

Un repaso no convencional a la reología



por JULIÁN RESTREPO*



A continuación veremos cómo a partir de la reología se aclaran algunos conceptos en las pinturas y los recubrimientos.

E

stimado lector, este escrito pretende dar un breve repaso a algunos conceptos de la ciencia de la reología y su aplicación por parte del formulador de recubrimientos y demás personas vinculadas con este mundo, haciendo un abordaje, quizás, poco convencional, intentando aclarar algunos conceptos que, en muchas ocasiones, resultan confusos para diversos formuladores. Claro, el tema merece mayor extensión, por lo que los objetivos del presente se limitan a hacer este escrito de tipo ilustrativo.

Aspectos generales

La reología es la ciencia de estudio de los materiales, la cual puede resumirse en dos palabras: flujo y deformación. Pero de manera más precisa, puede ser definida como la disciplina que se dedica al estudio de cómo los materiales se deforman y fluyen bajo la acción de fuerzas externas. Es así como el entendimiento de sus principios es muy importante en diversas industrias, como lo son la de plásticos, alimentos, tintas de impresión, detergentes, grasas y aceites lubricantes, entre otras [1], y siendo, por supuesto, esencial en la formulación de las pinturas y recubrimientos modernos [2].¹

En este punto inicial, es importante homologar los con-

ceptos de densidad, viscosidad y tensión superficial, para establecer cuáles de ellos están involucrados en la ciencia de la reología, los cuales se definen, brevemente, de la siguiente manera:

- **Densidad** (representada por el símbolo ρ , "ro" en el alfabeto griego), es la magnitud que expresa la relación que existe entre la masa y el volumen de una sustancia.
- **Tensión Superficial** (representada por el símbolo γ , "gamma"), es la cantidad de energía necesaria para aumentar la superficie por unidad de área de una sustancia.
- **Viscosidad** (representada por el símbolo η , "eta")², es la propiedad que tiene una sustancia por la cual tiende a oponerse a su flujo (resistencia a fluir) cuando se le aplica una fuerza.

Análisis de algunos paradigmas

Con base en las definiciones anteriores, observamos que sólo la viscosidad involucra el término fluidez. Pero entonces, ¿por qué habitualmente estos términos son utilizados de manera imprecisa, e incluso en algunos casos se confunden? Para ello, con fines ilustrativos se puede analizar la Tabla 1, la cual reporta algunas variables de diversas sustancias, y nos permite analizar algunas situaciones.

Tabla 1: Variables de densidad, viscosidad y tensión superficial para diversas sustancias a 25°C [3]³

Sustancia	Densidad (g/mL)	Viscosidad (cPs)	Tensión superficial (mN/m) ⁴
Etanol (100%)	0.782	1.100	22.18
Acetona	0.787	0.310	22.86
Xileno mezcla de isómeros	0.856	0.630	27.63
Tolueno	0.863	0.570	28.16
Benceno	0.870	0.608	28.21
Aceite de soya	0.916	47.5	31.30
Aceite de castor	0.961	985	38.70
Agua	0.997	0.900	72.80
Trietanolamina	1.120	607.70	46.07
Miel de abejas ⁵	1.360	2.000-10.000	66.3
Vidrio (de ventana)	2.700	10.000-1.000.000	-
Mercurio	13.546	1.526	485.5

i) La principal confusión entre los términos densidad y viscosidad surge del hecho de que en muchos de los diccionarios de lengua castellana el término denso aparece como sinónimo de viscosidad [4], aún cuando

en principio no hay una relación directa entre ambas propiedades.

Así, tomando como referencia el agua líquida, hay materiales como el mercurio, que tienen una alta densidad pero tienen una baja viscosidad; por su parte, el aceite de castor tiene una menor densidad que el agua líquida, pero tiene una mayor viscosidad; en el caso de la miel de abejas, esta tiene tanto una mayor densidad, como viscosidad que el agua líquida.

