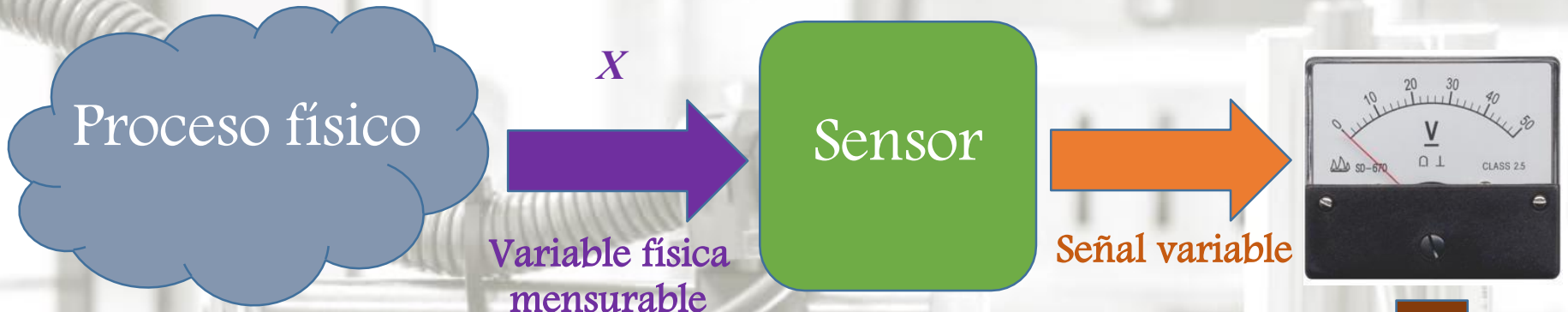
Universidad Nacional de Misiones

Facultad de Ingeniería
OBERA

Sensores y transductores utilizados en Control y Automatismos Industriales

Modelo simple (ideal) de una medición



Resultado de la medición

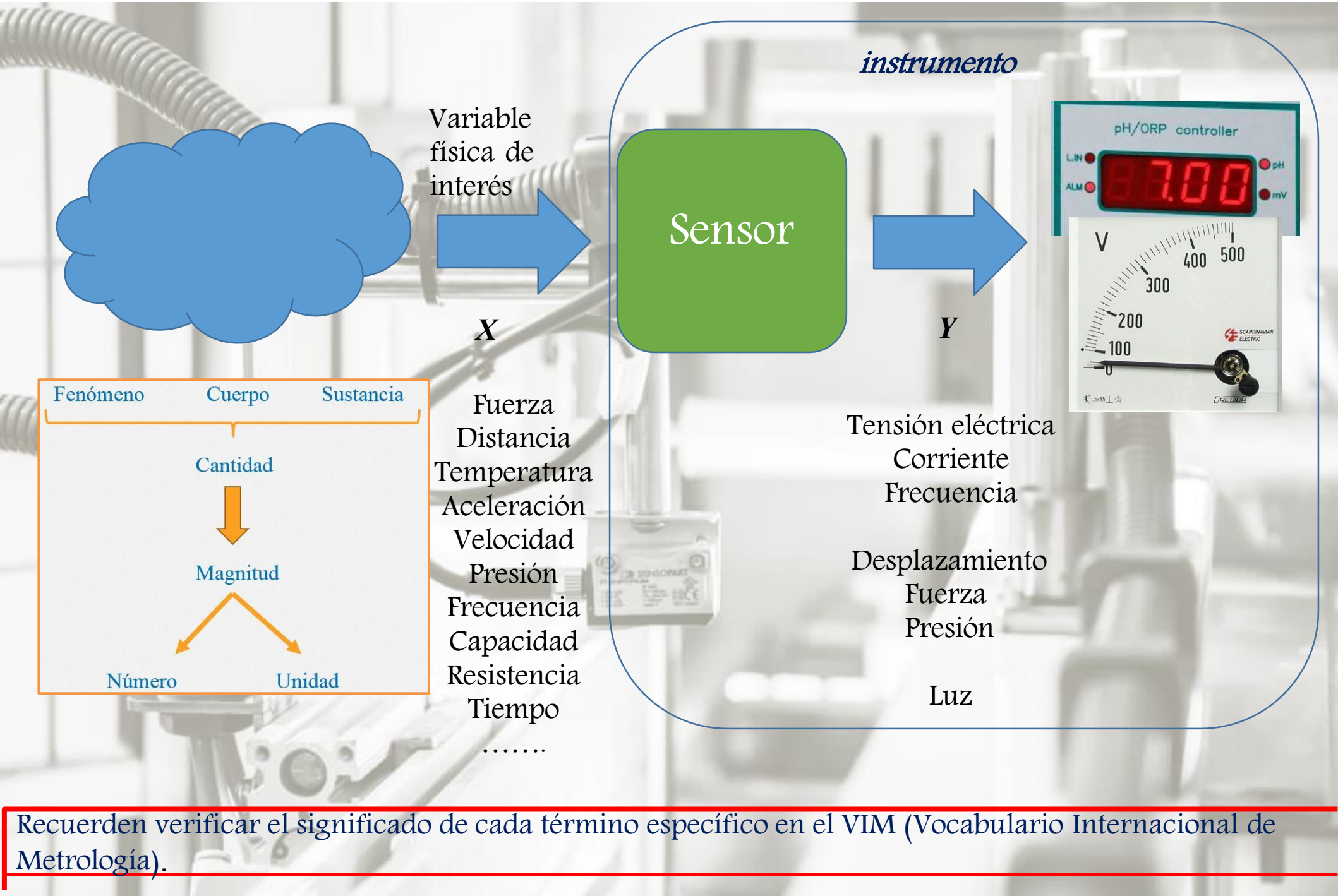
$Y = f(X)$

Medición

El VIM (Vocabulario Internacional de Metrología): un diccionario normativo y conceptual que define los términos fundamentales usados en la ciencia de las mediciones. La BIPM (Oficina Internacional de Pesas y Medidas) coordina el comité conjunto que lo publica, estableciendo un lenguaje metrológico universal y unificado a nivel mundial.

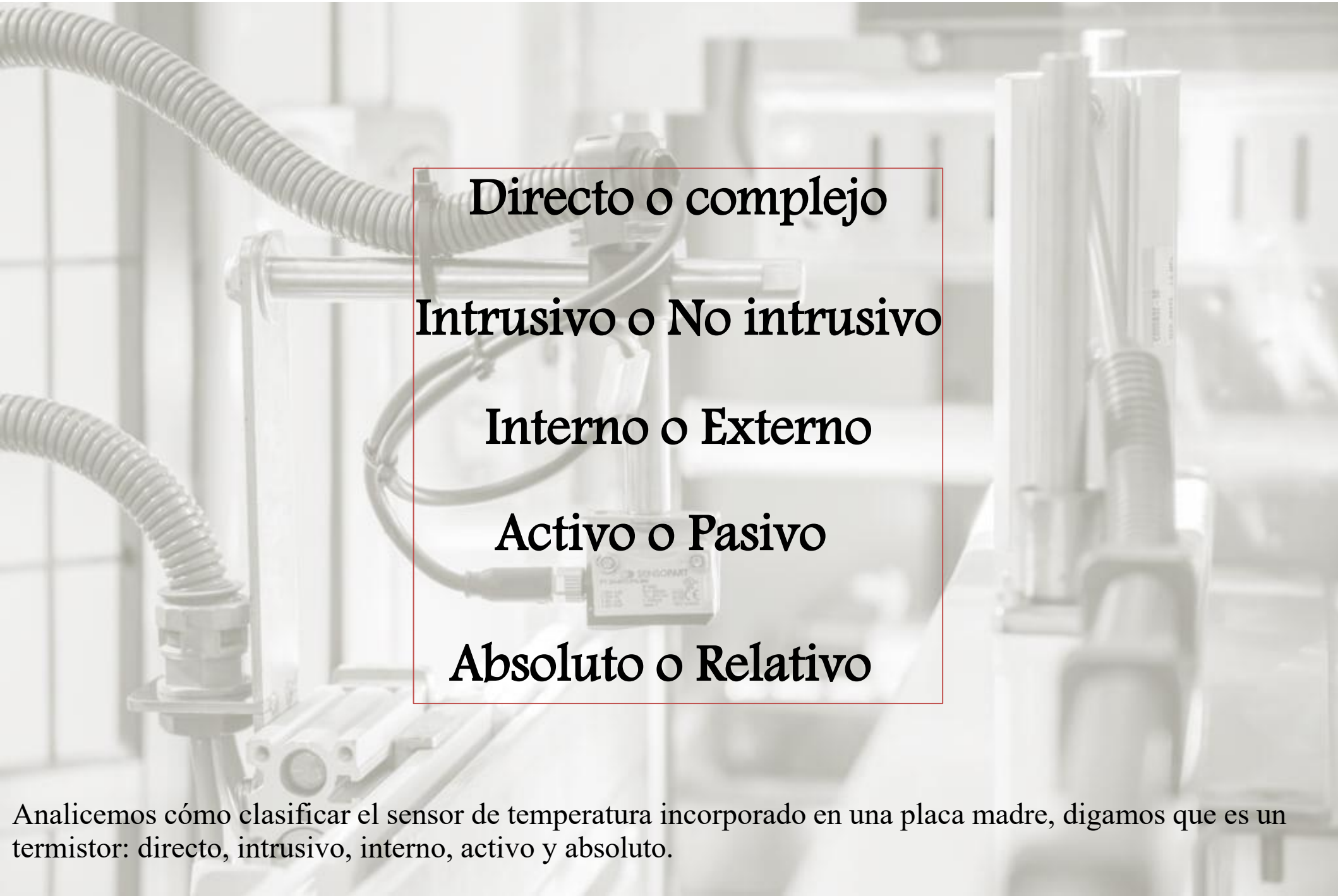
- Definición de conceptos: Establecer qué es una magnitud, una unidad de medida, un error, etc.
- Trazabilidad metrológica: Explicar cómo relacionar el resultado de una medición con una referencia mediante una cadena ininterrumpida de calibraciones.
- Incertidumbre y exactitud: Detallar los criterios para evaluar la calidad y la dispersión atribuible al valor de una medición.
- Instrumentos y patrones: Clasifica de manera estandarizada los aparatos de medición, materiales de referencia y patrones primarios o secundarios.

Medición y conversión de la energía



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

Características principales



Directo o complejo

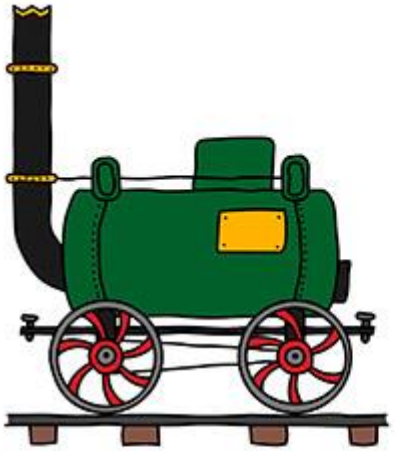
Intrusivo o No intrusivo

Interno o Externo

Activo o Pasivo

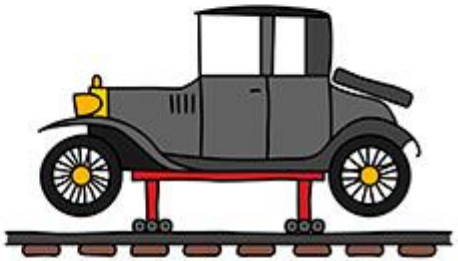
Absoluto o Relativo

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



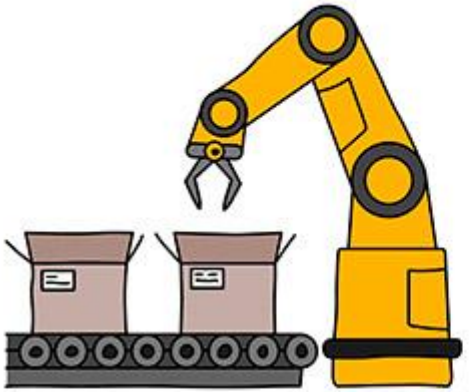
Industry 1.0

The Industrial Revolution begins. Mechanization of manufacturing with the introduction of steam and water power



Industry 2.0

Mass production assembly lines using electrical power



Industry 3.0

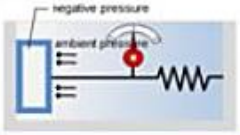
Automated production using electronics, programmable logic controllers (PLC), IT systems and robotics



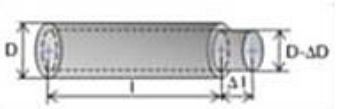
Industry 4.0

The 'Smart Factory'. Autonomous decision making of cyber physical systems using machine learning and Big Data analysis. Interoperability through IoT and cloud technology.

Complexity



Sensor 1.0
Mechanical Trannsducer
e.g., Vidie Can, ~1844



Sensor 2.0
Electrical Sensors
e.g., Strain Gauges



Sensor 3.0
Electronical Sensors
e.g. Electronically compensated pressure sensor, digital interfaces



Sensor 4.0
Smart Sensors
e.g. inline oil-quality sensor with Temperature & aging compensation, communication capabilities



