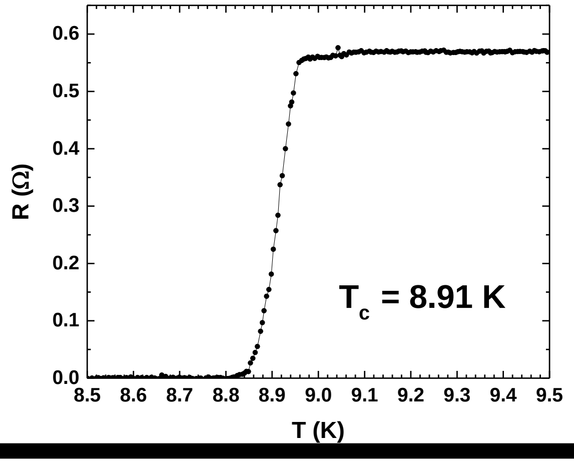
UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

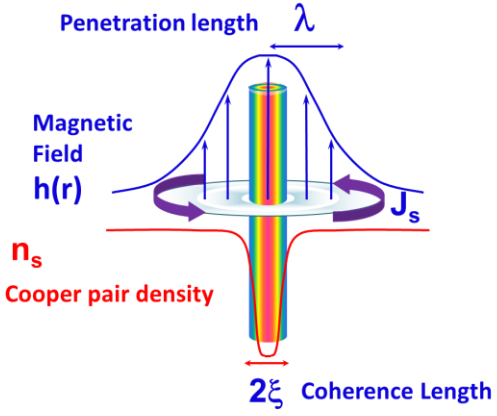
instituto
imdea
nanociencia

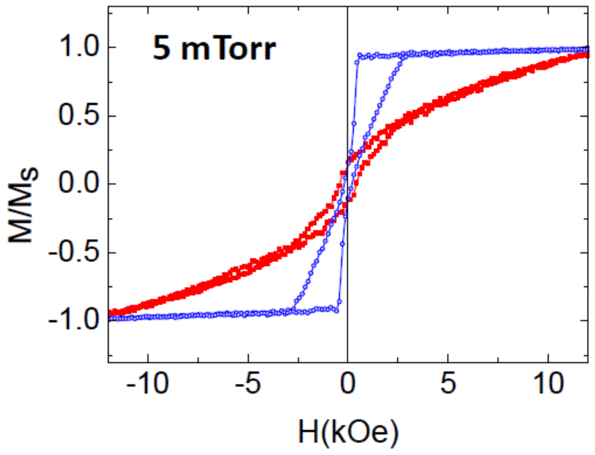
# Grupo de LÁMINAS DELGADAS, SUPERCONDUCTIVIDAD y TRANSPORTE CUÁNTICO

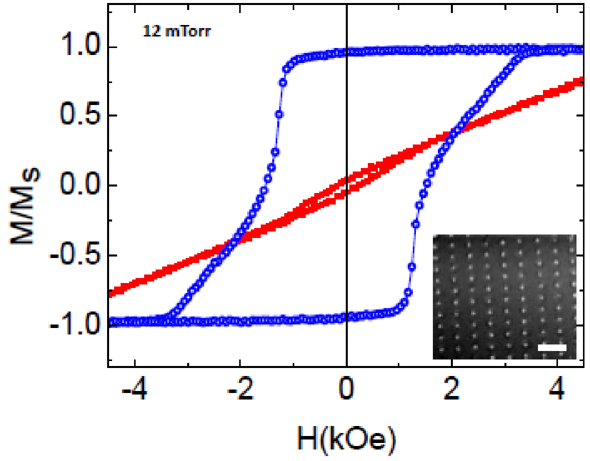
**Álvaro Muñoz Noval**
**Departamento de Física de Materiales**
**Facultad de Ciencias Físicas**
**Universidad Complutense de Madrid**

# SUPERCONDUCTIVIDAD



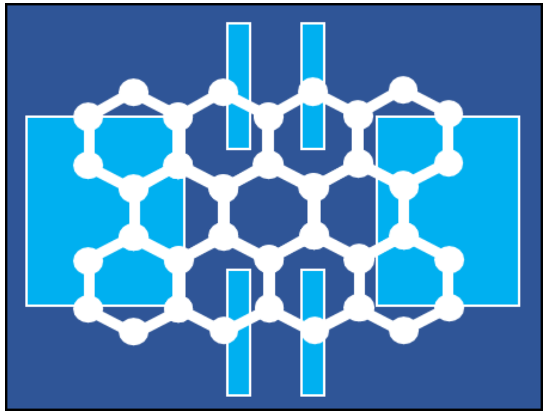

Penetration length
λ
Magnetic
Field
h(r)
$J_s$
$n_s$
Cooper pair density
2ξ
Coherence Length

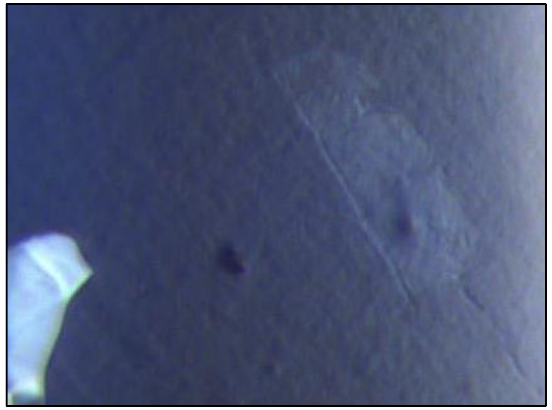




# MAGNETISMO

# MATERIALES 2D





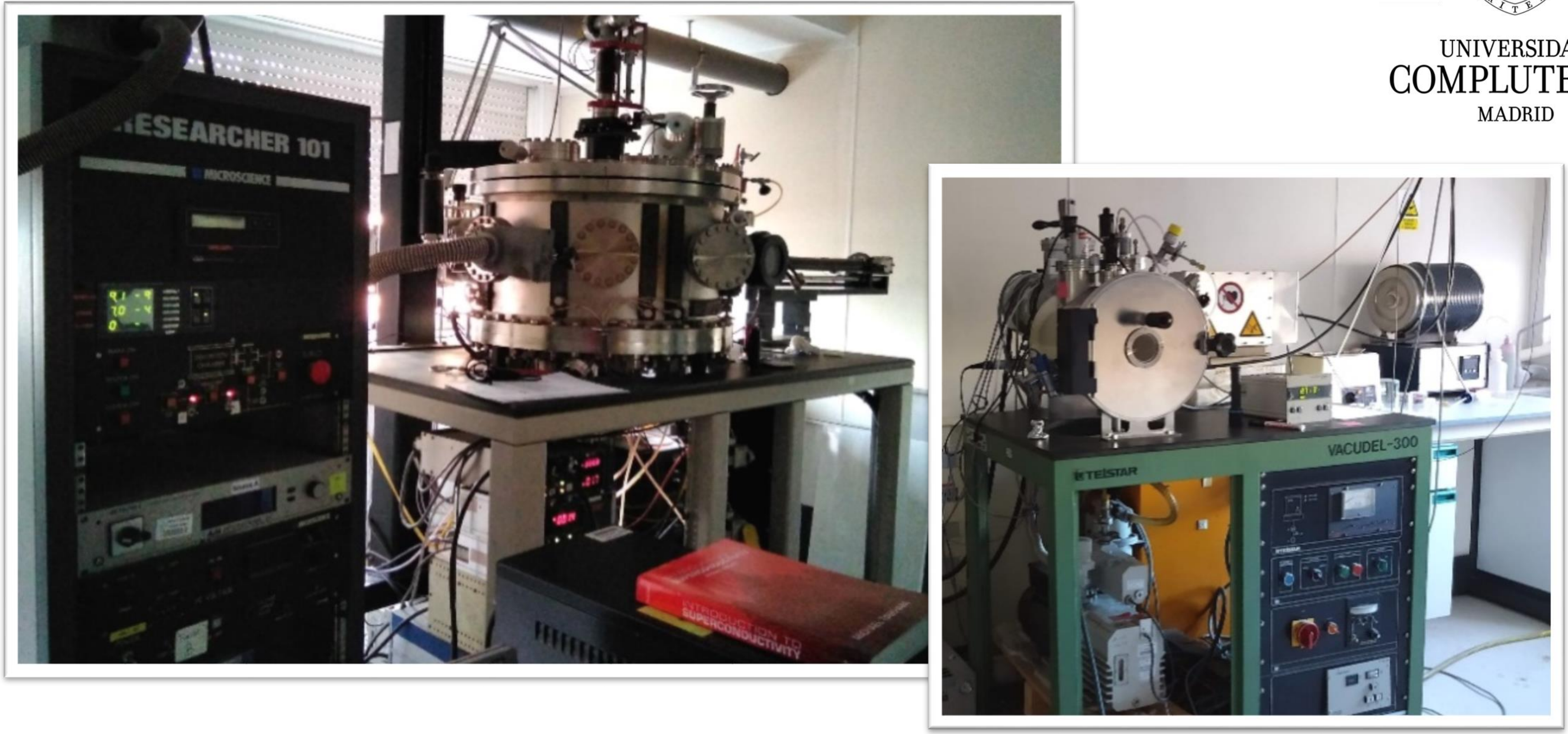
UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

instituto imdea
nanociencia

# INSTALACIONES e INSTRUMENTOS

# LABORATORIO DE FABRICACIÓN DE LÁMINAS DELGADAS Y MATERIALES MAGNÉTICOS

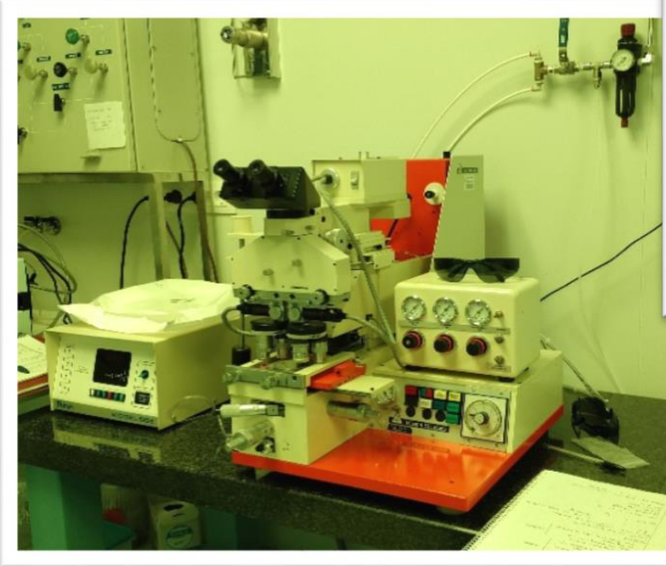
UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID


RESEARCHER 101
MICROSCIENCE
INTRODUCTION TO SUPERCONDUCTIVITY
TEISTAR
VACUDEL-300

Criostato de ciclo cerrado, MFM, Unidad de Cálculo y simulaciones…

# SALA BLANCA

UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

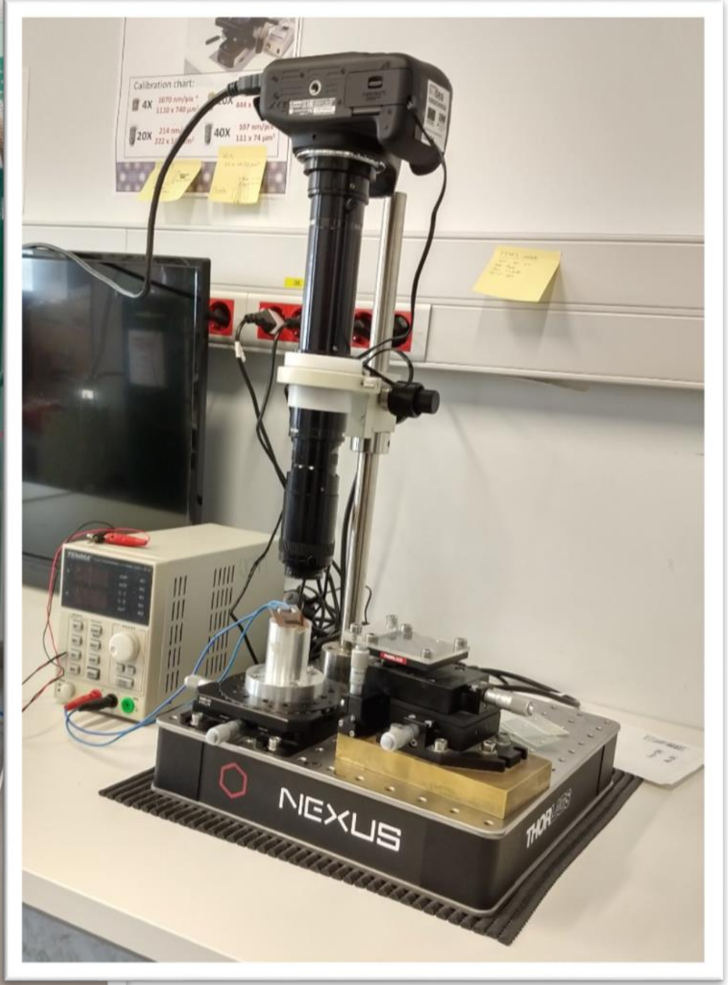


# EQUIPOS DE MEDIDA A BAJA TEMPERATURA

instituto imdea nanociencia

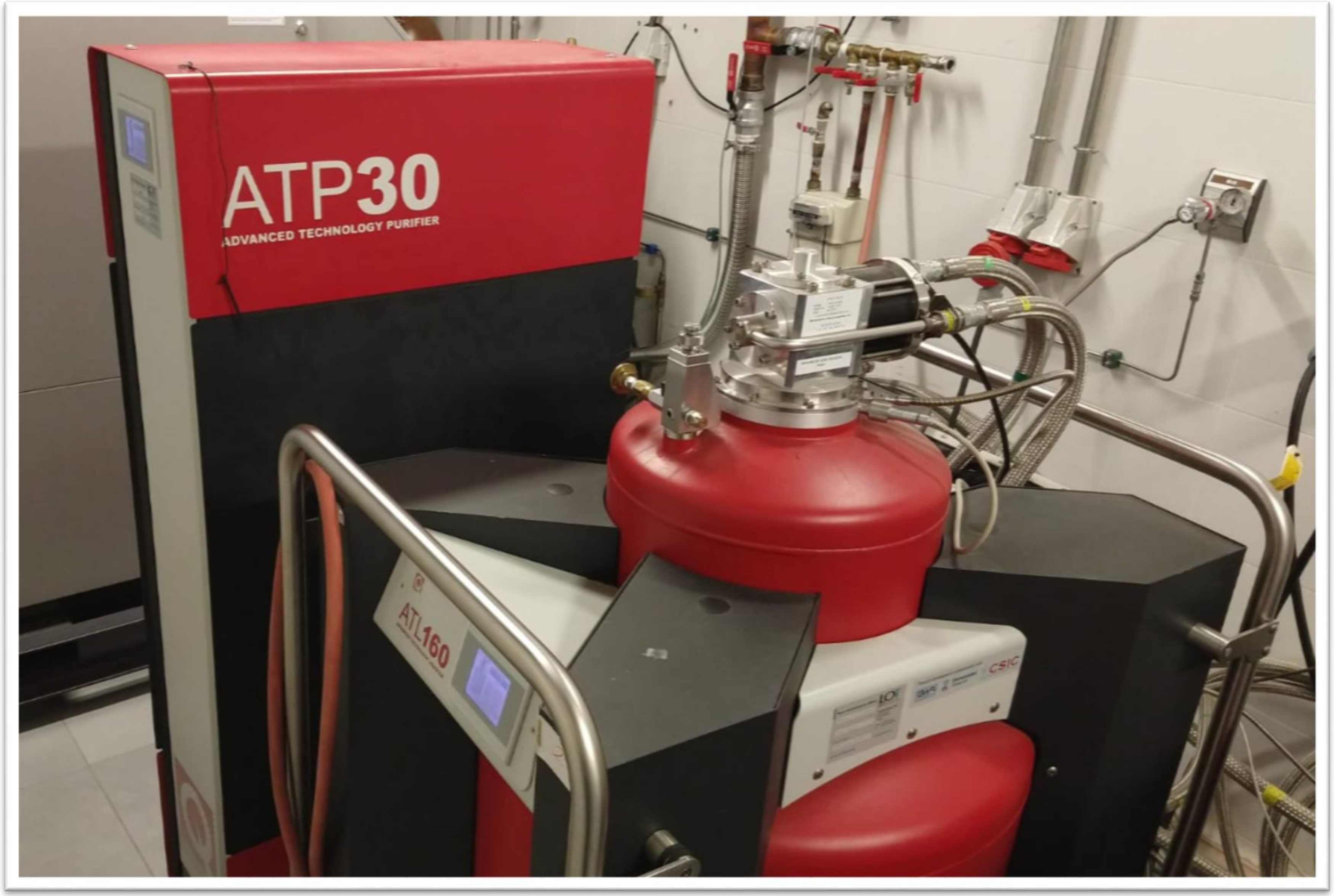
www.nanociencia.imdea.org

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE MADRID



# FABRICACIÓN DE DISPOSITIVOS 2D

# PURIFICADOR Y LICUEFACTORES DE HELIO


ATP30
ADVANCED TECHNOLOGY PURIFIER
ATL160
CSIC

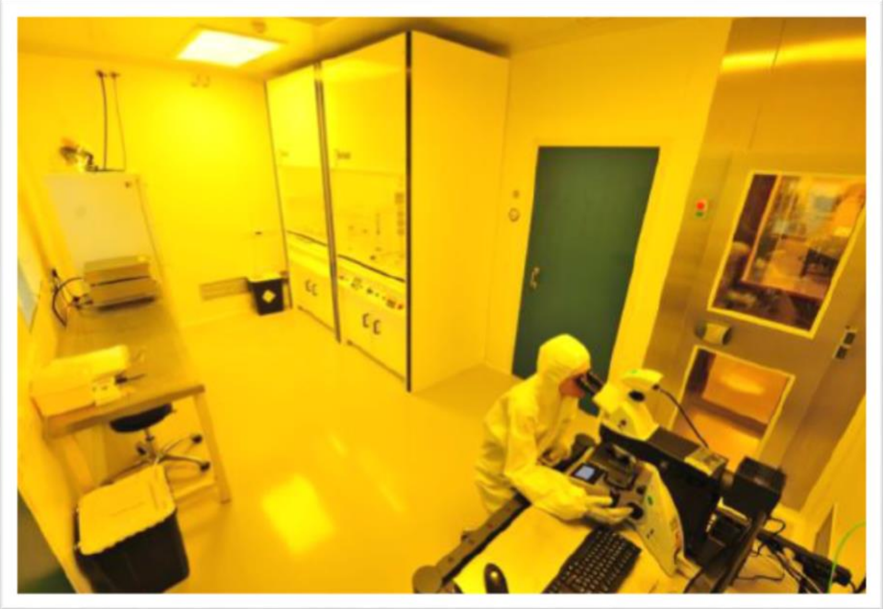
instituto IMDEA nanociencia

www.nanociencia.imdea.org

# SERVICIO DE NANOFABRICACIÓN

instituto imdea nanociencia

www.nanociencia.imdea.org



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

instituto imdea nanociencia

# PERSONAL

**José Luis Vicent**

**Elvira M. González**

**Mariela Menghini**

**Álvaro Muñoz Noval**

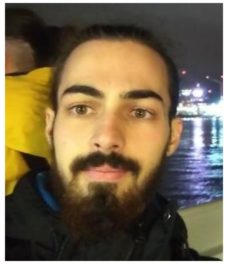
FACULTAD DE CIENCIAS
FISICAS

**Former members and collaborators:**
**Víctor Rollano, Ph.D.**
**Fernando Gálvez, Ph.D.**
**Javier del Valle, Ph.D.**
**Luis Ruiz, Ph.D.**
**Alicia Gómez, Ph.D.**

