



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

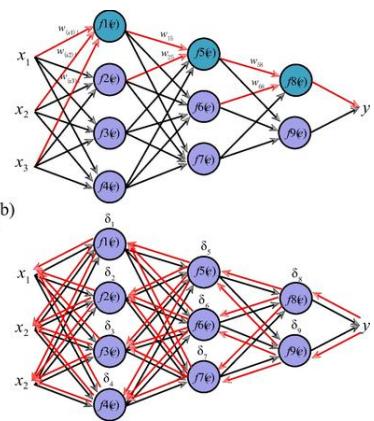
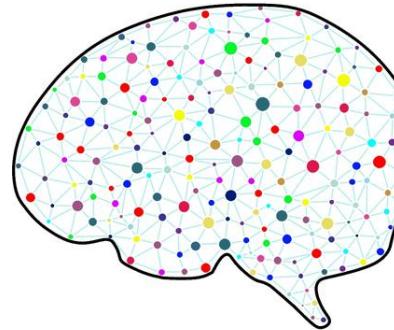
8 de Agosto de 2025

Índice

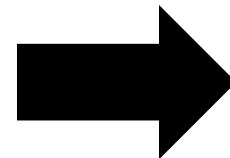
1. Motivación
2. Introducción conceptual y contextual
3. Detalle experimental
4. Resultados y discusión
5. Conclusiones y perspectivas

Motivación

Computación neuromórfica

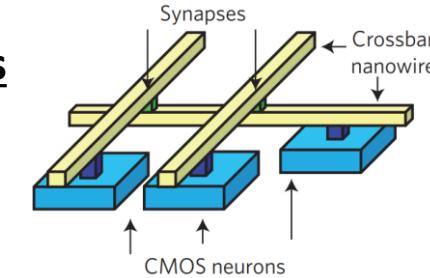
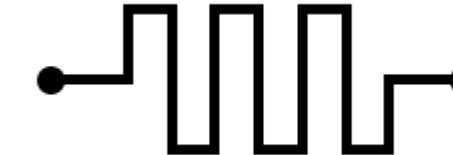


¿Es lo mejor que podemos hacer?

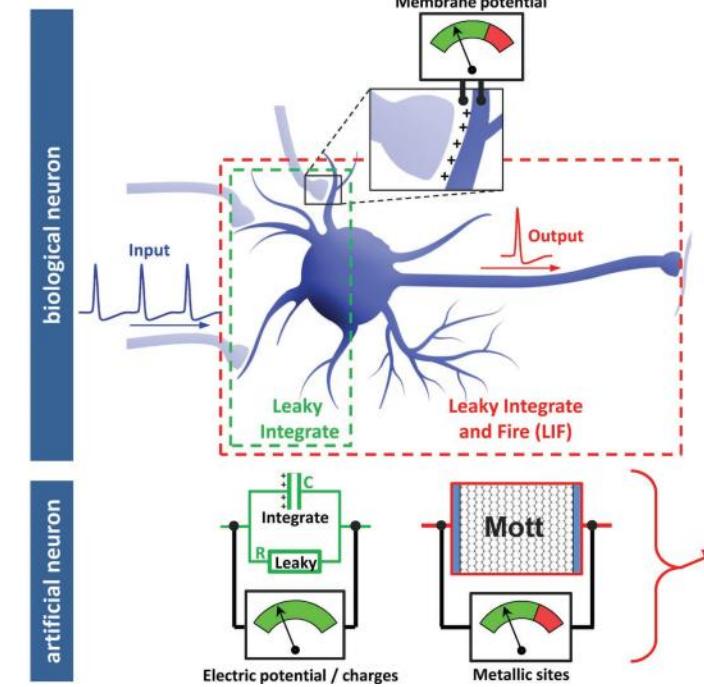
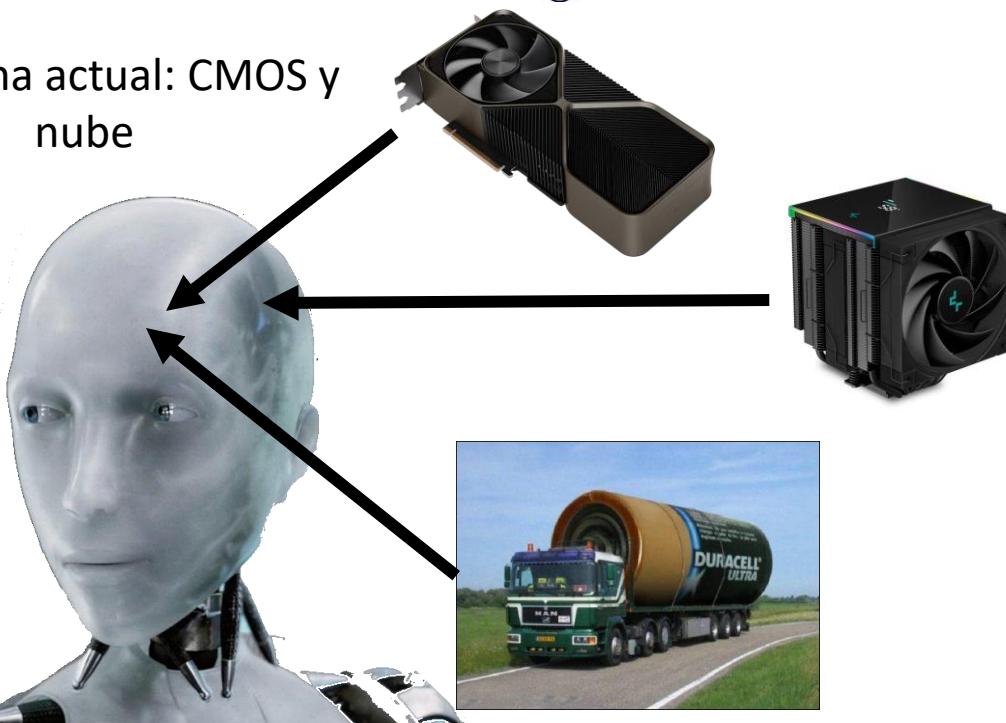


¡“Nuevas” tecnologías!

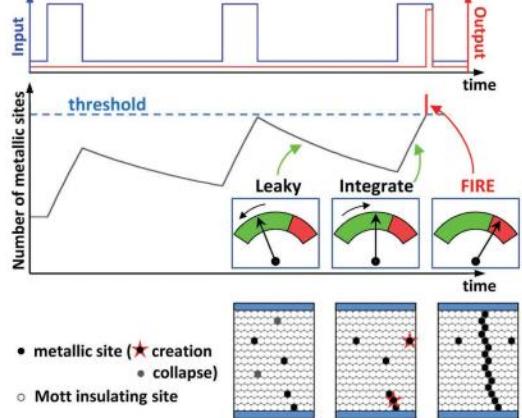
En particular, memristores



Paradigma actual: CMOS y nube



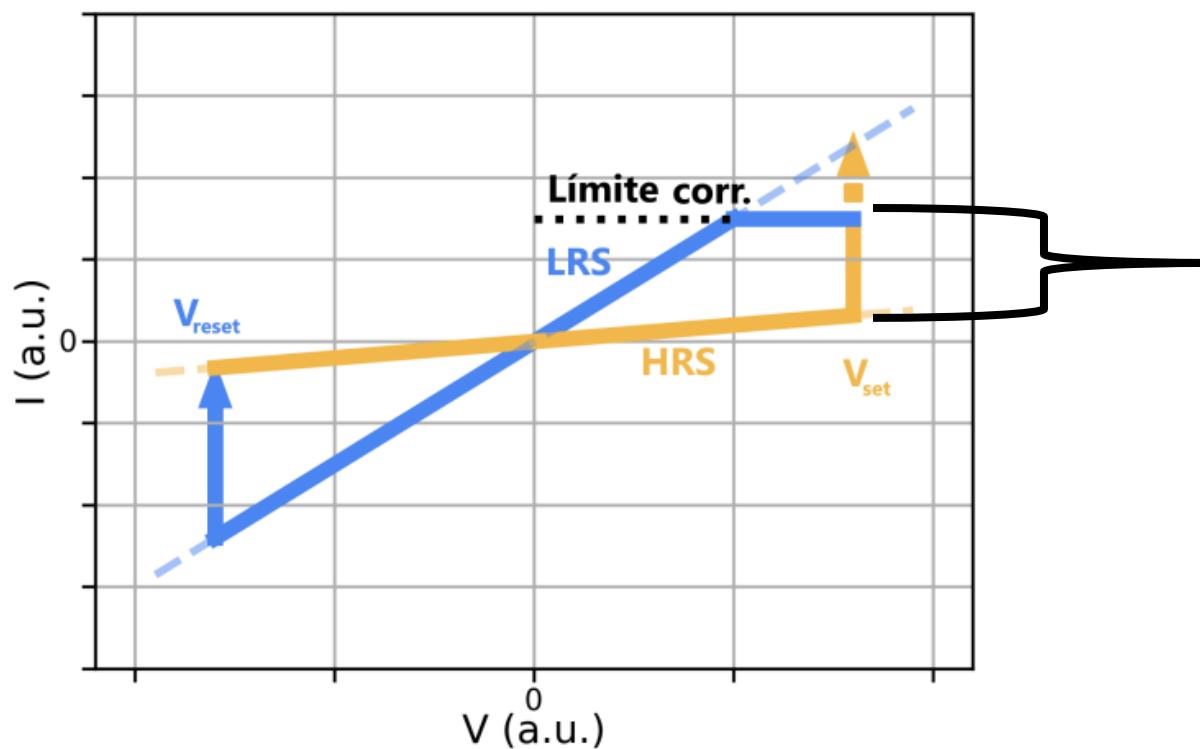
LIF artificial neuron with Mott insulator



Introducción conceptual y contextual

Memristores y memristividad

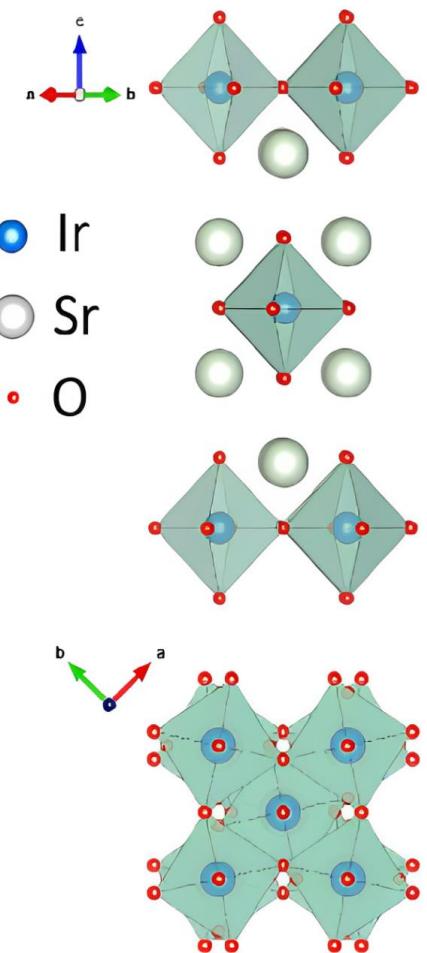
Memristividad → Memoria Resistiva



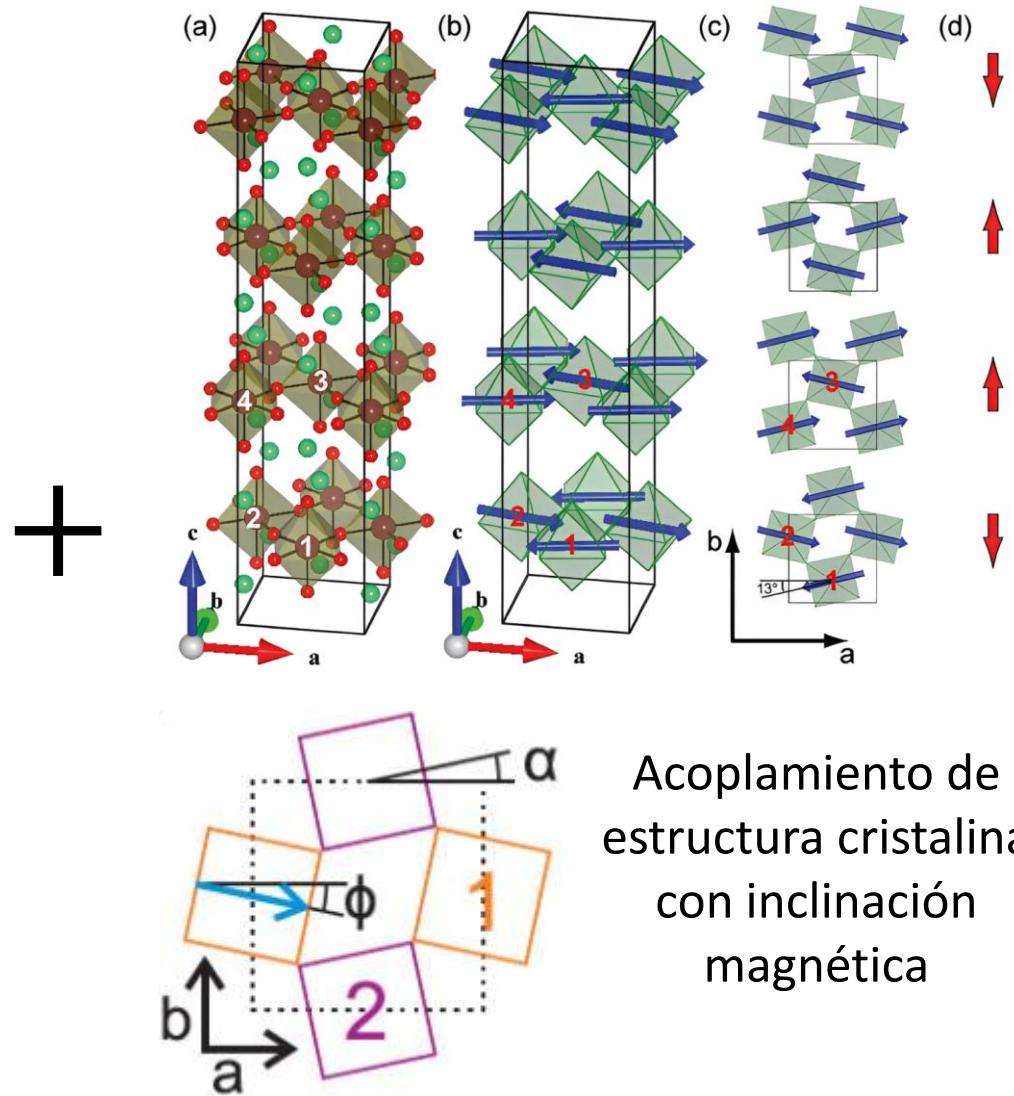
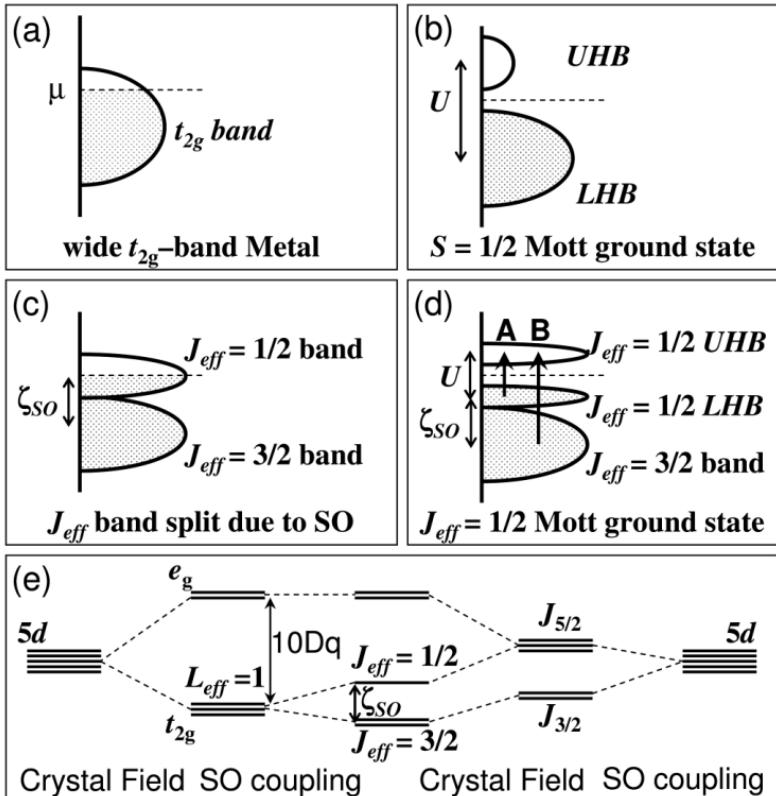
Comutación resistiva

