

Pruebas oscilatorias.

Hasta ahora examinamos algunas pruebas experimentales para obtener información sobre el comportamiento viscoelástico de los materiales, en todas ellas se involucra la variación del esfuerzo ó la deformación con el tiempo cuando se impone súbitamente un cambio en el esfuerzo, deformación ó gradiente de velocidad. En procesos dinámicos este tipo de pruebas a un sistema es llamado "respuesta a un cambio en escalón".

Un tipo alternativo de pruebas dinámicas es la aplicación de una excitación oscilatoria tipo senoidal al sistema y observar la respuesta como función del tiempo. En un sistema lineal la respuesta también deberá ser Senoidal pero generalmente está fuera de fase y atenuada en amplitud. Cuando estas cantidades son estudiadas como una función de la frecuencia, de la excitación, se dice que se estudia la dinámica del sistema en el "dominio de la frecuencia".

Una prueba oscilatoria ideal de un fluido viscoelástico consiste en imponerle una deformación senoidal y observar la variación del esfuerzo.

En un experimento oscilatorio, la deformación (ϵ) en función de la frecuencia (ω) es.

$$\epsilon = \epsilon_0 \text{ sen } \omega t \tag{26}$$

El gradiente de velocidad es.

$$\dot{\epsilon} = \epsilon_0 \omega \text{ cos } \omega t = \dot{\epsilon}_0 \text{ cos } \omega t \tag{27}$$

$$\frac{\sigma}{\epsilon_0} = f_2(\omega) \tag{33}$$

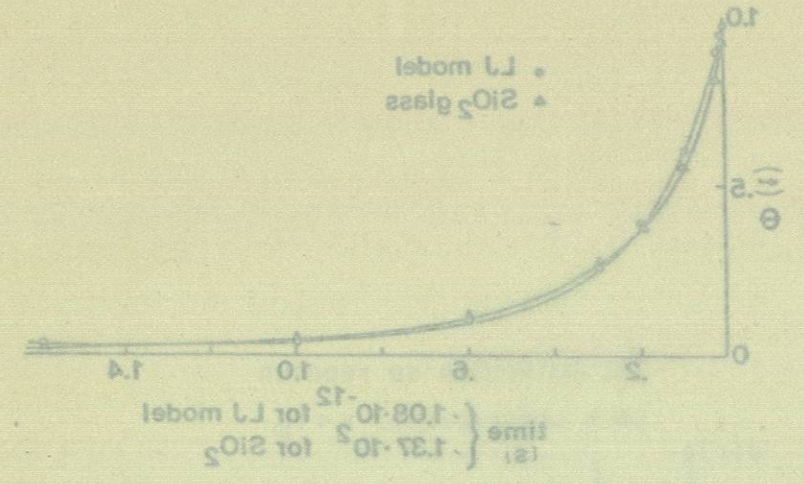


Fig. 17 Comparación de la Relajación de la Resacción de esfuerzos normalizados para el modelo L.J. y para vidrio de SiO₂ (19).

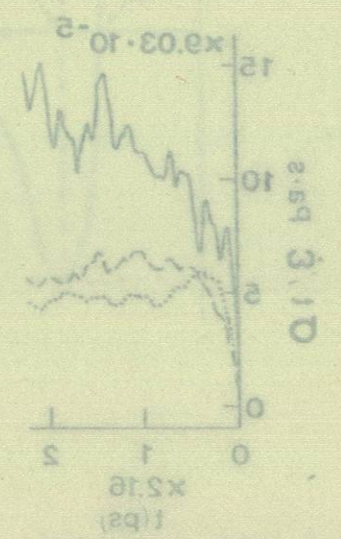


Fig. 18 Dependencia del tiempo del esfuerzo, $\sigma(t)$ para el modelo de Lennard-Jones (19)

$$\begin{aligned} \epsilon &= 4.4 \times 10^{-10} \\ \dot{\epsilon} &= 1.6 \times 10^{-11} \\ \ddot{\epsilon} &= 3.32 \times 10^{-12} \end{aligned}$$

Para un fluido puramente viscoso con viscosidad extensional, η , el esfuerzo debe ser

$$\sigma = \eta \dot{\epsilon} = \eta \dot{\epsilon}_0 \cos \omega t = \sigma_0 \cos \omega t \quad (28)$$

Esto es desfasado 90° con respecto a la deformación senoidal aplicada y la relación de amplitud es lineal con la frecuencia.

$$\frac{\sigma_0}{\epsilon_0} = \eta \omega \quad (29)$$

Para un material puramente elástico con módulo de Young E, el esfuerzo debe ser

$$\sigma = E \epsilon = E \epsilon_0 \sin \omega t \quad (30)$$

En este caso el esfuerzo está en fase con respecto a la deformación aplicada y la relación de amplitud constante e igual a E.

