

Sensores Desplazamiento

- Conceptos físicos. Definiciones
- Unidades y escalas
- Principales tecnologías
- Comparación de tecnologías
- Aplicaciones
- Bibliografía

Conceptos básicos, definiciones

Que entendemos por desplazamiento ?

- Si nos desplazamos de A a B, de entrada pensamos en un sistema de coordenadas y hay una trayectoria, no necesariamente recta.
- De A a B nos movemos con una cierta velocidad
- Conceptos vinculados:
- Distancia, trayectoria, desplazamiento
- Posición, diferencia de posiciones
- Presencia: hay un objeto en la posición A, dentro de un cierto volumen
- Espacio → Velocidad → Aceleración $x \rightarrow v=dx/dt \rightarrow a=d^2x/dt^2$
- Al revés, podemos pensar en: Aceleración → Velocidad → Espacio
- $v = \int a \cdot dt + a_0 \quad y \quad e = \int v dt + e_0$



Unidades

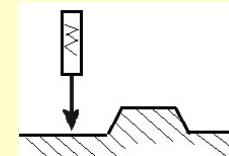
- Desplazamiento lineal
 - Se utilizan unidades de longitud, en el Simela, el metro, pero también múltiplos (km) y submúltiplos (m, cm, mm, micrón o μm , nanómetro o nm) en factores de 2 o 3
 - Unidades inglesas: yarda, pie, pulgada, milla, fathom (braza)
 - Ojo milla náutica = 1852 m vs milla terrestre = 1609 m
- Desplazamiento angular
 - Radian: circunferencia = 2π rad
 - Grados sexagesimales: circunferencia = 360°
 - Fracciones en minutos o segundos de arco
 - Una unidad informal: las “vueltas” (turns, en inglés) como expresión de circunferencia completa
- Importante

Un desplazamiento lineal se puede convertir en angular (y viceversa) mediante una rueda de fricción (polea) o articulada (engranaje)

Con contacto o sin contacto ?

Los transductores de desplazamiento pueden ser:

- Por contacto: solidario o apoyado, según como se vincule con el objeto a medir
- Sin contacto o remoto: utilizados para medir objetos remotos, peligrosos o grandes distancias. En gral son sistemas complejos por lo que no son objeto de estudio de esta signatura



Criticidad del punto de contacto

- Independientemente de la tecnología de transducción, el punto de contacto es crítico en la medición de desplazamientos, particularmente en un sistema simplemente apoyado, no solidario, como en la figura.
- Como afectaría la medición un resbalamiento del punto de contacto ?
- Supongamos estamos siguiendo una superficie, como influiría la terminación o punta del sensor en la resolución de la medición ?



FIGURE 5–2. Spring-loaded shaft.



FIGURE 5–12. Typical tips for gage heads. (Courtesy of Schaevitz Engineering.)

Contactos simplemente apoyados vs solidarios

Como se puede ver en la figura, existe una gran variedad de modos de vinculación desde los simplemente apoyados a los fuertemente solidarios, cada uno con sus ventajas y desventajas y nichos de aplicación

- a. Plano
- b. Ranurado
- c. Thru hole
- d. Roscado
- e. Lug
- f. Clevis
- g. Rodamiento
- h. Bocha (ball joint)
- i. Acople
- j. Acople a fuelle
- k. Con abrazadera

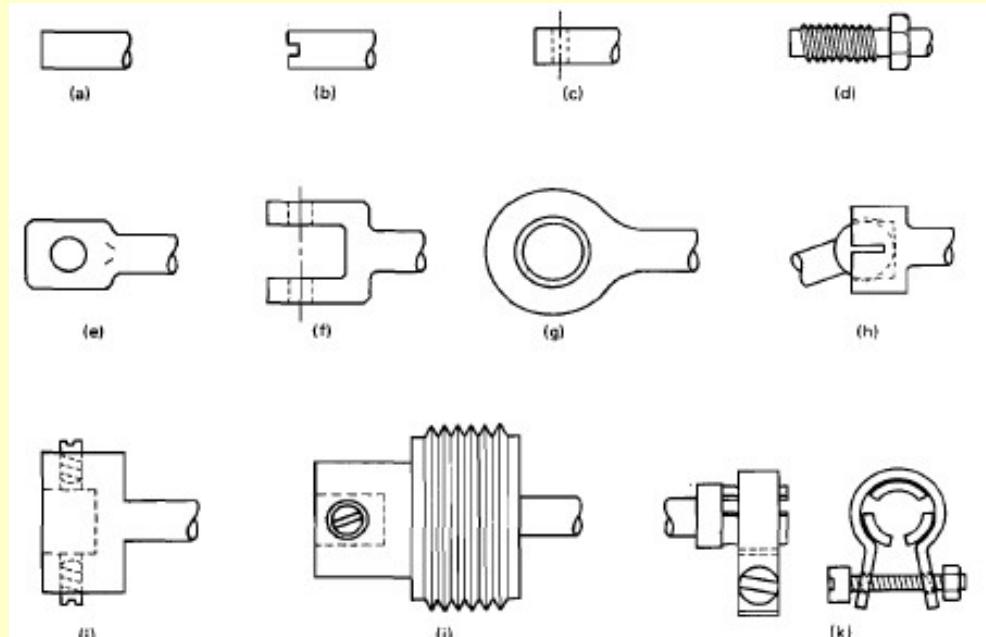


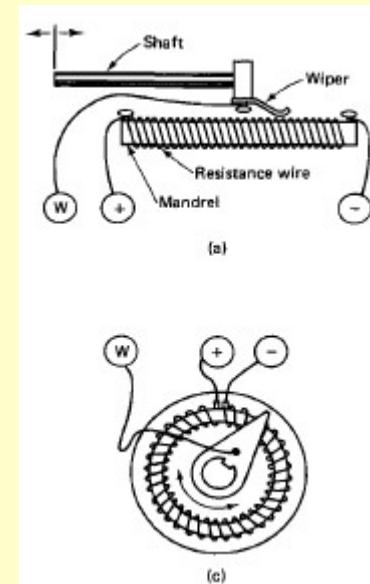
FIGURE 5–1. Displacement-transducer shaft ends and couplings:
(a) plain; (b) slotted; (c) through-hole; (d) threaded; (e) lug; (f) clevis;
(g) bearing; (h) ball joint; (i) coupler; (j) bellows-coupler; (k) collet-and-clamp.

