





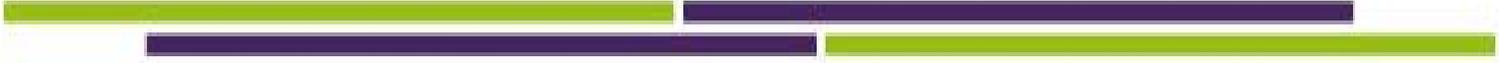
## Directorio

Lic. Emilio Chuayffet Chemor  
Secretario de Educación

Dr. Fernando Serrano Migallón  
Subsecretario de Educación Superior

Mtro. Héctor Arreola Soria  
Coordinador General de Universidades Tecnológicas y Politécnicas

Dr. Gustavo Flores Fernández  
Coordinador de Universidades Politécnicas.



## **PÁGINA LEGAL**

### Participantes

**Dr. Héber Vilchis Bravo - Universidad Politécnica del Valle de México**

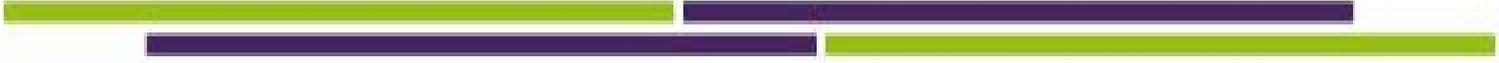
Primera Edición: 2013.

DR © 2013 Coordinación de Universidades Politécnicas.

Número de registro: \_\_\_\_\_

México, D.F.

ISBN: \_\_\_\_\_



## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>5</b>
<b>PROGRAMA DE ESTUDIOS .....</b>	<b>7</b>
<b>FICHA TÉCNICA.....</b>	<b>8</b>
<b>DESARROLLO DE LA PRÁCTICA Ó PROYECTO .....</b>	<b>9</b>
<b>GUÍA DE CUESTIONARIOS .....</b>	<b>14</b>
<b>INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN.....</b>	<b>19</b>
<b>GLOSARIO.....</b>	<b>221</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>22</b>

## INTRODUCCIÓN

La nanotecnología es un campo de las ciencias aplicadas que depende directamente de la nanociencia para el estudio, síntesis de materiales y diseño de nanoestructuras. Con la finalidad de realizar aplicaciones que resuelvan problemas en diversas áreas que con la tecnología actual no tienen solución.

El inicio de la nanotecnología se dio en la década anterior, encontrándonos actualmente en un crecimiento considerable de la misma. Lo que ha sido posible gracias a los importantes avances tecnológicos en microscopía que nos permiten “ver” y “manipular” materiales con dimensiones nanométricas.

La nanotecnología tiene un fuerte impacto e importancia en diferentes ciencias en la que ha sido necesaria e indispensable su incursión:

- **Química orgánica e inorgánica**, para sensor potenciales químicos, acelerar reacciones, etc.
- **Biología celular y molecular**, monitorear cambios a nivel celular ó molecular en diferentes entes biológicos, etc.
- **Medicina**, para la detección y tratamiento de enfermedades, etc.
- **Ambiental**, para detectar y mejorar la calidad del aire y el agua, etc.
- **Informática**, con el fin de lograr mayor capacidad en la transmisión y almacenamiento de datos para aplicaciones de audio y video, etc
- **Metalurgia**, mejorar la calidad de diversos materiales, productos y procesos de producción, etc.

Obteniéndose resultados novedosos, interesantes y útiles; que han ampliado el horizonte de estudio planteándose nuevos objetivos más ambiciosos.

Para interactuar con los diferentes parámetros físicos y químicos en la mayoría de las aplicaciones ya mencionadas es necesario adquirir y manipular señales de pequeñas magnitudes. Por lo que es indispensable implementar dispositivos nanométricos que puedan detectar ligeros cambios de campos eléctricos y magnéticos; ó que permitan



detectar otras magnitudes físicas y químicas, tales como potenciales químicos, cambios metabólicos, vibraciones, emisión o absorción de luz etc. que puedan ‘traducirse’ a señales eléctricas.