De hecho, de una búsqueda en internet observé el siguiente comentario: "La densidad de una pintura o un barniz tiene mucho que ver con el esfuerzo de la presión del aplicador, ya sea con brochas, rodillos, *sprays*, etc. y la rapidez con que el recubrimiento se distribuye por la superficie ante esta presión" [5]... En realidad, debemos indicar en este caso, que tanto la densidad como la tensión superficial son propiedades que no dependen del esfuerzo cortante, mientras que la viscosidad sí, o mejor, que las sustancias que se alejan del comportamiento newtoniano presentan un perfil reológico, con el cual, a medida que aumenta su esfuerzo cortante varía su viscosidad (puede aumentar o disminuir, como veremos más adelante).

Por tanto, en esta situación tenemos otro ejemplo más de la confusión existente con los términos densidad y viscosidad.

ii) Para intentar analizar las posibles relaciones entre estas variables, sabemos, por ejemplo, que la tensión superficial y la densidad están relacionadas considerando la denominada ley de Jurín, mediante la cual, se puede determinar la tensión superficial de un líquido, midiendo la altura de una columna de dicho líquido en un capilar de diámetro conocido, suponiendo que el ángulo de contacto θ de los líquidos con la pared del capilar es pequeño (de modo que $\cos\theta \approx 1$)⁶

Ecuación 1

$$\gamma = r \cdot \rho \cdot g \cdot \frac{h}{2}$$

en donde,

r: Radio del capilar

d: densidad del líquido

g: constante de la gravedad (9.8 m/seg²)

h: Altura del capilar

A partir de la ecuación 1, se observa que la densidad y la tensión superficial son directamente proporcionales.

Por su parte, de acuerdo a Rodenbush et al. [6], para el caso de aceites vegetales, la relación entre la viscosidad y la densidad viene definida por la siguiente expresión:

Ecuación 2

$$\eta = \frac{E}{(\rho - D)^2}$$

en donde,

d: densidad del líquido

E y D, constantes asociadas a cada aceite vegetal

A partir de la ecuación (2), se aprecia que, al menos para el caso de la mayoría de aceites vegetales, la densidad y la viscosidad son inversamente proporcionales. Pero al observar los datos reportados en la tabla 1, se observa que esta no se cumple para los dos aceites reportados, lo que indica la compleja relación entre ambas propiedades para sustancias de la misma naturaleza, y la cual es más compleja aún, considerando sustancias de naturaleza tan disímil como las reportadas.

iii) Una manera muy práctica para analizar la relación entre las propiedades de las sustancias de la tabla 1, es representarlas gráficamente, por ejemplo, en función de la densidad. Pero para ello, escogeremos un grupo de sustancias de naturaleza similar, tal como el grupo de disolventes reportados.

Así obtenemos la Figura 1 (no se han incluido los aceites de soja y castor, la trietanolamina, la miel, el vidrio y el mercurio):

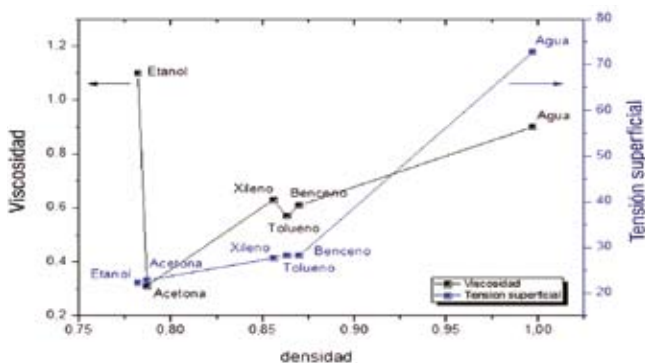


Figura 1: Representación gráfica de la viscosidad y la tensión superficial contra la densidad de los diferentes disolventes reportados en la Tabla 1.

En dicha figura se observa que, en general, para los disolventes, al aumentar la densidad, aumentan conjuntamente la viscosidad y la tensión superficial, pero esta regla no puede ser aplicada en general para cualquier sustancia líquida.



Fenchem

Warm Your Future !



