

**FI-6006. EFECTOS DE TAMAÑO Y TRANSPORTE DE CARGA EN METALES:  
TEORÍA DE RESISTIVIDAD DE CONECTORES METÁLICOS  
NANOMÉTRICOS**

(Size effects and charge transport in metals: Theory of resistivity of nanometric metallic connectors)

Profesor: Raul Munoz

6 credits (10 UD)

**Requisitos:** FI-4001 Mecánica Cuántica I y FI-4101 Introducción a Física del Sólido, o aprobación del Profesor

**Cátedra:** 2 módulos de 1.5 horas, horario a convenir.

**Método de Evaluación:** Tareas (70% de la nota final del curso), más una exposición final (30% de la nota final del curso).

**Resumen del curso:**

Desde la construcción del primer circuito integrado (IC por sus siglas en inglés), la industria electrónica mundial ha desarrollado un esfuerzo sostenido por reducir las dimensiones de los IC, para lograr computadores más rápidos. En 1965, Gordon Moore---cofundador de INTEL---propuso una relación empírica según la cual, el número de transistores por unidad de superficie en un IC se duplica aproximadamente cada dos años. Para que esta relación sea válida, la resistividad de los alambres de conexión entre los transistores debe permanecer invariante al reducir las dimensiones. Sin embargo, en marzo 2016 la dirección de INTEL anunció que la “Ley de Moore” llega a su fin, pues---por razones desconocidas---la resistividad de alambres nanométricos de Cobre aumenta al reducirse las dimensiones transversales del alambre a escalas de distancias de algunos nanómetros.

El propósito de este curso es desarrollar, en el contexto de teorías de resistividad de metales no magnéticos, la primera teoría de resistividad de alambres metálicos nanométricos basada en una teoría cuántica de efectos de tamaño, eso es, basada en una descripción cuántica del movimiento de los electrones en el metal que incorpora tanto el efecto de colisiones electrón-superficies rugosas como colisiones electrón-bordes de grano. La teoría predice el quiebre de la “ley de Moore” y explica naturalmente el aumento de resistividad observado al disminuir las dimensiones de los alambres de conexión a escalas nanométricas; *esta teoría fue desarrollada íntegramente en la Universidad de Chile.*

Al final del curso se discutirán brevemente algunos de los problemas que continúan abiertos.

**Programa (15 semanas):**

- 1) Introducción: Datos sobre transporte de carga en metales no magnéticos. Resistividad de metales como función de la temperatura. Magnetorresistencia y efecto Hall.
- 2) Teorías clásicas de transporte de carga en muestras metálicas masivas. Ecuación de Transporte de Boltzmann (BTE por sus siglas en inglés) y la teoría de resistividad de Bloch-Grüneisen.
- 3) Efectos de tamaño: Datos sobre cómo dependen los coeficientes que describen el transporte de carga en muestras metálicas, del tamaño de la muestra.

- 4) Teorias clásicas sobre efectos de tamaño basadas en BTE: Teoría de Fuchs-Sondheimer. Teoría de Calecki. Teoría de Mayadas y Shatzkes.
- 5) Limitaciones de las teorías clásicas sobre efectos de tamaño.
- 6) Formulación cuántica del problema de efectos de tamaño: La dicotomía entre transporte balístico y transporte difusivo. Formalismo de Kubo para el transporte difusivo.
- 7) Primera Teoría Cuántica de transporte difusivo en estructuras metálicas, basada en el formalismo de Kubo, que incluye tanto el efecto de colisiones electron-superficies rugosas como colisión electron-borde de grano.
- 8) Resultados: Resistividad de películas delgadas de Au y Cu y de alambres nanométricos de Cobre de sección rectangular, actualmente considerados en el diseño y en la fabricación de circuitos integrados.
- 9) Algunos de los problemas que continúan abiertos.

**Bibliografía:**

1. R. Muñoz and C. Arenas, *Size effects and charge transport in metals: Quantum theory of the resistivity of nanometric metallic structures arising from electron scattering by grain boundaries and by rough surfaces*, Applied Physics Reviews **4** (2017) 011102.
2. J. Ziman, *Electrons and Phonons: The theory of Transport Phenomena in Solids*, Oxford University Press (Reprinted 2007).
3. [A. B. Pippard, \*Magnetoresistance in Metals\*, Cambridge Studies in Low Temperature Physics, 1989.](#)
4. S. Datta, *Electronic Transport in Mesoscopic Systems*, 9th ed. (Cambridge University Press, 2012).

Semestre Primavera año 2020.