



## Doctorado en Ingeniería

Facultades de Cs. Agropecuarias; Cs. de la Alimentación e Ingeniería

Carrera: **Doctorado en Ingeniería**

Mención: **Bioingeniería**

Curso de Posgrado: ***Diseño de BioMEMS***

Carga Horaria: **90 hs.**

Docente/s a cargo: **Dr. Fabio A. Guarnieri**

**Semestre: 2° - 2014**

### Características del curso

1. **Carga horaria:** la cantidad de horas reloj: **90 hs.**
2. **Curso teórico:** curso donde se desarrolla en forma expositiva una temática propia de la disciplina:
3. **Curso teórico-práctico:** curso que articula la modalidad del curso teórico con una actividad de la práctica con relación a la temática de estudio. Lo teórico y lo práctico se dan simultáneamente en forma interrelacionada: **Teórico Práctico**
4. **Carácter:** si son del ciclo común o del ciclo electivo: **Ciclo electivo**

Programa Analítico de foja: **2 a foja: 3**

Bibliografía de foja: **4 a foja: 4**

Aprobado Resoluciones de Consejos Directivos:

Fecha:

Modificado/Anulado/ Res. Cs. Ds.:

Fecha:

Carece de validez sin la certificación del Director/a del Doctorado:



**Facultades de Ingeniería, Ciencias Agropecuarias y  
Ciencias de la Alimentación  
Oro Verde-Concordia, E. R.  
República Argentina**

## **PROGRAMA ANALÍTICO**

### **Introducción y motivación**

La miniaturización de circuitos electrónicos cercana al nanómetro (22 nm Intel Core i7-4790K) continúa alimentando una revolución tecnológica y económica (U\$S 371,000 M en 2011) en la industria del circuito integrado. Microprocesadores, memorias permiten la producción a bajo costo de sistemas electrónicos muy populares y útiles (PC, celulares, redes, electrodomésticos, etc.).

La miniaturización de otros dispositivos y sistemas (mecánicos, fluidicos, térmicos, magnéticos, ópticos y químicos) ofrece una oportunidad aún mayor de avance tecnológico. La tecnología MEMS representa un esfuerzo para transformar la escala, performance y costo de estos sistemas utilizando las técnicas de fabricación exitosamente empleadas por la industria del circuito integrado.

Específicamente, la tecnología MEMS ha permitido reducir en varios órdenes el tamaño de sensores, actuadores y sistemas, y al mismo tiempo mejorar su performance. Algunas de las áreas comerciales de MEMS son: la industria automotriz (sensores de presión y aceleración en air-bags, inyectores de combustible); impresoras (chorro-de-tinta); sistemas ópticos (monitores y redes); almacenamiento de información; y aplicaciones biomédicas.

Recientemente la dramática aceleración del crecimiento del mercado de MEMS (microsistemas electromecánicos) fue provocada por Steve Jobs luego de la conversión del teléfono celular en una poderosa computadora (iPhone 2007). Las actuales interfaces móviles incorporan acelerómetros, giróscopos, sensores magnéticos, microfonos, sensores de presión y filtros RF provocando un crecimiento en 2011 de mil millones de unidades por año.

Se espera un crecimiento similar en esta década para los MEMS aplicados a la salud o BioMEMS. Los beneficios de introducir la miniaturización a sistemas de diagnóstico y tratamiento biomédicos son enormes. Además de una dramática reducción de costos (menores insumos, menor complejidad y mantenimiento, menor espacio, mayor cercanía al lugar de tratamiento, automatización en la fabricación, etc.), la tecnología BioMEMS, permitirá reducir el trauma, disminuir el tiempo de recuperación, una identificación más temprana de la enfermedad, y un mejor acceso al tratamiento de la enfermedad.

En Argentina hay algunos centros como la CNEA-CAC, INTI, CNEA-CAB, CIMEC y la FIUNER donde se diseñan y fabrican MEMS y BioMEMS para la industria.

El gran desafío del diseño de MEMS es la inherente característica multicampo de los dispositivos micro electromecánicos: eléctrico, térmico, mecánico, químico, magnético, fluidico y óptico. En BioMEMS, se agrega el biológico, desde biomolecular hasta celular e histológico. Llegar a una solución integrada en herramientas CAD representa el actual desafío al estado del arte en MEMS y más aun en BioMEMS.

En Microelectrónica es común utilizar herramientas computacionales integradas desde el concepto hasta el fin del producto. En MEMS estas herramientas recién se están desarrollando para actividades comerciales. Algunos emprendimientos son: Coventor (Memcad-MIT), IntelliCAD (IntelliSense), CAEMEMS (U. Michigan), Composite CAD (DARPA).

