

Tema 5: Sensores. Introducción

- Los procesos industriales, la ciencia y la tecnología se caracterizan por la necesidad de **generar** y **medir** magnitudes con precisión y fiabilidad
- A principios de siglo la instrumentación se basaba en principios mecánicos (balanza) y eléctricos.

Hoy día:  bajo coste de los aparatos electrónicos

Señales **no** eléctricas (distancia, posición, velocidad, temperatura)

Sensor

Señales eléctricas

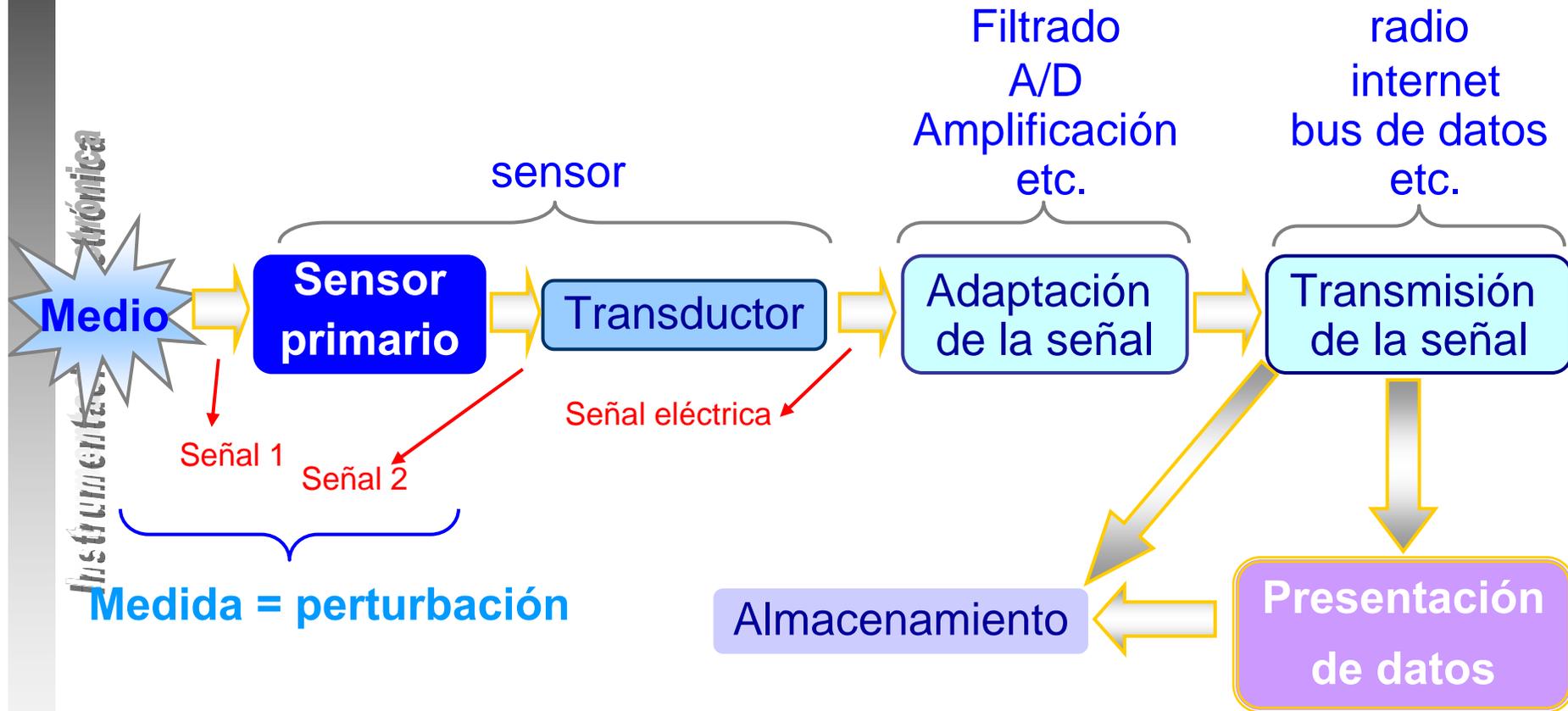
Gran facilidad de modificación y transmisión a distancia

Instrumentación electrónica
(equipos basados en circuitos y sistemas electrónicos)

Medición, Visualización, Generación, Conversión

Tema 5: Sensores. Introducción

- Sistema GENERAL de instrumentación (**bloques funcionales**):



Cada sistema de instrumentación contiene alguno o todos de estos bloques funcionales

Tema 5: Sensores: Instrumentos de proceso

- Para operar en una **industria** es necesario :
 - **Medir**: conocer el valor de las propiedades de la línea de proceso
 - **Decidir**: utilizar la información para diagnosticar como operar
 - **Actuar**: dispone de los medios para modificar el proceso en el grado deseado
- Este proceso es válido para:
 - El manejo de una sola variable o propiedad 
 - **Ejemplo**: para obtener un flujo es necesario medirlo y compararlo con el deseado y manejar una válvula o una bomba a fin de satisfacer el requerimiento
 - Caso más complejo  medir una propiedad puede implicar acciones sobre operaciones al inicio de la línea de proceso.
- La **selección de las variables** (a medir y sobre las que actuar) es un aspecto empírico, por ello:
 - Se debe tener un gran conocimiento para selección de **instrumentos**
 - **Instrumento**
 - Sistemas de medición (sensores)
 - Sistemas de manipulación (actuadores: motores, bombas, válvulas, etc.).

Tema 5: Aplicación de los Sensores

- Gran competencia entre los investigadores en las compañías y universidades → inventar, diseñar, construir y vender sensores
- Gran importancia en la industria: aplicaciones
 - **Industria del automovil.** En USA se venden 15.000.000 de automóviles/ año.
 - Necesario detectar **deslizamiento**, la **localización** y orientación de pasajeros, asistencia de **navegación**
 - Sensores de efecto Hall, de presión, de caudal de aire
 - **Aplicaciones médicas:**
 - Química de **análisis sanguíneos**
 - **Diagnóstico** de bajo coste y alta velocidad, dispositivos terapéuticos implantables, test de DNA, etc.
 - **Aplicaciones militares:** Los sistemas de defensa están basados en sensores:
 - Visión nocturna y navegación, sonar, radares
 - Soldados y municiones “inteligentes”, etc.
 - Aplicaciones en **industria alimentaria:** T^a

Tema 5: Aplicación de los Sensores

■ Neumáticos inteligentes (Nokian Tyres):

- Contienen un chip fijado en el interior que actúa como sensor
→ el chip registra la presión de los neumáticos y los cambios de temperatura
- Transmite información a un teléfono móvil equipado con *Bluetooth* que actúa como receptor.
- Aplicaciones: previsión de **derrapes** sobre pistas mojadas o nevadas, el **seguimiento del desgaste** de los neumáticos **alarma** contra robos y soluciones logísticas



