

*Sensores  
Acondicionadores  
y  
Procesadores de señal*



*Jordi Mayné*  
Ingeniero de Aplicaciones



ON Semiconductor™



## Índice

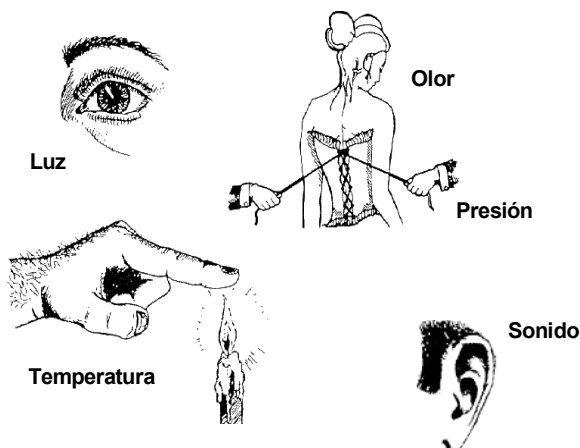
<b>1. Sensores Electrónicos.....</b>	<b>4</b>
1.1 Tipos de Sensores.....	4
1.2 Terminología.....	4
1.3 Acondicionadores y Procesadores de señal.....	1
<b>2. Sensores de Temperatura.....</b>	<b>2</b>
2.1 Introducción.....	2
2.2 Tipos de Sensores de Temperatura.....	2
2.3 Sensores de Temperatura con Termopares.....	2
2.3.1 Acondicionadores de señal para Termopares. AD594.....	3
2.4 Sensores de Temperatura con elementos Resistivos.....	4
2.4.1 RTD (Resistance Temperature Detector).....	4
2.4.2 Acondicionadores de señal para las RTD.....	4
2.4.3 Termistores.....	5
2.4.4 NTC (Negative Termal Coefficient).....	5
2.5 Sensores de Temperatura con Semiconductores.....	6
2.6.1 Sensores de Temperatura con Salida en Corriente.....	7
2.6.2 Sensores de Temperatura con Salida en Tensión.....	8
2.6.3 Sensores de Temperatura con Salida Digital.....	8
2.6.4 Sensores de Silicio con efecto Resistivo.....	9
2.6.4 Termostatos.....	11
2.6.5 Aplicación de control de flujo de aire en ventiladores.....	14
<b>3. Sensores de Humedad.....</b>	<b>15</b>
3.1 Acondicionadores de señal para sensores de Humedad.....	15
<b>4. Sensores de Presión.....</b>	<b>16</b>
4.1 Sensores de Presión Resistivos.....	16
4.1.1 Acondicionadores de señal para una Célula de Carga.....	18
4.2 Sensores Piezoeléctricos.....	19
4.3 Sensores de Presión con Semiconductor.....	19
4.3.1 Funcionamiento.....	19
4.3.2 Posibilidades de elección.....	20
4.3.3 Estructura básica.....	20
4.3.4 Tipos de medición.....	20
4.3.5 Tipos de complejidad del chip.....	21
4.3.6 Acondicionador de la señal interno.....	21
4.3.7 Montaje y opciones de los sensores de Presión de la Serie MPX de Motorola.....	22
4.2.8 Aplicaciones de medida de Presión.....	22
<b>5. Sensores de Posición.....</b>	<b>23</b>
5.1 Sensores de Posición Inductivos.....	23
5.2 Sincros y Resolvers.....	23
5.2.1 Señales de formato Sincro.....	23
5.2.2 - Señales de formato Resolver.....	24
5.2.3 Modelos estándares de Sincros y Resolvers.....	25
5.2.4 Convertidores de Resolver a digital.....	25
5.3 RVDT y LVDT (Rotatory and Lineal Variable Differential Transformers).....	26
5.3.1 Como trabajan los LVDT.....	26
5.3.2 Como trabajan los RVDT.....	27
5.3.4 Acondicionamiento de Señal de los LVDT.....	27
5.3.5 Fabricantes de LVDT.....	28
5.4 Inductosyn® Lineales y Inductosyn® Rotatorios.....	28
5.4.1 Inductosyn Lineal.....	28
5.4.2 Inductosyn Rotatorio.....	29
5.5 Sensores de Posición Resistivos.....	29
5.6 Sensores Magnéticos.....	30
5.6.1 Sensores Magnetorresistivos.....	30
5.6.2 Brujula Electrónica.....	32
5.6.4 Medida de Posición lineal y de Proximidad.....	34
5.6.5 Medición Angular.....	35
5.6.6 Sensor Magnetico-Resistivos Gigante (GMR) para la medida de ángulos.....	36
5.7 Sensores de Efecto Hall.....	37
5.8 Sensores Ópticos.....	38
5.8.1 Foto-interruptores de barrera.....	38

5.8.2 Foto interruptores reflectivos .....	38
5.8.3 Encoders ópticos .....	38
<b>6 Sensores de Movimiento (Posición, Velocidad y Aceleración) .....</b>	<b>39</b>
6.1 Medición de la Aceleración .....	39
6.1.1 Acelerómetros Capacitivos .....	39
6.1.3 Funcionamiento del sensor micromecanizado.....	40
6.1.4 Otras Aplicaciones .....	41
6.1.5 Otros Desarrollos .....	41
6.2 Medida de Inclinación.....	42
6.3 Medida inercial de la velocidad y la posición .....	42
6.4 Giróscopos monolíticos.....	43
6.4.1 Medida de la velocidad angular .....	43
<b>8. Sensores de Corriente Eléctrica .....</b>	<b>45</b>
8.1 Sensor de Corriente Inductivo .....	45
8.2 Sensor de Corriente Resistivo .....	45
8.2.1 Acondicionador de Señal de un Shunt .....	45
8.2.2 Selección de la Resistencia Sensor de Corriente (Shunt) .....	46
8.3 Sensores de corriente por campo magnético .....	46
8.4 Bobina Rogowsky .....	48
8.5 Medición de Energía .....	49
<b>9. Sensores de Luz .....</b>	<b>50</b>
9.1 Fotodiodos.....	50
9.2 Sensores de Imagen.....	50
9.2.1 CCD (Charge-Coupled Device) .....	51
9.2.2 CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) .....	51
9.2.3 Formatos de los sensores de imagen .....	51
9.2.3 Fabricantes de sensores de imagen.....	51
9.2.5 Procesado y compresión de video .....	52
<b>10. Sensores Biométricos .....</b>	<b>53</b>
<b>11. Sensores de Gases.....</b>	<b>54</b>
<b>12. Sensores de Humo .....</b>	<b>54</b>
<b>13. Sensores de Conductividad.....</b>	<b>55</b>
<b>14. Acondicionadores .....</b>	<b>56</b>
14.1 Consideraciones sobres los Amplificadores Operacionales: .....	56
14.1.1 Amplificador Operacional “Ideal” .....	56
14.1.2 Amplificador Operacional “Real” .....	56
14.1.3 Categorías de los Amplificadores .....	57
<b>15. Procesadores en un sistema de adquisición de señal .....</b>	<b>58</b>
Microcontroladores: .....	58
DSP .....	59

## Historia de los Sensores

Un sensor es cualquier dispositivo que detecta una determinada acción externa. Los sensores existen desde siempre, y nunca mejor dicho, porque el hombre los tiene incluidos en su cuerpo y de diferentes tipos.

El hombre experimenta sensaciones como calor o frío, duro o blando, fuerte o flojo, agradable o desagradable, pesado o no. Y poco a poco le ha ido añadiendo adjetivos a estas sensaciones para cuantificarlas como frígido, fresco, tibio, templado, caliente, tórrido. Es decir, que día a día ha ido necesitando el empleo de magnitudes medibles más exactas.



### 1. Sensores Electrónicos

Los sensores electrónicos han ayudado no solo a medir con mayor exactitud las magnitudes, sino a poder operar con dichas medidas. Pero no se puede hablar de los sensores sin sus acondicionadores de señal, ya normalmente los sensores ofrecen una variación de señal muy pequeña y es muy importante equilibrar las características del sensor con las del circuito que le permite medir, acondicionar, procesar y actuar con dichas medidas.

Este trabajo pretende hacer una recopilación de los sensores, acondicionadores y procesadores actuales, así como su evolución. Hay que remarcar que dicha recopilación se ha centrado en los productos que distribuye SILICA. Por supuesto, la rápida evolución de estos componentes hace que este trabajo nunca esté al día ni terminado, por lo que hay que consultar en cada momento el estado actual de los mismos.

#### 1.1 Tipos de Sensores

Existe una gran cantidad de sensores en el mercado, para poder medir magnitudes físicas, de los que se pueden enumerar los siguientes:

- |                 |                |
|-----------------|----------------|
| ⇒ Temperatura   | ⇒ Resistividad |
| ⇒ Humedad       | ⇒ Biométricos  |
| ⇒ Presión       | ⇒ Acústicos    |
| ⇒ Posición      | ⇒ Imagen       |
| ⇒ Movimiento    | ⇒ Aceleración  |
| ⇒ Caudal        | ⇒ Velocidad    |
| ⇒ Luz           | ⇒ Inclinación  |
| ⇒ Imagen        | ⇒ Químicos     |
| ⇒ Corriente     | ⇒ ...          |
| ⇒ Conductividad |                |

#### 1.2 Terminología

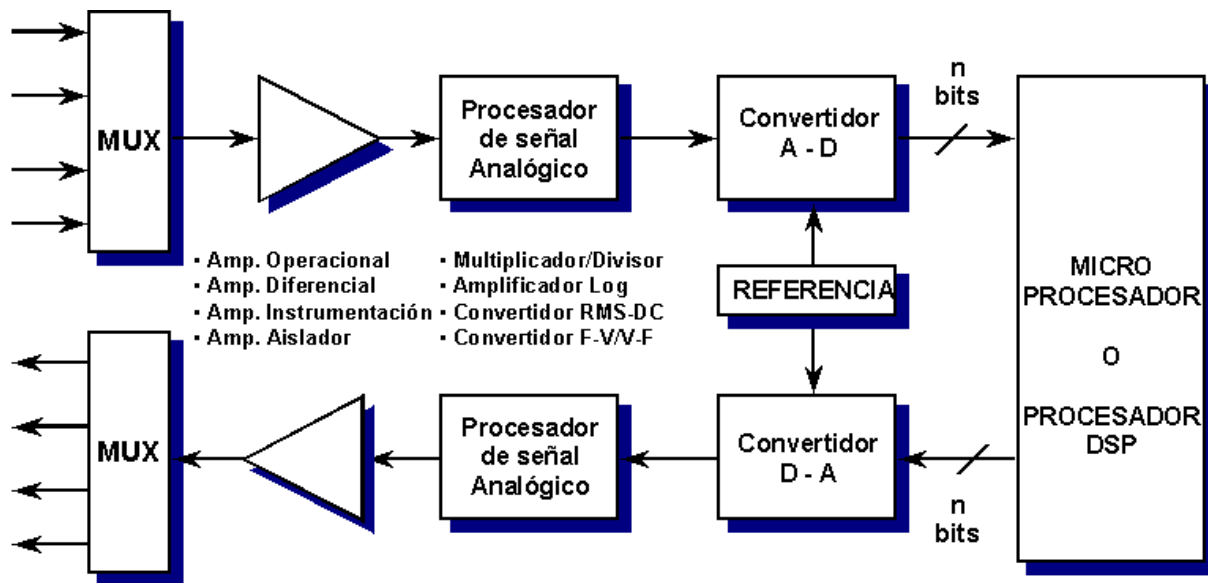
En general se habla de sensores, pero se pueden distinguir las siguientes definiciones:

- **Sensor:** Es un dispositivo que recibe una señal o estímulo y responde con una señal eléctrica. Además los sensores pueden ser *activos* o *pasivos*.
  - *Sensor activo:* Es un sensor que requiere una fuente externa de excitación como las RTD o células de carga.
  - *Sensor pasivo:* Es un sensor que no requiere una fuente externa de excitación como los termopares o fotodiodos.
- **Transductor:** Es un convertidor de un tipo de energía a otra.

### 1.3 Acondicionadores y Procesadores de señal

No se puede hablar de los sensores, como componentes electrónicos básicos, sin ver como se pueden adaptar a un sistema de adquisición y control. Por lo que se tendrán que ver las nuevas tecnologías de adaptación de estos sensores que como parte de una cadena de dispositivos, forman un sistema.

Estos adaptadores, como acondicionadores de señal, son los amplificadores operacionales en sus diferentes estructuras de montaje, pasando por filtros o por procesadores analógicos, convirtiendo estas señales de analógico a digital para posteriormente ser procesados los datos con un DSP o Microcontrolador y actuando por medio de las salidas lógicas del procesador o por medio de un convertidor digital a analógico.



Durante la descripción de los diferentes tipos de sensores se irán viendo los circuitos más apropiados que forman parte de esta cadena.

## 2. Sensores de Temperatura

### 2.1 Introducción

Probablemente sea la temperatura el parámetro físico más común que se mide en una aplicación electrónica, incluso en muchos casos en que el parámetro de interés no es la temperatura, ésta se ha de medir para incluir indirectamente su efecto en la medida deseada.

La diversidad de sus aplicaciones ha condicionado igualmente una gran proliferación de dispositivos sensores y transductores, desde la sencilla unión bimetálica de los termostatos, hasta los dispositivos semiconductores más complejos.

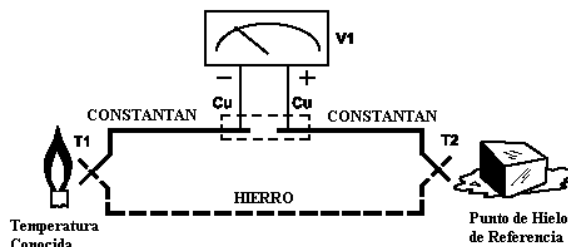
### 2.2 Tipos de Sensores de Temperatura

1. **Termopares:** Los termopares utilizan la tensión generada en la unión de dos metales en contacto térmico, debido a sus distintos comportamientos eléctricos.
2. **Resistivos:** Lo constituyen las RTD (Resistance Temperature Detector) o PT100 basadas en la dependencia de la resistividad de un conductor con la temperatura, están caracterizadas por un coeficiente de resistividad positivo PTC (Positive Thermal Coefficient). También lo son las NTC (Negative Thermal Coefficient), que se llaman termistores y están caracterizadas por un coeficiente de temperatura negativo.
3. **Semiconductores:** Se basan en la variación de la conducción de una unión p-n polarizada directamente.

### 2.3 Sensores de Temperatura con Termopares

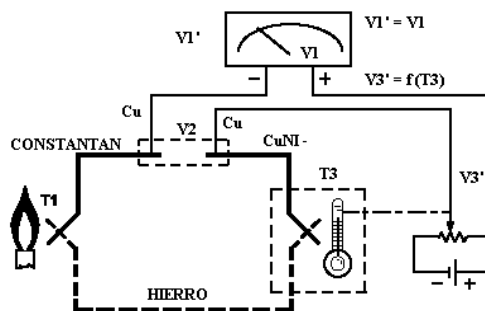
Los termopares son baratos y robustos, tienen una estabilidad bastante buena a lo largo del tiempo. Debido a su pequeño tamaño, responden rápidamente a los cambios de temperatura. Funcionan sobre rangos de temperatura criogénos, tiene una linealidad y exactitud razonable. Debido a que el número de electrones libres en un metal depende de la temperatura y de la composición del metal, dos metales de desigual isoterma, dan una diferencia de potencial que es una función repetible de la temperatura, como se muestra en la figura. El voltaje resultante depende de las temperaturas, T1 y T2, de una manera repetible.

Puesto que el termopar es básicamente un dispositivo de medida diferencial, se necesita una temperatura de referencia conocida para una de las uniones, así la temperatura de la otra unión será deducida del voltaje de salida. Los termopares están fabricados de materiales especialmente seleccionados que se han caracterizado exhaustivamente en términos de voltaje con la temperatura de comparación, que normalmente es la del punto de agua/hielo de 0°C.



Voltaje del termopar con Referencia a 0° C.

De todas maneras, se usa una técnica de medida alternativa mostrada en la figura siguiente, en las aplicaciones prácticas donde los requisitos de exactitud no necesitan mantener las normas primeras. La temperatura de la unión de referencia se permite cambiar con el entorno del sistema de medida, pero es medida cuidadosamente por algún tipo de termómetro absoluto. Se puede usar una medida del voltaje del termopar combinada con una temperatura de referencia conocida para calcular la temperatura de la unión medida. Sin embargo, en la practica se usa un método termoelectrico para medir la temperatura de referencia y poner el voltaje de salida para que corresponda a un termopar referido a 0°C. Simplemente, este voltaje se añade al voltaje del termopar y entonces la suma corresponde al voltaje normal tabulado para un termopar de referencia de punto de hielo.

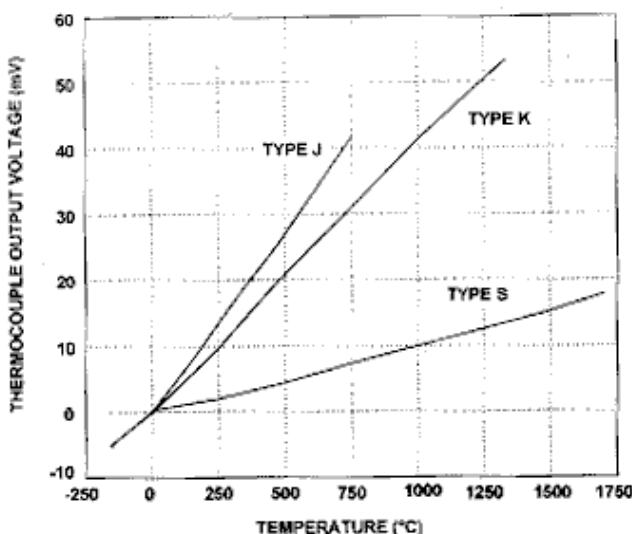


Substitución de la Temperatura de Referencia para Referencia del Punto de Hielo.

En la tabla siguiente se muestra los distintos tipos de termopares con su rango típico, su sensibilidad y la designación estándar.

Material de la unión	Rango Típico (°C)	Sensibilidad (μV/°C)	Designación
Pt6%/Rodio – Pt(30%)/Rodio	38 a 1800	7.7	B
Tungsteno(5%)/Renio–Tungsteno(26%)/Renio	0 a 2300	16	C
Cromo- Constantan	0 a 982	76	E
Hierro – Constantan	0 a 760	55	J
Cromo – Aluminio	-184 a 1260	39	K
Pt(13%)/Rodio – Pt	0 a 1593	11.7	R
Pt(10%)/Rodio – Pt	0 a 1538	10.4	S
Cobre- Constantan	-184 a 400	45	T

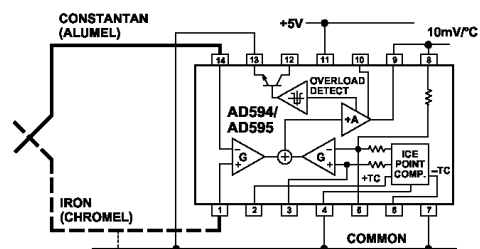
En la figura siguiente se muestra la curva de algunos termopares con sus características eléctricas.



El hecho de que los termopares sean dispositivos de bajo nivel de tensión, a la vez que de baja impedancia, hace que el acondicionador de señal sea totalmente imprescindible. Además, la linealidad en algunos tipos es pobre, aunque el hecho de ser predecible y repetible, lo que permite que puedan ser compensados analógicamente y/o digitalmente.

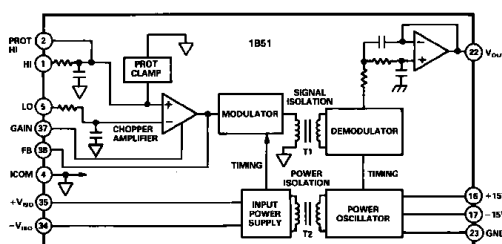
**2.3.1 Acondicionadores de señal para Termopares. AD594**

Analog Devices dispone de unos circuitos integrados acondicionadores de señal para termopares, como el AD594, mostrado en la figura siguiente, para termopares tipo J que tienen un amplificador de instrumentación y un compensador lineal, una salida de alarma de rotura o desconexión del termopar, se alimenta a +5V y suministra una salida de 10mV/°C.



Acondicionador de señal de un termopar

Analog Devices con la división denominada Iomation tiene una serie de acondicionadores de señal en forma de módulos híbridos y en concreto para termopares tiene el módulo 1B51 aislado para aplicaciones industriales, donde dan una solución completa.



Acondicionador de termopar con el módulo 1B51 de Analog Devices

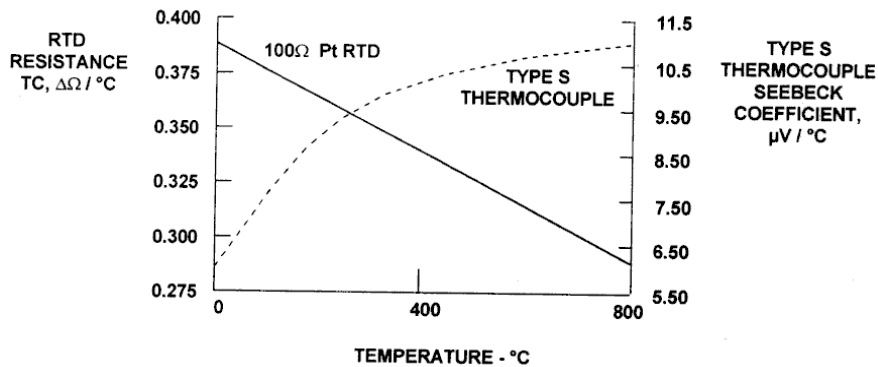
**2.4 Sensores de Temperatura con elementos Resistivos**

**2.4.1 RTD (Resistance Temperature Detector)**

Los dispositivos RTD más comunes están contruidos con una resistencia de platino (Pt), llamadas también PRTD, aunque también se utilizan otros materiales cuyas características se recogen en la tabla siguiente. Típicamente tienen una resistencia entre 20Ω y 20kΩ. La ventaja más importante es que son lineales dentro del rango de temperatura entre -200°C y 850°C.

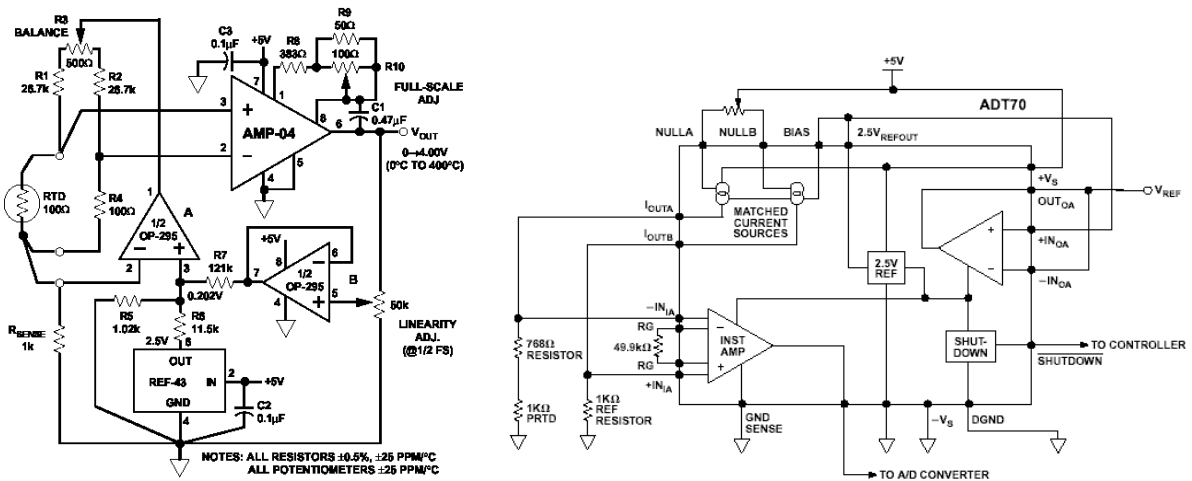
Material	Rango de temperatura (°C)	Variación coef (%/°C a 25°C)
Platino	-200 a + 850	0.39
Níquel	-80 a 320	0.67
Cobre	-200 a +260	0.38
Níquel-acero	-200 a +260	0.46

La gráfica muestra la respuesta de la resistencia de la RTD con la temperatura y la comparativa respecto a un termopar tipo S.

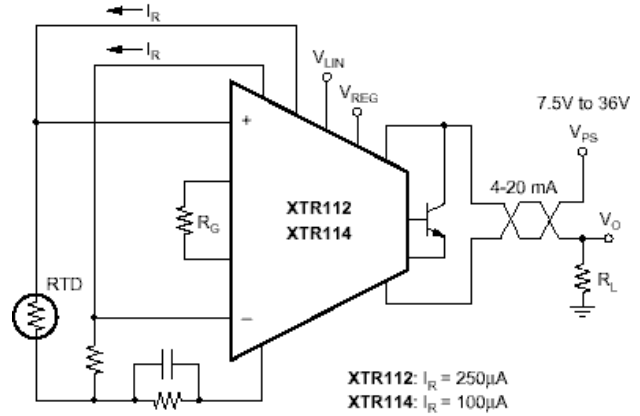
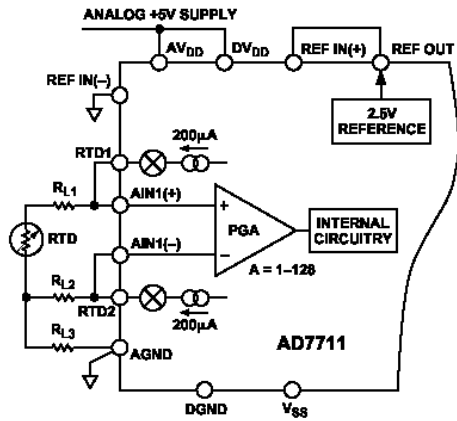


**2.4.2 Acondicionadores de señal para las RTD**

Hay muchas maneras de acondicionar la señal que se recibe de una RTD. La primera propuesta de *Analog Devices* es con un amplificador de instrumentación y su circuitería adicional, figura de la izquierda y la segunda propuesta algo similar con el circuito ADT70 perfectamente adecuado para acondicionar las PRTD de Pt, que entrega una salida de 5mV/°C cuando se utiliza una RTD de 1kΩ.



La tercera propuesta es por medio de una familia de convertidores sigma-delta que incluyen acondicionan la señal de una RTD, con una fuente de corriente de 400μA, un amplificador de ganancia programable y un filtro digital, disponen de una salida serie hacia un microcontrolador o DSP. *Texas Instruments* dispone de un completo acondicionador de RTD con un transmisor 4-20 mA.

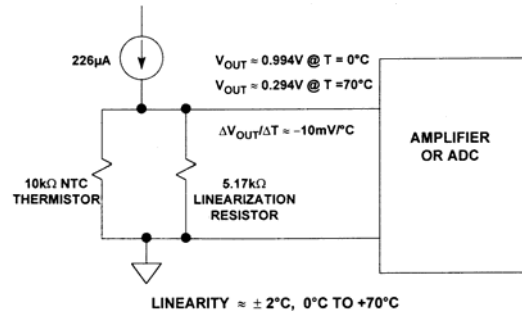
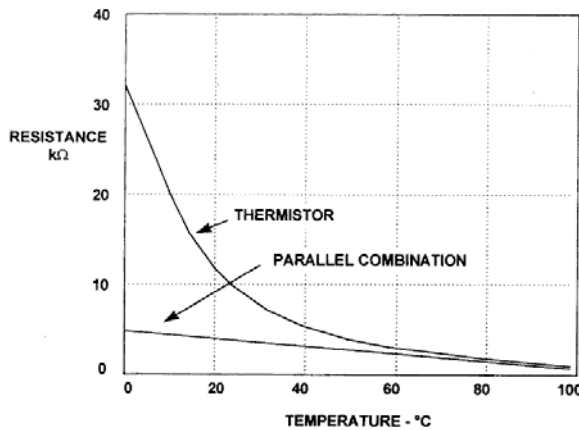


**2.4.3 Termistores**

Otros sensores resistivos mucho más económicos que las RTD son los termistores, aunque no son lineales son mucho más sensibles, pueden tener un coeficiente de temperatura positivo o negativo, estos últimos son los más usados y se denominan NTC.

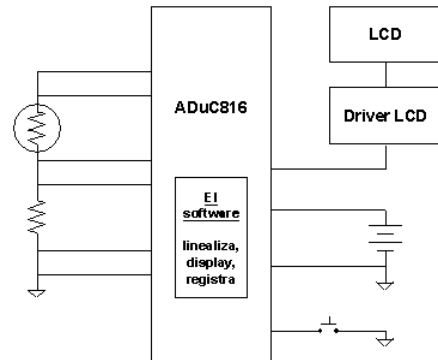
**2.4.4 NTC (Negative Thermal Coefficient)**

Los termistores NTC son resistencias sensibles a la temperatura, están fabricados de una mezcla de óxidos de Mn, Ni, Co, Cu, Fe y están moldeados en un cuerpo cerámico de varios tamaños, típicamente tienen una resistencia entre 50Ω y 1M Ω a 25°C y una sensibilidad del 4%/°C a 25°C. El efecto de Coeficiente Negativo con la Temperatura puede resultar de un cambio externo de la temperatura ambiente o un calentamiento interno debido al efecto Joule de una corriente que fluye a través del termistor. La curva del termistor se puede linealizar con una resistencia montada en paralelo con la NTC.



