



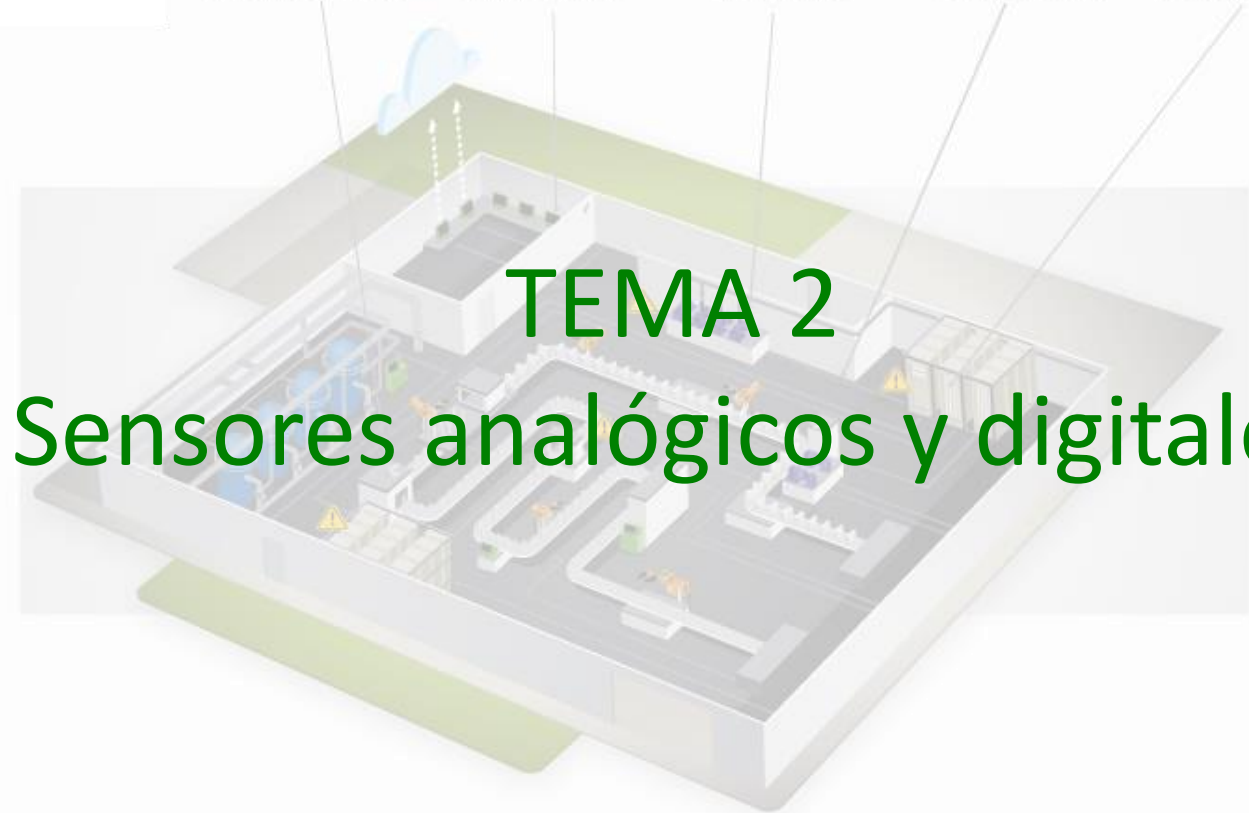
SENSORS &
FIELD TRANSMITTERS

HUMAN MACHINE
INTERFACE (HMI)

INDUSTRIAL
MOTOR DRIVE

INDUSTRIAL
COMMUNICATION

PROGRAMMABLE
LOGIC CONTROL (PLC)



TEMA 2

Sensores analógicos y digitales

Apuntes basados en los desarrollados por el Prof. Alfredo Pérez Vega-Leal.



Indice

1. Sensores analógicos
2. Circuitos de adaptación
3. Sensores digitales



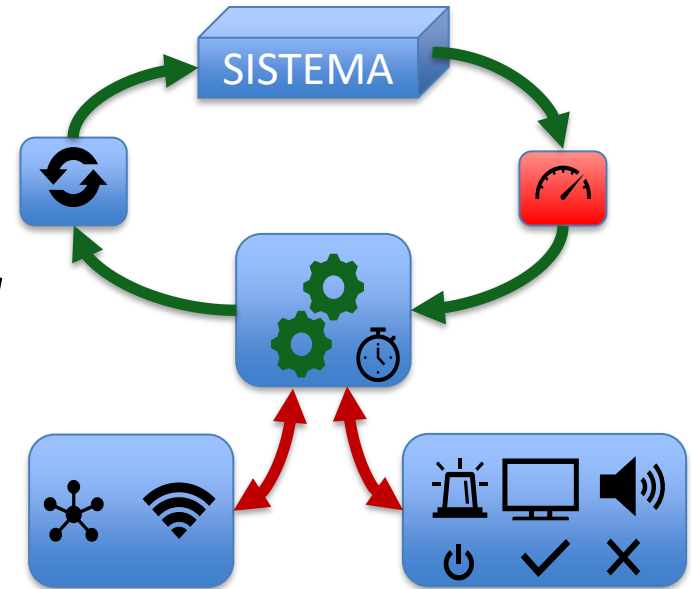
Objetivos

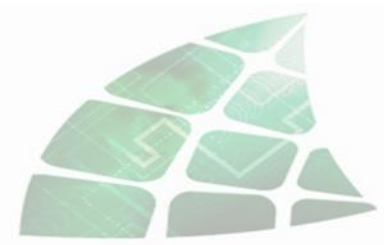
- Recordar el funcionamiento de sensores analógicos
- Presentar algunos sensores digitales
- Comparar unos y otros



Introducción

- Esquema general:
- Necesidad de medir
- *Instrumentación electrónica*
- Sensores analógicos
 - Adaptación, ruido
- Sensores digitales
 - Precio, optimización



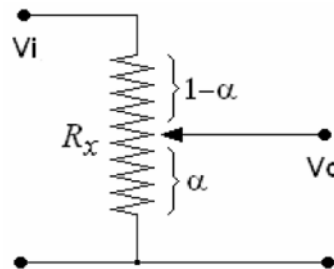
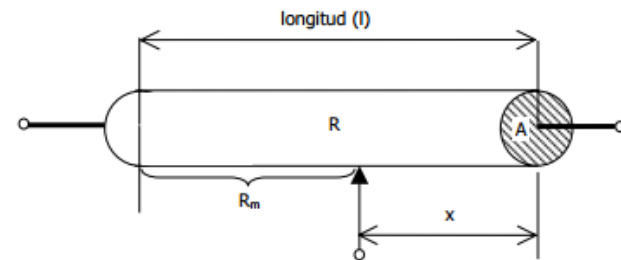


Sensores analógicos

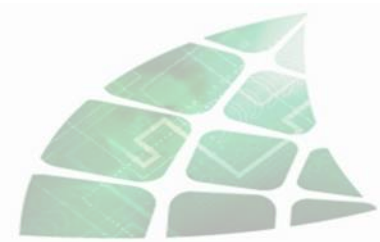
- TODOS los sensores son analógicos
- Variación de un parámetro eléctrico en función de un estímulo
 - Transductores que transforman o transportan energía
- Clasificación según el fenómeno físico
 - Sensores resistivos
 - Sensores termoeléctricos (Termopares)
 - Sensores piezorresistivos o piezoeléctricos
 - Sensores optoelectrónicos y piroeléctricos

Sensores Resistivos

- Potenciómetros
 - Variación de R con la posición, lineal o angular
 - Ley de variación lineal o logarítmica



$$R_m = \frac{\rho}{A}(l - x)$$

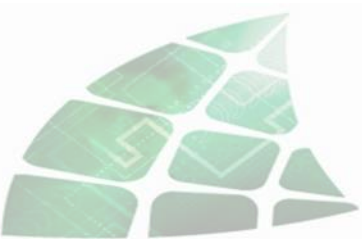


Sensores Térmicos Resistivos

- RTD: Resistive Temperature Detector
 - Variación muy lineal de R con T
 - Depende del metal:
 - Pt: muy caro pero muy preciso
 - Ni: No muy lineal.
 - Cu: muy barato, buena precisión.