**Ana Parente**
**PhD. student**

**Nacho Figueruelo**
**PhD. student**

**Eugenia Sebastiani**
**Master student**


**Gabriel Caballero**
**Master student**

# LINEAS DE INVESTIGACIÓN

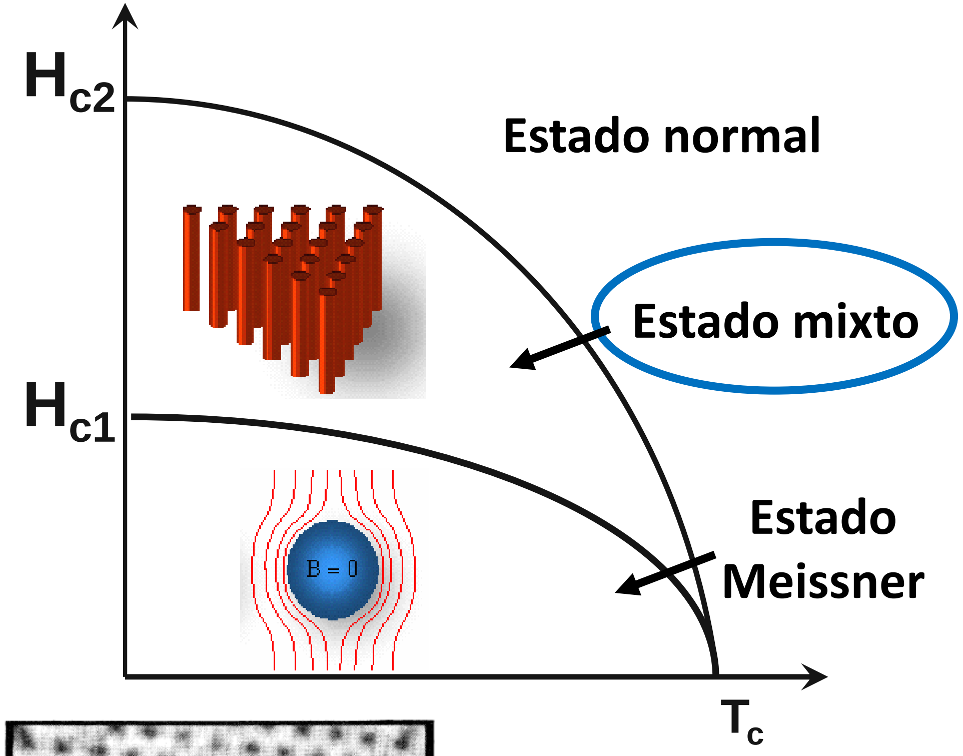
UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

instituto
IMDEA
nanociencia

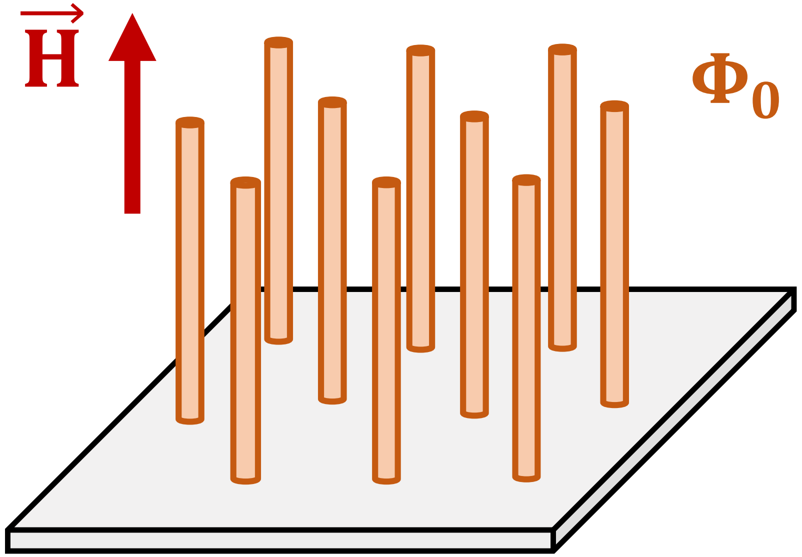
# Interacción superconductor/magnético: sistemas tipo Spin ice

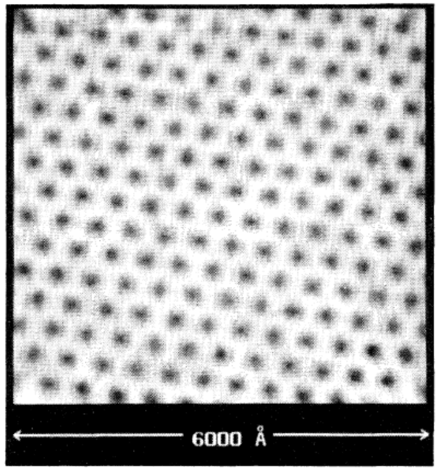
# EL ORIGEN DE LA DISIPACIÓN EN SUPERCONDUCTORES

## Superconductores tipo II


$H_{c2}$
Estado normal
Estado mixto
$H_{c1}$
B = 0
Estado
Meissner
$T_c$

**Vórtices**





H. F. Hess *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **62**, 214 (1989)

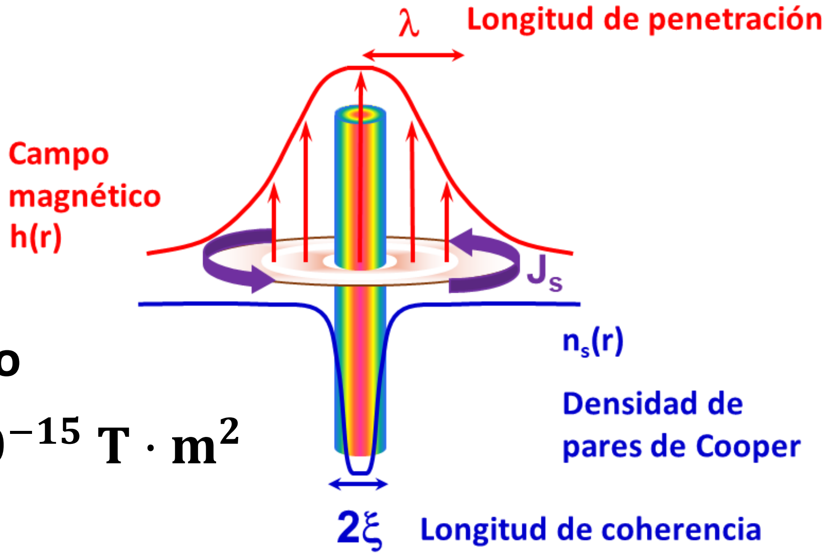
**RED DE ABRIKOSOV**

$$a = 1.075\left(\frac{\phi_0}{B}\right)^{1/2}$$

## Estructura de un vórtice

**Flujo cuantizado**

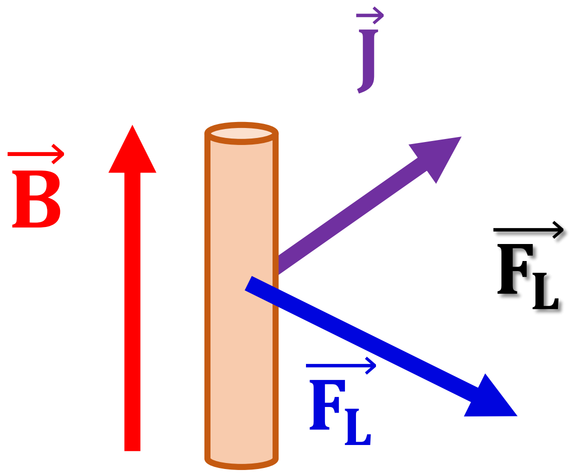
$$\Phi_0 = 2.07 \cdot 10^{-15}\ \mathrm{T \cdot m^2}$$


λ
Longitud de penetración
Campo
magnético
h(r)
$J_s$
$n_s(r)$
Densidad de
pares de Cooper
2ξ
Longitud de coherencia

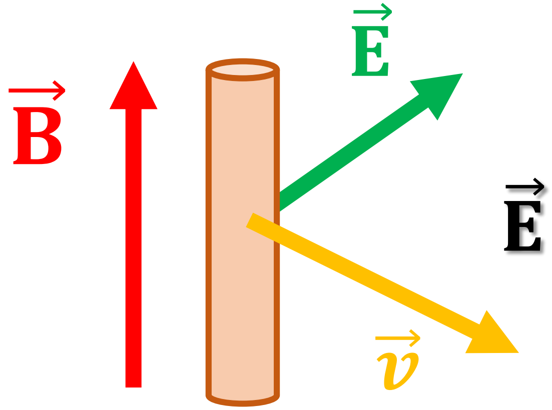
# EL ORIGEN DE LA DISIPACIÓN EN SUPERCONDUCTORES

