



SENSORES Y ACONDICIONADORES

TEMA 10

SENSORES DE ULTRASONIDOS

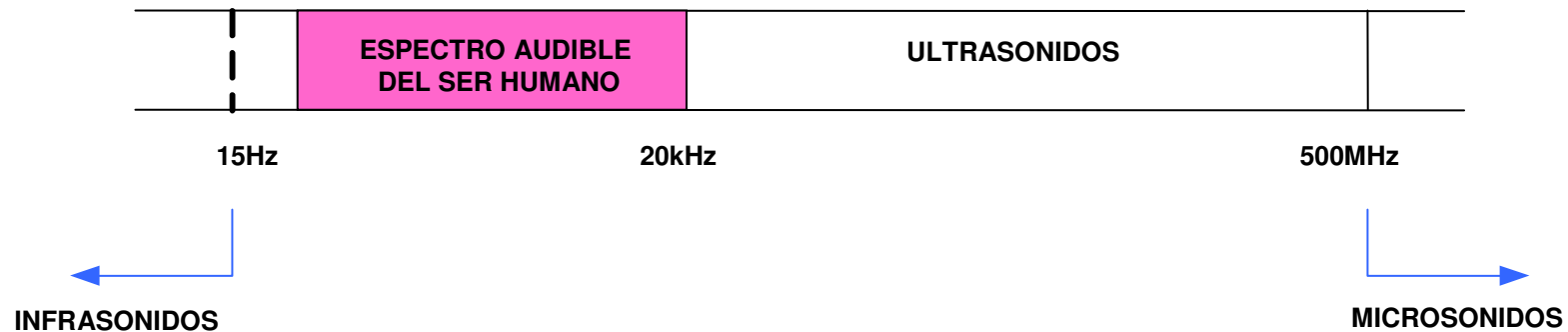
Profesores: Enrique Mandado Pérez
Antonio Murillo Roldan



DEFINICIÓN

Sensores basados en la interacción de los ultrasonidos con un objeto.

Se denomina ultrasonidos a las vibraciones de frecuencia superior a las audibles por el ser humano (>20 KHz) que se producen en un medio elástico.





FUNDAMENTOS DE LOS SENSORES DE ULTRASONIDOS

La medida de diferentes variables físicas mediante los ultrasonidos están relacionadas normalmente con su velocidad, su tiempo de propagación y, en algunos casos, con la atenuación o interrupción del haz propagado.

Hay tres principios físicos en los que se basa el funcionamiento de los sensores de ultrasonidos:

- Propagación de los ultrasonidos en medios homogéneos y no homogéneos
- Reflexión de los ultrasonidos en objetos inmóviles o fijos.
- Efecto Doppler.



FUNDAMENTOS DE LOS SENSORES DE ULTRASONIDOS

PROPAGACIÓN EN MEDIOS HOMOGÉNEOS

Las perturbaciones sonoras que se producen en un punto de un medio elástico se propagan a través de él con una velocidad c , que depende de la densidad ρ del medio y de su módulo de elasticidad E , de acuerdo con la ecuación:

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

Se define la impedancia acústica Z del medio como el producto de la densidad ρ por la velocidad del sonido c :

$$Z = \rho \cdot c$$



FUNDAMENTOS DE LOS SENSORES DE ULTRASONIDOS

INFLUENCIA DE LOS FACTORES AMBIENTALES

La temperatura puede influir significativamente en la propagación de los ultrasonidos.

La densidad del aire depende de la temperatura que influye sobre la velocidad de propagación de la onda de acuerdo con la expresión:

$$V_s = V_{s0} \sqrt{1 + \frac{T}{273}}$$

en la que V_{s0} es la velocidad de propagación de la onda sonora a 0 °C, y T es la temperatura absoluta (grados Kelvin).



FUNDAMENTOS DE LOS SENSORES DE ULTRASONIDOS

PROPAGACIÓN EN MEDIOS HOMOGÉNEOS

Como resultado de la perturbación, la presión varía con respecto a un valor medio y la diferencia entre el valor instantáneo y el valor medio se denomina presión acústica p .

La intensidad I de la onda es la potencia por unidad de superficie en W/m^2 .

La impedancia Z , la presión acústica p y la intensidad I están relacionadas mediante la ecuación:

$$I = \frac{p^2}{Z} = \frac{p^2}{\rho \cdot c}$$

Los ultrasonidos se pueden propagar a través de un medio homogéneo o no homogéneo.



FUNDAMENTOS DE LOS SENSORES DE ULTRASONIDOS

PROPAGACIÓN EN MEDIOS HOMOGÉNEOS

Al propagarse la radiación en un medio homogéneo, su intensidad sufre una atenuación exponencial de acuerdo con la ecuación:

$$I = I_0 e^{-2\alpha x}$$

en la cual:

I_0 : intensidad incidente
 α : coeficiente atenuación
 x : distancia recorrida



FUNDAMENTOS DE LOS SENSORES DE ULTRASONIDOS

PROPAGACIÓN EN MEDIOS HOMOGÉNEOS

Si la onda pasa de un medio de impedancia Z_1 a otro de impedancia Z_2 , además de ser absorbida, se refleja. En este caso los coeficientes de reflexión y transmisión son:

$$R = \frac{I_r}{I_i} = \left(\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^2$$

en la cual

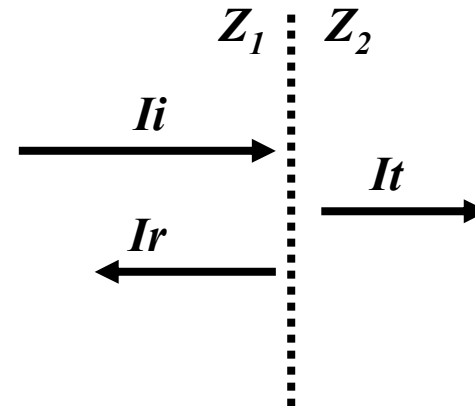
I_i : Intensidad de radiación incidente

I_r : Intensidad de radiación reflejada

I_t : Intensidad de radiación transmitida

$$T = \frac{I_t}{I_i} = \frac{4Z_1Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2}$$

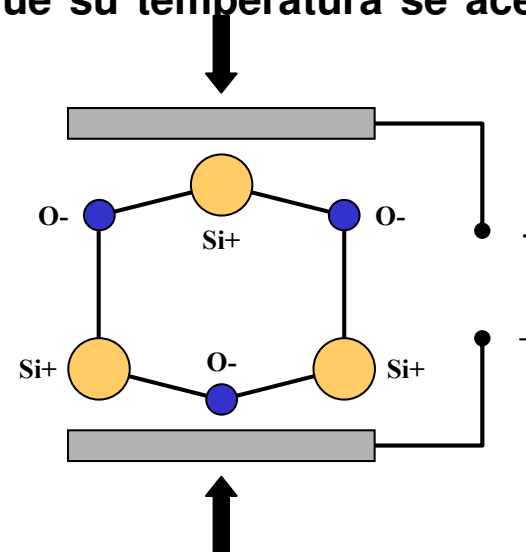
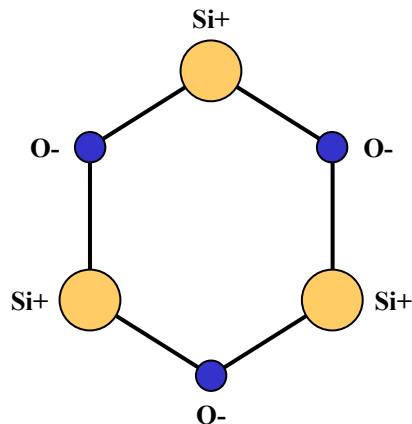
$$R + T = 1$$