La rama de la nanotecnología que se encarga del estudio, diseño, simulación, fabricación, manipulación y análisis del funcionamiento de los dispositivos nanométricos que manejan señales eléctricas sean de entrada ó salida es la **nanoelectrónica**. A diferencia de la nanotecnología que se define para materiales menores a 100 nm, la escala máxima de la nanoelectrónica es de 20 nm. Qué se explica conociendo los tres principales temas de interés:

- ❖ **Partículas con carga eléctrica.** Estudia los fenómenos que se presentan cuando interactúan dos ó más partículas que tienen carga dentro de un solo material ó en una interfaz de dos materiales, las cuales son de escala atómica. Por lo que se requieren dimensiones próximas a unas cuantas capas atómicas para determinar dichos fenómenos.
- ❖ **Nanodispositivos.** Busca desarrollar dispositivos que impliquen el uso de la menor cantidad de átomos posible con la finalidad de algún día crear dispositivos de un solo átomo. Los dispositivos de mayor interés son los nanotransistores, nanodiodos, nanoceldas solares y nanosensores.
- ❖ **NEMS.** Sistemas nano-electromecánicos, diseña e implementa sistemas para el control y manipulación de nanopartículas, conocidos como *nanobots*.

Finalmente es importante decir, que la nanoelectrónica es una tecnología disruptiva, es decir, rompe paradigmas establecidos y será un referente para futuros desarrollos tecnológicos. Esto se debe por dos razones, la primera, porque involucra el comportamiento de nuevas partículas que la física cuántica está descubriendo. Y la segunda, porque los dispositivos que se desarrollan a esta escala son sustancialmente diferentes a los dispositivos electrónicos tradicionales.





## FICHA TÉCNICA

### NOMBRE DE LA ASIGNATURA

Nombre:	Tópicos de Nanoelectrónica
Clave:	TOE-ES
Justificación:	Esta asignatura permitirá al alumno conocer los principios básicos que han hecho posible construir dispositivos electrónicos cada vez de menor tamaño.
Objetivo:	El alumno será capaz de identificar las características de los dispositivos microelectrónicos (MEMS) y nanoelectrónicos (NEMS) para nuevas aplicaciones tecnológicas.
Habilidades:	Trabajo en equipo, Habilidades interpersonales, Pensamiento crítico y analítico, Trabajo interdisciplinario, aprender a aprender y Creatividad,
Competencias genéricas a desarrollar:	Capacidad de abstracción, análisis y síntesis, Capacidad de investigación, Habilidades para buscar, procesar y analizar información procedentes de fuentes diversas, Capacidad para actuar en nuevas situaciones y Capacidad creativa

Capacidades a desarrollar en la asignatura	Competencias a las que contribuye la asignatura
Determinar las características de funcionamiento y el área de aplicación de los diferentes dispositivos nanoelectrónicos	Determinar la funcionalidad de nanomateriales y dispositivos nanoestructurados, correlacionando su morfología y propiedades macroscópicas para identificar sus posibles aplicaciones

Estimación de tiempo (horas) necesario para transmitir el aprendizaje al alumno, por Unidad de Aprendizaje:	Unidades de aprendizaje	HORAS TEORÍA		HORAS PRÁCTICA	
		presencial	No presencial	presencial	No presencial
	Dispositivos electrónicos avanzados	10	2	2	1
	Dispositivos fotónicos	10	2	2	1
	Física de nanodispositivos de silicio	9	2	2	1
	Dispositivos lógicos	9	2	2	1
	Otros dispositivos	12	2	2	1
Total de horas por cuatrimestre:	75				
Total de horas por semana:	5				
Créditos:	5				