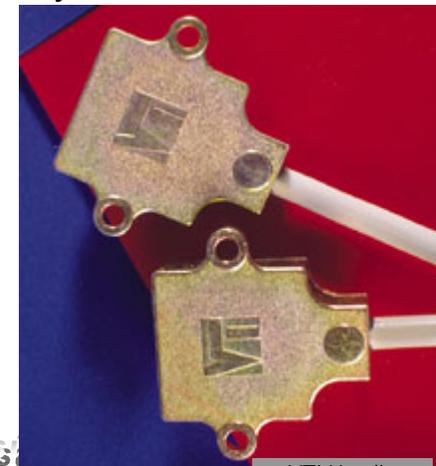
Nokian Tyres

■ Un grifo que ahorra energía (tecnología ORAS)

- Contiene un dispositivo electrónico (interruptor de flujo), que abre y cierra una válvula magnética → impide todo derroche innecesario

■ Conducción de seguridad (VTI Hamlin)

- Acelerómetros: **sistemas de frenos** y antideslizantes y los dispositivos de suspensión controlados eléctricamente
- Mediciones precisas y confiables en condiciones severas como **vibraciones**, **impactos mecánicos** y grandes diferencias de temperatura



VTI Hamlin

Tema 5: Aplicación de los Sensores (II)

- Medidor de pulso cardíaco (Polar Electro)
 - El equipo mide el pulso cardíaco con la precisión de un electrocardiograma
 - Aplicaciones: ejercicio físico, el entrenamiento y la rehabilitación.
 - El medidor inalámbrico consta de dos componentes:
 - El emisor que se ajusta al pecho
 - El receptor que se lleva en la muñeca.
- La ropa Inteligente (Reima)
 - Mide el ritmo cardíaco del usuario, posiciones y movimientos, la temperatura dentro y fuera de la prenda, cambios en nivel de humedad
 - La ropa inteligente puede tomar decisiones (GSM) :
 - En caso de accidente puede enviar pedidos de socorro
 - Datos de posición y las funciones vitales del usuario
- Envases y etiquetas inteligentes:
 - Mensaje sobre la Tª y el estado del producto
 - Cobrar el precio del producto directamente del carro de compras a la tarjeta de crédito o transmitir a la cocina la receta de una comida.



Polar Electro



Reima

Tema 5: Sensores y transductores

- **Instrumentos Transductores:** se dividen en dos tipos
 - **Sensor** = instrumento que situado en cierto medio **produce una señal de una determinada magnitud y que refleja el valor de una propiedad**, mediante alguna correlación definida (su ganancia):
 - Variación de resistencia, de capacidad o de carga, tensión, corriente, etc
 - Idealmente un sensor es un instrumento que no altera la propiedad medida.
 - **Ejemplo**, un sensor de T^a \longrightarrow ni agrega ni cede calor a la masa medida (masa cero o no contacta con la masa cuya T^a mide: termómetro de radiación infrarroja)
 - **Transductor:** 2º dispositivo que realiza la conversión a señal eléctrica
 - Normalmente se a nivel comercial se ofrecen con:
 - Salida en baja tensión (algunos **mV**)
 - Salida en tensión (algunos **voltios**) y corriente normalizadas (4 a 20 **mA**)
 - Ejemplo: un generador eléctrico en una caída de agua \longrightarrow transductor de energía cinética de un fluido en energía eléctrica
 - Los transductores también absorben de energía desde la propiedad medida verificar que no impacte al proceso sensado.
 - Se llama sensor al conjunto formado = **dispositivo sensor + transductor**

Tema 5: Tipos de Sensores

- Sensores y métodos de detección ordinarios para las magnitudes más frecuentes

Sensores	Magnitudes							
	Posición Distancia Desplazamiento	Velocidad	Aceleración Vibración	Temperatura	Presión	Caudal Flujo	Nivel	Fuerza
Resistivos	Potenciómetros Galgas Magnetorresistencias		Galgas + masa- resorte	RTD Termistores	Potencióme- tros + tubo Bourdon	Anemóme- tros de hilo caliente Galgas + vola- dizo Termistores	Potencióme- tro + flota- dor Termistores LDR	Galgas
Capacitivos	Condensador di- ferencial				Condensador variable + diafragma		Condensador variable	Galgas capaci- tivas
Inductivos y electro- magnéti- cos	LVDT Corrientes Fou- cault Resolver Inductosyn Efecto Hall	Ley Faraday LVT Efecto Hall Corrientes Foucault	LVDT + masa- resorte		LVDT + dia- fragma Reluctancia variable + diafragma	LVDT + rotáme- tro Ley Faraday	LVDT + flo- tador Corrientes Foucault	Magneto- elástico LVDT + célula carga
Generadores			Piezoeléc- tricos + masa- resorte	Termopares Piroeléctricos	Piezoeléctricos			Piezoeléc- tricos
Digitales	Codificadores in- crementales y absolutos	Codificadores incrementa- les		Osciladores de cuarzo	Codificador + tubo Bourdon	Vórtices		
Uniones p-n	Fotoeléctricos			Diodo Transistor Convertidores T/I			Fotoeléctricos	
Ultrasonidos	Reflexión	Efecto Doppler				Efecto Doppler Tiempo tránsito Vórtices	Reflexión Absorción	

Tema 5: Clasificación de Sensores

■ Clasificación de sensores

■ Sensores de **desplazamiento**

- Sensores resistivos
- Sensores inductivos y capacitivos
- Sensores ópticos y basados en el **Efecto Hall**

■ Sensores de **presión**

- Sensores de presión: fuelles, diafragmas, etc.