GENERACIÓN DE ULTRASONIDOS

Para generar ultrasonidos se utilizan habitualmente materiales piezoeléctricos en los que se generan tensiones eléctricas al aplicarles una presión mecánica. El efecto piezoeléctrico se debe a que la presión provoca una deformación de la red cristalina que da lugar, a su vez, a un desplazamiento de las cargas eléctricas moleculares, lo que hace que aparezcan diferencias de potencial entre las caras del material. El signo de esta diferencia de potencial se invierte cuando se invierte el sentido de la presión, que puede ser de tracción o de compresión. El cuarzo y la turmalina son materiales piezoeléctricos naturales, pero, debido al valor reducido de sus parámetros característicos, fueron sustituidos por otros materiales piezoeléctricos sintéticos implementados con titanatos y circonatos de plomo (PZV). Estos materiales son más estables que los naturales, aunque presentan el inconveniente de su dependencia de la temperatura y la pérdida de sus propiedades piezoeléctricas a medida que su temperatura se acerca al valor de Curie.

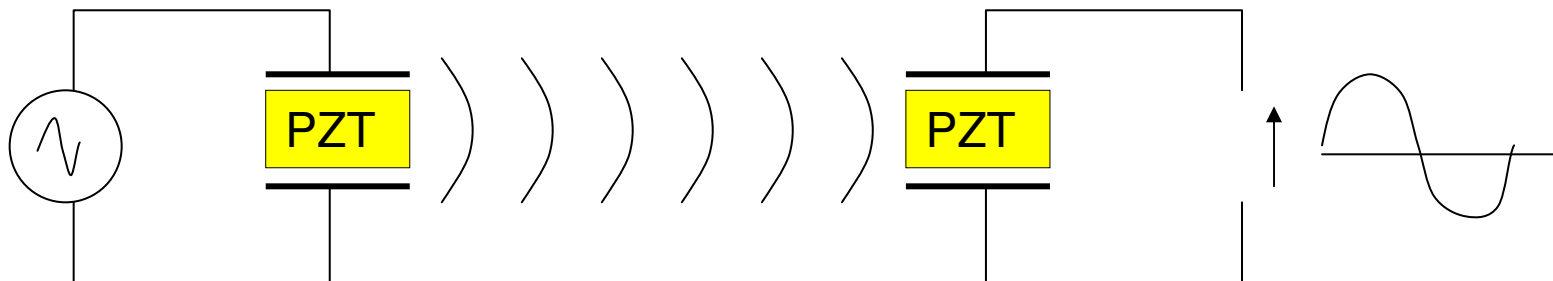




GENERACIÓN DE ULTRASONIDOS

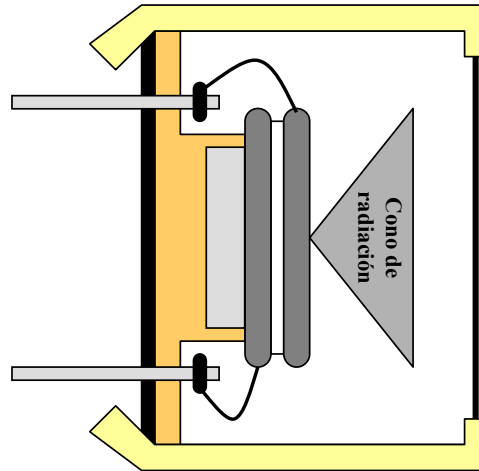
Los sensores electrónicos de ultrasonidos se basan en la reversibilidad del principio de funcionamiento de los materiales piezoeléctricos.

Dichos materiales se caracterizan por generar una señal eléctrica al aplicarles una onda de presión (en este caso el sonido) y por ser capaces de vibrar y de generar ondas de presión cuando están inmersos en un medio elástico como por ejemplo el aire, cualquier otro fluido o un sólido, al aplicarles una excitación eléctrica.

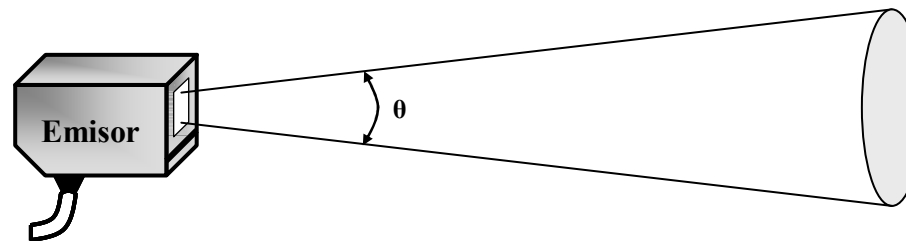




GENERACIÓN DE ULTRASONIDOS



Emisor-receptor de ultrasonidos



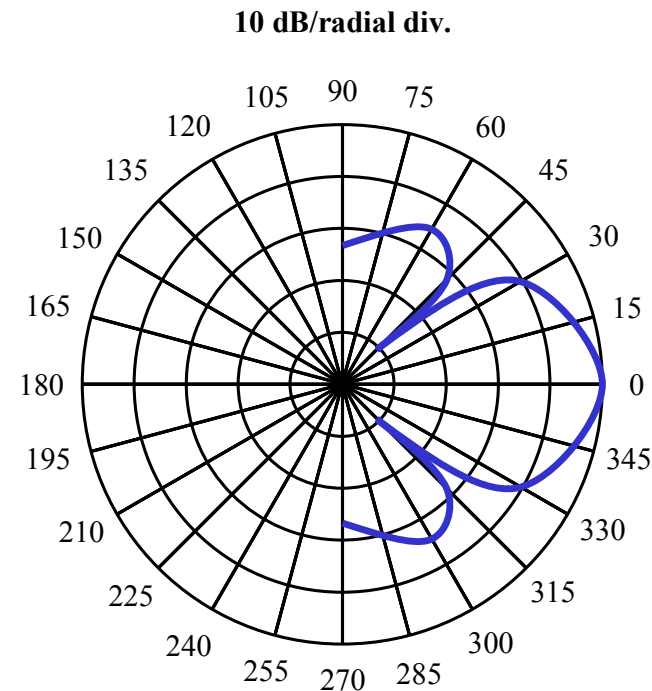
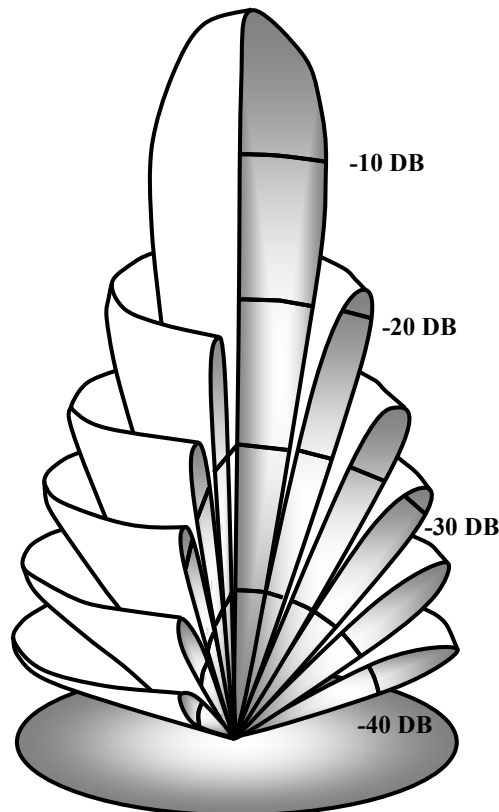
Cono de ultrasonidos



