

Imagen tomada del enlace:
<http://es.wikipedia.org/wiki/Imagen:SimpleSEMandTEM.jpg>

1.- Microscopía electrónica de transmisión (TEM)

-Se hace uso del carácter ondulatorio de los electrones con la posibilidad de refractarlos

-La muestra debe ser muy fina. Poco poder de penetración de los e⁻.

-La imagen se forma por medio de dos o más lentes

$$\lambda = \left(\frac{1.5}{V} \right)^{1/2}$$

Resolución: 2 – 5 Å

Esquema de un microscopio electrónico

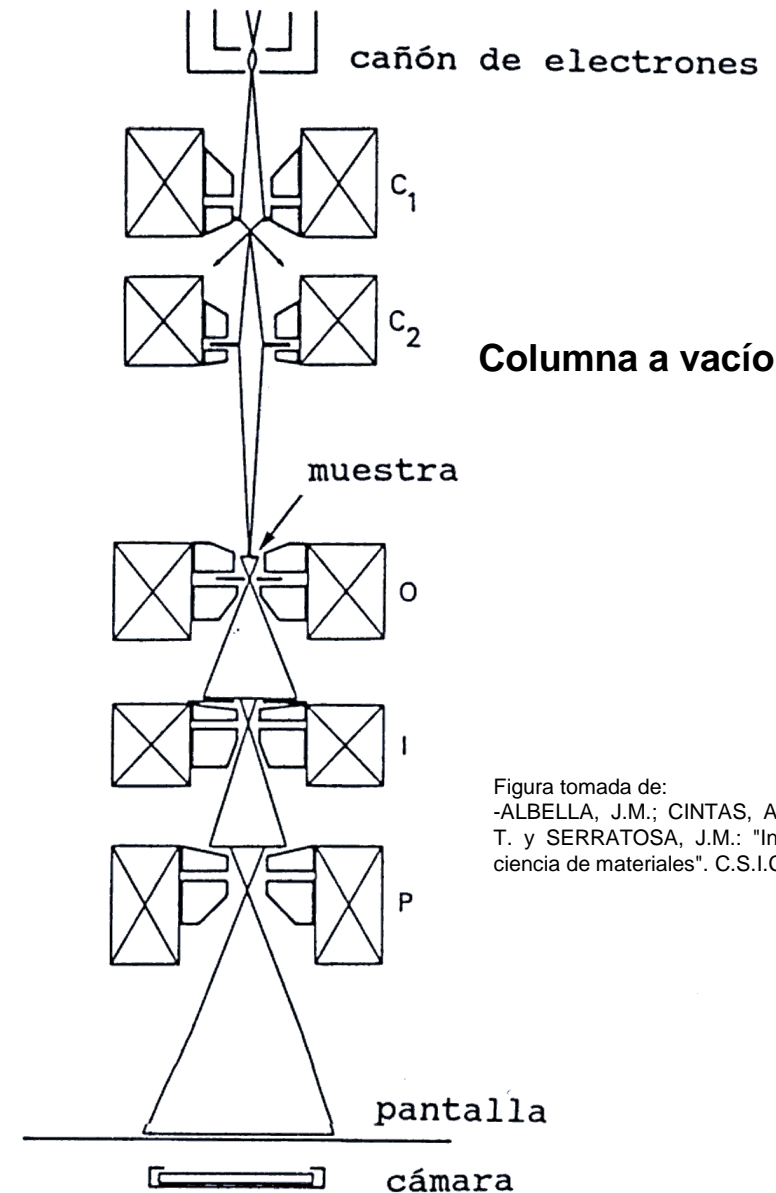


Figura tomada de:
-ALBELLA, J.M.; CINTAS, A.M.; MIRANDA, T. y SERRATOSA, J.M.: "Introducción a la ciencia de materiales". C.S.I.C., 1993.