Características más comunes de los Termistores o NTC y circuito de linealización.

Los termistores se pueden conectar directamente a la entrada de un convertidor A/D de un microcontrolador cualquiera para procesar la señal, como se muestra en el ejemplo con los Microconverters de Analog Devices, la familia AduC8xx que incluye todo un sistema completo de adquisición de precisión, así como un microcontrolador con memoria Flash que puede procesar y visualizar los datos.



**2.4.4 PTC (Positive Temperature Coefficient)**

Los termistores PTC son resistencias que principalmente están compuestas de bario y estroncio con titanio. La adición de dopantes hace que la componente semiconductor dé una característica de resistencia con respecto a la temperatura, aunque son muy poco utilizados.

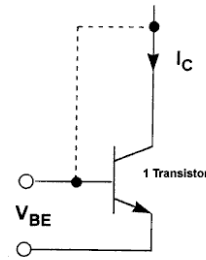
**2.5 Sensores de Temperatura con Semiconductores**

Como anteriormente se ha mencionado, la corriente de conducción de una unión p-n polarizada directamente, responde exponencialmente con la tensión de forma directa, e inversa con la temperatura. Si se recuerda la ecuación característica de funcionamiento de un diodo.

$$I = I_{sat} \times e^{q/kT \cdot V}$$

Donde :

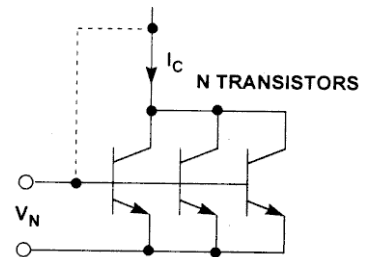
- q** = carga del electrón,
- k** = constante de Boltmann,
- T** = temperatura
- I<sub>sat</sub>** = corriente de saturación.



$$V_{BE} = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_C}{I_S}\right)$$

De esta ecuación se desprende que, a corriente constante, la tensión varía a razón de -2.2 mV por cada grado centígrado (°C), lo que la conveniente de la *no linealidad*. Considerando el diodo formado por la unión base-emisor de un transistor bipolar.

Pero además de la variación con T, mantiene una fuerte dependencia de **I<sub>sat</sub>** con la temperatura, lo que hace que no sea directamente utilizable debido a la compleja forma de dependencia con la temperatura. Si se toman N transistores idénticos al primero sobre los que se reparte igualmente la misma corriente **I<sub>c</sub>**.



$$V_N = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_C}{N \cdot I_S}\right)$$

- $\Delta V_{BE} = V_{BE} - V_N = \frac{kT}{q} \ln(N)$
- INDEPENDENT OF **I<sub>c</sub>**, **I<sub>s</sub>**

Si se toma la tensión diferencia entre ambos conjuntos, se tendrá una tensión proporcional a la temperatura absoluta pero sin tener dependencia alguna con **I<sub>sat</sub>**.

$$\Delta V_{BE} = V_{BE} - V_N = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_C}{I_S}\right) - \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_C}{N \cdot I_S}\right)$$

$$\Delta V_{BE} = V_{BE} - V_N = \frac{kT}{q} \left[ \ln\left(\frac{I_C}{I_S}\right) - \ln\left(\frac{I_C}{N \cdot I_S}\right) \right]$$

$$\Delta V_{BE} = V_{BE} - V_N = \frac{kT}{q} \ln\left[ \frac{\left(\frac{I_C}{I_S}\right)}{\left(\frac{I_C}{N \cdot I_S}\right)} \right] = \frac{kT}{q} \ln(N)$$

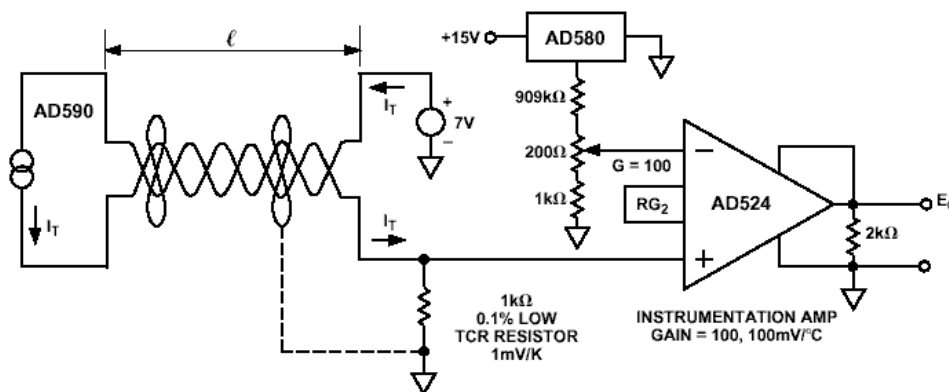
De esta manera, puede construirse un circuito conteniendo N+1 transistores NPN, un espejo de corriente PNP y una resistencia estable con la temperatura, como se muestra en la figura siguiente, cuya corriente será proporcional a la temperatura absoluta, como lo será igualmente la caída de tensión sobre la resistencia R (que representa la diferencia entre V y V<sub>n</sub> de las ecuaciones anteriores).

	Salida en Corriente	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inmune a los errores de resistencia de los hilos de conexión</li> <li>• Es posible medir a largas distancias</li> </ul>
	Salida en Tensión	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Radiométrica y No-Radiométrica</li> <li>• Implementación flexible de las aplicaciones</li> </ul>
	Acondicionador de señal de Termopar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No requiere componentes externos activos</li> <li>• Características adicionales, como la alarma a la rotura del termopar o de los hilos de conexión.</li> </ul>
	Controlador "Set Point"	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Simple y fácil de usar</li> <li>• Amplio gama y número de "set-points"</li> </ul>
	Salida en PWM	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inmunidad al ruido</li> <li>• Encapsulado en 3-Pins</li> </ul>
	Salida Digital	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Completo, No acondicionador de señal externo</li> <li>• Límites programables</li> </ul>
	Sensor Remoto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Altamente integrado para sistemas de control de Temperatura</li> <li>• Límites programables</li> </ul>

**2.6.1 Sensores de Temperatura con Salida en Corriente**

El circuito descrito en la figura anterior es la base del sensor de temperatura “band-gap”, en el que se apoyan dispositivos tales como el AD590, AD592 y AD2626 de *Analog Devices*, que son dispositivos de dos terminales cuya corriente de salida es proporcional a la temperatura, variando a razón de 1µA por cada °K de variación y un offset de 273.2µA a una temperatura de 273.2°K (0°C) en el caso del AD590. No necesitan calibración alguna o ajuste externo.

La figura siguiente se muestra una aplicación típica para medir de -55 a +100°C con una salida de 100mV/°C. La salida de la referencia de tensión AD580, de 2.500V, es dividida por una red de resistencias para fijar un offset de 273.2mV para obtener la tensión de 0V a 0°C (273°K); el AD524 es un amplificador de instrumentación con una ganancia de 10 con lo que el rango de salida se corresponde con una tensión de -5.5V a 10V (para temperaturas desde -55°C a +100°C con una resolución de 100mV/°C), pero para un rango de entrada de 10mV/°C. Esta tensión, considerablemente pequeña, puede verse afectada por el ruido, tanto más cuanto más alejado se encuentre el sensor del circuito de amplificación.

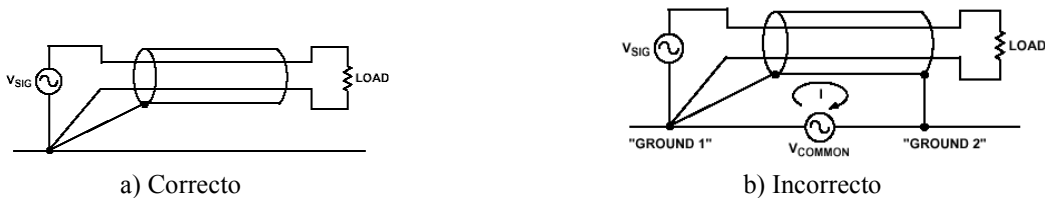


**Configuración básica del circuito sensor de temperatura AD590.**

Los ruidos pueden afectar la medida y pueden proceder del propio circuito como los transitorios en la alimentación o ruidos digitales. Se deberá proteger cuidadosamente el diseño del circuito impreso (masas analógicas y digitales separadas, desacoplos en las alimentaciones, etc.). Pero las fuentes de ruido también

pueden ser externas y acoplarse o inducirse sobre el propio sensor o sobre el cable. Estas fuentes de ruido pueden ser ruidos industriales, la propia red eléctrica o incluso emisiones de radio (y ser “rectificadas” por el propio sensor que se comporta como una fuente de corriente de alta impedancia).

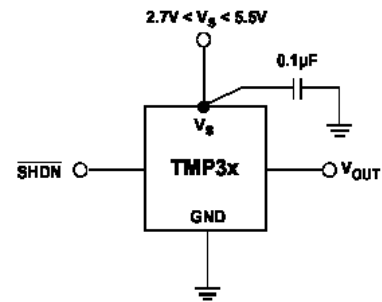
Para reducir todas estas influencias externas, una buena solución puede ser el empleo de cables trenzados, con lo que se eliminan los ruidos en modo diferencial o el uso de cable apantallado. Pero el apantallamiento, para que sea efectivo, debe hacerse de tal manera para no añadir efectos indeseados, debidos a las tensiones generadas en los bucles de masa. Por regla general, las pantallas solo deben conectarse a masa en uno de los extremos.



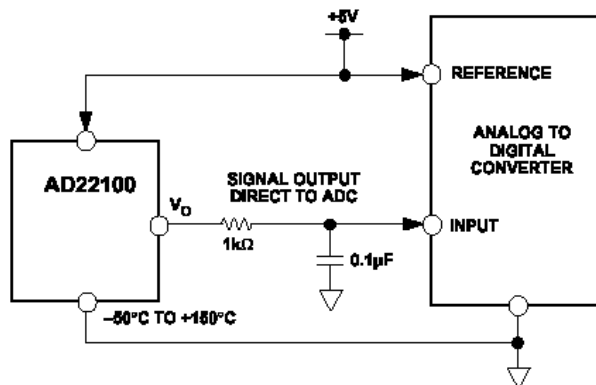
**Conexión del cable apantallado de un sensor.**

**2.6.2 Sensores de Temperatura con Salida en Tensión**

El sensor más elemental que entrega directamente una tensión proporcional a la temperatura es el TMP35 de *Analog Devices*, que puede funcionar a 3V e incorporan el terminal “shutdown” para dejar el dispositivo en muy bajo consumo. No necesita calibración o ajuste externo asegurando una precisión mejor que 1°C en todo el rango completo de trabajo. Su bajo consumo (menor que 150µA) elimina los efectos indeseados debidos al autocalentamiento, que puede cuantificarse menor que 0.1°C sobre la temperatura ambiente. La salida es directamente 10mV por grado, es decir, 100 mV corresponde a una temperatura de 10°C y 1000mV corresponde a 100°C.



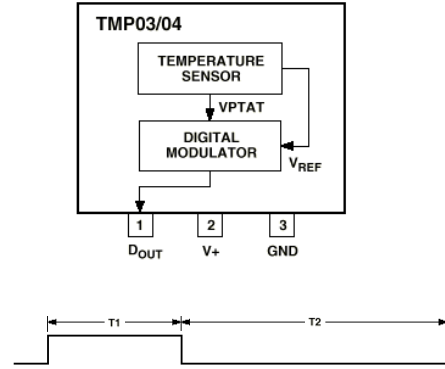
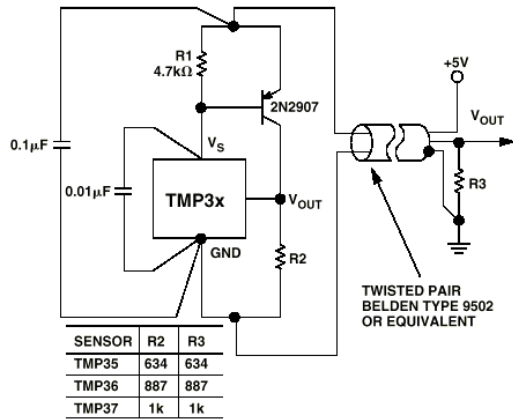
Los AD22100 y AD22103 con salida radiométrica con la tensión de alimentación, lo que eliminan la necesidad de tensiones de alimentación altamente estables o de referencias de precisión cuando se emplea como entrada de un conversor A/D.



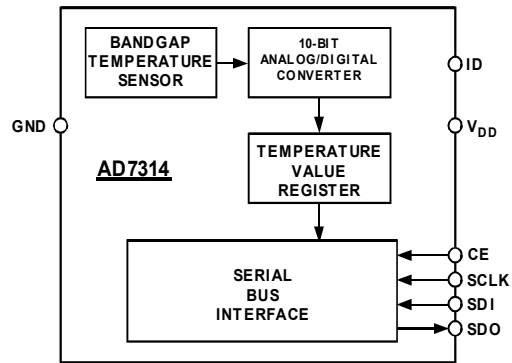
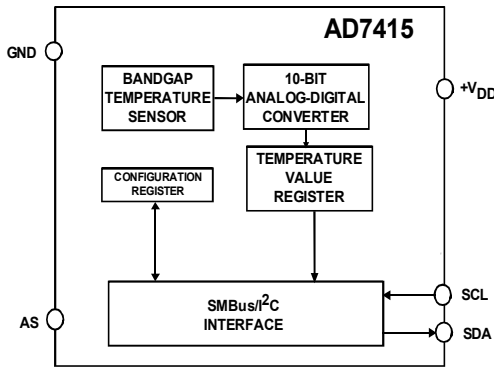
**Aplicación de los sensores radiométricos AD22100.**

**2.6.3 Sensores de Temperatura con Salida Digital**

La incorporación de dispositivos digitales integrados junto con el sensor reduce el número de componentes externos en las aplicaciones. Así, los circuitos de *Analog Devices* TMP03 con salida colector abierto y el TMP04 con salida lógica CMOS, proporcionan una salida digital serie con modulación de ancho de pulsos, PWM.



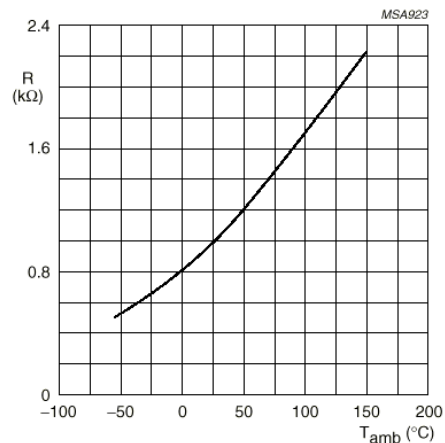
Otros dispositivos sensores de temperatura pueden tener una salida I2C o pueden incorporar un convertidor A/D sigma-delta, como el LM75 de Philips o el AD7415 de Analog Devices o su homologo con SPI el AD7314.



**2.6.4 Sensores de Silicio con efecto Resistivo**

La familia de sensores de temperatura de silicio de Infineon y Philips KTY son de alta exactitud, lineales y con una excelente estabilidad a lo largo del tiempo, son una alternativa a los sensores más convencionales basados en la tecnología NTC o PTC. Las propiedades de estos sensores de temperatura están basadas en el comportamiento estable del silicio. Esto significa que las derivas por la temperatura son despreciables durante la vida del equipo.

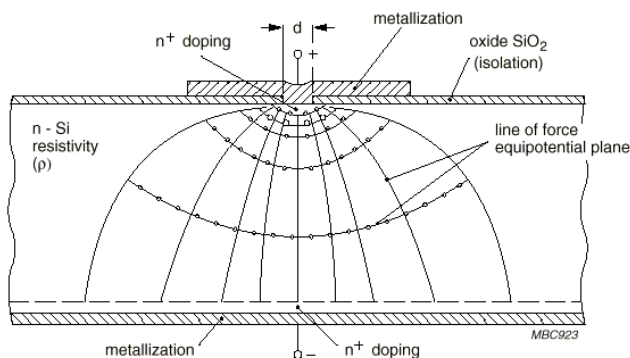
Los sensores de temperatura de silicio muestran una característica casi lineal comparada con la característica exponencial de las NTC. Esto significa que tienen un coeficiente de temperatura que es casi constante en todo el rango de temperatura. Esta característica se puede utilizar cuando el sensor se usa como compensación de temperatura para un microprocesador con conversor de A/D integrado.



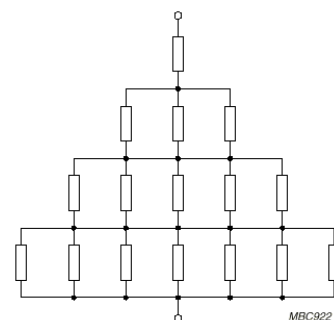
**Característica del KTY81.**



La construcción básica del chip sensor se muestra en la figura siguiente. El montaje cónico de distribución de la corriente a través del cristal recibe el nombre de ‘resistencia extendida’. La ventaja de este montaje es que se reduce la dependencia de la tolerancia de fabricación de las resistencias del sensor.



Sección transversal de un cristal de un sensor KTY.



Circuito equivalente de los KTY.

Un segundo montaje, consiste en dos sensores simples conectados en serie, pero con polaridad opuesta, que tiene la ventaja de tener una resistencia que es independiente de la dirección de la corriente. Este montaje es para corrientes altas y temperaturas por encima de 100°C, su resistencia varía un poco según la dirección de la corriente, por lo que hay que tener en cuenta la polaridad. El KTY84 está diseñado específicamente para el funcionamiento a temperaturas de 300 °C.

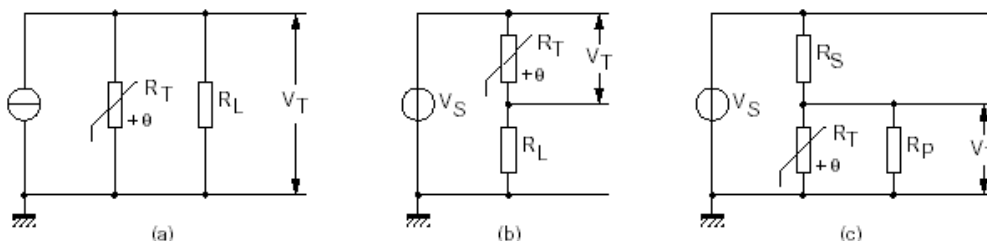
**Polaridad:** El tipo de montaje de dos sensores en serie, pero con polaridad opuesta, se ha aplicado en la serie KTY81/82; estos sensores son, por consiguiente, no tienen polaridad. El KTY83/84/85 usan el montaje más básico de un solo sensor, con lo que hay que respetar la polaridad del sensor.

Tipo	R <sub>25°C</sub> (Ω)	Tolerancia disponible (ΔR)	Rango de Temperatura (°C)	Encapsulado
KTY81-1	1000	±1% a ±5%	-55° a 150°	SOD70
KTY81-2	2 000	±1% a ±5%	-55° a 150°	SOD70
KTY82-1	1000	±1% a ±5%	-55° a 150°	SOT23
KTY82-2	2000	±1% a ±5%	-55° a 150°	SOT23
KTY83-1	1000	±1% a ±5	-55° a 175°	SOD68 (DO-34)
KTY84-1	1000 (R100)	±3% a ±5%	-40° a 300°	SOD68 (DO-34)
KTY85-1	1000	±1% a ±5%	-40° a 125°	SOD80

**Linealización:** La característica de resistencia/temperatura de los sensores de temperatura de silicio es casi lineal, pero en algunas aplicaciones es necesario mejorar esta linealización, como en sistemas de control que requieren una alta exactitud. Una manera simple de hacer esto, es poner la resistencia del sensor 'R<sub>T</sub>' en paralelo con una resistencia fija 'R<sub>L</sub>', figura (a). La resistencia final de la combinación en paralelo,  $R_L \times R_T / (R_L + R_T)$ , es en una función lineal con la temperatura y el voltaje de salida será linealmente proporcional a la temperatura.

Si el circuito está alimentado por una fuente de tensión constante, figura (b), se puede conectar una resistencia de linealización en serie con el sensor. El voltaje en el sensor, será de nuevo una función casi lineal de la temperatura.

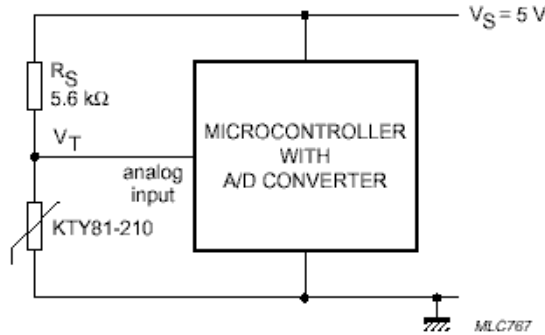
En la práctica, una fuente de corriente es demasiado cara, entonces se puede usar un voltaje fijo de 5 o 12 V para conseguir una corriente de trabajo de 1mA, por ejemplo. En este caso, la linealización se puede conseguir por una combinación de resistencias serie/paralelo con el sensor, figura (c). La resistencia de la combinación en paralelo (R<sub>P</sub>, R<sub>T</sub>) y la resistencia R<sub>S</sub> es igual a la resistencia R<sub>L</sub> de linealización óptima, calculada previamente.



Tres formas de linealización:

- (a) Con una resistencia 'R<sub>L</sub>' en paralelo con el sensor.
- (b) Con una resistencia 'R<sub>L</sub>' en serie con el sensor y alimentado por una fuente de tensión constante.
- (c) Con una resistencia 'R<sub>S</sub>' en serie y una resistencia 'R<sub>P</sub>' en paralelo y alimentado por una fuente de tensión constante.

**Compensación de temperatura en un convertidor A/D integrado en un microcontrolador:** Cuando un convertidor A/D está integrado en un microcontrolador, se requiere una compensación de la temperatura. La figura muestra una configuración típica, usando un sensor de temperatura KTY81-210 en serie con una resistencia de linealización  $R_S$ . Este divisor de tensión proporciona un voltaje proporcional y lineal a la temperatura, con la  $V_T$  entre 1.127 V y 1.886 V sobre un rango de temperatura entre 0° y 100°C. Este voltaje se usa como referencia de tensión para el convertidor A/D. La pendiente lineal de  $V_T = 7.59 \text{ mV / } ^\circ\text{K}$ .

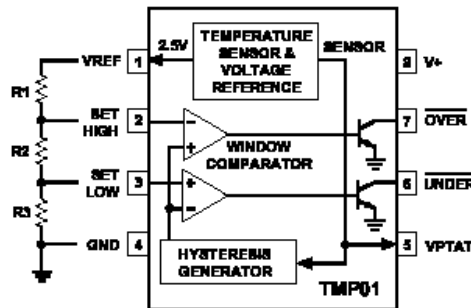


**Resumen de sensores**

TERMOPARES	RTDs	TERMISTORES	SEMICONDUCTORES
Rango muy grande: -184°C a +2300°C	Rango: -200°C a +850°C	Poco Rango: 0°C a +100°C	Rango: -55°C a +150°C
Alta Precisión y Repetibilidad	Buena Linealidad	Pobre Linealidad	Linealidad: 1°C Precisión: 1°C
Necesita Unión Fría de Compensación	Requiere Excitación	Requiere Excitación	Requiere Excitación
Bajo Voltage de Salida	Bajo Costo	Alta Sensibilidad	Salida Típica 10mV/K, 20mV/K o 1µA/K

**2.6.4 Termostatos**

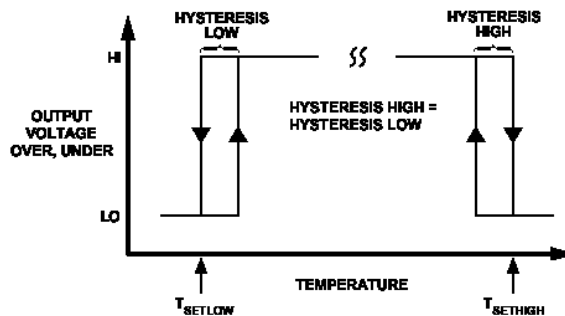
Algunos sensores de temperatura han sido especializados en el tipo “termostato” y además programables, el primer fabricante ha sido *Analog Devices*, que con el TMP01 ha empezado una familia de termostatos programables. El TMP-01 contiene un sensor de temperatura que genera una tensión de salida proporcional a la temperatura absoluta y también dos comparadores con dos salidas, que indican cuando está por encima o por debajo de un rango específico de temperatura. Ambos puntos de disparo (alta/baja temperatura) y el ciclo de histéresis, son seleccionados por el usuario por tres resistencias externas.



**Diagrama de bloques funcional del TMP01.**

El TMP-01 contiene una tensión de referencia de 2,5V, combinada con dos comparadores pareados y una tensión proporcional a la temperatura absoluta (VPTAT) con un coeficiente de temperatura de 5mV/°K. La temperatura de trabajo es de -55°C hasta +150°C. Los comparadores comparan la VPTAT con los puntos de disparo externos y cuando han superado respectivamente el punto de umbral dan salida a los transistores de colector abierto capaces de entregar 20mA.

**Histéresis de la temperatura:** La histéresis de temperatura, es el número de grados en que ha de sobrepasarse el punto seleccionado de temperatura original que debe ser sentido por el TMP-01 antes que el comparador sea puesto a cero y la salida inhabilitada. La figura muestra el ciclo de histéresis para los dos comparadores. La salida del comparador permanecerá "ON" hasta que la tensión de entrada, ahora igual a la VPTAT (Tensión de salida del sensor de temperatura) sumada al offset de histéresis, haya vuelto al punto de tensión programada. Entonces el comparador pasa a "OFF" desactivando la salida de colector abierto.



**Histéresis del TMP-01.**

**Programación del TMP-01:** Un divisor de tensión con tres resistencias se utilizan para fijar los valores de referencia de la temperatura y se programan de la siguiente manera:

1. Seleccionar la histéresis de la temperatura.
2. Calcular la corriente de histéresis  $I_{vref}$ .
3. Seleccionar los valores de referencia de las temperaturas.
4. Calcular los valores individuales de las resistencias del divisor de tensión, con los valores SETHIGH y SETLOW.

La corriente de histéresis se calcula de la siguiente manera:  $I_{his} = I_{vref} = 5 \mu A/^{\circ}C + 7 \mu A$

Por ejemplo, para 2 °C de histéresis,  $I_{vref} = 17 \mu A$

Seguidamente, para determinar los valores  $V_{sethigh}$  y  $V_{setlow}$ , utilizando el factor de VPTAT de  $5mV/^{\circ}K = 5mV (^{\circ}C + 273.15)$ , el cual a  $+25^{\circ}C$  da un valor de 1.49V. Las ecuaciones utilizadas para calcular las resistencias son:

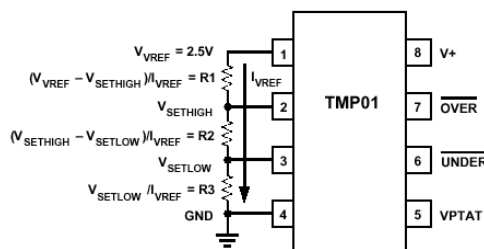
$$V_{sethigh} = (T_{sethigh} + 273.15)(5 \text{ mV}/^{\circ}C)$$

$$V_{setlow} = (T_{setlow} + 273.15)(5 \text{ mV}/^{\circ}C)$$

$$R1 \text{ (kohm)} = (V_{ref} - V_{sethigh}) / I_{vref} = (2.5 \text{ V} - V_{sethigh}) / I_{vref}$$

$$R2 \text{ (kohm)} = V_{sethigh} / I_{vref}$$

$$R3 \text{ (kohm)} = V_{setlow} / I_{vref}$$



Evidentemente el total de las resistencias ( $R1 + R2 + R3$ ) es igual a la resistencia de carga necesaria para la corriente de histéresis  $I_{vref}$  determinada al principio del procedimiento. Para un fácil cálculo, *Analog Devices* ha creado un software gratuito, que permite determinar todos los valores necesarios, sin necesidad de ninguna operación matemática.