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

Sr_2IrO_4 (SIO)

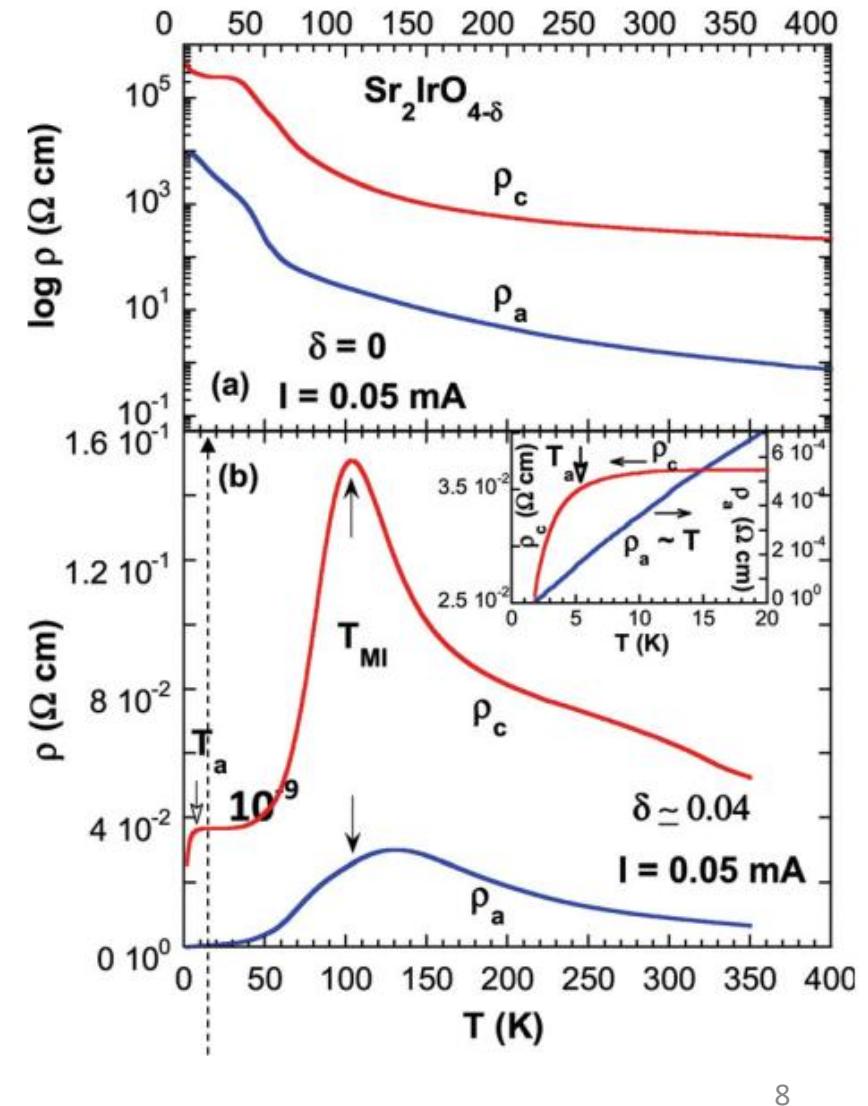
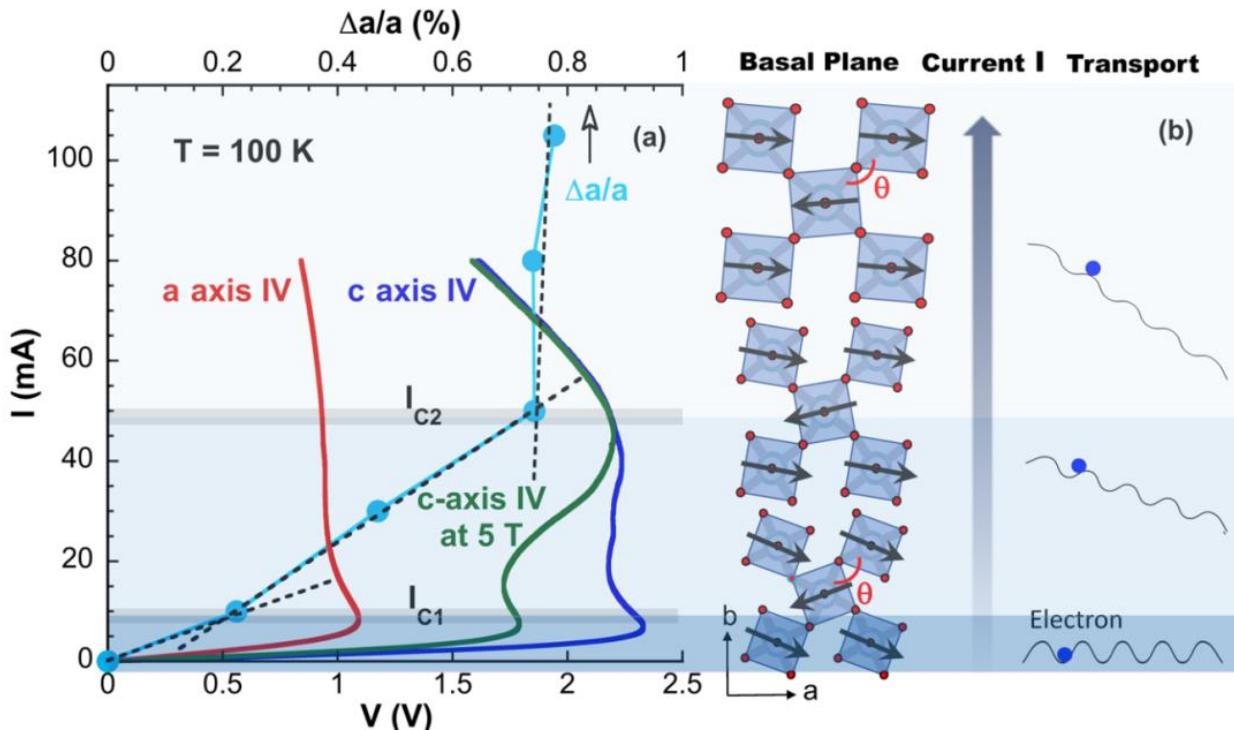


- Separación de orbitales d
- Iridatos del $5d$ → Fuerte SOC
- Correlación no despreciable
- Estado de Mott aislante!

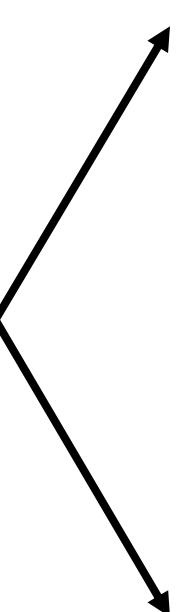
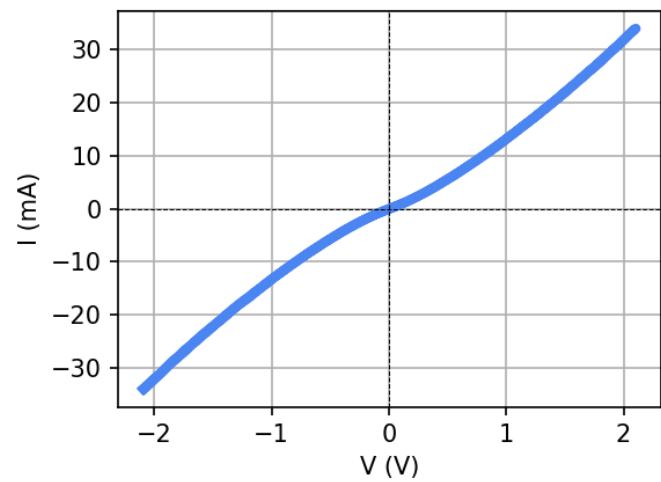


Antecedentes

- Extensos estudios sobre la relación de conducción eléctrica, magnetización y temperatura
- Relación estructura-estímulo eléctrico
- Estados resistivos basados en vacancias