## DINÁMICA DE VÓRTICES

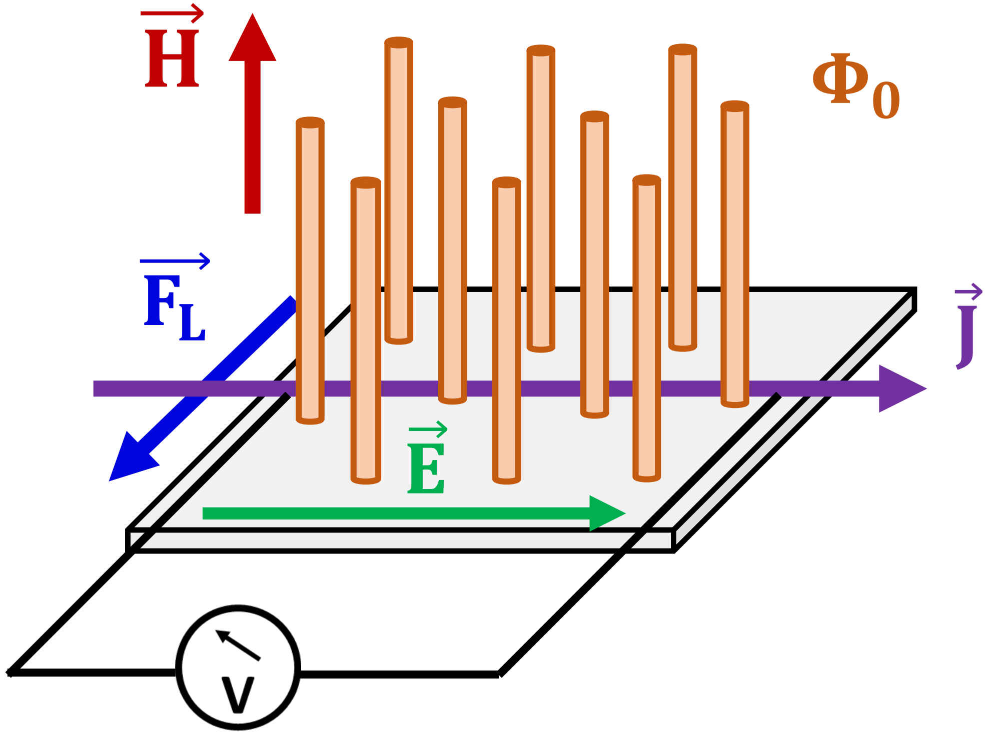
**¿Qué ocurre al aplicar corriente?**


$\vec{J}$
$\vec{B}$
$\vec{F_L}$

$$\vec{F_L} = \vec{J} \times \vec{B}$$


$\vec{E}$
$\vec{B}$
$\vec{v}$

$$\vec{E} = \vec{B} \times \vec{v}$$

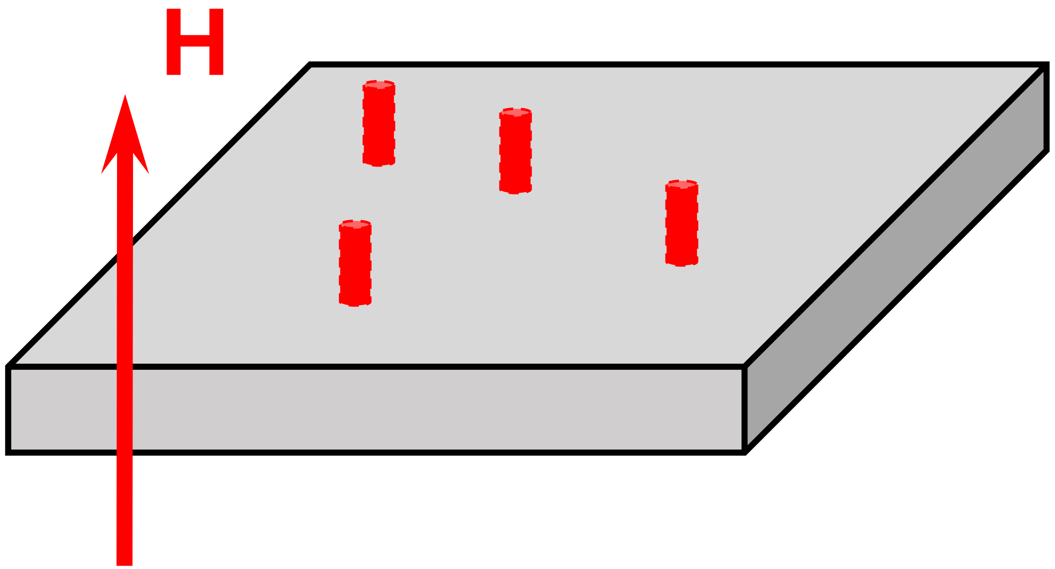

$\vec{H}$
$\Phi_0$
$\vec{F_L}$
$\vec{J}$
$\vec{E}$
V

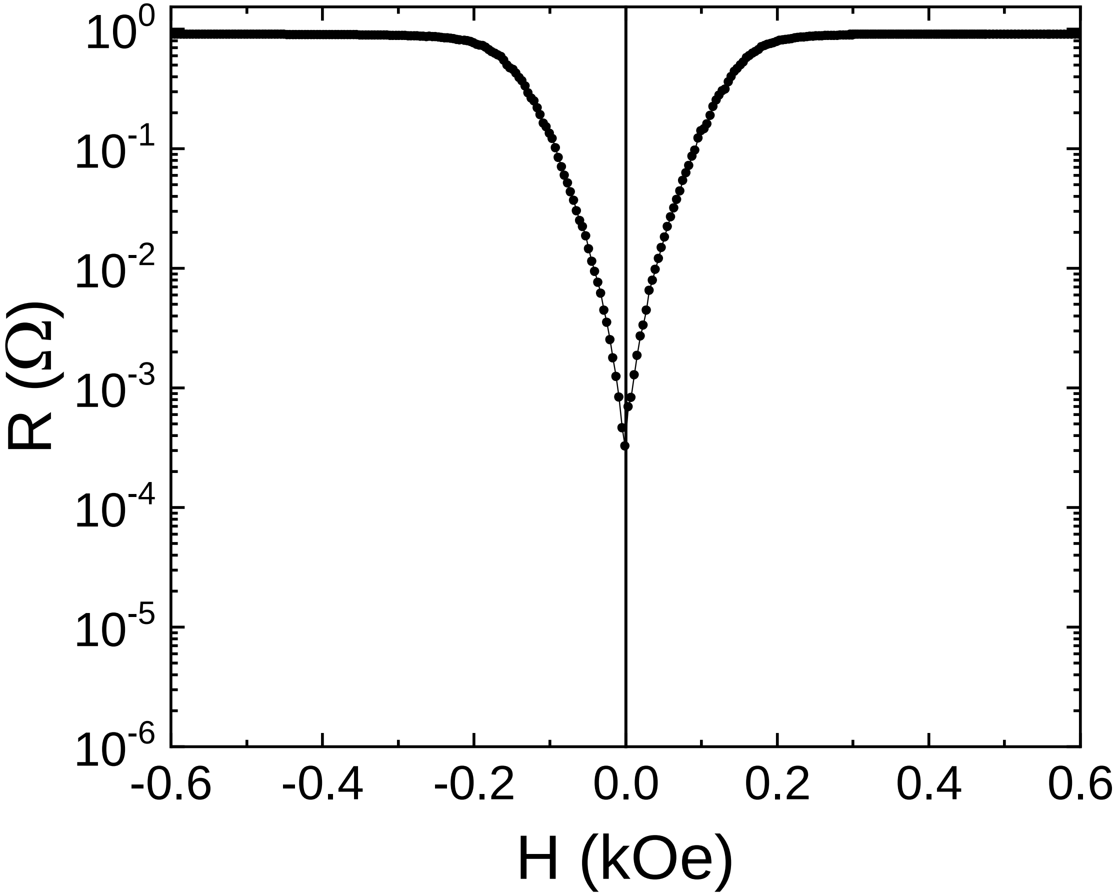
**Vórtices en movimiento disipan energía**