■ Sensores de **Temperatura**

- Resistivos: (*Resistance Temperature detectors*) RTDs
 - Metálicos
 - Termistores
- Termoeléctricos o termopares:  Efecto Seebeck, Peltier y Thomsom
- Sensores de temperatura basados en dispositivos electrónicos integrados

■ Sensores de **velocidad, aceleración**

- Teoría de acelerómetros y sismómetros
- Acelerómetros inductivos
- Acelerómetros piezoeléctricos

Tema 5: Sensores de Desplazamiento

■ Sensores de desplazamiento

■ Sensores resistivos: **Potenciómetro**

Elemento resistivo que contiene un contacto móvil

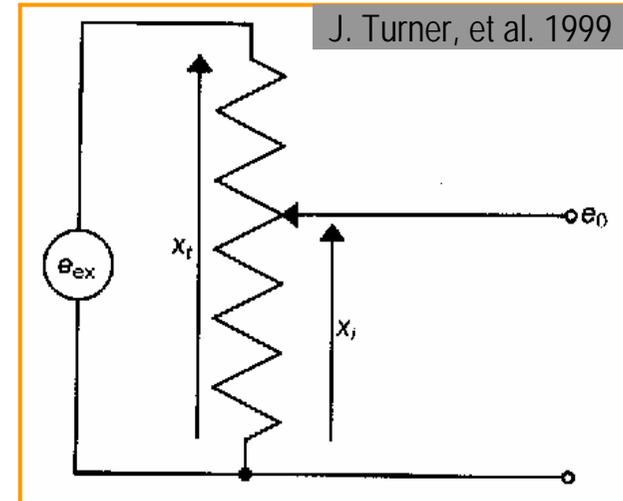
■ El elemento resistivo o pista está realizado:

- Mediante un cable de alta resistencia (Cromo-níquel) empaquetado en un aislante
- El contacto consiste de un muelle, un brazo conductor que puede moverse a lo largo de la pista del potenciómetro
- Se crea una resistencia variable entre el final de la pista y el contacto móvil
- El movimiento del contacto puede ser:
 - Lineal o traslacional: potenciómetros disponibles desde 5 hasta 1000 mm
 - Rotacional: disponible desde 10° hasta 60 vueltas (20000 °)
 - Una combinación de ambas (movimiento helicoidal)

■ Linealidad del potenciómetro (idealmente)

- La resistencia del potenciómetro es lineal con respecto a la distancia
- El voltaje de salida e_o es una función lineal del desplazamiento cuando se aplica un voltaje de "excitación", e_{ex}
- La salida está en circuito abierto, y no circula corriente → **Relación entrada-salida es LINEAL**

J. Turner, et al. 1999



$$\frac{e_o}{e_{ex}} = \frac{x_i}{x_t}$$

Tema 5: Sensores de Desplazamiento

Linealidad del potenciómetro (real)

- Los circuitos a la entrada consumen cierta corriente
- Impedancia de entrada del circuito de medida

$$R_m \neq \infty$$

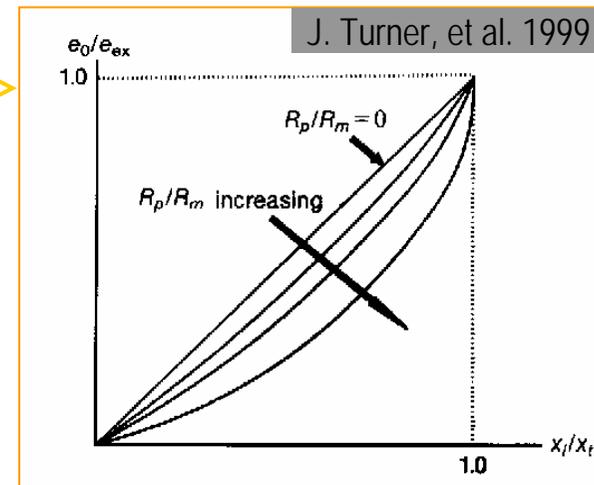
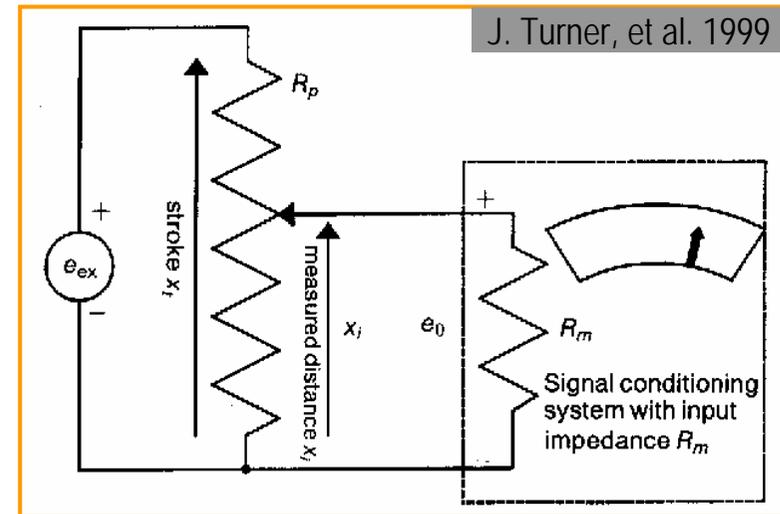
(con R_p : impedancia del potenciómetro)

- Mediante un análisis circuital, se obtiene:

$$\frac{e_o}{e_{ex}} = \frac{1}{\left(x_t / x_i\right) + \left(R_p / R_m\right)\left(1 - x_i / x_t\right)}$$

- Los efectos de la carga a la salida del potenciómetro :

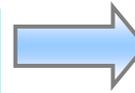
- Ideal $R_p / R_m = 0$
- Si $R_p = R_m$, la desviación máxima de la linealidad es del 12 %
- Si $R_p = 10\%$ de R_m , el error disminuye hasta un 1.5 %
- La posición de máximo error: región donde $x_i / x_t = 0.67$
- El error máximo es aproximadamente $15 R_p / R_m$ (%) de la escala completa
- Para obtener **gran linealidad** $\rightarrow R_m \gg \gg R_p$
- Esto está en conflicto con el hecho de que el sensor tenga una **gran sensibilidad**
- Además para aumentar e_o , no puede aumentarse e_{ex} indefinidamente (los potenciómetros tienen un límite máximo para **disipación de calor**)



Tema 5: Sensores de Desplazamiento

■ Sensores / transductores de desplazamiento **inductivos**

■ 1. Transductores de Reluctancia



Concepto de circuito magnético

■ En un **circuito eléctrico** una fuerza electromotriz (**uem**) o voltaje (**V**) da lugar a una corriente, **I**, definimos resistencia, **R**, (la ley de Ohm) $\Rightarrow V = I R$

■ En un **circuito magnético**, la corriente que fluye por un arrollamiento (**bobina**) de "n" vueltas arrollado al material ferromagnético.

