

Nano partículas para transportar crudos extrapesados

José Gregorio Tovar Silva

**Referencia especial a los resultados de la tesis de Jhoan Ochoa y
Ursuliano Yapuchura**

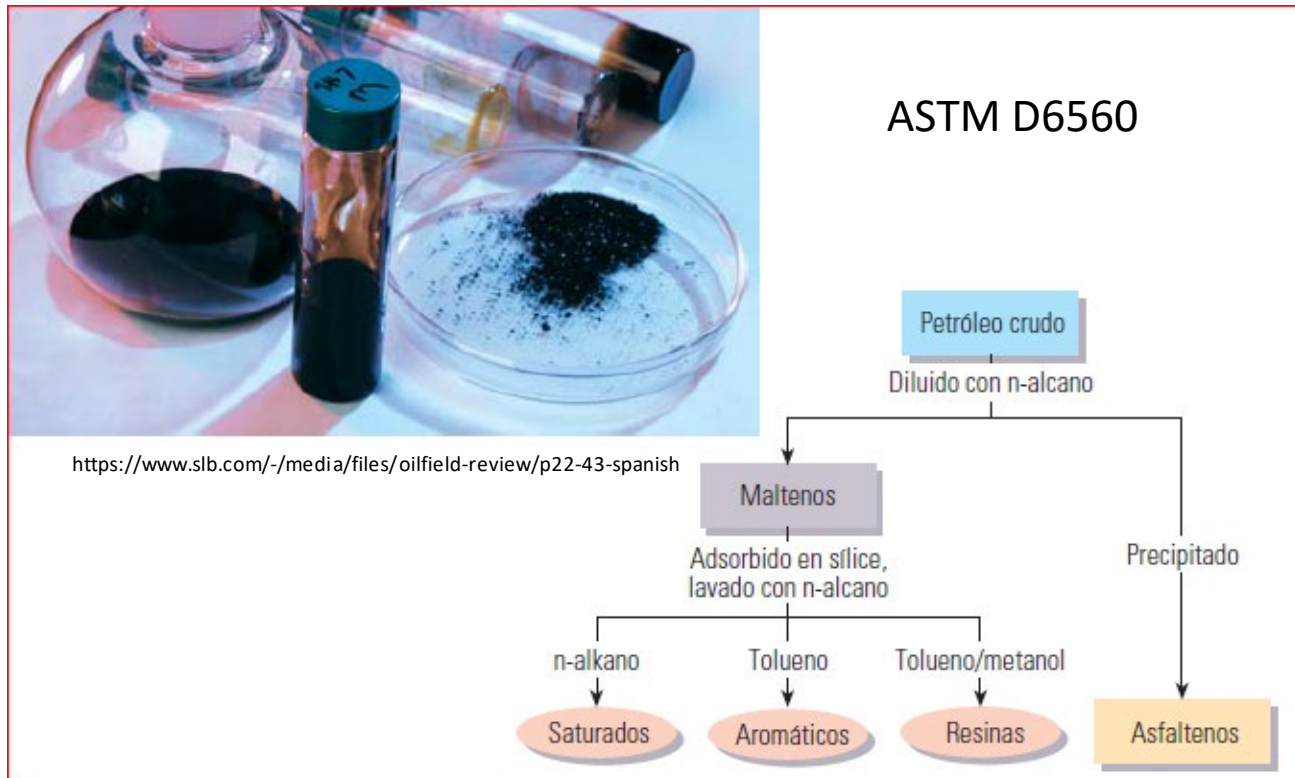
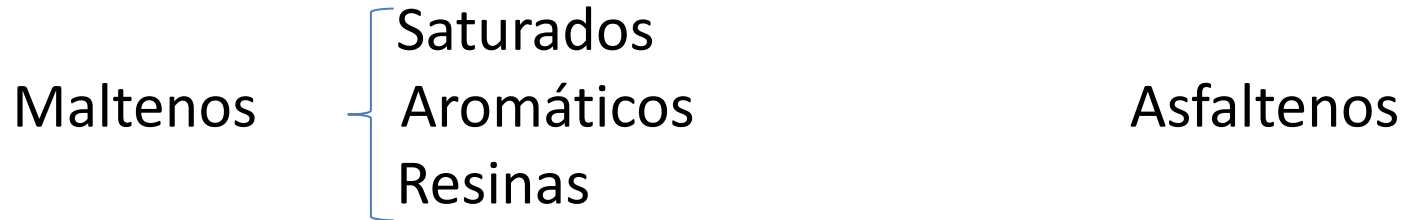
Abril 2022

Temas de esta conversación

- Hipótesis: La viscosidad de los crudos extrapesados pueden ser reducida con nanopartículas
- Algunas aplicaciones validan la hipótesis
- Las propiedades reológicas de un crudo liviano se alteraron con nano partículas
(Tovar-Ochoa-Yapuchura. Lima, Perú. 2022)
- Validar la hipótesis en crudos extrapesados
- Diseño de protocolos para aplicaciones
- Infraestructura y procedimientos en producción y transporte
- Seguridad, higiene y ambiente



Hidrocarburos líquidos



Los asfaltenos pueden precipitar por cambios de la

<https://www.slb.com/-/media/files/oilfield-review/p22-43-spanish>

- Presión
- Temperatura
- Composición
- Tasa de corte
- Agotamiento primario
- **Inyección de gas natural y CO₂**
- **Acidificación**
- **Producción cruzada de crudos diferentes**

Y eso puede ocurrir en

- el yacimiento
- instalaciones de subsuelo
- equipos de superficie

Enlaces químicos

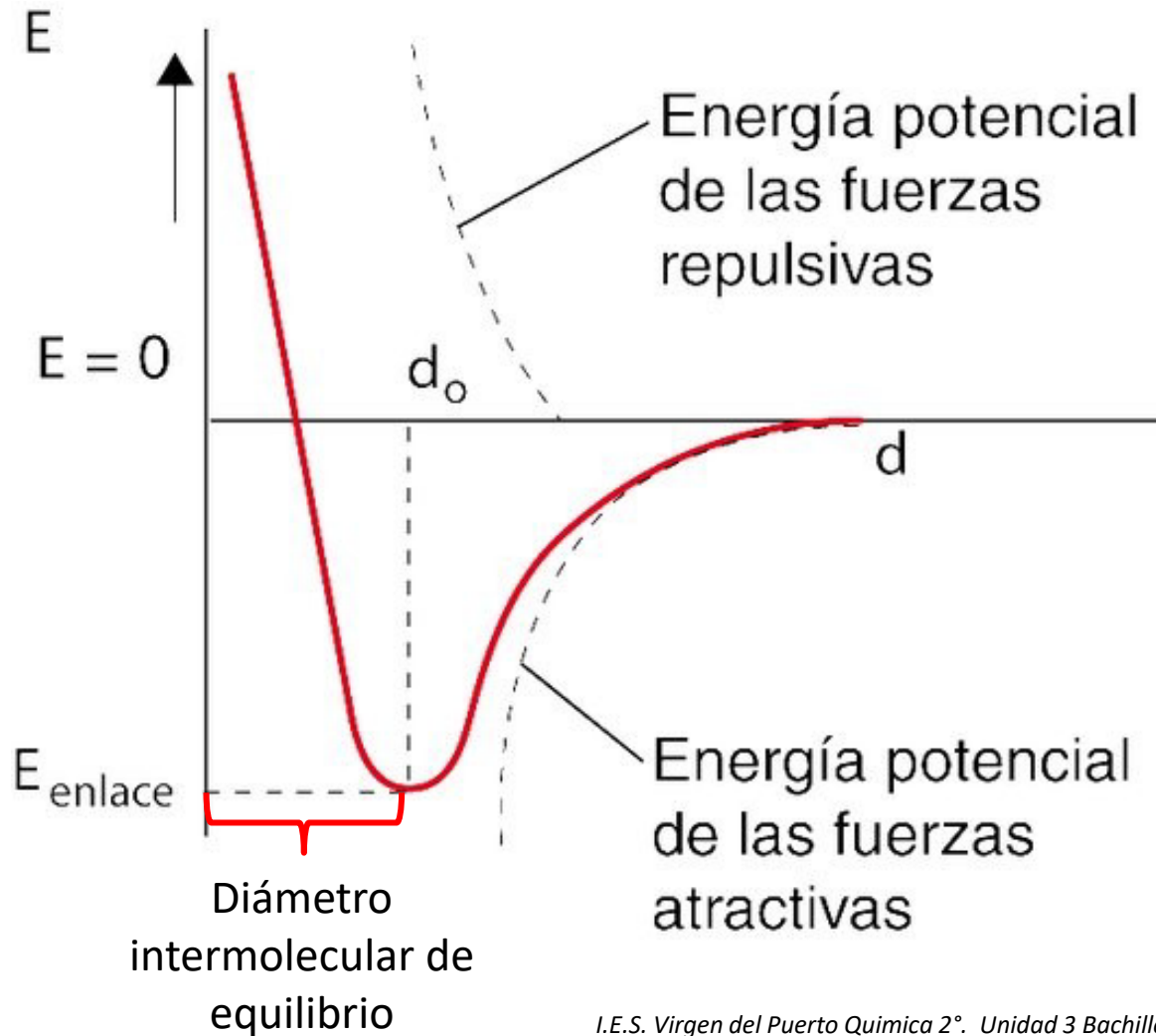
Tipos de enlaces -----> Incremento de energía de enlace		
Covalente	Iónico	Metálico
Comparten e ⁻	Transfieren e ⁻	Comparten e ⁻ entre todos

