

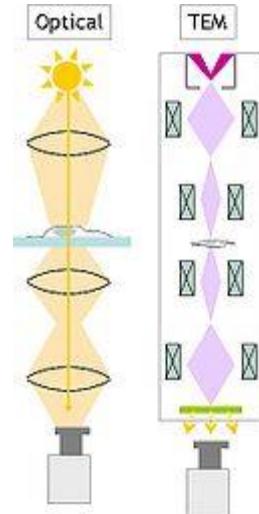
# Microscopio electrónico de transmisión

Un microscopio electrónico de transmisión (TEM, por sus siglas en inglés, o MET, en español) es un microscopio que utiliza un haz de electrones para visualizar un objeto. La potencia amplificadora de un microscopio óptico está limitada por la longitud de onda de la radiación utilizada. En el caso del microscopio óptico se usa luz en el rango visible lo que limita enormemente su poder de resolución. En un microscopio electrónico la longitud de onda asociada es  $\rho = \frac{h.c}{E}$ , y 100 KeV

## Historia

El primer microscopio electrónico de transmisión fue desarrollado entre 1931 y 1933 por Ernst Ruska y sus colaboradores. La óptica básica de ese primer microscopio electrónico se mantiene hasta nuestros días; los cambios en los microscopios modernos consisten en adicionar más lentes para incrementar el ámbito de aumentos y darle mayor versatilidad. El primer microscopio electrónico de transmisión comercial lo construyó Siemens en 1939.

Este microscopio, en concreto, fue el primero que hubo en la Facultad de Ciencias de Madrid y se aplicó en el Servicio de Microscopía.



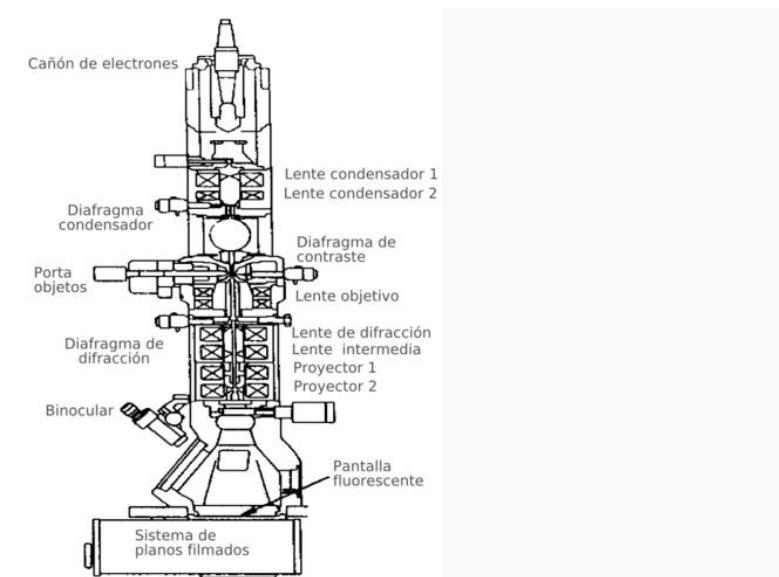
## Estructura

Las partes principales de un microscopio electrónico de transmisión son:

- Cañón de electrones, que emite los electrones que chocan o atraviesan el espécimen (dependiendo que tipo de microscopio electrónico es), creando una imagen aumentada.
- Lentes magnéticas para crear campos que dirigen y enfocan el haz de electrones, ya que las lentes convencionales utilizadas en los microscopios ópticos no funcionan con los electrones.
- Sistema de vacío es una parte muy importante del microscopio electrónico. Debido a que los electrones pueden ser desviados por las moléculas del aire, se debe hacer un vacío casi total en el interior de un microscopio de estas características.
- Placa fotográfica o pantalla fluorescente que se coloca detrás del objeto a visualizar para registrar la imagen aumentada.
- Sistema de registro que muestra la imagen que producen los electrones, que suele ser un ordenador.

