



Universidad Nacional de Misiones



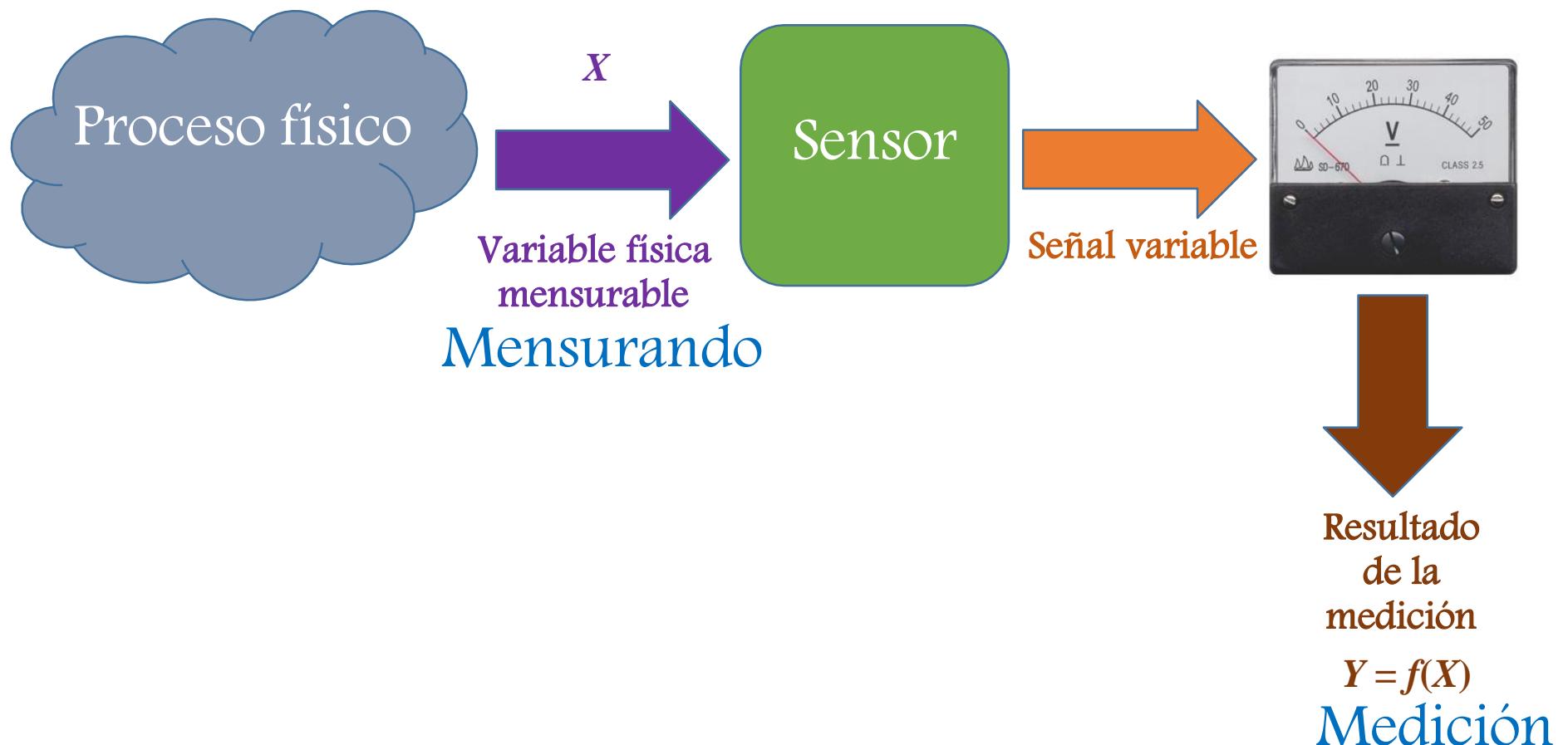
Facultad de **Ingeniería**  
O B E R A

---

# Sensores y transductores utilizados en Control y Automatismos Industriales

---

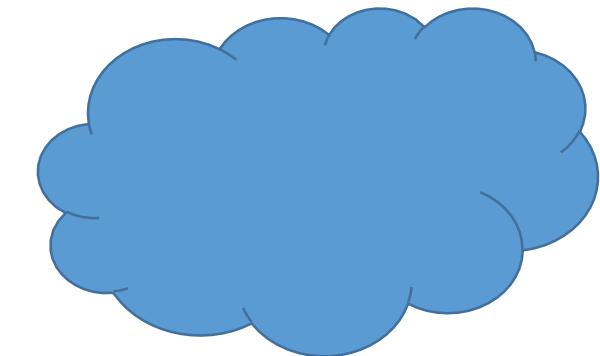
# Modelo simple (ideal) de una medición



VIM BIPM International Vocabulary of metrology

BIPM The International System of Units

# Medición y conversión de la energía



Variable física de interés

*X*

Fuerza  
Distancia  
Temperatura  
Aceleración  
Velocidad  
Presión  
Frecuencia  
Capacidad  
Resistencia  
Tiempo

.....

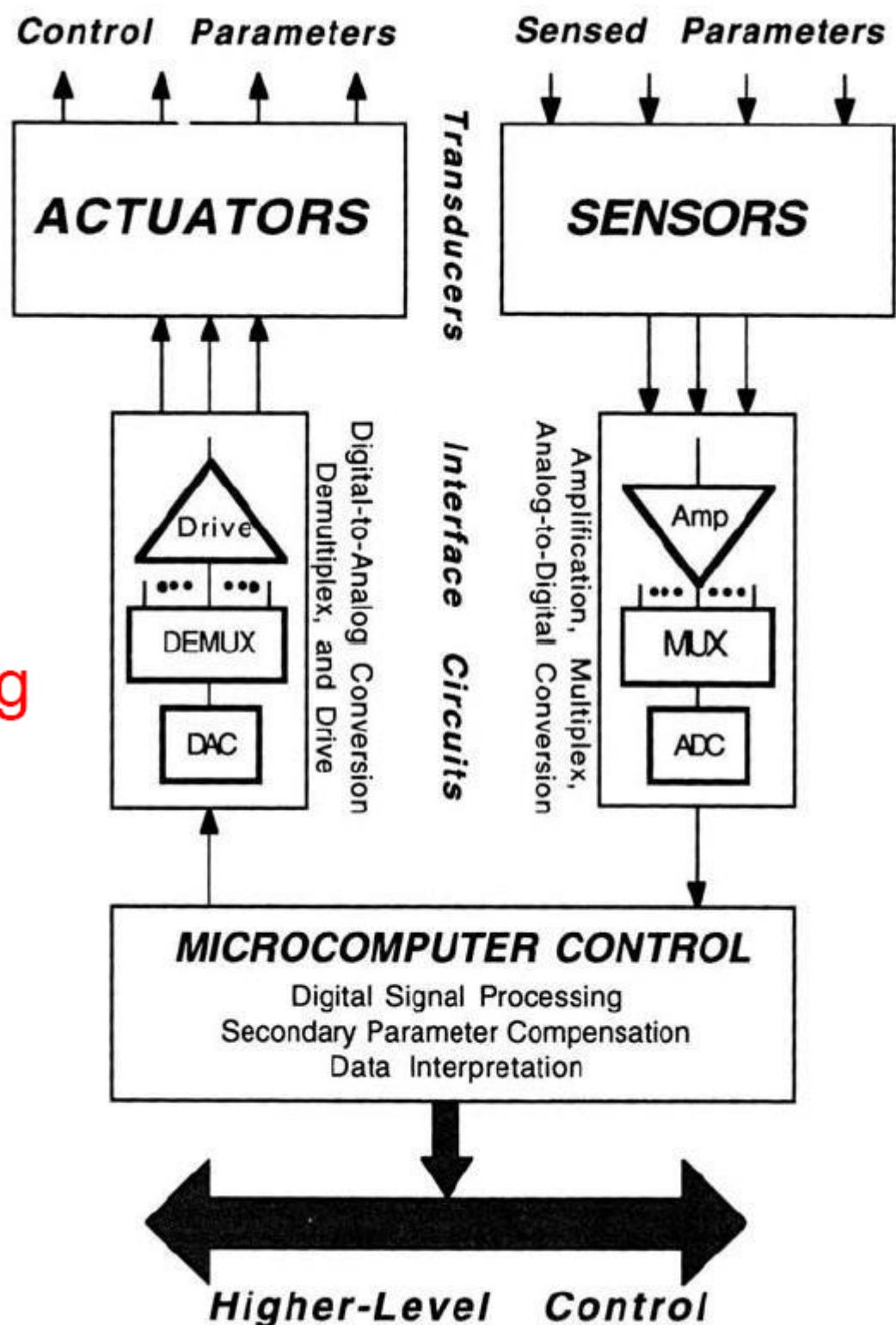
*instrumento*



Recuerden verificar el significado de cada término específico en el VIM (Vocabulario Internacional de Metroología).

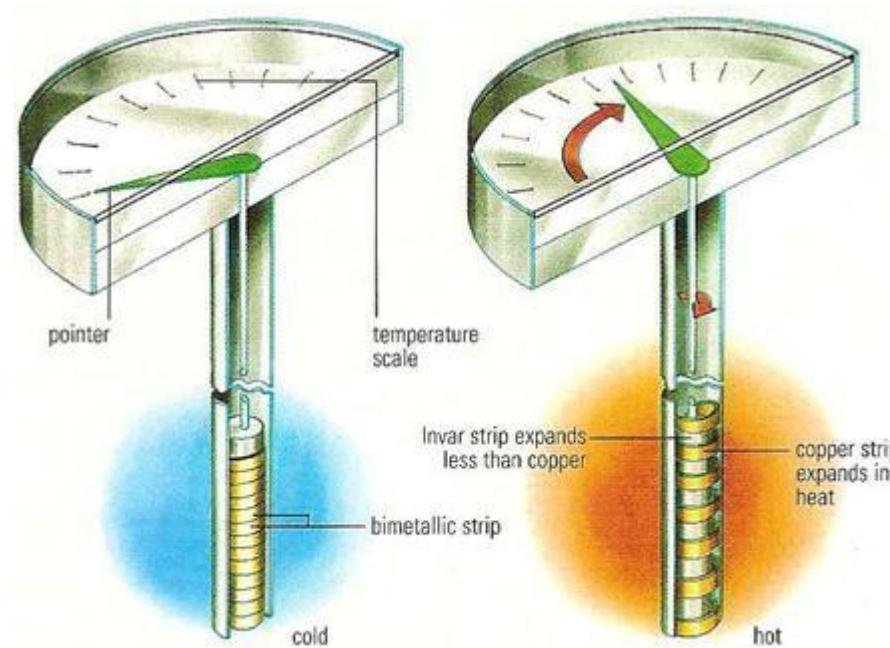
# Panorama general

- ☞ automotive
- ☞ health care
- ☞ manufacturing
- ☞ environmental monitoring
- ☞ industrial processing
- ☞ avionics
- ☞ defense
- ☞ ...

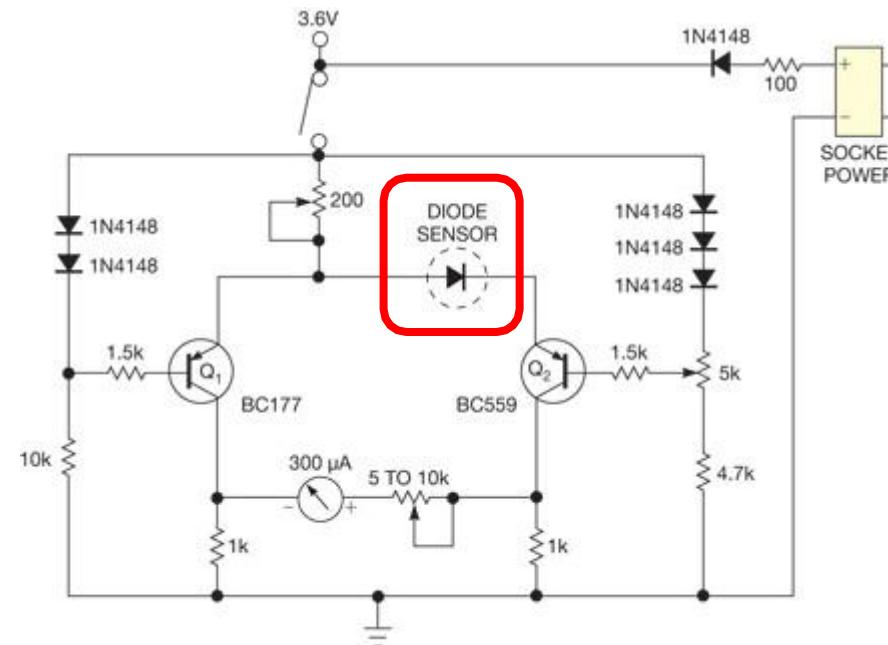


# Evolución de los sensores

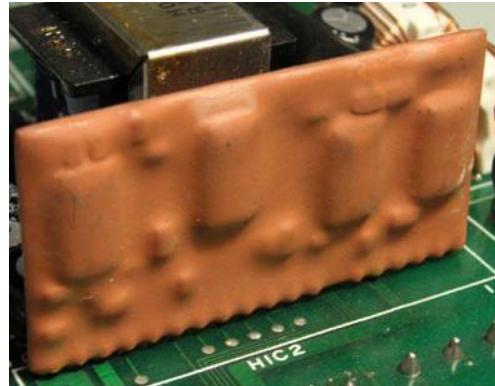
1<sup>ra</sup>



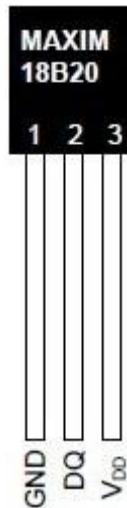
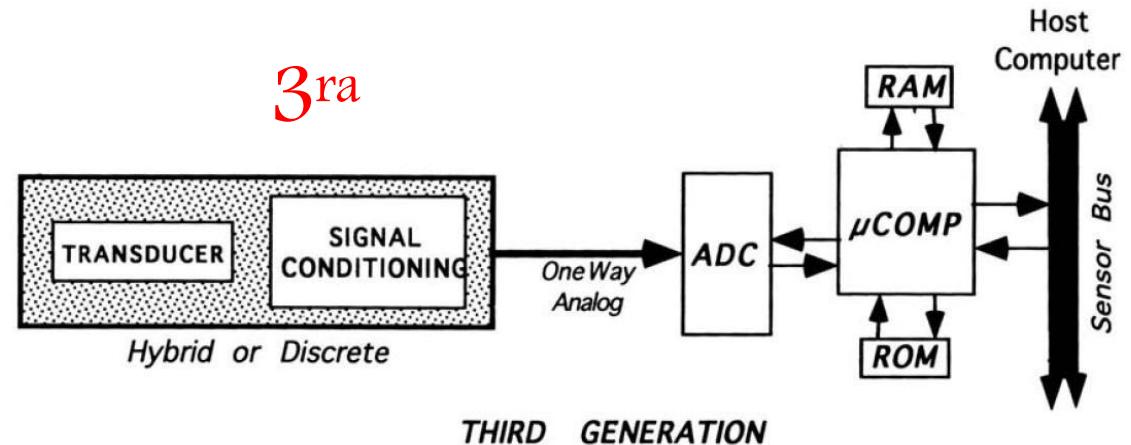
2<sup>da</sup>



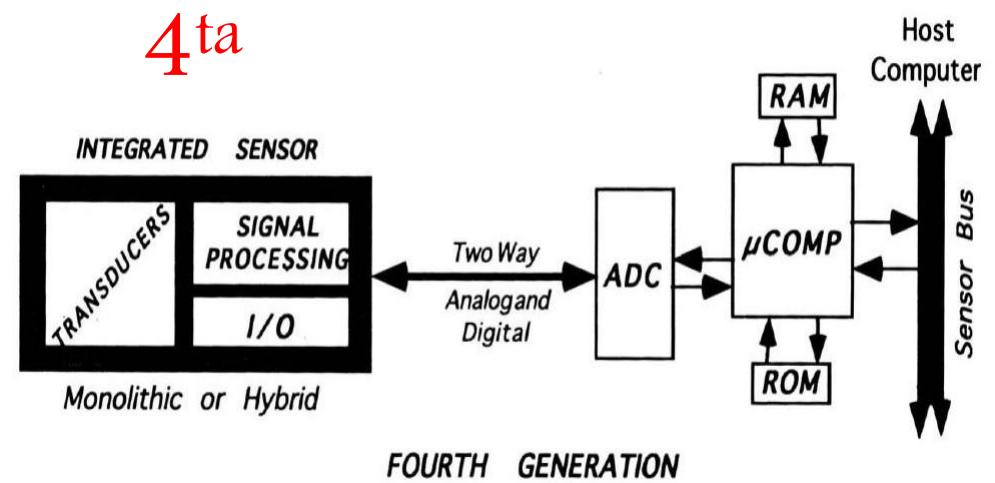
# Evolución de los sensores



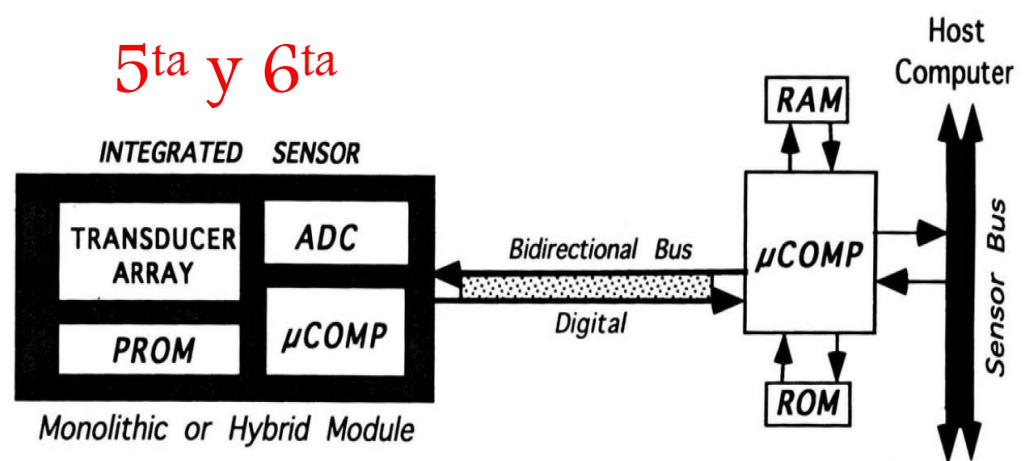
3<sup>ra</sup>



4<sup>ta</sup>



5<sup>ta</sup> y 6<sup>ta</sup>



# Sensores integrados y sensores inteligentes (Smart sensors)

- Van más allá que las simples posibilidades de un sensor tradicional

Proveen de las siguientes Cualidades:

Interface estándar  
Autotest (Self-testing)

Tolerancia a falla

Compensación digital



- ☺ La exactitud general del sistema, su rango dinámico y su confiabilidad mejoró mucho.
- ☺ El desarrollo de nuevos sistemas de sensores e instrumentación pasó a ser más simple.

