



TRANSDUCTORES Y SENSORES 2021

Ing. Biomédica
Ing. Electrónica

Unidad IX : VELOCIDAD



FCEFN - UNC - Ing. Gabriel Gómez (ggomez@unc.edu.ar)



Temario

Conceptos físicos. Definiciones

Unidades y escalas

Principales tecnologías

Criterios de selección

Aplicaciones

Principales fabricantes

Bibliografía





CONCEPTOS Y DEFINICIONES



Conceptos básicos, definiciones



¿Que entendemos por velocidad ?

Lo clásico, espacio recorrido por unidad de tiempo. En términos diferenciales $v=dx/dt$

Si nos desplazamos de A a B, habrá una trayectoria cuya pendiente visualiza V.

Conceptos vinculados:

Distancia, trayectoria, desplazamiento

Espacio \rightarrow Velocidad \rightarrow Aceleración: $x \rightarrow v=dx/dt \rightarrow a=d^2x/dt^2$

Y al revés, las ecuaciones son “reversibles” a menos de una constante:

Aceleración \rightarrow Velocidad \rightarrow Espacio: $v=\int a.dt + v_0$ y $e=\int v.dt+e_0$

La velocidad es un vector, ergo, si en la trayectoria hay una curva (un cambio de dirección), aún si no cambia el módulo, habrá un cambio de velocidad y por lo tanto una aceleración



UNIDADES Y ESCALAS



Unidades

Velocidad lineal

- En el Simela se usa el metro por segundo, pero también múltiplos como el km/hora
- A altas velocidades se suele usar múltiplos de Mach, velocidad del sonido en aire seco a 15°C y P=1At: 340 m/s o 1225 Km/h
- Unidades inglesas: milla/hora (mph) y nudos (1 knot = 1mph)
- El nudo (knot), por ser unidad de navegación, usa la milla náutica

Velocidad angular

- Radian/seg o grado sexagesimal/seg
- Una unidad informal: el número de “vueltas” o “revoluciones” (turns) como expresión de circunferencia completa por unidad de tiempo
- Una unidad muy popular es rpm (revoluciones por minuto)





PRINCIPALES TECNOLOGÍAS

■ Sensado de velocidad

Al ser magnitudes vinculadas, muchos de los sensores de desplazamiento y de aceleración pueden ser usados para medir velocidad

También podemos clasificarlos como métodos con o sin contacto (remote sensing)

En el primer caso, el sensor es parte del objeto cuya velocidad se desea medir o está montado sobre él

■ Al igual que en desplazamiento, la velocidad lineal con contacto solo se puede hacer para movimientos muy acotados, pero se puede convertir a velocidad angular con una rueda de fricción (ej rueda de automóvil o polea de cinta transportadora) o dentada



Tecnologías de sensado de velocidad

Con contacto

- ▣ Electro-ópticos - Encoders
- ▣ Electromagnético lineal
- ▣ Electromagnético angular – Tacómetros

Sin contacto – Remote sensing

- ▣ Electro-ópticos
 - Reflectivo
 - Estroboscopio
- ▣ Ultrasonido, Doppler, Sonar
- ▣ Radar





Electro-ópticos - Encoders

Mediante los mismos encoders utilizados para detectar el desplazamiento se puede medir tanto la velocidad angular como la velocidad lineal de un objeto en movimiento. Considerando el número de pulsos leído y la cantidad de ranuras del disco o cinta, se puede determinar una posición específica o una velocidad.

- Un encoder lineal estará limitado por su longitud por lo que deberá tratarse de medir velocidad en un objeto con desplazamiento acotado, pej una máquina herramienta
- Un desplazamiento lineal se puede convertir en angular a través de una rueda de presión o dentada
- Las ventajas son las mismas de los encoders para desplazamiento: salida en alto nivel y libre de interferencias como tren de pulsos. No se justifica el uso de encoders absolutos para medir velocidad
- Como todo sensor óptico, deberá ser sellado para evitar suciedad y/o contaminación ambiental



Sensor de velocidad electromagnético lineal

Consisten de una bobina dentro de la cual se puede desplazar un núcleo de imán permanente.

