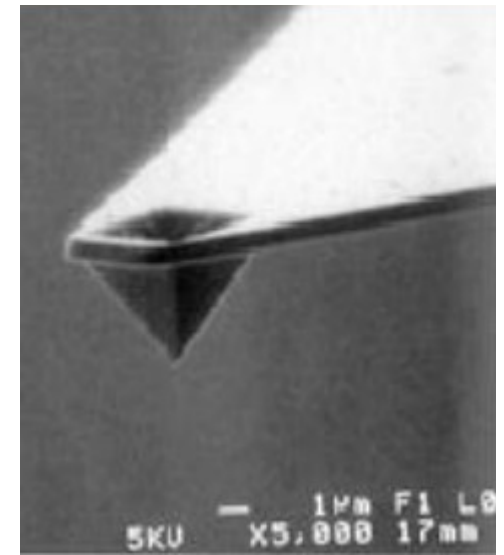
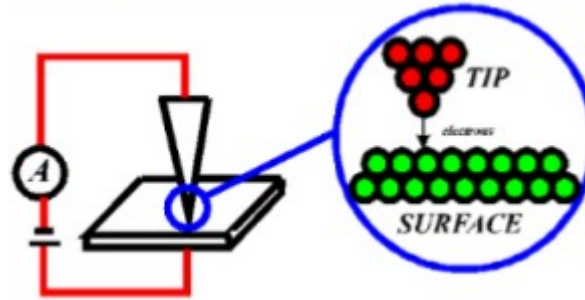


Microscopías de sondas (SPM)

Laboratorio 5

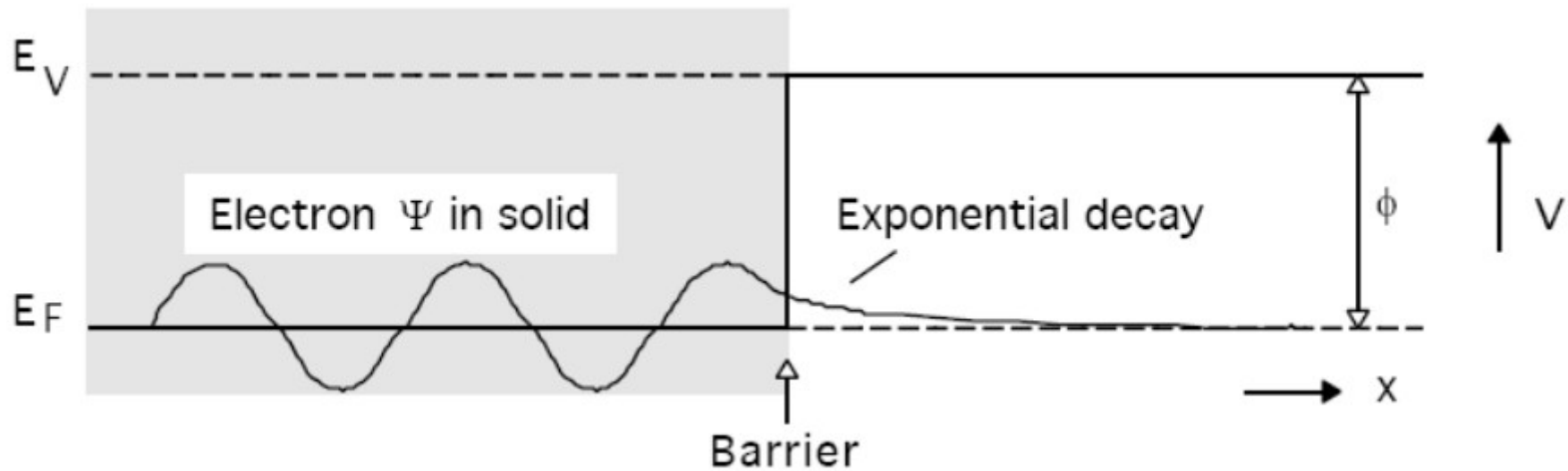
Departamento de Física – FCEyN - UBA

Lic. Federico dos Reis



- Interacción fuertemente dependiente de la distancia
(corriente túnel, fuerzas de interacción, etc.)
- **Proximidad** entre punta y muestra la resolución
- Sonda **local** (punta aguda)
- Posicionamiento de la sonda con respecto a la muestra (con **piezos**)

Microscopía por Efecto Tunnel (STM)



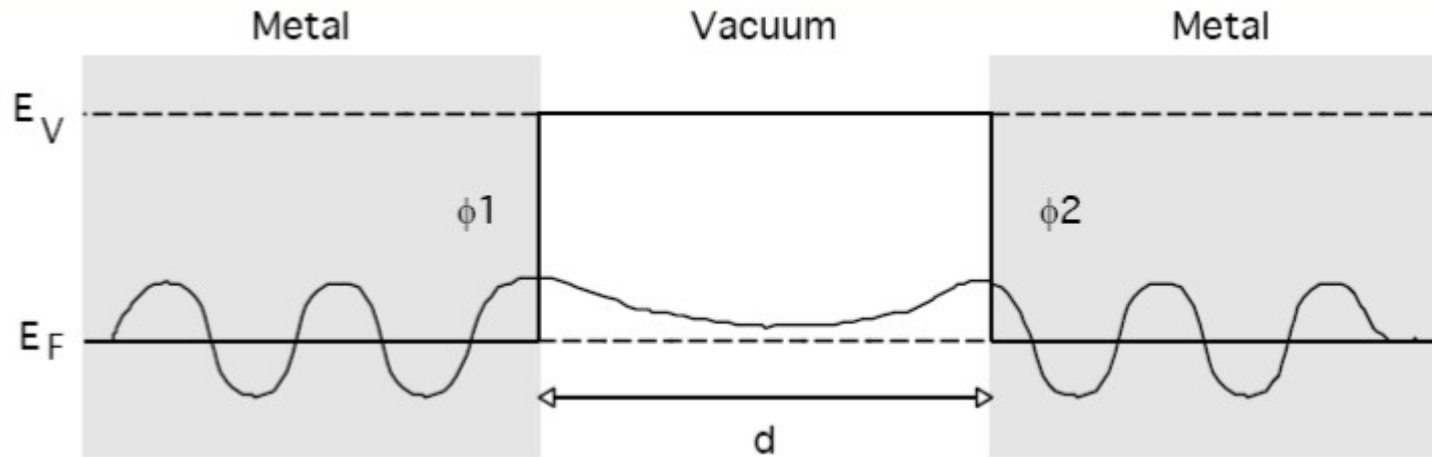
$$-\left(\frac{\hbar}{2m}\right) \frac{d^2\Psi}{dx^2} = E\Psi \quad \text{inside solid}$$

$$-\left(\frac{\hbar}{2m}\right) \frac{d^2\Psi}{dx^2} + V\Psi = E\Psi \quad \text{outside solid (} V = \phi \text{)}$$