Energía de enlace para gas, 25 °C y 1 atm	
Molécula	Energ. Disociación, KJ/mol
CO ₂	-393,51
SO ₂	-296,83
NO	-90,25
C ₃ H ₈	-104,68
C ₄ H ₁₀	-125,65
C ₅ H ₁₂	-146,90
C ₆ H ₁₄	-167,20
C ₇ H ₁₆	-188,04
H-H	-436,00
C-H	-415,00
O-H	-460,00
C-N	-285,00
C-O	-352,00
C=C	-610,00
C≡C	-830,00
CaCO ₃	-1.207,00
Fe ₃ O ₄	-1.118,40

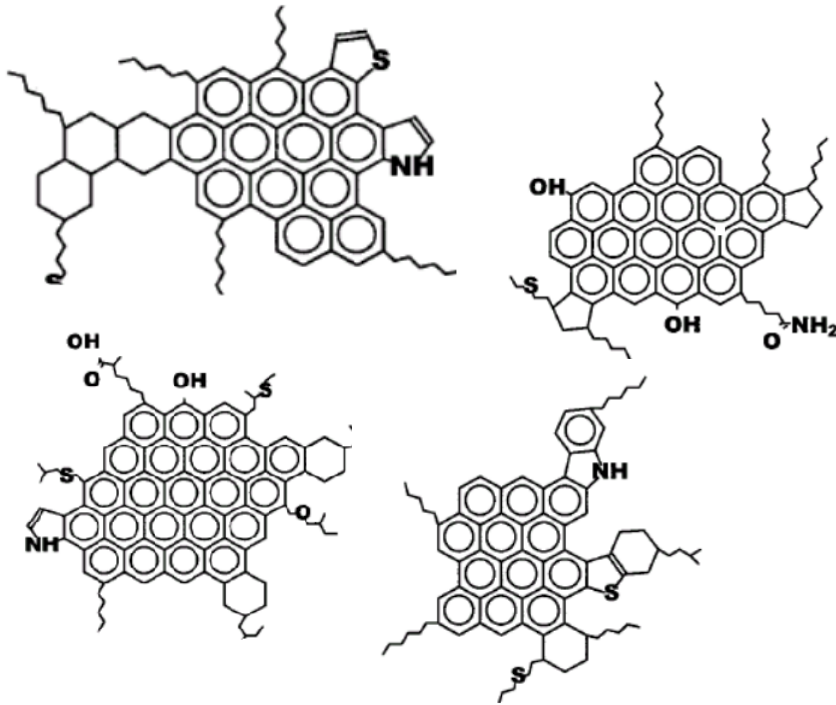
<https://loquimica.wordpress.com/elenlace-quimicolongitud-de-enlace-y-energia-de-enlace/>

Equilibrio de cohabitación molecular

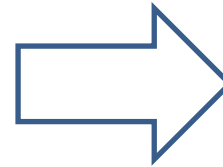
Gibbs: "Todo tiende al equilibrio"



