

b) Puntos estándar del vidrio

El comportamiento reológico del vidrio es importante para el estudio del estado vireo, sin embargo en la práctica lo que se hace es determinar los "puntos estándar" de la fabricación de vidrio, tabla 12, estos puntos usualmente se utilizan para determinar la composición química del vidrio favorable a las operaciones de fusión y fabricación. Fig. 8

Tabla 12. Puntos estándar de viscosidad (12)

| Punto estándar | Viscosidad, poise |
|-----------------|-------------------|
| Melting point | 10^2 |
| Working point | 10^4 |
| Flow point | 10^5 |
| Softening point | $10^{7.5}-10^8$ |
| Annealing point | 10^{13} |
| Strain point | $10^{14.5}$ |

Es claro que el concepto de "puntos estándar" es de gran utilidad para indicarnos la manejabilidad del vidrio, pero de ninguna manera (rigurosamente hablando) nos representa una propiedad material del mismo.

Fig. 8 a) Curva de viscosidad vs temperatura
b) Curvas de viscosidad vs temperatura para diferentes tipos de vidrio

Puntos estándar del vidrio

El comportamiento reológico del vidrio es importante para el estudio del estado víreo, sin embargo en la práctica lo que se hace es determinar los "puntos estándar" de la fabricación de vidrio, tabla 12, estos puntos usualmente se utilizan para determinar la composición química del vidrio favorable a las operaciones de fusión y fabricación. Fig. 8

Tabla 12. Puntos estándar de viscosidad (12)

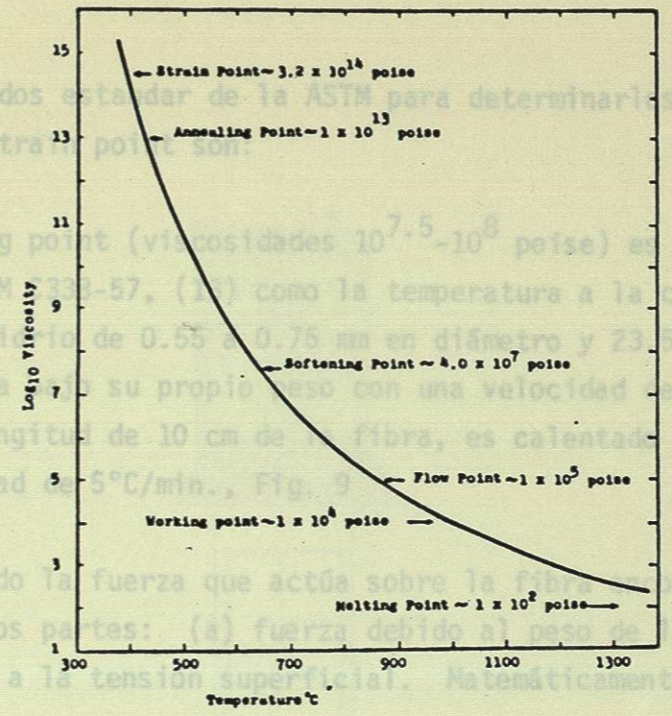
| Punto estándar | Viscosidad, poise |
|-----------------|-------------------|
| Melting point | 10^2 |
| Working point | 10^4 |
| Flow point | 10^5 |
| Softening point | $10^{7.5-10^8}$ |
| Annealing point | 10^{13} |
| Strain point | $10^{14.5}$ |

Es claro que el concepto de "puntos estándar" es de gran utilidad para indicar la manejabilidad del vidrio, pero de ninguna manera (rigurosamente hablando) nos representa una propiedad material del mismo.

Los métodos estándar de la ASTM para determinar el softening, Annealing y strain point son:

Softening point (viscosidades $10^{7.5}-10^8$ poise) es definido por la prueba ASTM 33-57, (10) como la temperatura a la cual una fibra uniforme de vidrio de 0.55 a 0.75 mm en diámetro y 23.5 cm de longitud, se elonga su propio peso con una velocidad de 1 mm/min - cuando una longitud de 10 cm de fibra, es calentada en un horno a una velocidad de 5°C/min., Fig. 9

Examinando la fuerza que actúa sobre la fibra encontramos que consiste de dos partes: (a) fuerza debida al peso de la fibra (b) fuerza debida a la tensión superficial. Matemáticamente puede ser expresado como:



Donde $F_t =$ fuerza, (dinás)
 $d =$ diámetro (cm) de la fibra
 $L =$ Longitud (cm) de la fibra
 $g =$ aceleración de la gravedad (cm/s²)
 $\gamma =$ tensión superficial, (din/cm)
 $\rho =$ densidad, (gr/cm³)

la viscosidad n , en poises, para la prueba de la fibra es dada por la siguiente ecuación:

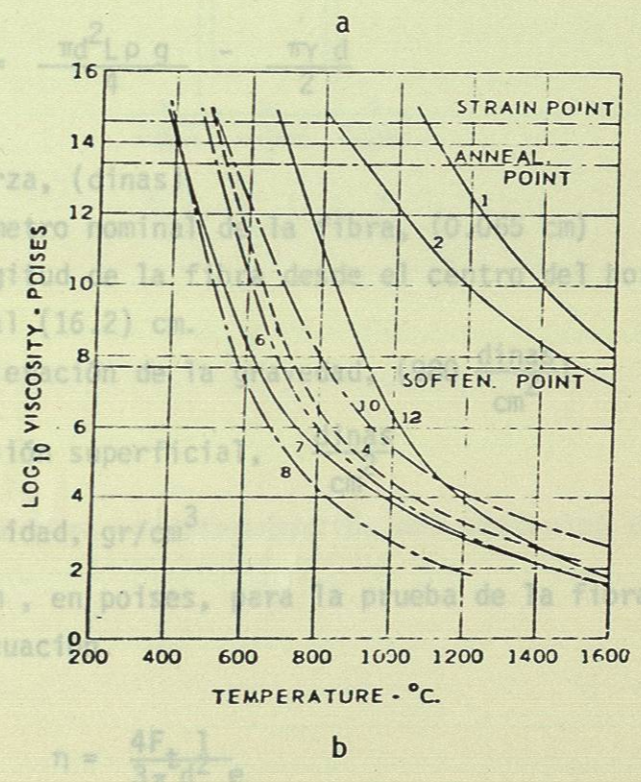
$$n = \frac{4F_t L}{3\pi d^3 e} \quad (10)$$


Fig. 8 a) Curva típica de viscosidad Vs temperatura para el vidrio, mostrando los puntos de referencia,
 b) Curvas de viscosidad para vidrios comerciales, los números indica composición de tabla 9, (9)

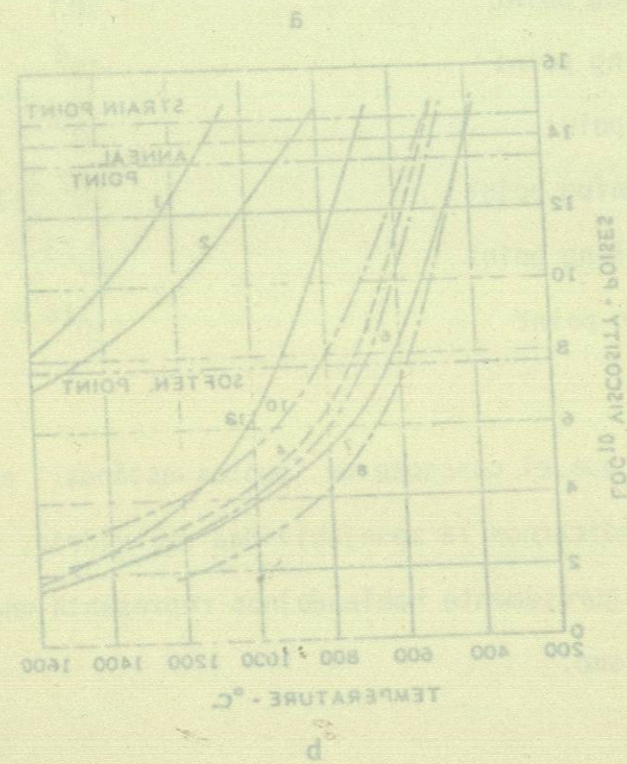
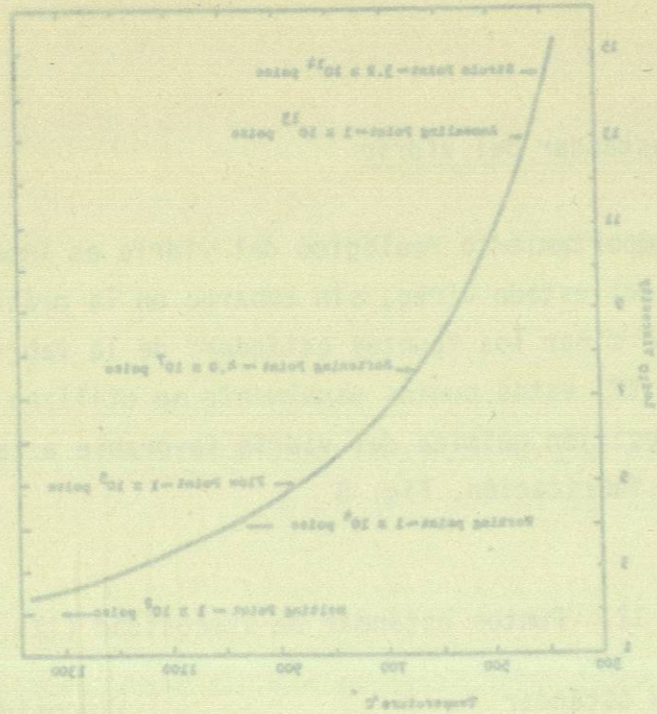


