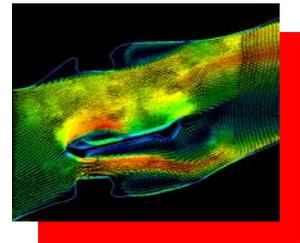
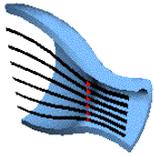


**Universidad Nacional Experimental
Francisco de Miranda
Área de Tecnología
Complejo Docente “El Sabino”
Programa Ingeniería Química
Cátedra: Fenómeno de Transporte**

REOLOGÍA





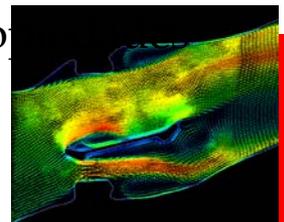
INTRODUCCION

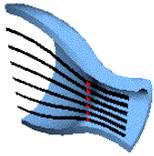
Los fluidos son de gran interés desde hace mucho tiempo, ya que el ser humano al empezar a estudiar ciertos fenómenos sobre la tierra descubrió que existen varios tipos de líquidos, unos son más espesos que otros, teniendo características físicas diferentes.



También se puede definir un fluido como aquella sustancia que, debido a su poca cohesión intermolecular, carece de forma propia y adopta la forma del recipiente que lo contiene.

El hombre descubrió que existen dos tipos de fluidos principales, los estáticos y en movimiento. Los fluidos estáticos son los más fáciles de explicar debido a que carecen de movimiento, lo que indica, que posee las mismas características en cualquier parte del fluido. Sin embargo, los fluidos en movimiento se dividen en muchas categorías, dependiendo de su composición, cinemática, propiedades físicas o simplemente facilidad de movimiento.



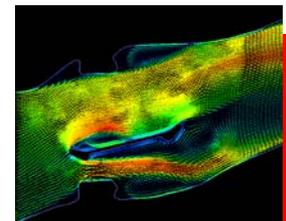


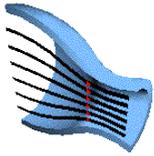
El estudio de los fluidos no estáticos precisa detallar las variaciones de flujo, así como las pérdidas ocurridas según sea el caso. Para esto, se introducen una serie de formulaciones matemáticas para explicar los fenómenos que pueden ocurrir cuando se esta en presencia de un fluido en movimiento.

Una de las principales características de los fluidos en movimiento es la viscosidad, es decir, la facilidad con la que viaja dentro de un determinado conducto. Se divide en fluidos newtonianos (esfuerzo de corte que es directamente proporcional a la relación de deformación) y no newtonianos (esfuerzo de corte no es directamente proporcional de la deformación).

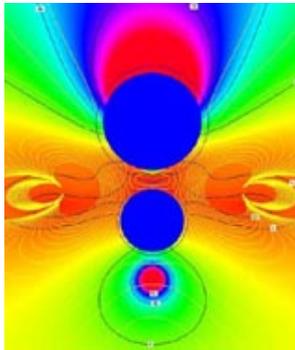


Al estudiar estos casos de los fluidos en movimiento se introduce la palabra reología por Bingham en 1929, y es definida como el estudio de los principales fenómenos físicos que regulan el movimiento de los fluidos.



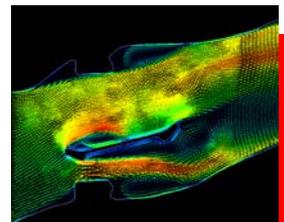


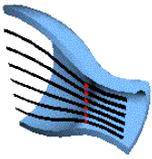
Una definición más moderna de la reología, dice que es la parte de la física que estudia la relación entre el esfuerzo y la deformación en los materiales que son capaces de fluir. La reología es una parte de la mecánica de medios continuos; una de las metas más importantes en reología es encontrar ecuaciones constitutivas para modelar el comportamiento de los materiales.



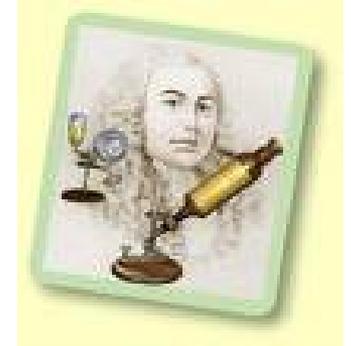
Las ecuaciones propuestas por Bingham son de gran interés para los investigadores; sin embargo, otros no piensan igual y han buscado la manera de sintetizar o explicar mejor lo que ocurre cuando existe un movimiento de fluido y han determinado la cinemática, la cual estudia los conceptos requeridos para la mejor comprensión del movimiento de los fluidos.