⬇

**Resistencia ≠ 0**

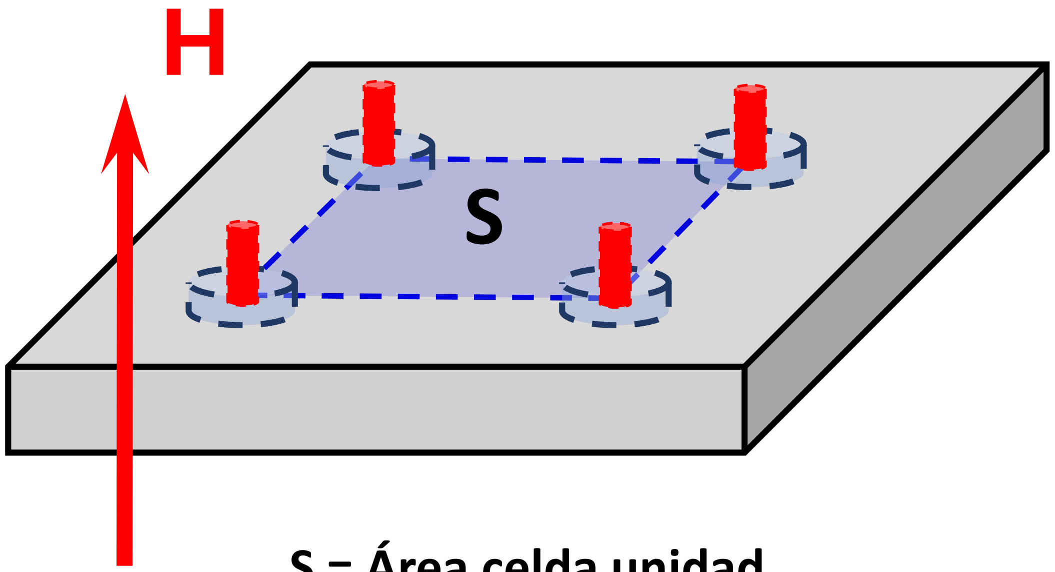
# EFECTO DE CONMENSURABILIDAD



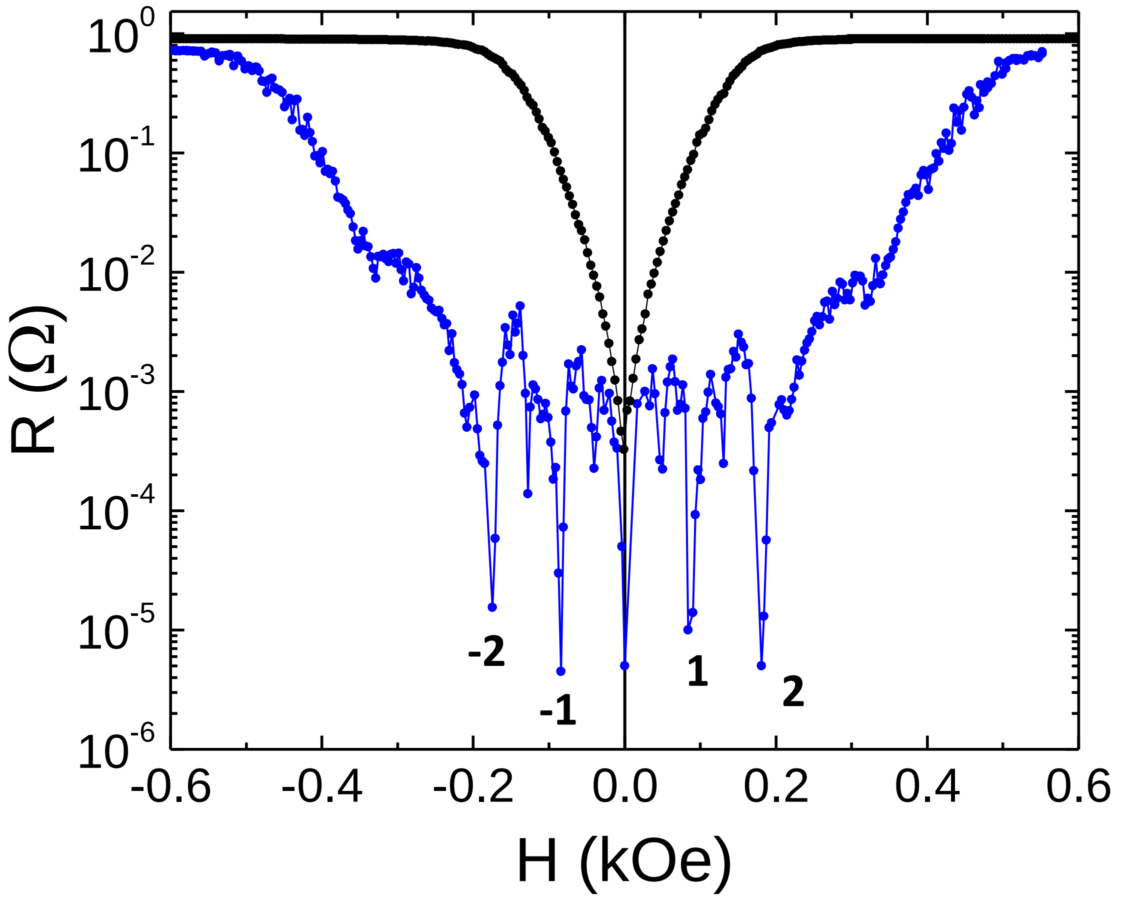


# EFECTO DE CONMENSURABILIDAD

**CENTROS DE ANCLAJE ARTIFICIALES**



**S = Área celda unidad**



## EFECTO DE CONMENSURABILIDAD

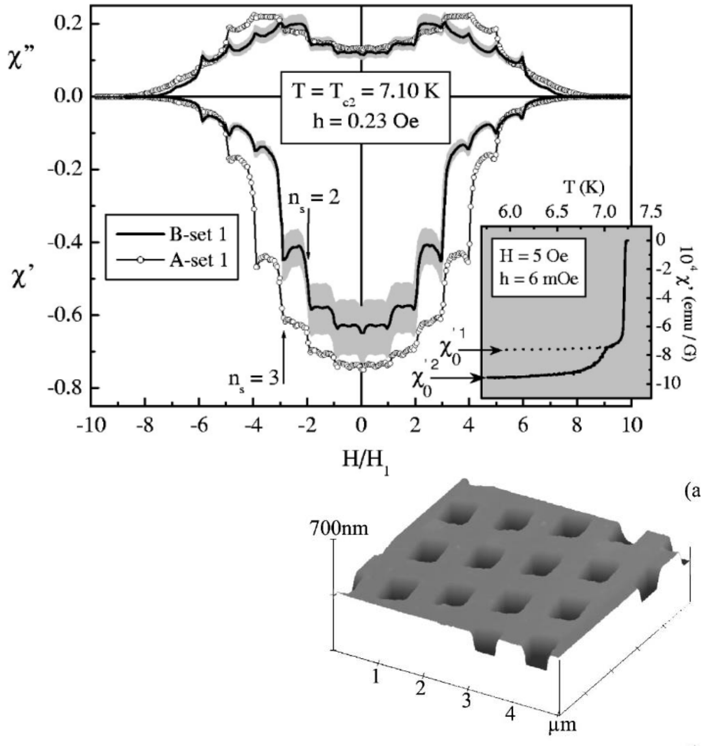
**Densidad de vórtices = n · Densidad de centros de anclaje**

**CAMPOS DE MATCHING** ➡

$$\mathbf{H_n = n \cdot H_1 = n \cdot \frac{\phi_0}{S}}$$

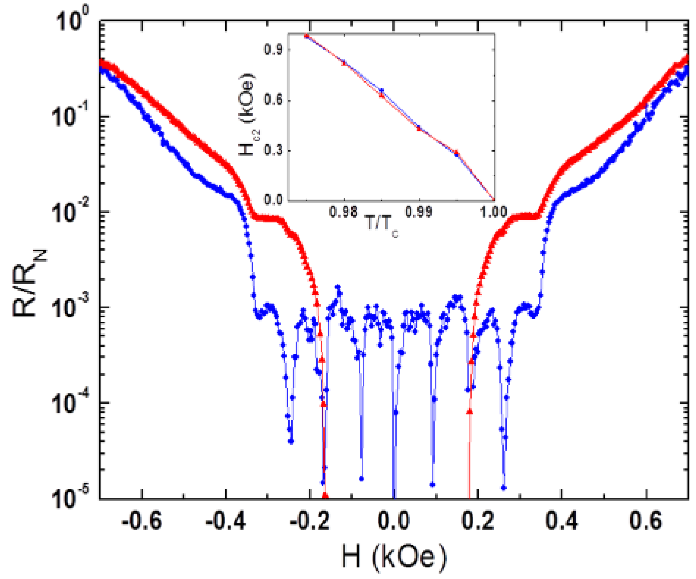
➡ **RESISTENCIA DISMINUYE ÓRDENES DE MAGNITUD**

# EFECTO DE CONMENSURABILIDAD



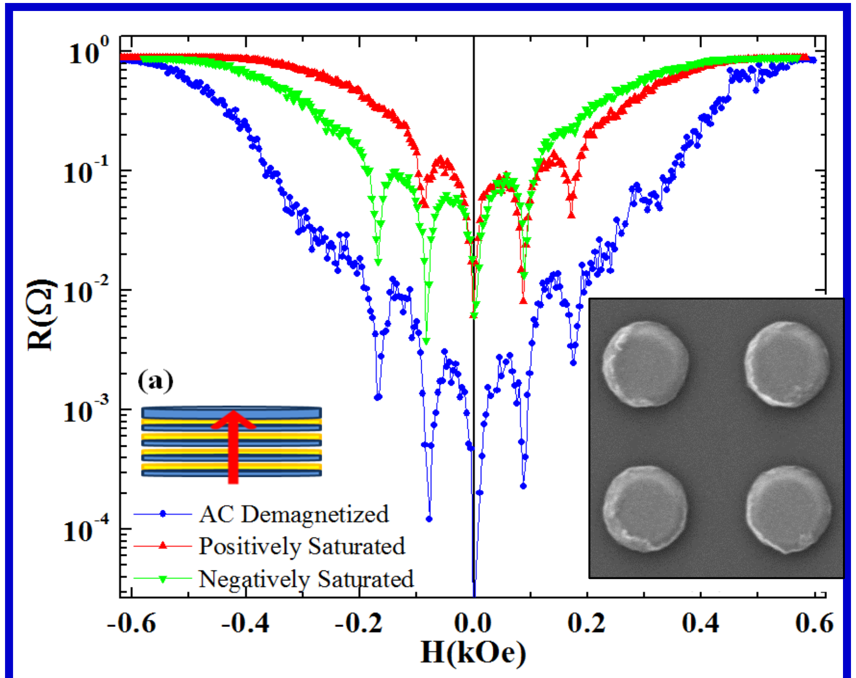
S. Raedts *et al. Phys. Rev B* **70**, 024509 (2004)