GENERACIÓN DE ULTRASONIDOS

En general se necesitan haces estrechos a fin de evitar reflexiones indeseadas, para lo cual la superficie de emisión debe ser grande con respecto a la longitud de onda del ultrasonido emitido.

En este caso, además del cono de radiación fundamental se generan un conjunto de lóbulos secundarios en forma de anillos.





TIPOS DE SENSORES DE ULTRASONIDOS

PRINCIPALES EFECTOS UTILIZADOS PARA IMPLEMENTAR SENSORES DE ULTRASONIDOS

- La interrupción del haz ultrasónico

Funciona como detector de un objeto que interrumpe el haz ultrasónico

- La reflexión en objetos inmóviles o fijos

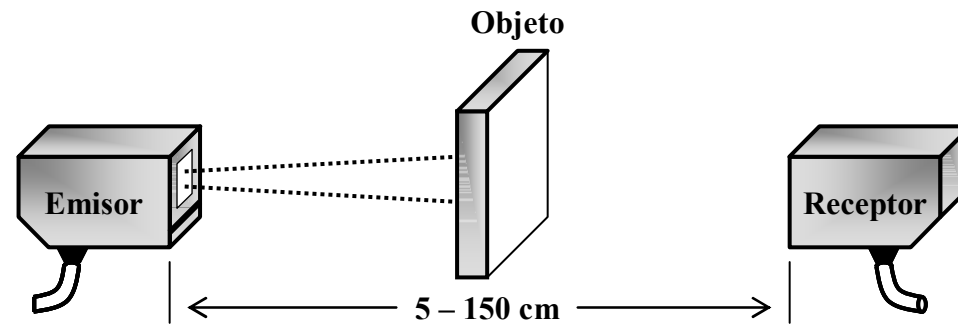
Es debida a la propagación en medios no homogéneos, que no se mueven uno con respecto al otro, descrita anteriormente.

- La reflexión en objetos móviles (efecto Doppler)

Es debida a la propagación en medios no homogéneos que tienen un movimiento relativo entre ellos



TIPOS DE SENSORES DE ULTRASONIDOS



Sensores ultrasónicos de barrera

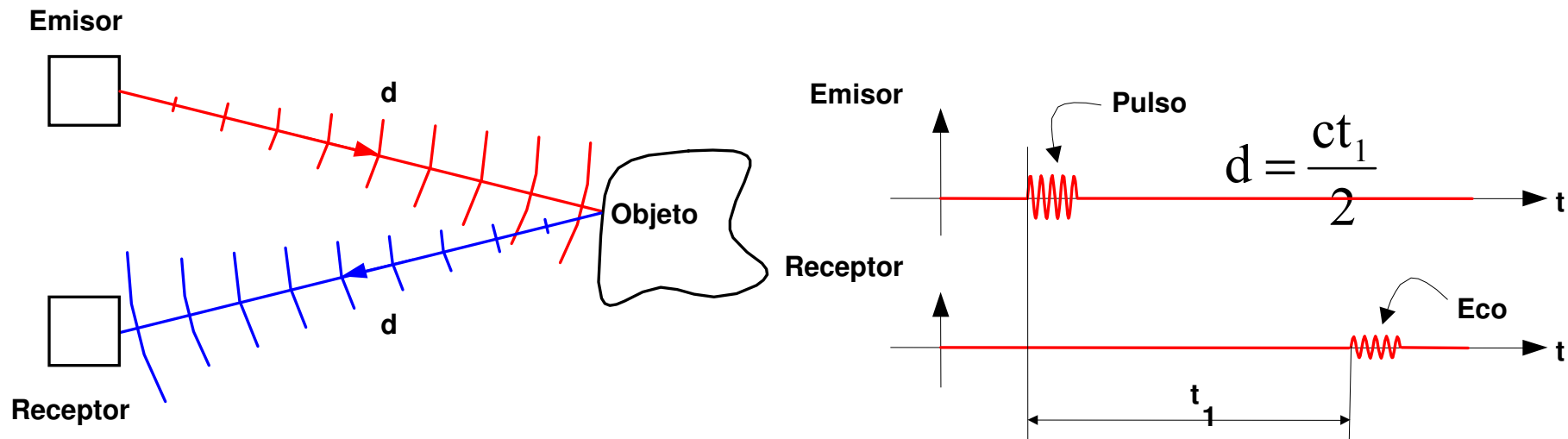


TIPOS DE SENSORES DE ULTRASONIDOS

SENSOR ULTRASÓNICO DE REFLEXIÓN EN OBJETOS INMÓVILES O DE TIPO ECO

Se mide el tiempo que tarda en recibirse el eco de un impulso emitido, debido a la reflexión sobre un objeto presente en el camino de propagación de la radiación.

El objeto puede ser un líquido, un sólido, granular o polvo, con la única restricción de que debe tener una impedancia acústica muy diferente de la del medio en el que se propagan los ultrasonidos, para que la mayor parte de la radiación se refleje.