■ El cable es la fuerza magnetomotriz (**mmf**) \longleftrightarrow similar a **V**

■ Estas fuerza **mmf** da lugar a un flujo ϕ a través del circuito magnético \longleftrightarrow similar a **I**

■ La ecuación correspondiente es: $\Rightarrow mff = \phi \times \mathcal{R}$ (1)

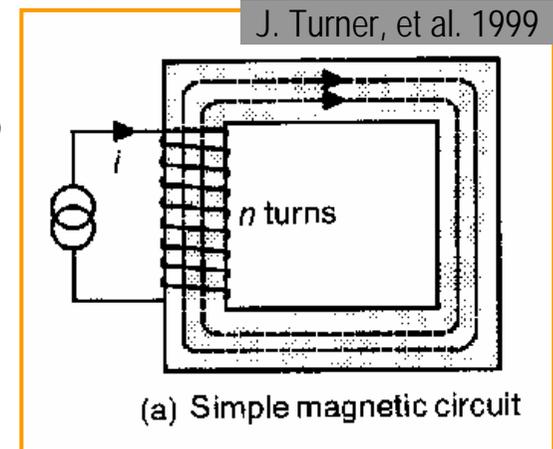
■ Donde **R**: **reluctancia** que limita el flujo en el circuito magnético \longleftrightarrow similar a **R** y puede calcularse mediante: $\mathcal{R} = L / \mu \mu_0 A$ (**L**: la longitud total del recorrido del flujo magnético) (μ : permeabilidad, **A**: sección transversal del flujo)

■ En el ejemplo de la Figura: **mmf** = **n** × **i**, luego sustituyendo en (1) podemos calcular:

■ El flujo magnético ϕ de una única vuelta simple) $\Rightarrow \phi = ni / \mathcal{R}$

■ El flujo Total (**N**) correspondiente a **n** vueltas del hilo conductor) $\Rightarrow N = n\phi = \frac{n^2 i}{\mathcal{R}}$

■ La definición de **autoinductancia**, **L**, del cableado (flujo total por unidad de corriente) $\Rightarrow L = \frac{n^2}{\mathcal{R}}$



Tema 5: Sensores de Desplazamiento inductivos

Ejemplo: Sensor de reluctancia variable

El núcleo magnético ha sido truncado en dos partes (mediante una separación o “gap” de aire de anchura variable).

La reluctancia total del circuito: $\mathcal{R} = \mathcal{R}_1 + \mathcal{R}_2$

- De la reluctancia del gap de aire:
(la permeabilidad del aire es cercana a la unidad)
- De las dos reluctancias del núcleo (μ toma un valor de miles)

La presencia/variación del gap de aire causa un gran aumento en la Reluctancia del circuito

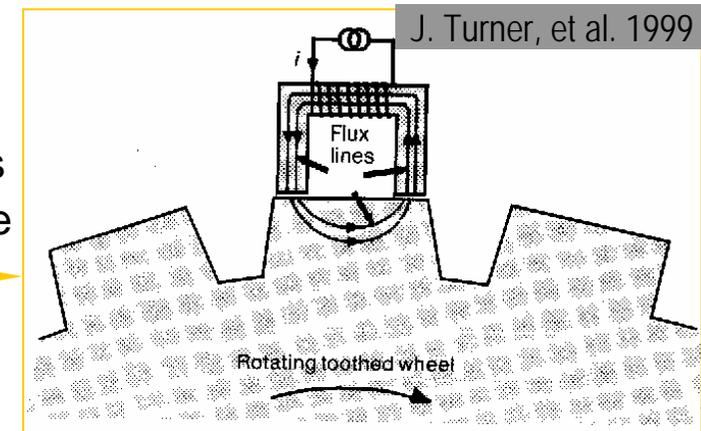
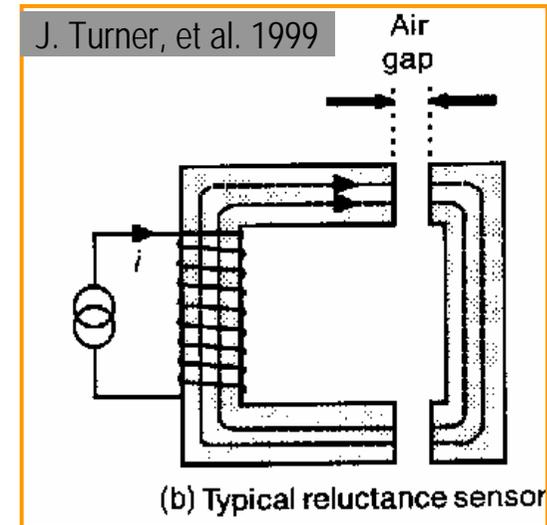
$$L = n^2 / \mathcal{R}$$

una disminución/variación en flujo y en inductancia : L

Construcción de sensores → En ingeniería, los sensores de reluctancia variable son los utilizados más habitualmente para medir una velocidad de rotación

- El sensor se coloca junto a una rueda dentada
- El movimiento de los dientes ferromagnéticos causan una variación del acoplamiento entre las bobinas
- Tras el acondicionamiento de la señal, se obtiene una salida con una frecuencia que está relacionada linealmente con la velocidad de rotación

mjmm@usal.es



Maria Jesús Martín Martínez

Tema 5: Sensores de Desplazamiento inductivos

2. Transformadores de acoplamiento variable: LDTs y

■ Transductor de Desplazamiento Lineal (**LTD**) → Una forma sencilla de realizar un transductor de desplazamiento inductivo

■ Consiste en:

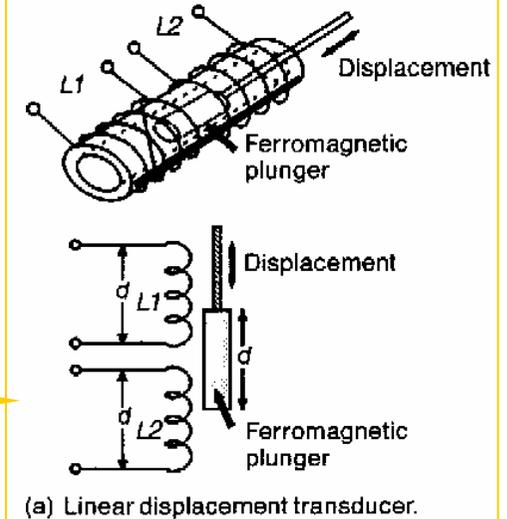
- Un arrollamiento de dos hilos alrededor de una forma cilíndrica
- La posibilidad de movimiento a lo largo del eje de un émbolo ferromagnético
- Las bobinas y el émbolo tienen la misma medida: d
- A medida que el émbolo se mueve, varía la inductancia

■ Las dos inductancias L_1 y L_2 , están normalmente conectadas en un circuito en puente (con dos R) y un A. O. :

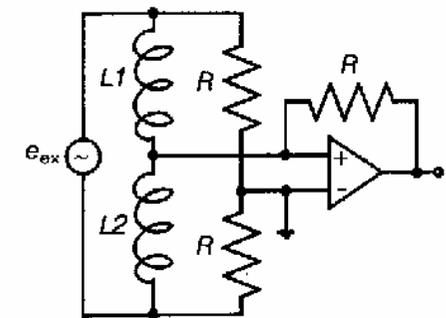
- Cuando el émbolo está en la posición central, las inductancias son idénticas e iguales a L
- Si el émbolo se desplaza δd , entonces producirá cambio en inductancias opuestas $\pm \delta L$.
- Idealmente, entonces $\delta L/L = \delta d/(d/2)$, y la salida del puente nos da una diferencia de potencial igual = $e_{ex}/2 (\delta L/L)$

Un problema: la salida es lineal únicamente en una región limitada (cuando el émbolo está próximo al centro)

J. Turner, et al. 1999



(a) Linear displacement transducer.



