



**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL**  
**DE INGENIERÍA ELECTRONICA**  
**DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE INGENIERÍA**

**SÍLABO**

**PLAN DE ESTUDIO 2015-II**

**1.- DATOS ADMINISTRATIVOS**

1.1 Nombre	: <b>DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS</b>
1.2 Código	: IE 0502
1.3 Tipo de curso	: Teórico, práctico, laboratorio
1.4 Área Académica	: Circuitos y Dispositivos Electrónicos
1.5 Condición	: Obligatorio
1.6 Nivel	: V
1.7 Créditos	: 4.5
1.8 Horas semanales	: Teoría (3), Práctica (1) y Laboratorio (2)
1.9 Requisito	: AC F004
1.10 Profesor	: MSc. Ing. Franco Renato Campana Valderrama

**2.- SUMILLA**

El curso de Dispositivos Electrónicos está ubicado en el quinto ciclo de la carrera de Ingeniería Electrónica. Su dictado se imparte de forma Teórico-Práctico y tiene como objetivo brindar al estudiante el conocimiento básico de las características físicas y eléctricas de los semiconductores además del funcionamiento eléctrico interno de los Dispositivos Electrónicos así como sus limitaciones. Estos dispositivos serán usados posteriormente en su vida profesional en casi todas las áreas de la carrera. Este curso está constituido por cinco unidades de aprendizaje cuyos temas son: Los Semiconductores y sus Propiedades, Mecanismos de Transporte de Corriente en los Semiconductores, La Juntura y el Diodo PN, el Transistor Bipolar BJT y el Transistor Efecto de Campo Metal-Óxido-Semiconductor MOSFET.

**3.- COMPETENCIAS DE LA CARRERA**

El curso aporta al logro de las siguientes competencias de la carrera:

- Analiza, diseña, especifica, modela, selecciona y prueba circuitos, equipos y sistemas electrónicos analógicos y digitales, con criterio para la producción industrial y uso comercial.
- Evalúa, desarrolla, adapta, aplica y mantiene tecnologías electrónicas, en telecomunicaciones, en automatización, en bioingeniería, resolviendo problemas que plantea la realidad nacional y mundial.
- Desarrolla estrategias de autoaprendizaje y actualización para asimilar los cambios y avances de la profesión y continuar estudios de posgrado

#### 4.- COMPETENCIAS DEL CURSO

Al finalizar este curso, el estudiante estará apto para:

- Analizar y entender los modelos de enlaces y de bandas, así como su aplicación en el análisis cualitativo y cuantitativo de los semiconductores, respectivamente.
- Analizar y entender los conceptos de Densidad de Estados y Funciones de Probabilidad para calcular la distribución de portadores en un semiconductor en equilibrio.
- Analizar y entender las propiedades de los semiconductores intrínsecos e extrínsecos en equilibrio y ante variaciones de temperatura.
- Aplicar los conceptos de campo eléctrico y gradiente de concentración de portadores al transporte de corriente de arrastre y difusión, respectivamente, así como aplicar las relaciones de continuidad a los semiconductores en estado de equilibrio y bajo excitación.
- Entender y aplicar el modelo de bandas de energía para la explicación cualitativa y cuantitativa de la conducción de corriente de los principales dispositivos de estado sólido tales como el Diodo de Juntura PN, del Transistor Bipolar y el Transistor MOSFET.
- Determinar y demostrar el fundamento físico de conducción de corriente del diodo de Juntura PN, el Transistor Bipolar y el Transistor MOSFET en estado estable aplicando las ecuaciones básicas de conducción por Arrastre-Difusión y la relación de continuidad, según sea el caso.
- Determinar los parámetros en pequeña señal, en baja y alta frecuencia y los modelos circuitales, así como el funcionamiento en régimen transitorio de la juntura PN, el Transistor Bipolar y el Transistor MOSFET, según sea el caso.