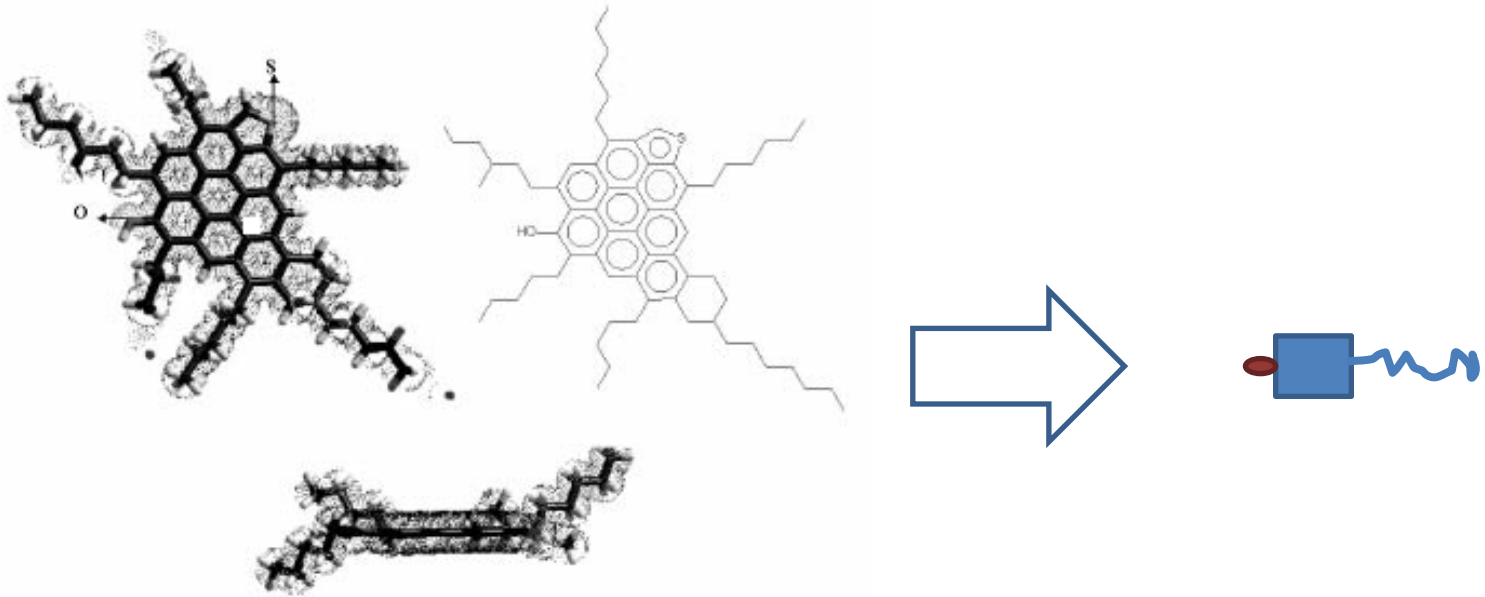
Moléculas de asfaltenos



Cúmulos de asfaltenos
unidos por puentes de
Hidrógeno



Moléculas de Resinas

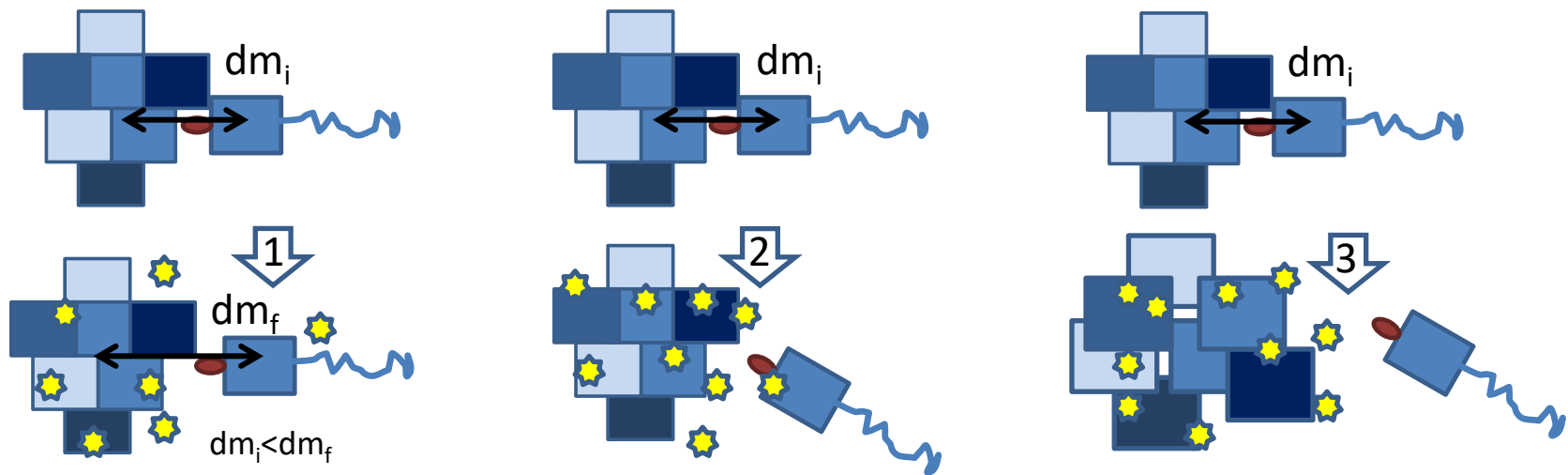


Separación y caracterización de resinas y asfaltenos provenientes del crudo Castilla. Evaluación de su interacción molecular.

Lina Navarro, Mario Álvarez, Jorge-Luis Grosso y Uriel Navarro. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Santander, Colombia. 2005

Hipótesis: Las nano partículas actúan sobre los cúmulos Resinas-Asfaltenos y...

1. ...aumentan los diámetros intermoleculares resinas-asfaltenos. Disminuye la rigidez
2. ...desacoplan las resinas del cúmulo de asfalto, el cual precipita parcial o totalmente
3. ...desacoplan las resinas y distienden (¿rompen?) los puentes de hidrógeno que unen los cúmulos de asfaltenos, dispersando la mezcla
4. Inducen cualquier combinación parcial o total de los escenarios anteriores



Antecedentes de aplicaciones de nanopartículas en laboratorio y campo Venezuela

Mezcla crudo extrapesado y Dispersante (Laboratorio)					
Crudo	Dispersante	Entalpía, KJ.mol ⁻¹	Crudo/dispersante	°API Original	°API final
Carabobo	LNG	-146,9	1:1	8,4	24,6
San Diego			1:1	9,5	25,8
Bare			1:1	8,8	27,2
Carabobo	Propano	-104,68	1:1	8,4	19,8
Monagas 18			1:1	18	21,4

Proceso para la recuperación y mejoramiento de crudos de fosas, crudos pesados y extrapesados en superficie".
INGEPET 2008. Lima Perú

Inyección de diluyente al yacimiento FPO Estado Monagas. Venezuela						
Dispersante	°API _i	°API _f	%ASF _i	%ASF _f	Prod _i , bl/día	Prod _f , bl/día
Propano	8,6	11,6	6	1	40	100

Tecnología MIS. Presentación Gerencia General FPO. PDVSA Intevep. 2010

Alteración de las Propiedades Reológicas de un crudo del noroeste peruano mediante la aplicación de nano partículas

Autores: Jhoan Ochoa y Ursuliano Yapuchura. Lima, Perú.

Análisis: José Gregorio Tovar Silva. ToBoGarQ Proyectos. Caracas, Venezuela.

Marzo, 2022

Resumen

Alteraciones de las propiedades reológicas de un crudo liviano del noroeste peruano cuando se le agregaron nano partículas (NP) de Fe_3O_4 , sintetizadas por los autores de la investigación

El crudo, y las mezclas con algunas concentraciones de NP, tienen un comportamiento no newtoniano

En algunas concentraciones de NP, las mezclas se comportan como fluidos newtonianos (se requerirá menos esfuerzo de corte para moverles)

Con el tiempo, los cambios a bajas concentraciones de NP tienden a revertirse, mientras que a mayor concentración de NP, los cambios son estables

Nano partículas en crudo liviano. Modelos reológicos

Plástico de Bingham

$$\tau = VP \cdot \gamma + PC$$

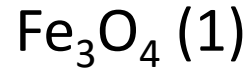
PC	Fluidos newtonianos	PC = 0
	Fluidos no newtonianos	PC > 0
VP	Sólidos aumentan su valor	

Ley de Potencia

$$\tau = K \gamma^n$$

n	Fluidos newtonianos	n=1
	Fluidos pseudoplásticos	n<1
	Fluidos dilatantes	n>1
K	Consistencia a tasa de corte de 1 s^{-1}	

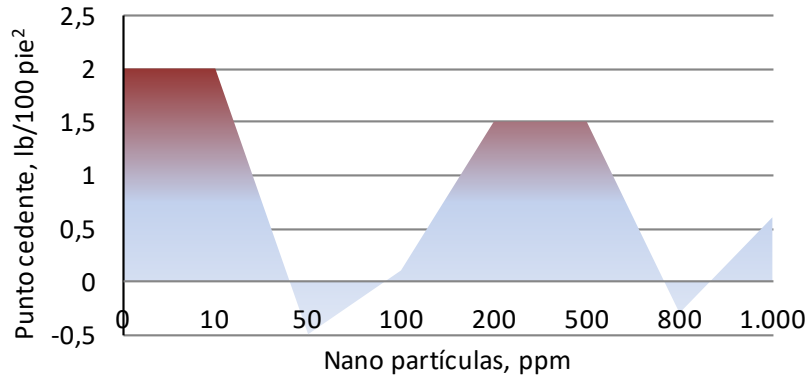
Propiedades reológicas. Crudo 30°API + nano partículas



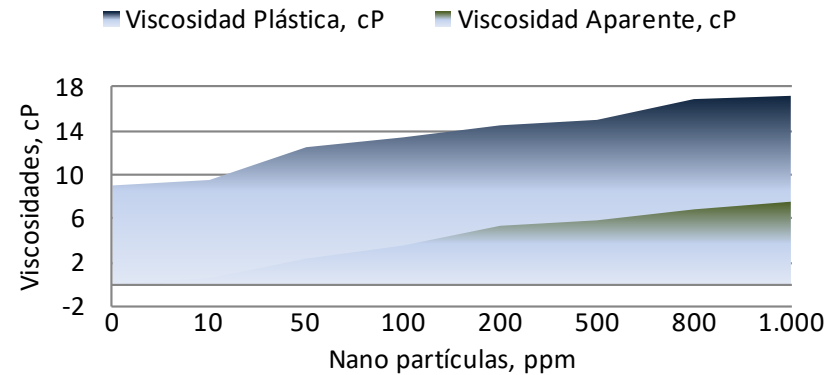
Ochoa, Yapuchura. Lima, Perú 2022
Análisis de J. G. Tovar