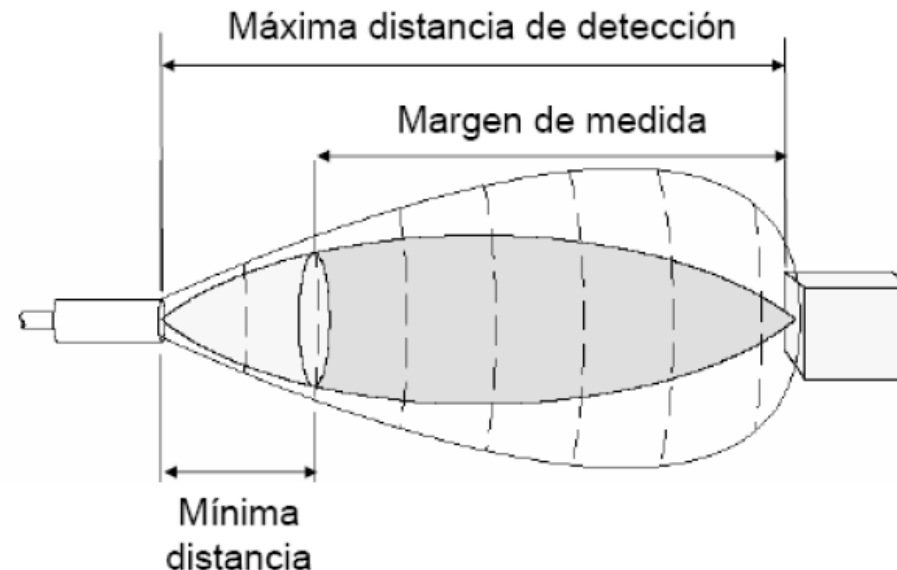


TIPOS DE SENSORES DE ULTRASONIDOS

SENSOR ULTRASÓNICO DE REFLEXIÓN EN OBJETOS INMÓVILES O DE TIPO ECO

En los sensores de ultrasonidos de bajo coste se utiliza el mismo transductor como emisor y receptor. Tras la emisión del ultrasonido se espera un determinado tiempo a que las vibraciones en el sensor desaparezcan y a que esté preparado para recibir el eco producido por el obstáculo.

Esto implica que existe una distancia mínima d (proporcional al tiempo de relajación del transductor) a partir de la cual el sensor mide con precisión.

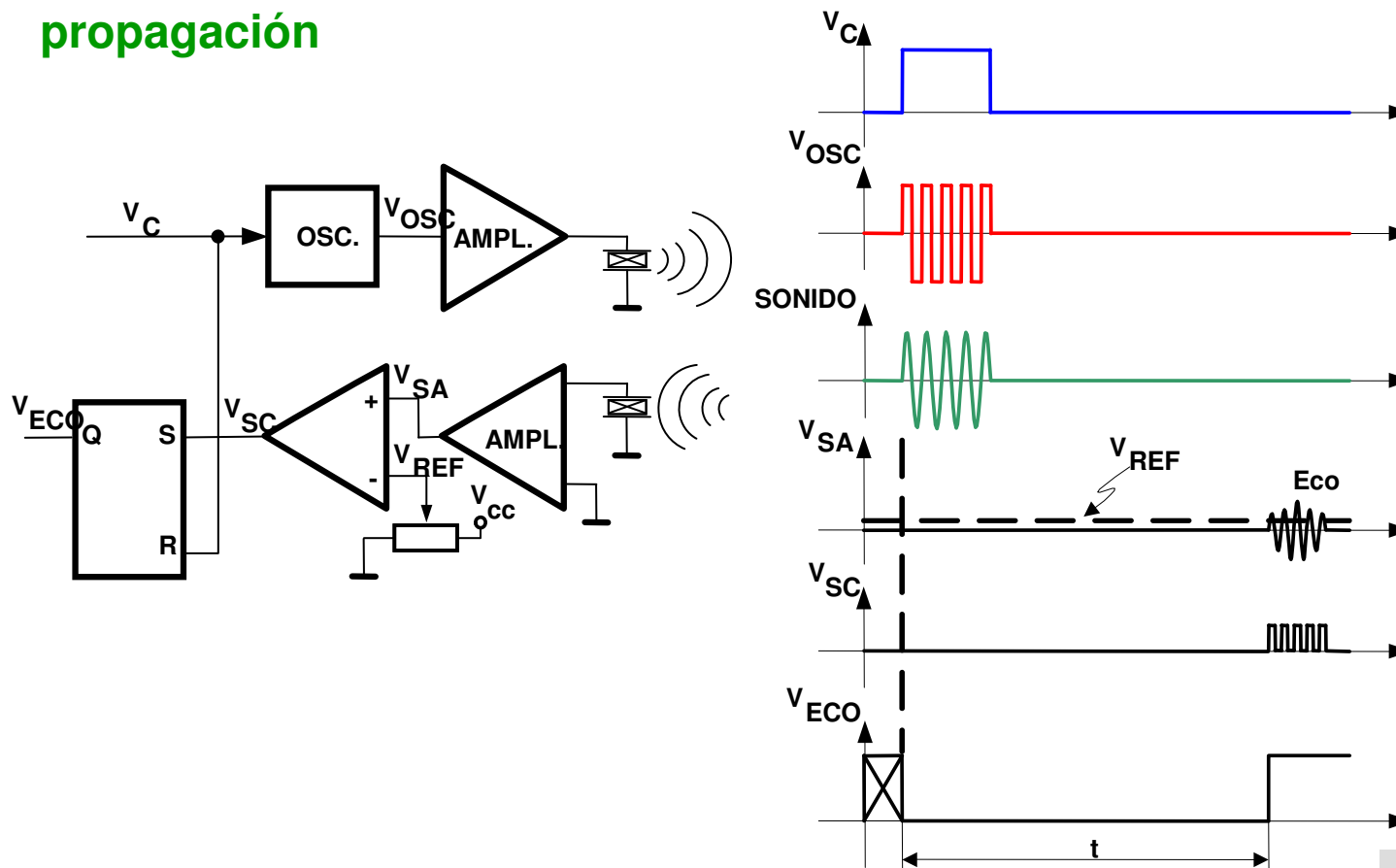




TIPOS DE SENSORES DE ULTRASONIDOS

APLICACIÓN DE LOS SENSORES DE REFLEXIÓN EN OBJETOS INMÓVILES

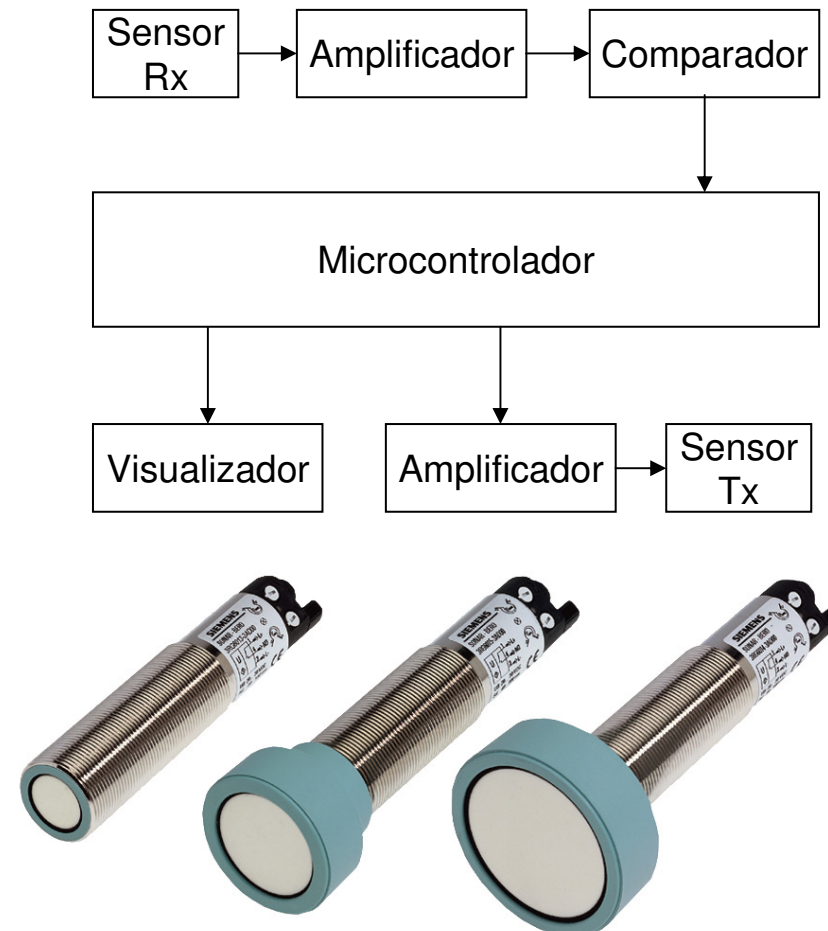
Ejemplo: Circuito de medida de distancias basado en la medida del tiempo de propagación