J. Turner, et al. 1999

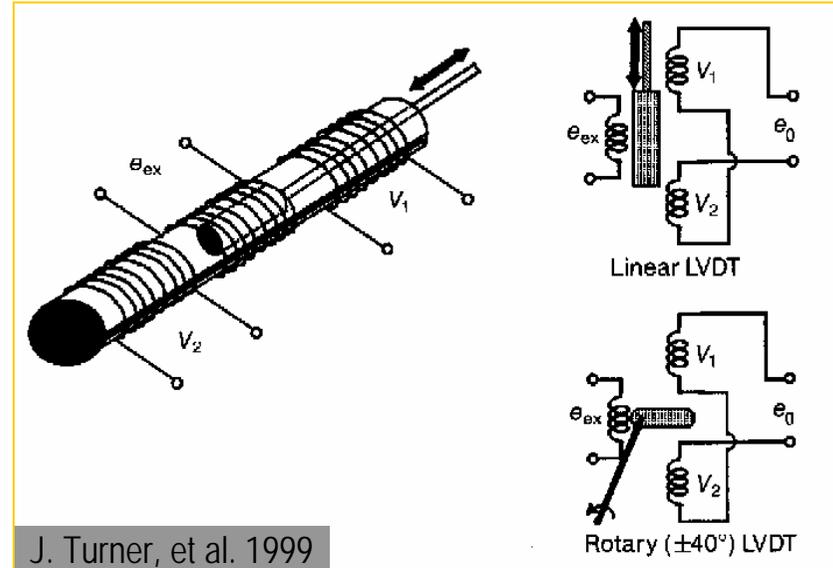
(b) Linear differential transformer connected to bridge circuit.

Tema 5: Sensores de Desplazamiento inductivos

2. Transformadores de acoplamiento variable: LDTs y

- Para mejorar el rendimiento se utiliza los **LVDT** (*linear variable differential transformer*)

- Este dispositivo es un transformador
 - Un arrollamiento simple (primario), alimentado por una tensión AC de entrada e_{ex}
 - Dos arrollamientos secundarios → en los que se obtiene una tensión de salida e_o
- Un émbolo ferromagnético (usualmente una ferrita) se mueve dentro de la forma tubular → se modifica el acoplamiento entre los bobinados primario y secundario
- La amplitud de e_o es prácticamente lineal con d , para un rango considerable
- Un acondicionamiento de señal convierte la salida a DC



■ Sensores / transductores de desplazamiento **inductivos**

- **Ventajas:**
 - No sufren de los problemas asociados con un contacto eléctrico deslizante (*potenciómetros*)
 - La resolución disponible mediante un transformador diferencial lineal variable (**LVDT**) es igual que la obtenida mediante un potenciómetro
- **Desventajas** → son dispositivos de AC y no funcionan con baterías o fuentes de DC

mjmm@usal.es

Maria Jesus Martin Martínez

Tema 5: Sensores de Desplazamiento capacitivos

■ Sensores / transductores de desplazamiento **capacitivos**

- Una capacidad: dos componentes conductores eléctricamente separados por un dieléctrico (o medio no conductor)
- Si se aplica un voltaje V a través del condensador, aparecen cargas iguales, Q , de diferentes signos en los dos componentes conductores

■ La **capacidad** del dispositivo viene definida por el ratio carga/voltaje:

$$C = \frac{Q}{V}$$

■ **CASO PARTICULAR:** condensador formado por dos placas paralelas separadas una distancia d :

$$C = \frac{\epsilon\epsilon_0 A}{d}$$

Cualquier cambio en A , d , o ϵ_r modifica la capacidad → fabricación de sensores

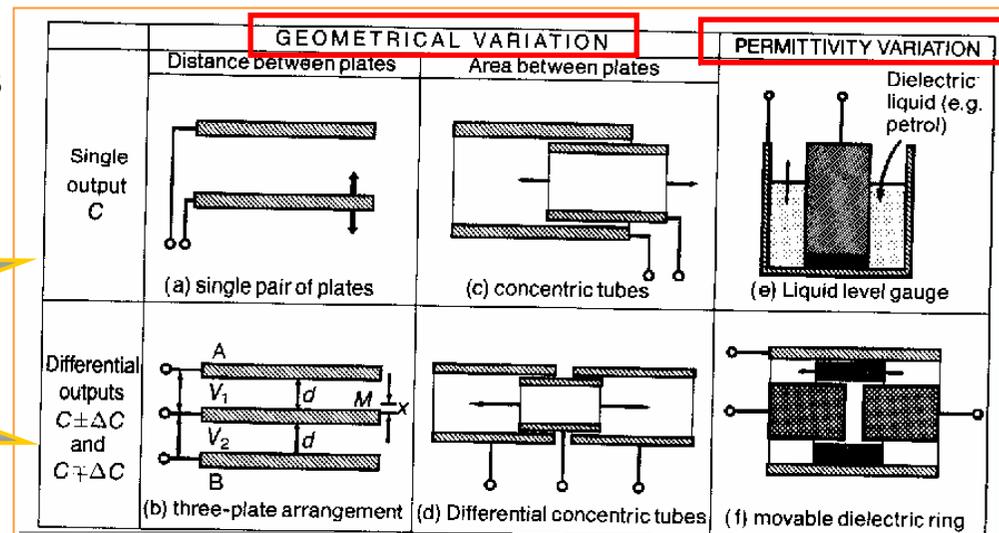
■ La capacidad es función:

- Parámetros geométricos: A , d
- Material (ϵ_r es la permitividad dieléctrica)

■ El sensor capacitivo → mide pequeños desplazamientos con gran sensibilidad (sensores de Presión o de aceleración)

■ Pueden utilizarse:

- salidas simples
- salidas diferenciales



mjmm@usal.es

J. Turner, et al. 1999

Tema 5: Sensores de Desplazamiento ópticos

■ Sensores / transductores de desplazamiento **ópticos**

■ El movimiento lineal y el angular se miden **ópticamente** → métodos de contado de pulsos

■ 1. **Codificadores ópticos**

■ Un **codificador incremental angular** consiste: un disco con ranuras + una fuente de luz (LEDs)+ un fotodetector → el pulso resultante nos indica la velocidad de rotación

■ Si el disco gira a “*n*” revoluc. por minuto (*rpm*) → la velocidad del pulso de salida es $n \cdot S/60$ Hz