Subsistema de  
**Universidades  
Politécnicas**

## DESARROLLO DE LA PRÁCTICA Ó PROYECTO

Nombre de la asignatura:	<b>Tópicos de Nanoelectrónica</b>		
Nombre de la Unidad de Aprendizaje:	<b>Dispositivos electrónicos avanzados</b>		
Nombre de la práctica o proyecto:	<b>Mecanismos de transporte cuánticos</b>		
Número:	<b>1/5</b>	Duración (horas) :	<b>2</b>
Resultado de aprendizaje:	El alumno conoce los diferentes mecanismos de transporte de partículas, que se estudian utilizando la física cuántica. Y determinará las características de los dispositivos en base a los mecanismos presentes.		
Requerimientos (Material o equipo):	Apuntes de la unidad de aprendizaje y bibliografía correspondiente		
Actividades a desarrollar en la práctica: El alumno realizará una lectura sobre un artículo ó texto científico, en el cual comprenderá la importancia que tienen el estudio de los mecanismos cuánticos para determinar las características de los dispositivos nanoelectrónicos.			
Evidencias a las que contribuye el desarrollo de la práctica:  <b>EP 1 - Ensayo sobre los mecanismos cuánticos</b>			

Nombre de la asignatura:	<b>Tópicos de Nanoelectrónica</b>		
Nombre de la Unidad de Aprendizaje:	<b>Dispositivos fotónicos</b>		
Nombre de la práctica o proyecto:	<b>Dispositivos nanoelectrónicos</b>		
Número:	<b>2/5</b>	Duración (horas) :	<b>2</b>
Resultado de aprendizaje:	El alumno relaciona las características de los dispositivos nanoelectrónicos con los diferentes campos de aplicación donde se utilizan.		
Requerimientos (Material o equipo):	Apuntes de la unidad de aprendizaje y bibliografía correspondiente		
<p>Actividades a desarrollar en la práctica:  El alumno realizará un trabajo de investigación enfocado en conocer cuáles han sido los diferentes dispositivos nanoelectrónicos que se han desarrollado en los últimos años.</p>			
<p>Evidencias a las que contribuye el desarrollo de la práctica:</p> <p style="text-align: center;"><b>EP 2 - Análisis sobre el presente y el futuro de la nanoelectrónica</b></p>			

Nombre de la asignatura:	<b>Tópicos de Nanoelectrónica</b>		
Nombre de la Unidad de Aprendizaje:	<b>Física de nanodispositivos de silicio</b>		
Nombre de la práctica o proyecto:	<b>Introducción a la tecnología planar</b>		
Número:	<b>3/5</b>	Duración (horas) :	<b>2</b>
Resultado de aprendizaje:	El alumno aprende los diferentes procesos tecnológicos que están involucrados en la fabricación de circuitos integrados. Los cuales también son empleados para el desarrollo de nanodispositivos.		
Requerimientos (Material o equipo):	Apuntes de la unidad de aprendizaje y bibliografía correspondiente		
Actividades a desarrollar en la práctica: El alumno realizará la búsqueda de información relacionada con los diferentes procesos ó pasos tecnológicos empleados en la fabricación de dispositivos electrónicos.			
Evidencias a las que contribuye el desarrollo de la práctica:  <b>EP 3 - Mapa conceptual (ilustrado) de los pasos de la tecnología planar</b>			

Nombre de la asignatura:	<b>Tópicos de Nanoelectrónica</b>		
Nombre de la Unidad de Aprendizaje:	<b>Dispositivos lógicos</b>		
Nombre de la práctica o proyecto:	<b>Nanotubos de carbón</b>		
Número:	<b>4/5</b>	Duración (horas) :	<b>2</b>
Resultado de aprendizaje:	El alumno conoce las principales características de los nanotubos de carbón y el campo de aplicación para dispositivos basados en este material.		
Requerimientos (Material o equipo):	Apuntes de la unidad de aprendizaje y bibliografía correspondiente		
Actividades a desarrollar en la práctica: El alumno realizará un trabajo de investigación enfocado en conocer cuáles son las ventajas de implementar nanodispositivos basados en nanotubos de carbón.			
Evidencias a las que contribuye el desarrollo de la práctica:  <b>EP 4 - Análisis sobre las aplicaciones de los nanotubos de carbón</b>			