1.1.- Información que suministra

-Imágenes directas de la estructura de secciones muy delgadas de material (100 – 200 Å)

-Diagramas de difracción orientados de electrones

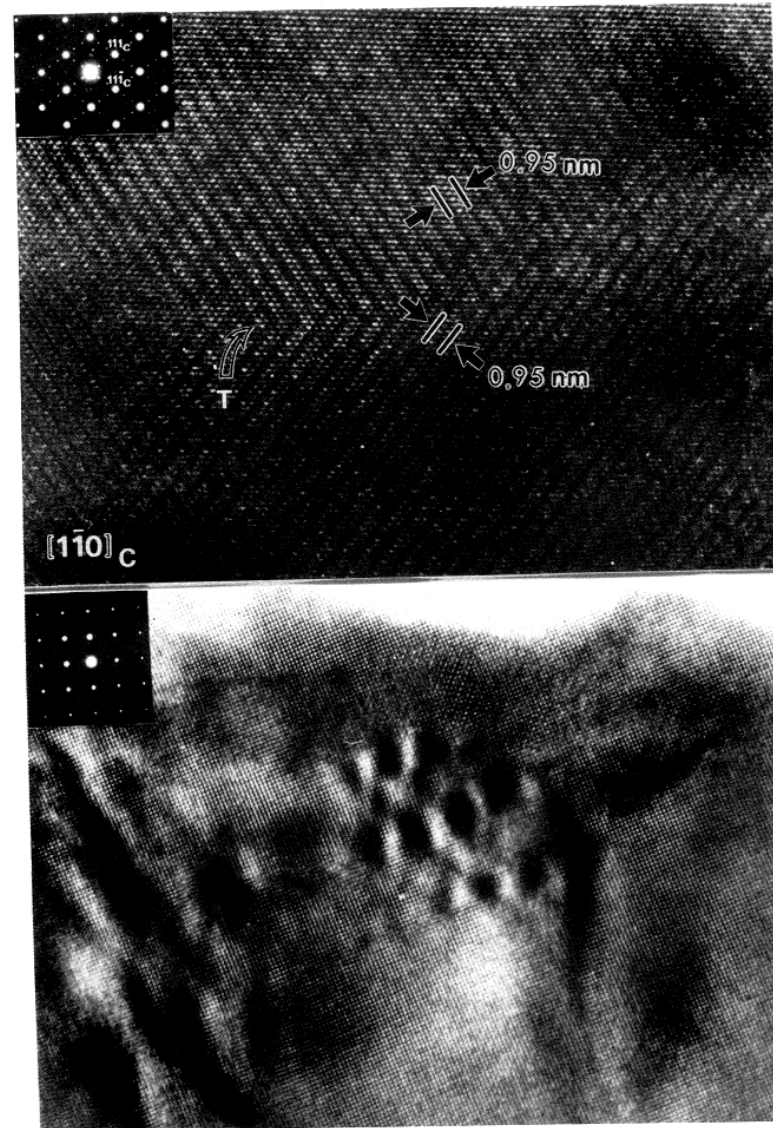


Figura tomada de:
-ALBELLA, J.M.; CINTAS, A.M.; MIRANDA, T. y SERRATOSA, J.M.: "Introducción a la ciencia de materiales". C.S.I.C., 1993.

Imágenes de alta resolución de un óxido mixto de uranio y lantano con sus correspondientes diagramas de difracción



1.2.- Muestras y porta-muestras

- Debe ser transparente a los electrones (espesor entre 10 y 500 nm)
- Muestra sobre rejilla o anillo circular perpendicular al eje óptico del microscopio y cerca del foco de la lente objetivo
- Las partículas pequeñas, microorganismos, virus y macromoléculas necesitan una **película que actúe de soporte.**
- La muestra puede desplazarse lateralmente ± 1 mm
- La muestra se puede girar 360°
- La muestra se puede inclinar $\pm 60^\circ$
- Algunos porta-muestras se pueden calentar



1.3.- Modos de formación de la imagen

- En campo claro (con el haz transmitido)**
- En campo oscuro (con electrones dispersados)**
- Imagen difractada**



1.3.1.- Técnicas de alta resolución

Se utilizan para el estudio de defectos planares y dislocaciones.