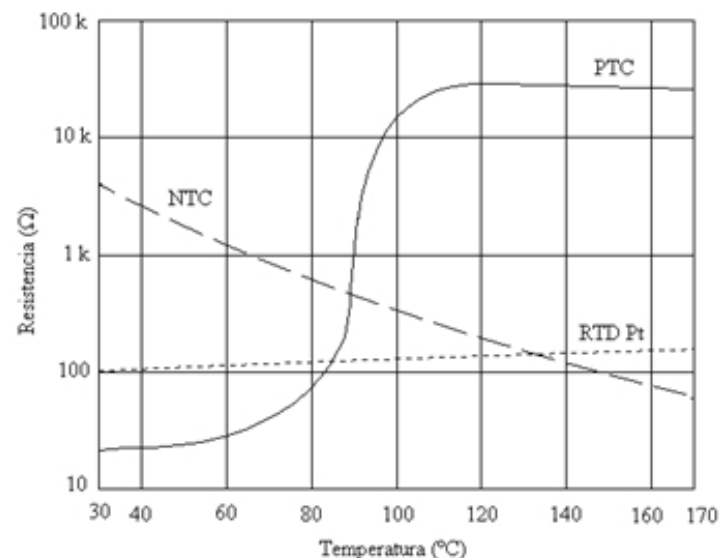
| Metal | Resistividad | Coef. de T. | Rango | Coste | R a 0°C | Precisión |
|---------|--------------|---------------|----------|-------|------------|-----------|
| Platino | 9.83 | 0.00392 | -200-900 | Alto | 25,100,150 | 0.01 |
| Níquel | 6.38 | 0.0063-0.0066 | -150-300 | medio | 100 | 0.5 |
| Cobre | 1.56 | 0.00425 | -200-120 | Bajo | 10 | 0.1 |



Sensores térmicos resistivos (II)

- Termistores: NTC y PTC
- NTC:
 - Negative Temp. Coefficient. R crece cuando T baja.
 - Coeficiente Logarítmico
 - Autocalentamiento
 - Alta sensibilidad
- PTC:
 - Positive Temp. Coeff.
 - Muy no-lineales
 - Para protecciones

$$R = R_o \cdot e^{B \cdot \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_o} \right)}$$





Sensores térmicos resistivos (III)

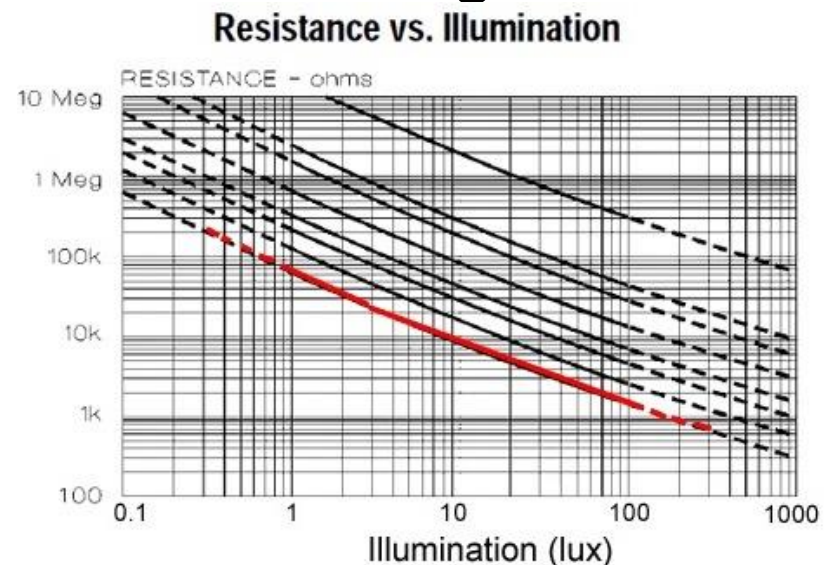
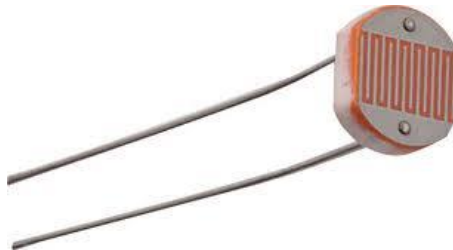
- Encapsulado de los termistores:
 - Materiales conductores del calor
 - Resina,
 - Vidrio
 - metal
 - Formas diversas
 - Gota
 - Barra
 - Arandela

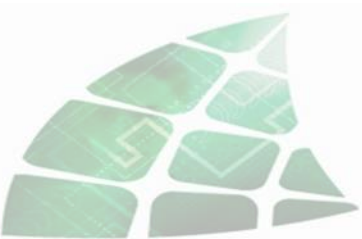




Sensores fotorresistivos

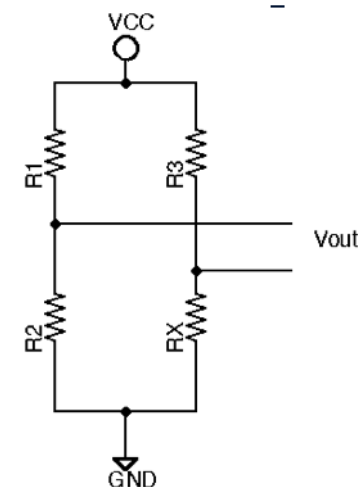
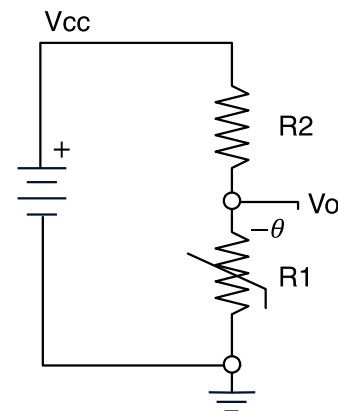
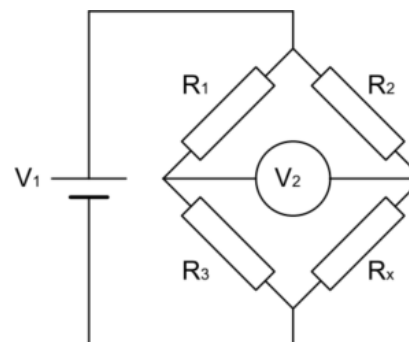
- Fotorresistencias (LDR)
 - Valor de R depende de la intensidad luminosa ($\text{lux} = \text{lumen}/\text{m}^2$).
 - Materiales semiconductores. Fotón energiza el 'e' a banda de conducción
 - Muy no lineales





Adaptación de sensores resistivos

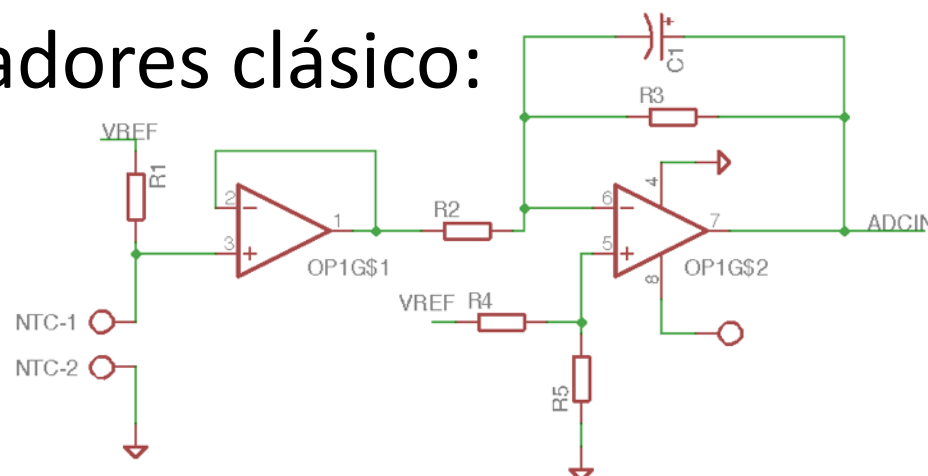
- R no medible directamente
- Divisor resistivo
- Puente de Wheatstone
 - dos divisores resistivos
 - Tensión *diferencial*
- Amplificador con offset para adaptar



Adaptación de sensores resistivos (II)

- Circuito con amplificadores clásico:

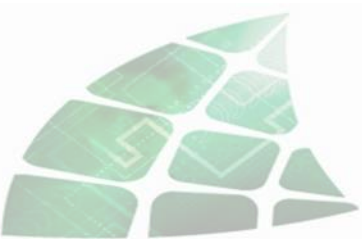
- OP1: desacoplo
- OP2: amplificador
- R1: divisor resistivo
- R2, R3: ganancia
- R4, R5: offset
- C1: filtro paso bajo



$$v_{out} = V_{offset} + G \cdot v_{in}$$

$$G = -\frac{R3}{R2}$$

$$V_{offset} = \frac{R3 + R2}{R2} \cdot V_2 = \frac{(R3 + R2) \cdot R5}{(R4 + R5) \cdot R2} \cdot V_{ref}$$