Además de las herramientas computacionales, es necesario tener acceso a equipos de litografía, grabado, testeo paramétrico y funcional, empaquetado y equipamiento de ambiente limpio (clean-room). Cabe destacar que el equipamiento de MEMS es el mismo que el de la industria de los circuitos integrados pero sin requerir los estándares actuales de la microelectrónica.

Para BioMEMS, es necesario utilizar materiales y equipamiento compatible o bio-compatible. Para ello, las técnicas de micromaquinado no dependientes del Silicio, como el micromoldeado con PDMS son muy prometedoras, debido a su menor costo y biocompatibilidad.

Se espera en este curso que el estudiante de posgrado conozca las diferentes técnicas computacionales para el diseño integrado de MEMS orientado a aplicaciones biomédicas (bioMEMS).

### **Contenidos y Programa:**

#### 0 Introducción al Diseño en MEMS

Simulación multifísica. Modelos analíticos y circuitales. Modelos en FEM. Modelos ROM (orden reducido). Simulación SPICE. Foundries (MEMSCAP).

#### I Simulación de procesos

Procesos Semiconductores y MEMS. Micromaquinado por volumen y superficie. Litografía. Procesos aditivos y substractivos. Integración. Empaquetado y Caracterización. Diseño de procesos.

Simulación electroplateado: ecuación de Nernst Planck. Simulación sputtering: ecuación de drift-difusión. Simulación CVD (convección, difusión, reacción).

#### II Simulación de dispositivos

Sensor de presión (electromecánico). Modelo de contacto para touch-mode.

Sensor piezoresistivo. Modelo de actuador electrotérmico. Simulación microfluidica, Acople Fluido-estructura. ALE. Simulación de dispositivos electrico y electromagnéticos.

### III Simulación de sistemas.

Modelo de Orden reducidos. Analisis modal. Subespacio de Krylov y método de Arnoldi. Simulación de dispositivos en sistemas. HDL.

### IV Diseño en Microelectrónica

Transistor bipolar y MOS. CMOS. Circuitos Analógicos (amplificadores, filtros, fuentes). Circuitos Digitales. Simulación esquemático. DRC y LVS. Extracción de parámetros. Lenguaje SPICE. Foundries (MOSIS).

**Conocimientos previos requeridos: Mecánica del continuo. Ecuaciones diferenciales ordinarias y parciales. Métodos numéricos. Electrónica.**



Facultades de Ingeniería, Ciencias Agropecuarias y  
Ciencias de la Alimentación  
Oro Verde-Concordia, E. R.  
República Argentina

## BIBLIOGRAFIA

**Bibliografía (en caso de no estar disponible en la biblioteca de la unidad académica o otras fuentes accesibles, la bibliografía deberá provista por los docentes)**

### Papers

Senturia, Stephen D. "CAD challenges for microsensors, microactuators, and microsystems." Proceedings of the IEEE 86.8 (1998): 1611-1626.

White, Jacob. "CAD challenges in BioMEMS design." Proceedings of the 41st annual Design Automation Conference. ACM, 2004.

Extracción de parámetros circuitales, FastCap y FastHenry, Clase EMC UBA, 2008.

Sathyanarayanan, S., & Juliet, A. V. (2010, September). Design and simulation of touch mode MEMS capacitive pressure sensor. In Mechanical and Electrical Technology (ICMET), 2010 2nd International Conference on (pp. 180-183). IEEE.

Jimenez, Francisco, Samuel D. Ekpe, and Steven K. Dew. "Modeling of low pressure magnetron plasma discharge." Excerpt from the Proceedings of the COMSOL Conference. 2007.

### Básica

Richard C Jaeger\_ Travis N Blalock -Microelectronic circuit design-MGH (2011)

MICROSYSTEM DESIGN, by Stephen D. Senturia Massachusetts Institute of Technology Published by Kluwer Academic Publishers, 2001

Probstein, Ronald F. Physicochemical hydrodynamics: an introduction. John Wiley & Sons, 2005.

Complementaria

Comsol Multiphysics, V3.5 Chemical Engineering Module, User's guide, Modeling Transport and Reactions.

Comsol Multiphysics, V3.5 Chemical Engineering Module, Library Module, Electroplating Copper

The Materials Science of Thin Films, Milton Ohring, Academic Press, 1992.