# Características principales

Directo o complejo

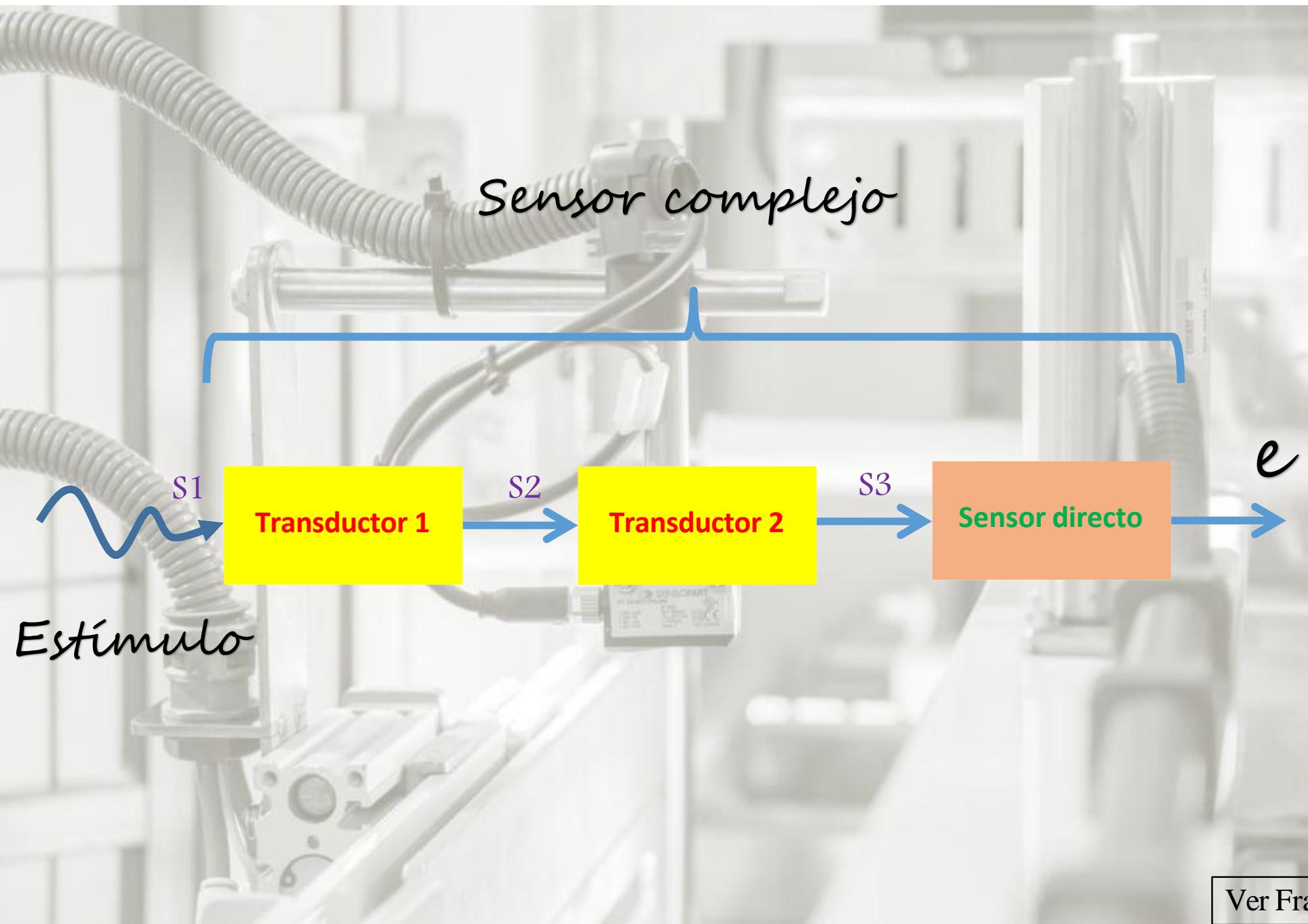
Intrusivo o No intrusivo

Interno o Externo

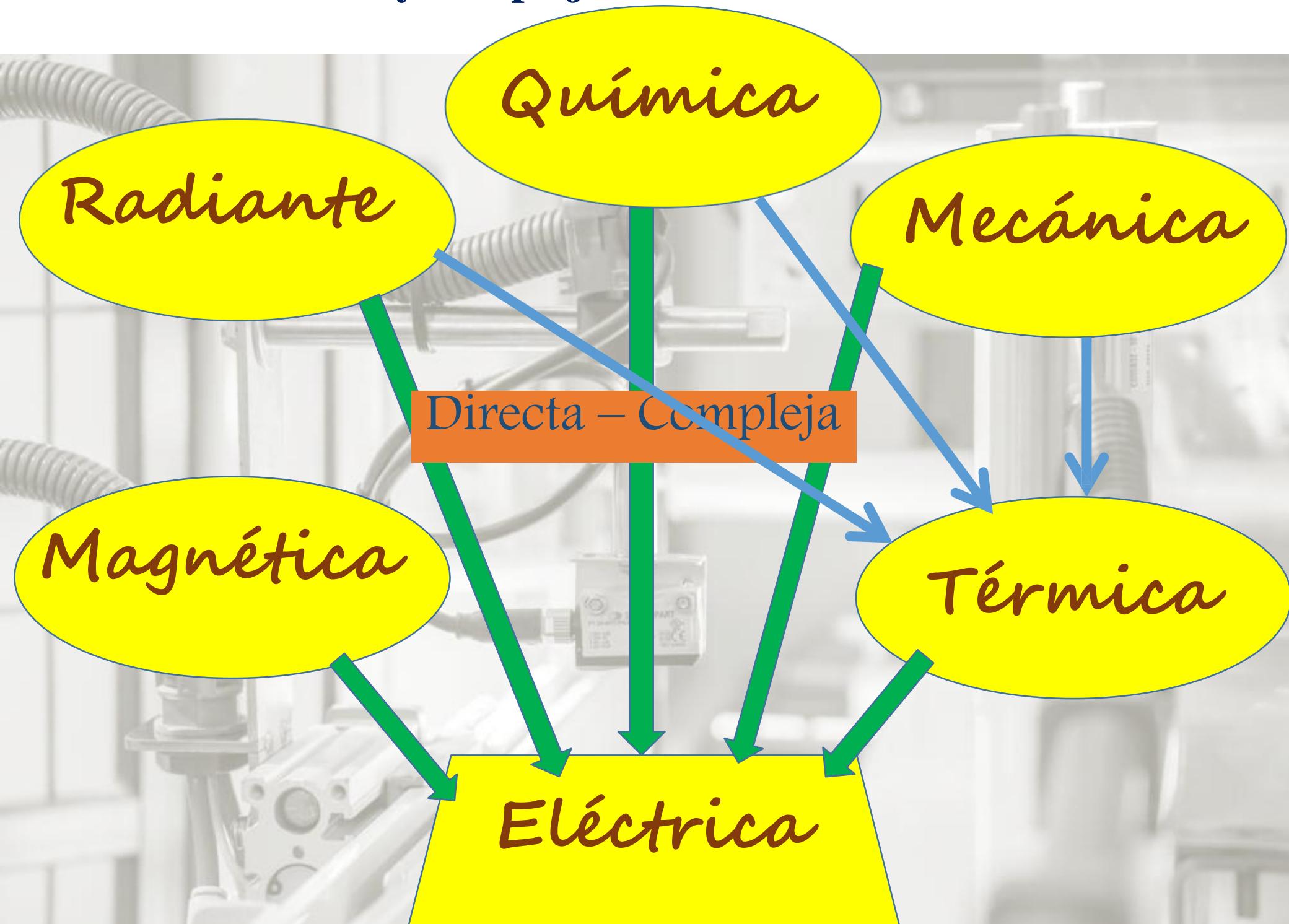
Activo o Pasivo

Absoluto o Relativo

Analicemos cómo clasificar el sensor de temperatura incorporado en una placa madre, digamos que es un termistor: directo, intrusivo, interno, activo y absoluto.



# Conversión directa y compleja



# Clasificación por el campo de aplicación

Agricultura

Ingeniería civil, construcción Generación y distribución de energía Salud, medicina

Industria en general

Militar

Mediciones científicas

Transporte

Automotor

Domésticas

Medio ambiente, meteorología

Seguridad

Información, telecomunicaciones

Marina

Recreación, juguetes

Espacio

Otros

# Clasificación por el fenómeno de conversión

## Físico

Termoeléctrico  
Fotoeléctrico  
Fotomagnético  
Magnetoeléctrico  
Electromagnético  
Termoelástico  
Electroelástico  
Termomagnético  
Termoóptico  
Fotoelástico  
Magnetoelástico  
Otro

## Químico

Transformación química  
Transformación física  
Proceso electroquímico  
Espectroscopia  
Otro

## Biológico

Transformación bioquímica  
Transformación física  
Efecto sobre organismo  
de prueba  
Espectroscopia  
Otro

## Clasificación por los materiales

Inorgánico

Conductor

Semiconductor

Substancia biológica

Orgánica

Aislante

Líquido, gas o plasma

Otro

## Clasificación por los medios de detección

Biológico

Químico

Eléctrico, magnético o electromagnético

Calor, temperatura

Desplazamiento mecánico

Radioactividad, radiación

Otro

# Variables típicas a analizar para la selección de un sensor

Sensibilidad

Estabilidad

Exactitud

Velocidad de respuesta

Sobrecarga

Histéresis

Costo

Tamaño

Ancho de banda

Offset

Zero drift

Rango (span)

Resolución

Selectividad

Robustez (capacidad de  
soportar  
condiciones ambientales)

