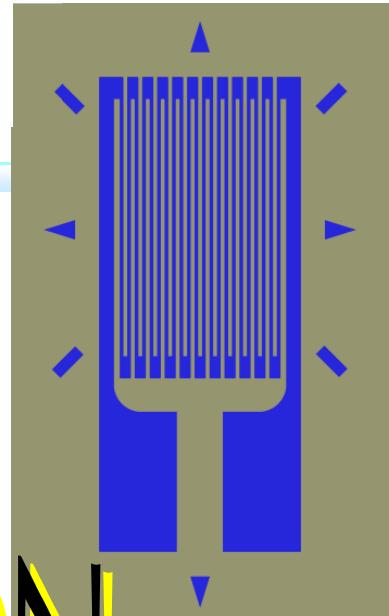


22.88



MEDICIONES DE DEFORMACIÓN, FUERZA Y PESO



Introducción

★ Veremos en este Capítulo:

- los principios fundamentales de la extensometría,
- su aplicación práctica
 - ★ a la medición de deformaciones,
 - ★ a la medición de esfuerzos en distintas situaciones típicas,
 - ★ la determinación mediante la medición de deformaciones, de:
 - ⇒ fuerzas,
 - ⇒ torques y
 - ⇒ pesos

★ Dispositivo fundamental

- la **banda extensométrica**, o indicador de fuerzas de deformación, o *strain gage*.

★ Relación entre el conjunto de fuerzas aplicadas a un sólido (esfuerzo, tensión, estado de carga, o stress) y la deformación resultante (strain)

★ Otros parámetros que se miden en base a deformación

- Presión
- Caudal
- Desplazamiento, etc.

Medición de Esfuerzos y Deformaciones, Principios Físicos

Esfuerzos Normales

- Las fuerzas que los provocan actúan en dirección perpendicular a la superficie
- Esfuerzo de Tracción o Tensión

★ Se define *esfuerzo* como:

$$\Rightarrow \text{Esfuerzo Tensil} [\text{N/m}^2] = \sigma_T \equiv F / A$$

★ Se define *deformación* como:

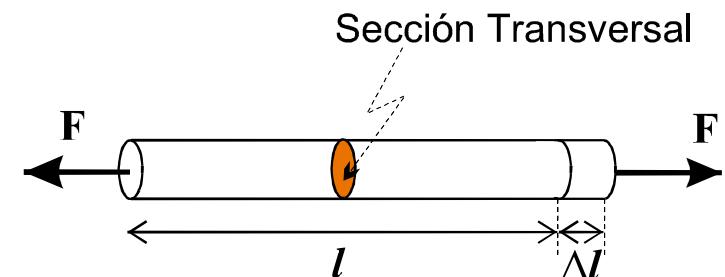
$$\Rightarrow \text{Deformación Tensil} [10^{-6}\text{m/m} = \mu\epsilon] = \epsilon_T = \Delta l / l$$

★ Unidad habitual: la *microdeformación* [$\mu\epsilon$]

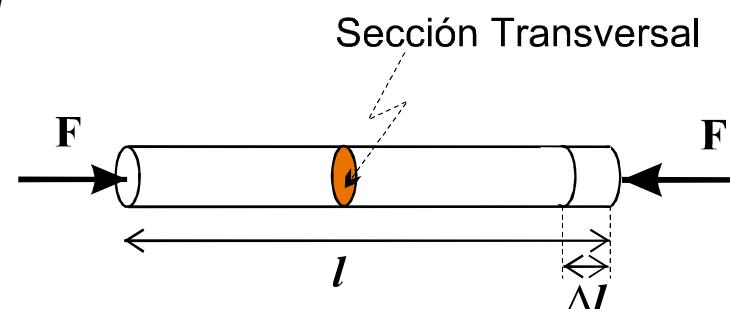
- Esfuerzo de Compresión

★ Se define igual que para el caso de tracción, pero con las siguientes diferencias:

- ⇒ el sentido de las fuerzas se invierte, y
- ⇒ la deformación resultará negativa, dado que la longitud de la muestra disminuye.



a) Esfuerzo de Tracción



b) Esfuerzo de Compresión

Medición de Esfuerzos y Deformaciones, Principios Físicos

* Esfuerzo Tangencial o de Corte (*shear stress*)

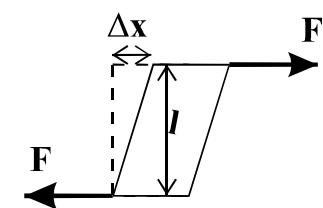
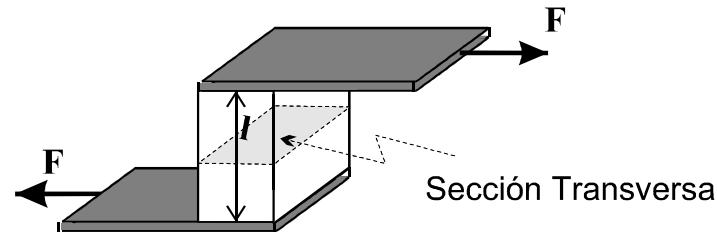
→ Definiciones

★ Esfuerzo de Corte

$$\sigma_C = \tau \equiv F / A$$

★ Deformación de Corte

$$\varepsilon_C = \gamma \equiv \Delta x / l$$



* Esfuerzos Multi-axiales

→ En la práctica, el estado de esfuerzo bi-axial es el más común,

★ se puede encontrar un par de orientaciones ortogonales (*ejes principales*) a lo largo de las cuales

⇒ no existe el esfuerzo de corte y

⇒ los esfuerzos normales son máximo y mínimo

★ Importancia de los ejes principales

⇒ Midiendo las deformaciones en ellos se puede calcular el estado completo de carga de la pieza.

★ Si no se conocen los ejes principales

⇒ Midiendo deformación en tres direcciones, se puede calcular la deformación y el esfuerzo en cualquier dirección incluyendo la de los ejes principales.

→ Teoría de la Resistencia de Materiales

Medición de Esfuerzos y Deformaciones, Principios Físicos

* Curvas características

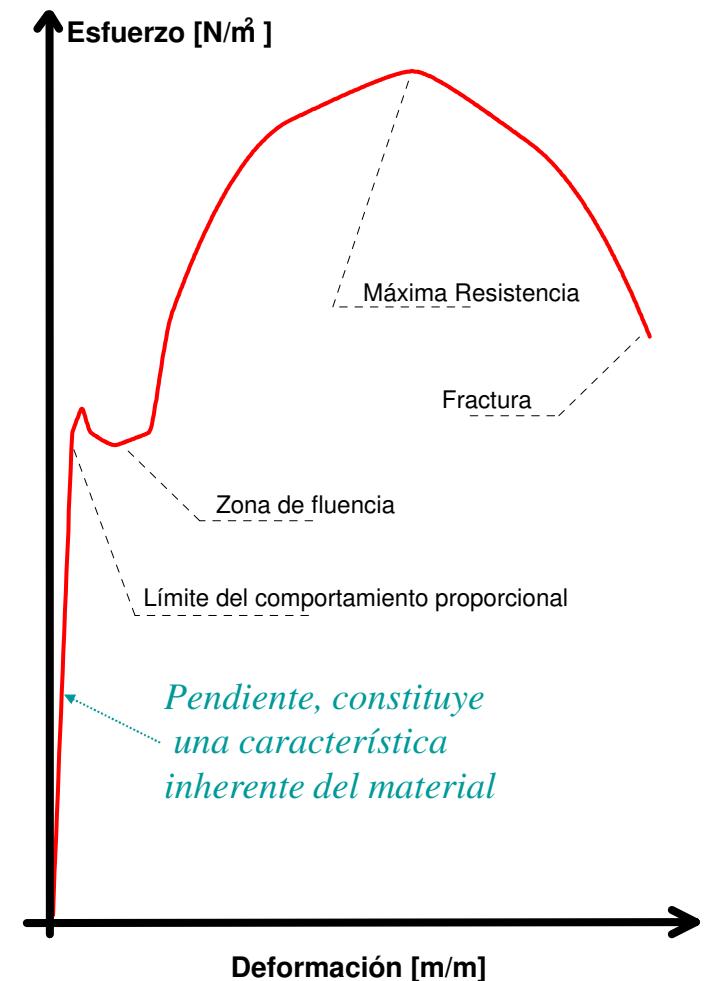
→ Módulo de elasticidad o de Young

$$E \equiv \frac{\text{Esfuerzo}}{\text{Deformación}} = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F/A}{\Delta l/l}$$

→ Módulo de corte, G

$$G \equiv \frac{\text{Esfuerzo}}{\text{Deformación}} = \frac{\tau}{\gamma} = \frac{F/A}{\Delta x/l}$$

Material	Relación de Poisson (ν)	$E = \text{Módulo de Elasticidad}$ [N/m ²]
Aluminio	0.32	6.89×10^{10}
Cobre		11.73×10^{10}
Acero	0.285	20.7×10^{10}
Polietileno		3.45×10^{08}
ABS		$0.14 - 0.28 \times 10^{10}$
Bronce	0.33	10.3×10^{10}
Hierro (Fundición Gris)		$8.96 - 9.65 \times 10^{10}$
Policarbonato	0.285	$0.21 - 0.26 \times 10^{10}$
Acero AISI-304	.25	19.3×10^{10}
Acero AISI-410	0.27 - 0.29	20×10^{10}
Aleación de Titanio	0.34	9.65×10^{10}



Medición de Esfuerzos y Deformaciones, Principios Físicos

★ Deformación o Efecto de Poisson

- Disminución de sección que acompaña al aumento de longitud
- Definición

★ $\nu = -\varepsilon_y / \varepsilon_x = -\varepsilon_z / \varepsilon_x$

★ para los metales más usuales toma valores del orden de 0.3

- Podemos, entonces, escribir:

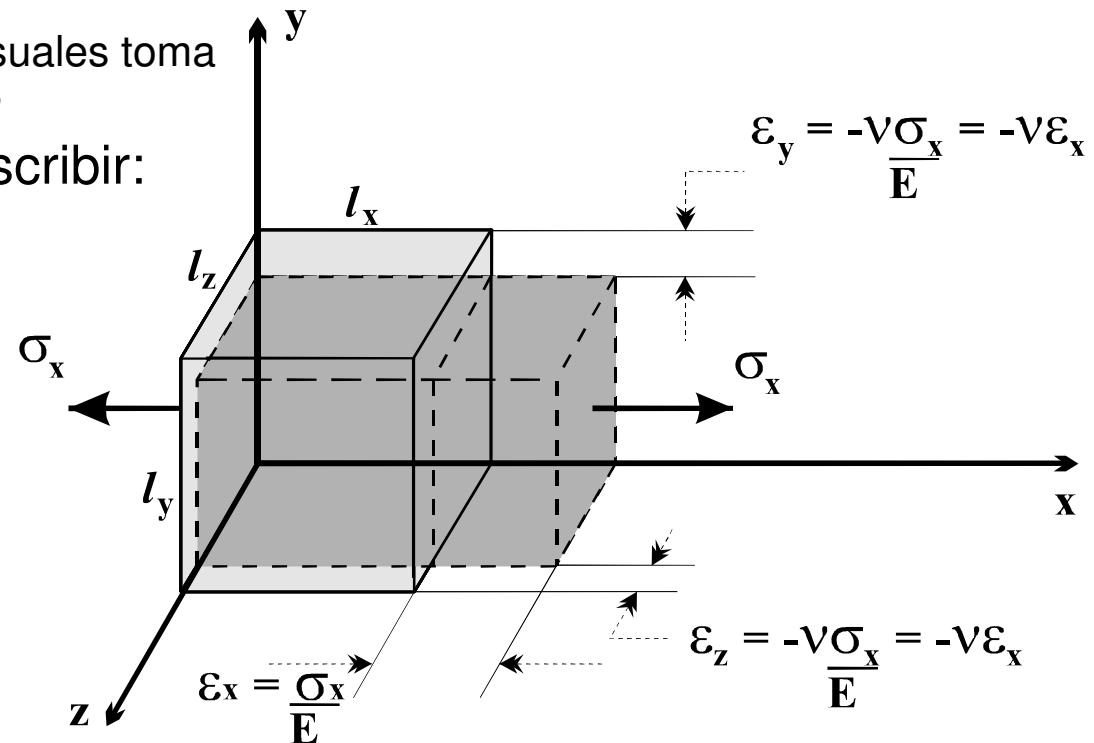
★ $\varepsilon_x = \sigma_x / E$

★ $\varepsilon_y = -\nu \varepsilon_x$

★ $\varepsilon_z = -\nu \varepsilon_x$

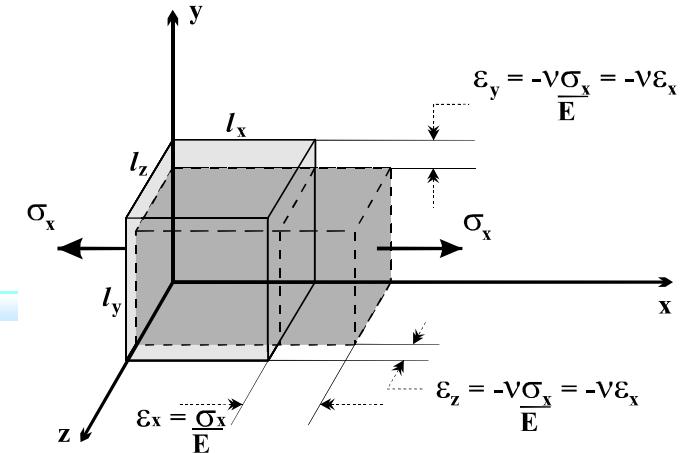
- Se puede relacionar el módulo de elasticidad, E , con el módulo de corte, G , como:

$$E = 2(1 + \nu)G$$



Tecnología de Mediciones con Strain-Gages

- * Siendo $R = \rho l / A$
- * Si se aplica a la probeta un esfuerzo,
 - sufre un incremento de longitud Δl , y una disminución de sección ΔA



$$A = yz \Rightarrow \ln A = \ln y + \ln z \Rightarrow$$

$$\frac{\Delta A}{A} = \frac{\Delta y}{y} + \frac{\Delta z}{z} = \epsilon_y + \epsilon_z = -\nu(\epsilon_x + \epsilon_x) = -2\nu\epsilon_x$$

- tomando logaritmos y diferenciando $\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{\Delta l}{l} - \frac{\Delta A}{A} = \frac{\Delta \rho}{\rho} + \epsilon_x + 2\nu\epsilon_x = \frac{\Delta \rho}{\rho} + (1+2\nu)\epsilon_x$
- despreciando el término en $\Delta\rho/\rho$, válido para bandas metálicas $\Delta R = R - R_0 \cong (1+2\nu)\epsilon R_0 \cong 1.6\epsilon R_0$

Sensibilidad

- Habitualmente se define el GF o Gauge Factor como

$$GF \equiv \frac{\Delta R/R}{\epsilon} = 1 + 2\nu + \frac{\Delta \rho / \rho}{\epsilon} \cong 1 + 2\nu \cong 1.6$$

Tecnología de las Mediciones con Strain-Gages

(cont.)

* Sensibilidad ó Gage Factor

- ➡ El cálculo teórico daba aprox.
- ➡ Pero en la práctica, la resistividad también cambia con la deformación

➡ Variaciones de ρ con deformación

- ★ Efecto piezoresistivo,
 - ⇒ pequeño en metales
 - ⇒ notable en semicond's
- ★ Se debe a:
 - ⇒ impurezas de materiales
 - ⇒ aleación utilizada
 - ⇒ influencia de materiales que conforman un sensor práctico

➡ Resultado

- ★ para las bandas metálicas de uso habitual, sensibilidades entre 2.0 y 4.5, y
- ★ para las bandas semiconductoras, del orden de 150.

➡ Por la incertezza en el conocimiento de estos factores, debe recurirse a los valores de sensibilidad que suministra el fabricante

$$GF \equiv \frac{\Delta R/R}{\varepsilon} \approx 1 + 2\nu \approx 1.6 \Rightarrow \varepsilon \approx \frac{\Delta R}{R_0 \cdot GF}$$

Material	GF
Platinum (Pt 100%)	6.1
Platinum-Iridium (Pt 95%, Ir 5%)	5.1
Platinum-Tungsten (Pt 92%, W 8%)	4.0
Isoelastic (Fe 55.5%, Ni 36% Cr 8%, Mn 0.5%) *	3.6
Constantan / Advance / Copel (Ni 45%, Cu 55%) *	2.1
Nichrome V (Ni 80%, Cr 20%) *	2.1
Karma (Ni 74%, Cr 20%, Al 3%, Fe 3%) *	2.0
Armour D (Fe 70%, Cr 20%, Al 10%) *	2.0
Monel (Ni 67%, Cu 33%) *	1.9
Manganin (Cu 84%, Mn 12%, Ni 4%) *	0.47
Nickel (Ni 100%)	-12.1

Dispositivos Prácticos

Características Constructivas Generales

✳ Materiales Sensores

- ➡ Constantan
 - ★ coeficiente de temperatura bajo y controlable en el rango de -70 á +280° C
 - ★ Se obtienen valores de $GF \approx 2$.
- ➡ Nichrome V
 - ★ para $T < 650^\circ C$ (estát.) y $T < 1000^\circ C$ (dinámicas)
 - ★ $GF \approx 2.2$.
- ➡ Dynaloy e IsoElastic:
 - ★ coef. de temperatura muy elevado. $GF \approx 3.5$.
- ➡ Stabiloy y Karma
 - ★ de muy buenas características térmicas
- ➡ Aleaciones Platino-Tungsteno
 - ★ para mediciones en alta temperatura.
- ➡ Semiconductores
 - ★ muy alta sensibilidad a deformación y temperatura,
 - ★ muy alineal,
 - ★ muy utilizada en celdas de carga y sensores de presión.

Tecnología de las Mediciones con Strain-Gages: Ejemplo

Ejemplo 10-1: calcular la deformación que sufre la barra de acero de la Figura 10-5, cuando es sometida a un esfuerzo tensil de 2 ton. Estudiar la variación de resistencia si la barra es instrumentada por un sensor con resistencia $R_0 = 350\Omega$.

Figura 10-5: ejemplo de deformación de una barra de acero redonda

de acuerdo a su definición, el módulo de elasticidad es igual a:

$$E \equiv \frac{F/A}{\Delta l/l} = 20.7 \times 10^{10} \text{ N/m}^2 = \frac{2000 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/seg}^2}{0.0004 \text{ m}^2 * \epsilon}$$

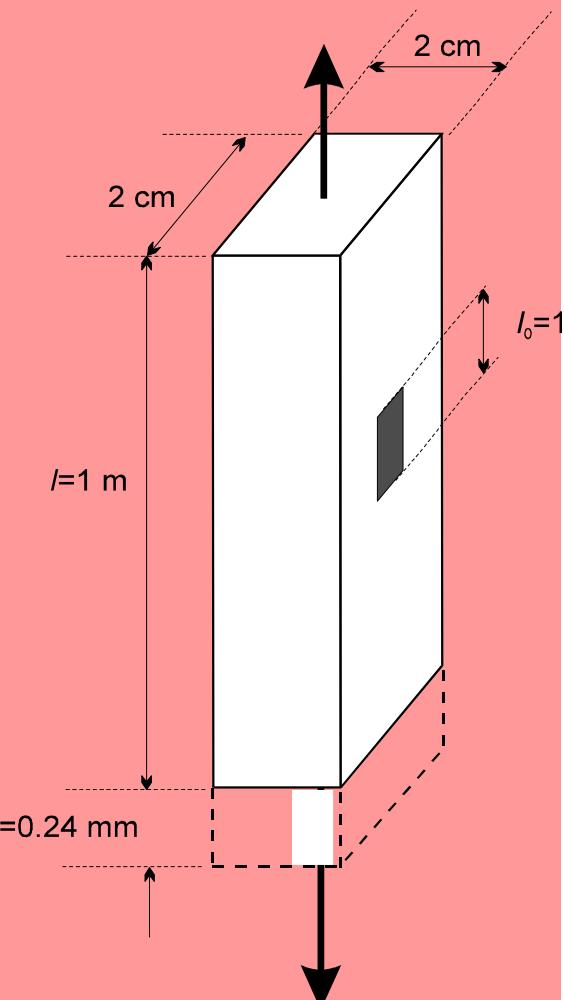
por lo que

$$\epsilon = \frac{2000 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/seg}^2}{0.0004 \text{ m}^2 * 20.7 * 10^{10} \text{ N/m}^2} = 236.7 \mu\text{m/m} = 236.7 \mu\epsilon = 0.24 \text{ mm/m}$$

y para este caso, la variación de resistencia será:

$$\Delta R = R - R_0 = 2\epsilon R_0 = 2 * 236.7 * 10^{-6} * 350 \Omega = 0.166 \Omega$$

como se puede apreciar la variación de resistencia, para una medición que podríamos llamar normal es muy pequeña, por lo que debe preverse el uso de técnicas de medición sofisticadas.



Dispositivos Prácticos

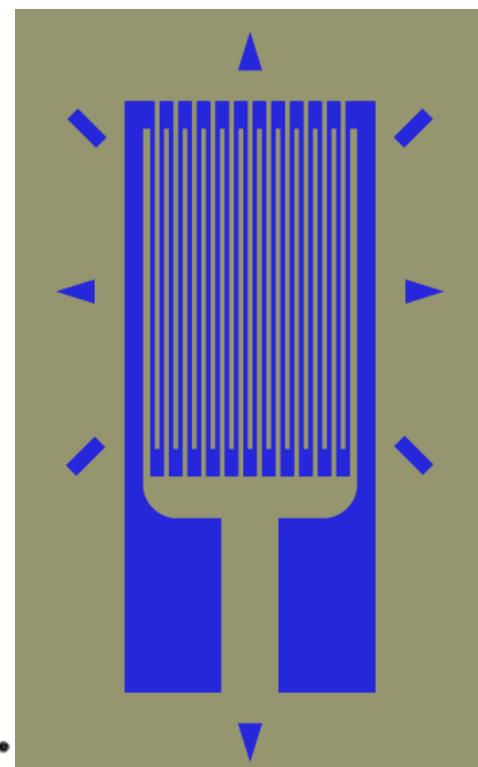
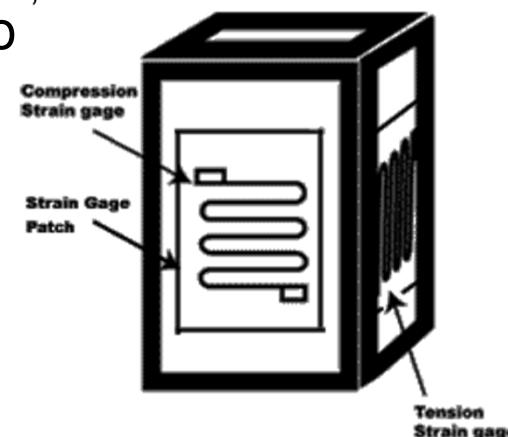
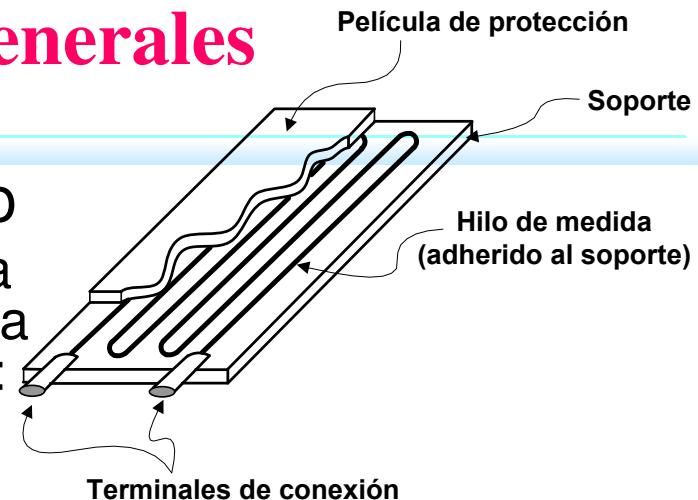
Características Constructivas Generales

