



PROPIEDADES NANOMECÁNICAS EN POLÍMEROS



PATRICIA ENRIQUE JIMÉNEZ

**GRUPO DE PROPIEDADES FÍSICAS Y
NANOESTRUCTURA DE POLÍMEROS**

**DEPARTAMENTO DE FÍSICA
MACROMOLECULAR**

**XV CURSO DE INICIACIÓN A LA INVESTIGACIÓN EN
ESTRUCTURA DE LA MATERIA**

ÍNDICE

- Propiedades mecánicas de los materiales poliméricos.
- Definición y medida de las propiedades nanomecánicas.
- Ejemplos.

ÍNDICE

- **Propiedades mecánicas de los materiales poliméricos.**
- Definición y medida de las propiedades nanomecánicas.
- Ejemplos.

MATERIALES COMPUESTOS

MATRIZ POLIMÉRICA

+

NANORREFUERZO

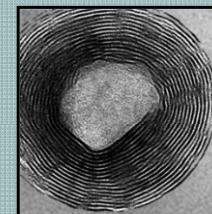
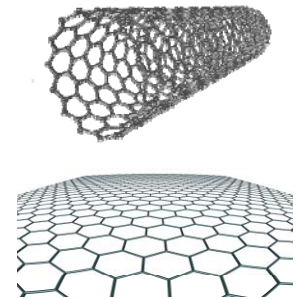
Elastómeros (SEBS)

Commodity (PP, PE)

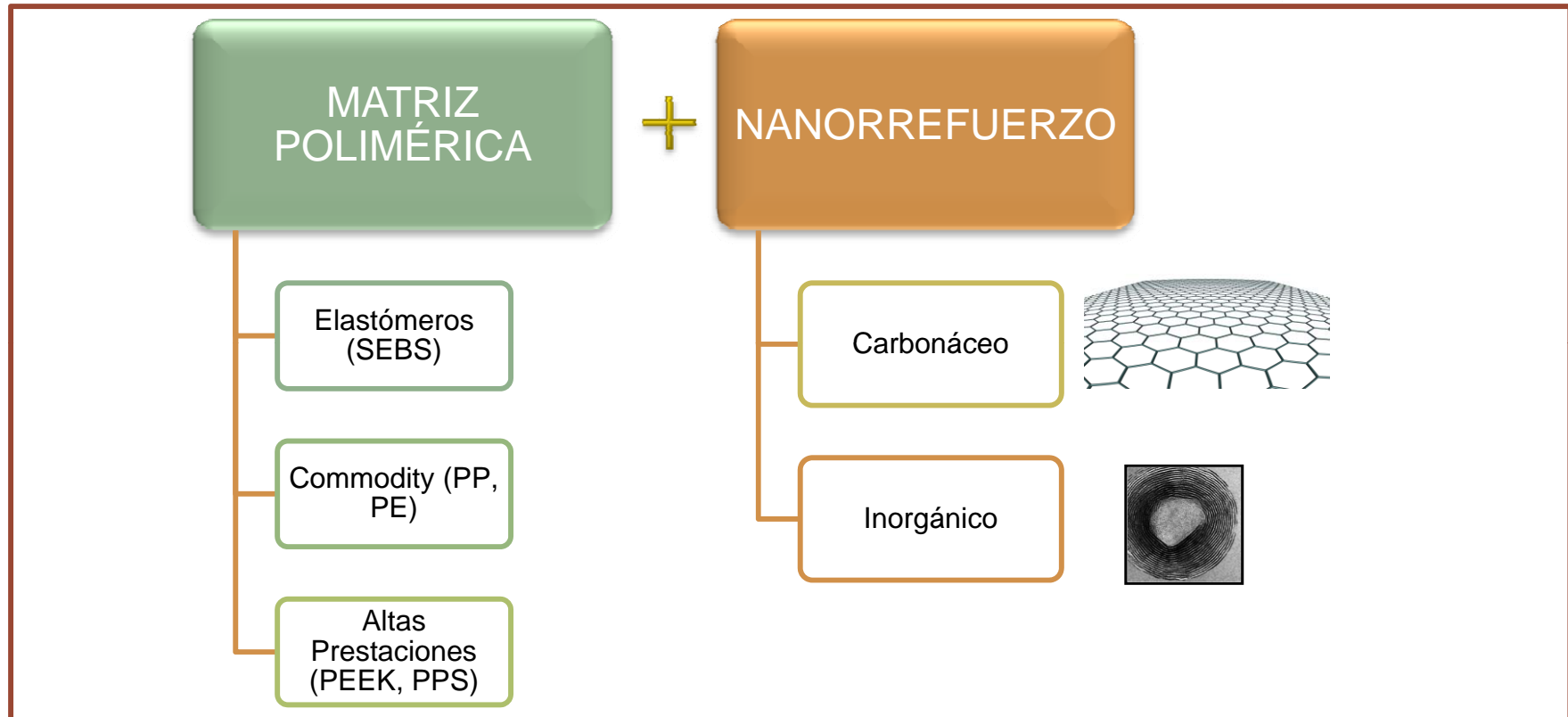
Altas Prestaciones (PEEK, PPS)

Carbonáceo

Inorgánico



MATERIALES JERÁRQUICOS

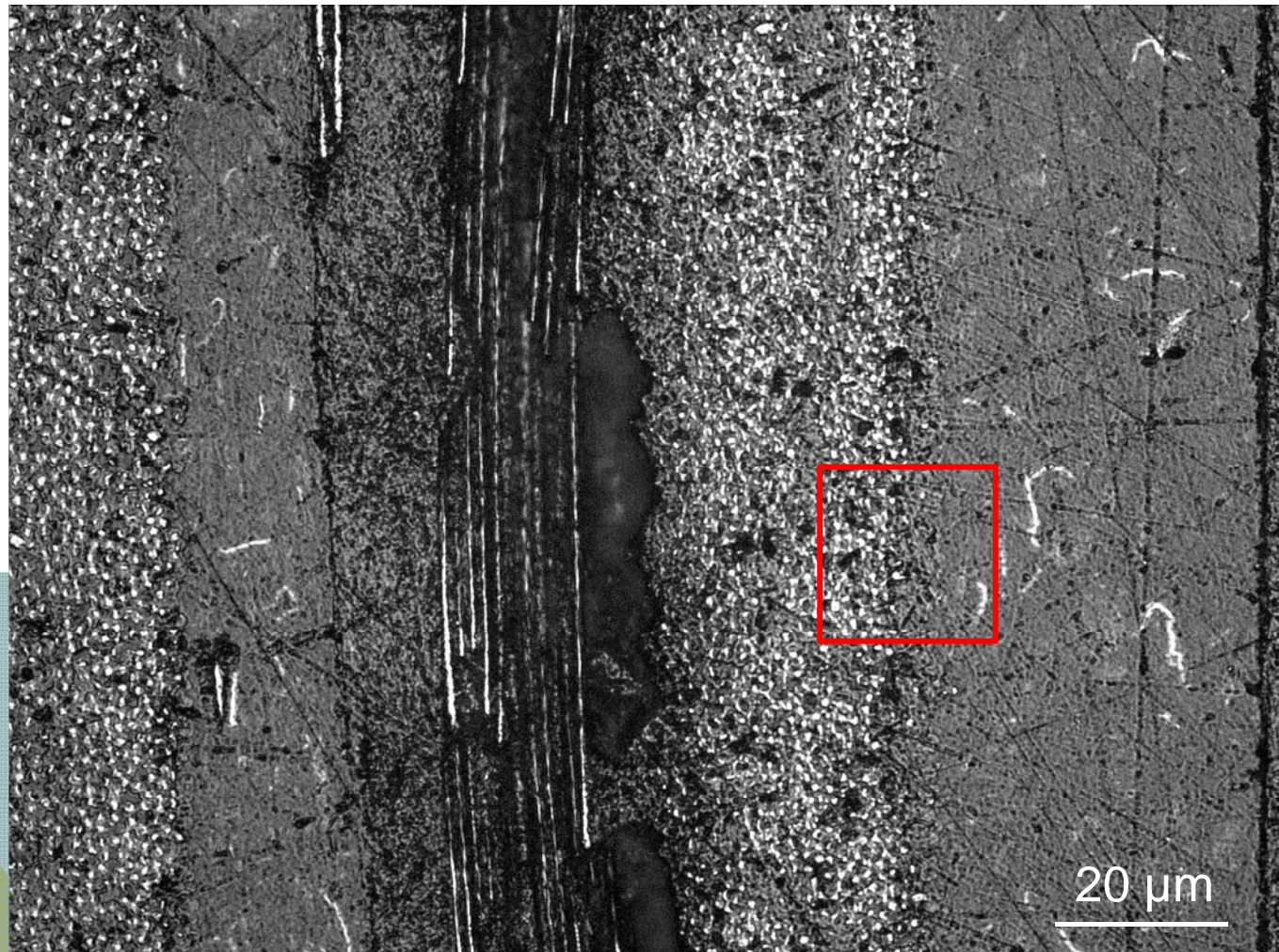
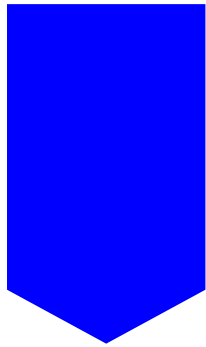


ÍNDICE

- Propiedades mecánicas de los materiales poliméricos.
- Definición y medida de las propiedades nanomecánicas.
 - Microdureza
 - Nanoindentación
- Ejemplos.

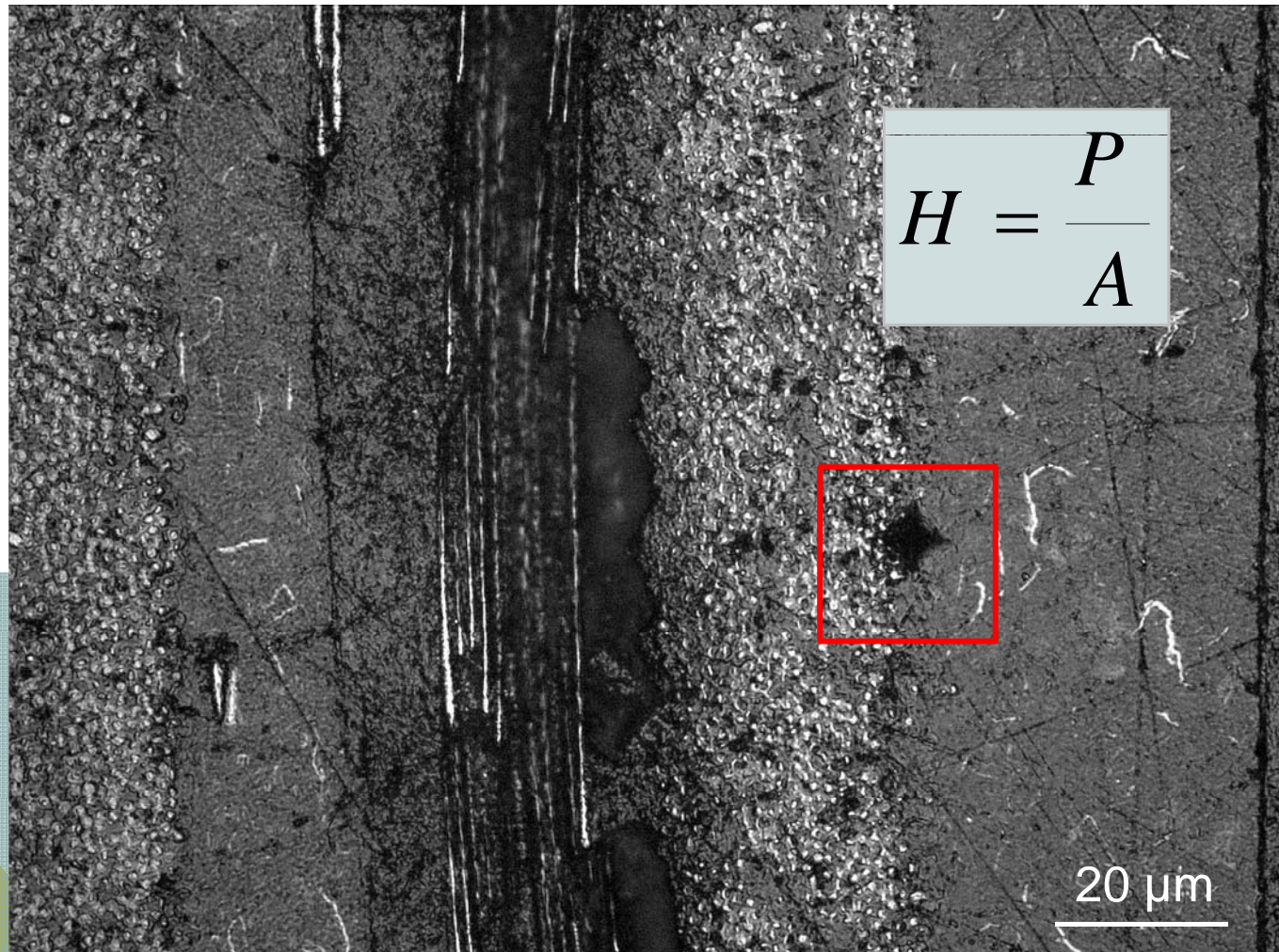
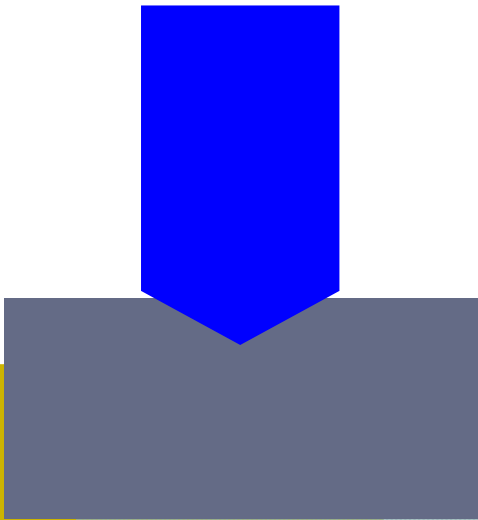
Experimento de microdureza

Indentación: Se basa en la resistencia que ofrece un material a la aplicación de una fuerza.



