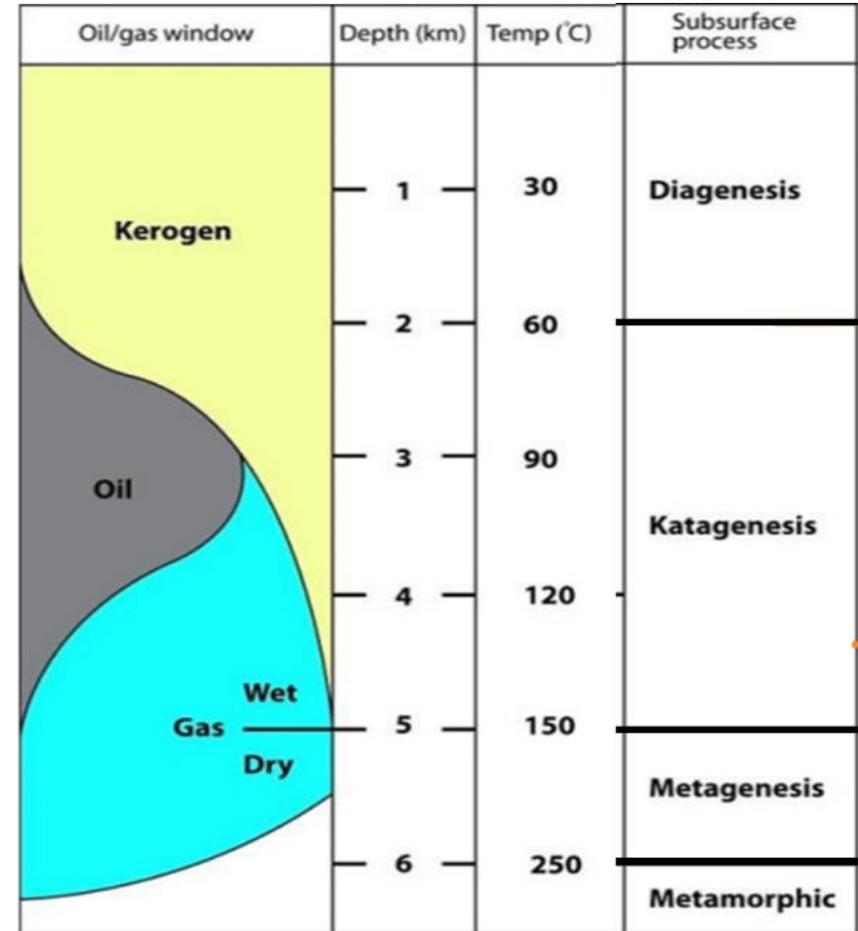
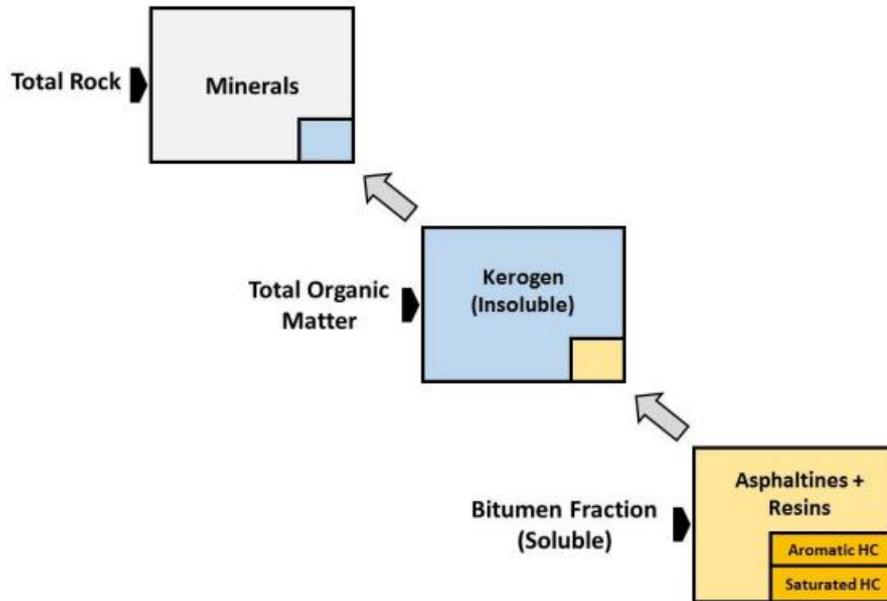
Aromatics

Por destilación producen abundante parafina y poco asfalto.

Son los que proporcionan mayores porcentajes de nafta y aceites lubricantes.

Por destilación producen abundante residuo de asfalto.

FORMACIÓN DE LOS HIDROCARBUROS



CLASIFICACIÓN DEL PETRÓLEO EN TÉRMINOS DE PESO MOLECULAR

Se dividen en:

Ligeros: contiene simples moléculas orgánicas como el metano (CH_4), que es un gas natural o etano (C_2H_6) y otros gases orgánicos y compuestos del rango de la gasolina. Densidad mayor a 27° y $\leq 38^\circ$ API.