Linealidad

Banda

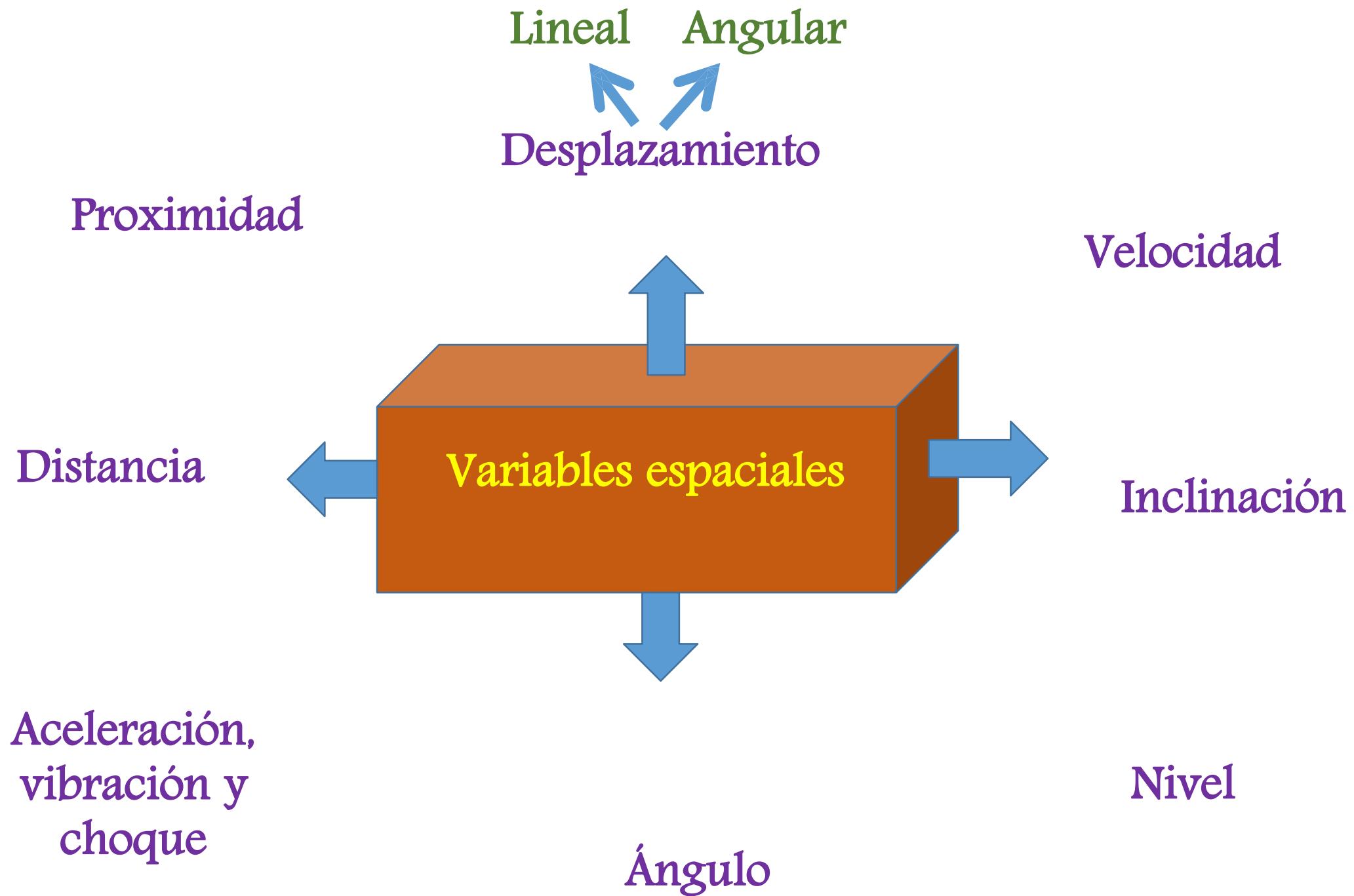
muerta

Formato de salida

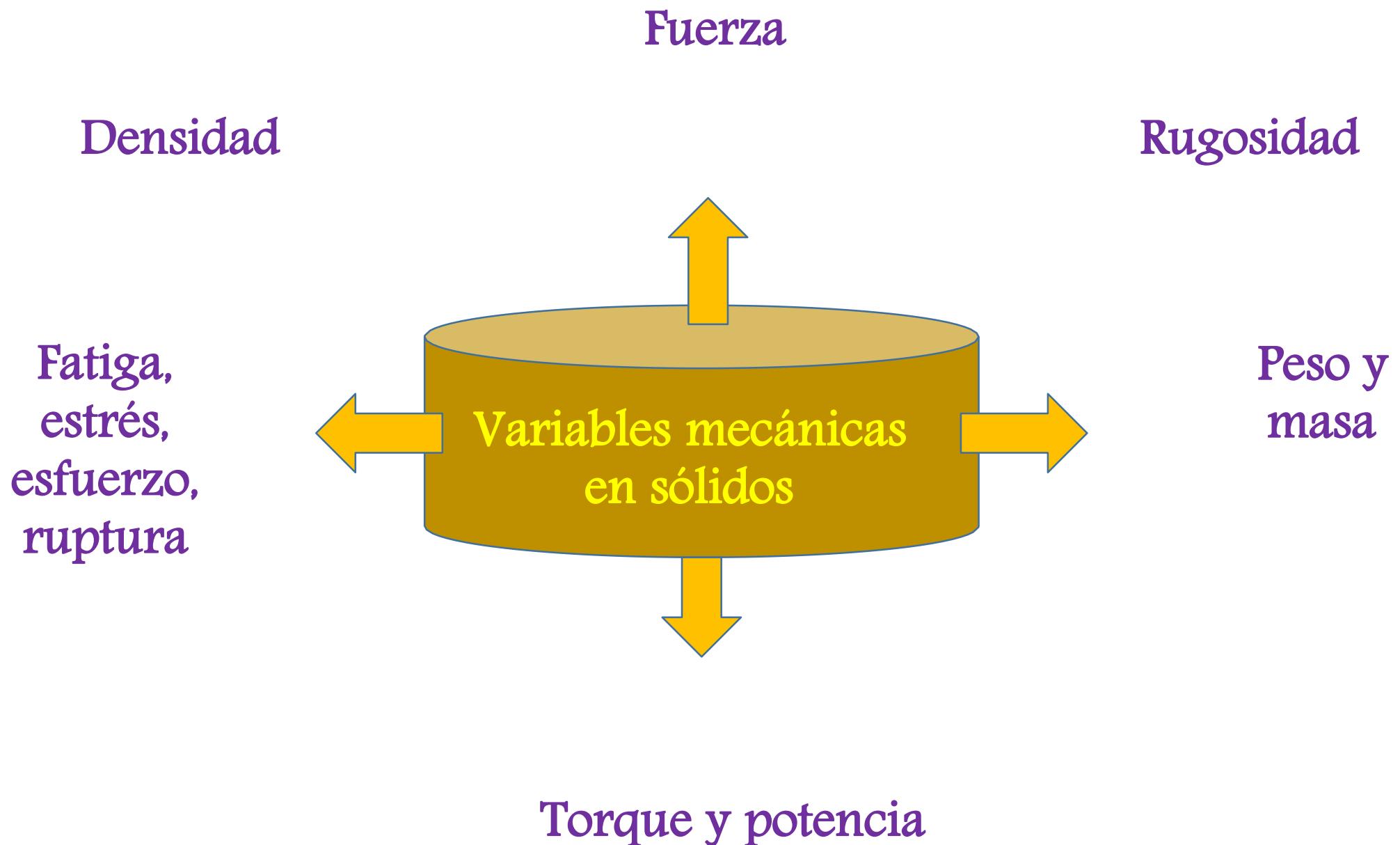
Alimentación

Ruido

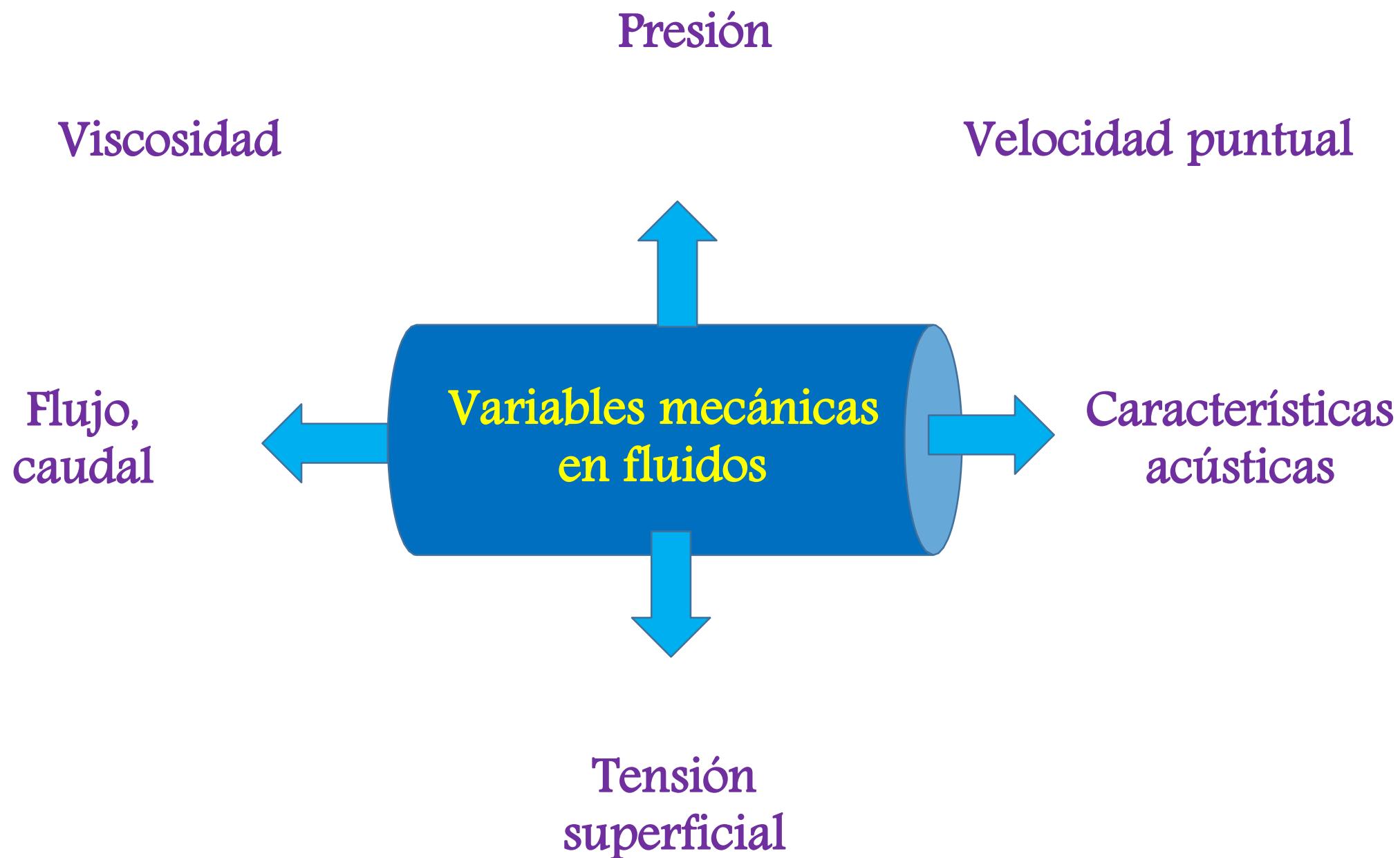
# Magnitudes espaciales



# Magnitudes mecánicas en sólidos



# Magnitudes mecánicas en fluidos



# Magnitudes térmicas

Flujo de calor

Temperatura

Calorimetría

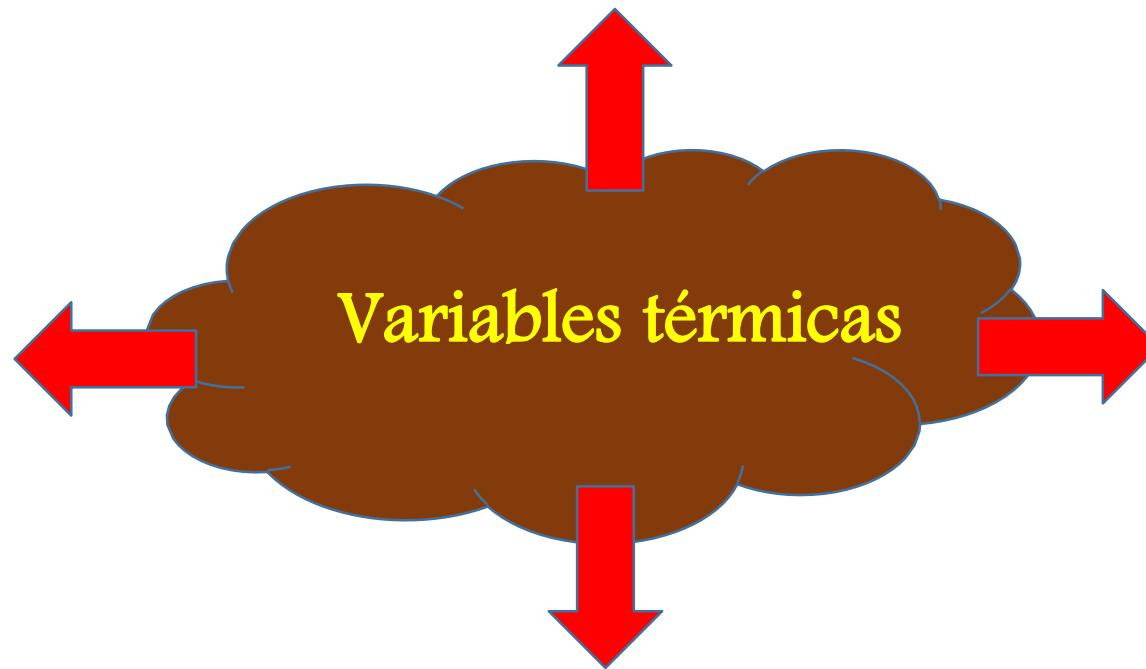
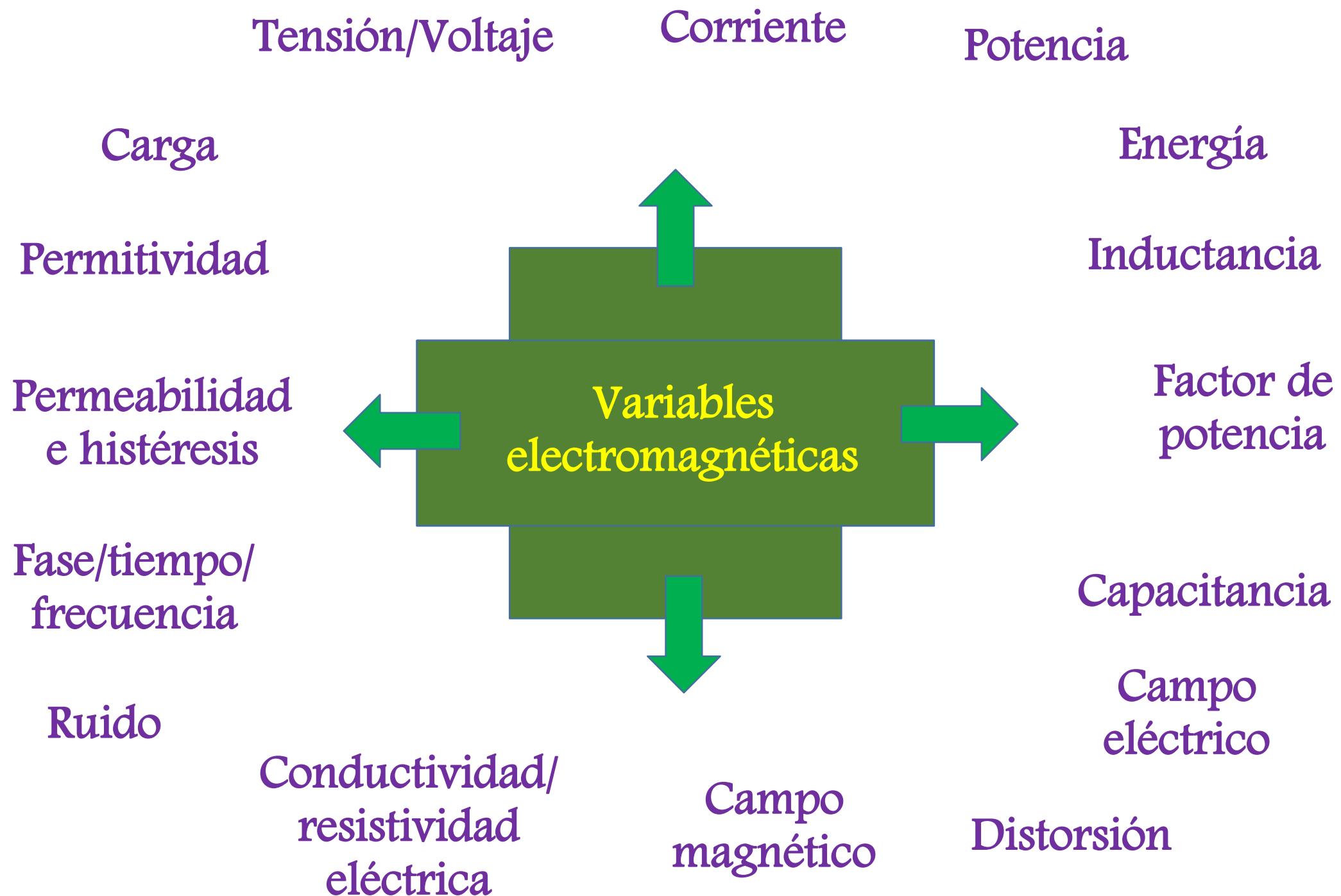