Tecnologías de sensores de desplazamiento

- Resistivos
- Capacitivos
- Inductivos – El LVDT
- Ópticos
 - Lineales vs Angulares
 - Relativos vs Absolutos
- Proximidad o presencia
- Microdesplazamientos: el interferómetro
- Overview tecnologías sin contacto:
 - Opticos, láser
 - Sonido, SONAR
 - Electromagnético, RADAR

Sensores potenciométricos o resistivos

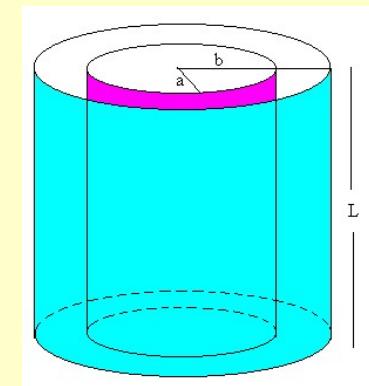
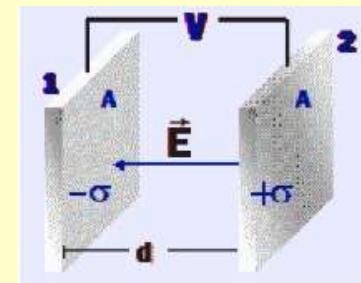
- Pueden ser lineales o angulares
- Los angulares pueden ser de una fracción de vuelta o multivuelta
- Los angulares pueden ser lineales o logarítmicos
- Ambos pueden ser de resistencia continua o de alambre, en ese caso la resolución dependerá del N de vueltas por mm y del tamaño del cursor
- Los multivuelta, acoplados a un alambre o cuerda pueden usarse para distancias de varios metros
- Facil interfaseado, con salida analógica en alto nivel
- Sufren desgaste, sobre todo los de pista continua
- No toleran vibraciones, altas T°, suciedad ni condiciones ambientales severas, contaminantes



Sensores de desplazamiento capacitivos

- Se basan en la variación de la capacidad debido al desplazamiento de un material dieléctrico o de un electrodo.
- Poseen alta resolución, y sirven tanto para materiales metálicos como para dieléctricos.
- En un capacitor plano: $C = \epsilon_0 \epsilon_r \cdot S/d$
- En uno cilíndrico:

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0 L}{\ln(b/a)}$$



Variantes de sensores capacitivos

- Se pueden desplazar:
 - El dieléctrico (a)
 - Si el objeto es metálico, se puede tomar como una de las “placas” (b)
 - Un electrodo axialmente respecto del otro (c)
 - En la fig c con doble placa donde en un par aumenta la capacidad mientras que en la otra disminuye al desplazarse transversalmente

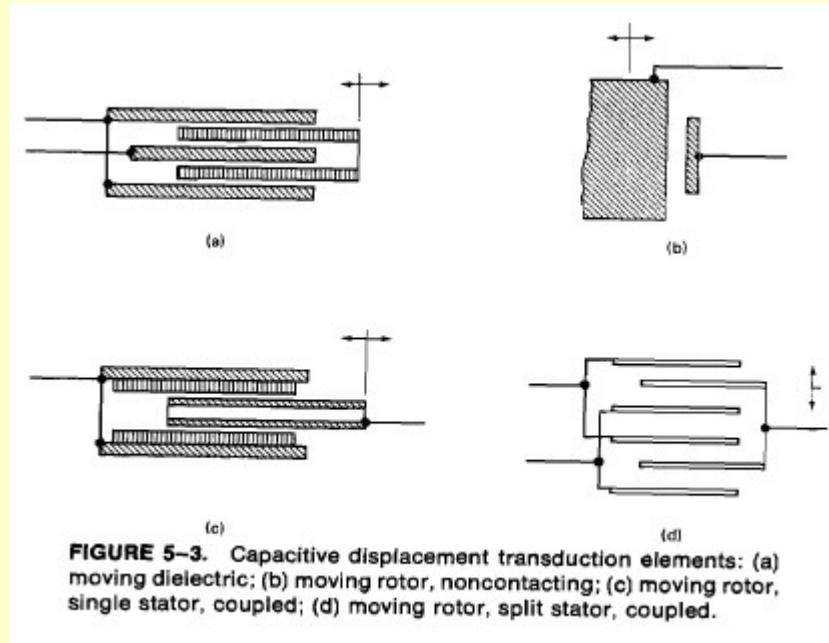


FIGURE 5-3. Capacitive displacement transduction elements: (a) moving dielectric; (b) moving rotor, noncontacting; (c) moving rotor, single stator, coupled; (d) moving rotor, split stator, coupled.

Sensores inductivos

Se basan en la variación de la autoinducción de un arrollamiento debido a un elemento móvil ferromagnético.