**HUECOS O AGUJEROS**



J. del Valle *et al. Appl. Phys. Lett*. **109**, 172601 (2016)

**NANOESTRUCTURAS METÁLICAS (Cu, Ag,…)**



A. Gomez *et al. Appl. Phys. Lett.* **102**, 052601 (2013)

**NANOESTRUCTURAS MAGNÉTICAS (Ni, Py, Co/Pd…)**

**GEOMÉTRICO**

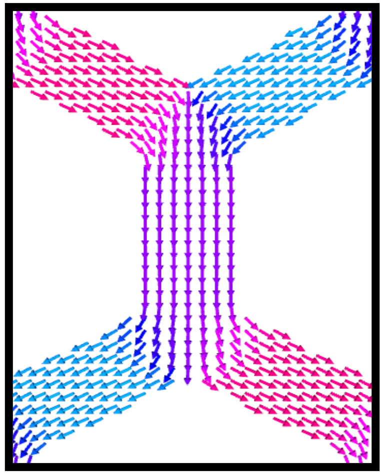
**MAGNÉTICO**

**NO SE PUEDE MODIFICAR**

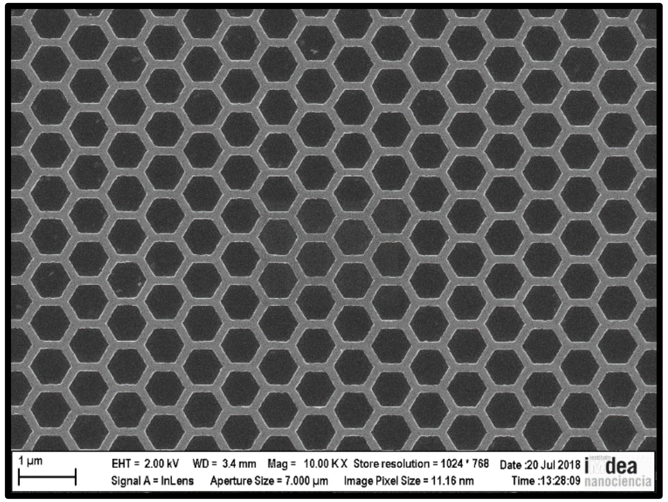
**SE PUEDE MODIFICAR**

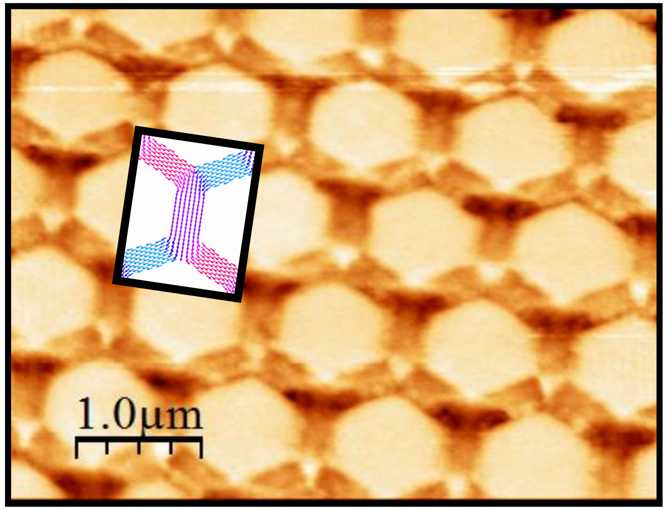
# Interacción entre un SC y una estructura magnética tipo Spin Ice

Universidad de Oviedo

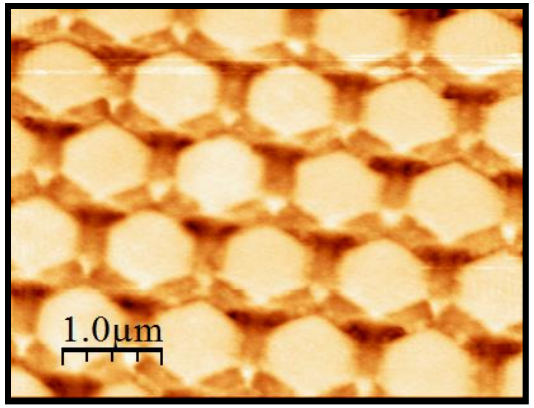


**Mumax$^3$ simulation**


1 µm
EHT = 2.00 kV
WD = 3.4 mm
Mag = 10.00 K X
Store resolution = 1024 * 768
Date :20 Jul 2018
Signal A = InLens
Aperture Size = 7.000 µm
Image Pixel Size = 11.16 nm
Time :13:28:09
instituto imdea nanociencia