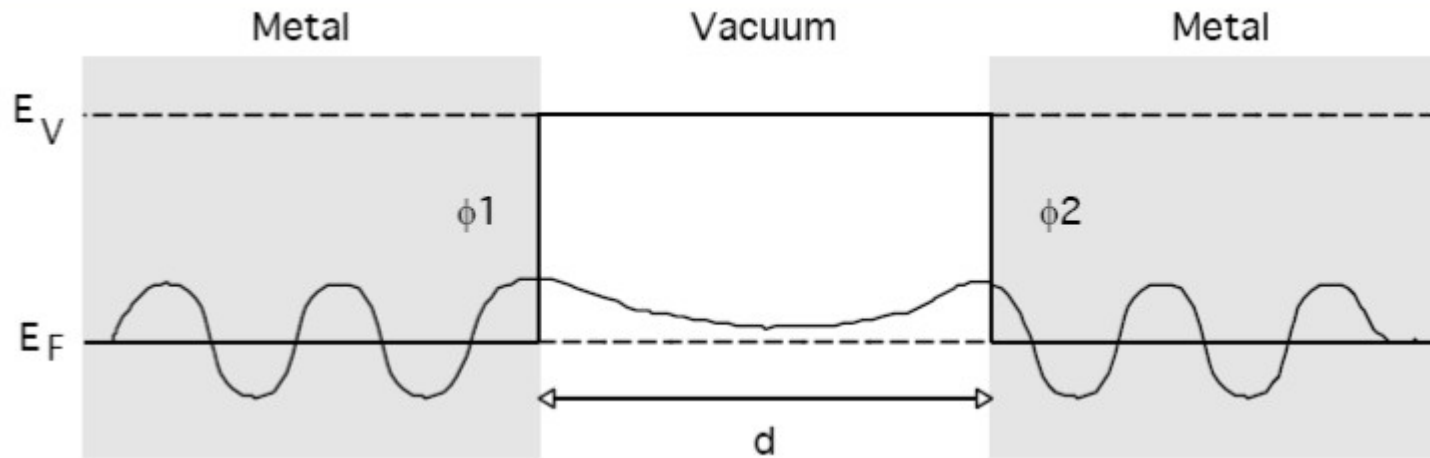
$$\Psi_{\text{in}} = Ae^{i\cdot k\cdot x} + A'e^{-i\cdot k\cdot x} \quad k = \left(2 \cdot m \cdot E / \hbar^2\right)^{1/2}$$

$$\Psi_{\text{out}} = Be^{i\cdot k\cdot x} + B'e^{-i\cdot k\cdot x} \quad k = \left(2 \cdot m \cdot (V - E) / \hbar^2\right)^{1/2}$$

Microscopía por Efecto Tunel (STM)

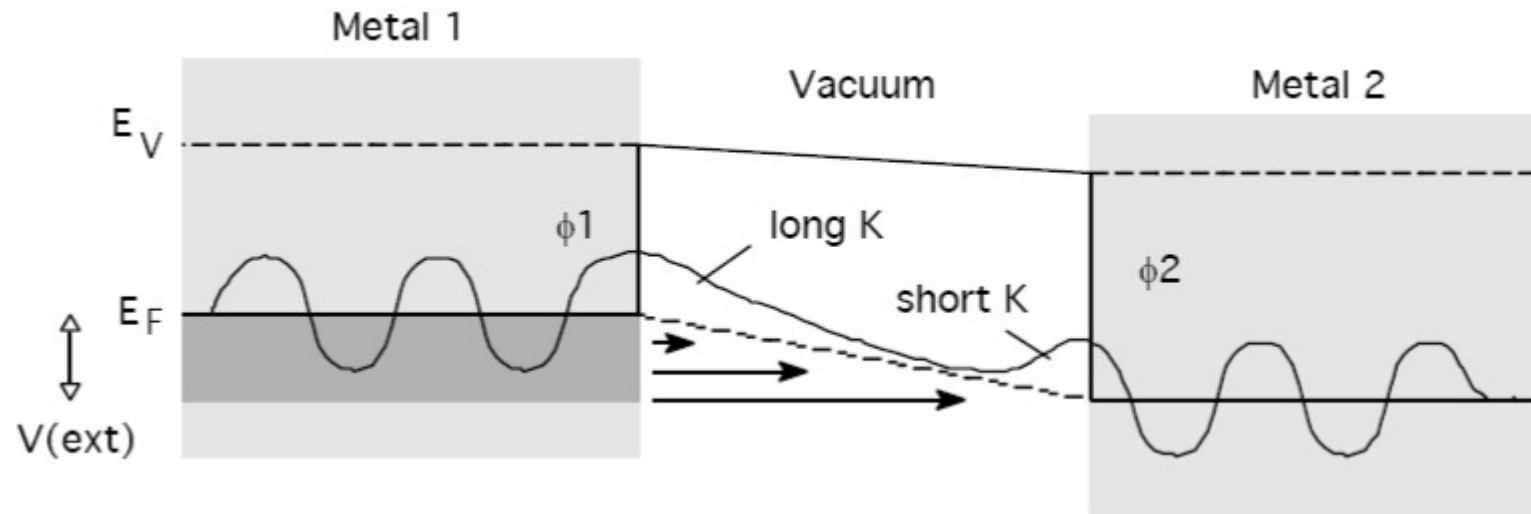


Microscopía por Efecto Tunel (STM)