#### 5.- RED DE APRENDIZAJE

##### UNIDADES TEMÁTICAS:

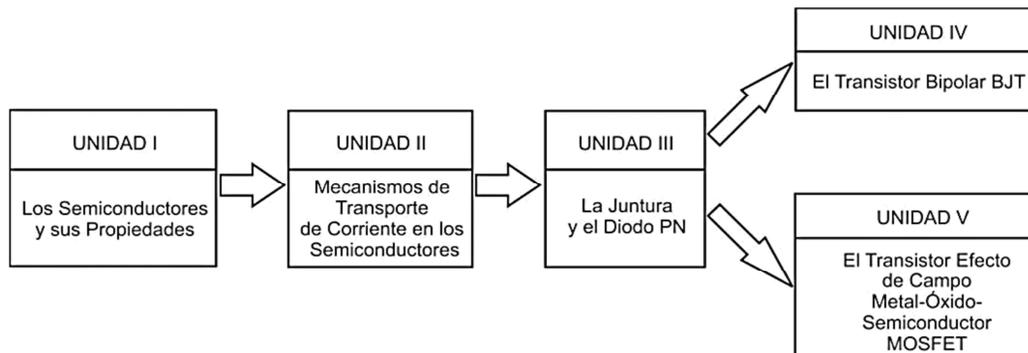
UNIDAD I: Los Semiconductores y sus Propiedades.

UNIDAD II: Mecanismos de Transporte de Corriente en los Semiconductores.

UNIDAD III: La Juntura y el Diodo PN.

UNIDAD IV: El Transistor Bipolar BJT.

UNIDAD V: El Transistor Efecto de Campo Metal-Óxido-Semiconductor MOSFET.



#### 6.- PROGRAMACIÓN SEMANAL DE LOS CONTENIDOS: UNIDADES DE APRENDIZAJE.

UNIDAD TEMÁTICA I: Los Semiconductores y sus Propiedades.

Logros de la unidad:

- Analizar y entender las principales propiedades de los semiconductores, su comportamiento en estado de equilibrio y las principales propiedades de los portadores de carga así como las características de los semiconductores dopados.
- Demostrar y aplicar las ecuaciones básicas de los semiconductores en equilibrio para hallar las concentraciones de portadores y su variación ante la temperatura.

Nro. de horas: Teoría 8 + 2 Laboratorio\semana

SEMANA	CONTENIDOS	ACTIVIDADES
1	Clasificación de los materiales de acuerdo a la resistividad. Modelo de enlaces y de bandas en los semiconductores. Clasificación de los materiales de acuerdo al ancho de la banda prohibida. Celda unitaria del Silicio y estructura cristalina de los enlaces. Los Portadores de carga y sus características. Dopaje en los semiconductores y su representación mediante los modelos de enlaces y de bandas: semiconductor N y P.	Exposición del profesor. Resolución de ejercicios aplicativos de los temas desarrollados. Experiencia de laboratorio.
2	Definición de la Densidad de Estados y Funciones de probabilidad de de Fermi y de Maxwell-Boltzman en los semiconductores y su aplicación para el cálculo de la concentración de portadores en condiciones de equilibrio. Concentración de portadores y su dependencia con respecto a la temperatura. Ley de Acción de Masas. Relación de neutralidad de la carga. Determinación de los niveles de Fermi en las bandas de energía de acuerdo a las variaciones de temperatura y del dopaje.	Exposición del profesor. Resolución y discusión de ejercicios aplicativos de los temas desarrollados. Experiencia de laboratorio.

UNIDAD TEMÁTICA II: Mecanismos de Transporte de Corriente en los Semiconductores.

Logros de la unidad:

- Analizar y entender los mecanismos de conducción de corriente de los portadores de carga en el semiconductor y el impacto de la dispersión.
- Demostrar y aplicar las ecuaciones básicas de las corrientes de arrastre, difusión y las relaciones de continuidad ante alguna perturbación en el semiconductor.

Nro. de horas: Teoría 8 + 2 Laboratorio\semana

SEMANA	CONTENIDOS	ACTIVIDADES
3	Conducción de corriente en los semiconductores: corriente de Arrastre y de Difusión. Fenómenos de Dispersión en la movilidad: Coulombica y Fonónica y su impacto en la corriente de Arrastre: regla de Matthiessen. Dependencia de la movilidad con respecto a la temperatura y dopaje. Efecto de campos eléctricos de gran magnitud en la conducción por Arrastre. Relaciones de Einstein. Resistividad. Representación del diagrama de bandas ante la aplicación de un campo eléctrico externo y movimiento de los portadores dentro de las bandas.	Exposición del profesor. Resolución y discusión de ejercicios aplicativos. Experiencia de laboratorio.
4	Estudio del Nivel de Fermi en un sistema de varios materiales en contacto. Generación y Recombinación de los portadores en los semiconductores y su representación en el diagrama de bandas. Relaciones de Continuidad y Ecuación de la continuidad de los portadores minoritarios. Aproximación de bajo nivel de inyección.	Exposición del profesor. Resolución de ejercicios aplicativos de los temas desarrollados. Experiencia de laboratorio. Primera práctica calificada.