Industry 1.0



Industry 2.0



Industry 3.0



Industry 4.0

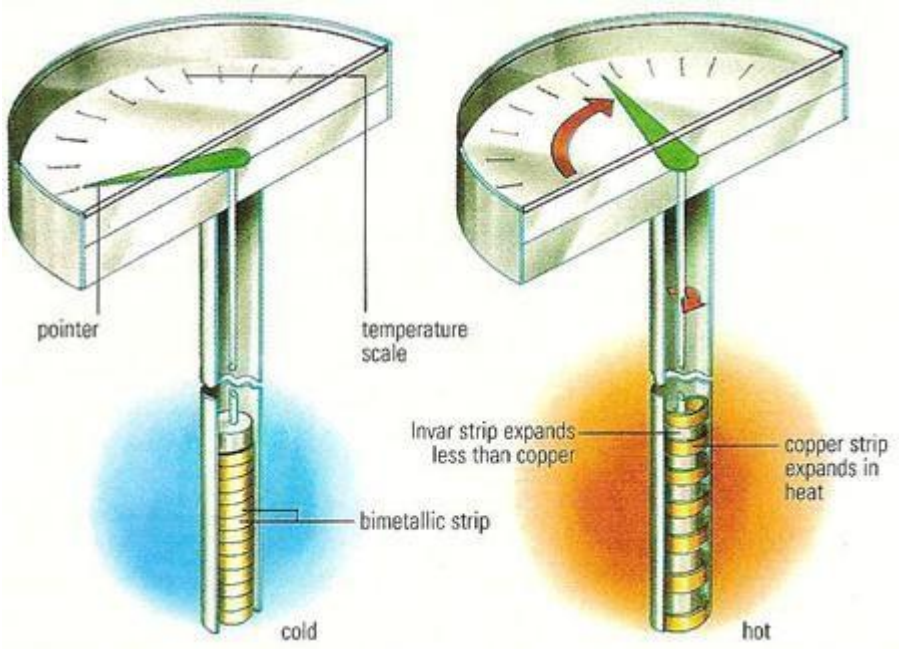


Industry 5.0

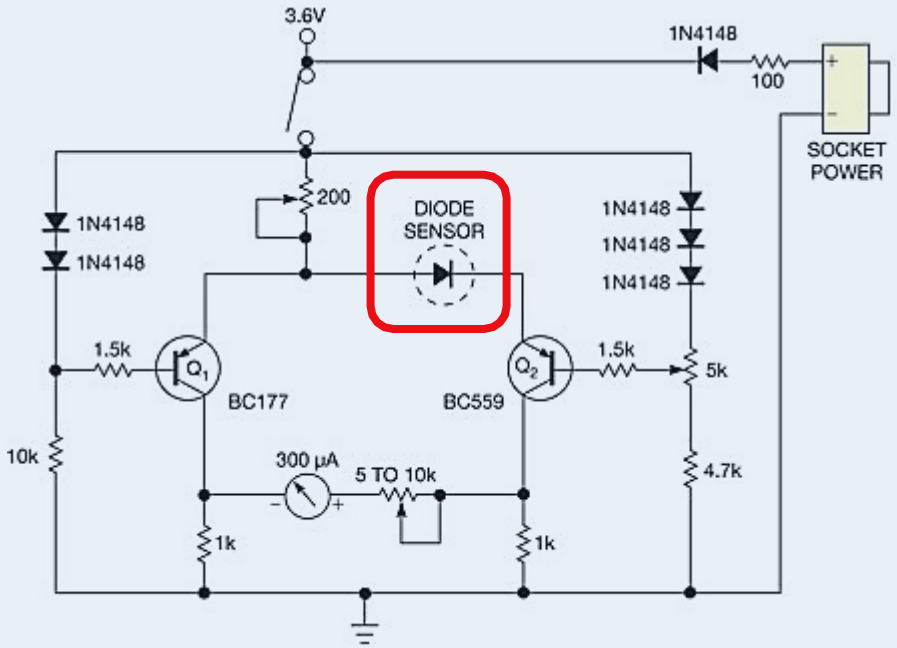
1800 1938 1970 2010 2020

Evolución de los sensores

1ra

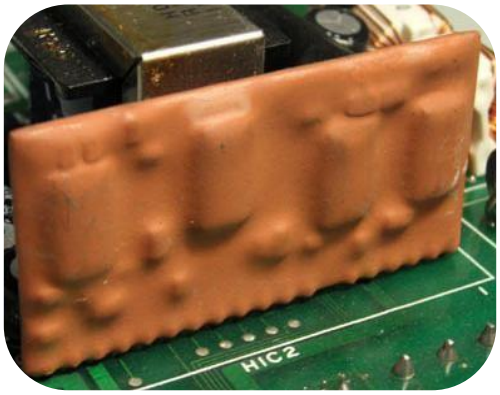


2da

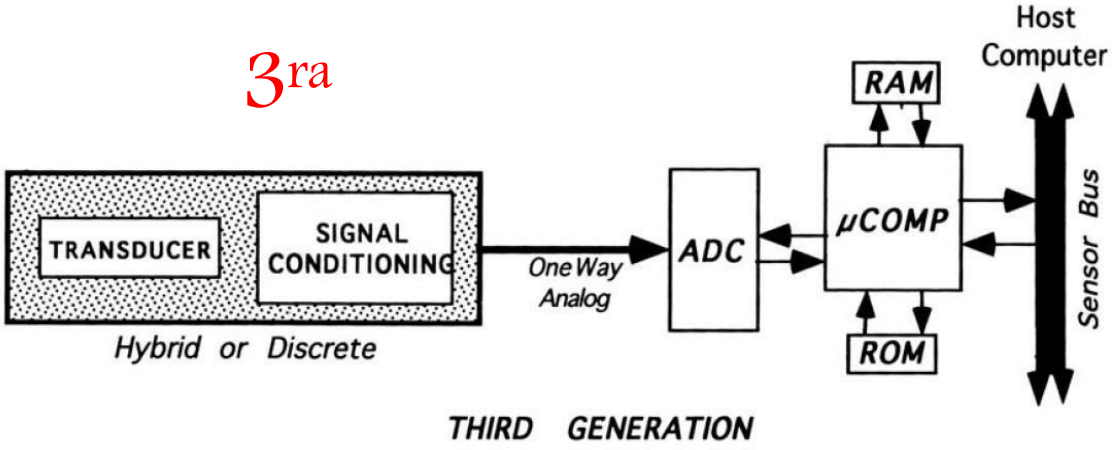


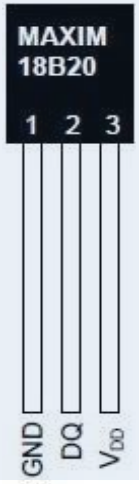
Evolución de los sensores



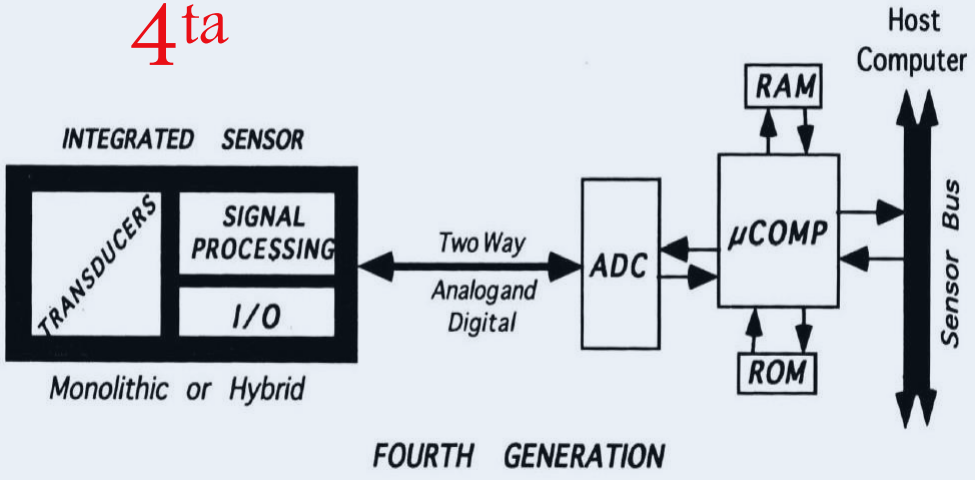


3ra



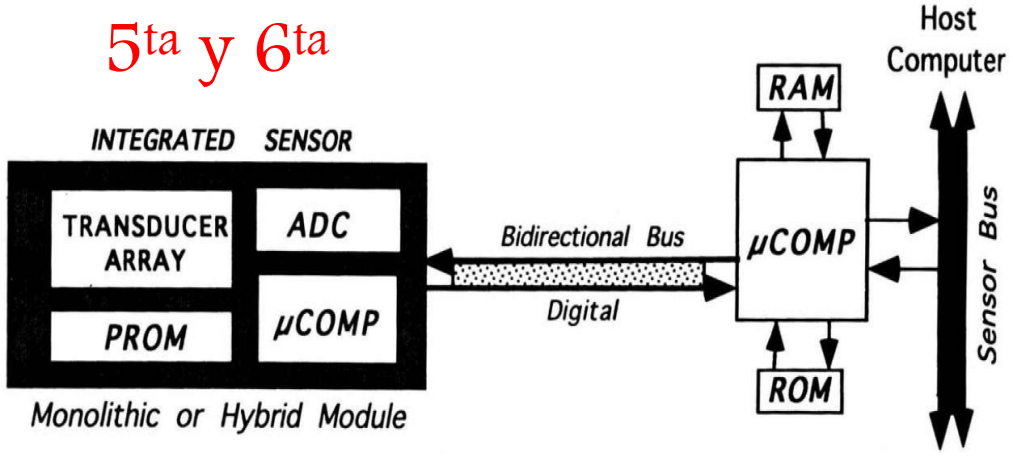


4ta





5ta y 6ta



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

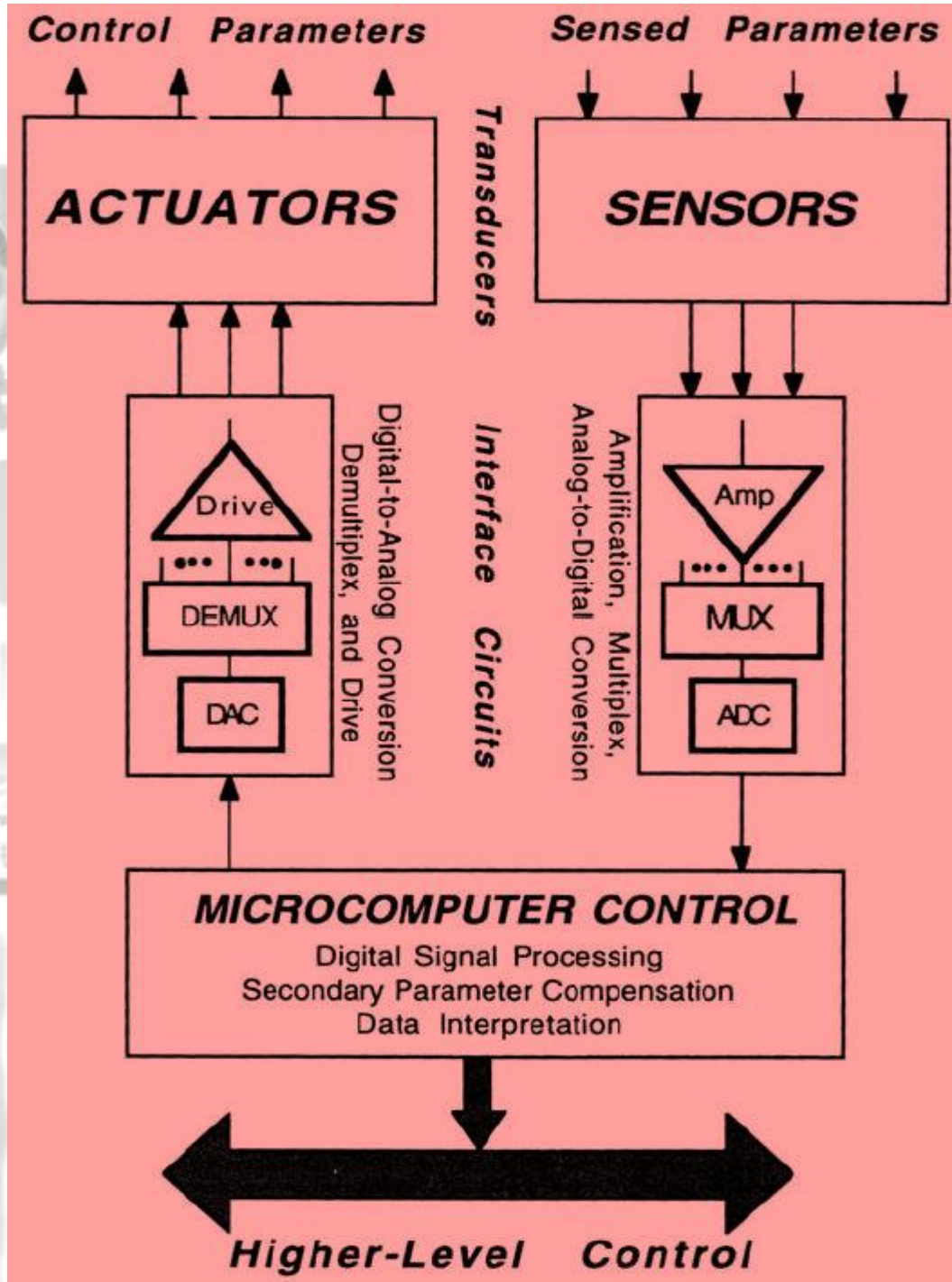


☺ La exactitud general del sistema, su rango dinámico y su confiabilidad mejoró mucho.

☺ El desarrollo de nuevos sistemas de sensores e instrumentación pasó a ser más simple.

Panorama general

- Automotriz
- Cuidado de la salud
- Manufactura automatizada
- Monitoreo Ambiental
- Procesamiento industrial
- Aviónica y aeroespacial
- Defensa y seguridad
- Generación de energía y redes eléctricas
- Tratamiento de agua y saneamiento
- Agricultura de precisión y ganadería inteligente
- Alimentos y Bebidas
- Farmacéutica y biotecnología
- Minería y metalurgia
- Celulosa y papel
- Domótica e infraestructura urbana(Smart Cities)



¿Qué medimos en un sistema industrial?

MOVIMIENTO
- Posición
- Desplazamiento
- Velocidad
- Aceleración
- Vibración
- Proximidad
- Ángulo

ELÉCTRICAS
- Tensión
- Corriente
- Potencia
- Energía
- Frecuencia
- Fase
- Impedancia

ÓPTICAS
- Intensidad Lum.
- Color
- Turbidez
- Refracción
- Distancia
- Imagen

ACÚSTICAS
- Distancia
- Nivel
- Presencia
- Flujo
- Vibración
- Fugas
- Ultrasonidos

QUÍMICAS & AMBIENTALES
- pH
- Conductividad
- Concentración
- Composición
- Gases
- ORP / OD
- Fases
- Radiación

PROCESO
- Presión E o D
- Temperatura
- Caudal V o M
- Nivel
- Viscosidad
- Densidad
- Conductividad térmica



MECÁNICAS
- Fuerza
- Torque
- Masa
- Deformación
- Esfuerzo
- Rugosidad

El objetivo de la instrumentación es transformar variables físicas del proceso en información útil para controlar, monitorear y diagnosticar.

¿Cómo seleccionamos el Instrumento de Medición?

1.Variable a medir	• Magnitud física - Naturaleza de la variable. • Método de medición requerido
2. Desempeño requerido	• Valor mínimo y máximo - Rango de operación – Sobrecarga – Robustez (SIS) • Exactitud – Resolución – Sensibilidad - Repetibilidad -Tiempo de respuesta
3. Condiciones del proceso	• Temperatura – Presión – Humedad - Vibraciones y golpes • Polvo, líquidos y agentes químicos (Protección IP – E*xplosion-proof / flameproof)*
4. Integración con el sistema	• Tipo de salida – Alimentación - Interfaz de comunicación • Compatibilidad con e sistema de control/adquisición
5. Instalación y operación	• Espacio disponible - Tipo de montaje recomendado • Accesibilidad – Requisitos de mantenimiento/calibración - Vida útil
6. Aspectos económicos y normativos	• Costo de compra y operación - Disponibilidad • Repuestos, reemplazo de soluciones patrón/reactivos • Normas y certificaciones requeridas

Características metrológicas

Sensibilidad
Relación entre el cambio de salida y el cambio de la magnitud medida.
Exactitud
Indica qué tan cerca está el resultado medido del valor verdadero o de referencia.
Precisión
Indica qué tan cercanos entre sí son los resultados cuando se repite una medición bajo las mismas condiciones.
Resolución
Mínima variación de la entrada que puede ser detectada.
Repetibilidad
Capacidad de entregar resultados similares ante la misma condición de medición.
Histéresis
Diferencia de la salida para un mismo valor de entrada según el sentido de variación.
Linealidad
Grado de aproximación de la relación entre entrada y salida a una función lineal.