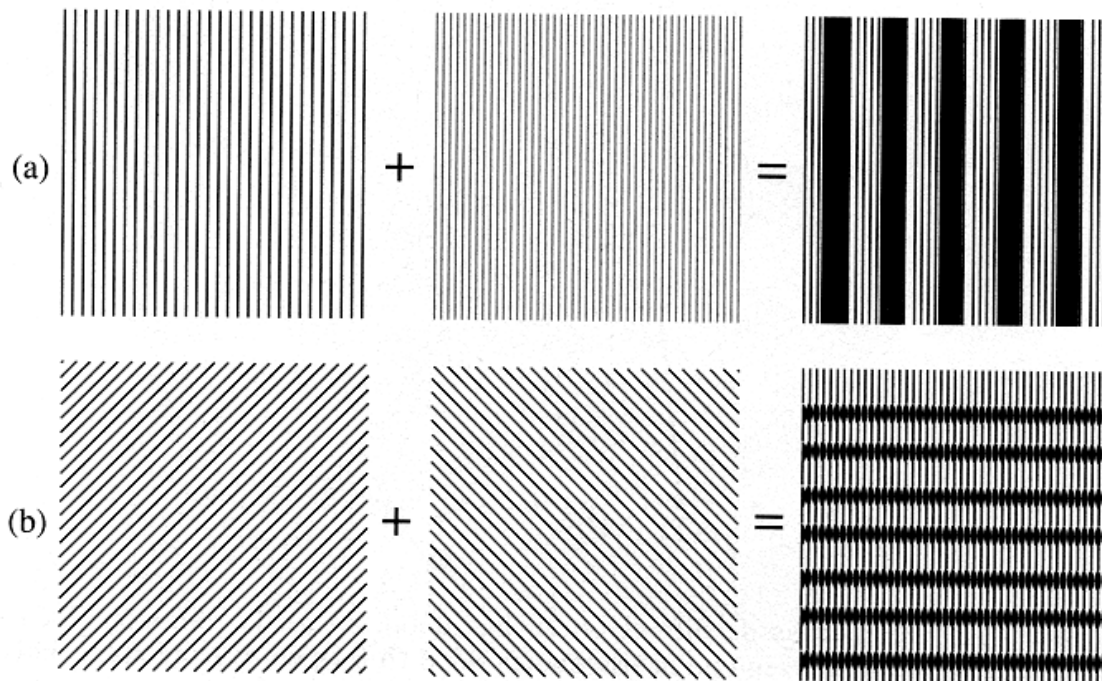
a) Técnica del haz débil

Se forman imágenes de un defecto mediante un haz difractado (hkl) de primer orden

1.3.1.- Técnicas de alta resolución

b) Diagramas de Moiré

Se forman cuando se superponen dos conjuntos de líneas paralelas



$$D = d_1 d_2 / |d_1 - d_2|$$

(diagrama de Moiré paralelo)

$$D = \frac{d}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}$$

(Diagrama de Moiré de rotación)

Se analizan estructuras periódicas de cristales (alta resolución indirecta)