Experimento de microdureza

Indentación: Se basa en la resistencia que ofrece un material a la aplicación de una fuerza.

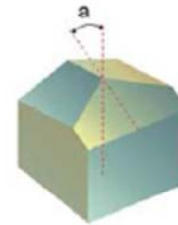


Tipos de puntas

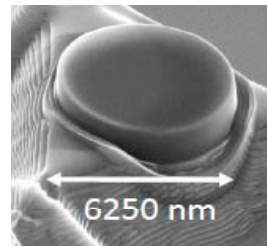
❖ **VICKERS:** pirámide de 4 caras (base cuadrada).



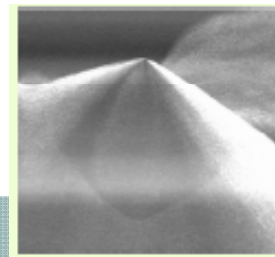
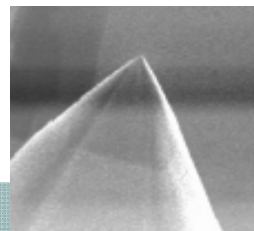
❖ **BERKOVICH:** pirámide de 3 caras



❖ **FLAT PUNCH:**



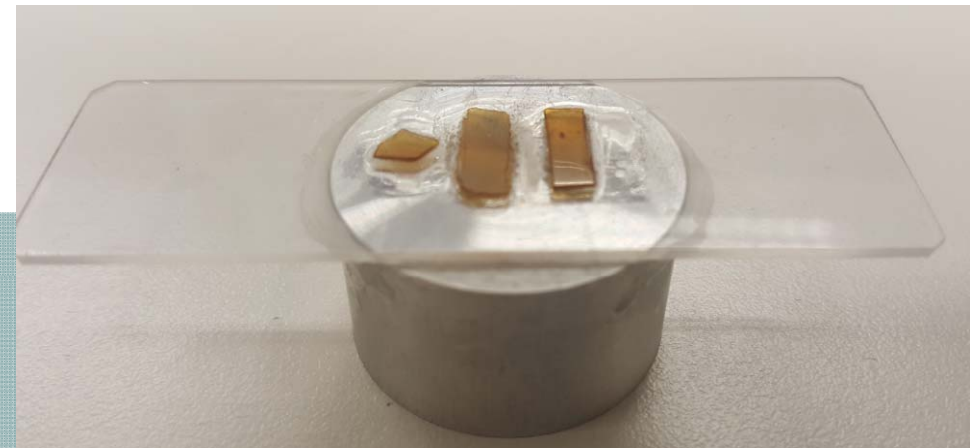
❖ **CÓNICAS:**



Ensayo de Microdureza

Medidas “in-situ”, sin necesidad de modificar o adaptar la muestra.

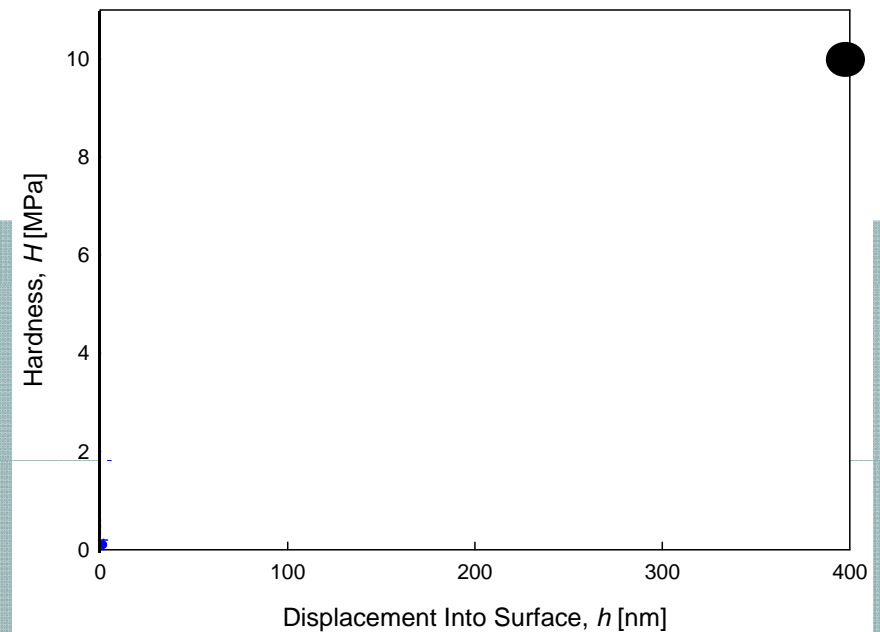
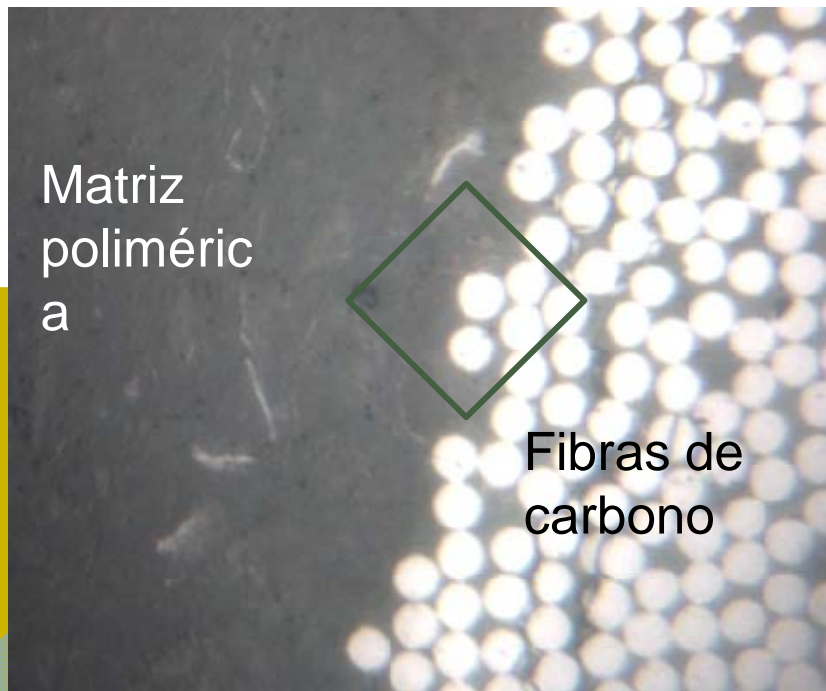
Poca cantidad de muestra.



Ensayo de Nanoindentación

Gran resolución espacial.

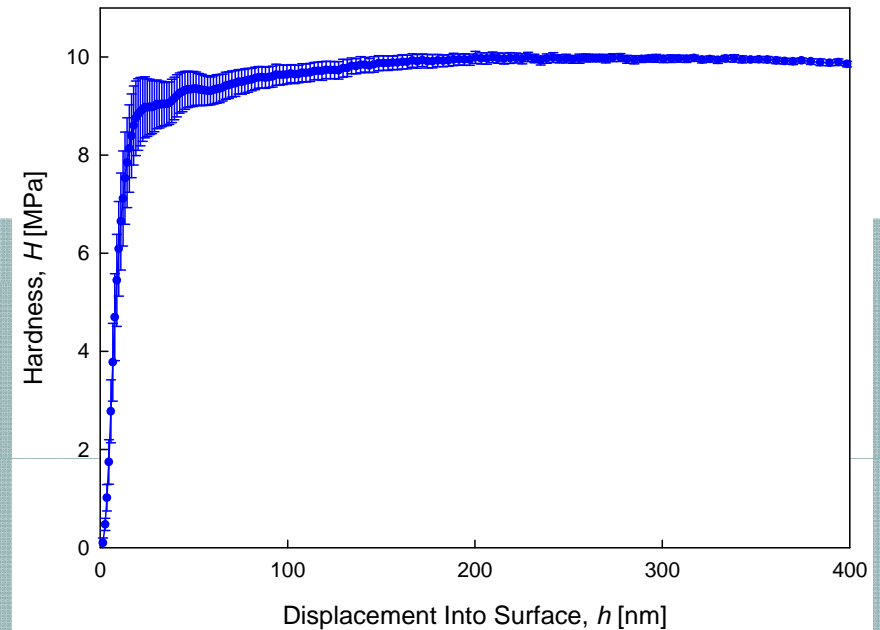
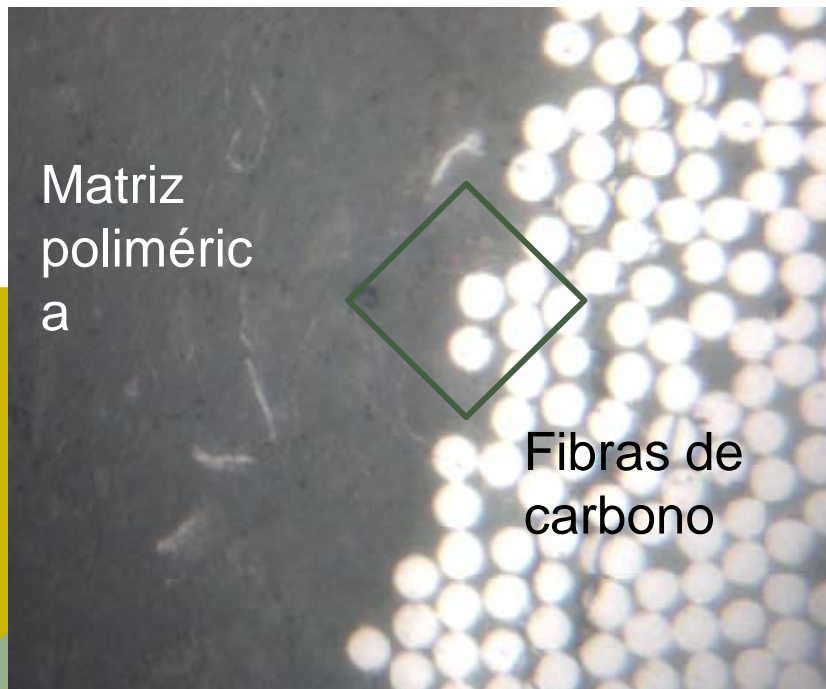
Diferenciar propiedades mecánicas de láminas delgada y recubrimientos.



Ensayo de Nanoindentación

Gran resolución espacial.

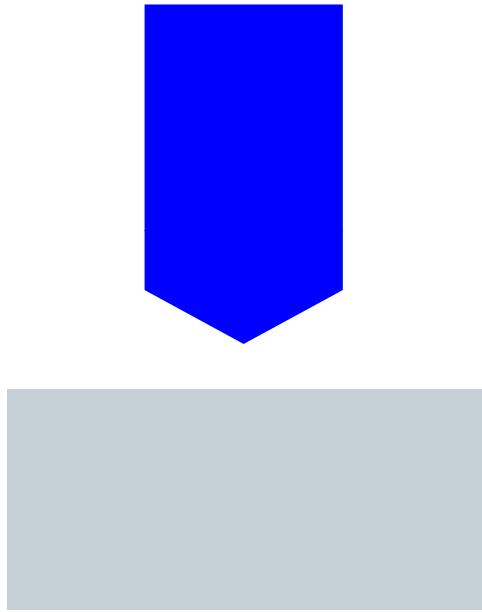
Diferenciar propiedades mecánicas de láminas delgada y recubrimientos.