Exploración en corriente directa

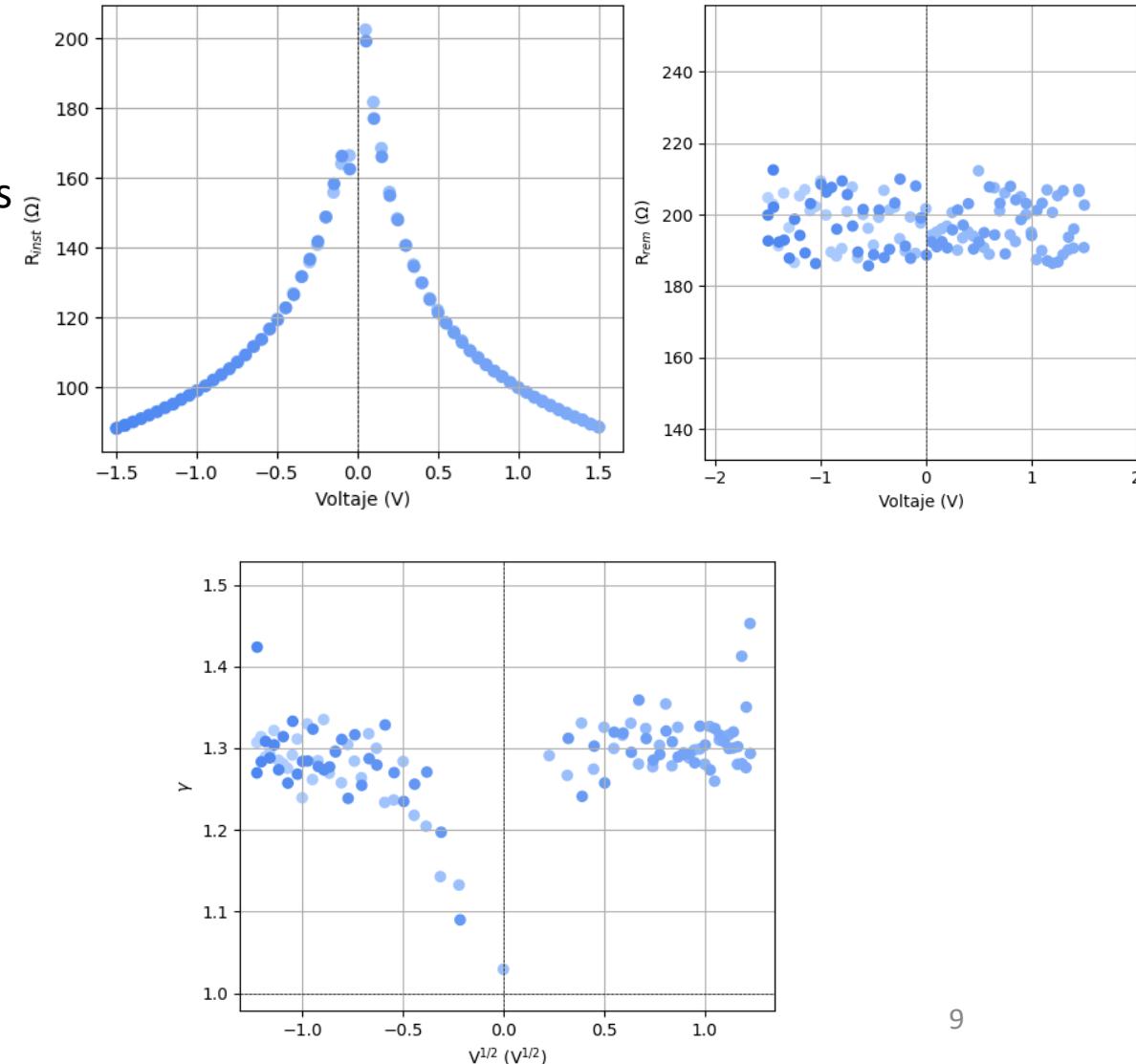


- Evolución resistiva
- Estados remanentes
- Transiciones

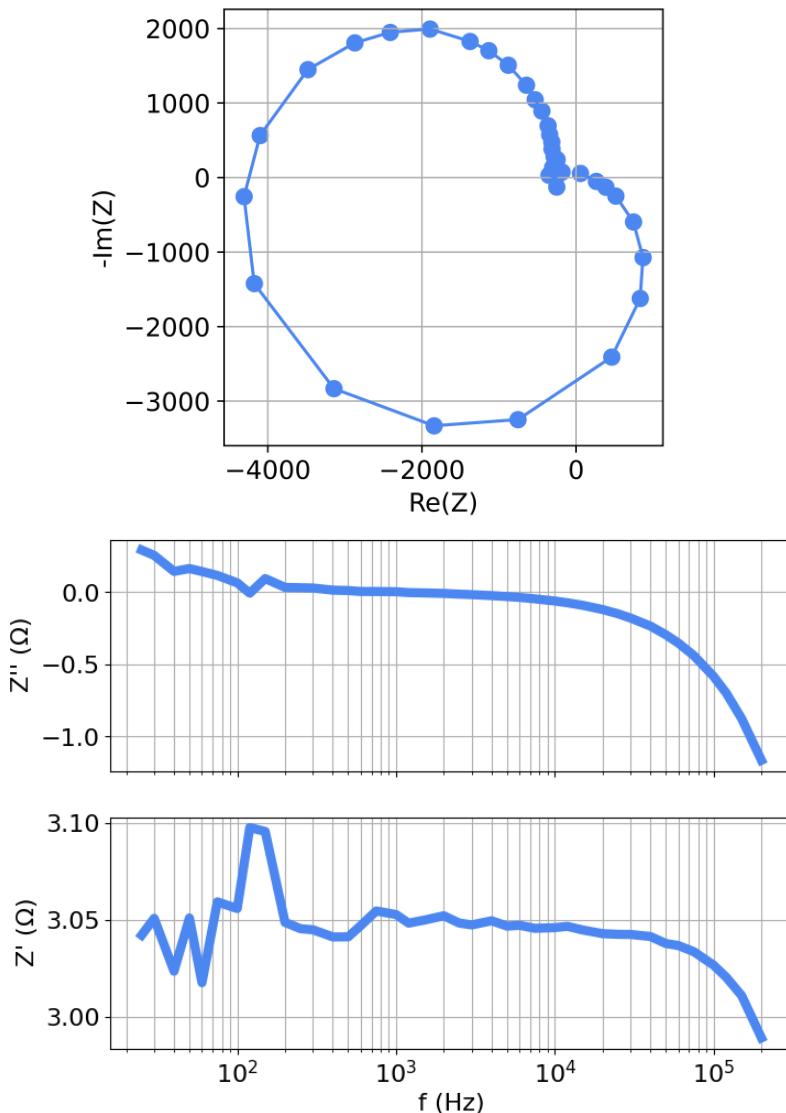
$$R = \frac{V}{I}$$

- Mecanismos de conducción

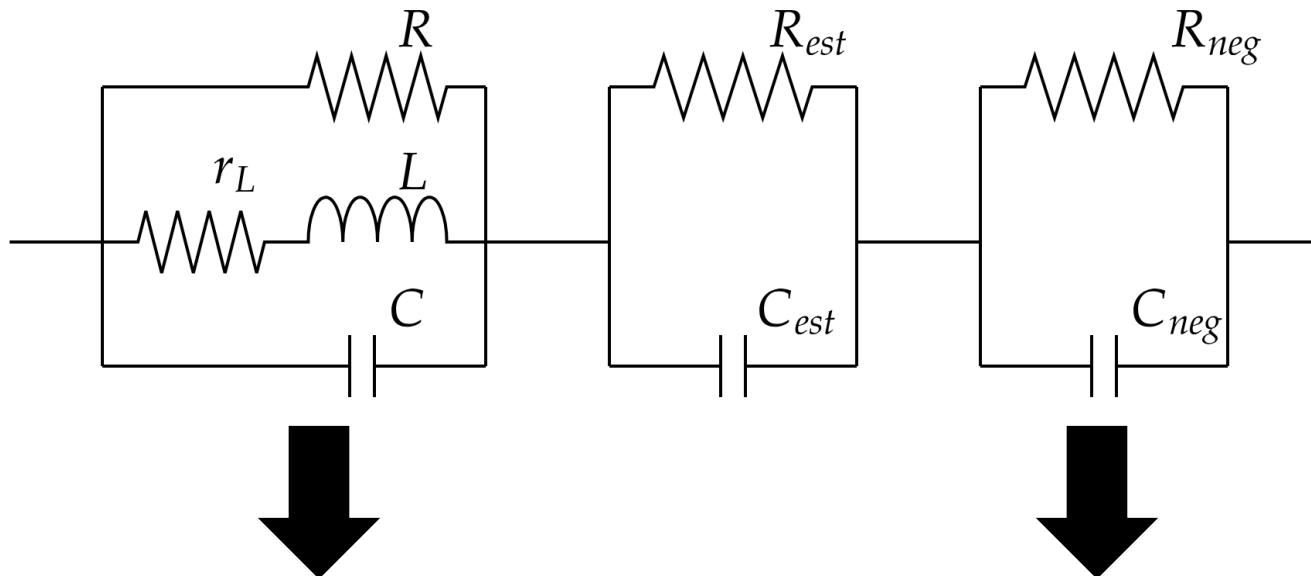
$$\gamma = \frac{d[\ln(I)]}{d[\ln(V)]}$$



Respuesta alterna particular



Modelado de circuitos equivalentes



Inductancia química (o
capacitancia negativa)

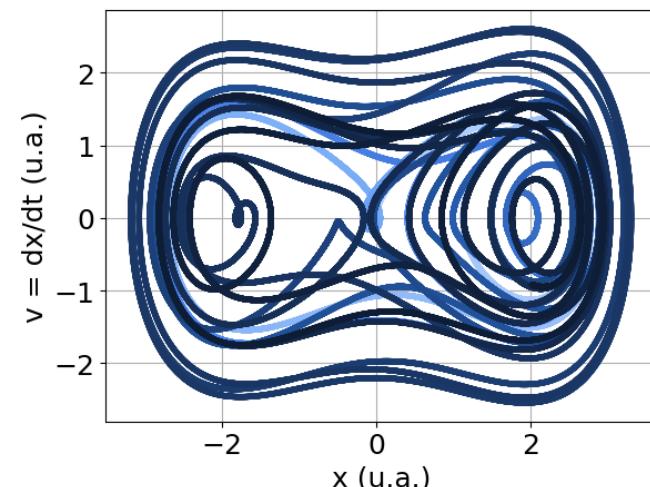
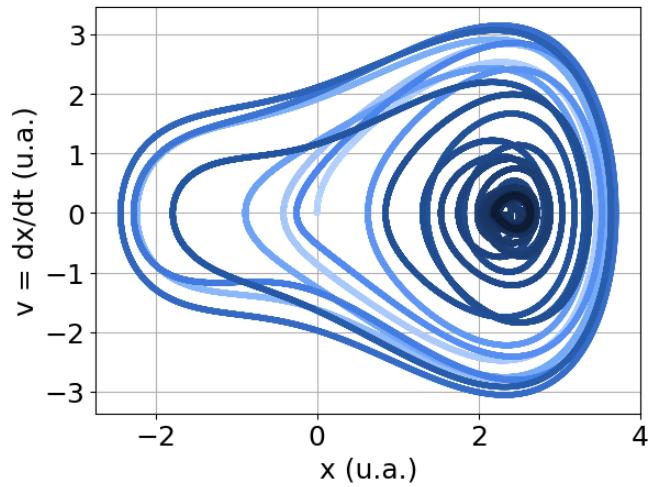
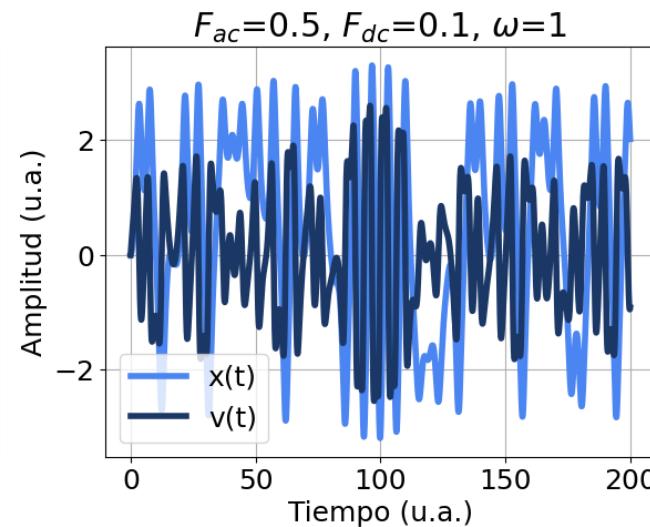
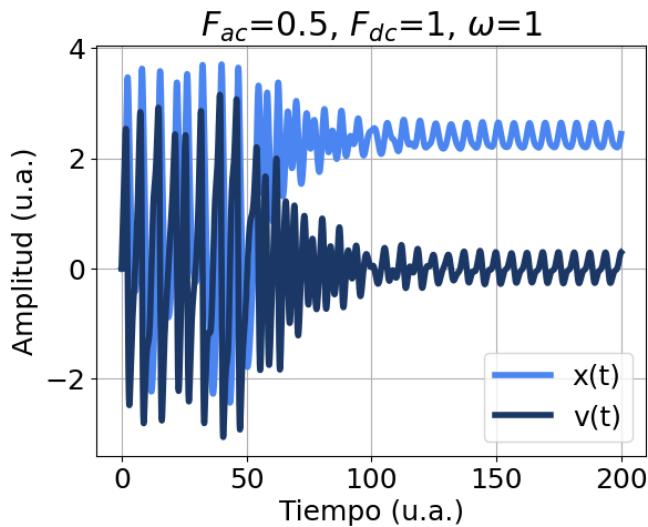
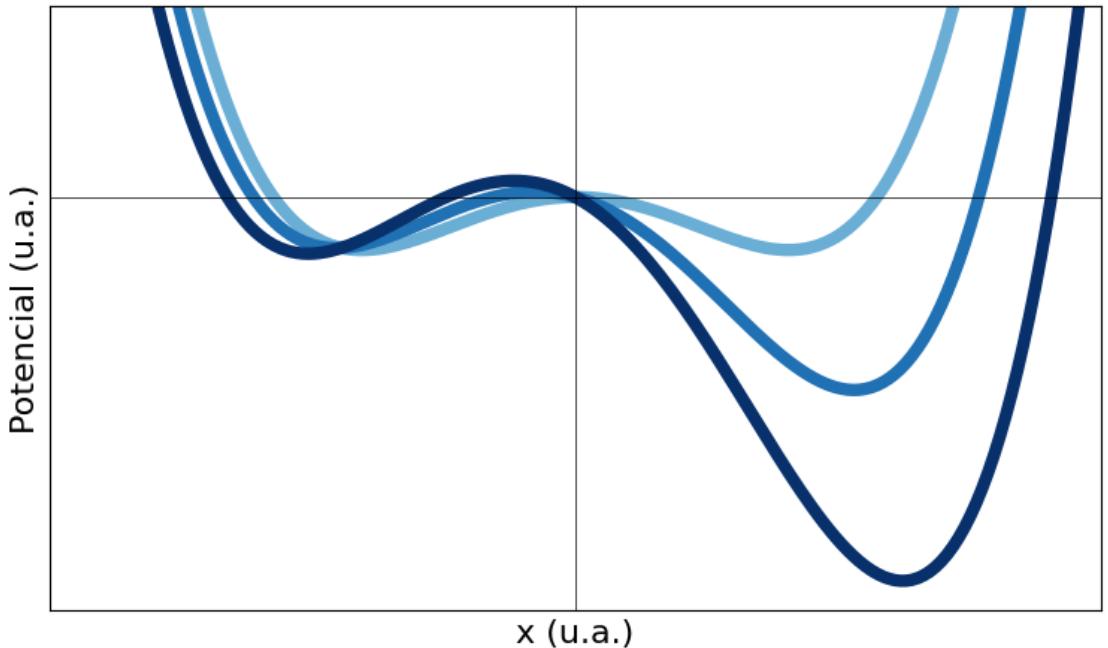
Resistencia diferencial
negativa (NDR)

Ecuación de Duffing

Comportamientos dinámicos:

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

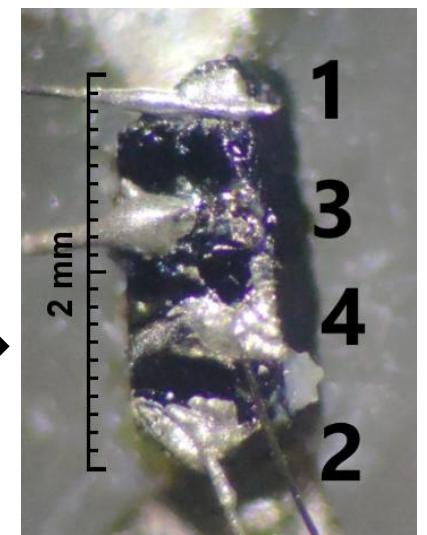
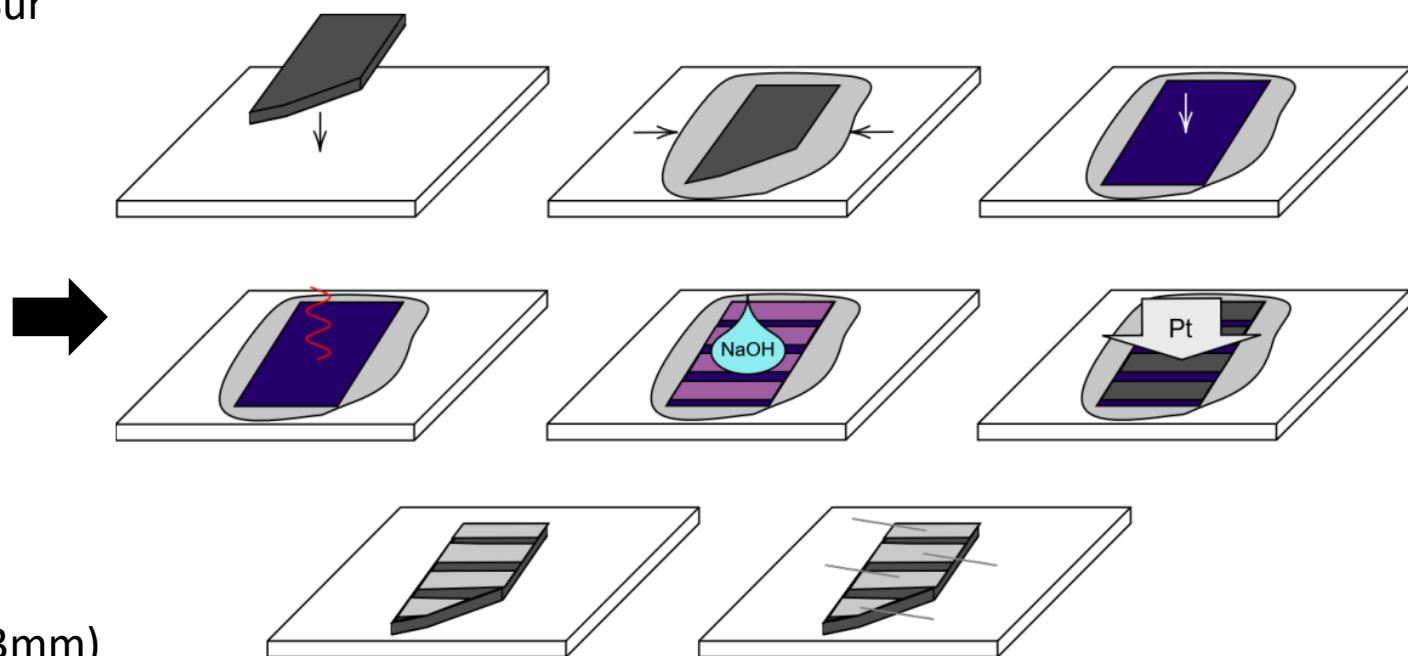
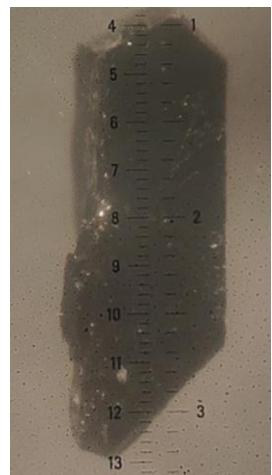
(Ecuación de Duffing)