Sus resultados se aplican en el cálculo y diseño de obras, accesorios y controles para el manejo de fluidos que fluyen, escurren o se mueven.





REOLOGÍA



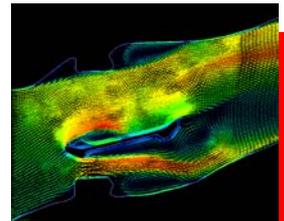
En 1678 Robert Hooke fue el primero que habló de la reología en su libro “Verdadera Teoría de la Elasticidad”. Dicha teoría se resumía en lo siguiente: “Si se dobla la tensión, se dobla la deformación”.

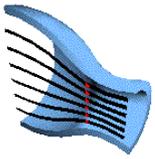
En esta época apareció la Ley de Hooke que fue de aplicación para el estudio de la reología de sustancias sólidas

$$\sigma = G \cdot \gamma$$

Siendo: σ : esfuerzo cortante (Pa)
 G : módulo de rigidez (Pa).
 γ : deformación (%).

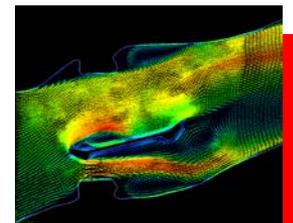
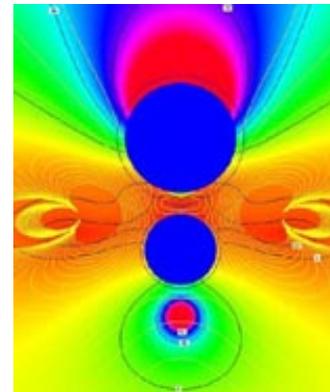
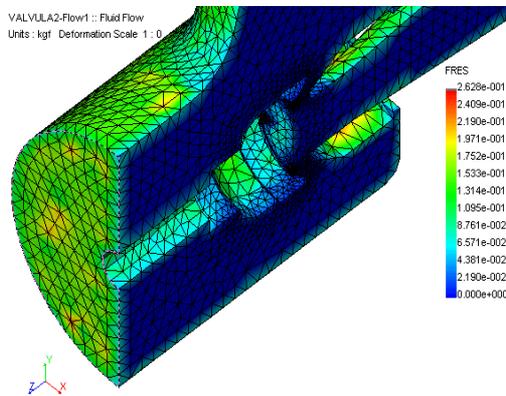
La fórmula nos dice que si se aplica una carga σ sobre un cuerpo sólido, éste va a sufrir una cierta deformación γ . El valor de dicha deformación se mantendrá hasta que cese el esfuerzo aplicado.

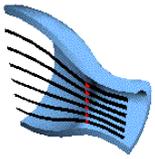




INTRODUCCION A LA REOLOGÍA

La Reología es la ciencia del flujo que estudia la deformación de un cuerpo sometido a esfuerzos externos, resumidamente, se puede decir que la reología se encarga de estudiar la viscosidad, la plasticidad y la elasticidad de los fluidos. Estas propiedades de los fluidos tienen una enorme importancia en una multitud de fenómenos, como la fabricación de pinturas, cosméticos (dentífricos, cremas), productos alimenticios, fármacos, esmaltes, suspensiones, tintas de impresión, detergentes o aceites lubricantes, etc. Así mismo, los estudios reológicos se emplean en control de calidad y para diseñar los procesos de fabricación (trasiego, mezcla y almacenamiento) de fluidos.





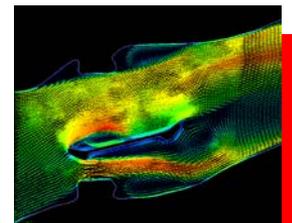
Nueve años después, Isaac Newton publicó una hipótesis asociada al estado simple de cizalladura (o corte):