TIPOS DE SENSORES DE ULTRASONIDOS

SENSOR ULTRASÓNICO DE REFLEXIÓN EN OBJETOS INMÓVILES





TIPOS DE SENSORES DE ULTRASONIDOS

SENSOR ULTRASÓNICO DE REFLEXIÓN EN OBJETOS INMÓVILES





TIPOS DE SENSORES DE ULTRASONIDOS

SENSOR ULTRASÓNICO DE REFLEXIÓN EN OBJETOS INMÓVILES

CONSIDERACIONES IMPORTANTES (I)

- Para lograr un gran alcance y reducir las interferencias acústicas es importante que el haz emitido sea estrecho.
- Si el tamaño del objeto es menor que la longitud de onda, la radiación reflejada es débil, por lo que para objetos pequeños se debe trabajar a alta frecuencia.
- El efecto de las interferencias acústicas es menor a altas frecuencias pero la atenuación de la onda es mayor.



TIPOS DE SENSORES DE ULTRASONIDOS

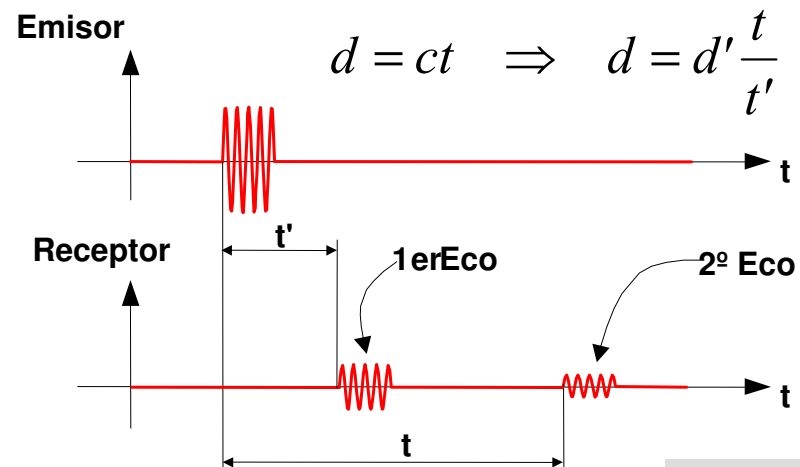
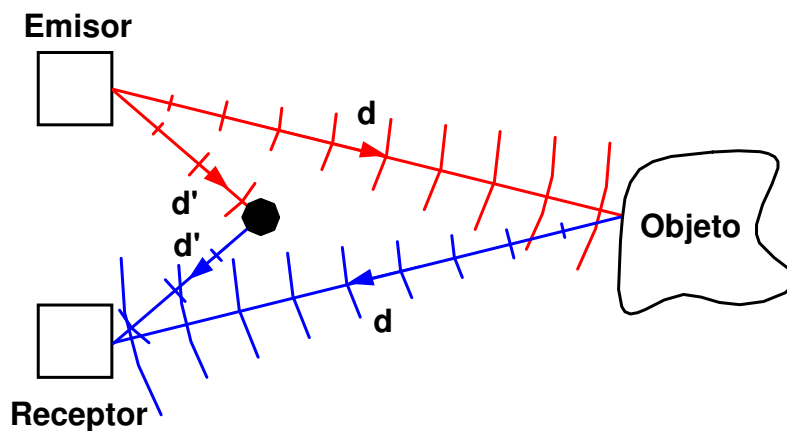
SENSOR ULTRASÓNICO DE REFLEXIÓN EN OBJETOS INMÓVILES

CONSIDERACIONES IMPORTANTES (II)

- Si la temperatura ambiente no es constante hay que compensar la variación de la velocidad c de propagación (a menor temperatura mayor tiempo de recepción). La velocidad también depende de la presión, la densidad o la presencia de sustancias disueltas. Por ello, se suele calcular primero el valor de c mediante la reflexión en un objeto a una distancia conocida.

$$d' = ct' \Rightarrow c = \frac{d'}{t'}$$

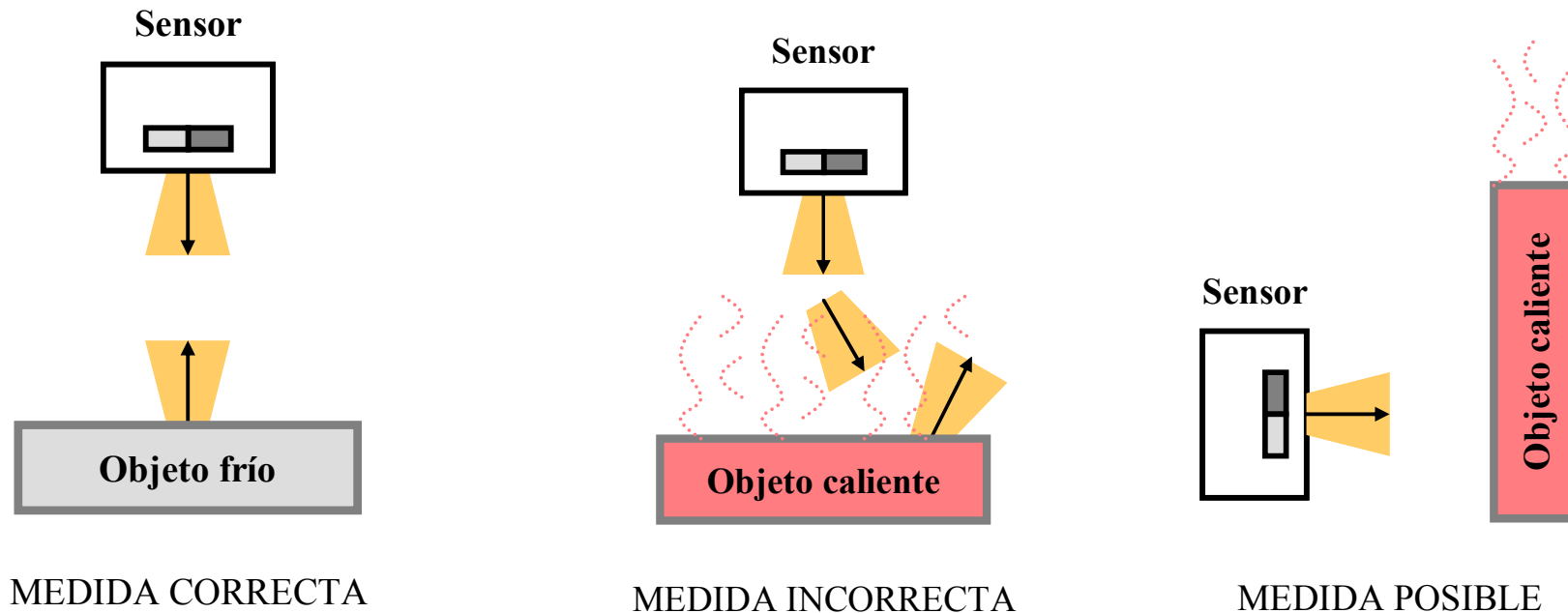
$$d = ct \Rightarrow d = d' \frac{t}{t'}$$





