



Estudio de memorias resistivas basadas en aislantes de Mott

Defensa de Tesis de Licenciatura en Ciencias Físicas

Martín Sattler

Director: Dr. Carlos Acha

Co-Director: Dr. Alberto Camjayi

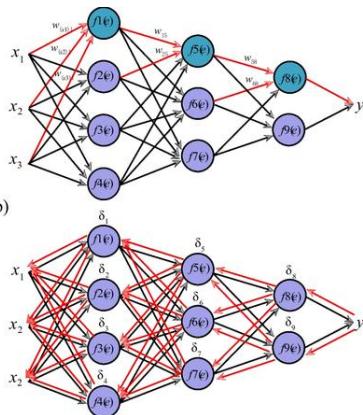
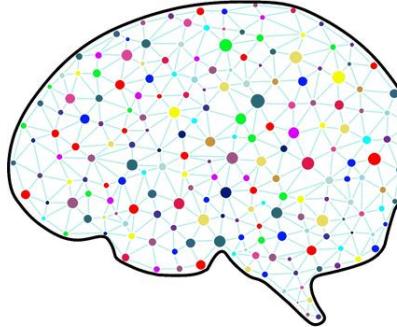
8 de Agosto de 2025

Índice

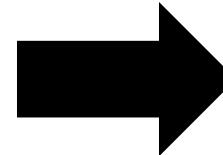
1. Motivación
2. Introducción
3. Detalles experimentales
4. Resultados y discusión
5. Conclusiones y perspectivas

Motivación

Computación neuromórfica



¿Es lo mejor que podemos hacer?

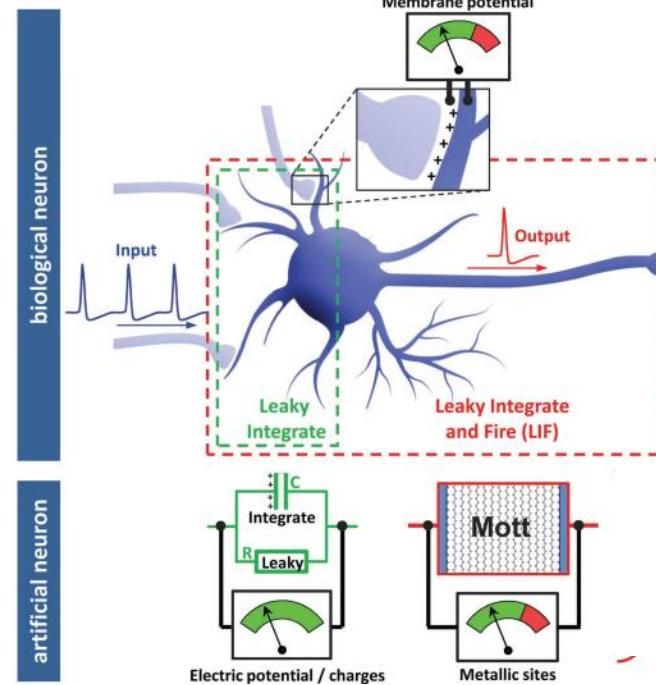
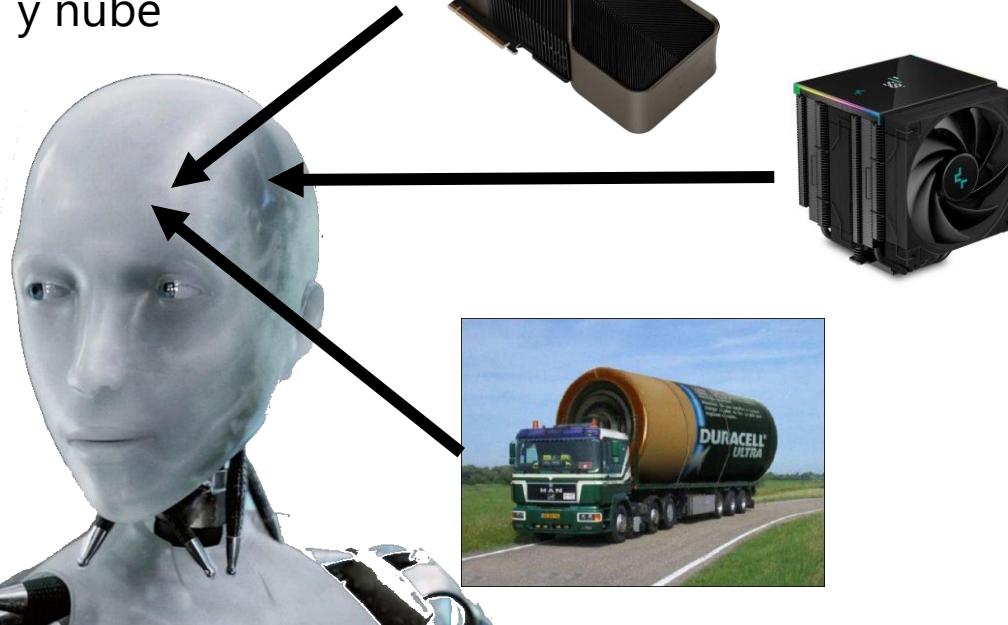


¡"Nuevas" tecnologías!

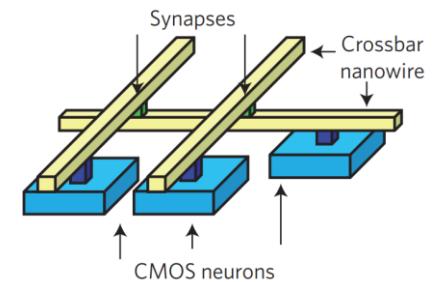
En particular, **memristores**



Paradigma actual: CMOS
y nube



Stoliar et al., A Leaky-Integrate-and-Fire Neuron Analog Realized with a Mott Insulator, 2017

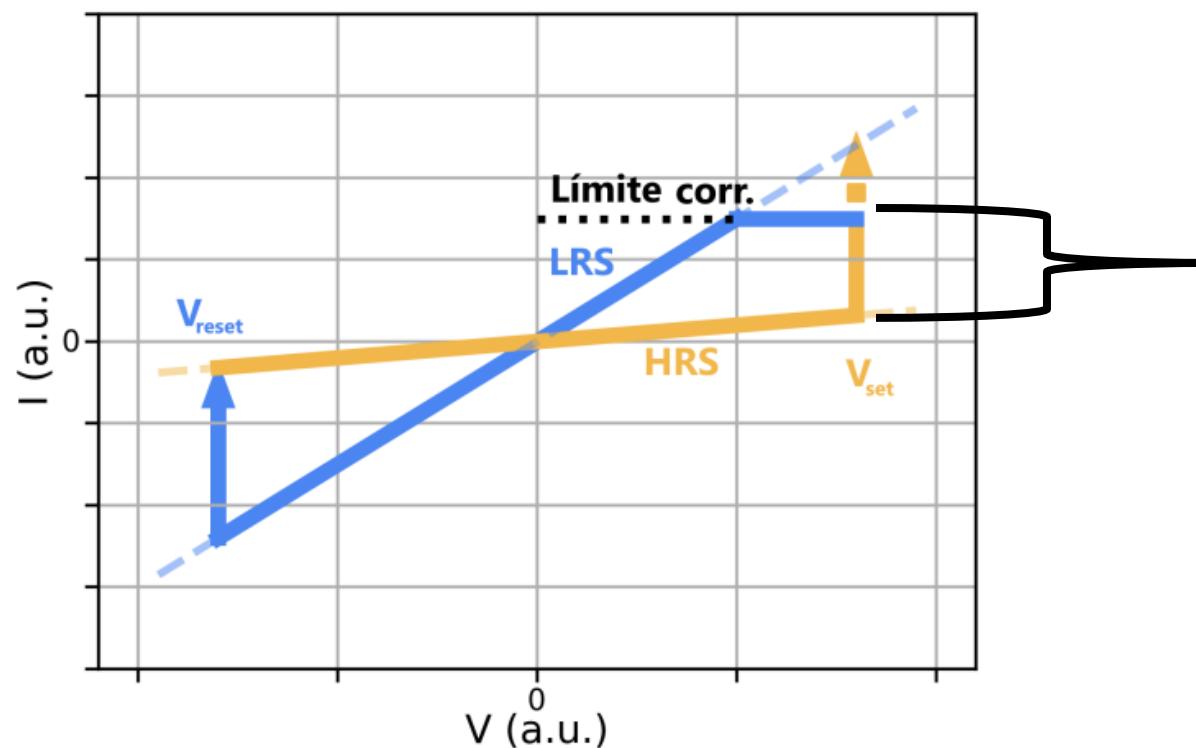


Yang et al., Memristive devices for computing, 2013

Introducción

Memristores y memristividad

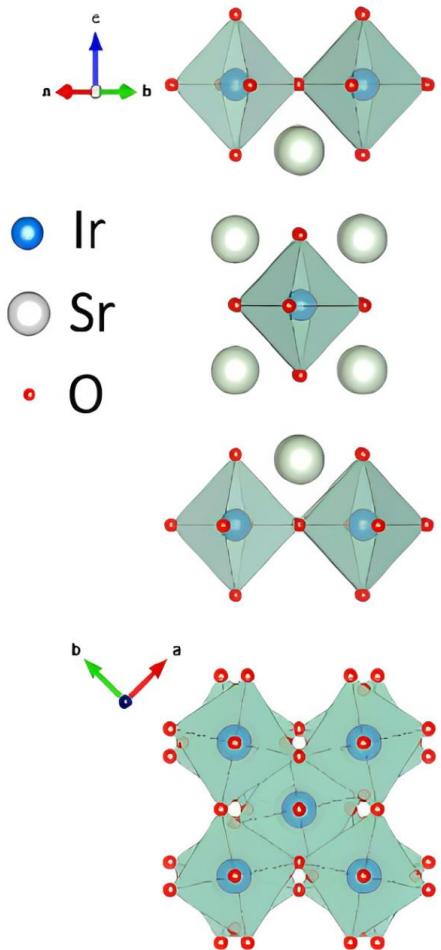
Memristividad → Memoria Resistiva



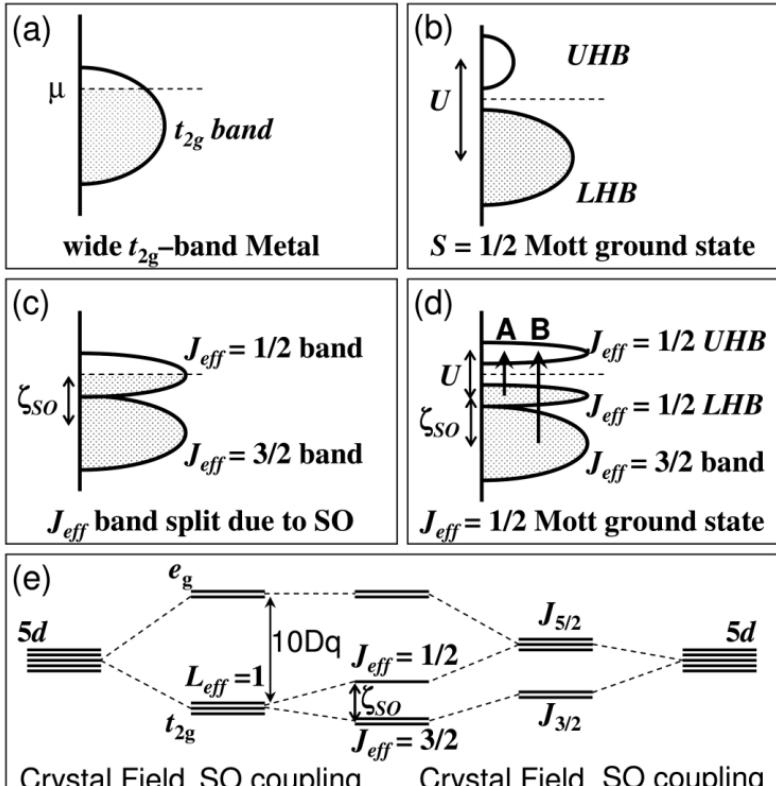
Comutación resistiva:

- Volátil: desaparece sin estímulo
- No volátil: no desaparece con sin estímulo

Sr_2IrO_4 (SIO)

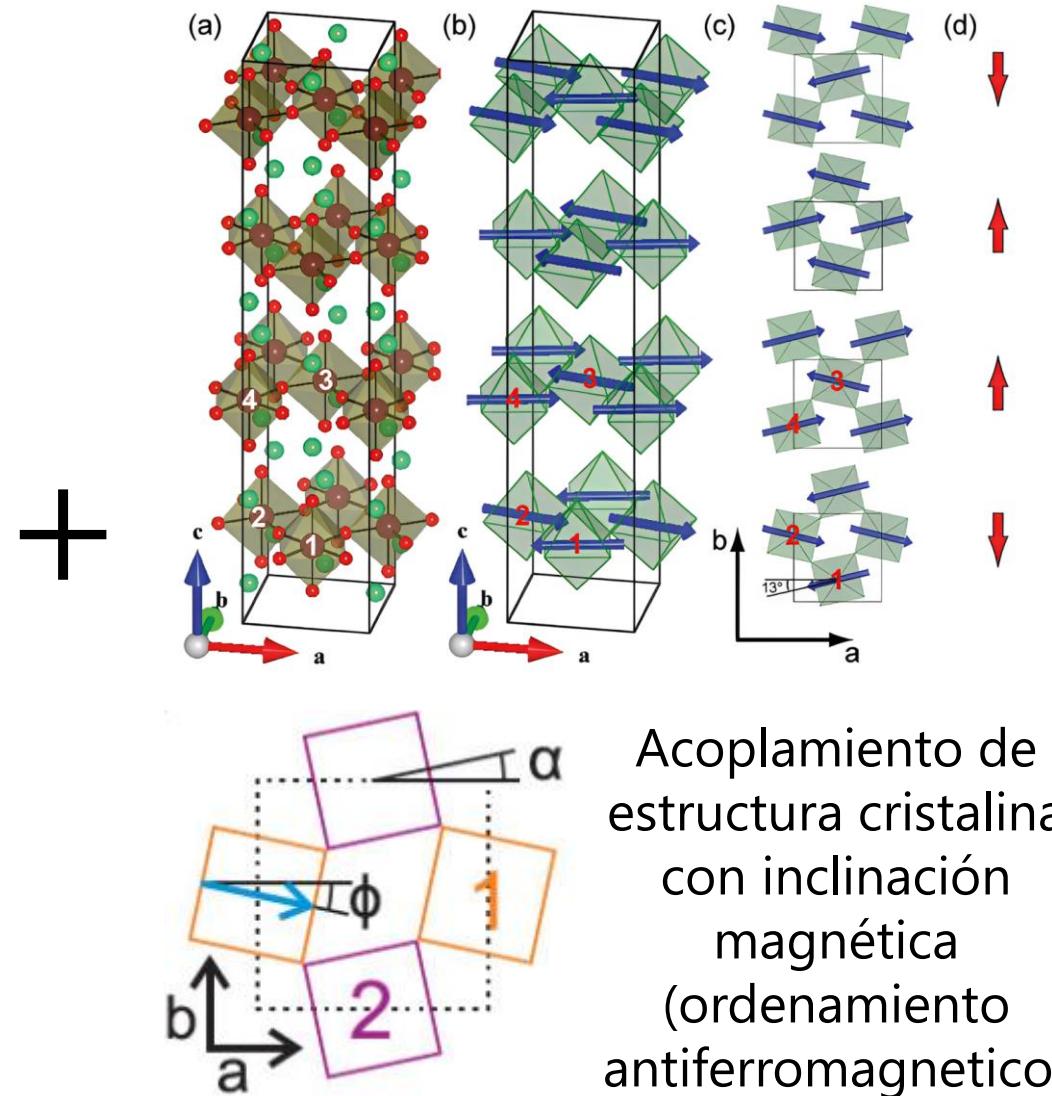


- Separación de orbitales d
- Iridatos del $5d$ → Fuerte SOC
- Correlación no despreciable
- Estado de Mott aislante!



