**APUNTES ELECTRÓNICOS**

**DE**

**SENSORES NANOESTRUCTURADOS**

**2016**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ARQUITECTURA Y DISEÑO**

**CARRETERA TRANSPENINSULAR ENSENADA-TIJUANA**

**NUMERO 3917, COLONIA PLAYITAS**

**Ensenada, B.C., C.P. 22860. Teléfono 646-1750744, Fax 646-1744333**

**E-mail:**

[**jorge.mata@uabc.edu.mx**](mailto:jorge.mata@uabc.edu.mx)

**ulises.tamayo@uabc.edu.mx**

CONTENIDO

I. Nombre de la Unidad de aprendizaje: SENSORES NANOESTRUCTURADOS

Clave: 013224

Etapa de formación a la que pertenece: TERMINAL

Carácter de la Unidad de aprendizaje: Obligatoria

Requisitos para cursar la unidad de aprendizaje:

Formuló: Dr. Jorge Octavio Mata Ramírez y Dr. Ulises Jesús Tamayo Pérez,

II. PROPÓSITO GENERAL DEL CURSO

El curso de desarrollo de Sensores nanoestructurados brinda las habilidades requeridas para diseñar prototipos y el proceso nanotecnológico desde su inicio, es decir desde su planteamiento, idea, creación, arranque y operación hasta la concepción de un producto terminado.

La asignatura pertenece a la etapa terminal y requiere los conocimientos y habilidades adquiridas en el curso de ingeniería de nanomateriales, ingeniería de procesos nanotecnológicos, así como la de síntesis y caracterización de nanomateriales, se recomienda previamente los cursos de fundamentos de electrónica, ingeniería de nanomateriales y productos nanoestructurados

III. COMPETENCIA DELCURSO

Diseñar, analizar e integrar tecnologías nanotecnológicas en forma multidisciplinaria para producir de esta manera sensores y dispositivos nanotecnológicos de vanguardia, y de esta forma atender una necesidad de un proceso, una investigación o algo meramente comercial y contribuir de esta manera al desarrollo tecnológico e industrial de la región y del país, con un compromiso social y respeto al medio ambiente.

IV. EVIDENCIA(S) DE DESEMPEÑO

1. Exposiciones breves en las que se observe la capacidad de integrar los conocimientos adquiridos de manera clara y concreta.

2. Prácticas y Reportes de Laboratorio

3. Proyecto final (Elaboración de un producto mediante procesos nanotecnológicos)

UNIDAD 1. SENSORES NANOESTRUCTURADOS: INTRODUCCIÓN

Competencias: Entender la importancia del origen fisicoquímico del funcionamiento de un sensor y su aplicación e implicación nanotecnológica.

CONTENIDO TEMÁTICO:

1.1. ¿Que son los sensores?

1.2. Historia de los sensores y estado del arte

1.2.1. Introducción y tecnologías

1.2.2. Preparación de sensores

1.2.3. Métodos clásicos para preparar sensores

1.2.4. Preparación de sensores nanoestructurados basados en diferentes materiales

1.2.5. Principales tipos de sensores analógicos

1.2.6. Principales tipos de sensores digitales

1.2.7. Electrodos electrocatalíticos

1.2.8. Electrodos con nanopartículas y nanotubos

1.2.9. Electrodos electrocatalíticos basados en películas nanoestructuradas

1.2.10. Sensores voltamétricos, impedimétricos y Biosensores

1.3. Definiciones y técnicas: Conceptos: sensor, transductor

1.4. Características estáticas: Resolución y Exactitud

1.5. Sensibilidad y Precisión

1.6. Incertidumbre y Selectividad

1.7. Curva de calibración

1.8. Repetibilidad y Reproducibilidad.

1.9. Características dinámicas

UNIDAD 2. FUNDAMENTOS DE NANO Y MICRO FABRICACIÓN Y EFECTOS DE ESCALANANOTECNOLÓGICOS

Competencias: Estudiar y aprender los fundamentos de la nanofabricación, desde la teoría, entendiendo las limitaciones actuales en la implementación de los nuevos materiales.

CONTENIDO TEMÁTICO:

2.1. Fundamentos de nano y micro fabricación y efectos de escala

2.1. Introducción.

2.2. Escalas y micro sensores

2.3. Principios de microfabricación

2.4. Silicio, fotolitografía, deposición, grabado, dopaje

2.5. Sistemas Micro-electro-mecánicos (MEMS)

2.6. Litografía suave

2.7. Biosensores

2.8. Sensores para Microfluidos y sistemas de microanálisis

2.9. Flujos laminares

2.10. Sensores microfluidicos y sensores moleculares

UNIDAD 3.TIPOS DE SENSORES; TEORIA Y FUNCIONAMIENTO

Competencias: Comprender el mecanismo de acción de un sensor nanotecnológico sus alcances, y sus aplicaciones.

Contenido Temático:

3.1. Respuestas electroquímicas

3.2. Sensores electroquímicos

3.3. Principios de medidas electroquímicas

3.4. Aplicaciones nanotecnológicas

3.5. Soportes y sustratos

3.6. Nanotubos de carbono y sensores de Grafeno

3.7. Sensores ópticos

3.8. Teoría básica

3.9. Espectroscopia de absorción

UNIDAD 4. SENSORES Y TRANSDUCTORES A NANOESCALA

Duración: horas 20 HC: 4 HL: 16

Competencias: Entender el funcionamiento de un sensor, así como de todo el proceso nanotecnológico desde origen hasta su funcionamiento

Utilizando herramientas adecuadas, fundamentadas en nanomateriales y soportes adecuados.

Contenido Temático:

4.1. Transductores mecánicos

4.2. Introducción: Cantiléver, sensores moleculares

4.3. Sensores acústicos

4.4. Sensores térmicos,

4.5. Termopares, termistores,

4.6. Sensores de temperatura,

4.7. Sensores infrarrojos

4.8. Sensores implantables

4.9. Sensores biomédicos

4.10. Electrónica auxiliar para sensores nanoestructurados

4.11. Tarjetas de adquisición de datos

4.12. Procesamiento de datos.

VI.ESTRUCTURA DE LAS PRÁCTICAS

No.de Práctica

1 Aplicar alguna técnica de fabricación de nanomateriales y las etapas de diseño para crear un producto nanotecnológico.

Sintetizar nanotubos de carbono mediante la técnica de spray pirolisis 26 ml de tolueno, 0.760 gr de ferroceno

tubos de cuarzo, horno, nebulizador.Argón, flujómetro,

2 ELABORACION DE UN SENSOR NANOESTRUCTURADO:

Comprender los principios básicos de los procesos de fabricación de nanomateriales y desarrollar capacidad de análisis y síntesis

Caracterización cristalográfica del material por Rayos X

Uso de Rayos X 4-8 horas

Caracterización del material

Uso del potenciostato

Potenciostato Chi

Depósito de Películas delgadas

sputtering. Blanco de Cu, campana de sputtering

Nanolitografía Oblea de silicio, PMMA alambre de oro, acetona, termoplato, rejilla de cobre, alcohol

3 Elaboración y caracterización un sensor nanoestructurado Desarrollo de la Curva de calibración Depende del proyecto a realizar

Nota: Se sugiere realizar al menos dos prácticas de síntesis de materiales, según sea el caso del producto nanotecnológico a desarrollar.

VII. METODOLOGÍA DE TRABAJO

1. Exposición oral del profesor con medios audiovisuales (computadora y cañón proyector) de temas relacionados

2. Exposiciones cortas por parte de los estudiantes de algunos temas relacionados.

3. Realizar prácticas de laboratorio de algunos temas incluidos en clase.

4. Organizar equipos de trabajo para que realicen un producto desde su creación hasta su producción como proyecto final y que los alumnos realicen una exposición sobre los resultados obtenidos. Los estudiantes tendrán que realizar sus exposiciones según avances programados.

5. Asesoramiento en la realización del proyecto final.

VIII. CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Exposiciones, asistencias, Prácticas y Reportes (acreditación de las prácticas de laboratorio mediante asistencia, elaboración y reporte) Proyecto final: Con base en artículo 76 del Estatuto Escolar de la Universidad, las Unidad de aprendizaje que sean predominantemente prácticas,

sí puede ser evaluada mediante la realización de un proyecto. Deben ser claramente expuestos los criterios de evaluación al inicio de clases, incluyendo los porcentajes que serán otorgados por la presentación de avance de proyecto, así como establecer en qué momentos durante el ciclo escolar se realizarán las revisiones. Al aplicar la modalidad de evaluación mediante realización de proyecto, no se aplican exámenes tipo ordinario y extraordinario, la calificación de examen ordinario, se determina por la realización del proyecto y que el alumno cuente con un mínimo de 80% de asistencias. El alumno podrá exentar el curso, si cumple con el criterio de calificación mínima aprobatoria obtenida como resultado de la evaluación durante el período de clases. El profesor deberá conservar evidencias de las revisiones de avance de proyecto.

Exámenes parciales 50%. Tareas y trabajos, bitácora de laboratorio 30%. Exposiciones 20%. Acreditación: Obtener una calificación mínima de 60 en el promedio de los exámenes parciales, de lo contrario presentar un examen ordinario y obtener una calificación mínima de 60. Para presentar el examen ordinario es necesario contar por lo menos con el 80 % de las asistencias.

IX. BIBLIOGRAFÍA

Básica y Complementaria

**1. John X J Zhang, Kazunori Hoshino(2013). Molecular Sensors and Nanodevices: Principles, Designs and Applications in Biomedical Engineering (Micro and Nano Technologies) 1st Edition. Series: Micro and Nano Technologies, 512 pag. Publisher: William Andrew; 1 edition (2013), ISBN-10: 1455776319, ISBN-13: 978-1455776313**

**2. Ramsden, J.,2014. Applied Nanotechnology: The Conversion of Research Results to Products. Elsevier. Estados Unidos.**

**3. K. Eric Drexler. (2002) Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing, and Computation 1st Edition. 576 pag. Publisher: Wiley; 1 edition. English, ISBN-10: 0471575186, ISBN-13: 978-0471575184**

**4. Guozhong, C. 2004. Nanostructures and Nanomaterials, Synthesis, Properties and Applications. Imperial College Press, Londres.**

**5. Hamilton M., Pezo, A. 2005.Formulación y evaluación de proyectos tecnológicos empresariales aplicados. Convenio Andrés Bello, Colombia.**

**6. Phoha, Shashi; La Porta, Thomas F; Griffin, Christopher. (2006), Sensor network operations. Editor: Hoboken, N.J.:Piscataway, N.J.: Wiley; IEEE Press**

**7. Pallás Areny, Ramón. (2001) Sensores y acondicionadores de señal. Edición: 3a ed. aumentada. Editor: México : Alfaomega, 2001.**

**8. Fulekar, M. 2010. Nanotechnology: Importance and Applications. International Publishing House Pvt. Ltd, Nueva Delhi, India.**

**9. Ndubuis, E.2010.Nanotechnology and Microelectronics: Global Diffusion, Economics and Policy. IGI Global. Estados Unidos.**

**10. Sparks, S. 2012. Nanotechnology: Business Applications and Commercialization. CRC Press Taylor Francis Group. New York.**

**11. Ilyas, Mohammad; Mahgoub, Imad. (2005), Handbook of sensor networks: compact wireless and wired sensing systems. Editor: Boca Raton: CRC Press,**

**12. Shorey, Rajeev.(2006) Mobile, wireless, and sensor networks : technology, applications, and future directions. Editor: [Piscataway]:Hoboken, N.J.: IEEE Press ; Wiley-Interscience**

**13. Narayanaswamy, R. (Ramaier); Wolfbeis, Otto S. (2004). Optical sensors: industrial, environmental, and diagnostic applications. Editor: Berlin; New York : Springer, 2004**

**14. Rees, Gareth. (1990). Physical principles of remote sensing. Editor: Cambridge : Cambridge University**

**15. Pallás Areny, Ramón. (2007) Sensores y acondicionadores de señal. Edición: 4a ed. Editor: Barcelona: México, D. F.: Marcombo; Alfaomega.**

**16. Akyildiz, Ian F; Vuran, Mehmet Can. (2010). Wireless sensor networks Edición: 1st ed. Editor: United Kingdom: John Wiley**

**Sensores**

Según el Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española, un sensor es un “*dispositivo que detecta una determinada acción externa, temperatura, presión, etc., y la transmite adecuadamente*”. En términos más técnicos, los sensores son sistemas que perciben una señal de entrada o energía de entrada y la convierten en una señal de salida o energía de salida.

