Auxiliar VI

Compuestos y Propiedades Mecánicas

Gaspar Fábrega Ragni

Universidad de Chile, DIMEC

CHILE 2022.6

Contents

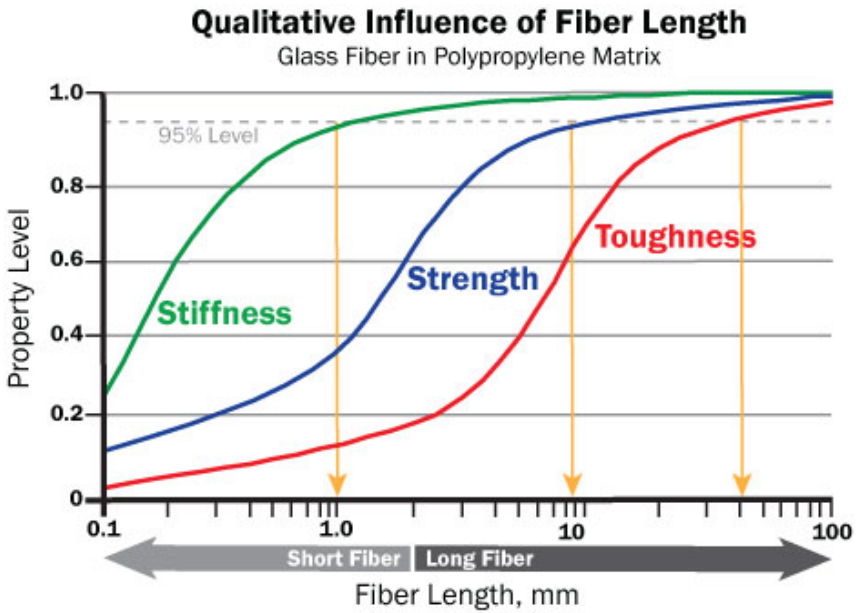
1. Preguntas Conceptuales
2. EJERCICIOS:
3. Gráficos:

Preguntas Conceptuales

P1

- Describa los factores principales a la hora de diseñar un material compuesto y como afecta sus propiedades.

Largo y diámetro de la fibra:



La resistencia del material compuesto aumenta al aumentar el largo de las fibras, debido a que las cargas se pueden distribuir de mejor manera y son soportadas por las regiones centrales de estas.

P1

Largo y diámetro de la fibra:

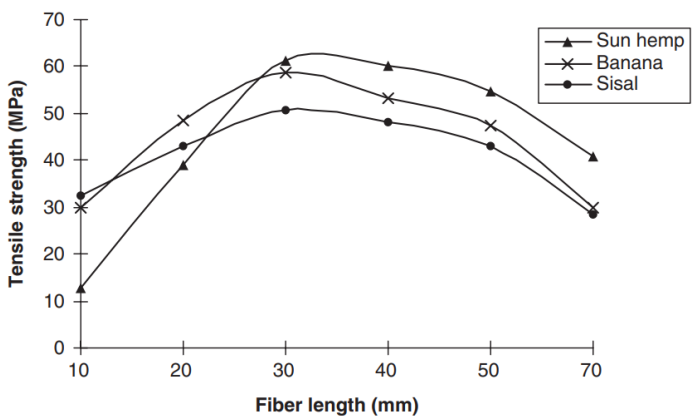


Figure 2. *Effect of fiber length on tensile strength of various natural fiber based composites.*

El diámetro también juega un factor importante, ya que en general, las fibras se rompen debido a fallas superficiales, y al disminuir el radio, se disminuye el área posible donde ocurren estas fallas durante al manufactura.

P1

Largo y diámetro de la fibra:

El largo crítico de una fibra dependerá de el diámetro (d), la resistencia de la fibra (TS_f) y la unión entre la fibra y la matriz (τ_i).

$$l_c = \frac{TS_f \cdot d}{2 \cdot \tau_i}$$

P1

Cantidad de fibra:

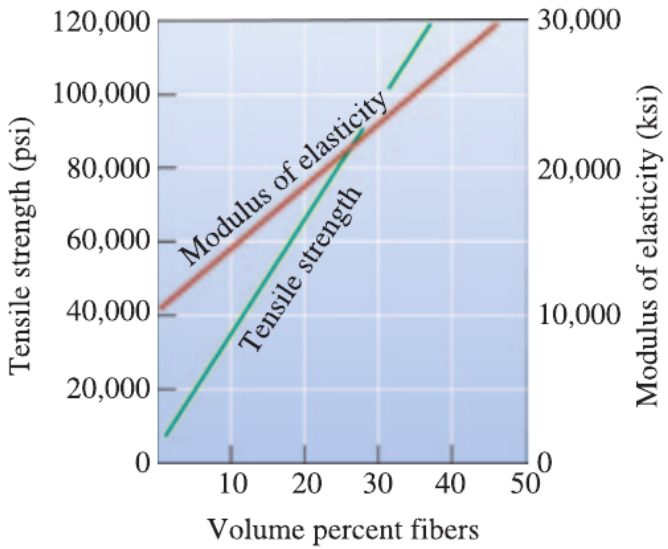
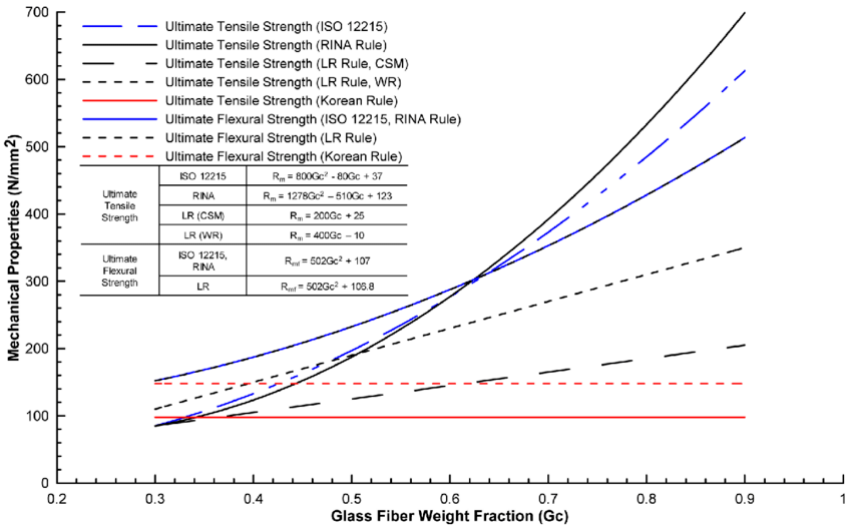


Figure 17-9 The influence of volume percent boron-coated SiC (Borsic) fibers on the properties of Borsic-reinforced aluminum parallel to the fibers (for Example 17-7).

La fracción en volumen afecta de manera directa a las propiedades del material compuesto, debido a la ley de mezclas.

P1

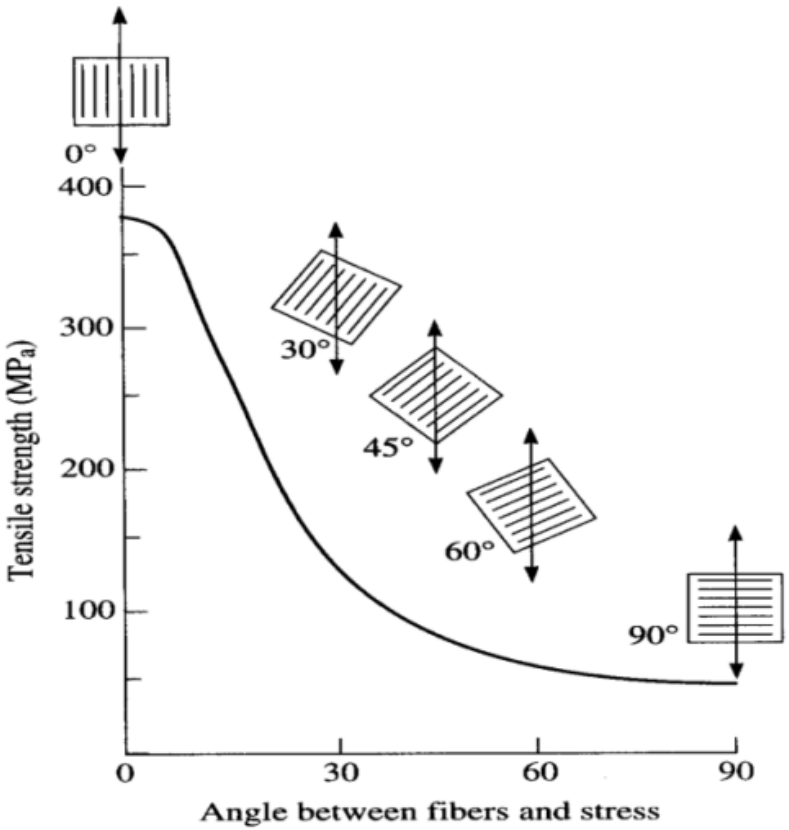
Cantidad de fibra:



El aumento en las propiedades mecánicas no siempre es lineal al comparar con la fracción en peso, pero de todas maneras existe una correlación entre un aumento de la cantidad de fibra y una mejora en las propiedades mecánicas.

P1

Orientación de la fibra:



Dependiendo de la orientación de la fibra respecto al esfuerzo al que será sometida la pieza, cambia la condición de **isoesfuerzo** a **isodeformacion**, cambiando la proporción en la relevancia de las propiedades de los materiales.