Kim et al., Novel Jeff = $1/2$ Mott State Induced by Relativistic Spin-Orbit Coupling in Sr_2IrO_4 , 2008

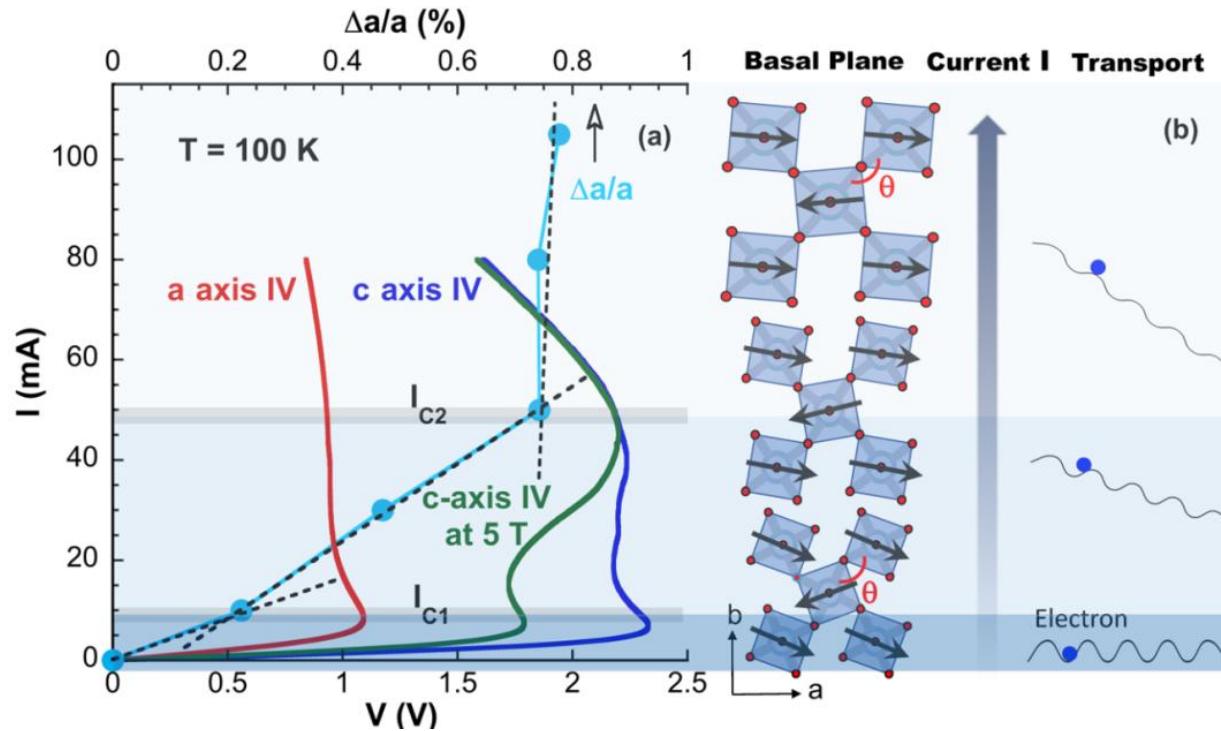
Cao et al., The challenge of spin-orbit tuned ground states in iridates: a key issues review, 2018



Antecedentes

Cao:

- Extensos estudios sobre la relación de conducción eléctrica, magnetización y temperatura
- Relación estructura-estímulo eléctrico

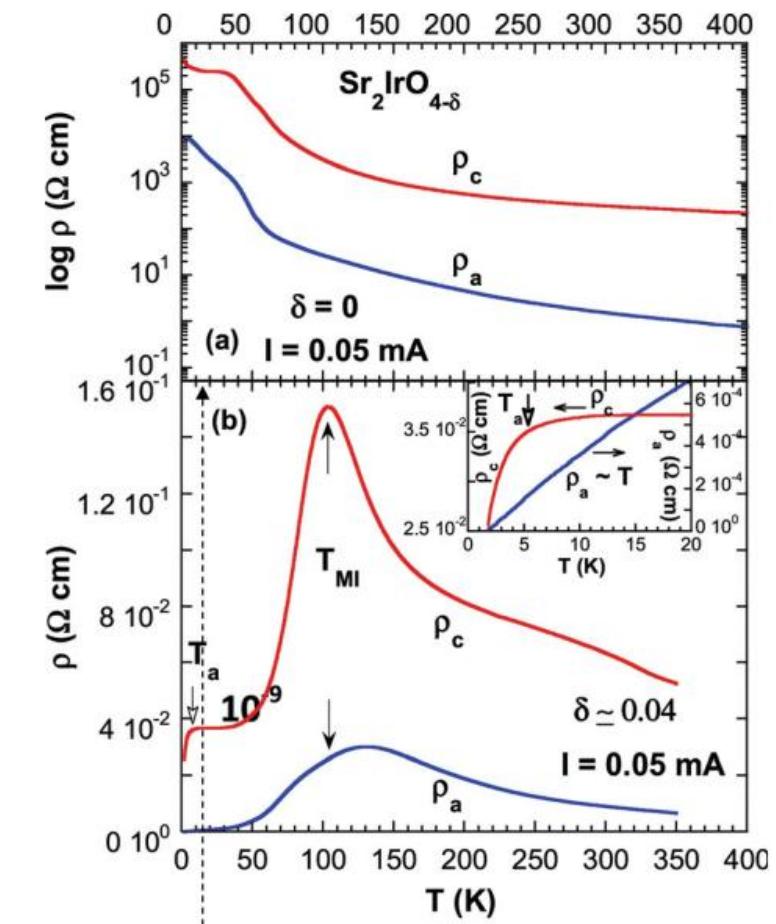


Cao et al., Electrical Control of Structural and Physical Properties via Strong Spin-Orbit Interactions in Sr_2IrO_4 , 2018

Qi:

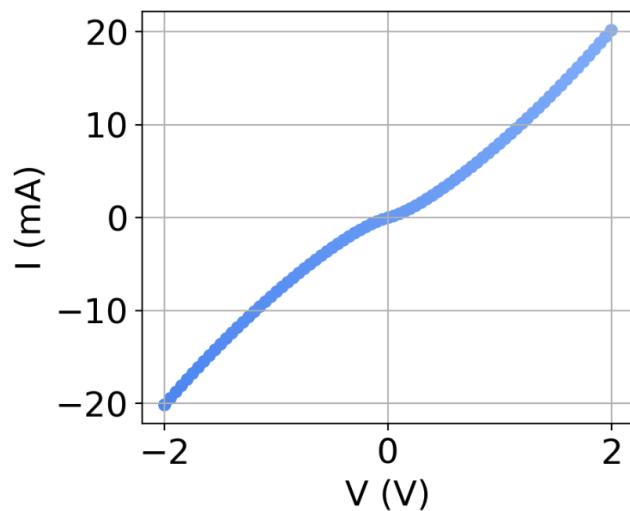
- Estados resistivos basados en vacancias

Qi et al., Electron doped Sr_2IrO_4 ($d = 0.04$): Evolution of a disordered Jeff 5 1/2 Mott insulator into an exotic metallic state, 2011



Exploración en corriente directa

Lecturas en 2W (contactos)
y 4W (*bulk*)

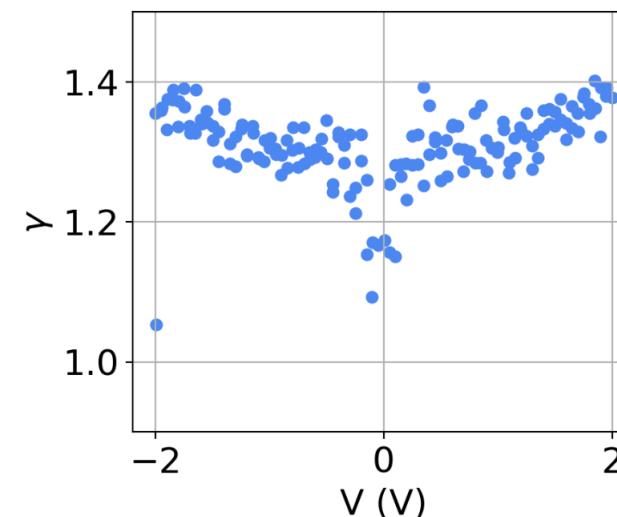
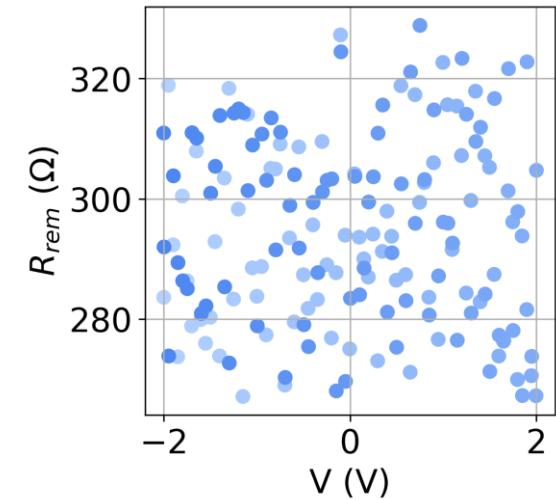
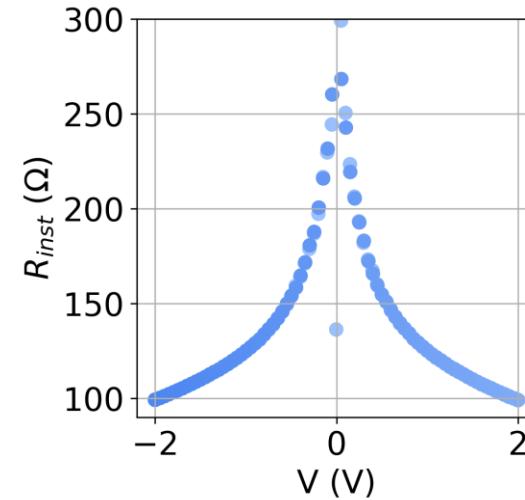


- Evolución resistiva
- Estados remanentes
- Transiciones

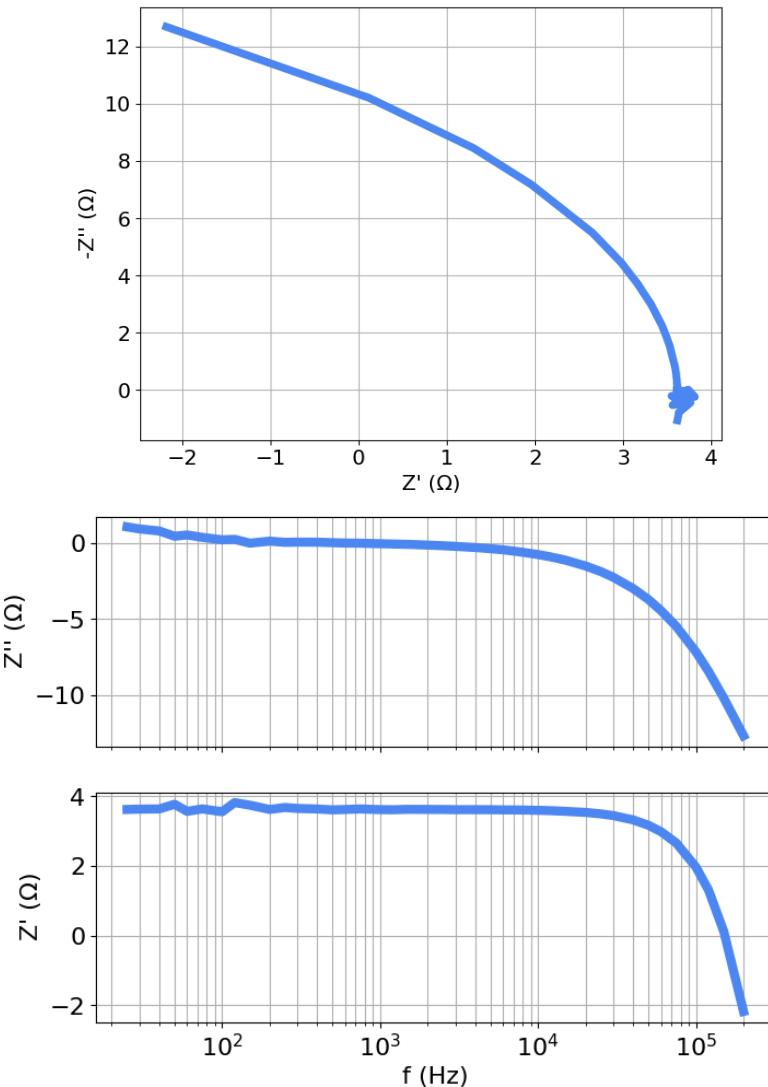
$$R = \frac{V}{I}$$

- Mecanismos de conducción

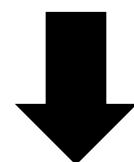
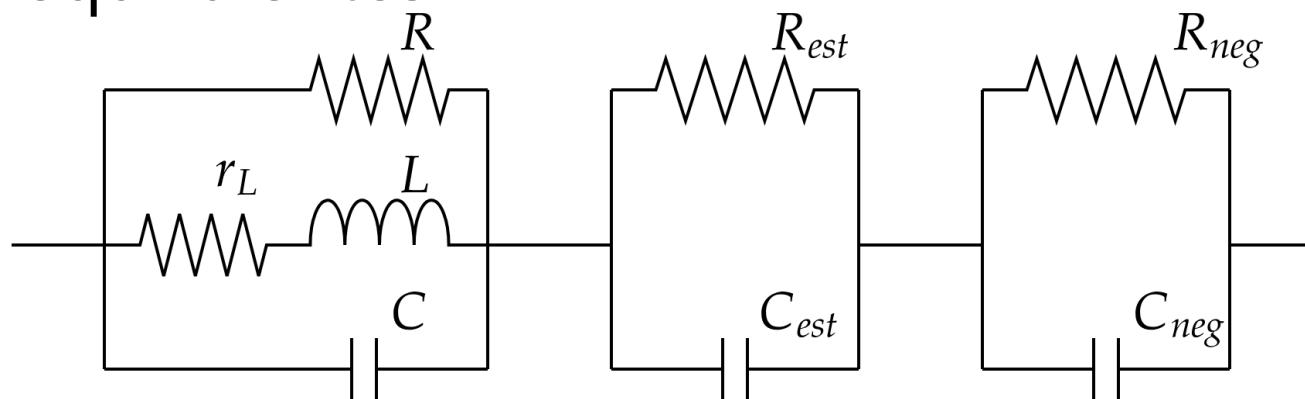
$$\gamma = \frac{d[\ln(I)]}{d[\ln(V)]}$$