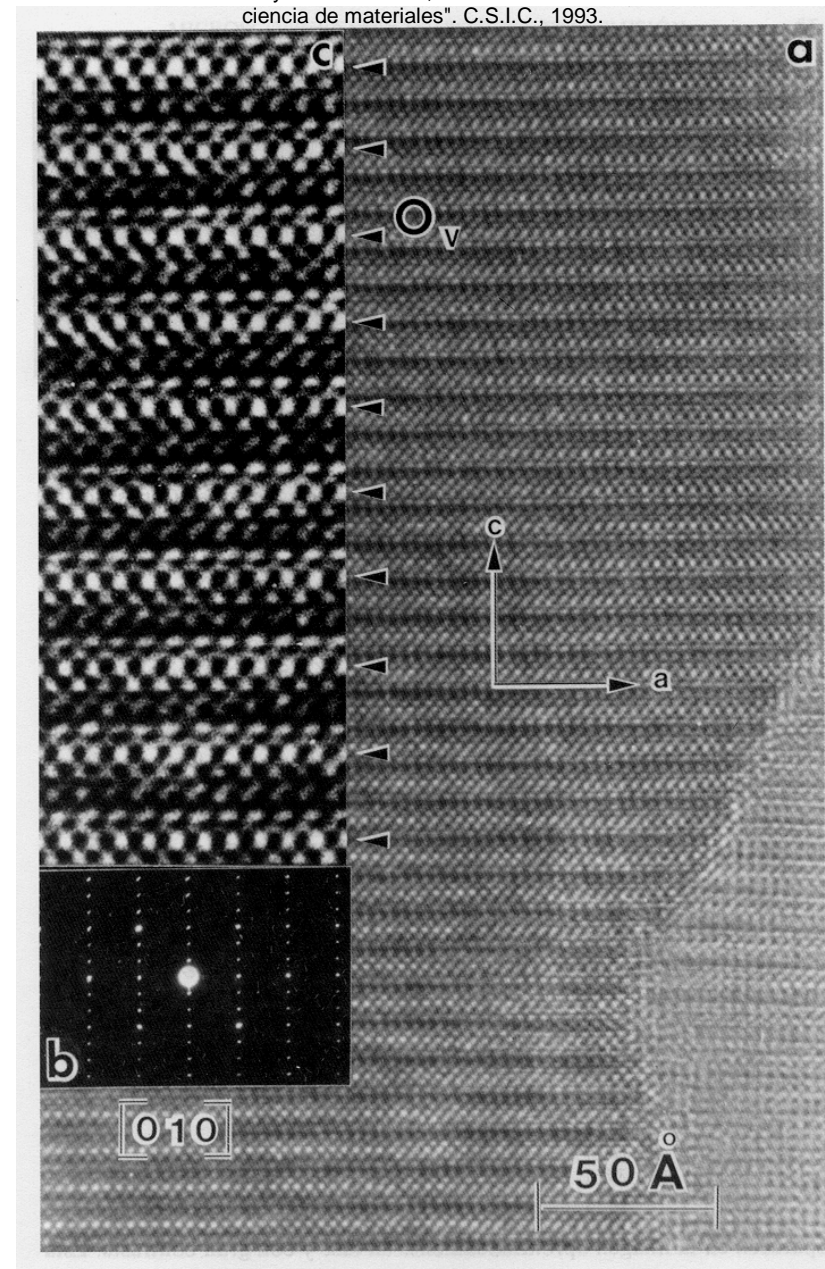
c) Microscopía de ultra-alta resolución (varios haces difractados atraviesan la apertura de la lente objetivo)

a) Imagen de alta resolución de un cristal de fase superconductora, $T_c = 90\text{K}$, $\text{TmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$ realizada con el haz de electrones incidente paralelo al eje b de la estructura. b) Diagrama de difracción correspondiente a la imagen anterior. c) Imagen estructural de dicho cristal (O_v , vacantes; las manchas blancas corresponden a átomos de bario, Tulio y cobre)