Nombre de la asignatura:	<b>Tópicos de Nanoelectrónica</b>		
Nombre de la Unidad de Aprendizaje:	<b>Otros dispositivos</b>		
Nombre de la práctica o proyecto:	<b>Sistemas Nano-ElectroMecánicos (NEMS)</b>		
Número:	<b>5/5</b>	Duración (horas) :	<b>2</b>
Resultado de aprendizaje:	El alumno aprende las características y conoce las aplicaciones de los NEMS.		
Requerimientos (Material o equipo):	Apuntes de la unidad de aprendizaje y bibliografía correspondiente		
<p>Actividades a desarrollar en la práctica:  El alumno realizará una lectura sobre un artículo ó texto científico, en el cual se manifieste la utilidad de emplear NEMS para la manipulación de nanomateriales, nanopartículas ó nanomaterial orgánico e inorgánico.</p>			
<p>Evidencias a las que contribuye el desarrollo de la práctica:</p> <p style="text-align: center;"><b>EP 5 - Ensayo sobre la aplicación de los NEMS</b></p>			



### PROPIEDADES ELÉCTRICAS DE SEMICONDUCTORES (UA1, EC1)

Conteste correctamente las siguientes preguntas ó realice lo que se le indique:

1. ¿Cuál es la escala máxima en nanoelectrónica? ¿Por qué?
2. Explique que es un material semiconductor.
3. ¿A que se le llama semiconductor intrínseco?
4. Dibuje el diagrama de bandas de un semiconductor de bandas indirectas.
5. ¿Qué es un material semiconductor compuesto?
6. Describa que es un material impurificado tipo n y cual un tipo p.
7. ¿Por qué es importante conocer la ecuación de Schörringer?
8. Explique el funcionamiento del diodo.
9. ¿Cuál es la relación entre longitud de onda y el ancho de energía prohibida de un semiconductor?
10. Mencione que otros dispositivos electrónicos conoce.

## MECANISMOS DE TRANSPORTE EN NANODISPOSITIVOS (UA2, EC2)

Conteste correctamente las siguientes preguntas ó realice lo que se le indique:

1. ¿Qué significa el concepto de onda-partícula?
2. ¿Qué indica físicamente el principio de incertidumbre?
3. Explique detalladamente los siguientes mecanismos de transporte:
  - a. Difusión
  - b. Arrastre
  - c. Tuneleo
  - d. Recombinación radiativa
  - e. Recombinación no radiativa
4. Dibuje el diagrama de bandas de una unión n-p.
5. ¿Cómo se lleva a cabo el transporte de carga en una región ó área donde se han sintetizado nanoalambres, para sensar gases, crecidos de forma aleatoria?
6. Explique qué mecanismo de transporte domina en el funcionamiento de un nanodiodo emisor de luz.



**DISPOSITIVOS MOSFETs  
(UA3, EC3)**

**Resuelva el siguiente problema:**

Utilizando los procesos de la tecnología planar, desarrolle un procedimiento (diseño) para fabricar un MOSFET.

## TRANSISTOR FERROELECTRICO (UA4, EC4)

Conteste correctamente las siguientes preguntas ó realice lo que se le indique:

1. Explique lo que es un transistor de efecto de campo. (FET)
2. Mencione las ventajas de un FET.
3. Describa esquemáticamente el funcionamiento de un FET.
4. Dibuje las curvas de entrada salida de un FET.
5. ¿Qué ventajas se tienen de hacer un FET de :
  - a. Metal-oxido-semiconductor (MOSFET)?
  - b. Película delgada (TFET)?
  - c. Material orgánico (OFET)?
  - d. Material ferro-eléctrico (FeFET)?
6. Detalle el funcionamiento de un FeFET
7. ¿Cuáles son las aplicaciones actuales y futuras de los FeFET?