UNIDAD TEMÁTICA III: La Juntura y el Diodo PN.

Logros de la unidad:

- Analizar y entender el diagrama de bandas de la juntura PN en equilibrio y representación ante la aplicación de tensión externa, así como los efectos de esta tensión en las variables electrostáticas: carga fija, campo eléctrico, potencial electrostático y ancho de región de deplexión.
- Analizar y entender y demostrar la ecuación característica del diodo PN y los mecanismos de conducción involucrados en este dispositivo en polarización directa e inversa.
- Analizar y entender el impacto de los efectos de segundo orden del diodo PN, así como entender su modelo en pequeña señal, en baja y alta frecuencia.
- Analizar y entender el comportamiento de este dispositivo régimen transitorio.

Nro. de horas: Teoría 12 + 2 Laboratorio\semana

SEMANA	CONTENIDOS	ACTIVIDADES
5	Perfil de dopaje en las junturas PN: Abrupta y Gradual. Estudio del diagrama de bandas de la juntura PN en equilibrio. Estudio de la Aproximación por Deplexión. Análisis de las variables electrostáticas (carga fija, campo eléctrico, potencial electrostático y ancho de la región de deplexión) en la juntura abrupta en situación de equilibrio. Estudio del diagrama de bandas de la juntura PN ante la aplicación de una tensión externa: Conceptos de casi Nivel de Fermi y Ley de la Juntura. Análisis de las variables electrostáticas en la juntura abrupta PN ante la aplicación de una tensión externa.	Exposición del profesor. Resolución y discusión de ejercicios aplicativos de los temas desarrollados. Experiencia de laboratorio.
6	Ecuación característica ideal I-V del diodo PN. Análisis de las junturas PN dopadas asimétricamente. Estudio de las concentraciones de portadores y las corrientes mayoritarias y minoritarias en un diodo PN para polarizaciones directa e inversa. Estudio de los efectos de segundo orden y su impacto en el modelo ideal del diodo: Efectos de la temperatura, corrientes de generación y recombinación, tensiones de ruptura: mecanismos de Avalancha y Zener, fenómenos de alta corriente: Alto nivel de inyección.	Exposición del profesor. Resolución y discusión de ejercicios aplicativos de los temas desarrollados. Experiencia de laboratorio.
7	Modelo en pequeña señal del Diodo PN en baja y alta frecuencia y su representación circuital: capacidades de deplexión, difusión y resistencia dinámica. análisis cualitativo y cuantitativo de la respuesta transitoria del diodo: conmutación directa e inversa: tiempos de retraso de almacenamiento y de establecimiento.	Exposición del profesor. Resolución y discusión de ejercicios aplicativos de los temas desarrollados. Experiencia de laboratorio. Segunda práctica calificada.
8	Examen Parcial	

UNIDAD TEMÁTICA IV: El Transistor Bipolar BJT.

Logros de la unidad:

- Analizar y entender el diagrama de bandas del Transistor Bipolar PN en equilibrio y su representación ante la aplicación de tensión externa, así como los efectos de esta tensión en las variables electrostáticas: Carga fija, campo eléctrico, potencial electrostático y ancho de región de deplexión.
- Analizar y entender y demostrar las ecuaciones que caracterizan al BJT en régimen estable.
- Analizar y entender el impacto de los efectos de segundo orden en este dispositivo, así como entender su modelo en pequeña señal, en baja y alta frecuencia.
- Analizar y entender el comportamiento de este dispositivo régimen transitorio.