Respuesta alterna particular



Modelado de circuitos equivalentes



Inductancia química (o
capacitancia negativa)



Resistencia diferencial
negativa (NDR)

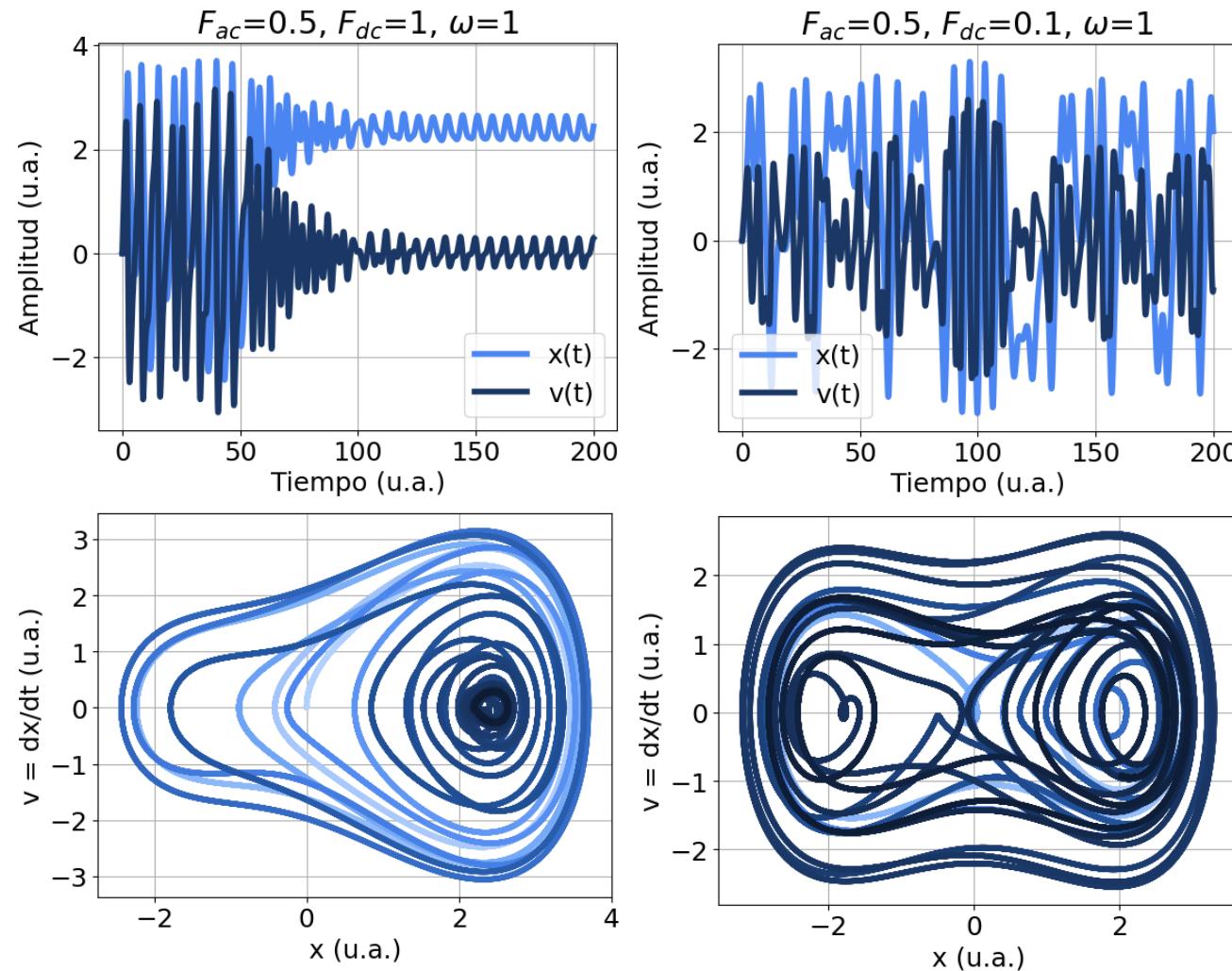
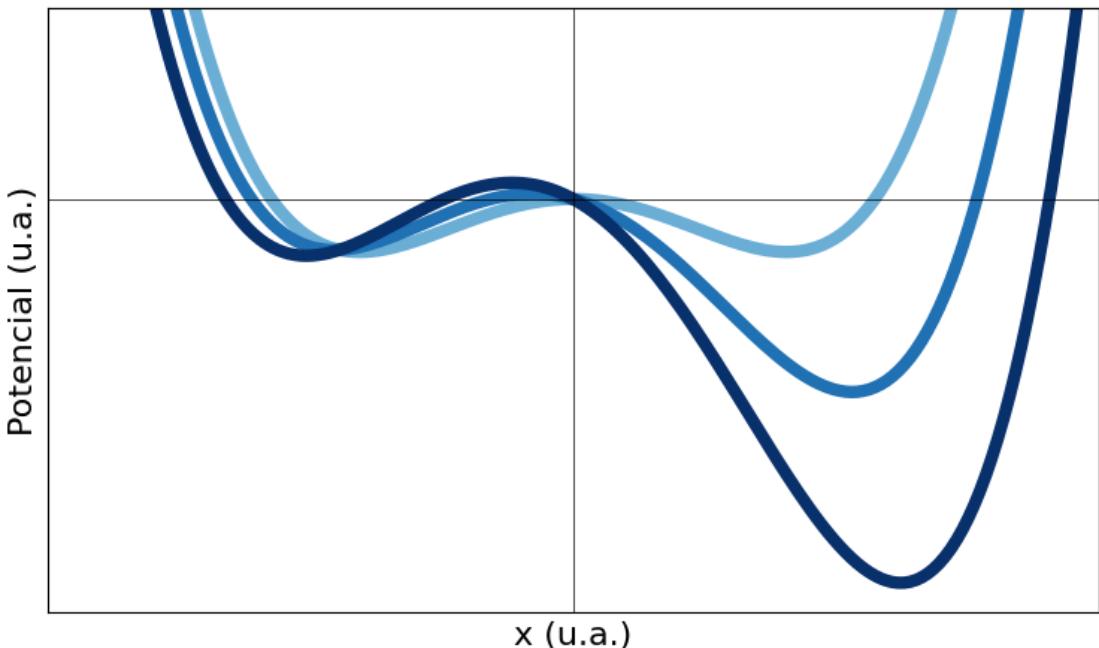
Ecuación de Duffing

Comportamientos dinámicos:

$$\ddot{x} + \delta \dot{x} + \alpha x + \beta x^3 = \gamma \cos(\omega t) + F_{DC}$$

(Ecuación de Duffing)

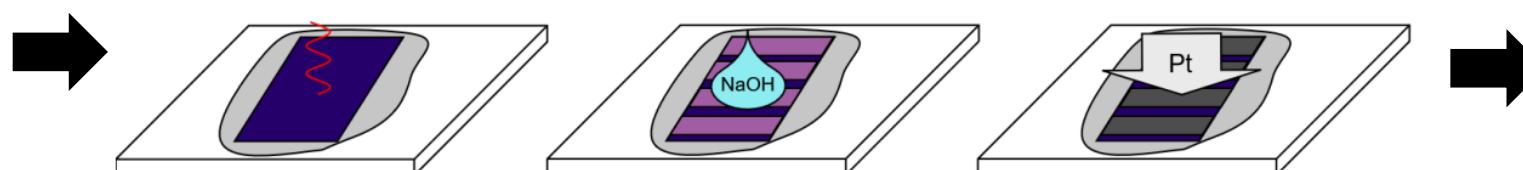
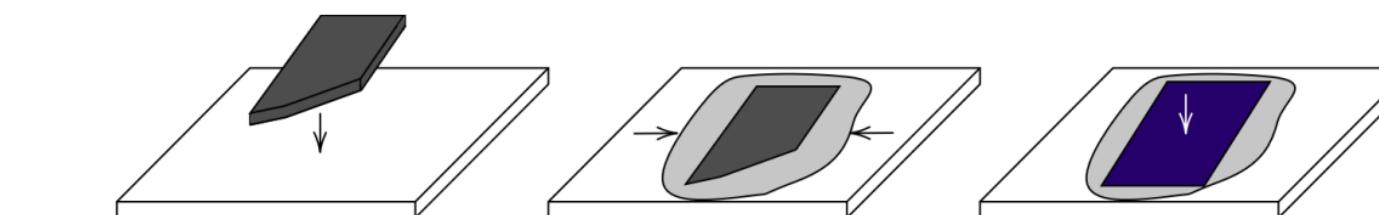
J. M. T. Thompson et al., Nonlinear Dynamics and Chaos , 2002 (o muchos libros de dinámica no lineal)



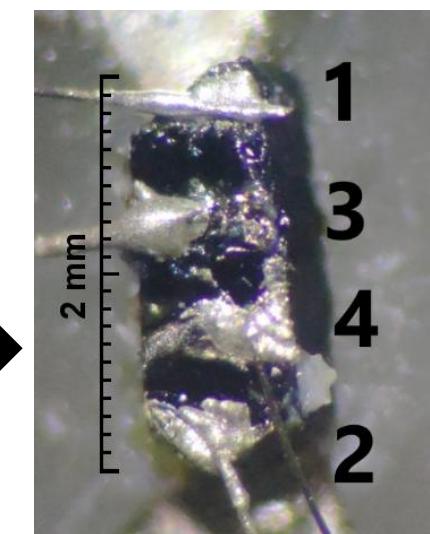
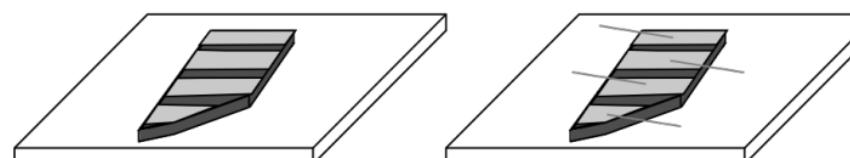
Detalles experimentales

Cristal y contactos

Provisto por el
Laboratorio de Física de
Sólidos, C.N.R.S., U. París-
Sur

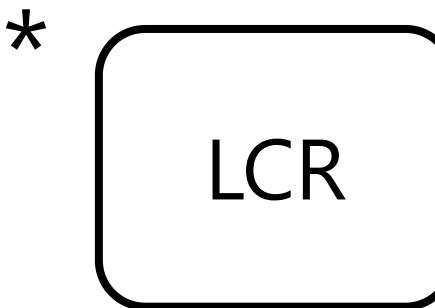
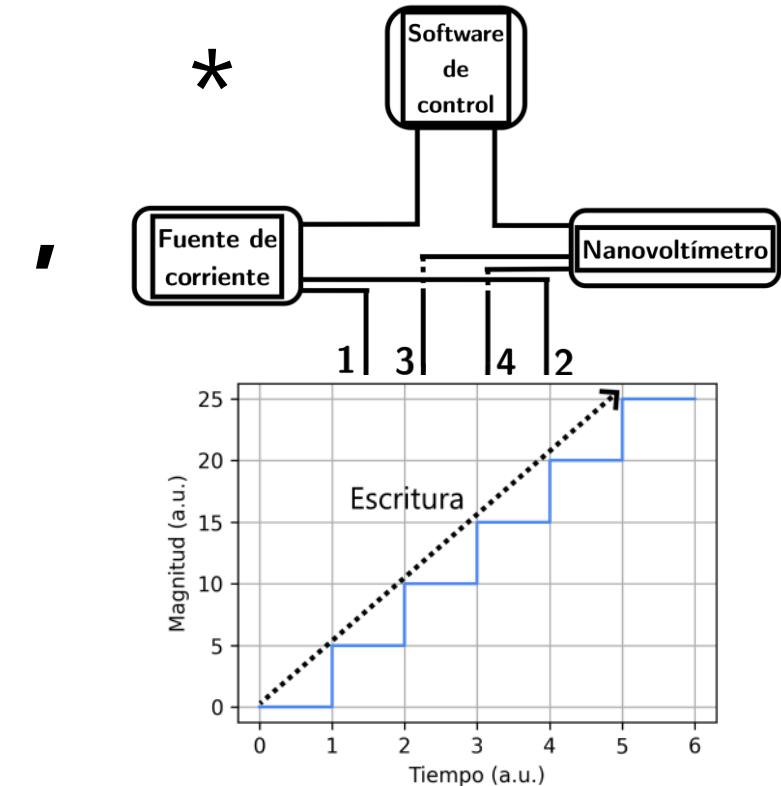
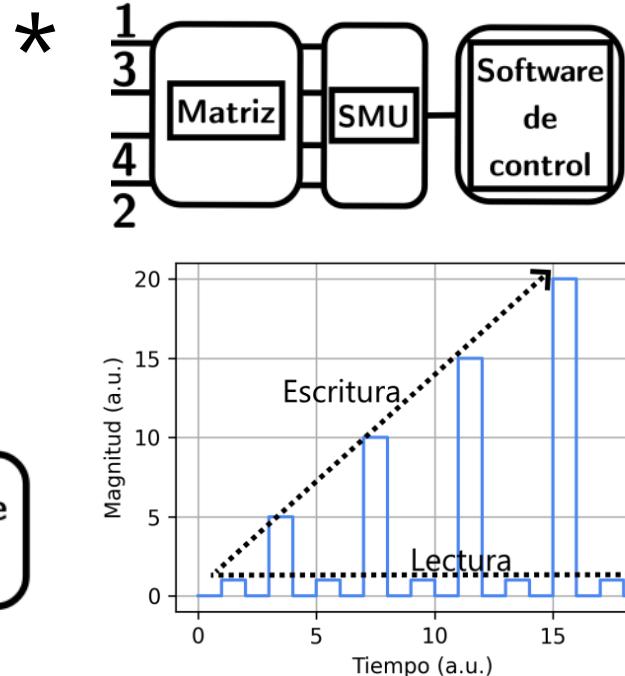
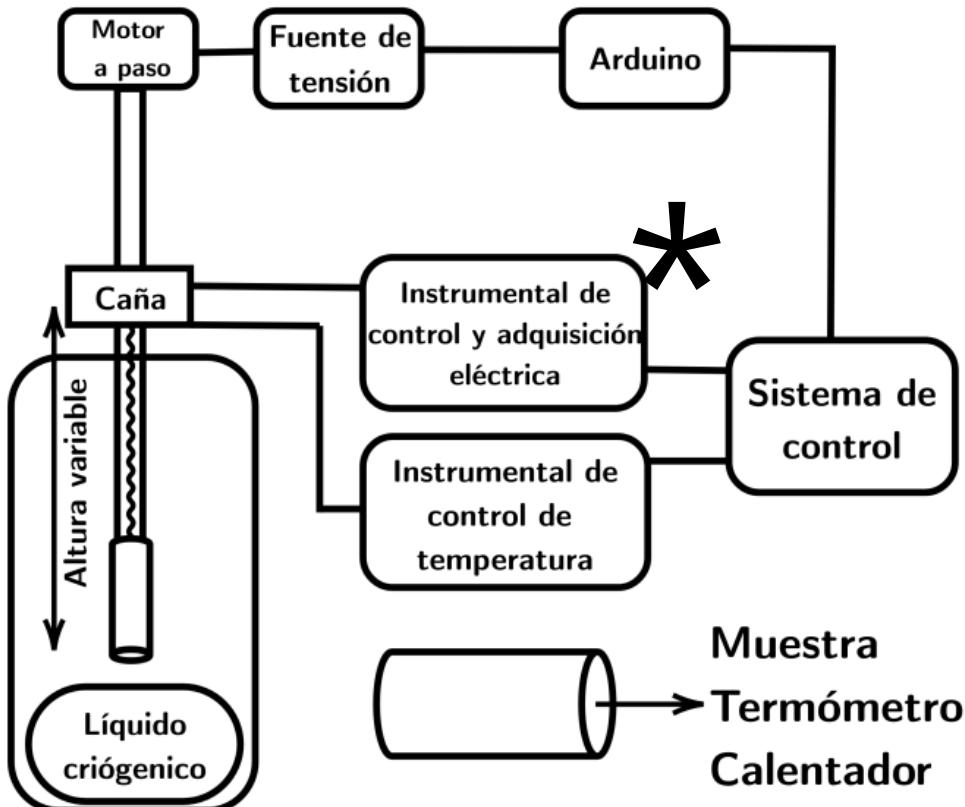