Fig. 8 a) Curva típica de viscosidad vs temperatura para el vidrio, mostrando los puntos de referencia, b) Curvas de viscosidad para vidrios comerciales, los números indican composición de tabla 9, (9)

Los métodos estándar de la ASTM para determinarlos el softening, Annealing y strain point son:

Softening point (viscosidades $10^{7.5}-10^8$ poise) es definido por la prueba ASTM C338-57, (13) como la temperatura a la cual una fibra uniforme de vidrio de 0.55 a 0.75 mm en diámetro y 23.5 cm de longitud, se elonga bajo su propio peso con una velocidad de 1 mm/min - - cuando una longitud de 10 cm de la fibra, es calentado en un horno - a una velocidad de $5^\circ\text{C}/\text{min.}$, Fig. 9

Examinando la fuerza que actúa sobre la fibra encontramos que consiste de dos partes: (a) fuerza debido al peso de la fibra (b) fuerza debido a la tensión superficial. Matemáticamente puede ser expresado como:

$$F_t = \frac{\pi d^2 L \rho g}{4} - \frac{\pi \gamma d}{2} \quad (9)$$

- Donde F_t = fuerza, (dinas)
- d = diámetro nominal de la fibra, (0.065 cm)
- L = Longitud de la fibra desde el centro del horno hasta el final (16.2) cm.
- g = aceleración de la gravedad, $(980 \frac{\text{dinas}}{\text{cm}^2})$
- γ = tensión superficial, $\frac{\text{dinas}}{\text{cm}^2}$

Fig. 9 ρ = densidad, gr/cm^3 terminación del softening point (12)

la viscosidad η , en poises, para la prueba de la fibra es dada por la siguiente ecuación.

$$\eta = \frac{4F_t}{3\pi d^2} e \quad (10)$$

Los métodos estándar de la ASTM para determinar el softening point son:

Softening point (viscosidades 10^{-7} a 10^{-8} poise) es definido por la prueba ASTM C38-57, (13) como la temperatura a la cual una fibra uniforme de vidrio de 0.55 a 0.75 mm en diámetro y 23.5 cm de longitud, se elonga bajo su propio peso con una velocidad de 1 mm/min cuando una longitud de 10 cm de la fibra, es calentada en un horno a una velocidad de 2°C/min., Fig. 9

Examinando la fuerza que actúa sobre la fibra encontramos que consiste de dos partes: (a) fuerza debido al peso de la fibra (b) fuerza debido a la tensión superficial. Matemáticamente puede ser expresado como:

$$F_f = \frac{\pi d^2 L \rho g}{4} - \frac{\pi \gamma d}{2} \quad (9)$$

Donde F_f = fuerza, (dinas)
 d = diámetro nominal de la fibra, (0.065 cm)
 L = longitud de la fibra desde el centro del horno hasta el final (16.2) cm.