Imagen térmica

Conductividad/resistencia térmica

# Magnitudes electromagnéticas



# Magnitudes químicas y ambientales



# Magnitudes ópticas

Colorimetría

Pérdida óptica

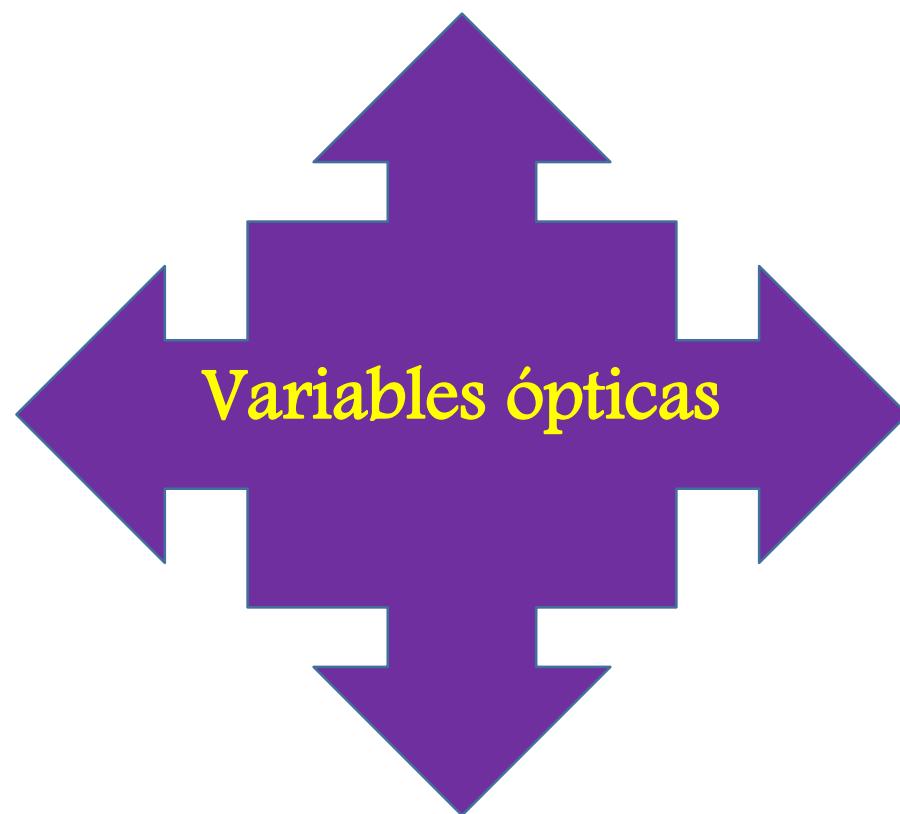
Refracción

Polarización

Variables ópticas

Turbidez

Densitometría

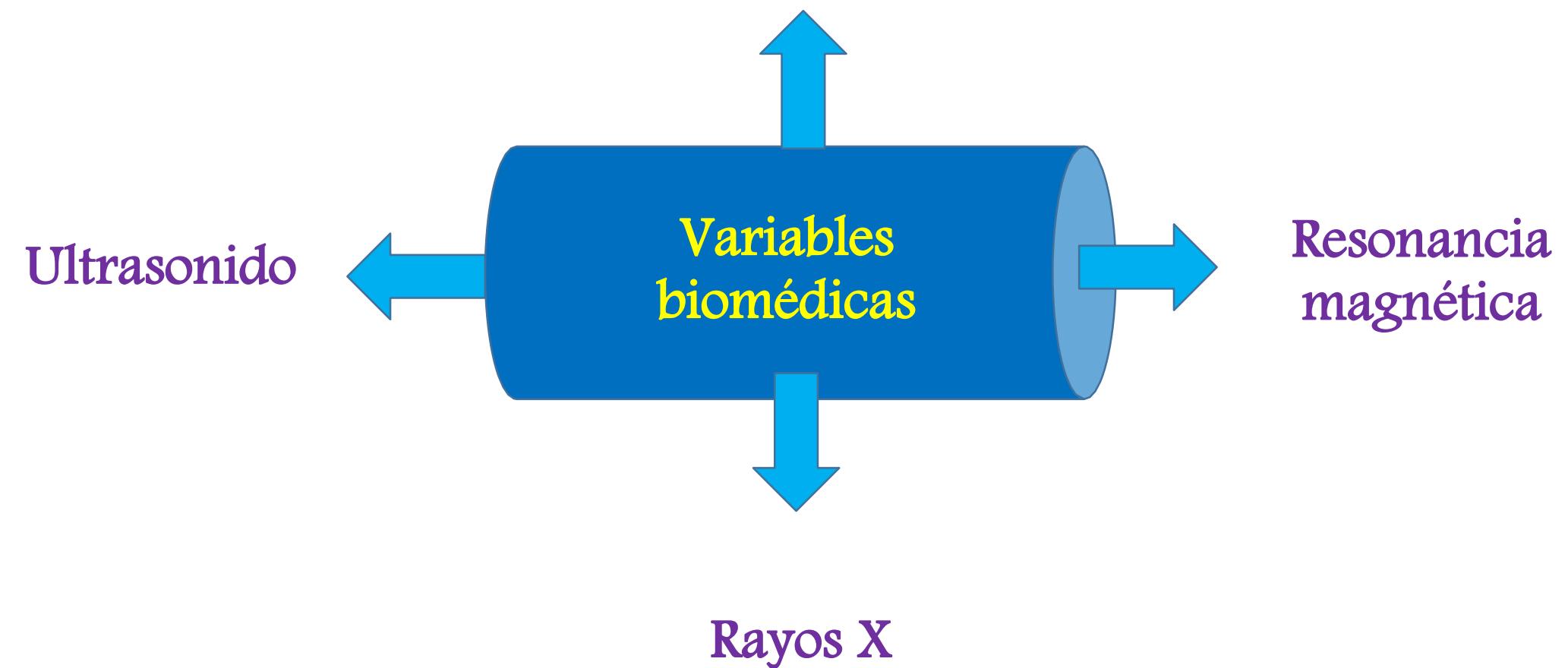


# Magnitudes biomédicas

Biopotenciales

Presión arterial

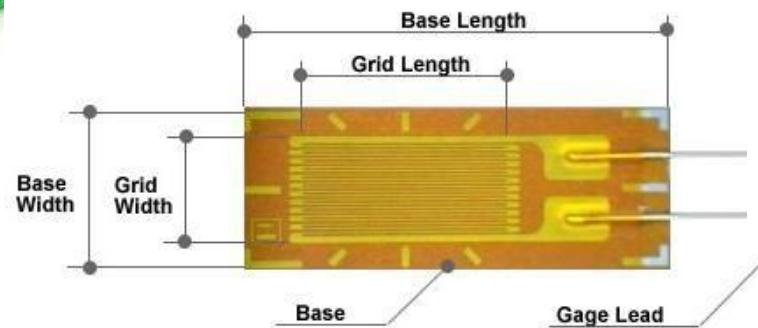
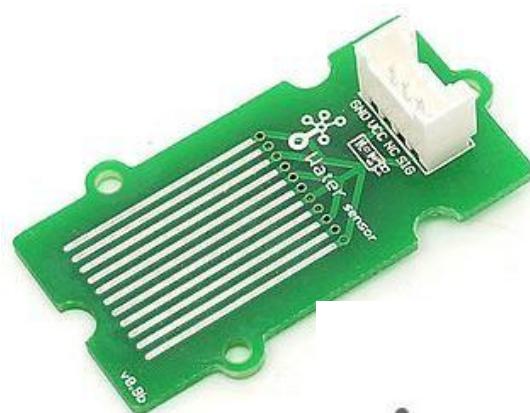
Flujo sanguíneo



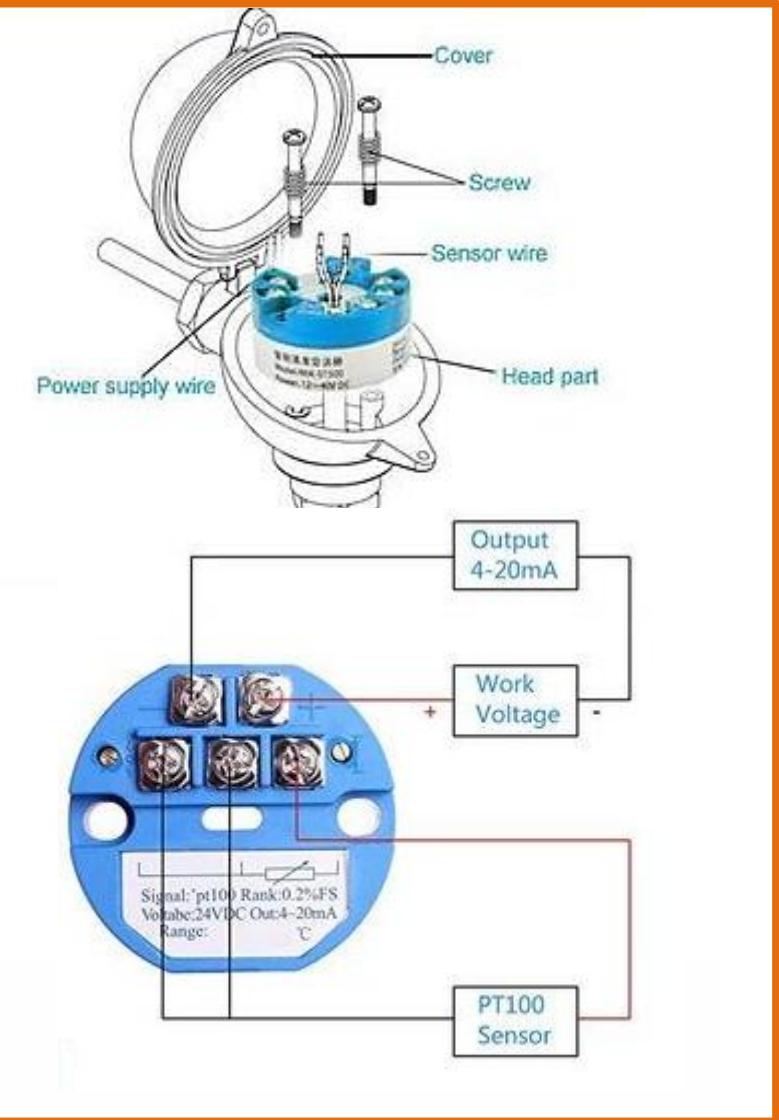
# Sensores resistivos



Temperatura  
Humedad  
Iluminación  
Posición  
Distancia  
Esfuerzo  
Nivel  
Presión



# Montaje RTD



Opción 1: Montaje rectangular  
Desfavorable

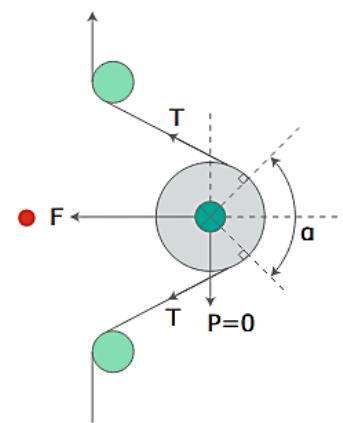


Opción 2: Montaje inclinada  
Recomendable

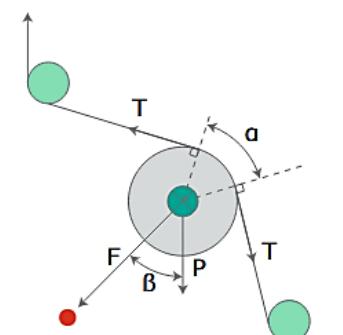


Opción 3: Montaje horizontal  
Óptimo

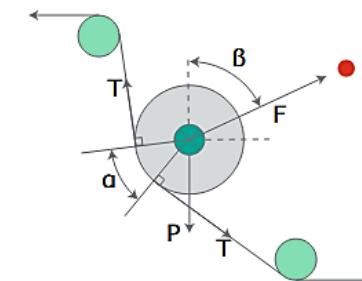
# Montaje Celda de Carga



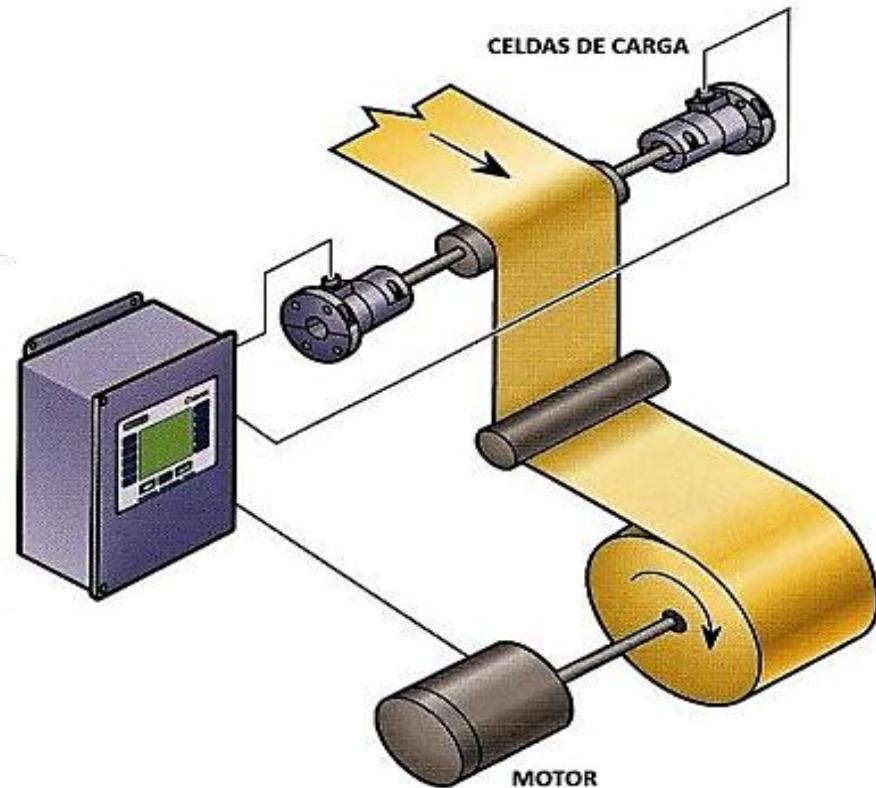
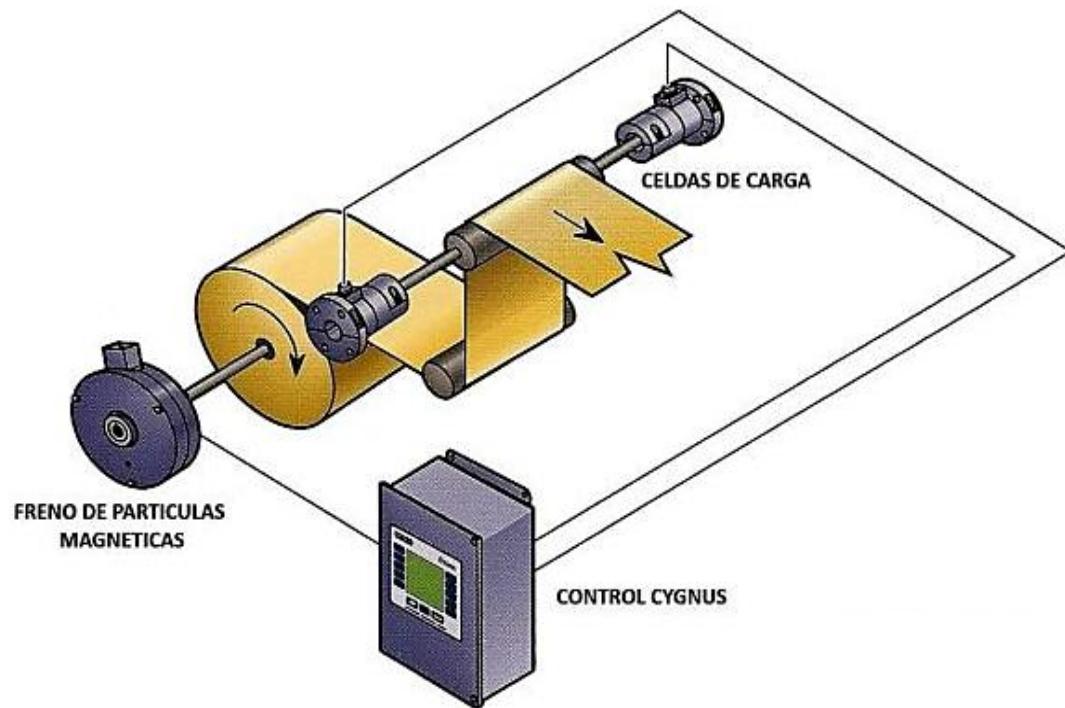
$$F = T \sin \alpha/2$$



$$F = T \sin \alpha/2 + P/2 \cos \beta$$



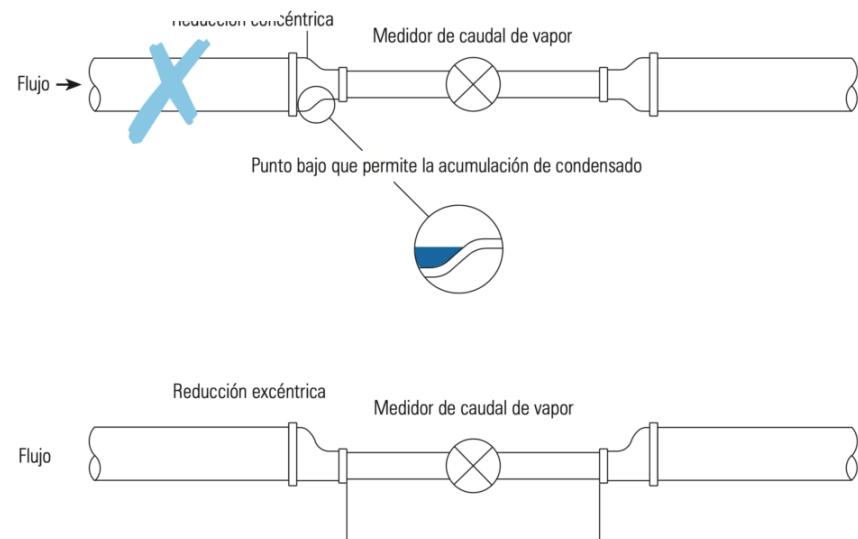
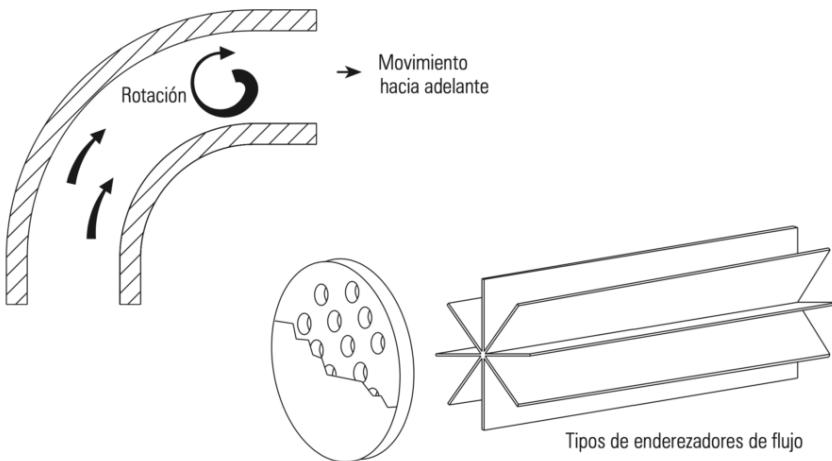
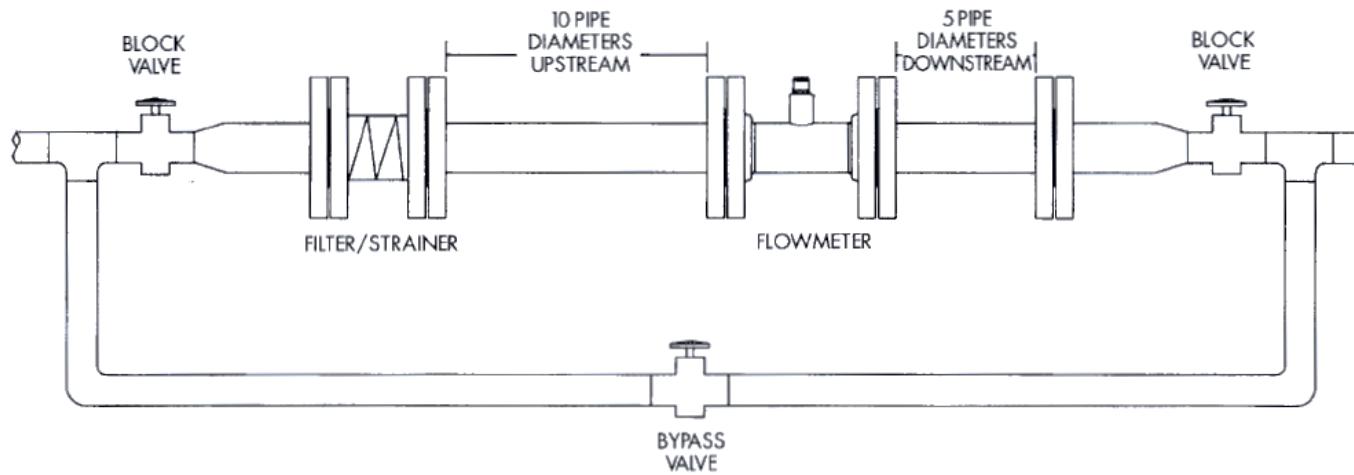
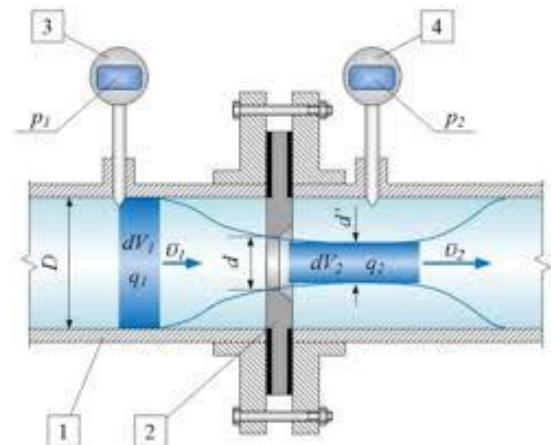
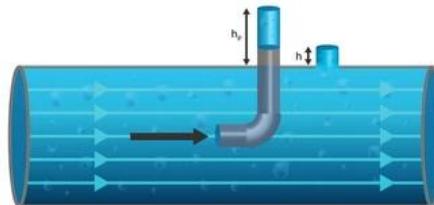
$$F = T \sin \alpha/2 - P/2 \cos \beta$$