TIPOS DE SENSORES DE ULTRASONIDOS

SENSOR ULTRASÓNICO DE REFLEXIÓN EN OBJETOS INMÓVILES



Influencia de la temperatura del objeto en la transmisión de los ultrasonidos:
a) Objeto frío; b) Objeto caliente y sensor sobre él en la misma vertical ;
c) Objeto caliente y sensor situado lateralmente.



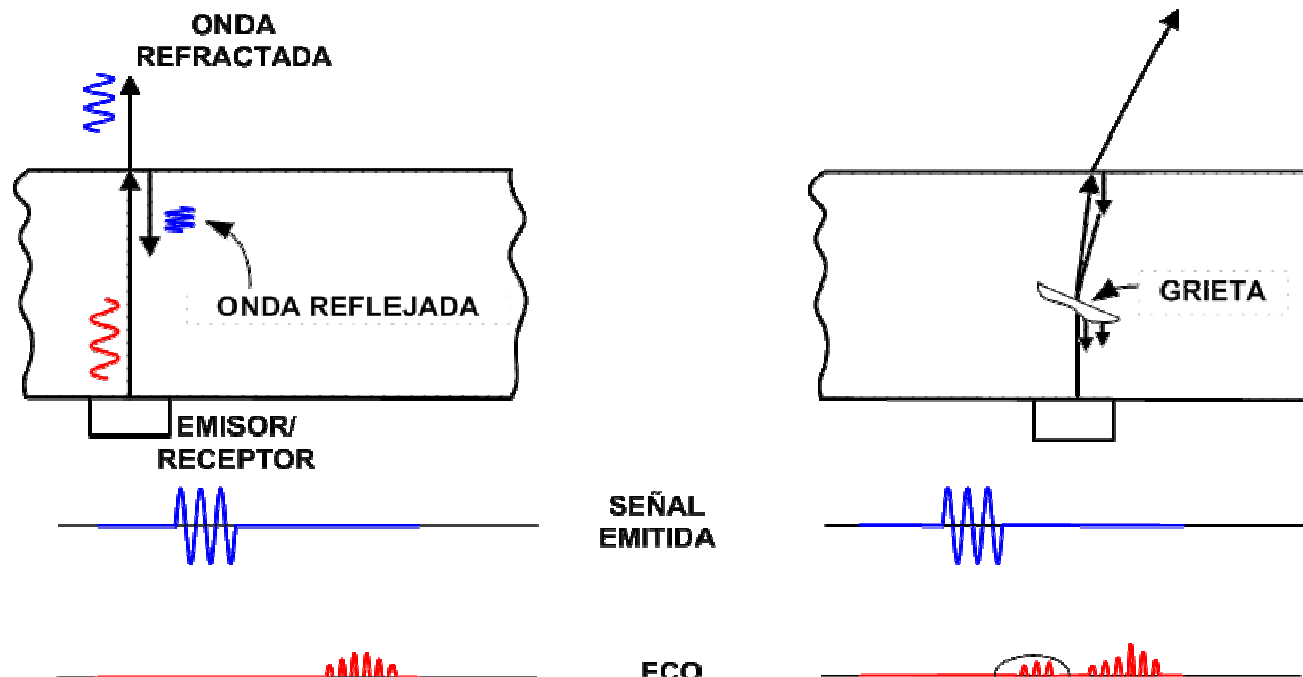
TIPOS DE SENSORES DE ULTRASONIDOS

SENSOR ULTRASÓNICO DE REFLEXIÓN EN OBJETOS INMÓVILES

APLICACIÓN

Para medir distintas variables físicas mediante ultrasonidos se utiliza su velocidad, su tiempo de propagación y en algunos casos la atenuación o interrupción del haz propagado.

Ejemplo: Utilización del nivel de atenuación de la onda para detectar grietas



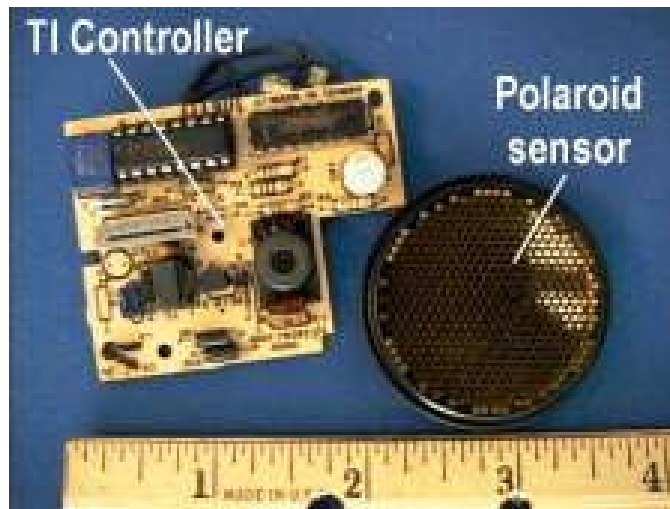


SENSORES DE ULTRASONIDOS COMERCIALES

SENSOR ULTRASÓNICO DE REFLEXIÓN EN OBJETOS INMÓVILES

APLICACIÓN: Polaroid Ultrasonic Sensor

Desarrollado para implementar el sistema automático de enfoque de una cámara en el rango de 15 cm a 100 m.