Modelo Bingham Plástico

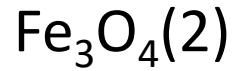
Punto Cedente, lb/100 pie²



Viscosidades



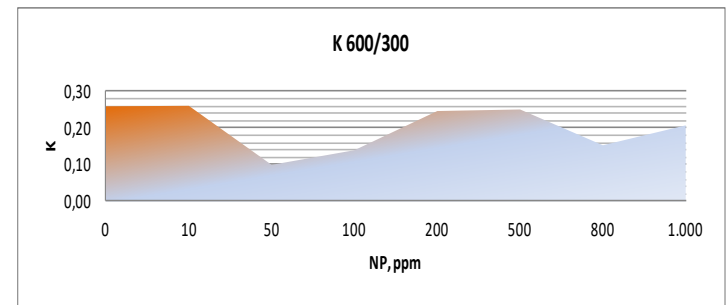
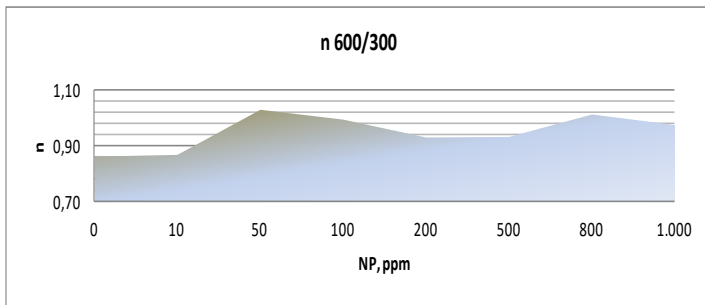
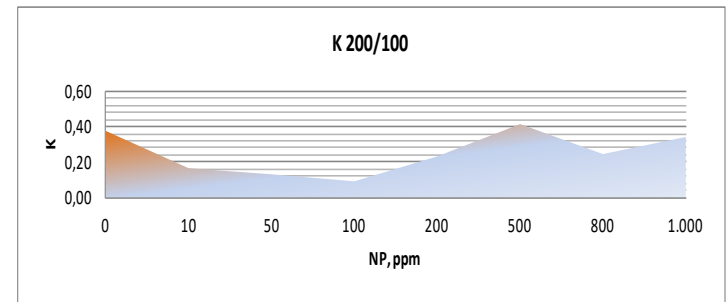
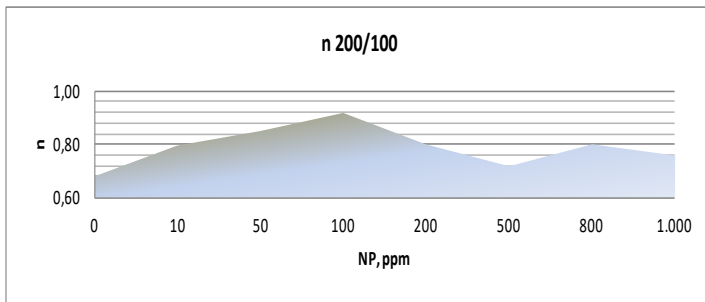
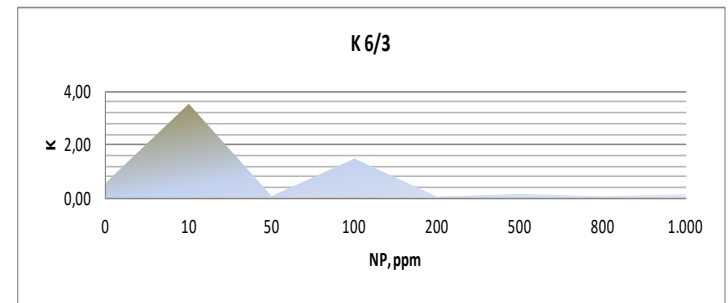
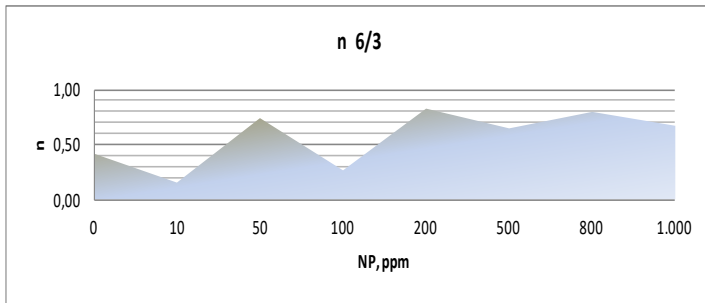
Propiedades reológicas. Crudo 30°API + nano partículas



Ochoa, Yapuchura. Lima, Perú 2022

Análisis de J. G. Tovar

Modelo Ley de Potencia



¿Y la Viscosidad?

Expresión

Alteración del equilibrio intermolecular

Propiedades reológicas

Viscosidad del fluido

Escala

nano

micro

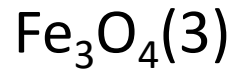
macro

Estudio Reológico de los fluidos viscoelásticos surfactantes utilizados en operaciones de fracturamiento hidráulico. Juan Carlos Cárdenas, et al. Revista Fuentes : El Reventón Energético. Vol 9 N° 1 2011. Enero/Junio pag 5/12

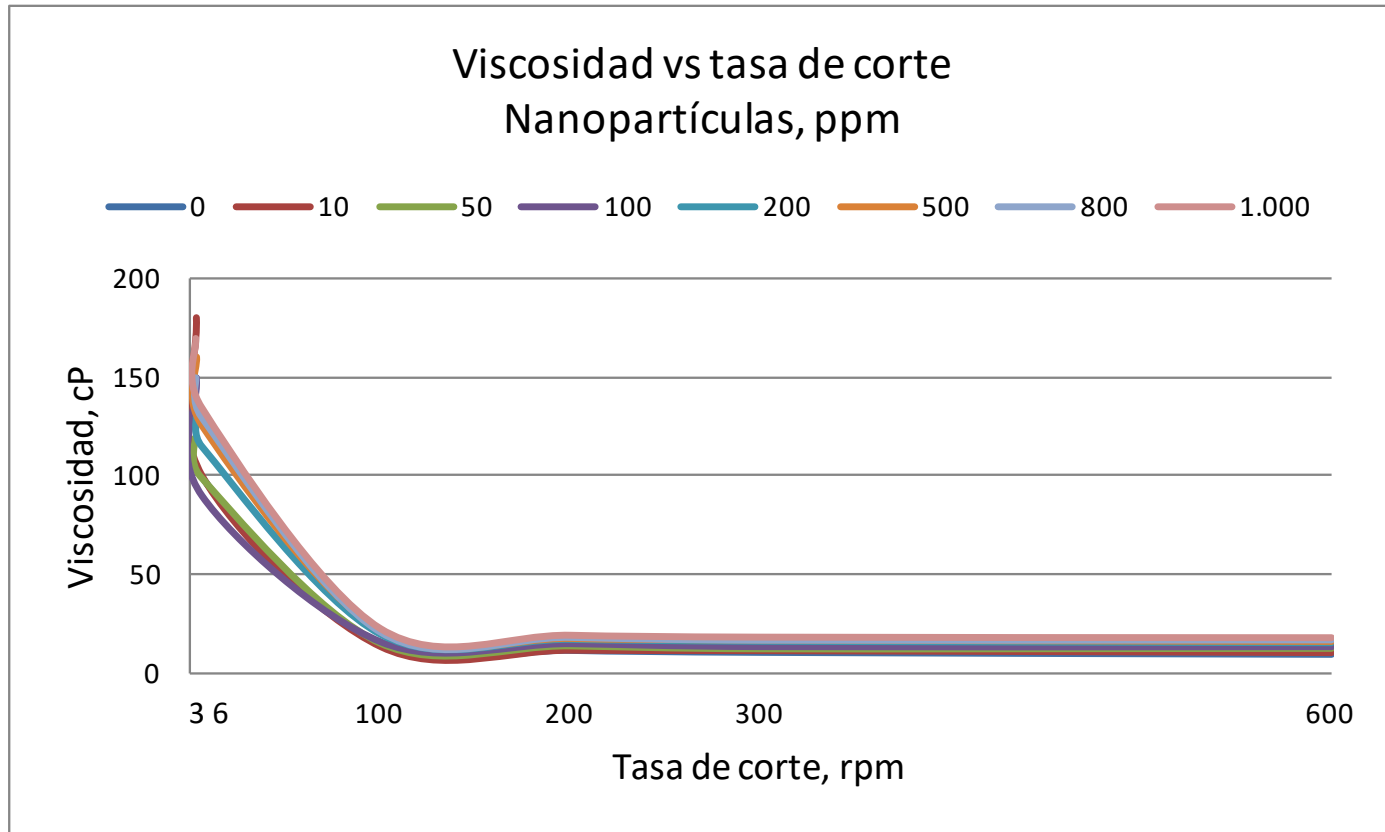
Escala	Rango
Nano	1 - 100 nm
Micro	100 nm - 1 mm
Macro	1 mm - ∞