Nro. de horas: Teoría 12 + 2 Laboratorio\semana

SEMANA	CONTENIDOS	ACTIVIDADES
9	Nociones básicas, tipos de BJT (NPN y PNP) y sus modos de operación: Activa directa, Activa inversa, Corte y Saturación. Configuraciones circuitales: Emisor común, Base Común y Emisor Común. Curvas características I-V del BJT en las configuraciones Base Común y Emisor Común. Distribución de portadores, modelo de bandas de energía y análisis de las variables electrostáticas en un BJT de acuerdo a su modo de operación.	Exposición del profesor. Resolución y discusión de ejercicios aplicativos de los temas desarrollados. Experiencia de laboratorio.
10	Ecuaciones características ideales I-V del BJT. Parámetros de rendimiento: Eficiencia del Emisor, Factor de transporte de Base, ganancia de corriente en DC en Base común, ganancia de corriente en DC en Emisor común. Polarización generalizada: modelo de Ebers Moll. Efectos de segundo orden en el transistor bipolar y su impacto en el modelo ideal: Modulación del ancho de la base, efectos de la temperatura, perforamiento de la base, fenómeno de alta inyección de corriente y multiplicación de portadores por avalancha en el modo activo directo.	Exposición del profesor. Resolución y discusión de ejercicios aplicativos de los temas desarrollados. Experiencia de laboratorio.
11	Modelo pi-hibrido en baja y alta frecuencia del BJT, en el modo activo directo y sus parámetros en pequeña señal. Respuesta transitoria del BJT, distribución de portadores en el encendido y en el apagado del transitorio así como su impacto en las corrientes.	Exposición del profesor. Resolución y discusión de ejercicios aplicativos de los temas desarrollados. Experiencia de laboratorio. Tercera práctica calificada.

UNIDAD TEMÁTICA V: El Transistor Efecto de Campo Metal-Óxido-Semiconductor MOSFET.

Logros de la unidad:

- Analizar y entender el diagrama de bandas del sistema MOS de dos y tres terminales en equilibrio y su representación ante la aplicación de tensión externa, así como los efectos de esta

tensión en las variables electrostáticas: Carga fija, campo eléctrico, potencial electrostático y ancho de región de deplexión.

- Analizar y entender y demostrar la ecuación característica del transistor MOSFET en la región de inversión fuerte, en sus modos de operación del Triodo y la Saturación.
- Entender el impacto de los efectos de segundo orden en este dispositivo.
- Analizar y entender su modelo en pequeña señal, en baja y alta frecuencia.

Nro. de horas: Teoría 12 + 2 Laboratorio\semana

SEMANA	CONTENIDOS	ACTIVIDADES
12	Estructura del Sistema MOS de dos terminales. Análisis del diagrama de bandas en los regímenes de equilibrio, acumulación, deplexión e inversión y análisis de las variables electrostáticas en estos regímenes. Distribución de cargas en el sustrato y regiones de inversión en el MOS de dos terminales. Relaciones tensión en la puerta versus potencial en la superficie, tensión en la puerta versus cargas de inversión en la región de inversión fuerte. Tensión Umbral. Estructura MOS de tres terminales. Efecto cuerpo y su impacto en la tensión umbral. Relaciones tensión en la puerta-potencial en la superficie y cargas de inversión en la región de inversión fuerte en el MOS de tres terminales.	Exposición del profesor. Resolución y discusión de ejercicios aplicativos de los temas desarrollados. Experiencia de laboratorio.
13	El Transistor MOSFET y sus modos de operación: Corte, saturación y triodo. Ecuaciones características del MOSFET N y P en la región de inversión fuerte y en los modos de operación de la saturación y el triodo. Polarización del sustrato y su repercusión en la tensión umbral. Efectos de segundo orden y su impacto en el modelo ideal: Modulación de la longitud del canal, reducción de la movilidad en el canal, efectos de la temperatura. Conducción sub-umbral y su mecanismo de transporte. Tecnología CMOS y fenómeno de Enganche.	Exposición del profesor. Resolución y discusión de ejercicios aplicativos de los temas desarrollados. Experiencia de laboratorio.
14	Modelo pi-hibrido en baja y alta frecuencia del MOSFET en el modo de saturación y sus parámetros en pequeña señal en inversión fuerte. Efectos del escalamiento del tamaño del transistor MOSFET: Efectos de canal pequeño y angosto y su impacto en la tensión umbral. Efectos de campos eléctricos de gran magnitud y su impacto en la corriente de puerta y de sustrato, avalancha débil.	Exposición del profesor. Resolución y discusión de ejercicios aplicativos de los temas desarrollados. Experiencia de laboratorio. Cuarta práctica calificada.
15	Examen Final	
16	Examen Sustitutorio	