- **Sensores inductivos acoplados:** un núcleo magnético se desliza por el interior de una bobina, alterando la autoinducción del arrollamiento (a)
- **Sensores inductivos sin contacto:** el elemento móvil consiste en un material ferromagnético próximo al arrollamiento, de modo que altera el campo magnético y provoca un cambio en la corriente que circula por la bobina. Este es, en rigor, un *sensor de proximidad* (b)

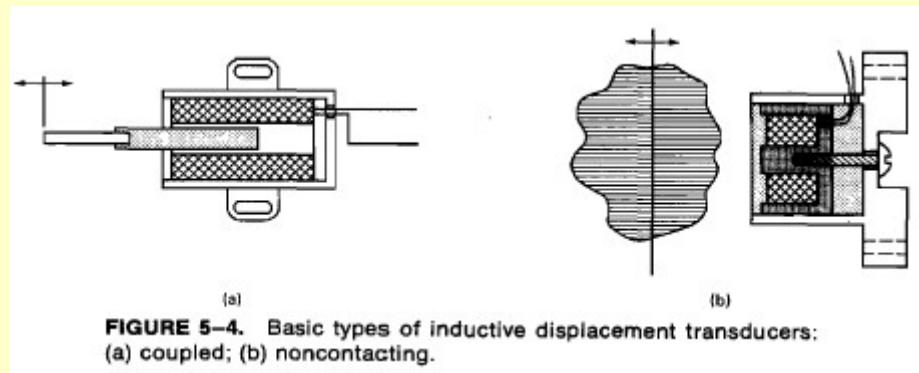


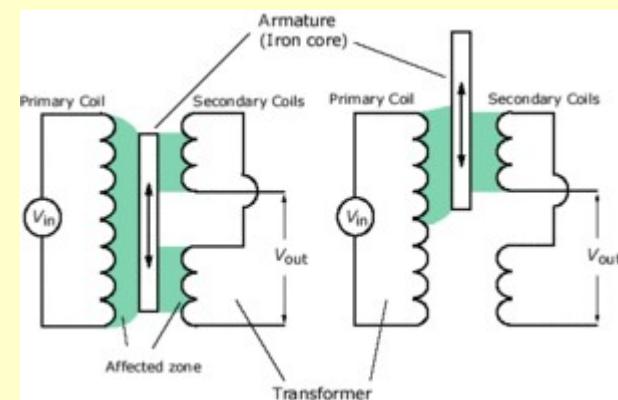
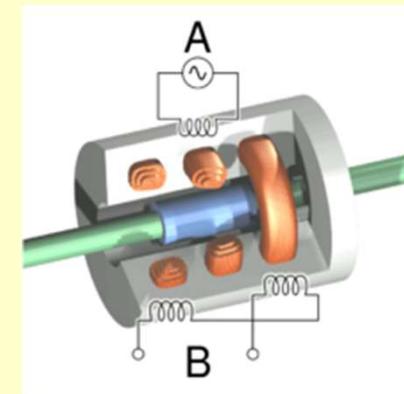
FIGURE 5-4. Basic types of inductive displacement transducers:
(a) coupled; (b) noncontacting.

Como ventajas, estos sensores no son afectados por las condiciones ambientales; proporcionan una salida continua y de alta resolución (todo/nada en el caso de los sensores de proximidad); son robustos y compactos.

La desventaja es que el objeto a medir debe ser conductor.

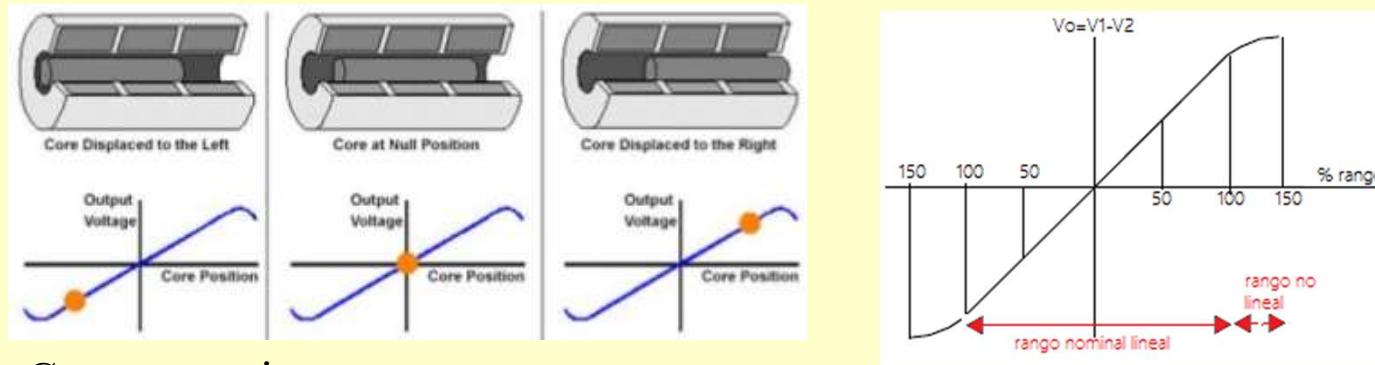
Sensores inductivos: el LVDT

Es un transductor de desplazamiento inductivo de reluctancia variable. Consta de un transformador con un arrollamiento primario y 2 secundarios, que comparten un mismo núcleo ferromagnético. Si el núcleo se halla a la mitad del arrollamiento, la salida es la misma en ambos devanados secundarios. Al moverse, disminuirá la salida en un devanado y aumentará en el otro. También puede alimentarse por uno de los secundarios y medir la salida en el primario.