A.F. Méndez Sánchez; L. Pérez Trejo; A. M. Paniagua Mercado. **Determinación de la viscosidad de fluidos newtonianos y no newtonianos (una revisión del viscosímetro de Couette).** Lat. Am. Phys. Educ. Vol 4, N° 1. January 2010. <http://www.journal.lapen.org.mx>.

Viscosidad vs Esfuerzo de corte. Crudo 30°API + nano partículas



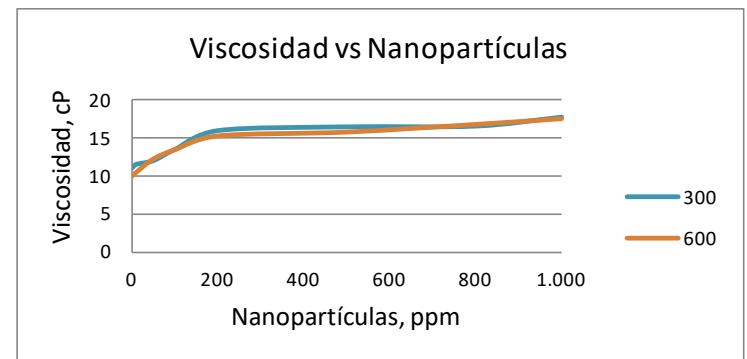
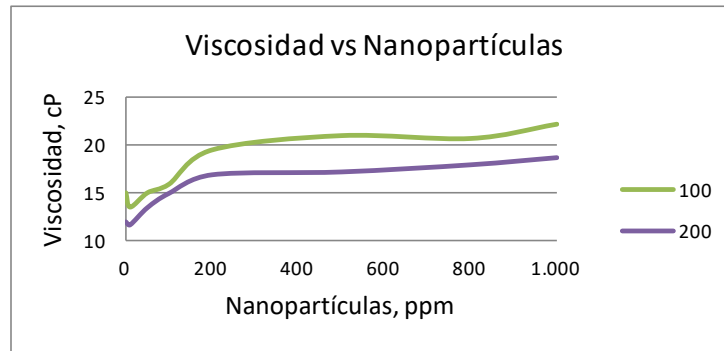
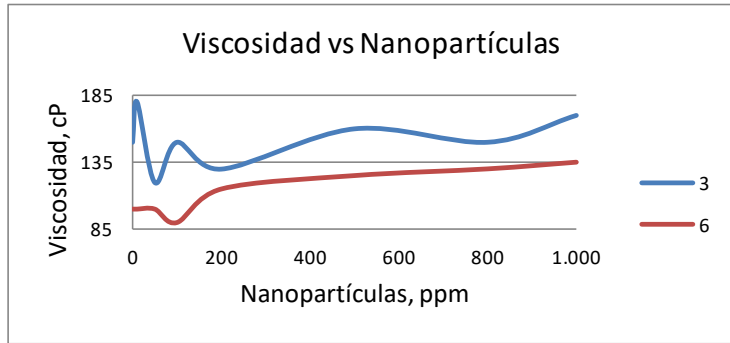
Ochoa, Yapuchura. Lima, Perú 2022
Análisis de J. G. Tovar



Viscosidad vs concentración de nano partículas

Ochoa, Yapuchura. Lima, Perú 2022

Análisis de J. G. Tovar

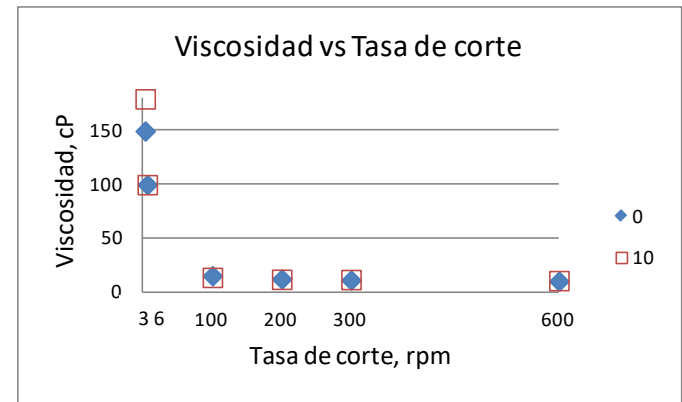


Efecto de las nano partículas en la viscosidad del crudo a diferentes tasas de corte

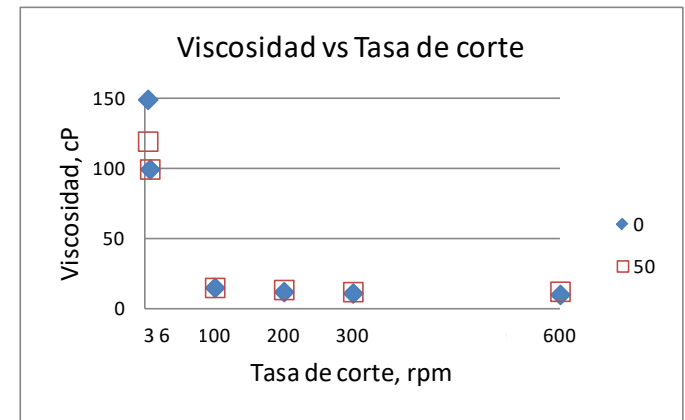
Ochoa, Yapuchura. Lima, Perú 2022
Análisis de J. G. Tovar

-1-

Tasa de corte, rpm	0	10	Δ Visc. cP	% Δ Viscosidad
3	149,7	179,6	29,9	20,0
6	99,8	99,8	0,0	0,0
100	15,0	13,5	-1,5	-10,0
200	12,0	11,7	-0,3	-2,5
300	11,0	11,5	0,5	4,5
600	10,0	10,5	0,5	5,0



Tasa de corte, rpm	0	50	Δ Visc. cP	% Δ Viscosidad
3	149,7	119,8	-29,9	-20,0
6	99,8	99,8	0,0	0,0
100	15,0	15,0	0,0	0,0
200	12,0	13,5	1,5	12,5
300	11,0	12,0	1,0	9,1
600	10,0	12,2	2,2	22,5