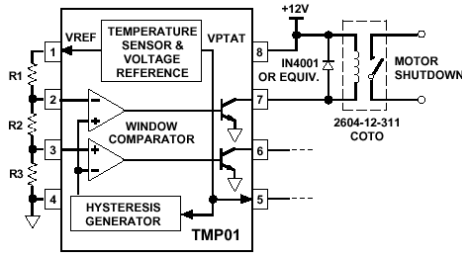
**1. Efectos de autocalentamiento:** En algunas aplicaciones el usuario debe considerar los efectos de auto calentamiento debido a la potencia disipada por las salidas de colector abierto, que son capaces de entregar 20 mA continuamente. La disipación total con salidas en carga máxima será:  $P_{diss} = 0.6 \text{ V} \times 0.020A = 12 \text{ mW}$

El incremento de la temperatura en el encapsulado SOIC debido al auto calentamiento será:  
 $\Delta T = P_{diss} \times T_{ja} = 0.012 \text{ W} \times 158 \text{ }^{\circ}C/W = 1.9 \text{ }^{\circ}C$  ( $T_{ja}$  = Resistencia térmica unión-ambiente)

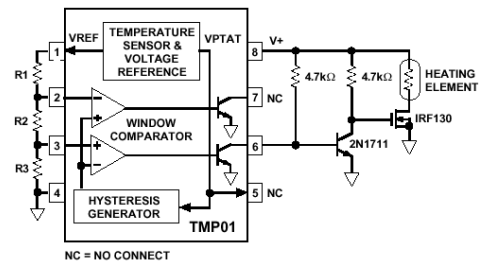
Es decir, que afectará directamente en la precisión del TMP-01 y en este ejemplo hará que el circuito conmute la salida a "OFF" 1.9 °C en exceso. Este efecto se puede minimizar haciendo que la potencia se disipe en un transistor externo.

**2. Conmutación de cargas con las salidas de colector abierto:** En la mayoría de aplicaciones de medición y control de la temperatura se requiere algún tipo de conmutación, la de un ventilador, la de una resistencia de calentamiento, la de un relé para la desconexión del equipo, etc..., y normalmente son corrientes superiores a 1 A. Por esto, no pueden ser gobernadas directamente por el TMP-01, sino que se pueden utilizar relés, Mosfets, IGBTs, Darlingtons, y tiristores. Todos estos componentes minimizan la corriente de salida, bajando considerablemente el error producido por el auto calentamiento del TMP-01.

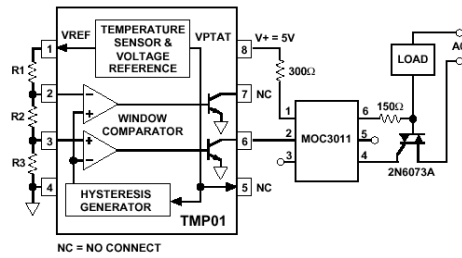
A continuación se detallan algunos ejemplos de conexión a diferentes elementos de conmutación:



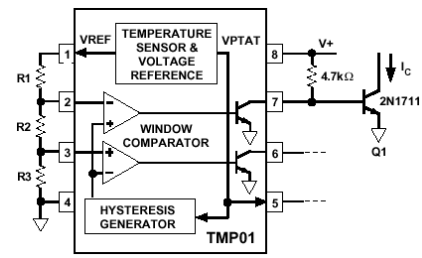
Salida con relé



Salida con mosfet

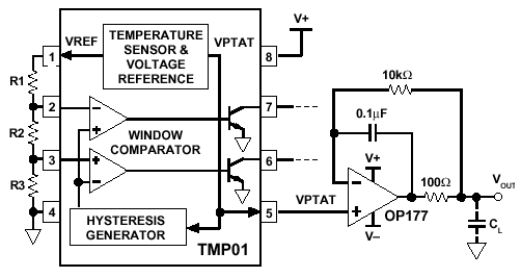


Salida con triac

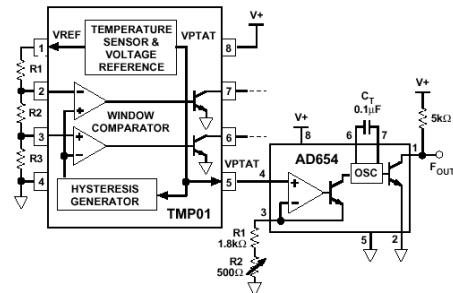


Salida con transistor

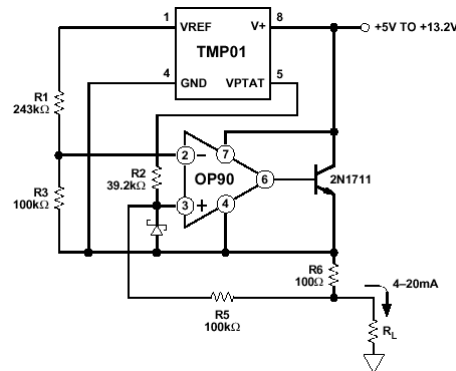
**3. Salida proporcional de la temperatura:** La salida en tensión del sensor VPTAT es de baja impedancia con un coeficiente de temperatura de 5 mV/K, y puede entregar 500  $\mu$ A a 50 pF (max). En la mayoría de aplicaciones, es necesario transmitir dicha tensión a una central de procesos, por ello es necesario interconectar algunos elementos como amplificadores operacionales que a continuación se muestran:



Salida con “buffer” OP177.



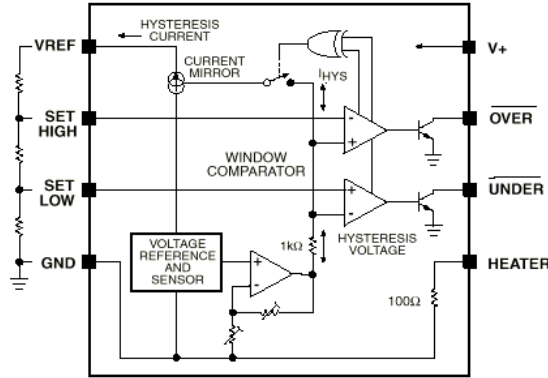
Salida con un convertidor tensión/frecuencia.



Salida con lazo de corriente 4-20mA

**2.6.5 Aplicación de control de flujo de aire en ventiladores**

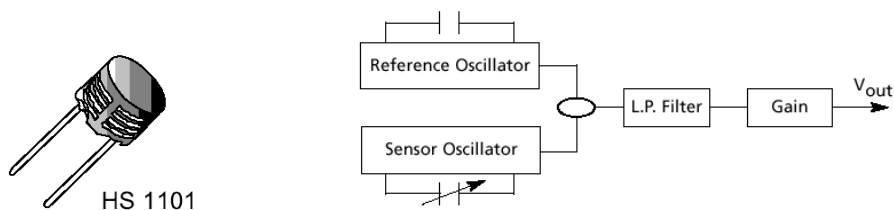
El TMP12 incluye un sensor de temperatura, dos comparadores y una resistencia de 100 Ohm para producir un calentamiento total del circuito. Se pueden programar con resistencias externas los umbrales de tensión y la histéresis. Cualquier variación de flujo de aire, produce un enfriamiento del circuito que se detecta por el sensor y se puede controlar el ventilador.



**Diagrama del TMP12 de *Analog Devices***

### 3. Sensores de Humedad

1. **Sensores de Humedad Capacitivos:** El sensor de los sensores lo forma un condensador de dos láminas de oro como placas y como dieléctrico una lámina no conductora que varía su constante dieléctrica, en función de la humedad relativa de la atmósfera ambiente. El valor de la capacidad se mide como humedad relativa. *Philips* fabrica este tipo de sensores.
2. **Sensores de Humedad Resistivos:** Un electrodo polímero montado en tandem sensa la humedad en el material. Además un circuito acondicionador y linealizador dan una salida estándar.



**Sensor de Humedad con acondicionador de señal.**

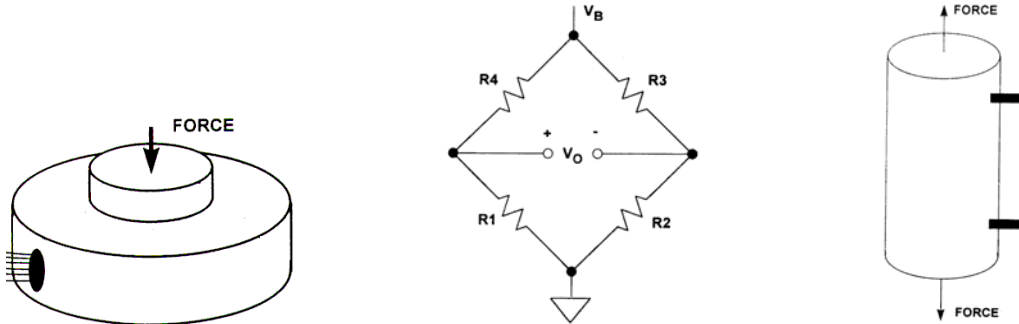
**Aplicaciones:** Alarmas en lavadoras, acondicionadores de aire, humidificadores, higrómetros, incubadoras, sistemas respiratorios en medicina, etc...

#### 3.1 Acondicionadores de señal para sensores de Humedad

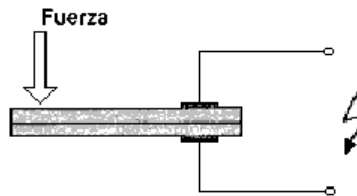
Estos sensores proporcionan una señal de tensión proporcional a la humedad relativa y puede ser acondicionada por la entrada del convertidor A/D de cualquier microcontrolador.

## 4. Sensores de Presión

1. **Sensores de Presión Resistivos:** Una presión sobre una membrana hace variar el valor de las resistencias montadas en puente de Wheatstone apareadas. Las Células de Carga y las Galgas Extensiométricas son elementos metálicos que cuando se someten a un esfuerzo sufren una deformación del material, y por lo tanto una variación de su resistencia interna.



1. **Sensores de Presión Piezo-Cerámicos/Multicapa:** La combinación de la tecnología piezo-cerámica y multicapa se utiliza para producir una señal eléctrica, cuando se aplica una fuerza mecánica en el sensor.

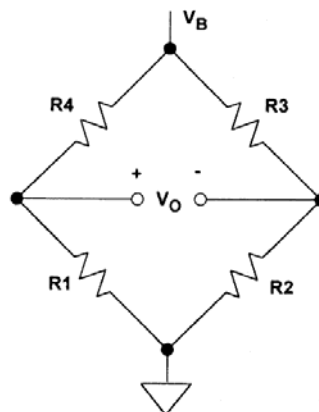


2. **Sensores de Presión con Semiconductores:** Una variación de presión sobre una membrana, hace actuar un único elemento piezo-resistivo semiconductor. *Motorola* fabrica sensores de presión con su familia MPX.



### 4.1 Sensores de Presión Resistivos

Cualquier sistema de medida de presión tipo resistivo, requiere de una tensión estable de excitación y normalmente está formado por un puente de Wheatstone (desarrollado por S.H. Christie en 1833). Este simple montaje, consiste de cuatro elementos resistivos conectados en forma de puente, una fuente de excitación (tensión o corriente) conectada a una de las diagonales y un detector de tensión o corriente conectado en la otra diagonal. El detector mide la diferencia entre las salidas de dos divisores potenciométricos conectados a través de la fuente de alimentación.



$$V_O = \frac{R1}{R1 + R4} V_B - \frac{R2}{R2 + R3} V_B$$

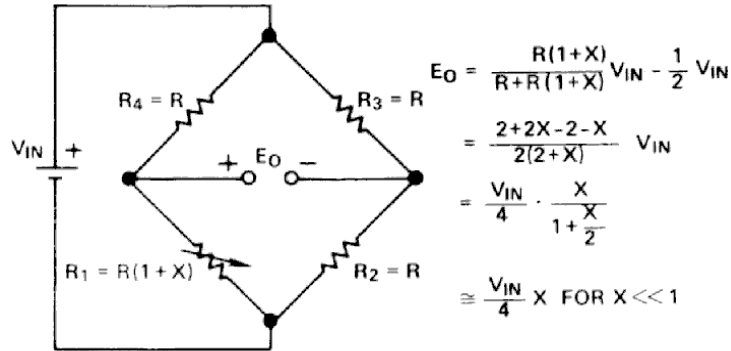
$$= \left( \frac{R1}{1 + \frac{R1}{R4}} \right) \left( \frac{R2}{1 + \frac{R2}{R3}} \right) V_B$$

AT BALANCE,

$$V_O = 0 \text{ IF } \frac{R1}{R4} = \frac{R2}{R3}$$

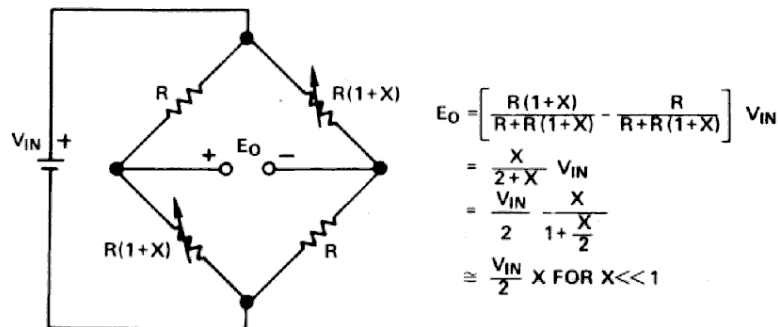
Circuito básico de un puente de Wheatstone.

Para la mayoría de aplicaciones de sensores se emplean puentes, la desviación de una o más resistencias en un puente, desde un valor inicial puede ser medido como una indicación de magnitud (o un cambio) de la medida. En la siguiente figura se muestra un puente con todas las resistencias iguales; pero una de ellas (R1) es variable por un factor, (1+X), donde X es una desviación fraccionaria alrededor de cero. Como la ecuación indica, la relación entre la salida del puente y X no es lineal, pero para pequeños rangos de X es suficientemente lineal para algunos de los casos. Por ejemplo, si  $V_b=10V$ , y el máximo valor de X es  $\pm 0.002$ , la salida del puente será lineal entre 0.1% para el rango de salida de 0 a  $\pm 5mV$ , y del 1% para el rango de 0 a  $\pm 50mV$  (que es un valor X de  $\pm 0.02$ ).



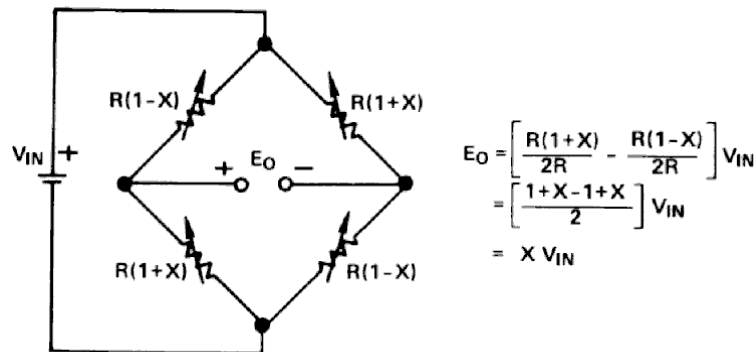
**Circuito en Puente de resistencias con un solo elemento variable.**

La *Sensibilidad* de un puente es la relación del máximo cambio esperado en el valor de salida a la tensión de excitación. Para el ejemplo dado en el párrafo anterior, la sensibilidad será  $\pm 500\mu V/V$  y  $\pm 5mV/V$ . La sensibilidad puede ser doblada si dos idénticos elementos se utilizan como variables. En la figura se muestra como utiliza las resistencias R1 y R3 como variables. La salida se duplica, pero la no linealidad permanece la misma que el ejemplo anterior.



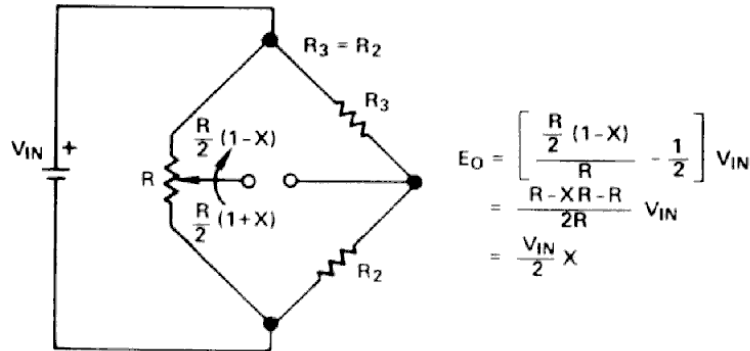
**Circuito en Puente de resistencias con dos elementos variables.**

En casos especiales, se puede volver a doblar la salida. En la figura se muestra un puente con cuatro resistencias variables, dos de las cuales se incrementan y las otras dos decrece en la misma relación. Dos Galgas Extensiométricas idénticas, montadas en oposición configuran este circuito. La salida del puente, tendrá cuatro veces la salida de un puente con un solo elemento variable y además, la naturaleza complementaria de los cambios de resistencia da una salida lineal.



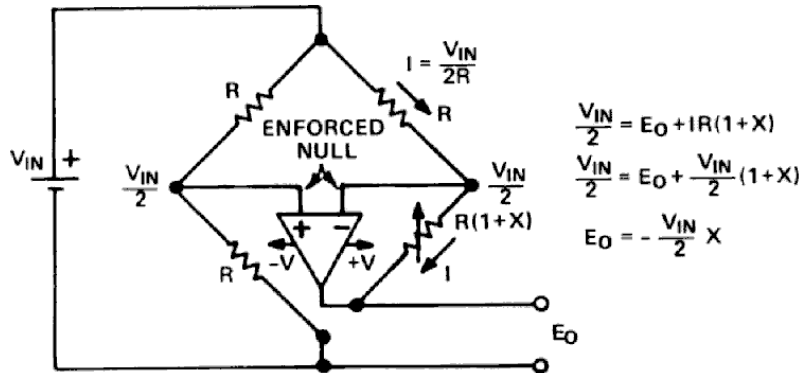
**Circuito en Puente de resistencias con todos los elementos variables.**

En la figura siguiente se muestra un puente empleando un potenciómetro en una de las ramas. La posición del potenciómetro es la medida del fenómeno físico. Puesto que es una versión con dos elementos variables, la salida será doble, y como que es de naturaleza complementaria también será lineal.



**Circuito en Puente de resistencias con una rama potenciométrica.**

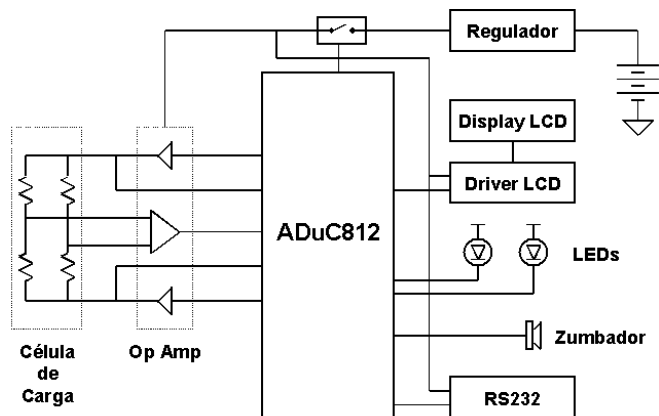
Por ultimo, se puede montar un puente activo, el amplificador operacional produce un cero añadiendo una tensión en serie con la rama variable. La tensión de salida es igual en magnitud y opuesta en polaridad para incrementar la tensión a través de Rx, y esta es intrínsecamente lineal con X. Como que la salida del puente activo es un amplificador operacional, tiene baja impedancia de salida. La ganancia es doble que la salida de un puente con un solo elemento variable, y lineal.



**Circuito en Puente de resistencias activo.**

**4.1.1 Acondicionadores de señal para una Célula de Carga**

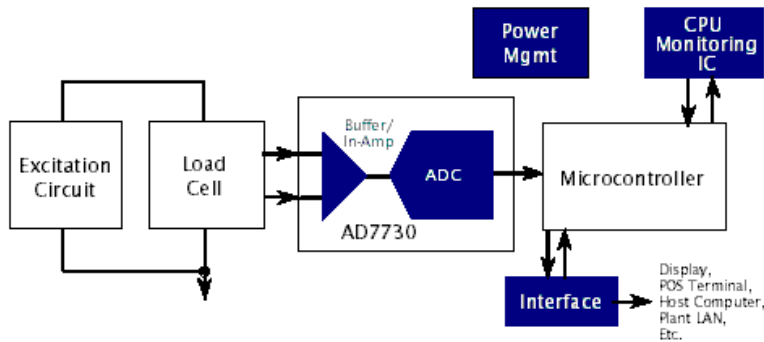
La utilización de un amplificador operacional de instrumentación en modo diferencial, es el método más comúnmente utilizado para la salida de una Célula de Carga. En la figura se muestra este circuito, donde es imprescindible utilizar una referencia de tensión de precisión, que nos dará la tolerancia de la sensibilidad, el amplificador operacional de instrumentación de alta linealidad y bajo ruido. Con un circuito como este se pueden obtener 14 bits. Analog Devices dispone de una gama de amplificadores operaciones de instrumentación como el AD624, AMP01, AMP02, AMP04,



**Aplicación típica de una Célula de Carga para pesaje.**

Actualmente con la rápida implantación de los convertidores sigma-delta, debido a sus buenas prestaciones y a su bajo coste, se han podido integrar en un solo circuito todo un conjunto de elementos que resuelven en la mayoría de casos todos los circuitos externos. En la siguiente figura se muestra una aplicación

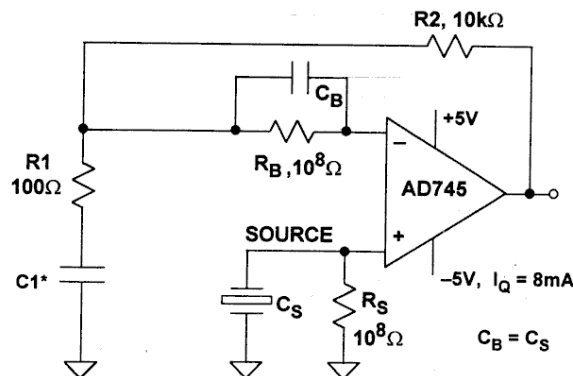
típica de una célula de carga con un completo acondicionador de señal de *Analog Devices*, el AD7730, de una familia de convertidores.



Aplicación típica de una Célula de Carga con un completo acondicionador de señal AD7730.

#### 4.2 Sensores Piezoeléctricos

Los sensores piezoeléctricos entregan una tensión cuando se les aplica una fuerza y pueden ser acondicionados con un circuito tal como se muestra en la figura siguiente.



#### 4.3 Sensores de Presión con Semiconductor

*Infineon* y *Motorola* fabrican una serie de sensores de presión con semiconductores, cuyas prestaciones y su bajo precio son parte de la tecnología asociada. Un diseño único dotado de un ajuste con láser controlado por ordenador, hace que estos dispositivos sean altamente competitivos.

##### 4.3.1 Funcionamiento

El funcionamiento de los sensores de presión de la serie MPX de *Motorola* está basado en el diseño patentado del calibrador de fuerza. A diferencia de los sensores de presión más convencionales que utilizan las cuatro resistencias exactamente apareadas en una configuración de puente de Wheaststone, la serie MPX utiliza solamente un único elemento piezoresistivo implantado en un diafragma de silicio que sensa la tensión mecánica inducida en el diafragma por una presión externa. La salida es un voltaje analógico proporcional a la presión de entrada y al voltaje de alimentación radiométrico. La alta sensibilidad y una excelente repetibilidad a largo plazo hacen que sean las unidades más apropiadas para la mayoría de aplicaciones.

La precisión es muy buena debido al ajuste de las resistencias de calibración y compensación con láser controlado por ordenador, dando la medición de presión muy exacta sobre un rango amplio de temperatura. El efecto de la temperatura es típicamente  $\pm 0.5\%$  del fondo de escala sobre un rango de temperatura de 0 a 85 °C, mientras que el efecto sobre la tensión de offset, sobre un rango de temperatura similar, es de  $\pm 1$  mV como máximo.

**4.3.2 Posibilidades de elección**

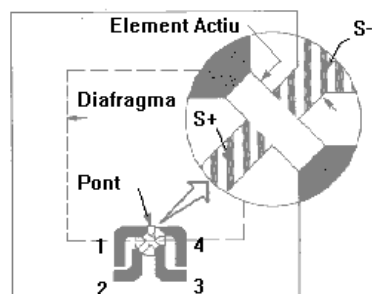
1. **Elección de las Especificaciones:** Los sensores de presión MPX están disponibles en varios rangos de presión para adaptarse a una variedad amplia de sectores tales como automoción, biomedicina y aplicaciones industriales.
2. **Elección de la Medición:** Los dispositivos están disponibles para medición de presiones en modo *diferencial, absoluto, o manométrica (gauge)*.
3. **Elección de la Complejidad del Chip:** Los sensores de presión MPX están disponibles como un elemento sensor básico, con calibración y compensación de temperatura interno o con un circuito de acondicionamiento de señal completo incluido en el chip. El empleo de unidades sin la compensación de la temperatura permite realizar una compensación externa al grado deseado.
4. **Elección del encapsulado:** Se puede pedir como un elemento básico para un montaje particular, o en conjunción con uno o dos tubos de conexión de la presión diseñados por *Motorola*. Los materiales del encapsulado pueden ser intercambiables, para que estén preparados para encontrar los requerimientos de compatibilidad biomédica.

**4.3.3 Estructura básica**

Al aplicar presión al diafragma, se produce un cambio de resistencia en la galga extensiométrica, que causa a su vez un cambio en el voltaje de salida en proporción directa a la presión aplicada. La galga extensiométrica es una parte integral del diafragma de silicio, y por lo tanto no se introducen los errores típicos debidos a diferencias de expansiones térmicas. No obstante, los parámetros de salida de la galga extensiométrica dependen de la temperatura, sin embargo, se requiere que el dispositivo esté compensado si se utiliza sobre un rango de temperatura extensa. Una red simple de resistencias se puede utilizar para un rango estrecho de temperatura, por ejemplo de 0 °C a 85 °C. Para rangos de temperatura de -40 °C a + 125 °C, son necesarias redes compensadoras más complejas.



Los Sensores X-ducer™ es un sistema Patentado por *Motorola*. Una corriente de excitación circula longitudinalmente a través de la resistencia, puntos 1 y 3 de la siguiente figura, y la presión que se ejerce en el diafragma está aplicada en un ángulo recto con respecto al flujo de corriente. La tensión mecánica establece un campo eléctrico transversal en la resistencia, que está sensando como un voltaje en los puntos 2 y 4, que están localizados en el punto medio de la resistencia.



- 1. masa
- 2. +Vout
- 3. Vs
- 4. -Vout

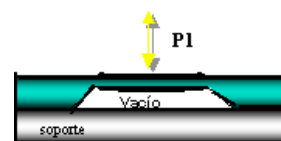
Utilizando un único elemento elimina la necesidad de emparejar exactamente las cuatro resistencias de un puente de Wheatstone que son sensibles a la temperatura y a esfuerzos mecánicos. Al mismo tiempo, simplifica el conjunto de circuitos adicionales necesarios para lograr la calibración y compensación en temperatura. El “offset” no depende de las resistencias apareadas, sino de la exactitud de la alineación de los elementos donde se recoge la tensión. Esta alineación se logra en un único paso fotolitográfico, fácil de controlar.

**Elemento sensor básico.**

**4.3.4 Tipos de medición**

Los sensores de presión de *Motorola* están disponibles en tres diferentes configuraciones que permiten una medición de presión **absoluta, diferencial y manométrica**.

Los **sensores de presión absoluta:** miden la diferencia entre la presión externa aplicada a un lado del diafragma, y a una presión de referencia cero (vacío), aplicada al otro lado.

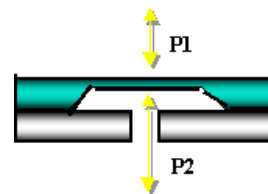


**Sensor Absoluto: P1-P(vacío)**

**Aplicaciones:** Barómetros, Detección de fugas, Altímetros...

Los **sensores de presión diferencial**: son parecidos a la bajada de presión a través de una válvula o filtro en un conducto de aire; está diseñado para aceptar simultáneamente dos fuentes de presión independientes. La salida es proporcional a la diferencia de presión a las dos fuentes.

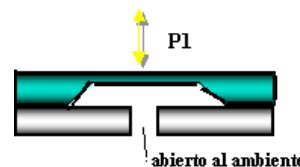
**Aplicaciones:** Flujo de aire, Control de filtros de aire ...



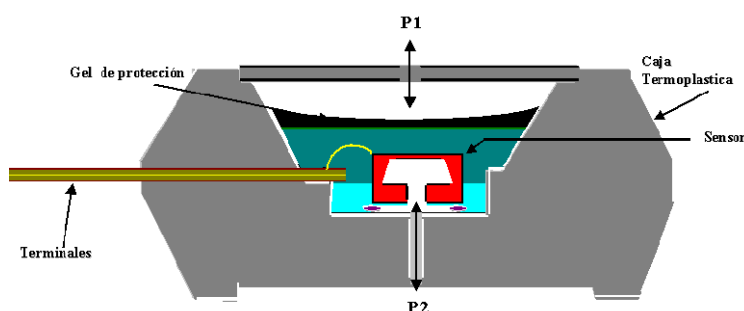
**Sensor Diferencial: P1 - P2**

Los **sensores de presión manométrica**, son como una medición de presión arterial, es un caso especial de presión diferencial, donde la presión atmosférica se utiliza como referencia, un lado del sensor está abierto a la atmósfera.