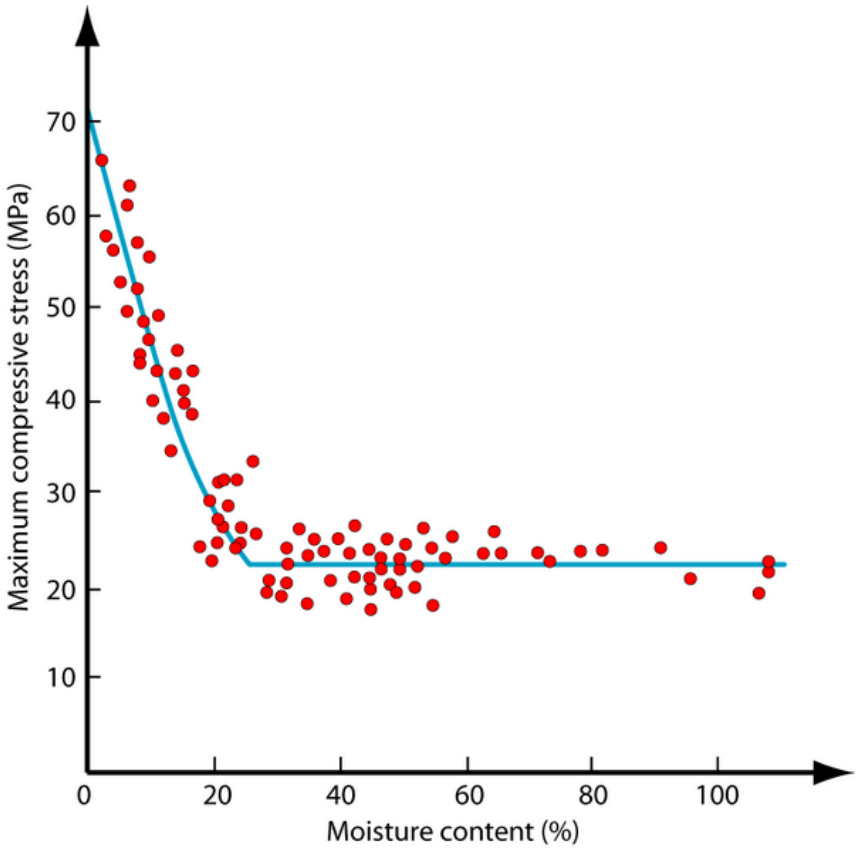
P2

- ¿Qué ventajas podría presentar el uso de un material compuesto?

1. **Menor peso**: Al mezclar buenas propiedades mecánicas de una fibra, con la baja densidad de los polímeros utilizados como matriz, se obtienen piezas con propiedades mecánicas similares a las de un metal, pero de menor peso.
2. **Resistencia a la corrosión**: Nuevamente, os polimeros utilizados como matriz, pueden poseer una mayor resistencia a la corrosión en ambientes peligrosos, junto al hecho de que la mayoría de las fibras utilizadas son materiales cerámicos.
3. **Menor costo de manufactura**: No es necesario utilizar altas temperaturas o tecnicas de remoción de material.

P3

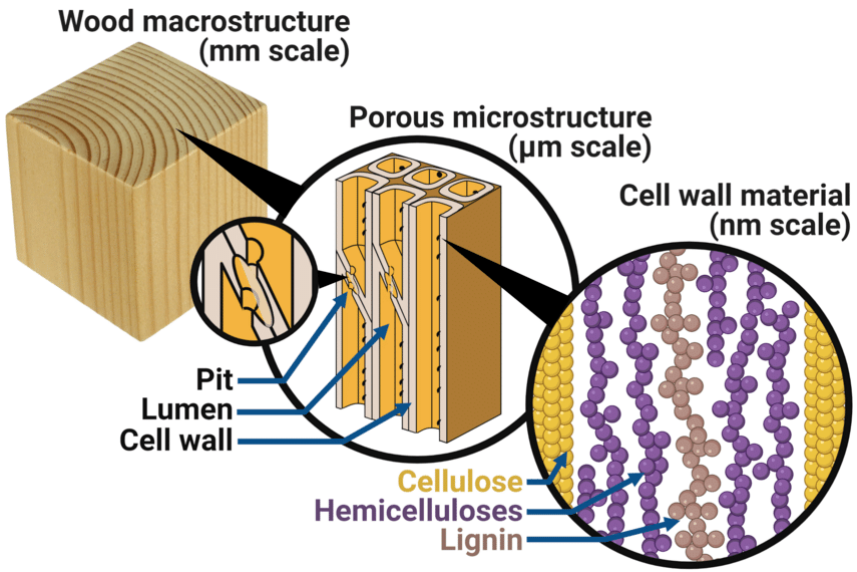
- Explica cómo el porcentaje de agua de la madera afecta sus propiedades mecánicas y por qué diferentes maderas tienen propiedades diferentes.



Cuando la madera se seca, primero pierde agua presente en los poros, lo no afecta en su resistencia.

