

No.	Designación	Temperatura (°C)	Viscosidad (poise)	Temperatura (°C)	Viscosidad (poise)	Temperatura (°C)	Viscosidad (poise)
15	Alumino silicato / otros	112	1000	45 x 10 ⁻¹	5.23	1.23	15.1 x 10 ⁹
11	efectivos para borosilicato-boratos	422	210	35 x 10 ⁻¹	5.13	1.42	9.8 x 10 ⁹
10	borosilicato para extensión	250	850	35 x 10 ⁻¹	5.53	1.44	9.8 x 10 ⁹
9	silicato alumino-potásico	240	122	42 x 10 ⁻¹	5.32	1.42	1.2 x 10 ⁹
8	vidrio blanco (alto blomo)	322	280	21 x 10 ⁻¹	4.58	1.23	2.0 x 10 ⁹
7	vidrio blanco (alto blomo)	322	282	21 x 10 ⁻¹	5.82	1.23	2.0 x 10 ⁹
6	vidrios blancos (alto blomo)	410	222	25 x 10 ⁻¹	5.14	1.21	2.8 x 10 ⁹
5	vidrio blanco (alto blomo)	202	130	82 x 10 ⁻¹	5.42	1.25	10 x 10 ⁹
4	vidrio blanco (alto blomo)	210	132	81 x 10 ⁻¹	5.42	1.21	10 x 10 ⁹
3	vidrio blanco (alto blomo)	202	130	82 x 10 ⁻¹	5.42	1.21	10 x 10 ⁹
2	vidrio blanco (alto blomo)	850	1200	8 x 10 ⁻¹	5.18	1.42	2.1 x 10 ⁹
1	vidrio blanco (alto blomo)	1010	1221	2.2 x 10 ⁻¹	5.50	1.42	10 x 10 ⁹

(datos de viscosidad para borosilicato-boratos)

CAPITULO II. REOLOGIA DEL VIDRIO

La reología es, por definición, la ciencia que estudia la de formación y el flujo de la materia. Así, el campo de la reología se extiende, desde la mecánica de los fluidos newtonianos por una parte, hasta la elasticidad de Hooke por la otra. La región comprendida entre ambas partes corresponde a la deformación y flujo de los materiales viscoelásticos.

El comportamiento reológico del vidrio, en estado estable e inestable recibe mucha atención en círculos académicos y de manufactura, debido a que es una variable muy importante tanto para fijar las condiciones de operación como para diseñar el equipo del proceso de fabricación de artículos de vidrio.

Datos sobre el comportamiento reológico del vidrio en particular sobre viscoelasticidad, son sumamente escasos en la literatura, ello motivó el proyecto de diseño y construcción de un Extensiómetro para vidrio fundido, que nos dé información sobre las características viscoelásticas del material, de tal manera que podamos inferir su modelo de comportamiento.

a) viscosidad

La ley de Newton de viscosidad establece que el esfuerzo cortante (fuerza por unidad de área) es proporcional al gradiente negativo de la velocidad local, ($\frac{dv_x}{dy}$).

$$\tau_{yx} \propto \frac{dv_x}{dy} \quad (1)$$

En las regiones en que η disminuye al aumentar el gradiente de velocidad $\dot{\gamma}$, el comportamiento se denomina pseudoplástico; el dilatante en la que η aumenta con dicho gradiente. Si η resulta independiente del gradiente de velocidad, el fluido se comporta

La reología es, por definición, la ciencia que estudia la deformación y el flujo de la materia. Así, el campo de la reología se extiende, desde la mecánica de los fluidos newtonianos por una parte, hasta la elasticidad de Hooke por la otra. La reología comprende entre ambas partes correspondiente a la deformación y flujo de los materiales viscoelásticos.

El comportamiento reológico del vidrio, en estado estable e inestable recibe mucha atención en círculos académicos y de manufactura, debido a que es una variable muy importante tanto para fijar las condiciones de operación como para diseñar el equipo del proceso de fabricación de artículos de vidrio.