# Montaje transmisor de presión



Pitot Tube



# Sensores capacitivos

Humedad

Posición

Distancia

Movimiento

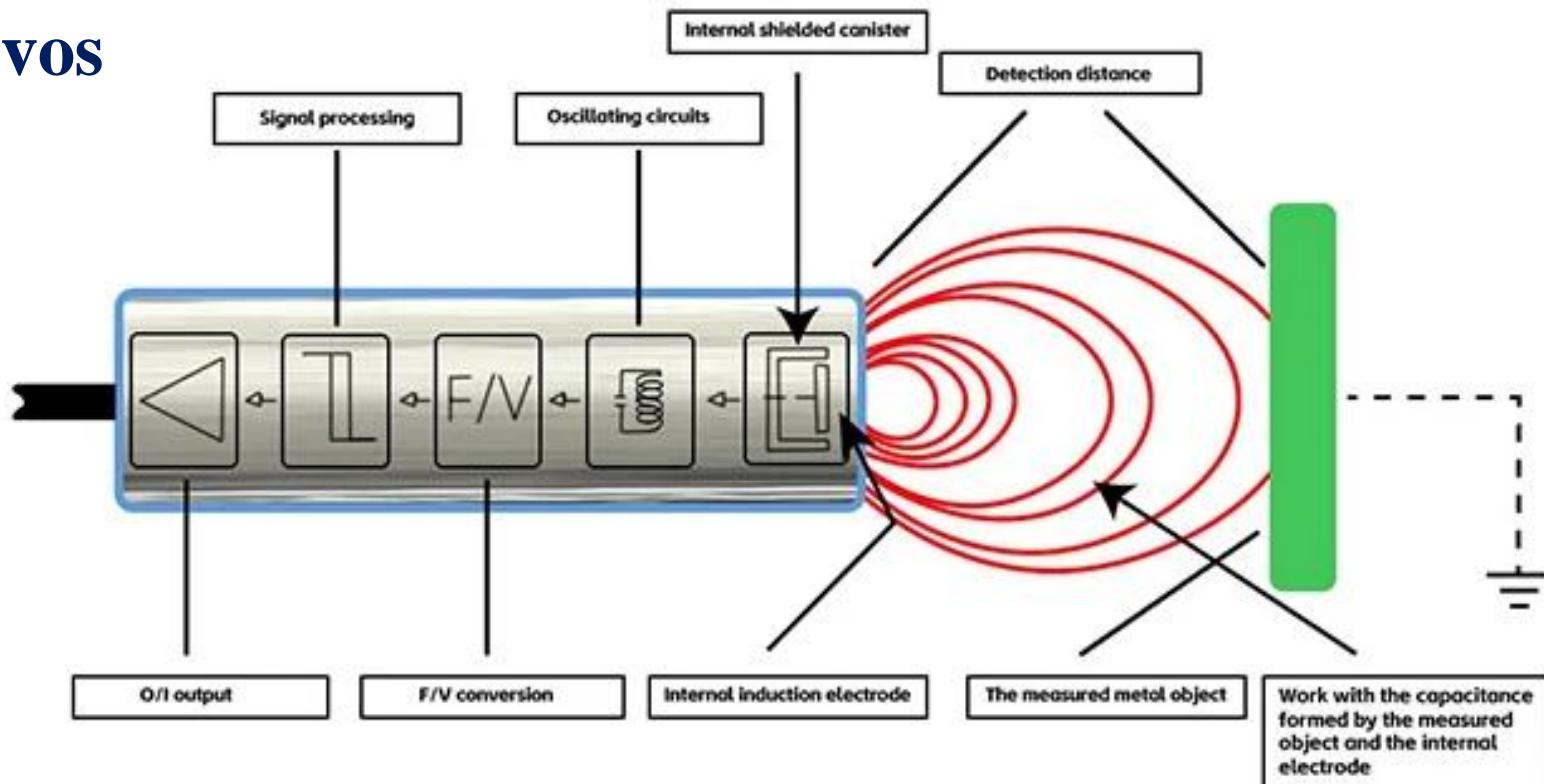
Proximidad

Nivel

Presión

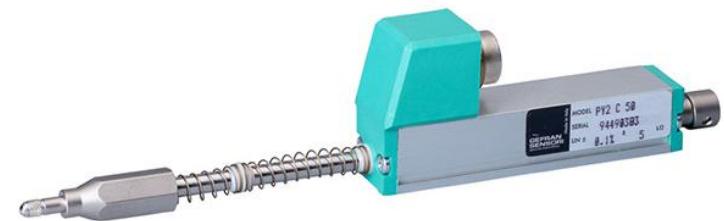
Fuerza

Composición de material



# Sensores inductivos

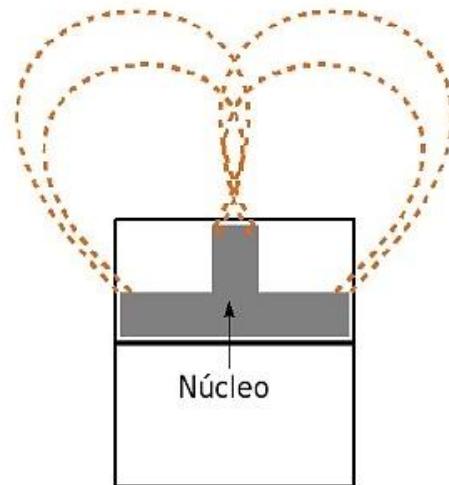
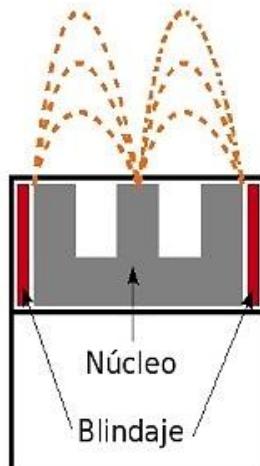
Posición  
Distancia  
Esfuerzo  
Velocidad



SENSOR RASANTE



SENSOR NO RASANTE



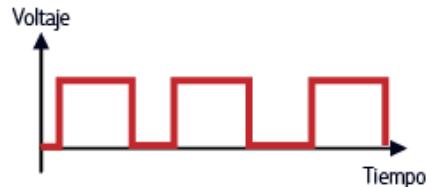
# Sensores ópticos



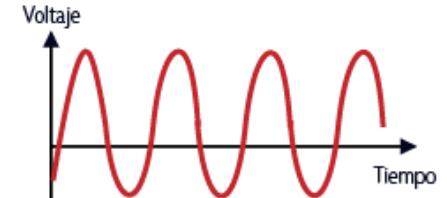
Temperatura  
Posición  
Distancia  
Presencia  
Movimiento  
Velocidad



## Encoder



## Resolver



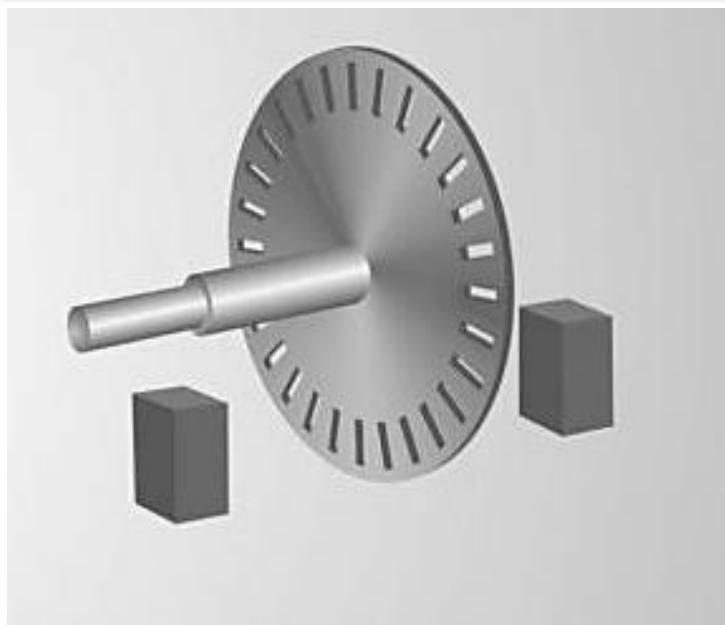
# VS

- ✓ Sistema digital.
- ✓ Generan señales digitales en respuesta al movimiento.
- ✓ Cuenta con partes electrónicas, que procesan su funcionamiento.
- ✓ Integración más simple en sistemas de control.
- ✓ No se recomiendan en ambientes con altas temperaturas y vibraciones.

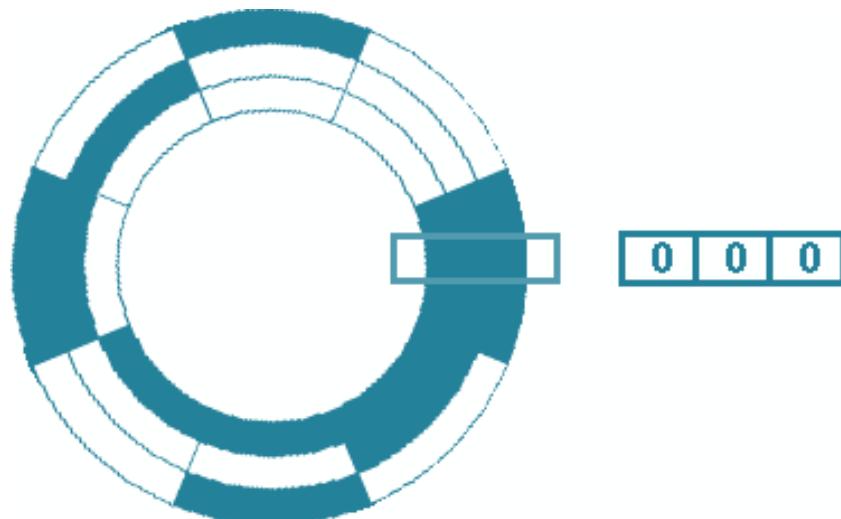
- ✓ Sistema analógico.
- ✓ Producen un conjunto de ondas senoides que indican la posición.
- ✓ Cuenta con devanados, similares a los de un motor.
- ✓ La integración en sistemas de control puede llegar a ser más costosa.
- ✓ Es más robusto, ideal para ambientes con altas temperaturas y vibraciones.

# Encoders / Codificadores

## Relativo / Incremental



## Absolute



# Sensores ópticos

**#01**



## REFLECTIVO

Tanto el emisor de luz como los elementos receptores están contenidos en una sola carcasa. El sensor recibe la luz reflejada desde el objeto.

**#02**



## DE BARRERA

El transmisor y el receptor están separados. Cuando el objeto se encuentra entre el transmisor y el receptor, se interrumpe la luz.

**#03**



## RETROREFLECTIVO

La luz del elemento emisor incide en el reflector y regresa al elemento receptor de luz. Cuando hay un objeto presente, se interrumpe la luz.

# Sensores magnéticos

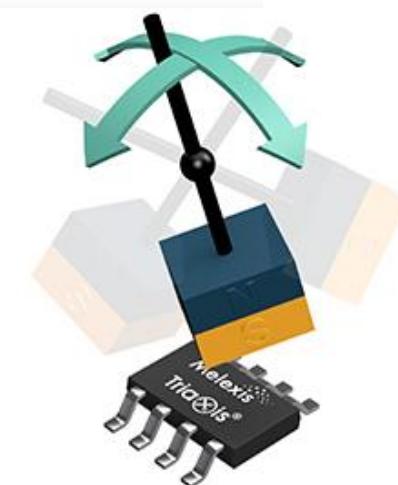
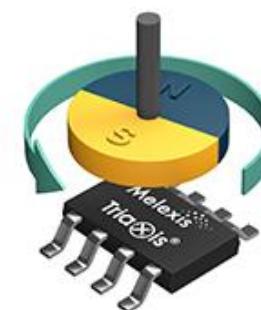
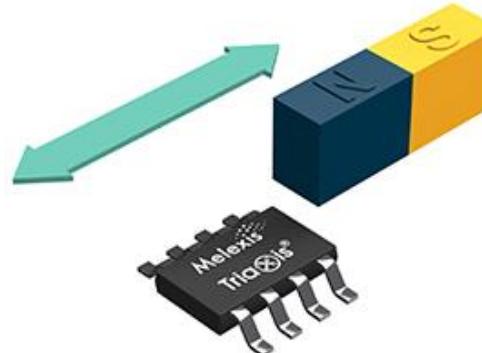
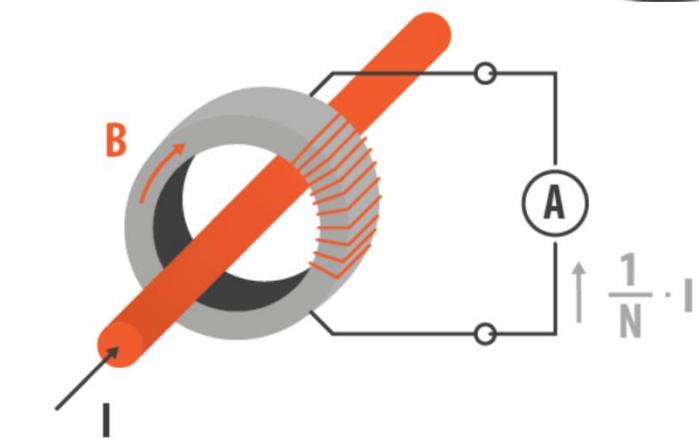
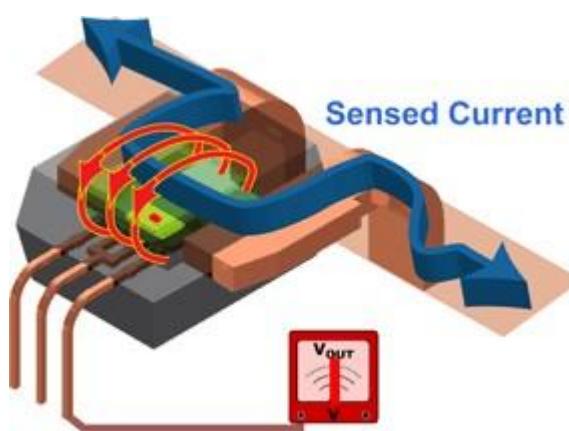
## Parámetros magnéticos