**Aplicaciones:** Presión sanguínea, Nivel de líquidos, Presión de ruedas...



**Sensor Manométrico: P1-P(ambiente)**



**Sección de un sensor de presión Diferencial.**

La sección transversal de la estructura diferencial muestra un gel de silicona que aísla la superficie del “dado” y los hilos de conexión de los entornos duros, mientras que permite que la señal de presión sea transmitida al diafragma de silicio.

Las características de trabajo de los sensores de presión de la serie MPX, las pruebas de fiabilidad y homologación están basadas en el uso de aire seco como medio de presión. Los otros medios que no sean aire seco pueden tener efectos adversos en las características y estabilidad a largo plazo.

#### 4.3.5 Tipos de complejidad del chip

- **MPX100** Sin Compensar en Temperatura.
- **MPX2100** Calibrados y Compensados en Temperatura.
- **MPX5100** Calibrados y Compensados en Temperatura, con acondicionador de señal de salida de 0-5V.

De 10 kPa (1.45 psi) hasta 1000 kPa (150 psi).

Aire seco, Aire húmedo, Agua (pH 9.0 a 11.0)

La familia empieza con el MPX10 que corresponde a una deflexión del diafragma a fondo de escala aproximadamente a 15 PSI. Para el MPX50 corresponde a 7.5 PSI. Para el MPX100 corresponde a 15 PSI (una atmósfera). Para el MPX200 corresponde 30 PSI. Para el MPX700

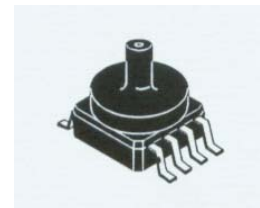
#### 4.3.6 Acondicionador de la señal interno

Para hacer más fácil el trabajo, *Motorola* ha integrado circuitos dentro del sensor, además de la compensación y calibración en temperatura en el chip con la serie MPX2000, ofrece actualmente un acondicionador de la señal con un amplificador que se ha integrado en el chip de la serie MPX5000 para permitir una interconexión directa a cualquier microcontrolador que tenga un convertidor A/D.

El acondicionamiento de la señal se hace por medio de cuatro etapas de amplificación, incorporando un proceso bipolar lineal, unas técnicas de metalización de película delgada y un ajuste con láser interactivo que le dan una especial tecnología al sensor.

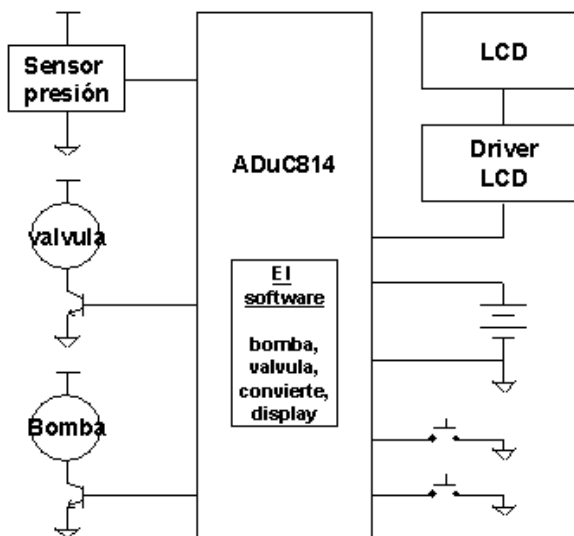
**4.3.7 Montaje y opciones de los sensores de Presión de la Serie MPX de Motorola**

Motorola ofrece una variedad amplia de dispositivos sensores de presión que incorporan tubos de conexión con retención y orejas laterales para su sujeción. Los tubos tienen 1/8" (3 mm) de diámetro, tamaño muy común que hace una instalación relativamente simple.



**4.2.8 Aplicaciones de medida de Presión**

Existen muchas aplicaciones donde la medida de la presión es fundamental para controlar un sistema hidráulico o neumático. También se puede utilizar como altímetro midiendo la presión atmosférica. Todo ello con un sistema de adquisición de datos con microcontrolador.



## 5. Sensores de Posición

Los sensores de posición pueden dar según su construcción o montaje, una posición lineal o angular.

**Electromecánicos:** Lo forman los Finales de Carrera o Microrruptores. Se sitúan en puntos estratégicos a detectar, en sistemas industriales y máquinas en general. Conmutan directamente cualquier señal eléctrica. Tienen una vida limitada. Solo pueden detectar posiciones determinadas, debido a su tamaño.

**Magnéticos:** Lo forman los Detectores de Proximidad Magnéticos, que pueden ser los de Efecto Hall y los Resistivos, típicos en aplicaciones industriales.

**Inductivos:** Lo forman los Detectores de Proximidad Inductivos, los Sincros y Resolvers, los RVDT (Rotatory Variable Differential Transformer) y LVDT (Lineal Variable Differential Transformer). Los Inductosyn.

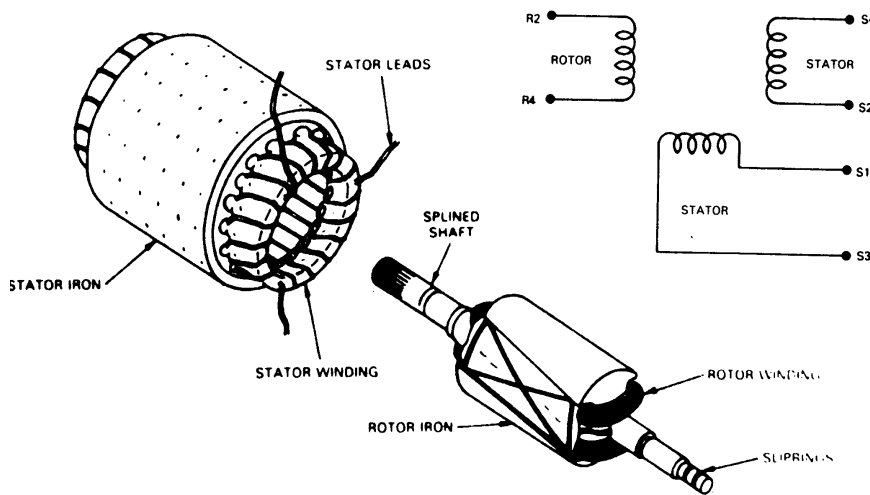
**Potenciométricos:** Lo forman los Potenciómetros lineales o circulares.

**Ópticos:** Lo forman las Células fotoeléctricas y los Encoders.

### 5.1 Sensores de Posición Inductivos

#### 5.2 Sincros y Resolvers

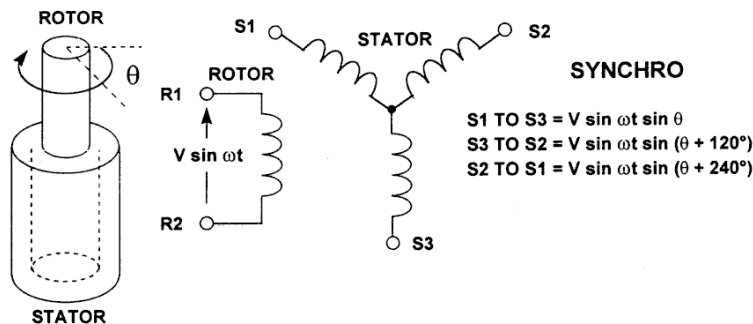
Los sincros y los resolvers son transductores para la medida de ángulo de un eje y la posición de un sistema servo. Esencialmente trabajan con el mismo principio que un transformador en rotación.



En la figura se muestra la estructura electromecánica de un sincro y la representación eléctrica equivalente.

#### 5.2.1 Señales de formato Sincro

Un Sincro es un transductor electromagnético rotacional (precursor del Resolver) que detecta el desplazamiento angular. El Sincro consiste de un estator fijo, que contiene tres bobinados conectados en estrella, separados 120°. El rotor contiene un bobinado es excitado con una referencia a.c., y se conecta a los terminales exteriores con escobillas.



El voltaje inducido en un estator por el rotor, será proporcional al seno del ángulo  $\theta$  entre el eje de la bobina del rotor y el eje de la bobina del estator. El voltaje inducido en un par de terminales del estator será la suma o la diferencia de los voltajes, dependiendo de la fase, a través de las dos bobinas concernientes. El voltaje de excitación del rotor, aplicado a los terminales R1 y R2, es de la siguiente forma:  $A \sin \omega t$

Los voltajes que aparecerán a través de los terminales del estator serán:

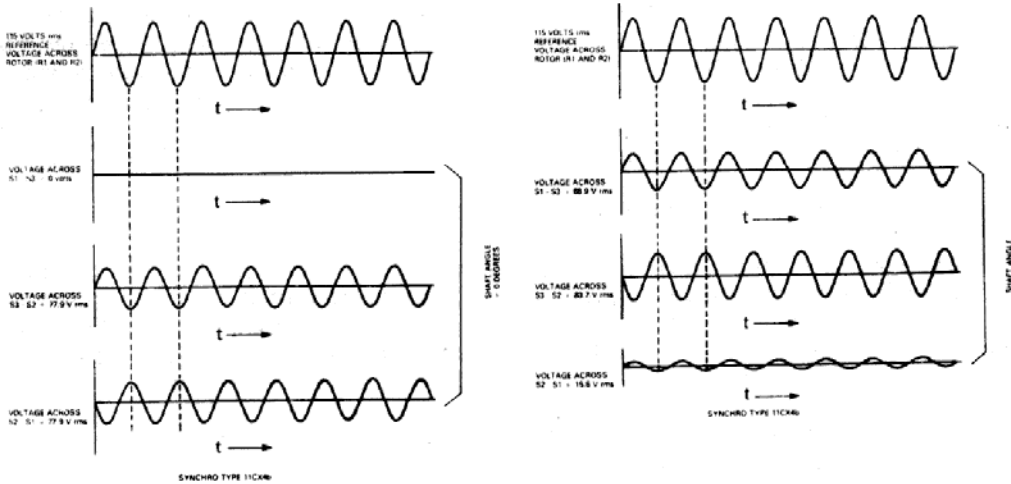
$$\begin{aligned} S3 - S1 &= AR \sin \omega t \sin \theta \\ S2 - S3 &= AR \sin \omega t \sin (\theta + 120^\circ) \\ S1 - S2 &= AR \sin \omega t \sin (\theta + 240^\circ) \end{aligned}$$

Donde,

- R = relación de transformación del transductor.
- A = amplitud del voltaje de la señal de excitación.
- $\sin \omega t$  = frecuencia de excitación.
- $\theta$  = ángulo del eje del Sincro.

Nota: Las salidas S1, S2 y S3 para Sincros son señales de fase coherente.

En la figura siguiente se muestra los voltajes de entrada o referencia y salida para dos posiciones diferentes (ángulos) del eje de un Sincro.

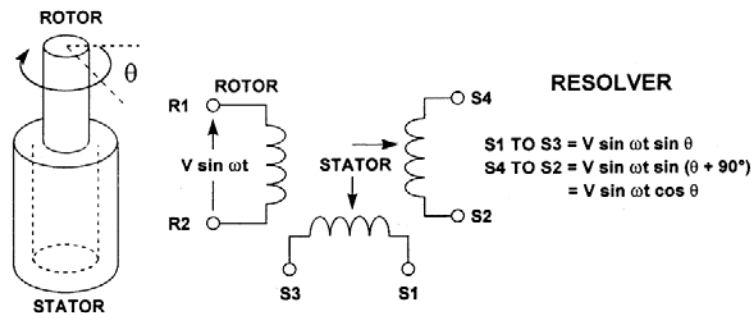


**Voltajes de salida de un Sincro para dos ángulos distintos (0° y 130°).**

Nota: El estándar para la rotación de los Sincros es contar en dirección de las agujas del reloj (CCW), moviendo el eje para un ángulo creciente como viéndolo desde el final del eje del transductor.

**5.2.2 - Señales de formato Resolver**

Un Resolver es un transductor rotacional electromagnético que detecta un desplazamiento angular. Los más modernos Resolvers son sin escobillas “brushless”. Una señal de excitación de referencia a.c. se aplica al estator (bobinado del primario); en una vuelta es inducido un voltaje en el rotor que más tarde induce un voltaje en dos bobinados seno y coseno, que están localizados en el estator (secundarios), separados 90°.



Los voltajes inducidos (en los secundarios) son modulados en amplitud por el seno y el coseno del ángulo  $\theta$  del rotor relativo al del estator. El voltaje de excitación es de la siguiente forma:  $A \sin \omega t$

Los voltajes que aparecerán a través de los terminales del estator serán:

$$\text{Seno : } S3 - S1 = AR \sin \omega t \sin \theta$$

$$\text{Coseno : } S2 - S4 = AR \sin \omega t \cos \theta$$

donde:

**R** = relación de transformación del transductor.

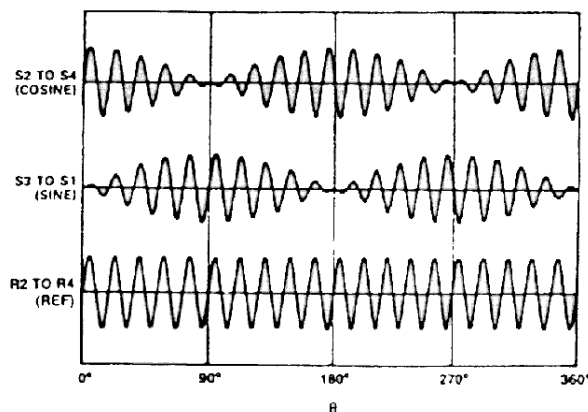
**A** = amplitud del voltaje de la señal de excitación.

**sen ωt** = frecuencia de excitación.

**θ** = ángulo del eje del Resolver.

Nota: Las salidas S1, S2 y S3 para Resolvers son señales de fase coherente.

En la figura se muestra una representación eléctrica equivalente y el diagrama de señales de formatos de salida típica de un Resolver.



Nota: El estándar para la rotación de los Resolvers, es contar en dirección de las agujas del reloj (CW), moviendo el eje para un ángulo creciente como viéndolo desde el final del eje del transductor.

### 5.2.3 Modelos estándares de Sincros y Resolvers

Los Sincros están disponibles en dos rangos de voltaje estándar:

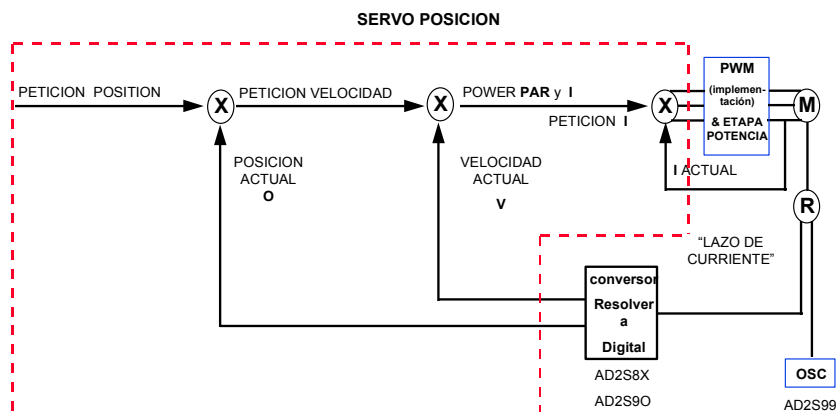
- (a) Señales de 90 V rms entre líneas, referencia 115 V rms, frecuencia nominal 400 Hz o 60 Hz.
- (b) Señales de 11.8 V rms entre líneas, referencia 26 V rms, frecuencia nominal 400 Hz.

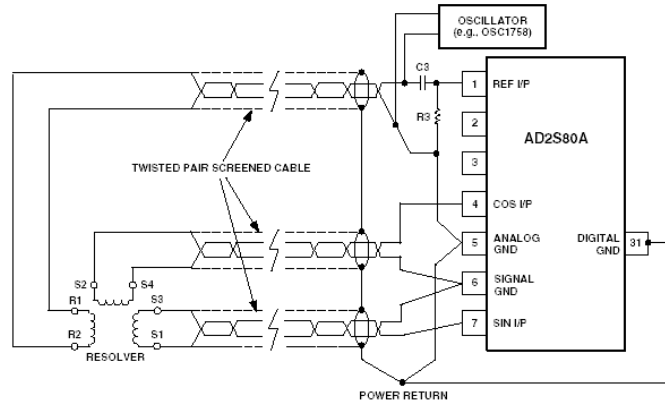
Los Resolvers están disponibles en una variedad de voltajes. Los tres más estándares son:

- (a) Señales de 11.8 V rms entre líneas, referencia 11.8 V rms, varias frecuencias entre de 400 Hz a 10,000 Hz.
- (b) Señales de 26 V rms entre líneas, referencia 26 V rms, varias frecuencias entre de 400 Hz a 10,000 Hz.
- (c) Señales de 11.8 V rms entre líneas, referencia 26 V rms, varias frecuencias entre de 400 Hz a 10,000 Hz

### 5.2.4 Convertidores de Resolver a digital

Analog Devices fabrica una familia de convertidores de Resolver a Digital con el AD2S80, AD2S82, AD2S83 y uno oscilador de referencia para los Resolvers AD2S99. A continuación se muestra un diagrama de un sistema de servo-posición utilizando un Resolver y un convertidor de resolver a digital.





**AD2S80 de Analog Devices conectado a un Resolver**

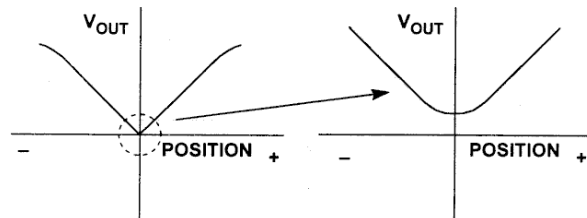
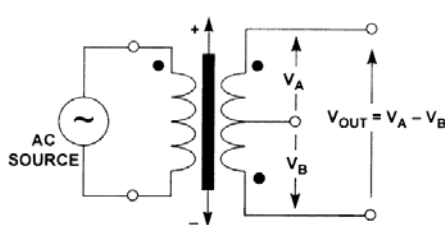
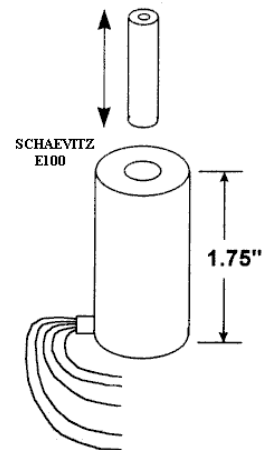
**5.3 RVDT y LVDT (Rotatory and Lineal Variable Differential Transformers)**

Son unos transductores muy populares utilizados para medir desplazamientos rotatorios (angulares), en sistemas industriales y militares. Están muy difundidos en su uso y se pueden explicar por el número de características de las cuales hacen a los transductores estar más cercanos a los ideales: trabajan sin fricción, son muy robustos, tienen una larga vida mecánica, resolución esencialmente infinita, y aislamiento entre entrada y salida. Aunque los RVDT en construcción son diferentes de los LVDT, trabajan con el mismo principio.

**5.3.1 Como trabajan los LVDT**

Un LVDT es un dispositivo electromecánico que consiste de dos componentes: Un cuerpo hueco cilíndrico que contiene dos bobinados secundarios idénticos los cuales están posicionados en ambos lados del bobinado central primario y un núcleo de ferrita cilíndrico se mueve libre longitudinalmente dentro de la bobina. Los secundarios típicamente están conectados en serie en oposición uno de otro.

Sencillamente, los LVDT son transformadores con núcleo móvil. Aplicando una señal alterna de excitación al bobinado del primario, genera un campo magnético que se acopla a los bobinados del secundario a través del núcleo de ferrita móvil, por esto se inducen voltajes en los secundarios. Cuando el núcleo está centrado entre los dos secundarios, los voltajes inducidos en ambos son iguales y puesto que están conectados en serie en oposición, el voltaje final será cero. Si el núcleo se mueve en dirección del secundario 1, el voltaje incrementa, y el voltaje del secundario 2 decrece; de este modo el voltaje neto final  $V_1-V_2$  será de la misma polaridad (en fase) como el de referencia. Si el núcleo se mueve en dirección opuesta,  $V_1-V_2$  será de polaridad opuesta ( $180^\circ$  de desfase).



**Bobinado del LVDT y voltaje de salida con respecto a la posición.**

De este modo, como que el núcleo de ferrita se mueve a lo largo de su eje dentro del LVDT, el voltaje de salida empieza con una polaridad, decrece completamente a cero, después incrementa con polaridad opuesta, todo de una manera continua y suave.

Los LVDT típicamente están diseñados para dar un voltaje de salida lineal alrededor de cero (dentro del  $\pm 0.25\%$  sobre un rango lineal especificado de recorrido). Para una selección de LVDT típica, el rango lineal nominal puede ser desde  $\pm 0.05$  pulgadas hasta  $\pm 10$  pulgadas, con cuerpo correspondiente a longitudes desde 1 pulgada hasta 30 pulgadas. Aunque los LVDT son robustos y exactos, solo producen salidas de bajo voltaje (la

sensibilidad está entre 6.3 y 0.08 mV por voltio de excitación por milímetro de desplazamiento) y por lo tanto necesitan mucho cuidado al realizar la amplificación.

### 5.3.2 Como trabajan los RVDT

Mientras que los LVDT miden desplazamiento lineal, los RVDT miden desplazamiento angular. El máximo rango de medida de posición angular es aproximadamente  $\pm 60^\circ$ . Cuando los RVDT trabajan en el rango de los  $\pm 40^\circ$ , el dispositivo típico tiene un error de linealidad de 0.2% a fondo de escala. Si el desplazamiento angular se mantiene en  $\pm 5^\circ$  el error de linealidad se reduce por debajo del 0.1% a fondo de escala. El eje está soportado por cojinetes de bolas que minimizan la fricción y la histéresis mecánica.

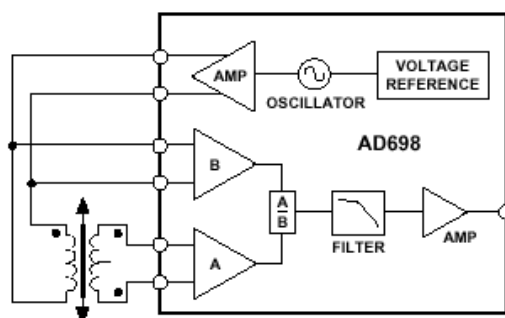
Los transductores LVDT y RVDT son utilizados extensamente en medición y aplicaciones de control de medida de desplazamientos desde micro pulgadas hasta varios pies. Se encuentran en sistemas de metrología, en posición de válvulas, en actuadores hidráulicos. Otras aplicaciones de estos transductores, como células de carga, sensores de presión utilizando LVDT internamente.

### 5.3.4 Acondicionamiento de Señal de los LVDT

La mayoría de tareas de un acondicionador de señal LVDT, se dedican a transformar las dos señales a.c. desfasadas  $180^\circ$  a un simple voltaje d.c. que representa la posición longitudinal. Por lo tanto se requiere alguna forma de demodulación para acondicionar la conversión de a.c. a d.c. El modo más común utilizado para acondicionar la señal LVDT es la técnica de demodulación síncrona.

En demodulación síncrona, la excitación del primario sirve como referencia para el demodulador. El demodulador rectifica a media onda la señal a.c., después se filtra con pasa bajos para producir una salida d.c. cuya magnitud indica el movimiento (posición) lejos de la posición central y cuyo signo indica la dirección.

El método de conversión de las señales LVDT, utiliza un número elevado de componentes discretos e integrados, como se muestra a continuación, donde tiene cuatro secciones: oscilador/excitador, amplificador de entrada, demodulador y filtro pasa-bajos. Con la introducción del AD698, *Analog Devices* da soporte a las aplicaciones de acondicionamiento de señal de los LVDT. Es un completo convertidor monolítico de LVDT a salida en voltaje en continua.



**Solución de acondicionador de señal LVDT con el AD698.**

Hay un número mayor de inconvenientes asociados con los acondicionadores de señal que utilizan la técnica de demodulación en lazo abierto:

Requiere un oscilador extremadamente estable: Los más serios inconvenientes de este método de demodulación, es el necesitar un oscilador estable con el tiempo, la temperatura, y que pueda tener la carga de la impedancia del primario del LVDT. Puesto que la salida de voltaje del LVDT es directamente proporcional al voltaje del bobinado del primario, cualquier fluctuación natural a la excitación afecta a la salida del LVDT.

La impedancia del primario del LVDT varía con la temperatura y la posición del núcleo: La fuente de excitación puede tener una impedancia de salida baja para minimizar cualquier voltaje resultante de los cambios en la impedancia del primario del LVDT. Los cambios de impedancia con las diferentes posiciones del núcleo o con las fluctuaciones a temperaturas ambientales.

Introducción del desplazamiento del ángulo de fase por la entrada amplificador “buffer”: El ángulo de fase del voltaje de salida comparada con el de la entrada desplazada típicamente menos de un grado sobre el rango lineal del LVDT. No obstante, cualquier desplazamiento de fase causada por la circuitería del primer paso de acondicionamiento de señal, hará aumentar el error de salida.

El desplazamiento de fase del primario al secundario requiere un ajuste externo: Puesto que la técnica de demodulación síncrona requiere que la excitación del primario sirva como referencia al demodulador, el desplazamiento de fase entre el primario y el secundario introduce errores. Este desplazamiento de fase ocurre debido a la ligera asimetría interna del bobinado del LVDT y el efecto LRC del cable externo. Como

resultado, este tipo de circuito muchas veces requiere un ajuste manual de la fase, añadiendo a la complejidad del diseño un coste.

**Ruido en las líneas de señal:** Si el tratamiento electrónico está localizado a alguna distancia del transductor, la excitación y las señales de salida del LVDT se pueden llegar a atenuar a través de las líneas de transmisión; y estas pueden también captar ruido.

**5.3.5 Fabricantes de LVDT**

Lucas Schaevitz, Solartron (Schlumberger Transducer). Transcoil, Sensotec, Tesa, RDP, Kavlico.

**5.4 Inductosyn® Lineales y Inductosyn® Rotatorios**

Los *Inductosyn Lineales* lo desarrolló la empresa Farrand Control Inc. para la medición y el control exacto de distancias lineales. Se ha demostrado que es uno de los más exactos transductores de su tipo (0.0001 pulgadas) y ahora es utilizado por la mayoría de compañías de Control Numérico y Máquinas Herramienta para control y medición de ejes.

El *Inductosyn Rotatorio*, como su nombre indica, es un transductor para la medición y el control angular, basado en los mismos principios que el Inductosyn Lineal. Es conocido como el más exacto, con una precisión de 0.5 segundos de arco, con repetibilidad de 0.1 segundos de arco y sensibilidad de 0.05 segundos de arco.

Tanto para el Inductosyn Lineal como para el Inductosyn Rotatorio es conveniente añadir a ellos mismos un convertidor a formato digital. En este capítulo se examinan los principios básicos de los Inductosyn y su papel tradicional. Para entender el principio de operación, se examina mejor el Inductosyn Lineal.

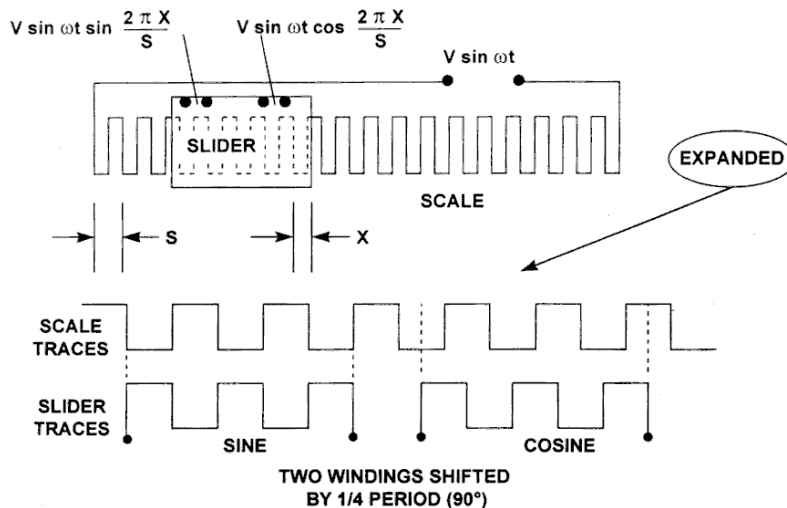
**5.4.1 Inductosyn Lineal**

El sistema Inductosyn Lineal consiste en dos partes acopladas magnéticamente y es similar en operación en un Resolver. Por una parte, la regla, está fija a lo largo del eje de medición (por ejemplo, la bancada de una máquina herramienta). Por otra parte, el deslizador, está colocado de modo que se pueda mover a lo largo de la regla y está asociado con el dispositivo que va ha ser posicionado (por ejemplo, el transportador de una máquina herramienta).

La regla consiste en una base de material tal como el acero, el acero inoxidable, el aluminio, etc..., cubierto por una capa aislante. Pegado a la base está un circuito impreso formando una forma de onda rectangular continua. De hecho la regla está hecha generalmente de secciones de 10 pulgadas que se unen una a continuación de la otra hasta llegar a la longitud a medir. El paso cíclico de la forma de onda tiene generalmente 0.1 pulgada, 0.2 pulgadas o 2 mm.