* El elemento sensor propiamente dicho

- Consiste de una configuración geométrica de fino alambre u hoja ultradelgada de una aleación especialmente conformada para:
 - ★ maximizar el cambio de resistencia con la deformación.
 - ★ no oponer resistencia mecánica apreciable a la deformación
- depositada sobre un sustrato aislante
 - ★ que se pega sobre el elemento cuya deformación interesa
- cubierto por una capa protectora
- Hasta hace un par de décadas, sensores de alambre muy fino
- Actualmente, casi exclusivamente sensores de película ultradelgada

* Formato más común

- Causas



Dispositivos Prácticos

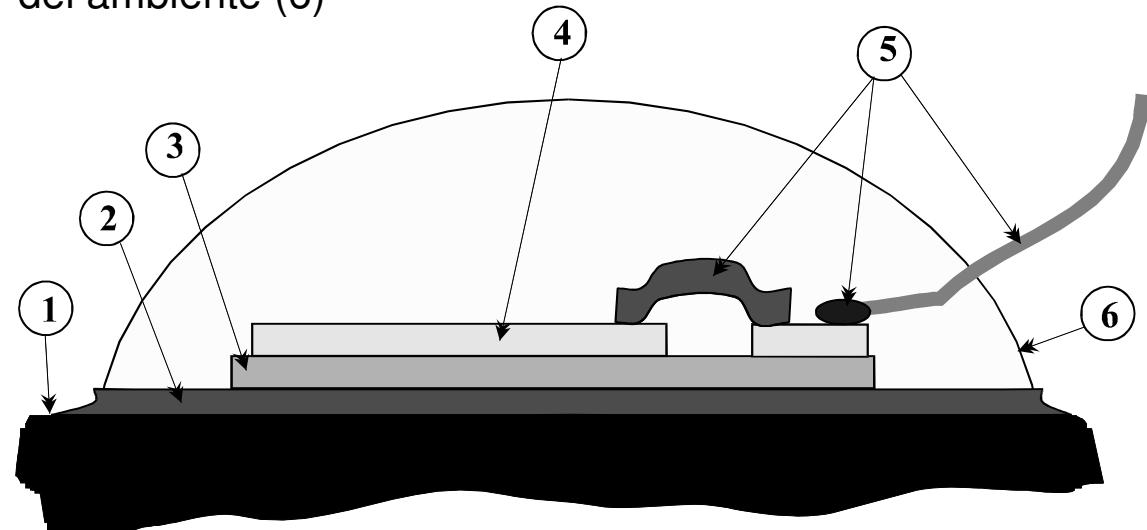
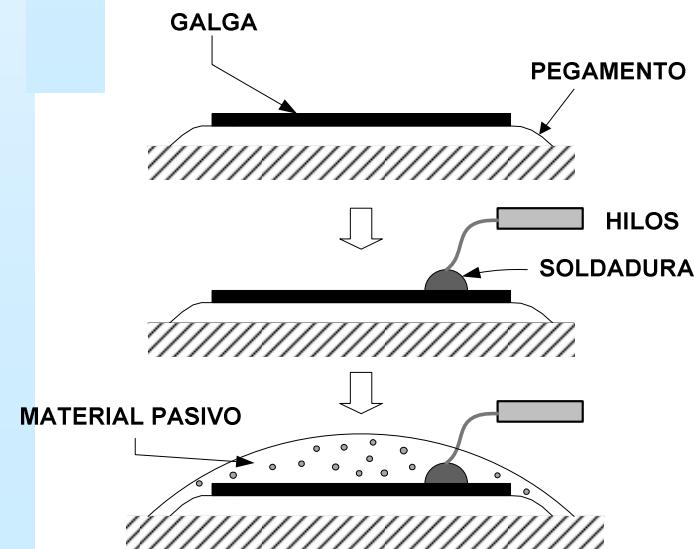
Características Constructivas Generales

* El elemento sensor propiamente dicho

→ Componentes

- ★ superficie de la pieza cuya deformación se desea medir (1)
- ★ pegamento efectivo entre la pieza y el sensor (2)
- ★ material de soporte del sensor propiamente dicho (3)
- ★ el sensor propiamente dicho (4)
- ★ conexiones apropiadas (5)
- ★ cubierta protectora capaz de atemperar agresiones mecánicas y del ambiente (6)

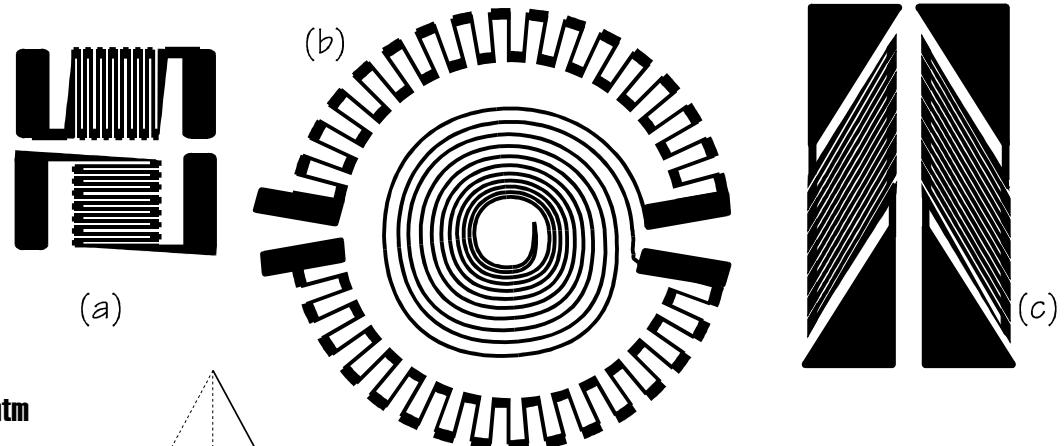
→ Instalación



Dispositivos Prácticos

Características Constructivas Generales (cont.)

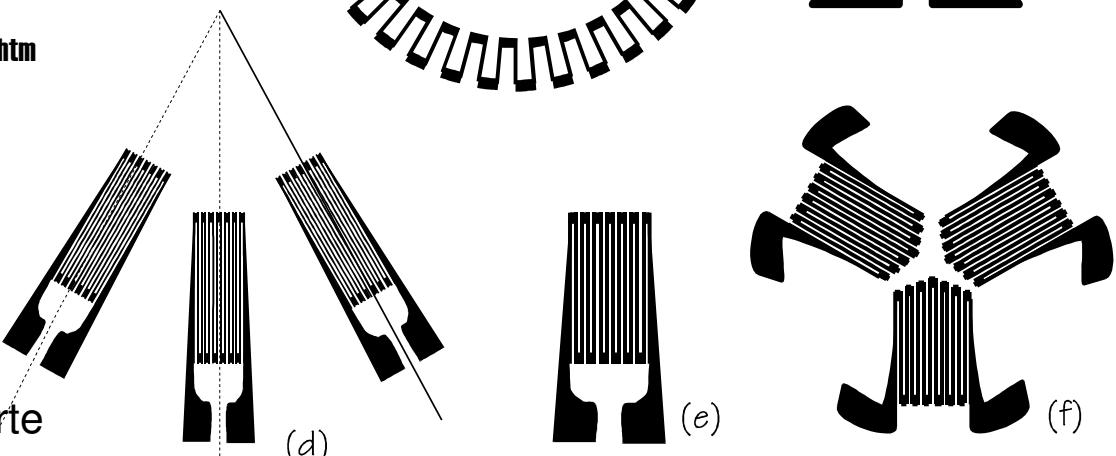
Formas Geométricas



[Ver: Transducer Gages Transducer Grade Strain Gages specs.htm](#)

Material de Soporte o Estructural

- ★ Provee el soporte necesario para el transporte e instalación de la grilla sensora, que de otro modo sería inestable dimensionalmente.
- ★ Debe lograrse una adherencia tal que minimice la deformación por corte y pueda transmitirse fielmente la deformación a la grilla sensora.
- ★ Usualmente se trata de materiales orgánicos que aislan eléctricamente a la grilla sensora, ofrecen alta elasticidad y buen contacto térmico.



Dispositivos Prácticos: Bandas Extensométricas Metálicas

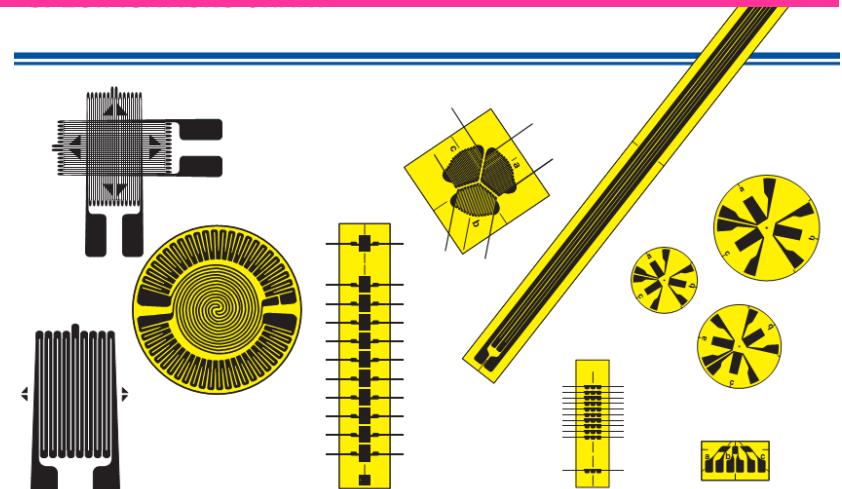
* Características constructivas, bandas metálicas

- Se fabrican en base a un delgado alambre o una hoja muy fina de material, tratando de minimizar la dimensión transversal, para lograr
 - ★ alta resistencia eléctrica,
 - ★ baja resistencia mecánica a la deformación,
 - ★ conservar la integridad estructural.
- Se consiguen con resistencias de 60, 120, 240, 350, 500 y 1000Ω.

* Sensibilidad

- El valor teórico de 1.6 no se cumple en la realidad ⇒
 - ★ cada fabricante realiza pruebas estadísticas para determinar la curva de dispersión, y
 - ★ los más serios informan el valor de GF, y además, su Incerteza
- Existen aleaciones especiales con de GF de hasta 10
- Las características tienen una alinealidad despreciable.

$$GF \equiv \frac{\Delta R/R}{\varepsilon} = 1 + 2\nu + \frac{\Delta \rho/\rho}{\varepsilon} \cong 1 + 2\nu \cong 1.6$$



Dispositivos Prácticos: Bandas Extensométricas Semiconductoras

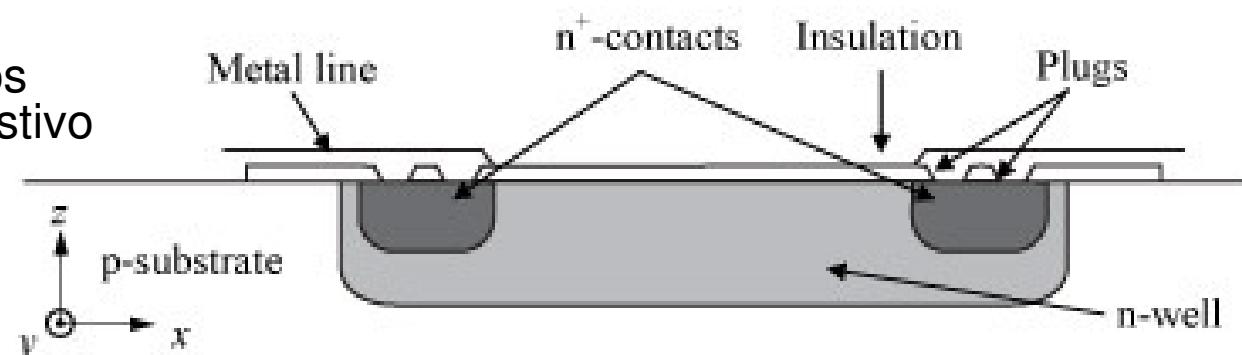
* Efecto piezoresistivo

- ➡ Cambio de resistencia eléctrica de un material debido a deformación
- ➡ Difiere del efecto piezoeléctrico pues no produce una diferencia de potencial.
- ➡ Tamaño
 - ★ Despreciable en metales
 - ★ Notable en semiconductores (dos órdenes de magnitud mayor que en metales) como germanio y silicio en todas sus formas
- ➡ El efecto básico se debe a cambios en la movilidad de huecos y electrones en la estructura cristalina.