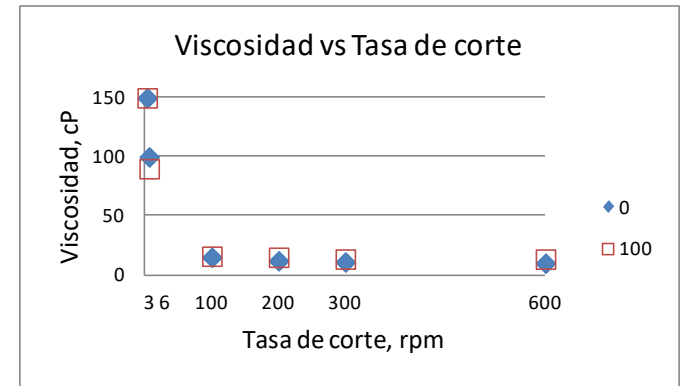


Efecto de las nano partículas en la viscosidad del crudo a diferentes tasas de corte

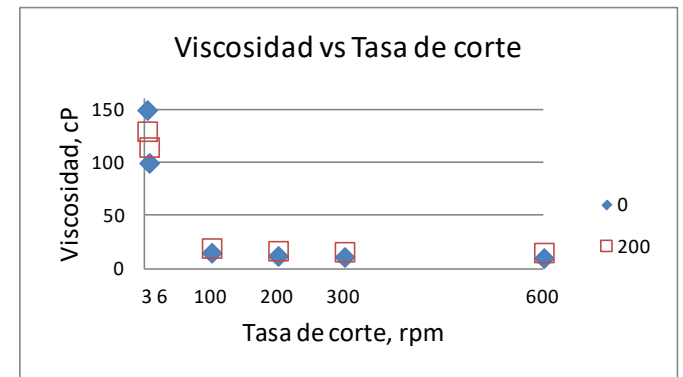
Ochoa, Yapuchura. Lima, Perú 2022
Análisis de J. G. Tovar

-2-

Tasa de corte, rpm	0	100	Δ Visc. cP	% Δ Viscosidad
3	149,7	149,7	0,0	0,0
6	99,8	89,8	-10,0	-10,0
100	15,0	15,9	0,9	6,0
200	12,0	15,0	3,0	25,0
300	11,0	13,5	2,5	22,7
600	10,0	13,4	3,4	34,5



Tasa de corte, rpm	0	200	Δ Visc. cP	% Δ Viscosidad
3	149,7	129,7	-20,0	-13,3
6	99,8	114,8	15,0	15,0
100	15,0	19,5	4,5	30,0
200	12,0	16,9	4,9	41,3
300	11,0	16,0	5,0	45,5
600	10,0	15,2	5,2	52,5

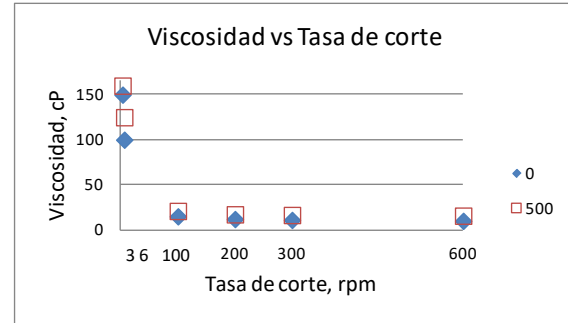


Efecto de las nano partículas en la viscosidad del crudo a diferentes tasas de corte

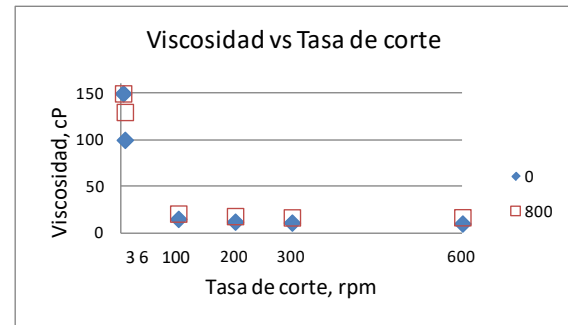
Ochoa, Yapuchura. Lima, Perú 2022
Análisis de J. G. Tovar

-3-

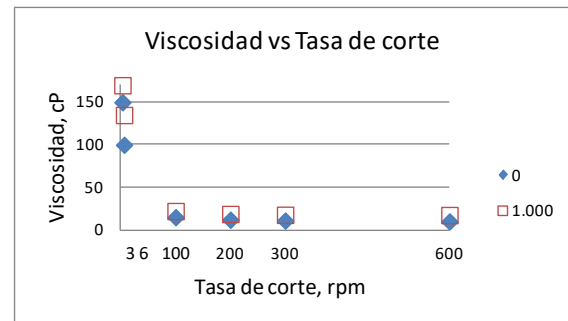
Tasa de corte, rpm	0	500	Δ Visc. cP	% Δ Viscosidad
3	149,7	159,7	10,0	6,7
6	99,8	124,8	25,0	25,0
100	15,0	21,0	6,0	40,0
200	12,0	17,2	5,2	43,8
300	11,0	16,5	5,5	50,0
600	10,0	15,7	5,7	57,5



Tasa de corte, rpm	0	800	Δ Visc. cP	% Δ Viscosidad
3	149,7	149,7	0,0	0,0
6	99,8	129,7	29,9	30,0
100	15,0	20,7	5,7	38,0
200	12,0	18,0	6,0	50,0
300	11,0	16,6	5,6	50,9
600	10,0	16,7	6,7	67,5



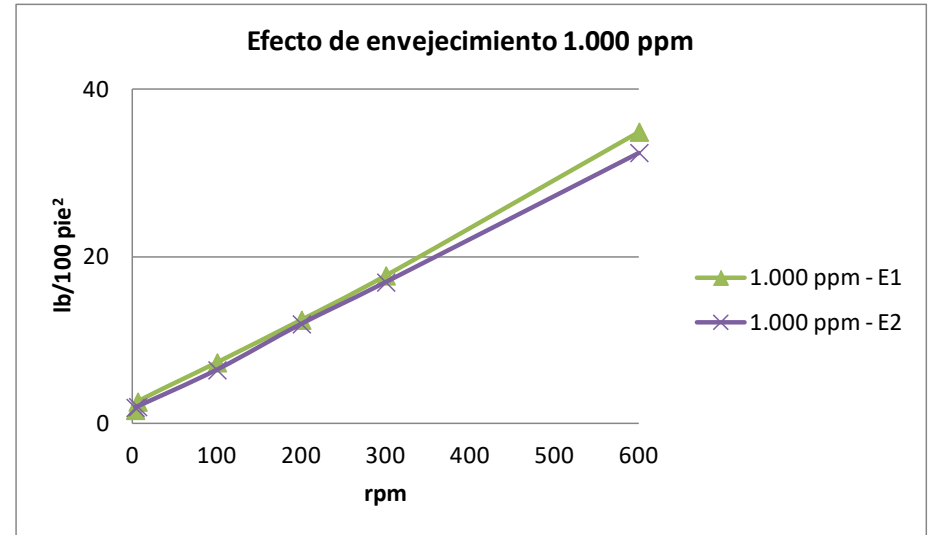
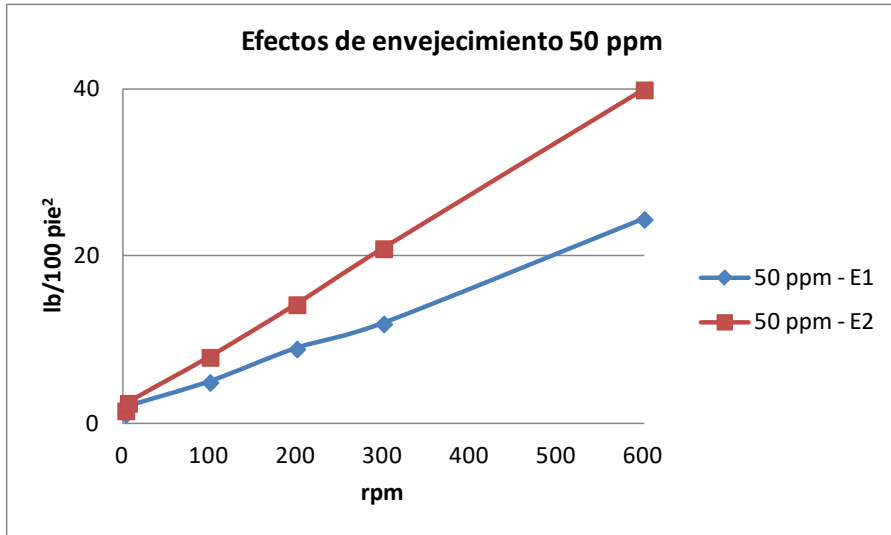
Tasa de corte, rpm	0	1.000	Δ Visc. cP	% Δ Viscosidad
3	149,7	169,7	20,0	13,3
6	99,8	134,7	34,9	35,0
100	15,0	22,2	7,2	48,0
200	12,0	18,7	6,7	56,3
300	11,0	17,8	6,8	61,8
600	10,0	17,5	7,5	75,0