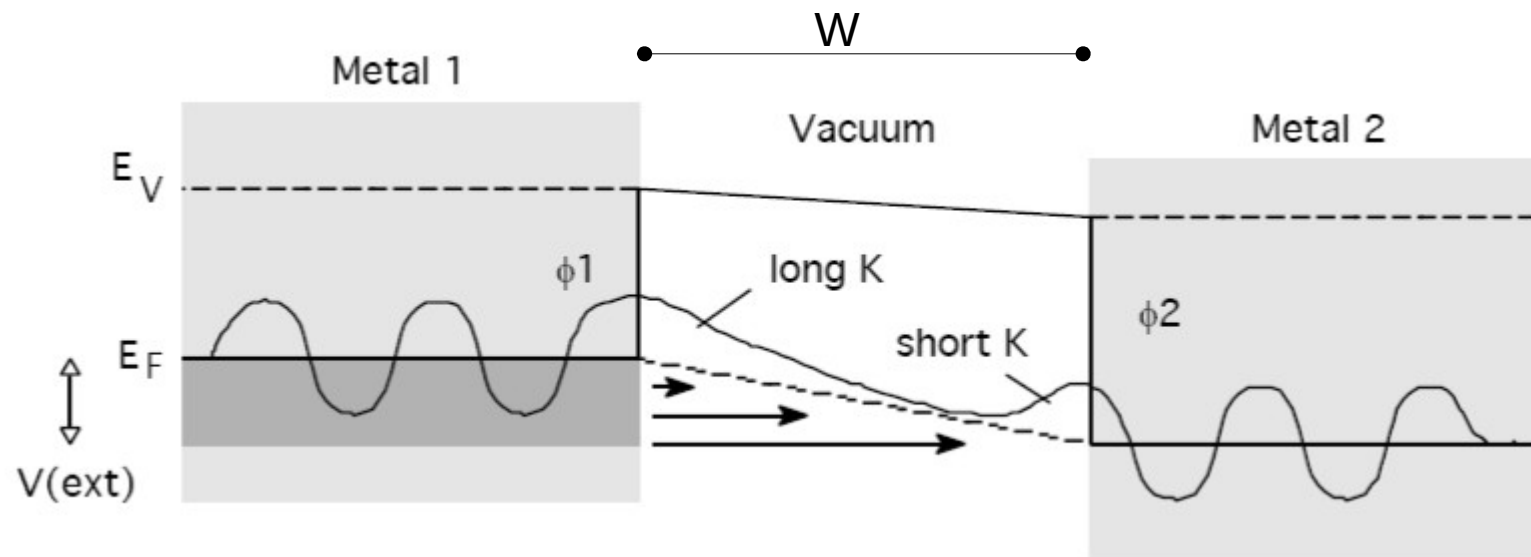
No hay corriente eléctrica neta

Microscopía por Efecto Tunnel (STM)



Si el metal 1 está negativo con respecto al metal 2, entonces habrá tuneleo de electrones de los estados llenos de 1 a los estados vacíos de 2.

Microscopía por Efecto Tunel (STM)

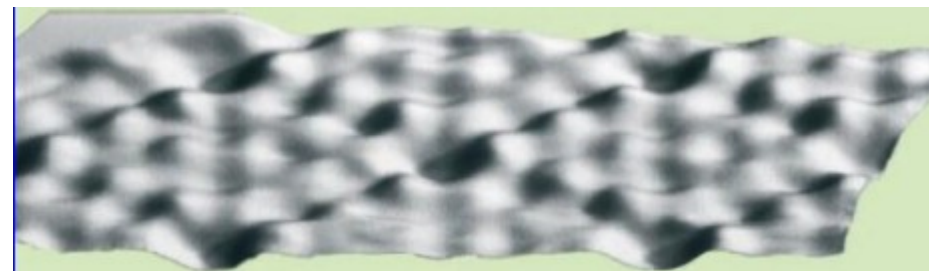


$$I \propto \sum_{E_f - eV}^{E_f} |\psi_n(0)|^2 e^{-2\kappa W}$$

$$\kappa = \frac{\sqrt{2m(U - E)}}{\hbar}$$

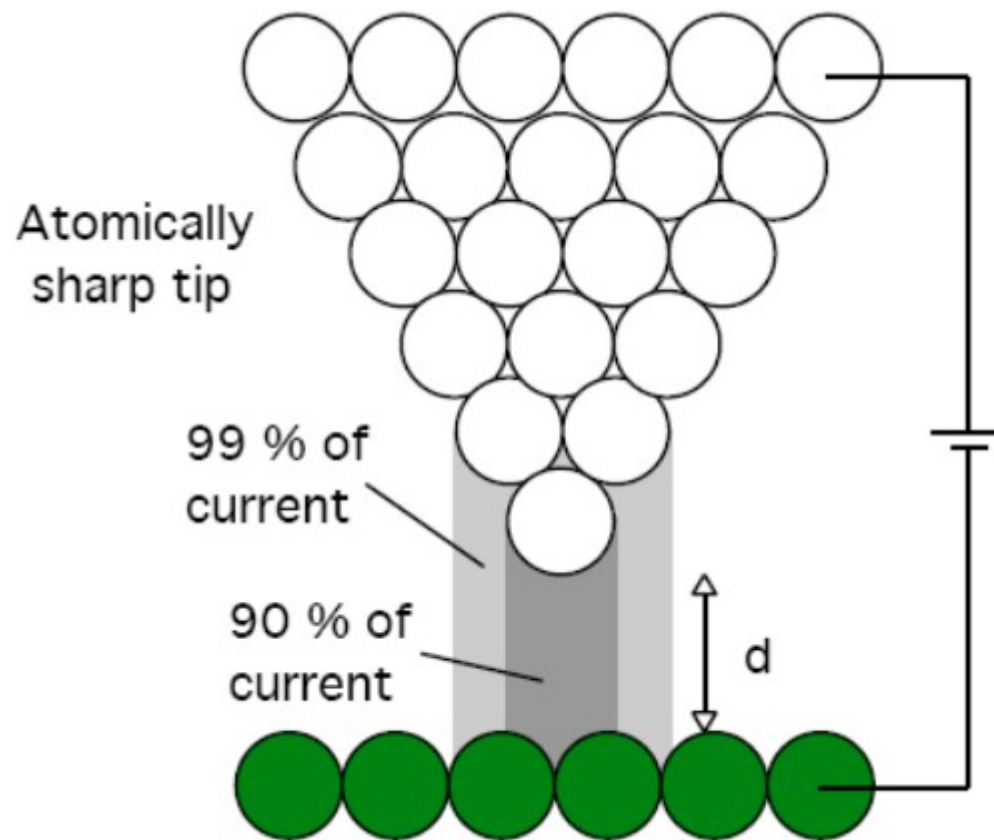
Aprox 1-2 Å⁻¹
Para metales

La corriente cambia casi un orden de magnitud al variar la distancia W en 1 o 2 Å



Si (111)