Según la ley de Faraday, si hay un cambio en el flujo magnético, se inducirá una fem que trate de oponerse al cambio:

$$\varepsilon = -N \cdot d\Phi/dt = -N d(Bs)/dt$$

- ε es proporcional a la derivada del movimiento, o sea que una velocidad constante, dará una tensión continua, un movimiento alternado, una alterna
- Por lo tanto, una limitación a considerar de este tipo de sensores es que habrá una velocidad mínima por debajo de la cual ya no miden nada mientras que los movimientos bruscos pueden producir transitorios importantes, normalmente limitados electrónicamente.



Sensor de velocidad electromagnético lineal

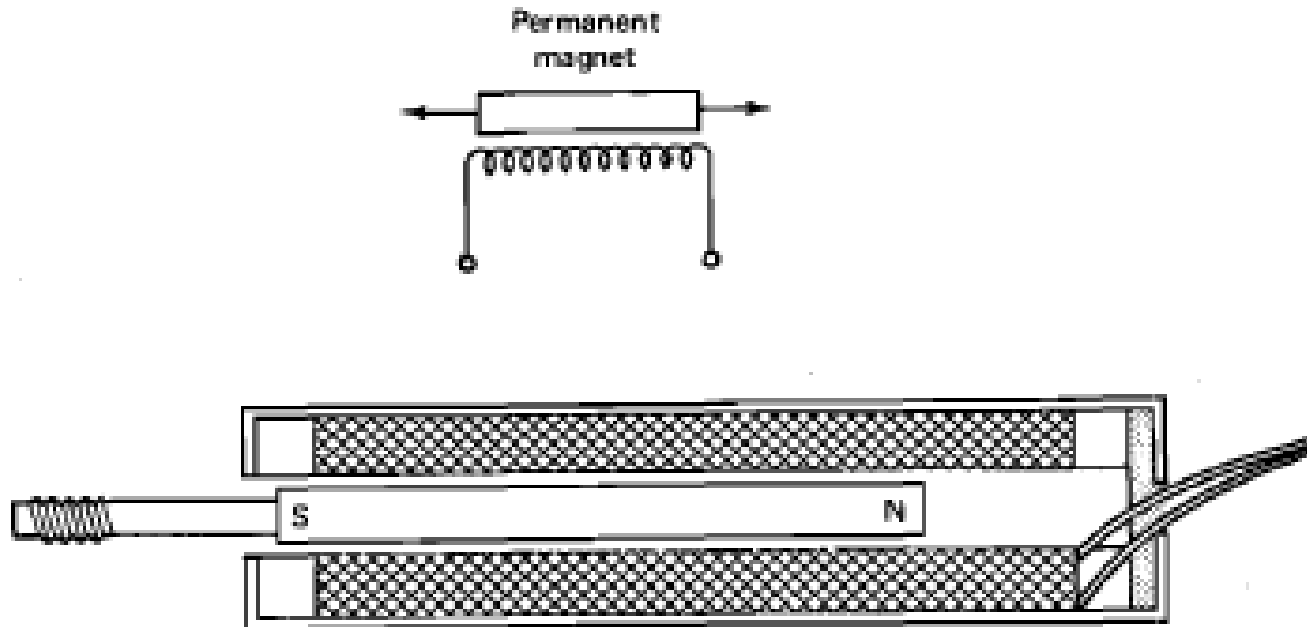


FIGURE 6-1. Single-coil, shaft-coupled electromagnetic linear-velocity transducer.