Datos sobre el comportamiento reológico del vidrio en particular sobre viscoelasticidad, son sumamente escasos en la literatura, esto motivó el proyecto de diseño y construcción de un extensómetro para vidrio fundido, que nos dé información sobre las características viscoelásticas del material, de tal manera que podamos inferir su modelo de comportamiento.

viscosidad (η)

La ley de Newton de viscosidad establece que el esfuerzo cortante (fuerza por unidad de área) es proporcional al gradiente negativo de la velocidad local, ($\frac{dv_x}{dy}$).

(1)

$$\tau_{yx} = \eta \dot{\gamma}$$

Donde la constante de proporcionalidad es definida como viscosidad μ , por lo que la Ley de Newton de viscosidad es.

Se han propuesto numerosas ecuaciones empíricas o modelos para expresar la relación que existe, en estado estacionario, entre τ_{yx} y $\dot{\gamma}$. Todas las ecuaciones tienen parámetros empíricos, cuyo valor numérico puede determinarse correlacionando los datos.

$$\tau_{yx} = \mu \frac{dv_x}{dy} = \mu \dot{\gamma} \tag{2}$$

De acuerdo con la Ley de Newton de viscosidad (Ecuación (2)) al representar gráficamente τ_{yx} vs $\dot{\gamma}$ para un fluido determinado, debe obtenerse una línea recta que pasa por el origen de coordenadas y cuya pendiente es la viscosidad del fluido a una cierta temperatura y presión (Fig. 6). En efecto la experiencia demuestra que para todos los gases y los líquidos homogéneos, τ_{yx} es directamente proporcional a ($\dot{\gamma}$). Sin embargo, existen algunos materiales industrialmente importantes que no se comportan de acuerdo con la Ecuación (2), a ellos se les conoce desde el punto de vista reológico como fluidos "no newtonianos", Fig.6.

El comportamiento reológico, en estado estacionario de la mayor parte de los fluidos puede representarse mediante una forma generalizada de la Ecuación (2).

$$\begin{aligned} \tau_{yx} &= \eta \dot{\gamma} \\ \eta &= \eta(\dot{\gamma}) \end{aligned} \tag{3}$$

en la que η es la "viscosidad aparente" y es constante solo para un valor de $\dot{\gamma}$, que le corresponde un valor de τ_{yx} .

En las regiones en que η disminuye al aumentar el gradiente de velocidad $\dot{\gamma}$, el comportamiento se denomina pseudoplástico; el dilatante en la que η aumenta con dicho gradiente. Si η resulta independiente del gradiente de velocidad, el fluido se comporta

Fig. 6.- Resumen de modelos no-newtonianos en estado estacionario (con fines comparativos se indica también el modelo newtoniano), (10).

Donde la constante de proporcionalidad es definida como viscosidad μ , por lo que la ley de Newton de viscosidad es:

$$\tau_{yx} = \mu \frac{dv_x}{dy} \quad (2)$$

De acuerdo con la Ley de Newton de viscosidad (Ecuación (2)) al representar gráficamente τ_{yx} vs $\dot{\gamma}$ para un fluido determinado, debe obtenerse una línea recta que pasa por el origen de coordenadas y cuya pendiente es la viscosidad del fluido a una cierta temperatura y presión (Fig. 6). En efecto la experiencia demuestra que para todos los gases y los líquidos homogéneos, τ_{yx} es directamente proporcional a $\dot{\gamma}$. Sin embargo, existen algunos materiales industrialmente importantes que no se comportan de acuerdo con la Ecuación (2), a ellos se les conoce desde el punto de vista reológico como fluidos "no newtonianos", Fig. 6.

El comportamiento reológico, en estado estacionario de la mayor parte de los fluidos puede representarse mediante una forma generalizada de la Ecuación (2).

$$\tau_{yx} = n (\dot{\gamma})^m \quad (3)$$

en la que n es la "viscosidad aparente" y es constante solo para un valor de $\dot{\gamma}$, que le corresponde un valor de τ_{yx} .