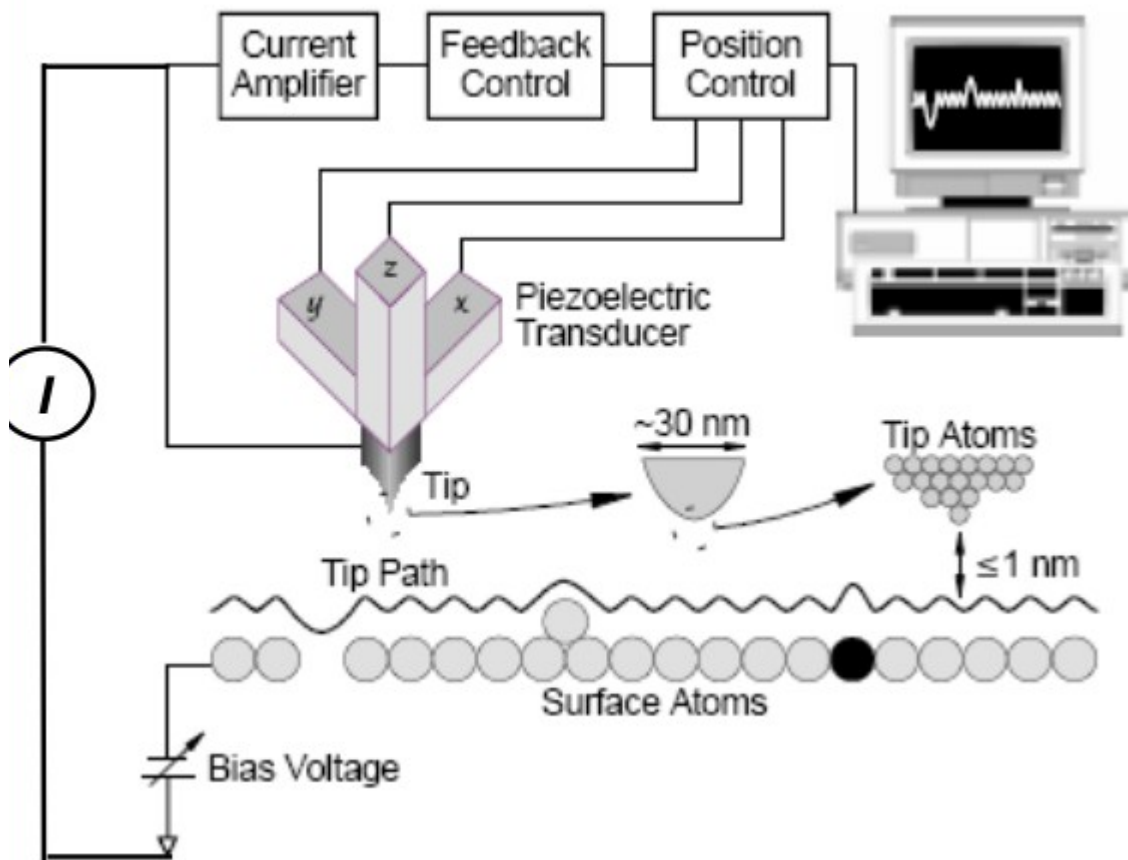
Microscopía por Efecto Tunel (STM)



I es muy sensible a d , lo que determina una muy buena resolución "vertical"

Con una punta aguda la mayor parte de la corriente pasará por el último átomo de la misma, lo que determina una muy buena resolución "lateral"

Sistema de medición



Resolución típica: 0,01 nm en z y 0,1nm en x-y

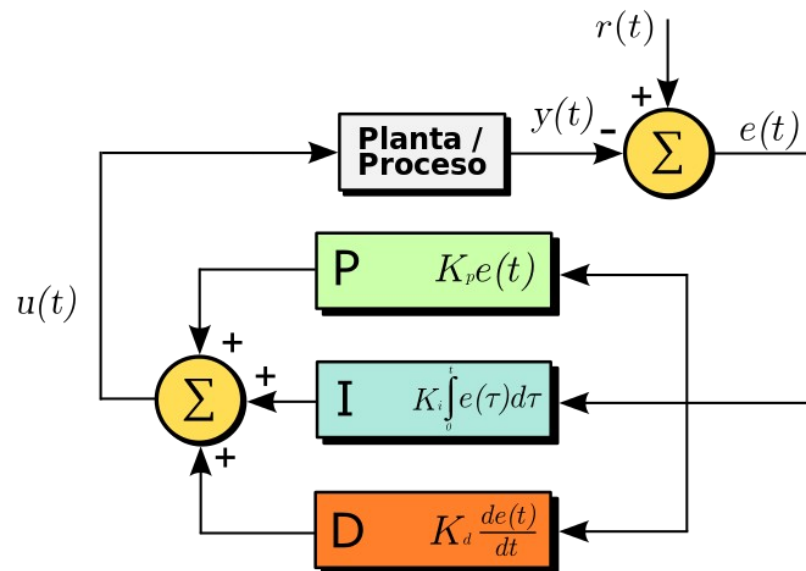
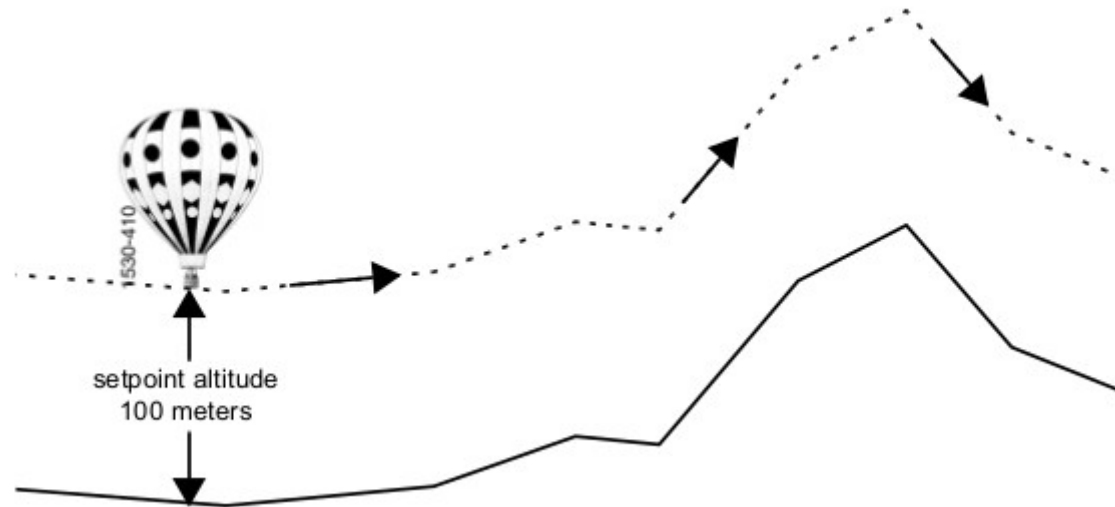
Detalles a tener en cuenta:

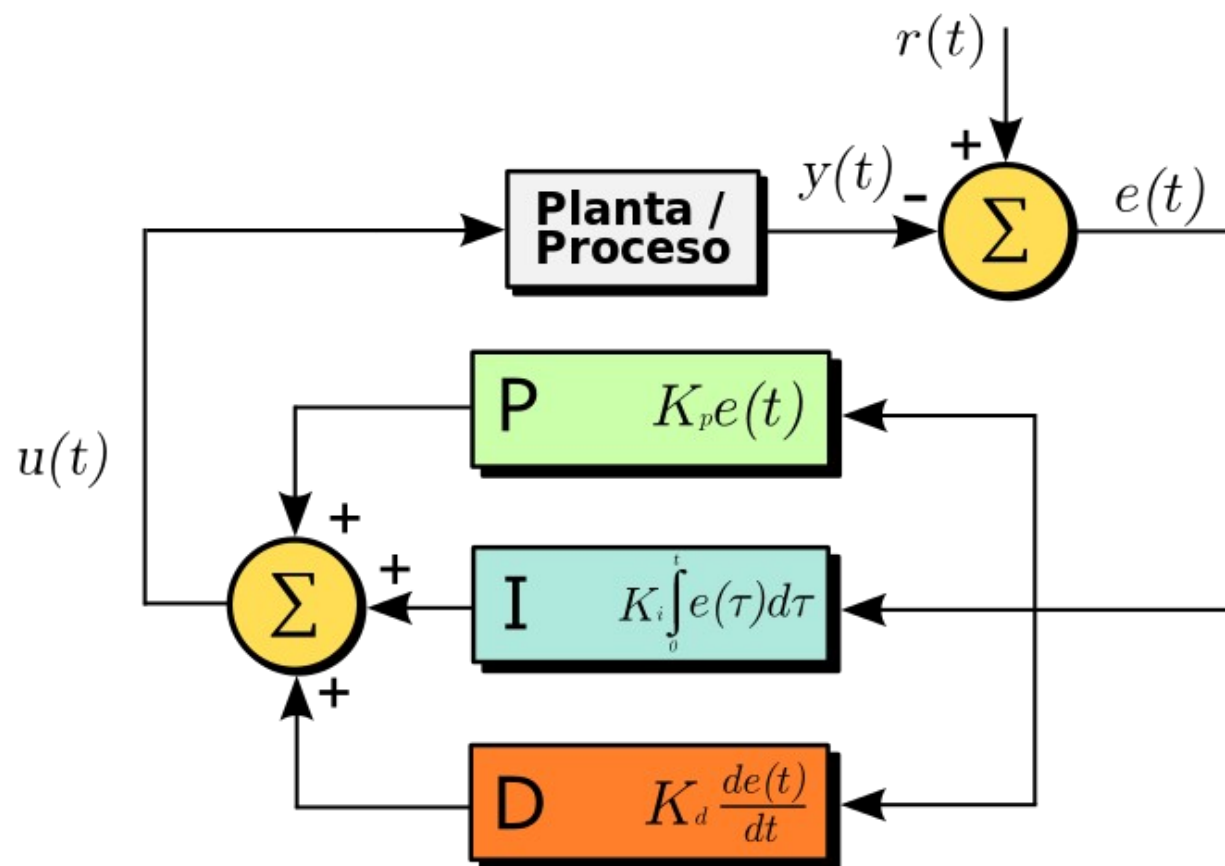
- Preparación de puntas
- Elementos piezoeléctricos
- Aislación de vibraciones
- Sistemas electrónicos de control y adquisición → control PID (Proporcional, Integral y Derivativo)

Es posible medir en diversos ambientes:

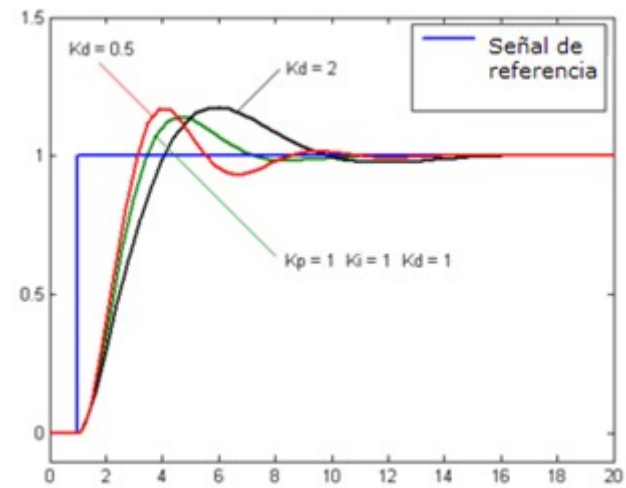
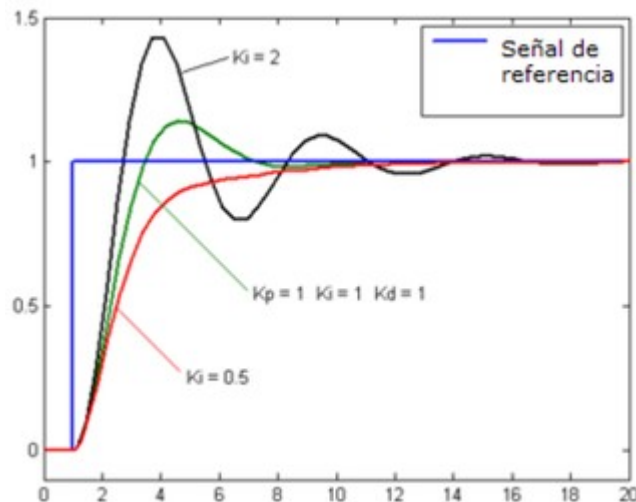
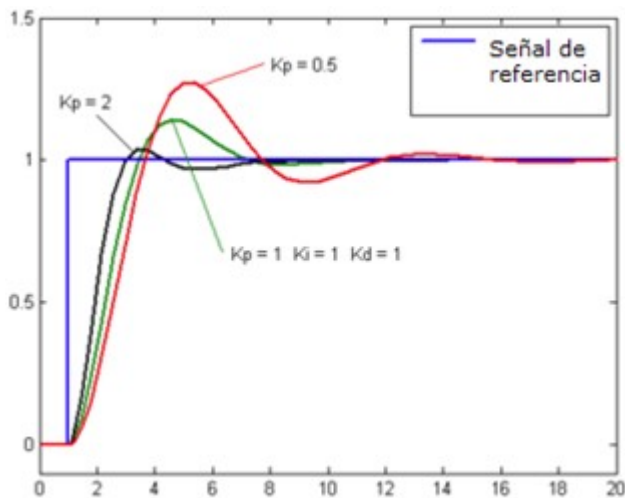
- en aire (al ambiente o sin humedad)
- en ultra alto vacío (UAV)
- en medios líquidos.