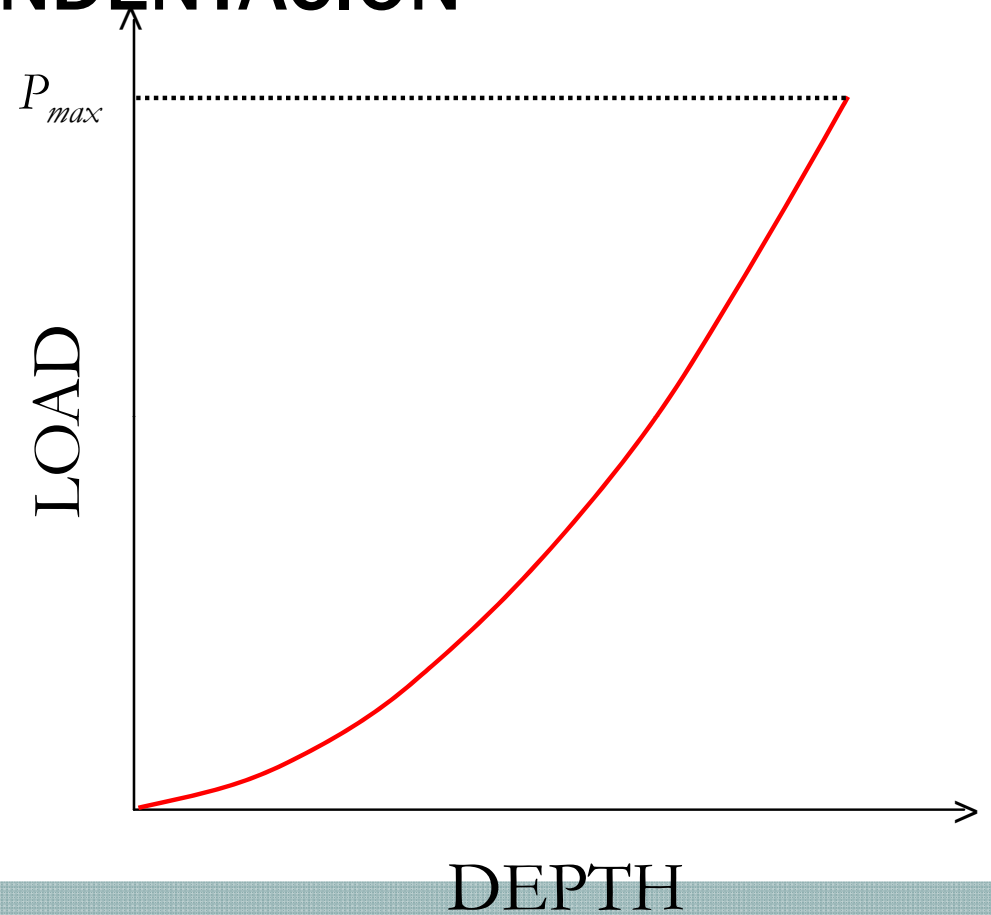
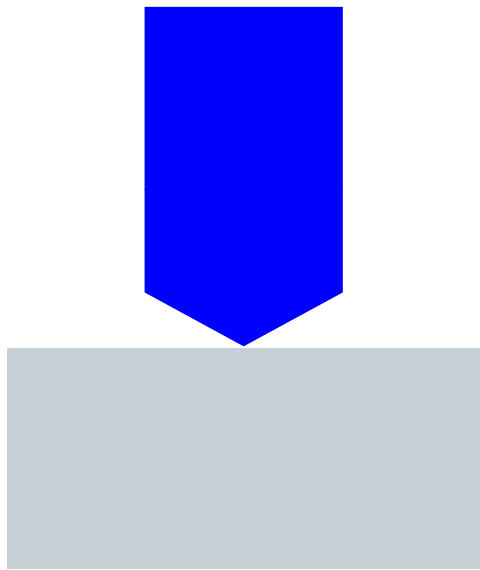
ÍNDICE

- Propiedades mecánicas de los materiales poliméricos.
- Definición y medida de las propiedades nanomecánicas.
 - Microdureza
 - **Nanoindentación**
- Ejemplos.

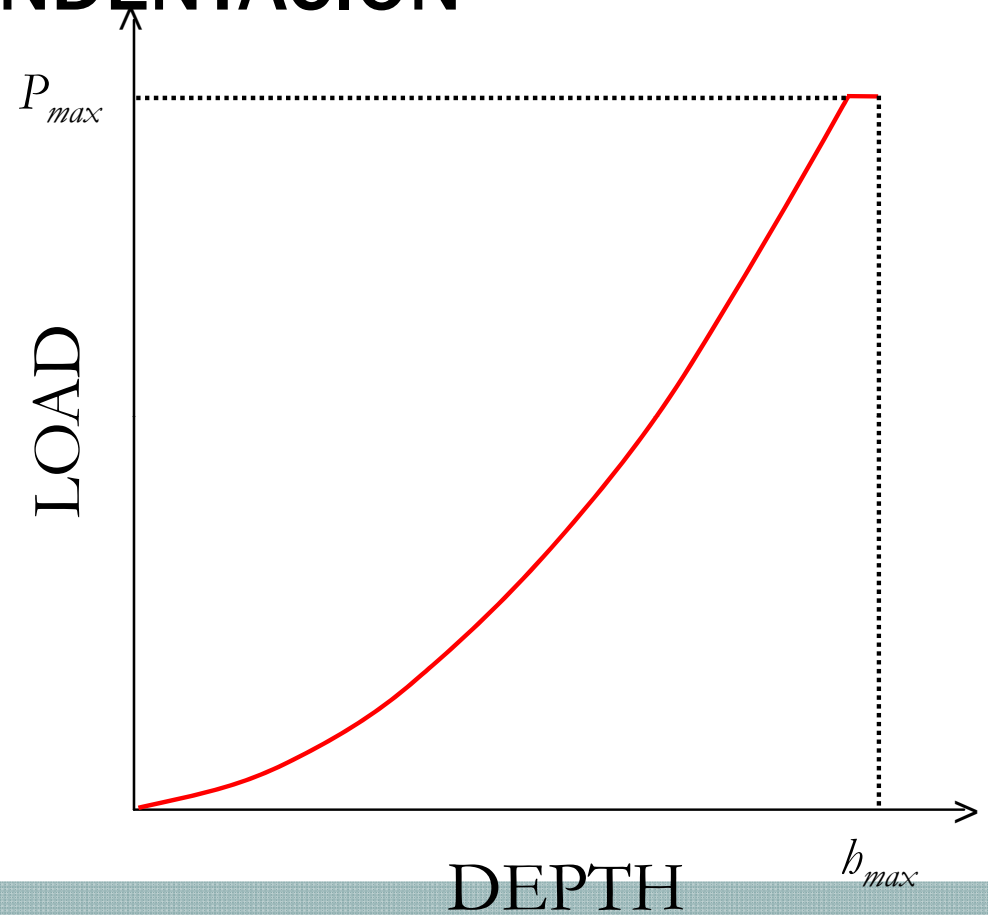
EXPERIMENTO DE NANOINDENTACIÓN



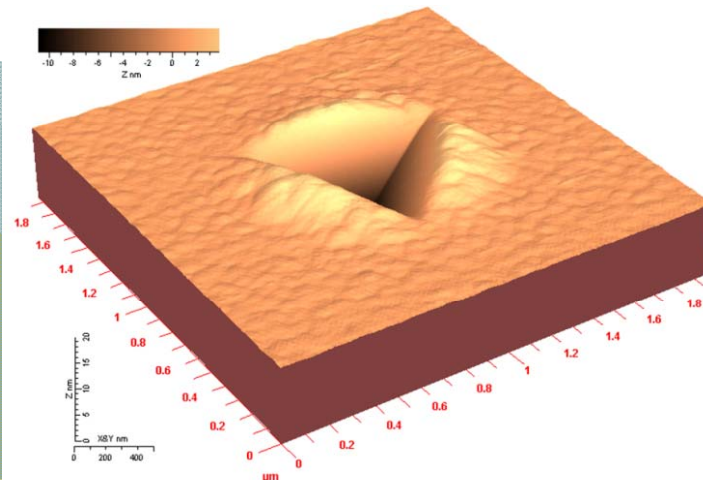
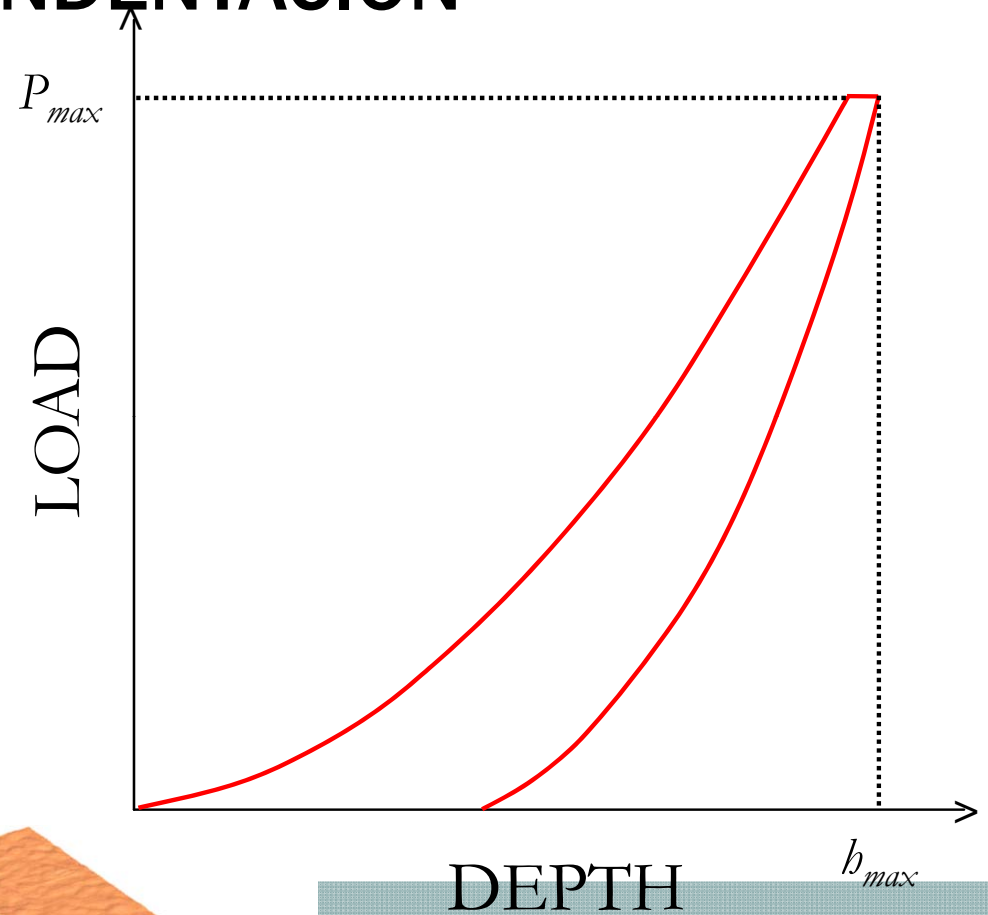
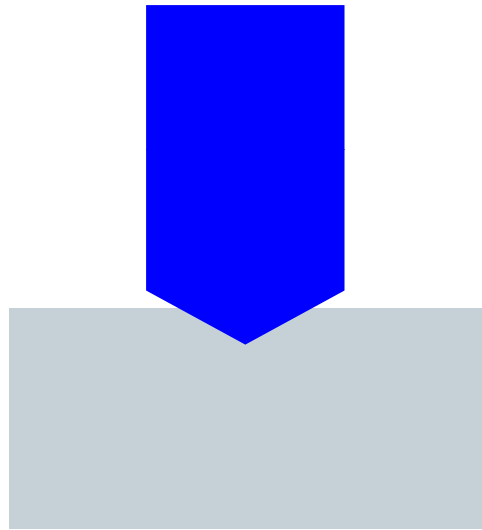
EXPERIMENTO DE NANOINDENTACIÓN