X5
(2mm x 0.6mm x 0.3mm)



Epoxi de plata
Cables de platino de
0.03mm
0.4mm entre contactos

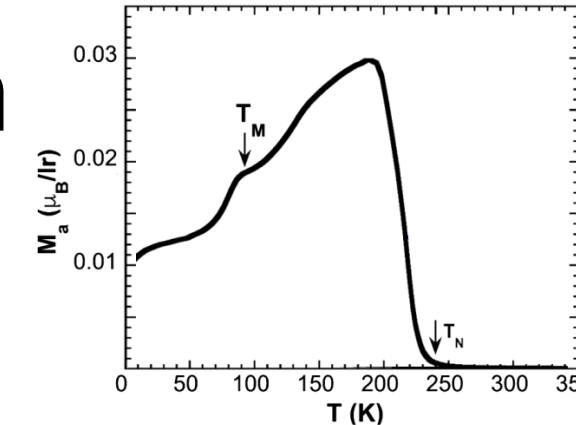
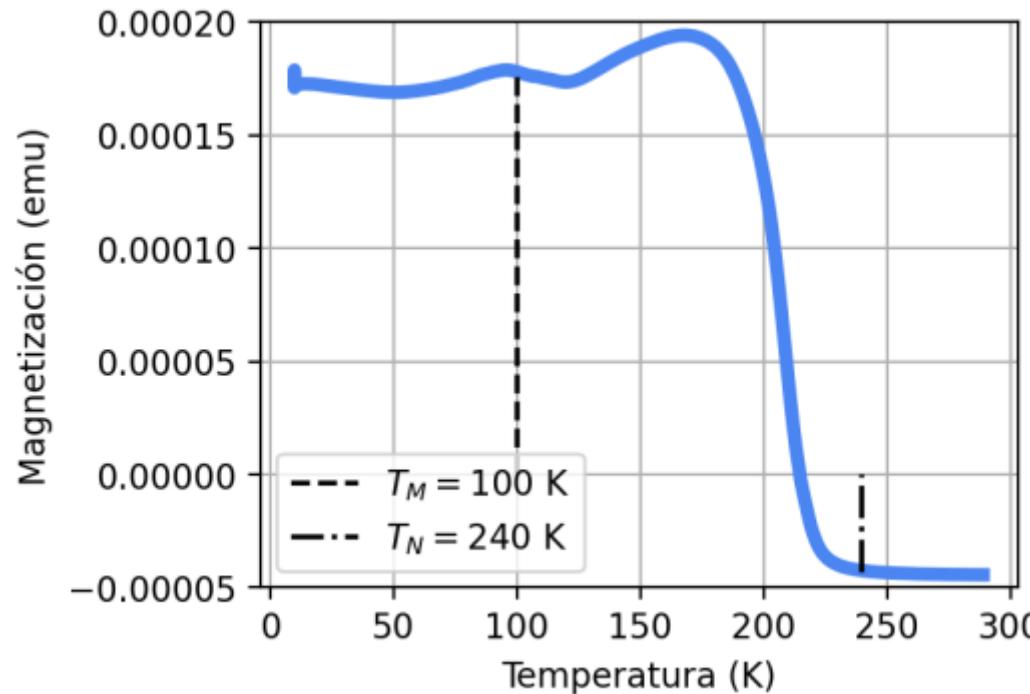
Dispositivos, equipamiento y técnicas



Compara un estímulo sinusoidal con su respuesta $\rightarrow Z, \theta$ (R, X) en función de ω, V_{ac}, V_{dc}

Resultados y discusión

Caracterización magnética



- Gran acuerdo con trabajos de referencia
- Diferencias → anisotropía, defectos

T_N : Temperatura de Néel (~ 240 K), ordenamiento antiferromagnético

T_M : Anomalía en magnetización (~ 100 K)

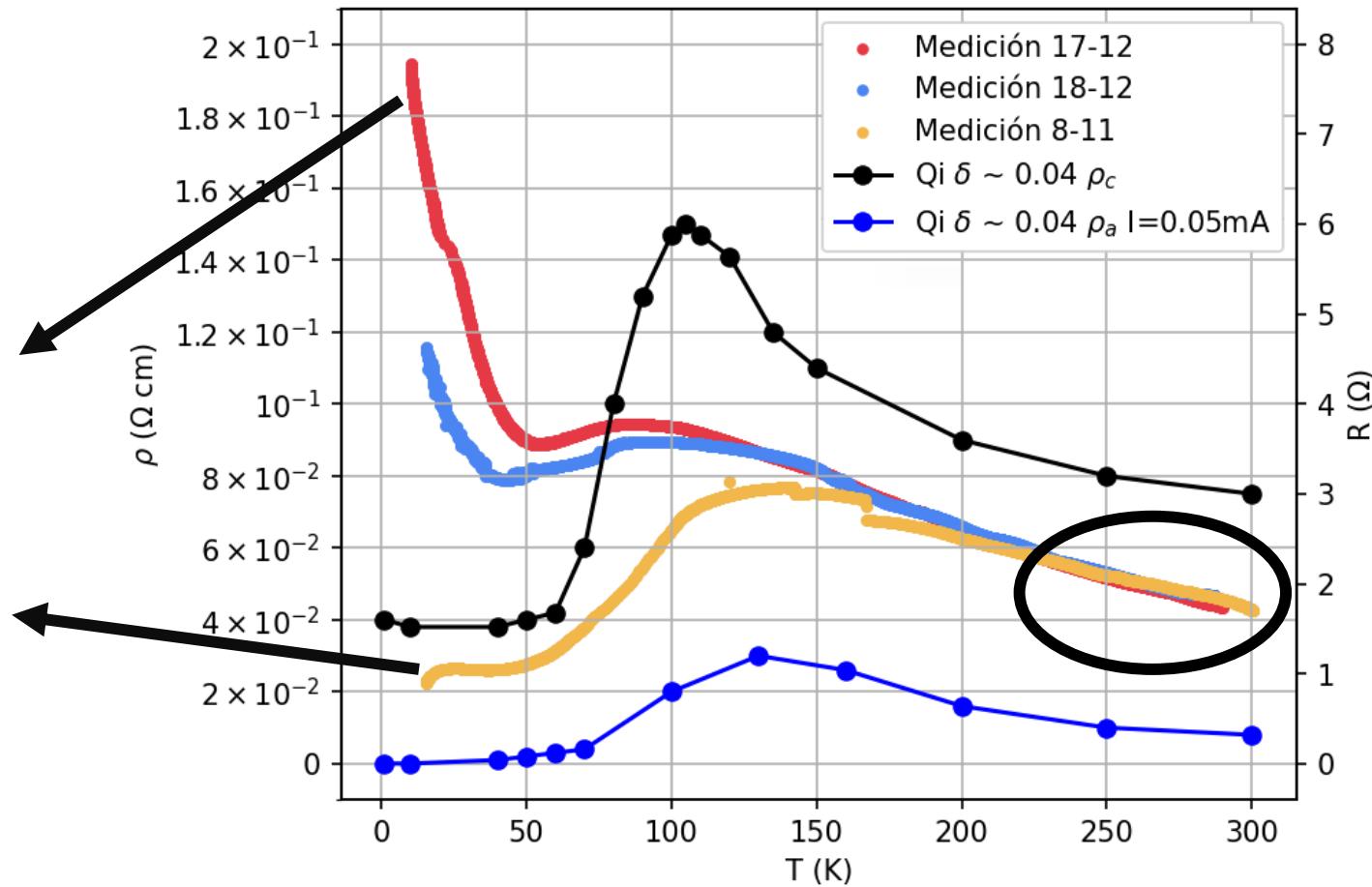
Resistividad a 4W

$Sr_2IrO_{4-\delta}$

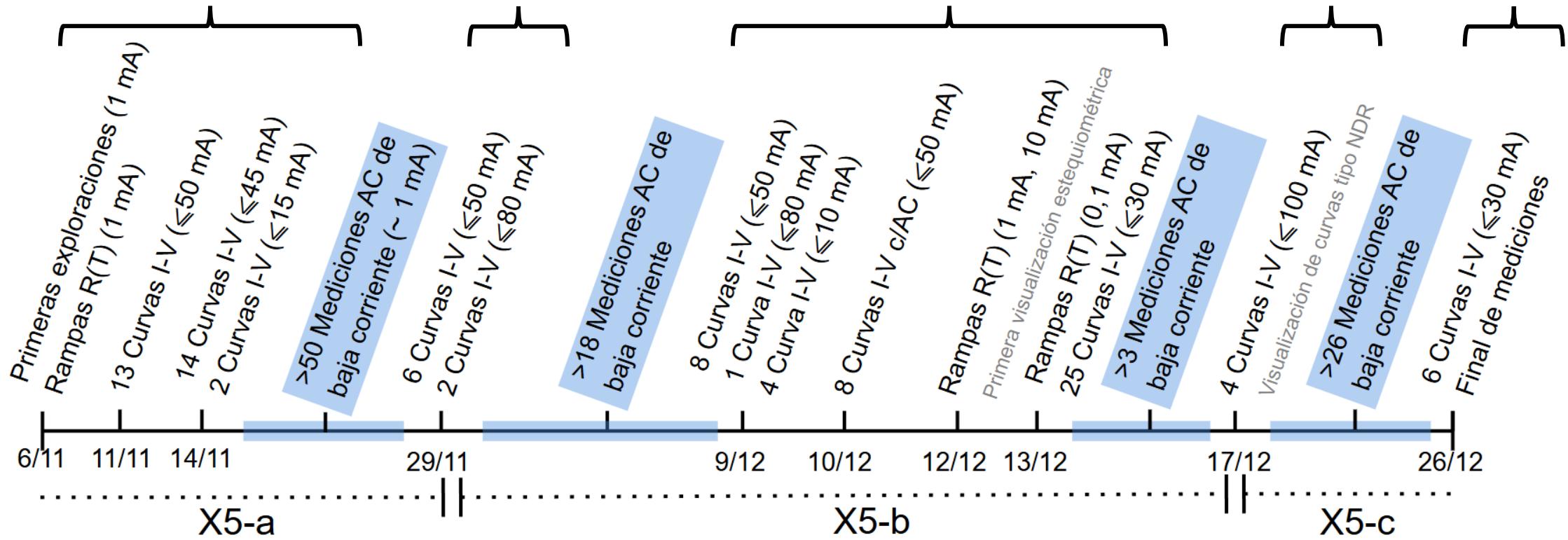
$\delta \rightarrow 0$
(semiconductor)

$\delta \sim 0.04$
(metal-aislante)