Controlador PID





Proporcional – Integral - Derivativo



	Tiempo de subida	Overshoot	Tiempo de estabilización	Error E-E
K_p	Decrece	Crece	Cambia poco	Decrece
K_i	Decrece	Crece	Crece	Elimina
K_d	Cambia poco	Decrece	Decrece	No Cambia

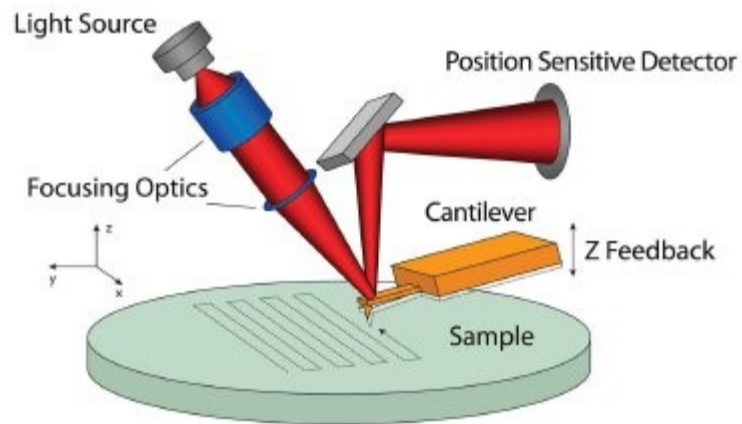
Aplicaciones:

Controladores de temperatura, controles de flujo, robótica (posicionadores),

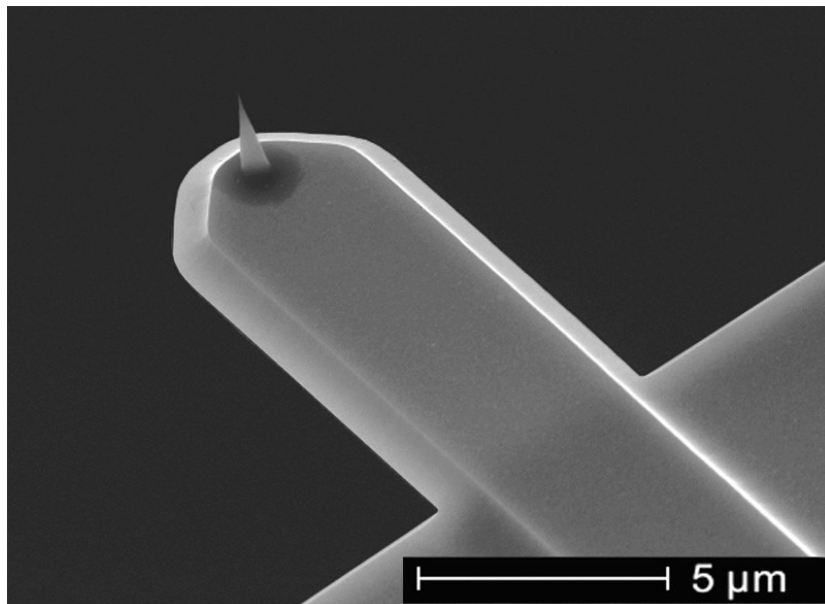
Video con oscilador: https://www.youtube.com/watch?v=HRJiow_k-V0

MATLAB: <http://www.mathworks.com/help/control/ref/tunablepid.html>

AFM



Unrestricted Optical Access from Below the Sample Plane



Fuerzas de interacción entre una punta aguda ($<100 \text{ \AA}$ de diámetro) y una superficie a distancias muy cortas (2-100 $\text{\AA}$ de separación).

Fuerzas de atracción: Van der Waals, electrostáticas, puentes de hidrógeno, uniones específicas

Fuerzas de repulsión: Van der Waals, electrostáticas.



Contact Mode

dc operation

$F = k \times X$, where X is lever deflection and k spring constant.

$z = f(x, y)$ at const. F

Small oscillation



Non-contact Mode

ac operation

small amplitude

$z = f(x, y)$ at const. F'

Used for long-range forces like electrostatic and magnetic
< 10 nm

Large oscillation



Intermittent-contact Mode ("Tapping Mode")

ac operation

large amplitude

100 – 200 nm

Contact Mode AFM

Advantages:

- High scan speeds.
- "Atomic resolution" is possible.
- Easier scanning of rough samples with extreme changes in vertical topography.

Disadvantages:

- Lateral forces can distort the image.
- Capillary forces from a fluid layer can cause large forces normal to the tip-sample interaction.
- Combination of these forces reduces spatial resolution and can cause damage to soft samples.

Non-contact Mode AFM

Advantage:

- Low force is exerted on the sample surface and no damage is caused to soft samples

Disadvantages:

- Lower lateral resolution, limited by tip-sample separation.
- Slower scan speed to avoid contact with fluid layer.
- Usually only applicable in extremely hydrophobic samples with a minimal fluid layer.