EXPERIMENTO DE NANOINDENTACIÓN

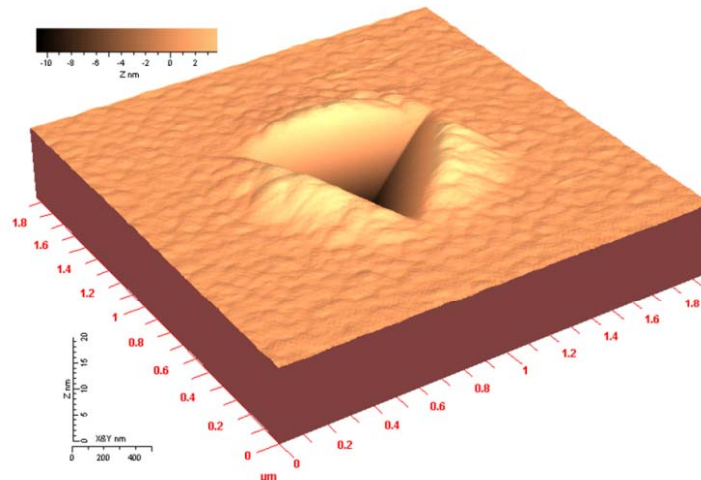
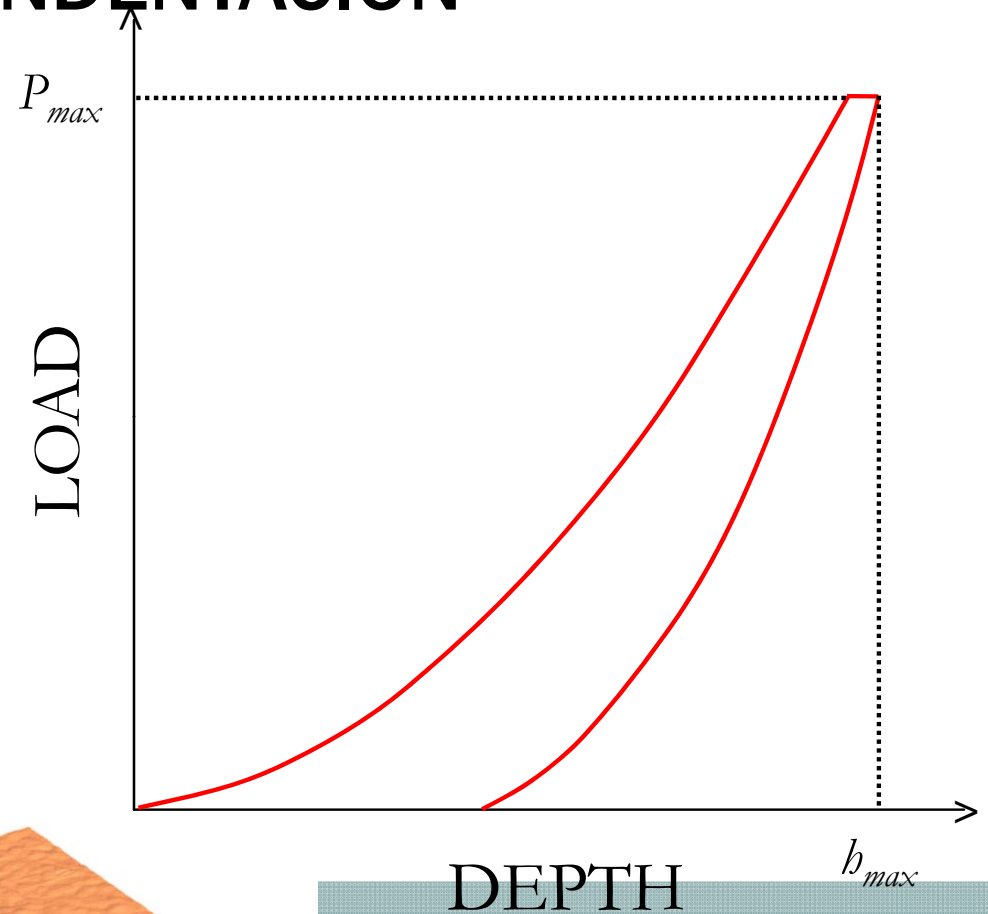
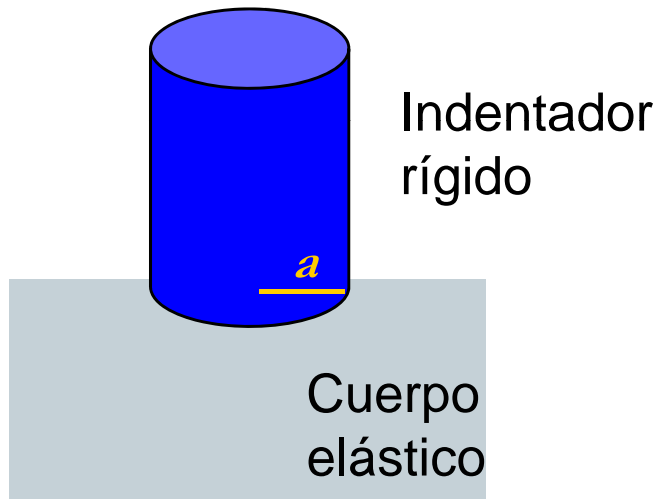


EXPERIMENTO DE NANOINDENTACIÓN



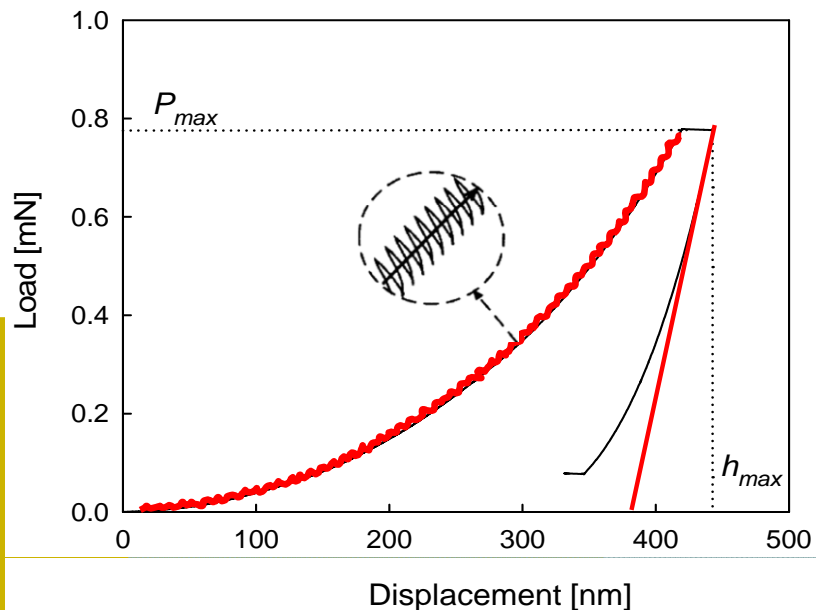
EXPERIMENTO DE NANOINDENTACIÓN

Teoría de la elasticidad
de Sneddon, 1965



Nanoindentación

Aplicado por primera vez a nanoindentación por **Doerner y Nix** (1986) e implementado por **Oliver y Pharr** (1992).