CARACTERÍSTICAS

- Frecuencia 50 KHz
- Las vibraciones residuales pueden ser interpretadas como eco de la señal
- Emite una señal de bloqueo de señales residuales los primero 2.38 ms después de la transmisión



SENSORES DE ULTRASONIDOS COMERCIALES

SENSOR ULTRASÓNICO DE REFLEXIÓN EN OBJETOS INMÓVILES

SRF235 SENSOR DE ULTRASONIDOS DE ALTA FRECUENCIA

El sensor SRF235 es un medidor de distancias por ultrasonidos de alta frecuencia y haz estrecho que posee un procesador de comunicaciones I²C. Se utiliza en robótica.



Este sensor de ultrasonidos destaca por funcionar a una frecuencia de 235Khz y generar un haz de tan solo 15 grados, lo que proporciona una medida de elevada precisión y gran direccionalidad.

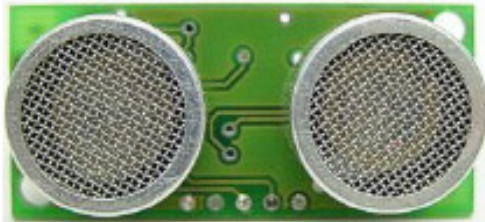
Las ondas ultrasonoras de 235KHz no se transmiten tan fácilmente a través del aire como las de 40KHz. Esto hace que el alcance del sensor SRF235 esté limitado aproximadamente a 1 m para objetos normales y un máximo de 1,2 m para superficies extensas.



SENSORES DE ULTRASONIDOS COMERCIALES

SENSOR ULTRASÓNICO DE REFLEXIÓN EN OBJETOS INMÓVILES

SRF04 SENSOR DE MEDIDA DE DISTANCIAS POR ULTRASONIDOS



SRF04 es un sensor de distancias por ultrasonidos capaz de detectar objetos y calcular la distancia a la que se encuentra en un rango de 3 a 300 cm.

Funciona mediante ultrasonidos y contiene el sensor propiamente dicho y el circuito de acondicionamiento.

Emite un impulso y mide la anchura del impulso de retorno.

Es de muy pequeño tamaño y destaca por su bajo consumo, gran precisión y bajo precio. Reemplaza ventajosamente a los sensores polaroid antes descritos en las aplicaciones de robótica.



SENSORES DE ULTRASONIDOS COMERCIALES

SENSOR ULTRASÓNICO DE REFLEXIÓN EN OBJETOS INMÓVILES

SRF05 SENSOR DISTANCIAS ULTRASONIDOS SIMPLE



El SRF05 es un sensor de medida de distancias compatible con el clásico SRF04.

En el modo estándar, el SRF05 se comporta igual que el SRF04 pero posee un rango de medida de 4m en lugar de 3m.

Además el sensor SRF05 posee un modo de trabajo que emplea un solo terminal para actuar sobre él y hacer la lectura de la medida.



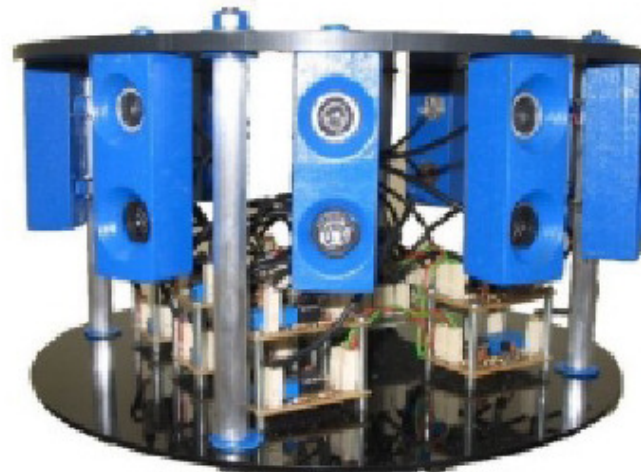
SENSORES DE ULTRASONIDOS COMERCIALES

SENSOR ULTRASÓNICO DE REFLEXIÓN EN OBJETOS INMÓVILES

SISTEMAS DE PERCEPCIÓN Y CONTROL DE ROBOTS MÓVILES

Los sensores de ultrasonidos se suelen utilizar en sistemas de reconocimiento del entorno y medición de distancias en robótica. En este caso se utilizan varios sensores y se diseña una estrategia de control en función de las mediciones de los mismos.

Los sensores se colocan de una manera determinada en la superficie exterior del robot y el resultado de las medidas se utiliza para establecer la estrategia de movimiento del mismo.

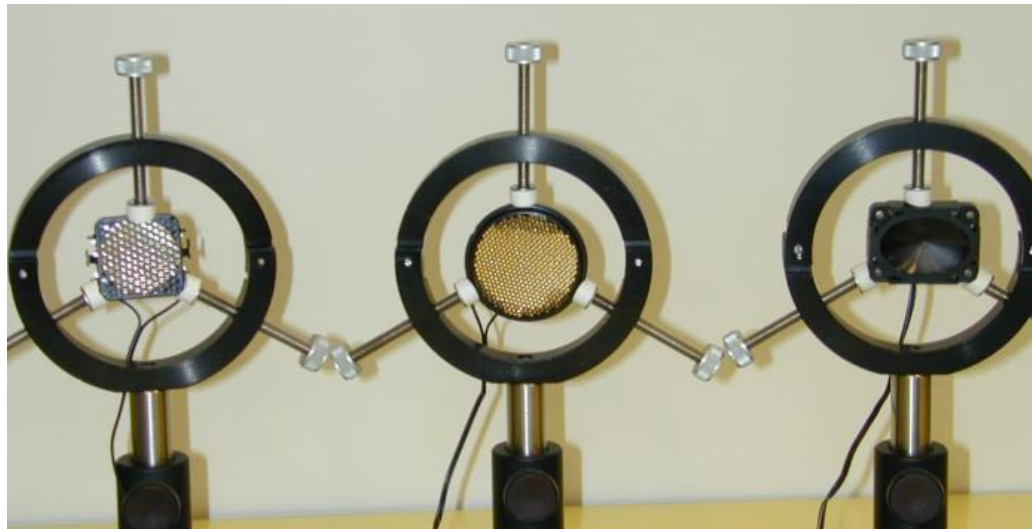




APLICACIÓN DE LOS SENSORES DE ULTRASONIDOS

SENSOR ULTRASÓNICO DE REFLEXIÓN EN OBJETOS INMÓVILES

SISTEMA DE PREVENCIÓN DE COLISIONES



Sistema de prevención de colisiones para vehículos de la industria de la construcción (grúas, camiones, topadoras, tractores, montacargas, etc.).

Es muy común durante el trabajo en obra que estos vehículos colisionen con el entorno debido a la gran cantidad de maniobras que deben realizar dentro de un ambiente en constante cambio y a la escasa visibilidad ocasionada por el propio vehículo.

El coste de reparación de estos vehículos y las demoras ocasionadas justifican la instalación de un sistema para la prevención de colisiones.



APLICACIÓN DE LOS SENSORES DE ULTRASONIDOS

SENSOR ULTRASÓNICO DE REFLEXIÓN EN OBJETOS INMÓVILES

SONAR (*SOund NAvigation and Ranging*)

Utilizan la reflexión de los ultrasonidos en objetos situados en el agua. Se usó con fines militares en la Segunda Guerra Mundial.