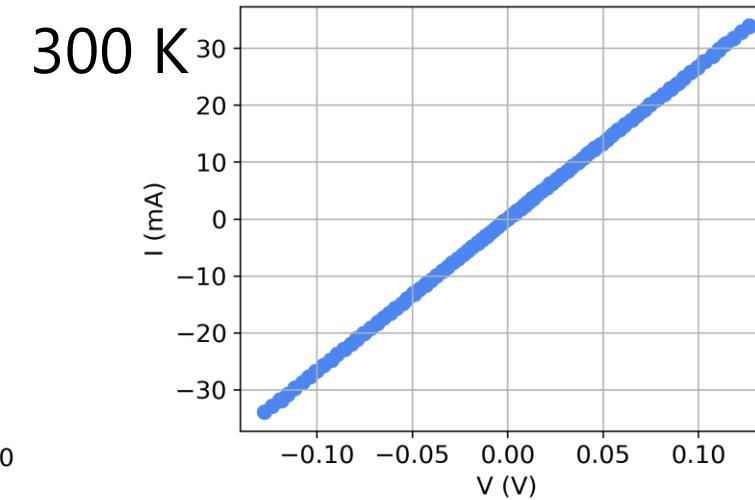
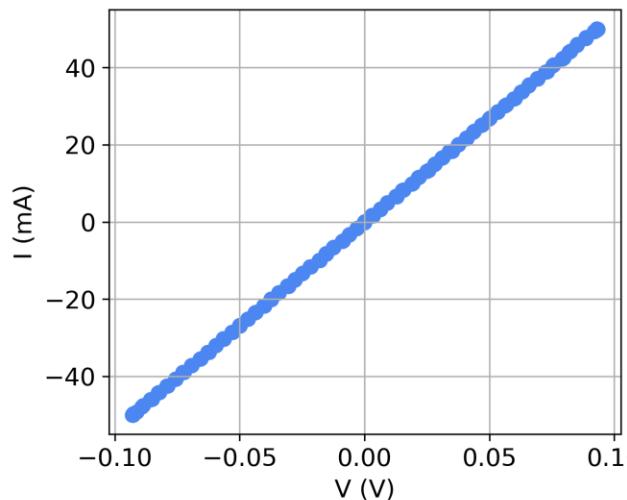
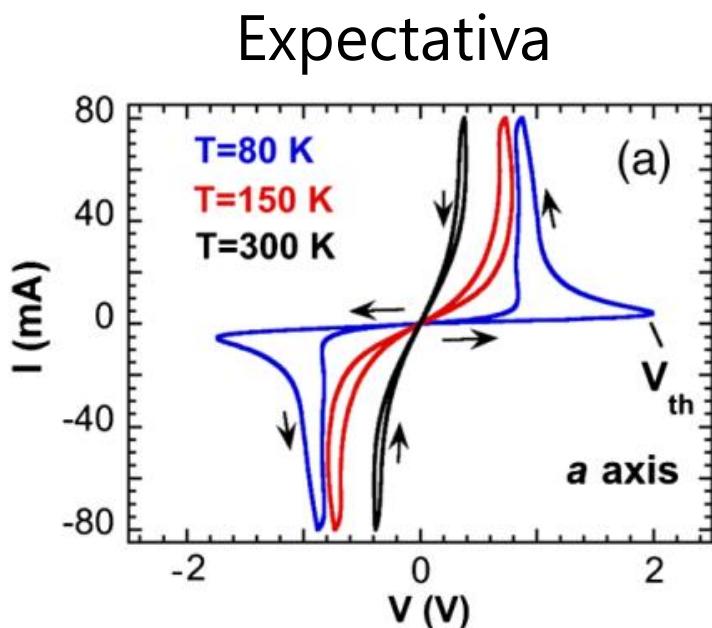
¿Transición?



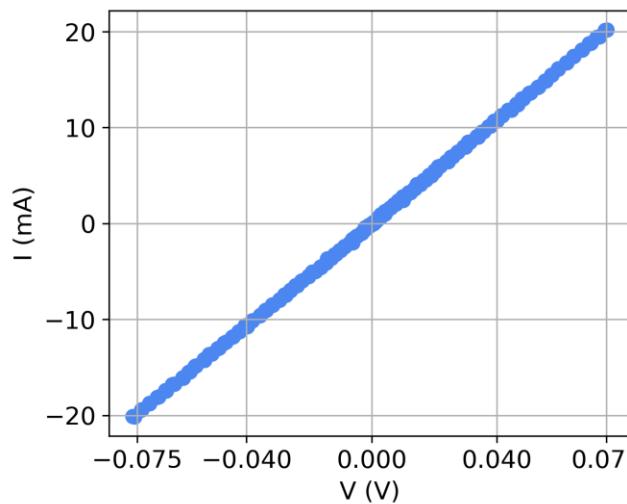
Línea temporal



Curvas I-V a 4W en X5-a



130 K

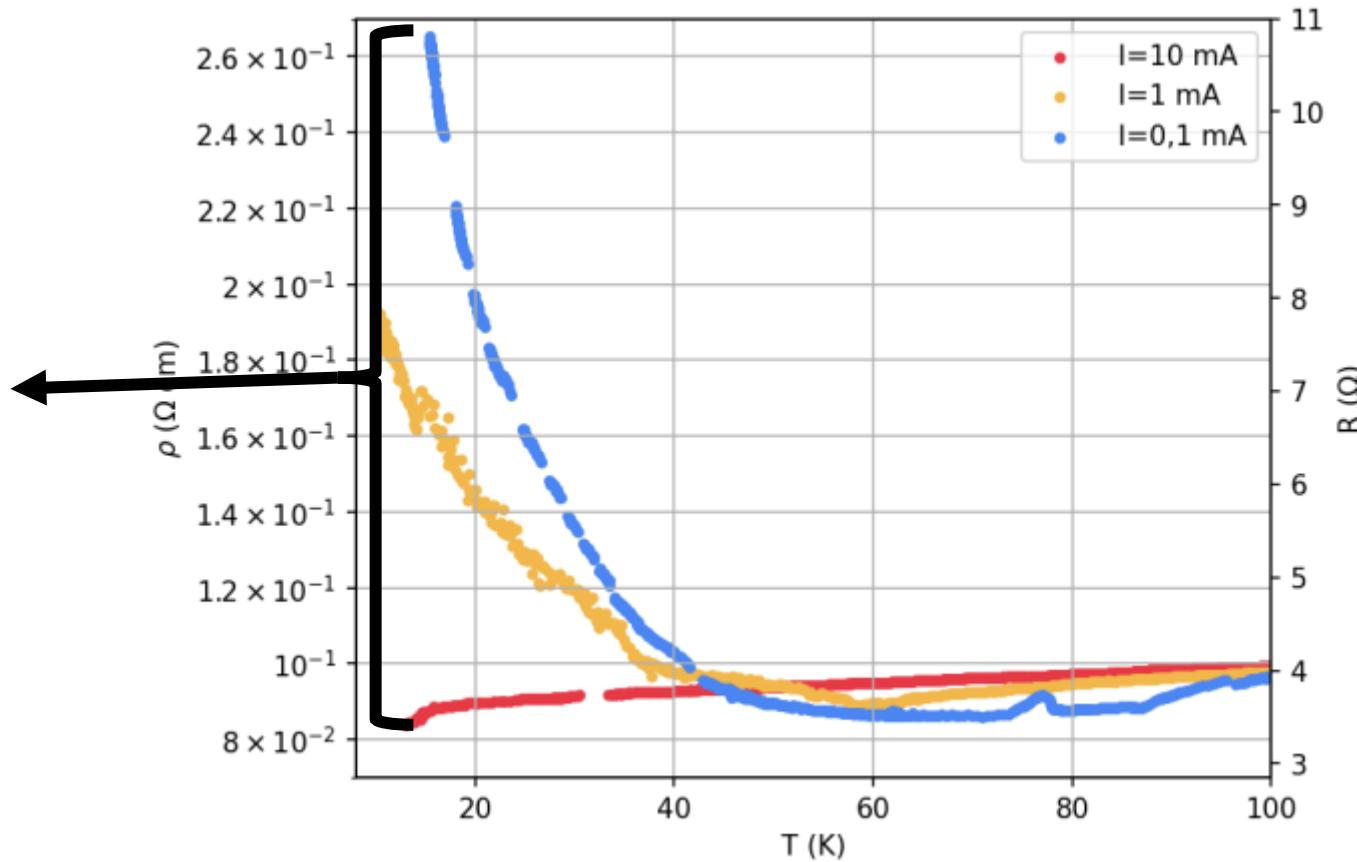


85 K

Curvas óhmicas
X5-b dio igual, hasta 85 K

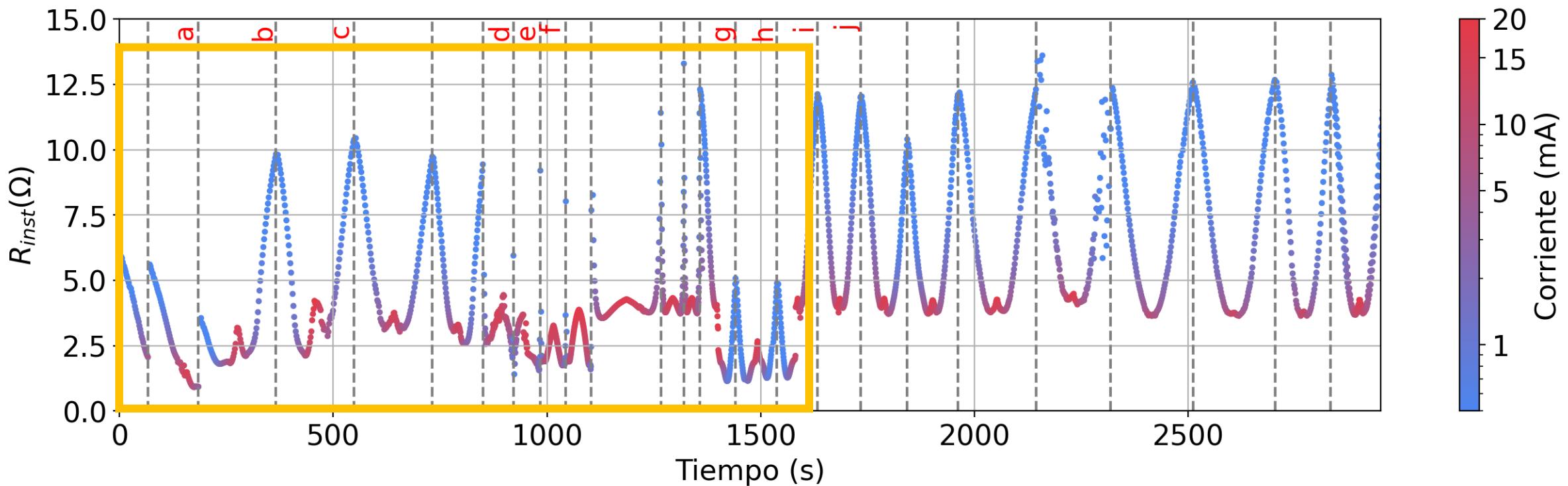
Resistividad no-lineal en X5-b

X5-b tiene una respuesta fuertemente no-lineal! (a $T < 60$ K)

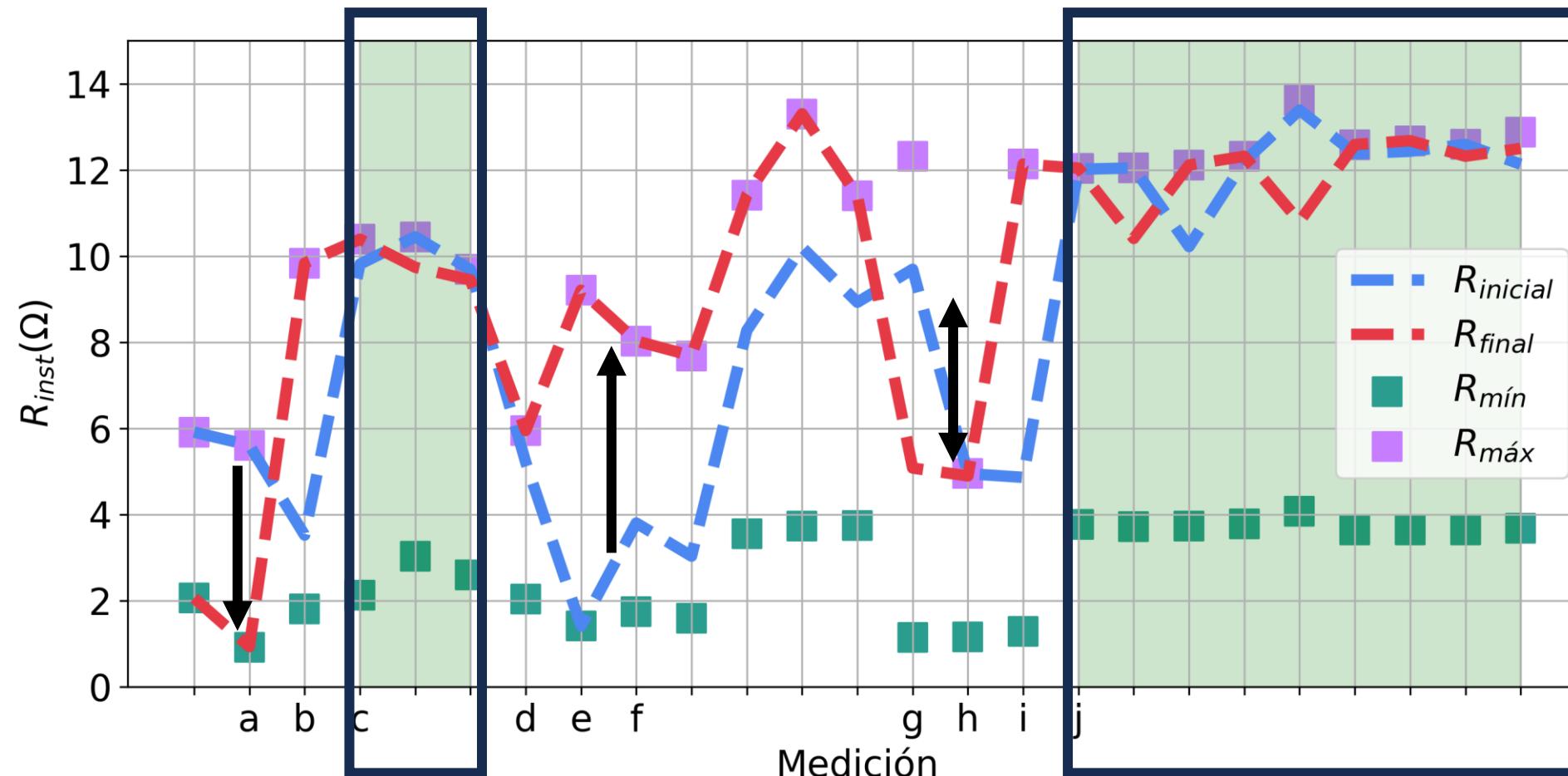


X5-b: no-linealidad y memoria

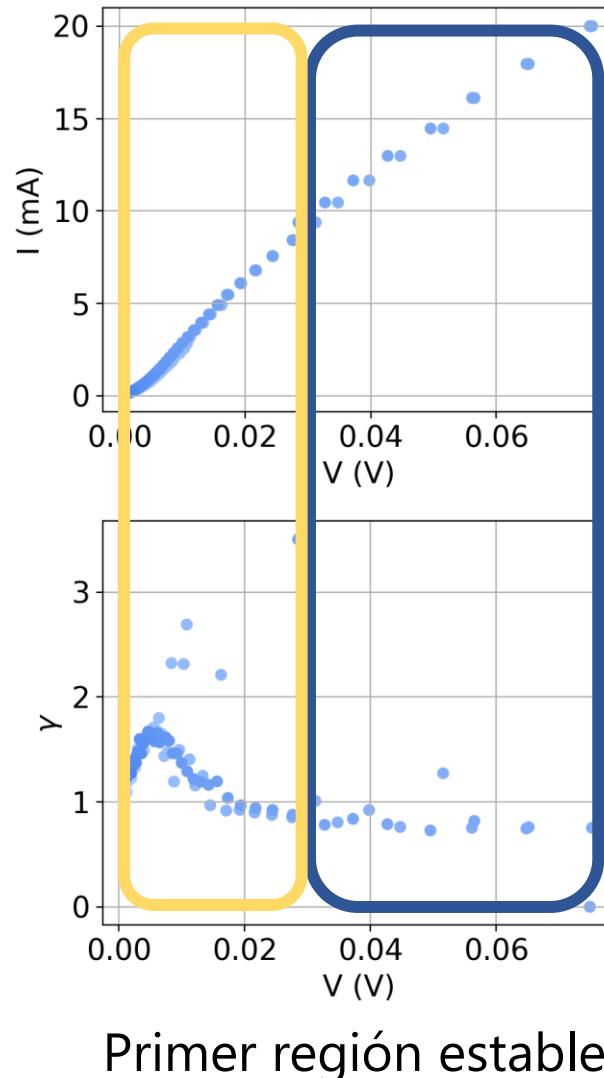
Los estudios a $T \leq 60 K$ traen novedades