Existen diversos tipos de sensores, los que nos interesan son los que permiten medir cualquier magnitud física del mundo real y transformarla en una magnitud eléctrica (generalmente corriente, carga, tensión o impedancia). Los microsistemas tienen una gran variedad de aplicaciones en el desarrollo de sensores para detección de magnitudes de casi cualquier dominio.

Si se clasifican los sensores de acuerdo con la señal de entrada, los distintos tipos de sensores son: mecánicos, térmicos, eléctricos, magnéticos, de radiación, químicos. Otra posible clasificación se refiere la magnitud del salida del sensor, en tal caso se habla de sensores de impedancia (donde la magnitud de salida puede ser resistencia o reactancia), de intensidad, de carga o de tensión.

**¿Qué son los sensores?**

Los sensores son dispositivos capaces de detectar magnitudes químicas, físicas, magnéticas llamadas variables, y transformarlas en variables eléctricas.

Ejemplo: conductividad, temperatura, torsión, potencial, intensidad, distancia, peso, aceleración, inclinación, presión, desplazamiento, fuerza, humedad, iluminación, campo magnético, movimiento, carga, etc.

Una magnitud eléctrica puede ser una [resistencia eléctrica](https://es.wikipedia.org/wiki/Resistencia_el%C3%A9ctrica) (como en una , una [capacidad eléctrica](https://es.wikipedia.org/wiki/Capacidad_el%C3%A9ctrica) (como en un [sensor de humedad](https://es.wikipedia.org/wiki/Sensor_de_humedad)), una [tensión eléctrica](https://es.wikipedia.org/wiki/Tensi%C3%B3n_(electricidad)) (como en un [termopar](https://es.wikipedia.org/wiki/Termopar)), una [corriente eléctrica](https://es.wikipedia.org/wiki/Corriente_el%C3%A9ctrica) (como en un [fototransistor](https://es.wikipedia.org/wiki/Fototransistor)), etc

¿Qué es un Transductor?

Un transductor es un dispositivo que convierte una señal de un tipo a otro, es decir convierte una magnitud en otra que resulte más apta para el análisis de un fenómeno físico.

Sensores analógicos utilizados en la Automatización Industrial Por: Pablo Antonio Chaves Campos

**Diferencias entre sensores analógicos y digitales:**

Un sensor analógico es aquel que, como salida, emite una señal comprendida por un campo de valores instantáneos que varían en el tiempo, y son proporcionales a los efectos que se están midiendo; por ejemplo, un termómetro es un dispositivo analógico. La temperatura se mide en grados que pueden tener, en cualquier momento determinado, diferentes valores que son proporcionales a su indicador, o a su "salida" en caso de un dispositivo electrónico.  
  
Un sensor digital en cambio es un dispositivo que puede adoptar únicamente dos valores de salida; 1 -0 encendido o apagado, sí, o no los estados de un sensor digital son absolutos y únicos, y se usan donde se desea verificar estados de "verdad" o "negación" en un sistema automatizado por ejemplo, una caja que es transportada llega al final de un recorrido, y activa un sensor digital; entonces, la señal 0 del sensor en reposo, cambia inmediatamente a 1, dando cuenta al sistema de tal condición.

Los sensores trasladan la información desde el mundo real del ambiente que rodea al robot al mundo abstracto de los microcontroladores, para el posterior tratamiento de dicha información. En este documento se explican los conceptos fundamentales de los sensores más comúnmente usados. Valores de salida de los sensores: Los sensores ayudan a trasladar los atributos del mundo físico en valores que la controladora (el microcontrolador o microprocesador) de un robot puede usar. En general, la mayoría de los sensores pueden ser divididos en dos grandes grupos: 1. Sensores analógicos: Un sensor analógico es aquel que puede entregar una salida variable dentro de un determinado rango (ver figura siguiente). Un Sensor analógico, como por ejemplo una Fotorresistencia (estos componentes miden intensidad de luz), puede ser cableado en un circuito que pueda interpretar sus variaciones y entregar una salida variable con valores entre 0 y 5 voltios. 2. Sensores digitales: Un sensor digital es aquel que entrega una salida del tipo discreta (ver figura siguiente). Es decir, que el sensor posee una salida que varía dentro de un determinado rango de valores, pero a diferencia de los sensores analógicos, esta señal varía de a pequeños pasos pre-establecidos (cuantificados). Por ejemplo consideremos un botón pulsador, el cual es uno de los sensores más básicos. Posee una salida discreta de tan solo dos valores, estos pueden ser abierto o cerrado. Otros sensores discretos pueden entregar una salida del tipo binario, como es el caso de un conversor Analógico/Digital, el cual entrega una salida de 8 bits capaz de subdividir las variaciones de la entrada en hasta 256 escalones. Los sensores discretos mas comúnmente usados en robótica entregan una salida del tipo binaria las cuales poseen dos estados posibles (0 y 1). De aquí en adelante asumiremos que una salida digital es una salida del tipo binaria. La distinción entre analógico y digital es muy importante a la hora de tomar la decisión para determinar que sensores se usarán. Esta decisión depende en gran medida de la capacidad y características de la controladora que se usará.