$$GF \equiv \frac{\Delta R/R}{\epsilon} = 1 + 2\nu + \frac{\Delta\rho/\rho}{\epsilon}$$

* Piezoresistores

- ➡ Son resistores hechos de material piezoresistivo
- ➡ Son los dispositivos piezoresistivos más elementales



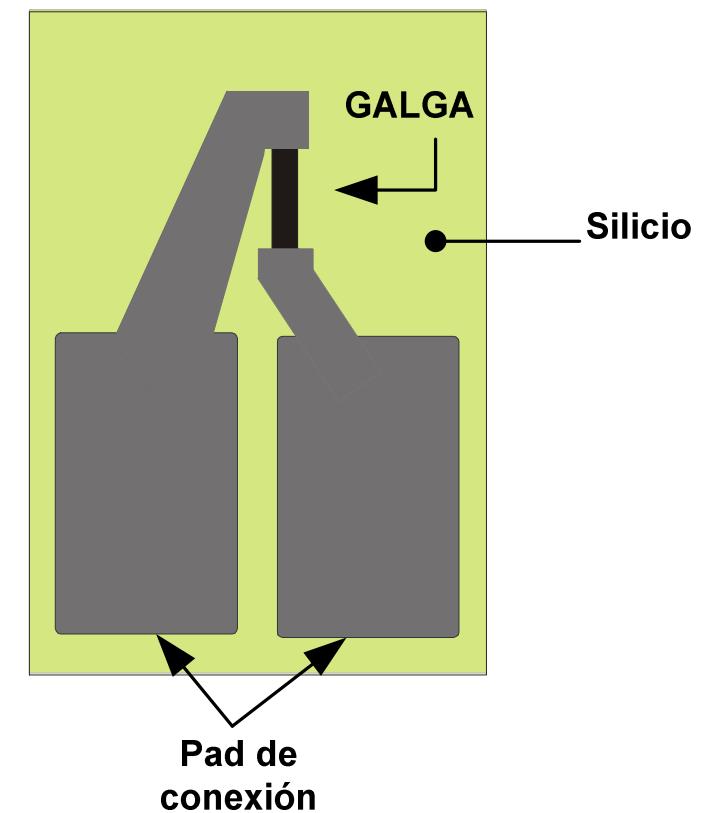
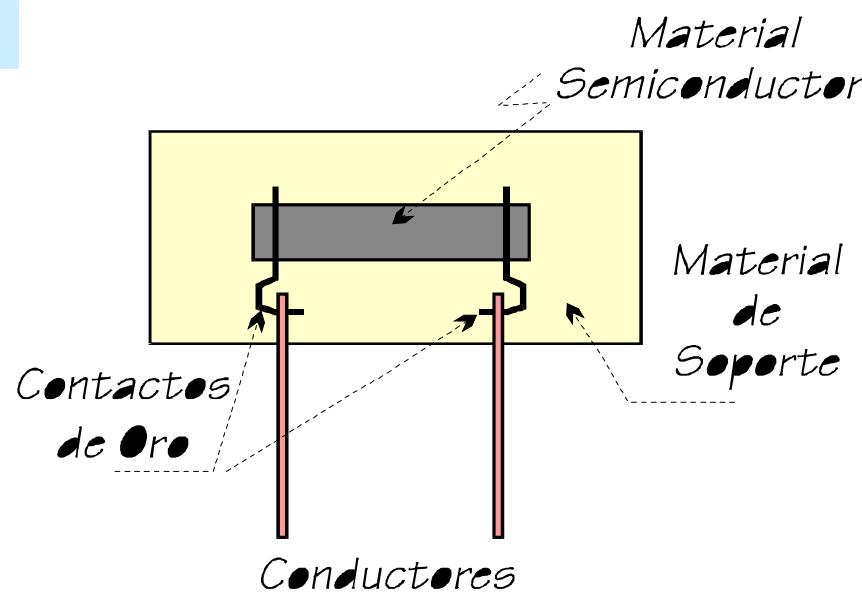
* Fabricación

- ➡ En su forma más simple se los fabrica por difusión
 - ★ Constan de un pozo N (ó P) difundido sobre un sustrato P (ó N) con sus respectivos contactos
 - ★ Como las resistencias resultantes en los contactos son elevadas (centenares de ohms), se las pasa por difusiones N⁺ o N⁺⁺
 - ★ Así resultan más caros

Dispositivos Prácticos: Bandas Extensométricas Semiconductoras

* Características constructivas, bandas de Silicio

- Es un pequeño monocrystal de material **piezoresistivo** tal como el silicio, dopado con trazas de impurezas, p.ej.,
 - ★ de boro, para PTC
 - ★ de fósforo, para NTC



Ver: Catálogo Omega STRAIN_GAGES.pdf

Dispositivos Prácticos:

Bandas Extensométricas Semiconductoras

* Características Operativas

- Sensibilidad muy superior a la de las bandas metálicas.
- El rango de deformaciones a medir es restringido, con valores típicos de máxima deformación tolerable, de $3000 \mu\epsilon$.
- Se recomienda para
 - ★ problemas en que la deformación a medir es muy baja ,
 - ★ deformaciones dinámicas.
- Su deformación es de tipo elástico, hasta el punto de ruptura
 - ★ no presenta fenómenos de fluencia ni de histéresis.

* Sensibilidad

- Entre -50 y -200, o sea, 25 á 100 veces superior a las metálicas.
- El GF no es constante sino que varía con la deformación.
- Es imprescindible que el fabricante provea una curva o tabla de la sensibilidad en función de la resistencia o que relacione resistencia con deformación.
- Algunos fabricantes, proveen una aproximación del tipo
$$\frac{\Delta R}{R} = S_1 \epsilon + S_2 \epsilon^2$$
 - ⇒ donde,
 - ★ S_1 = GF, toma valores entre 40 y 200, y puede ser +va (semiconductor P), ó -va (material N)
 - ★ S_2 es del orden de 4000 y representa el grado de alinealidad del sensor

Dispositivos Prácticos: Bandas Extensométricas

Características de la señal de salida

→ Bandas Metálicas

- ★ Se debe tratar de compensar con el circuito de acondicionamiento
 - ⇒ la pequeñísima ΔR que causan las deformaciones típicas, y
 - ⇒ las ΔR ocasionadas por cambios en la temperatura.
- ★ El circuito puente provee herramientas para solucionar ambos

→ Bandas Semiconductoras

- ★ Son dos los efectos que debe tratar de compensar:
 - ⇒ la fuerte alinealidad de la curva resistencia vs. deformación, y
 - ⇒ las ΔR ocasionadas por cambios en la temperatura.
- ★ El circuito puente sólo da herramientas para el problema térmico.

Bandas Extensométricas Metálicas vs. Semiconductoras

Tipo de Banda	Metálica	Semiconductora
Máxima deformación admisible	Alta	Baja
Sensibilidad	Baja	Alta
Resolución	Baja	Alta
Autocalentamiento	Alto	Bajo
Curva característica	Lineal	Alineal
Flexibilidad	Muy alta	Difícil montaje en superficies curvas
Costo	Bajo	Moderado
Sensibilidad a la temperatura	Moderada	Alta
Ancho de banda	Moderado	Amplio

Ver: Catálogo Omega STRAIN_GAGES.pdf

Acondicionamiento de la Señal

★ Efecto de la temperatura

→ Muy importante

- ★ debe ser compensado por el circuito de acondicionamiento de señales.
- ★ **Idealmente:** $R=R_0 * (1+f(\varepsilon))$.
- ★ **Caso Real:** $R=R_0 * (1+f(\varepsilon)) * (1+\Delta L(T)) * (1+\Delta \rho(T))$

→ Ante un cambio en la temperatura ambiente:

- a) la resistencia varía, aún en ausencia de deformaciones, por efecto RTD;
- b) tanto la banda como la pieza bajo medición, cambiarán sus dimensiones y, si ambos cambios no son idénticos, el sensor dará una salida que se captará como deformación, sin que ningún esfuerzo la genere.

→ Idea básica: tratar de lograr que se cancelen entre ellos.

- ★ Bandas autocompensadas para medición sobre los materiales más comunes.
- ★ Limitaciones de esta técnica: tipo de material a medir; linealidad
- ★ Utilización de una computadora para anular los efectos térmicos.
- ★ Efectos de la temperatura sobre componentes electrónicos.

Acondicionamiento de la Señal (cont.)

★ Técnicas circuitales

- Autocalentamiento
 - ★ Disipación por conducción a la pieza sobre la que va montado.
- Acondicionador de señales a medida vs. acondicionadores específicos para bandas extensométricas
- Errores
 - ★ Utilizando componentes de muy alta calidad, se obtienen incertezas:
 - ⇒ para los circuitos basados en puente simple: $\approx \pm 50 \mu\epsilon$
 - ⇒ para los circuitos basados en medio puente: $\approx \pm 20 \mu\epsilon$
 - ⇒ para los circuitos basados en puente completo: $\approx \pm 2 \mu\epsilon$
- Resolución de una banda extensométrica de calidad:
 - ★ debe ser del orden de $2 \mu\epsilon$,
 - ★ para un caso típico, será $GF=2.0$ y $R_0=120 \Omega$, y por lo tanto,
 - ★ $\Delta R = GF * \epsilon * R_0 = 2 * 2 * 10^{-6} * 120 \Omega = 0.48 \text{ m}\Omega$
 - ★ Pero
 - ⇒ la tolerancia de la resistencia nominal es del orden de $\pm 0.2\%$ de R_0 ,
 - ⇒ para este caso, del orden de $\pm 0.24 \Omega$, es decir,
 - ⇒ mucho mayor que el efecto que se desea medir, por lo que
 - ⇒ no se puede tomar como R_0 al valor nominal, debiéndose medirlo.

Técnicas Prácticas de Medición y Montaje

* Comenzando con la ecuación que define la sensibilidad:

$$\varepsilon = \frac{\Delta R}{GF * R_0}$$

* El método general, sería,

- 1) medir la resistencia de la banda antes de someterla a deformación, R_0 ,
- 2) aplicar la deformación y medir nuevamente la resistencia, R ,
- 3) calcular $\Delta R = R - R_0$
- 4) calcular ε
- 5) aplicando principios de la teoría de resistencia de materiales, calcular el esfuerzo, y a partir de éste,
- 6) calcular las fuerzas que lo ocasionaron

* En la práctica, se prefiere utilizar alguna variante del circuito puente de Wheatstone.