Cuando el % de agua baja de 30% aproximadamente se comienza a perder agua de las células alargadas, las cuales contienen las fibras de celulosa. Esta pérdida de agua hace que las fibras se acerquen cada vez más, generando una mayor unión entre ellas, lo que entrega una mayor resistencia y rigidez.

P3



La madera es un compuesto de matriz polimérica reforzado con fibras y formado por células alargadas en una dirección, lo que genera anisotropía

- **Dirección axial:** Es la más resistente, alineada con las fibras de la madera.
- **Dirección radial y tangencial:** Baja resistencia, débil unión entre microfibrillas y fibras de celulosa, se separan fácilmente

La densidad también afecta:

- **Madera blanda:** Posee baja densidad debido a la mayor cantidad de huecos en su interior
- **Madera dura:** Posee alta densidad debido a que es más compacta, sin huecos. Mayor módulo de elasticidad y resistencia.

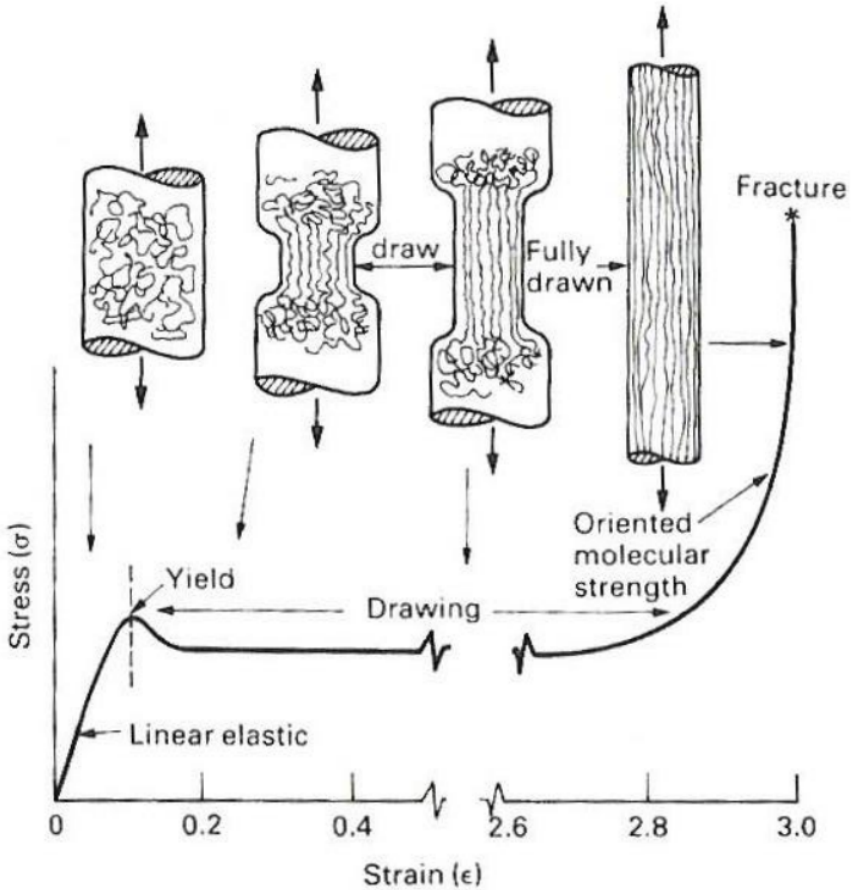
P3

Nudos: La madera que no posee nudos es mucho más resistente en la dirección axial que la madera que posee nudos. Esto debido a que cuando están los nudos presentes, las células de la madera pierden su orientación axial y se empiezan a ordenar en otras direcciones, reduciendo la resistencia.

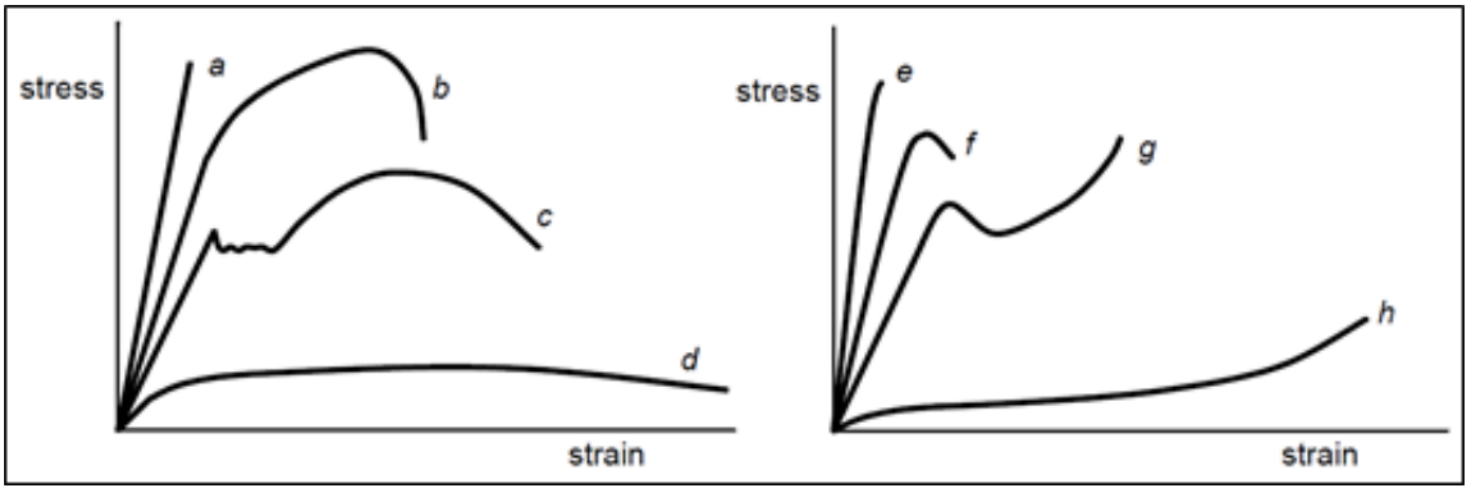
Fabricación: Por ejemplo, con el caso de la madera contrachapada, la cual es más isotrópica que las tablas de madera convencionales, debido a que la madera contrachapada está fabricada por capas, lo que le da la posibilidad de eliminar direcciones preferentes.