$$E_r = \frac{\sqrt{\pi}}{2\beta} \frac{S}{\sqrt{A}}$$

$$S = \frac{dP}{dh}$$

Rigidez de contacto

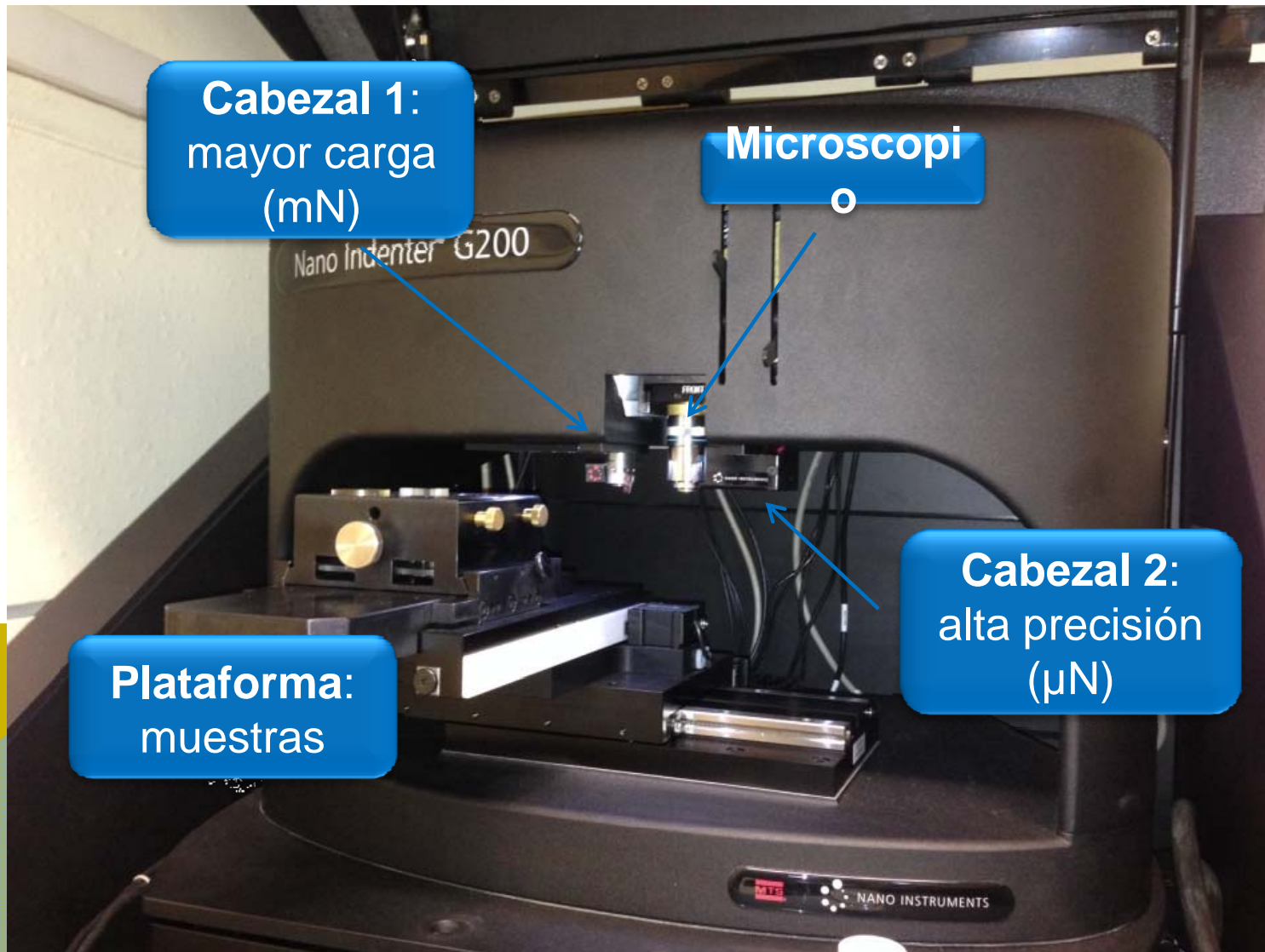
$$A(h_c) = 24.5 h_c^2$$

Área de contacto

$$\frac{1}{E_r} = \frac{(1-\nu^2)}{E} + \frac{(1-\nu_{ind}^2)}{E_{ind}}$$

$$H = \frac{P_{max}}{A}$$

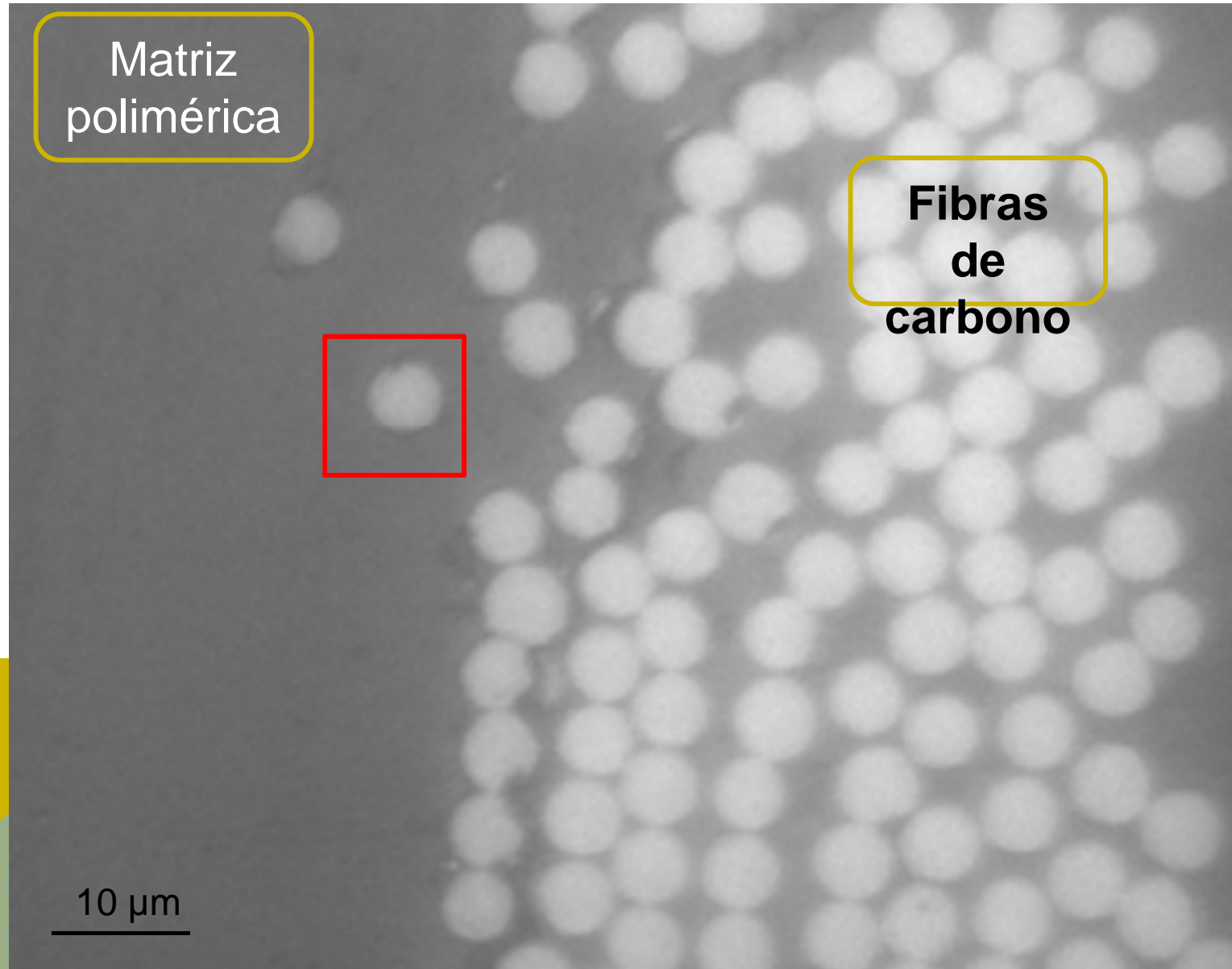
Nanoindentación



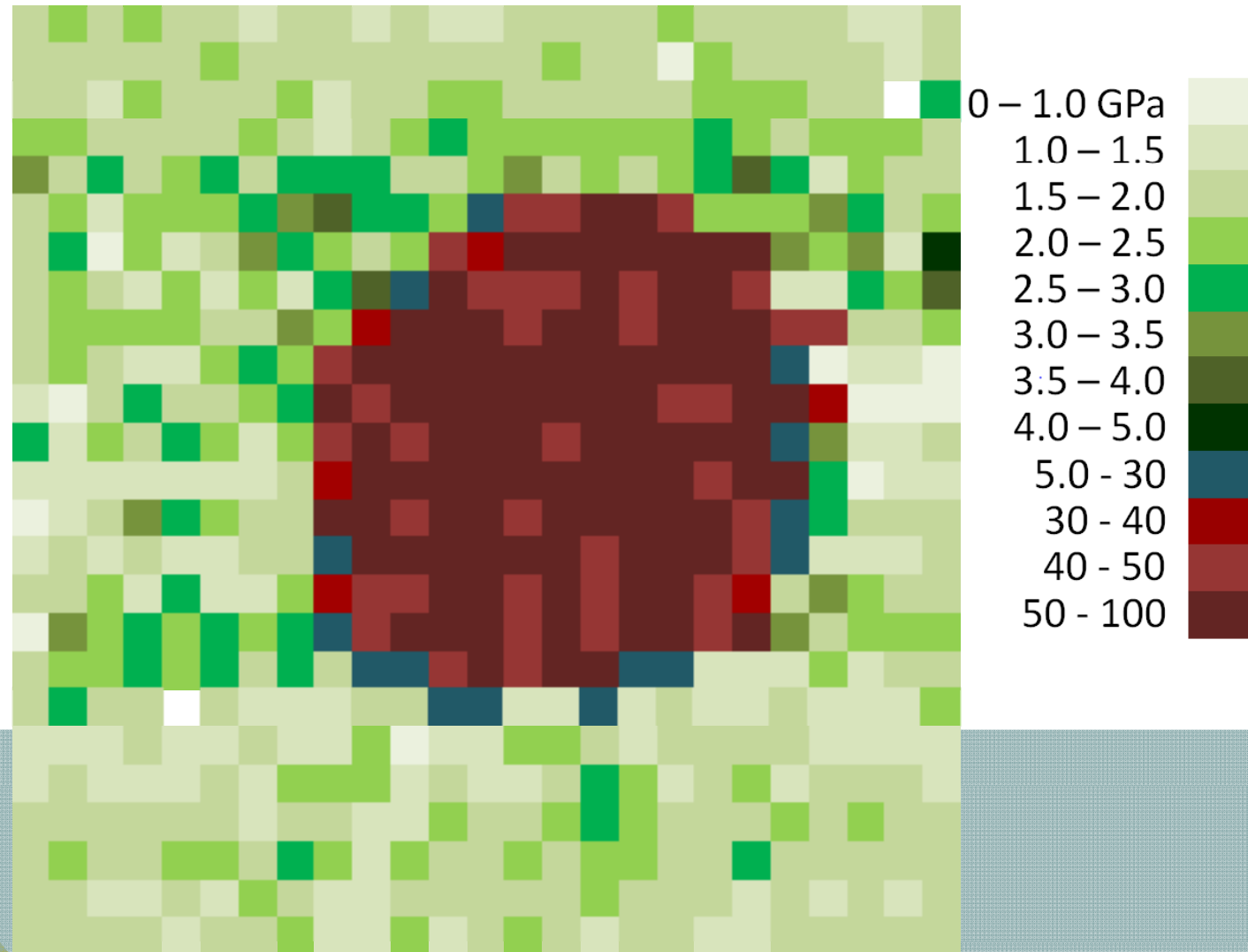
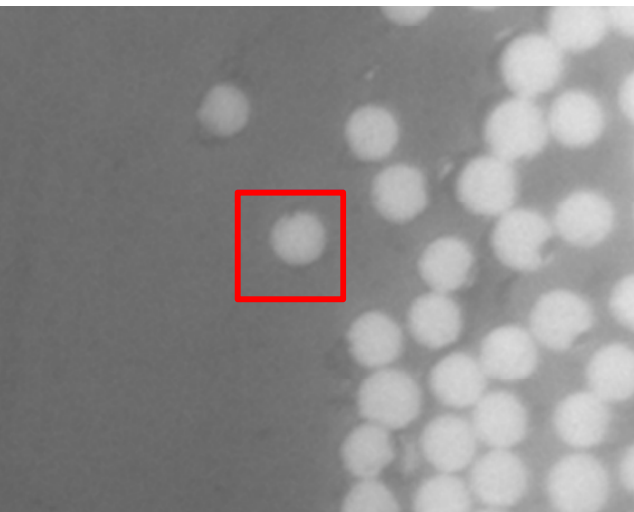
ÍNDICE

- Propiedades mecánicas de los materiales poliméricos.
- Definición y medida de las propiedades nanomecánicas.
- Ejemplos.

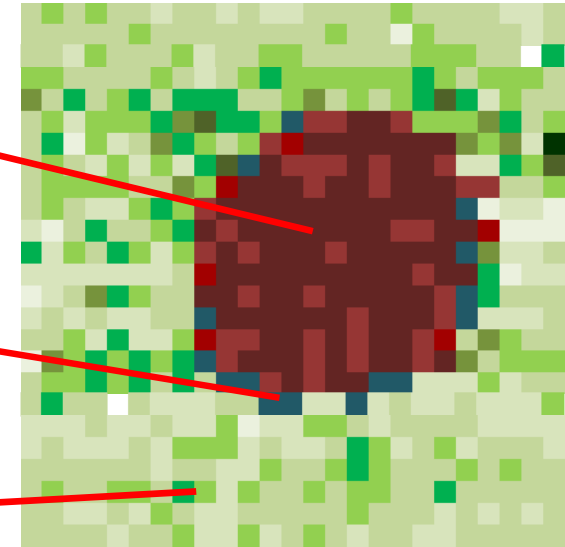
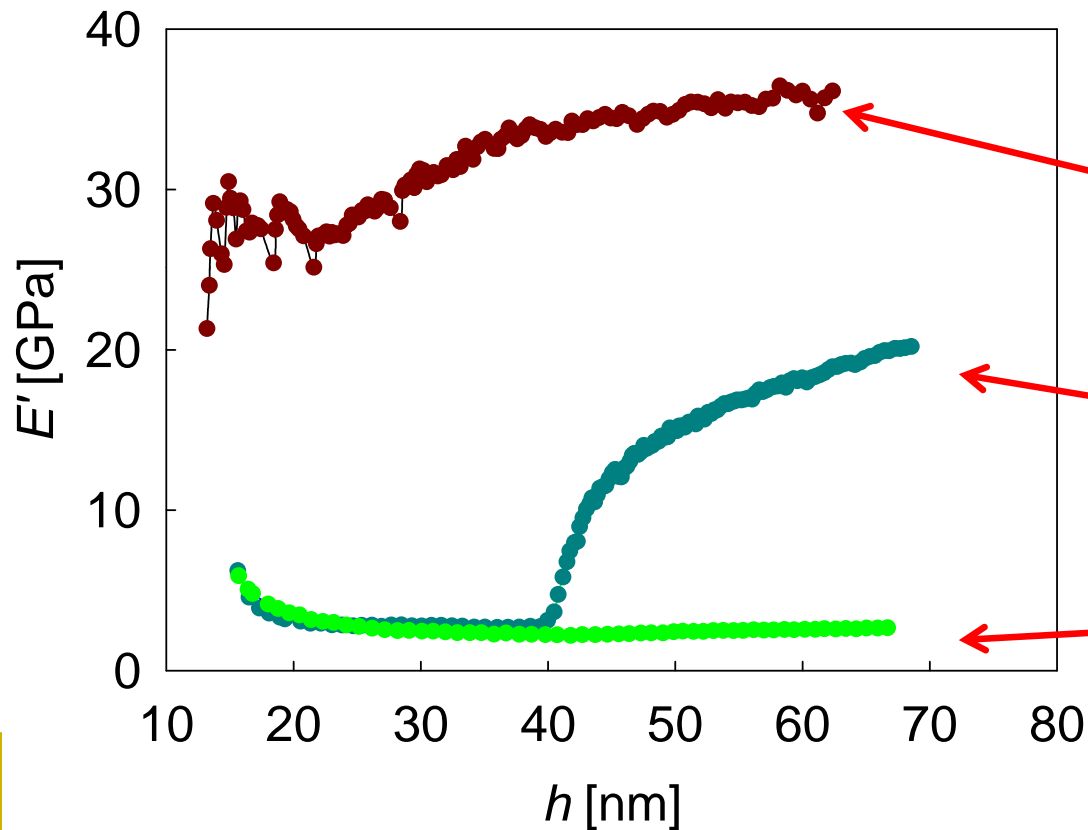
Polipropileno reforzado con grafeno y laminado con fibra de carbono