Commutación aleatoria (volatilidad y no volatilidad)

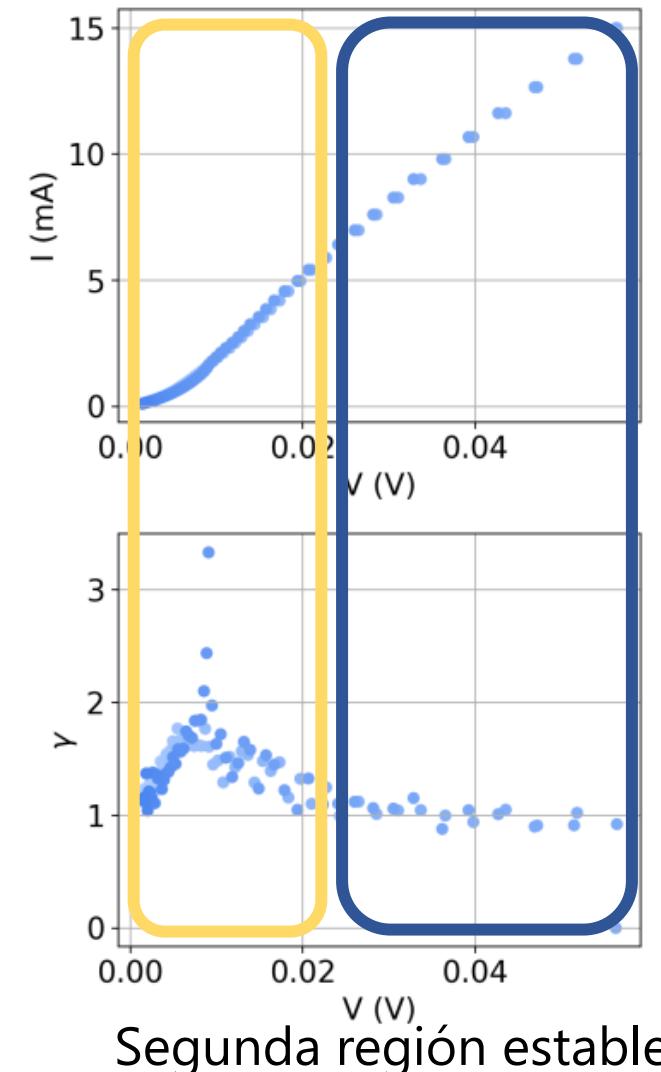


Mecanismos de conducción: NL + óhmico

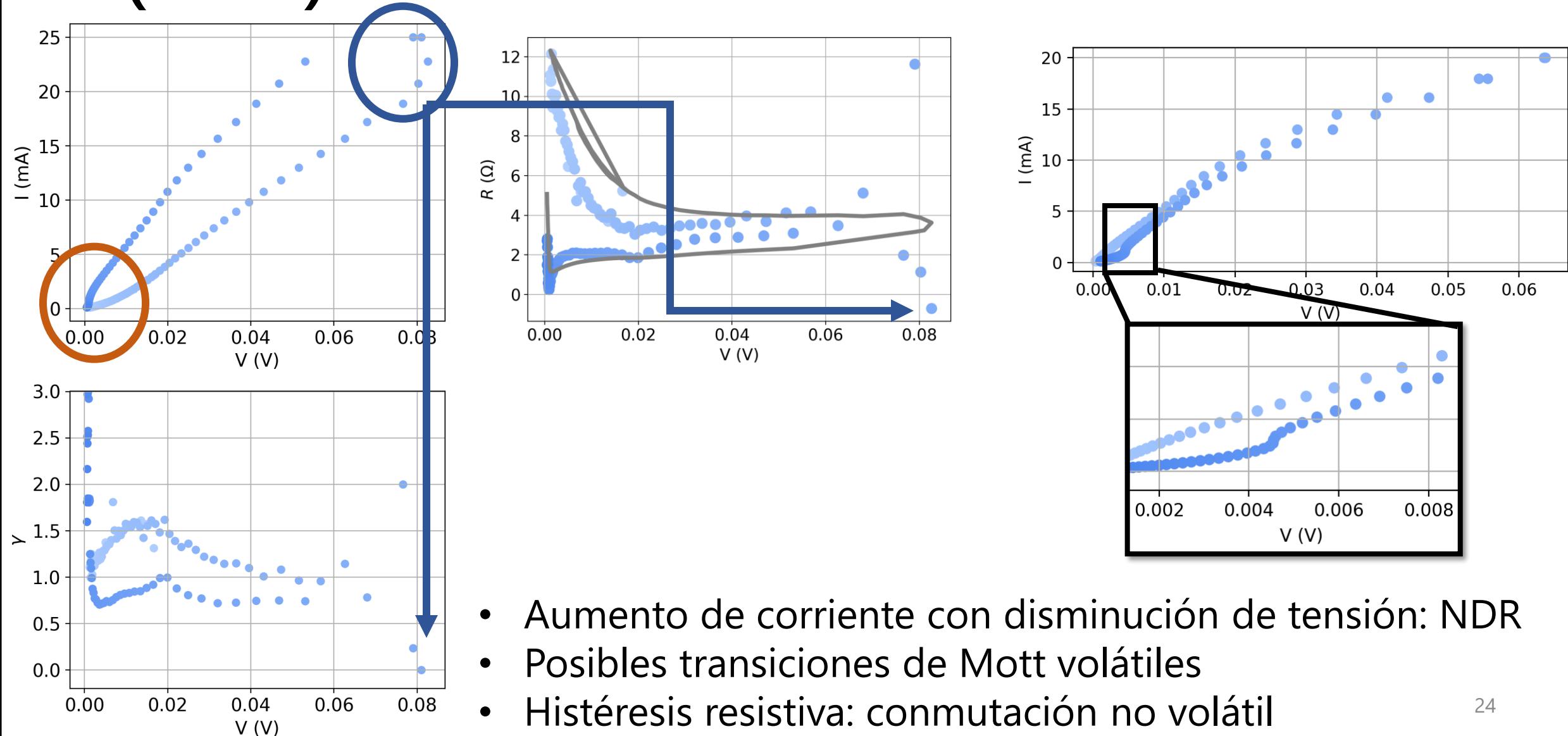


- Comportamiento NL a baja I (V)
- Conducción con limitante óhmico a mayor I (V)
- Asociación de oxigenación (parcial) ($\gamma < 1$) a alta I (V)

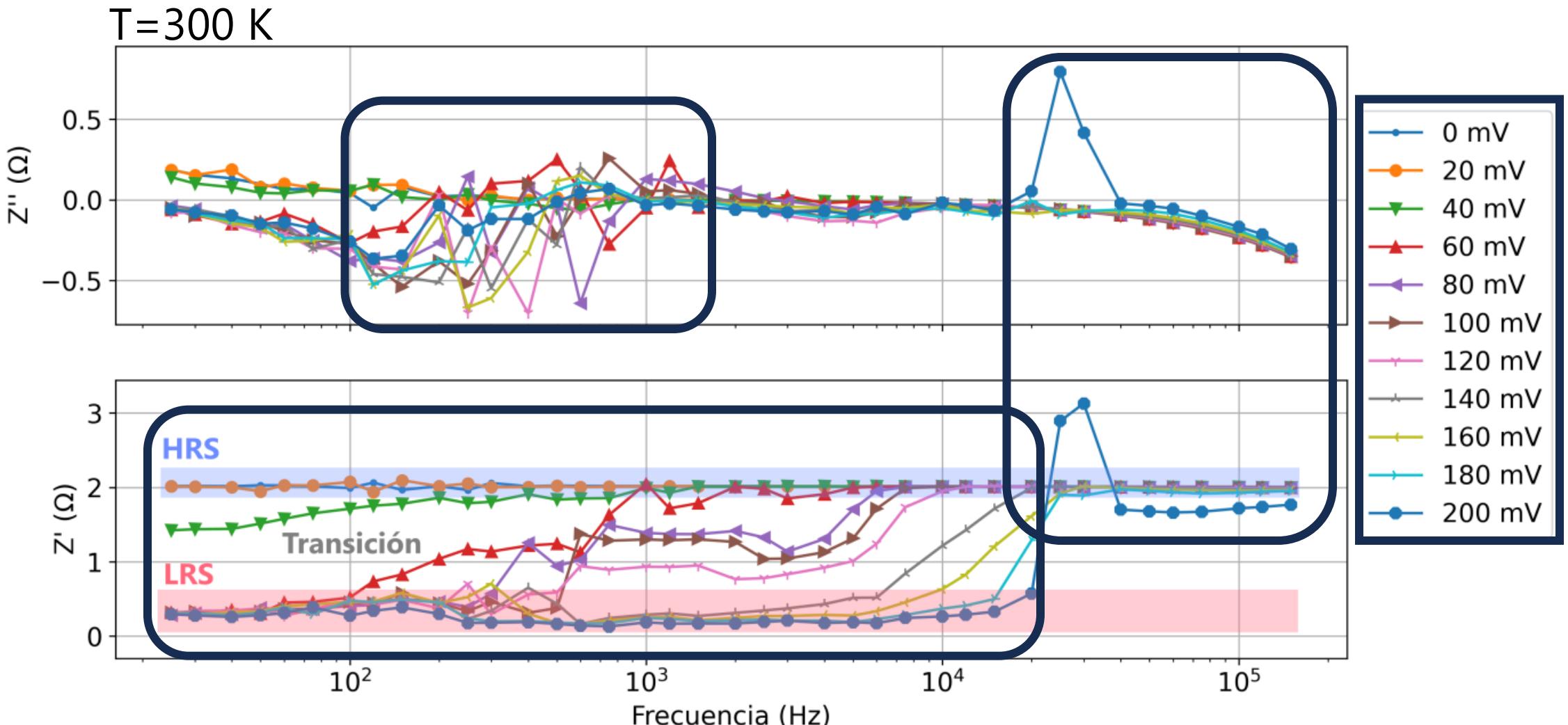
Resultados novedosos!



IVs complejas: no-linealidad y transiciones (NDR)



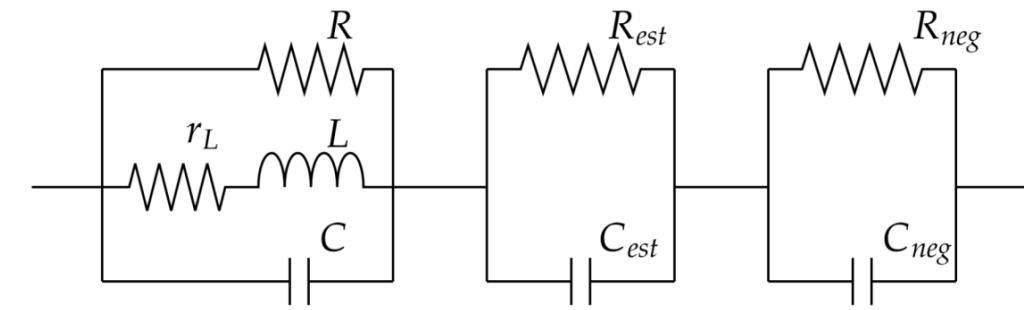
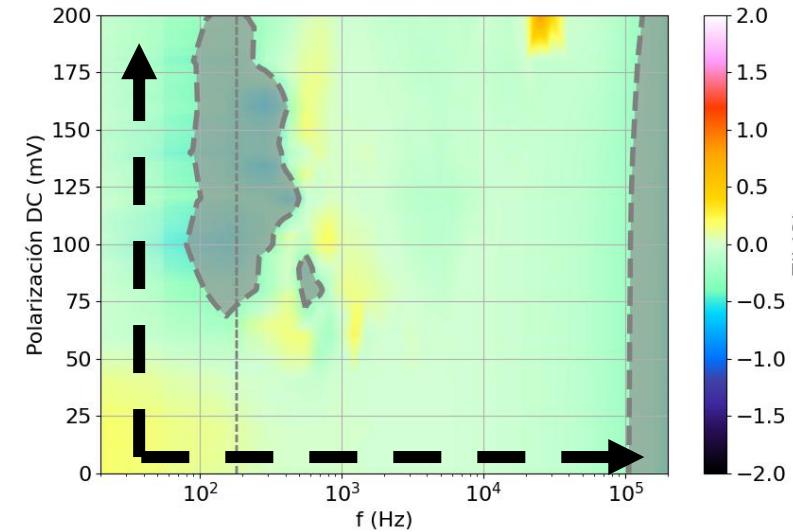
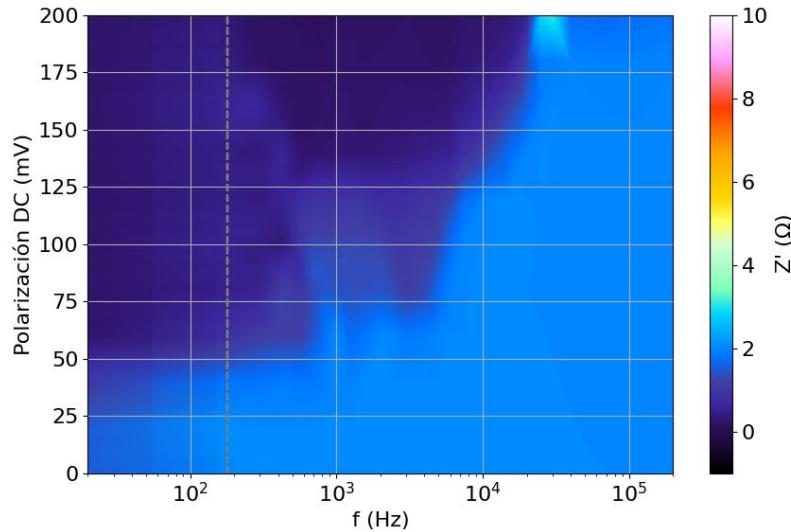
Exploraciones en corriente alterna (4W)