Características dinámicas

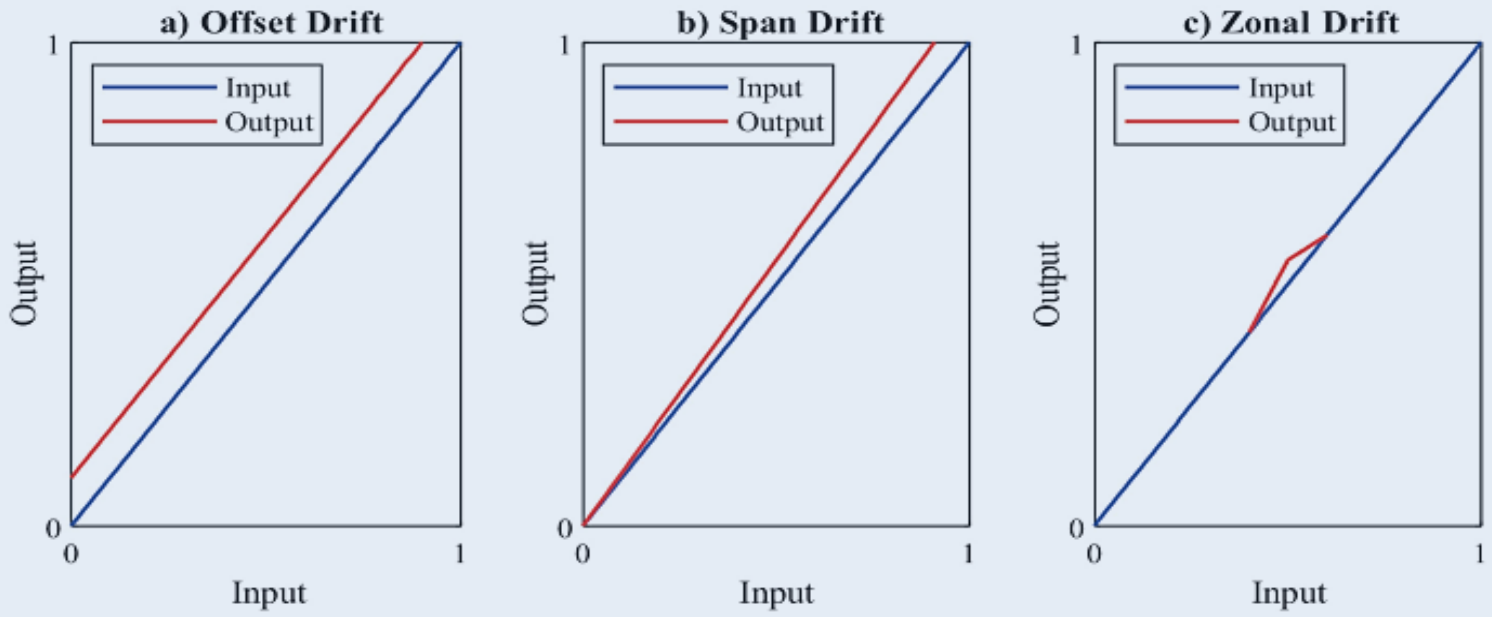
Tiempo de respuesta
Tiempo necesario para que la salida responda a una variación de la entrada.
Ancho de banda
Rango de frecuencias en el que el sensor mantiene un comportamiento adecuado.

Características operativas

Rango (span)
Intervalo comprendido entre los valores mínimo y máximo de medición.
Sobrecarga
Máximo valor de entrada que el sensor puede soportar sin sufrir daños.
Robustez
Capacidad para operar correctamente frente a condiciones ambientales y mecánicas adversas.
Selectividad
Capacidad para responder principalmente a la variable de interés, minimizando la influencia de otras magnitudes.

Características de salida y estabilidad

Offset
Valor de salida presente cuando la entrada es cero o se encuentra en el punto de referencia.
Zero drift / deriva de cero
Variación del offset con el tiempo o con cambios de las condiciones ambientales.
Ruido
Señales no deseadas que afectan la medición.
Formato de salida
Tipo de señal entregada por el sensor: analógica, digital, 4–20 mA, 0–10 V, PNP, NPN, comunicación digital, etc.
Alimentación
Tensión y corriente requeridas para el funcionamiento del sensor.



Sensores resistivos

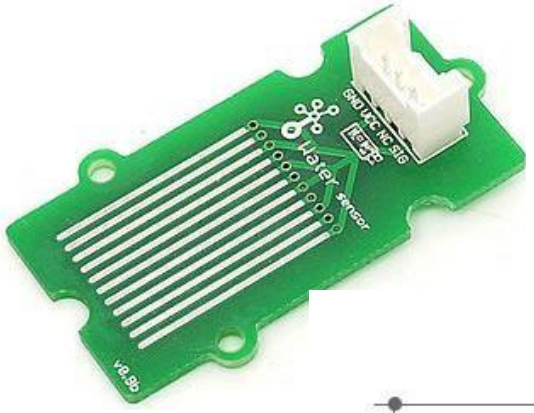


Temperatura
Humedad
Iluminación
Posición
Distancia
Esfuerzo
Nivel
Presión





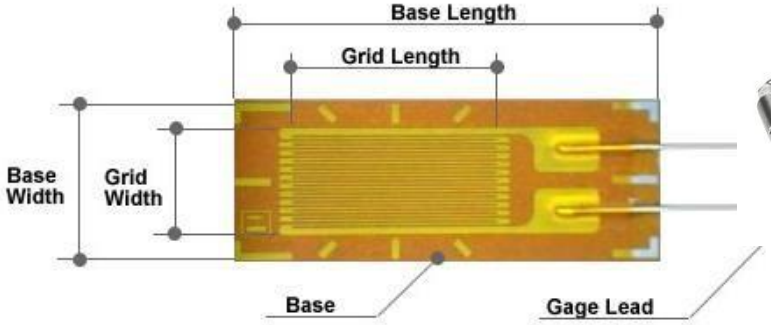










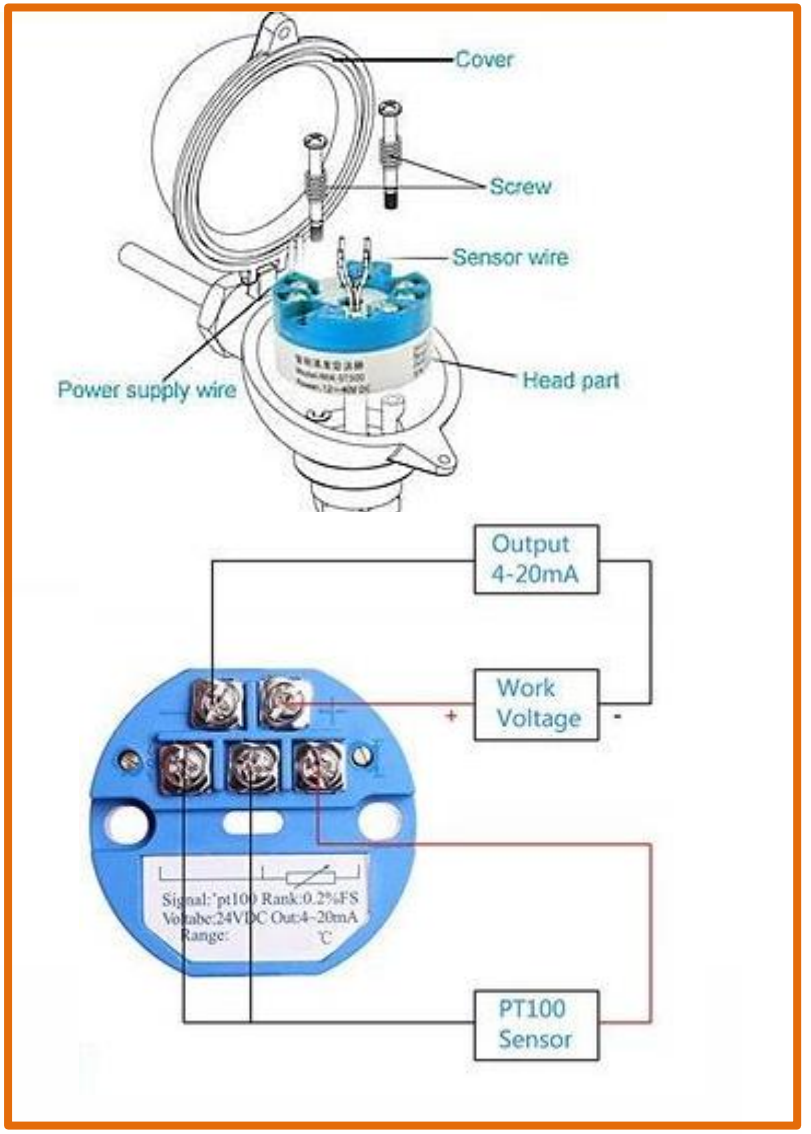


Montaje RTD







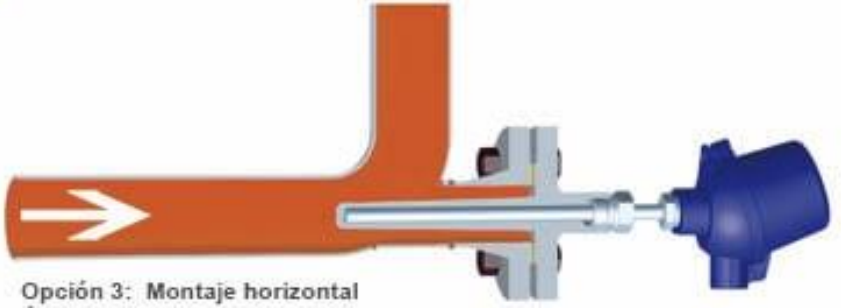




Opción 1: Montaje rectangular
Desfavorable



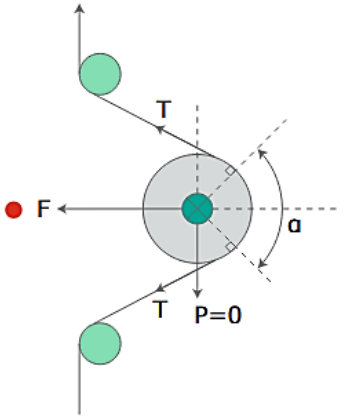
Opción 2: Montaje inclinada
Recomendable