d) Técnicas de alto voltaje

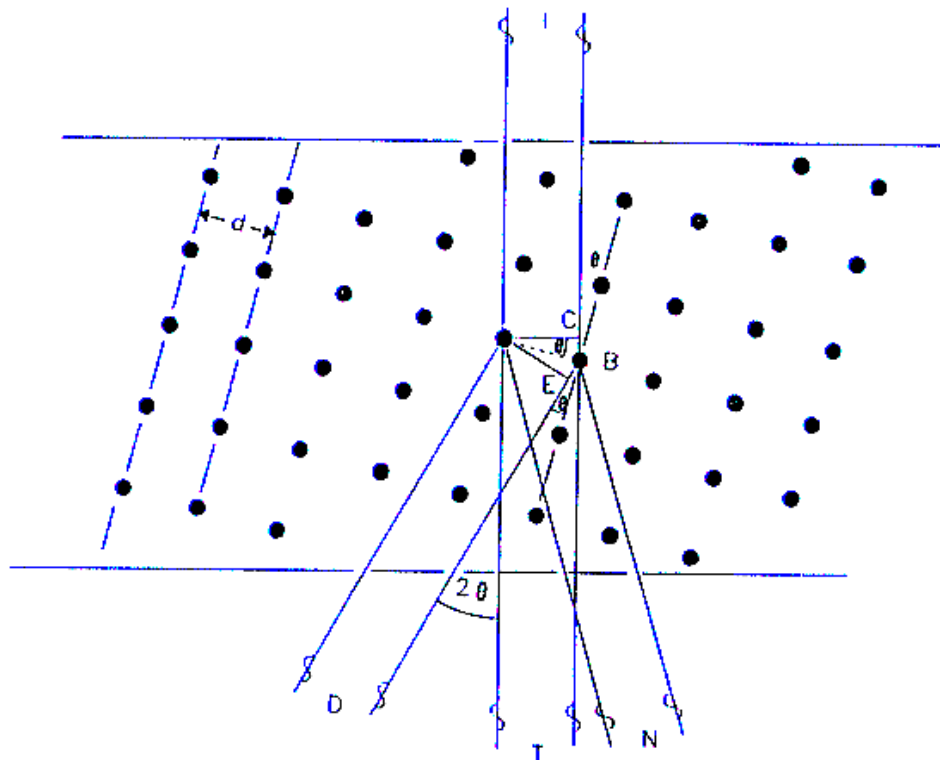
500 keV. Al \uparrow KV se \downarrow la longitud de onda asociada a los electrones

Figura tomada de:
-ALBELLA, J.M.; CINTAS, A.M.; MIRANDA, T. y SERRATOSA, J.M.: "Introducción a la ciencia de materiales". C.S.I.C., 1993.



1.4.- Difracción de electrones

1.4.1.- Geometría de la difracción de electrones



Dispersión de un haz de electrones (I) por una muestra cristalina. (D) Haz de electrones difractados. (T) Haz de electrones sin desviar. (N) haz de electrones muy poco intensos

El fundamento de la difracción de electrones es el mismo que el de la difracción de rayos X. Aplicación de la ley de Bragg

$$2 \cdot d \cdot \theta = \lambda$$

Figura tomada de:
-ALBELLA, J.M.; CINTAS, A.M.; MIRANDA, T. y SERRATOSA, J.M.: "Introducción a la ciencia de materiales". C.S.I.C., 1993.

1.4.2.- Tipos de diagramas de difracción

Diagramas de difracción de electrones dependiendo de la cristalinidad del material (a) TeO_2 poco cristalizado, (b) óxido mixto de uranio y lantano policristalino y (c) monocristal de óxido mixto de uranio y lantano.