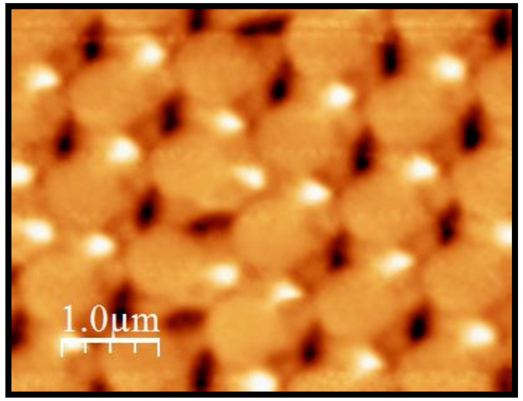


**SISTEMA MAGNÉTICO FRUSTRADO**

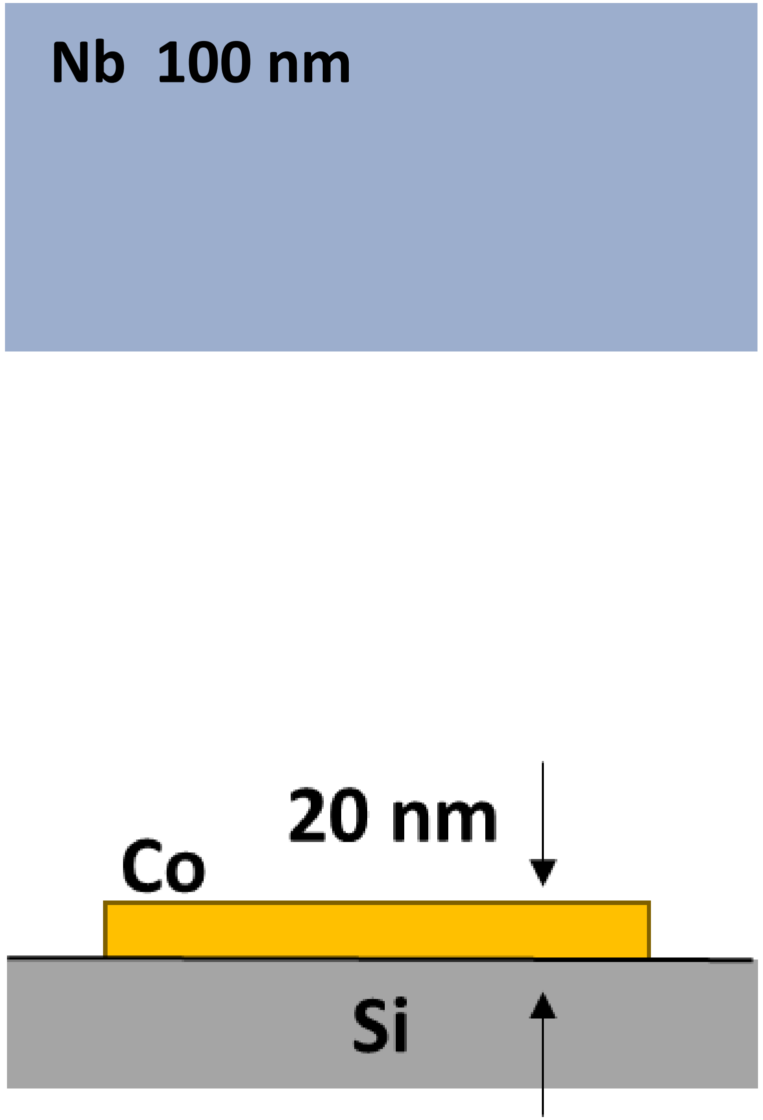


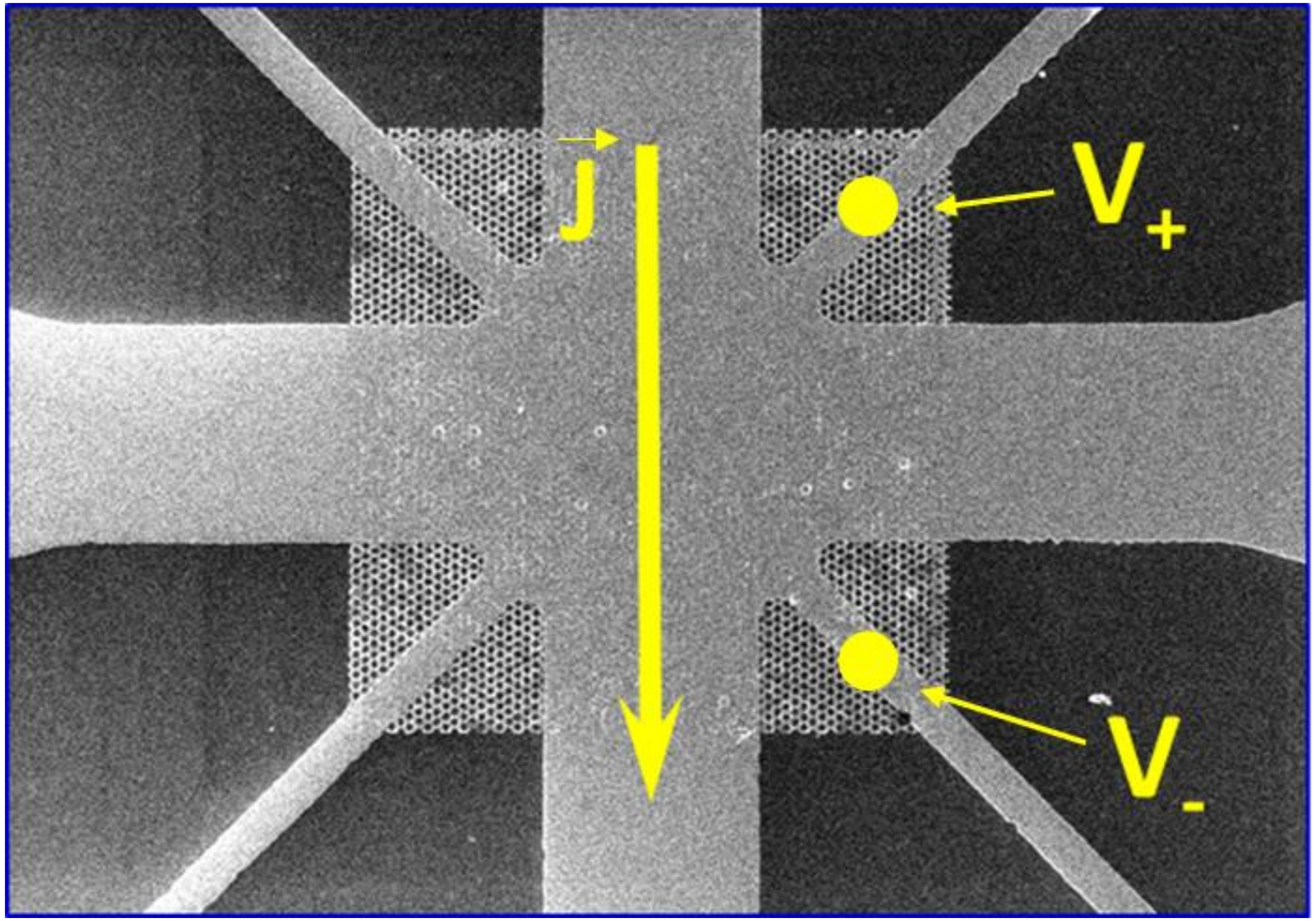
**ICE II** **ESTADO ORDENADO**

**ORDEN DE LARGO ALCANCE**

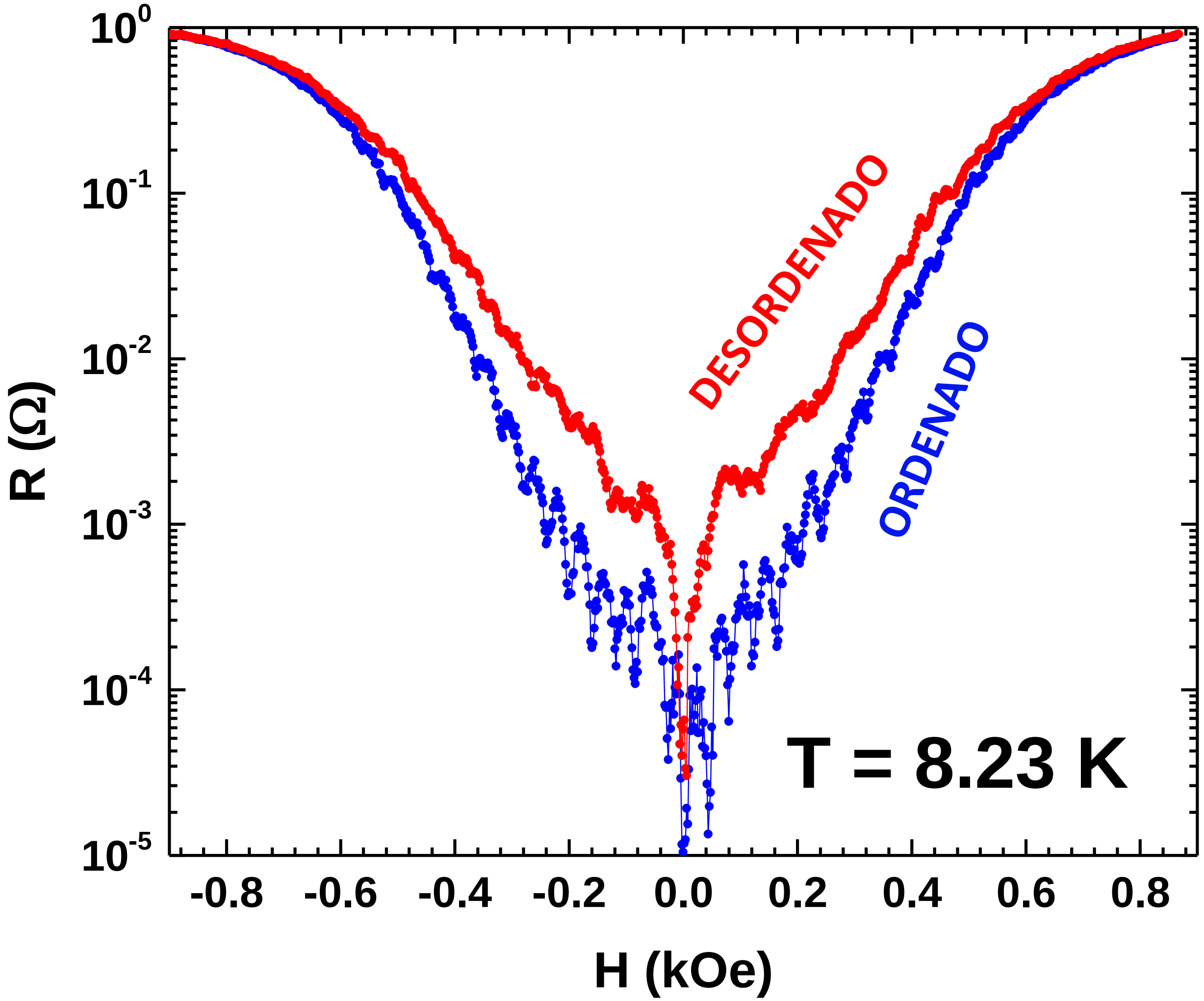


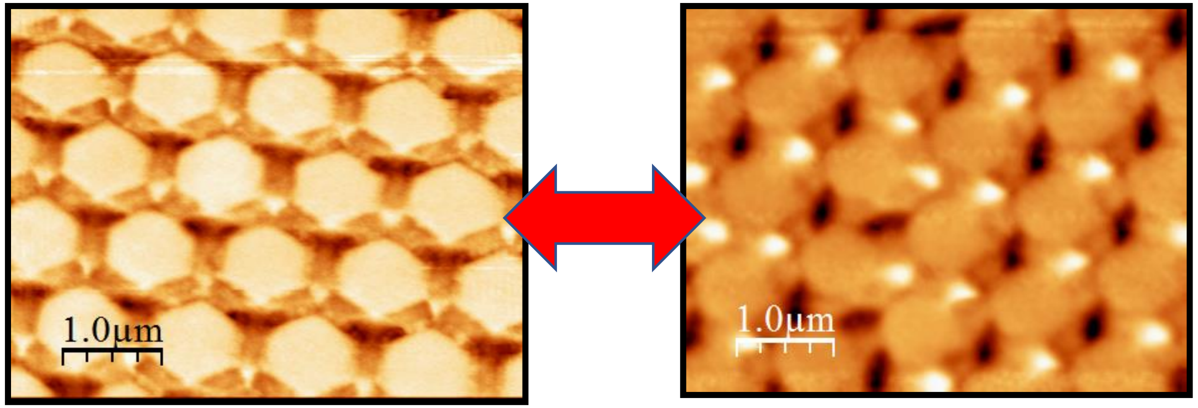
**ICE I** **ESTADO DESORDENADO**

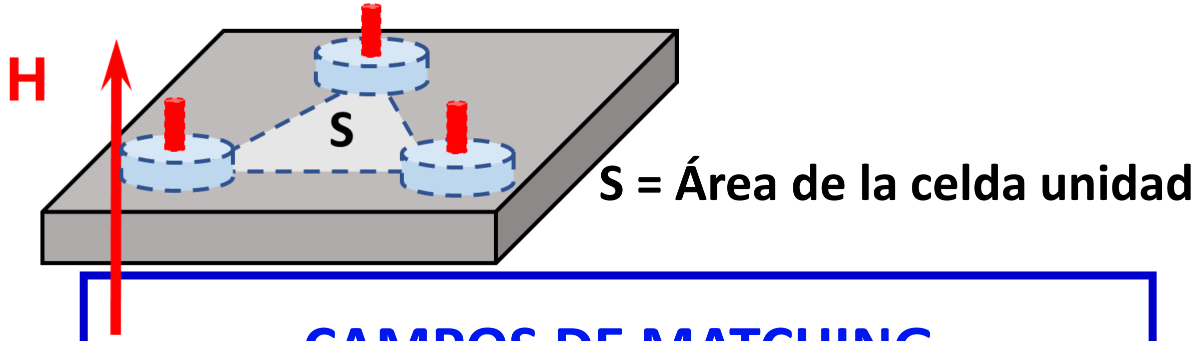

Nb 100 nm
20 nm
Co
Si


$\vec{j}$
$V_+$
$V_-$

# INTERACCIÓN CON SUPERCONDUCTOR TIPO II







S = Área de la celda unidad

**CAMPOS DE MATCHING**

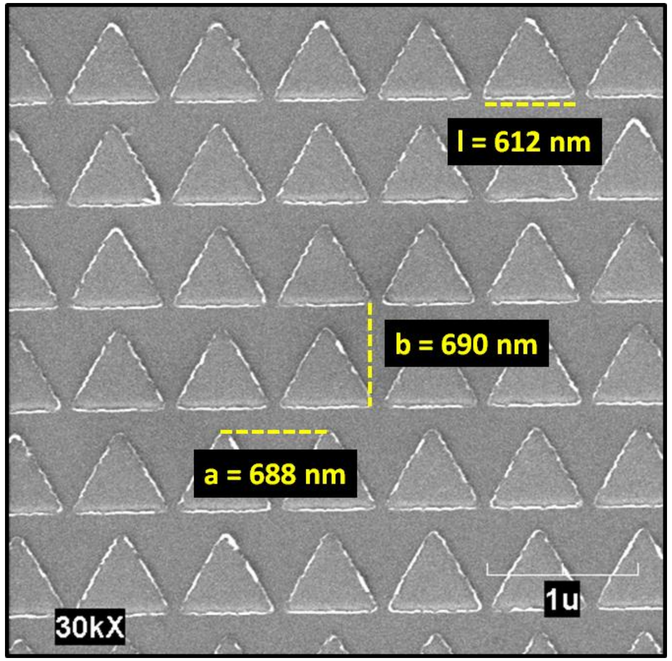
$$B_n = n\frac{\phi_0}{S}$$

**MÍNIMOS EN MAGNETORRESISTENCIA**

UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

instituto imdea nanociencia

# Interacción entre superconductores nanoestructurados

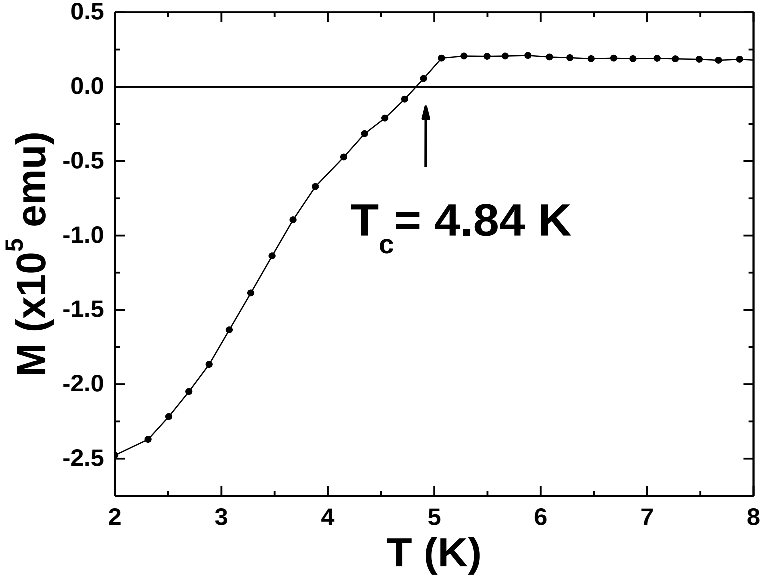

l = 612 nm
b = 690 nm
a = 688 nm
1u
30kX