Serie de celulosas

- Nitrocelulosa
- Hidroxipropil metilcelulosa
- Hidroxietilcelulosa
- Metilhidroxietilcelulosa
- Carboximetilcelulosa
- Metilcelulosa
- Polvo redispersable de polímero
- Fibra de celulosa

Serie de resinas

- Resina de hidrocarburos C9
- Resina de hidrocarburos C5
- Resina de hidrocarburos copolimerizada C5/C9



www.fenchemcn.com sunj@fenchem.com

 <p>FENCHEM CHINA Tel: +86 25 8421 8888 Fax: +86 25 8457 4987</p>	<p>FENCHEM EE.UU. Tel: +1 909 627 5268 Fax: +1 909 627 3619</p>	<p>FENCHEM EUROPA Tel: +420 597 609 100 Fax: +420 597 609 102</p>	<p>FENCHEM MALASIA Tel: +603 2282 9689 Fax: +603 2282 9589</p>
---	--	--	---



La reología estudia el flujo y la deformación de los materiales.

Definición de viscosidad, desde la reología

Complementando la definición inicial de la viscosidad, desde el punto de vista de la reología, ésta es definida como la relación entre el esfuerzo cortante (τ , "tau") y la velocidad cortante ($\dot{\gamma}$, "gamma punto") en la ley de Newton:

$$\eta [\text{Pa} \cdot \text{s}] = \frac{\tau [\text{Pa}]}{\dot{\gamma} [\text{s}^{-1}]}$$

1 Pa.s = 1000 mPa.s = 1000 cP (centiPoises)

Para definir las variables esfuerzo cortante (τ) y velocidad cortante ($\dot{\gamma}$), usualmente se emplea un modelo teórico simple, en el cual una sustancia se mueve bajo condiciones de flujo laminar entre dos platos paralelos (distancia entre ambos = h), y se asume que la sustancia está formada por capas muy delgadas (a nivel molecular), tal como se ilustra en la Figura 2.

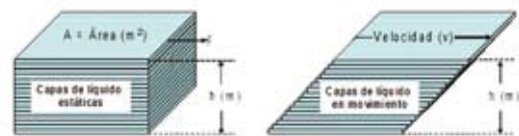


Figura 2: Izquierda, porción de líquido representado en forma de capas delgadas estáticas; derecha, la misma porción de líquido bajo flujo laminar.

Así pues, el esfuerzo cortante (shear stress, τ) es definido como la relación entre la fuerza aplicada (F) sobre la sustancia, por unidad de área, siendo por tanto:

$$\text{esfuerzo cortante: } \tau [\text{Pa}] = \frac{F [\text{N}]}{A [\text{m}^2]}$$

En la Figura 2 se aprecia que una fuerza (F) actúa sobre la superficie de sustancia de área (A) en el plato superior, mientras que el plato inferior no se mueve (se encuentra estacionario), así esta fuerza provoca un movimiento sucesivo de las delgadas capas de la sustancia (de espesor h) entre los platos, bajo condiciones de régimen laminar. La velocidad resultante (v) depende de la fricción interna (resistencia) entre las capas y va disminuyendo gradualmente hasta cero, en la capa más inferior.

La relación entre la diferencia de velocidad (Δv) entre dos capas y la diferencia del espesor de las capas (Δd), la cual es constante, puede expresarse como la velocidad cortante (velocidad de deformación del

iv) Finalmente, debemos apuntar que, referirnos a la alta viscosidad de una sustancia, por ejemplo un aceite, como "este aceite es viscoso", es incorrecto. Ya hemos visto que los materiales líquidos tienen asociado un valor de viscosidad, por tanto, líquidos de menor viscosidad como un alcohol o el agua, también pueden ser denominados "viscosos".