El deslizador tiene normalmente 4 pulgadas de largo y tiene dos pistas de circuito impreso idénticas separadas en la superficie que se encara con la regla. Estas dos pistas están formadas por una forma de onda exactamente igual al cíclico que la regla, pero una pista está desfasada 1/4 de paso cíclico de la otra, 90°.

El deslizador y la regla están separados por una brecha cercana a las 0.005 pulgadas y está situada una pantalla electrostática situada entre ellas. Un diagrama de la relación entre el deslizador y la regla se muestra en la figura siguiente.



**Relación entre el deslizador y la regla del Inductosyn Lineal.**

El principio de operación no es muy diferente del Resolver. Si a la regla se le aplica un voltaje AC (que es normalmente entre 5 kHz y 10 kHz)  $V \text{ sen } \omega t$ , entonces la salida del bobinado del deslizador será:

$$V \text{ sen } \omega t \text{ sen } (2\pi X/S) \quad \text{y} \quad V \text{ sen } \omega t \text{ cos } (2\pi X/S)$$

Donde  $X$  es el desplazamiento lineal del deslizador y  $S$  es la longitud cíclica.

### 5.4.2 Inductosyn Rotatorio

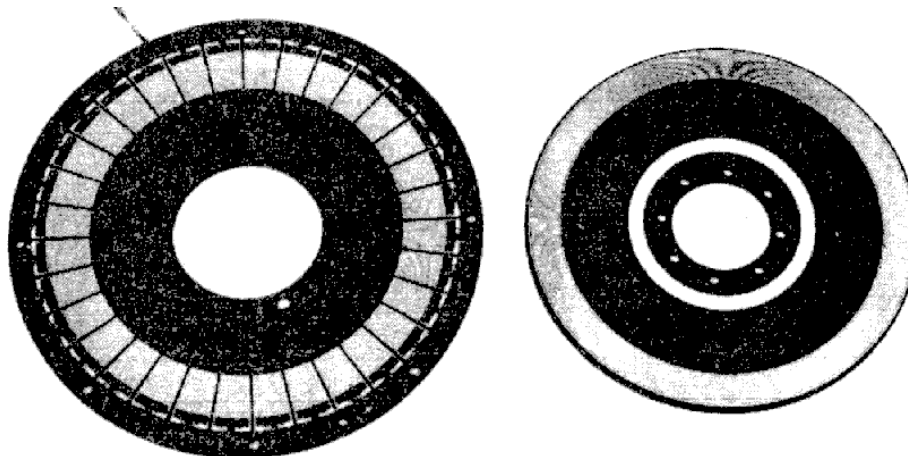
El estator de un Inductosyn Rotatorio corresponde al deslizador de un Inductosyn Lineal, tiene dos formas de onda rectangulares impresas radialmente sobre el disco. El rotor corresponde a la regla del Inductosyn Lineal y es un disco con una pista completa con una forma de onda rectangular. El funcionamiento es el mismo que en el caso del Resolver.

Los Inductosyn vienen en diámetros de 3, 7 y 12 pulgadas y tienen 256, 360, 512, 720, 2000 o 2048 polos (2 polos = 1 ciclo). Estas unidades se pueden suministrar separadamente estator y motor o completamente montadas. A continuación se muestra un Inductosyn Rotatorio.

Cuando el rotor del Inductosyn Rotatorio es excitado por un voltaje AC,  $V \text{ sen } \omega t$  (normalmente de 5 kHz a 10 kHz), los voltajes del estator serán:

$$V \text{ sen } \omega t \text{ sen } (N\theta/2) \quad \text{y} \quad V \text{ sen } \omega t \text{ cos } (N\theta/2)$$

Donde,  $\theta$  es el ángulo de rotación del rotor con respecto al del estator y  $N$  es el número de polos del rotor.



**Rotor y estator de un Inductosyn Rotatorio**

### 5.5 Sensores de Posición Resistivos

Los potenciómetros se utilizan también como sensores de posición. Mediante una tensión DC de referencia muy estable, el cursor da una salida proporcional al ángulo del eje.

Las consideraciones a tener en cuenta son el número de maniobras que va a realizar, para calcular la vida del mismo, ya que existe un contacto mecánico entre la resistencia y el terminal del cursor. **Bourns** fabrica una serie de potenciómetros especializados para este trabajo, utilizan como elemento resistivo el *bobinado* que es muy lineal, y también el *plástico conductor* que a parte de la linealidad ofrece una vida muy larga.

Existe en el mercado una variedad de elementos resistivos que se utilizan en los potenciómetros, el elemento más popular es el carbón, su mejor característica es el precio, pero como inconvenientes tiene las variaciones de temperatura y su vida; el *cermet* es una combinación de un material CERámico y METal que mejora muchísimo las características del carbón. Después se encuentra el bobinado, que sus principales ventajas son el bajo coeficiente de temperatura, su vida mecánica, bajo ruido, alta disipación, y estabilidad con el tiempo. Otro elemento utilizado es el plástico conductor que mejora en todas las características respecto a los demás elementos, pero tiene un precio superior.

**5.6 Sensores Magnéticos**

Existen dos tipos de sensores magnéticos: Magneto-resistivos y de Efecto Hall.

**5.6.1 Sensores Magnetoresistivos**

El efecto magneto-resistivo data de 1856, donde Thomson observó este efecto aunque no se encontró ninguna aplicación práctica. Posteriormente con los semiconductores se empezó a utilizar como detectores de movimiento. La gama de sensores magnetoresistivos de Philips está caracterizada por su alta sensibilidad en la detección de los campos magnéticos, en un amplio rango de temperatura de trabajo, con un ‘offset’ muy bajo y estable, y con una baja sensibilidad a la tensión mecánica. Por lo tanto, son un excelente medio de medida tanto en desplazamiento lineal como en angular, bajo condiciones ambientales extremas en aplicaciones de automoción o maquinaria (ruedas dentadas, varillas de metal, levas, etc.). Otra aplicación de los sensores magnetoresistivos es la medición de velocidad rotacional.

Un ejemplo donde las propiedades de los sensores magnetoresistivos pueden ser útiles es en las aplicaciones de automoción, tal como detección de velocidad de una rueda para el ABS, en sistemas de control de motores y en detectores de posición para la medición de la posición de un chasis, en la medición de posición de válvulas o de los pedales. Otro ejemplo, es en la instrumentación y control de equipos, que frecuentemente requieren sensores de posición capaces de detectar desplazamientos en la región de las décimas de milímetro (o a veces menor) y en sistemas de ignición electrónica donde se tiene que poder determinar con gran precisión la posición angular de un motor de combustión. Debido a su alta sensibilidad los sensores magnetoresistivos pueden medir campos magnéticos muy débiles y son ideales para aplicaciones en brújulas electrónicas, corrección del campo de la tierra y detección de tráfico.

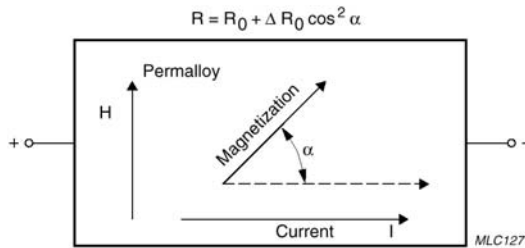
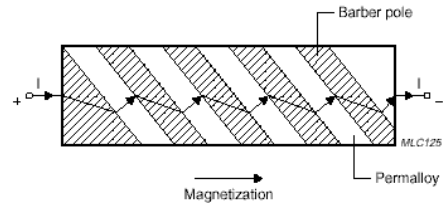
Los sensores magnetoresistivos (MR) utilizan el efecto magneto-resistivo, que se basa en la propiedad de un material que cambia su resistividad por la presencia de un campo magnético externo (las unidades comunes utilizadas para los campos magnéticos se muestran en la siguiente tabla.

1 kA/m = 1.25 mTesla (en el aire)
1 mT = 10 Gauss

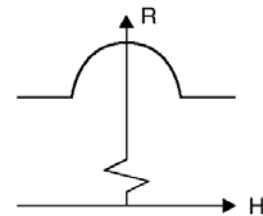
**Unidades magnéticas más comunes**

En la figura se muestra el principio de trabajo básico de un sensor MR, con una tira de material ferromagnético llamado permalloy (20% de Fe, 80% de Ni). Suponiendo que, cuando no está presente un campo magnético externo, el permalloy tiene un vector de magnetización interno paralelo al flujo de la corriente ‘I’ de izquierda a derecha. Si se aplica un campo magnético externo ‘H’ paralelo al plano del permalloy, pero perpendicular al flujo de la corriente ‘I’, el vector de magnetización interno del permalloy rotará alrededor de un ángulo  $\alpha$ . Como resultado, la resistencia ‘R’ del ‘permalloy’ cambiará en función del ángulo de rotación  $\alpha$ , dado por:

$$R = R_0 + \Delta R_0 \cos^2 \alpha$$



**Efecto Magnetoresistivo del ‘permalloy’.**

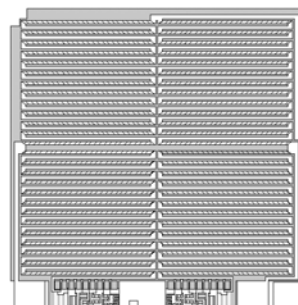
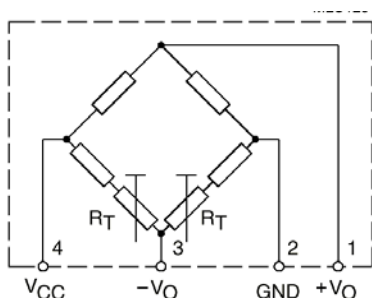


**Resistencia del ‘permalloy’ en función de un campo externo.**

$R_0$  y  $\Delta R_0$  son parámetros del material y para lograr las características óptimas del sensor, Philips utiliza Ni19Fe81, el cual tiene un valor alto de  $R_0$  y una baja magneto-restricción. Con este material,  $\Delta R_0$  es del orden del 3%. Es obvio que es una ecuación cuadrática, es decir, que la característica de la resistencia/campo magnético no es lineal, entonces, cada valor de R no está asociado necesariamente con un único valor de H.

Básicamente, el efecto MR se puede utilizar para la medición angular y la velocidad rotacional, donde no se requiera la linealización de la característica del sensor. En la serie de sensores KMZ, hay cuatro tiras de

‘permalloy’ que están ordenadas en forma de laberinto en el silicio. Están conectadas en una configuración en puente de Wheatstone, que tiene las siguientes ventajas: la reducción de la deriva por temperatura, el que se duplica la señal de salida y que el sensor se puede alinear en fábrica. Además se incluyen dos resistencias  $R_T$ , como se muestra en la figura, que son para ajustar el ‘offset’ del sensor casi a cero durante el proceso de producción, también se muestra la estructura de las cuatro tiras de permalloy.

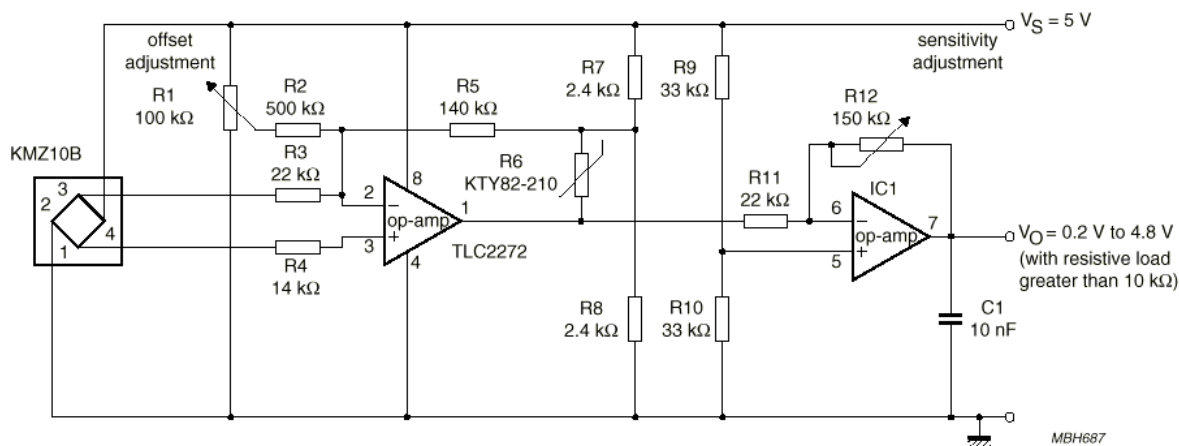


En la tabla siguiente se muestran las características de la familia de sensores magnetorresistivos KMZ de Philips, junto con sus aplicaciones típicas.

Tipo	Rango del Campo (Ka /m) <sup>(1)</sup>	(V)	Sens. (mV/V) (kA/m)	Volt. de Offset (mV/V)	Resistencia del Puente (kΩ)	Linealiza el efecto MR	Bobina interna	Aplicaciones
<b>KMZ10A</b>	-0.5 a + 0.5	≤9	16	±1.5	1.2	Si	No	Detección de metal, control de tráfico
<b>KMZ10A1</b>	-0.5 a +0.05	≤9	22	±1.5	1.3	Si	No	
<b>KMZ10B</b>	-2.0 a +2.0	≤12	4	±1.5	2.1	Si	No	Posición angular y lineal, velocidad rueda
<b>KMZ10B1</b>	-2.0 a +2.0	≤12	4	±1.5	2.1	Si	No	
<b>KMZ10C</b>	-7.5 a + 7.5	≤10	1.5	±1.5	1.4	Si	No	
<b>KMZ41</b>	H= 100 <sup>(3)</sup>	≤12	2.8	±8	2.5	No	No	Medida angular
<b>KMZ50</b>	-0.2 a + 0.2	≤8	16	±1	2	Si	Si	Control de tráfico, metales, Compass, navegación.
<b>KMZ51</b>	-0.2 a + 0.2	≤8	16	±1	2	Si	Si	

Notas :

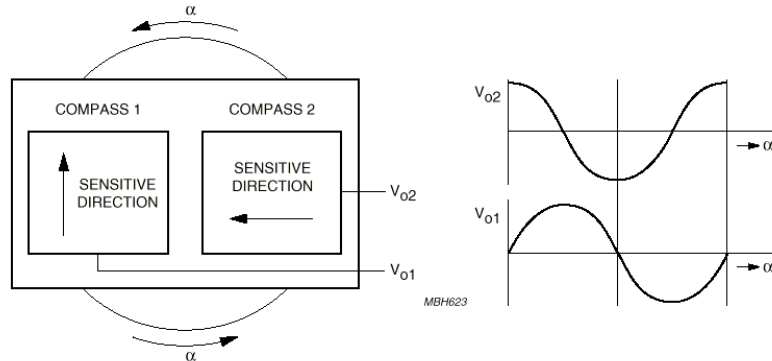
- (1). En el aire, 1 kA/m corresponde a 1.25 mTesla.
- (2). Información dada para trabajar con campo auxiliar conmutado.
- (3). Fuerza del campo recomendada.



Circuito básico con ajuste de ‘offset’ y compensación de temperatura.

**5.6.2 Brújula Electrónica**

La brújula electrónica es una aplicación típica de la medición de campos débiles, con dos sensores magnetorresistivos de Philips alineados en un mismo plano, pero a 90° el uno del otro. Esto configura una brújula bidimensional, con los sensores midiendo las componentes X e Y del campo medido (terrestre).



**Diagrama de bloques simplificado de una brújula electrónica.**

Ambos sensores suministran una única onda senoidal cuando rotan giran en el campo geomagnético de la Tierras. Estas dos brújulas dimensionales son sensibles al ángulo  $\alpha$  entre la superficie de la Tierra y el plano de medición del sensor: un cambio en este ángulo cambiará la alineación entre el eje de sensibilidad del sensor y el campo de la Tierra y por lo tanto afectará a la salida del sensor. Este efecto, similar al visto en brújulas convencionales, se puede observar claramente en aplicaciones de automoción, cuando un coche está yendo por una cuesta arriba o abajo. Los sistemas de alta precisión eliminan este problema utilizando una brújula tridimensional y un sensor de gravedad.

	Angulo $\alpha$		
Ubicación	5°	10°	15°
Zurich	9.7°	18.8°	26.9°
Hamburgo	12.5°	23.8°	33.3°
Singapur	1.5°	2.9°	4.3°
Tokio	5.7°	11.2°	16.5°

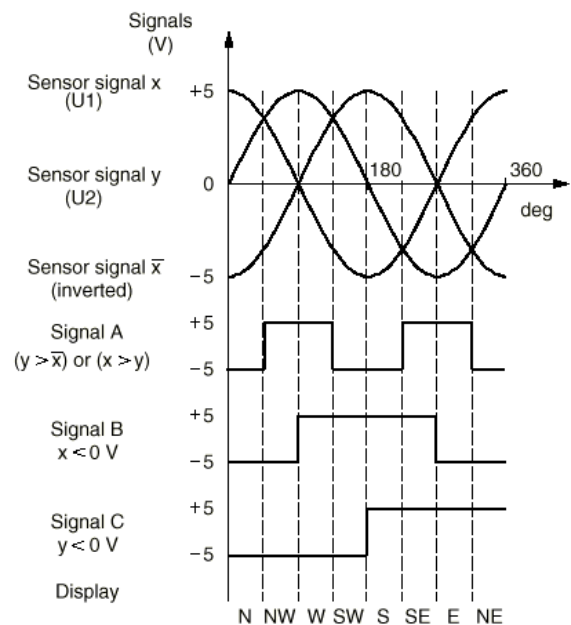
**Desajustes típicos en sistemas de brújula para diferentes ángulos  $\alpha$**

En el circuito de control se pueden incorporar diversos niveles de complejidad, para incluir diversas técnicas de compensación, dependiendo de nivel de precisión requerido y de las influencias ambientales esperadas.

**A. Brújula simple de 8 segmentos**

La función principal de una aplicación de una simple brújula, es indicar puramente la dirección N, NE E, SO, etc.). Esta función básica se encuentra típicamente en ayuda a la navegación, por ejemplo, en conductores de coches que requieren solamente unas indicaciones de su orientación y no una exacta indicación de su dirección.

Para esta simple aplicación, solo es necesario mostrar las ocho direcciones. En este caso, las dos señales de salida se pueden comparar unas con otras para lograr tres señales digitales. Estas dan las informaciones básicas de N, S, E y O, mientras que otra señal del sensor invertida, determina si la señal del sensor está cambiando positiva o negativamente y se incluye en la comparación, para distinguir entre las ocho posiciones de la brújula. Se pueden utilizar simples comparadores para obtener tres señales digitales, que controlan una unidad de ‘display’ a través de un multiplexor.



**5.6.3 Detección de Tráfico**

Como que el número de vehículos utilizando vías ya congestionadas aumenta constantemente, los sistemas de control de tráfico se están convirtiendo en más necesarios para evitar atascos. Estos sistemas monitorizan el flujo de tráfico, el promedio de velocidad y la densidad, permitiendo que signos indicadores de camino controlen el flujo y la velocidad del tráfico. También tienen la ventaja de indicar posibles incidentes, donde las velocidades bajan rápidamente, por debajo del promedio, en ciertas secciones del camino. Con simples modificaciones a estos sistemas permiten ser utilizados para mejorar la seguridad y también para monitorizar el tráfico en tierra de los aeropuertos.

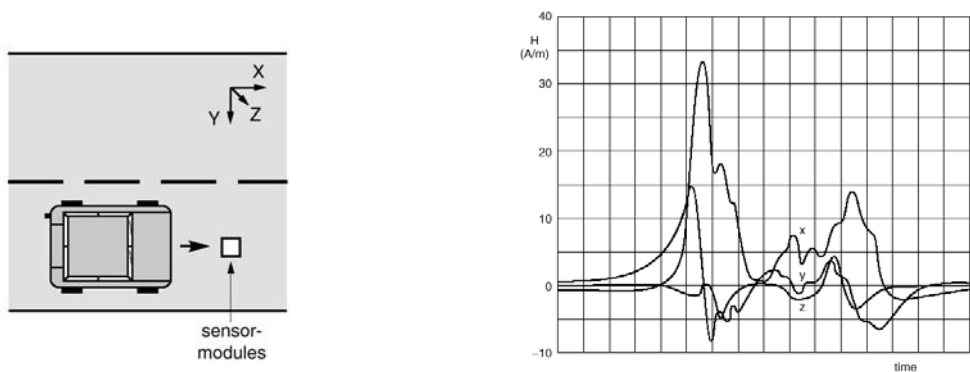
Aunque se utilizan sistemas computerizados altamente sofisticados para analizar las diversas entradas en los sistemas de tráfico, actualmente esta información de entrada se obtiene desde sistemas de detección inductivos. Estos sistemas de medición inductivos tienen gran número de desventajas: baja sensibilidad, necesitan ocupar una gran área de la carretera durante la instalación, alto consumo, los hacen costosos e ineficientes. También son más vulnerables debido a la tensión térmica del pavimento.

Como que prácticamente cada vehículo fabricado contiene un alto número de componentes ferromagnéticos, puede ser detectado un campo magnético específico para cada modelo de cada fabricante, utilizando las técnicas de medición de campos débiles con sensores magneto-resistivos. Incluso con el mayor uso del aluminio en la fabricación de vehículos, creará aún un cambio medible en la fuerza del campo geomagnético y en la densidad del flujo.

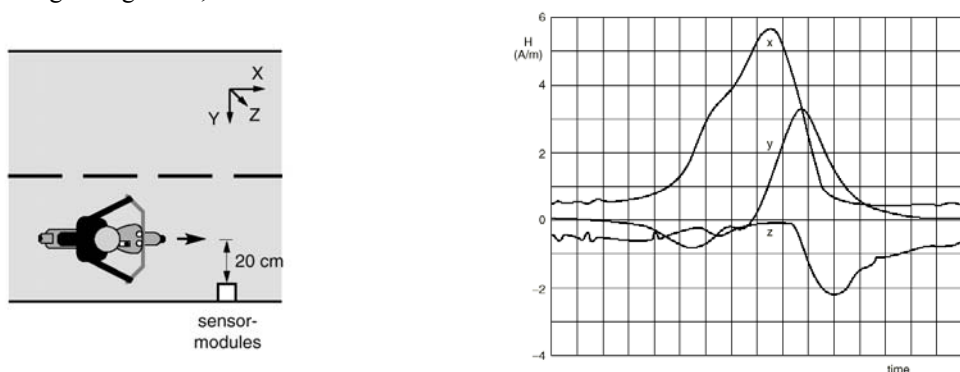
En comparación con los métodos inductivos, tienen mayor sensibilidad magneto-resistiva en la medición y se puede dar una información del tipo de vehículo. También, debido al tamaño y la colocación del sensor, los sistemas pueden ser instalados más fácilmente y rápidamente en cualquier tramo de la carretera o incluso en el lateral de la carretera, si es necesario. Combinado con el bajo consumo, hace que un sistema de control magneto-resistivo sea un método barato y más eficiente para la detección de tráfico.

**A. Mediciones en la carretera**

Se montó una prueba de campo, con un módulo sensor tridimensional, primero para medir las señales de diferentes vehículos y después para discriminar valores de señal en tres categorías de vehículos (coches, furgonetas y camiones). En la primera prueba, se situó un módulo en la carretera bajo el vehículo y para su comparación se hizo una segunda prueba, situando un módulo en el lateral de la carretera. En las figuras siguientes se pueden ver la colocación de sensor en la carretera y los espectros detectados al pasar un Opel Kadett.



El campo local geomagnético fue calibrado a cero, de modo que solamente sería registrado el desajuste en el campo provocado por el vehículo cuando pasa. El módulo sensor también demostró ser lo suficientemente sensible para detectar y distinguir motos (hasta con motor, marco y ruedas de aluminio), que producen espectros como los de la figura siguiente, desde el lateral de la carretera.



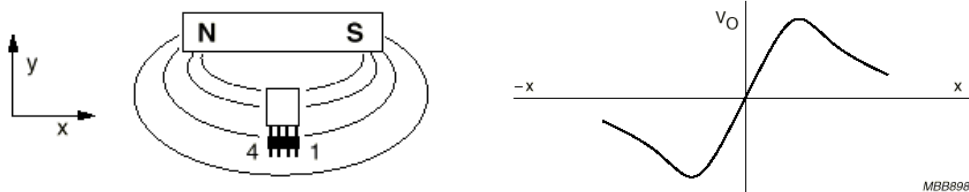
**5.6.4 Medida de Posición lineal y de Proximidad**

La gran sensibilidad de los sensores magneto-resistivos sirven para los sistemas de medición de posición lineal, con un gran número de aplicaciones posibles. El punto básico puede ser utilizado para la medición de la posición de un punto, y para la medición de una posición lineal se puede adaptar y modificar fácilmente para producir un sensor de proximidad.

El principio es muy similar al que se utiliza para la medición angular, ya que cuando un imán se mueve sobre el objetivo a detectar, los cambios en los vectores de magnetización internos de las tiras de ‘permalloy’ del sensor, se alinean ellos mismos con el campo magnético externo, cambiando así su resistencia.

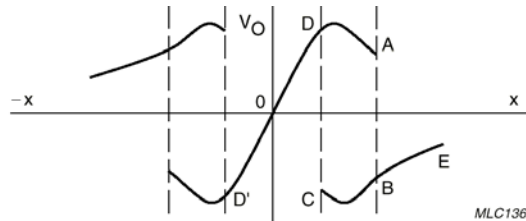
Cuando un sensor magneto-resistivo está situado en un campo magnético permanente, generalmente está expuesto a campos en ambas direcciones X e Y. Si el imán está orientado de tal modo que el eje del campo auxiliar en la dirección X es paralelo a las tiras de permalloy del sensor, entonces se puede ver que cualquier movimiento en la dirección Y, como fluctuaciones en el campo transversal, que se puede igualar a la posición del imán respecto al sensor.

La región lineal de la salida sinusoidal del sensor, está definida aproximadamente por la longitud del imán. Fuera de esta área, el campo axial producido por el imán se hace más débil y cerca de los polos cambian de dirección.



**Salida del sensor en el campo de un imán permanente.**

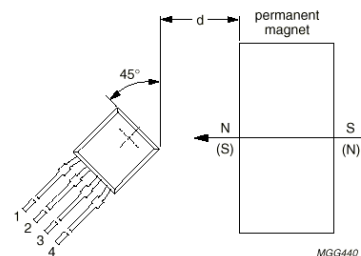
En la figura anterior se muestra uno de los montajes más simples utilizando una combinación de sensor e imán para mediciones de desplazamiento lineal. Si se utiliza un campo magnético fuerte o el sensor está situado muy cerca del imán, hay el peligro que el campo auxiliar excediera al campo requerido y se produciría un cambio en la característica del sensor, produciendo una histéresis en la salida del sensor, figura siguiente.



**Salida del Sensor en un campo magnético fuerte.**

Orientando el eje del sensor a 45° respecto al eje del imán permanente, tal como se muestra en la figura, es posible utilizar el sensor junto con un comparador, como un detector de proximidad. En este montaje el sensor tiene una salida negativa, para ambos montajes del imán, que se puede pasar hacia la entrada inversora de un comparador.

La salida resultante es claramente indicativa de la distancia ‘d’ entre el imán y el sensor. Los niveles de conmutación del sensor son muy importantes en esta aplicación; debajo de un cierto nivel, los campos magnéticos externos fuertes pueden perturbar al sensor suficientemente para producir resultados ambiguos.

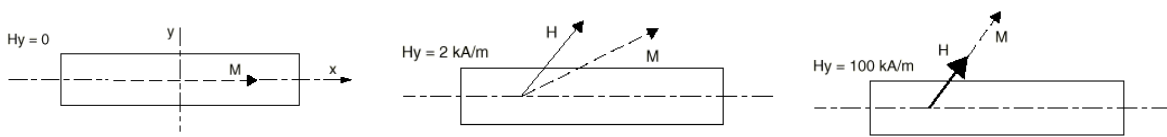


**Detector de Proximidad utilizando un sensor magneto-resistivo.**

**5.6.5 Medición Angular**

El principio de la medición angular con un sensor magneto-resistivo es esencialmente simple; como se explicó anteriormente el efecto magnetorresistivo es de naturaleza angular. La resistencia de las tiras de ‘permalloy’ depende del ángulo  $\alpha$  entre el vector de magnetización interno de la tira de ‘permalloy’ y la dirección de la corriente a través de éste.

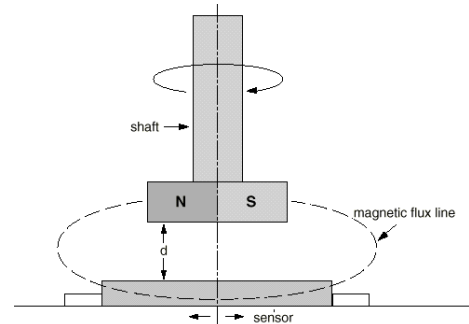
Para lograr una medida exacta, la única condición es que el vector de magnetización interno del ‘permalloy’ siga directamente al campo externo. Esto se hace aplicando un campo externo muchísimo mayor que el campo interno para que el sensor sea ‘saturado’; con los sensores actuales, esto normalmente se logra teniendo una fuerza de campo magnético de 100 kA/m, aproximadamente, en el plano del sensor. En este montaje mecánico, el ángulo se mide directamente detectando la dirección del campo y el montaje es independiente de: la fuerza de campo del imán, la tendencia magnética con el tiempo, la deriva magnética con la temperatura, y las tolerancias mecánicas, que permite reducir las tolerancias del sistema y el ajuste del sensor. Ésta es la solución adoptada por Philips en los módulos KM110B. La única precaución que se tiene que tomar con esta técnica, es asegurar las direcciones del campo durante el ajuste las direcciones del campo después del ensamblaje.