Mas sobre LVDT

La tensión de salida es proporcional a la diferencia de inductancias mutuas entre el devanado primario con cada uno de los secundarios, y depende linealmente del desplazamiento del núcleo. Se usan frecuencias del orden de los cientos de Hz a fin de disminuir el tamaño relativo y para evitar interferencia de 50Hz



Como ventajas:

- Proporciona una salida continua. Poseen alta linealidad, sensibilidad, y repetibilidad y buena resolución. Un encapsulado de metal ferromagnético (grande acero inoxidable) que limita el campo magnético fuera del mismo.
- Existen sensores de varios tamaños. Son pequeños, y miden desplazamientos desde 0.3mm a 3m. Pueden operar en ambientes extremos (criogénicos, radioactivos, de altas temperaturas, altas presiones).

Desventaja: son caros, electrónica compleja. **Recommendamos catálogo Schaevitz**

Sensores de desplazamiento ópticos: encoders

- Son sensores digitales, es decir que su salida es en alto nivel y representa un número codificado de alguna manera. Ello es su mayor ventaja ya que no es necesario amplificar y son inmunes a todo tipo de interferencia
- La resolución es finita
- Históricamente se han usado mecanismos resistivos (a) y magnéticos (c), hoy en día limitados prácticamente a los ópticos (b).
- Como desventajas, la resolución es finita y limitada por el tamaño de los emisores /receptores
- Todos los sistemas son muy afectados por suciedad y contaminación ambiental

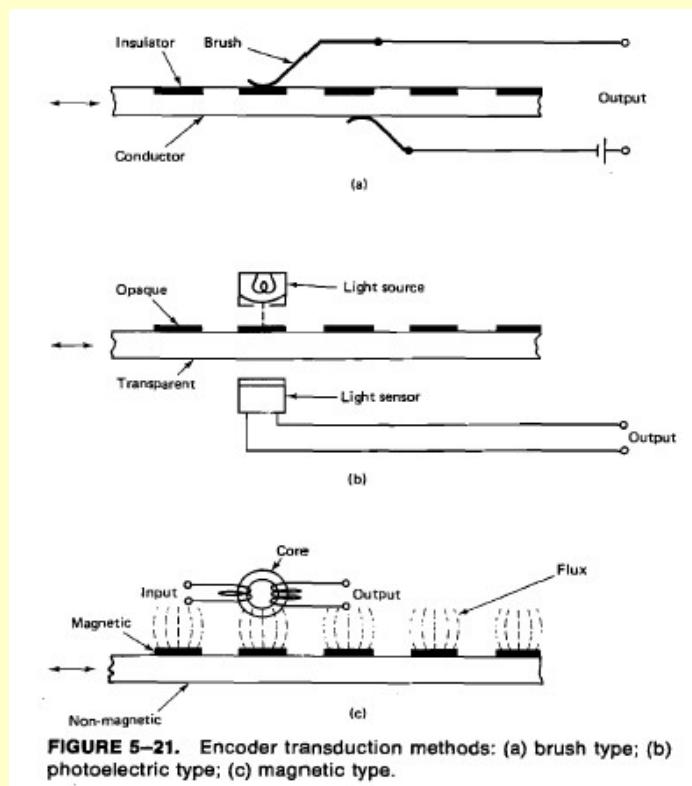
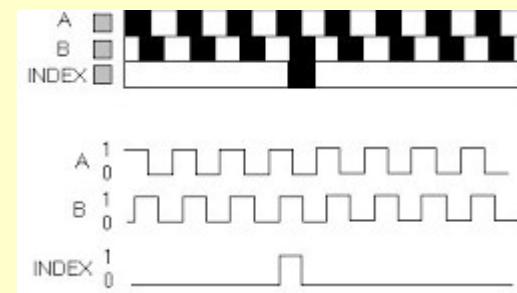
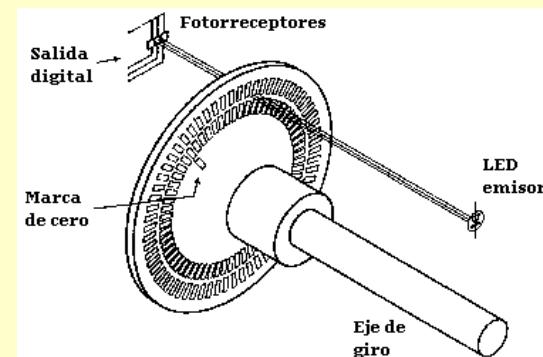


FIGURE 5-21. Encoder transduction methods: (a) brush type; (b) photoelectric type; (c) magnetic type.

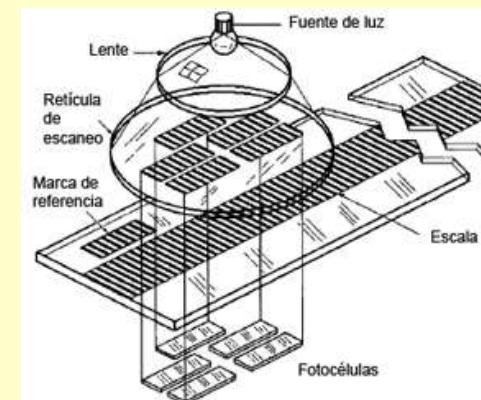
Encoder angular incremental

- Proporciona información de una posición relativa a la anterior mediante una forma de onda cuadrada donde se cuenta el incremento de pulsos desde la última posición para determinar el desplazamiento.
- El encoder tiene dos salidas, A y B, que generan pulsos cuadrados desfasados entre si 90° , a fin de para determinar si el encoder gira en un sentido o otro: cada vez que canal A pasa de 1 a 0, se lee el canal B, de forma que cuando gira en sentido horario el canal B es siempre 1 y en sentido antihorario es 0. Un microcontrolador puede determinar desplazamiento relativo y sentido de giro.
- La muesca de cero, proporciona la posición absoluta de cero del eje del encoder.
- Existen potenciómetros “digitales”, que contienen un encoder incremental acoplado a un potenciómetro multivuelta.