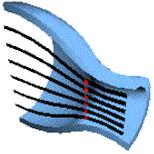


“La resistencia derivada de la falta de deslizamiento de las partes de un líquido es proporcional a la velocidad con que se separan unas de otras dentro de él”. Esta necesidad de deslizamiento es lo que ahora se denomina “Viscosidad”, sinónimo de fricción interna. Dicha viscosidad es una medida de la resistencia a fluir. Según Newton la tensión de cizalla o esfuerzo cortante es proporcional al gradiente de velocidad (du/dy). Si se duplica la fuerza, se duplica el gradiente de velocidad:

$$\tau = \mu \cdot \frac{du}{dy} = \mu \cdot D$$

Esta fórmula se denomina *Ley de Newton*, que es aplicable actualmente para unos fluidos determinados (Newtonianos). La glicerina y el agua son ejemplos muy comunes que obedecen la Ley de Newton, aun cuando el agua es mil veces menos viscosa que la glicerina

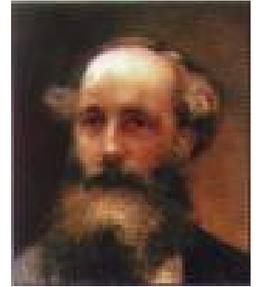




En 1867 J.C Maxwell, en su artículo “Sobre la teoría dinámica de los gases”, propuso un modelo matemático para describir los fluidos que poseen propiedades elásticas, es decir, elementos asociados a la respuesta de un sólido:

$$\sigma = \beta \cdot \gamma$$

donde β es un parámetro semejante al módulo de rigidez (Parámetro no-nulo).

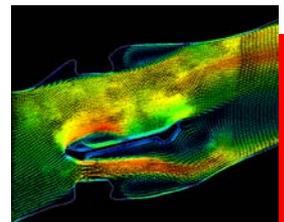


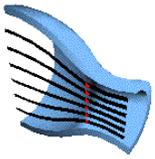
La conducta que observó Weber en sólidos, como Maxwell en líquidos se denominó “Viscoelasticidad”. Después de Maxwell no se profundizó más en el estudio hasta la segunda década del siglo XX, apareciendo una serie de modelos lineales y no lineales de comportamiento.

En 1945 M. Reiner definió el número de Deborah, D_e como:

$$D_e = \frac{\tau}{T}$$

En donde “ τ ” es el tiempo característico del material y “ T ” el tiempo característico del proceso de deformación. Si D_e era muy alto se consideraba al material como un sólido elástico, y si D_e era muy bajo se le consideraba como un líquido viscoso.





APLICACIONES DEL ESTUDIO DE LA REOLOGÍA

Control de calidad en alimentos: se realiza en la propia línea de producción. Es determinante para la aceptación de productos como cereales, quesos, yogures, dulces, chocolates, cremas, etc.

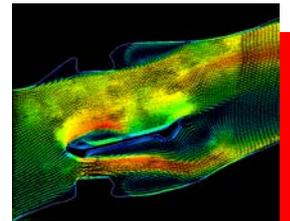
Estudio de la textura y consistencia de productos alimenticios: dichas propiedades son muy importantes a la hora de que un producto sea del agrado del consumidor.

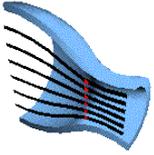
Producción de medicamentos: se estudia su estabilidad química, su tiempo de caducidad y su facilidad de extrusión, entre otras.

Caracterización de gasolinas y otros tipos de hidrocarburos.

Producción de pinturas: una pintura debe ser esparcida de forma fácil pero sin que se derrame.

Producción de productos cosméticos y de higiene corporal: la duración de una laca sobre el pelo, la distribución de la pasta de dientes por toda la boca, la forma de cómo se esparce una crema, etc. Todas estas características se estudian con la reología para obtener la mayor eficacia del producto.





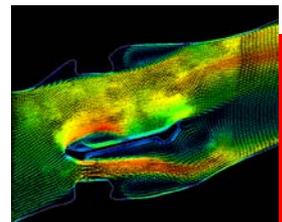
FLUIDOS

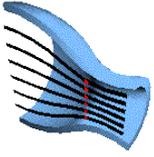


Un fluido se define como una sustancia que se deforma continuamente bajo la aplicación de esfuerzos cortantes.