Posición

Corriente

Distancia

Caudal

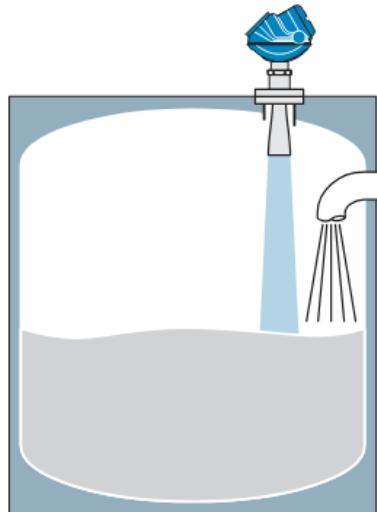


# Sensores de ultrasonido, piezoelectricos y de microondas

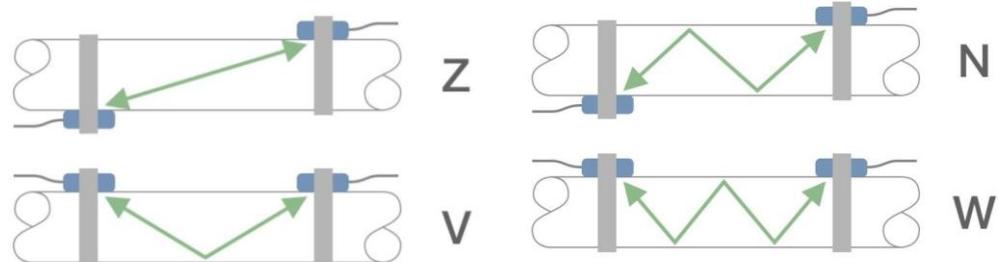
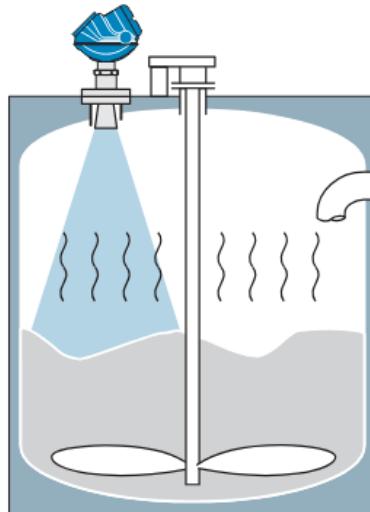


# Montaje transmisores de radar y ultrasonido

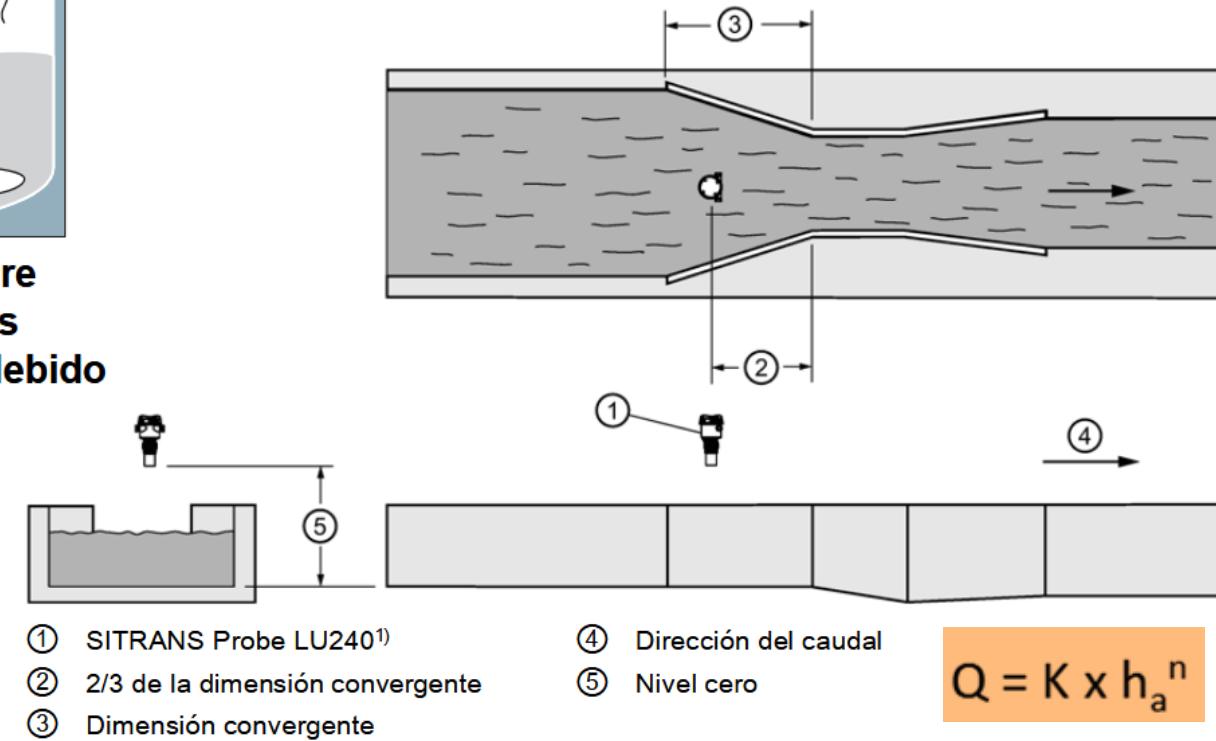
5402 (26 GHz)



5401 (6 GHz)



Cuando se mide en vapor y espuma, se prefiere una frecuencia baja. En la mayoría de las otras aplicaciones, se prefiere una frecuencia alta debido a la mayor flexibilidad de montaje.



① SITRANS Probe LU240<sup>1)</sup>

② 2/3 de la dimensión convergente

③ Dimensión convergente

④ Dirección del caudal

⑤ Nivel cero

$$Q = K \times h_a^n$$

Tamaño (H - garganta)	Hmín (mm)	Qmín (m <sup>3</sup> /h)	Hmáx (mm)	Qmáx (m <sup>3</sup> /h)	K (m <sup>3</sup> /h)	n
1"	15,0	0,3	210,0	19,0	217,5	1,550
2"	20,0	1,0	393,0	100,0	425,0	1,548
3"	31,9	3,0	591,0	275,0	620,0	1,548
6"	32,7	6,0	609,0	600,0	1310,0	1,574

# Instrumentos de Analítica



pH/ORP Sensor

Dissolved Oxygen

Conductivity

Ammonia(NH<sub>3</sub>-N)

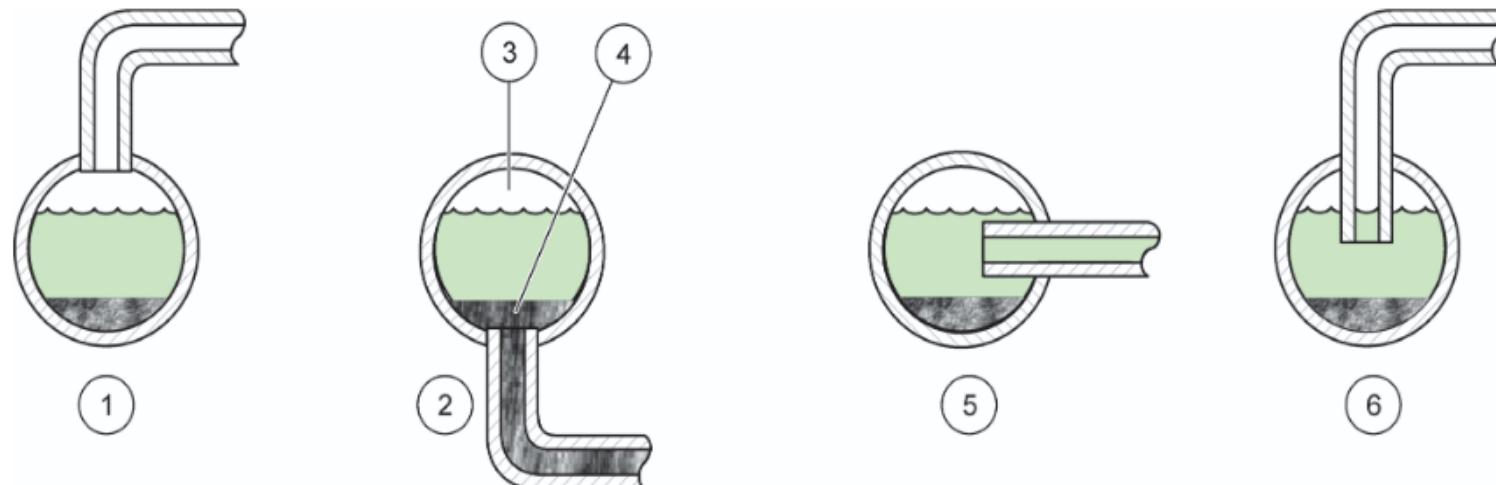
COD Sensor

Nitrate Nitrogen(NO<sub>3</sub>-N)

Turbidity/TSS



# Montaje de sondas en línea



Número 6 Ubicación de la línea de muestreo en el flujo del proceso

1 Pobre	4 Sedimento (típico)
2 Pobre	5 Bueno
3 Aire (típico)	6 Mejor

Mensualmente o con menos frecuencia <sup>1)</sup>	Sustituir reactivos.
Cada 2-3 meses	Comprobar la solución patrón y cambiarla en caso necesario.
Cada medio año	Cambiar los tubos de la bomba. Realizar una calibración después de cambiar los tubos de la bomba.
Si se da el caso	E020, FOME sucio. Limpiar el fotómetro con una solución de NH <sub>3</sub> al 5%, ver <a href="#">Limpiar el fotómetro, p. 63.</a>

<sup>1)</sup> El intervalo depende del ajuste <Ahorro reactivos>, ver [4.2.3, p. 87.](#)

**Aviso:** Cada semana se realiza una verificación automáticamente, programada por defecto el lunes a las 06:00 AM. Asegurarse de que se conecta una botella de solución patrón con la cantidad suficiente.

## Reactivos y consumibles

8575000	Kit de tubos para CL17sc (montados previamente)
8573100	Kit de limpieza de celda para CL17sc
2556900	Set de reactivos, cloro libre
2557000	Set de reactivos, cloro total

## Swansensor pH/Swansensor Redox (ORP)

Trimestral	Calibrar electrodo. Asegurarse de que las soluciones tampón no hayan caducado. En caso necesario, limpiar el electrodo.
Anual	Sustituir el electrodo.

# Tabla de Compatibilidad Química

7 PRODUCTO QUÍMICO	Plásticos												Elastómeros					Metales				No Metales													
	ABS, plástico	Acetal (Delrin*)	CPVC	Epoxy	Hytrex	LDPE	Noryl*	Nylon	Policarbonato	Polipropileno	PPS (Ryton*)	PTFE (Teflón*)	PVC	PVDF (Kynar*)	Buna N (Nitrilo)	EPDM	Hypalon*	Keil F*	Goma natural	Neopreno	Silicona	Tygon*	Viton*	Ac. inox. 304	Ac. inox. 316	Aluminio	Latón	Bronce	Carpenter 20	Fundición hierro	Cobre	Hastelloy C*	Titanio	Carbón, grafito	Cerámica Al2O3
1 Satisfactorio hasta 22 ° C																																			
2 Satisfactorio hasta 48 ° C																																			
Freón 113	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde				
Freón TF	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde				
Ftálico, Ácido	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde				
Ftálico, anhídrido	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde				
Fuel, Aceites	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde				
Furán, Resina	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde				
Furfural	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde				
Gálico, ácido	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde				
Gasolina (aromática)	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde				
Gasolina, sín plomo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde				
Gelatina	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde				
Glicerina	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde				
Glicólico, ácido	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde				
Glucosa	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde				
Grasa	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde				
Grasos, Acidos	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde				
Heptano	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde				

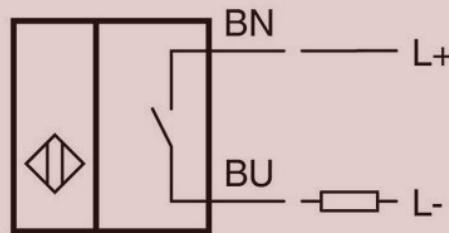
Fuente: [https://www.tuberiasdeacero.com/pdf/tienda/Tabla\\_Resistencia\\_Quimica.pdf](https://www.tuberiasdeacero.com/pdf/tienda/Tabla_Resistencia_Quimica.pdf)