Encoder lineal incremantal

- Poseen una escala graduada lineal (regleta) para determinar la posición. Se usan en máquinas-herramienta y calibres digitales
- Como la resolución está limitada por el tamaño del emisor/receptor de luz, se usa un recurso para lograr “interpolar”. Se emite luz en un haz grande y homogéneo, cuando este se desplaza, al atavesar cada línea oscura hay un minúsculo cambio de nivel en la salida, esta es filtrada del valor “continuo” y amplificado como onda cuadrada así podemos contar los pulsos. De esa manera se pueden lograr **resoluciones de micrones**.
- Una segunda escala codificada puede ayudar a indicar dirección y posiciones absolutas o de referencia de comienzo/fin
- Recomendamos ver catálogo **Heidenhain**



Encoder angular absoluto

Proporciona información sobre una posición absoluta en secuencia. El encoder posee muescas con un código único para cada posición (código binario). Para ello necesita de tantos pares emisor/receptor como pistas las que a su vez dependen de la resolución

Pej para 8 pistas la resolución será:

$$2^8 = 256 \text{ y } 360 / 256 = 1.4^\circ$$

La resolución estará limitada por el ancho de cada juego emisor/receptor. Pej para un led de diámetro $\Phi = 2.5 \text{ mm}$, el perímetro exterior, correspondientes al LSB, será:

$$2.\pi \times \text{radio encoder} = 256 \times 2.5 \text{ de donde}$$

$$\text{Radio mínimo del encoder} = 10.1 \text{ cm}$$

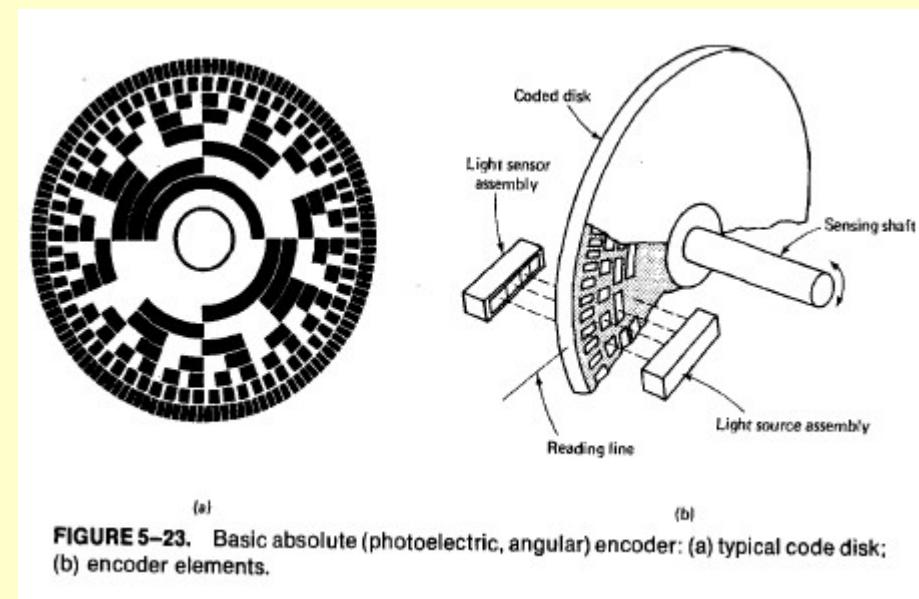
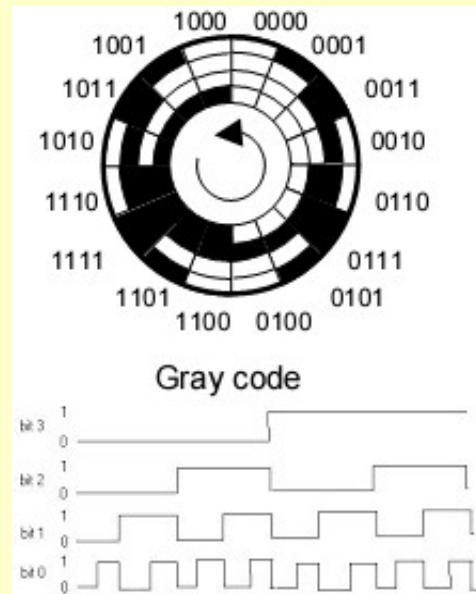


FIGURE 5–23. Basic absolute (photoelectric, angular) encoder: (a) typical code disk; (b) encoder elements.

La ventaja del encoder absoluto frente al incremental es que no se pierde la posición real cuando se quita la alimentación eléctrica al microcontrolador. Además, el encoder absoluto puede funcionar como incremental.

Sistemas de codificación en encoders absolutos

- La salida digital puede ser en binario natural, BCD o código Gray
- La ventaja del código Gray es que en cada paso cambia solo un bit, minimizando así el potencial error por paralaje



Arabic number	(Natural) Binary		Gray (Binary)		Binary Coded Decimal (BCD)			
	Digital number	Code pattern	Digital number	Code pattern	Digital number		Code pattern	
					Tens	Units	Tens	Units
0	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000
1	0001	0001	0001	0001	0001	0001	0001	0001
2	0010	0011	0011	0011	0010	0010	0010	0010
3	0011	0010	0010	0010	0011	0011	0011	0011
4	0100	0110	0110	0110	0100	0100	0100	0100
5	0101	0111	0111	0111	0101	0101	0101	0101
6	0110	0101	0101	0101	0110	0110	0110	0110
7	0111	0100	0100	0100	0111	0111	0111	0111
8	1000	1100	1100	1100	1000	1000	1000	1000
9	1001	1101	1101	1101	1001	1001	1001	1001
10	1010	1111	1111	1111	0001	0001	0001	0001

FIGURE 5–24. Digital code structures for absolute encoders.