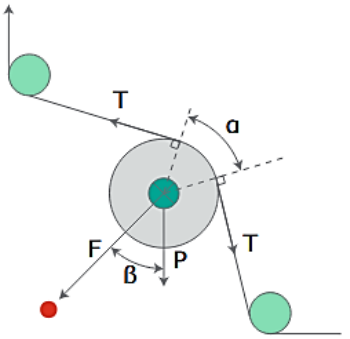
Opción 3: Montaje horizontal
Óptimo

Montaje Celda de Carga

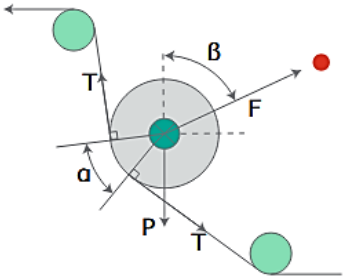




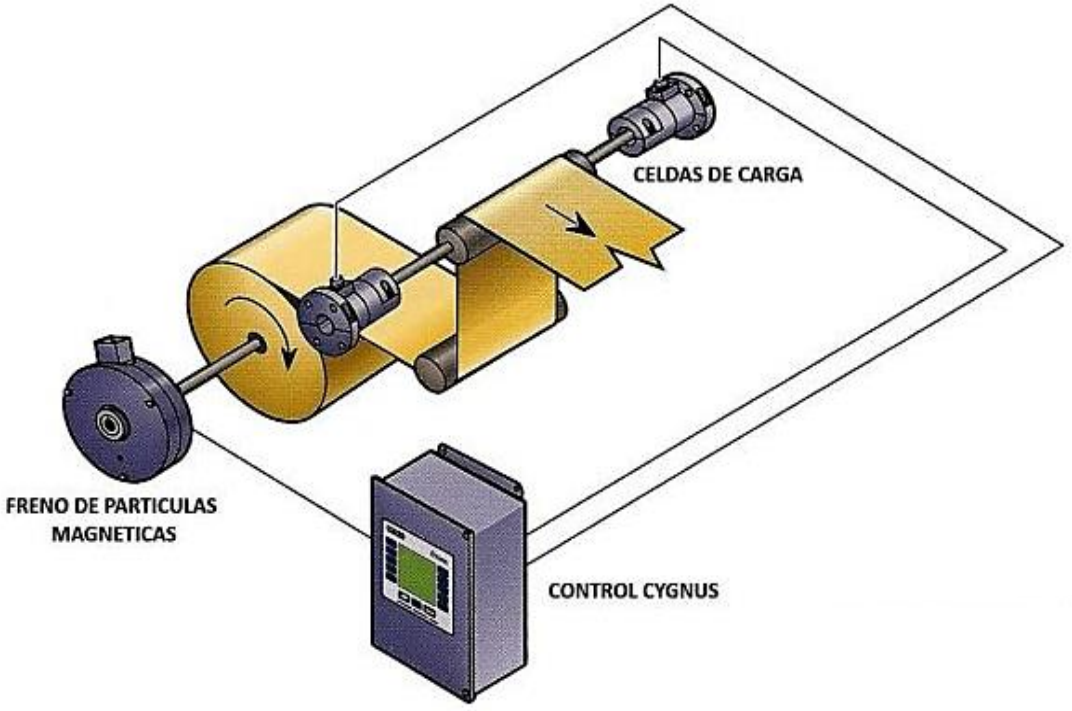
F = T sin α/2

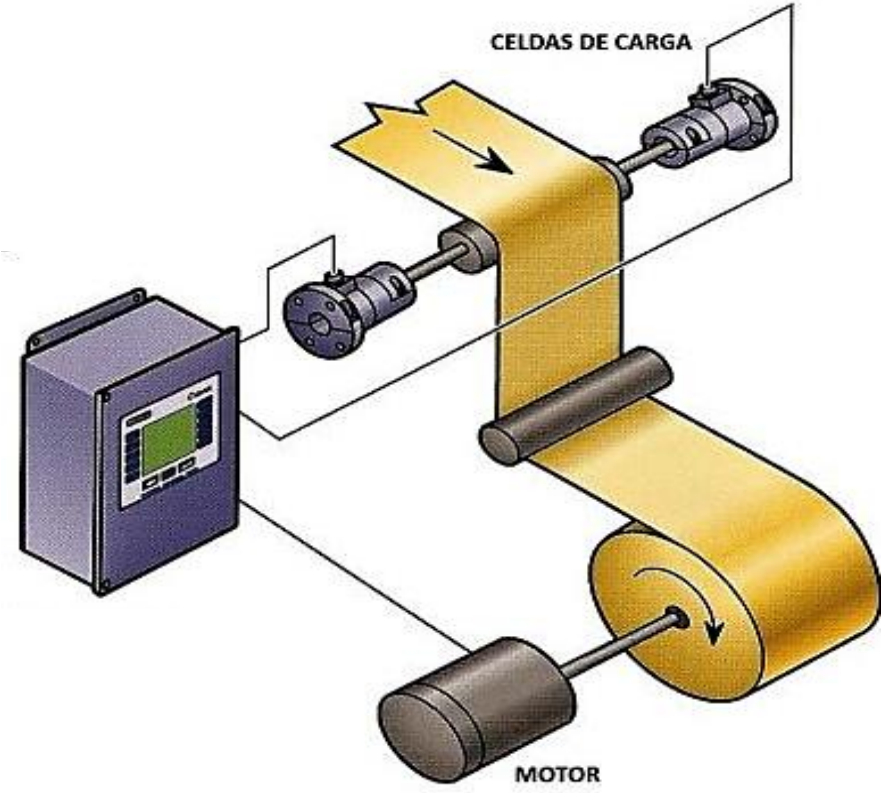


F = T sin α/2 + P/2 cosβ



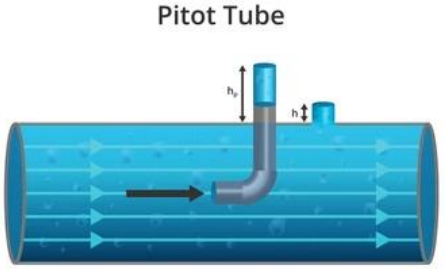
F = T sin α/2 - P/2 cosβ

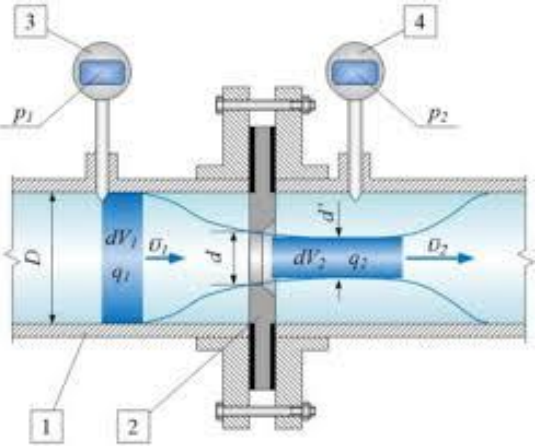


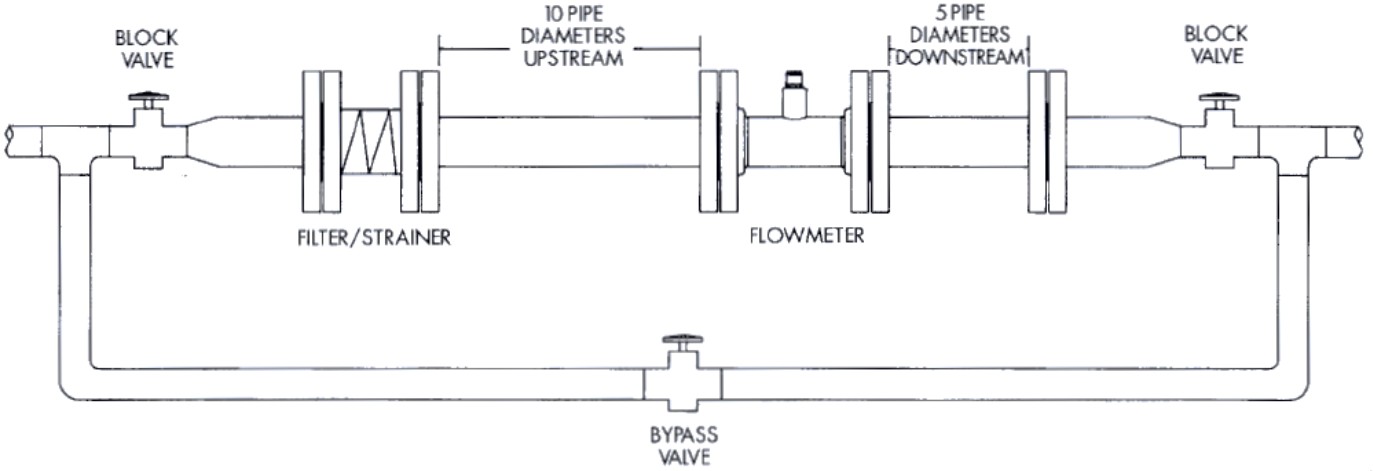


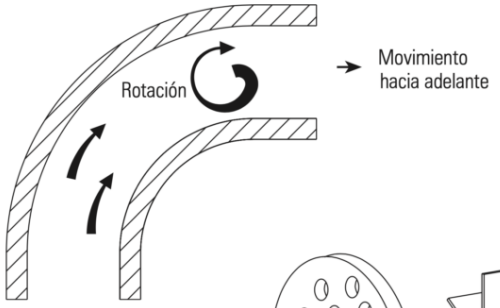
Montaje transmisor de presión

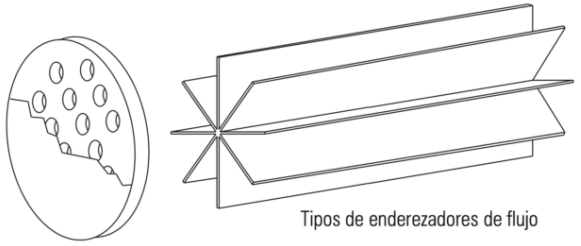


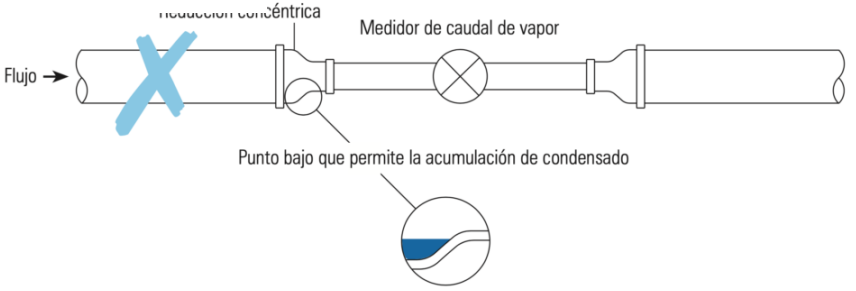


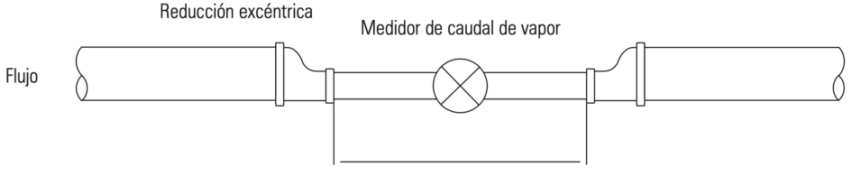












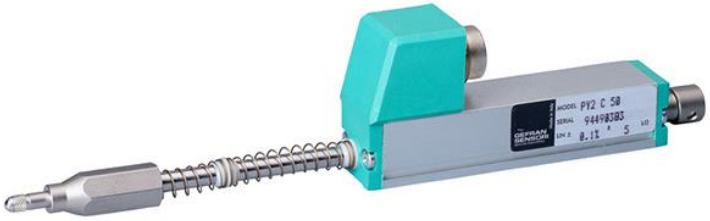
Sensores inductivos

Posición
Distancia
Esfuerzo
Velocidad







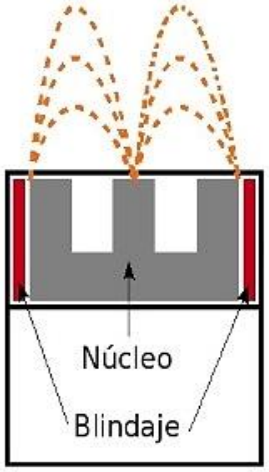


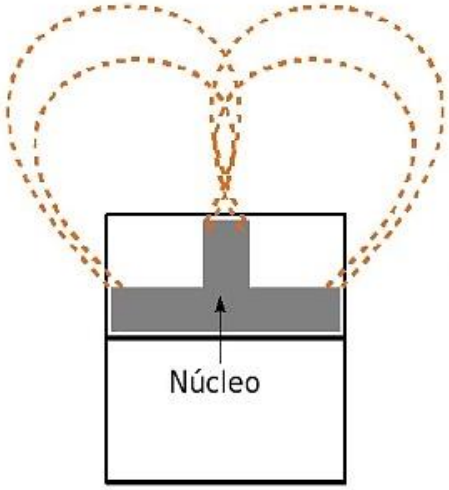
SENSOR RASANTE

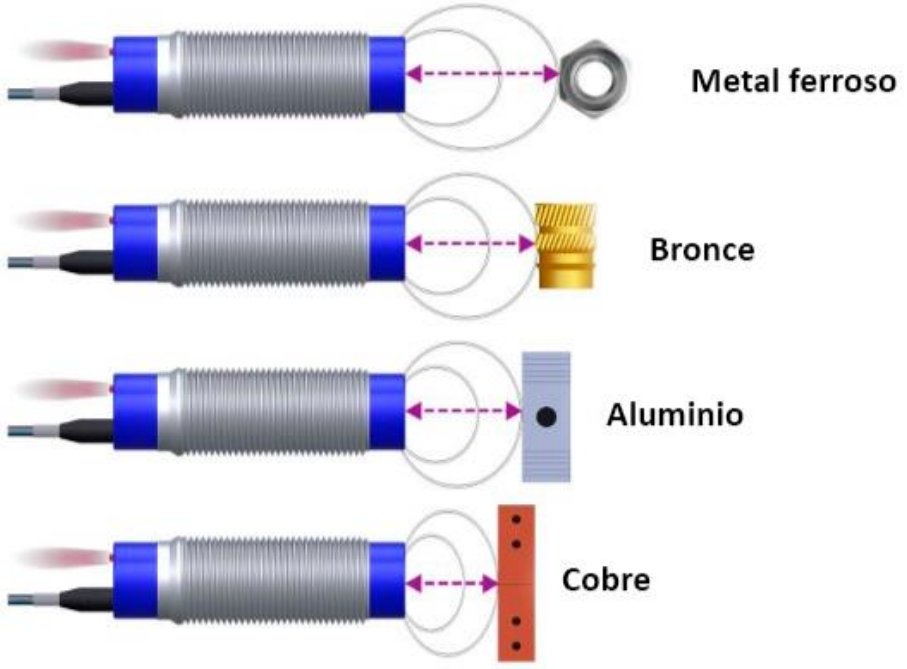


SENSOR NO RASANTE



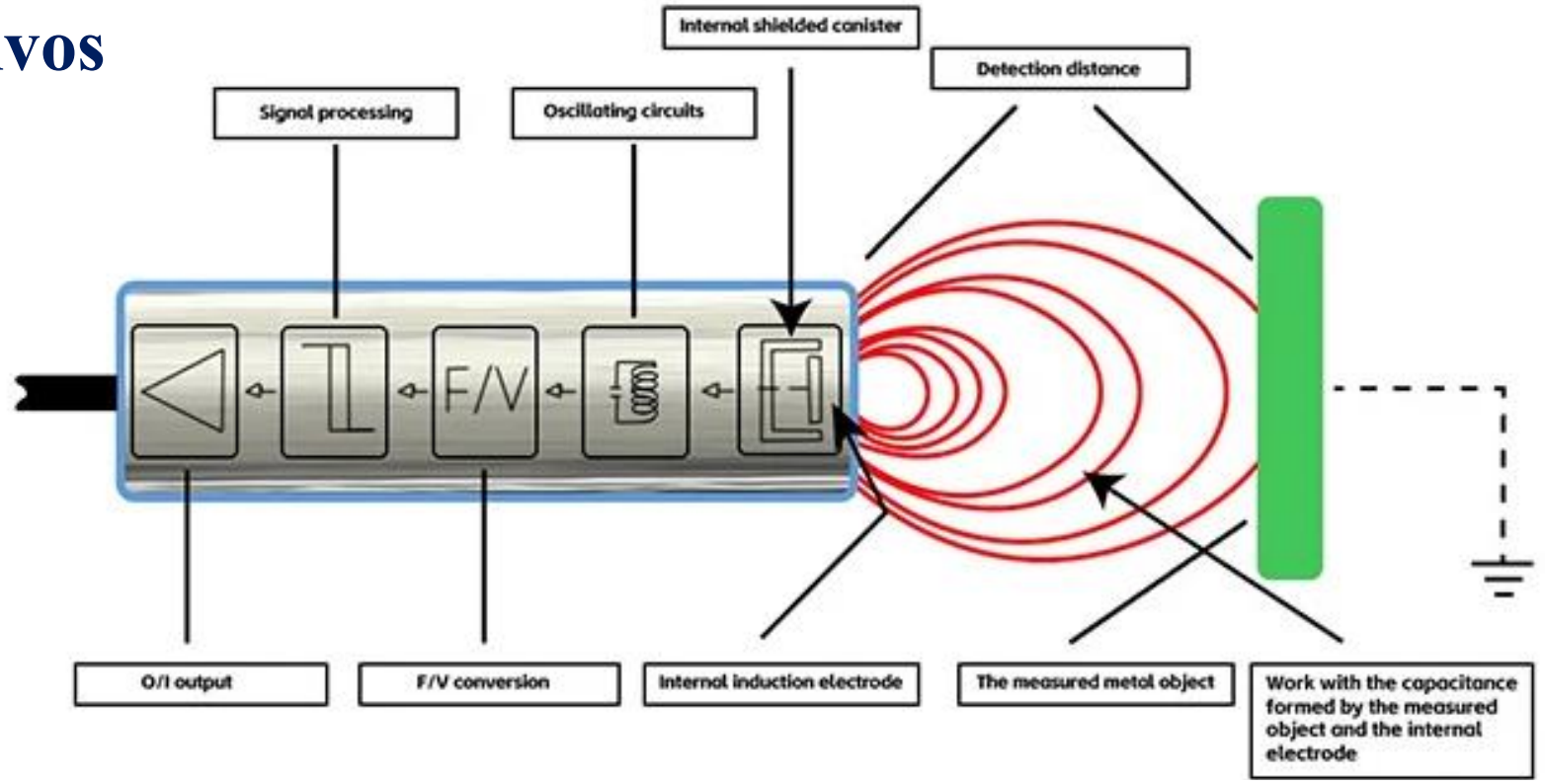






Sensores capacitivos

- Humedad
- Posición
- Distancia
- Movimiento
- Proximidad
- Nivel
- Presión
- Fuerza
- Composición de material