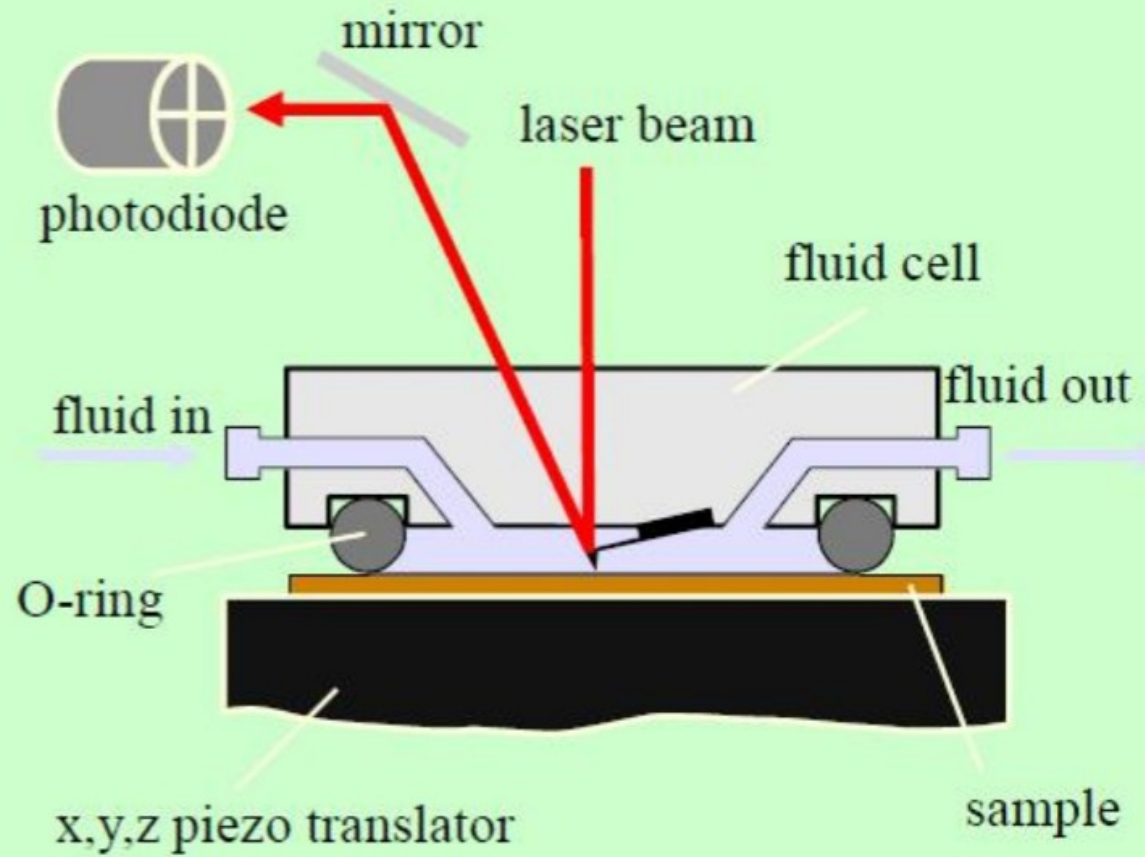
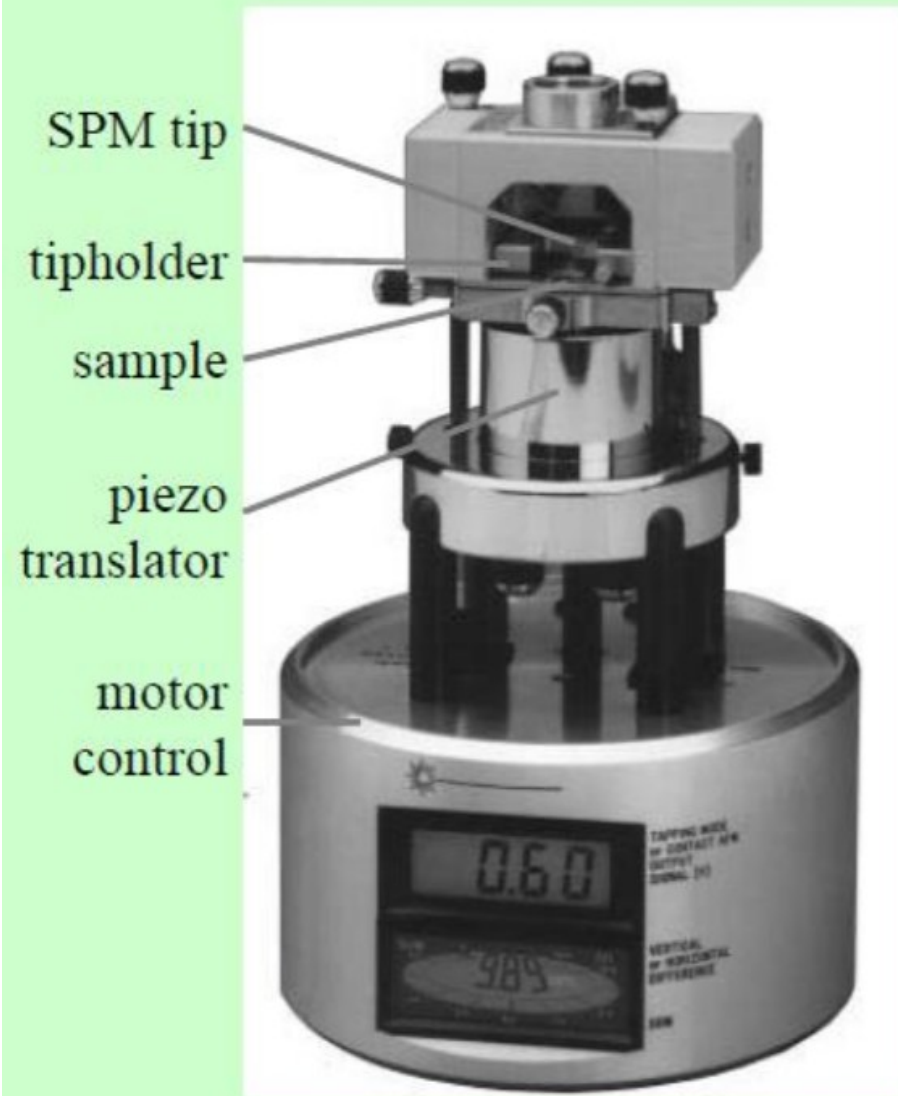
Tapping Mode AFM

Advantages:

- Higher lateral resolution (1 nm to 5 nm).
- Lower forces and less damage to soft samples in air.
- Almost no lateral forces.

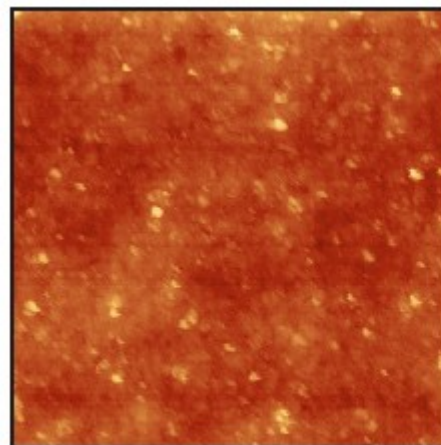
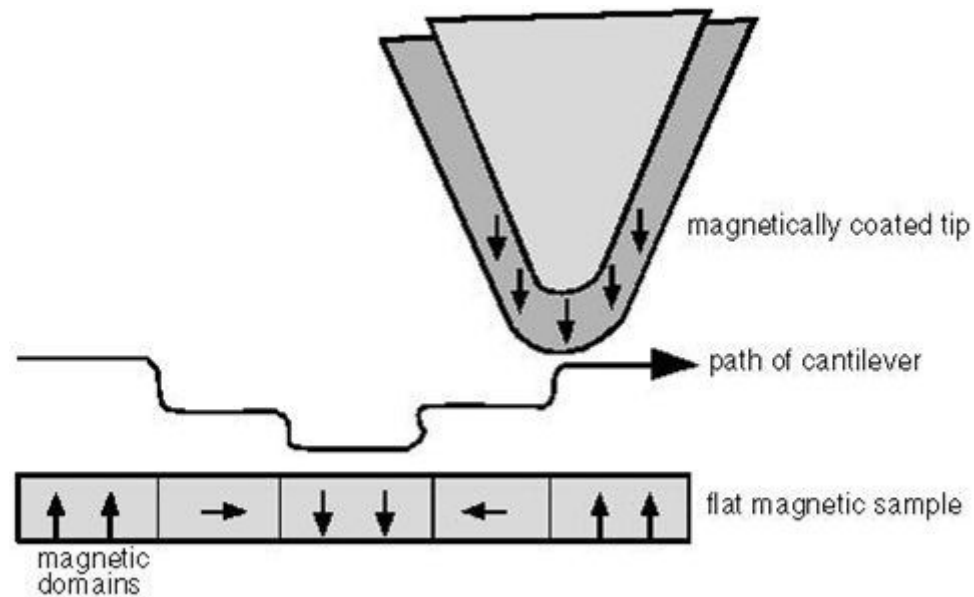
Disadvantage:

- Slower scan speed than in contact mode.