Barra de eje recto sometida a tracción simple

(Puente Simple o Puente 1/4)

* El método de medición sería:

- 1) leer y almacenar V_s con la muestra no sometida a deformación;
- 2) aplicar deformación y volver a leer y almacenar V_r ;
- 3) conociendo o midiendo E , calcular V_r
- 4) calcular la deformación, ε , como:

$$V_r = \frac{V_s}{E} \left|_{\text{en reposo}} \right. - \frac{V_s}{E} \left|_{\text{bajo medición}} \right.$$

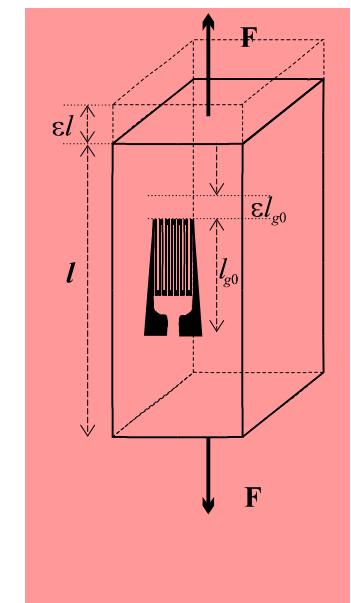
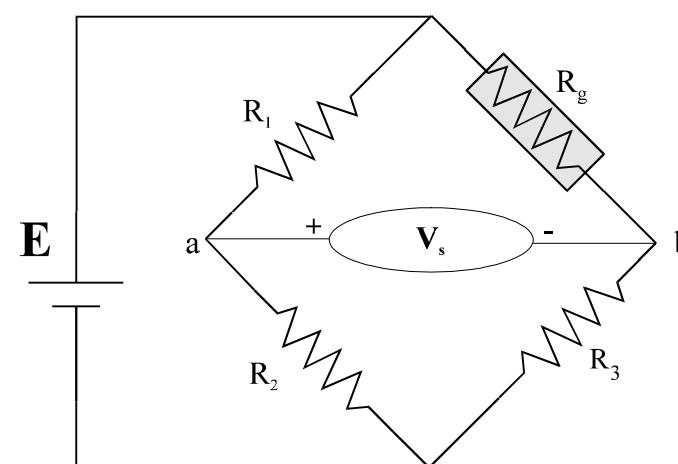
$$\varepsilon = \frac{-4V_r}{GF*(1+2V_r)}$$

Conclusiones

- la respuesta es no-lineal
- hay “auto-compensación” de temperatura

- Investiguemos las razones para estas conclusiones:

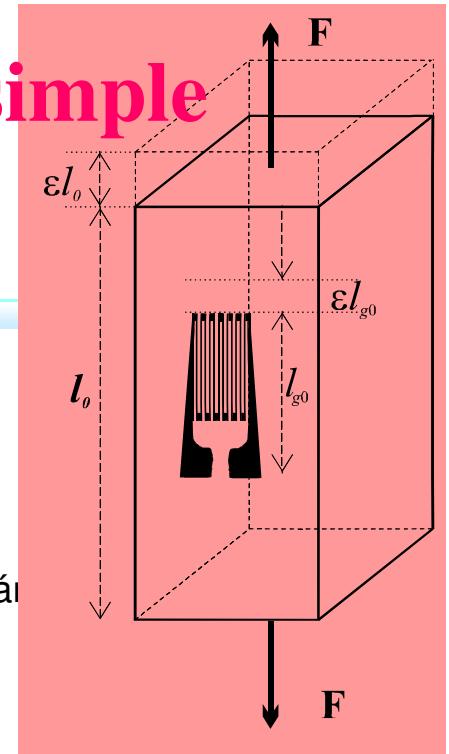
★ La alinealidad de la respuesta se debe a la presencia del término V_r , en el denominador de la ecuación para ε , y....



Barra de eje recto sometida a tracción simple (Puente Simple o Puente 1/4)

* Efectos de la temperatura:

- Si a la temperatura ambiente T_0 ,
 - ★ la longitud de la barra, no sometida a tracción, es l_0 , y
 - ★ la de la banda extensométrica es l_{g0} .
 - ★ Si se somete a la barra a una tracción F , las nuevas longitudes serán
 - ★ $l = l_0 (1+\varepsilon_\sigma)$
 - ★ $l_g = l_{g0} (1+\varepsilon_\sigma)$
- Si ahora T varía desde su valor original T_0 hasta un nuevo valor $T_0 + \Delta T$, las longitudes de la barra y de la strain gage también cambiarán como,
 - ★ $l = l_0 (1+\varepsilon_\sigma) (1+\Delta L(T))$
 - ★ $l_g = l_{g0} (1+\varepsilon_\sigma) (1+\Delta L(T)) (1+\Delta \rho(T))$ medida a través de su resistencia, R_G
- Cuando decíamos que se “*autocompensaba*” una banda extensométrica para un material determinado
 - ★ La idea era que, para ese material, se cancelara el efecto neto de la temperatura sobre la longitud, con el efecto de la temperatura sobre la resistencia.
- En ese caso, **si la compensación fuese perfecta**, y se deseara conocer el efecto de la tensión sobre la barra, tendremos:
 - ★ $l = l_0 \{1+\varepsilon_\sigma + \varepsilon(T/l)\}$
 - ★ $l_g = l_{g0} \{1+\varepsilon_\sigma\}$



Instrumentación de una barra de eje recto sometida a tracción simple (Medio Puente)

* Falsa banda sobre barra no deformada

→ Si la T varía desde T_0 hasta $T_0 + \Delta T$,

$$\star l = l_0 (1 + \varepsilon_\sigma) (1 + \Delta L(T))$$

$$\star l_g = l_{g0} (1 + \varepsilon_\sigma) (1 + \Delta L(T)) (1 + \Delta \rho(T))$$

$$\star l_g (\text{dummy}) = l_{g0} (1 + \theta) (1 + \Delta L(T)) (1 + \Delta \rho(T))$$

→ La salida del puente será,

$$\star V_s = f(l_g - l_g(\text{dummy})) = f(\varepsilon_\sigma)$$

→ Tenemos así, una **verdadera medición de esfuerzo**,

★ detecta exclusivamente, deformaciones debidas a las fuerzas actuantes, sin considerar las causadas por esfuerzos térmicos.

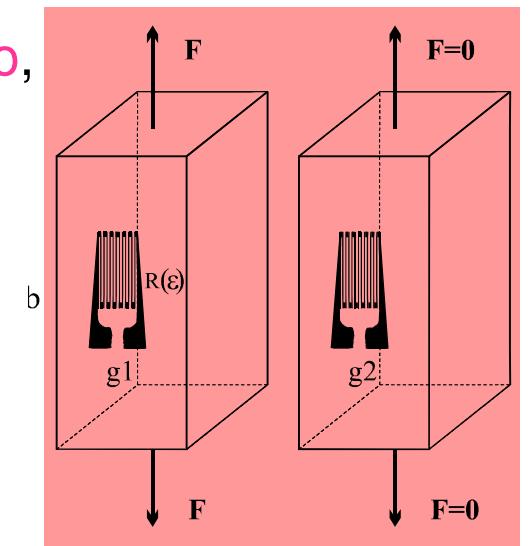
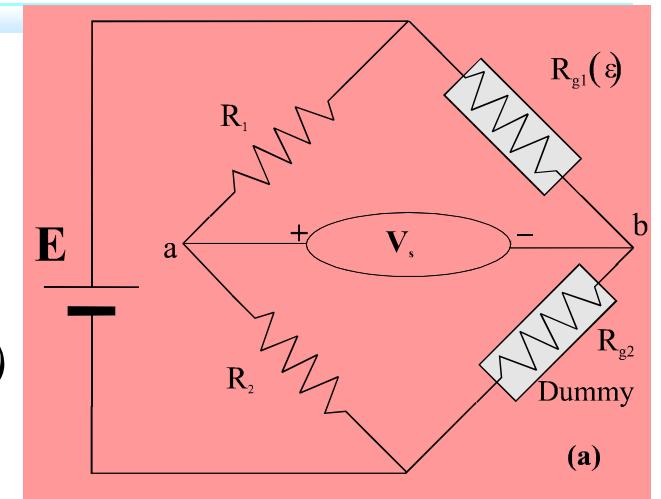
→ Igual que en la sección anterior la deformación será:

$$\varepsilon = \frac{-4V_r}{GF * (1 + 2V_r)}$$

★ Conclusiones

⇒ la respuesta es no-lineal

⇒ hay verdadera compensación de temperatura, a lazo cerrado



Instrumentación de una barra de eje recto sometida a tracción simple (Medio Puente, cont.)

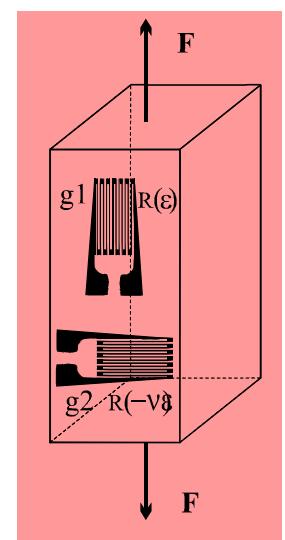
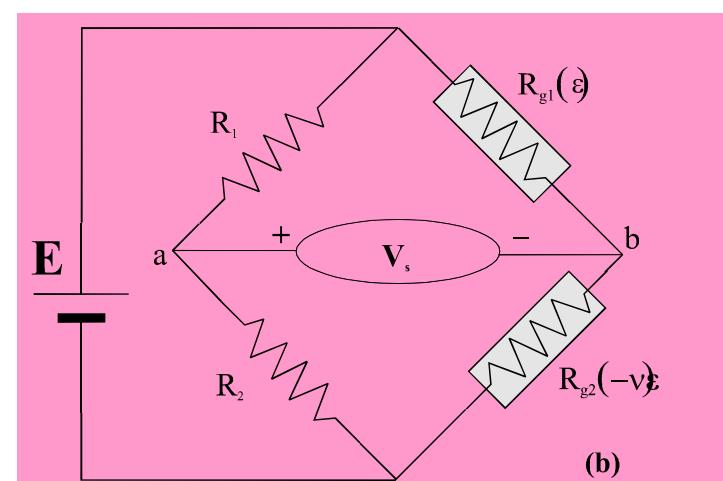
* Strain gage activa sobre barra sometida a deformación

- Similar a la sección anterior se puede demostrar que
- El efecto de la temperatura se analiza de modo idéntico a lo visto,
 - ★ $l = l_0 (1 + \varepsilon_\sigma) (1 + \Delta L(T))$
 - ★ $l_g = l_{g0} (1 + \varepsilon_\sigma) (1 + \Delta L(T)) (1 + \Delta \rho(T))$
 - ★ $l_g (\text{compensadora}) = l_{g0} (1 - \nu \varepsilon_\sigma) (1 + \Delta L(T)) (1 + \Delta \rho(T))$
- La salida del puente será función de $(l_g - l_g(\text{compensadora}))$
- ★ $V_s = f(\varepsilon_\sigma, \nu)$

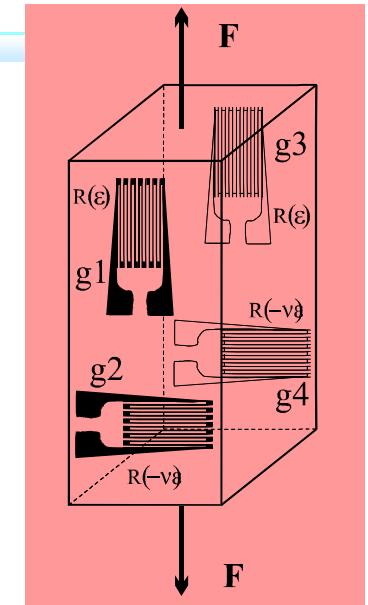
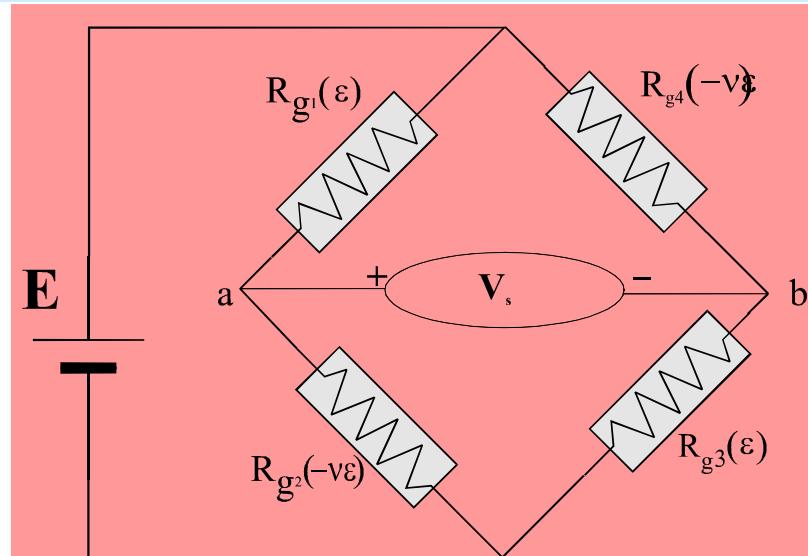
→ Conclusiones

- ★ hay compensación de temperatura
- ★ la respuesta es no-lineal
- ★ instalación más simple

$$\varepsilon = \frac{-4V_r}{GF^*[(1+\nu) + 2(1-\nu)V_r]}$$



Instrumentación de una barra de eje recto sometida a tracción simple (Puente Completo)