## 7.- TÉCNICAS DIDÁCTICAS:

Se utiliza una metodología orientada a promover la participación activa del estudiante en el desarrollo de los contenidos temáticos. El profesor expone la parte teórico-práctica de todas las unidades de aprendizaje que componen el silabo. Cada semana concluye con problemas aplicativos especialmente diseñados para reforzar el análisis y desarrollo de los temas planteados en la unidad correspondiente, integrando así la parte teórica con la parte práctica.

La asignatura se desarrolla en tres modalidades didácticas:

- Clases teóricas: Se desarrollan mediante exposición del profesor cumpliendo el calendario establecido. Estas clases son complementadas con las diapositivas del curso, las que el profesor pone a disposición desde el primer día de clase vía el aula virtual. Este material es de autoría del docente.
- Clases prácticas: Se plantean con la finalidad de desarrollar las habilidades y actitudes descritas en las competencias. Se discuten los temas seleccionados y su aplicación a ejercicios y problemas, afianzando aún más la parte teórica.
- Clases de laboratorio: Se realizaran con los instrumentos adecuados que permita al alumno desarrollar los experimentos del Laboratorio, análisis de los resultados obtenidos y trabajo grupal en evaluaciones de laboratorio.

Los materiales de ayuda y equipos que permitirán la mejor comprensión de los temas tratados son: pizarra, tizas, plumones de colores, Proyector de multimedia, diapositivas del curso, Equipos de Laboratorio y Componentes Electrónicos, Manual de Laboratorio y Computadora equipada con software de simulación adecuada como el MATLAB.

## **8.- EQUIPOS Y MATERIALES**

### **8.1.- Equipos e Instrumentos**

- Proyector multimedia
- Computadora personal.

### **8.2.- Materiales**

- Tizas. Plumones.
- Diapositivas del curso que son colocadas en el aula virtual.

## **9.- BIBLIOGRAFÍA BÁSICA:**

- 1.- Campana Valderrama Franco Renato. *Los Dispositivos Semiconductores*. Lima-Perú, Edita Concytec, 2012.
- 2.- Singh, Jasprit. *Dispositivos Semiconductores*. Mexico DF: McGraw-Hill, 1997.

## **BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA**

### **Nivel Básico:**

- 3.- Pierret, R.F. *Semiconductor Devices Fundamentals*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1996.
- 4.- Kano, K. *Semiconductor Devices*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1998.
- 5.- Streetman, B.G., and S. Banerjee. *Solid State Electronic Devices*. 7th Ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson Education, 2015.
- 6.- Neamen, D.S. *Semiconductor Physics and Devices: Basic Principles*. 4th Ed. New York: McGraw-Hill, 2011.

### **Nivel Avanzado:**

- 7.- Sze, S.M. Lee, M.K. *Semiconductor Devices: Physics and technology*. 3th Ed. New York: John Wiley and Sons, 2012.

8.- Del Alamo, J.A. *Integrated Microelectronic Devices: Physics and Modeling*. 1E. New York : Pearson Education, 2017.

9.- Muller, R. Kamins, T. Chan, Mansun. *Devices Electronics for Integrated Circuits*. 3th Ed. New York: John Wiley and Sons, 2002.

**CURSOS ONLINE (En Inglés):**

Indian Institute of Technology Madras. Department of Electrical Engineering.  
EE – 3001: Solid State Devices Course. Prof. Dr. Shreepad Karmalkar.

<http://nptel.ac.in/courses/117106091/>

Indian Institute of Technology Madras. Department of Electrical Engineering.  
Semiconductor Device Modeling Course. Prof. Dr. Shreepad Karmalkar.

<http://nptel.ac.in/courses/117106033/>

Indian Institute of Technology Madras. Department of Electrical Engineering.  
High Speed Devices Course. Prof. Dr. K. N. Bhat.

<http://nptel.ac.in/courses/117106089/>