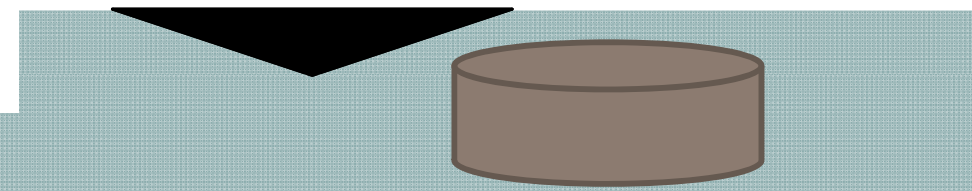
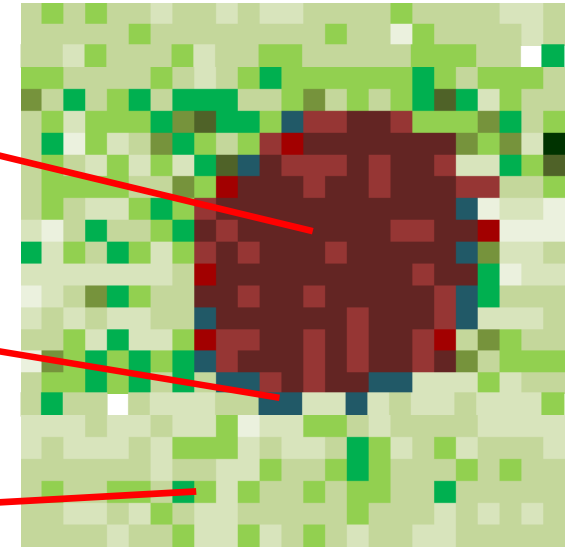
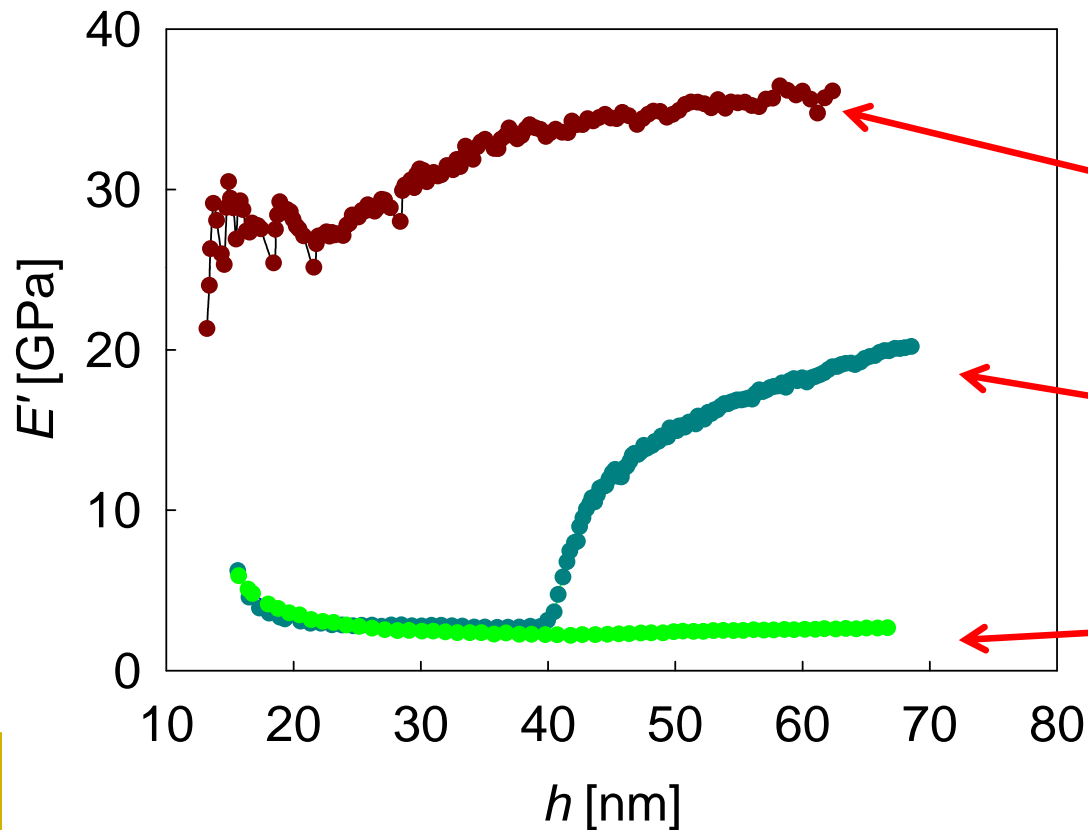
Polipropileno reforzado con grafeno y laminado con fibras de carbono



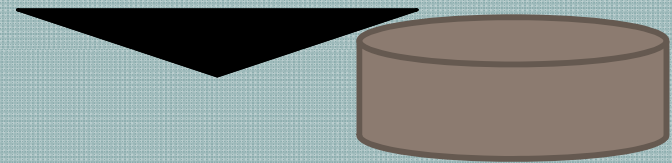
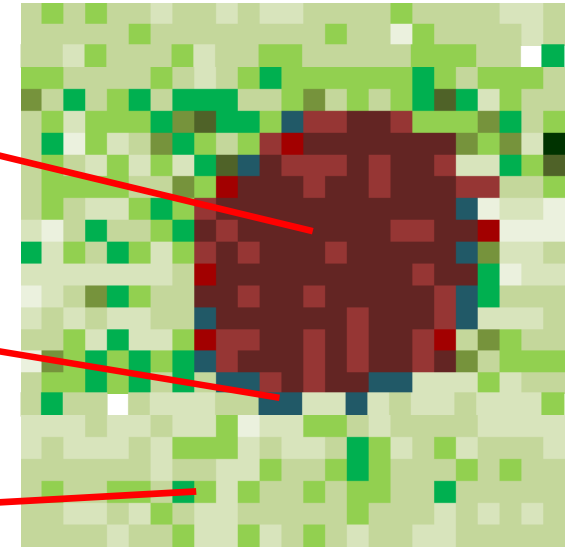
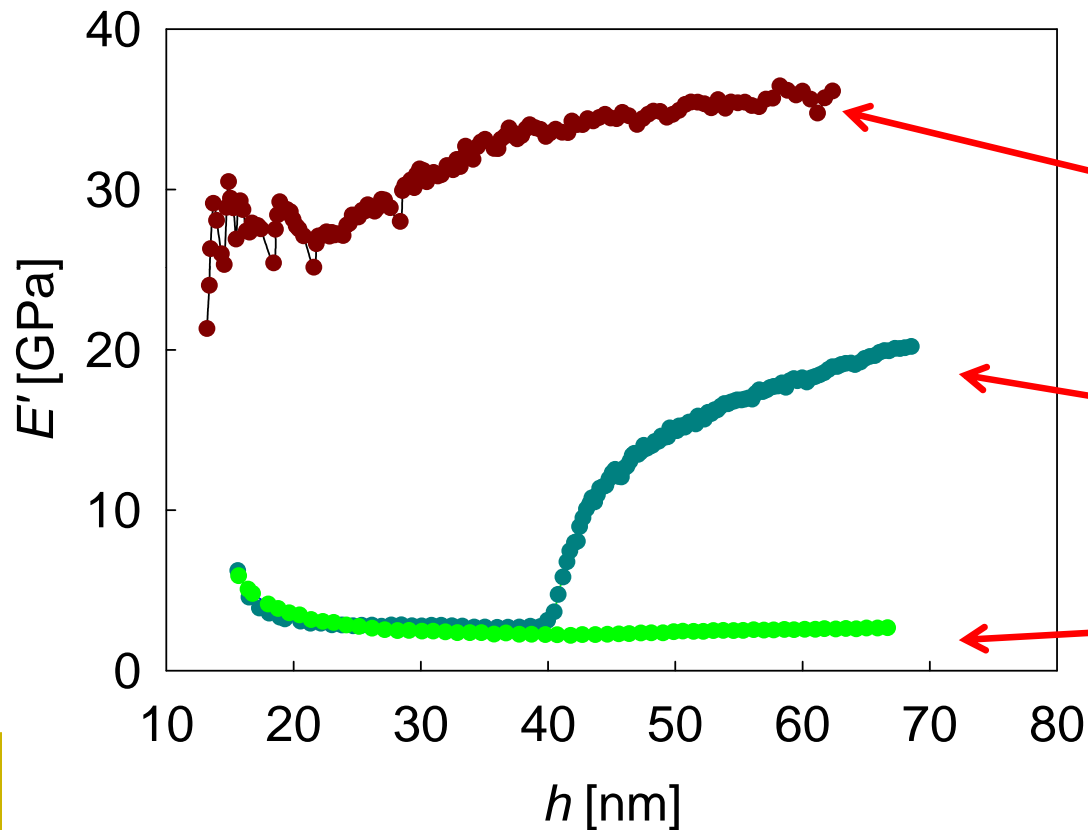
Polipropileno reforzado con grafeno y laminado con fibras de carbono



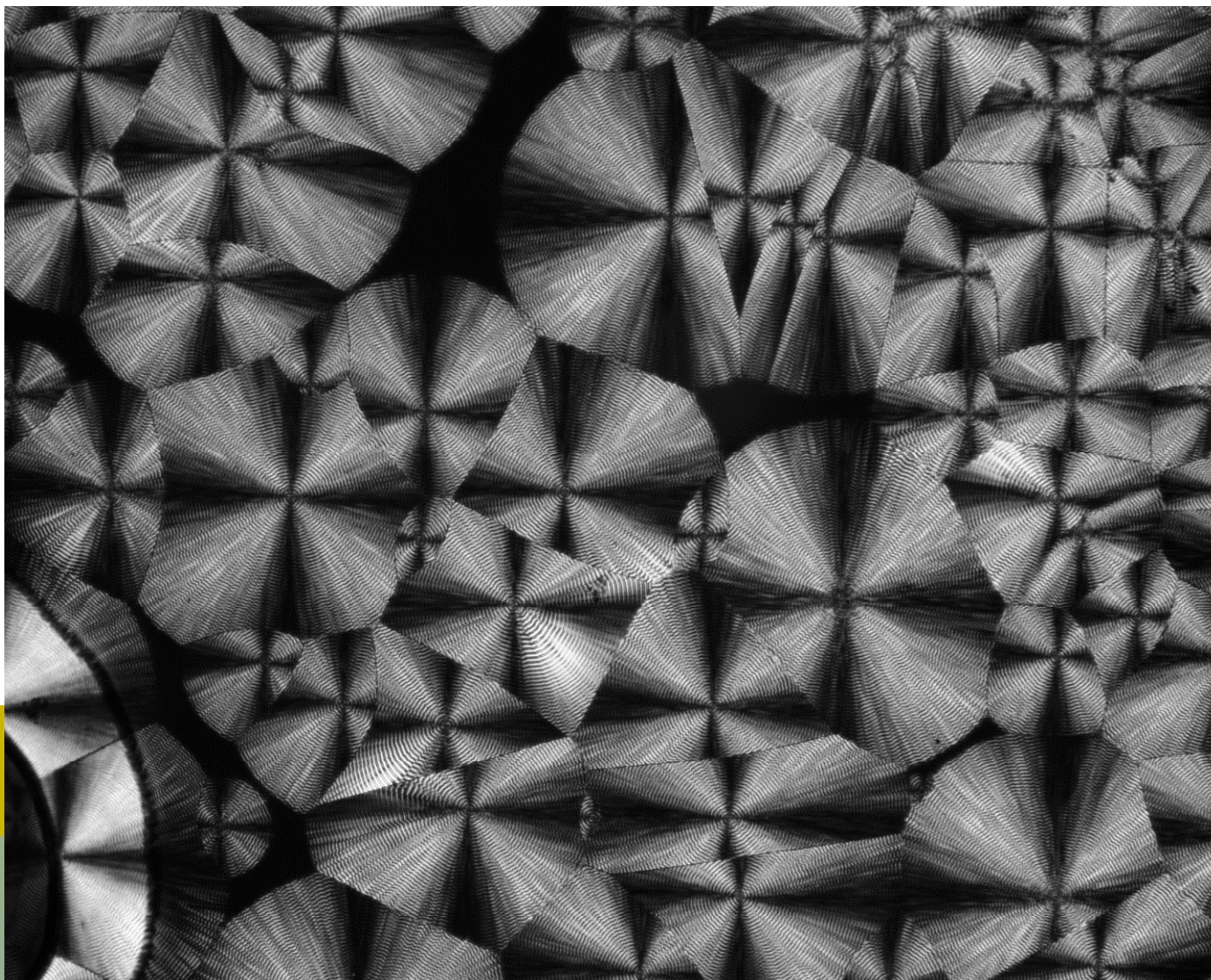
Polipropileno reforzado con grafeno y laminado con fibras de carbono