★ Se puede demostrar

→ que la deformación viene dada, para esta configuración circuital, por:

$$\varepsilon = \frac{-2V_r}{GF * [(1 + \nu) + (1 - \nu)V_r]}$$

→ Conclusiones

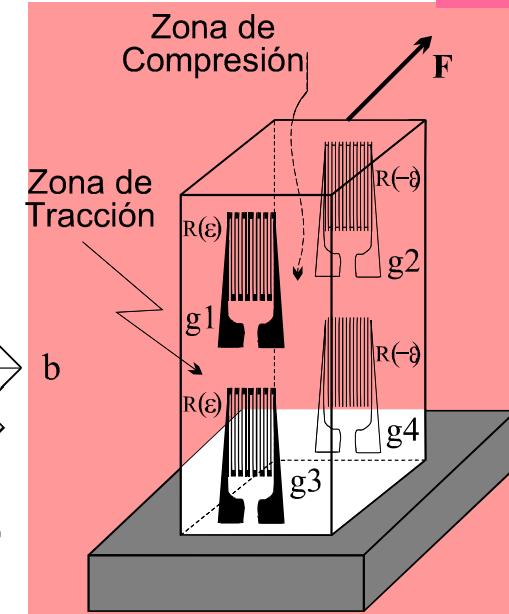
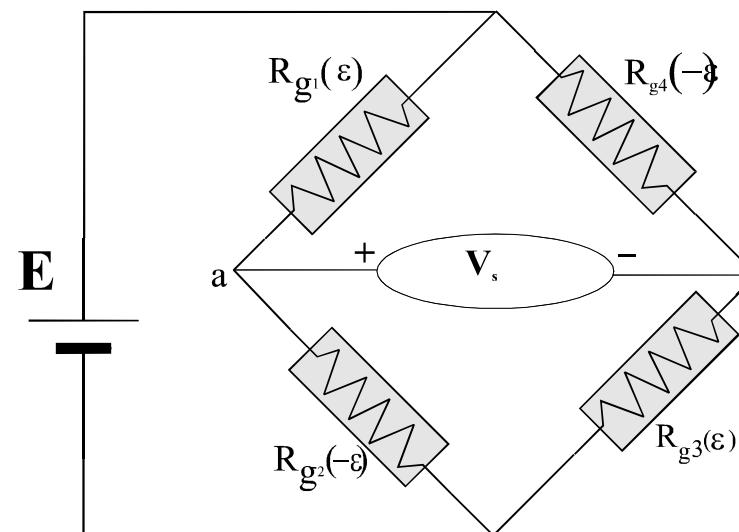
- ★ hay compensación de temperatura
- ★ la respuesta es no-lineal
- ★ mayor sensibilidad
- ★ facilidad de instalación

Instrumentación de barra prismática de eje recto sometida a flexión simple (Puente Completo)



Se puede demostrar que para esta configuración,

$$\varepsilon = \frac{-V_r}{GF}$$



→ Conclusiones

- ★ hay compensación de temperatura
- ★ la respuesta es lineal

Barra prismática de eje recto sometida a tracción y flexión simultáneas (Medio Puente *2)

→ Dejan de ser iguales los esfuerzos en superficies anterior e posterior

→ Si se instrumenta como se muestra

- ★ g_1 & g_3 : tracción + flexión
- ★ g_2 & g_4 : tracción - flexión

→ Del puente g_1/g_2 se obtiene la deformación por tracción por

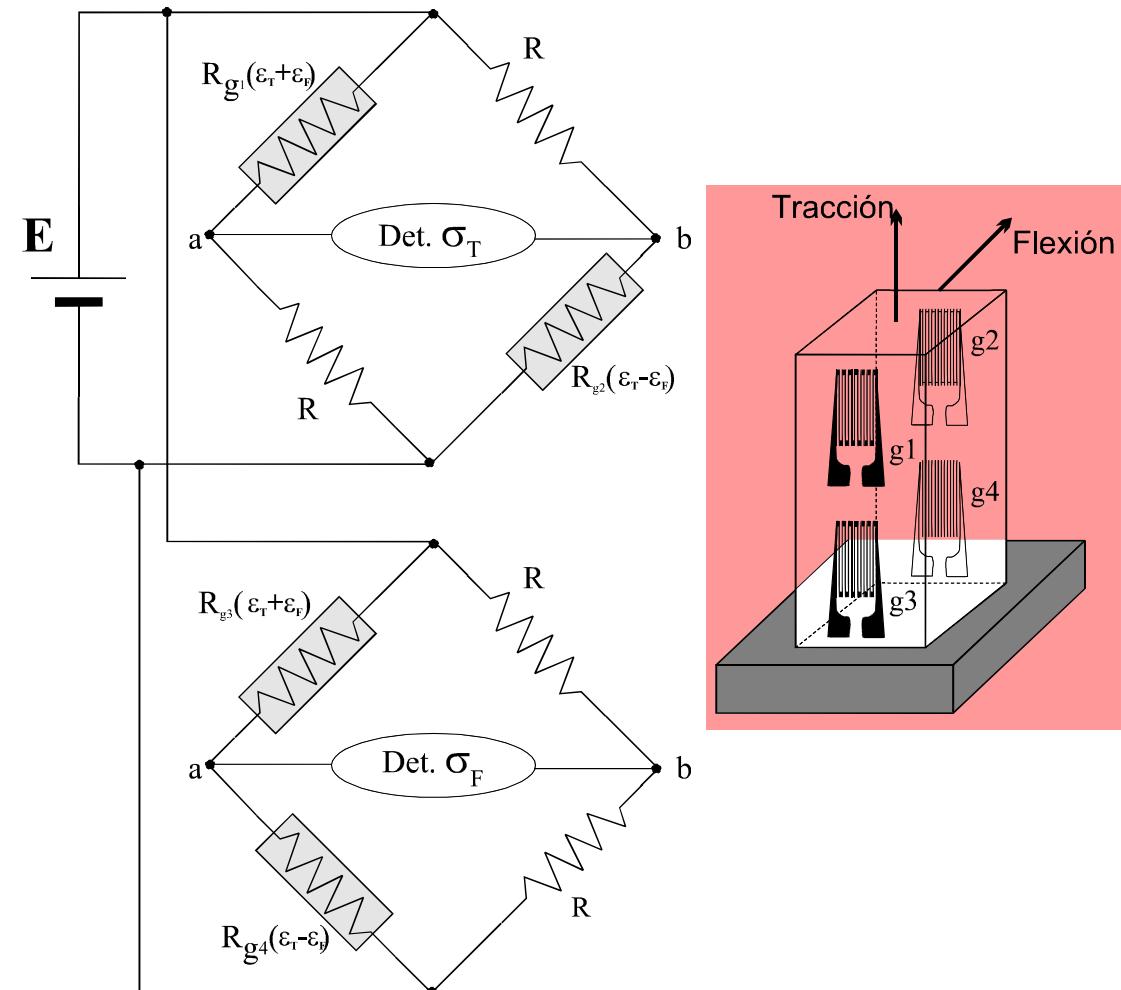
$$\varepsilon_T = \frac{-2V_r}{GF}$$

→ y del puente g_3/g_4 se obtiene la deformación por flexión:

$$\varepsilon_F = \frac{-2V_r}{GF}$$

→ Conclusiones

- ★ hay compensación de temperatura
- ★ la respuesta es lineal



Instrumentación de un eje sometido a torsión (Puente Completo)

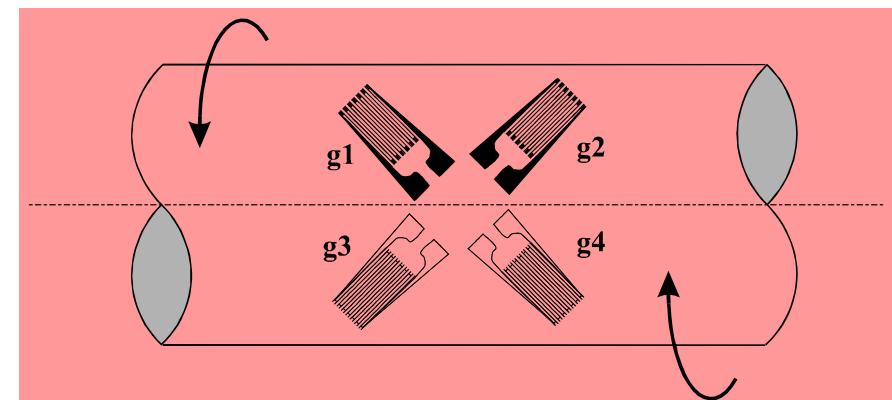
* Si

- Se instrumenta con los ejes de las bandas extensométricas formando 45° con las generatrices del cilindro, se obtiene la deformación por torsión γ como:

$$\star \quad \gamma = 2 \cdot \varepsilon_{@45^\circ}$$

- Se obtiene la siguiente ecuación para la deformación medida en función de la tensión del puente :

$$\gamma = \frac{-V_r}{GF}$$



- Aplicando la definición del módulo de corte, G , se obtiene el esfuerzo, τ , y a partir de éste se calcula el torque, T , que lo originó, aplicando principios de Resistencia de Materiales para el caso.

* Conclusiones

- hay compensación de temperatura
- la respuesta es lineal
- se compensan los esfuerzos de tracción y flexión.

Instalación Mecánica de Bandas Extensométricas

- ✳ Selección del sitio en que debe pegarse la banda.
- ✳ Selección de la “roseta” más adecuada para la medición.
- ✳ Pegado de la banda extensométrica a la superficie a medir
- ✳ Soldado de los terminales a los hilos de conexión.
- ✳ Protección de influencias externas (humedad, agresiones mecánicas, etc.) de acuerdo a las condiciones del ambiente.
- ✳ Verificación de la instalación:
 - ➡ se recomienda medir la resistencia eléctrica del sensor no-deformado,
 - ★ en condiciones de laboratorio y habiendo utilizado adhesivos que curan a temperatura ambiente, el valor de resistencia debe caer dentro de la banda de error especificada para el sensor
 - ★ en condiciones industriales, pueden aceptarse diferencias de resistencia de hasta el 2% del valor nominal especificado.
 - ➡ Resistencia de aislación de la banda extensométrica respecto de la pieza sobre la que va montada (deben verificarse valores superiores a los $1000\text{ M}\Omega$).

Selección de Bandas Extensométricas

Características Típicas a Considerar

* Longitud del sensor

- ➔ Cortos: longitud activa inferior a 3 mm
- ➔ Normales, con longitudes activas entre 3 y 10 mm
- ➔ Largos: de longitudes superiores a 10 mm.

* Montaje de sensores

- ➔ Depende del conocimiento del estado de esfuerzo.
- ➔ Múltiples bandas extensométricas simples vs. Montaje de una roseta

* Resistencia Nominal

- ➔ Valores típicos de 120, 350 y 700Ω
- ➔ Margen de error respecto al valor nominal, habitualmente hasta 1%.
- ➔ Los sensores de 120Ω son los más comunes; los de 350Ω muestran
 - ★ menor autocalentamiento,
 - ★ menor incidencia de los errores causados por el cableado y
 - ★ una mejor relación señal/ruido.

* Materiales componentes de la aleación sensible

Selección de Bandas Extensométricas

Características Típicas a Considerar

- ✿ Materiales componentes de la aleación sensible
- ✿ Material de Soporte y Tipo de encapsulado
 - ➔ Polimida: flexible, resistente, fácil de pegar sobre superficies irregulares, de fácil manipuleo y alta elongación máxima.
 - ➔ Resina fenólica reforzada con fibra de vidrio: alta calidad y precisión.
 - ➔ Kapton: mejora el desempeño de los anteriores carriers.
- ✿ Compensación Térmica
- ✿ Forma, materiales y dimensiones de las islas de conexión
- ✿ Costo

MEDICIÓN DE FUERZAS Y DEL PESO

* La fuerza mecánica puede medirse utilizando distintos métodos, todos ellos indirectos:

- ➔ Aprovechando la salida de un acelerómetro
- ➔ Contando franjas de interferencia en un sistema óptico
- ➔ Aprovechando el efecto piezoelectrico
- ➔ mediante la tecnología de bandas extensométricas.