- Recomendamos ver catálogo **BEI motion**

Sensores de proximidad o presencia

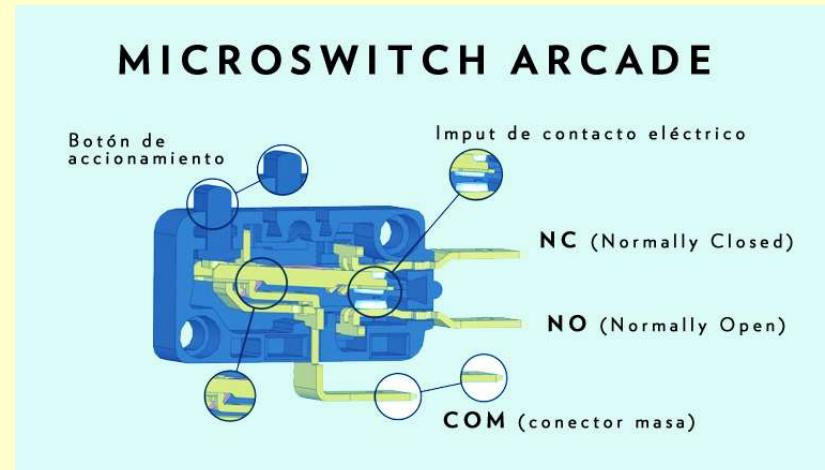
- Podrían describirse como sensores de “posición aproximada” puesto que en realidad detectan la presencia de un objeto dentro de ciertos límites de tamaño y material, dentro de una región del espacio acotada en dimensiones y tolerancia
- Podrían también decirse que detectan cuan “próximo” está el objeto a detectar del sensor, de ahí su nombre popular
- Son típicamente todo/nada
- También es importante la velocidad de actuación ya que no es lo mismo medir un objeto estático (ej en que posición está el seguro de un arma ?) que en movimiento (ej objetos que pasan en una línea de empaque) y si el movimiento es axial (hacia/desde el sensor) o transversal

Sensores de proximidad o presencia

- Switches – Fin/inicio carrera – Con/Sin contacto
- Opticos o “fotoeléctricos”
 - Por reflexión
 - Por transmisión o interruptor de haz
- Ultrasonido
 - Por reflexión
 - Por transmisión o interruptor de haz
- Inductivos
- Electromagnéticos
- Recomendamos ver catálogos de sensores de proximidad (y otros) de **Telemecanique/Schneider y Honeywell**

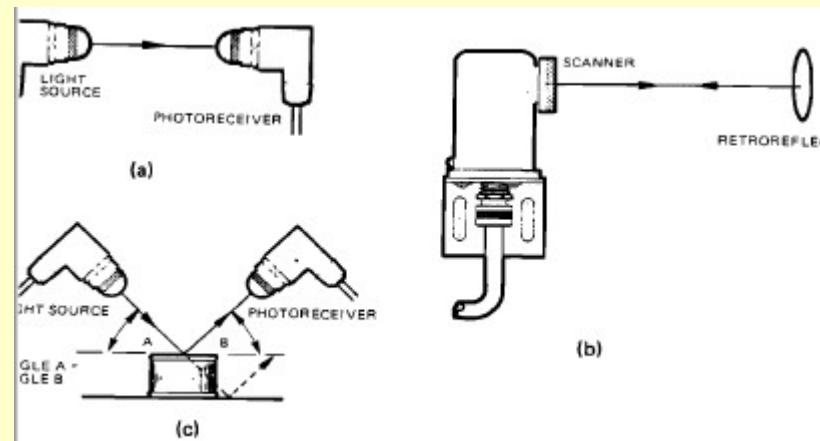
Switches: fin/inicio carrera, con/sin contacto

- Un switch electromecánico del tipo SPDT (Single-Pole-Double-Throw) es lo mas usado. Al llegar el objeto a la posición fija se actúa el botón que pasa el contacto de NC a NO.
- El botón puede actuarse con una rueda, un resorte tipo ballesta, palancas o émbolos de variado diseño y aún por un imán en variantes sin contacto
- Se suele usar para detectar una posición fija que puede ser el inicio o final de un proceso. De ahí el nombre de “fin/inicio carerra” pej la posición de reposo de un sistema hidráulico como una grúa
- Hay switches herméticamente sellados para ambientes hostiles y aún sumergibles (wáter proof).



Opticos o fotoeléctricos

- Con la denominación de “fotoeléctricos” se describen sistemas con una fuente de luz y un receptor que no necesariamente utiliza ese efecto ya que lámparas incandescentes y sensores fotoeléctricos han sido reemplazados por emisores LED's y sensores de semiconductores
- Se usa luz IR para minimizar interferencia con fuentes de luz visible y frecuentemente pulsada por la misma razón.
- El emisor /receptor pueden estar en lados opuestos, configurando una barrera o de un mismo lado utilizando un reflector y así de paso minimizamos el cableado



Ultrasonido

- Al igual que los ópticos, se pueden configurar como barreras con un juego de emisor – receptor en lados opuestos o de un mismo lado utilizando un reflector.
- Alternativamente se puede utilizar la reflexión en el objeto a medir para evaluar la distancia o proximidad.
- En esta modalidad, basta con que el objeto sea sólido, no necesitando ser metálico o conductor y que presente una superficie apta (no demasiado irregular) para la reflexión del sonido. Se ha usado para detección de obstáculos en pej robots autónomos o bastones para ciegos

Inductivos: Eddy current proximity switch

- Se basa en las denominadas corrientes parásitas o de Foucault creadas en cualquier conductor por un campo magnético variable. Al aproximarse el objeto se generan en el corrientes cuyo campo interactúa con el de la bobina sensora cambiando su impedancia, lo que se puede comparar con una bobina de referencia blindada y convertirse en un sensor de desplazamiento o en una salida todo/nada en un switch de proximidad.