Polipropileno reforzado con grafeno y laminado con fibras de carbono

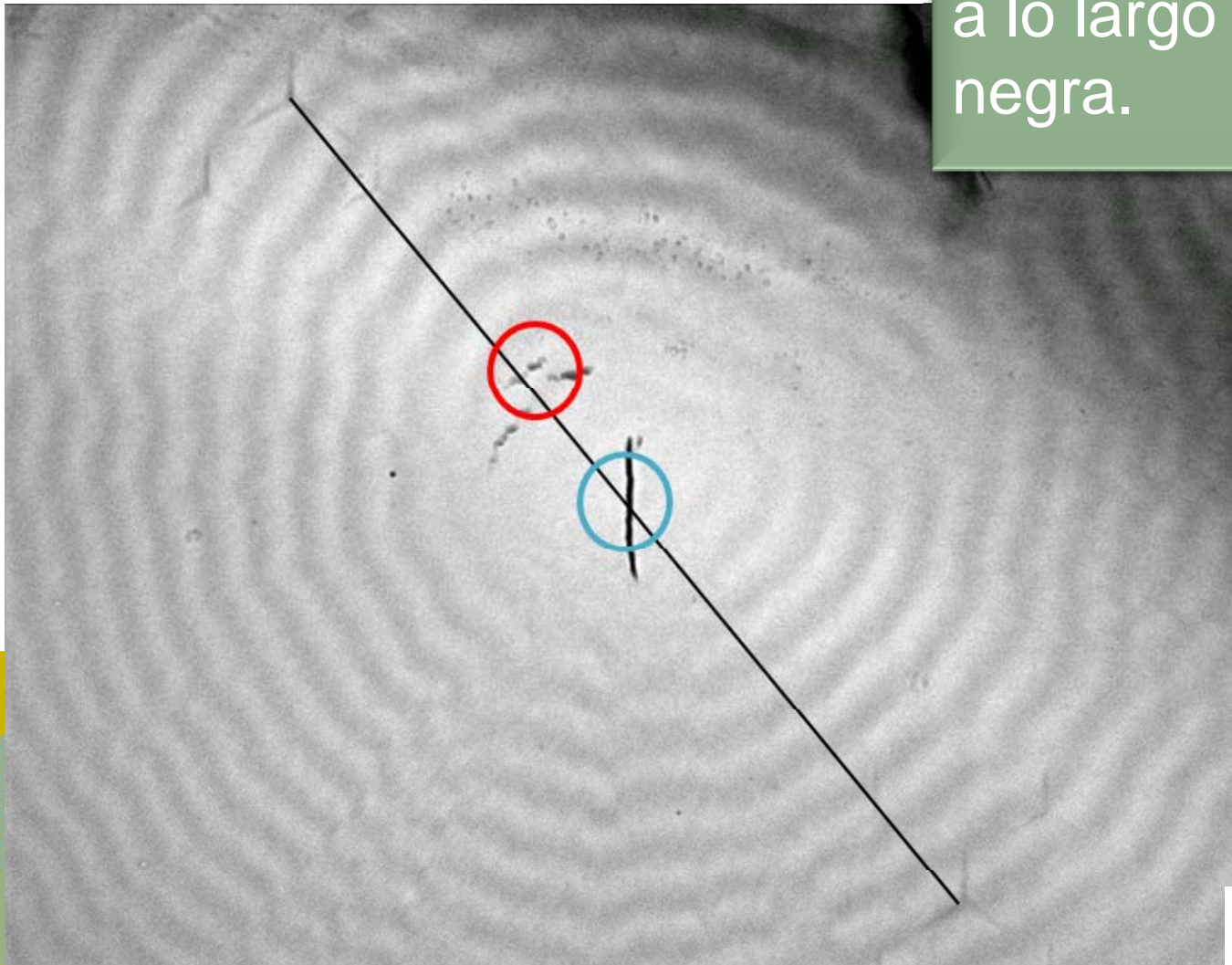


Esferulitas de P(HBHV)

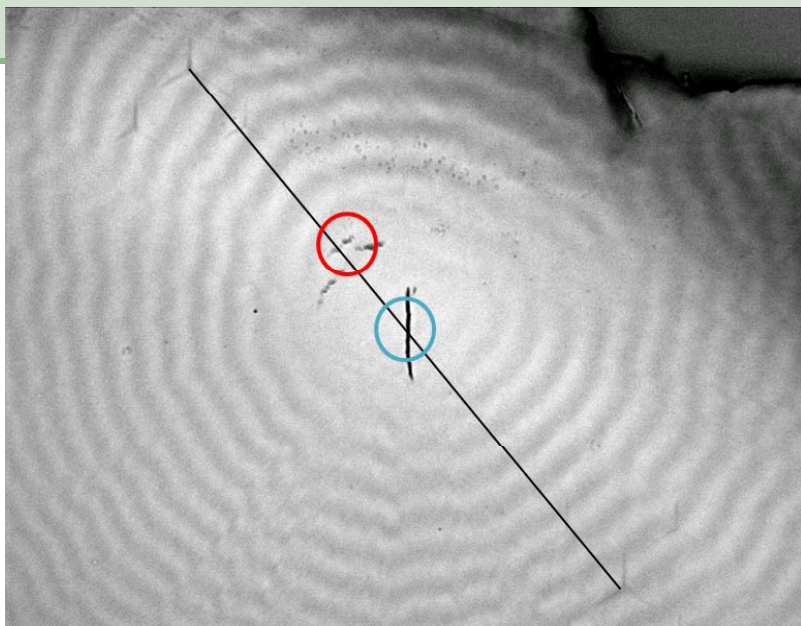


Esferulitas de P(HBHV)

120 indentaciones separadas por $1\ \mu\text{m}$ a lo largo de la línea negra.

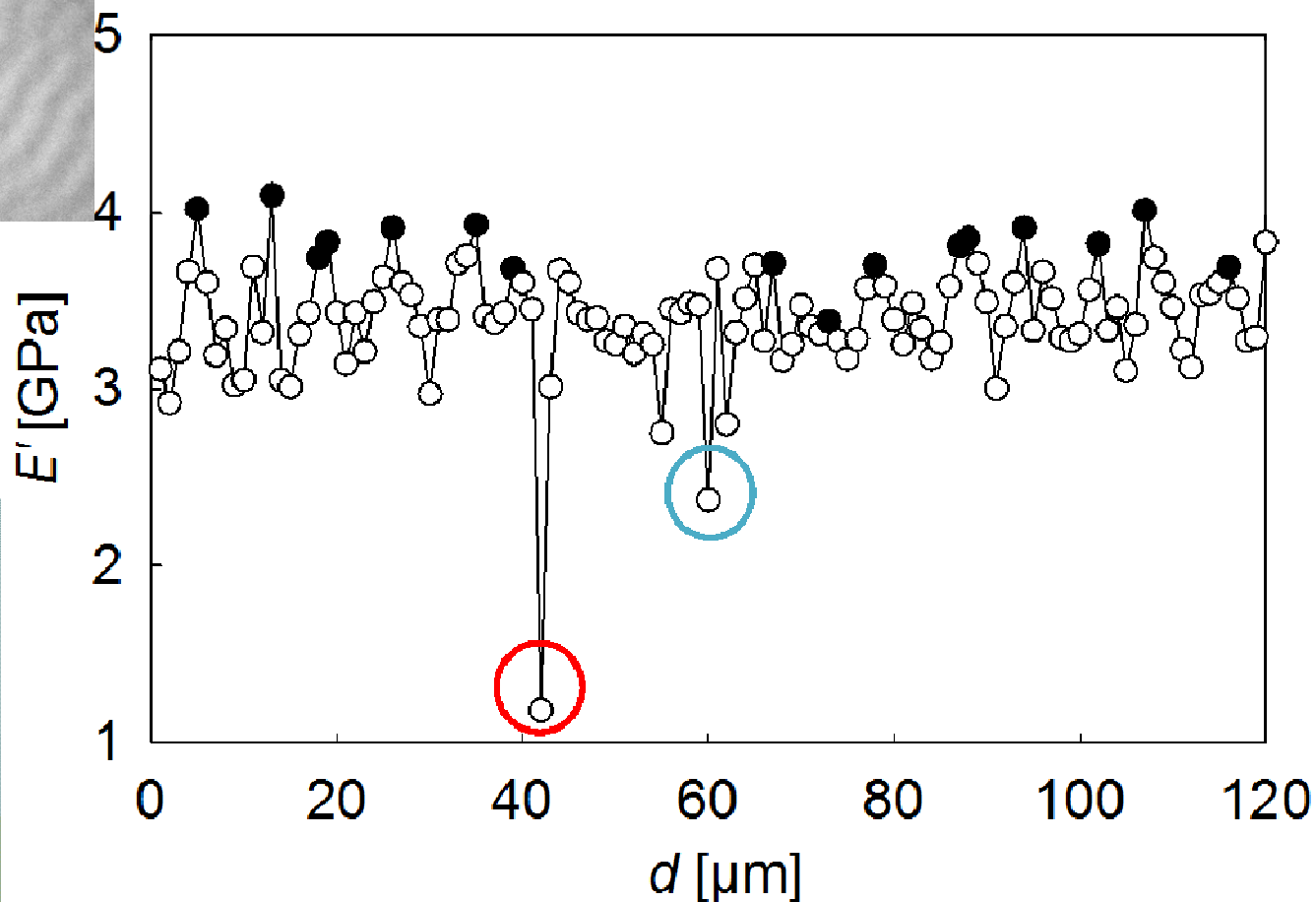


Esferulitas de P(HBHV)

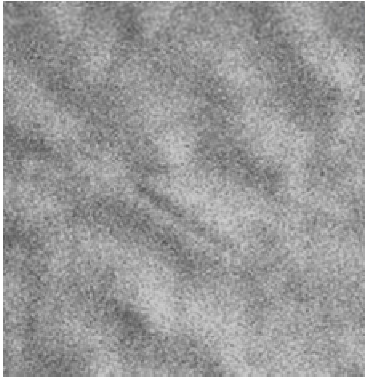


Las variaciones en las propiedades mecánicas a lo largo de la línea coinciden con la imagen óptica.

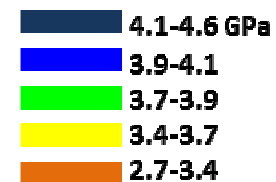
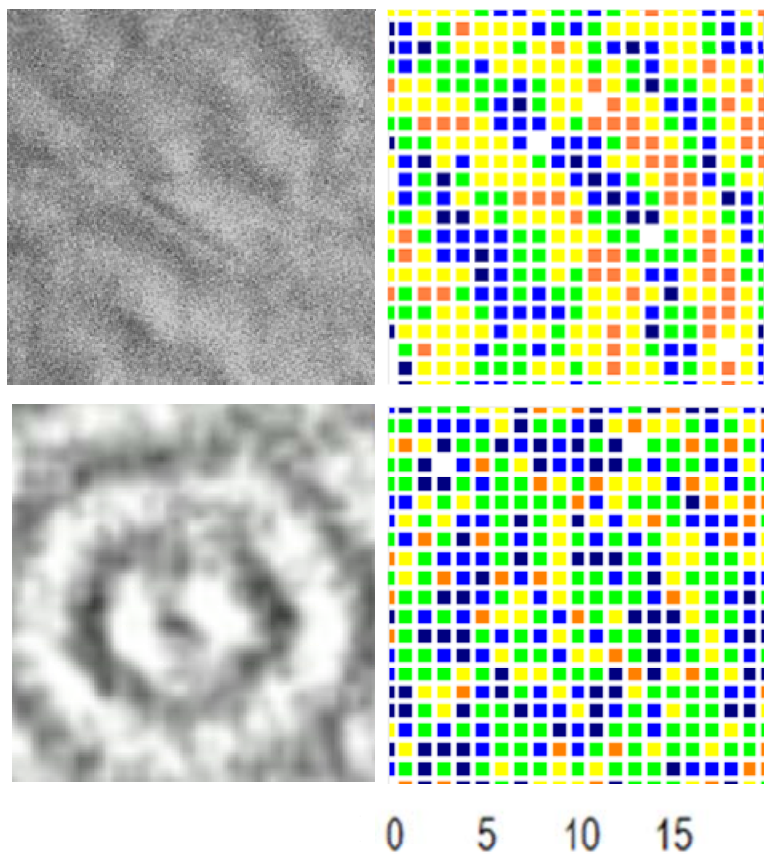
Representación del módulo de almacenamiento para una penetración constante de 100 nm.