En rigor, la expresión correcta en este caso sería, este aceite tiene alta viscosidad. Aunque en este punto debemos tener presente que no estemos confundiendo una propiedad con otra, por ejemplo, la tensión superficial con la viscosidad, en donde nuestros sentidos nos conducirían a una duda metódica (tal y como lo planteara ya antaño Descartes, en el s. XVII [7]).

material y denominada en inglés como shear rate):

$$\text{Velocidad de corte: } \dot{\gamma} [S^{-1}] = \frac{v [m \cdot s^{-1}]}{h [m]}$$

Comentario final

Se ha discutido y presentado, de manera muy breve, algunos de los conceptos más importantes relacionados con la ciencia de la reología, pero debemos reconocer que otros conceptos igualmente importantes se han escapado de los objetivos de este escrito, tal como: la definición del valor de cedencia (Yield Value), la clasificación de los comportamientos reológicos (perfiles de viscosidad), la consideración de la escala de tiempo en la cual se aplica la deformación al fluido en estudio (el concepto del número de Deborah, De), los cuales en conjunto, permiten tener una visión más amplia de la importancia de la ciencia de la reología y mucho más, en la formulación de los recubrimientos actuales. ■

Referencias

[1] Introducción a la Reología: <http://es.scribd.com/doc/100704088/r53208>

[2] Rheology Handbook: Elementis Specialties, A practical guide to rheological additives. 30th anniversary edition, 2008; (www.elementis.com)

[3] a) Flick, E.W. (1998). Industrial Solvents Handbook (5th Edition); William Andrew Publishing/Noyes; Table 2.140: Texaco Chemical Solvents; b) <http://deconceptos.com/ciencias-naturales/viscosidad>; c) Koshkin N.I., Shirkévich M.G. Manual de Física, Editorial Mir (1975)

[4] a) <http://www.wordreference.com/sinonimos/viscoso>; b) http://diccionarios.elmundo.es/diccionarios/cgi/diccionario/lee_diccionario

[5] <http://www.sbnprensatecnica.com/noticia/526/Industria-de-la-Pintura/.html>

com/noticia/526/Industria-de-la-Pintura/.html

[6] Rodenbush CM, Hsieh FH, Viswanath DS. Density and viscosity of vegetable oils. J Am Oil Chem Soc 1999;76:1415e9

[7] http://es.wikipedia.org/wiki/Ren%C3%A9_Descartes

Pie de página

1. El adjetivo “moderno” es multi-forme, pero debe interpretarse en este contexto, considerando los desarrollos actuales a la fecha de esta publicación.

2. En algunos textos, esta propiedad es aún denotada por el símbolo μ , pero en realidad este está reservado para el potencial químico.

3. Las sustancias reportadas se presentan en función del valor de la densidad, en orden ascendente.

4. Datos con relación al aire.

5. Propiedades para miel común con un contenido de humedad entre el

14-20%. En rigor, en este caso se hace referencia a “miel ordinaria”, la cual se consigue en el supermercado, ya que las características de la miel dependen de múltiples factores, tal como su contenido de azúcar, humedad, fuente, tipo de abeja, época del año, etc., etc.

⁶ La ley de Jurín completa es

$$\gamma = r \cdot \rho \cdot g \cdot \frac{h}{2 \cdot \cos \theta}$$

* M.Sc. Ph.D. Julián A. Restrepo R., Factory Service de PPG Industries Colombia, julian.restrepo@ppg.com

Instrumentos FMP para la medición de Espesores de Recubrimientos.

La solución flexible para sus aplicaciones de medición



- Instrumentos altamente confiables
- Sondas de gran precisión
- Reconocimiento instantáneo del material base
- Comunicación por puerto USB
- Amplia pantalla que permite la fácil lectura de las mediciones realizadas
- Cubierta ultra resistente a impactos
- IMO PSPC, SSPC Pa2
- Fischer Data Center® Software

MÉXICO +52 (442) 260-9295 • hhuerta@fischer-technology.com • emireles@fischer-technology.com • www.helmut-fischer.com
USA +1 (860) 683-0781 • info@fischer-technology.com • www.fischer-technology.com

Fischer

Esposor de Recubrimientos | Análisis de Materiales | Microdureza | Ensayo de Materiales