* **Principio de medición con bandas extensométricas:**

- ➔ Utilizar la fuerza o el peso que se desea medir para deformar una pieza de material elástico (*captor*), instrumentado con bandas extensométricas.
- ➔ Al *conjunto sensor* se lo conoce como *celda de carga*, y convierte la fuerza que actúa sobre él, en una señal eléctrica analógica (variación de la resistencia de las strain gages que lo forman).

* Veremos,

- ➔ Tipo de material a utilizar como captor,
- ➔ Algunas variantes muy simples para convertir fuerza o peso en deformación,
- ➔ Instalación de bandas extensométricas sobre el captor, cuya salida (ΔR) se utiliza para calcular deformación, y de allí, fuerza o peso.
- ➔ Aplicaciones

CELDAS DE CARGA

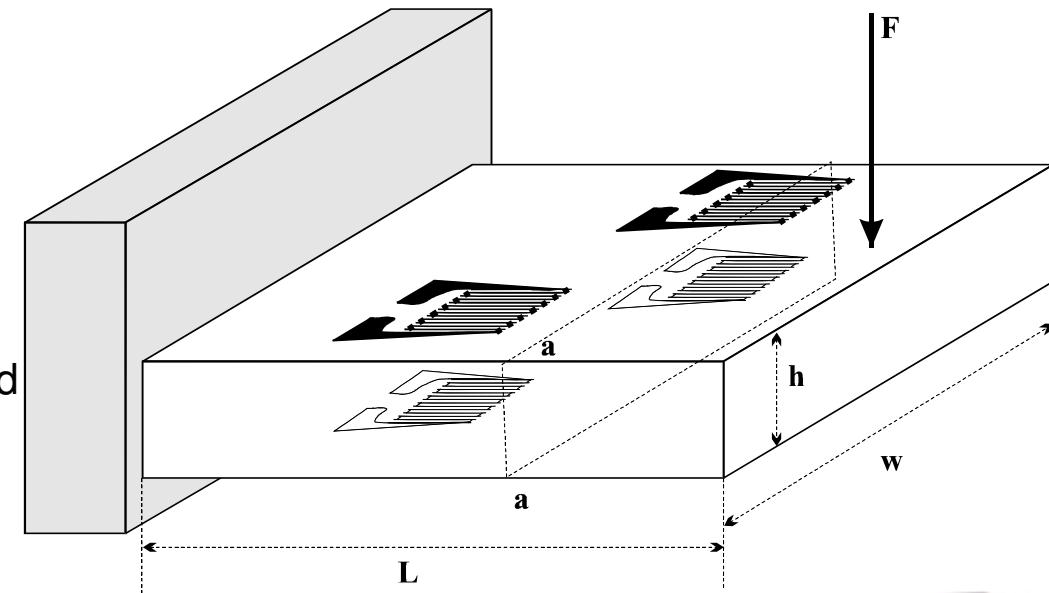
[Ver Load Cells, Force Sensors and Torque Transducers.htm](#)

Material del captor

→ Requerimientos:

- ★ Elevada rigidez
- ★ Elevada carga de ruptura
- ★ Elevado límite elástico
- ★ Bajo módulo de elasticidad

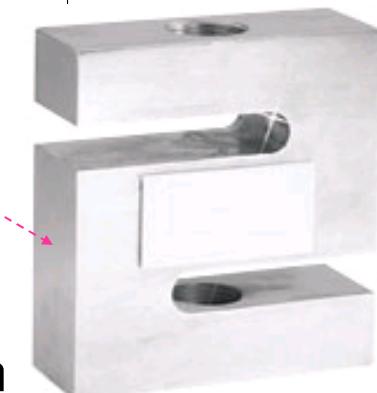
Captadores basados en flexión



Captores basados en tensión-compresión

La Teoría de Resistencia de Materiales

→ provee los elementos para relacionar la deformación acusada por la celda de carga con la fuerza que la provocó

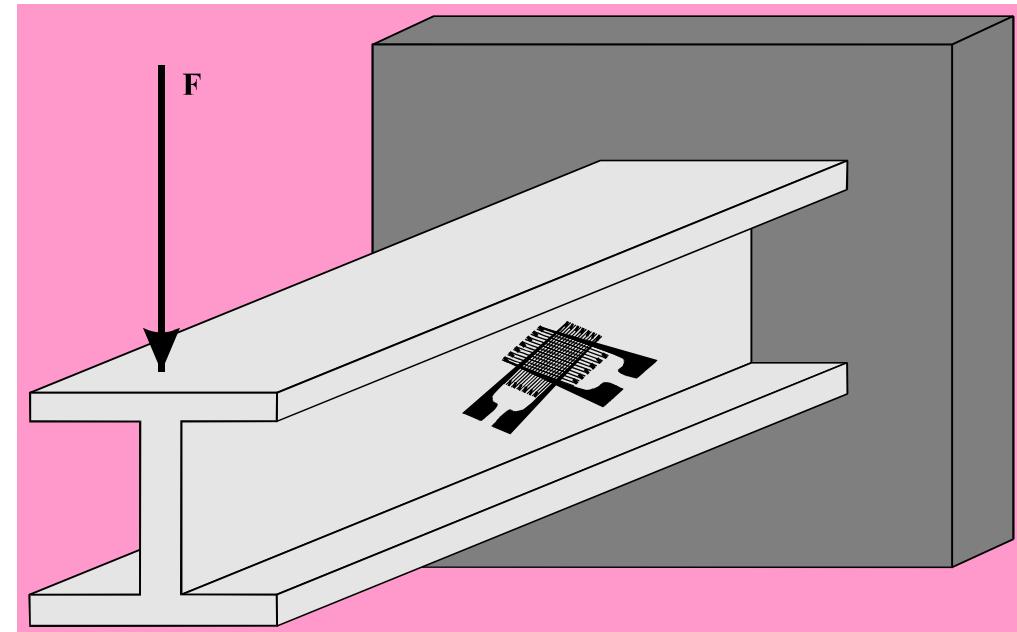


CELDAS DE CARGA

(cont.)

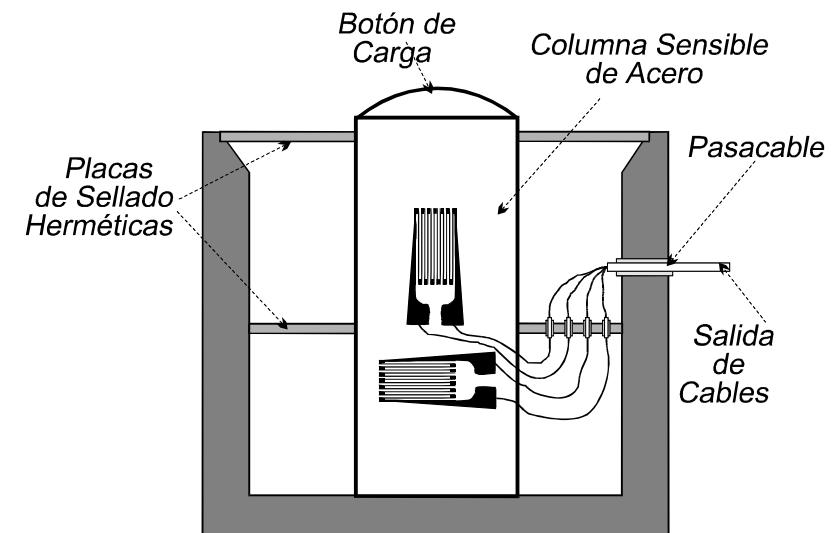
* Captores basados en esfuerzo de corte

- Constructivamente, se utiliza una geometría especial para el material captor, en doble-T de modo que el esfuerzo de corte se distribuya uniformemente sobre la sección a-a
- Esta configuración permite determinar el esfuerzo de corte, como, $\gamma = 2 * \varepsilon_{@45^\circ}$, y conociendo γ se puede determinar la fuerza vertical F_v que lo provocó



CELDAS DE CARGA (cont.)

* Captores basados en compresión



CELDAS DE CARGA

Ejemplo

Especificaciones generales

Tensión máxima de excitación(V):	15
Resistencia del puente (ohms):	350
Salida nominal (mV/V):	2
Rango compensado de temperatura (°C):	-18 a 65
Balance de 0 (% C.N.):	+/-1
Alinealidad (% C.N.):	0,03
Histéresis (% C.N.):	0,02
Repetibilidad (% C.N.):	0,02
Creep (% de la carga en 20'):	0,03
Longitud del cable:	1,5 m



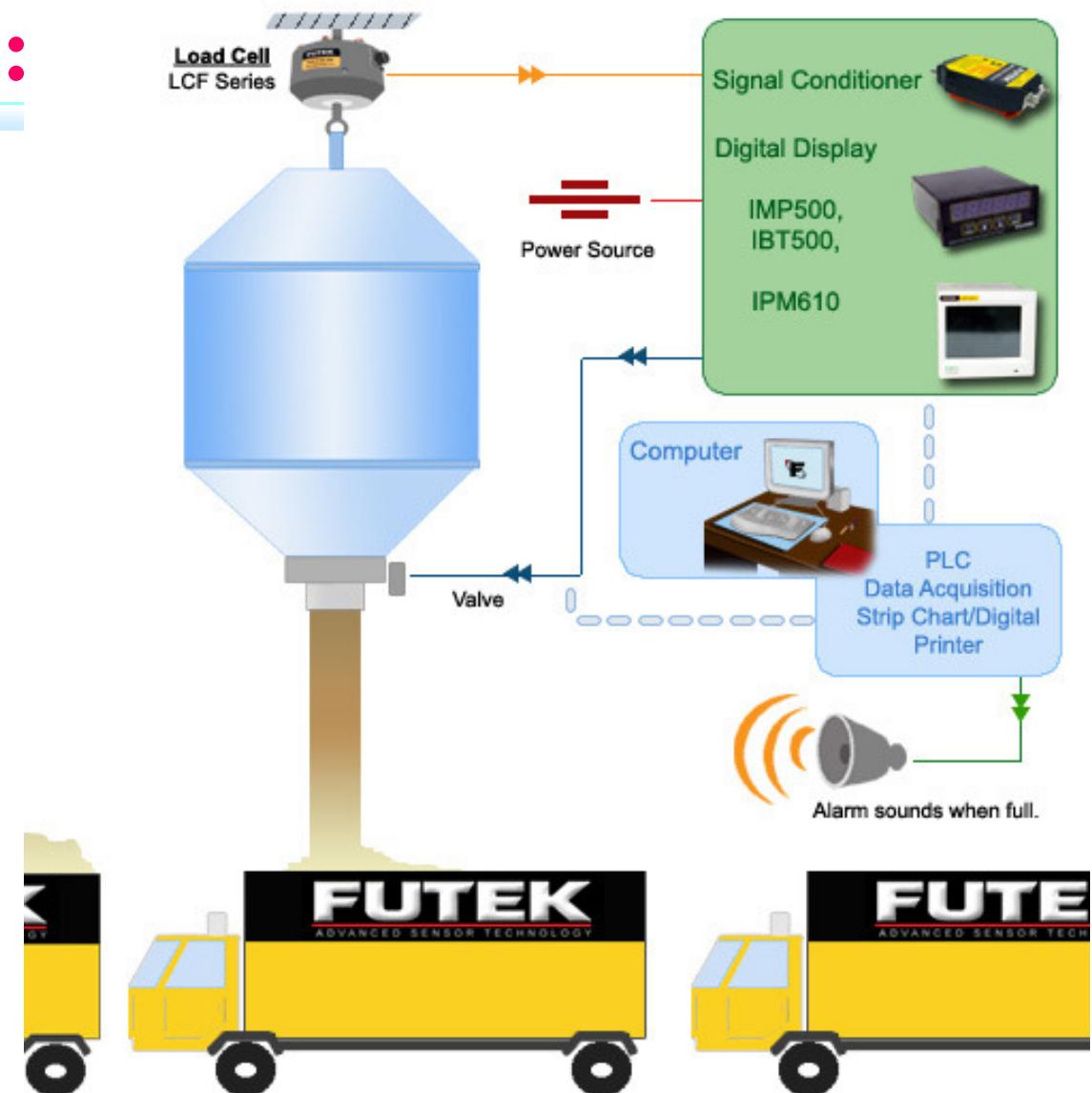
Sobrecarga admisible (% C.N.):	150
Corr. cero por temp. (% C.N./°C):	+/-0,003
Corr. de sens por temp. (%C.N./°C):	+/-0,0015
Resistencia de aislación (Megaohms):	5000
Material base:	Aluminio
Código de colores:	