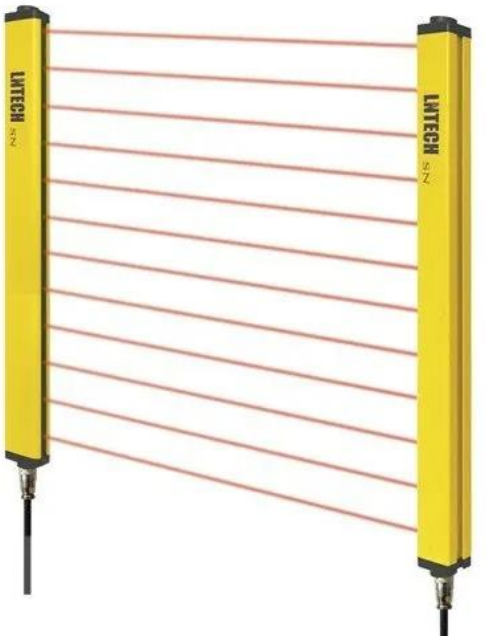


Sensores ópticos



Temperatura
Posición
Distancia
Presencia
Movimiento
Velocidad







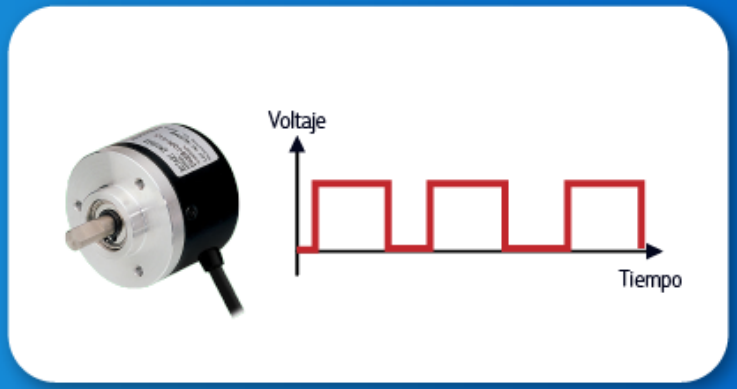








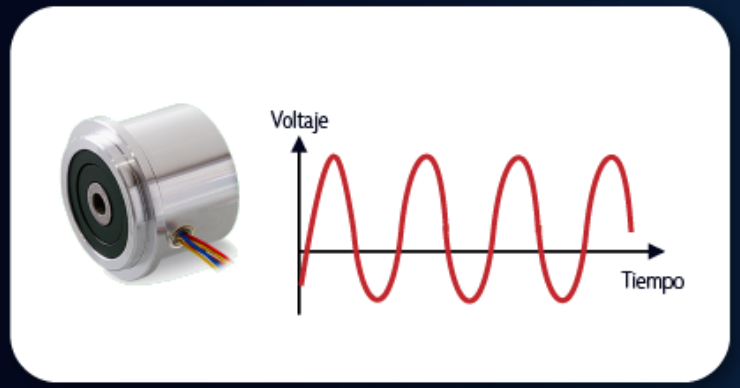
Encoder



- 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.

VS

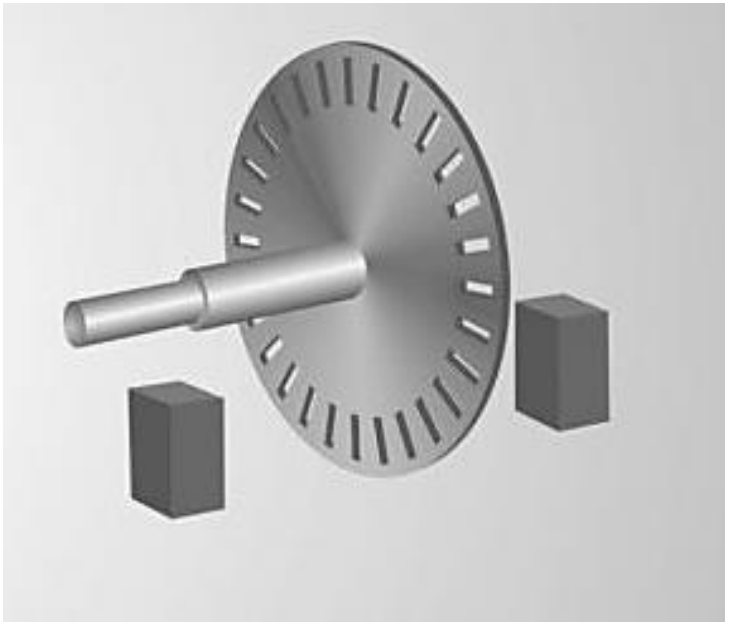
Resolver

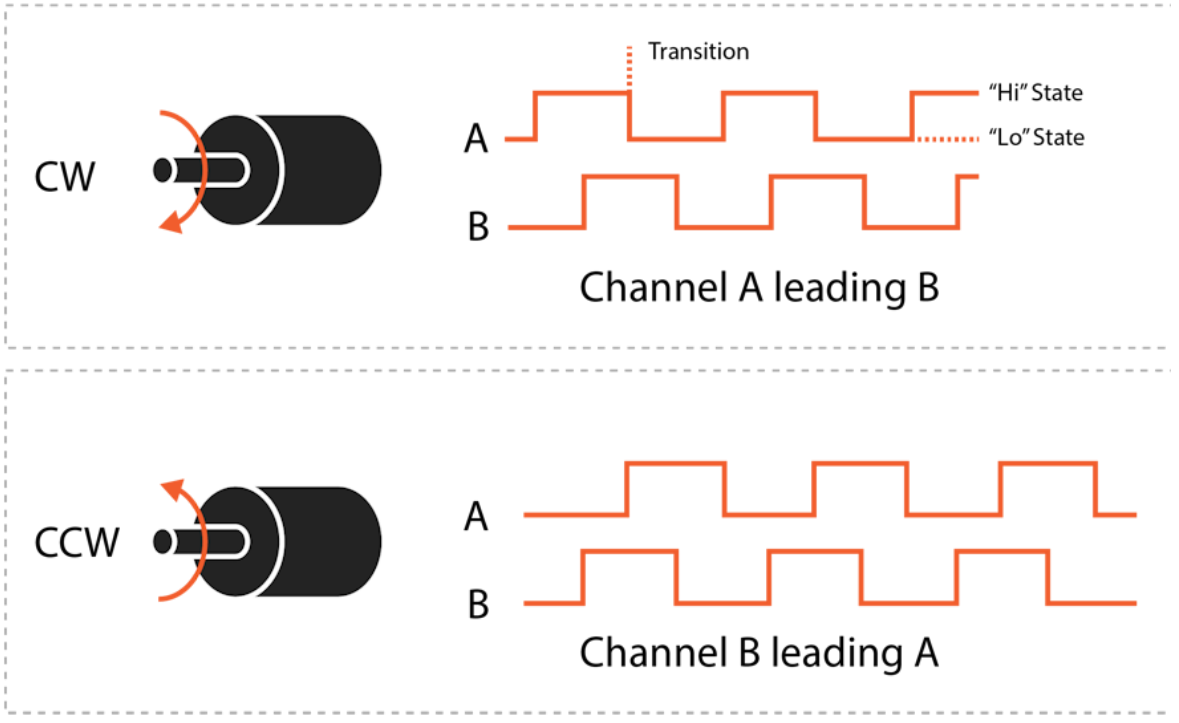


- Sistema analógico.
- Producen un conjunto de ondas senoides que indican la posición.
- Cuenta con devanados, similares a los de un motor.
- La integración en sistemas de control puede llegar a ser más costosa.
- Es más robusto, ideal para ambientes con altas temperaturas y vibraciones.

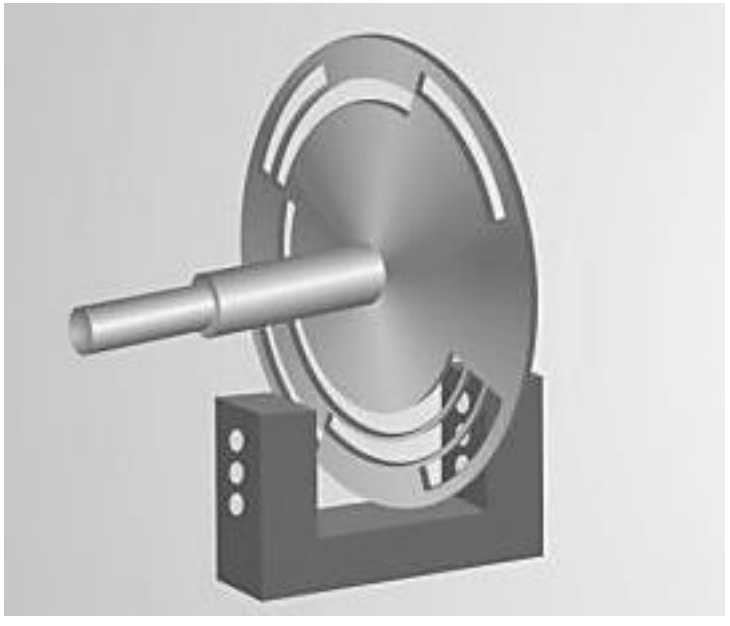
Encoders / Codificadores

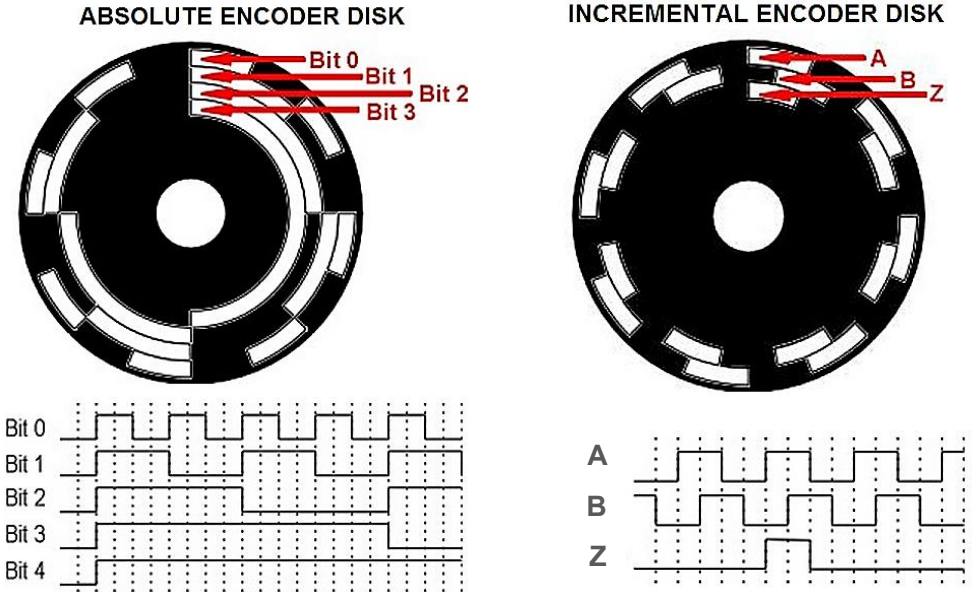
Relativo / Incremental





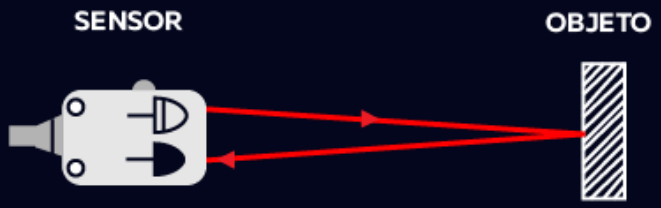
Absoluto





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

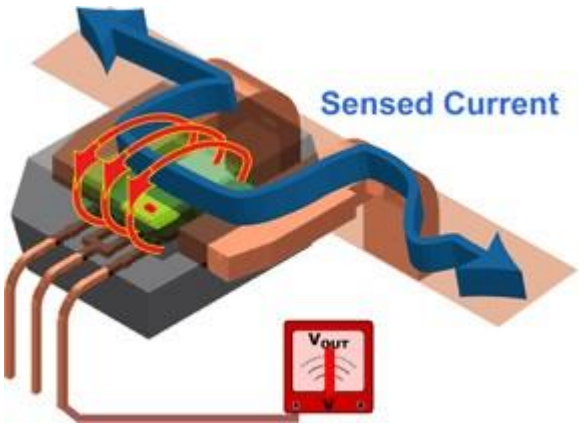


RETROREFLECTIVO

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

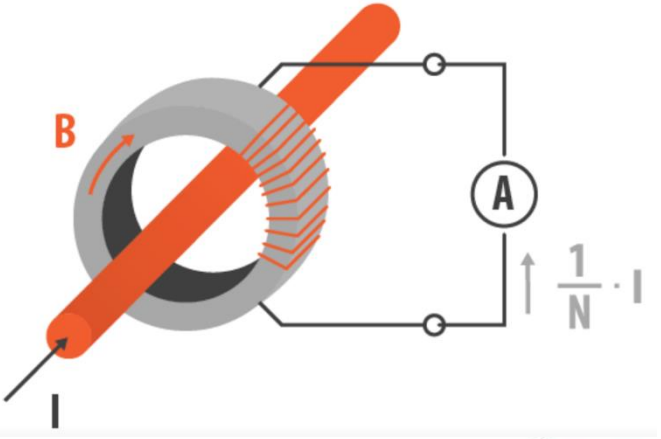
Parámetros magnéticos
Posición
Corriente
Distancia
Caudal



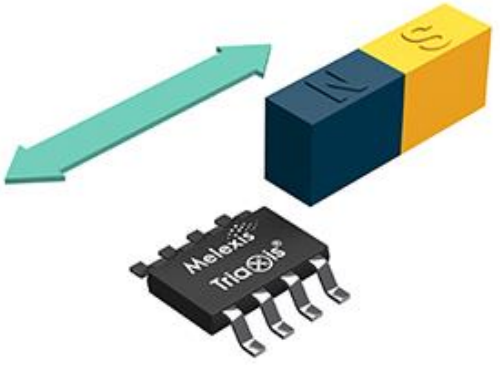




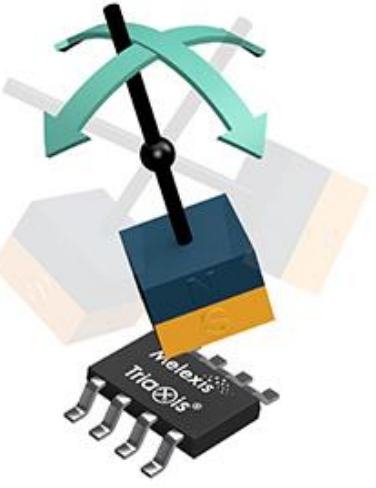












Sensores de ultrasonido, piezoeléctricos y de microondas











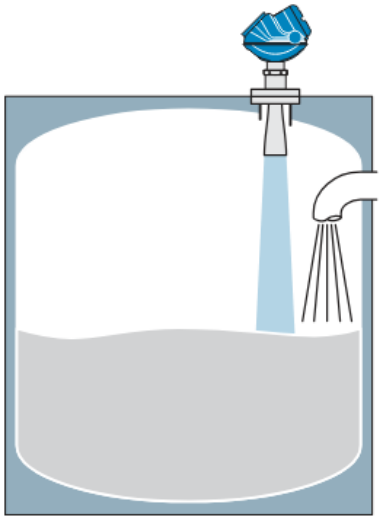




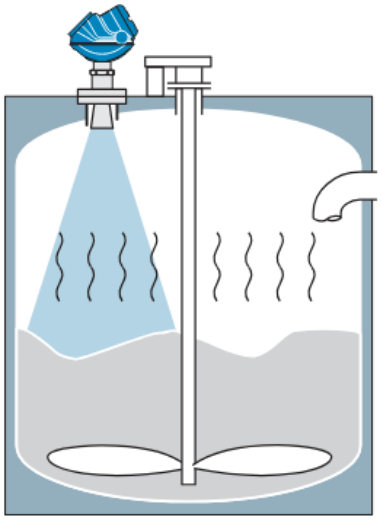


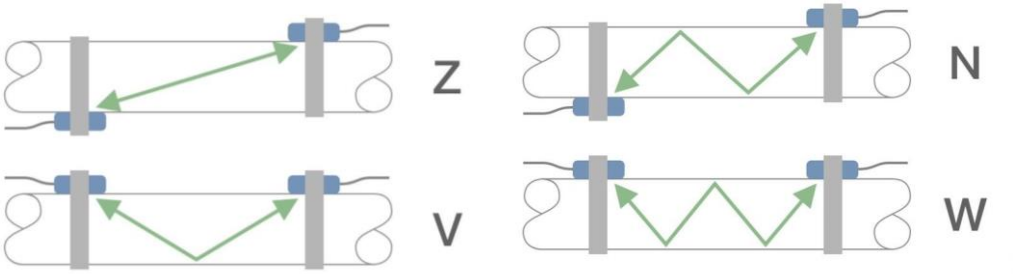
Montaje transmisores de radar y ultrasonido