Detalle experimental

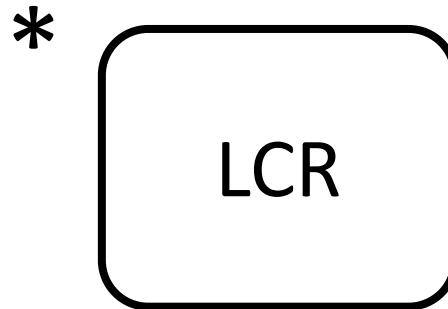
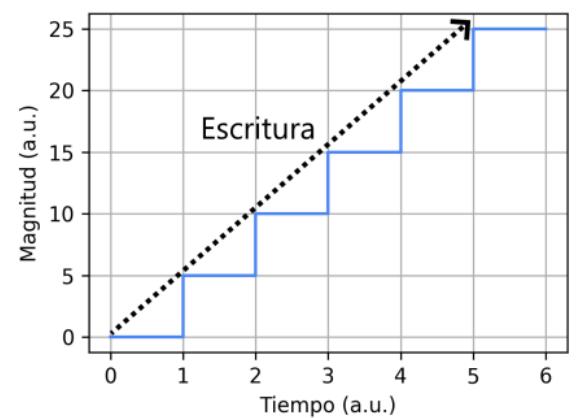
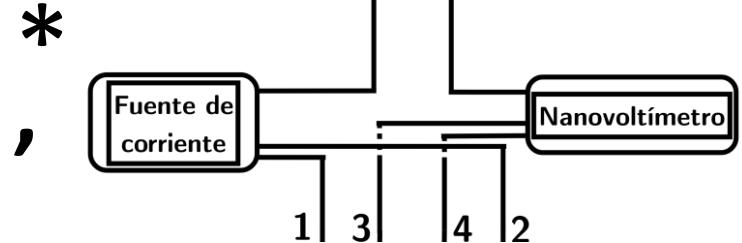
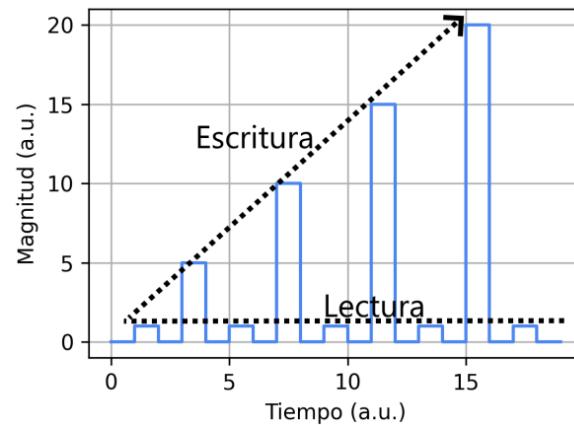
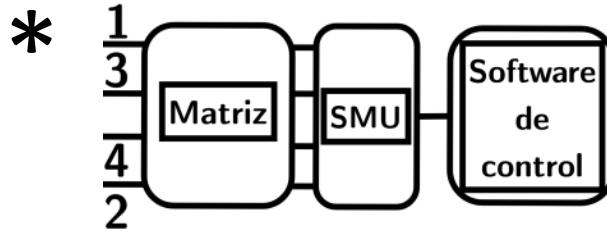
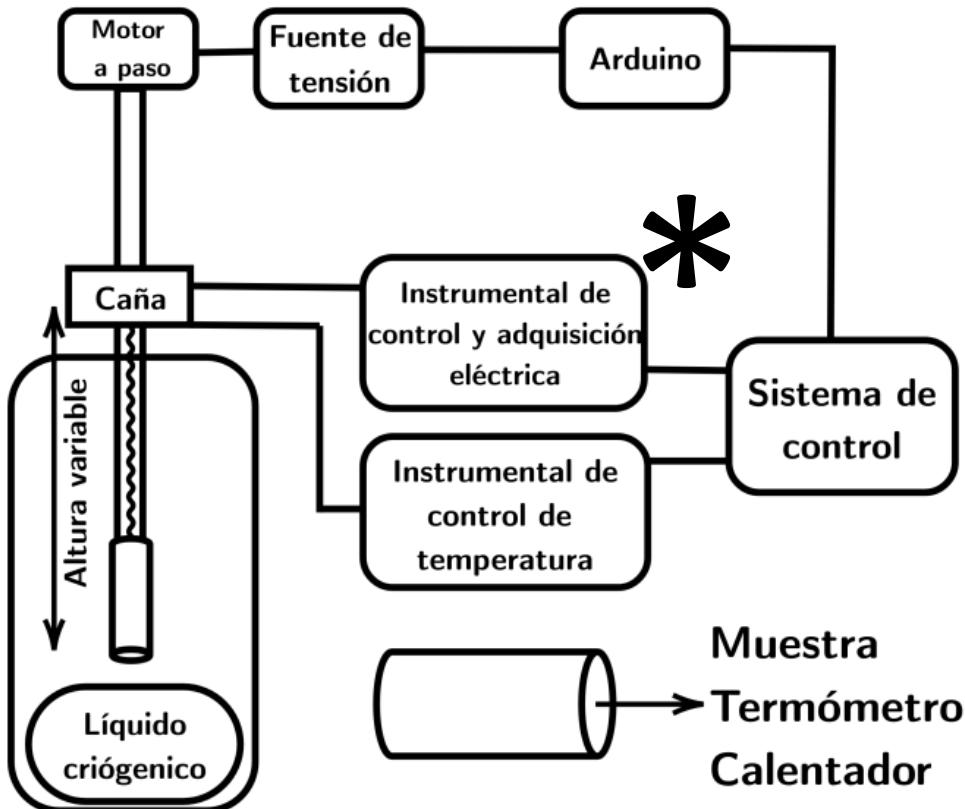
Detalle experimental: cristal y contactos

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



Epoxi de plata
Cables de platino
0.4mm entre contactos

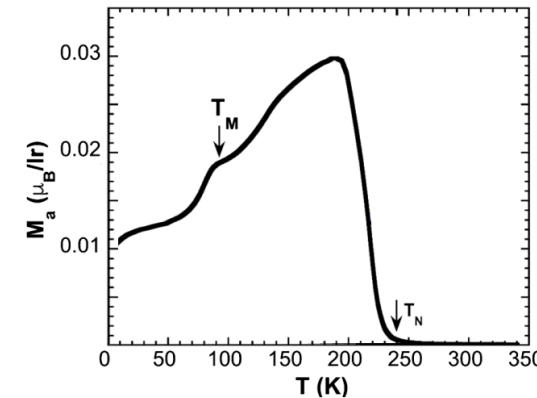
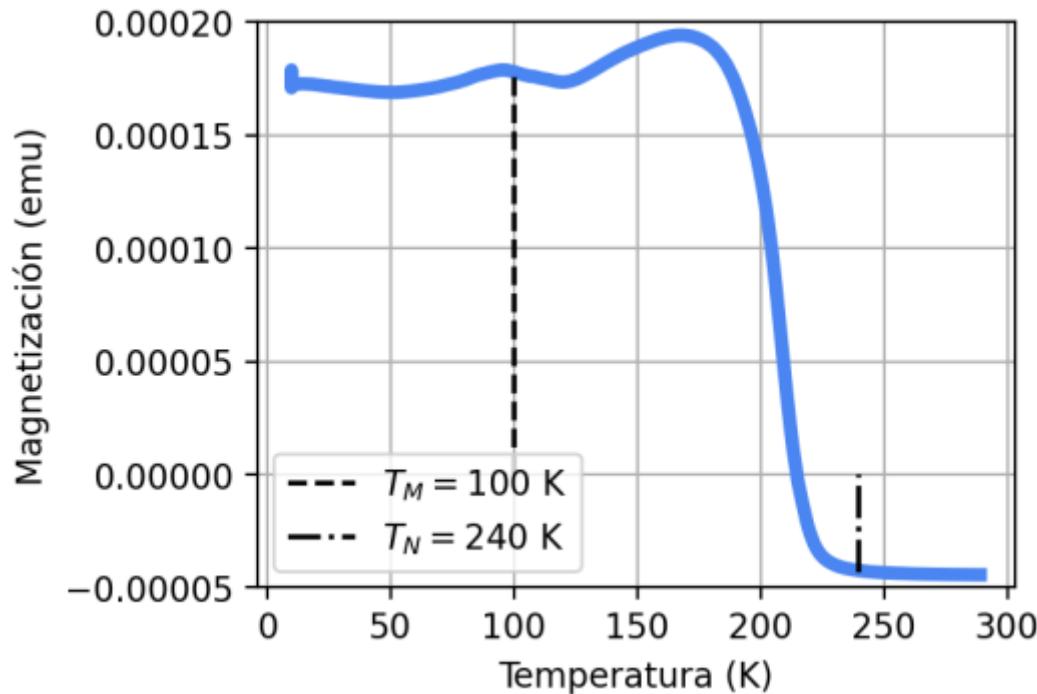
Armado experimental: equipamiento



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

Resultados y discusión

Caracterización magnética



- Gran acuerdo con trabajos de referencia
- Diferencias → anisotropía no mitigada

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

T_M : Anomalía en magnetización (~ 100 K)

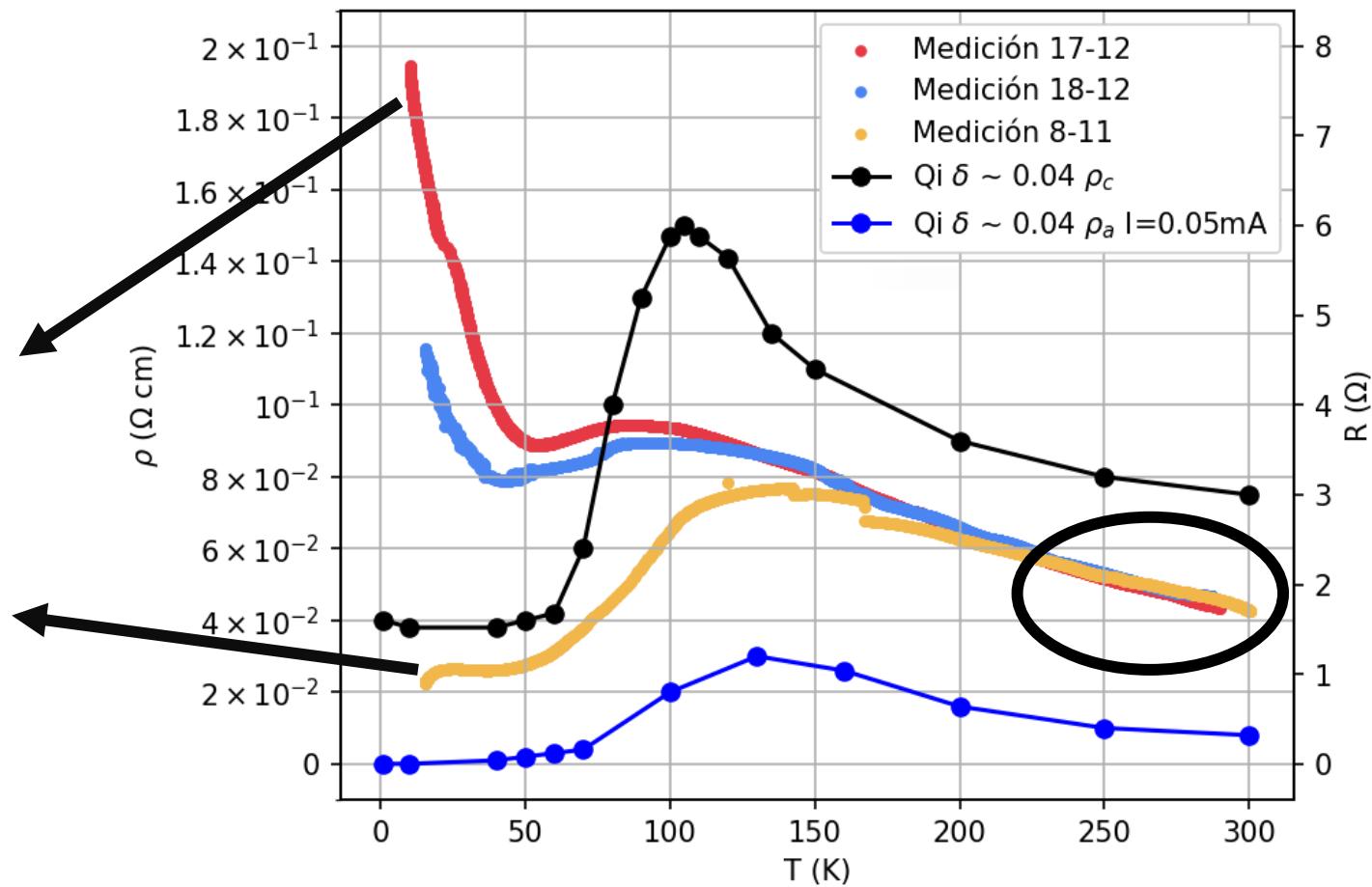
Resistividad a 4W

$Sr_2IrO_{4-\delta}$

$\delta \rightarrow 0$
(semiconductor)

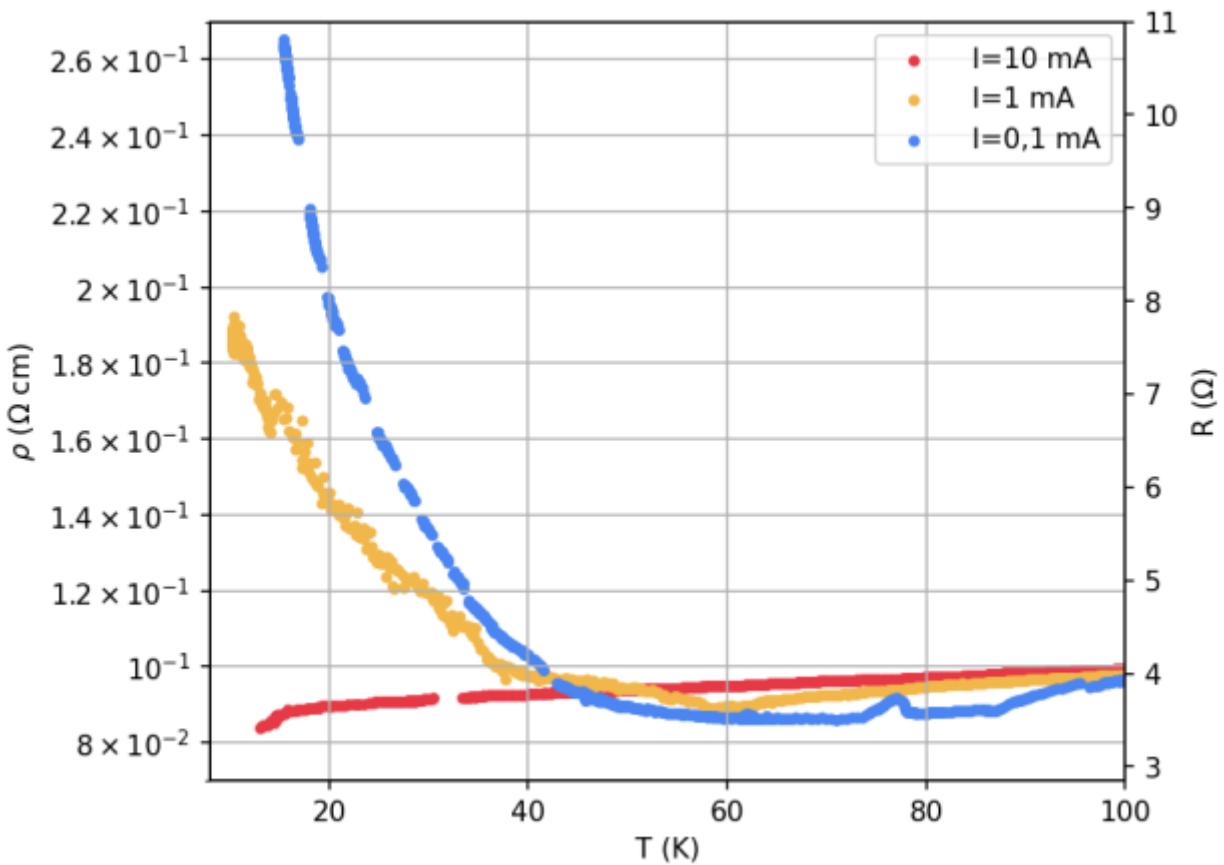
$\delta \sim 0.04$
(metal-aislante)

¿Transición?