■ S es el número de ranuras en el disco (en el ejemplo =16)

■ En estos debe conocerse la posición inicial para poder estimar la posición absoluta)

■ Son más utilizados los **codificadores absolutos angulares** consiste:

■ Existen de 8, 10, 12, 16 bits

La resolución es de $360/(2^n)$ grados

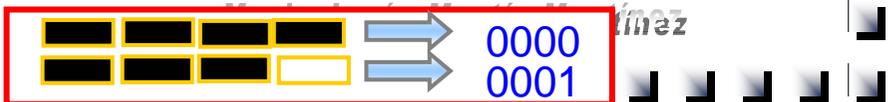
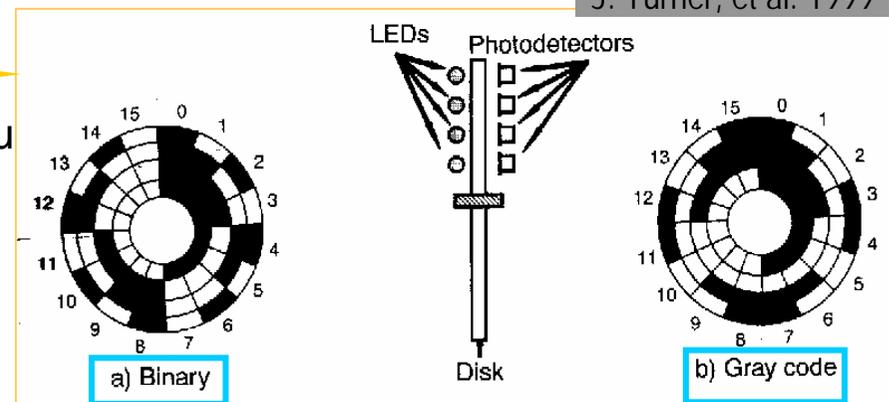
(aumenta su tamaño y precio)

■ Ejemplos de 4 bits

■ Tienen pistas concéntricas que contienen un diseño opaco y transparente

■ Puede leerse el **código binario** (a) mediante los **fotodetectores** (dan lugar a posibles errores en las transiciones cardinales)

■ El **Gray Code** (b) minimiza los errores dado que sólo cambia un “bit” en cada sector



Tema 5: Sensores de Desplazamiento ópticos

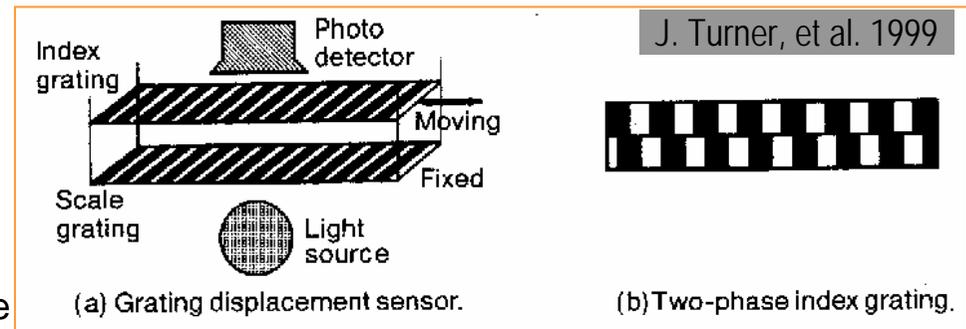
2. Sensores ópticos traslacionales /

Los montajes anteriores también sirven para **movimiento traslacional**

Un ejemplo de sensor de desplazamiento con gran precisión

Consiste en dos rejillas de difracción

- La primera (**rejilla escalada**) está fija
- La otra (**rejilla índice**) está unida al objeto móvil y se desliza sobre la rejilla fija
- A medida que se desliza la apariencia del dispositivo cambia entre luminoso y oscuro, de manera que el movimiento puede estimarse fácilmente



Sensor óptico traslacional

Los **sensores ópticos** Muestran grandes **ventajas**:

- Son digitales de manera inherente
- Son inmunes a las interferencias eléctricas
- No necesitan una conexión mecánica al sensor
- Pueden ser baratos (componentes plásticos)

Grandes ventajas a la hora del acondicionamiento de la señal de salida

Sus principales **desventajas**:

- Son relativamente frágiles
- Su rendimiento disminuye si existe suciedad en los componentes ópticos → se utilizan en aplicaciones de "ambiente limpio" y un rango limitado de temperaturas (**El fotodetector es un dispositivo semiconductor**)

mjmm@usal.es

Maria Jesús Martín Martínez

Tema 5: Sensores de presión

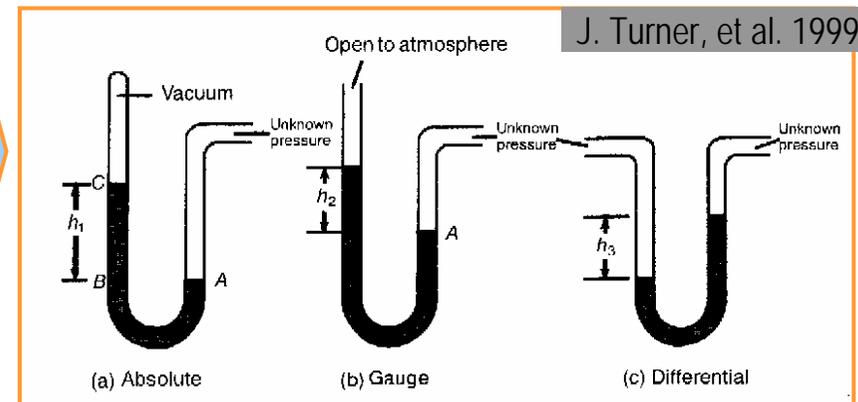
■ Sensores de presión

- Concepto de presión: Cuando un fluido entra en contacto con una superficie, provoca una fuerza perpendicular a la misma
- La presión es la fuerza por unidad de área
- **Pascal** (SI) = N/m^2 , atmósferas, mmHg, bar
- La medida de La Presión puede dividirse en tres categorías:

- Presión **absoluta**: → Diferencia entre la presión en un punto de un fluido y el cero absoluto de presión (vacío absoluto)
 - Un barómetro de **Hg** (sensor de presión absoluta) → la altura de la columna de **Hg** mide la diferencia entre la presión atmosférica y la presión "cero" del vacío sobre el **Hg**
- Presión **gauge**: → Diferencia entre una presión desconocida y la presión atmosférica local
- Presión **diferencial**: Diferencia entre dos presiones desconocidas (ninguna de ellas es la atmosférica)