5402 (26 GHz)

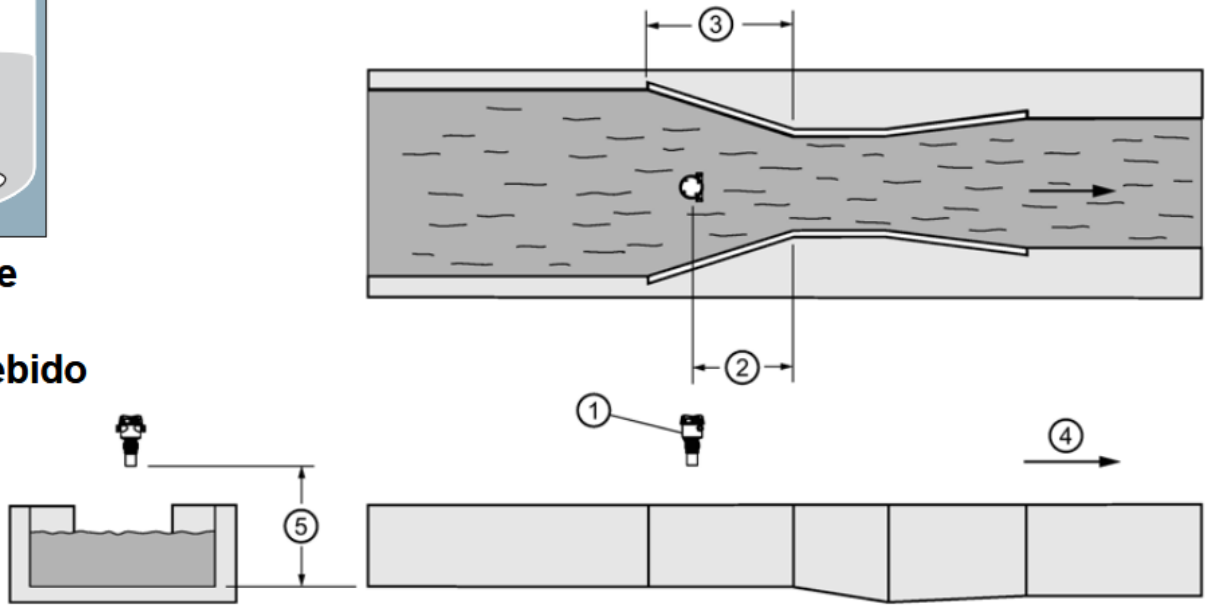


5401 (6 GHz)





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[1)]
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 (m3/h)*	*Hmáx (mm)*	*Qmáx (m3/h)*	*K (m3/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





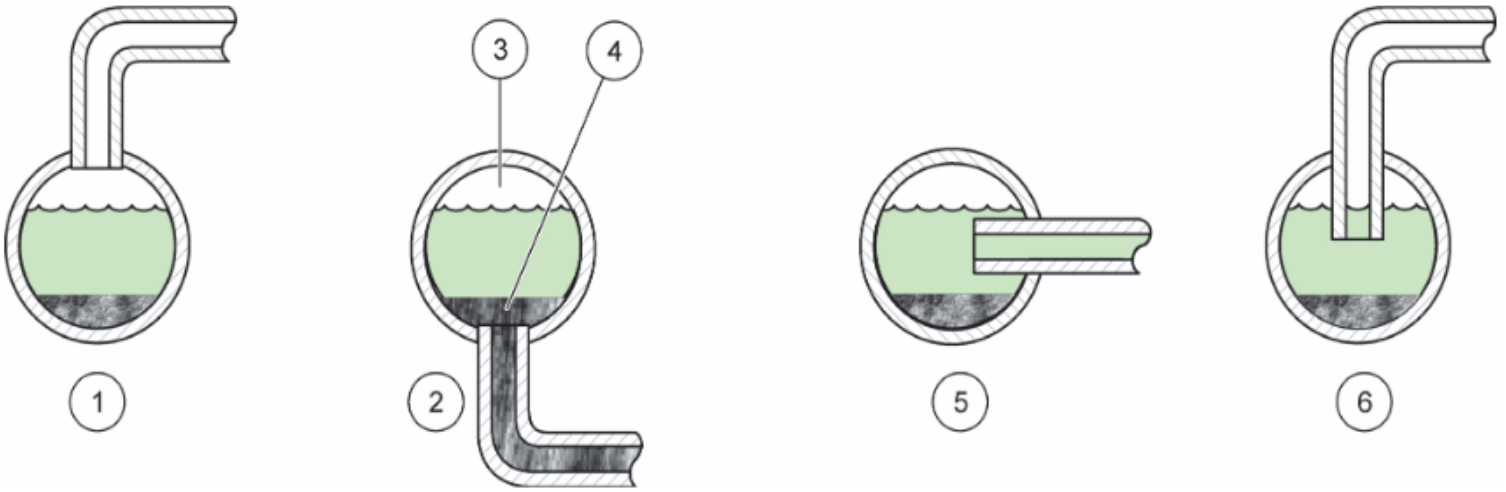








Montaje de sondas en línea



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[1)]	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_3 al 5%, ver Limpiar el fotómetro, p. 63.

1) 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

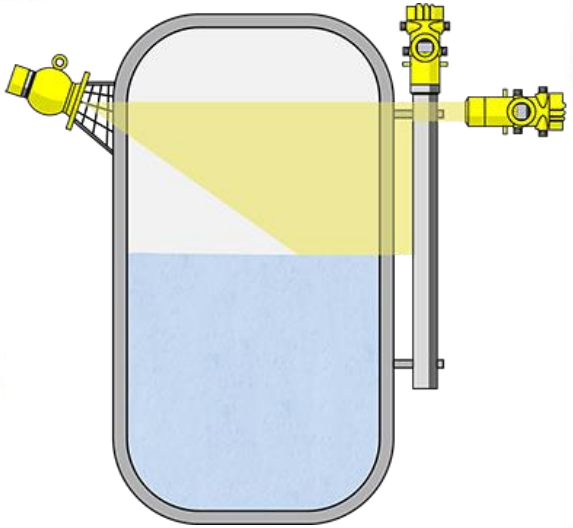
Swansensor pH/Swansensor Redox (ORP)

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

Sensores radiactivos









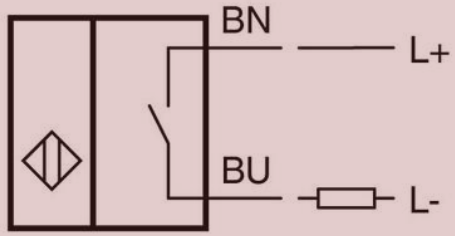




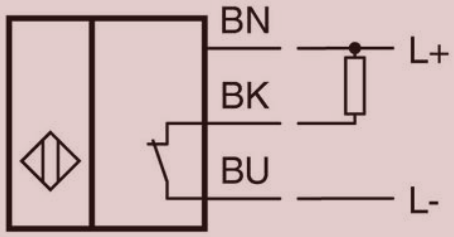


Tipos de Salidas

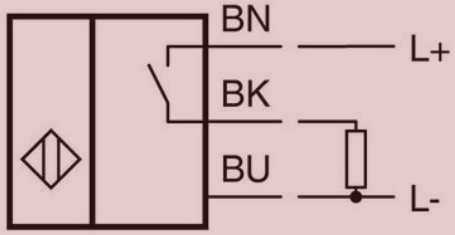
2 hilos



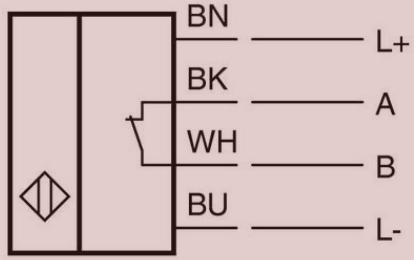
3 hilos NPN



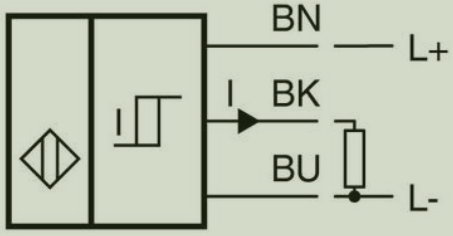
3 hilos PNP



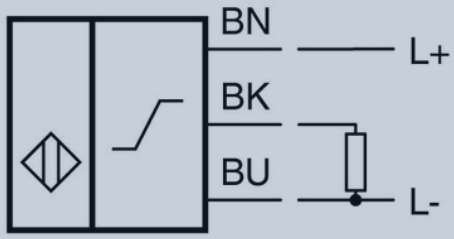
4 / 5 hilos



Corriente digital



4-20mA o 0-10V



Combinados

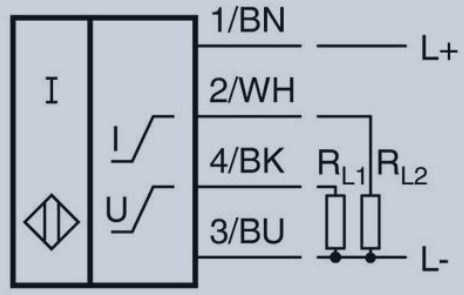
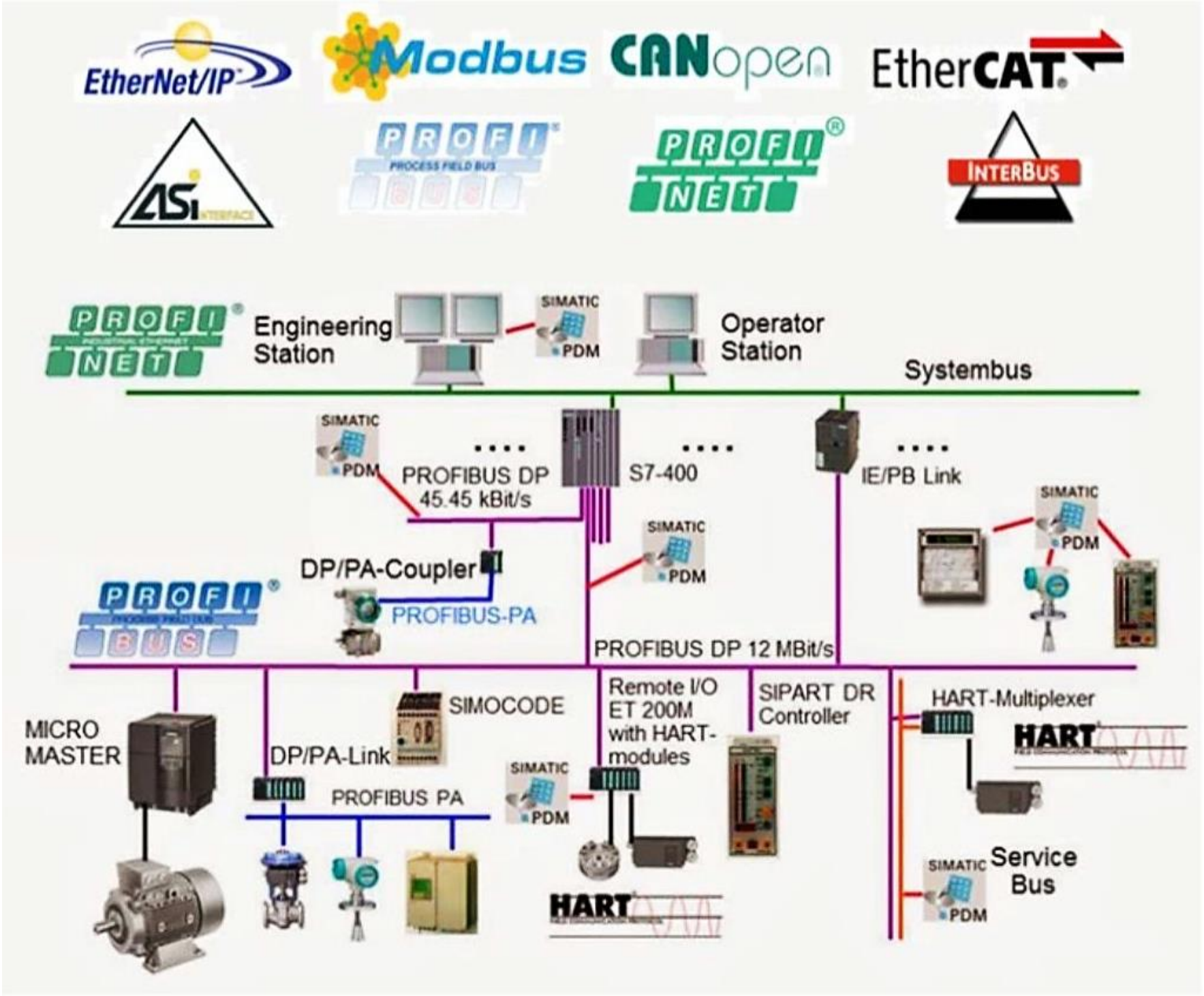