Pesados: contiene moléculas orgánicas como las resinas y compuestos asfálticos, extremadamente complejos con pesos moleculares $> 10\ 000$ g/mol. Densidad menor a 27° API.

CLASIFICACIÓN DEL PETRÓLEO SEGÚN SU COMPOSICIÓN

Crudos de Base Parafínica:

- Contienen gran cantidad de parafinas, pero poca materia asfáltica o bituminosos.
- Son de color claro y de baja densidad (0.75-0.85 g/ml).
- Generalmente los derivados de su destilación son: nafta, gasolina, querosén y Diesel.

Crudos de Base Asfáltica o Nafténica:

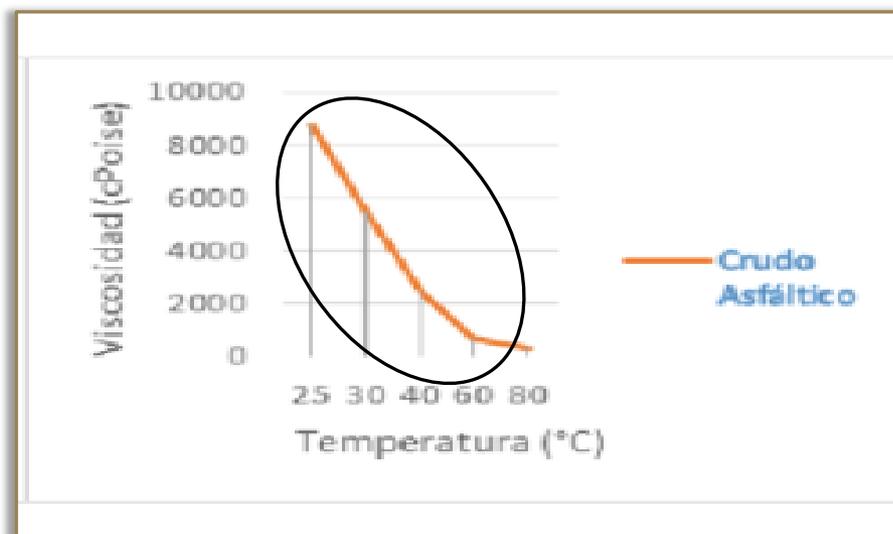
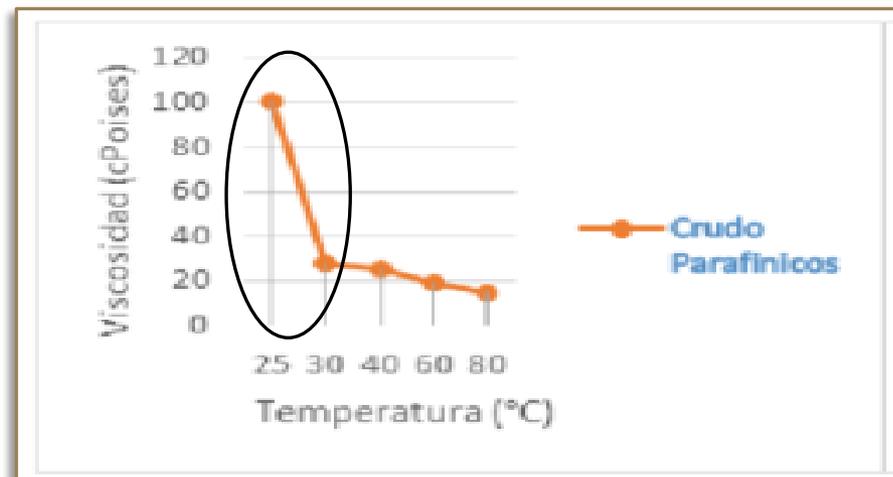
- Contienen gran proporción de materia asfáltica y poca parafina.
- Viscosidades más sensibles a los cambios de temperatura que los obtenidos de los crudos de base parafínica.
- Son negros, viscosos y de elevada densidad (0.95 g/ml).
- En la destilación primaria producen poca nafta y abundante fuel-oil, quedando asfalto como residuo.

Comportamiento de la Viscosidad en función al Tipo de Crudo

Viscosidad en Crudos Diferentes de la C.G.S.J.

Temperatura (°C)	Viscosidad (cPoise)	
	Crudo Parafinoso	Crudo Asfáltico
25	100	8.800
30	28	5.500
40	25	2.500
60	19	720
80	15	350

Fuente: Nota Técnica GPA 75 – Viscosidad y estructura en crudos pesados de la C.G.S.J.