Sensor electromagnético de bobina doble

Una variante del sensor lineal anterior con dos bobinas

Los arrollamientos están conectados en contrafase de manera que las contribuciones de cada bobina se suman

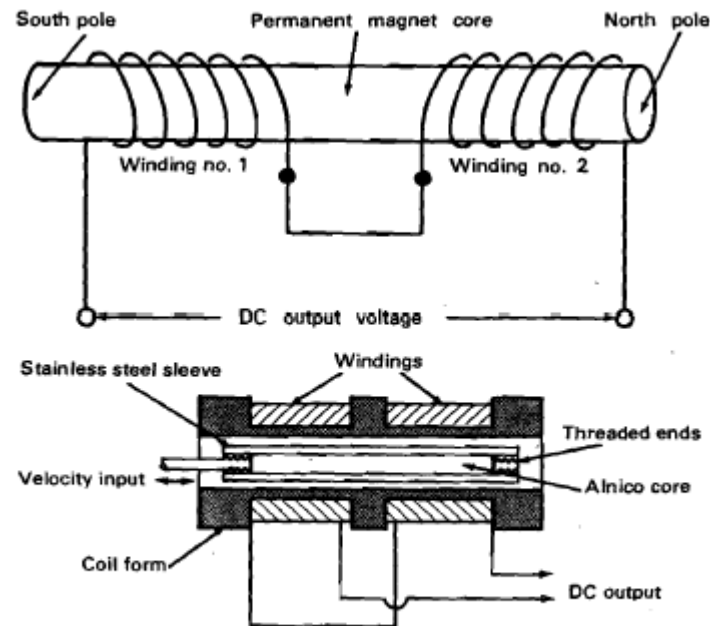


FIGURE 6-2. Dual-coil electromagnetic linear-velocity transducer.
(Courtesy of Schaevitz Engineering.)

Otra variante de sensor lineal electromagnético

El núcleo se encuentra suspendido mediante resortes en una posición central a la bobina permitiendo el movimiento longitudinal en ambos sentidos.

Todo el sensor se fija al objeto cuyo movimiento oscilatorio (pej vibraciones) se quiere registrar

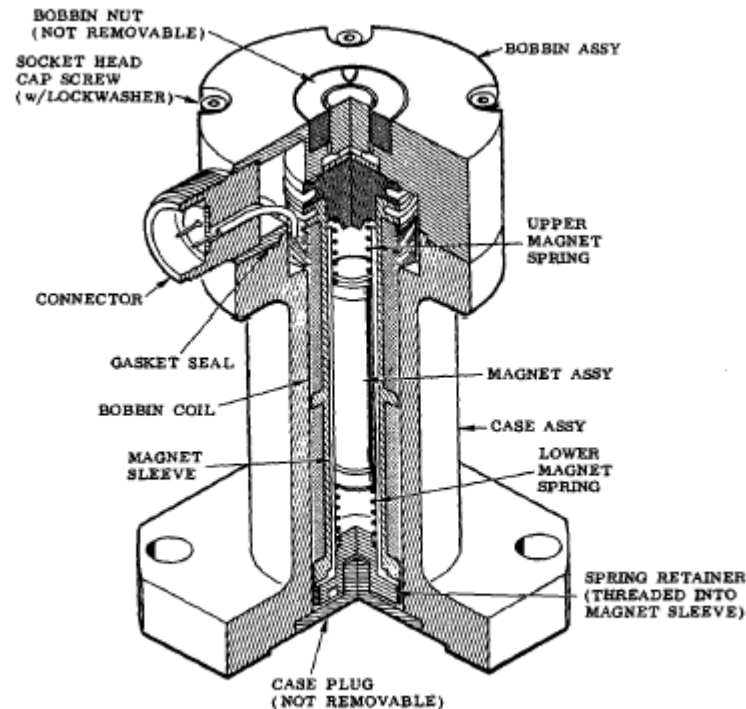
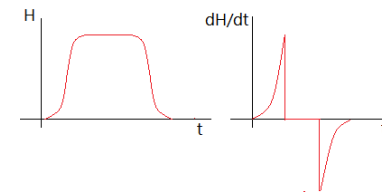
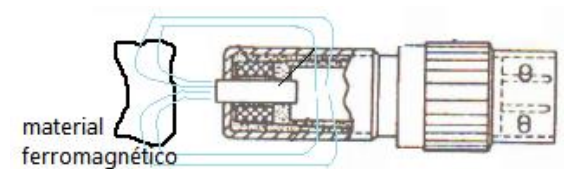
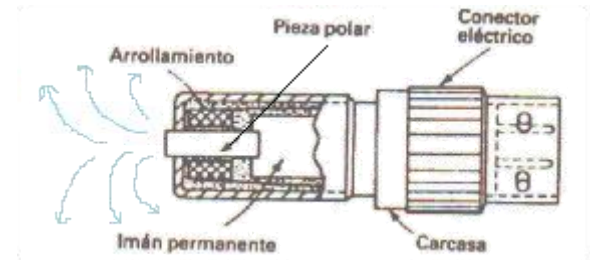