## DISPOSITIVOS NANO ELECTRONICOS (UA5, EC5)

Resuelva el siguiente problema:

Emplee los conocimientos adquiridos en la asignatura, para proponer el diseño de tres de los siguientes dispositivos:

- a. Nanodiodo de nanotubos de carbono.
- b. Nanocelda solar basada en un compuesto III-V.
- c. Nanofotodiodo que trabaje en la región infrarroja.
- d. Nanosensor de gas basado en nanoalambres.
- e. Nanotransistor.
- f. NEMS.

El diseño debe incluir:

- 1. Propiedades de los materiales a emplear y justificación de los mismos.
- 2. Región de operación del nanodispositivo
- 3. Características físicas del nanodispositivo (dimensiones, impurezas, etc.)
- 4. Proceso de fabricación (método(s) de síntesis) y
- 5. Aplicación útil del nanodispositivo



Subsistema de  
Universidades  
Politécnicas

## INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN

### LISTA DE COTEJO PARA PRÁCTICA Ó PROYECTO



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA  
DEL VALLE DE MÉXICO

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DEL VALLE DE MÉXICO

#### DATOS GENERALES DEL PROCESO DE EVALUACIÓN

<i>Nombre(s) del alumno(s):</i>	<i>Matrícula:</i>	<i>Firma del alumno(s):</i>
<i>Producto:</i>	<i>Nombre del Proyecto:</i>	<i>Fecha:</i>
<i>Asignatura:</i>		<i>Periodo cuatrimestral:</i>
<i>Nombre del Docente:</i>		<i>Firma del Docente:</i>

#### INSTRUCCIONES

Revisar los documentos o actividades que se solicitan y marque con una "X" en la columna "SI" cuando el reactivo a evaluar se cumple; en caso contrario marque con una "X" en la columna "NO". En la columna "OBSERVACIONES" ocúpela cuando tenga que hacer comentarios referentes a lo observado.

Valor del reactivo	Característica a cumplir (Reactivo)	CUMPLE		OBSERVACIONES
		SI	NO	
4%	<b>Presentación.</b> El trabajo cumple con los requisitos de: a. Buena presentación. (Portada completa)			
4%	b. No tiene ninguna falta de ortografía.			
2%	c. Mismo Formato. (establecido al inicio del curso)			
5%	d. Maneja el lenguaje técnico apropiado.			
5%	<b>Introducción y Objetivo.</b> La introducción y el objetivo dan una idea clara del contenido del trabajo.			
10%	<b>Sustento Teórico.</b> a. Presenta un panorama general del tema a desarrollar.			
5%	b. Sustenta con referencias bibliográficas y cita correctamente a los autores.			
50%	<b>Desarrollo.</b> Realiza de forma clara, objetiva, ordenada, global y eficaz el análisis, ensayo ó mapa conceptual abarcando todo el contenido.			
10%	<b>Conclusiones.</b> Las conclusiones son claras y acordes con el objetivo esperado. Las cuales contribuyen ó enriquecen el contenido presentado.			
5%	<b>Responsabilidad.</b> Entregó el reporte en la fecha y hora señalada.			
<b>100%</b>	<b>CALIFICACIÓN:</b>			



Subsistema de  
**Universidades  
Politécnicas**

## INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN

### LISTA DE COTEJO PARA CUESTIONARIO



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DEL VALLE DE MÉXICO

#### *DATOS GENERALES DEL PROCESO DE EVALUACIÓN*

<i>Nombre(s) del alumno(s) y/o Equipo:</i>		<i>Firma del alumno(s):</i>
<i>Producto:</i>	<i>Nombre o tema de la Tarea:</i>	<i>Fecha:</i>

#### **LISTA DE COTEJO PARA CUESTIONARIOS**

Nombre de la unidad de aprendizaje:

Instrumento de Evaluación:

<b>Asignatura:</b>	<b>Grupo:</b>	<b>Periodo cuatrimestral:</b>
<b>Nombre del Docente:</b>		<b>Firma del Docente:</b>

#### *INSTRUCCIONES*

Revisar las características que se solicitan y califique en la columna "Valor Obtenido" el valor asignado con respecto al "Valor del Reactivo". En la columna "OBSERVACIONES" haga las indicaciones que puedan ayudar al alumno a saber cuáles son las condiciones no cumplidas.