**Alineación de los Vectores de campo magnético internos del sensor con respecto a diferentes campos externos desde 0 hasta 100 kA/m.**

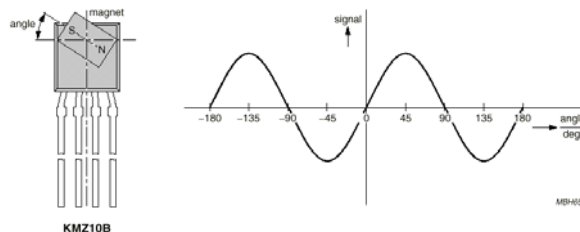
Al usar una combinación de sensor/imán, en aplicaciones de medida angular, el imán se pone en el objetivo, delante del sensor (y se posiciona para que su vector de magnetización interno esté en paralelo al imán en el punto de referencia).

Cuando el objetivo gira, el imán rueda delante del sensor y el ángulo del campo externo cambia con relación al campo interno de las tiras del ‘permalloy’. Esto causa que el vector de magnetización interno del sensor ruede con un ángulo  $\alpha$ , alineándose con el campo externo, véase la figura anterior.



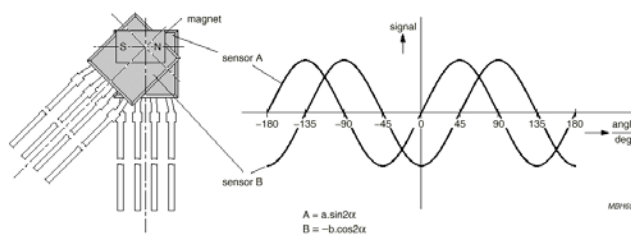
**Montaje del sensor y el imán.**

Para extender el rango del ángulo, de la relación básica:  $(R = R_0 + \Delta R_0 \cos^2\alpha)$  se puede mostrar fácilmente que:  $R \approx \sin 2\alpha$ . Si se usa un sensor en el modo no-linealizado, entonces, una sola rotación del objetivo ( $360^\circ$ ) se traduce en una señal de salida de  $720^\circ$  (2 ondas senoidales completas). Esto significa que la señal de salida del sensor magneto-resistivo sólo ofrece buena linealidad dentro del rango del ángulo de  $\pm 15^\circ$  (donde  $\sin \alpha \approx \alpha$ ). Si la señal de salida es aceptable en la aplicación (por ejemplo, si hay un microprocesador en el sistema, que puede convertir la curva senoidal de salida a una relación lineal) el rango del ángulo se puede extender a  $\pm 35^\circ$ . La resolución se reduce en los extremos del rango, pero no afecta en la mitad del rango.



**Medición de un ángulo con el sensor KMZ10B.**

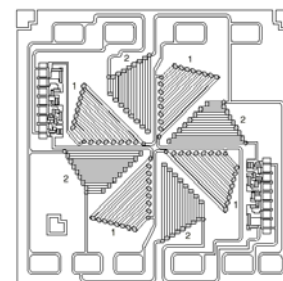
Para obtener una solución para ángulos en el rango de  $\pm 90^\circ$ , se usan dos sensores. Si se posicionan con precisión mecánicamente entre sí a  $45^\circ$  el uno del otro, entonces electrónicamente sus señales de salida están desfasados  $90^\circ$ . Por consiguiente, las señales de salida de los dos sensores representan el  $\sin 2\alpha$  y el  $\cos 2\alpha$  respectivamente y como que  $\sin 2\alpha / \cos 2\alpha = \tan 2\alpha$ ,  $2\alpha$  se puede calcular fácilmente.



**Medición de un ángulo con dos sensores KMZ10B.**

Como que los sensores tienen que estar alineados mecánicamente a 45° (muy exactamente), esto se logra usando los adelantos en la tecnología de fabricación de los sensores magneto-resistivos.

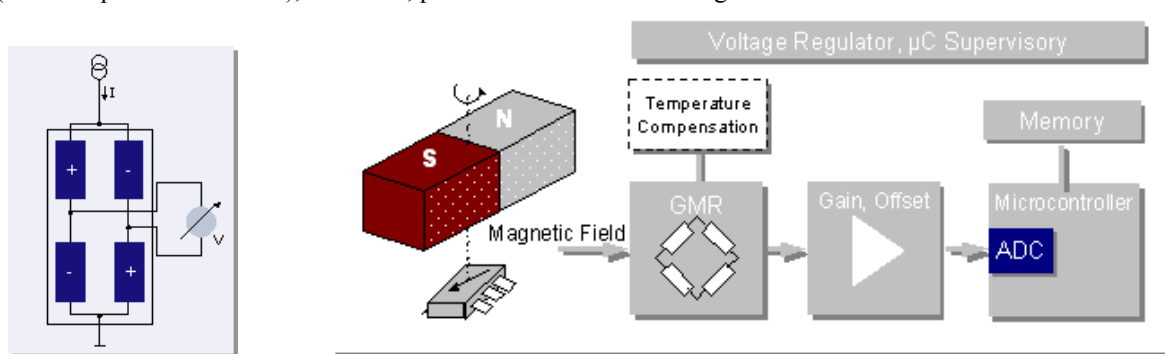
En la figura se muestra el esquema real del sensor KMZ41 de Philips. Tiene 8 redes de material magneto-resistivo, conectadas como dos puentes de Wheatstone individuales, alineados con un desfase de 45° de sus direcciones de sensibilidad magnética, produciendo los requerimientos de un desfase eléctrico de 90°.



Las aplicaciones típicas de los sensores magnetorresistivos para la medición de ángulos son: Automoción (posición de pedales, unidades de suspensión activa, sistemas de autonivelación, control de válvulas, control de retorno de los cinturones de seguridad y detección de desgastes), Electromedicina (escanners, donde la precisión del ángulo es vital), Maquinas de juego (joysticks), etc.

**5.6.6 Sensor Magnético-Resistivos Gigante (GMR) para la medida de ángulos**

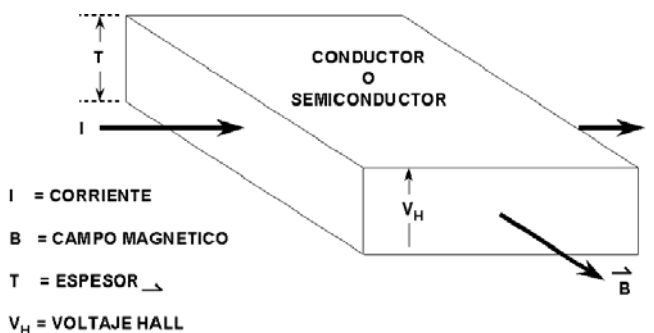
Los sensores de ángulo GMR de *Infineon* están basados en una tecnología multicapa, optimizados para la detección de posiciones angulares. Son sensibles a la dirección del campo magnético aplicado, pero no a su intensidad. Están formados por estructuras del puente monolíticas, en forma de puente de Wheatstone completo (formado por 4 resistencias), GMR B6, para una resolución de 180 grados y dos medios puentes de Wheatstone (formado por 2 resistencias), GMR C6, para una resolución de 360 grados.



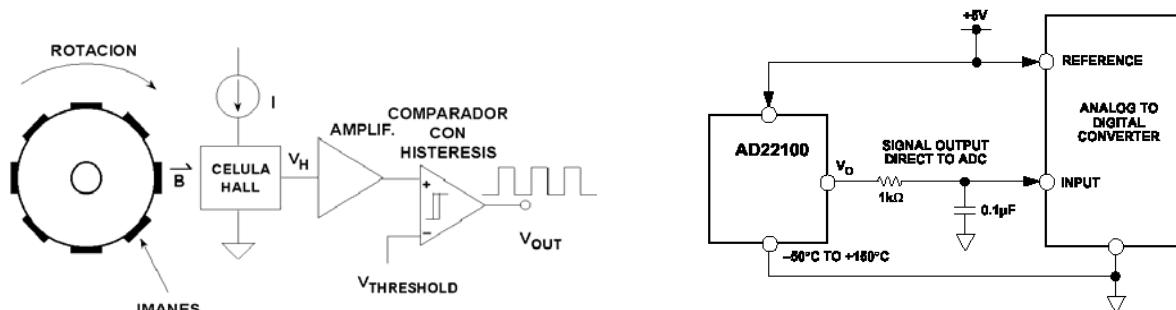
La excelente característica de este sensor magnético, es que es sensible a la orientación del campo magnético y no a su intensidad, con tal de que el campo esté en un rango entre 5... 15 kA/m. Esto significa que la señal de salida de este sensor es independiente de la posición relativa del sensor con respecto al imán en dirección lateral, axial o rotatoria, en el rango de varios milímetros. Los resultados óptimos se logran usando imanes permanentes o ruedas dentadas con polos magnéticos.

### 5.7 Sensores de Efecto Hall

El fenómeno Efecto Hall fue descubierto por E.H. may en 1879. Si una corriente fluye en un conductor (o semiconductor) y se le aplica un campo magnético perpendicular a dicha corriente, entonces la combinación de corriente y campo magnético genera un voltaje perpendicular a ambos. Este fenómeno se denomina *Efecto Hall*.  $V_H$  es una función de la densidad de corriente, el campo magnético, y la densidad de carga y movilidad portadora del conductor.



El efecto Hall se usa para hacer sensores de movimiento, particularmente en aplicaciones de posición y movimiento, lineal o rotatorio. *Analog Devices* ha integrado en un solo dispositivo el sensor y la circuitería de acondicionamiento para minimizar las derivas debidas a la temperatura asociadas a las características de la célula de silicio, con la familia AD22xxx.

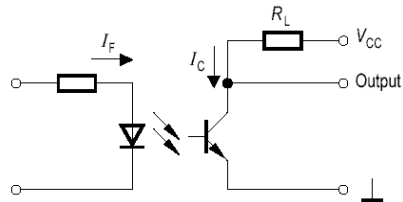


**5.8 Sensores Ópticos**

Los sensores ópticos los forman los fotointerruptores de barrera, reflectivos y los encoders ópticos.

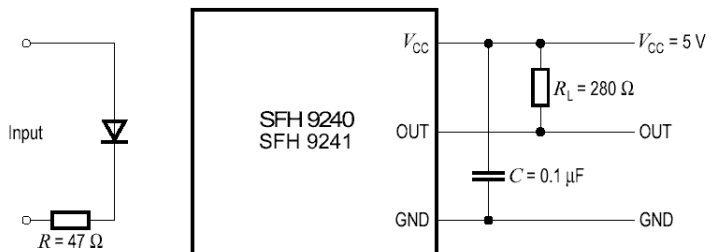
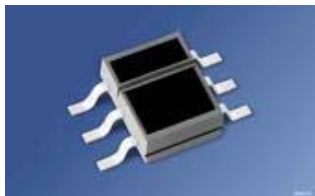
**5.8.1 Foto-interruptores de barrera**

Están formados por un emisor de infrarrojos y un fototransistor separados por una abertura donde se insertará un elemento mecánico que producirá un corte del haz. La salida será 0 o 1.



**5.8.2 Foto interruptores reflectivos**

Están formados por un emisor y un receptor de infrarrojos situados en el mismo plano de superficie, que por reflexión permiten detectar dos tipos de colores, blanco y negro normalmente, sobre un elemento mecánico.

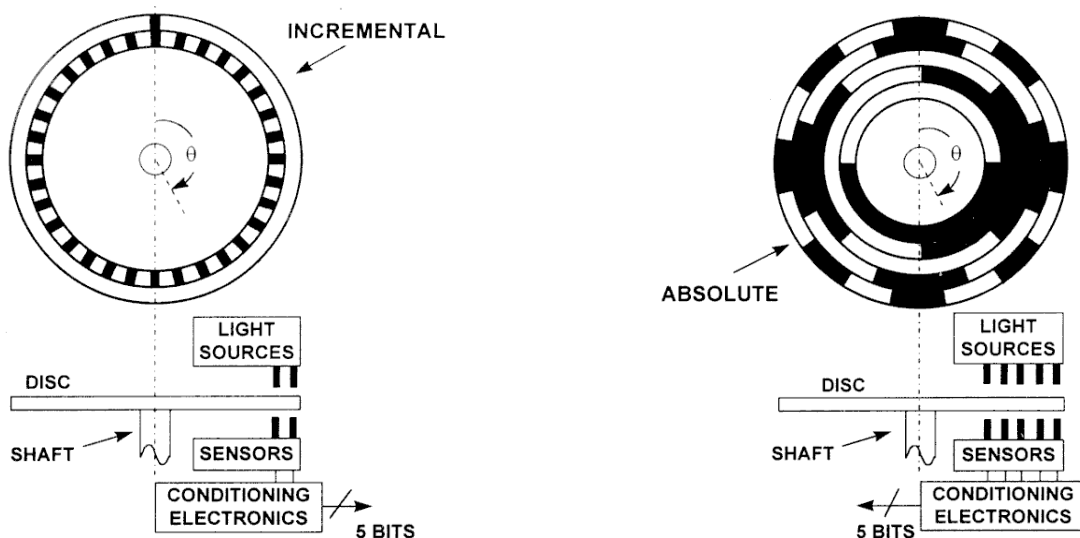


**5.8.3 Encoders ópticos**

Con los foto-interruptores y los reflectivos se pueden montar los encoders ópticos, formados por un disco que tiene dibujados segmentos para ser detectados por los sensores. Existen dos tipos de encoders, los Encoders Incrementales y Encoders Absolutos.

**Encoder Incrementales:** permiten que un sensor óptico detecte el número de segmentos que dispone el disco y otro sensor detecte la posición cero de dicho disco.

**Encoders Absolutos:** permiten conocer la posición exacta en cada momento sin tener que dar una vuelta entera para detectar el punto cero del disco. La diferencia es que se necesita varios sensores ópticos y el disco debe de tener una codificación tipo Manchester, por ejemplo.



## 6 Sensores de Movimiento (Posición, Velocidad y Aceleración)

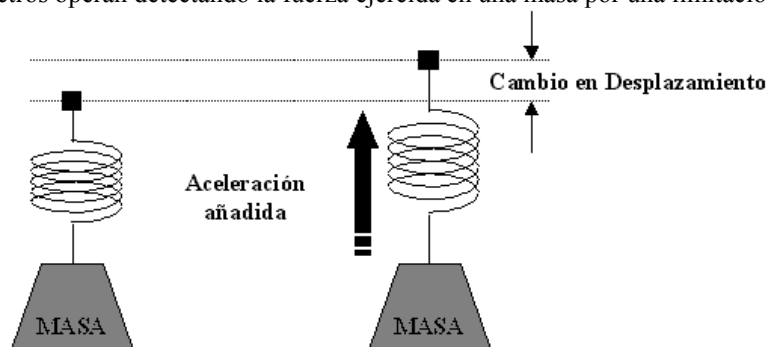
1. **Electromecánicos:** Una masa con un resorte y un amortiguador.
2. **Piezo-eléctricos:** Una deformación física del material causa un cambio en la estructura cristalina y así cambian las características eléctricas.
3. **Piezo-resistivos:** Una deformación física del material cambia el valor de las resistencias del puente.
4. **Capacitivos:** El movimiento paralelo de una de las placas del condensador hace variar su capacidad.
5. **Efecto Hall:** La corriente que fluye a través de un semiconductor depende de un campo magnético.

Los sensores de movimiento permiten la *medida de la fuerza gravitatoria estática* (cambios de inclinación), la *medida de la aceleración dinámica* (aceleración, vibración y choques), y la *medida inercial de la velocidad y la posición* (la velocidad midiendo un eje y la posición midiendo los dos ejes).

**Aplicaciones:** Aceleración / Desaceleración (Air Bag), Velocidad / Cambio de velocidad, Choques / Vibraciones, Detección prematura de fallos en un equipo en rotación, Detección y medida de manipulaciones, Actividad sísmica.

### 6.1 Medición de la Aceleración

Las técnicas convencionales para detectar y medir la aceleración se fundamenta en el primer principio descubierto por Newton y descritos en su *Principio de Newton en 1687*. La aceleración constante de una masa implica una fuerza ( $F = m * a$ ), donde **F** es la fuerza, **a** es la aceleración y **m** es la masa. Muchos acelerómetros operan detectando la fuerza ejercida en una masa por una limitación elástica.

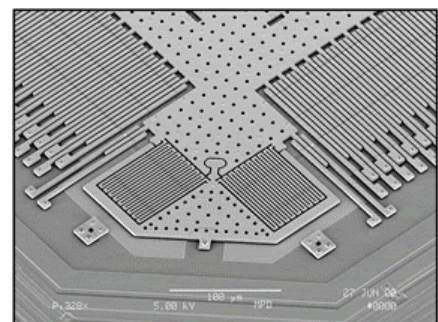


Considerando un sistema mecánico simple, que consiste en una masa fija **m**, con un muelle con una rigidez **k** (constante). Si la masa se desplaza una distancia **x**, la aceleración debida a la fuerza restauradora del muelle es  $F = k * x$ . Substituyendo en la ecuación de Newton, encontramos que  $a = k * x / m$  y podemos derivar la magnitud de la aceleración observando el desplazamiento **x** de la masa fija. Este principio fundamental se utiliza hasta en el más sofisticado y caro acelerómetro electromecánico; así también trabajan los modernos acelerómetros micromecanizados.

La *Aceleración* es el cambio de la velocidad. La unidad de medida es: **m/s<sup>2</sup>, g (1g = 9.8m/s<sup>2</sup>)**

#### 6.1.1 Acelerómetros Capacitivos

Analog Devices con el acelerómetro monolítico ADXL50, se convirtió en la primera compañía que ha fabricó en producción de alto volumen un acelerómetro para aplicaciones en automoción como son los sistemas de suspensión activos, cierre de puertas automática, sistemas antibloqueo de frenos y "airbag", este importante desarrollo del acelerómetro no podía haber ocurrido en un tiempo mejor. El elemento sensor estaba complementado con una circuitería de acondicionamiento de señal con salida de voltaje proporcional a la aceleración. Posteriormente se ha mejorado la circuitería dando una salida digital con el ADXL202.



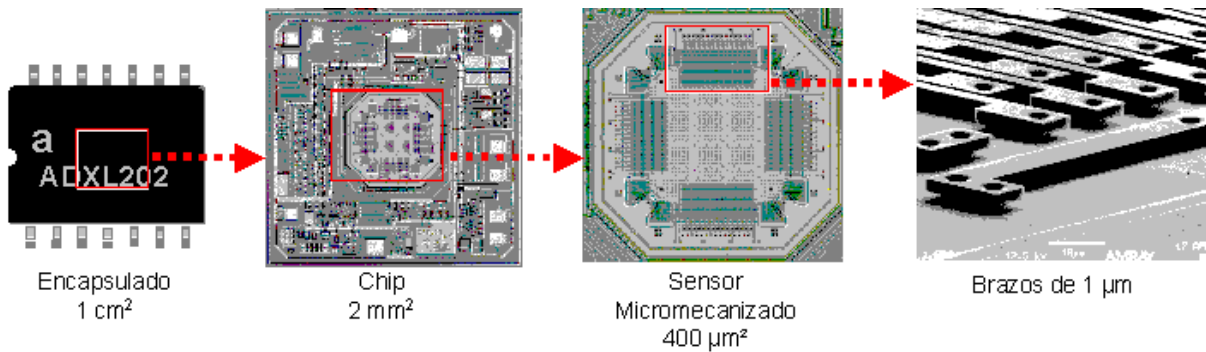
El sensor lo forma una superficie micromecanizada, es un minúsculo sensor de aceleración de movimiento en un circuito integrado de silicio de bajo coste. Solamente la superficie micromecanizada puede dar la combinación de alta seguridad en su funcionamiento y tamaño pequeño. El elemento sensor del acelerómetro mide cerca de 1 mm<sup>2</sup>.

*El silicio que se prueba a sí mismo: ¿Cómo puede probar un sistema "airbag" electromecánico para asegurar que está siempre listo para jugar su papel de salvamento?. La respuesta es muy simple: no puede.*

Por esto los acelerómetros monolíticos de *Analog Devices* con su modo de autocomprobación natural, representan un avance muy importante. La estructura del sensor se hace una autoprueba, está diseñado para hacerse una autocomprobación continua con la aplicación de un comando digital. Esta característica esencial, única de *Analog Devices* asegura que el sistema trabajará en el instante necesario.

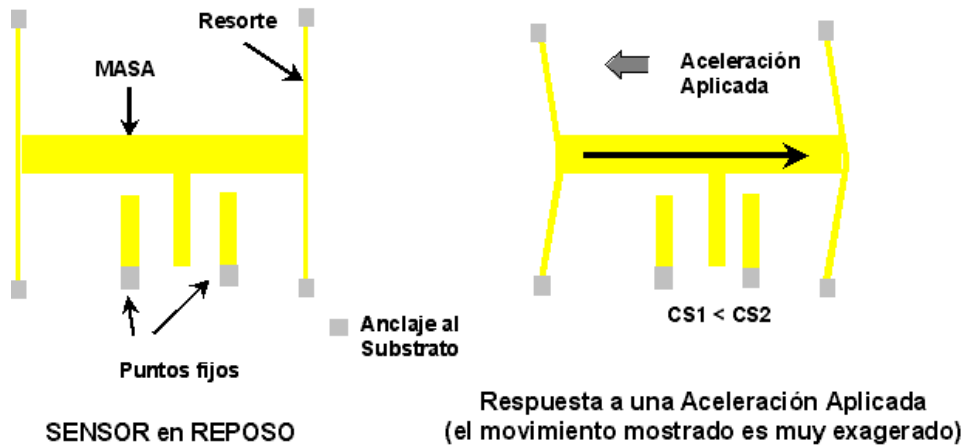
La superficie micromecanizada es una técnica de procesamiento utilizada para fabricar estructuras mecánicas extremadamente pequeñas de silicio. En realidad, el movimiento del elemento micromecanizado en el acelerómetro es menor de 1 mm<sup>2</sup>. Utilizando los mismos pasos para hacer circuitos electrónicos convencionales, la superficie micromecanizada crea estructuras pequeñas que están cerca de la superficie del silicio, no obstante están libres para moverse.

La superficie micromecanizada no se debe confundir con el procesado del volumen micromecanizado utilizado para crear acelerómetros piezorresistivos que hay actualmente en el mercado. Esculpir un volumen micromecanizado a través de un sustrato relativamente grueso, que varía desde 2.5 a 5 mm de lado. La superficie micromecanizada involucra depositar películas delgadas en el sustrato. El resultado es un sistema de medición de aceleración completo en un espacio más pequeño de 10 mm<sup>2</sup>. Estas dimensiones tan pequeñas también dejan sitio para la inclusión de todo el conjunto de circuitos de acondicionamiento de la señal necesaria en el mismo chip.



**6.1.3 Funcionamiento del sensor micromecanizado**

Quando se observa el sensor micromecanizado parece una "H". Los delgados y largos brazos de la "H" están fijos al sustrato. Los otros elementos están libres para moverse, lo forman una serie de filamentos finos, con una masa central, cada uno actúa como una placa de un condensador variable, de placas paralelo. La aceleración o desaceleración en el eje "SENSOR", ejerce una fuerza a la masa central. Al moverse libremente, la masa desplaza las minúsculas placas del condensador, provocando un cambio de capacidad. Este cambio de capacidad es detectado y procesado para obtener un voltaje de salida fácil de utilizar utilizando una tecnología BiCMOS (BiMOS II).



El dispositivo realmente trabaja en un lazo de control electrónico de fuerza/balanceo. Este lazo de control evita el movimiento de la masa en aceleración, por la aplicación de una fuerza igual pero opuesta creada por la aplicación de un voltaje en las placas del condensador. Este voltaje aplicado es directamente proporcional a la aceleración.

**6.1.4 Otras Aplicaciones**

La aceleración es una cantidad física fundamental, manifestada de muchas maneras (gravedad, vibración, y actividad sísmica), estos son algunos ejemplos. La medición de la aceleración continuamente, exactamente y a bajo coste, abre numerosas aplicaciones para los acelerómetros.

Los fabricantes de ordenadores portátiles continuamente buscan formas para hacer sus productos más seguros. Los elementos más dispuestos a dañarse son los dispositivos de almacenamiento masivo (con la consecuente pérdida catastrófica de información almacenada), discos duros particularmente. El delicado mecanismo que lee y escribe información a los discos, flota sobre los discos; un movimiento repentino puede provocar fácilmente un problema, destruyéndose igualmente la información. Un acelerómetro puede detectar el "ataque del daño potencial", contrarrestar los choques y evitar que se dañe el disco.

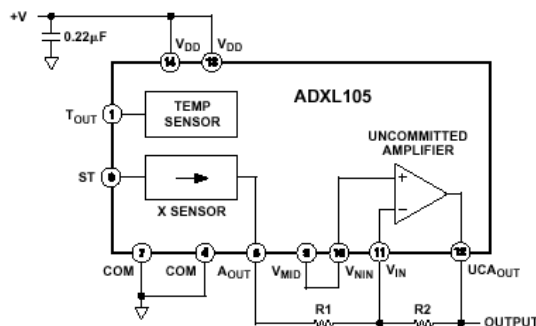
Muchos de nosotros hemos tenido la decepcionante experiencia de abrir un paquete grande y nos hemos encontrado los delicados contenidos totalmente maltratados debido a golpes externos. ¿Cómo ocurrió el daño?, ¿y de quien es la culpa?... Si una grabadora de mano (que consista de un acelerómetro, un cronómetro y un registro de información) se incluyera en la consignación, estas preguntas se podrían responder fácilmente. Tales grabadoras podrían ser la norma para transportar delicados y caros objetos...

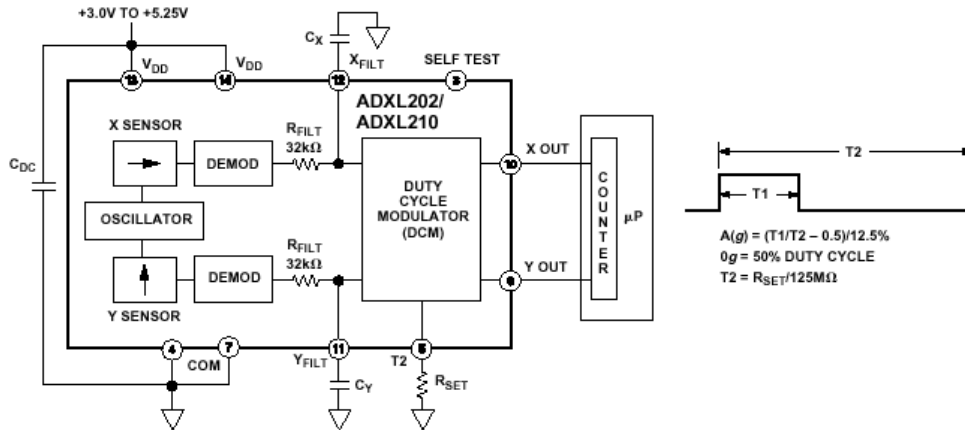
Las aplicaciones militares incluyen ingeniosos sistemas de detonación para misiles y bombas. En este caso un acelerómetro forma parte del sistema difuso, la detección de impacto por la rápida desaceleración asociada. La continua variación de salida del acelerómetro sería rápidamente analizado, estableciendo el instante preciso en que la carga explosiva debe ser detonada produciendo el daño máximo sobre el objetivo.

También puede ser utilizado para monitorizar máquinas de salud, maquinas de rotación para mostrar las características de vibración; grietas o fatigas de las máquinas, monitorizando continuamente las vibración de una máquina, es posible avisar de algún fallo inminente. Las aplicaciones varían según el tipo de máquina: desde una aeronave, sistemas de calentamiento, sistemas de ventilación y aire acondicionado.

**6.1.5 Otros Desarrollos**

El ADXL105 forma parte de una familia que incluye una sensibilidad de escala completa de  $\pm 5 \text{ g}$ , con una resolución de 10mg. También está en desarrollo una familia de sensores de diferentes rangos, con el elemento sensor micromecanizado, es posible incorporar varios en un mismo chip, orientados o no en la misma posición ortogonal. Es decir se pueden construir sensores de doble eje, como el ADXL202, permitiendo medir vectores de aceleración en el plano de superficie del chip y con una salida digital. Por otra parte, se pueden alinear dos o más sensores en el mismo plano, permitiendo sensar señales redundantes para detectar fallos en aplicaciones seguras.