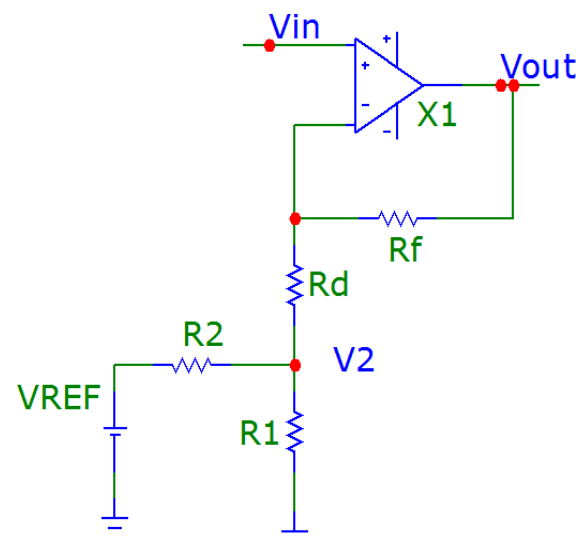
Adaptación de sensores resistivos (III)

- Otro circuito posible (solo 1 OPAMP)

- Amplif. No inversor
- Impedancia de entrada elevada
- Ecuaciones más complejas

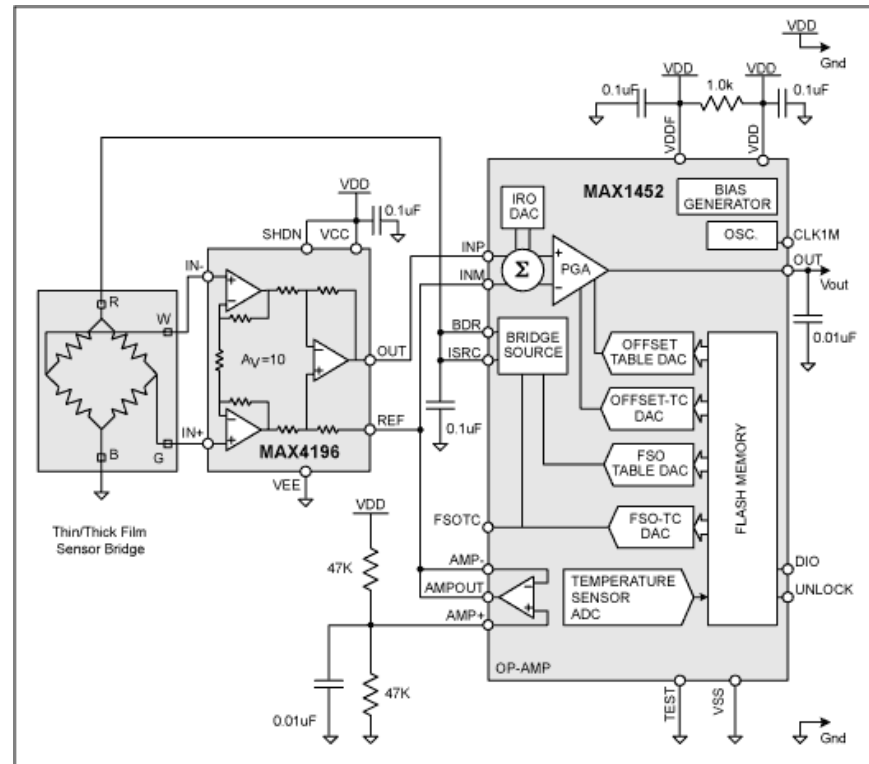
$$V_{out} = \left(\frac{R_f}{R_d} + 1 - \frac{\frac{R_f \cdot R_1}{R_d^2}}{1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{R_1}{R_d}} \right) \cdot V_{in} - \frac{\frac{R_f \cdot R_1}{R_d \cdot R_2}}{1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{R_1}{R_d}} \cdot V_{ref}$$

- $G > 1$ (no filtro)



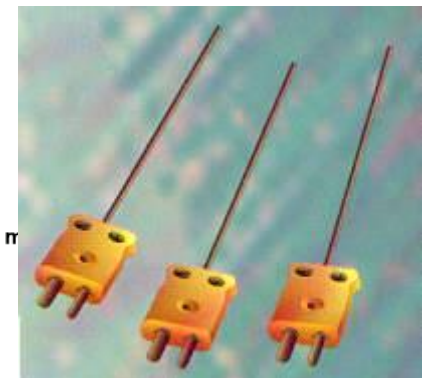
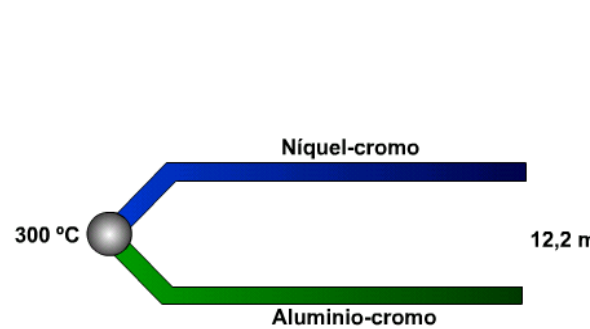
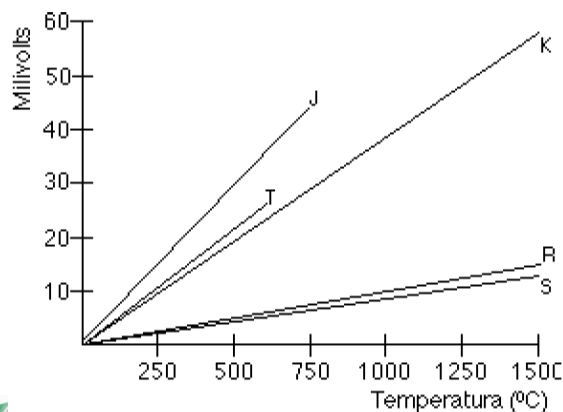
Adaptación de sensores resistivos (IV)

- Tensiones diferenciales (Weathstone):
 - Amplificador de instrumentación



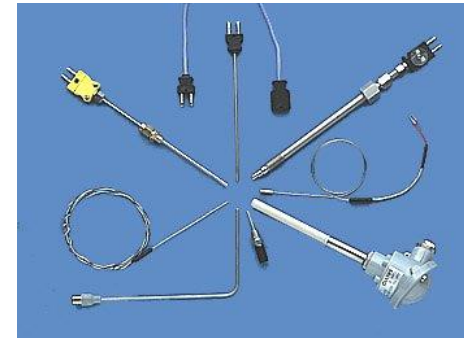
Termopares

- Basados en el efecto Seebeck
 - Dos metales soldados, generan un pequeño potencial proporcional a T
- Diferentes tipos según las aleaciones usadas



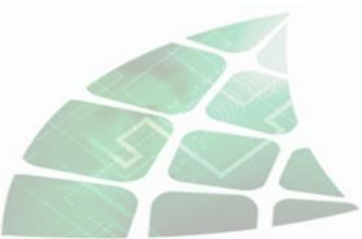
Termopares

- Características:
 - Tipo según ambos metales



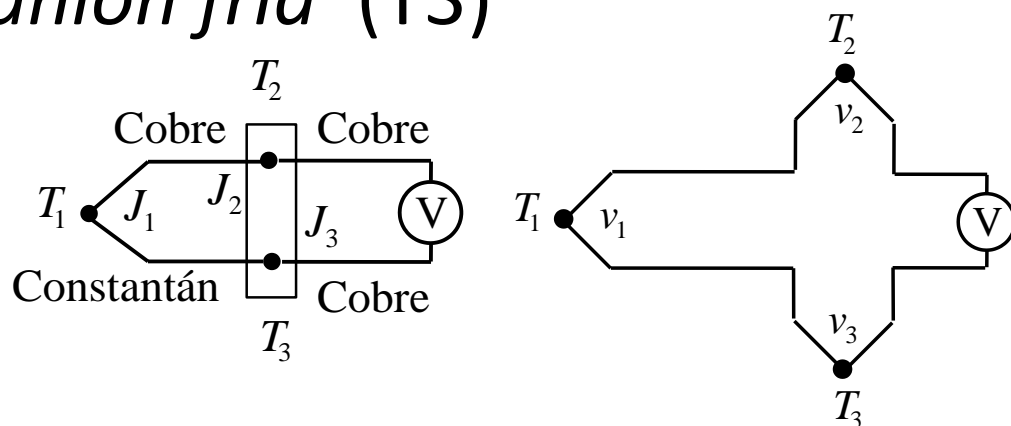
| Material | Composición |
|--------------------|----------------------------------------------|
| Hierro | 99.5% de Hierro |
| Constantán | 45% de Níquel y 55% de Cobre y 95% de Níquel |
| Platino/Rodio(13%) | 87% de Platino y 13% de Rodio |
| Platino/Rodio(10%) | 90% de Platino y 10% de Rodio |
| Cobre | 100% de Cobre |
| Cromel | 10% de Cromo y 90% de Cobre |

| Tipo | Materiales | Rango |
|------|------------------------------|----------|
| J | Hierro-Constantán (Galga 14) | 200-550 |
| T | Cobre-Constantán (Galga 20) | 180-270 |
| K | Cromel-Alumel (Galga 14) | 260-950 |
| R | Platino/Rodio(13%)-Platino | 800-1650 |
| S | Platino/Rodio(13%)-Platino | 800-1650 |
| J* | Hierro-Constantán (Galga 8) | 200-800 |