FIGURE 6-3. Electromagnetic linear-velocity transducer. (Courtesy of CEC Division/Transamerica Delaval.)

Electromagnético angular - Tacómetros

Los tacómetros utilizan un rotor ferromagnético con configuración de engranaje o con salientes dentados y espaciados, en conjunción con un devanado de transducción electromagnética (sensor de proximidad).

- El devanado cubre una pieza polar y está acoplado al polo del imán permanente. La distribución del flujo magnético del imán, enfrente del sensor cambia cuando atraviesa enfrente un objeto ferromagnético, induciendo una fem en la bobina.
- Según la ley de Faraday, la forma de onda de salida es una derivada de la variación del flujo magnético. Por un lado, la amplitud será mayor a mayor velocidad y también el número de pulsos al girar el rotor dentado



¿Un diente o varios en la rueda dentada ?

- Cuando el objeto rotante cuya velocidad angular se desea medir está equipado con un único diente, se crea un pulso de salida por cada revolución.

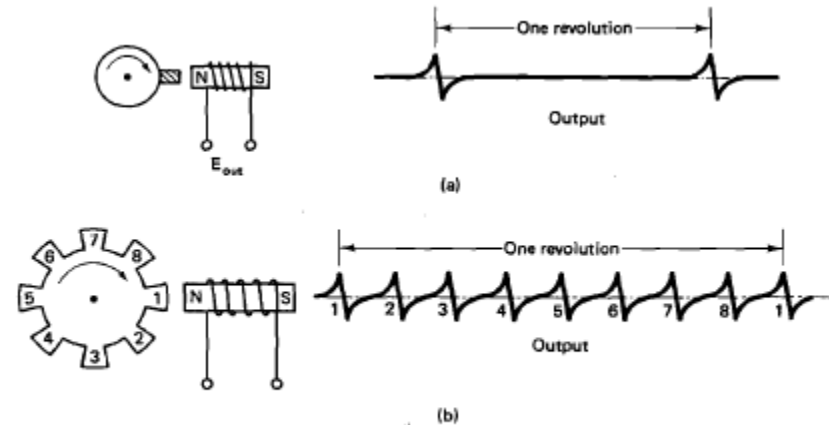


FIGURE 6-5. Operating principle of electromagnetic frequency-output tachometer: (a) single tooth; (b) continuous teeth.

- Con incrementos de la velocidad angular, el número de pulsos por unidad de tiempo crece proporcionalmente, y también se modifica la amplitud de los pulsos. Aumentando el número de dientes en el rotor, se producen más pulsos por unidad de tiempo (más pulsos por revolución).

Influencia de la separación entre pieza polar del sensor y diente del rotor

La instalación debiera asegurar que no haya barrera magnética entre la pieza polar y el rotor y mejor que no haya ninguna forma de barrera física ni material. El sensor en sí es suficientemente hermético y blindado contra condiciones ambientales severas.