Evolución en temperatura de las EI 4W en X5-a

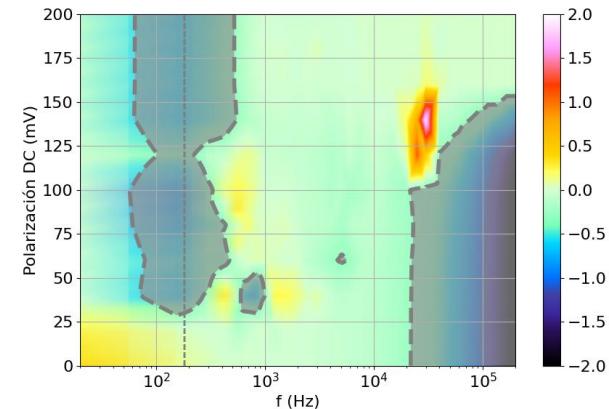
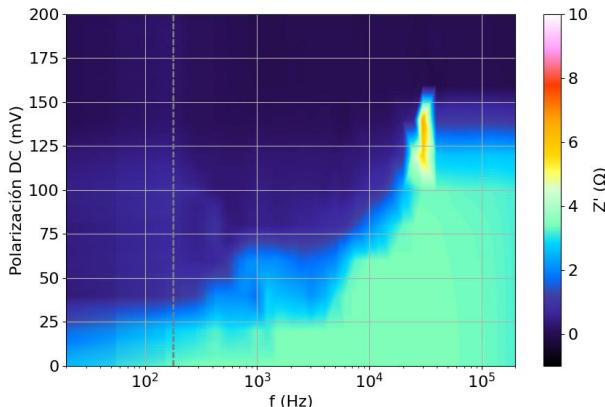
- Dos estados: HRS y LRS \rightarrow nos concentraremos en $V_{dc} = 0$
- Inductancia a capacitancia con f, V_{dc}

300 K

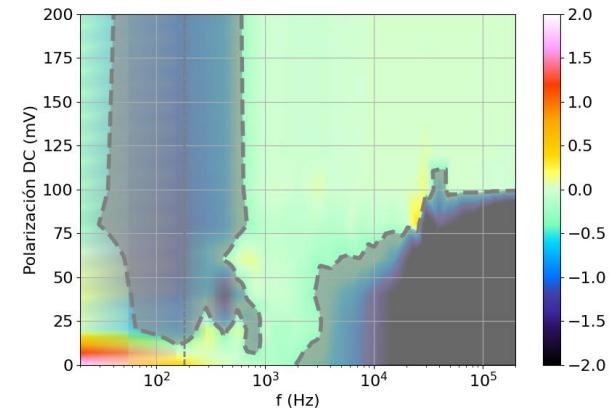
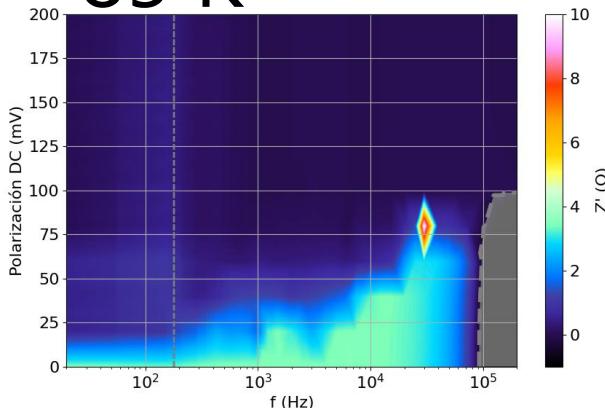


Evolución en temperatura de las EI 4W en X5-a (cont.)

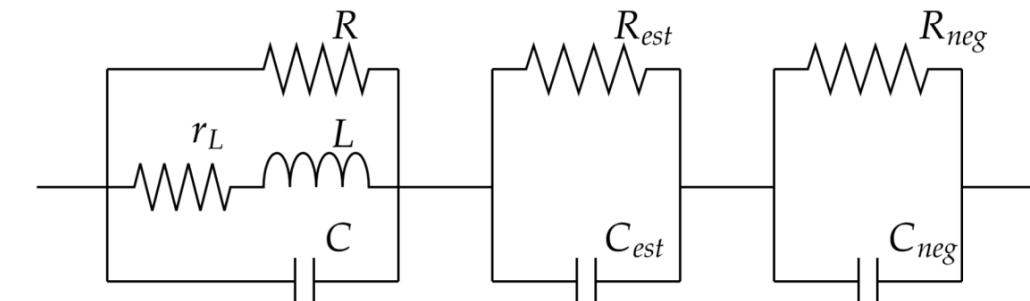
160 K



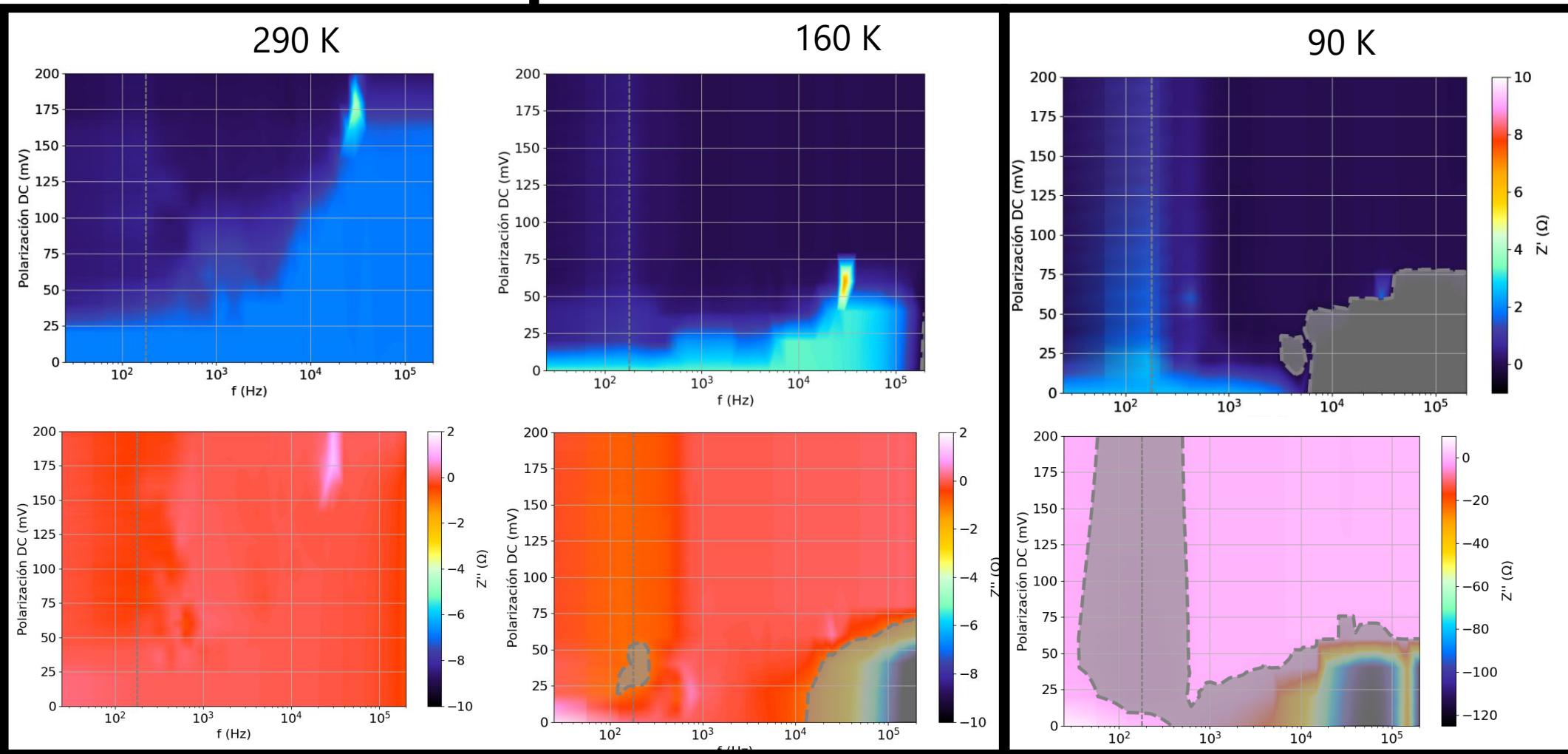
85 K



- Aumento de resistencia en HRS consistente con la $\rho(T)$
- Cambios en la importancia de los bloques por el $\tau(R)$
- Baja $T \rightarrow$ sube R y toma relevancia el bloque de "resistencia negativa"



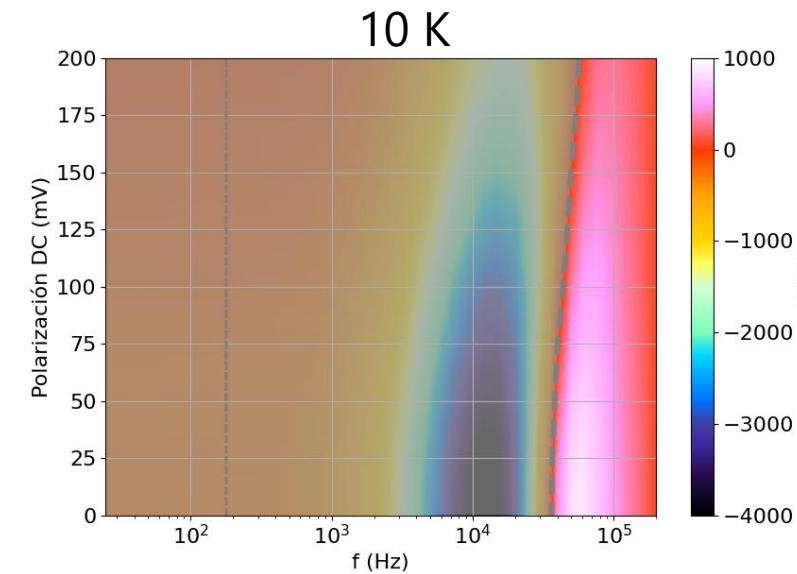
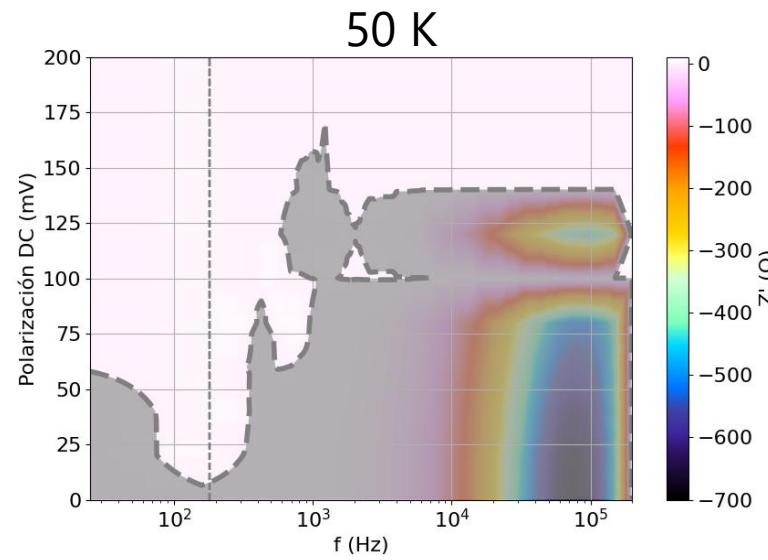
Evolución para X5-b



Hasta $\sim T_{MI}$ no cambia mucho la respuesta

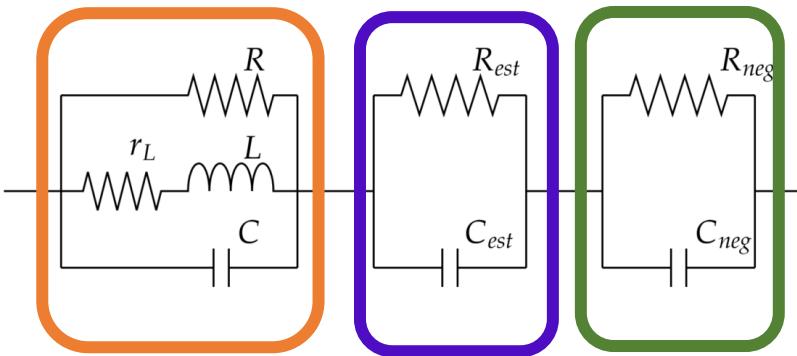
Por debajo ya aparecen diferencias 28

X5-b a temperaturas muy bajas

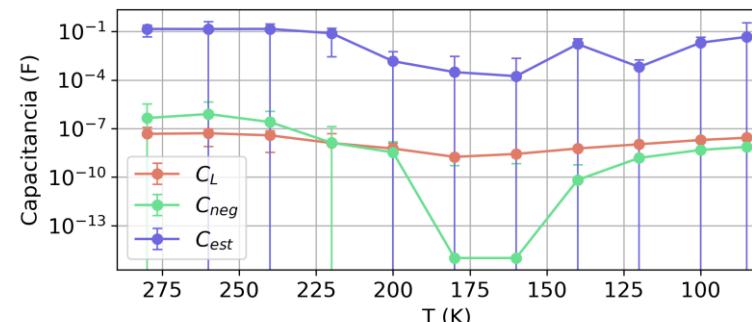
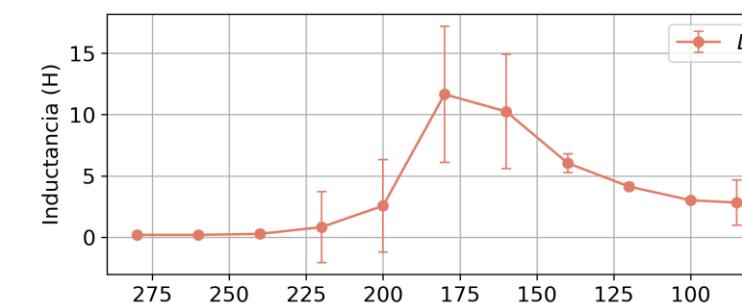
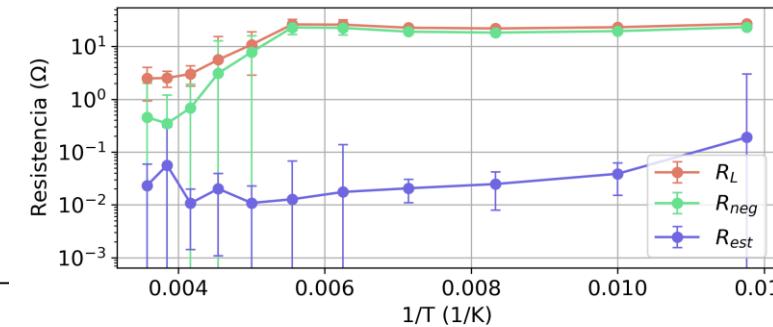