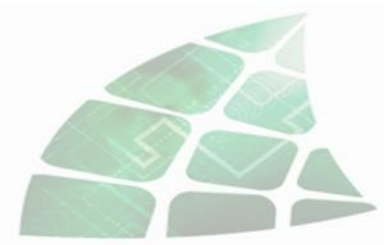


Termopares

- Necesidad de compensar la temperatura de la *unión fría* (T_3)

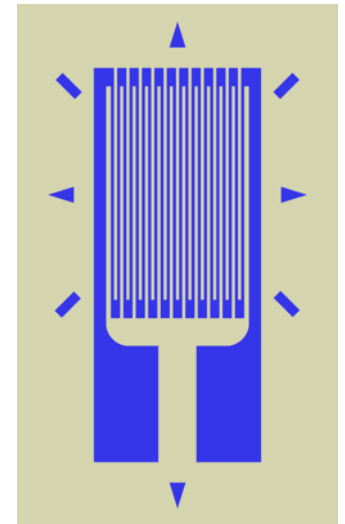


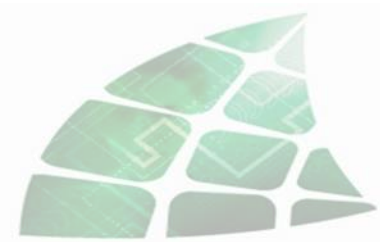
- Conectores isotermos, o circuitos especiales de compensación



Galgas extensiométricas

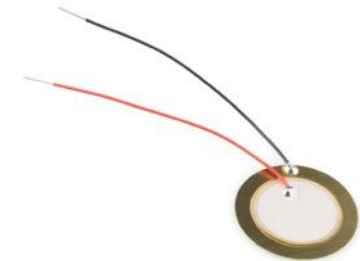
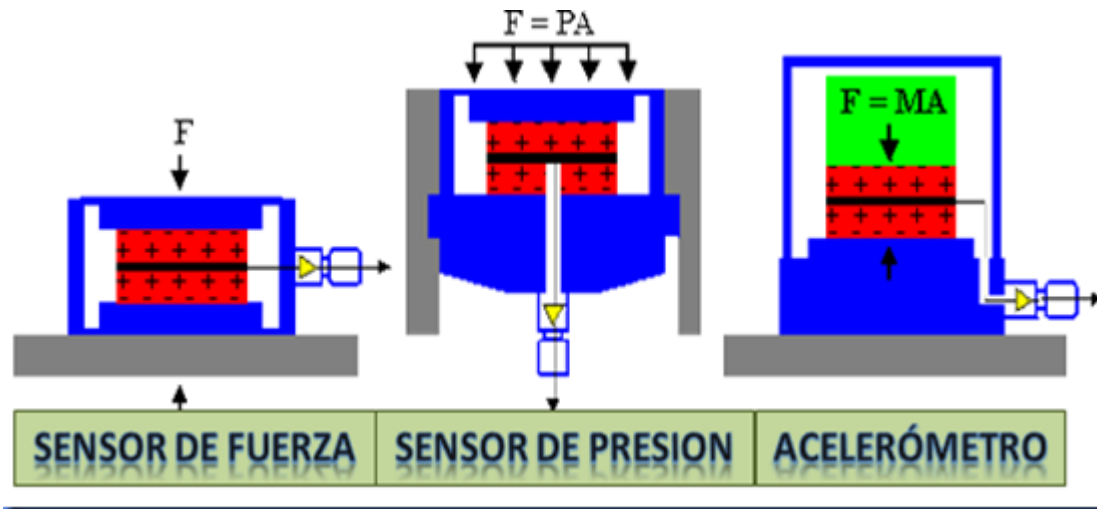
- Al deformarse, cambia alguna propiedad eléctrica
 - Resistencia
 - Capacidad
 - Galgas fotoeléctricas
 - Semiconductoras
- Cambios muy pequeños, necesaria adaptación





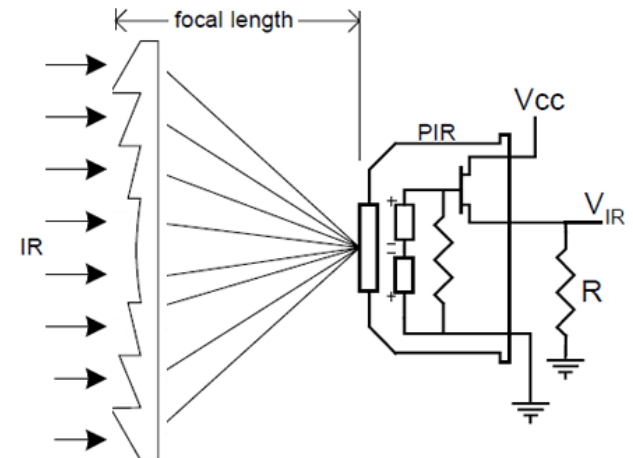
Sensores piezoeléctricos

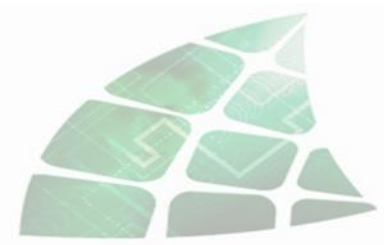
- Efecto piezoeléctrico: al presionar un cristal se genera un pequeño potencial
- Medidores de fuerza, presión, aceleración...



Sensores Piroeléctricos

- Efecto piroeléctrico: generación de corriente al recibir una radiación que calienta el objeto
- Aplicaciones:
 - Pirometría óptica: (temperatura a distancia).
 - Radiometría: medida de potencia radiada.
 - Termometría: termómetro de alta resolución.
 - Espectroscopía de gases.
 - Detectores de presencia y movimiento
 - Visión nocturna (imagen térmica).





Sensores optoelectrónicos

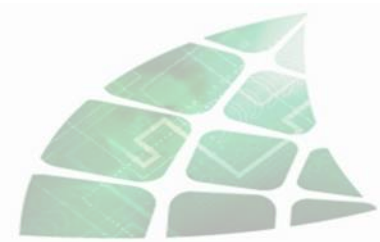
- Mejor respuesta que LDR
- Fotodiodos o fototransistores
- La unión p-n es sensible a la luz
- Según el material, una longitud de onda distinta
- Polarizado en inversa, crece la corriente al incidir la luz
- Sin polarizar, generan un pequeño potencial

| Material | λ (nm) |
|-------------------------------|----------------|
| Silicio (Si) | 190–1100 |
| Germanio (Ge) | 800–1900 |
| Indio-Galio-Arsénico (InGaAs) | 800–2600 |
| Sulfuro de Plomo | <1000-3900 |



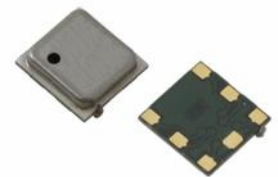
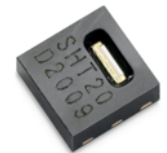
Resumen Sensores Analógicos

- Multitud de sensores
- Basados en diferentes efectos
- Necesidad de adaptación de la señal
- Circuitos muy sensibles al ruido
- Necesidad de conocer los principios básicos, aunque no se usen



Sensores digitales

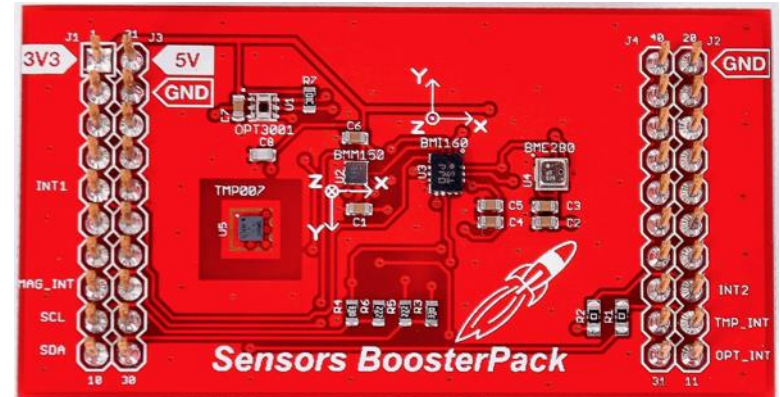
- En realidad, sensores analógicos (o MEMS) con circuito de adaptación integrado
- Tendencia, por su facilidad de uso
- Inconveniente de duplicidad de sistemas
 - Un ADC cada sensor
 - medidas redundantes