- Se deberá asegurar la menor separación posible entre la pieza polar y los dientes del rotor compatible con un bajo riesgo de contacto físico, incluida las expansiones térmicas y las irregularidades de superficies enfrentadas.
- La amplitud del pulso de salida varía drásticamente con la separación (gap) entre pieza polar y diente del rotor

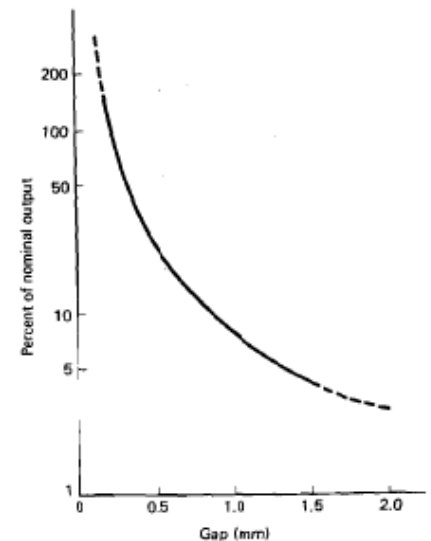


FIGURE 8-7. Variation of output amplitude with gap between pole piece and rotor teeth.

Influencia de la forma de los dientes del rotor

La forma de onda también varía según la forma de los dientes. Los dientes gruesos generan una señal con picos, mientras que la forma de onda redondeada se corresponde con dientes finos

- a. Dientes gruesos
- b. Dientes finos
- c. Cruz de Malta
- d. Special cam

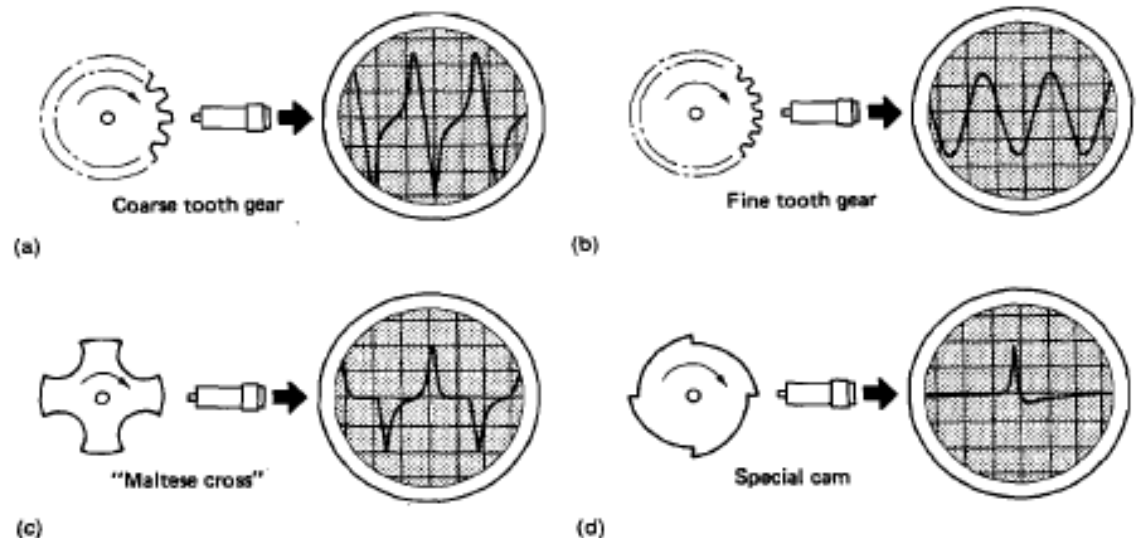
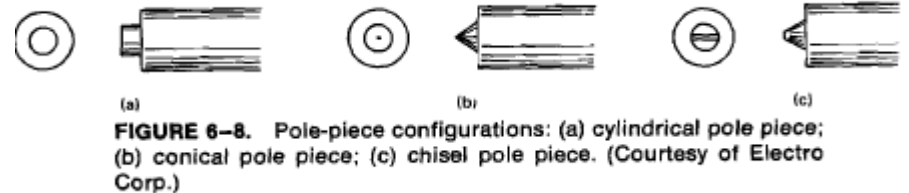


FIGURE 6-6. Waveshapes produced by various rotor configurations: (a) coarse-tooth gear; (b) fine-tooth gear; (c) "Maltese cross"; (d) special cam. (Courtesy of Electro Corp.)