	1 atm	1 mm Hg	1 Torr	$1 N/m^2$	1 Pascal	1 bar
1 atm	1	760	760	1.013×10^5	1.013×10^5	1.013
1 mm Hg	1.32×10^{-3}	1	1	1.33×10^2	1.33×10^2	1.33×10^{-3}
1 Torr	1.32×10^{-3}	1	1	1.33×10^2	1.33×10^2	1.33×10^{-3}
$1 N/m^2$	9.87×10^{-6}	7.50×10^{-3}	7.50×10^{-3}	1	1	10^{-5}
1 Pascal	9.87×10^{-6}	7.50×10^{-3}	7.50×10^{-3}	1	1	10^{-5}
1 bar	9.87×10^{-1}	7.50×10^2	7.50×10^2	$10^5 N/m^2$	$10^5 N/m^2$	1

webdelprofesor.ula.ve



Medidas de presión **absoluta**, **gauge** y **diferencial** Utilizando **manómetros de Mercurio**

Tema 5: Sensores de presión

■ Existen tres maneras diferentes de medir la presión

- 1. La forma más sencilla: **Equilibrar la presión desconocida** contra la presión producida por una columna de líquido de una densidad conocida → Este sistema es el utilizado por el **MANOMETRO**

■ Análisis de un manómetro

- Consideramos un tubo en U con un líquido de densidad: ρ
- Los puntos A y B están en el mismo nivel horizontal cuando el dispositivo está en equilibrio
- El líquido en el punto C, tiene una altura h_1 sobre B
- Entonces la presión en A es P_A , donde, en el caso (a)

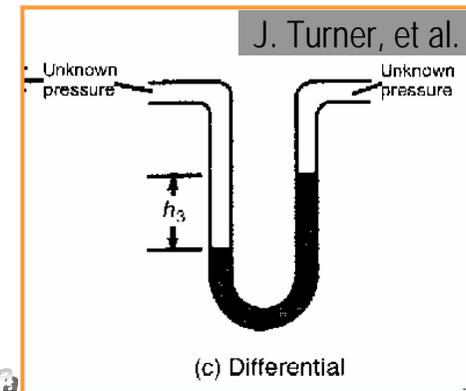
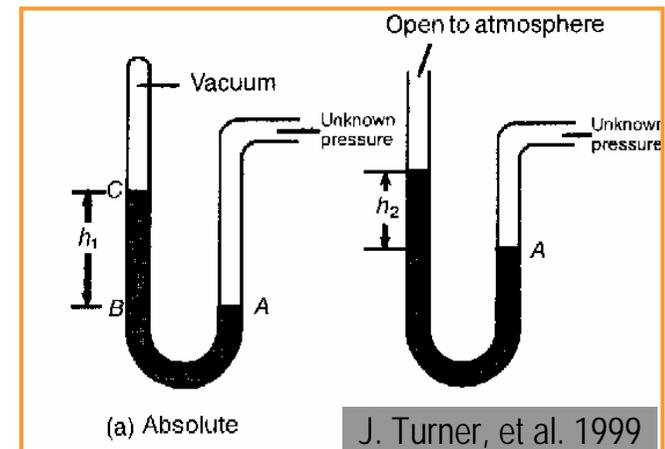
$$P_A = P_B = h_1 \rho$$

- En el caso (b), la presión desconocida en A:

$$P_A = P_B = h_2 \rho + (\text{presión atmosférica})$$

- El análisis es similar para el caso (c), salvo que en este caso, la presión atmosférica debe ser reemplazada por una segunda presión desconocida.

mjmm@usal.es

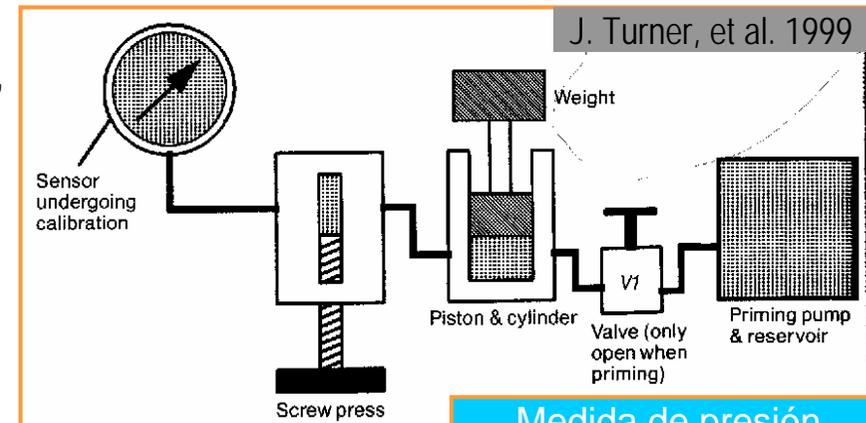


Tema 5: Sensores de presión

- 2. La **segunda** manera.

Involucra que la presión desconocida actúe sobre un área

- Este tipo de dispositivos se denominan: “**dead-weight testers**” (sensores de peso muerto)
- Generalmente se utilizan sólo para **calibrar otros sensores de presión**
- El esquema básico es el **diagrama de bloques**: una bomba principal y depósito, una válvula aisladora, un pistón con un peso, una prensa de tornillo y el dispositivo sensor de presión que va a ser calibrado



Medida de presión “**dead-weigh**” para calibración de sensores

- La secuencia de eventos es la siguiente
 - La prensa de tornillo se lleva a su posición cero
 - Los pesos que representan la presión deseada se colocan sobre el pistón
 - Se utiliza la bomba para dar presión al sistema y la se cierra la válvula V_1
 - Se ajusta la prensa de tornillo de modo que aumente la presión en el sistema hasta subir el pistón a su punto final
 - Despreciando las fuerzas de fricción, si la presión en el pistón es P (Nw/m²), y su área es A (m²) →

$$F = P A_A = W$$

- Conociendo el peso que está sobre el pistón se mide esa presión

Maria Jesús Martín Martínez

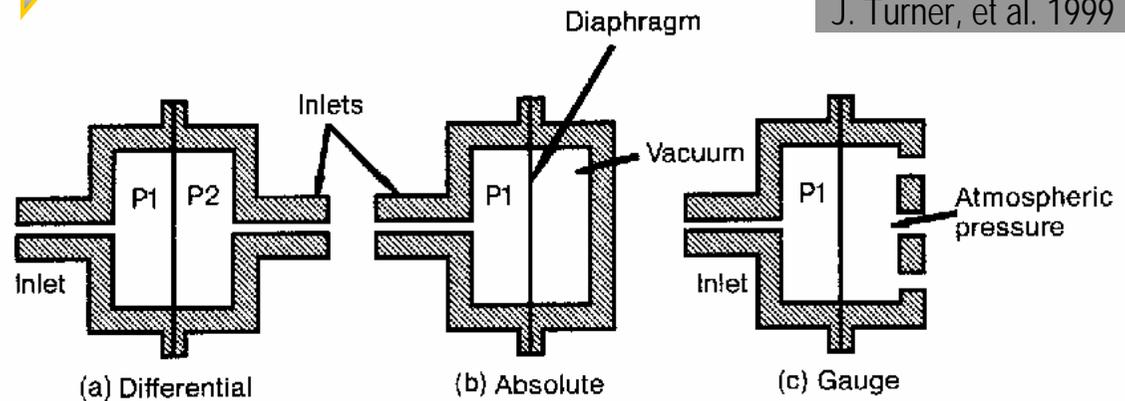
Tema 5: Sensores de presión

2. La **tercera** manera:

La presión desconocida actúa sobre una estructura elástica cuyas propiedades y área son conocidas