Sensores disponibles

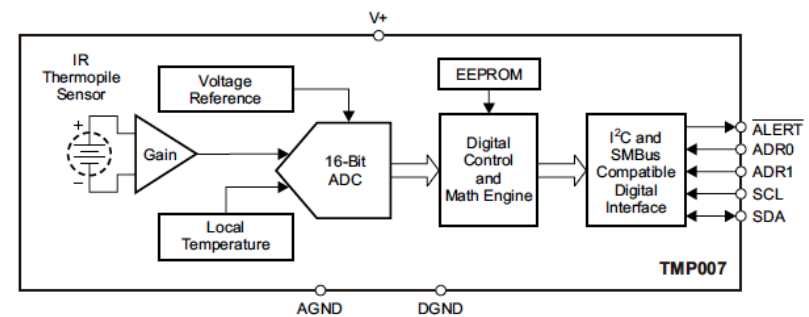
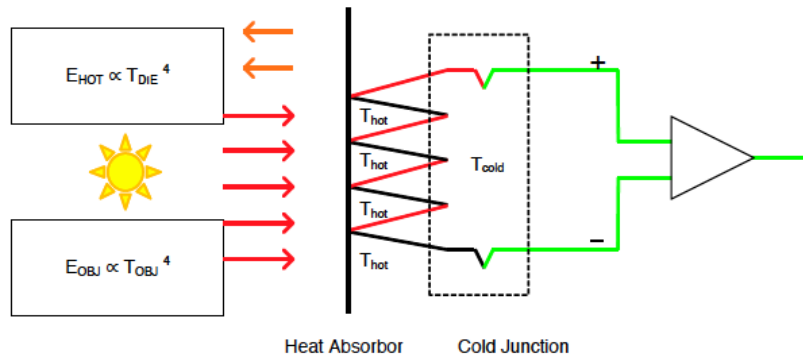
- Sensors Boosterpack
 - TMP007: Temperatura ambiente e IR (NRND)
 - OPT3000: Medida de luz
 - BME280: Medidas ambientales (P, T, %H)
 - BMI160: Acelerómetro y giróscopo 3 ejes
 - BMM150: Magnetómetro 3 ejes
- Todos, conectados por I2C
 - Sólo 2 líneas (+ints)



TMP007

- NRND: *Not recommended for new designs*
- Termopila. Mide radiación IR incidente
- Mide T local para ajustar valor.

$$V_{OUT} = V_{SENSOR} = C \times (T_{HOT} - T_{COLD}) \propto (T_{OBJ}^4 - T_{DIE}^4)$$





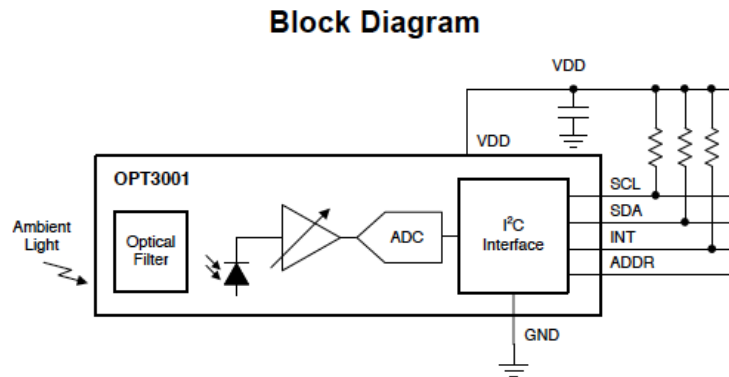
TMP007

- ADC de 16 bits y módulo de cálculo de T
- Multitud de registros internos, de 16 bits
 - 0x01 y 0x03: T_{local} y T_{obj}
 - 0x02: configuración
 - 0x1F: DevID (“TI”)
- Calibrado de fábrica
- Por defecto, 1 conv/s

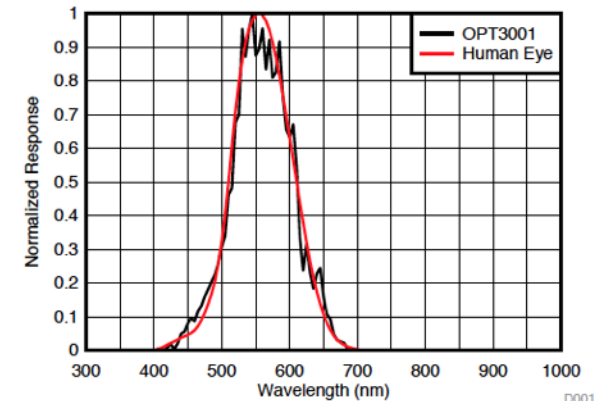
| REGISTER ADDRESS | VENDOR RESET VALUE | REGISTER NAME | REGISTER DESCRIPTION |
|------------------|--------------------|-------------------------------|--------------------------------------------------|
| 00h | 0000h | Sensor voltage | Sensor voltage result register |
| 01h | 0000h | Local temperature | TDIE temperature result register |
| 02h | 1140h | Configuration | Configuration register |
| 03h | 0000h | Object temperature | Object temperature result register |
| 04h | 0000h | Status | Status register |
| 05h | 0000h | Status mask and enable | Mask and enable register |
| 06h | 7FC0h | Object high-limit temperature | Object temperature high limit register |
| 07h | 8000h | Object low-limit temperature | Object temperature low limit register |
| 08h | 7FC0h | Local high-limit temperature | T _{DIE} temperature high limit register |
| 09h | 8000h | Local low-limit temperature | T _{DIE} temperature low limit register |
| 0Ah | 260Eh | S0 coefficient | S0 coefficient register |
| 0Bh | 0106h | A0 coefficient | A0 coefficient register |
| 0Ch | FF9Bh | A1 coefficient | A1 coefficient register |
| 0Dh | FF3Ah | B0 coefficient | B0 coefficient register |
| 0Eh | FF71h | B1 coefficient | B1 coefficient register |
| 0Fh | 0553h | B2 coefficient | B2 coefficient register |
| 10h | 0000h | C coefficient | C coefficient register |
| 11h | 0034h | TC0 coefficient | TC0 coefficient register |
| 12h | 0000h | TC1 coefficient | TC1 coefficient register |
| 1Fh | 0078h | Device ID | Manufacturer ID register |
| 2Ah | 0E00h | Memory access | Memory access register |

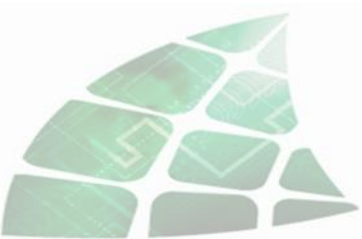
OPT3000

- Medidor de luz adaptada al ojo humano
- De 0.01lux a 83klux
- Ajuste automático de ganancia
 - ADC 12 bits, 23 bits efectivos



Spectral Response: The OPT3001 and Human Eye





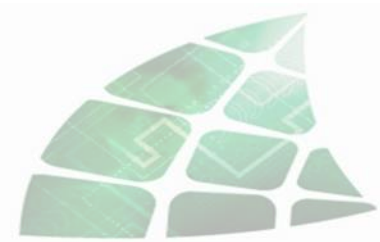
OPT3000

- Sólo 6 registros de 16 bits

| REGISTER | ADDRESS (Hex) ⁽¹⁾ | BIT 15 | BIT 14 | BIT 13 | BIT 12 | BIT 11 | BIT 10 | BIT 9 | BIT 8 | BIT 7 | BIT 6 | BIT 5 | BIT 4 | BIT 3 | BIT 2 | BIT 1 | BIT 0 |
|-----------------|------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Result | 00h | E3 | E2 | E1 | E0 | R11 | R10 | R9 | R8 | R7 | R6 | R5 | R4 | R3 | R2 | R1 | R0 |
| Configuration | 01h | RN3 | RN2 | RN1 | RN0 | CT | M1 | M0 | OVF | CRF | FH | FL | L | POL | ME | FC1 | FC0 |
| Low Limit | 02h | LE3 | LE2 | LE1 | LE0 | TL11 | TL10 | TL9 | TL8 | TL7 | TL6 | TL5 | TL4 | TL3 | TL2 | TL1 | TL0 |
| High Limit | 03h | HE3 | HE2 | HE1 | HE0 | TH11 | TH10 | TH9 | TH8 | TH7 | TH6 | TH5 | TH4 | TH3 | TH2 | TH1 | TH0 |
| Manufacturer ID | 7Eh | ID15 | ID14 | ID13 | ID12 | ID11 | ID10 | ID9 | ID8 | ID7 | ID6 | ID5 | ID4 | ID3 | ID2 | ID1 | ID0 |
| Device ID | 7Fh | DID15 | DID14 | DID13 | DID12 | DID11 | DID10 | DID9 | DID8 | DID7 | DID6 | DID5 | DID4 | DID3 | DID2 | DID1 | DID0 |