Influencia de la terminación de la pieza polar

Dependerá del diseño del rotor y también de lo delicado que sea el ajuste del gap



- a. **Cilíndrica:** es la clásica o standard
- b. **Cónica:** la salida es menor, pero presenta menos requerimientos de ajuste y orientación
- c. **Chisel (cincel):** provee salida más alta y mejor resolución en conjunto con dientes finos en el rotor, pero requiere cuidado en la orientación del cincel





Sistemas sin contacto – Remote sensing

Sin contacto – Remote sensing

- ▣ Electro-ópticos
 - Reflectivo
 - Estroboscopio
- ▣ Ultrasonido, Doppler, Sonar
- ▣ Radar





Electro-ópticos: reflectivos

El cabezal sensor, que puede ser manual o un montaje, emite un haz de luz colimado hacia una porción reflectiva del objeto rotante a medir y un sensor detecta la luz reflejada.

Algunas objetos rotantes pueden tener partes reflectivas simétricamente espaciadas (pej los rayos de una rueda) sino se puede adosar una o mas cintas reflectivas

La salida serán pulsos cada vez que haya una reflexión y podrá ser integrada a analógica o convertida a un número

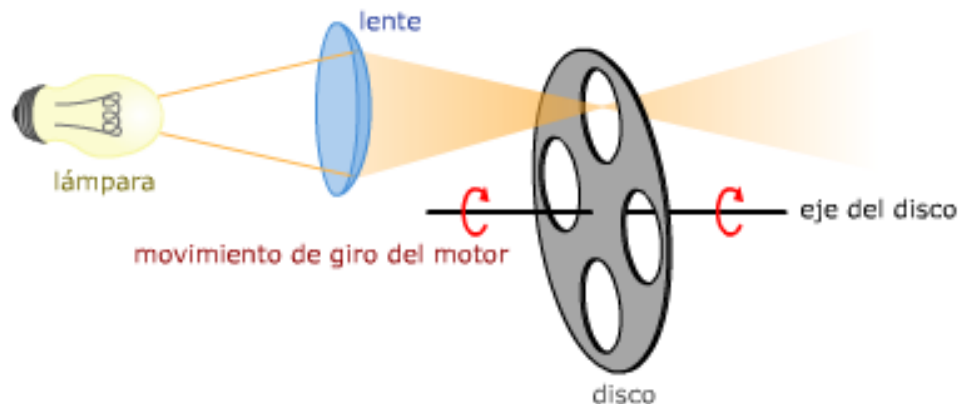
Se pueden usar fibras ópticas para emitir/sensar luz, una ventaja cuando el punto a medir no es fácilmente accesible



Electro-ópticos: el estroboscopio

Un estroboscopio utiliza una lámpara de descarga gaseosa de xenón, similar a las de los flashes de fotografía, para emitir una serie de destellos de frecuencia ajustable. Cuando esta esté muy próxima a la del objeto rotante, lo veremos moverse lentamente, adelante o atrás según que la frecuencia de destello del estroboscopio sea, respectivamente, inferior o superior a la de giro.

El ajuste puede ser manual, con la intervención de un operador, o automatizada, como puede verse en el equipo de la figura



■ Ultrasonido, Doppler

Si se emite un haz de ultrasonido colimado y, con el mismo transductor, se detecta la porción reflejada por el objeto a sensor, podemos, procesando debidamente la señal, medir tanto distancia como velocidad

El efecto Doppler, un corrimiento aparente de la frecuencia observada en la señal reflejada respecto de la emitida, explica por qué el sonido de un auto aproximándose se oye más agudo que de un auto alejándose

Para ello la velocidad del objeto debe ser del orden de magnitud de la del sonido, 1225 kph en aire seco a 15°C.