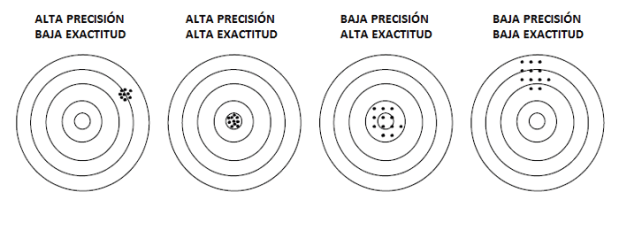
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  |  | | --- | --- | |  | http://robots-argentina.com.ar/img/Sensores.jpg |   **Introducción**  Un robot es, por definición, una máquina capaz de interactuar con su entorno. Si es móvil, a menos que se mueva en un espacio absolutamente acotado y preparado para él, deberá ser capaz de adaptar sus movimientos y sus acciones de interacción en base a las características físicas de los ambientes con los que se encuentre y los objetos que hay en ellos.  Para lograr esta capacidad de adaptación, lo primero que necesitan los robots es **tener conocimiento** del entorno. Esto es absolutamente clave. Para conocer el entorno, los seres vivos disponemos de un sistema sensorial. Los robots no pueden ser menos: deben poseer sensores que les permitan saber dónde están, cómo es el lugar en el que están, a qué condiciones físicas se enfrentan, dónde están los objetos con los que deben interactuar, sus parámetros físicos, etc.  Para esto se utilizan diversos tipos de sensores (o captadores), con un rango de complejidad y sofisticación que varía desde algunos bastante simples a otros con altos niveles de sofisticación de hardware y más aún de complejidad de programación.  **Detalles sobre los sensores para robots**  Existe una amplia variedad de dispositivos diseñados para percibir la información externa de una magnitud física y transformarla en un valor electrónico que sea posible introducir al circuito de control, de modo que el robot sea capaz de cuantificarla y reaccionar en consecuencia.  Un sensor consta de algún elemento sensible a una magnitud física —como por ejemplo la intensidad o color de la luz, temperatura, presión, magnetismo, humedad— y debe ser capaz, por su propias características, o por medio de dispositivos intermedios, de transformar esa magnitud física en un cambio eléctrico que se pueda alimentar en un circuito que la utilice directamente, o sino en una etapa previa que la condicione (amplificando, filtrando, etc.), para que finalmente se la pueda utilizar para el control del robot.  **Magnitudes físicas que es necesario medir para que un robot tenga algún conocimiento del entorno:**   * [**Luz**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_general.htm#luz) (con su gama de espectro: visible, infrarroja, ultravioleta) * [**Sonido y ultrasonido**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_general.htm#sonido) * [**Gravedad**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_general.htm#gravedad) (inclinación, posición) * [**Temperatura**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_general.htm#temperatura) * [**Humedad**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_general.htm#humedad) * [**Presión y/o fuerza**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_general.htm#presion) * [**Velocidad**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_general.htm#velocidad) * [**Magnetismo**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_general.htm#magnetismo) * [**Ubicación**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_general.htm#ubicacion) * [**Proximidad**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_general.htm#proximidad) * [**Distancia**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_general.htm#distancia)   **Diversos tipos de captadores o sensores:**   * **Sensores de luz**   + **Elementos sensibles**     - [**LDRs o Fotorresistores**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_general.htm#ldr) (resistores variables por la incidencia de la luz)     - [**Fotoceldas o celdas fotovoltaicas**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_general.htm#fotovoltaica)     - [**Fotodiodos**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_general.htm#fotodiodo)     - [**Fototransistores**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_general.htm#fototransistor)     - [**CCD**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_general.htm#ccd)     - [**Cámaras de vídeo**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_general.htm#ccd)   + **Módulos integrados**     - [**Reflectivo**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_general.htm#reflectivo)     - [**De ranura**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_general.htm#ranura) * **Sensores de presión y fuerza**   + **Elementos sensibles**     - [**Microinterruptores**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_general.htm#microsw)     - [**Sensores de presión**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_general.htm#spresion)     - [**Sensores de fuerza**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_general.htm#sfuerza)   + **Sensores**     - [**Sensores de contacto**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_general.htm#contacto) (sandwich, bigotes, antenas)     - [**Piel robótica**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_general.htm#piel) * **Sensores de sonido**   + **Elementos sensibles**     - [**Micrófonos**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_general.htm#microf)     - [**Captadores piezoeléctricos**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_general.htm#microf)   + **Módulos integrados**     - [**Rangers (medidores de distancia) ultrasónicos**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_general.htm#rangers) * **Sensores para medición de distancia**   + **Módulos integrados**     - [**Medidores de distancia ultrasónicos**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_general.htm#rangers)     - [**Medidores de distancia por haz infrarrojo**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_general.htm#gp2) * **Sensores de gravedad (posición)**   + [**Acelerómetros, sensores de vibración**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_general.htm#acelerometros)   + [**Sensores pendulares (Inclinómetros)**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_general.htm#inclinometros)   + [**Contactos de mercurio**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_general.htm#mercurio)   + [**Giróscopos**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_general.htm#giroscopos) * **Sensores de temperatura**   + [**Termistores**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_general.htm#termistores)   + [**RTDs (Termorresistencias)**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_general.htm#rtd)   + [**Termopares, Termocuplas**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_general.htm#termopares)   + [**Diodos**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_general.htm#diodost)   + [**Circuitos integrados**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_general.htm#integradost)   + [**Pirosensores (a distancia)**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_general.htm#pirosensores) * **Sensores de humedad**   + [**Sensores capacitivos**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_general.htm#shumedad)   + [**Sensores resistivos**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_general.htm#shumedad)   + [**Módulos integrados**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_general.htm#shumedad) * **Sensores de velocidad**   + [**Tacómetros**](http://robots-argentina.com.ar/MotorCC_circuitosrealimentados.htm)   + [**Codificadores (encoders)**](http://robots-argentina.com.ar/SensoresAngulares_resolver.htm) * **Sensores de magnetismo**   + [**Efecto Hall**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_general.htm#hall)   + [**Brújulas electrónicas**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_general.htm#hall)   + [**Interruptores magnéticos**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_general.htm#hall) * **Sensores de ubicación geográfica**   + [**GPS**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_general.htm#gps)   + [**Receptores de radiobalizas**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_general.htm#radio) * **Sensores de proximidad**   + [**Sensores capacitivos**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_general.htm#prox)   + [**Sensores inductivos**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_general.htm#prox)   **Sensores analógicos**  **Tarea:** Llevar a cabo una investigación de los sensores de variables analógicas utilizados en la Industria, describiendo su funcionamiento y campos de aplicación.  **Sensores reflectivos y por intercepción (de ranura)**   |  |  |  | | --- | --- | --- | | http://robots-argentina.com.ar/img/Sensores_IR_CNY70.jpg | http://robots-argentina.com.ar/img/Sensores_slot.jpg |  |   Los sensores de objetos por reflexión están basados en el empleo de una fuente de señal luminosa (lámparas, diodos LED, diodos láser, etc.) y una célula receptora del reflejo de esta señal, que puede ser un fotodiodo, un fototransistor, LDR, incluso chips especializados, como los receptores de control remoto. Con elementos ópticos similares, es decir emisor-receptor, existen los sensores "de ranura" (en algunos lugares lo he visto referenciado como "de barrera"), donde se establece un haz directo entre el emisor y el receptor, con un espacio entre ellos que puede ser ocupado por un objeto.  Información detallada -> [**Sensores - Reflectivos y por intercepción**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_reflectivos.htm)  **LDR (Light-Dependent Resistor, resistor dependiente de la luz)**  http://robots-argentina.com.ar/img/Sensores_ldr.jpgUn LDR es un resistor que varía su valor de resistencia eléctrica dependiendo de la cantidad de luz que incide sobre él. Se le llama, también, fotorresistor o fotorresistencia. El valor de resistencia eléctrica de un LDR es bajo cuando hay luz incidiendo en él (en algunos casos puede descender a tan bajo como 50 ohms) y muy alto cuando está a oscuras (puede ser de varios megaohms).  Información detallada -> [**Sensores - LDR**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_LDR.htm)  **Fotoceldas o celdas fotovoltaicas**   |  |  | | --- | --- | | http://robots-argentina.com.ar/img/Sensores_celdasolar.jpg |  |   La conversión directa de luz en electricidad a nivel atómico se llama **generación fotovoltaica**. Algunos materiales presentan una propiedad conocida como **efecto fotoeléctrico**, que hace que absorban fotones de luz y emitan electrones. Cuando se captura a estos electrones libres emitidos, el resultado es una corriente eléctrica que puede ser utilizada como energía para alimentar circuitos. Esta misma energía se puede utilizar, obviamente, para producir la detección y medición de la luz.  Información detallada -> [**Sensores - Celdas Fotovoltaicas**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_fotovoltaicas.htm)  **Fotodiodos**   |  |  | | --- | --- | | http://robots-argentina.com.ar/img/Sensores_fotodiodos.jpg |  |   El fotodiodo es un diodo semiconductor, construido con una unión PN, como muchos otros diodos que se utilizan en diversas aplicaciones, pero en este caso el semiconductor está expuesto a la luz a través de una cobertura cristalina y a veces en forma de lente, y por su diseño y construcción será especialmente sensible a la incidencia de la luz visible o infrarroja. Todos los semiconductores tienen esta sensibilidad a la luz, aunque en el caso de los fotodiodos, diseñados específicamente para esto, la construcción está orientada a lograr que esta sensibilidad sea máxima.  Información detallada -> [**Sensores - Fotodiodos**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_fotodiodos.htm)  **Fototransistores**   |  |  | | --- | --- | | http://robots-argentina.com.ar/img/Sensores_fototransistor.jpg |  |   Los fototransistores no son muy diferentes de un transistor normal, es decir, están compuestos por el mismo material semiconductor, tienen dos junturas y las mismas tres conexiones externas: colector, base y emisor. Por supuesto, siendo un elemento sensible a la luz, la primera diferencia evidente es en su cápsula, que posee una ventana o es totalmente transparente, para dejar que la luz ingrese hasta las junturas de la pastilla semiconductora y produzca el efecto fotoeléctrico.  Información detallada -> [**Sensores - Fototransistores**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_fototransistores.htm)  **CCD y cámaras de vídeo**   |  |  | | --- | --- | | http://robots-argentina.com.ar/img/Sensores_CCDlineal.jpg |  |   La abreviatura **CCD** viene del inglés **Charge-Coupled Device**, Dispositivo Acoplado por Carga. El CCD es un circuito integrado. La característica principal de este circuito es que posee una matriz de celdas con sensibilidad a la luz alineadas en una disposición físico-eléctrica que permite "empaquetar" en una superficie pequeña un enorme número de elementos sensibles y manejar esa gran cantidad de información de imagen (para llevarla al exterior del microcircuito) de una manera relativamente sencilla, sin necesidad de grandes recursos de conexiones y de circuitos de control.  Información detallada -> [**Sensores - CCD y Cámaras de vídeo**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_CCD.htm)  **Microinterruptores**   |  |  | | --- | --- | |  |  |   No es necesario extenderse mucho sobre estos componentes (llamados "microswitch" en inglés), muy comunes en la industria y muy utilizados en equipos electrónicos y en automatización.  http://robots-argentina.com.ar/img/Sensores_switch.jpg  Información detallada -> [**Sensores mecánicos de choque (parachoques)**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_parachoques.htm)  **Sensores de presión**   |  |  | | --- | --- | |  |  |   En la industria hay un amplísimo rango de sensores de presión, la mayoría orientados a medir la presión de un fluido sobre una membrana. En robótica puede ser necesario realizar mediciones sobre fluidos hidráulicos (por dar un ejemplo), aunque es más probable que los medidores de presión disponibles resulten útiles como sensores de fuerza (el esfuerzo que realiza una parte mecánica, como por ejemplo un brazo robótico), con la debida adaptación. Se puede mencionar un sensor integrado de silicio como el [**MPX2100**](http://www.terra.es/personal/fremiro/Archivos/Mpx2100.pdf) de Motorola, de pequeño tamaño y precio accesible.  **Sensores de fuerza**   |  |  | | --- | --- | |  |  |   http://robots-argentina.com.ar/img/Sensores_FlexiForce.jpgUn sensor de fuerza ideal para el uso en robótica es el sensor **FlexiForce**. Se trata de un elemento totalmente plano integrado dentro de una membrana de circuito impreso flexible de escaso espesor. Esta forma plana permite colocar al sensor con facilidad entre dos piezas de la mecánica de nuestro sistema y medir la fuerza que se aplica sin perturbar la dinámica de las pruebas. Los sensores **FlexiForce** utilizan una tecnología basada en la variación de resistencia eléctrica del área sensora. La aplicación de una fuerza al área http://robots-argentina.com.ar/img/Sensores_MPX2100ch.jpgactiva de detección del sensor se traduce en un cambio en la resistencia eléctrica del elemento sensor en función inversamente proporcional a la fuerza aplicada.    **Sensores de contacto (choque)**   |  |  | | --- | --- | | http://robots-argentina.com.ar/img/Sensores_bumper.jpg |  |   Para detectar contacto físico del robot con un obstáculo se suelen utilizar interruptores que se accionan por medio de actuadores físicos. Un ejemplo muy clásico serían unos alambres elásticos que cumplen una función similar a la de las antenas de los insectos. En inglés les llaman "whiskers" (bigotes), relacionándolos con los bigotes sensibles de los animales como —por ejemplo— los perros y gatos. También se usan bandas metálicas que rodean al robot, o su frente y/o parte trasera, como paragolpes de autos.  Información detallada -> [**Sensores - Contacto**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_contacto.htm)  **Piel robótica**   |  |  | | --- | --- | | http://robots-argentina.com.ar/img/Sensores_pielrobot.jpg |  |   El mercado ha producido, en los últimos tiempos, sensores planos, flexibles y extendidos a los que han bautizado como "robotic skin", o **piel robótica**. Uno de estos productos es el creado por investigadores de la universidad de Tokio. Se trata de un conjunto de sensores de presión montados sobre una superficie flexible, diseñados con la intención de aportar a los robots una de las capacidades de nuestra piel: la sensibilidad a la presión.  