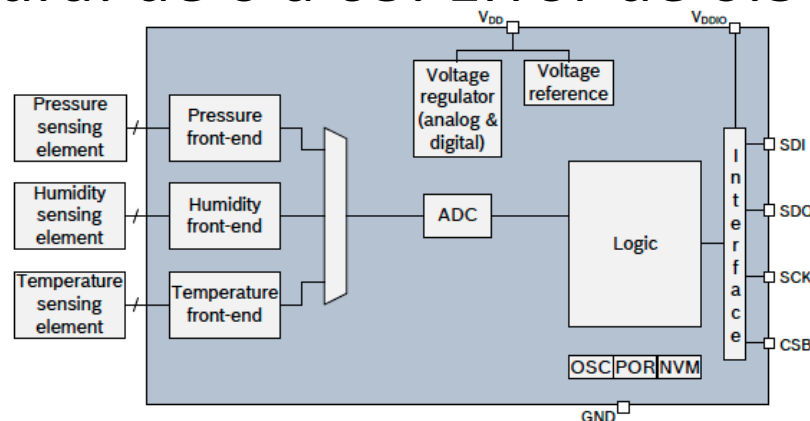
- Configuración por defecto:
 - Rango automático
 - Tiempo de conversión de 800ms
- El resultado, codificado:
 - 12 bits de dato (R0..R11)
 - 4 de valor de LSB (E0..E3) [máximo 11]

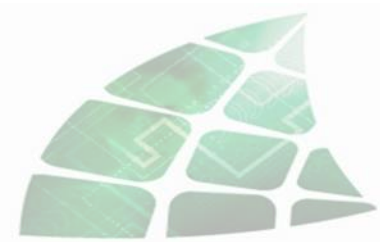
$$Lux = 0.01 \cdot R \cdot 2^E$$



BME280

- Medidas ambientales
- Sensores de T, P y %HR
 - Humedad: de 0 a 100%. 3% de error, 1s
 - Presión: de 300 a 1100hPa. Error de 1hPa
 - Temperatura: de 0 a 65. Error de 0.5°C





BME280

- Posibilidad de oversampling y filtrado.
- Dependiendo de su uso, distintas configuraciones de *oversampling* y filtrado:
 - Estación meteorológica: baja tasa (1/min), sin filtrado de la presión.
 - Altímetro: sobremuestreo de 16x para la presión y 2x para temperatura. Filtrado de 16 valores IIR para la presión

BME280

- Gran cantidad de registros internos.

| Register Name | Address | bit7 | bit6 | bit5 | bit4 | bit3 | bit2 | bit1 | bit0 | Reset state |
|------------------|-------------|------------------|------|------|-------------|--------------|--------------|-------------|------|-------------|
| hum_lsb | 0xFE | hum_lsb<7:0> | | | | | | | | 0x00 |
| hum_msb | 0xFD | hum_msb<7:0> | | | | | | | | 0x80 |
| temp_xlsb | 0xFC | temp_xlsb<7:4> | | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0x00 |
| temp_lsb | 0xFB | temp_lsb<7:0> | | | | | | | | 0x00 |
| temp_msb | 0xFA | temp_msb<7:0> | | | | | | | | 0x80 |
| press_xlsb | 0xF9 | press_xlsb<7:4> | | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0x00 |
| press_lsb | 0xF8 | press_lsb<7:0> | | | | | | | | 0x00 |
| press_msb | 0xF7 | press_msb<7:0> | | | | | | | | 0x80 |
| config | 0xF5 | t_sb[2:0] | | | filter[2:0] | | | spi3w_en[0] | | 0x00 |
| ctrl_meas | 0xF4 | osrs_t[2:0] | | | osrs_p[2:0] | | | mode[1:0] | | 0x00 |
| status | 0xF3 | | | | | measuring[0] | im_update[0] | | | 0x00 |
| ctrl_hum | 0xF2 | | | | | osrs_h[2:0] | | | | 0x00 |
| calib26..calib41 | 0xE1...0xF0 | calibration data | | | | | | | | individual |
| reset | 0xE0 | reset[7:0] | | | | | | | | 0x00 |
| id | 0xD0 | chip_id[7:0] | | | | | | | | 0x60 |
| calib00..calib25 | 0x88...0xA1 | calibration data | | | | | | | | individual |

- Chip_id: 0x60
- Reset: escribiendo 0xB6 se resetea
- En amarillo los registros de datos



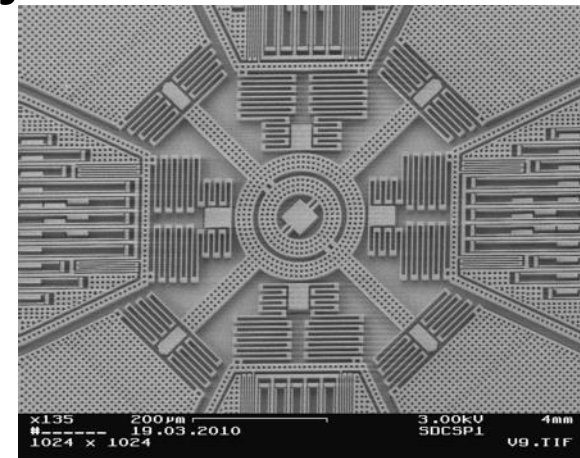
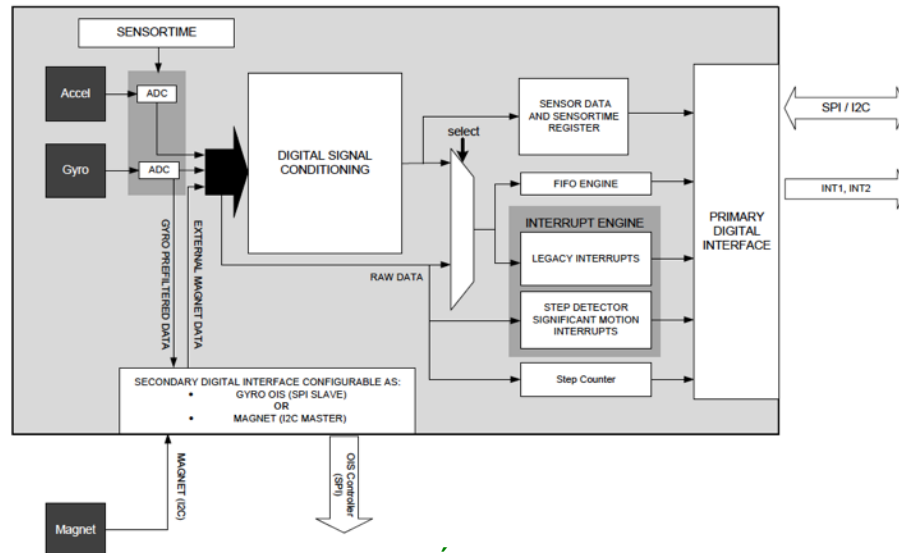
BME280

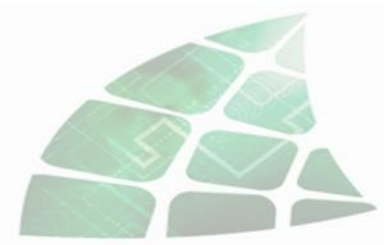
- Para calcular los valores reales, necesidad de cálculos bastante complejos.
- Uso de la API disponible
 - Funciones para calcular T, P, H en diferentes precisiones

```
BME280_S32_t t_fine;
BME280_S32_t BME280_compensate_T_int32(BME280_S32_t adc_T)
{
    BME280_S32_t var1, var2, T;
    var1 = (((((adc_T>>3) - ((BME280_S32_t)dig_T1<<1))) * ((BME280_S32_t)dig_T2)) >> 11;
    var2 = (((((adc_T>>4) - ((BME280_S32_t)dig_T1)) * ((adc_T>>4) - ((BME280_S32_t)dig_T1))) >> 12) *
        ((BME280_S32_t)dig_T3)) >> 14;
    t_fine = var1 + var2;
    T = (t_fine * 5 + 128) >> 8;
    return T;
}
```


BMI160

- Acelerómetro y giróscopo de 3 ejes
- Sistemas MEMS
 - Micro electro mechanical systems
- Conexión de un tercer sensor





BMI160

- Medida de la aceleración lineal y angular, en los tres ejes, con 16 bits de precisión
- Fondo de escala seleccionable
 - 2g..16g
 - 125 °/s .. 2000 °/s
- Medidas sincronizadas
 - Fusión de sensores

BMI160

- Detección de *gestos* o *escenarios*
 - Caída, Tap, movimiento...