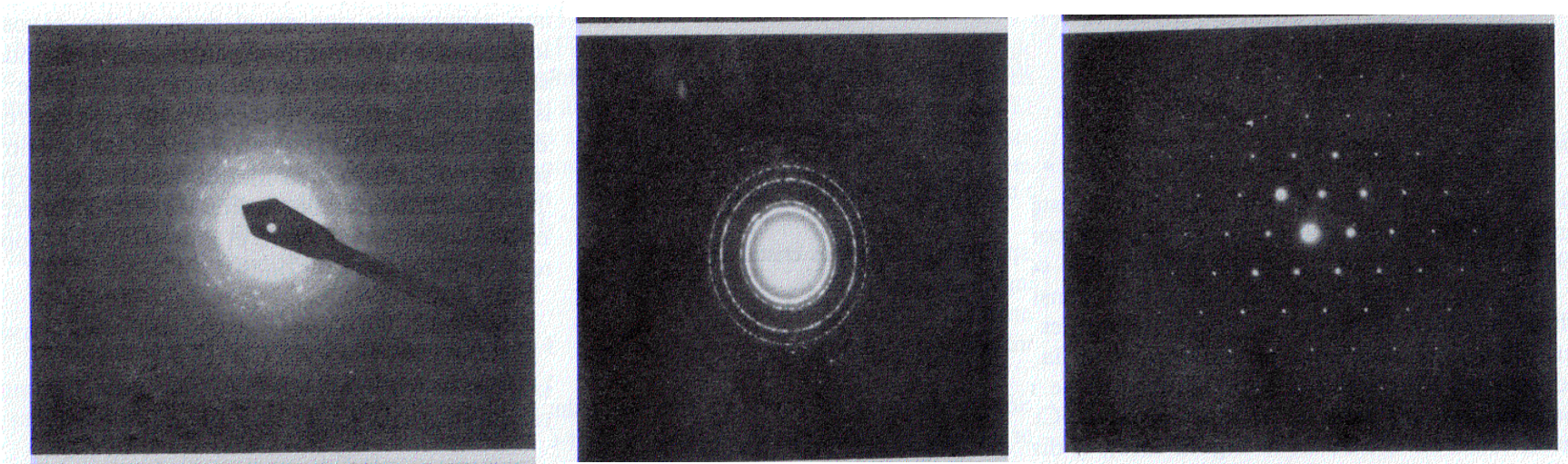
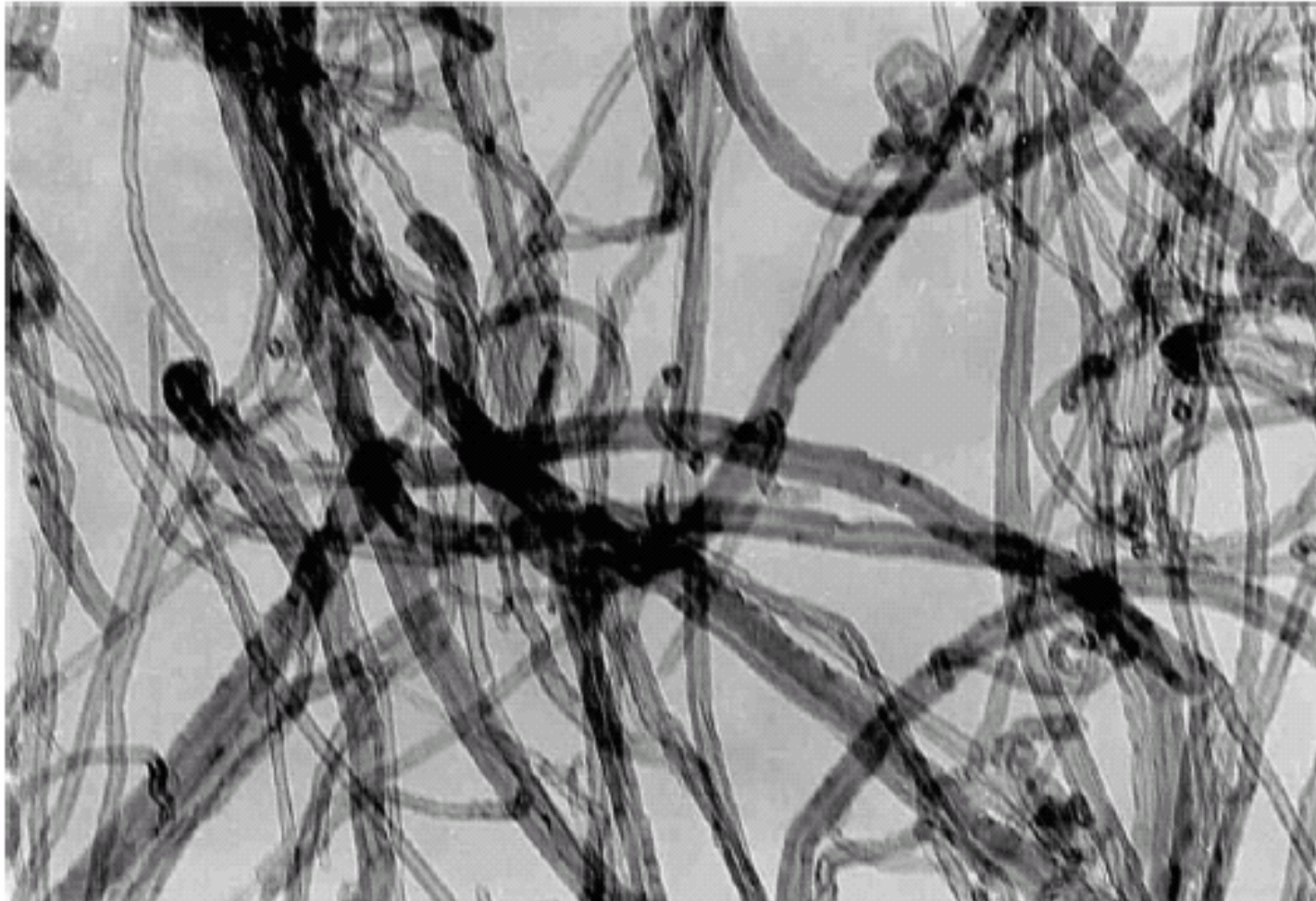