Información detallada -> [**Sensores - Piel robótica**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_pielrobot.htm)  **Micrófonos y sensores de sonido**   |  |  | | --- | --- | | http://robots-argentina.com.ar/img/Sensores_microf.jpg |  |   El uso de micrófonos en un robot se puede hallar en dos aplicaciones: primero, dentro de un sistema de medición de distancia, en el que el micrófono recibe sonidos emitidos desde el mismo robot luego de que éstos rebotan en los obstáculos que tiene enfrente, es decir, un sistema de sonar; y segundo, un micrófono para captar el sonido ambiente y utilizarlo en algún sentido, como recibir órdenes a través de palabras o tonos, y, un poco más avanzado, determinar la dirección de estos sonidos. Como es obvio, ahora que se habla tanto de robots para espionaje, también se incluyen micrófonos para tomar el sonido ambiente y transmitirlo a un sitio remoto.  Información detallada -> [**Sensores - Sonido**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_sonido.htm)  **Rangers (medidores de distancia) ultrasónicos**   |  |  | | --- | --- | | http://robots-argentina.com.ar/img/Sensores_sonarpol.jpg |  |   Los medidores ultrasónicos de distancia que se utilizan en los robots son, básicamente, un sistema de sonar. En el módulo de medición, un emisor lanza un tren de pulsos ultrasónicos y espera el rebote, midiendo el tiempo entre la emisión y el retorno, lo que da como resultado la distancia entre el emisor y el objeto donde se produjo el rebote. Se pueden señalar dos estrategias en estos medidores: los que tienen un emisor y un receptor separados y los que alternan la función (por medio del circuito) sobre un mismo emisor/receptor piezoeléctrico. Este último es el caso de los medidores de distancia incluidos en las cámaras Polaroid con autorango, que se obtienen de desarme y se usan en la robótica de experimentación personal. Hay dos sensores característicos que se utilizan en robots: 1. Los módulos de ultrasonido contenidos en las viejas cámaras **Polaroid**con autorango, que se pueden conseguir en el mercado de usados por relativamente poco dinero. 2. Los módulos **SRF** de Devantech, que son capaces de detectar objetos a una distancia de hasta 6 metros, además de conectarse al microcontrolador mediante un bus[**I2C**](http://robots-argentina.com.ar/Comunicacion_busI2C.htm).  Información detallada -> [**Sensores - Medidores de distancia ultrasónicos**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_rangers.htm)  **Medidores de distancia por haz infrarrojo**   |  |  | | --- | --- | | http://robots-argentina.com.ar/img/Sensores_IR_Sharp.jpg |  |   La empresa Sharp produce una línea de medidores de distancia basados en un haz infrarrojo, que forman la familia GP2DXXX. Estos sensores de infrarrojos detectan objetos a distintos rangos de distancia, y en algunos casos ofrecen información de la distancia en algunos modelos, como los GP2D02 y GP2D12. El método de detección de estos sensores es por triangulación. El haz es reflejado por el objeto e incide en un pequeño array CCD, con lo cual se puede determinar la distancia y/o presencia de objetos en el campo de visión. En los sensores que entregan un nivel de salida analógico para indicar la distancia, el valor no es lineal con respecto a la distancia medida, y se debe utilizar una tabla de conversión.  Información detallada -> [**Sensores - Medidores de distancia por haz infrarrojo**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_reflectivos.htm#sharp)  **Acelerómetros, sensores de vibración**   |  |  | | --- | --- | | http://robots-argentina.com.ar/img/Sensores_ADXL202.jpg |  |   Un acelerómetro es un dispositivo que permite medir el movimiento y las vibraciones a las que está sometido un robot (o una parte de él), en su modo de medición dinámico, y la inclinación (con respecto a la gravedad), en su modo estático. De los antiguos acelerómetros mecánicos, de tamaño grande y dificultosos de construir, porque incluían imanes, resortes y bobinas (en algunos modelos), se ha pasado en esta época a dispositivos integrados, con los elementos sensibles creados sobre los propios microcircuitos. Estos sensores, disponibles en forma de circuito integrado, son los que se utilizan normalmente en robótica experimental. Uno de los acelerómetros integrados más conocidos es el **ADXL202**, muy pequeño, versátil y de costo accesible.  Información detallada -> [**Sensores - Acelerómetros, sensores de vibración**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_acelerometros.htm)  **Sensores pendulares (Inclinómetros)**   |  |  | | --- | --- | | http://robots-argentina.com.ar/img/Sensores_tiltch.jpg |  |   Queda claro que la inclinación de un robot se puede medir con facilidad utilizando las características de medición estática del sensor ADXL202 que descibimos aquí arriba. Las ventajas de este sensor son grandes, debido a su pequeño tamaño, sólida integración y facilidad de conexión con microcontroladores. De todos modos, existen otras soluciones para determinar la posición de la vertical (en base a la fuerza de la gravedad), y las listaremos brevemente. El mercado ofrece dispositivos con diversas soluciones mecánicas, todas basadas en un peso, a veces suelto aunque flotando en un medio viscoso, a veces ubicado sobre una rueda cargada sobre un lado de su circunferencia, en ocasiones una esfera. Hasta hay sensores basados en el movimiento de un líquido viscoso y conductor de la electricidad dentro de una cavidad. Las partes móviles en muchos casos están sumergidas en aceite, para evitar que la masa que hace de péndulo quede realizando movimientos oscilantes. Los sensores pueden estar basados en efecto capacitivo, electrolítico, de torsión (piezoeléctrico), magnético (inducción sobre bobinas) y variación resistiva.  **Contactos de mercurio**   |  |  | | --- | --- | | http://robots-argentina.com.ar/img/Sensores_mercurio.jpg |  |   También para medir inclinación, aunque en este caso sin obtener valores intermedios, sino simplemente un contacto abierto o cerrado, existen las llaves o contactos de mercurio, que consisten en un cilindro (por lo general de vidrio) en el que existen dos contactos a cerrar y una cantidad suficiente de mercurio que se puede deslizar a un extremo u otro del cilindro y cerrar el contacto.    **Giróscopos**   |  |  | | --- | --- | | http://robots-argentina.com.ar/img/Sensores_gyro.jpg |  |   El giróscopo o giroscopio está basado en un fenómeno físico conocido hace mucho, mucho tiempo: una rueda girando se resiste a que se le cambie el plano de giro (o lo que es lo mismo, la dirección del eje de rotación). Esto se debe a lo que en física se llama "principio de conservación del momento angular". En robots experimentales no se suelen ver volantes giratorios. Lo que es de uso común son unos sensores de pequeño tamaño, como los que se utilizan en modelos de helicópteros y robots, basados en integrados cuya "alma" son pequeñísmas lenguetas vibratorias, construidas directamente sobre el chip de silicio. Su detección se basa en que las piezas cerámicas en vibración son sujetas a una distorsión que se produce por el efecto Coriolis.  Información detallada -> [**Sensores - Giróscopos**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_giroscopos.htm)  **Termistores**   |  |  | | --- | --- | | http://robots-argentina.com.ar/img/Sensores_termistch.jpg |  |   Un termistor es un resistor cuyo valor varía en función de la temperatura. Existen dos clases de termistores: NTC (Negative Temperature Coefficient, Coeficiente de Temperatura Negativo), que es una resistencia variable cuyo valor se decrementa a medida que aumenta la temperatura; y PTC (Positive Temperature Coefficient, Coeficiente de Temperatura Positivo), cuyo valor de resistencia eléctrica aumenta cuando aumenta la temperatura. La lectura de temperaturas en un robot, tanto en su interior como en el exterior, puede ser algo extremadamente importante para proteger los circuitos, motores y estructura de la posibilidad de que, por fricción, esfuerzo, trabas o excesos mecánicos de cualquier tipo se alcancen niveles peligrosos de calentamiento.  **RTD (Termorresistencias)**   |  |  | | --- | --- | | http://robots-argentina.com.ar/img/Sensores_rtd.jpg |  |   Los sensores RTD (Resistance Temperature Detector), basados en un conductor de platino y otros metales, se utilizan para medir temperaturas por contacto o inmersión, y en especial para un rango de temperaturas elevadas, donde no se pueden utilizar semiconductores u otros materiales sensibles. Su funcionamiento está basados en el hecho de que en un metal, cuando sube la temperatura, aumenta la resistencia eléctrica.   **Termocuplas**   |  |  | | --- | --- | | http://robots-argentina.com.ar/img/Sensores_termocuplas.jpg |  |   El sensor de una termocupla está formado por la unión de dos piezas de metales diferentes. La unión de los metales genera un voltaje muy pequeño, que varía con la temperatura. Su valor está en el orden de los milivolts, y aumenta en proporción con la temperatura. Este tipo de sensores cubre un amplio rango de temperaturas: -180 a 1370 °C.    **Diodos para medir temperatura**   |  |  | | --- | --- | | http://robots-argentina.com.ar/img/Sensores_diodot.gif |  |   Se puede usar un diodo semiconductor ordinario como sensor de temperatura. Un diodo es el sensor de temperatura de menor costo que se puede hallar, y a pesar de ser tan barato es capaz de producir resultados más que satisfactorios. Sólo es necesario hacer una buena calibración y mantener una corriente de excitación bien estable. El voltaje sobre un diodo conduciendo corriente en directo tiene un coeficiente de temperatura de alrededor de 2,3 mV/°C y la variación, dentro de un rango, es razonablemente lineal. Se debe establecer una corriente básica de excitación, y lo mejor es utilizar una fuente de corriente constante, o sino un resistor conectado a una fuente estable de voltaje.    **Circuitos integrados para medir temperatura**   |  |  | | --- | --- | | http://robots-argentina.com.ar/img/Sensores_integradostch.jpg |  |   Existe una amplia variedad de circuitos integrados sensores de temperatura (se puede encontrar una lista en el link de abajo con la **información detallada**). Estos sensores se agrupan en cuatro categorías principales: salida de voltaje, salida de corriente, salida de resistencia y salida digital. Con salida de voltaje podemos encontrar los muy comunes **LM35** (°C) y **LM34** (°K) de National Semiconductor. Con salida de corriente uno de los más conocidos es el **AD590**, de Analog Devices. Con salida digital son conocidos el **LM56** y **LM75** (también de National). Los de salida de resistencia son menos comunes, fabricados por Phillips y Siemens.  Información detallada -> [**Sensores - Integrados para medir temperatura**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_integradost.htm)  **Pirosensores (sensores de llama a distancia)**   |  |  | | --- | --- | | http://robots-argentina.com.ar/img/Sensores_llamach.jpg |  |   Existen sensores que, basados en la detección de una gama muy angosta de ultravioletas, permiten determinar la presencia de un fuego a buena distancia. Con los circuitos que provee el fabricante, un sensor de estos (construido con el bulbo **UVTron**) puede detectar a 5 metros de distancia un fósforo (cerilla) encendido dentro de una habitación soleada. En el mercado de sensores industriales se puede encontrar una variedad amplia de sensores de llama a distancia, algunos que detectan también ultravioleta y otros que se basan en los infrarrojos, aunque por lo que pude ver, la mayoría son de tamaño bastante grande. Otro sensor que se utiliza en robótica, en este caso sensible a los infrarrojos, es el módulo **TPA81**.  Información detallada -> [**Sensores - Pirosensores a distancia**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_pirosensores.htm)  **Sensores de humedad**   |  |  | | --- | --- | | http://robots-argentina.com.ar/img/Sensores_humedad.jpg |  |   La detección de humedad es importante en un sistema si éste debe desenvolverse en entornos que no se conocen de antemano. Una humedad excesiva puede afectar los circuitos, y también la mecánica de un robot. Por esta razón se deben tener en cuenta una variedad de sensores de humedad disponibles, entre ellos los capacitivos y resistivos, más simples, y algunos integrados con diferentes niveles de complejidad y prestaciones.  Para el uso en robótica, por suerte, se puede contar con módulos pequeños, versátiles y de costo accesible, como el **SHT11** de Sensirion.  Información detallada -> [**Sensores - Humedad**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_humedad.htm)  **Sensores magnéticos**   |  |  | | --- | --- | | http://robots-argentina.com.ar/img/Sensores_hallvch.jpg |  |   En robótica, algunas situaciones de medición del entorno pueden requerir del uso de elementos de detección sensibles a los campos magnéticos. En principio, si nuestro robot debe moverse en ambientes externos a un laboratorio, una aplicación importante es una brújula que forme parte de un sistema de orientación para nuestro robot. Otra aplicación es la medición directa de campos magnéticos presentes en las inmediaciones, que podrían volverse peligrosos para el "cerebro" de nuestro robot si su intensidad es importante. Una tercera aplicación es la medición de sobrecorrientes en la parte motriz (detectando la intensidad del campo magnético que genera un conductor en la fuente de alimentación). También se podrán encontrar sensores magnéticos en la medición de movimientos, como el uso de detectores de "cero movimiento" y tacómetros basados en sensores por efecto Hall o pickups magnéticos.  Información detallada -> [**Sensores - Magnetismo**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_magnetismo.htm)  **Sistema de posicionamiento global**   |  |  | | --- | --- | | http://robots-argentina.com.ar/img/Sensores_GPS.jpg |  |   Si bien nos puede parecer demasiado lujo para nuestros experimentos, lo cierto es que un sistema de posicionamiento global (GPS, Global Positioning System) aporta una serie de datos que pueden ser muy útiles para un robot avanzado. Un ejemplo de este servicio es el módulo **DS-GPM**, fabricado por Total Robots, que entrega datos de latitud, longitud, altitud, velocidad, hora y fecha y posición satelital. Estos datos se comunican desde los registros del módulo a través de interfaces [**I2C**](http://robots-argentina.com.ar/Comunicacion_busI2C.htm) y RS232. Si bien no es barato, en realidad no es tan inaccesible: un dispositivo de estas características se vende en el mercado de EEUU a un valor cercano a los us$ 400.  **Receptores de radiobalizas**   |  |  | | --- | --- | | http://robots-argentina.com.ar/img/Sensores_RFch.jpg |  |   Por medio de un grupo de emisores de radiofrecuencia codificados, ubicados en lugares conocidos por el sistema, es posible establecer con precisión la posición de un robot, con sólo hacer una triangulación. Al efecto el robot debe poseer una antena de recepción direccional (con reflector parabólico, o similar) que pueda girar 360°, y así determine la posición de las radiobalizas. En el robot es posible usar receptores integrados muy pequeños y de bajo costo, como el **RWS-433**, o el **RXLC-434**, y otros similares, que trabajan en frecuencias de entre 303 y 433 Mhz. La elección de los transmisores dependerán de la distancia a que se ubiquen las radiobalizas, pero si se trata de áreas acotadas es posible utilizar los módulos transmisores hermanados con los anteriores, como el **TWS-433** y el **TXLC-434**.  Información detallada -> [**Sensores - Receptores (y transmisores) de RF**](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_rf.htm)  **Sensores de proximidad**   |  |  | | --- | --- | | http://robots-argentina.com.ar/img/Sensores_prox.jpg |  |   Los sensores de proximidad que se obtienen en la industria son resultado de la necesidad de contar con indicadores de posición en los que no existe contacto mecánico entre el actuador y el detector. Pueden ser de tipo lineal (detectores de desplazamiento) o de tipo conmutador (la conmutación entre dos estados indica una posición particular). Hay dos tipos de detectores de proximidad muy utilizados en la industria: inductivos y capacitivos. Los detectores de proximidad inductivos se basan en el fenómeno de amortiguamiento que se produce en un campo magnético a causa de las corrientes inducidas (corrientes de Foucault) en materiales situados en las cercanías. El material debe ser metálico. Los capacitivos funcionan detectando las variaciones de la capacidad parásita que se origina entre el detector propiamente dicho y el objeto cuya distancia se desea medir. Se emplean para medir distancias a objetos metálicos y no metálicos, como la madera, los líquidos y los materiales plásticos. |