Tabla de Compatibilidad Química

7 PRODUCTO QUÍMICO	Plásticos														Elastómeros									Metales										No Metales		
Sin efecto Efecto menor Efecto moderado Efecto severo Sin datos *1* Satisfactorio hasta 22 ° C *2* Satisfactorio hasta 48 ° C	ABS, plástico	Acetal (Delrín*)	CPVC	Epoxy	Hytrel	LDPE	Noryl*	Nylon	Policarbonato	Polipropileno	PPS (Ryton*)	PTFE (Teflón*)	PVC	PVDF (Kynar*)	Buna N (Nitrilo)	EPDM	Hypalón*	Kel F*	Goma natural	Neopreno	Silicona	Tygón*	Vitón*	Ac. inox. 304	Ac. inox. 316	Aluminio	Latón	Bronce	Carpenter 20	Fundición hierro	Cobre	Hastelloy C*	Titanio	Carbón, grafito	Cerámica Al2O3	Cerámica, magnet.
Freón 113									1																										
Freón TF																																			
Ftálico, Acido						2		1				2		2		1	2				1		1	2		2		2				2		1		
Ftálico, anhídrido									1																										
Fuel, Aceites				1				1	1				2													1					1				
Furán, Resina				1														1						1											
Furfural				1										2												1									
Gálico, ácido														1																	1				
Gasolina (aromática)			1																																
Gasolina, sín plomo				2				2	2	1			2		1			2					1	1	2	2		2					2		
Gelatina			2			2	2	1																2	2										
Glicerina						1		1	2															2												
Glicólico, ácido						2																													
Glucosa			2			2	2		1				2											1											
Grasa																																			
Grasos, Acidos							1	1	1																										
Heptano						1				2			1																							

Fuente: https://www.tuberiasdeacero.com/pdf/tienda/Tabla_Resistencia_Quimica.pdf

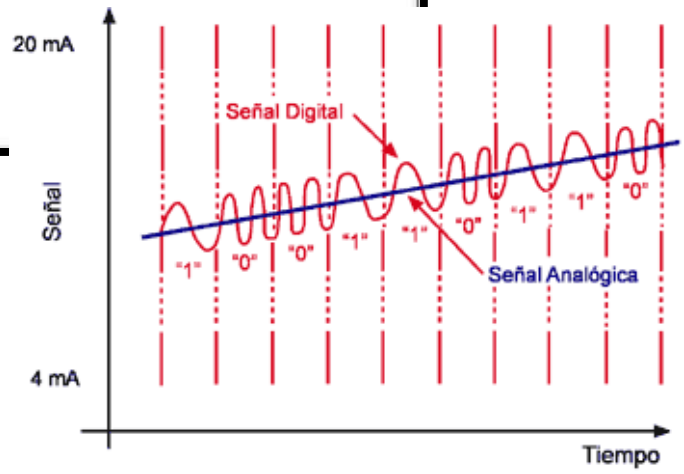
Buses de campo

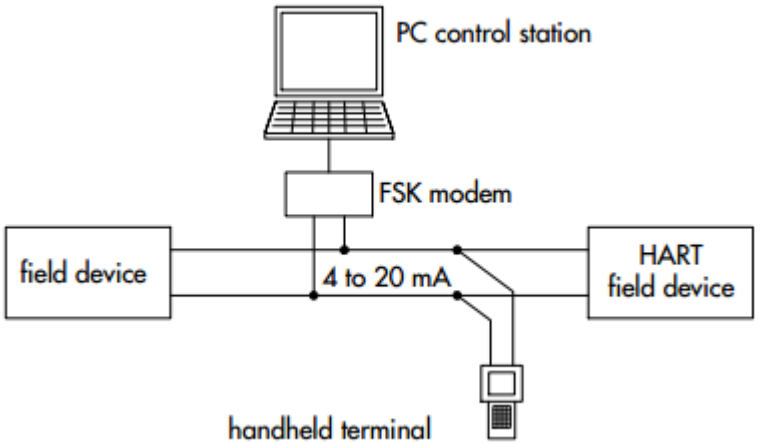


HART: Configuradores









Reglamentación específica

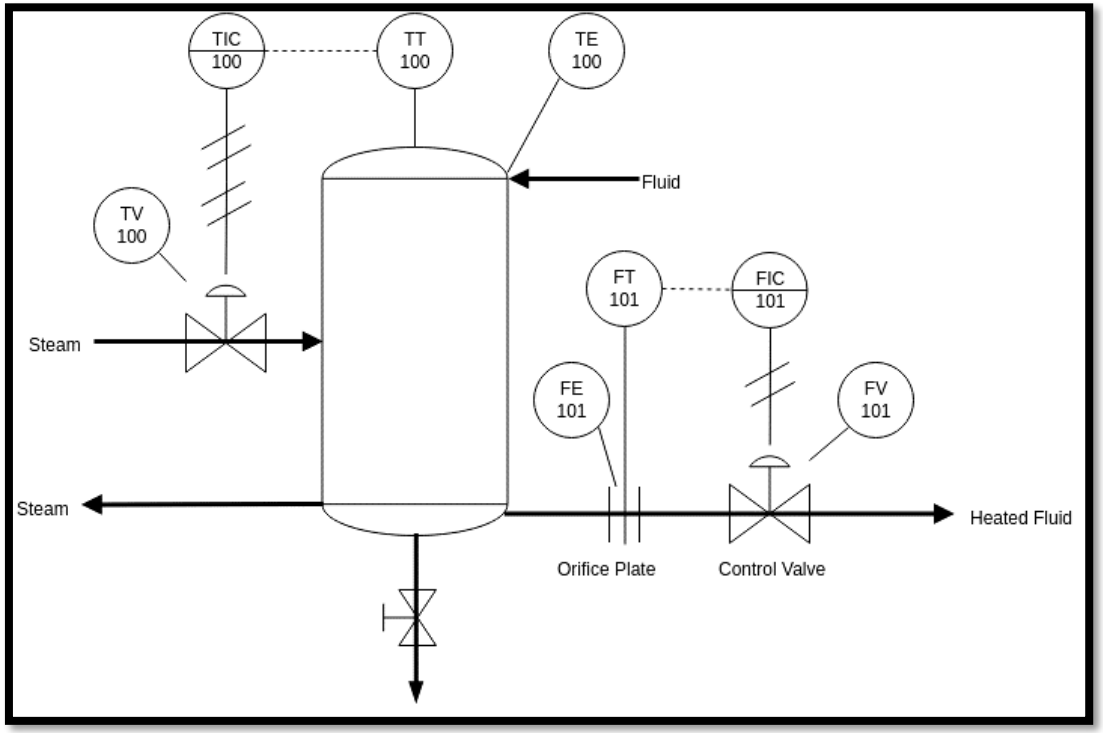
-ANSI/ISA-S5.1 (Identificación y símbolos de instrumentación)

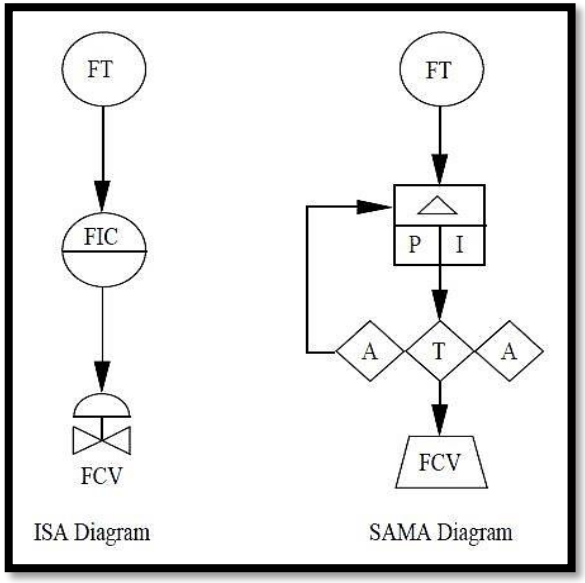
-ANSI/ISA-S5.2 (Diagramas lógicos binarios para operaciones de procesos)

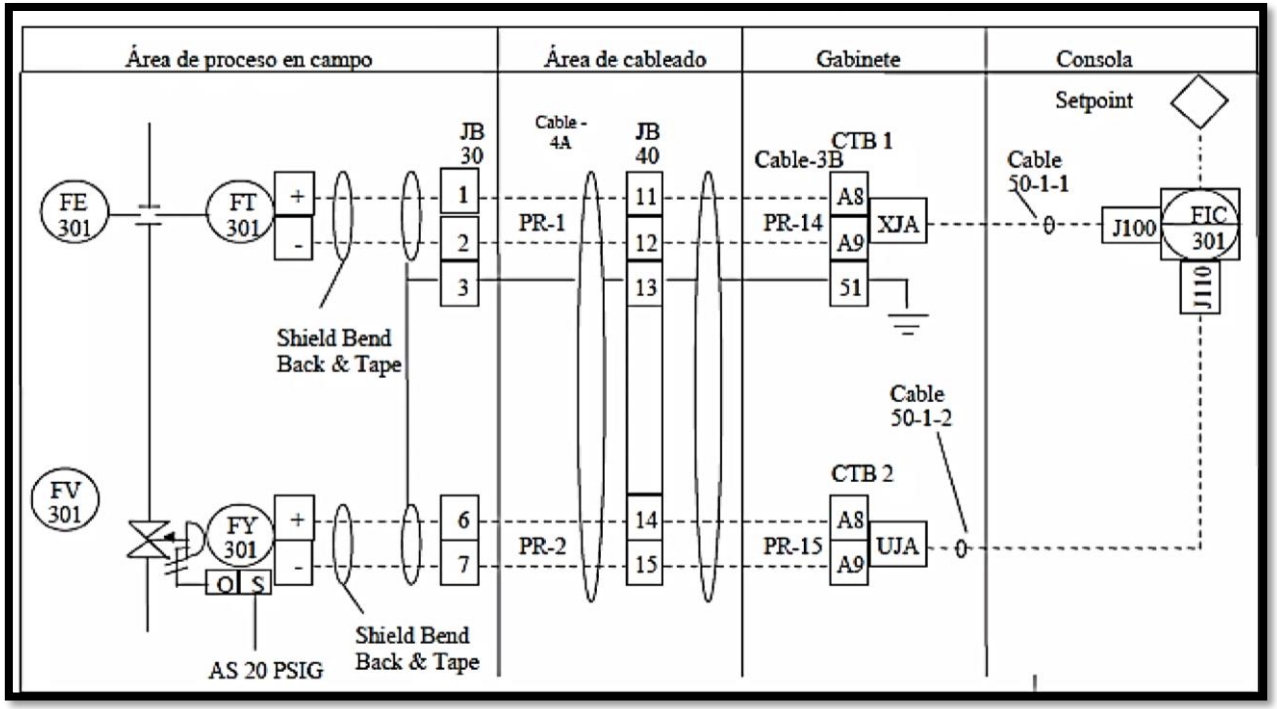
-ISA-S5.3 (Símbolos gráficos para control distribuido, sistemas lógicos y computarizados)

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

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







Reglamentación específica

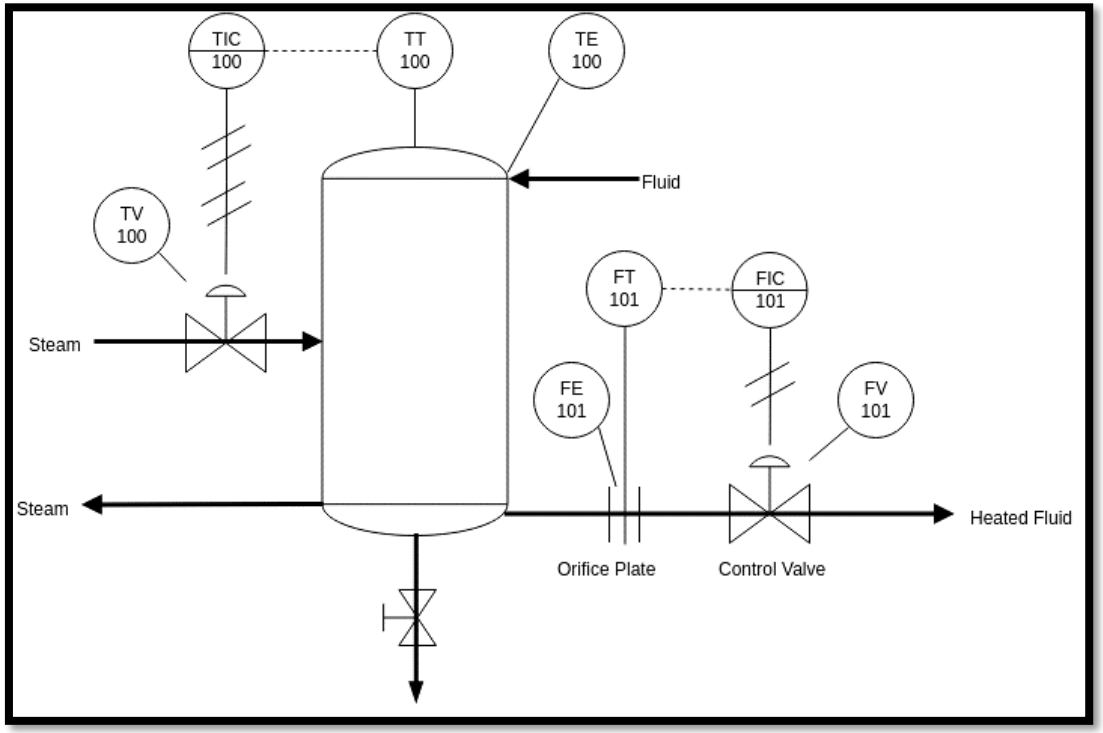
-ANSI/ISA-S5.1 (Identificación y símbolos de instrumentación)

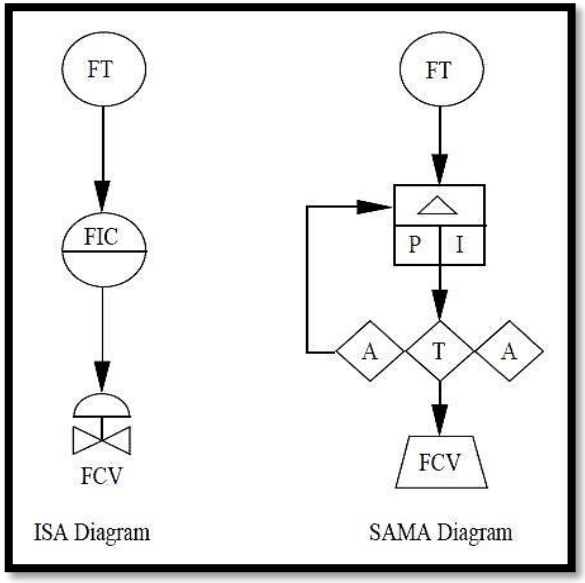
-ANSI/ISA-S5.2 (Diagramas lógicos binarios para operaciones de procesos)