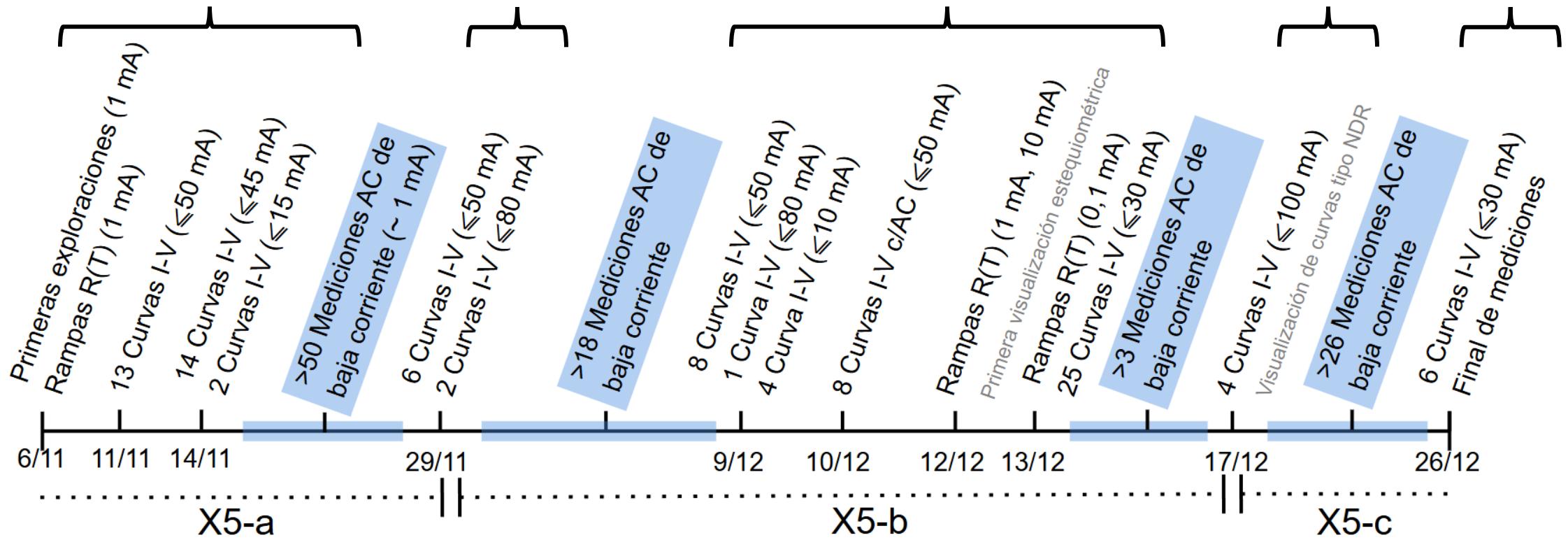


Resistividad no-lineal

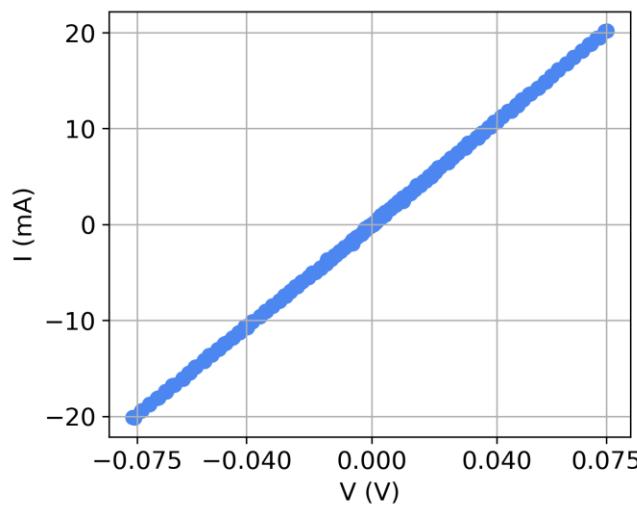
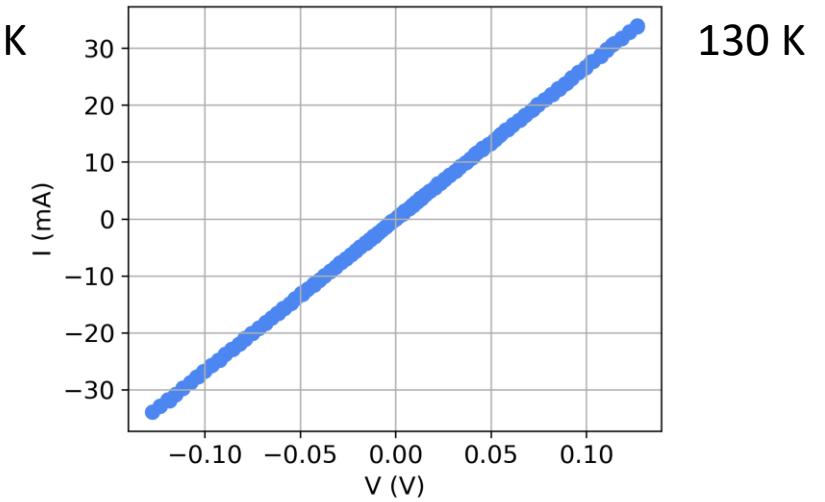
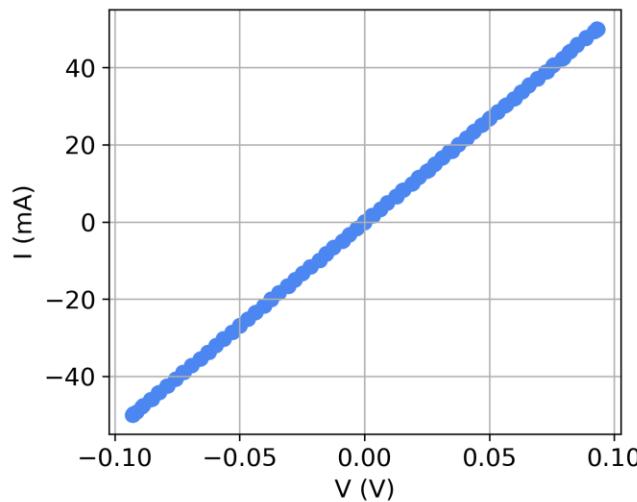
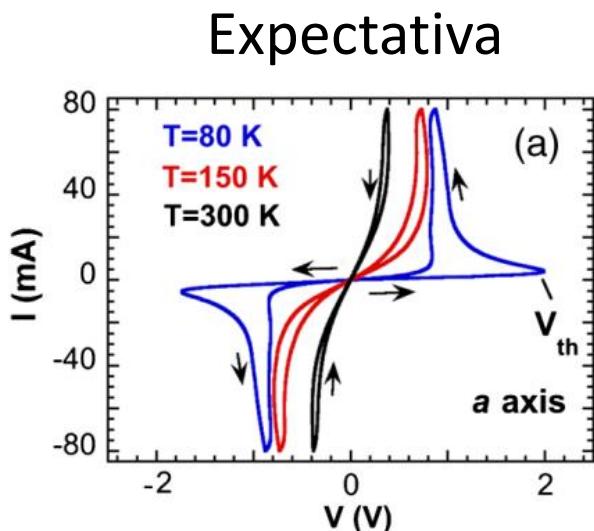
Una muestra, 3 (y más!) respuestas



Línea temporal



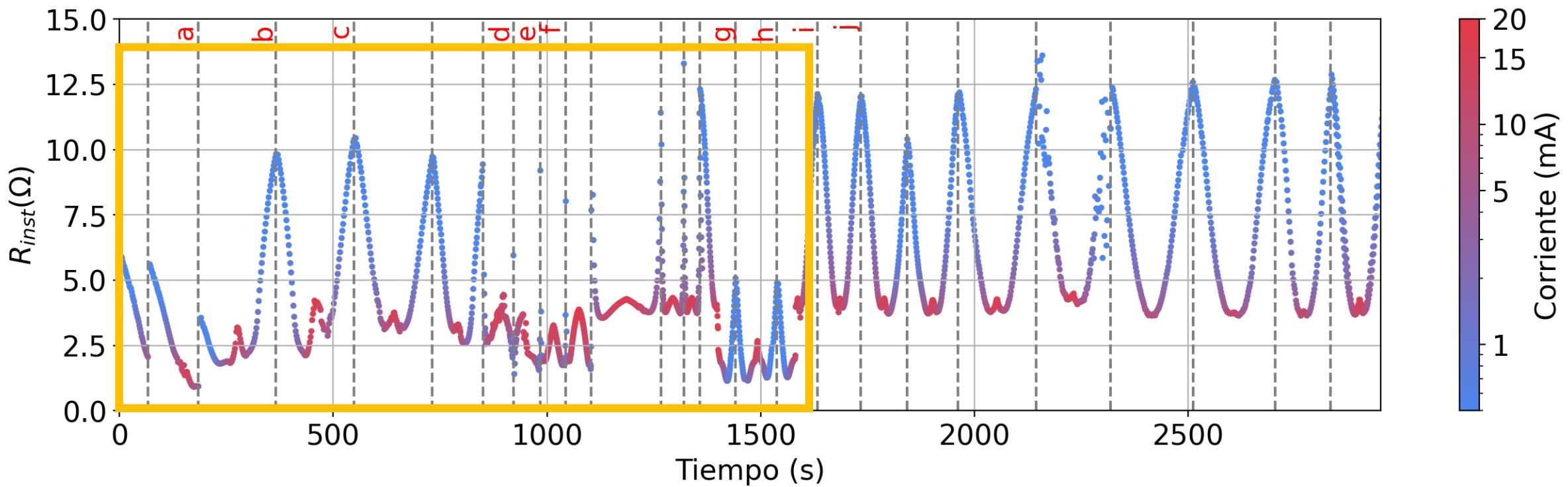
Curvas I-V a 4W en X5-a



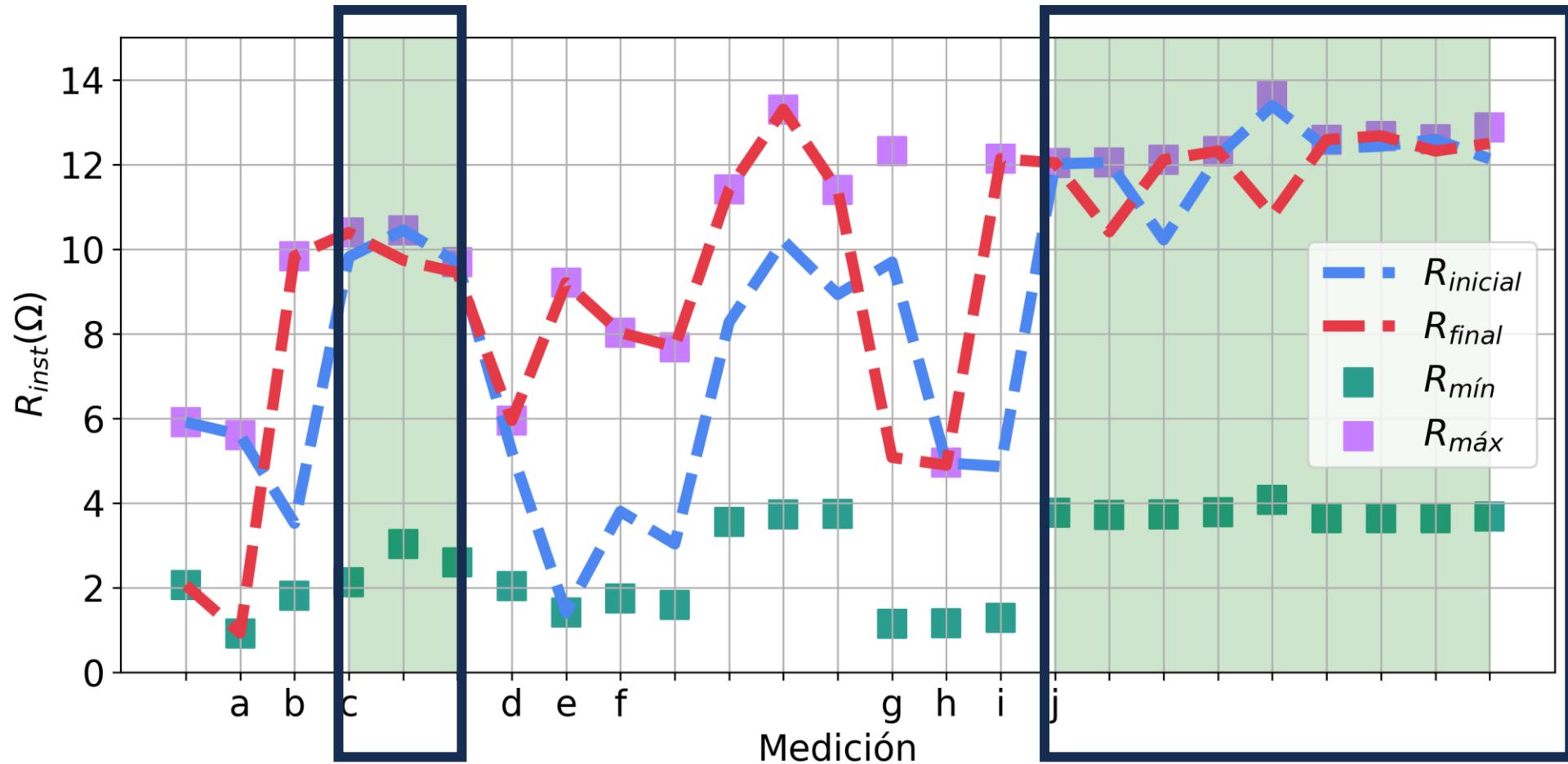
Curvas óhmicas
X5-b dió igual, hasta 85 K