*Sensores conceptos generales, Descripción y funcionamiento, por Eduardo J. Carletti*

[*http://robots-argentina.com.ar/Sensores\_general.htm*](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_general.htm)

**Calibración:** procedimiento utilizado para ajustar la salida del sensor sobre su rango completo de medida, tratando que este ajuste coincida al máximo con una serie de valores conocidos, los cuales son obtenidos de patrones de la magnitud a medir.

# Precisión, exactitud y sensibilidad

Precisión, exactitud y sensibilidad – Mediciones Eléctricas

### Precisión, exactitud y sensibilidad – Mediciones Eléctricas

**La Precisión** en un instrumento de medición se refiere simplemente a la diferencia de varias medidas realizadas bajo las mismas condicionas contra un valor preestablecido.

Para comprender esto digamos que tenemos un Voltimetro y una fuente de poder fija a 5 V, esta fuente a sido desarrollada para tener ese voltaje de salida para comprobar la precisión de los instrumentos, osea estos 5 Volts son nuestro valor predeterminado, ahora tomamos nuestro Voltimetro y medimos la salida de nuestra fuente, imaginemos que realizamos esta prueba 10 veces bajo las mismas condiciones (al hablar de las mismas condiciones nos referimos a cualquier fuerza o magnitud física que pueda cambiar la medición como por ejemplo la temperatura, la humedad, etc.

Retomando lo anterior supongamos que tuvimos los siguientes valores en las 10 mediciones:

5, 4.9, 5, 4.8, 5, 4.9, 5, 4.8, 5, 5

como podemos observar en 6 de las 10 pruebas el valor fue de 5 Volts lo cual indica que el instrumento es preciso, una cosa importante es que si 4.9 fuera el valor que más se repite entonces el instrumento**también seria preciso aun que ya no seria exacto**, esto es debido a que la precisión te indica cuantas veces se repite una medición bajo las mismas condiciones comparado con un valor predeterminado, entre menor sea la diferencia entre los valores repetidos y el valor predeterminado se puede decir que el instrumento es preciso.

La forma de determinar esto es muy sencilla, generalmente a la hora de comprar un instrumento de medición este trae un instructivo o manual el cual indica cual es el porcentaje de error, osea que si el valor es de 5 volts y el porcentaje de error es del 2% estaríamos hablando de un error de 0.1 V lo cual llevaria a medir 4.9 Volts lo cual indica que es preciso y exacto.

**La Exactitud**en cuanto a instrumentos relacionados con mediciones eléctricas se refiere a que tan cercana es la medición del instrumento comparada con el valor real proporcionado por los laboratorios encargados de  crear dicho instrumento, para comprender esto debemos enfatizar el concepto de “calibración”, esta palabra contiene mucha definiciones pero sin embargo su función principal es (a falta de una mejor palabra) la afinación del instrumento para que este contenga el menor margen de error, si queremos entender esto con un ejemplo más practico y cotidiano simplemente debemos remontarnos a unos años atrás donde los relojes poseían manecillas y complejos sistemas de engranajes (aun los hay pero seamos sinceros ya todos ven la hora en un celular) estos relojes debían ser calibrados con el tiempo ya que a lo largo de un año dependiendo de los materiales con los que estuviera hecho sin duda se atrasaría en el mejor de los casos unos segundos o en el peor incluso minutos.

La acción de calibrar el reloj era que la hora del día mostrada en el mismo fuera proporcional a los relojes maestros creados por ingenieros para medir el tiempo con exactitud (pero nos salimos del tema).

Al ajustar el reloj se hacía menor el error en cuanto al tiempo, pues esto mismo se aplica en los instrumentos de medición, si tomamos como ejemplo un Voltimetro este puede dejar de ser **exacto con el paso del tiempo**, si al principio lo probamos con un valor real de 5V y después de un año lo probamos de nuevo y nos da 4.7 V implica que este tiene un margen de error de 0.3 V lo cual indica que ya no es exacto, la función de la calibración es reducir ese error a su mínima expresión posible asiendo que ese 0.3 se convierta en 0.0003 V, siempre existirá un margen de error esa es una ley que quizá no se enseña muy a menudo pero para el diseño de circuitos es un factor a tomar en cuenta.

**La Sensibilidad** se refiere a la respuesta que el instrumento de medición tenga para medir una variable y que tan rápida sea este para estabilizar su medida.

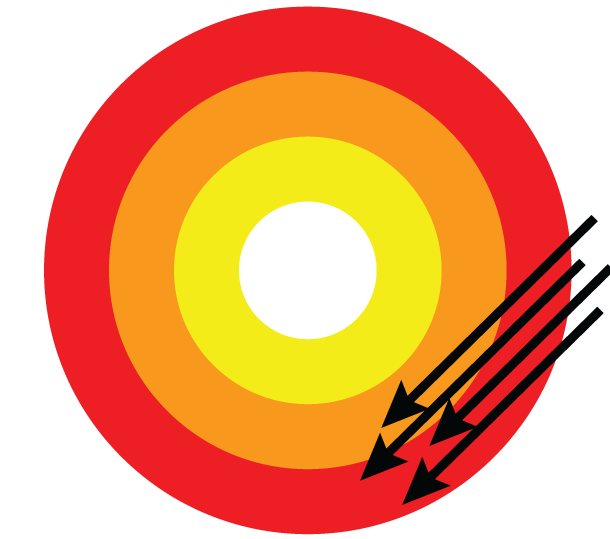
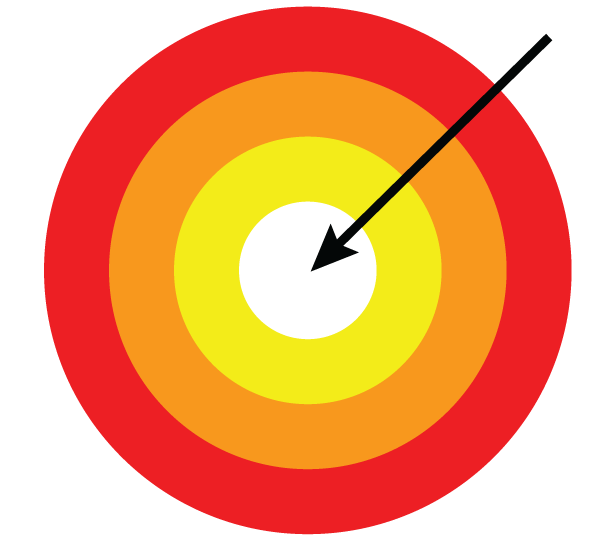
Por ejemplo supongamos que tenemos un Voltimetro y queremos medir una salida predefinida de 9 volts, al conectar el Voltimetro podemos notar (dependiendo si es digital o analógico) que el valor llega a la medición correcta en cuestión de segundos, se dice que estos instrumentos tienen una sensibilidad correcta y estable, sin embargo existen medidores con la capacidad de responder con precisión y exactitud en mili segundos lo cual los provee también de la propiedad de sensibilidad.

*http://ingenieriaelectronica.org/precision-exactitud-y-sensibilidad-mediciones-electricas/*

**Primero, unas definiciones:-**

* La ***precisión***de un instrumentos es una medida de la veracidad de sus salidas
* La ***resolución***de un instrumento es la medida del menor incremento o disminución en posición que puede medir
* La ***exactitud***de un instrumento de medición de posición es el grado de reproducibilidad.
* La ***linealidad*** de un instrumento de medición de posición es una medición de la desviación entre la salida del transductor y el desplazamiento real que se mide

A la mayoría de los ingenieros les sacan de sus casillas las diferencias entre precisión y exactitud.  Podemos explicar la diferencia entre precisión y exactitud con la analogía de una flecha que se lanza a un objetivo.  La precisión describe la cercanía de la flecha al blanco.



**Figura 1**: un tiro preciso (izquierda) y tiros de precisión (derecha)

Si se lanzan muchas flechas, la precisión es igual al tamaño del conjunto de flechas.  Si todas las flechas se agrupan juntas, el conjunto se considera preciso.

[*http://www.zettlex.com/es/documentacion-tecnica/precision-resolucion-repetibilidad/#sthash.c6n2QuC3.dpuf*](http://www.zettlex.com/es/documentacion-tecnica/precision-resolucion-repetibilidad/#sthash.c6n2QuC3.dpuf)

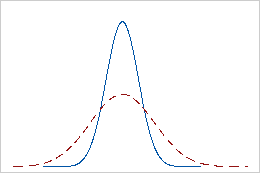
**Selectividad:** se define como la capacidad de un método para determinar analitos específicos en mezclas o matrices sin interferencia de otros componentes de comportamiento análogo.

**Icertidumbre:** Falta de seguridad o de certeza sobre algo

**La repetibilidad y reproducibilidad** son los dos componentes de precisión en un sistema de medición. Para evaluar la repetibilidad y reproducibilidad, utilice un Estudio R&R del sistema de medición (**Estadísticas**, **Herramientas de calidad**, **Estudio del sistema de medición**).

**Repetibilidad:** Capacidad de un operador para repetir de manera uniforme la misma medición de la misma pieza, utilizando el mismo sistema de medición, bajo las mismas condiciones.