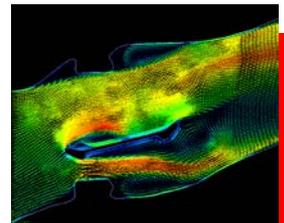
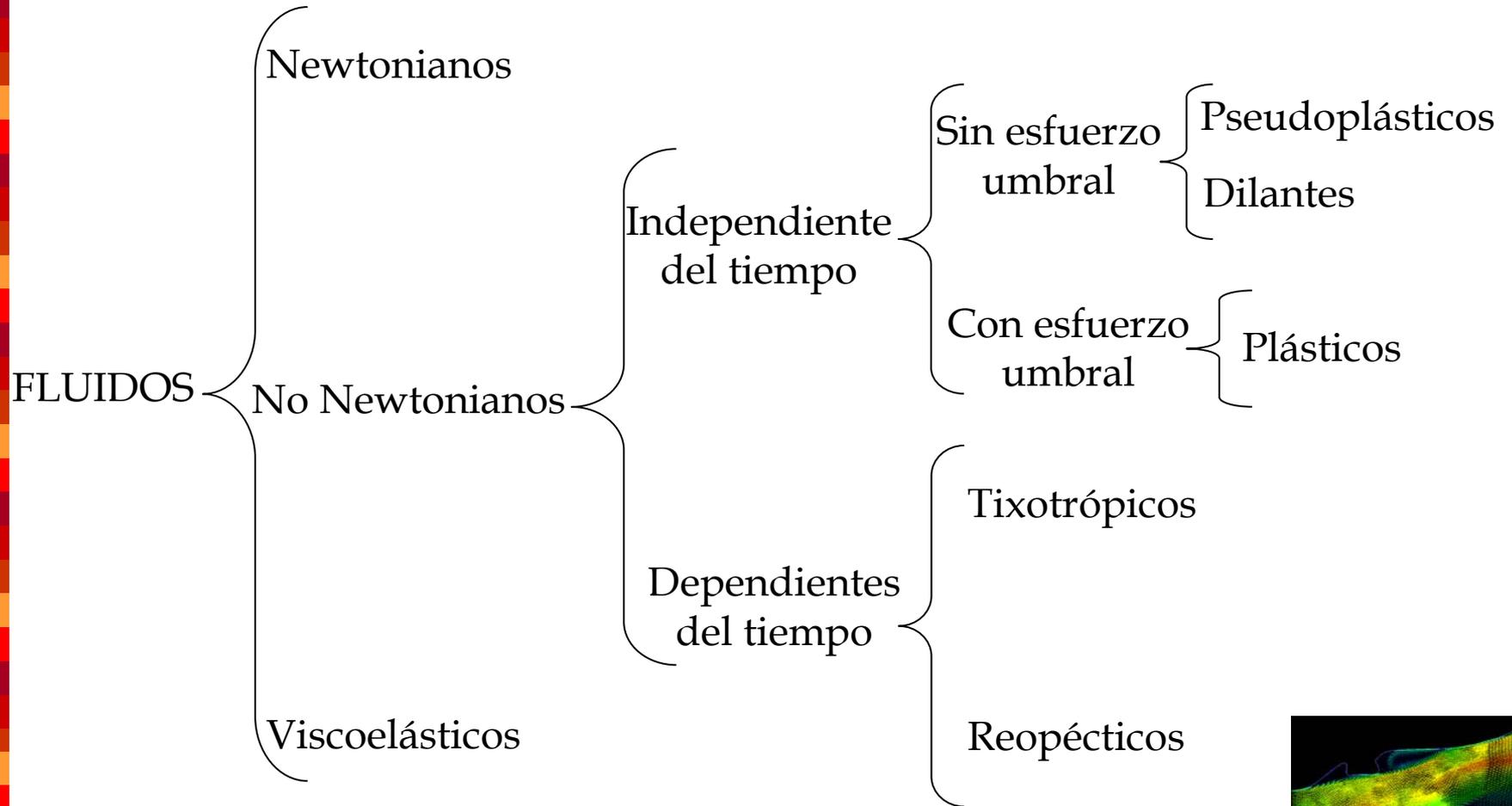
Las características reológicas de un fluido son uno de los criterios esenciales en el desarrollo de productos en el ámbito industrial. Frecuentemente, éstas determinan las propiedades funcionales de algunas sustancias e intervienen durante el control de calidad, los tratamientos (comportamiento mecánico), el diseño de operaciones básicas como bombeo, mezclado y envasado, almacenamiento y estabilidad física, e incluso en el momento del consumo (textura).

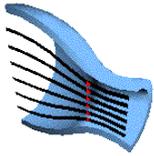
Las propiedades reológicas se definen a partir de la relación existente entre fuerza o sistema de fuerzas externas y su respuesta, ya sea como deformación o flujo. Todo fluido se va deformar en mayor o menor medida al someterse a un sistema de fuerzas externas.