X5-b y la no-linealidad

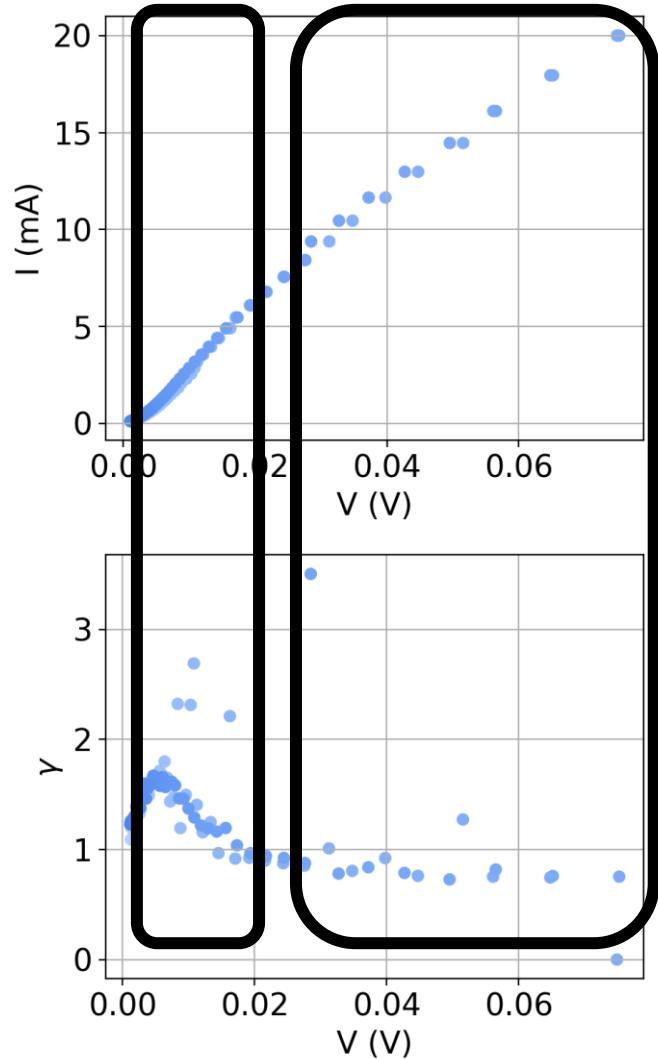
Los estudios a $T \leq 60 K$ traen novedades



Commutación aleatoria

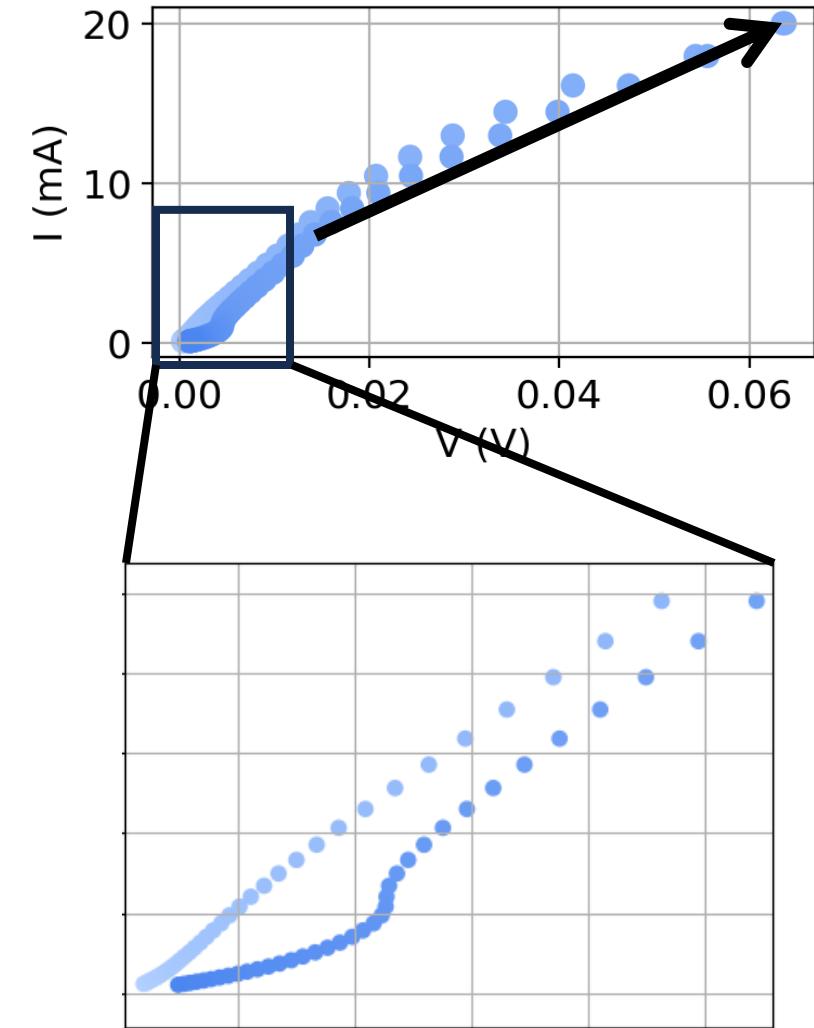


Comportamiento mixto

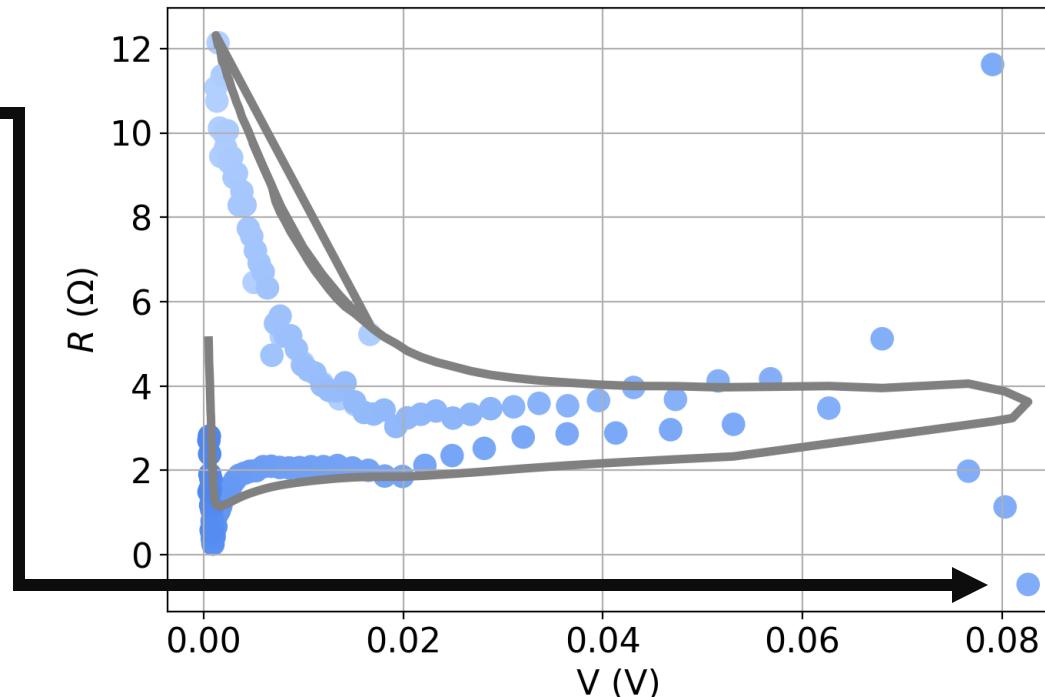
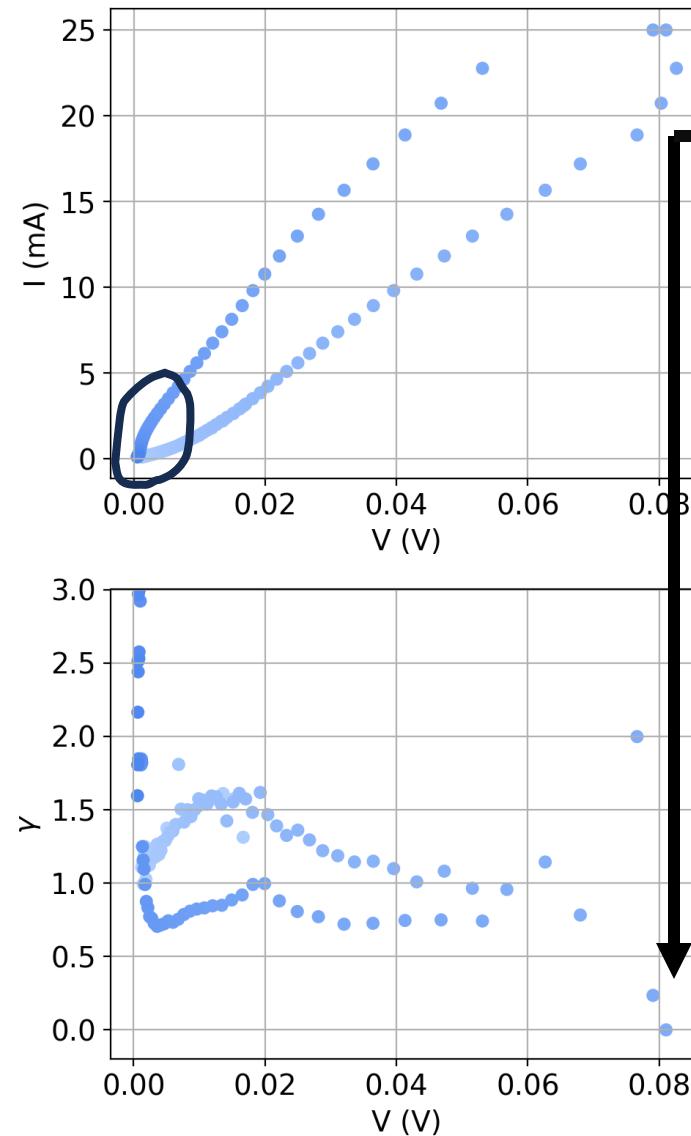


A baja I (V) hay una no-linealidad a menor resistividad, vista en la γ errática
→ Transición de Mott

Para valores mayores hay otra no-linealidad a mayor resistividad, marcada por una $\gamma < 1$
→ Migración de oxígenos