Para los materiales viscoelásticos el esfuerzo obtenido es intermedio entre el de un material puramente viscoso y elástico.

Si se tiene un comportamiento viscoelástico lineal, la respuesta en general puede ser representada por

$$\sigma = \sigma_0 \sin (\omega t + \phi) \quad (31)$$

En experimentos oscilatorios de pequeña amplitud pueden medirse dos funciones materiales, el defasamiento y la relación de amplitud como una función de la velocidad de corte.

$$\phi = f_1 (\omega) \quad (32)$$

$$\frac{\sigma_0}{\epsilon_0} = f_2 (\omega) \quad (33)$$

La interpretación de los resultados experimentales en una prueba oscilatoria pueden presentar simplemente el defasamiento y la relación de amplitud como una función de la temperatura. Sin embargo es más común calcular otras funciones con mayor significado físico, tales como descomponer el esfuerzo obtenido en una componente en fase (elástica) y una defasada (viscosa).

La rotación de los vectores deformación $\epsilon(t)$ y esfuerzo $\sigma(t)$ genera las curvas características del material Fig. 19. Los vectores de magnitud γ_0 y σ_0 , defasados un ángulo ϕ , pueden colocarse en un plano complejo con γ_0 en el eje real, Fig. 20. Ahora el vector con magnitud σ_0 tiene ambas partes real e imaginaria.

$$\sigma^* = \sigma_0 (\cos \phi + i \sin \phi) \quad (34)$$

La parte real de σ^* corresponde a la componente en fase del esfuerzo, y la imaginaria corresponde a la defasada. Con esto podemos definir un "módulo complejo" como.

$$G^* = \frac{\sigma_0}{\gamma_0} = G' + i G'' \quad (35)$$

Ahora podemos definir una "viscosidad compleja" como.

$$\eta^* = \frac{\sigma_0}{\dot{\gamma}_0} = \eta' - i \eta'' \quad (36)$$

La componente en fase η' es llamada viscosidad dinámica, muy usada especialmente en el estudio de polímeros lineales - (21), porque estos sistemas a muy bajas frecuencias η' se aproxima a η .

Los experimentos senoidales pueden también ser expresados en términos de una "compliance compleja"

Para un fluido puramente viscoso con viscosidad extensional, η , el esfuerzo debe ser

$$\sigma = \eta \dot{\epsilon} = \eta \omega_0 \cos \omega t \quad (38)$$

Esto es defasado 90° con respecto a la deformación senoidal aplicada y la relación de amplitud es lineal con la frecuencia.

$$\sigma = E_0 \sin \omega t \quad (39)$$

Para un material puramente elástico con módulo de Young E , el esfuerzo debe ser

$$\sigma = E \epsilon = E \omega_0 \cos \omega t \quad (30)$$

En este caso el esfuerzo está en fase con respecto a la deformación aplicada y la relación de amplitud constante e igual a E .

Para los materiales viscoelásticos el esfuerzo obtenido es intermedio entre el de un material puramente viscoso y elástico.

Si se tiene un comportamiento viscoelástico lineal, la respuesta en general puede ser representada por

$$\sigma = \sigma_0 \sin(\omega t + \phi) \quad (31)$$

En experimentos oscilatorios de pequeña amplitud pueden medirse dos funciones materiales, el defasamiento y la relación de amplitud como una función de la velocidad de corte.

$$\eta' = f_1(\omega) \quad (32)$$

$$E'' = f_2(\omega) \quad (33)$$

terminos de una "compliance compleja".

Los experimentos senoidales pueden tambien ser expresados en

(51) donde estos sistemas a muy bajas frecuencias ω , se aproxima a una muy usada especialmente en el estudio de polimeros lineales

La componente en fase de α_x es llamada viscosidad dinámica

$$\alpha_x = \frac{E}{\sigma_x} = \frac{j\omega\epsilon_0}{\sigma_x} = \alpha_1 - j\alpha_2 \quad (32)$$

Ahora podemos definir una "viscosidad compleja" como:

$$\epsilon_x = \frac{j\sigma}{\omega} = \epsilon_1 + j\epsilon_2 \quad (33)$$

un "modulo complejo" como:

La parte real de α_x corresponde a la componente en fase del esfuerzo

$$\alpha_x = \alpha_1 + j\alpha_2 = \alpha_0(\cos \theta + j \sin \theta) \quad (34)$$