- La mayoría de los **sensores comerciales** de presión, adoptan esta forma
- Los “estiramientos”, extensiones o dilataciones se miden de diferentes maneras
- La forma más común de un sensor de presión son **sistemas elásticos** (como un **diafragma** acoplado con galgas extensiométricas)
 - Podemos observar sensores de presión de tipo diafragma para medir las presiones Absoluta, diferencial y gauge

Esquemas generales de sensor de presión:
absoluta, gauge y diferencial



- También pueden utilizarse sistemas capacitivos

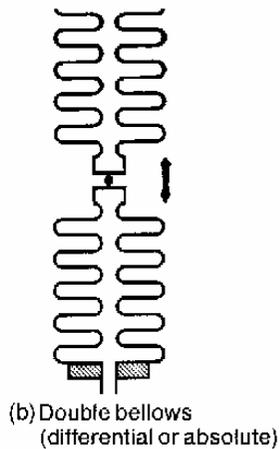
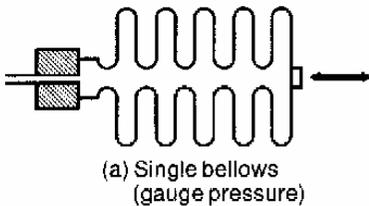
Tema 5: Sensores de presión

■ Sensores de *presión elásticos*:

Conversión de presión a

- Tubos Bourdon
- Fuelles
- Diafragmas y membranas

J. Turner, et al. 1999

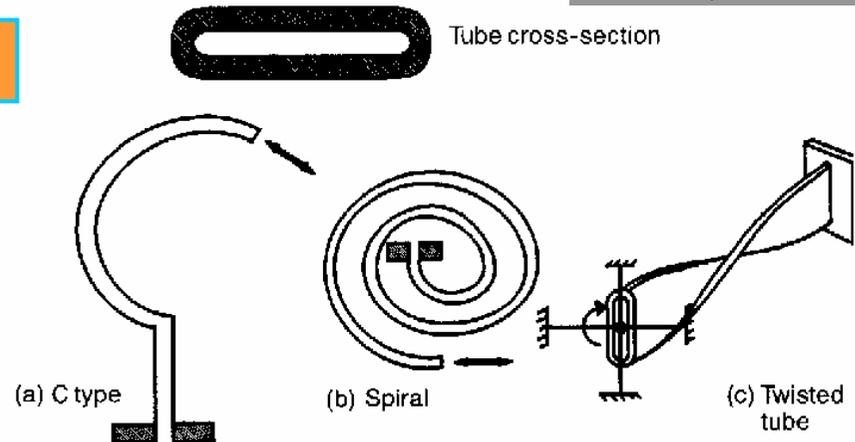


**Sensor de presión:
Fuelles, simples y
dobles**

**Sensor de presión:
Diafragma circular
plano**

mjmm@usal.es

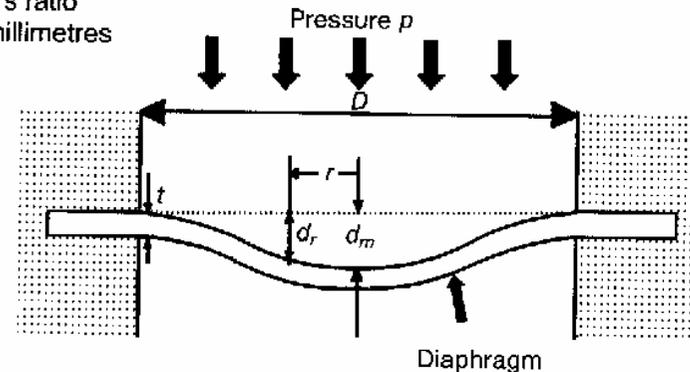
J. Turner, et al. 1999



Tubos Bourdon

J. Turner, et al. 1999

Y = Young's modulus of diaphragm
 ρ = density (SI units)
 ν = Poisson's ratio
 D, t, d_m in millimetres



Maria Jesus Martin Martinez

Tema 5: Sensores de presión

- Cada sensor de presión permite medir con fiabilidad distintos rangos de presiones

Tipo de instrumento	Campo de medida o Rango	
	Óptimo	Exactitud (%)
Tubo en U	20~120 cm H ₂ O	0,5~1,0
Manómetro de pozo	10~300 cm H ₂ O	0,5~1,0
Tubo inclinado	1~120 cm H ₂ O	0,5~1,0
Manómetro campana	0,5~100 cm H ₂ O	0,5~1,0
Bourdon simple	0,5~600 kg/cm ²	2,0
Bourdon espiral	0,5~2500 kg/cm ²	1,5
Bourdon helicoidal	0,5~5000 kg/cm ²	1,5
Fuelle	10 cm H ₂ O~2 kg/cm ²	2,0
Diafragma	5 cm H ₂ O~2 kg/cm ²	1,5
Transductor resistivo	0,5~350 kg/cm ²	0,5
Transductor capacitivo	0~420 kg/cm ²	0,2
Transductor magnético	0~700 kg/cm ²	0,2
Transductor piezoeléctrico	0~350 kg/cm ²	0,2

<http://www.sapiens.itgo.com/documents/doc58.htm>

Agradecimientos

- Figuras cortesía de:
 - VTI sensores. www.vti.fi
 - Nokian Tyres: www.nokiantyres.com
 - Polar Electro. www.polariberica.es/es
 - Reima. www.reima.fi
 - J. Turner, M. Hill. "Instrumentation for Engineers and Scientists". Oxford University Press. 1999.
 - R. Pallás, Sensores y acondicionadores de señal. Marcombo, 1998.
 - Data Acquisition and Control Handbook. Keithley Instruments. 2001. (Instrumentos de Medida S.L.) IDM-Instrumentos.
 - <http://webdelprofesor.ula.ve>
 - <http://www.sapiens.itgo.com/documents/doc58.htm>