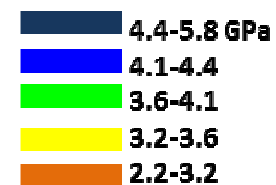
Esferulitas de P(HBHV)



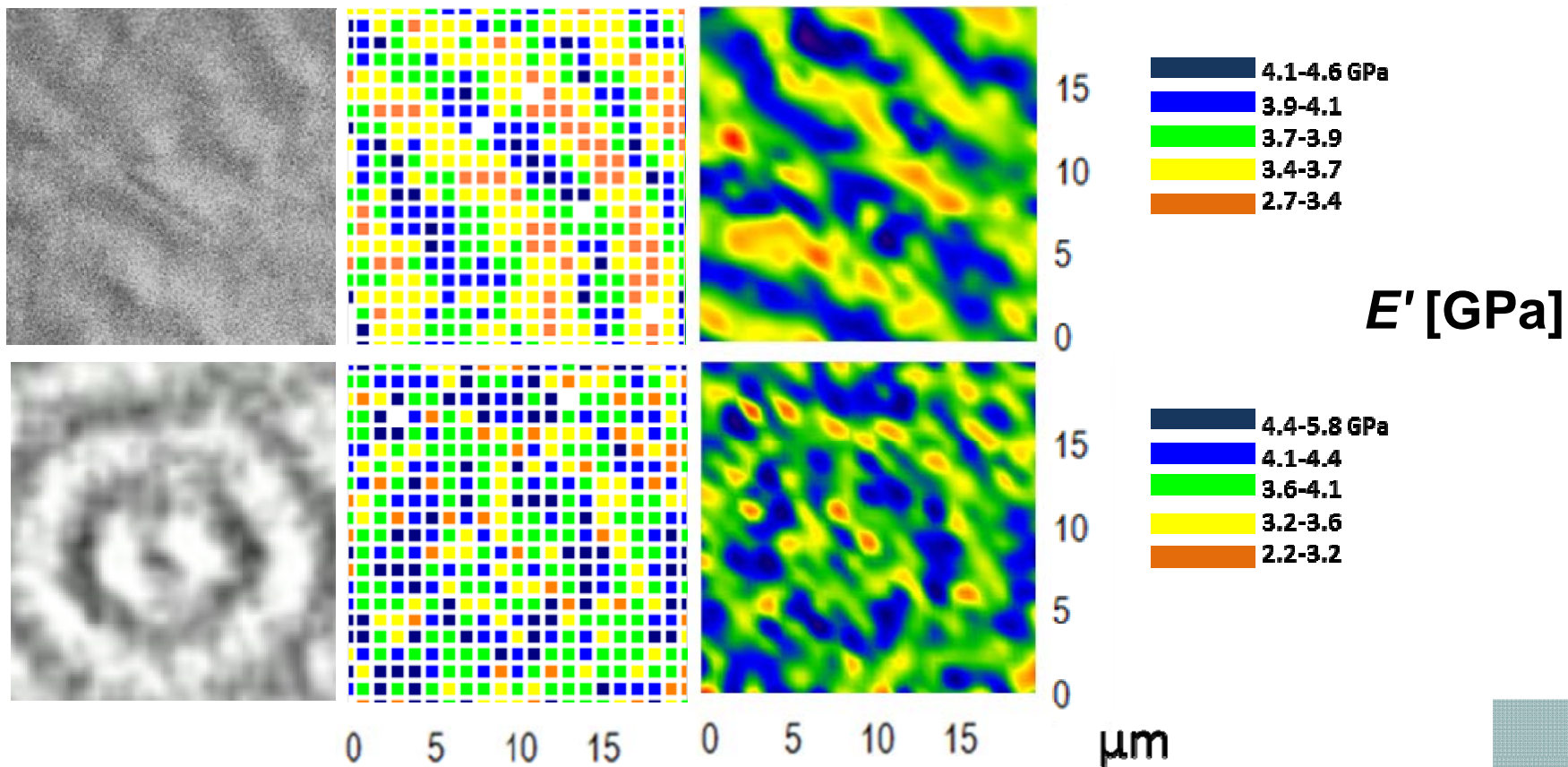
Esferulitas de P(HBHV)



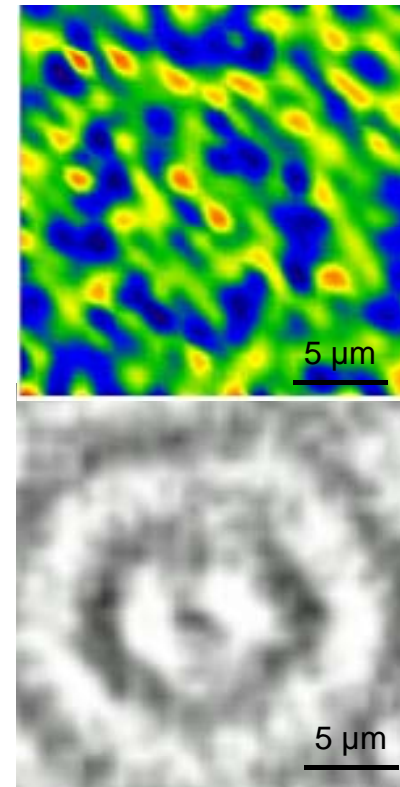
E' [GPa]



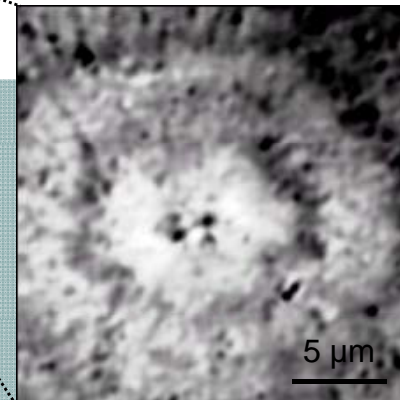
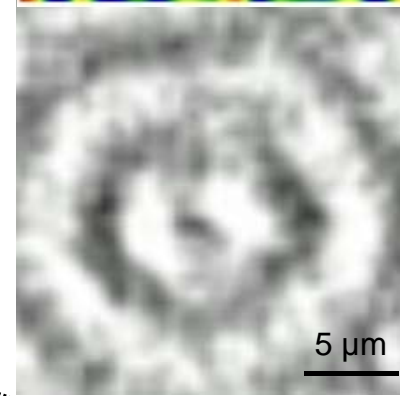
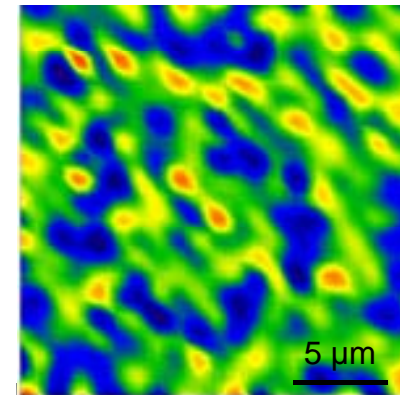
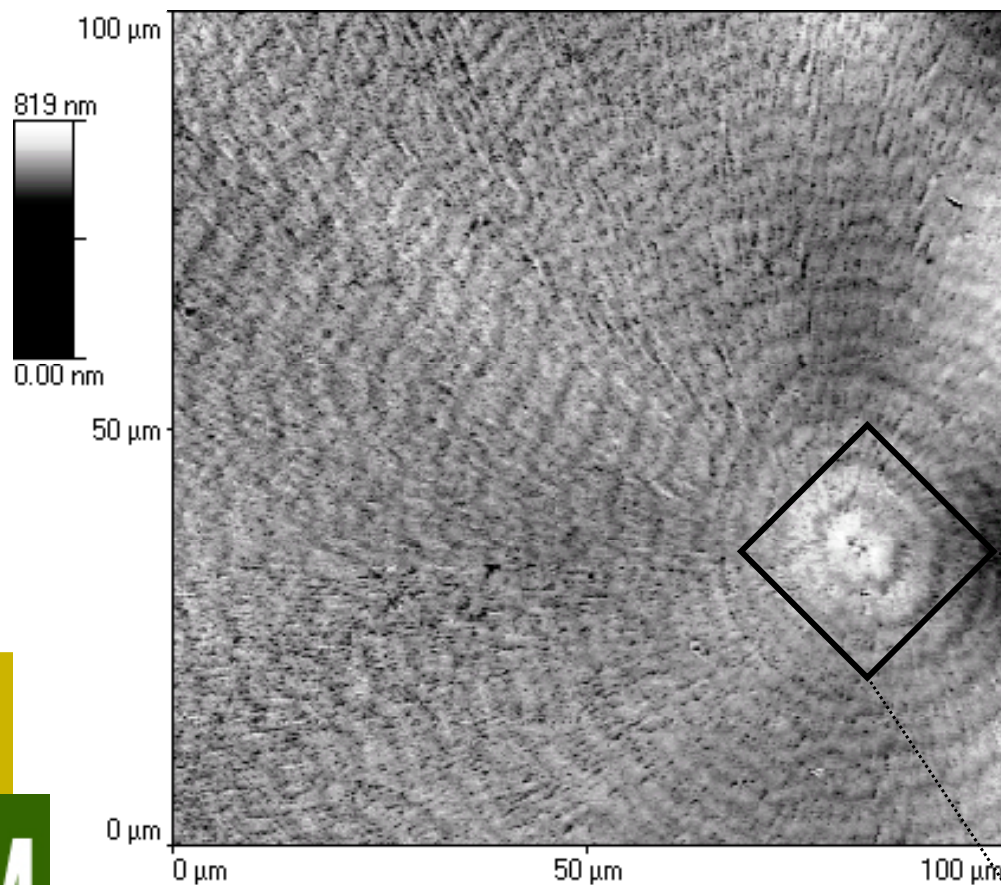
Esferulitas de P(HBHV)



Esferulitas de P(HBHV)

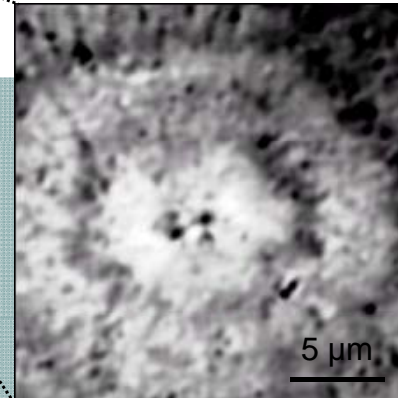
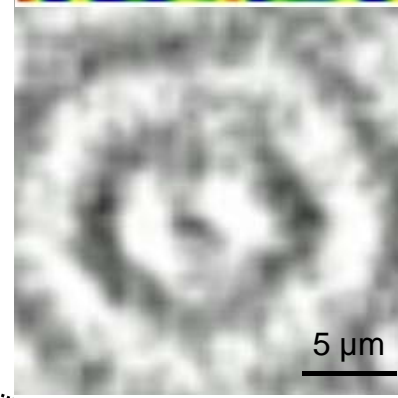
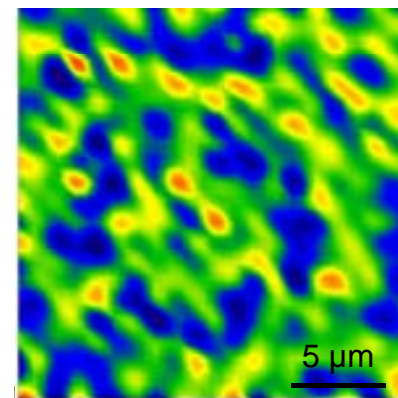
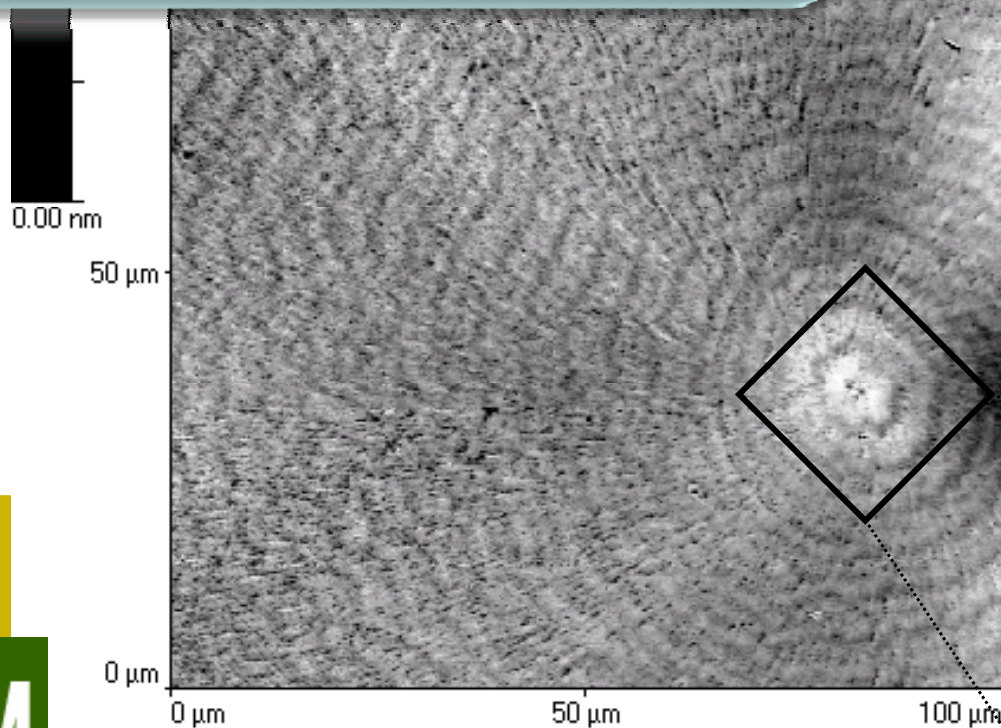


Esferulitas de P(HBHV)



Esferulitas de P(HBHV)

Las microscopías ópticas y de fuerzas atómicas coinciden con las variaciones de propiedades mecánicas.



La técnica de nanoindentación permite:

- ❖ Determinar las propiedades mecánicas en un **material y sus interfaces**.
- ❖ **Mapear** las propiedades mecánicas de sistemas nanoestructurados.
- ❖ Medir las propiedades mecánicas de películas delgadas, recubrimientos, inhomogeneidades a través del espesor de los materiales, etc.

GRACIAS

Patricia.enrique@csic.es