En las regiones en que n disminuye al aumentar el gradiente de velocidad $\dot{\gamma}$, el comportamiento se denomina pseudoplástico; el dilatante en la que n aumenta con dicho gradiente. Si n resulta independiente del gradiente de velocidad, el fluido se comporta

como newtoniano, y entonces $\eta = \mu$.

Se han propuesto numerosas ecuaciones empíricas o modelos para expresar la relación que existe, en estado estacionario, entre τ_{yx} y $\dot{\gamma}$ (10). Todas las ecuaciones tienen parámetros empíricos, cuyo valor numérico puede determinarse correlacionando los datos experimentales de τ_{yx} frente a $\dot{\gamma}$ a temperatura y presión constante, ver apéndice C.

Por otro lado, la Ley de Hooke establece que la deformación de un cuerpo es proporcional al esfuerzo aplicado, donde la constante de proporcionalidad es el módulo de elasticidad de young.

$$\sigma = E \epsilon \quad (4)$$

La deformación ϵ está definida como $\frac{dL}{L}$.

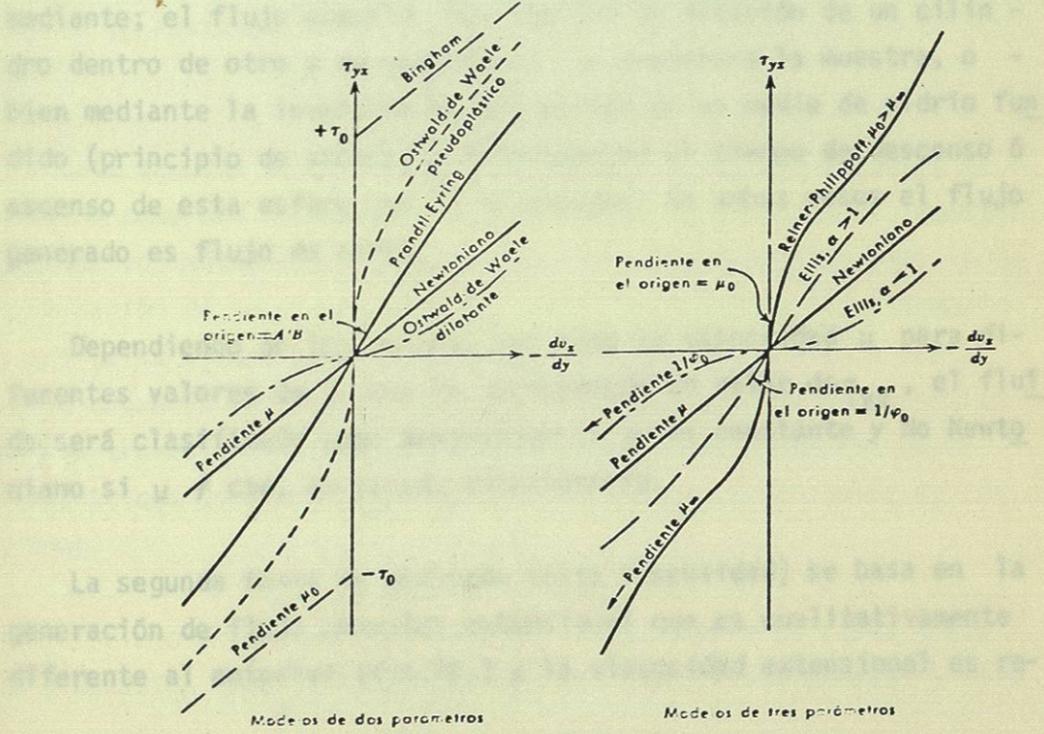


Fig. 6.- Resumen de modelos no-newtonianos en estado estacionario (con fines comparativos se indica también el modelo newtoniano), (10).