Persistencia de los cambios en la reología del crudo con NP

rpm	50 ppm - E1	50 ppm - E2	$\Delta[c]$ %	Promedio
3	1,2	1,6	25	34
6	2,0	2,5	20	
100	5,0	8,0	38	
200	9,0	14,3	37	
300	12,0	21,0	43	
600	24,5	40,0	39	

rpm	1.000 ppm - E1	1.000 ppm - E2	$\Delta[c]$ %	Promedio
3	1,7	2,0	15	-7
6	2,7	2,1	-29	
100	7,4	6,5	-14	
200	12,5	12,0	-4	
300	17,8	17,0	-5	
600	35,0	32,5	-8	



A 50 ppm de NP, el esfuerzo de corte requerido aumenta 34% (se revierte parcialmente la dispersión)

A 1.000 ppm de NP, el esfuerzo de corte requerido disminuye 7% (la dispersión es estable y tiene un leve aumento)

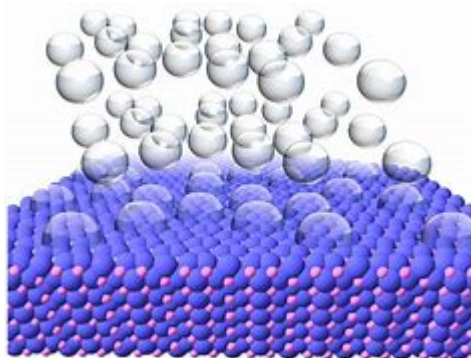
Se requiere verificar la hipótesis en **crudos extrapesados**

1. Verificar el tipo de asfaltenos y resinas
2. Determinar la concentración de NP vs reducción estable de viscosidad
3. Definir dónde es mejor (conveniente) realizar la inyección: ¿en la formación, a fondo de pozo, en el cabezal, en el múltiple, en la estación...?
4. ¿Se requerirá una “vacuna de refuerzo”?
5. Diseñar la logística, equipamiento y seguridad ocupacional para la aplicación
6. Evaluación económica



Determinar la posología a aplicar

1. Una nano partícula dispersa un solo tipo de crudo
2. Una nano partícula dispersa varios tipos de crudos
3. Varias nano partículas dispersan un solo tipo de crudo
4. Varias nano partículas dispersan varios tipos de crudos
5. Cuáles nano partículas no dispersan ningún tipo de crudos



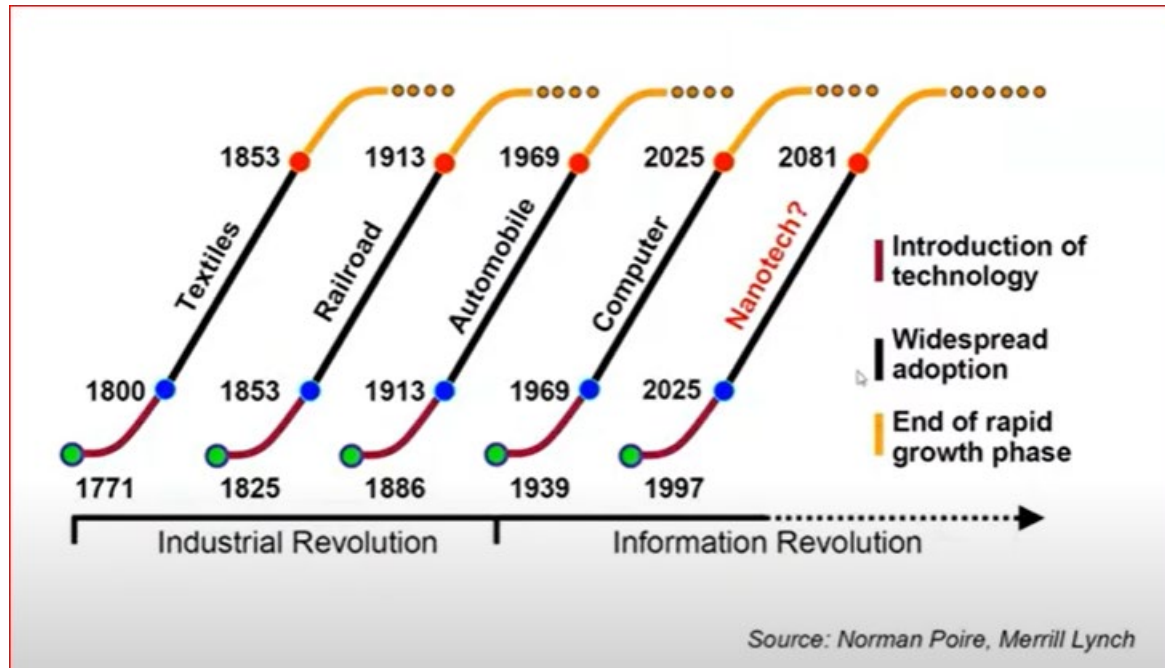
Protocolo sugerido para el crudo y las mezclas de nano partículas

1. SARA. Indicar n-alcano usado (ASTM D6560)
2. Gravedad API (D1298-12b)
3. Reograma a 3 temperaturas (API 13B-1)
4. Viscograma a 3 temperaturas (dependiendo del viscosímetro)
5. Geles a 1, 10 y 30 minutos, a 3 temperaturas (API 13B-1)
6. Envejecer las muestras por 24, 48 y 72 h. Repetir 1 al 5

Las temperaturas sugeridas: a) yacimiento; b) estación o almacenamiento; c) oleoducto y d) si hay un caso especial de temperatura (transmisión bajo agua, por ejemplo) hacerlo a las condiciones esperadas