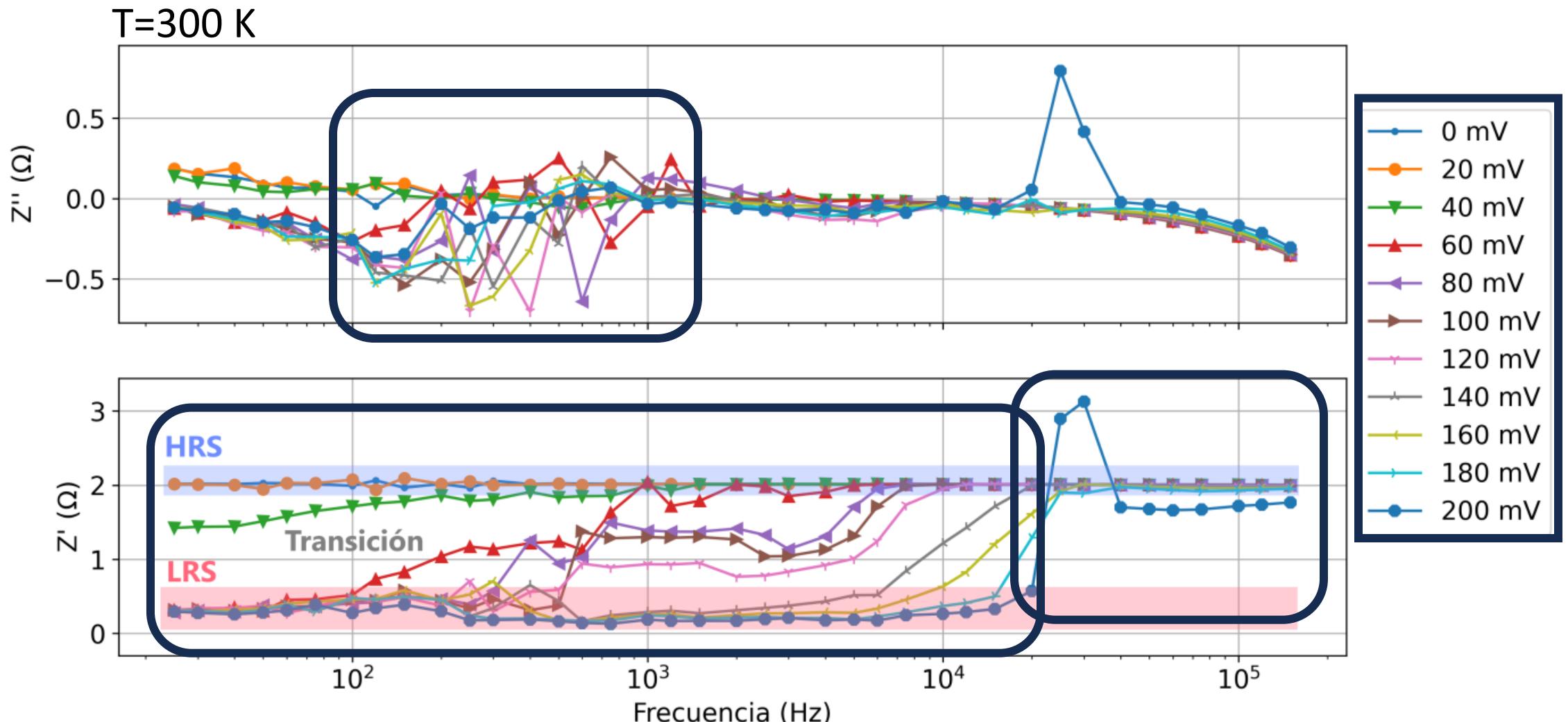


Un caso particular: NDR



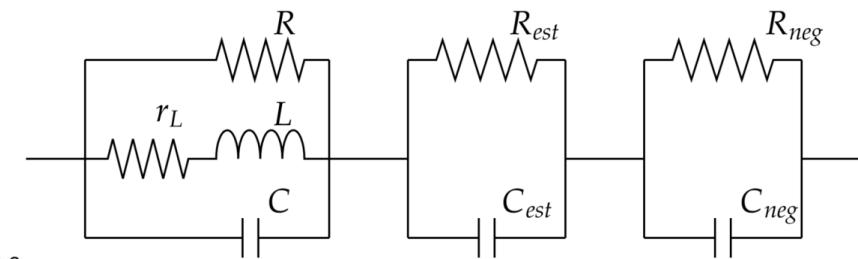
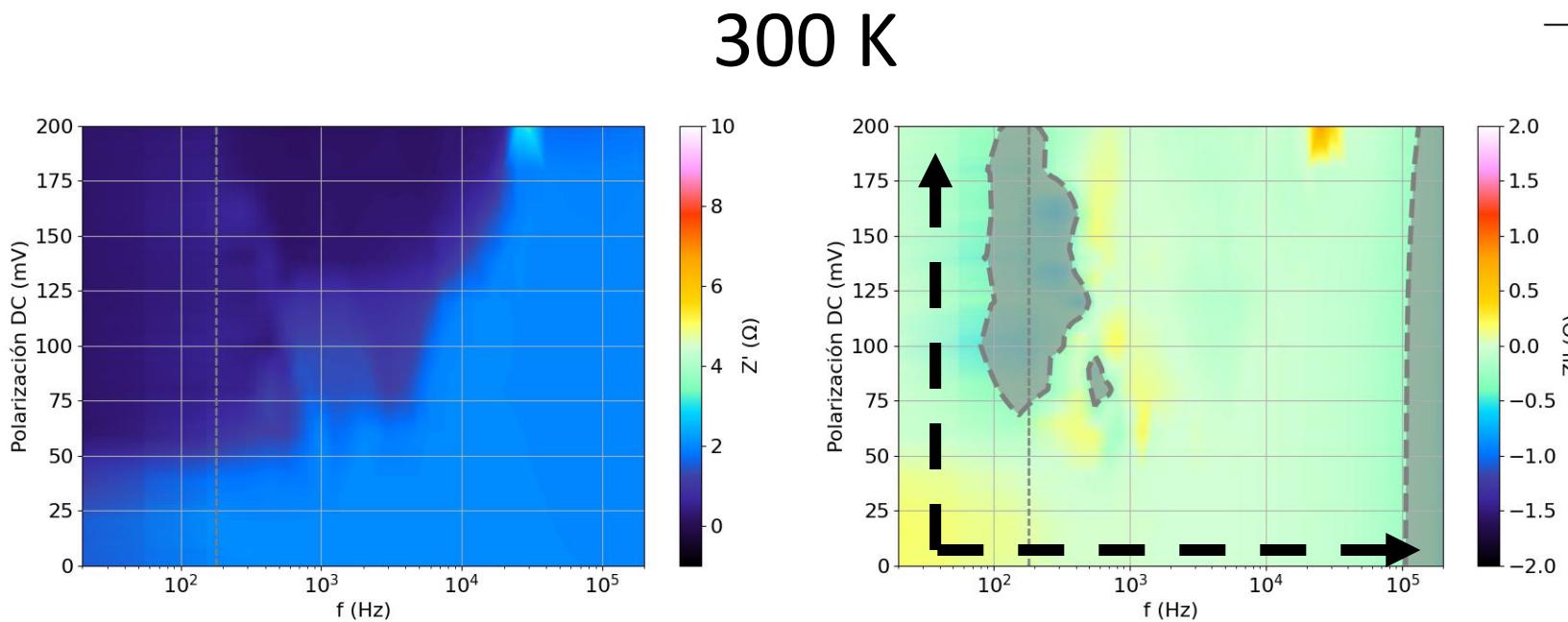
- Aumento de corriente con disminución de tensión: NDR!
- No volátil: oxigenado
- A bajo estímulo la resistencia se recupera parcialmente: Mott

Exploraciones en corriente alterna (4W)



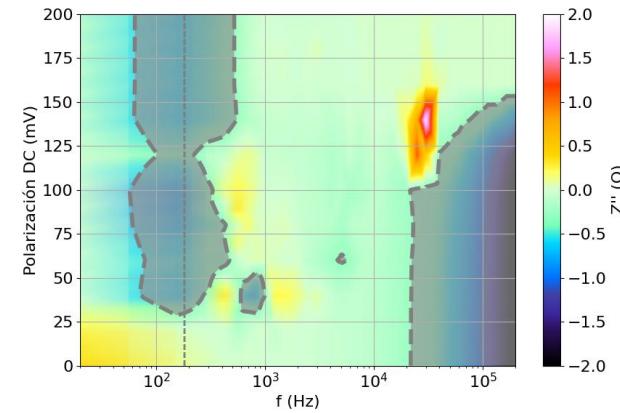
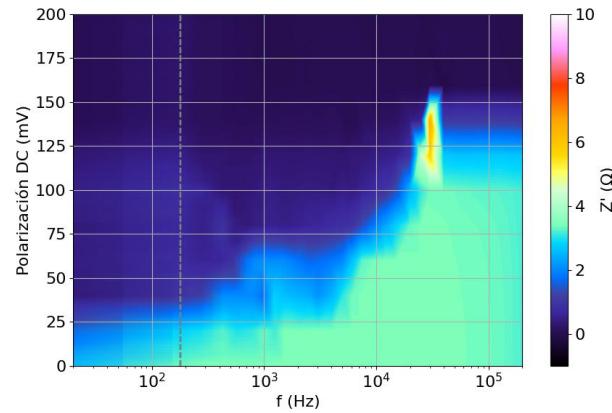
Evolución en temperatura de las EI 4W en X5-a

- Dos estados: HRS y LRS \rightarrow nos concentraremos en $V_{dc} = 0$
- Aparición de región de “resistencia diferencial negativa”
- Inductancia a capacitancia con T \rightarrow jerarquía de bloques
- Transformación del primer bloque en V_{dc}

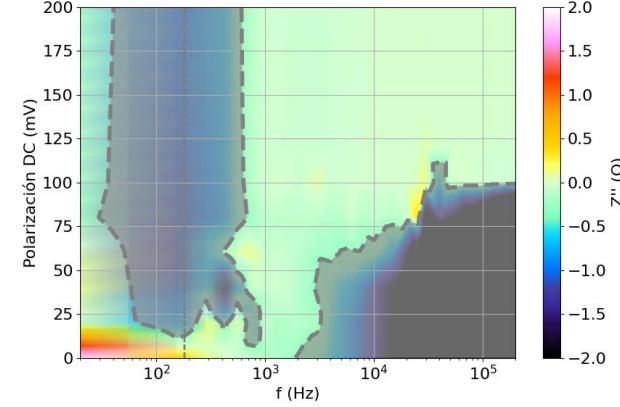
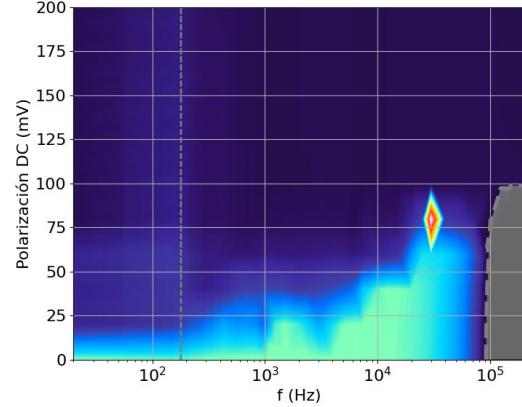


Evolución en temperatura de las EI 4W en X5-a (cont.)

160 K

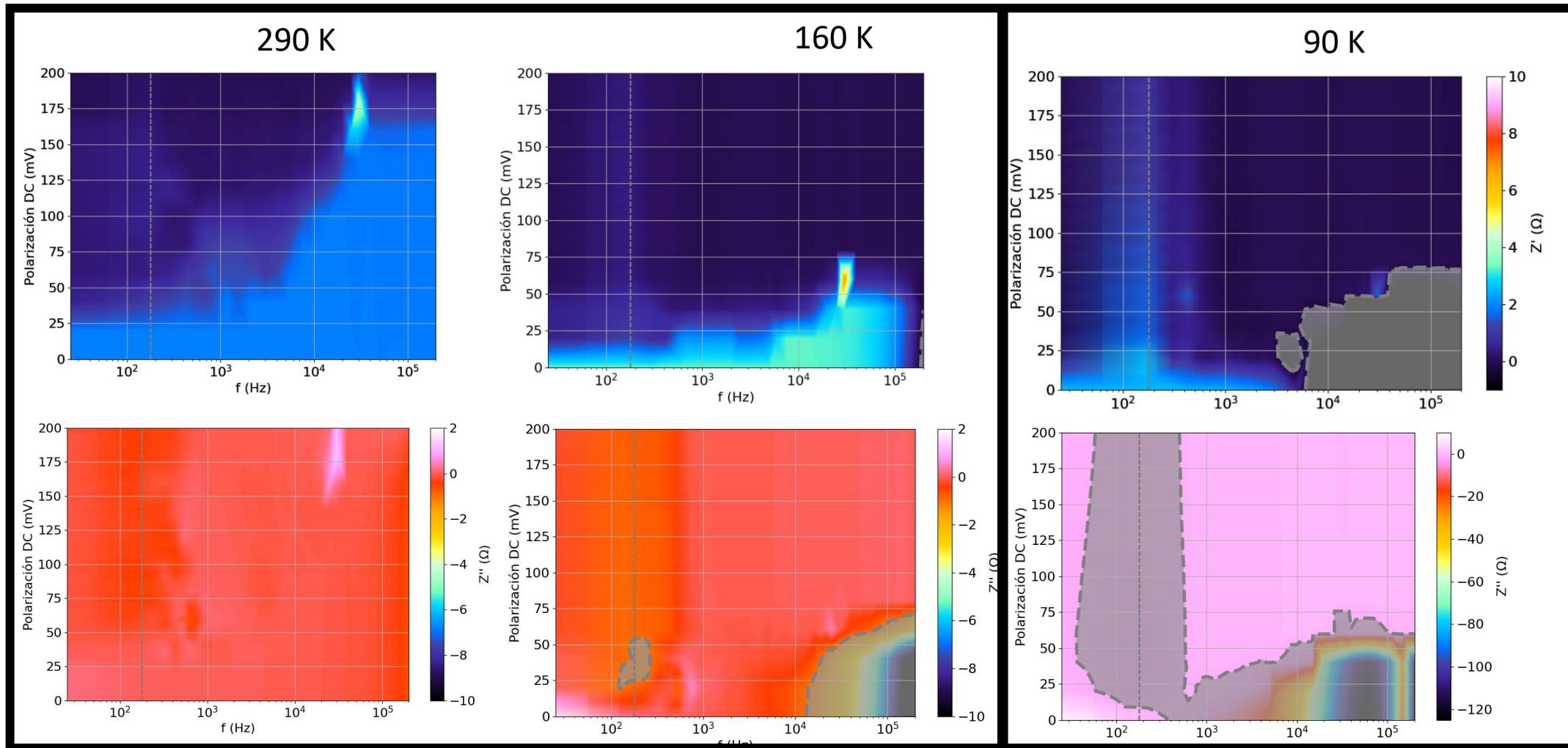


85 K



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

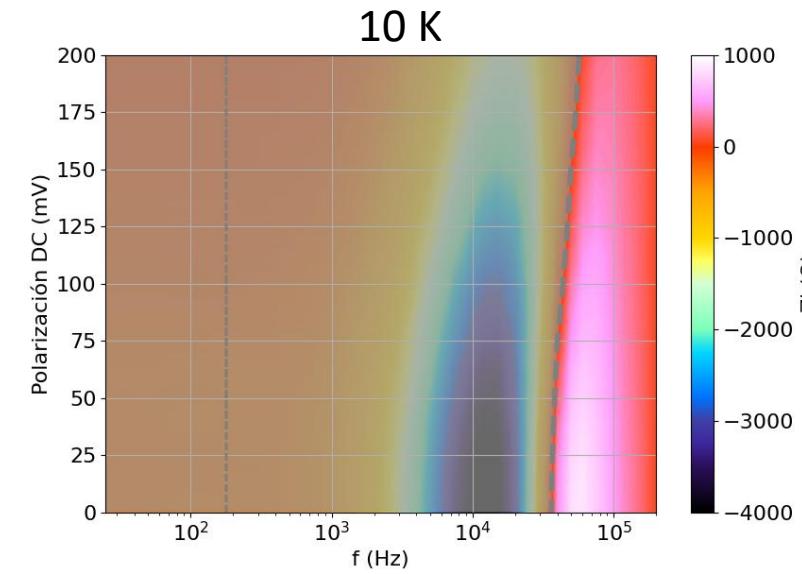
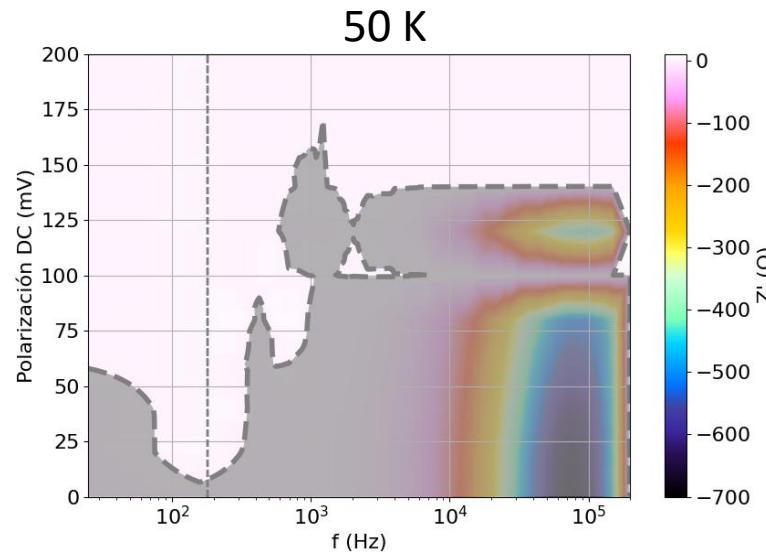
Evolución para X5-b



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

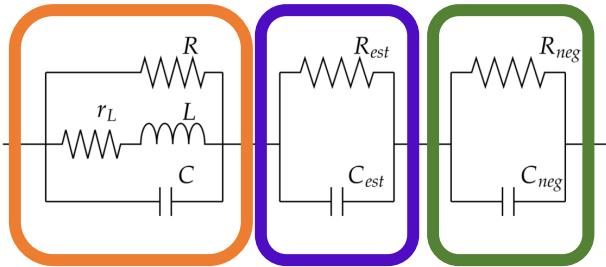
Por debajo ya aparecen diferencias...