Fundamentals of Microfabrication, The Science of Miniaturization, Sec. Edition, Marc Madou, CRC Press, 2003



Facultades de Ingeniería, Ciencias Agropecuarias y

PLANIFICACIÓN DEL CURSO

**Ciencias de la Alimentación**  
**Oro Verde-Concordia, E. R.**  
**República Argentina**

**Objetivos Generales:**

Dar los fundamentos teóricos y computacionales para el diseño de sistemas MEMS

**Objetivos Específicos:**

Describir los modelos computacionales de procesos en microfabricación

Describir los modelos computacionales para simulación de dispositivos MEMS

Describir los modelos computacionales de orden reducido para la simulación de sistemas MEMS y microelectrónicos

**Metodología de Trabajo:**

Se describen las ecuaciones diferenciales parciales y ordinarias de los procesos y dispositivos, así como su implementación computacional en diferentes softwares (COMSOL, INTELLISUITE, ANSYS, etc). Se describen otras estrategias (partículas, automáatas, dinámica molecular) para la simulación de procesos de micro y nanofabricación. Se describen métodos de model de orden reducidos para obtener a partir de dispositivos en el continuo a sistemas integrados con la microelectrónica siguiendo los lenguajes utilizados (SPICE, HDL, VHDL).

**Profesores**

**Docente responsable: Dr. Fabio A. Guarnieri**

**Docente(s) colaborador(es):**

**Cronograma**

lun 20 de oct

9:30am – 12:30pm Clase 1/30 : Introducción al diseño de MEMS. Modelo matemáticos en dispositivos, sistema y procesos.

vie 24 de oct

9:30am – 12:00pm Clase 2/30 . TP Modelo electromecánico de sensor capacitivo. Modelo de orden reducido.

1:30pm – 4:00pm Clase 3/30 : Procesos de fabricación MEMS. Tipo de aplicaciones.

vie 31 de oct

10:00am – 12:30pm Clase 4/30 : Ecuación de transporte por convección, difusión, reacción.

1:30pm – 4:00pm Clase 5/30 Ecuación de Nernst-Planck. Electroplateado de cobre.

mié 5 de nov

9:30am – 6:00pm Escuela CNEA-CAC. Trabajo práctico procesos MEMS.

jue 6 de nov

9:30am – 6:00pm Escuela CNEA-CAC. Trabajo práctico procesos MEMS. Seminario Sensor de

mié 12 de nov

9:30am – 12:30pm Clase 14/30 : Plasma. Multifísica : transporte, electroestático, magnético.

1:30pm – 4:00pm Clase 15/30 : Etching. Sputtering. Modelo del continuo acoplados con modelos de partículas.

mié 19 de nov

9:30am – 12:30pm Clase 16/30 : Modelo de dispositivo microfluidico. Navier Stokes, flujo laminar, presión. Pared rígida y deformable. ALE.

2:00pm – 5:00pm Clase 17/30 : Modelo actuador termoelastico. Piezoeléctrico. Acoplamiento fluido-estructura.

mié 26 de nov

9:30am – 12:30pm Clase 18/30 : Modelo sensor piezoresistivo. Acoplamiento corriente-desplazamiento.

2:00pm – 5:00pm Clase 19/30 : Modelo sensor capacitivo. Acoplamiento dieléctrico-desplazamiento. Modo-touch con modelo de contacto.

mié 3 de dic

9:30am – 12:30pm Clase 20/30 : Modelo magnetoestático para inductores. Parámetros de impedancia y S-scattering.

2:00pm – 5:00pm Clase 21/30 : Modelos de orden reducidos. Descomposición modal. Subespacio de Krylov. Método de Arnoldi.



mié 10 de dic

9:30am – 12:30pm Clase 22/30 : Reducción modelo actuador. Electrónica asociada. Simulación del sistema.

2:00pm – 5:00pm Clase 23/30 : Seminario Microfluidica (Dr Pablo Kler, CIMEC/CONICET-UNL)

mié 17 de dic

9:30am – 12:30pm Clase 24/30 : Reducción modelo sensor. Electrónica asociada. Simulación del sistema.

2:00pm – 5:00pm Clase 25/30 : Microelectrónica. tecnología CMOS. Modelo del transistor por modelo de transporte.

lun 22 de dic

9:30am – 12:30pm Clase 26/30 : Examen Final

2:00pm – 5:00pm Clase 27/30 : Examen Final

lun 29 de dic

9:30am – 12:30pm Clase 28-29/30 : Presentación Examen Final

2:00pm – 5:00pm Clase 30/30 : Presentación Examen Final

**Condiciones de Regularidad y Promoción:**

Presentación de todos los trabajos prácticos, aprobación examen parcial y final. Fecha de recuperario de exámenes a la semana siguiente o con fecha acordada con los estudiantes.

**Infraestructura necesaria:**

- Aula, pizarra y marcadores para pizarra
- Cañón proyector
- Matlab, Software de Elementos finitos.