■ Un caso particularmente interesante es cuando tenemos certeza de la frecuencia de emisión propia del objeto, Pej en estrellas si se observa una raya conocida del espectro corrida hacia el rojo, está alejándose. Así aprendimos que el universo está expandiéndose desde el “big bang”.

■ En una nave espacial la distancia no permite “iluminarla” y esperar reflexión, pero si observar si hay corrimiento en la frecuencia de la portadora de señal con la que se comunica con tierra

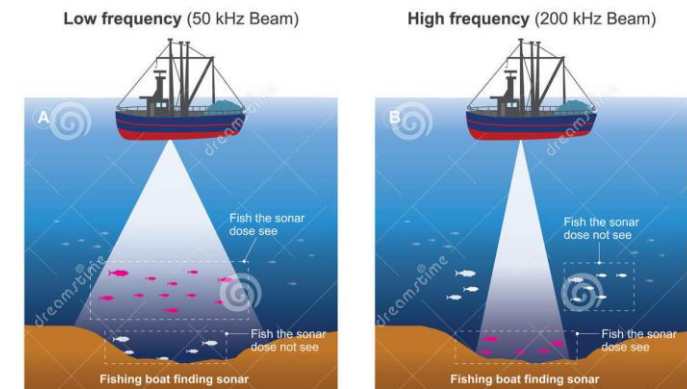
Sonar

El sonar puede usarse como medio de localización acústica, funcionando de forma similar al radar, con la diferencia de que en lugar de emitir ondas electromagnéticas emplea impulsos sonoros. La señal acústica puede ser generada por piezoelectricidad o por magnetostricción.

- El **sonar**(del inglés *SONAR*, acrónimo de *Sound Navigation And Ranging*, 'navegación por sonido') es una técnica que usa la propagación del sonido bajo el agua (principalmente) para navegar, comunicarse o detectar objetos sumergidos.

Fish Hunter Sonar Technology

(Using frequency, wide and narrow beam coverage)



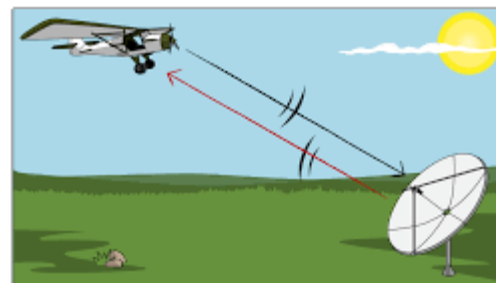
A. A wide beam transducer (50 kHz) covers a larger area but provides less bottom detail.
B. A narrow beam (200 kHz) covers less area but offers better bottom definition.

Radar

El **radar** (*radio detection and ranging*) es un sistema que usa ondas electromagnéticas del orden de GHz para medir distancias, altitudes, direcciones y velocidades de objetos estáticos o móviles como aeronaves, barcos, vehículos motorizados, formaciones meteorológicas y el propio terreno. Su funcionamiento se basa en emitir un impulso de radio, que se refleja en el objetivo y se recibe típicamente en la misma posición del emisor. A partir de este "eco" se puede extraer gran cantidad de información. El uso de ondas electromagnéticas con diversas longitudes de onda permite detectar objetos más allá del rango de otro tipo de emisiones (luz visible, sonido, etc.)



Imágenes de radar



RADAR

Radar es un acrónimo de Radio Detection And Ranging. Es un sistema que se desarrolló durante la Segunda Guerra Mundial para medir la distancia y la velocidad de los objetos usando ondas de radio.

Cómo son los gráficos en Storyboard That





CRITERIOS DE SELECCIÓN

■ Criterios de selección:

<https://www.motionsensors.com/about-speed-sensors/best-sensor-for-application.shtml>





APLICACIONES

■ Análisis del mercado

El crecimiento del mercado se atribuye a la creciente adopción de **sensores de velocidad** en electrodomésticos inteligentes y dispositivos electrónicos de consumo. Los aparatos rotativos de alta potencia, como lavadoras, batidoras, ventiladores eléctricos y sistemas HVAC, están ampliamente incorporados con sensores de velocidad para medir la velocidad de rotación de engranajes, ejes y motores en el dispositivo. Estos sensores también ayudan a los fabricantes de dispositivos a proporcionar eficiencia energética, funciones de bajo ruido y costos de sistema optimizados en electrodomésticos inteligentes. Además de esto, la creciente integración de la tecnología IoT en productos para el hogar inteligente para controlar de forma remota la velocidad de varios dispositivos electrónicos de consumo impulsará aún más la expansión del mercado.