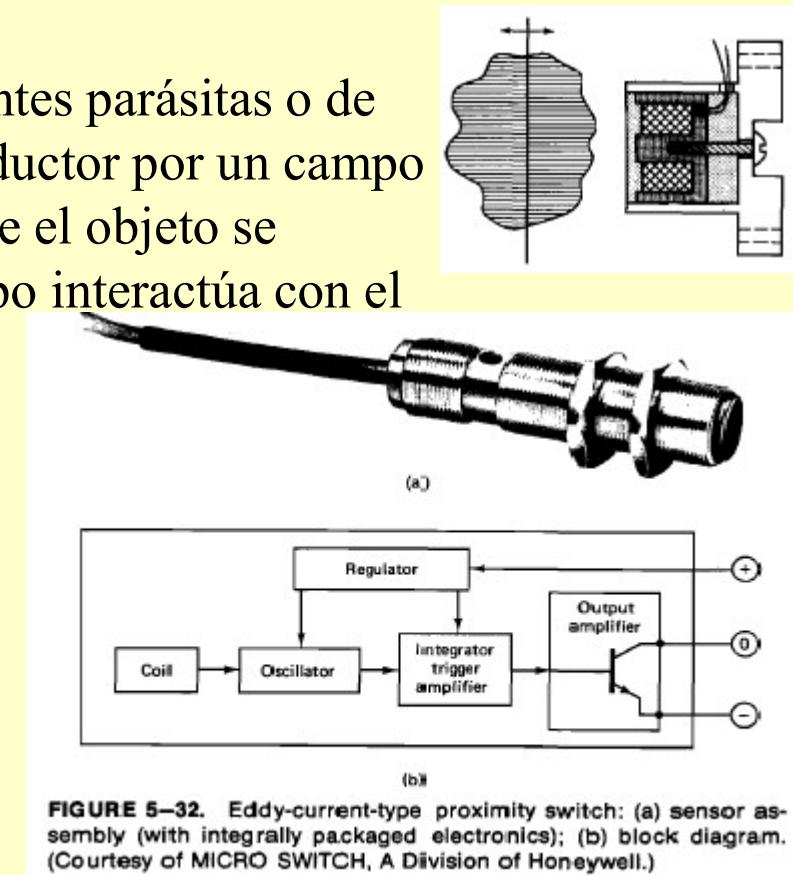


FIGURE 5–32. Eddy-current-type proximity switch: (a) sensor assembly (with integrally packaged electronics); (b) block diagram. (Courtesy of MICRO SWITCH, A Division of Honeywell.)

- Como ventaja, pueden detectar cualquier objeto a condición que sea conductor, no necesariamente ferromagnético, no así aislantes.

Magnéticos – Efecto Hall

- Basados en el efecto Hall, polarización de un material, en este caso un semiconductor, cuando los portadores de carga son desplazados por efecto de un campo magnético
- El sensor contiene toda la electrónica de acondicionamiento de señal que convierten la proximidad de un imán en una salida de tensión todo/nada
- El imán o magneto deberá ser solidario al objeto a detectar.
- El diseño prevé movimientos del objeto a detectar “head on” (axial respecto del eje del sensor), “slide by” (transversal al eje del sensor) o “rotary” (movimiento de una rueda dentada), pero no son sensibles a la tasa o velocidad de cambio del flujo magnético

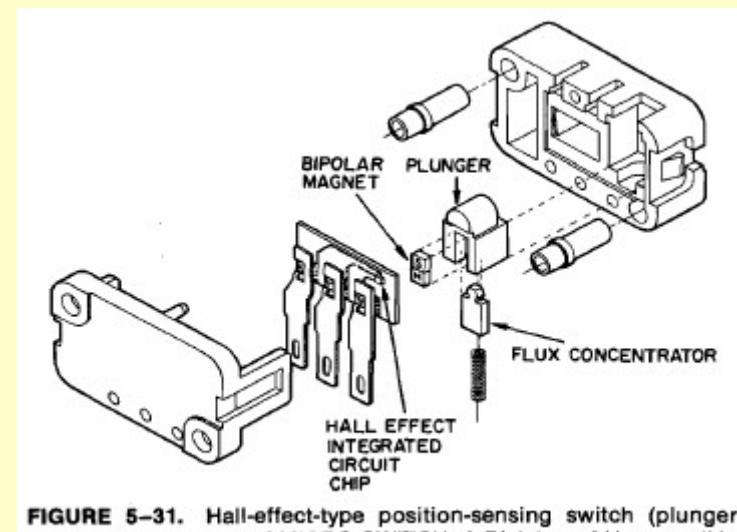
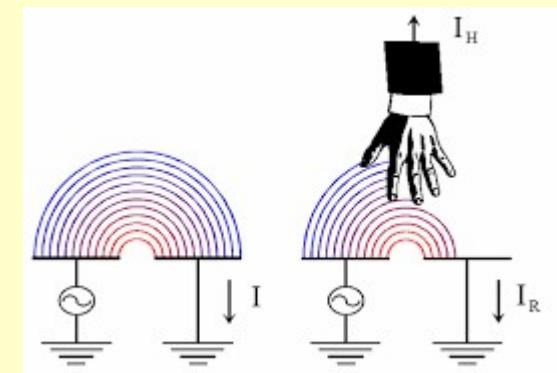


FIGURE 5-31. Hall-effect-type position-sensing switch (plunger operated). (Courtesy of MICRO SWITCH, A Division of Honeywell.)