Relación entre la Viscosidad – Composición

Asfaltenos - Resinas

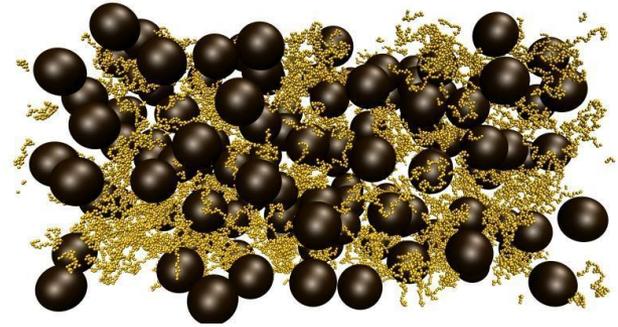
Tipo de Crudo	Viscosidad @ 80 °C (cPoise)	Análisis SARA (%p)			
		Saturados	Aromáticos	Resinas	Asfaltenos
C.G.S.J. - A	21500	53,5	23,2	11,5	12,8
C.G.S.J. - B	33.500	45,2	20,7	15,4	18,7
C.G.S.J. - C	1.650	29,1	21,9	23,9	25,1
C.G.S.J. - D	890	33,6	11,2	26,4	28,8
C.G.S.J. - E	660	42,5	33,9	14,2	6,7
C.G.S.J. - F	835	47,8	36,4	7,3	8,5
C.G.S.J. - G	1.015	29,2	12,2	28,7	29,7

Fuente: Nota Técnica GPA 75 – Viscosidad y estructura en crudos pesados de la C.G.S.J.

Un detallado conocimiento de la composición del petróleo permite relacionar **composición - estructura y viscosidad.**

Los Asfaltenos

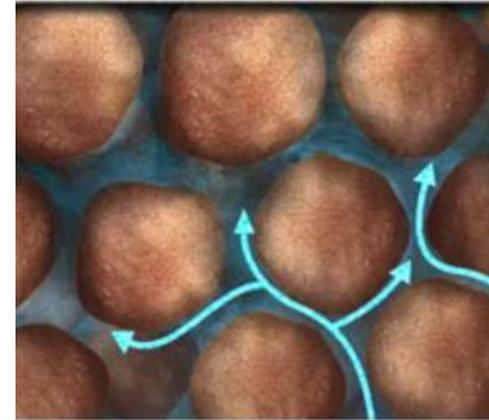
Son una familia de compuestos aromáticos y nafténicos de alto peso molecular, los de mayor punto de ebullición. Los asfaltenos son partículas sólidas semi-cristalinas de color café o negro.



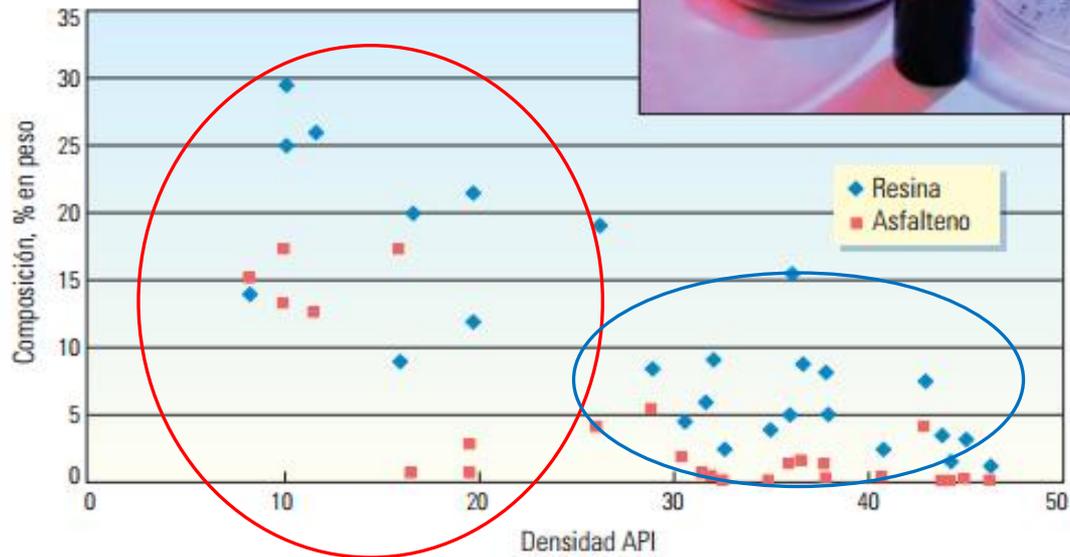
En la producción de petróleo suelen originar precipitados (sólidos) al agruparse por sufrir alteración en su ambiente (presión - temperatura)

Causando:

Daño en el medio poroso o bloqueando las tuberías de producción, evitando así el flujo.



Asfaltenos y Resinas según °API



Fuente: Crudos Pesados Schlumberger

Composición Química

La composición química de los crudos pesados y extra pesados suelen estar dentro de los siguientes valores:

Hidrocarburos Saturados	12 – 17%
Hidrocarburos Aromáticos	30 – 42%
Resinas	29 – 39%
Asfáltenos	10 – 17%



La composición química de cada crudo depende:

- Naturaleza del kerógeno originario.
- Grado de madurez alcanzado antes de la expulsión.
- Procesos migratorios experimentados .
- Procesos de biodegradación sufridos durante la permanencia en el yacimiento.