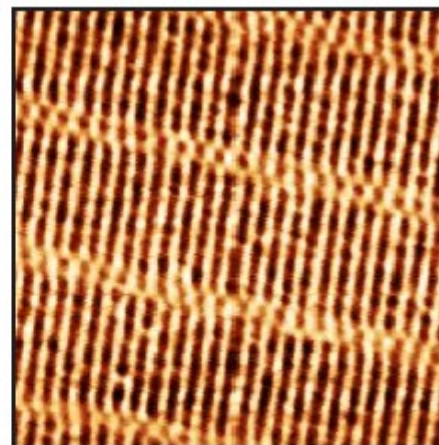


in air and in buffer solutions

Fuerza Magnética



AFM image, Zip Disk 40 x 40 μm

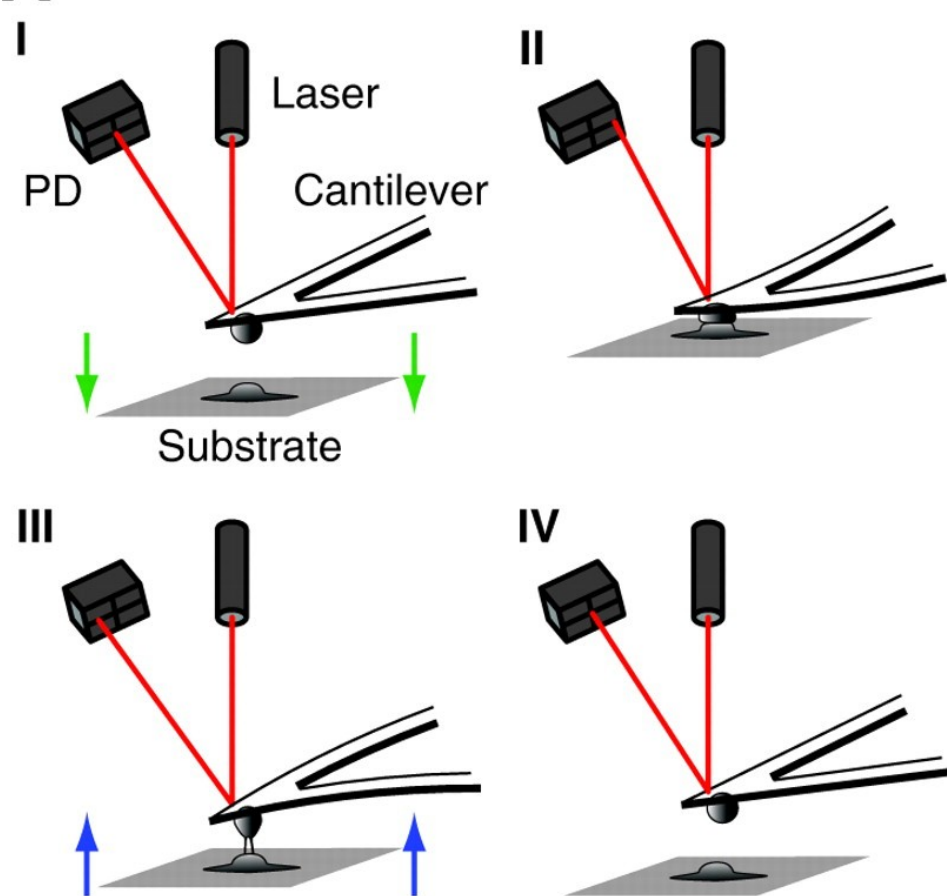


MFM image, Zip Disk 40 x 40 μm

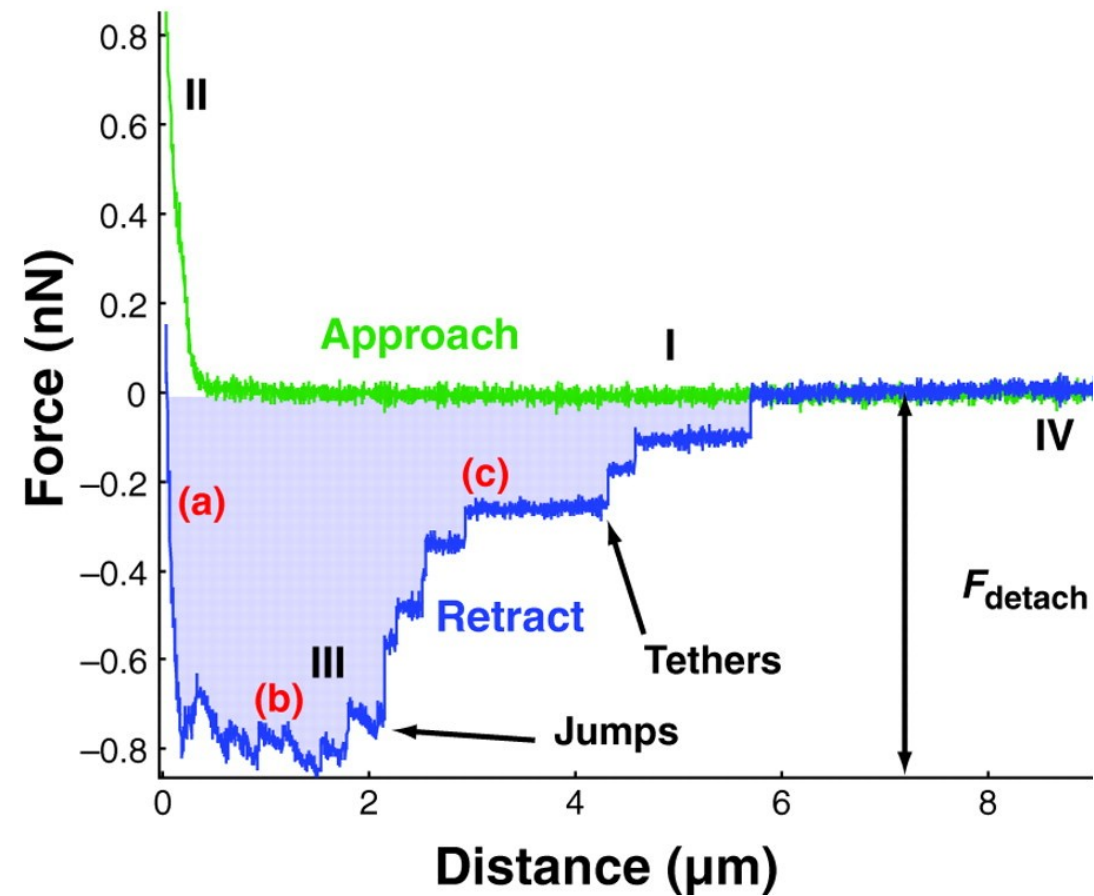
También: Fuerza Química, Kelvin Probe, electrostática, scaneo capacitivo y muchas otras

Espectroscopía de Fuerza

A



B



AFM en labo 5





The background consists of several yellow diagonal strips with the word 'DANGER' and a skull-and-crossbones symbol, creating a hazardous warning effect. A large, semi-transparent red diamond is centered over the image, serving as a backdrop for the text.

SIN SALARIO DOCENTE Y
SIN PRESUPUESTO

**NO HAY CIENCIA
NI UNIVERSIDAD
PÚBLICA**