El vector con magnitud α_0 tiene ambas partes real e imaginaria. Este en un plano complejo con α_1 en el eje real. Fig. 50. Ahora los vectores de magnitud α_0 y α_2 desfasados un angulo θ pueden como $\alpha_x(t)$ genera las curvas caracteristicas del material Fig. 19. Los

la rotacion de los vectores deformacion $\epsilon(t)$ y esfuerzo

una defasada (viscosa).
componente el esfuerzo obtenido en una componente en fase (elastica) y
calcular otras funciones con mayor significado fisico, tales como de
amplitud como una funcion de la temperatura. Sin embargo es mas com
factoria pueden presentar simplemente el desfasamiento y la relacion de
la interpretacion de los resultados experimentales en una prueba osci

$$J^* = \frac{\gamma^*}{\sigma_0} = \frac{1}{G^*} \quad (37)$$

La tabla 14 presenta la Compliance compleja de algunos modelos viscoelásticos.

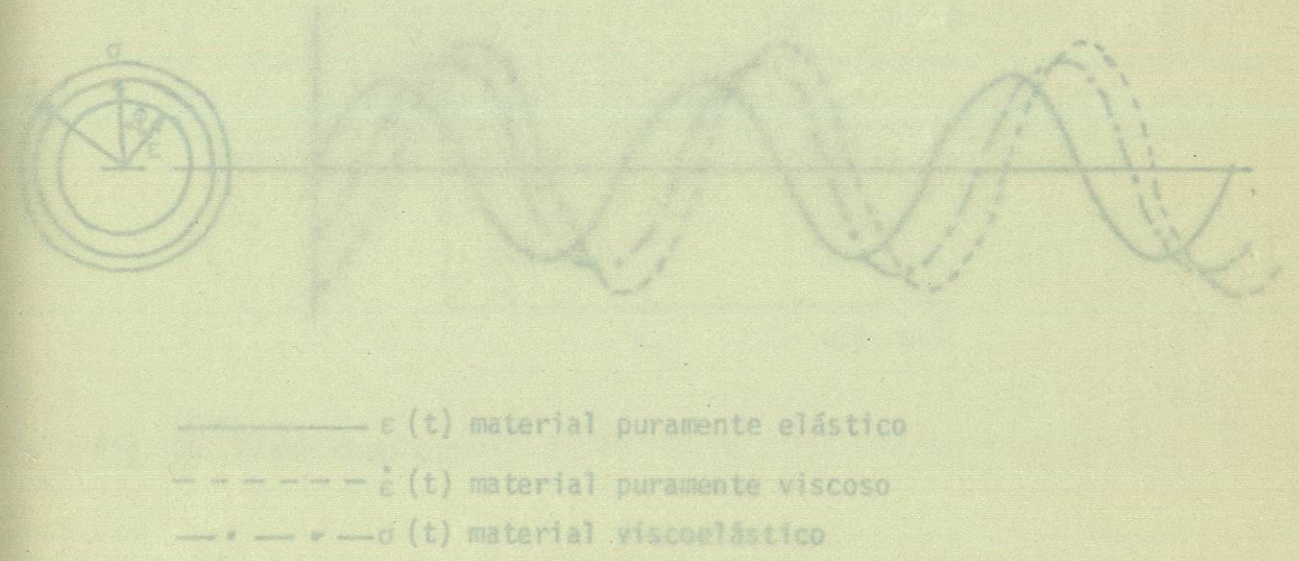
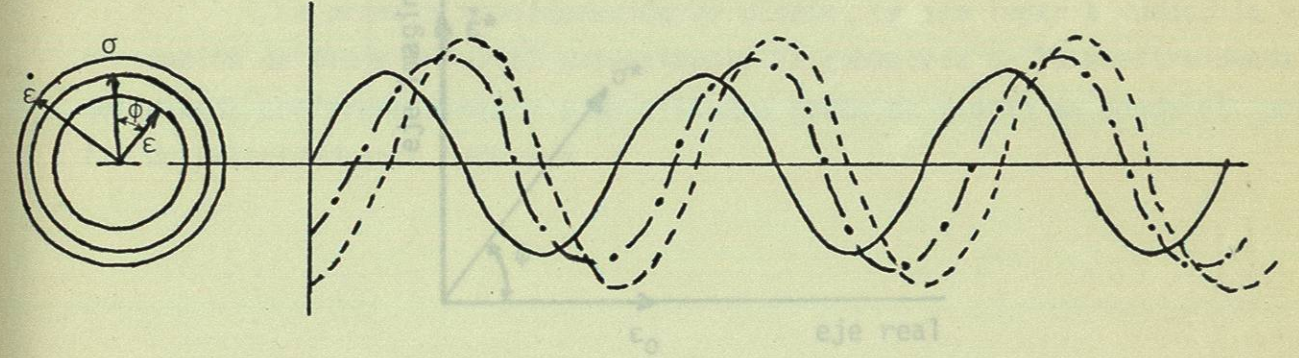


Fig. 19 Prueba oscilatoria.