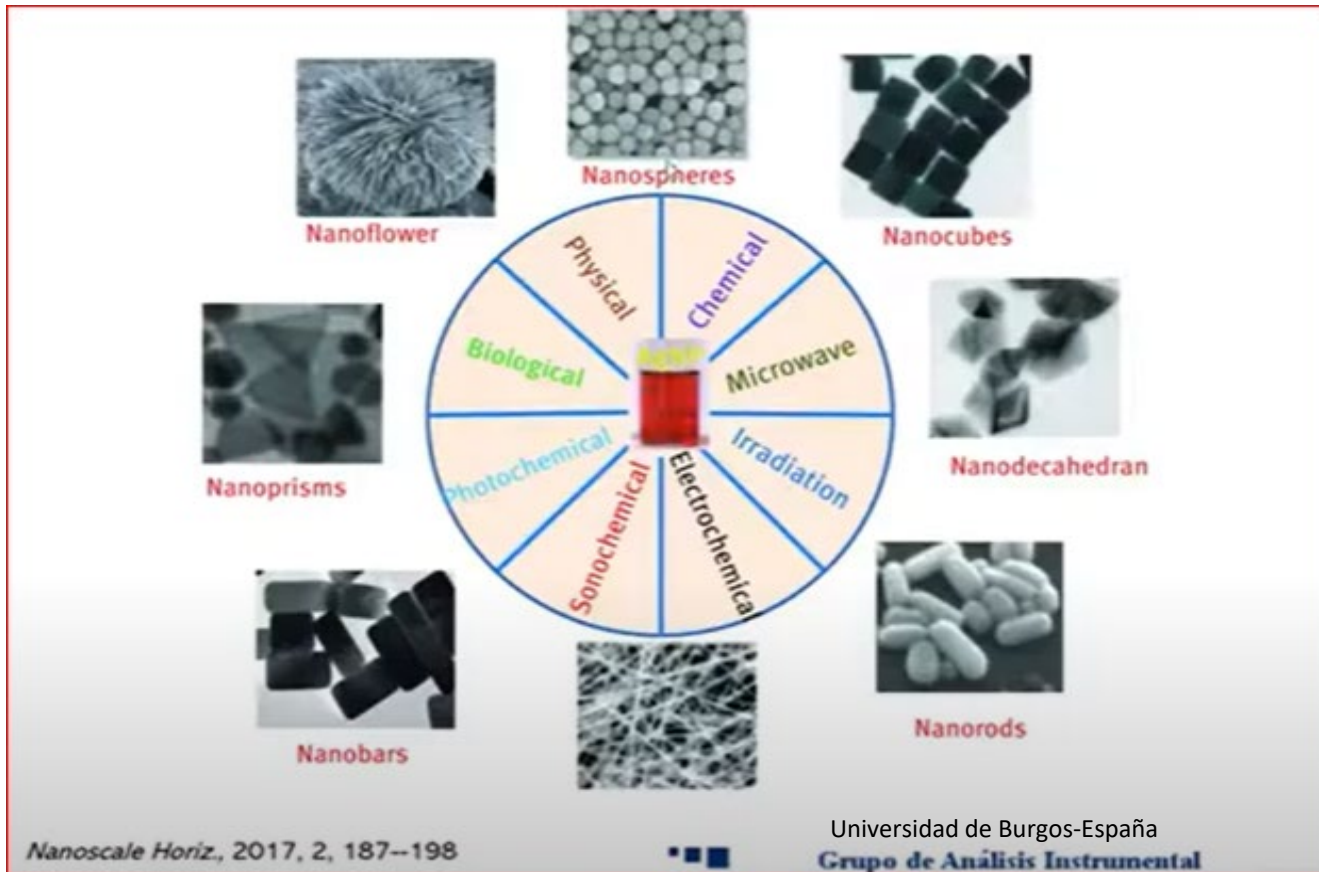
La simulación de la red debe tomar en cuenta el patrón de flujo prevaleciente dado que algunos sectores tendrán varias fases, a diferentes condiciones de confinamiento (Tasa de flujo, Presión y Temperatura)

Una nueva era de avances tecnológicos: Nanotecnología



Tipos de enlaces	-----> Incremento de energía de enlace		
Atributos	Covalente	Iónico	Metálico
Se forma	no metal + no metal (IH)	metal + no metal (NaCl)	metal + metal (Cu, Fe,...)
Ocurre porque	Comparten e ⁻	Transfieren e ⁻	Comparten e ⁻ entre todos
A temperatura ambiente	Son sólidos, líquidos y gases	Sólidos cristalinos y quebradizos	Sólidos (excepto el Hg)
¿Solubles en agua?	Poco solubles	Solubles	No
¿Conducen electricidad?	Muy poco	Fundidos y disueltos en agua	Si
Puntos de fusión y ebullición	Bajos	Altos	Altos

“Las nanopartículas se pueden hacer de casi todos los elementos de la tabla periódica, por diferentes medio o procesos” Dr. Alvaro Colina. U. de Burgos

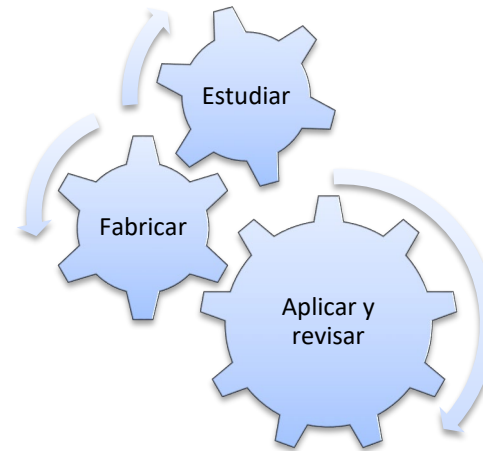


Configuración	Puntual	Filamento	Superficie	Cúbica
Orden	0	1	2	3

Átomos, Moléculas	Nano escala: 1 -100 nm	Sistema macriscópico
Mecánica Cuántica	Física Mesoscópica	Física clásica

Oportunidades con las nano partículas

- Síntesis de nano partículas
- Dispersión de crudos
- Aplicaciones de campo
- Otros usos



- Universidades
 - Institutos de investigación
 - Obreros, ingenieros y especialistas
- Fabricación de equipos para operaciones de laboratorio y campo
 - Seguridad industrial, Higiene y Ambiente
 - Gerencia de la información

Cualquier consulta posterior a esta conversación pueden hacerla a través de mis canales personales

Teléfono	0058 414 243 4406
Correo	tovarjo1@gmail.com
Twitter	Uchillamayu @JoseGre58100897
Telegram	Uchillamayu +58 414 243 4406



¡Muchas Gracias!

José Gregorio Tovar Silva.

Ingeniero de Petróleo (Universidad de Oriente-1977, Ve), Mg Sc en Perforación de Pozos (Universidad de Tulsa-1991, OK). Experiencia en operaciones e investigación en Construcción de Pozos de hidrocarburos. Ha trabajado en EE.UU, Francia, Brasil, Argentina, China, Canadá, Qatar, Cuba, Perú, Ecuador y Bolivia en la dirección de proyectos de planificación, operación y administración de empresas petroleras mixtas y Director de la empresa productora de hidrocarburos Río Napo en Ecuador. Director en la organización de eventos técnicos para difusión de ciencia y tecnología en materia petrolera FUNDASEFLU. Fue Coordinador Regional de la Misión Ribas en el Estado Sucre. Ha sido docente de pregrado en la Universidad de Oriente (núcleo Anzoátegui, Ve), de postgrado en la Escuela de Química de la Universidad Central de Venezuela (Caracas, D.F., Ve). Actualmente es profesor en Construcción de Pozos en la Universidad de los Hidrocarburos de Venezuela (UVH), Presidente de ToBoGarQ Proyectos y Vicepresidente de TOMARQ Servicios, miembro de la Mesa de Patrimonio del Estado Anzoátegui de Venezuela, asesor en la Organización de Emprendimientos para los Consejos Comunales, Comunas y Ciudades Comunales, y tiene experiencia en procesos de Visualización, Conceptualización e Ingeniería Básica y Detalle en libre ejercicio de la Ingeniería para compañías privadas y públicas. Jubilado de PDVSA (41 años activo en la Industria Petrolera Nacional de Venezuela).