ρ = densidad de la gravedad, (980 $\frac{\text{dinas}}{\text{cm}^3}$)

γ = tensión superficial, $\frac{\text{dinas}}{\text{cm}}$

g = densidad, $\frac{\text{dinas}}{\text{cm}^3}$

La viscosidad η , en poises, para la prueba de la fibra es dada por la siguiente ecuación.

$$\eta = \frac{4F_f L}{3\pi d^2 e} \quad (10)$$

Donde: l = longitud efectiva de la fibra, (6.9 cm)
 e = velocidad de elongación definida, (0.00167 cm/seg ó 1mm/min)

La longitud efectiva se determina como sigue (13).

$$l = \frac{d_2^2 L_2}{d_1^2 - d_2^2}$$

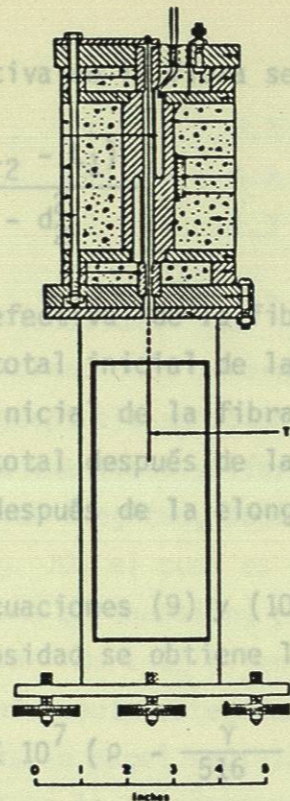
Donde: l = longitud efectiva de la fibra
 L_1 = longitud total de la fibra
 d_1 = diámetro inicial de la fibra
 L_2 = longitud total después de la elongación
 d_2 = diámetro después de la elongación

Combinando las ecuaciones (9) y (10), sustituyendo valores y resolviendo para viscosidad se obtiene la siguiente expresión.

$$\eta = 2.18 \times 10^7 \left(\frac{\rho - \gamma}{d} \right) \quad (11)$$

Esta ecuación muestra que la viscosidad correspondiente al "softening point" depende de la densidad y la tensión superficial del vidrio de prueba. Ejemplos de esta dependencia pueden verse en la tabla 13.

Fig. 9 Aparato para la determinación del softening point (12)



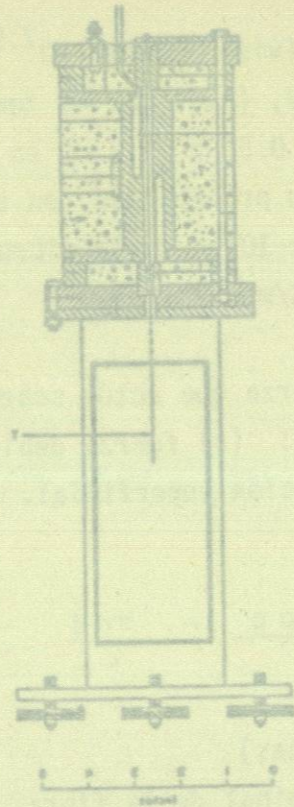


Fig. 9. Aparato para la determinación del softening point (12)

Tabla 13 Influencia de la densidad y tensión superficial en -
 Donde: l = longitud efectiva de la fibra, (6.9 cm)
 e = velocidad de elongación definida, (0.00167 cm/seg ó 1mm/min)

| vidrio | ρ | γ | η | $\log_{10} \eta$ |
|------------|--------|----------|-------------------|------------------|
| silice | 2.2 | 400 | 3.1×10^7 | 7.49 |
| soda-lime | 2.5 | 300 | 4.2×10^7 | 7.62 |
| alto plomo | 6.0 | 200 | 1.3×10^8 | 8.11 |

La longitud efectiva de la fibra se determina como sigue (13).

$$l = \frac{d_2^2 (L_2 - L_1)}{d_1^2 - d_2^2}$$

Donde: l = longitud efectiva de la fibra
 L_1 = longitud total inicial de la fibra
 d_1 = diámetro inicial de la fibra
 L_2 = longitud total después de la elongación
 d_2 = diámetro después de la elongación

Combinando las ecuaciones (9) y (10), sustituyendo valores y resolviendo para viscosidad se obtiene la siguiente expresión.

$$\eta = 2.18 \times 10^7 \left(\rho - \frac{\gamma}{516} \right) \quad (11)$$

Esta ecuación muestra que la viscosidad correspondiente al "softening point" depende de la densidad y la tensión superficial del vidrio de prueba. Ejemplos de esta dependencia pueden verse en la tabla 13. (12)

Donde: l = longitud efectiva de la fibra
 d = diámetro de la fibra

Strain Point (viscosidad $10^{14.5}$ poise), representa la temperatura a la cual esfuerzos internos son reducidos a valores bajos en 4 hrs. Se determina por extrapolación de la línea generada en la determinación de annealing point, fig. 10, donde la velocidad de elongación establecida para el annealing point es multiplicada por -