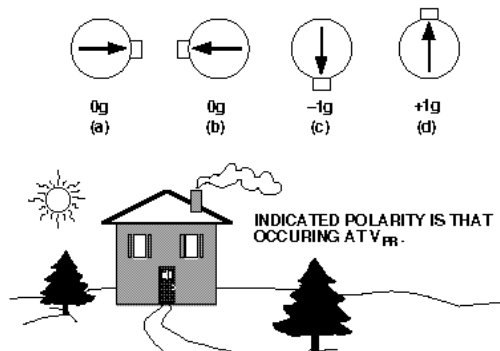


**6.2 Medida de Inclinación**

Para medir la inclinación, se mide el campo gravitatorio estático de la Tierra. Se conoce la aceleración en la tierra, que es de  $9.8 \text{ m/s}^2 = 1 \text{ g}$ . Si se cambia la inclinación (a lo largo del eje sensible de un acelerómetro) se cambia el vector de aceleración:

$$\theta = \arcsin[(V(\text{out}) - V(\text{cero } g)) / (1 \text{ g} \times \text{factor de escala factor}(V/g))]$$

*! Esto parece complicado, pero es muy fácil de hacer usando un acelerómetro ;*



**6.3 Medida inercial de la velocidad y la posición**

Midiendo la aceleración se puede determinar la velocidad y la posición. La Aceleración Integrada: una para velocidad, dos veces para la distancia.

Medida Relativa desde una posición inicial:

$$\text{Velocidad} = A * t \quad \text{Distancia} = (A / 2) * t^2$$

Puede ser exacta para periodos cortos de tiempo, pero la exactitud se degrada proporcionalmente al cuadrado del tiempo de integración. Es posible una exactitud Posicional de 2cm sobre un segundo. La exactitud Posicional se degrada a 20m después de 10 segundos de integración.

**Aplicaciones:** Mejora la precisión de los sistemas GPS (determina la posición del coche cuando el GPS pierde la señal en un túnel). Control dinámico de Vehículos (control de deslizamiento). Ascensores (mejora la precisión posicional usando la medida inercial entre puntos de localización de referencia conocidos)

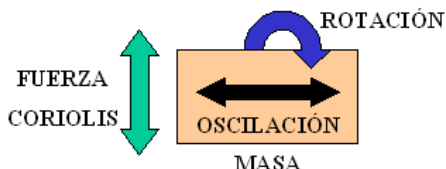
### 6.4 Giróscopos monolíticos

Analog Devices ha fabricado el primer giroscopio monolítico para realizar medidas angulares (mide la velocidad en que gira sobre su propio eje). Puede medir cambios de inclinación o cambios de dirección integrando la velocidad angular.

#### 6.4.1 Medida de la velocidad angular

La velocidad angular mide la rapidez en que gira un objeto alrededor de un eje. Integrando la velocidad angular se miden los cambios de inclinación o cambios de dirección.

La velocidad angular se mide midiendo la fuerza de Coriolis

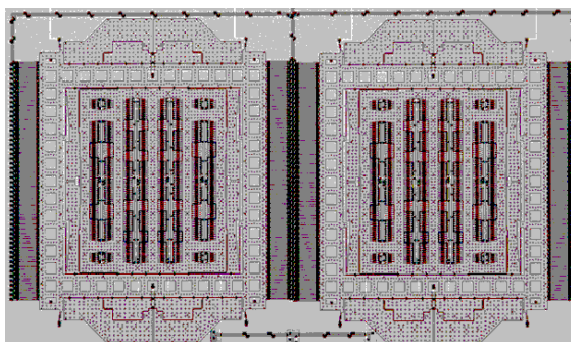


**¿Cuál es la fuerza de Coriolis?:** Cuando un objeto se mueve de una manera periódica (oscilando o girando), girando el objeto en un plano ortogonal a su movimiento periódico causa una fuerza de traslación en la otra dirección ortogonal.

La velocidad angular se determina por la medida de la aceleración de Coriolis.

$$A_{cor} = 2 * (\omega \text{ velocidad de la masa}) \quad \text{donde, } \omega \text{ es la velocidad angular aplicada}$$

La Velocidad aplicada por medio una estructura rígida resonando a 18KHz acoplada a un marco de un acelerómetro. La aceleración de Coriolis estará en la misma frecuencia y fase que el resonador, con tal que la baja velocidad de vibración externa pueda cancelarse. La familia ADXRS150 usa dos traviesas (masas) resonando en antifase. El funcionamiento diferencial permite el rechazo de muchos errores.

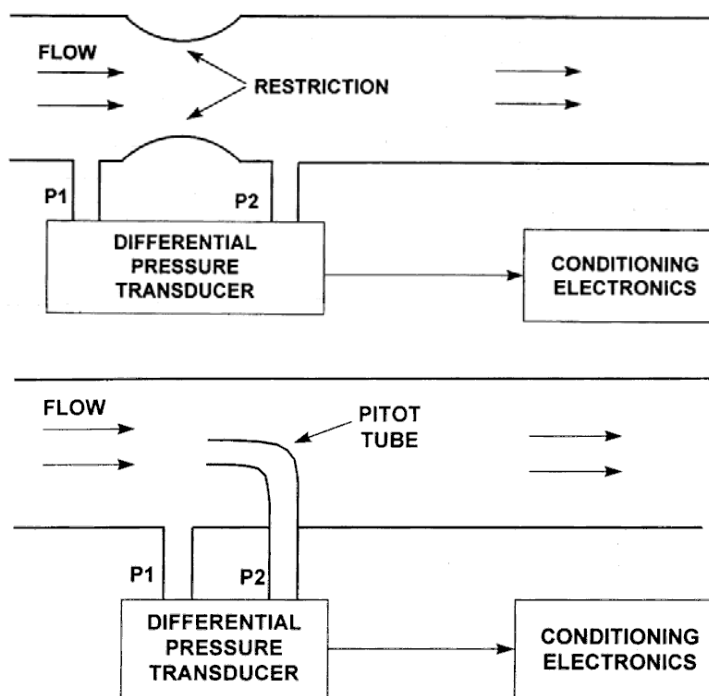


**Aplicaciones:** Control Dinámico de un Vehículo (VDC). Mide la velocidad sobre el eje vertical de un vehículo y compara el valor predictivo, por los sensores de velocidad de las ruedas, para ver si el vehículo se está deslizando. La mayoría de los sistemas VDC también incluyen acelerómetros de bajos g, que se usan para medir si el deslizamiento del vehículo es longitudinal para el control ABS o lateral para detectar pérdida de tracción.

## 7. Sensores de Caudal

Existe una variedad de sistemas para la medición de caudal, dependiendo de los líquidos y de los caudales.

1. **Electromecánicos:** Por *pistones* (midiendo el volumen de cada pistonada), por *turbulencias* (mediante el paso del caudal a través de un cilindro donde gira un cuerpo magnético y al dar vueltas conmuta un interruptor magnético exterior y se cuentan los pulsos), por *turbina* (contando las vueltas), por *vibraciones* (un elemento mecánico vibra al paso del caudal y se mide la frecuencia).
2. **Magnéticos:** Aplicando un campo magnético perpendicular al caudal.
3. **Ultrasonidos:** Aplicando un emisor y un receptor de ultrasonidos.
4. **Semiconductores:** Por *diferencia de presión* utilizan un sensor de presión diferencial entre dos puntos separados de medida en un tubo. *Motorola* fabrica sensores de Presión de medida diferencial, serie MPX.



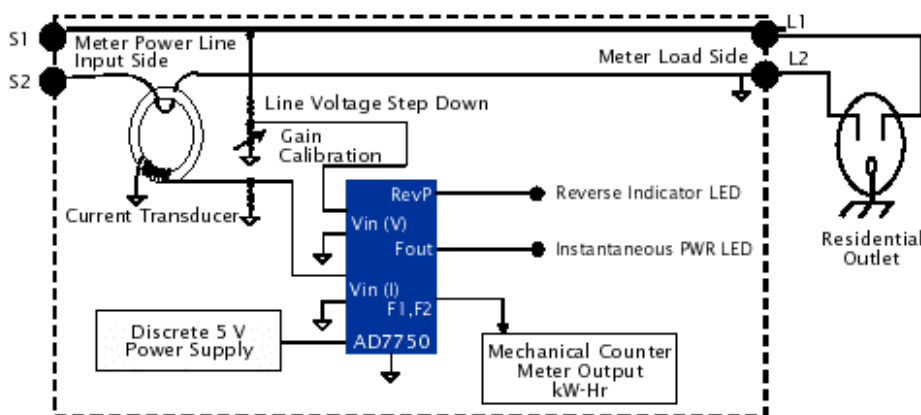
Dos montajes para la aplicación de medida de caudal por diferencia de presión.

## 8. Sensores de Corriente Eléctrica

1. **Inductivos:** Transformadores de Corriente. El cable a medir pasa por medio de un núcleo magnético que tiene bobinado un secundario que proporciona una tensión proporcional a la corriente que circula por el cable.
2. **Resistivos:** Shunt. Una resistencia provoca una caída de tensión proporcional a la corriente que circula por dicha resistencia Shunt.
3. **Magnéticos (Efecto Hall):** El sensor mide el campo magnético de un núcleo, generado por la corriente que circula por el cable a medir, que bobina al núcleo.
4. **Bobina Rogowsky:** Miden los cambios de campo magnético alrededor de un hilo que circula una corriente para producir una señal de voltaje que es proporcional a la derivada de la corriente ( $di/dt$ ).

### 8.1 Sensor de Corriente Inductivo

Los transformadores de corriente proporcionan además de la medida un aislamiento galvánico.

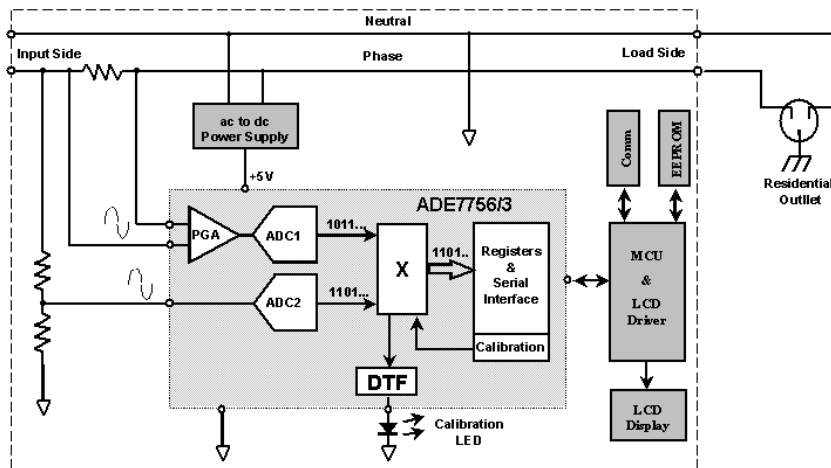


### 8.2 Sensor de Corriente Resistivo

Las resistencias “shunt” proporcionan una medición precisa y directa de la corriente, pero no ofrece ningún aislamiento galvánico.

#### 8.2.1 Acondicionador de Señal de un Shunt

La aplicación típica de un shunt es para medir la corriente en la red eléctrica para calcular la potencia o para analizar la calidad de la red. También se utilizan para sensar la corriente en un sistema de control de motor por variación de frecuencia.



### 8.2.2 Selección de la Resistencia Sensor de Corriente (Shunt)

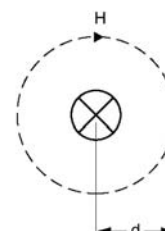
Es importante seleccionar una resistencia “shunt” apropiada de sensor de corriente; debe tener un *valor muy bajo de resistencia* para minimizar la disipación de potencia, un *valor bajo de inductancia* y una *tolerancia razonablemente pequeña* para mantener una precisión global en el circuito.

Aunque al bajar el valor de la resistencia sensor de corriente, disminuye la disipación de potencia, también disminuye el voltaje de salida a fondo de escala aplicado. Si la resistencia sensor es demasiada pequeña, el "offset" de entrada se puede hacer porcentualmente grande a fondo de escala. Estas dos consideraciones contradictorias tienen, por lo tanto, que ser sopesadas unas contra las otras en la selección de la resistencia apropiada para cada aplicación particular.

En general, hay que seleccionar el valor más bajo de la resistencia para que no impacte substancialmente a la precisión global del circuito. Localizada la resistencia sensor y colocando un amplificador operacional cerca de la misma, ayudará también a minimizar las interferencias electromagnéticas y mantener la precisión del circuito. Aunque es posible adquirir resistencias “shunt” sensor de corriente a fabricantes como: IRC, Dale, Ultronix, Isotek, y K-tronics, que son sólo algunos de los proveedores que fabrican resistencias apropiadas para aplicaciones de sensor de corriente, es también posible hacer una resistencia sensor utilizando diversos materiales, incluyendo un trozo de una pista de circuito impreso.

### 8.3 Sensores de corriente por campo magnético

Otras aplicaciones para los sensores magneto-resistivos de *Philips* son la medición de corriente eléctrica. El principio de medición de la corriente con un sensor magneto-resistivo es directo. Si una corriente, ‘i’, que fluye a través de un hilo, genera un campo magnético alrededor del mismo que es directamente proporcional a la corriente. Midiendo la intensidad de este campo magnético con un sensor magneto-resistivo, se puede determinar exactamente la corriente. La relación entre la intensidad del campo magnético ‘H’, la corriente ‘i’ y la distancia ‘d’ viene dado por:



**Campo magnético producido por una corriente a través de un hilo.**

$$H = \frac{i}{2\pi d}$$

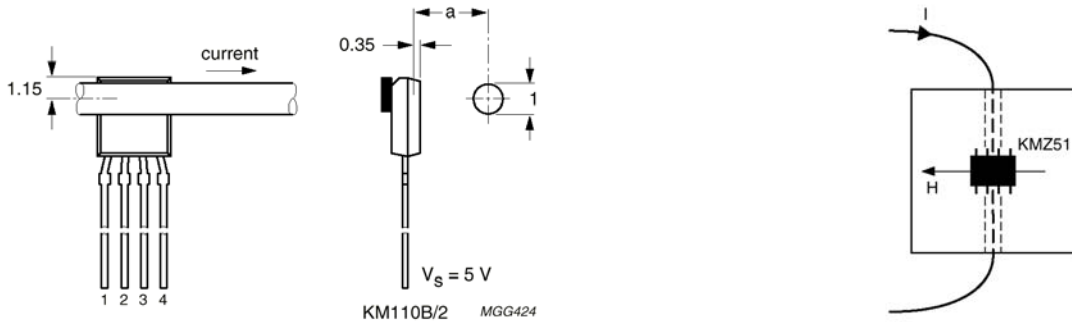
Ejemplo	Corriente (i)	Distancia (d)	Campo magnético (H)
1	10 mA	0.5 mm	3.18 A/m
2	1 A	0.5 mm	318 A/m
3	1000 A	10 mm	15.9 kA/m

**Valores para el campo magnético ‘H’ generado por una corriente ‘i’ a través de un hilo a diversas distancias ‘d’ y corrientes ‘i’.**

La tabla anterior indica claramente que la medición de corriente puede involucrar medición de campos magnéticos débiles o fuertes. Como que la sensibilidad de los sensores magneto-resistivos se pueden ajustar fácilmente, utilizando diferentes configuraciones y diferentes electrónicas, un sensor individual se puede optimizar para una aplicación de medición de corriente específica, una clara ventaja sobre los sensores de efecto de Hall. La precisión alcanzable en la medición de corriente utilizando sensores magneto-resistivos es altamente dependiente de la configuración de la aplicación específica. Los factores que afectan a la precisión son las tolerancias mecánicas (tales como la distancia entre el sensor y el hilo), la deriva de la temperatura y la sensibilidad de la electrónica acondicionadora. Sin embargo, con los sensores magnetorresistivos de *Philips* se acercan a precisiones del 1%.

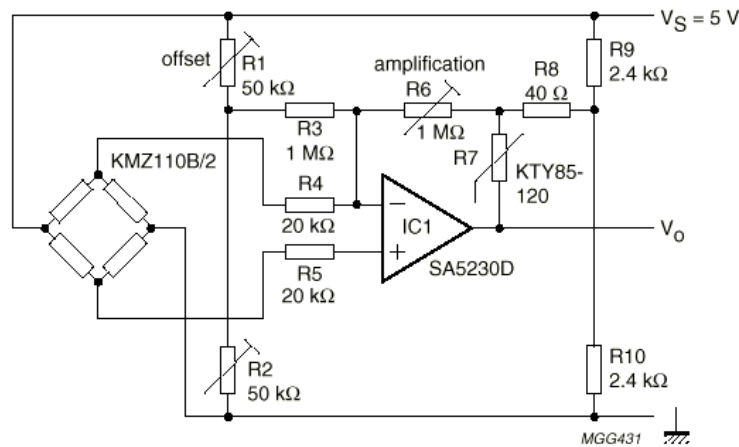
Hay una diferencia general en la configuración utilizada cuando se usan sensores MR para medida de corriente alterna o continua, debida a los efectos perturbadores tales como el campo geomagnético de la Tierra. Para corrientes alternas, los campos perturbadores se pueden eliminar utilizando técnicas de filtrado, mientras que para corrientes continuas, se tienen que utilizar técnicas de compensación (utilizando por ejemplo dos sensores).

Los sensores de Philips se pueden utilizar en un número de configuraciones diferentes para la medición de corriente. La más simple, es un único sensor cerca del hilo portador de corriente, midiendo directamente el campo generado por la corriente. La sensibilidad del sensor varía con la distancia del hilo. El sensor también se puede colocar directamente encima del conductor (una pista de un circuito impreso), dibujo de la derecha de la figura.



**Medida de corriente de un conductor y de una pista de circuito impreso utilizando un sensor MR.**

Ambas configuraciones permiten la medición de la corriente sin tener que cortar el conductor o interferir en él, ofreciendo una ventaja sobre los sistemas basados en resistencias ‘shunt’. Se puede utilizar, por ejemplo, para medir la corriente para una detección de fallo de lámpara en vehículos o como la pinza amperimétrica (sin contacto), como las utilizadas en la industria. Un circuito típico de detección de corriente se muestra en la figura.



**Circuito típico de medición de corriente con un sensor magneto-resistivo.**

La variación de diferentes parámetros se puede medir varios rangos de corriente. La sensibilidad también se puede aumentar enrollando el hilo varias veces a través del núcleo o aumentando la amplificación.

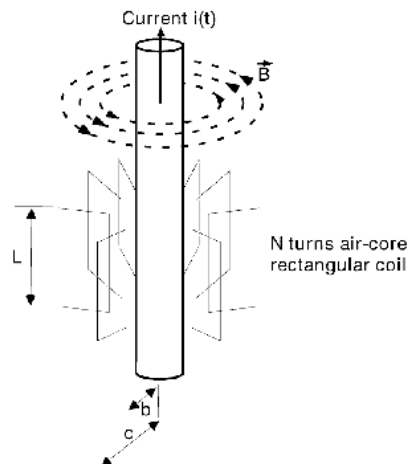
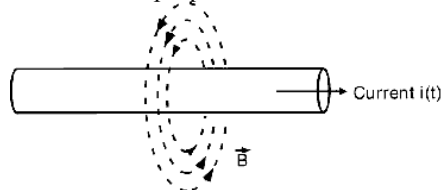
Tipo	Encapsulado	Rango del Campo (Ka /m) <sup>(1)</sup>	(V)	Sensibilidad (mV/V) (kA/m)	Voltage de Offset (mV/V)	Resistencia del Puente (kΩ)	Linealiza el efecto MR	Aplicaciones
KMZ10B	SOT195	-2.0 a +2.0	5-12	4	±1.5	2.1	Si	Medida de corriente
KMZ10B1	SO8	-2.0 a +2.0	5-12	4	±1.5	2.1	Si	
KMZ10C	SOT195	-7.5 a + 7.5	5	1.5	±1.5	1.4	Si	

### 8.4 Bobina Rogowsky

La bobina Rogowsky se basa en un modelo simple, un inductor con inductancia mutua con la corriente primaria.

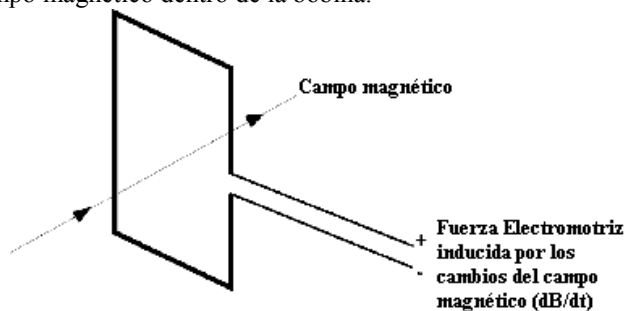
Para analizar el funcionamiento de la bobina Rogowsky primero hay que ver repasar algunos efectos de la corriente y el campo magnético.

Campo magnético inducido por un conductor: Cuando pasa una corriente a través de un conductor, se forma un campo magnético alrededor del mismo. La magnitud del campo magnético es directamente proporcional a la corriente.



$$|\vec{B}(t)| \propto i(t)$$

Voltaje inducido en una bobina por el cambio del campo magnético: Los cambios del campo magnético dentro de la bobina inducen una fuerza electromotriz. La fuerza electromotriz es un voltaje y es proporcional a los cambios del campo magnético dentro de la bobina.



$$EMF \propto \frac{d\vec{B}(t)}{dt}$$

Combinando las dos formulas anteriores da

$$EMF \propto \frac{di(t)}{dt}$$

El voltaje de salida es proporcional a di/dt.

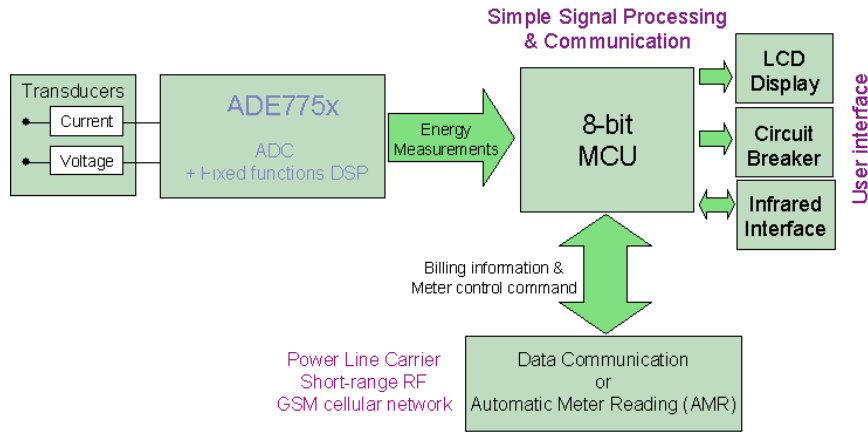
$$EMF = \frac{\mu_{air} NL}{2\pi} \ln\left(\frac{c}{b}\right) \frac{di(t)}{dt}$$

Analog Devices fabrica el acondicionador de bobina Rogowsky ADE7759.

Sensor de Corriente	Características	Efectos
<b>Shunt</b>	De 100 a 500μΩ. Bajo costo. Inmune al problema de la saturación DC. No está aislado. Buena linealidad. No útiles para grandes corrientes.	Alta disipación de potencia en forma de calor. Necesidad de aislamiento galvánico.
<b>Transformador de Corriente</b>	Capaz de medir altas corrientes. Se necesita emparejar la fase. Baja disipación comparada con la del Shunt. Proporciona aislamiento. Tiene problemas de saturación DC.	Un desfase de 0,1° produce un error en la facturación.
<b>Bobina Rogowski (Sensor di/dt)</b>	Tiene todas las ventajas del Transformador de Corriente, pero es más barato. Necesita un integrador. Inmune a la saturación DC. Buena linealidad. Bajo consumo	Es difícil tener un integrador que sea muy estable con el tiempo.
<b>Efecto Hall</b>	Son más caros. Baja linealidad. Bueno para altas corrientes.	Consumo medio. Variación alta con la temperatura

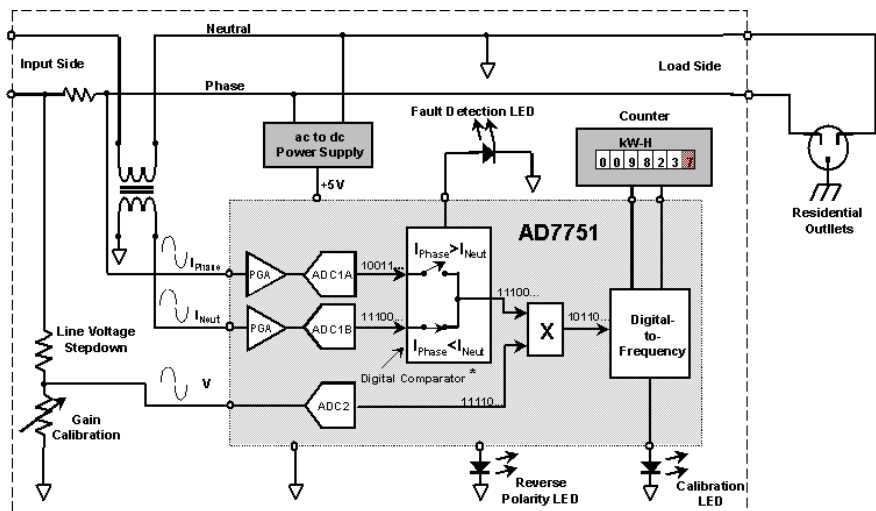
**8.5 Medición de Energía**

Aprovechando diversas maneras de medir la corriente y midiendo la tensión de la red eléctrica, se puede medir la potencia energética, con unos completos circuitos acondicionadores de señal como la familia ADE775x de *Analog Devices*. Estos circuitos pueden mandar las medidas digitalizadas a un microcontrolador, que procesará los datos y los mostrará en un visualizador LCD y podrá enviar la lectura medida automáticamente por cualquiera de los sistemas de comunicación actuales, que se denomina AMR (Automatic Meter Reading).



El siguiente esquema muestra otro circuito que además de medir la corriente y la tensión, procesa la medición dando como resultado unos impulsos proporcionales a la potencia para atacar directamente a un contador de energía mecánico.

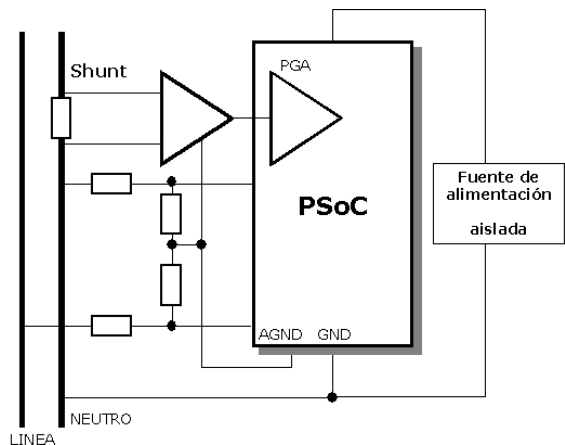
*Analog Devices* tiene un completo acondicionador de señal trifásico AD7751, especialmente preparado para la medición de energía y captura de señal formado por 6 canales con entrada diferencial con amplificador de ganancia programable, convertidor sigma/delta de 16 bits, preparado para ser conectado a un DSP.



<http://www.analog.com/energymeter>

Usando un microcontrolador PsoC de Cypress, es posible integrar en él una EEPROM, la RTC, un driver LCD (16x2) y driver de IRDA, con los módulos de usuario configurables del PsoC, utilizando el software PsoC Designer gratis desde la web:

[www.cypressmicro.com](http://www.cypressmicro.com)

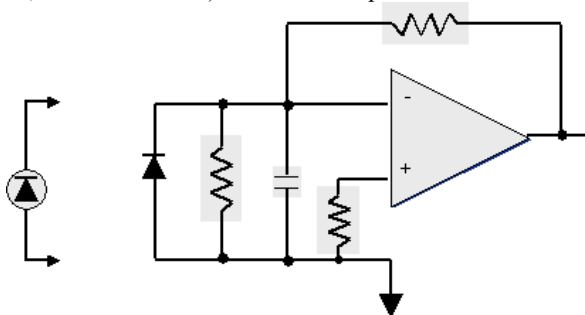


## 9. Sensores de Luz

1. **Resistivos (LDR):** Varían la resistencia interna en función de la intensidad luminosa recibida.
2. **Optoelectrónicos:** Un fotodiodo convierte la intensidad luminosa en corriente eléctrica.
3. **Sensores de Imagen CCD y CMOS:** Un conjunto de sensores (píxel)

### 9.1 Fotodiodos

Los fotodiodos generan una pequeña corriente proporcional al nivel de iluminación. Algunas de las aplicaciones típicas son: En la industria (sensores de posición, lector de códigos de barras, impresoras láser). En comunicaciones (receptores de fibra óptica). En medicina (detección de rayos X, analizador de partículas en la sangre). En óptica (auto-foco, control de flash). El circuito equivalente de un fotodiodo se muestra en la figura.