<i>Valor del reactivo</i>	<i>Característica a cumplir (Reactivo)</i>	<i>Valor Obtenido</i>	<i>OBSERVACIONES</i>
5%	<b>Presentación:</b> El trabajo cumple con los requisitos de: a) Buena presentación, (Portada y cero errores ortográficos)		
5%	b) Entregó el cuestionario en la fecha y hora señalada		
90%	La respuesta del alumno a todas las preguntas ó problemas presentados en el cuestionario es correcta		
<b>100.%</b>	<b>CALIFICACIÓN:</b>		

## GLOSARIO

- Diodo.** Dispositivo electrónico más simple que consiste de dos regiones, una con conductividad negativa (n) y otra con conductividad positiva (p). Que sólo permite el paso de corriente en una dirección, cuando se polariza directamente.
- Electrón.** Es una partícula subatómica elemental con carga eléctrica negativa.
- Electrónica.** Es la rama de la física y especialización de la ingeniería, que estudia y emplea sistemas cuyo funcionamiento se basa en la conducción y el control del flujo microscópico de electrones u otras partículas cargadas eléctricamente.
- Fonón.** Es una cuasi-partícula de vibración mecánica que se presenta en las estructuras cristalinas de los materiales.
- Fotón.** Es la partícula elemental responsable de las manifestaciones cuánticas del fenómeno electromagnético. Es la partícula portadora de todas las formas de radiación electromagnética, incluyendo rayos X, luz visible, microondas, etc. Y viaja en el vacío con una velocidad constante  $C$ .
- Nano.** Es un prefijo del sistema internacional de unidades utilizado para referirse a dimensiones del orden de una mil millonésima parte de un metro.
- Semiconductor.** Es un elemento ó material que químicamente tiene medio lleno el último nivel energético ocupado por electrones. Se puede comportar como conductor ó como aislante dependiendo de diversos factores, tales como: introducción de impurezas, temperatura, radiación, presencia de campos electromagnéticos.
- Transistor.** Dispositivo electrónico de tres regiones (n-p-n ó p-n-p), que permite obtener a la salida una señal amplificada de la señal de corriente que recibe en las terminales de entrada.

## BIBLIOGRAFÍA

### Básica

TÍTULO: Introduction to nanoelectronics: Science, nanotechnology, engineering, and applications  
AUTOR: Vladimir V. Mitin, Viatcheslav A. Kochelap, Michael A. Stroscio  
EDITORIAL O REFERENCIA: Cambridge University Press  
LUGAR Y AÑO DE EDICIÓN: United Kingdom 2008

TÍTULO: Integrated nanophotonic devices  
AUTOR: Zeev Zalevsky and Abdulhalim  
EDITORIAL O REFERENCIA: Elsevier  
LUGAR Y AÑO DE EDICIÓN: United Kingdom 2010

### Complementaria

TÍTULO: Nanomaterials an introduction to synthesis, properties and applications.  
AUTOR: Dieter Vollath  
EDITORIAL O REFERENCIA: Wiley-VCH  
LUGAR Y AÑO DE EDICIÓN: Federal Republic of Germany 2008

TÍTULO: Nanotechnology principles and fundamentals  
AUTOR: Gunter Schmid  
EDITORIAL O REFERENCIA: Wiley-VCH  
LUGAR Y AÑO DE EDICIÓN: California 2008

### Revistas Especializadas

Mundo Nano

Journal of Nanoelectronics and optoelectronics

Journal of Nano Research

Nanoletters

Nanotechnology

### Sitios Web

[www.nanoelectronicsforum.org](http://www.nanoelectronicsforum.org)

[www.nanotech-now.com](http://www.nanotech-now.com)

[www.nano.gov](http://www.nano.gov)

[www.nature.com/nnano/](http://www.nature.com/nnano/)