P4

- Qué es el **cold-drawing** y como afecta el comportamiento mecánico de los polimeros.



P4



EJERCICIOS:

Preguntas:

- P1: Diseñe una barra que tenga una sección transversal redonda y 30 cm de largo. Cuando se aplica una fuerza de 1000 N, no debe estirarse más de 3 mm, utilizando:
  - Epoxi (E: 500.000 psi, densidad: 1,25 g/cm3)
  - Matriz epoxi reforzada con fibra de carbono (la fracción de volumen de la fibra de carbono: 0,2 y E: 530 GPa, densidad: 1,9 g/cm3).

  Si epoxi y fibra de carbono cuestan alrededor de 1000 pesos/kg y 3000 pesos/kg, respectivamente,compare el costo de dos barras.

P1

Para la primera barra, podemos utilizar la restriccion de desplazamiento para calcular su deformación máxima:

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} \leq \frac{3}{300} = 0.01$$

Suponiendo que esta deformación es elástica, podemos utilizar ley de Hooke:

$$\begin{aligned} \sigma &= E\varepsilon \quad \Longrightarrow \\ \sigma &\leq 0.01E \\ &\leq 5000 \ [Psi] \end{aligned}$$

P1

Podemos pasarlo a megapascales, para poder encontrar el diámetro en metros, utilizando a definición de esfuerzo:

$$\sigma = \frac{4F}{\pi d^2} \leq 34.4738 \ [MPa]$$

$$d \geq \left(\frac{4 \cdot 1000}{\pi \cdot 34.4738 \cdot 10^6} \right)^{0.5} = 0.006 \ [m]$$

con lo que se concluye que el diámetro deberá ser menor a 0.6 [cm] para que la barra experimente un desplazamiento menor a 3 [mm]

P1

el volumen y precio de la barra serán:

$$V = \frac{\pi d^2 l}{4} = 8.4823\ [cm^3]$$

$$\begin{aligned} C &= M \cdot C_{epoxy} \\ &= V \cdot \rho_{epoxy} \cdot C_{epoxy} \\ &= \$10,60 \end{aligned}$$

Preguntas:

- P2: Se tiene una película delgada multicapa de TiO2 y SiO2. Con el objetivo de determinar la porosidad del material se ha realizado un ensayo de nanoindentación con indentador de Berkovich :

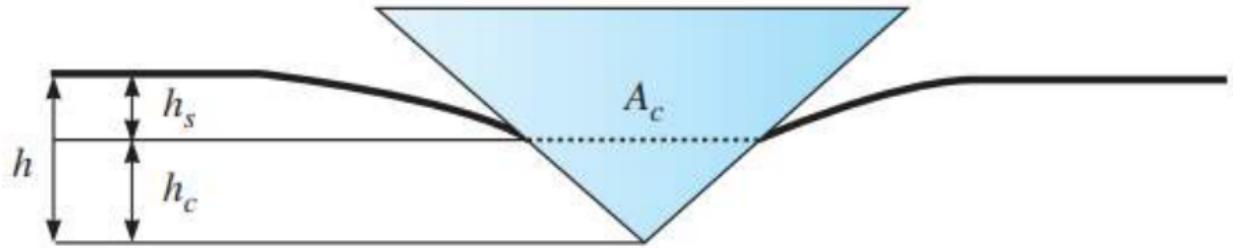
β	1.034	
E_i	1141	GPa
ν_i	0.07	

Módulo de Poisson de toda la multicapa es de 0.27.

E_{TiO}	250	GPa
E_{SiO}	73	GPa

Determine la porosidad y dureza de la película multicapa.