(37)

$$j^* = \frac{Y^*}{\sigma^0} = \frac{1}{G^*}$$

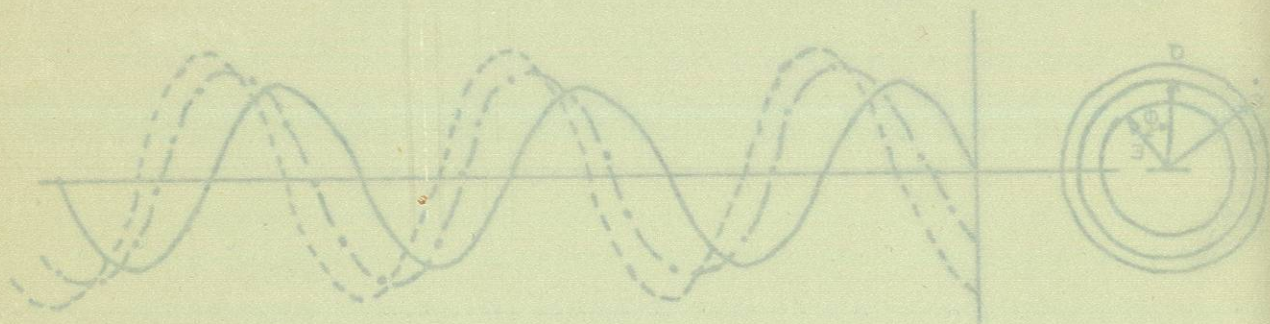
La tabla 14 presenta la Comptance compleja de algunos modelos viscoelásticos.



- $\epsilon(t)$ material puramente elástico
- - - $\dot{\epsilon}(t)$ material puramente viscoso
- · - · $\sigma(t)$ material viscoelástico

Fig. 19 Prueba oscilatoria.

Fig. 20 Plano complejo



— e(t) material puramente elástico
 - - - ε̇(t) material puramente viscoso
 ··· σ(t) material viscoelástico

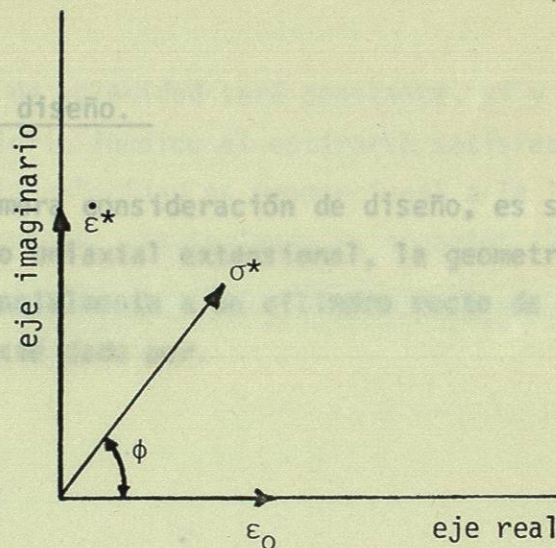
Fig. 19 Prueba oscilatoria.

CAPITULO III. DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN EXTENSIOMETRO PARA VIDRIO FUNDIDO

Es conveniente para la determinación experimental de la viscosidad extensional y de los parámetros viscoelásticos, el diseñar un extensiómetro para producir flujo extensional a una muestra de vidrio y mantener el esfuerzo ó el gradiente de velocidad constante y medir la respuesta del resultante.

a.- Bases del diseño.

La primera consideración de diseño, es sin lugar a dudas, la generación de flujo uniaxial extensional. La geometría de la muestra queda delimitada preferentemente en un cilindro recto de vidrio en donde el perfil de velocidad es parabolico.



$$v = \dot{\epsilon} L \tag{38}$$

Fig. 20 Plano complejo el gradiente de velocidad definido como

$$\dot{\epsilon} = \frac{d \ln L}{dt} \frac{L}{L_0} \tag{39}$$

donde L es la longitud del cilindro en cualquier tiempo y L₀ la longitud inicial de la muestra.

La viscosidad extensional uniaxial se define como

$$\eta_e = \frac{\sigma}{\dot{\epsilon}} \tag{40}$$