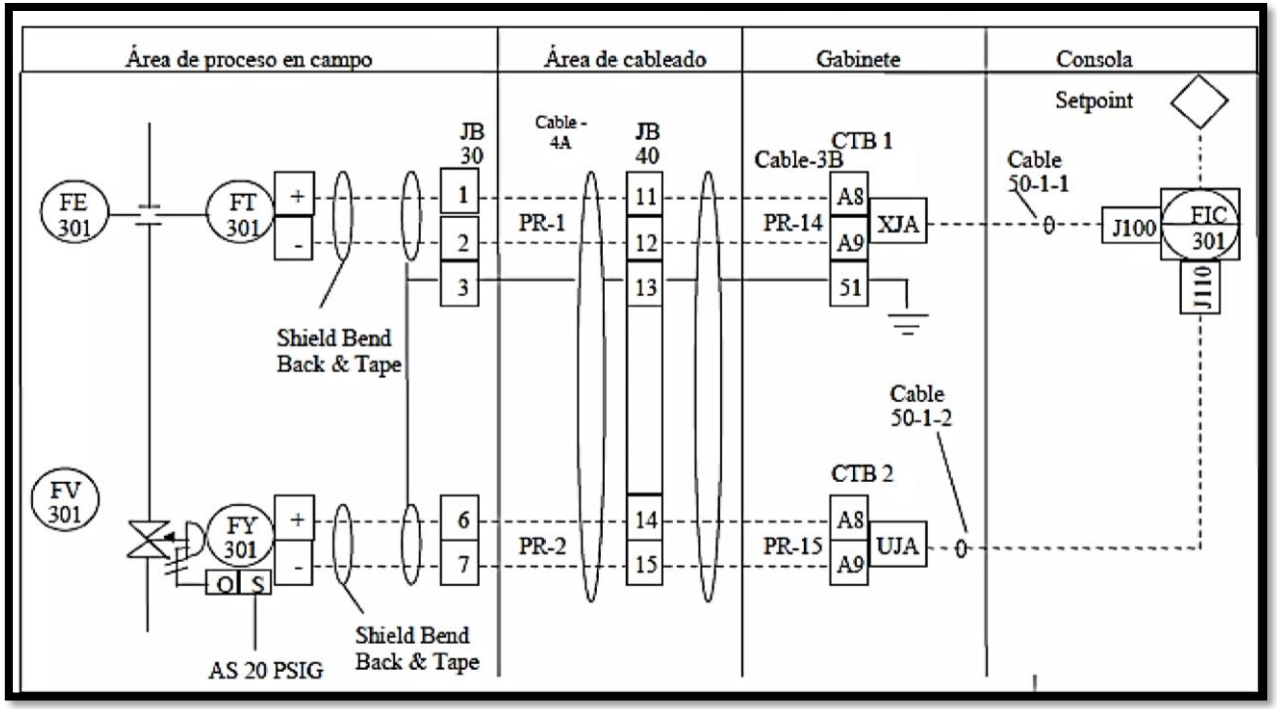
-ISA-S5.3 (Símbolos gráficos para control distribuido, sistemas lógicos y computarizados)

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

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

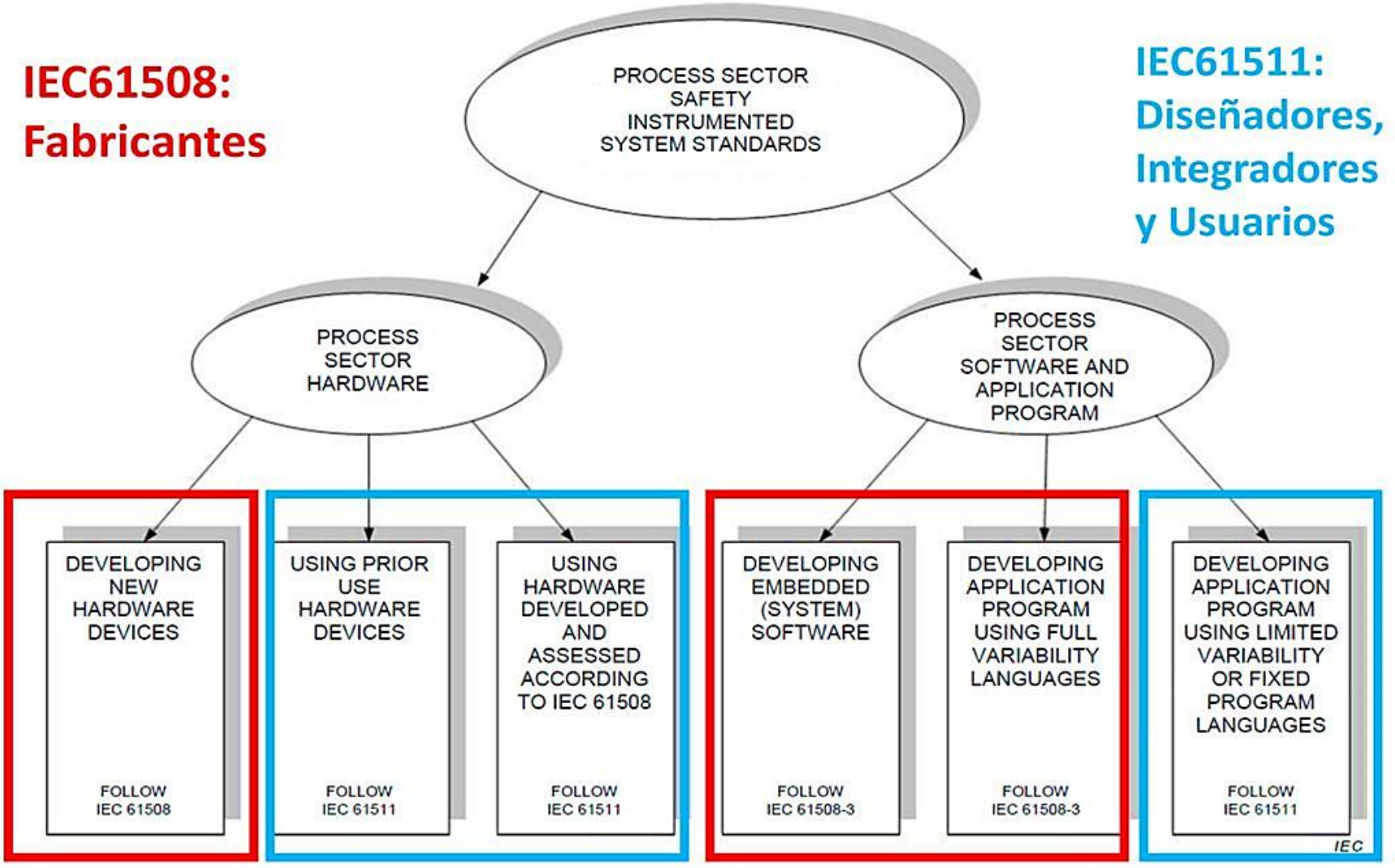




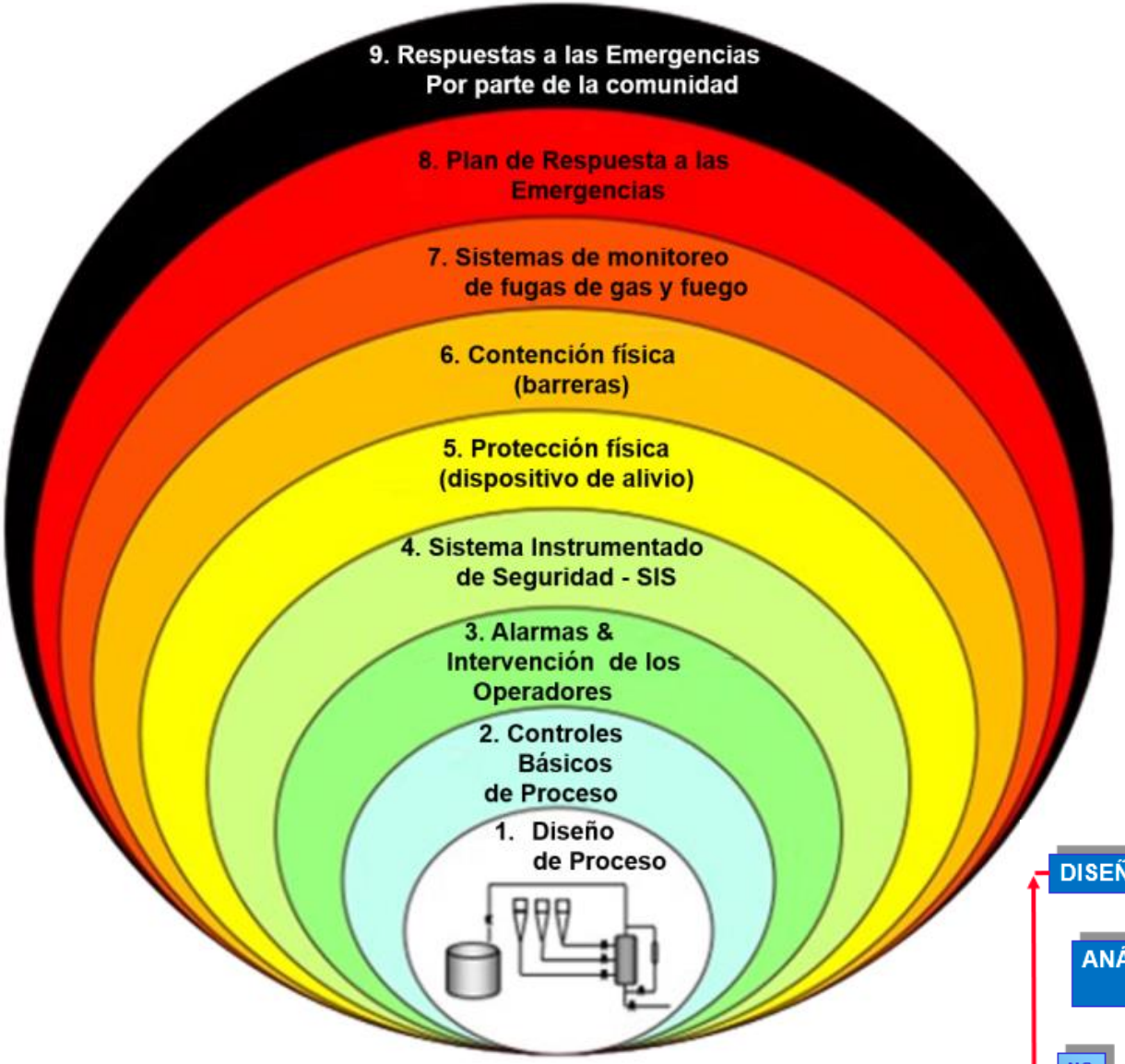


Estándares de Seguridad en Instrumentación Industrial

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").



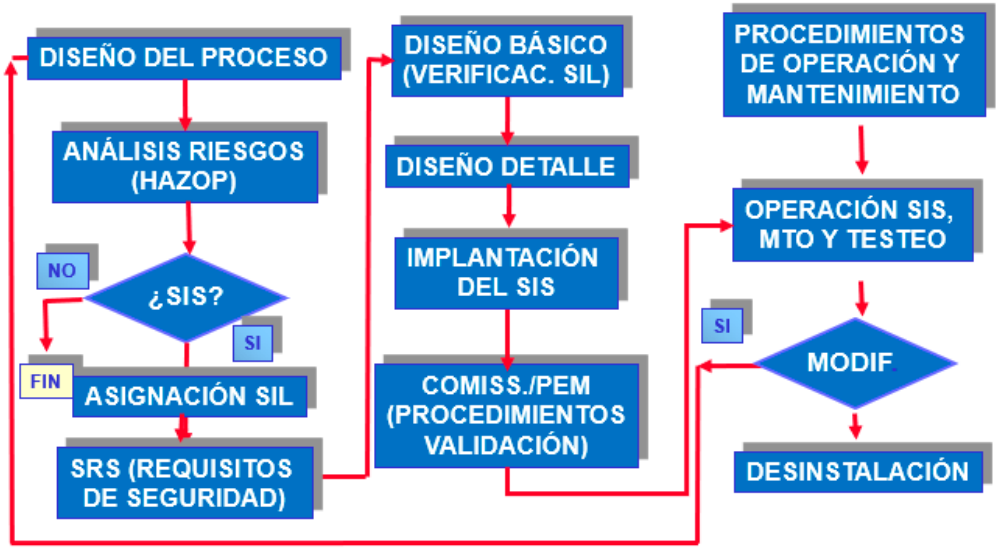
Estándares de Seguridad en Instrumentación Industrial



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

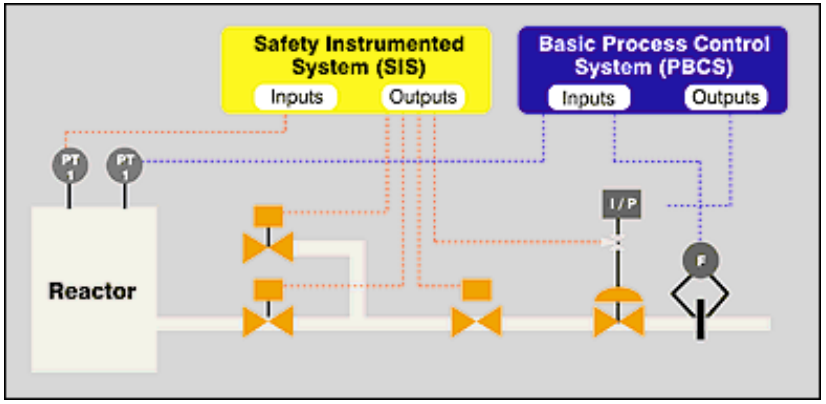
Es reconocido por la IEC 61508 y la IEC 61511 como uno de los métodos recomendados para
establecer el nivel de integridad de seguridad objetivo (SIL) para una función instrumentada de seguridad
(SIF)

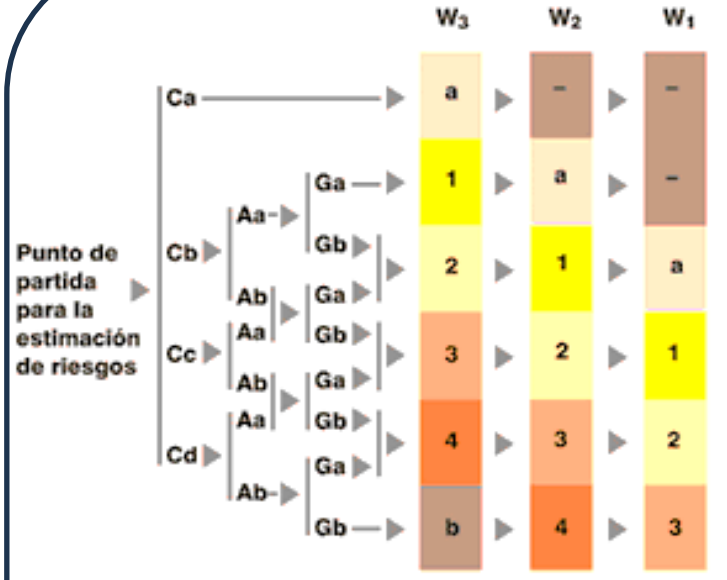
Ciclo de vida de un SIS



Estándares de Seguridad en Instrumentación Industrial

Método cualitativo simple para definir el Nivel SIL necesario





Grado de los daños	
C_a	Lesiones leves de una persona, pequeños daños medioambientales
C_b	Lesiones graves o muerte de una persona
C_c	Muerte de varias personas
C_d	Muerte de muchas personas
Duración de la estancia de una persona en la zona peligrosa	
A_a	Ocasional a frecuente
A_b	Frecuente a permanente
Eliminación del peligro	
G_a	Posible en determinadas condiciones
G_b	Apenas posible
Probabilidad de ocurrencia	
W_1	Muy reducida
W_2	Reducida
W_3	Relativamente alta

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