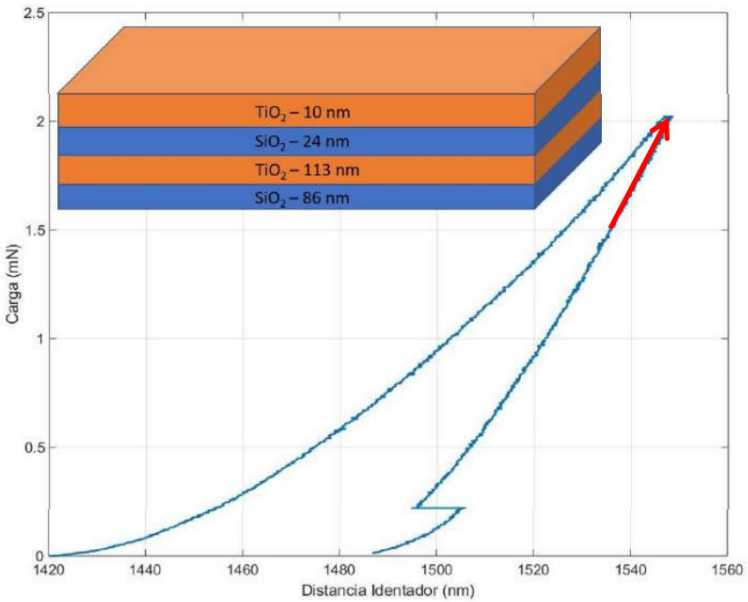
P2:



$$h = h_s + h_c \qquad h_s = \varepsilon \cdot \frac{P_{máx}}{S} \qquad A_c = 24.5 \cdot h_c^2$$

- $h =$ profundidad de la indentación.
- $h_s =$ profundidad de desplazamiento de la superficie.
- $h_c =$ profundidad de contacto.
- $P_{max} =$ carga máxima.
- $\varepsilon =$ constante geométrica del indentador, berk $= 0.75$.
- $S =$ rigidez durante la descarga.

P2



Dureza:

La profundidad total de la muesca es:

$$h = 1548 - 1420 = 128\ [nm]$$

Primero, para encontrar el área de contacto, debemos calcular la pendiente de la descarga:

$$S = \frac{2 - 1.5}{1548 - 1535} = 0.0385$$

P2

Ahora, podemos calcular la profundidad de desplazamiento de la superficie.

$$h_s = 0.75 \cdot \frac{2}{0.0385} = 39 \ [nm]$$

Con esto, tenemos la profundidad de contacto:

$$h_c = h - h_s = 128 - 39 = 89 \ [nm]$$

P2

Con lo que obtenemos el área de contacto.

$$A_c = 24.5 \cdot h_c^2 = 24.5 \cdot 89^2 \ [nm] = 194065 \ [nm^2]$$

A partir de la cual, podemos calcular la dureza del material:

$$\begin{aligned} H &= \frac{P_{max}}{A_c} \\ &= \frac{2 \cdot 10^{-3}}{194065} \\ &= 10,3 \ [GPa] \end{aligned}$$

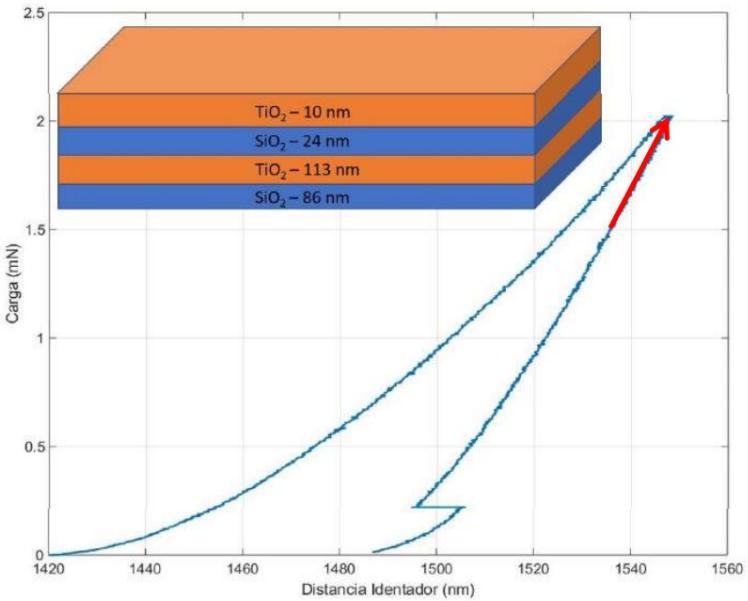
P2

Para encontrar la porosidad, debemos primero encontrar el módulo de young real de la muestra, y compararlo al teórico utilizando que:

$$E_p = E_r(1 - 1.9 \cdot P + 0.9P^2)$$

El modulo de young sin porosidad lo encontramos utilizando las densidades sin porosidad y las fracciones en volumen de la muestra