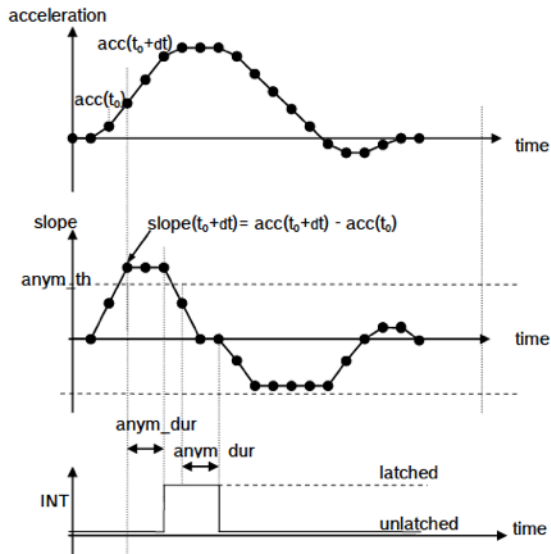


Figure 5: Any-motion (slope) interrupt detection

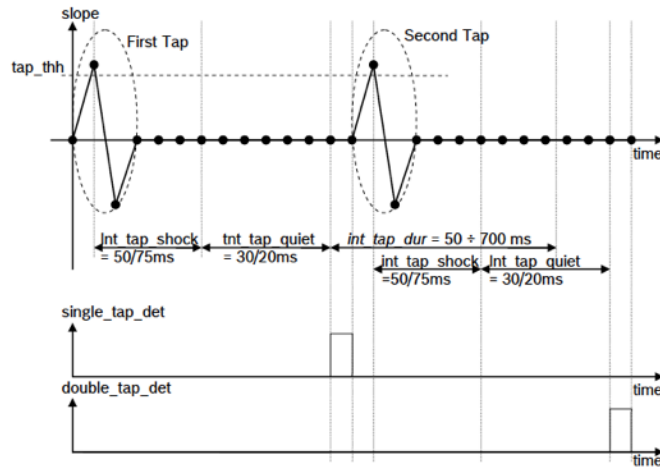


Figure 7: Tap detection interrupt

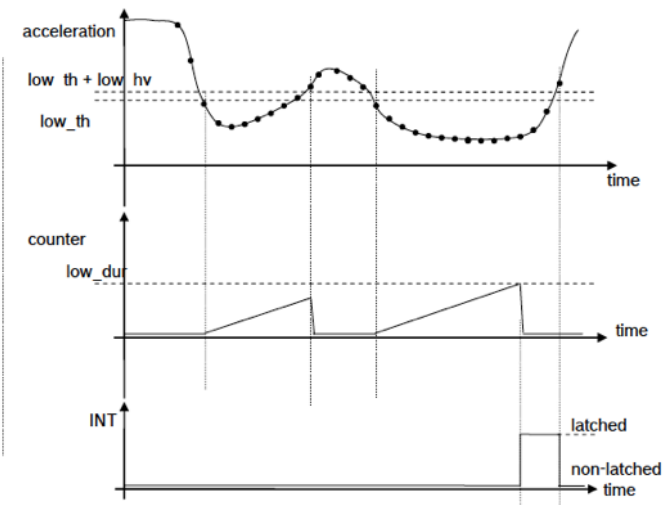


Figure 14: Free-fall detection

BMI160

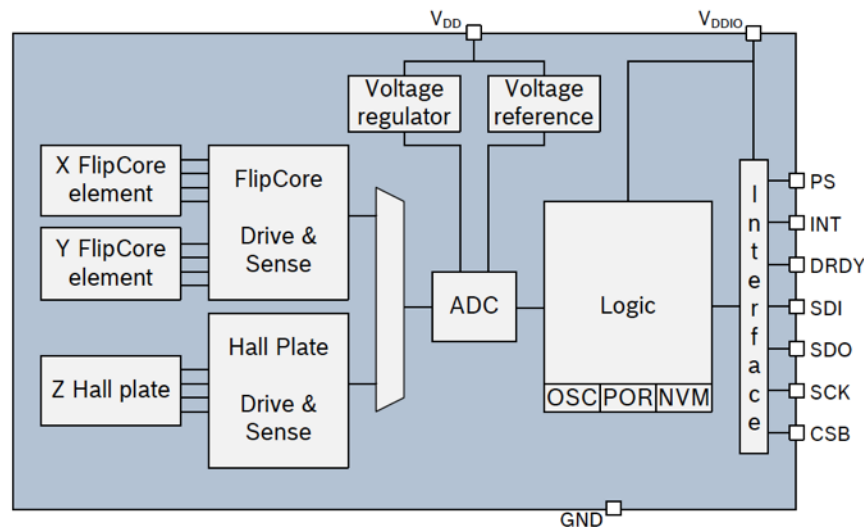
- Gran cantidad de registros internos

| read/write | | read only | | write only | | reserved | | 0x41 | | ACC_RANGE | | 0x43 | | reserved | | acc_range | |
|------------|--|---------------|--|------------|--|------------|--|----------------|--|----------------|--|----------------|--|-----------------|--|--------------|--|
| 0x40 | | ACC_CONF | | 0x28 | | acc_us | | acc_bwp | | acc_odr | | 0x29 | | reserved | | acc_odr | |
| 0x05 | | - | | - | | | | | | | | | | | | | |
| 0x04 | | FIFO_DATA | | 0x00 | | | | | | | | | | | | | |
| 0x23 | | FIFO_LENGTH_1 | | 0x00 | | reserved | | | | | | | | | | | |
| 0x22 | | FIFO_LENGTH_0 | | 0x00 | | | | | | | | | | | | | |
| 0x21 | | TEMPERATURE_1 | | 0x00 | | | | | | | | | | | | | |
| 0x20 | | TEMPERATURE_0 | | 0x00 | | | | | | | | | | | | | |
| 0x1F | | INT_STATUS_3 | | 0x00 | | flat | | orient_2 | | orient_1_0 | | high_sign | | high_first_z | | high_first_y | |
| 0x1E | | INT_STATUS_2 | | 0x00 | | tap_sign | | tap_first_z | | tap_first_y | | anym_sign | | anym_first_z | | anym_first_y | |
| 0x1D | | INT_STATUS_1 | | 0x00 | | norms_int | | fsm_int | | fsm_int | | dry_int | | dry_int | | reserved | |
| 0x1C | | INT_STATUS_0 | | 0x00 | | flat_int | | orient_int | | s_tap_int | | s_tap_int | | mag_trigger_int | | anym_int | |
| 0x1B | | STATUS | | 0x01 | | dry_acc | | dry_gyr | | dry_mag | | norm_int | | foc_int | | mag_magn_sp | |
| 0x1A | | SENSOR_TIME_2 | | 0x00 | | | | | | | | | | | | | |
| 0x19 | | SENSOR_TIME_1 | | 0x00 | | | | | | | | | | | | | |
| 0x18 | | SENSOR_TIME_0 | | 0x18 | | | | | | | | | | | | | |
| 0x17 | | DATA_19 | | 0x00 | | | | | | | | | | | | | |
| 0x16 | | DATA_18 | | 0x00 | | | | | | | | | | | | | |
| 0x15 | | DATA_17 | | 0x00 | | | | | | | | | | | | | |
| 0x14 | | DATA_16 | | 0x00 | | | | | | | | | | | | | |
| 0x13 | | DATA_15 | | 0x00 | | | | | | | | | | | | | |
| 0x12 | | DATA_14 | | 0x00 | | | | | | | | | | | | | |
| 0x11 | | DATA_13 | | 0x00 | | | | | | | | | | | | | |
| 0x10 | | DATA_12 | | 0x00 | | | | | | | | | | | | | |
| 0x0F | | DATA_11 | | 0x00 | | | | | | | | | | | | | |
| 0x0E | | DATA_10 | | 0x00 | | | | | | | | | | | | | |
| 0x0D | | DATA_9 | | 0x00 | | | | | | | | | | | | | |
| 0x0C | | DATA_8 | | 0x00 | | | | | | | | | | | | | |
| 0x0B | | DATA_7 | | 0x00 | | | | | | | | | | | | | |
| 0x0A | | DATA_6 | | 0x00 | | | | | | | | | | | | | |
| 0x09 | | DATA_5 | | 0x00 | | | | | | | | | | | | | |
| 0x08 | | DATA_4 | | 0x00 | | | | | | | | | | | | | |
| 0x07 | | DATA_3 | | 0x00 | | | | | | | | | | | | | |
| 0x06 | | DATA_2 | | 0x00 | | | | | | | | | | | | | |
| 0x05 | | DATA_1 | | 0x00 | | | | | | | | | | | | | |
| 0x04 | | DATA_0 | | 0x00 | | | | | | | | | | | | | |
| 0x03 | | PMU_STATUS | | 0x00 | | reserved | | acc_pmu_status | | gyr_pmu_status | | mag_pmu_status | | | | | |
| 0x02 | | ERRR_REG | | 0x00 | | mag_odr_en | | drop_cmd_en | | i2c_tai_err | | en_code | | total_en | | | |
| 0x01 | | - | | - | | | | | | | | reserved | | | | | |
| 0x00 | | CHIP_ID | | 0x01 | | | | | | | | chip_id | | | | | |