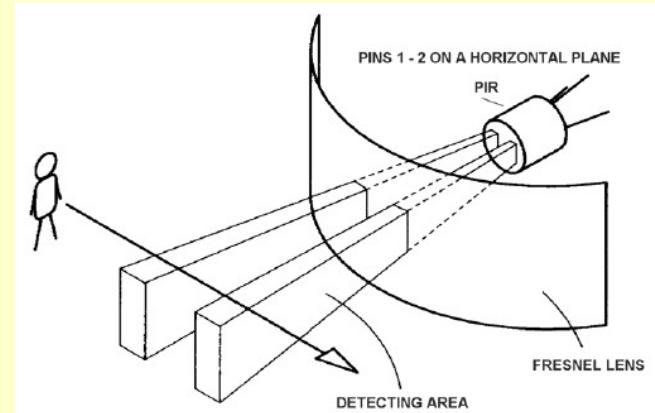
Campo eléctrico: sensores E-field

- Nearly every object encountered in daily life contains charged atoms that can move in an electric field (e-field). The charge can be sensed and three-dimensionally imaged showing how one object relates to another object or to its environment. E-field sensing builds on the strengths of many alternative technologies, such as optical and acoustic sensing, while avoiding several of their weaknesses, such as not being able to detect objects that are not in the line of sight.
- Information gleaned from e-field sensing and imaging can be used to trigger functions such as turning switches on or off, disabling features, or setting off alarms to indicate dangerous situations
- As human bodies contain a lot of water and thus high ϵ , E-field sensors can be used to detect human presence (and size) in a car seat and thus enable (or not) the corresponding air bag.
- **Visit MC33794 data sheet**

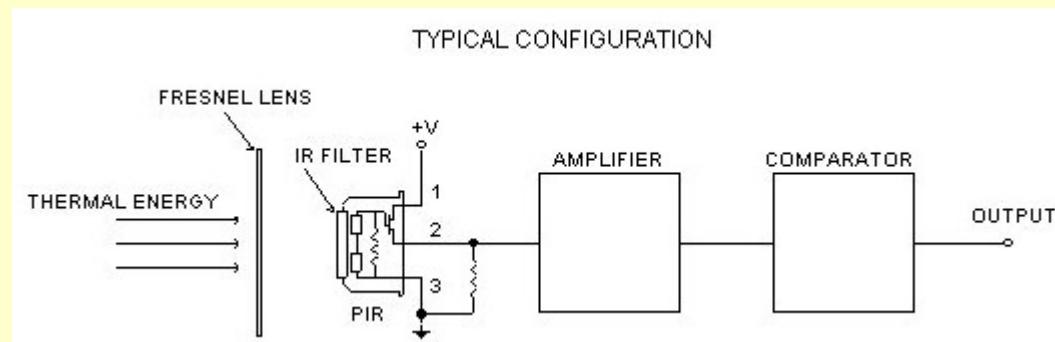


PIR: Passive Infrared Detector

- Infrared radiation (IR) exists in the electromagnetic spectrum at a wavelength that is longer than visible light. It cannot be seen but it can be detected. Objects that generate heat also generate IR including animals and the human body whose radiation is strongest at a wavelength of 9.4um. IR in this range will not pass through many types of material that pass visible light such as ordinary window glass and plastic. However it will pass through, with some attenuation, material that is opaque to visible light such as germanium and silicon.
- An unprocessed silicon wafer makes a good IR window in a weatherproof enclosure for outdoor use. It also provides additional filtering for light in the visible range. 9.4um infrared will also pass through polyethylene which is usually used to make Fresnel lenses to focus the infrared onto sensor elements



- The pyroelectric sensor is made of a crystalline material that generates a surface electric charge when exposed to heat in the form of infrared radiation. When the amount of radiation striking the crystal changes, the amount of charge also changes and can then be measured with a sensitive FET device built into the sensor. The sensor elements are sensitive to radiation over a wide range so a filter window is added to the TO5 package to limit detectable radiation to the 8 to 14mm range which is most sensitive to human body radiation.



- Visit [PIR325 data sheet](#)**

Sensor PIR activado por un movimiento

Misceláneo – Alta complejidad

- Se trata de sistemas complejos por lo que no son objeto de estudio de esta asignatura, solo se mencionan o describen superficialmente
- Microdesplazamientos: el interferómetro
- Overview tecnologías sin contacto:
 - Ópticos, láser, LIDAR
 - Sonido, SONAR
 - Electromagnético, RADAR

Bibliografía

- Handbook of transducers, Norton, Cap 5
- Catálogo BEI, <http://www.beisensors.com/>
- Catálogo Heidenhain, <https://www.heidenhain.com/>
- Catálogo Lucas Schaevitz <http://alliancesensors.com/about-our-company-hg-schaevitz-llc-alliance-sensors-group>
- El LVDT en wiki
https://es.wikipedia.org/wiki/Transformador_diferencial_de_variaci%C3%B3n_lineal
- Catálogo Omega <https://es.omega.com/prodinfo/sensor-LVDT.html>
- E-Field sensor MC33794 data sheet
- PIR sensor PIR325 data sheet