TIPOS DE FLUIDOS

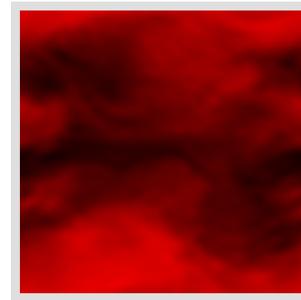
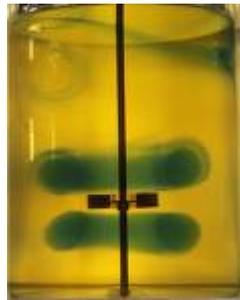




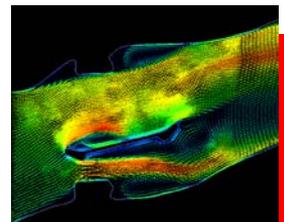
FLUIDOS NEWTONIANOS

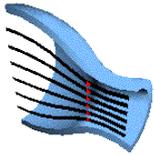
Un fluido newtoniano se caracteriza por cumplir la Ley de Newton, es decir, que existe una relación lineal entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación (ecuación anterior). Si por ejemplo se triplica el esfuerzo cortante, la velocidad de deformación se va a triplicar también. Esto es debido a que el término μ (viscosidad) es constante para este tipo de fluidos y no depende del esfuerzo cortante aplicado

Ejemplo de este tipo de fluidos son: el agua, aceite, combustible, lubricantes, entre otros

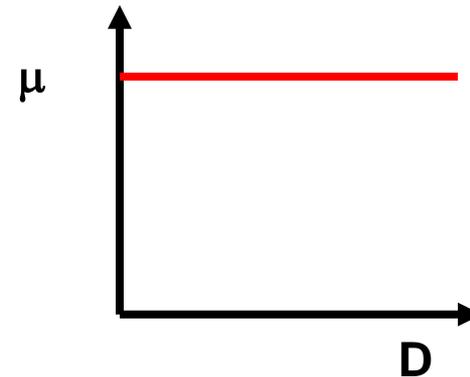
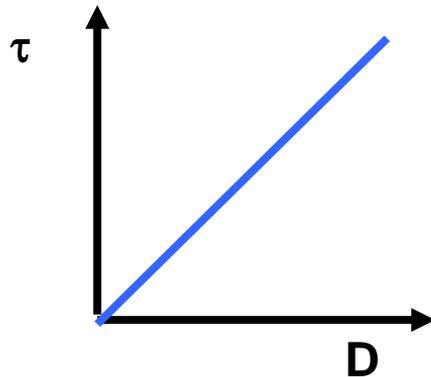


La viscosidad de un fluido newtoniano no depende del tiempo de aplicación del esfuerzo, aunque sí puede depender tanto de la temperatura como de la presión a la que se encuentre

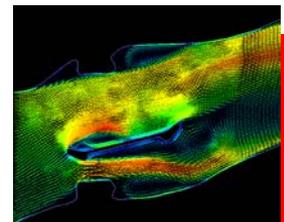


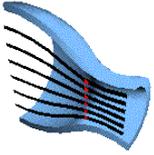


Este tipo de fluido se representan con dos tipos de gráficas, la "curva de *Fluidez*" y la "curva de *Viscosidad*". En la Curva de *Fluidez* se grafica el esfuerzo cortante Vs la velocidad de deformación (τ vs D), mientras que en la Curva de *Viscosidad* se representa la viscosidad Vs la velocidad de deformación (μ vs D).



Como se puede observar en la curva de *fluidez*, el valor de la viscosidad μ es la tangente del ángulo que forman el esfuerzo de corte y la velocidad de deformación, la cual es constante para cualquier valor aplicado. Además se observa en la curva de *viscosidad* que la viscosidad es constante para cualquier velocidad de deformación aplicada.





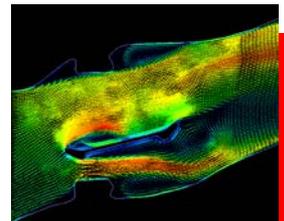
FLUIDOS NO NEWTONIANOS

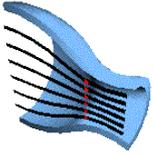
Los fluidos no newtonianos son aquellos en los que la relación entre esfuerzo cortante y la velocidad de deformación no es lineal. Estos fluidos a su vez se diferencian en dependientes e independientes del tiempo.