Figura tomada de:
-ALBELLA, J.M.; CINTAS, A.M.; MIRANDA,
T. y SERRATOSA, J.M.: "Introducción a la
ciencia de materiales". C.S.I.C., 1993.

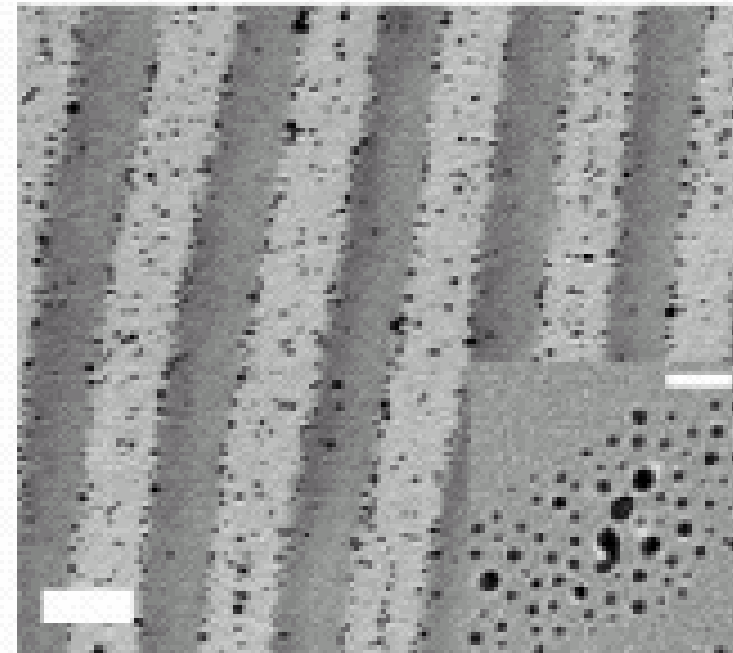
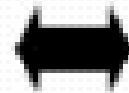
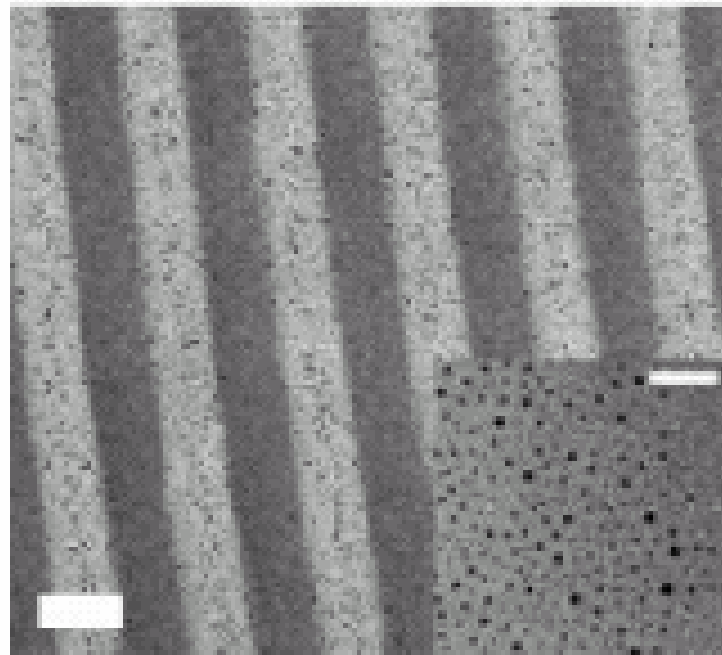


1.5.- Aplicaciones

- Observación de átomos individuales
 - Interfases en semiconductores, caracterización de la estructura atómica de aleaciones, estudios de ataque químico.
 - Defectos en cristales
 - Estudio de polímeros
- Morfología, redes cristalinas, distribución de tamaño de poro, etc.