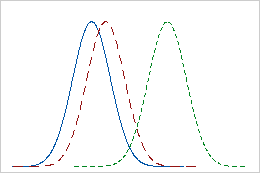
El operador 1 mide una pieza con un sistema de medición A 20 veces y luego mide la misma pieza con el sistema de medición B.



La línea continua representa las mediciones con el sistema de medición A. La línea punteada representa las mediciones con el sistema de medición B. El sistema de medición A tiene menos variaciones, por lo tanto es más repetible que el sistema de medición B.

**Reproducibilidad:** Capacidad de un sistema de medición, utilizado por varios operadores, para reproducir de manera uniforme la misma medición de la misma pieza, bajo las mismas condiciones.

Los operadores 1, 2 y 3 miden 20 veces la misma pieza con el mismo sistema de medición.



Las tres líneas representan las mediciones del operador 1, 2 y 3. La variación en las mediciones promedio entre los Evaluadores 1 y 2 es mucho menor que la variación entre los Evaluadores 1 y 3. Por lo tanto, la reproducibilidad del sistema de medición es demasiado baja.

*http://support.minitab.com/es-mx/minitab/17/topic-library/quality-tools/measurement-system-analysis/gage-r-r-analyses/repeatability-and-reproducibility/*

**un “sensor químico ideal”** es un dispositivo capaz de detectar y/o cuantificar a tiempo real una especie química en un medio complejo (muestra de interés) a través de una interacción química selectiva.

**Un sensor químico** es un dispositivo que transforma información química, variando desde la concentración de un componente específico de la muestra hasta el análisis total de su composición, en una señal analítica útil. La información química puede venir originada de una reacción química del analito o de una propiedad física del sistema investigado.

Además, el sensor puede contener dispositivos que tengan las siguientes funciones: toma de muestra, transporte de muestra y procesamiento de señal y datos. Idealmente, un sensor químico debe operar de forma continua y reversible, directamente sobre la matriz de la muestra y debe tener la capacidad de proporcionar información sobre la distribución espacial y temporal de una especie molecular o iónica a tiempo real.

Un sensor químico capaz de informar sobre una especie química consta básicamente de tres partes

**1. *Zona de reconocimiento o fase sensora*:** en la cual se produce la interacción selectiva con el analito (o analitos) de interés, lo que origina un cambio del sistema cuya magnitud está relacionada con la concentración de la especie a determinar.

El receptor puede basarse en diferentes principios:

***principio físico****:* no se produce reacción química. Ejemplos típicos son aquellos basados en medidas de absorbancia, luminiscencia, índice de refracción, conductividad, temperatura, cambio de masa, etc.

***principio químico:***una reacción química donde participa el analito que genera la señal analítica.

***principio bioquímico:***un proceso bioquímico es la fuente que genera la señal analítica. Ejemplos típicos son los sensores potenciométricos microbianos o Introducción los inmunosensores. Como hemos dicho anteriormente, éstos se consideran un subgrupo de los sensores químicos; son los llamados biosensores.

En ocasiones no es posible decidir inequívocamente si un sensor opera según un principio químico o físico; en algunos casos se da un proceso mixto: reacción química y principio físico medido. Este es, por ejemplo, el caso en el que la señal se deba a un proceso de adsorción.

**2. Transductor:** donde se transforma la energía que lleva la información química de la muestra en una señal analítica útil (se genera una señal óptica, eléctrica, etc.). El transductor, como tal, no muestra selectividad.

**3. Elemento electrónico:** de tratamiento y medida de señales eléctricas y que muestra los resultados.

La magnitud de la señal física obtenida se relaciona posteriormente con la concentración de analito a través de una curva de calibrado realizada previamente.

En resumen, un sensor consiste en una capa sensible o sistema de reconocimiento (receptor), un transductor para convertir la información química en una señal eléctrica y/u óptica y una electrónica para la evaluación de datos y aporte de resultados, normalmente integrada en el sensor

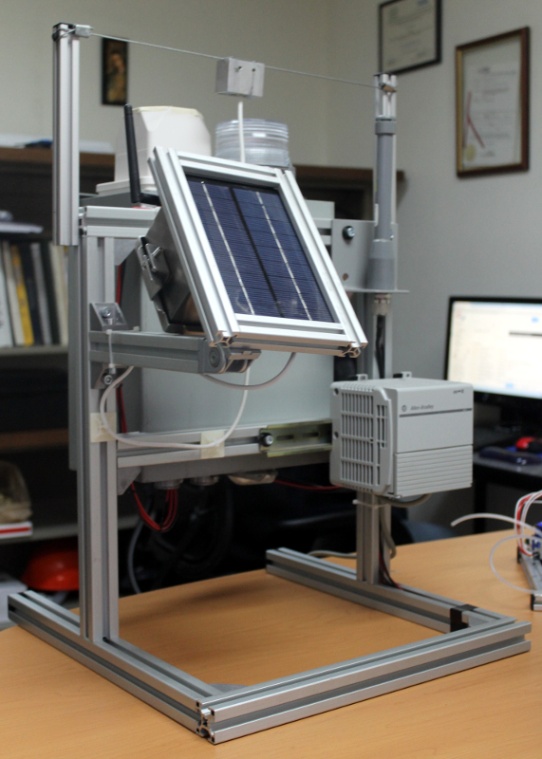
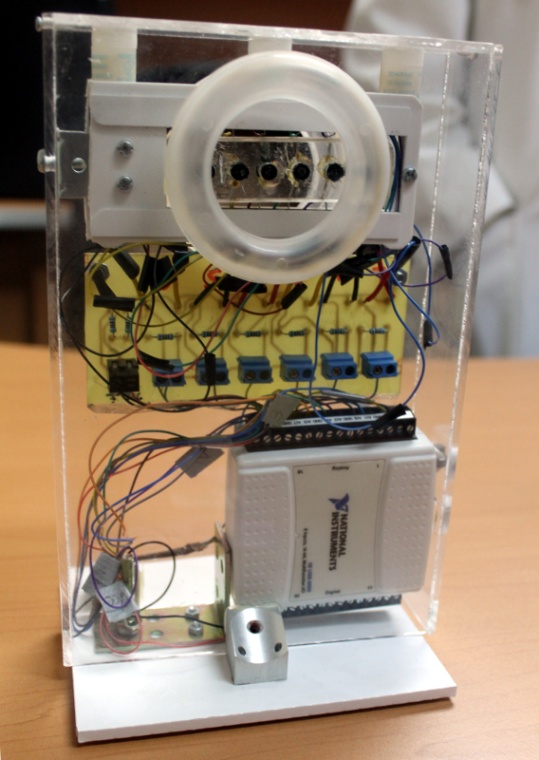


Se pueden establecer diferentes clasificaciones de los sensores utilizando diversos criterios. El gran interés que existe actualmente en el mundo de los sensoreshace que éstos se encuentren evolucionando continuamente y por tanto, es seguro que irán apareciendo otras clasificaciones a medida que se desarrollen nuevos tipos de sensores.

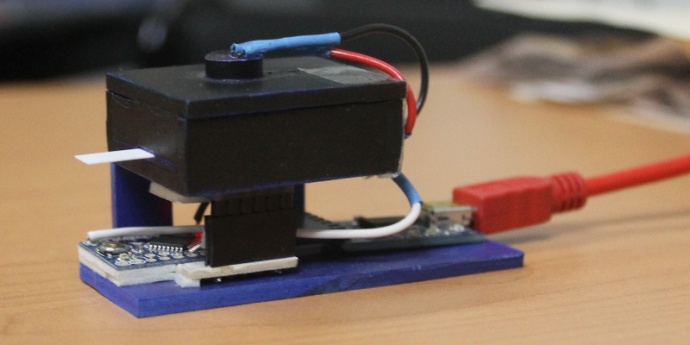
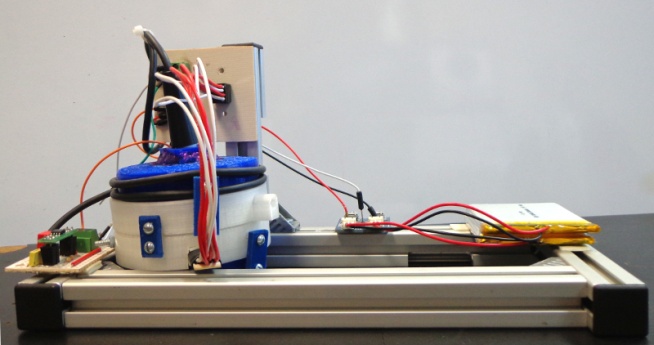
Los criterios más utilizados y la clasificación de sensores correspondientes a cada criterio son los siguientes. Atendiendo al modo de reconocimiento, los sensores pueden clasificarse en ***sensores químicos o bioquímicos***. Cuando la etapa de reconocimiento se lleva a cabo mediante un elemento sensible biológico (por ejemplo, una enzima, un anticuerpo, una célula, etc.) el dispositivo resultante es conocido como biosensor. Así pues, la diferencia entre un sensor químico y un biosensor está en la reacción (química o biológica) de reconocimiento del analito. Los sensores (bio)químicos han sido ampliamente utilizados para aplicaciones ambientales, clínicas, biológicas e industriales.

*Editor: Editorial de la Universidad de GranadaAutor: Ángel Valero Navarro D.L.: GR 2106-2011 ISBN: 978-84-694-2957-0*

El olfato y lengua electrónica se generaron gracias al conocimiento adquirido en la creación de sensores.



*Prototipo de nariz electrónica – 1a fase Prototipo de sensor contra robo de combustible*

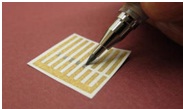
  
 *Prototipo de nariz electrónica – 2a fase Prototipo de lengua electrónica*

*<http://cimav.edu.mx/investigacion/ingenieria-y-quimica-de-materiales/area-de-polimeros-sensores/>*

Drawing a line, with carbon nanotubes: New low-cost, durable carbon nanotube sensors can be etched with mechanical pencils

# Nuevos sensores basados en nanotubos de carbono

Hoy en día existe un interés creciente por la monitorización de gases que pueden provenir de la industria, de la descomposición de otros productos o de fugas en automoción o construcción. Entre los dispositivos con capacidad de detectar trazas de gases se encuentran los sensores de gases de estado sólido, y sus principales ventajas se hallan en su tamaño reducido, su bajo coste comparado  
con las técnicas convencionales de detección de gases, la posibilidad de mostrar resultados en tiempo real y la portabilidad. Es posible emplear diversos elementos para la detección como los óxidos metálicos TiO2, SnO2, WO3 o los óxido dopados con otros metales como son el paladio, platino, oro o plata entre otros. Estos materiales mejoran la sensibilidad y selectividad así como permiten reducir considerablemente la temperatura óptima de detección. Sin  
embargo, cuando se trata de detectar estos gases utilizando los sensores a temperatura ambiente, los niveles de respuesta disminuyen drásticamente y los umbrales de detección ya no son tan bajos.

**[](http://carboninspired.com/blog/wp-content/uploads/2012/11/dibujo1.jpg)**

El uso de nanotubos de carbono permite mejorar las capacidades de detección de los dispositivos existentes y permitir su impresión en elementos flexibles. Los nanotubos de carbono son láminas de átomos de carbono enrolladas en forma de cilindros que permiten que los electrones fluyan sin obstáculos. Los nanotubos de carbono (CNTs) han generado un gran interés debido a sus excepcionales propiedades físicas: tamaño pequeño, baja densidad, alta dureza y alta solidez. Tales materiales han demostrado ser eficaces para sensores de muchos gases, que se unen a los nanotubos e impiden el flujo de electrones. Sin embargo, la creación de estos sensores requiere disolver los nanotubos en un disolvente tal como diclorobenceno, utilizando un proceso que puede ser peligroso y poco fiable.