Hoy en día su aplicación militar está en desuso ya que la llegada del impulso alerta al objetivo de la presencia del emisor antes de que éste escuche el eco. Actualmente se utiliza para detectar bancos de peces.



TIPOS DE SENSORES DE ULTRASONIDOS

SENSOR ULTRASÓNICO DE REFLEXIÓN EN OBJETOS MÓVILES

EFFECTO DOPPLER (I)

El efecto Doppler, llamado así por Christian Andreas Doppler en 1842, consiste en la variación de la frecuencia de cualquier tipo de onda emitida o recibida por un objeto en movimiento.

La frecuencia percibida por un observador (o) de una fuente (s) es:

$$f' = f \frac{V (+/-) V_o}{V (-/+) V_s}$$

en la que: V_o es la velocidad del observador.

V_s es la velocidad de la fuente.

V es la velocidad de la onda en el medio.

Los signos indican que los valores son distintos en el numerador y denominador.



TIPOS DE SENSORES DE ULTRASONIDOS

SENSOR ULTRASÓNICO DE REFLEXIÓN EN OBJETOS MÓVILES

EFECTO DOPPLER (II)

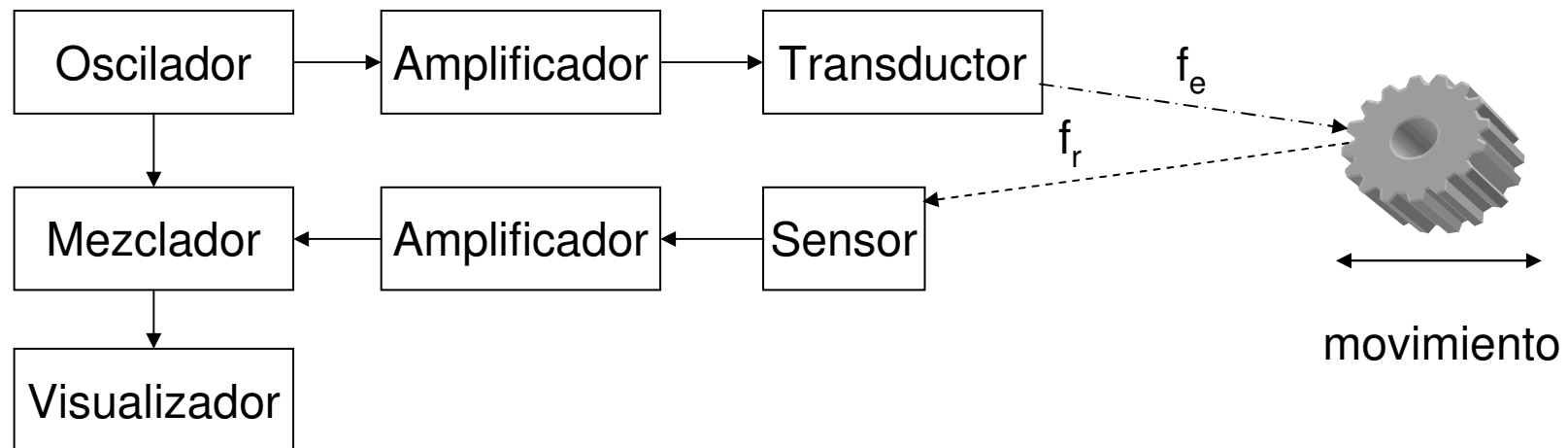


Diagrama de bloques de un sensor de ultrasonidos basado en el efecto Doppler.

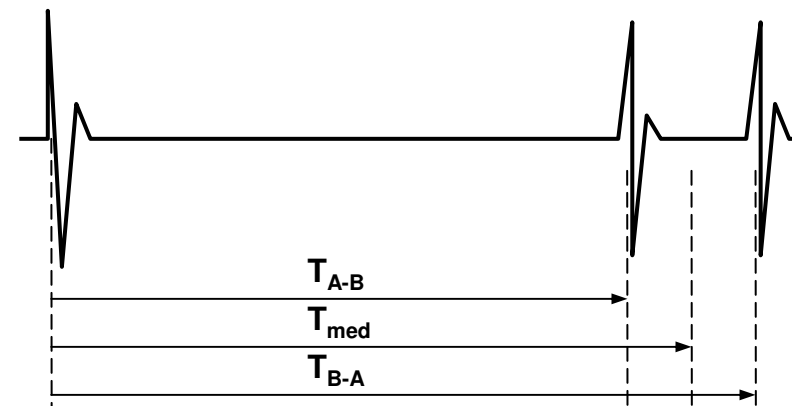
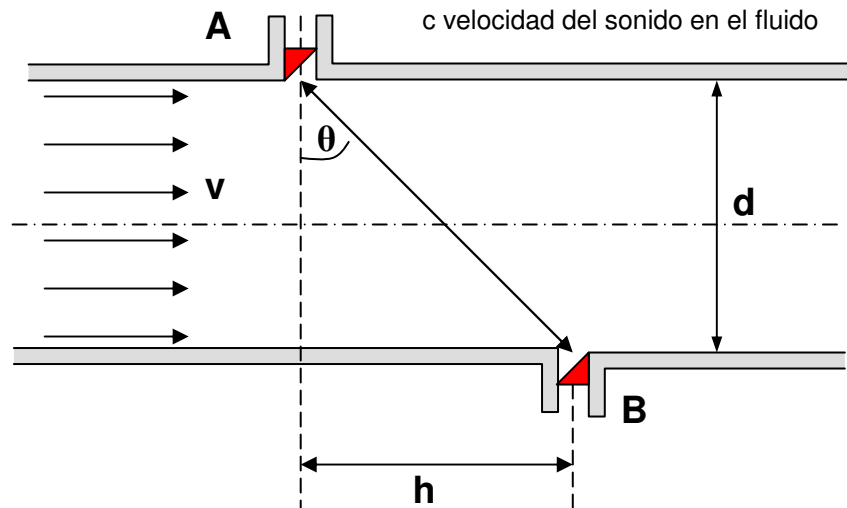


TIPOS DE SENSORES DE ULTRASONIDOS

SENSOR ULTRASÓNICO DE REFLEXIÓN EN OBJETOS MÓVILES

APLICACIÓN : CAUDALÍMETRO

Se basan en la diferencia entre el valor del tiempo que tardan dos ondas en recorrer el mismo camino en sentidos opuestos en el seno de un fluido en movimiento. Debido al efecto Doppler la velocidad del sonido se suma a la del fluido, lo que da como resultado valores diferentes para los recorridos A-B y B-A. El emisor y el receptor se sitúan en las paredes opuestas de la tubería y forman un ángulo con el eje.



$$\text{Si } \theta=45^\circ \quad T_{B-A} - T_{A-B} = (2 v d) / c^2$$



APLICACIÓN DE LOS SENSORES DE ULTRASONIDOS

CAUDALÍMETROS