X5-b a temperaturas muy bajas

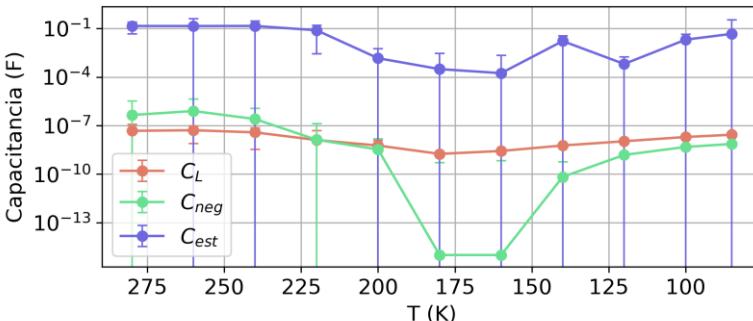
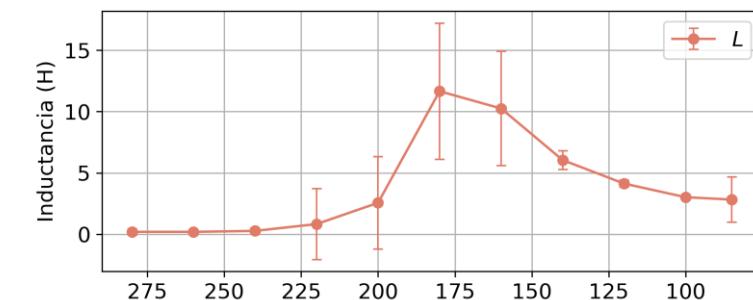
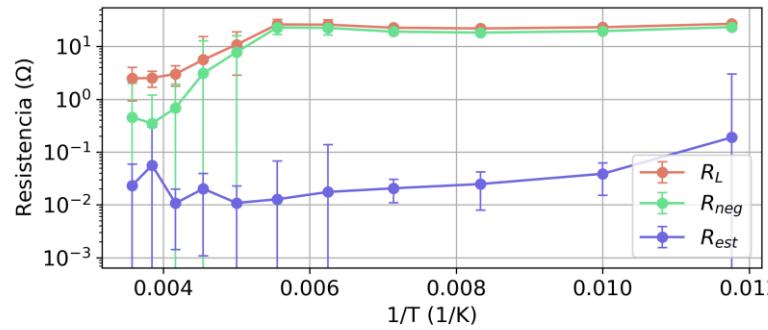


A muy bajas temperaturas el comportamiento se vuelve sumamente complejo

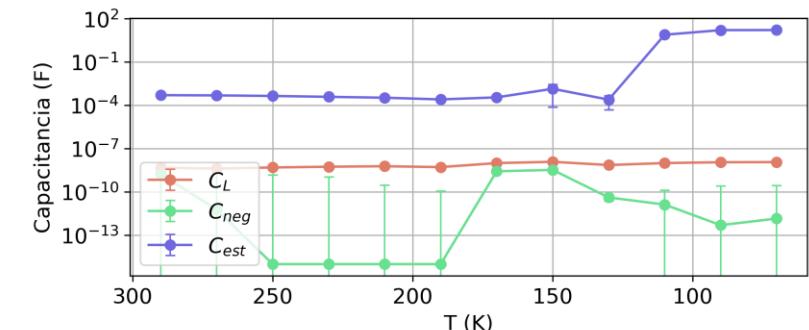
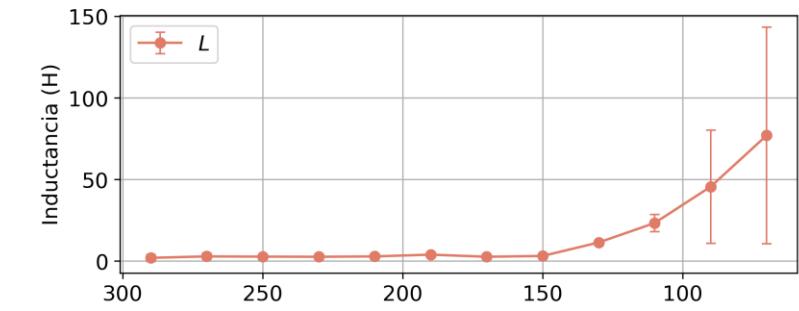
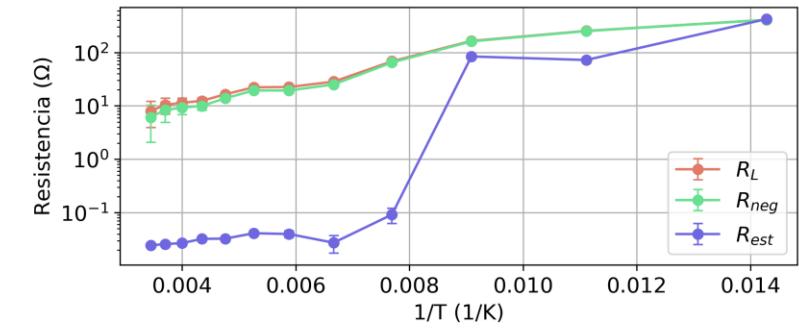
Modelado en circuito equivalente



- La inductancia acompaña (parcialmente) la resistividad
- El bloque estequiométrico cobra importancia en el caso estequiométrico
- La capacitancia e inductancia forman la jerarquía en frecuencias de los bloques

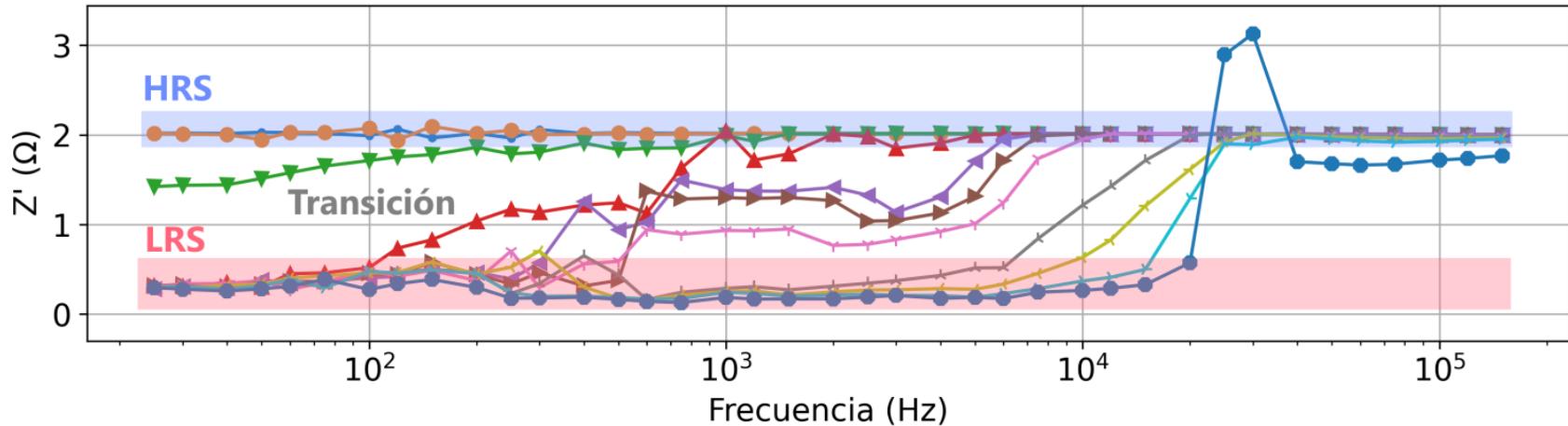


X5-a

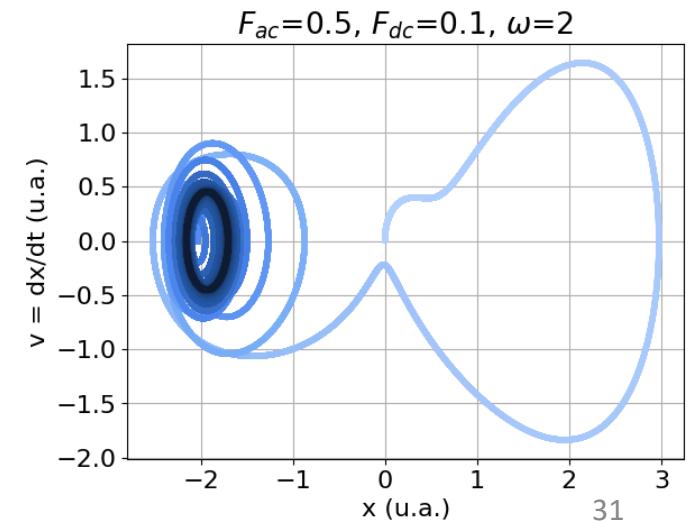
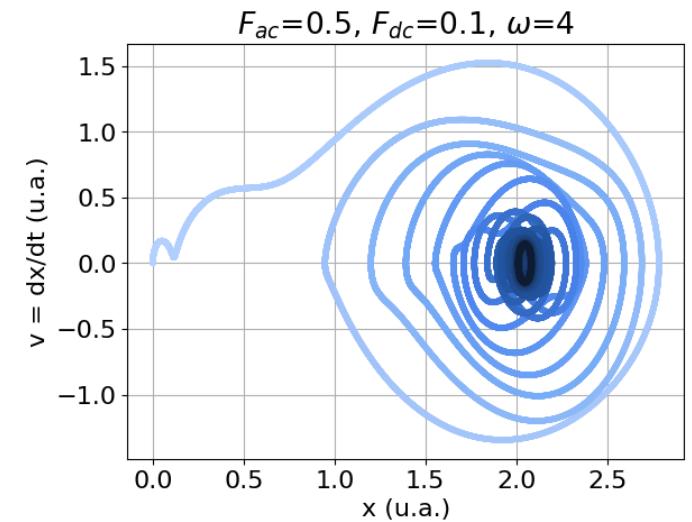
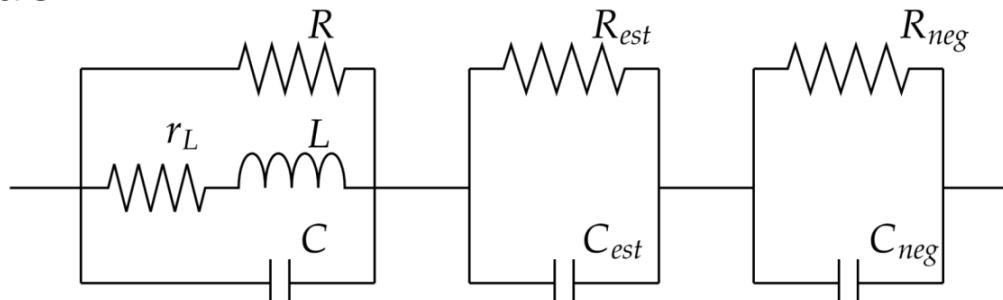


X5-b

Modelado dinámico y Ec. de Duffing

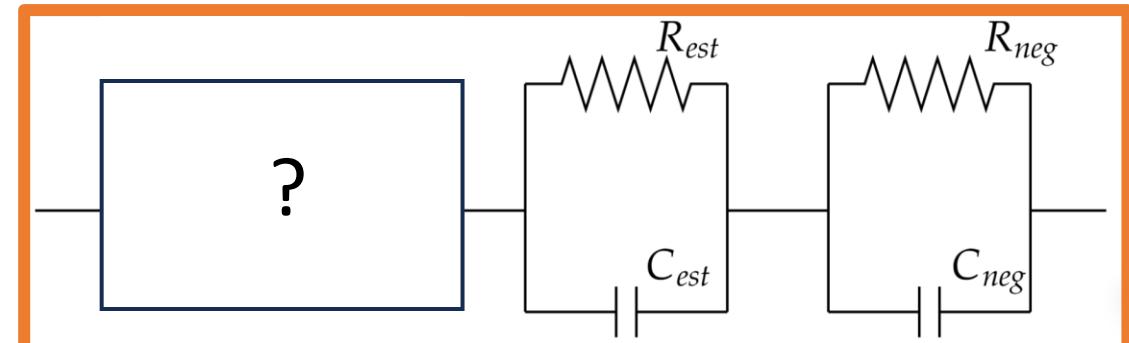
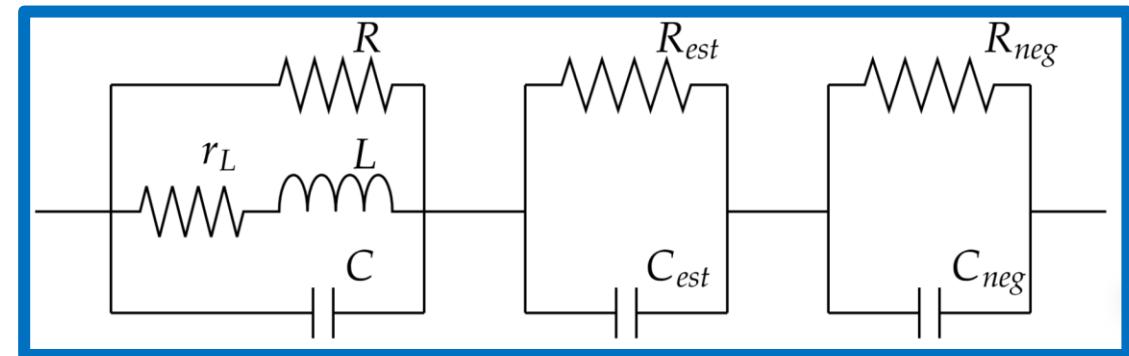
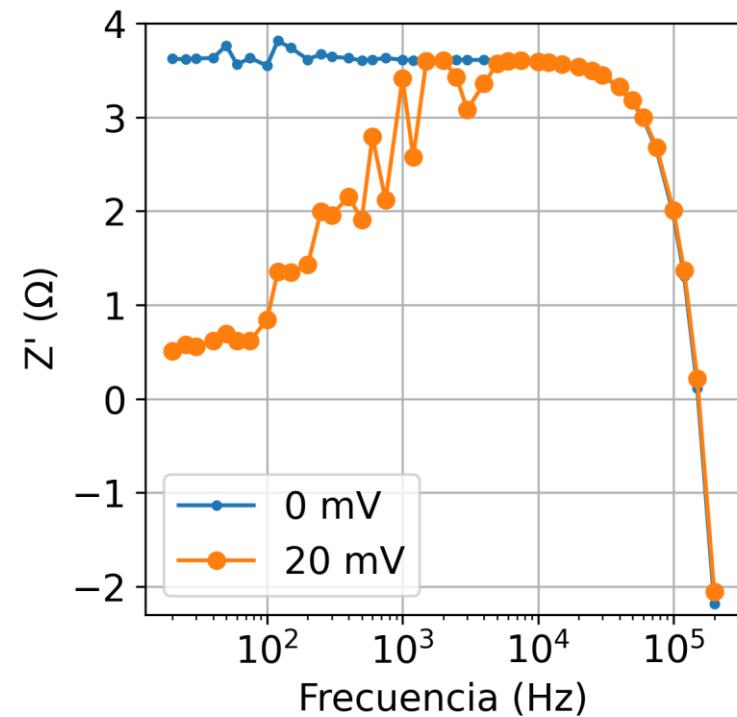


La frecuencia puede determinar en que estados nos encontramos, naturalmente suprimiendo bloques del circuito



V_{dc} y la dinámica de estados

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



Conclusiones

Conclusiones y perspectivas

- La caracterización del SIO fue exitosa, generalmente replicando los comportamientos esperados y mostrando comportamientos novedosos posiblemente asociados con memoria.
- La respuesta del sistema es de gran complejidad, incluyendo comportamientos bajo mecanismos no aún entendidos o aleatorios
- El uso de corriente alterna evidenció un régimen no explorado previamente, el cual puede ser modelado con un circuito equivalente con buena precisión pero de compleja interpretación física.
- La obtención de modelos matemáticos satisfactorios abre puertas a su expansión en mas profundos estudios.

Fin

¡Gracias por asistir!

Agradecimientos