Para resolver este problema, el MIT ha creado un método de fabricación sin disolventes a base de papel. Inspirado por los lápices comunes de escritorio, comprimieron los nanotubos de carbono en un material de grafito así podría sustituir a la punta del lápiz.

Para crear sensores por medio de su lápiz, los investigadores trazaron una línea de nanotubos de carbono sobre una hoja de papel impresa con pequeños electrodos de oro. A continuación, aplicaron una corriente eléctrica y midieron la corriente que fluye a través de la tira de nanotubos de carbono, que actúa como una resistencia. Si la corriente es alterado, significa que el gas se ha unido a los nanotubos de carbono.

En comparación con otras técnicas típicas, como recubrimiento por centrifugación, recubrimiento por inmersión o la impresión de inyección de tinta, ésta posee buena reproducibilidad de detección. El sensor detecta cantidades muy pequeñas de gas amoniaco, de riesgo industrial y puede adaptarse para detectar casi cualquier tipo de gas.

Otros gases en los que los investigadores están particularmente interesados son el etileno, lo que sería útil para controlar la madurez de la fruta durante el transporte y almacenado o el azufre, lo que sería interesante para la detección de fugas de gas natural.

[***http://www.sciencedaily.com/releases/2012/10/121009121741.htm***](http://www.sciencedaily.com/releases/2012/10/121009121741.htm)

**Fundamentos de nano y micro fabricación**

**Micro/Nanomecánicos**

Como se expone en el Capítulo 1, en el desarrollo del trabajo recogido en la presente memoria se fabrican tres demostradores: dos sensores de masa formados por un sistema micro/nano electromecánico y un sensor biológico con elemento transductor micro/nanomecánico. Como introducción al trabajo realizado y con el fin de compararlo con la tendencia científica actual, en este capítulo se presenta el estado del arte de los sistemas micro y nano electromecánicos, haciendo un especial énfasis en los sensores; dado que es un tema muy amplio, se plantea orientado al trabajo desarrollado durante la presente tesis. Por esta razón se presentan con mayor detalle los sistemas de transducción y detección utilizados en los demostradores fabricados.

**Sistemas Micro/Nano Electro Mecánicos**

Un **Microsistema** o **Sistema Microelectromecánico** (MEMS, *Micro-Electro-Mechanical- System*) se define como la integración conjunta de sistemas o dispositivos que combinan componentes eléctricos, mecánicos, fluídricos, ópticos y en general de cualquier dominio de la física, los cuales son fabricados utilizando técnicas y procesos compatibles con la fabricación de circuitos integrados, siendo la escala de estos dispositivos desde las décimas de micra hasta los cientos de micra [Gad-02]. Los sistemas micro-electromecánicos se conocen como MEMS en EE.UU, Tecnología de microsistemas, MST (*Microsystems Technology*) en Europa o Micromáquinas (*Micromechatronic*) en Japón. En general se utilizan indistintamente los vocablos microsistemas y sistemas microelectromecánicos.

**Los MEMS** integran estructuras muy diversas: palancas, membranas, columnas, orificios, motores,Para fabricar estos componentes se dispone de las técnicas de microelectrónica y la micromecanización que en el capítulo 3 se presenta en detalle. ***Los microsistemas se dividen en dos grandes grupos: sensores, reaccionan ante un estímulo externo, y actuadores, responden ante un determinado estímulo***. En general un microsistema puede estar formado por sensores y actuadores, formando lo que se conoce como sistemas inteligentes o smart sensors

La utilización de sistemas micro-electro-mecánicos, de menores dimensiones y más ligeros, para fabricar sensores, supone una ventaja al aumentar la sensibilidad, reducir el tiempo de respuesta, en ocasiones los MEMS incluyen nuevas funciones, pudiendo además suponer una reducción de coste significativo. Una gran ventaja de fabricar sensores y actuadores que ocupan volúmenes muy pequeños es que pueden crearse laboratorios sobre un.

De este modo pueden utilizarse en la fabricación de instrumentos de análisis químico, por ejemplo, como dosificadores de medicina o de micromanipulación, por ejemplo, microrobots capaces de manipular células individuales en medios acuosos.

Algunos **ejemplos de sensores basados en MEMS** se han mencionado en el apartado anterior. Podemos destacar la utilización de MEMS como sensores de presión, acelerómetros, sensores de temperatura, sensores de flujo, sensores de masa y sensores químicos, bioquímicos y biológicos. Se presentan las características generales y principio de transducción de algunos ejemplos; en detalle, los sensores de masa y sensores químicos, ya que los sensores desarrollados en esta tesis son de este tipo.

El origen de la aplicación de la tecnología de silicio para la fabricación de sensores, durante la década de los 50, fue la construcción de **sensores de presión**.

Actualmente es el dispositivo más evolucionado en esta tecnología. El mercado de aplicación más importante es el de la automoción. Existen dos tipos de sensores de presión, en función de la técnica de detección utilizada: piezoresistivos o capacitivos. Se trata de medir la deformación de una membrana causada por la variación de la presión, bien colocando piezoresistencias sobre la membrana, bien midiendo la variación de la capacidad. Con sensores micromecanizados de silicio se puede cubrir el rango de 0 a 34 MPa con precisión del 1%.

La figura 2.2 A) muestra un esquema de este sensor, según sea la presión ejercida la membrana se deflectará, la variación de la presión se mide en este caso a partir de la variación de la capacidad entre el electrodo metálico del esquema y la membrana [Gad-02].

Los **acelerómetros** son posiblemente el ejemplo más emblemático de microsistema. El primer acelerómetro de silicio lo realizó Roylance en 1978, su primera aplicación fue en los marcapasos. En los años 80 empezaron a proliferar y actualmente están implantados en la mayoría de los automóviles como activadores de airbag. La parte mecánica de un acelerómetro es la masa sísmica, es decir, una masa muy sensible a cualquier movimiento. En el caso sencillo del sensor la masa sísmica está colgada de una viga en el cual se integra una resistencia cuyo valor cambia con la dirección de movimiento. La figura 2.2 B) muestra un esquema de cómo son estos dispositivos. Diseños más sofisticados, donde la masa sísmica se cuelga de puentes con dos o más anclajes permiten aumentar la sensibilidad en una dirección de movimiento. Normalmente se integran dentro de un sistema varios acelerómetros capaces de detectar independientemente varias direcciones de movimiento. Actualmente la mayoría de acelerómetros tienen un sistema de test, de forma que mediante un actuador se comprueba el desplazamiento de la masa en ausencia de aceleración. Diferentes empresas relacionadas con el mundo de la automoción han diseñados sus propios acelerómetros, por ejemplo Siemens, Analog Devices .



**Figura 2.2** Esquema de los transductores A) de un sensor de presión y B) un acelerómetro**.**

Así como las estructuras para definir los sensores de presión o los acelerómetros se basan generalmente en los mismos principios físicos que se han citado, para la fabricación de **sensores de temperatura** existe una gran variedad de transductores. Puede bastar un elemento integrado en la circuitería que cambie su resistividad con la temperatura. O estar formado el transductor por un sistema resonante complejo.

**Los sensores de flujo** también son de características y fundamentos muy diversos, ya que varían bastante en función del tipo de flujo que se quiera medir. Un caso particular son los sensores de flujo basados en presión diferencial, que miden la presión en un orificio.

Existen sensores de flujo, basados en sistemas resonantes [Brand-98]. Así mismo algunos sensores miden flujos turbulentos, este tipo de sensores están en general formados por palancas

**Sensores de masa**

Cada vez son más necesarios sistemas de alta resolución y alta sensibilidad para diagnóstico de enfermedades in vivo, para protección ambiental en detección de sustancias, etc. Por esta razón los sensores de masa son un tema de actualidad y que está evolucionando constantemente. El sensor más extendido para masas inferiores al nanogramo son las microbalanzas de cuarzo. Su funcionamiento se basa en la alta sensibilidad en masa de las frecuencias de los resonadores de cuarzo y en la precisión de lectura de frecuencia de los circuitos de los resonadores

**Una microbalanza de cuarzo** (QCM, *Quartz Crystal Microbalance* o QMB, *Quartz microbalance*) consiste en un disco de cuarzo con dos electrodos de metal (por ejemplo, oro) sobre él (figura 2.3). La aplicación de un potencial eléctrico externo sobre el material piezoeléctrico le produce tensión mecánica interna. Como el cristal de cuarzo es piezoeléctrico, un campo eléctrico oscilante aplicado a través del material induce una onda acústica que se propaga a través del cristal. Esta onda encuentra un mínimo de impedancia cuando el grosor del sistema es un múltiplo de la mitad de la longitud de onda de la onda acústica. La microbalanza de cuarzo es un sistema en modo cizalla, donde la onda acústica se propaga a través de la superficie. El disco de cristal de cuarzo debe cortarse con una orientación específica respecto a los ejes cristalinos. La deposición de capas delgadas en la superficie del cristal diminuye la frecuencia proporcionalmente a la masa de la capa depositada. Mediante la detección de la variación en frecuencia se determina la masa depositada.



**Figura.** Esquema típico de un cristal de cuarzo piezoeléctrico, elemento transductor de las

microbalanzas de cuarzo

Las balanzas de cuarzo se utilizan en monitorización de reacciones químicas, en sensores biomédicos, para monitorizar la deposición de metales y en control ambiental. Dispositivos comerciales alcanzan sensibilidad de 0,18 ag/cm2 a altas frecuencias (10-15 MHz).

La resolución total en masa de los sistemas basados en microbalanzas de cristal de cuarzo alcanza valores de masa absoluta de 0,9 ng/cm2. Estos sistemas en ocasiones permiten realizar medidas electroquímicas en líquido, es lo que se conoce como EQCM (*electrochemical quartz crystal microbalance*).

Existen junto con las microbalanzas de cuarzo otros sistemas para detección de masa basados en MEMS. El estado del arte de estos sistemas evoluciona continuamente por esta razón citaré algunas de las últimas contribuciones.

Sistemas capaces de detectar variaciones de masa de sub-picogramos han aparecido recientemente [Ono-03]. Zhang et al. [Zhang-05] presentan un sistema basado en un microoscilador en forma de peine utilizando amplificación de la resonancia paramétrica y con resolución de picogramo en aire. Algunos autores presentan sensores de masa resonantes basados en nanopuentes mediante detección magnética que permiten obtener resoluciones en masa absolutas del orden del atogramo [Ekinci-04A], para excitar la resonancia se aplica un campo magnético perpendicular al puente, de modo que al hacer circular corriente alterna por él se excita, así se genera una fuerza electromotriz, la cual es detectada a través de un analizador de redes. En las últimas contribuciones han diseñado dispositivos capaces de detectar 7 zg, realizando, eso sí, medidas en ultra alto vacío y a temperatura inferior a 7ºK. Resultados recientes de sensores basados en membranas piezoeléctricas resonantes para detección bioquímica [Nicu-05] indican que se pueden alcanzar con estos dispositivos resoluciones próximas a los 300 fg/Hz.

La tabla resume el estado del arte de los sensores de masa. Indicando los dispositivos existentes comercialmente y en desarrollo científico, las características, una referencia, las técnicas de excitación y detección utilizada, condiciones de medida de presión y temperatura, así mismo se muestra la sensibilidad del dispositivo y la mínima masa que pueden alcanzar, en caso de que haya sido reportada.