# Sensores radiactivos

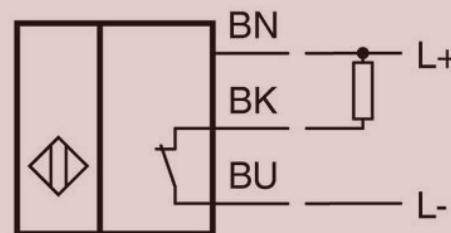


# Tipos de Salidas

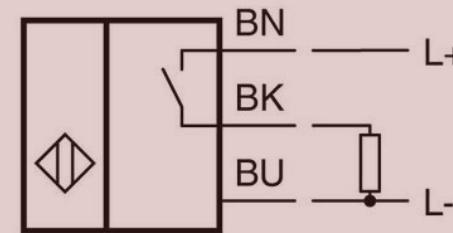
## 2 hilos



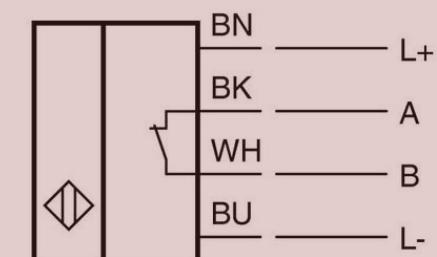
## 3 hilos NPN



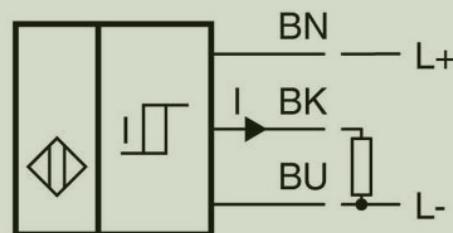
## 3 hilos PNP



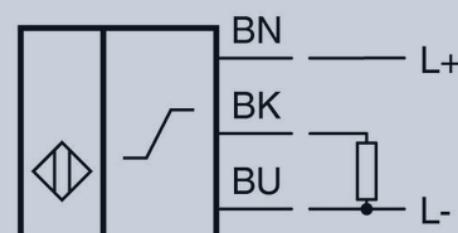
## 4 / 5 hilos



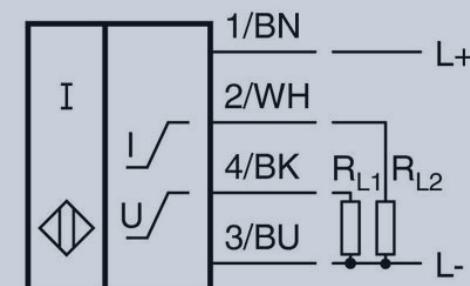
## Corriente digital



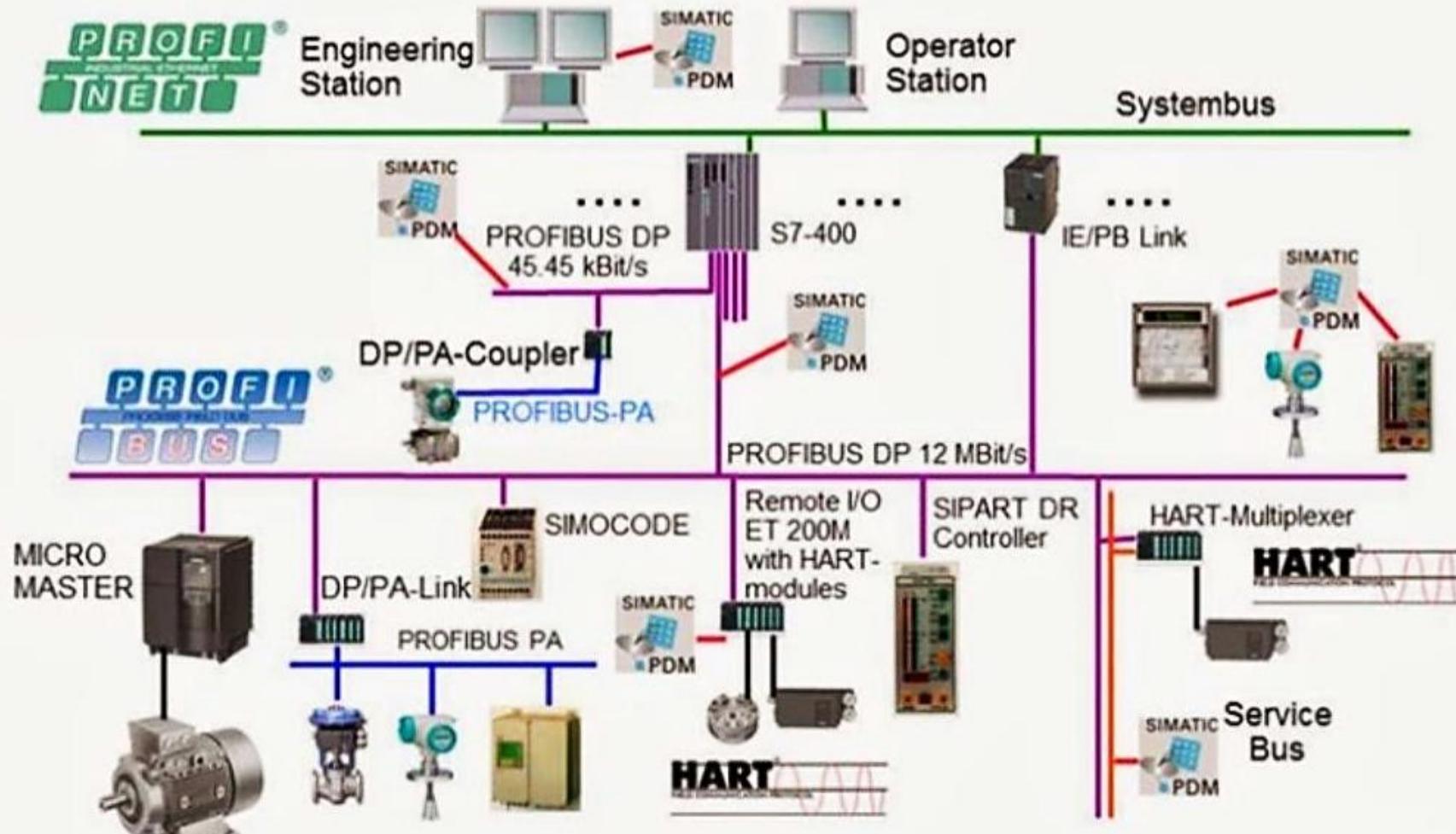
## 4-20mA o 0-10V



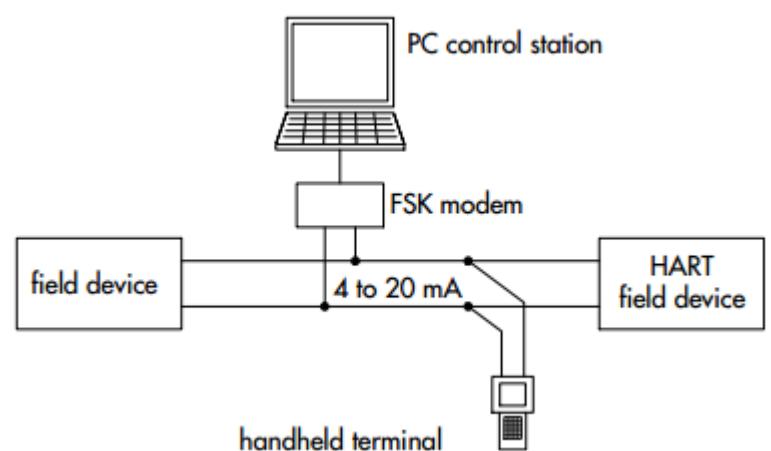
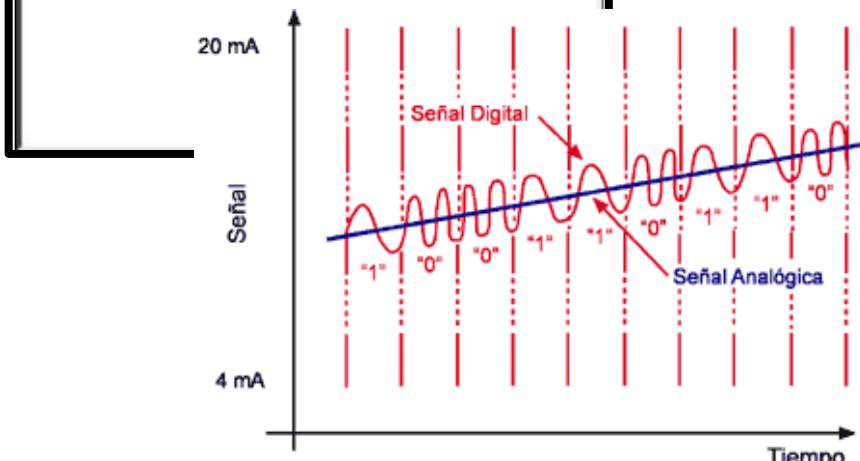
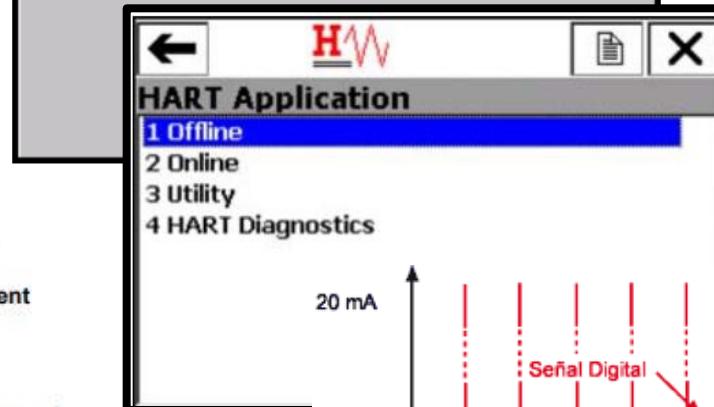
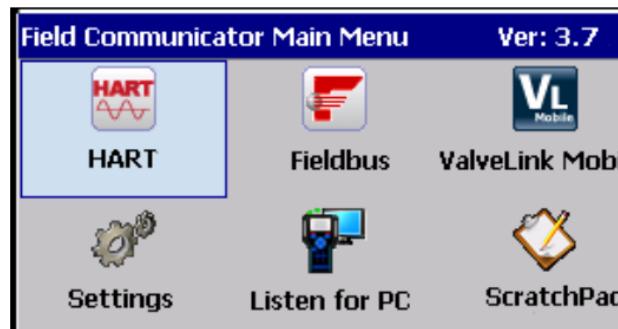
## Combinados



# Buses de campo



# HART: Configuradores



# Reglamentación específica

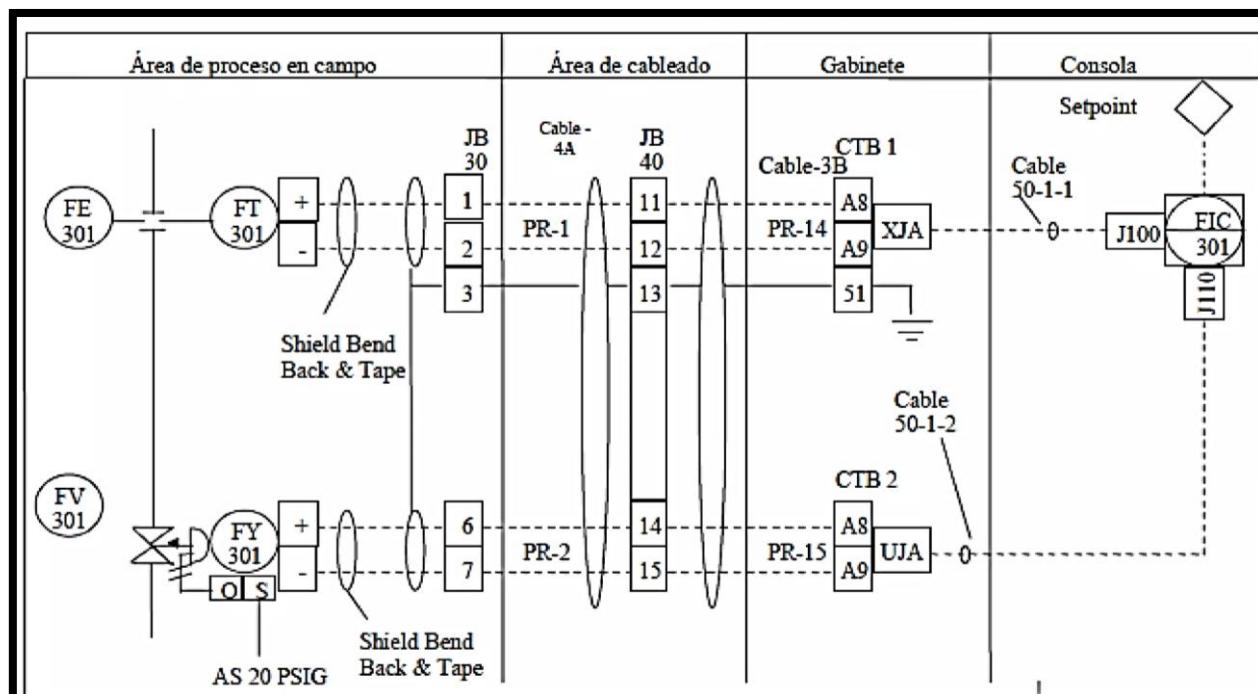
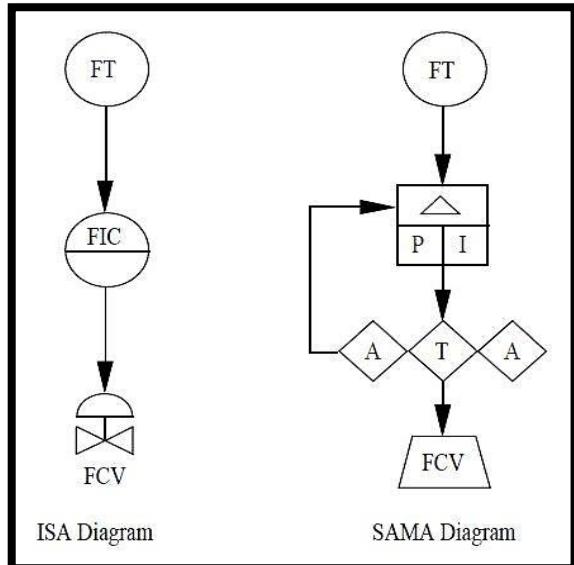
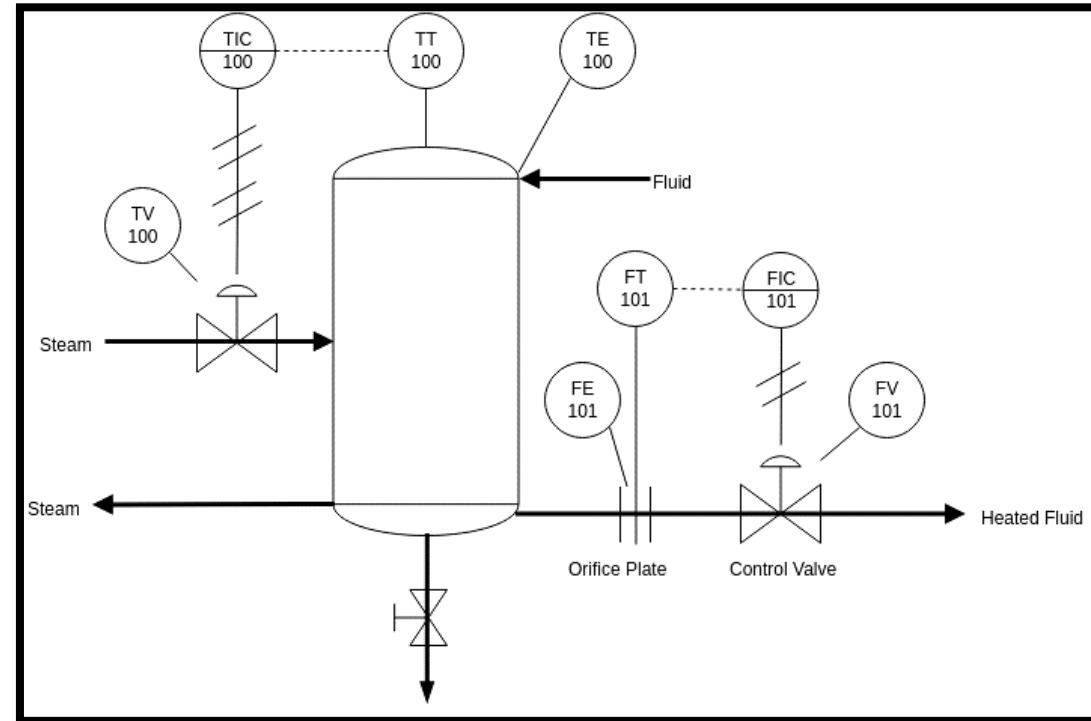
-ANSI/ISA-S5.1 (Identificación y símbolos de instrumentación)

-ANSI/ISA-S5.2 (Diagramas lógicos binarios para operaciones de procesos)

-ISA-S5.3 (Símbolos gráficos para control distribuido, sistemas lógicos y computarizados)

-ANSI/ISA-S5.4 (Diagramas de lazo de instrumentación)

-ANSI/ISA-S5.5 (Símbolos gráficos para visualización de procesos)



# Reglamentación específica

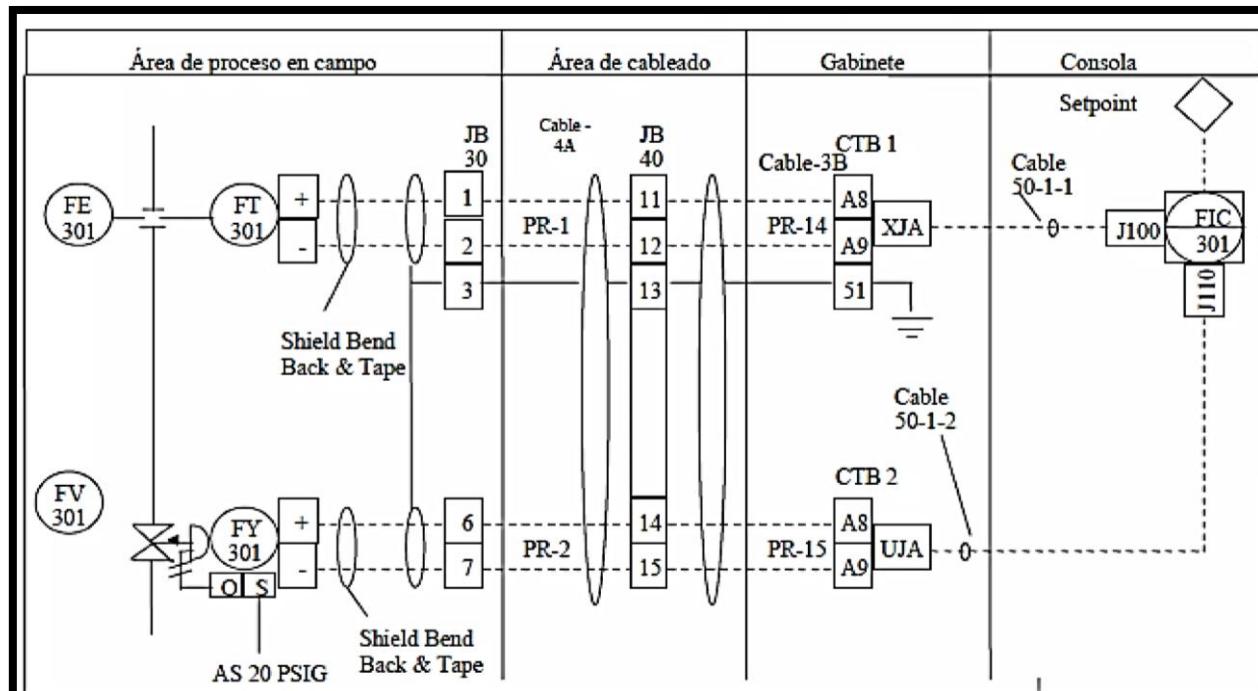
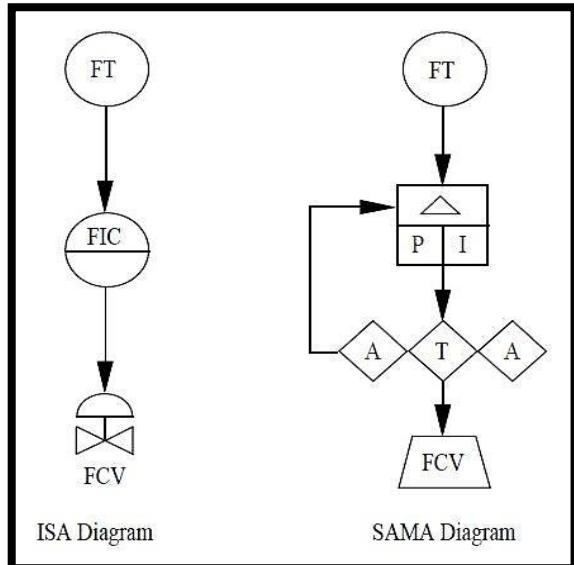
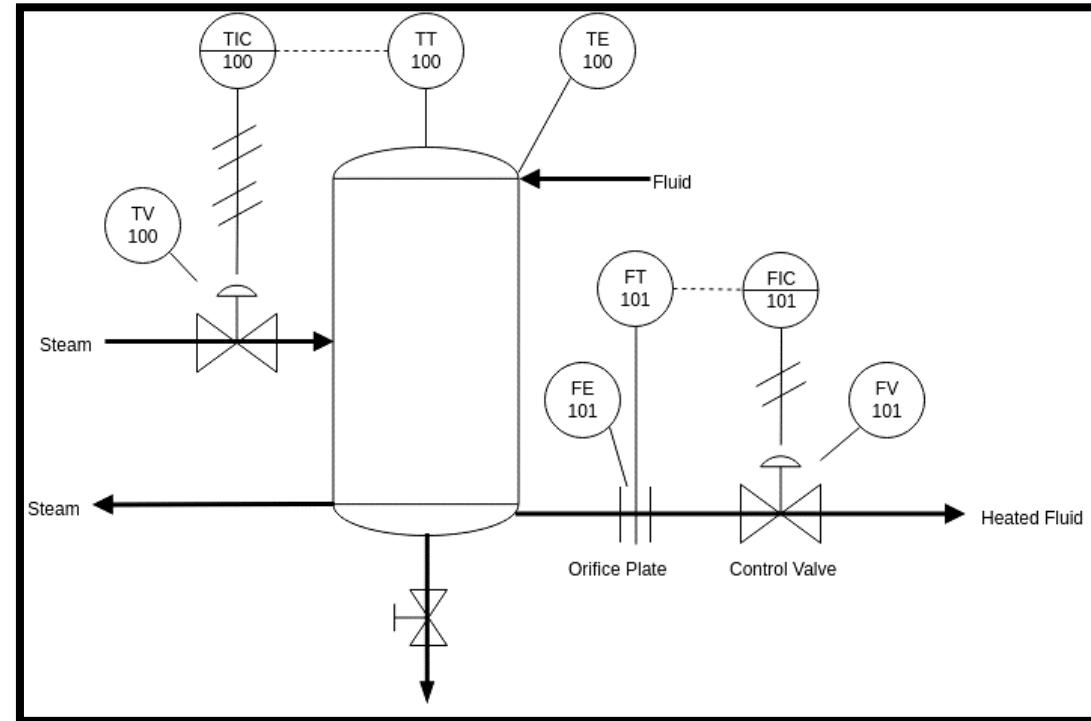
-ANSI/ISA-S5.1 (Identificación y símbolos de instrumentación)