Fluidos Independientes del Tiempo

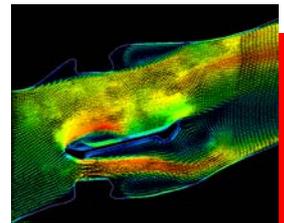
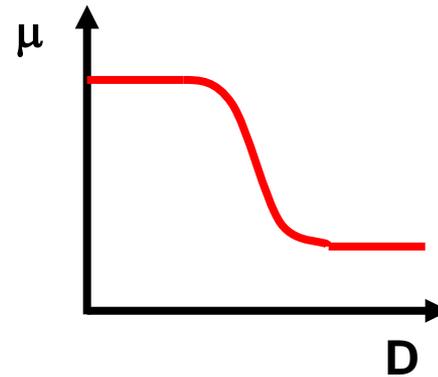
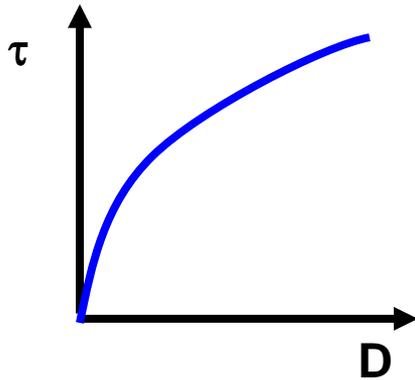
Estos fluidos se pueden clasificar dependiendo de si tienen o no esfuerzo umbral, es decir, si necesitan un mínimo valor de esfuerzo cortante para que el fluido se ponga en movimiento.

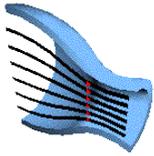




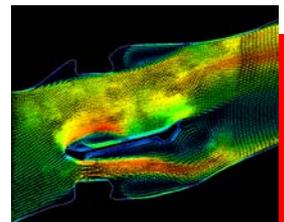
Fluidos sin esfuerzo umbral

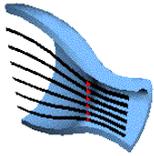
Pseudoplásticos: se caracterizan por una disminución de su viscosidad, y de su esfuerzo cortante, con la velocidad de deformación. Su comportamiento se puede observar en las siguientes curvas.



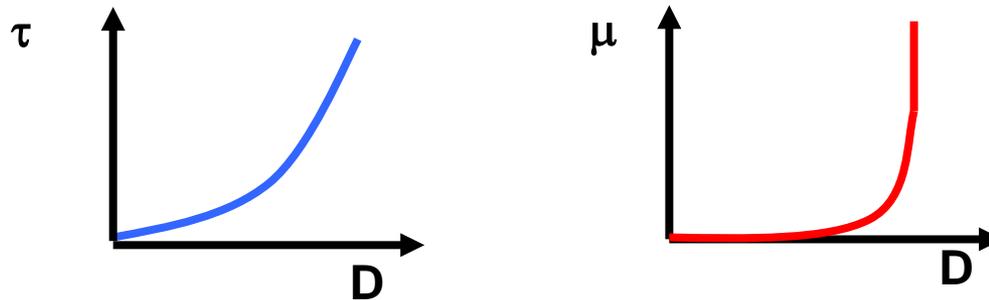


Ejemplos de fluidos pseudoplásticos son: algunos tipos de ketchup, mostaza, algunas clases de pinturas, suspensiones acuosas de arcilla, entre otros

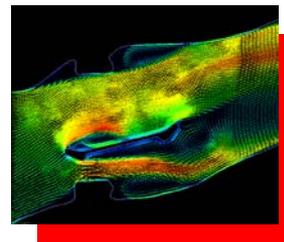


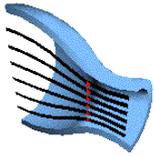


Dilatantes: Los fluidos dilatantes son suspensiones en las que se produce un aumento de la viscosidad con la velocidad de deformación, es decir, un aumento del esfuerzo cortante con dicha velocidad. A continuación se representa las curvas de fluidez y viscosidad para este tipo de fluidos:



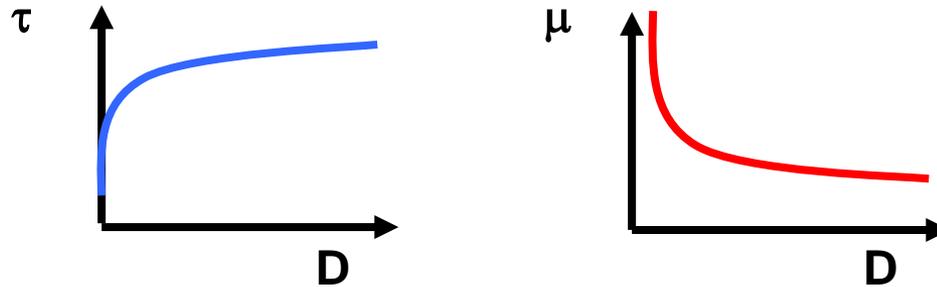
Ejemplo de este tipo de fluidos son: la harina de maíz las disoluciones de almidón muy concentradas, la arena mojada, dióxido de titanio, etc.





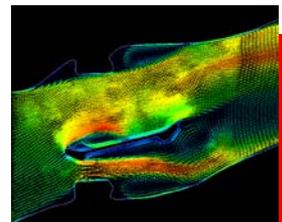
Fluidos con esfuerzo umbral o Viscoplastico

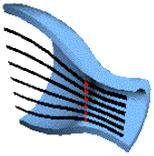
Este tipo de fluido se comporta como un sólido hasta que sobrepasa un esfuerzo cortante mínimo (esfuerzo umbral) y a partir de dicho valor se comporta como un líquido. Las curvas de fluidez y viscosidad



La razón por la que se comportan así los fluidos plásticos es la gran interacción existente entre las partículas suspendidas en su interior, formando una capa llamada de solvatación. Están formados por dos fases, con una fase dispersa formada por sólidos y burbujas distribuidos en una fase continua.

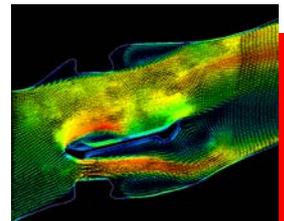
En estos fluidos, las fuerzas de Van der Waals y los puentes de hidrógeno, producen una atracción mutua entre partículas. También aparecen fuerzas de repulsión debidas a potenciales de la misma polaridad.

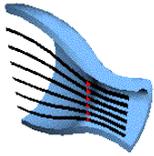




En este tipo de fluidos se forman coloides cuyas fuerzas repulsivas tienden a formar estructuras de tipo gel. Si las partículas son muy pequeñas poseen entonces una gran superficie específica, rodeados de una *capa de adsorción* formada por moléculas de fase continua. Gracias a esta capa, las partículas inmovilizan gran cantidad de fase continua hasta que no se aplica sobre ellas un esfuerzo cortante determinado.

Ejemplos de comportamiento plástico son el chocolate, la mantequilla, la mayonesa, la pasta de dientes, las emulsiones, las espumas de afeitar etc.





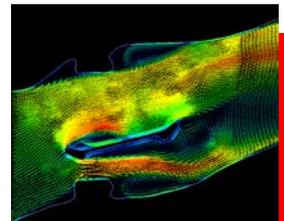
Fluidos Dependientes del Tiempo:

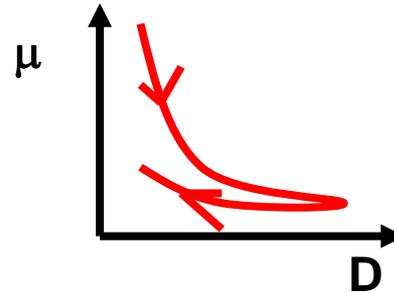
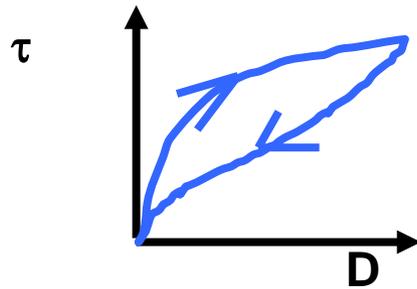
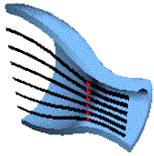
Este tipo de fluidos se clasifican en dos tipos: los fluidos *tixotrópicos*, en los que su viscosidad disminuye al aumentar el tiempo de aplicación del esfuerzo cortante, recuperando su estado inicial después de un reposo prolongado, y los fluidos *reopéticos*, en los cuales su viscosidad aumenta con el tiempo de aplicación de la fuerza y vuelven a su estado anterior tras un tiempo de reposo.