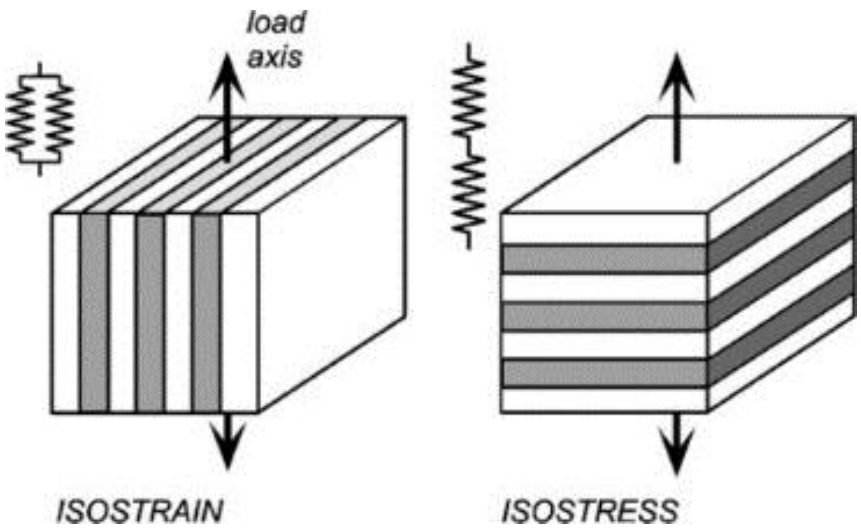
P2



$$v_{TiO_2} = \frac{(10+113)\cdot a \cdot b}{233 \cdot a \cdot b} = \frac{123}{233} = 0.53$$

$$v_{SiO_2} = \frac{(24+86)\cdot a \cdot b}{233 \cdot a \cdot b} = \frac{110}{233} = 0.47$$

P2



Condición de isoesfuerzo:

$$\frac{1}{E_r} = \frac{v_{TiO_2}}{E_{TiO_2}} + \frac{v_{SiO_2}}{E_{SiO_2}}$$

$$\Longrightarrow$$

$$E_r = 116,57\ [GPa]$$

P2

El modulo de elasticidad con porosidad, lo encontramos utilizando los resultados del ensayo, primero calculamos el módulo de elasticidad reducido (que toma en cuenta el modulo de elasticidad del indentador y la muestra):

$$\begin{aligned} E_{red} &= \frac{\sqrt{\pi}}{2\beta}\frac{S}{\sqrt{A_c}} \\ &= \frac{\sqrt{\pi}}{2 \cdot 1.034}\frac{0.0385}{\sqrt{194065}} \\ &= 74.9\ [GPa] \end{aligned}$$

P2

Y a partir del modulo de elasticidad reducido, encontramos el real (con porosidad):

$$\frac{1}{E_{red}} = \frac{1-\nu_p^2}{E_p} - \frac{1-\nu_i^2}{E_i} \quad \Longrightarrow \quad \frac{1-\nu_p^2}{E_p} = \frac{1}{E_{red}} + \frac{1-\nu_i}{E_i}$$

$$E_p = 74.29 \ [GPa]$$

P2

Por ultimo, buscamos la porosidad:

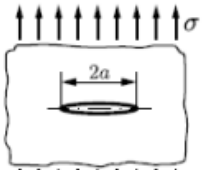
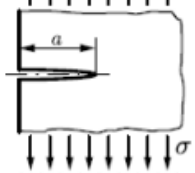
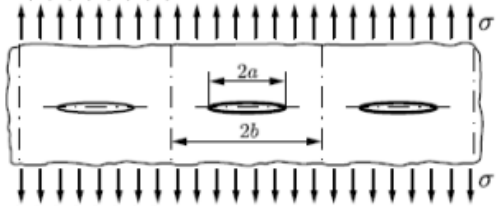
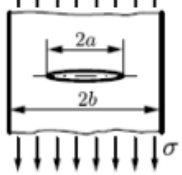
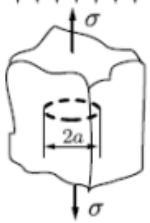
$$E_p = E_r(1 - 1.9 \cdot P + 0.9P^2)$$
$$74.29 = 116.57(1 - 1.9 \cdot P + 0.9P^2)$$
$$\Longrightarrow$$
$$P_1 = 0.212 \quad \wedge \quad P_2 = 1.899$$

Preguntas:

- P3: Para una aleación de Titanio con una grieta superficial, calcule el largo de la grieta más profunda que puede ser tolerada y aún así evitar propagación de grieta a un esfuerzo operativo de 70 % del esfuerzo de fluencia de la aleación. Asuma grieta elíptica. Propiedades del material $K_{Ic} = 115$ $[MN\ m^{-\frac{3}{2}}]$, $\sigma_y = 900$ $[MN\ m^{-2}]$

P3:

Table 5.1. Geometry factors for some geometries [58]

geometry	geometry factor
	$Y = 1$
	$Y = 1.121\,5$
	$Y = \sqrt{\frac{2b}{\pi a}\tan\frac{\pi a}{2b}}$
	$Y = \frac{1 - 0.025(a/b)^2 + 0.06(a/b)^4}{\sqrt{\cos(\pi a/2b)}}$
 (plate-shaped crack)	$Y = \frac{2}{\pi}$

P3:

$$K_{IC} = Y\sigma\sqrt{\pi a}$$

- K_{IC} = Resistencia a la fractura
- Y = Factor geométrico de la grieta
- σ = Esfuerzo aplicado
- a = Largo de la grieta

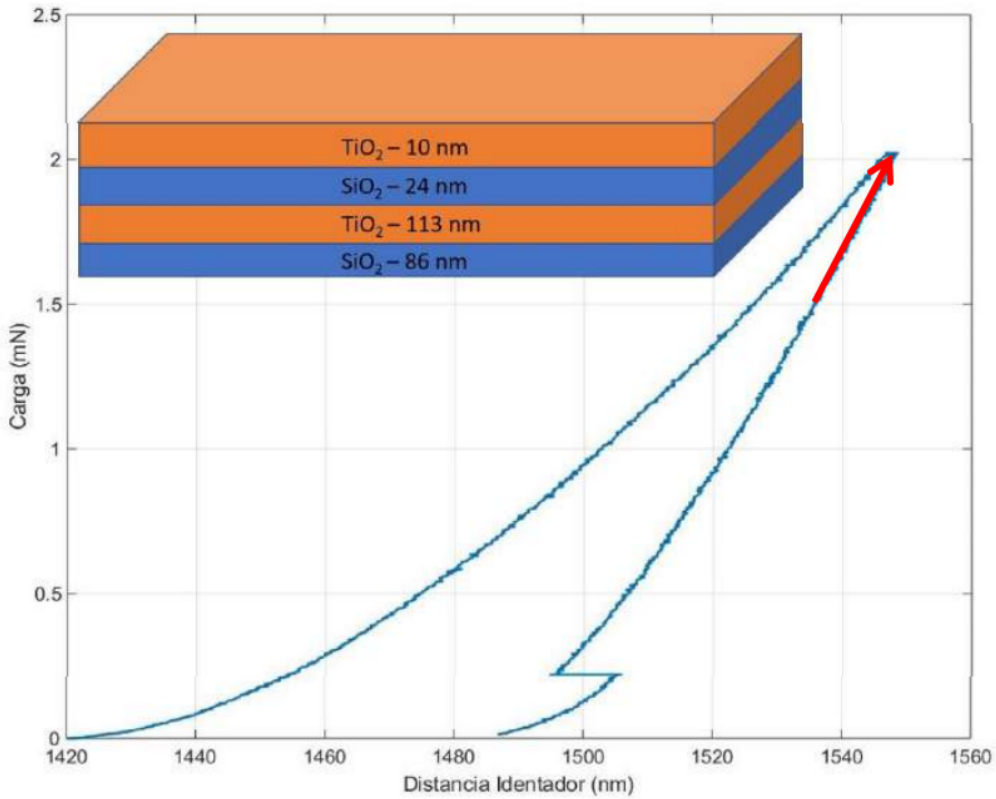
P3:

- $K_{IC} = 115$
- $Y = 1.1215$
- $\sigma = 0.7 \cdot \sigma_y = 630$
- $a = ???$

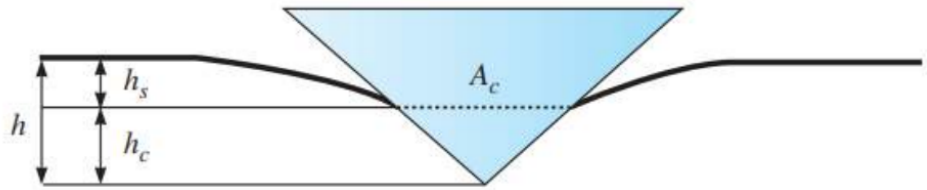
$$
\begin{aligned}
a &= \left(\frac{K_{IC}}{Y\sigma}\right)^2 \cdot \pi \\
&= \left(\frac{115}{1.1215 \cdot 630}\right)^2 \cdot \frac{1}{\pi} \\
&= 0.00843 \ [m] \\
&= 0.843 \ [cm]
\end{aligned}
$$

Gráficos:

P2:


TiO_2 – 10 nm
SiO_2 – 24 nm
TiO_2 – 113 nm
SiO_2 – 86 nm
Carga (mN)
Distancia Identador (nm)
0
0.5
1
1.5
2
2.5
1420
1440
1460
1480
1500
1520
1540
1560

P2:



$$h = h_s + h_c \qquad h_s = \varepsilon \cdot \frac{P_{máx}}{S} \qquad A_c = 24.5 \cdot h_c^2$$