**RED CUADRADA**
**700 nm x 700 nm**

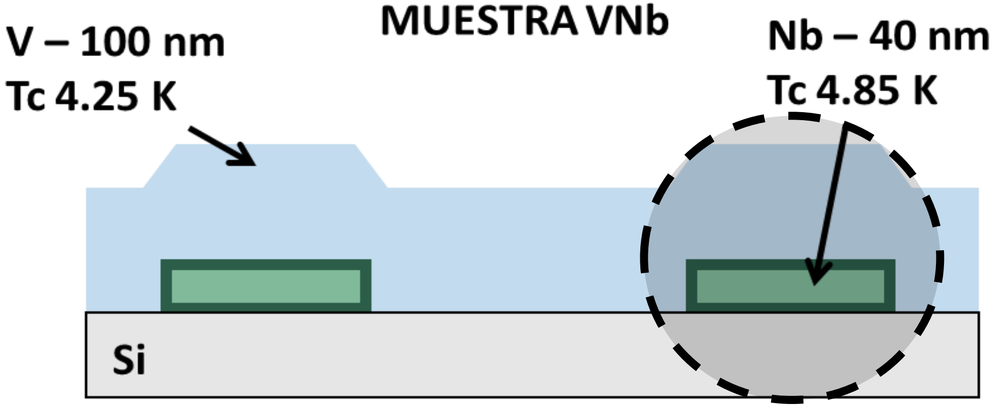
⇩

**CAMPO DE MATCHING ESPERADO**
**$H_1 = 40$ Oe**

**Medida SQUID**

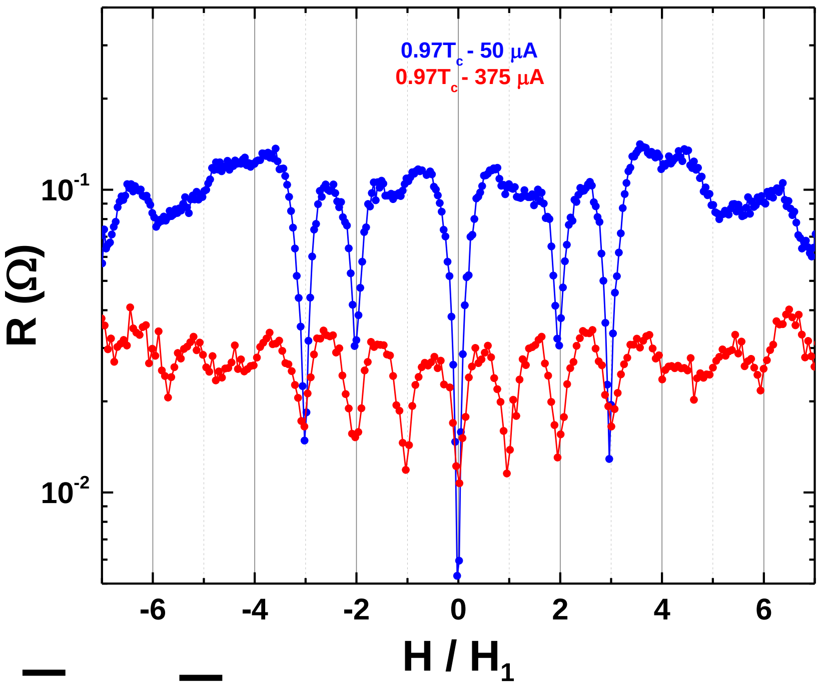


**MUESTRA VNb**

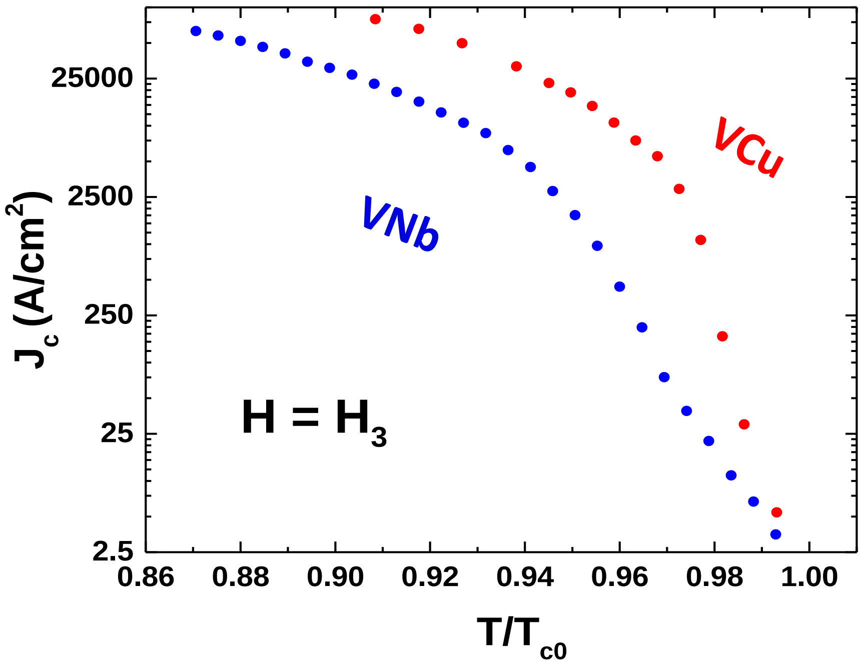

V – 100 nm
Tc 4.25 K
Nb – 40 nm
Tc 4.85 K
Si

**INCREMENTO LOCAL DE LA TEMPERATURA CRÍTICA**

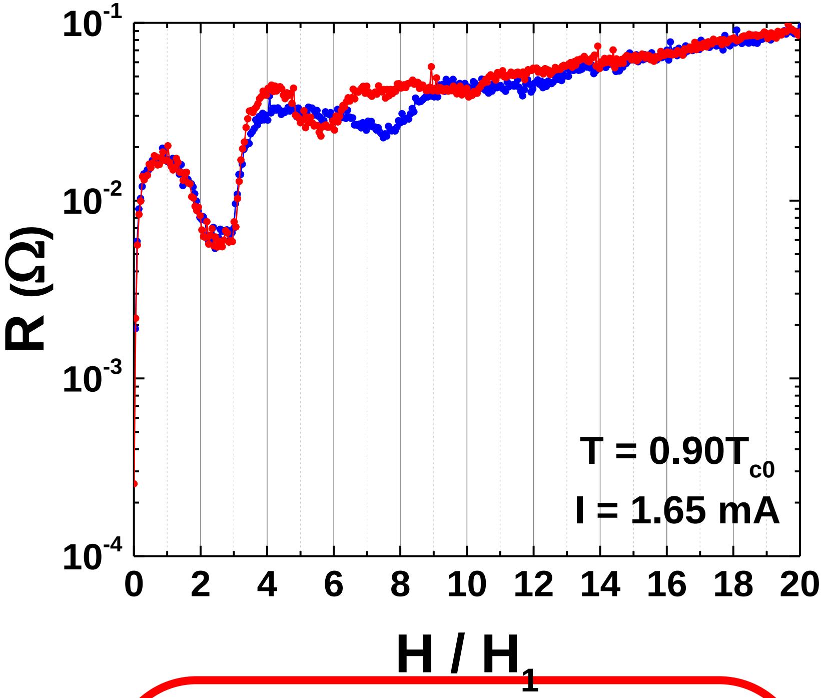
# POTENCIALES DE *ANTIPINNING* CREADOS POR NANOESTRUCTURAS SUPERCONDUCTORAS



**EFECTO DE CONMENSURABILIDAD ANÓMALO**



**$J_c$ (VCu) > $J_c$ (VNb)**



**Añadir vórtices (aumentar el campo)**

$\neq$

**Retirar vórtices (disminuir el campo)**

**MECANISMOS DE *ANTIPINNING***

AUMENTO LOCAL DE LA TEMPERATURA CRÍTICA

AUMENTO LOCAL DEL ESPESOR

**VÓRTICES EXPULSADOS A LAS ZONAS DE MENOR $T_C$ Y MENOR ESPESOR**

UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

instituto
imdea
nanociencia

¡Muchas gracias por vuestra atención!