Fluidos Tixotrópicos:

Los fluidos tixotrópicos se caracterizan por un cambio de su estructura interna al aplicar un esfuerzo. Esto produce la rotura de las largas cadenas que forman sus moléculas

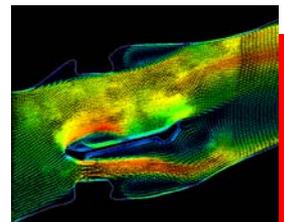
Dichos fluidos, una vez aplicado un estado de cizallamiento (esfuerzo cortante), sólo pueden recuperar su viscosidad inicial tras un tiempo de reposo. La viscosidad va disminuyendo al aplicar una fuerza y acto seguido vuelve a aumentar al cesar dicha fuerza debido a la reconstrucción de sus estructuras y al retraso que se produce para adaptarse al cambio.

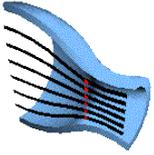




Las razones de este comportamiento son diversas. Si se considera al fluido como un sistema disperso, se debe tener en cuenta que las partículas que hay en él poseen diferentes potenciales eléctricos y tienden a formar tres estructuras variadas dependiendo de cómo sea la fase dispersa.

Ejemplos típicos de fluidos tixotrópicos son: las pinturas, el yogurt, las tintas de impresión, algunos aceites del petróleo, el nylon, etc.

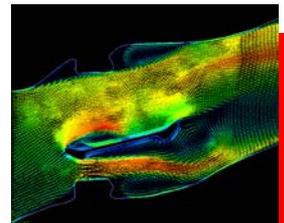
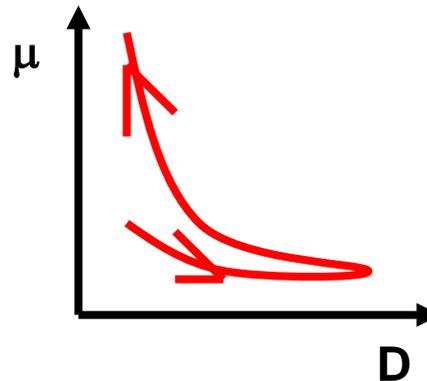
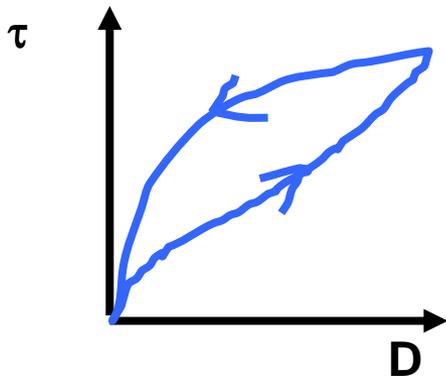


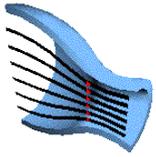


Fluidos Reopécticos:

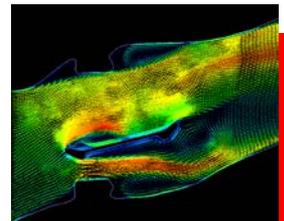
Los fluidos reopécticos, se caracterizan por tener un comportamiento contrario a los tixotrópicos, es decir su viscosidad aumenta con el tiempo y con la velocidad de deformación aplicada.

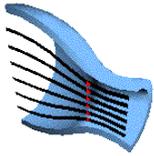
Esto se debe a que si se aplica una fuerza se produce una formación de enlaces intermoleculares conllevando un aumento de la viscosidad, mientras que si cesa ésta se produce una destrucción de los enlaces, dando lugar a una disminución de la viscosidad.





Existen pocos fluidos de este tipo. Algunos *ejemplos* son: el yeso y la arcilla bentonítica, entre otros





FLUIDOS VISCOELÁSTICOS:

Los fluidos viscoelásticos se caracterizan por presentar a la vez tanto propiedades viscosas como elásticas. Esta mezcla de propiedades puede ser debida a la existencia en el líquido de moléculas muy largas y flexibles o también a la presencia de partículas líquidas o sólidos dispersos.

Ejemplos de fluidos viscoelásticos son la nata, la gelatina, los helados, etc.



Natilla