El microscopio electrónico de transmisión emite un haz de electrones dirigido hacia el objeto que se desea aumentar. Una parte de los electrones rebotan o son absorbidos por el objeto y otros lo atraviesan formando una imagen aumentada de la muestra.

## Cañón de electrones



Esquema de un microscopio electrónico de transmisión.

De arriba a abajo, el TEM consiste en una fuente de emisión, que puede ser un filamento de tungsteno o bien una fuente de hexaboruro de lantano ( $\text{LaB}_6$ ). Para el caso del tungsteno el filamento puede ser o bien en la forma de una horquilla de pelo o bien pequeño y en forma de púa. Las fuentes de  $\text{LaB}_6$  utilizan un pequeño monocrystal. Conectando dicho cañón a una fuente de alto voltaje (~120kV para muchas aplicaciones) comenzará a emitir electrones hacia el vacío. Esta extracción de electrones suele reforzarse con la ayuda de un cilindro Wehnelt. Una vez extraídos, las lentes de la parte superior del TEM manipulan los haces de electrones permitiendo su focalización al tamaño deseado y su localización sobre la muestra.

### Sistema de lentes

La manipulación de los electrones se consigue mediante la combinación de dos efectos físicos. La interacción de los electrones con un campo magnético hace que estos se muevan de acuerdo a la fórmula vectorial  $F = (q.v) \times B$  (siendo  $v$  y  $B$ , el vector velocidad del electro,  $B$  el vector campo magnético y " $\times$ " el producto vectorial). Este efecto permite que los electrones emitidos puedan ser manipulados por medio de electroimanes. En esencia, una lente magnética de distancia focal variable, dependiendo de la distribución del flujo magnético

Típicamente un TEM contiene tres conjuntos de lentes con muchas posibles variantes en la configuración de las lentes, en particular la de TEM con filtrado energético o EFTEM. Los conjuntos se denominan respectivamente lentes condensadoras o condensador, lentes de objetivo o simplemente objetivo y lentes de proyección o proyector. Las lentes condensadoras se encargan de la formación inicial del haz tras la emisión de los electrones. Las lentes de objetivo focalizan el haz sobre la muestra y finalmente las lentes de proyección se encargan de expandir el haz reflejado hacia la pantalla de fósforo u otro dispositivo de visualización tal como película. Los aumentos del TEM vienen dados por la razón de las distancias entre la muestra y el plano imagen del objetivo.

Es de apreciar que la configuración de un TEM varía significativamente según su implementación. Así algunos fabricantes usan configuraciones especiales de lentes,

tales como en instrumentos corregidos de aberración esférica, en particular en aplicaciones de alto voltaje en TEM de emisión de campo.

El sistema de visualización en un TEM puede consistir en una pantalla de fósforo para observación directa por el operador y opcionalmente en un sistema de registro de imágenes tales como película o una retina CCD combinada con una pantalla de fósforo. Normalmente estos sistemas de visualización pueden ser intercambiados a conveniencia del operador.

### **Sistema de vacío**

Para conseguir el flujo ininterrumpido de electrones, el TEM debe operar a bajas presiones, típicamente en el orden de  $10^{-4}$  a  $10^{-8}$  Pa. La necesidad de esto se debe a dos razones: primero, permitir una diferencia de voltaje entre el cátodo y tierra sin que se produzca un arco voltaico. Segundo, reducir la frecuencia de las colisiones de los electrones con los átomos del aire a niveles despreciables. Ya que el TEM, contrariamente a un CRT, es un sistema que debe permitir la reposición de componentes, la inserción de muestras y, particularmente en modelos antiguos, el cambio de carrete de película, se hace imprescindible la posibilidad de reproducir el vacío regularmente. Por ello los TEMs están equipados con sistemas de bombeo completos y su sellado de vacío no es permanente.

### **Procedimiento para su uso**

---

Para utilizar un microscopio electrónico de transmisión debe cortarse la muestra en capas finas, no mayores de un par de miles de angstroms. Los microscopios electrónicos de transmisión pueden aumentar un objeto hasta un millón de veces.