■ Análisis del mercado

El segmento de reluctancia variable (VR) tuvo una participación de mercado de sensores de velocidad de alrededor del 12% en 2020 liderado por varias características de alta gama ofrecidas por sensores de velocidad de reluctancia variable, como alto rendimiento, precisión y estabilidad de temperatura, adecuados para aplicaciones automotrices e industriales. Los sensores de velocidad VR tienen la capacidad de detectar cualquier objetivo de metal ferroso giratorio, y estos sensores son adecuados para operaciones en diferentes condiciones ambientales. Sin embargo, los avances tecnológicos en los sensores basados en Efecto Hall, como la introducción de las tecnologías Circular Vertical Hall (CVH) y Coreless Hall Effect, han reducido los precios de los sensores en comparación con los sensores de reluctancia variable.

■ Análisis del mercado

Las aplicaciones aeroespaciales y de defensa en el mercado de sensores de velocidad capturó más del 11,5% de la participación en los ingresos en 2020 y se prevé que experimenten una tasa de crecimiento del 3,5% hasta 2027 impulsada por las crecientes aplicaciones de sensores de velocidad en aviones, UAV y drones. Estos sensores se utilizan para mapear la velocidad de rotación del eje del motor, las cuchillas giratorias y las unidades de transmisión, aumentando así la demanda de sensores de velocidad en el mercado. Varios institutos y organismos gubernamentales se están enfocando en desarrollar sensores de velocidad avanzados para aplicaciones espaciales.

■ Análisis del mercado

Algunos de los principales hallazgos en el mercado de sensores de velocidad incluyen:

- Se espera que las estrictas regulaciones gubernamentales que exigen ADAS (Advanced Driver Assistance Systems) en los vehículos futuros amplifiquen la aceptación de los sensores de velocidad en el mercado. Los sistemas ADAS, como el control electrónico de estabilidad (ESC), el frenado automático de emergencia (AEB) y el control de crucero adaptativo (ACC), están ampliamente integrados con sensores de velocidad, que se prevé impulsarán el crecimiento de la industria.

■ Análisis del mercado

- La creciente penetración de la automatización industrial y la robótica en los sectores de fabricación y procesos creará grandes oportunidades de crecimiento para los fabricantes de sensores de velocidad.
- Los avances tecnológicos en los sensores basados en Efecto Hall, como la tecnología Hall vertical circular (CVH) que mejora la linealidad y precisión de los sensores de velocidad, están impulsando la progresión del mercado.





Otros ejemplos:

<https://www.motionsensors.com/about-speed-sensors/extreme-applications.shtml>





PRINCIPALES FABRICANTES

■ Principales fabricantes:

- [Monitran](#)
- [Valeport](#)
- [TE Connectivity](#)
- [KIMO Instruments](#)
- [PCB Group](#)
- [Sensirion](#)
- [ST Microelectronics](#)
- [NXP Semiconductors](#)
- [Infineon Technologies](#)
- [Texas Instruments](#)
- [Robert Bosch](#)
- [Honeywell International](#)



Principales fabricantes:

- [ZF Friedrichshafen AG](#)
 - [Allegro MicroSystems](#)
 - [CTS Corporation](#)
 - [Ai Tek](#)
 - [HarcoSemco](#)
 - [Crocus Technology](#)
 - [SPECTEC](#)
- 



BIBLIOGRAFÍA



Bibliografía

Handbook of transducers, Norton, Cap 6

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>

Catálogo Honeywell Speed Sensors

Catálogo Testo - Estroboscopios