BMM150

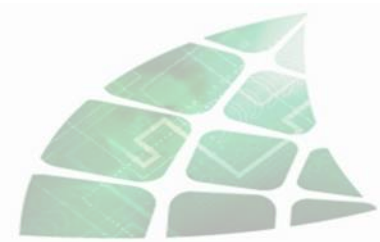
- Magnetómetro de 3 ejes
- En coordinación con una IMU (BMI160) puede dar la posición *absoluta*



BMM150

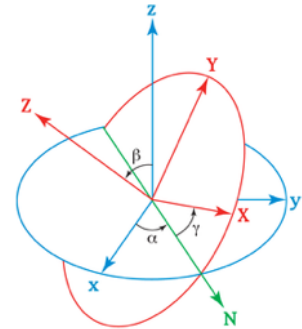
- Sensibilidad de 0.3uT
 - Campo magnético terrestre: 25-65 uT
- Medidas de 13 bits
- Interrupciones programables

| Register Address | Default Value | bit7 | bit6 | bit5 | bit4 | bit3 | bit2 | bit1 | bit0 |
|------------------|---------------|--------------------------------------------------------------|------------------|-----------------|---------------|---------------|--------------|-----------------|--------------------|
| 0x52 | 0x00 | REPZ Number Of Repetitions (valid for Z) [7:0] | | | | | | | |
| 0x51 | 0x00 | REPLY Number Of Repetitions (valid for XY) [7:0] | | | | | | | |
| 0x50 | 0x00 | High Threshold [7:0] | | | | | | | |
| 0x4F | 0x00 | Low Threshold [7:0] | | | | | | | |
| 0x4E | 0x07 | Data Ready Pin En | Interrupt Pin En | Channel Z | Channel Y | Channel X | DR Polarity | Interrupt Latch | Interrupt Polarity |
| 0x4D | 0x3F | Data Overrun En | Overflow Int En | High Int Z en | High Int Y en | High Int X en | Low Int Z en | Low Int Y en | Low Int X en |
| 0x4C | 0x06 | Adv. ST [1:0] | | Data Rate [2:0] | | Opmode [1:0] | | Self Test | |
| 0x4B | 0x01 | Soft Reset '1' | fixed '0' | fixed '0' | fixed '0' | fixed '0' | SPI3en | Soft Reset '1' | Power Control Bit |
| 0x4A | 0x00 | Data Overrun | Overflow | High Int Z | High Int Y | High Int X | Low Int Z | Low Int Y | Low Int X |
| 0x49 | N/A | RHALL [13:8] MSB | | | | | | | |
| 0x48 | N/A | RHALL [5:0] LSB | | | | | | fixed '0' | Data Ready Status |
| 0x47 | N/A | DATA Z [14:7] MSB | | | | | | | |
| 0x46 | N/A | DATA Z [6:0] LSB | | | | | | | |
| 0x45 | N/A | DATA Y [12:5] MSB | | | | | | | |
| 0x44 | N/A | DATA Y [4:0] LSB | | | | | | fixed '0' | Y-Self-Test |
| 0x43 | N/A | DATA X [12:5] MSB | | | | | | | |
| 0x42 | N/A | DATA X [4:0] LSB | | | | | | fixed '0' | X-Self-Test |
| 0x41 | N/A | reserved | | | | | | | |
| 0x40 | 0x32 | Chip ID = 0x32 (can only be read if power control bit = '1') | | | | | | | |

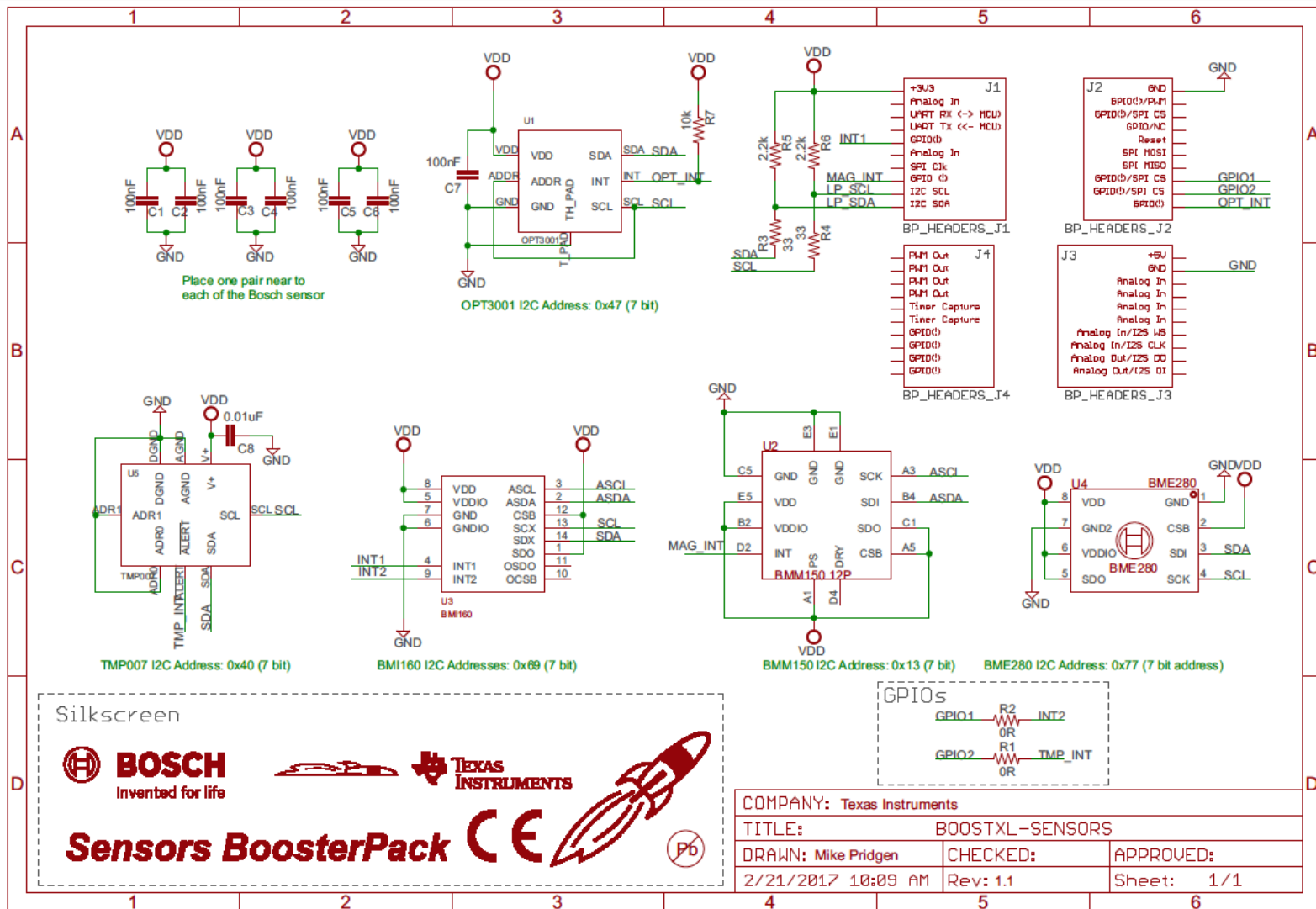


BME160-BMM150

- Conectados entre sí
- Con la información de ambos, fusión de sensores
 - Cálculo de los ángulos de Euler.
- Cálculos bastante complejos, con funciones trigonométricas inversas
 - Librería de apoyo



Esquemático Boosterpack





Conclusiones

- Los sensores son, intrínsecamente analógicos
- Necesitan adaptación (compleja a veces)
- Sensores digitales más sencillos de montar, pero más complejos de programar
 - Manejo del Bus I2C
- Solución más estándar, independiente de la magnitud a medir