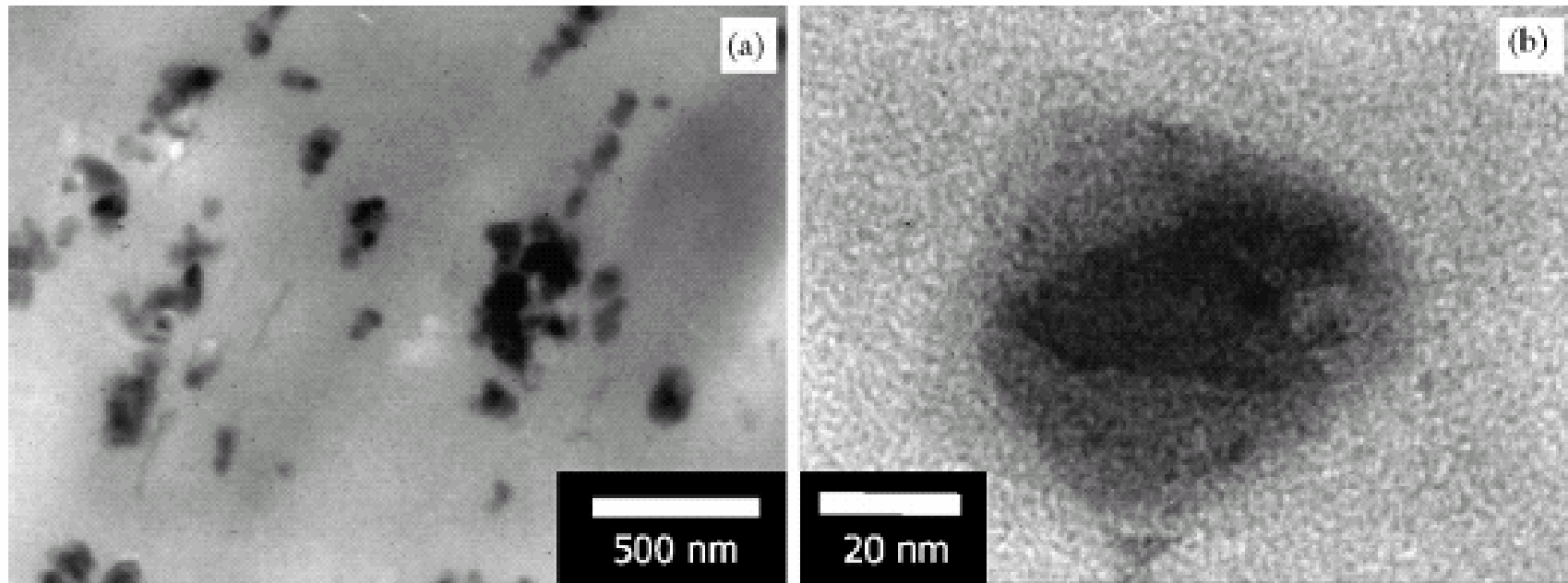


100 nm



$2.08 \pm 0.61 \text{ nm}$

$2.91 \pm 1.19 \text{ nm}$





2. Bibliografía

-Gonzalez, Roberto; **Microscopía electrónica**, EUDEMA, (1991).

-Heimendahl, Manfred von; **Electron microscopy of materials : an introduction**, Academic Press, NewYork (1980).

Buseck, Peter ; **High-resolution transmission electron microscopy and associated techniques**, Oxford University Pres., (1992).

Flegler, Stanley L.; **Scanning and transmission electron microscopy : an introduction**, Oxford University Pres., (1993).

Williams, David B.; **Transmission electron microscopy : a textbook for materials science**, Plenum Pres., (1996).

Clarke, A.R. (Ashley Reginald) (1947-); **Microscopy techniques for materials science**, CRC Pres., (2002).