-ANSI/ISA-S5.2 (Diagramas lógicos binarios para operaciones de procesos)

-ISA-S5.3 (Símbolos gráficos para control distribuido, sistemas lógicos y computarizados)

-ANSI/ISA-S5.4 (Diagramas de lazo de instrumentación)

-ANSI/ISA-S5.5 (Símbolos gráficos para visualización de procesos)



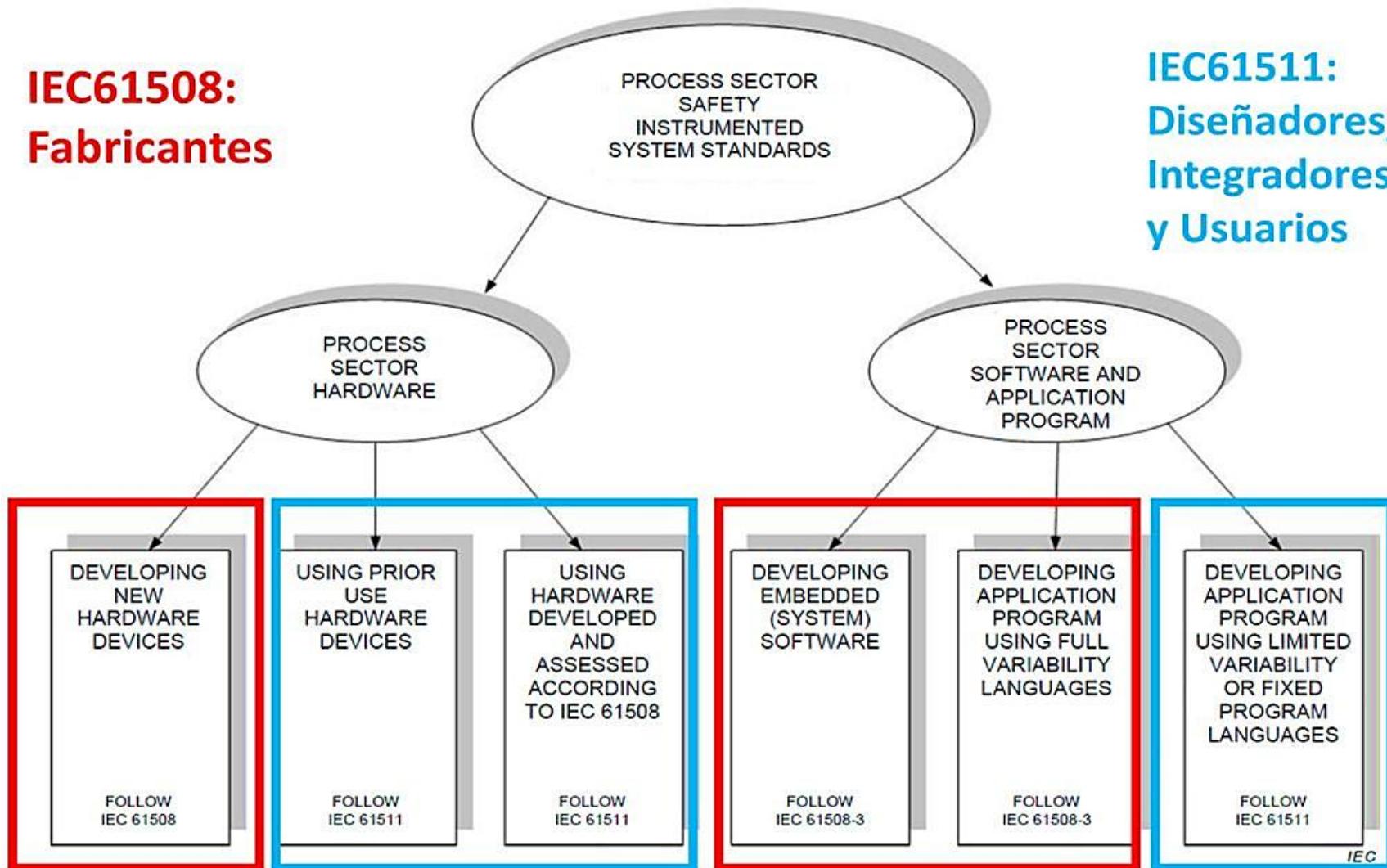
# Estándares de Seguridad en Instrumentación Industrial

Sistema Instrumentado Seguro (SIS), tiene como propósito evitar o reducir riesgos y cuando se viola las condiciones normales de operación debe llevar el proceso a un estado seguro (SIF, Safety Instrumented Functions).

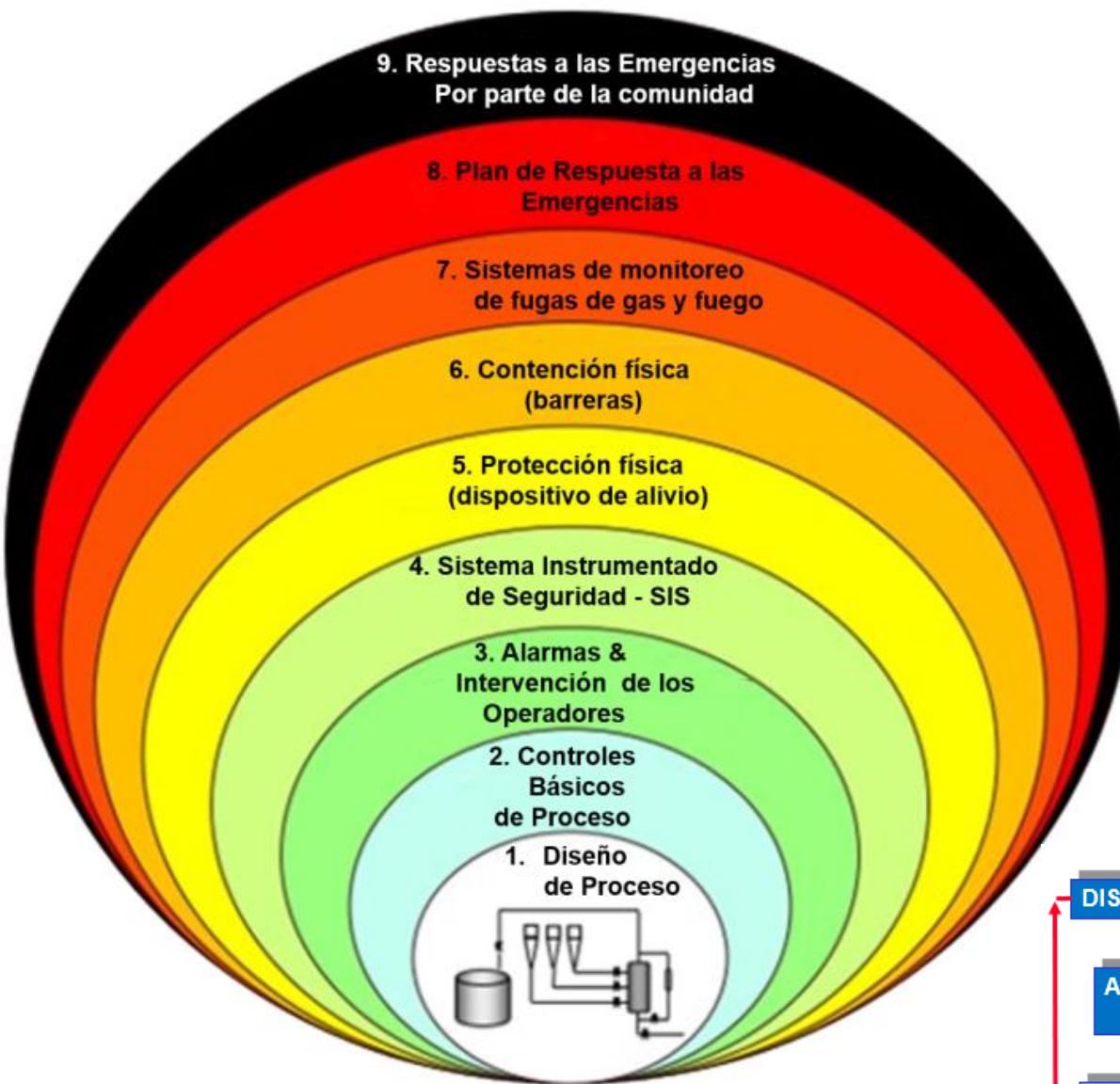
Estas funciones de seguridad pueden ser implementadas por medios Eléctricos, Electrónicos o de Programación Electrónica (E/E/PE) bajo Niveles SIL ("Safety Integrity Level").

## IEC61508: Fabricantes

## IEC61511: Diseñadores, Integradores y Usuarios



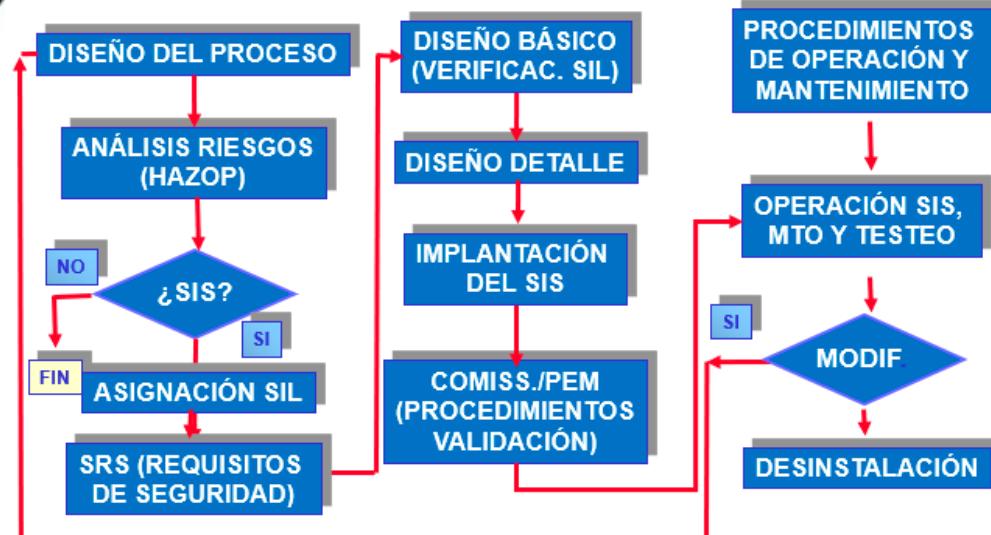
# Estándares de Seguridad en Instrumentación Industrial



Método de Análisis por Capas de Protección (LOPA, Layer of Protection Analysis):

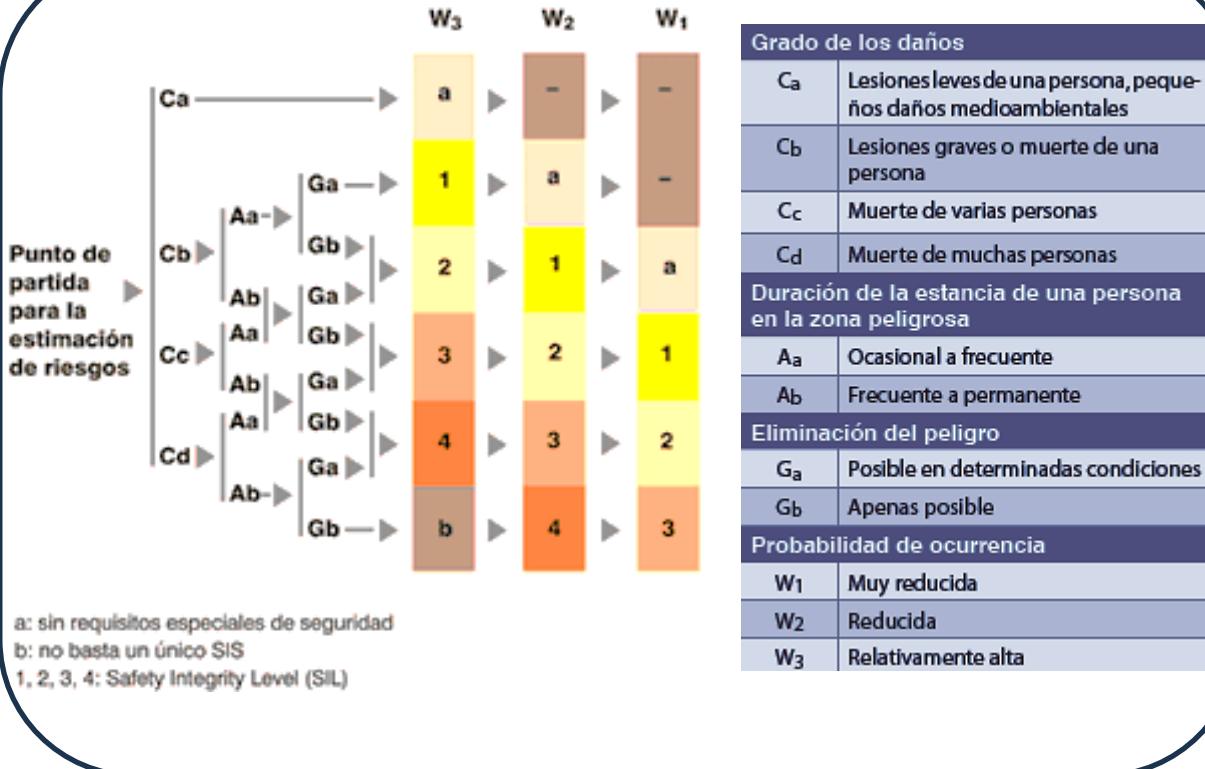
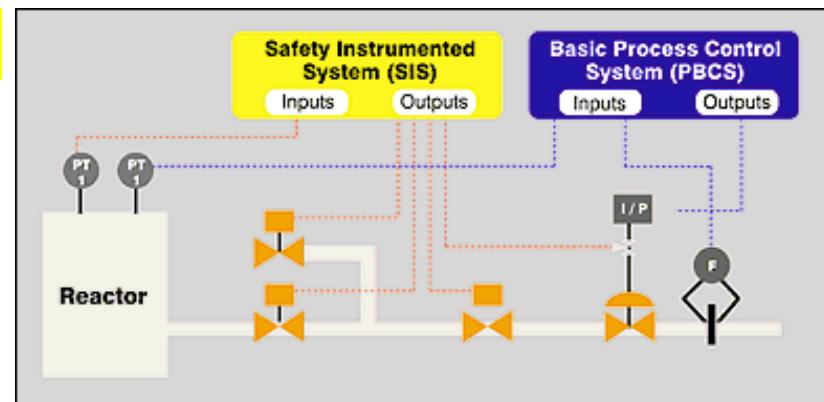
Es reconocido por la IEC 61508 y la IEC 61511 como uno de los métodos recomendados para establecer el nivel de integridad de seguridad objetivo (SIL) para una función instrumentada de seguridad (SIF).

## Ciclo de vida de un SIS



# Estándares de Seguridad en Instrumentación Industrial

Método cualitativo simple para definir el Nivel SIL necesario



SIL	PFD	Fallo máx. aceptado del SIS
SIL 1	$\geq 10^{-2}$ a $< 10^{-1}$	un fallo peligroso en 10 años
SIL 2	$\geq 10^{-3}$ a $< 10^{-2}$	un fallo peligroso en 100 años
SIL 3	$\geq 10^{-4}$ a $< 10^{-3}$	un fallo peligroso en 1.000 años
SIL 4	$\geq 10^{-5}$ a $< 10^{-4}$	un fallo peligroso en 10.000 años



Universidad Nacional de Misiones



Facultad de **Ingeniería**  
O B E R A