A muy bajas temperaturas el comportamiento se vuelve sumamente complejo

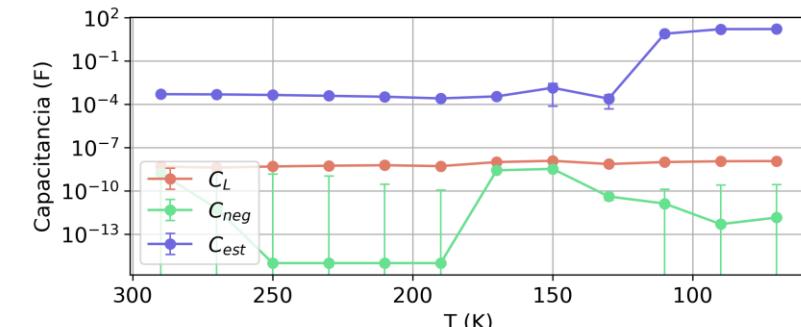
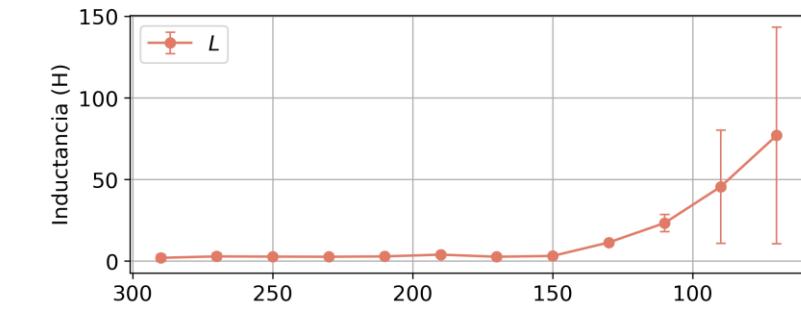
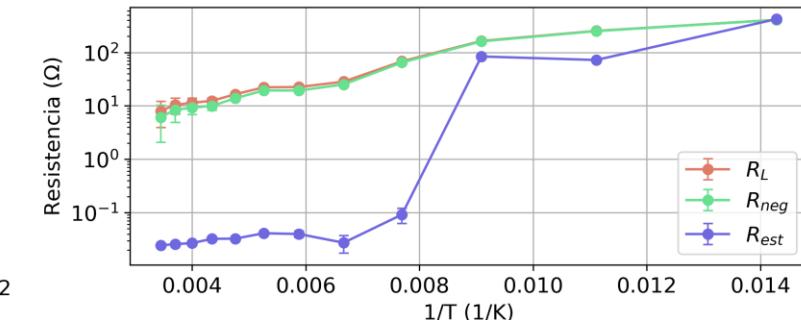
Modelado en circuito equivalente



- Bloque de inductancia química: asociado a respuesta a migraciones
- Bloque estequiométrico: información de la oxigenación del material y otros defectos
- Bloque NDR: tiene las transiciones de Mott

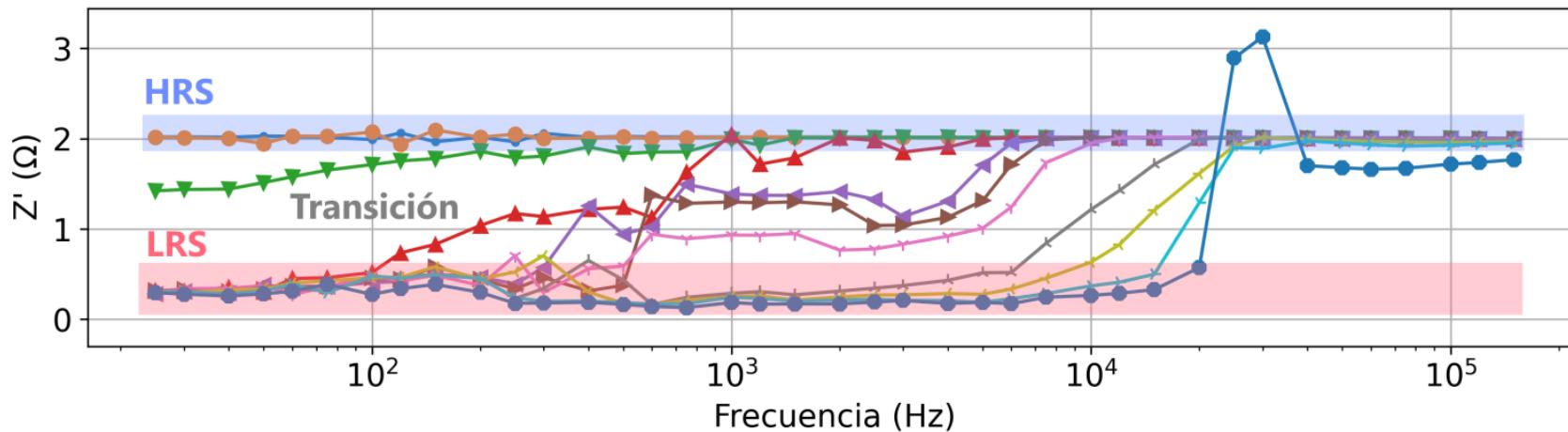


X5-a



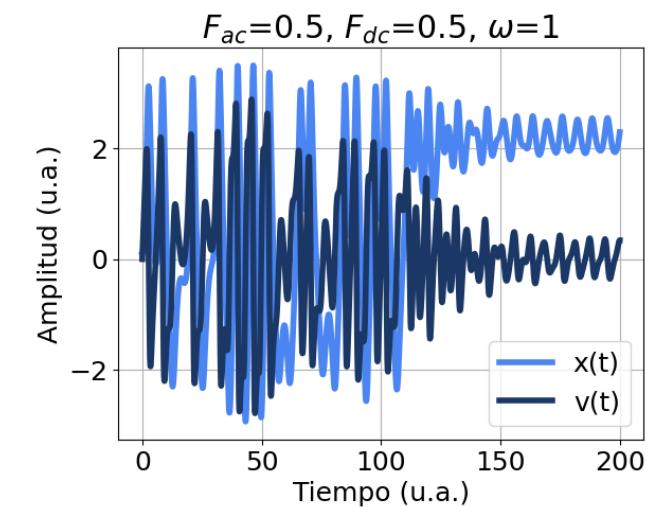
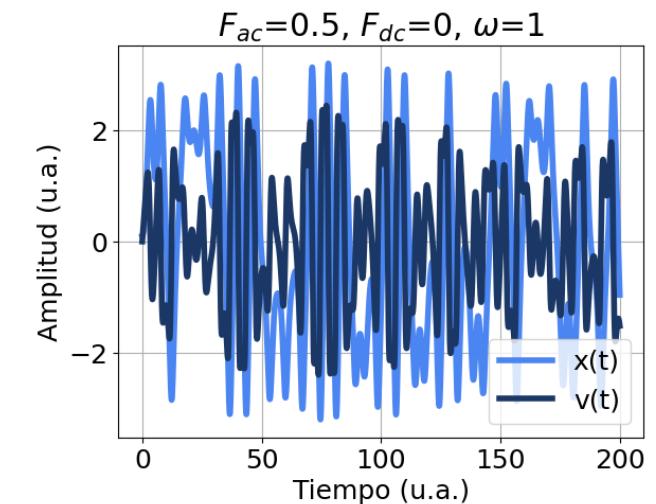
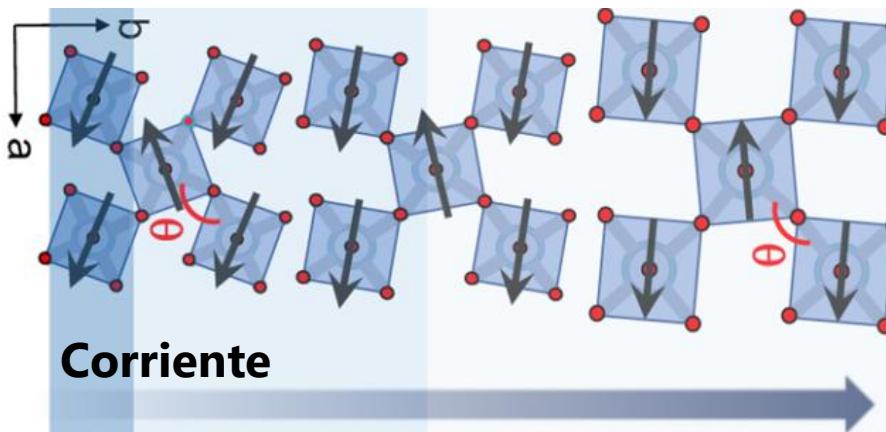
X5-b

Modelado dinámico y Ec. de Duffing



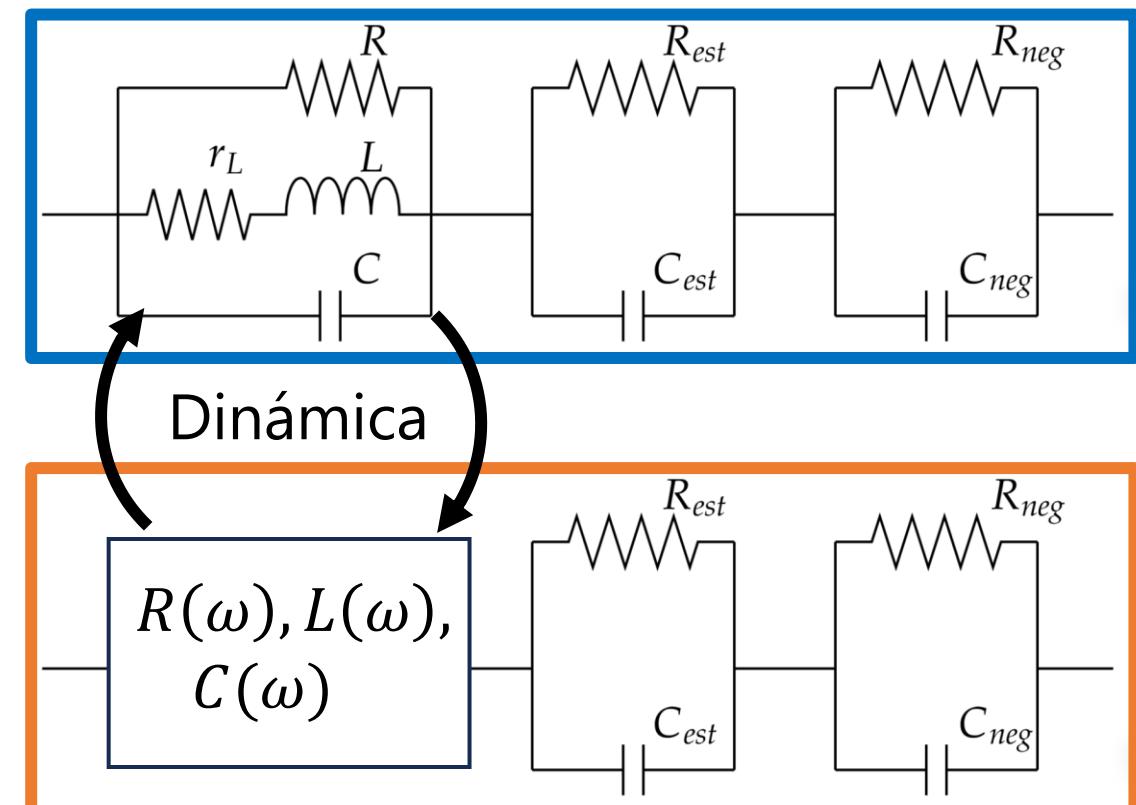
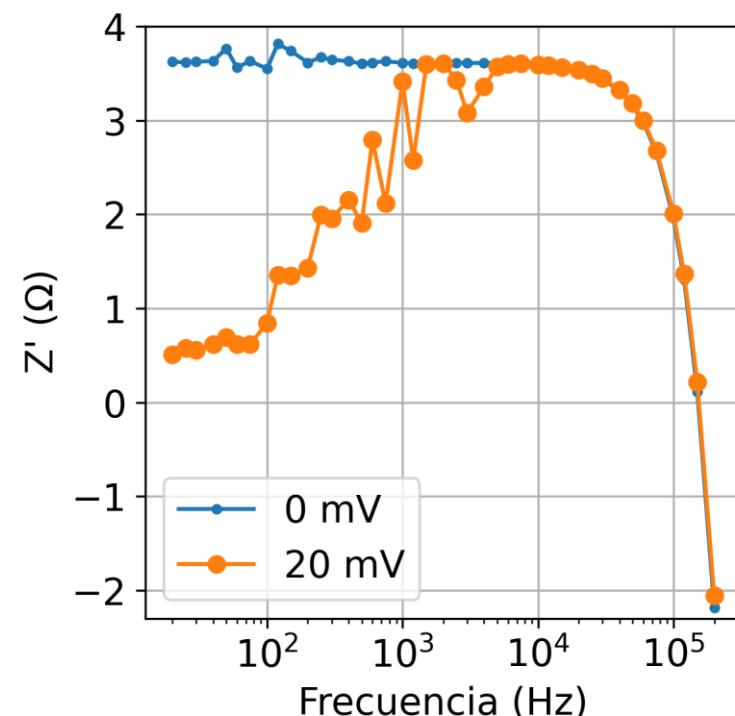
La frecuencia puede determinar en que estados nos encontramos.
¿Y el V_{dc} ?
Mas aun, ¿qué son estos estados?

Propuesta: ¡dinámica de octaedros!



V_{dc} y la dinámica de estados

- Aplicar un V_{dc} también modifica el estado: el bloque de la inductancia química cambia, hasta perder relevancia a frecuencias mayores



Conclusiones y perspectivas

- La caracterización del SIO fue exitosa, generalmente replicando los comportamientos esperados pero mostrando la existencia de una novedosa memoria no volátil.
- La respuesta del sistema es de gran complejidad: NL+óhmico, R dinámica y transición de Mott (volatilidad y no volatilidad).
- La respuesta alterna evidenció la existencia de tres bloques: un bloque “Duffing” (ligado al movimiento de oxígenos), otro asociado al contenido de oxígeno y un tercero ligado a la transición de Mott.

Perspectivas:

- Cristales con diferentes estequiométrías y/o defectos
- Expandir el modelado por la ecuación de Duffing: mayor resolución temporal, verificación de la dinámica

Fin
¡Gracias por asistir!

Agradecimientos