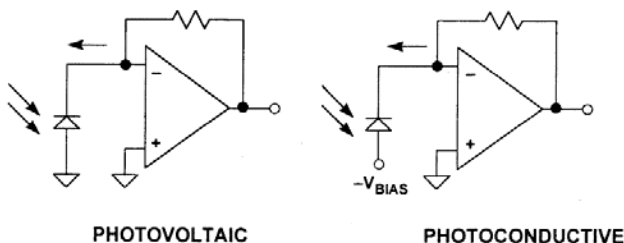


**Circuito equivalente de un fotodiodo conectado a un opamp.**

El modo de trabajo lineal más preciso se obtiene con el sistema denominado fotovoltaico. La corriente obtenida para diferentes intensidades de luz se muestra en la tabla siguiente.

	ILUMINACION	CORRIENTE
<b>Sol directo</b>	1000 fc	30 mA
<b>Cielo nublado</b>	100 fc	3 mA
<b>Anochecer</b>	100 fc	0.03 mA
<b>Noche con Luna llena</b>	0.1 fc	3000 pA
<b>Noche sin Luna</b>	0.001 fc	30 pA

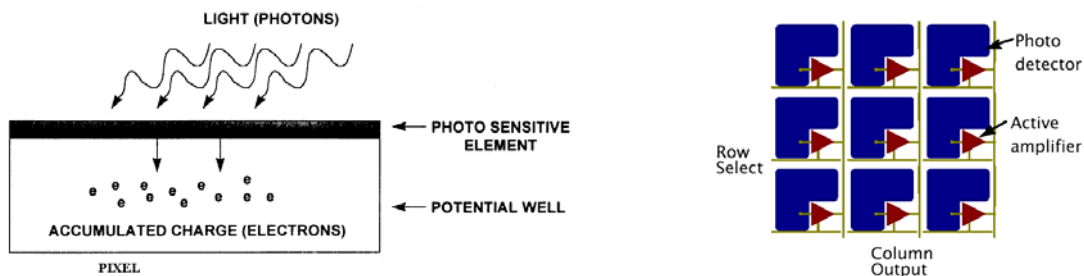
Para detectar una corriente de 30 pA, implica poner una resistencia de realimentación en el amplificador operacional muy alta, por ejemplo, de 1000 MΩ para obtener una tensión de 30 mV y para una corriente de 10 nA obtendremos una tensión de salida de 10V. Entonces, para valores de iluminación superiores se tendrá que reducir el valor de dicha resistencia. Un amplificador operacional con entrada FET es la mejor elección para este tipo de aplicación, como el AD549, AD546, AD795 y AD645 de *Analog Devices*, con una muy baja corriente de “Bias” de hasta 1pA.



### 9.2 Sensores de Imagen

Existen dos tipos de sensores de imagen (CCD y CMOS), ambos son de silicio y son similares en cuanto a sensibilidad al espectro visible y cercanos al IR. Ambas tecnologías convierten la luz incidente (fotones) en carga electrónica (electrones) por el mismo proceso de foto-conversión. Ambas tecnologías pueden incorporar

sensores “photogate” o “photodiode”. Generalmente, los sensores “photodiode” son más sensibles, sobre todo a la luz azul. Pueden hacerse sensores de colores de la misma manera con ambas tecnologías; normalmente cubriendo cada píxel individualmente con un color de filtro (ej. rojo, verde, azul).



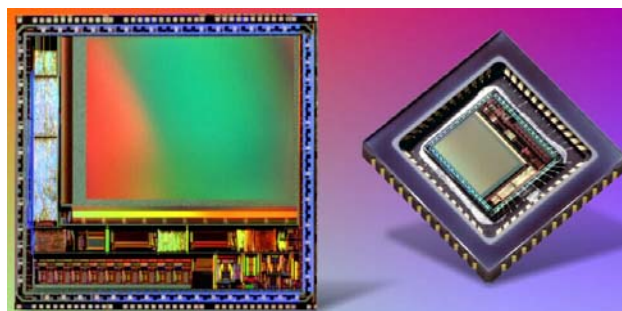
**9.2.1 CCD (Charge-Coupled Device)**

La tecnología CCD tiene ahora casi 25 años y usa un especializado proceso VLSI, que es una condensada malla de electrodos de polisilicio que se forma en la superficie del sensor. Técnicamente es factible pero sería muy caro integrar toda la circuitería de control de una cámara. Así que se necesitan varios chips para realizar una cámara con CCD.

Los sensores CCD son de bajo ruido, proporcionando una excelente calidad de imagen, pero necesitan voltajes de alimentación altos y el consumo es alto.

**9.2.2 CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor)**

Los sensores de imagen CMOS detectan la luz de la misma manera que los sensores CCD, pero desde el punto vista de la detección, están mucho más avanzados que los CCD. Permiten la integración de toda la circuitería de control en el propio chip. El consumo es menor en los dos modos: trabajo y espera. Utilizan un bajo voltaje de alimentación. El costo es menor por el proceso de fabricación CMOS. El acceso aleatorio permite el “pan/zoom/windowing” electrónico.



**9.2.3 Formatos de los sensores de imagen**

- SIF 320 x 240 (76,800 píxels)
- QSIF 160 x 120 (19,200 píxels)
- QQSIF 80 x 60 (4,800 píxels)
- CIF (Common Intermediate Format): 352 x 288 (101,400 píxels)
- QCIF (Quarter Common Intermediate Format): 176 x 144 (25,300 píxels)
- QQCIF (Quarter Quarter Common Intermediate Format): 88 x 72 (6,336 píxels)
- VGA (Video Graphics Array): 640 x 480 (307,200 píxels)
- QVGA (Quarter Video Graphics Array): 320 x 240 (76,800 píxels)
- SVGA (Super Video Graphics Array) tienen varios formatos estándar: 800 x 600 (480,000 píxels), 1024 x 768 (786,400 píxels) o XGA, Extended Graphics Array, 1280 x 1024 (1.3-megapixel), 1600 x 1200 (2-megapixel)

**9.2.3 Fabricantes de sensores de imagen**

Micron con la serie MI-xxxx  
<http://www.micron.com/imaging/index.html?ct=hp.pl>

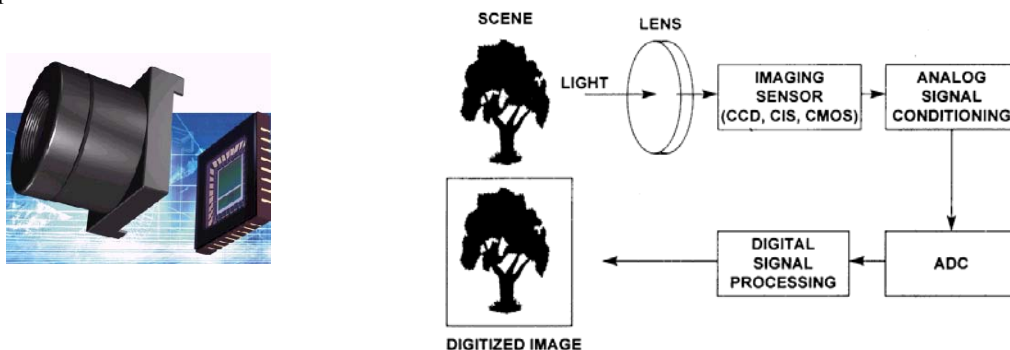
Motorola con la serie MCM2xxxx  
<http://e-www.motorola.com/webapp/sps/site/taxonomy.jsp?nodeId=01M938563451529>

Philips con la serie OM68xx  
<http://www.semiconductors.philips.com/>

**9.2.5 Procesado v compresión de video**

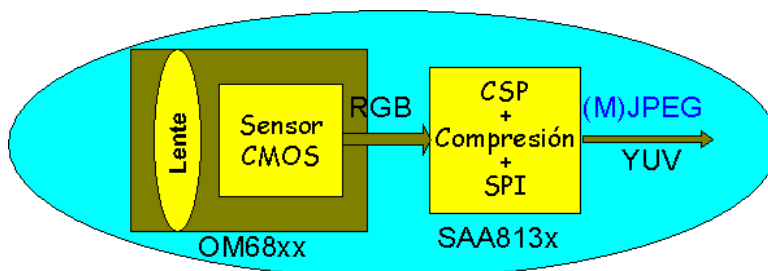
Los sensores de imagen están teniendo una gran expansión gracias a los mercados de las cámaras fotográficas y de video digitales, así como el circuito cerrado de televisión (seguridad, video porteros) y las aplicaciones industriales (robótica, identificación, etc), lector de código de barras, OCR, lápices inteligentes, cámaras de PC, imagen en aplicaciones médicas, visión en automoción...

Los sensores se están integrando junto con circuitería adicional de procesado, pueden tener una salida de señal analógica (video compuesto) o digital (USB, por ejemplo). También se está integrando en algunos casos la óptica con el sensor.



En el caso de salida con señal analógica, se puede procesar la imagen comprimiéndola en una de serie de estándar, como JPEG, MPEG.

JPEG: (Joint Photographic Experts Group) ISO 10918-1  
 M-JPEG: (Motion JPEG)



Para procesar y comprimir video digital se usan también los ADV601 y ADV601LC de *Analog Devices*, que son circuitos dedicados para compresión y descompresión de video digital CCIR-601SI a 350:1 a tiempo real, con niveles de calidad de imagen muy altos, utilizando el algoritmo de compresión Wavelet, que es está basado en la transformada de Wavelet bi-ortogonal (7, 9).

La teoría del Wavelet en que están basados los ADV601, es explícitamente un nuevo aparato matemático introducido por Morlet y Grossman en sus trabajos de geofísica durante los años ochenta. Esta teoría se puso muy popular en físicas teóricas y en matemática aplicada. Más tarde se ha visto un gran crecimiento en aplicaciones de procesado de señal y de imagen.

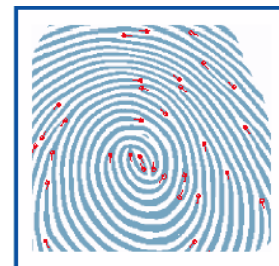
Para mayor información:

- [www.semiconductors.philips.com](http://www.semiconductors.philips.com)
- [www.analog.com](http://www.analog.com)
- <http://www.machinevisiononline.org/>
- [www.imageprocess.com](http://www.imageprocess.com)
- <http://www.kodak.com/US/en/digital/dlc/book3/chapter1/index.shtml>

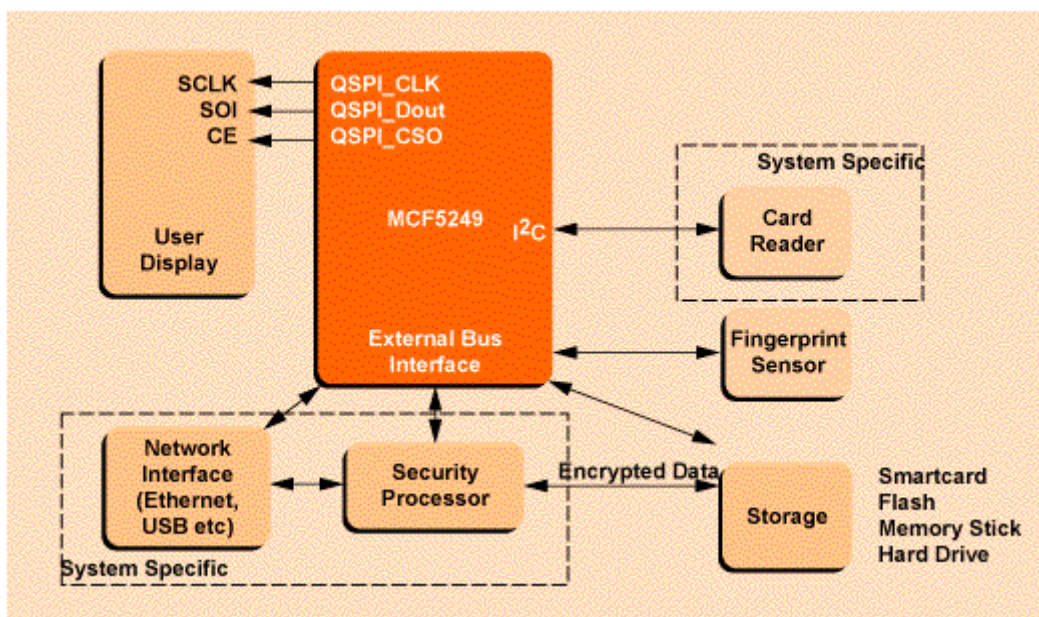
## 10. Sensores Biométricos

Los Sensores Biométricos se basan en sensores de imagen CMOS, que posteriormente procesan la imagen obtenida con un DSP para identificar los puntos necesarios para usarlos como identificación.

**Aplicaciones:** Sensor de la huella digital (Fingerprints), escáner de la Retina (Iris Scans), escáner de la mano (Hand geometry), reconocimiento facial (Facial recognition).



Motorola proporciona un diseño de referencia completo con el microprocesador ColdFire de 32 bits MCF5249 (RDM5249FINGERPRINT), con todo tipo de detalles y software. También hay disponible una nota de aplicación AN2382.



### Organizaciones de Biometría y Forums

Consorcio en Biometría: [www.biometrics.org](http://www.biometrics.org)

Asociación para Biometría: [www.afb.org.uk](http://www.afb.org.uk)

National Biometric Test Center: [www.engr.sjsu.edu/biometrics](http://www.engr.sjsu.edu/biometrics)

International Biometric Industry Association: [www.ibia.org](http://www.ibia.org)

BioAPI Consortium (sucesor de HA-API): [www.bioapi.org](http://www.bioapi.org)

Reconocimiento Facial: [www.cs.rug.nl/~peterkr/FACE/face.html](http://www.cs.rug.nl/~peterkr/FACE/face.html)

Connecticut's biometric imaging project: [www.dss.state.ct.us/digital.htm](http://www.dss.state.ct.us/digital.htm)

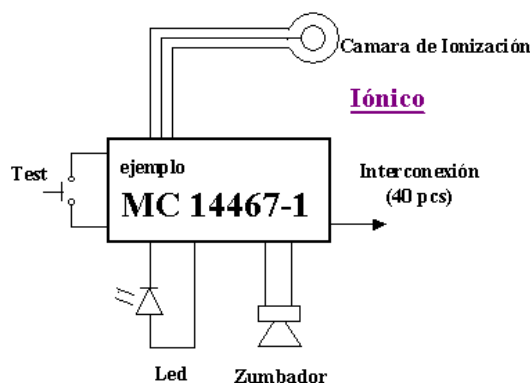
NIST: [www.nist.gov](http://www.nist.gov)

## 11. Sensores de Gases

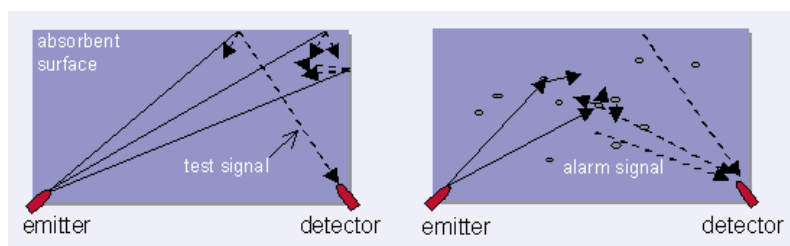
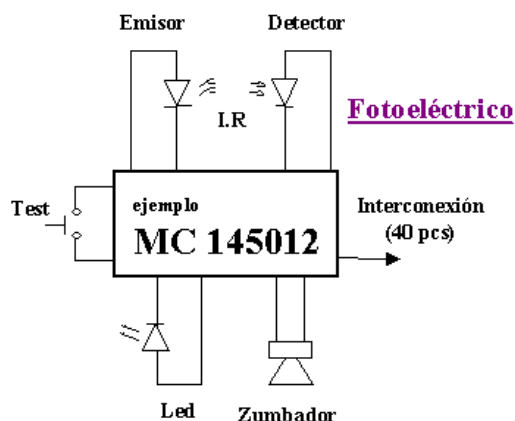
1. **Resistivos** : El sensor lo forma una resistencia NPC (Negative Pollution Coefficient), con coeficiente de polución negativo, que según sea más alta la concentración de gas en el aire más disminuye dicha resistencia. Los hay de diferentes tipos, sensibles al monóxido de carbono, amoníaco, alcohol y gasolina, o al propano y metano. Un fabricante es Figaro Engineering Company.
2. **Semiconductores** : La absorción de Oxígeno en la superficie del sustrato varía el flujo de electrones. CO y CH4. Un fabricante es *Humirel*.

## 12. Sensores de Humo

• **Iónicos**: Los sensores de humo iónicos se basan en una cámara iónica, con material radioactivo, que cuando entra humo en dicha cámara se produce un cambio de ionización y se procesa la señal a través de un completo circuito integrado de *Motorola*, que envía una alarma y dispone un driver de led y zumbador.

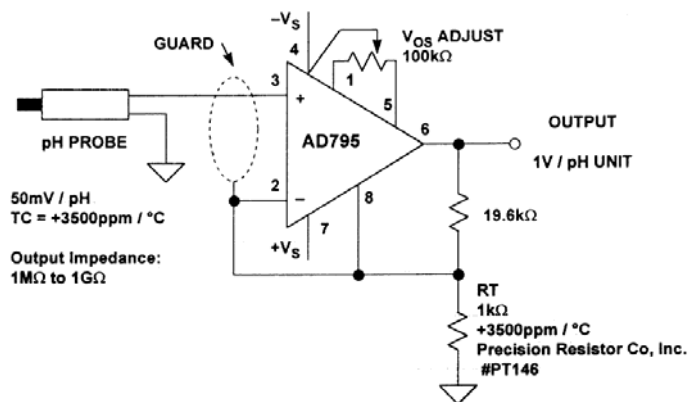


• **Fotoeléctricos**: Los sensores de humo fotoeléctricos se basan en una barrera de infrarrojos colocados en una cámara que cuando entra humo hay una interrupción del haz de infrarrojos, que se procesa a través de un circuito de *Motorola* que envía una alarma y además dispone un “driver” de led y de zumbador. Los diodos los suministra *Infineon* con el emisor SFH203 y el receptor SFH484.



### 13. Sensores de Conductividad

Sensores de conductividad, pH, REDOX (Oxidación-Reducción), todos ellos se basan en elementos de muy alta Impedancia, con lo que hay que utilizar un acondicionador de entrada de muy alta impedancia.



Los acondicionadores para este tipo de aplicación, se pueden encontrar en *Analog Devices*.



Parámetros típicos en DC,

- Tensión de “offset” de entrada,  $E_{OS}$  o  $V_{OS}$
- Corriente de “bias” de entrada,  $I_b$

Parámetros típicos en AC,

- Tensión de ruido de entrada,  $E_n$
- Corriente de ruido de entrada,  $I_n$
- Pequeña señal / ancho de banda
- Slew rate

Los valores de estos parámetros determinarán las aplicaciones para las que un amplificador está mejor preparado.

### 14.1.3 Categorías de los Amplificadores

Los amplificadores operacionales se pueden clasificar en las siguientes categorías:

#### Precisión (Precision):

Están caracterizados por una baja tensión de “offset” y baja deriva del “offset” por temperatura.

El rango típico de los voltajes de offset de entrada de los amplificadores operacionales son:

- *Chopper*  $< 1 \mu V$
- *Bipolares de Precisión*  $10 - 25 \mu V$
- *Bipolares de Propósito General*  $50 - 500 \mu V$
- *FET*  $50 - 1,000 \mu V$
- *Bipolares de Alta Velocidad*  $100 - 2,000 \mu V$

#### Baja corriente de “bias” (Low bias current)

Están caracterizados por una muy baja corriente de “bias” y una muy alta impedancia de entrada. Los amplificadores con transistores de efecto de campo (FET) son los que tienen mejor estas características.

El rango típico de corriente de “bias” según la tecnología de los amplificadores operacionales son:

*BJT (Bipolar Junction Transistor):*

- *Típicamente de 10 nA a 10 mA*
- *Varía linealmente con al temperatura*
- *Impedancia de entrada típica de centenares de Megaohms*

*FET (Field Effect Transistor):*

- *Típicamente  $\ll 1 pA$*
- *Dobla por cada 10°C de incremento en temperatura*
- *Impedancia de entrada típica  $10^{12}$  ohms*

#### Bajo ruido (Low noise)

Están caracterizados por una baja densidad de tensión de ruido ( $<10$  nV por raíz de Hz) y una baja densidad de corriente de ruido,  $<10pA$  por raíz de Hz.

#### Alta Velocidad (High speed)

Están caracterizados por:

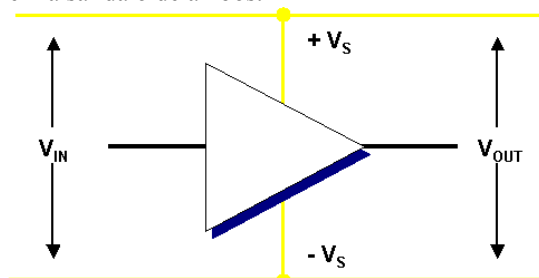
- *High gain bandwidth product  $>10$  MHz*
- *Slew rates  $> 50$  V/ms*
- *Settling times  $< 100$  ns*

#### Alimentación única (Single supply)

Los amplificadores operacionales se usan en aplicaciones de muy bajo consumo ( $5\mu A$  a  $150\mu A$ ) y bajo voltaje ( $1.8V$  a  $5V$ ).

#### Rail-to-Rail

Un verdadero amplificador operacional Rail-to-Rail puede oscilar dentro de unos pocos milivoltios de alimentación, o en la entrada o en la salida o de ambos.



## 15. Procesadores en un sistema de adquisición de señal

Una vez vistas la función de los acondicionadores, podemos ver los procesadores avanzados (que incluyen periféricos de precisión para adquisición de datos) que se pueden utilizar dentro de un sistema de adquisición de señal y sobre todo. Hay muchos a la hora de elegir y se tendrán en cuenta sus características para tener una aplicación adecuada.

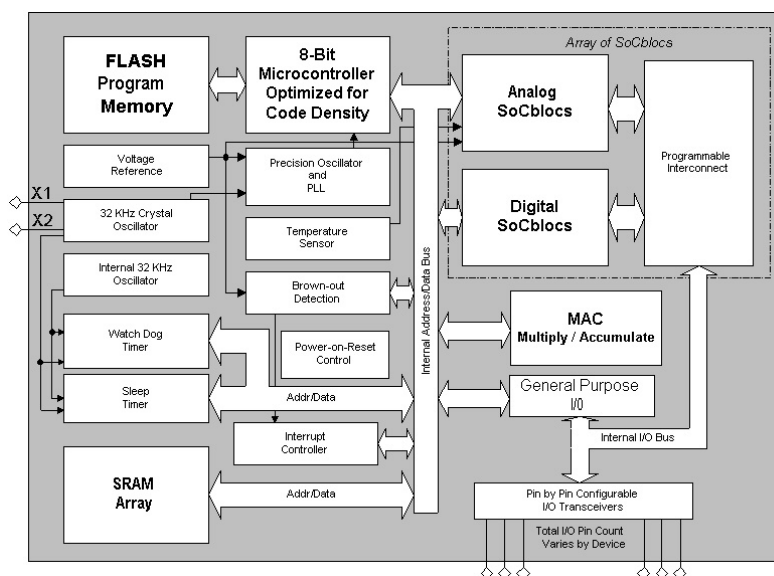
Primero hay ver los tipos de procesadores que se pueden escoger, los microcontroladores o los DSP, después se tendrá en cuenta en número de bits y la velocidad de proceso que ha de tener el procesador y por último los periféricos que además deben de contener. Además se tiene que tener en cuenta el consumo y por supuesto el precio.

### Microcontroladores:

Todos los fabricantes de microcontroladores incluyen periféricos con ADC (Convertidores A/D de 8, 10 o hasta 12 bits) como *Hitachi, Motorola, Philips, ST y Texas Instruments*. Hasta los más recientes microcontroladores Flash de *Motorola* de 8 bits y 8 pins incluyen un ADC de 8 bits.



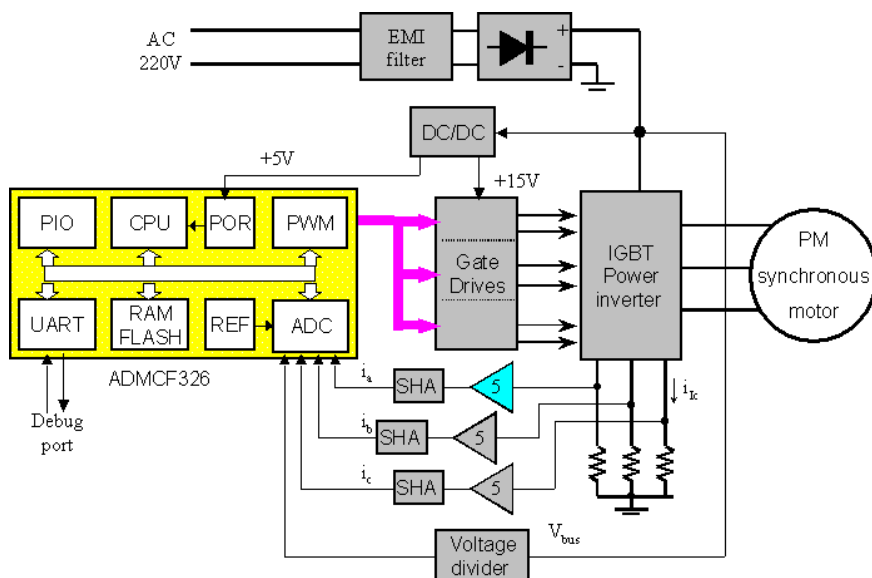
Actualmente se integran convertidores AD de precisión en un microcotrolador, especialmente dedicados para la adquisición de señal, como los Microconverters™ de *Analog Devices* y los de *Texas Instruments*. Pero un caso especial es el de *Cypress* que ha entrado en la cuarta generación de microcontroladores, desarrollando un microcontrolador con periféricos programables, tanto analógicos como digitales y especialmente se hace referencia a los bloques analógicos que se pueden programar, como Amplificadores Operacionales, Comparadores, Convertidores Analógicos Digitales del tipo Sigma/Delta, de Aproximaciones Sucesivas, con los que se puede integrar un sistema de adquisición de señal completamente integrado.



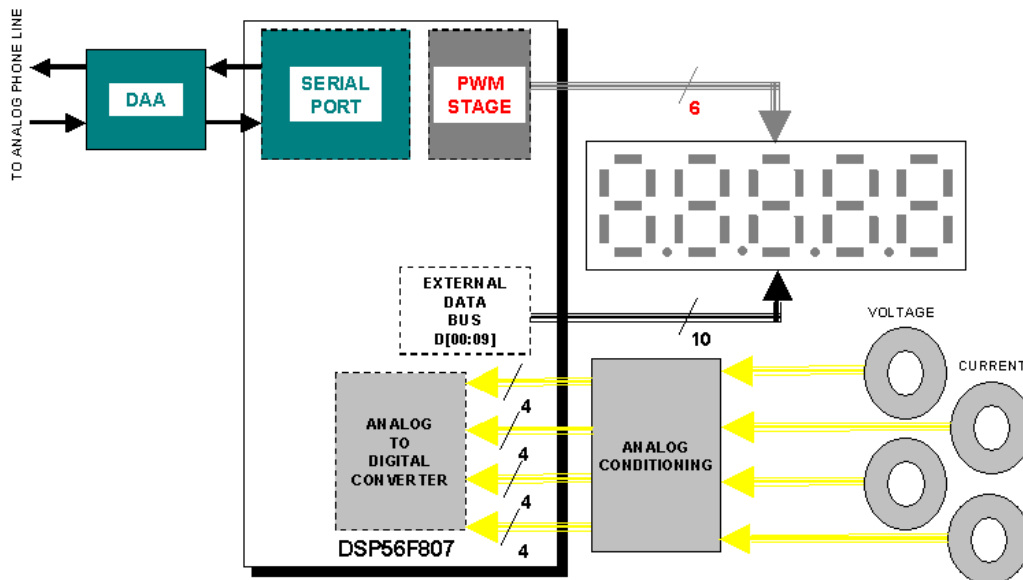
**DSP**

Silica es distribuidor de los tres principales fabricantes de DSP, *Analog Devices*, *Motorola* y *Texas Instruments*.

Los DSP incluyen periféricos con ADC de alta precisión y alta velocidad, especialmente diseñados para el control de motor principalmente.



También el siguiente ejemplo de un medidor de energía con un DSP de *Motorola*, que incluye convertidores A/D de 10 bits.



**Toda la información relacionada está obtenida de las páginas web de los fabricantes de semiconductores relacionados a continuación y simplemente es una recopilación de información en el día de hoy para orientar al diseño con sensores.**

**Para más información visitar:**

[www.silica.com](http://www.silica.com)    [www.ads.com](http://www.ads.com)  
[www.analog.com](http://www.analog.com)    [www.cypressmicro.com](http://www.cypressmicro.com)    [www.hitachi.com](http://www.hitachi.com)    [www.infineon.com](http://www.infineon.com)    [www.mot-sps.com](http://www.mot-sps.com)  
[www.onsemi.com](http://www.onsemi.com)    [www.semiconductors.philips.com](http://www.semiconductors.philips.com)    [www.st.com](http://www.st.com)    [www.ti.com](http://www.ti.com)    [www.xicor.com](http://www.xicor.com)