**Tabla** Resolución y características de los distintos sistemas para detección de masa,

(1 fg=10-15g 1 ag = 10-18 g, 1 zg = 10-21g).

Las características de la tabla anterior permiten analizar y comparar los diferentes sistemas de detección de masa. Ninguno de estos sistemas es completamente integrable. Destacar que en condiciones ambientales la mínima masa reportada es de 5,5 fg. Modificando las condiciones de medida, es decir en de alto vacío (presión menor que 10-11Pa) y baja temperatura se consiguen resoluciones varios órdenes de magnitud superiores (7 zg).

Los sistemas basados en palancas o *cantilevers* tienen muchas aplicaciones como sensores de masa; dado el interés que tienen dentro de la presente tesis, se les dedica un apartado completo más adelante.

**Sensores Químicos**

Un **sensor químico** es un transductor miniaturizado que selectivamente responde a un compuesto químico o ión y produce una señal que depende de la concentración del compuesto químico o ión. Está formado por un transductor físico (es decir, un traductor de cantidades físicas en las señales de salida correspondientes) y una capa selectiva químicamente, de modo que la señal de salida mensurable se produce en respuesta a un estímulo químico.

La figura muestra un esquema de la estructura general de un sensor químico: donde se distingue la etapa de reconocimiento molecular, de transducción y procesado de datos.



**Figura** Modelo general de un sensor químico: se distinguen tres bloques: el reconocimiento molecular, la transducción y el procesado de los datos**.**

Dentro de los sensores químicos se encuentran los sensores bioquímicos o biológicos o **biosensores**, donde moléculas biológicas, como anticuerpos (naturales o artificiales), encimas, receptores o sus híbridos, son equivalentes a los ligandos sintéticos y así se integran en los procesos de reconocimiento químico [Spichiger-98]. La demanda de este tipo de sensores está en auge; se necesita detectar presencia de determinadas moléculas, o proteínas en concentraciones mínimas y para ello es necesario disponer de sensores muy específicos y sensibles.

Basándose en el reconocimiento molecular y bioquímico, se pueden diseñar capas receptoras altamente selectivas, incluso capas estructuradas compatibles con tecnologías de microfabricación.

La etapa de reconocimiento molecular de un sensor químico en general se realiza con la sustancia en medio gaseoso o líquido. El reconocimiento en líquido es necesario para detectar determinadas biomoléculas y proteínas. La transducción posterior puede realizarse en este caso también en líquido o en seco. El líquido puede ser incompatible con algunas técnicas de transducción, por esa razón algunas veces se realiza esta etapa en seco. El principal inconveniente es que la sustancia puede ver ligeramente modificadas sus propiedades tras el secado.

Según el principio de transducción empleado habrá distintos tipos de sensores, podemos destacar que un sensor químico puede ser un sensor de masa selectivo a determinadas sustancias. Así los sensores presentados en el apartado anterior, con una capa receptora adecuada, pueden convertirse en sensores químicos o biológicos.

Existen diversos sensores químicos y bioquímicos basados en palancas, que trabajan en seco. Estudios recientes presentan sensores capaces de detectar la presencia de diversas sustancias en estado gaseoso**;** la detección va precedida de un proceso mediante el cual la sustancia se adhiere al transductor. Estos sensores permiten detectar concentraciones del 20%. Otro ejemplo de sensor para medir concentraciones de vapor o distintos. Que consiste en un sistema basado en *microcantilevers* para medir vapor de alcohol.

Dentro de los sensores biológicos se puede destacar su interés en la detección de virus, proteínas, macromoléculas e incluso para estudiar cadenas de ADN y cromosomas.

Podemos ver las implicaciones que tienen estas aplicaciones en términos de masa. Por ejemplo el virus del resfriado pesa 28 MDalton (1 Da = 1,67·10-24 g), como ejemplos de proteínas la hemoglobina pesa 64,5 kDa y la insulina 5,7 kDa. Así para medir virus necesitamos sensores con resoluciones del fentogramo, para medir presencia de proteínas necesitamos resolución en el rango del atogramo e incluso del zeptogramo.

Podemos examinar brevemente las características de los sensores químicos y bioquímicos con el fin de analizar los beneficios que tienen. Debido a la capa selectiva que disponen, son sistemas selectivos y específicos, de forma que se tienen dispositivos muy versátiles.

Permiten un análisis selectivo en muestras complejas, frente a los sistemas tradicionales obtienen un análisis directo y son de fácil manejo. El tiempo de respuesta se reduce notablemente (por ejemplo, si lo comparamos con métodos clásicos de análisis). El uso de procesado y control electrónico de la medida y la calibración del sistema asegura seguridad y proporciona al usuario un entorno sencillo de medida. Una ventaja de estos dispositivos es la reversibilidad, ya que permite medidas de forma continuada, sin consumir solución analítica. Y por último destacar la reducción de coste, frente a sistemas de análisis complejo.

Las limitaciones en la resolución alcanzable por los sensores bioquímicos suelen estar determinadas por los transductores. Por esta razón, el principio de transducción o la innovación en el diseño del transductor es siempre un hito importante en la fabricación de sensores químicos. Si bien la tendencia a detectar cantidades cada vez más pequeñas hace que las señales a detectar sean débiles, por tanto, el diseño y la selección de la técnica de detección tienen cada vez más relevancia. A continuación veremos las características de los transductores en el caso de sensores basados en palancas de silicio y como pueden influir o limitar la resolución con algunos ejemplos.

**Sensores basados en palancas de silicio**

**Los sensores basados en palancas o *cantilevers***se caracterizan por la gran simplicidad del elemento transductor, que son una o varias palancas de dimensiones micro/nanométricas obtenidas a partir de la micromecanización del silicio. Este tipo de sensores permiten detectar multitud de propiedades físicas y/o químicas: presión temperatura, aceleración, masa. Los sensores basados en *cantilevers* son el transductor ideal para sensores químicos y biológicos, pueden ser usados para reconocimiento molecular, detección de gases, etc.

El funcionamiento se basa en la transducción que produce la magnitud que se quiere medir, en una actuación mecánica de la palanca. Existen dos modos de funcionamiento de las palancas que veremos en detalle en esta sección. El primero de ellos es el modo estático o DC, de forma que la magnitud a detectar produce una deflexión de la palanca; con el adecuado sistema de lectura se mide la deflexión de la palanca que se relaciona con la magnitud correspondiente. El segundo modo es el dinámico, resonante o AC, el principio de funcionamiento consiste en detectar cambios en la resonancia debidos a la presencia del mesurando, para ello es necesario excitar la palanca en su estado resonante y detectar la variación de uno de los parámetros que caracterizan la resonancia (amplitud, frecuencia de resonancia, fase.

Los sensores basados en micropalancas tienen su origen y principal impulso en los microscopios de campo próximo (SPM) y microscopios de fuerzas atómicas (AFM). Estos microscopios basan su funcionamiento en detectar la interacción entre una superficie y la punta del microscopio, suspendida de un *cantiléver* utilizan como sensor biológico la punta de un microscopio de fuerzas atómicas, suspendida sobre un *cantilever* micrométrico, que les permite detectar antígenos de 2,0 μm de NdFEBLa, mediante la utilización de anticuerpos recubiertos magnéticamente (equivalente a una fuerza de 11.1 pN).

Desde finales de los 80, el avance de los microscopios de fuerzas atómicas ha potenciado la microfabricación de palancas, se ha propiciado de este modo el desarrollo y perfeccionamiento de las técnicas para fabricar *cantilevers* micrométricos de silicio.

Dentro de los sensores basados en palancas, particularizaremos en los sensores basados en palancas de silicio, las óptimas propiedades mecánicas del silicio, así como el hecho de ser la tecnología base de los circuitos integrados, hacen que sea uno de los materiales más utilizados.

En esta sección se analizan las propiedades del silicio comparadas con otros materiales utilizables como capa estructural, las propiedades mecánicas de las palancas como elemento transductor, las técnicas de detección estándar tanto para sensores estáticos como para sensores dinámicos y por último se estudia la influencia de las dimensiones de la palanca en la resolución del sensor.

**Ventajas del silicio para fabricar microsistemas**

Las excelentes propiedades mecánicas del silicio hacen que sea un material óptimo para ser utilizado como capa estructural de un micro o nanosistema. Además al ser el silicio el material base de la tecnología CMOS, facilita la compatibilización con los circuitos electrónicos. De estos datos se deduce que las características del silicio son óptimas para su utilización como capa estructural transductora. En la fabricación de MEMS otros materiales típicos son los vidrios, cuarzo, cerámicas, nitruro y carburo de silicio, metales y otros materiales en casos de aplicaciones específicas.



La tabla muestra las propiedades mecánicas del silicio comparadas con otros materiales que también podrían utilizarse como capas estructurales. En concreto se compara con diversos metales, utilizados como capa estructural en diversas aplicaciones.

Conviene destacar el alto módulo de Young del silicio próximo al del acero inoxidable. Es importante considerar que algunas propiedades mecánicas de los materiales, varían en función de las dimensiones del mismo, en concreto el módulo de Young de un material puede variar sustancialmente en componentes macroscópicos y microscópicos.

Además el método utilizado para la determinación puede influir ligeramente en los resultados. Existen diversos estudios sobre cómo afecta el módulo de Young a las dimensiones, además se siguen desarrollando nuevos procedimientos para obtener medidas exactas del módulo de Young en estructuras micrométricas y nanométricas.

Resumen de las propiedades mecánicas del silicio comparadas con distintos materiales conductores.

El silicio, además de en forma cristalina, se presenta en forma policristalina (polisilicio) y amorfa. El silicio amorfo no tiene ningún tipo de ordenación cristalina y contiene muchos defectos, sus mayores aplicaciones son células solares, fotosensores y pantallas de cristal

líquido. Tanto el polisilicio como el silicio amorfo pueden depositarse en capas finas, normalmente inferiores a las cinco micras.

La principal ventaja del polisilicio es que se puede depositar fácilmente sobre diversos sustratos, al ser compatible con la tecnología CMOS se ha utilizado como capa estructural

en muchas aplicaciones. El polisilicio tiene un modulo de Young inferior al del silicio, además su valor depende altamente de la técnica de crecimiento de silicio utilizada, del dopaje de la muestra, de las características de la estructura y en ocasiones del método utilizado para calcularlo [Obermeier-97, Serre-98]. Valores entre los 90 y los 160 GPa son los más frecuentes, pero en ocasiones pueden ser aún menores.

El principal inconveniente del polisilicio es la rugosidad de su superficie; debido a su estructura granular, que limita la definición de estructuras de dimensiones en el orden de los centenares de nanómetros.

En los demostradores implementados se utiliza silicio como capa estructural, en forma cristalina y en policristalina.

**Características de los sensores estáticos**

En el caso de los sensores que trabajan en modo estático o DC la magnitud mensurable provoca una deflexión continua en la palanca. Existen ejemplos muy diversos de sensores basados en este modo de operación. Si la causa de la deflexión de la palanca se debe a un cambio de temperatura, se tiene un sensor térmico. En el campo de los sensores químicos y biosensores, al colocar una capa sensible sobre la palanca y sobre esta adherirse una sustancia, se produce un cambio en la masa y/o un estrés de la superficie que provoca la deflexión estática de la micropalanca.