- $$\text{Sensibilidad} = \frac{\text{Salida nominal} * V_{\text{alimentación}}}{\text{Carga nominal}}$$

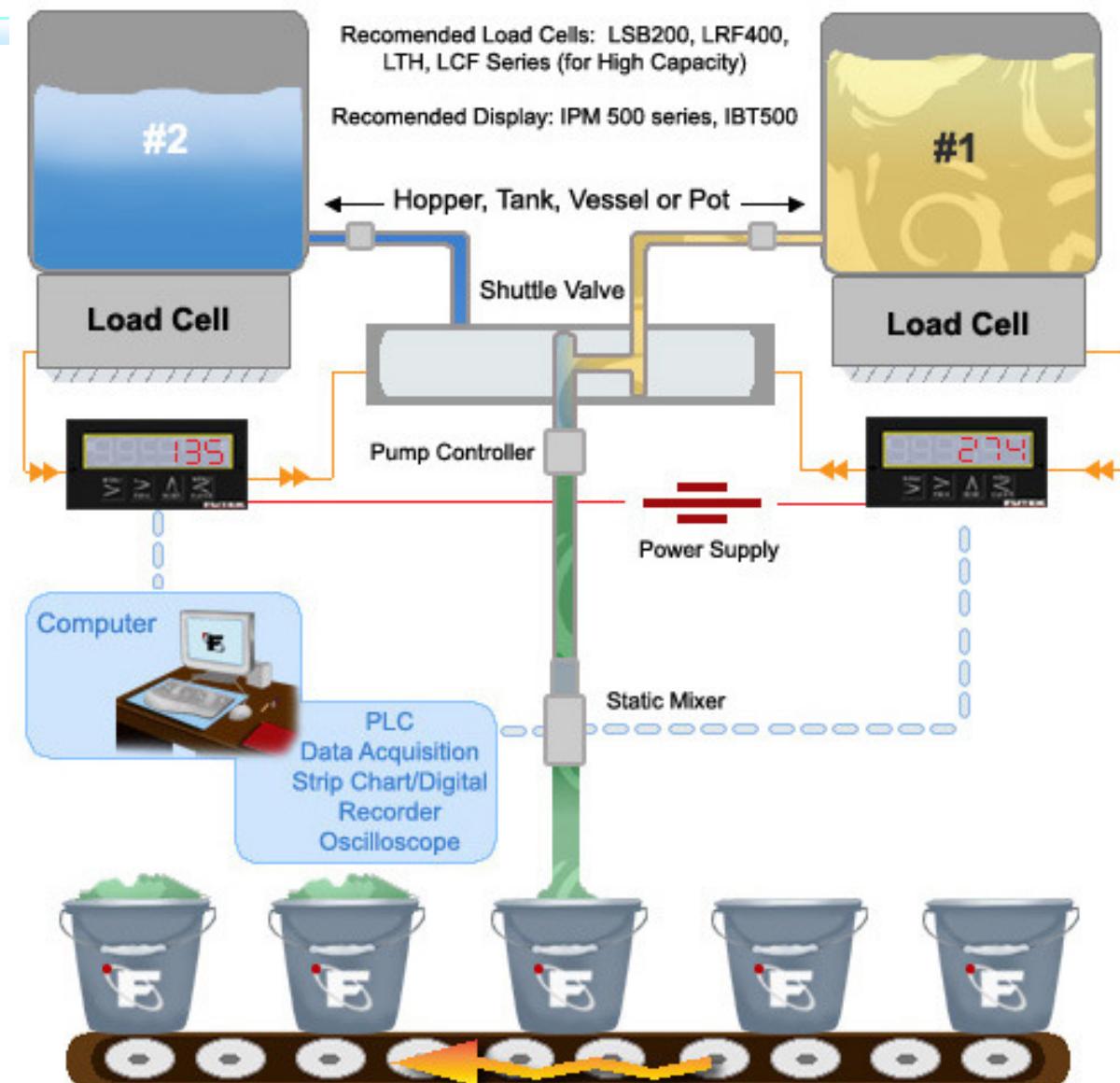
Aplicación de Celdas de Carga: Distribución de Materiales y Control de Nivel

Application 103

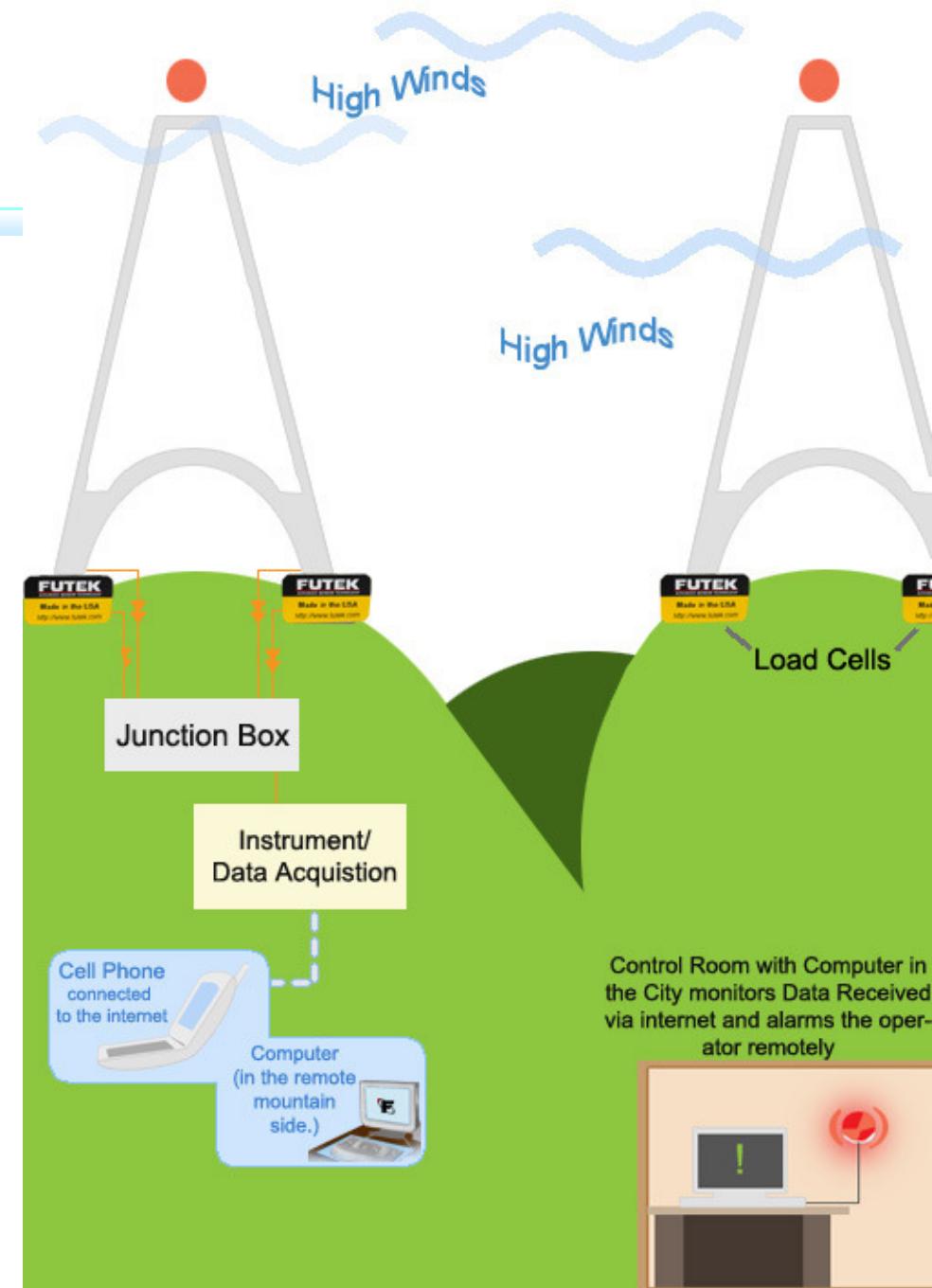


Aplicación de Celdas de Carga: Llenado de envases con mezcla

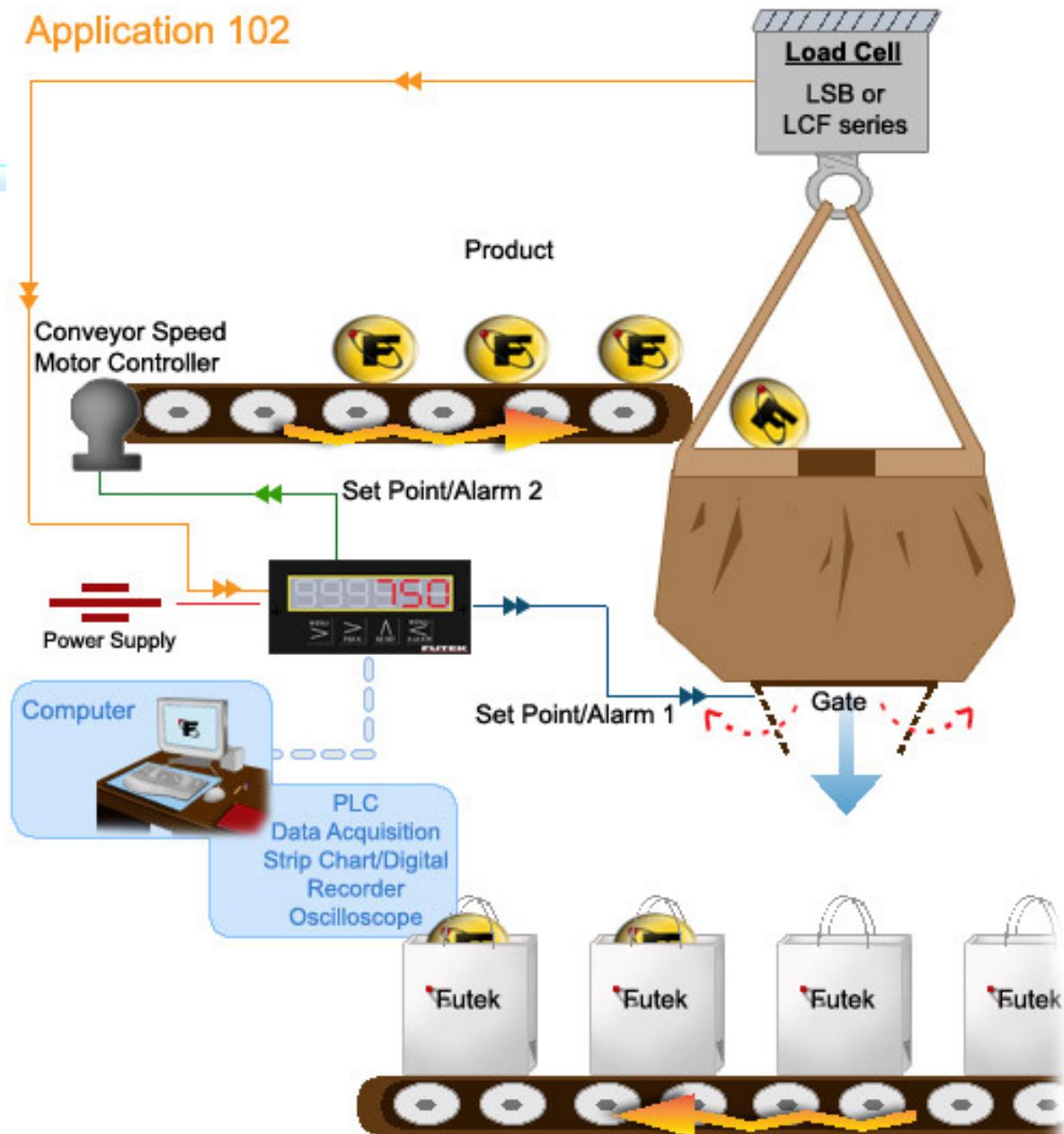
Application 101



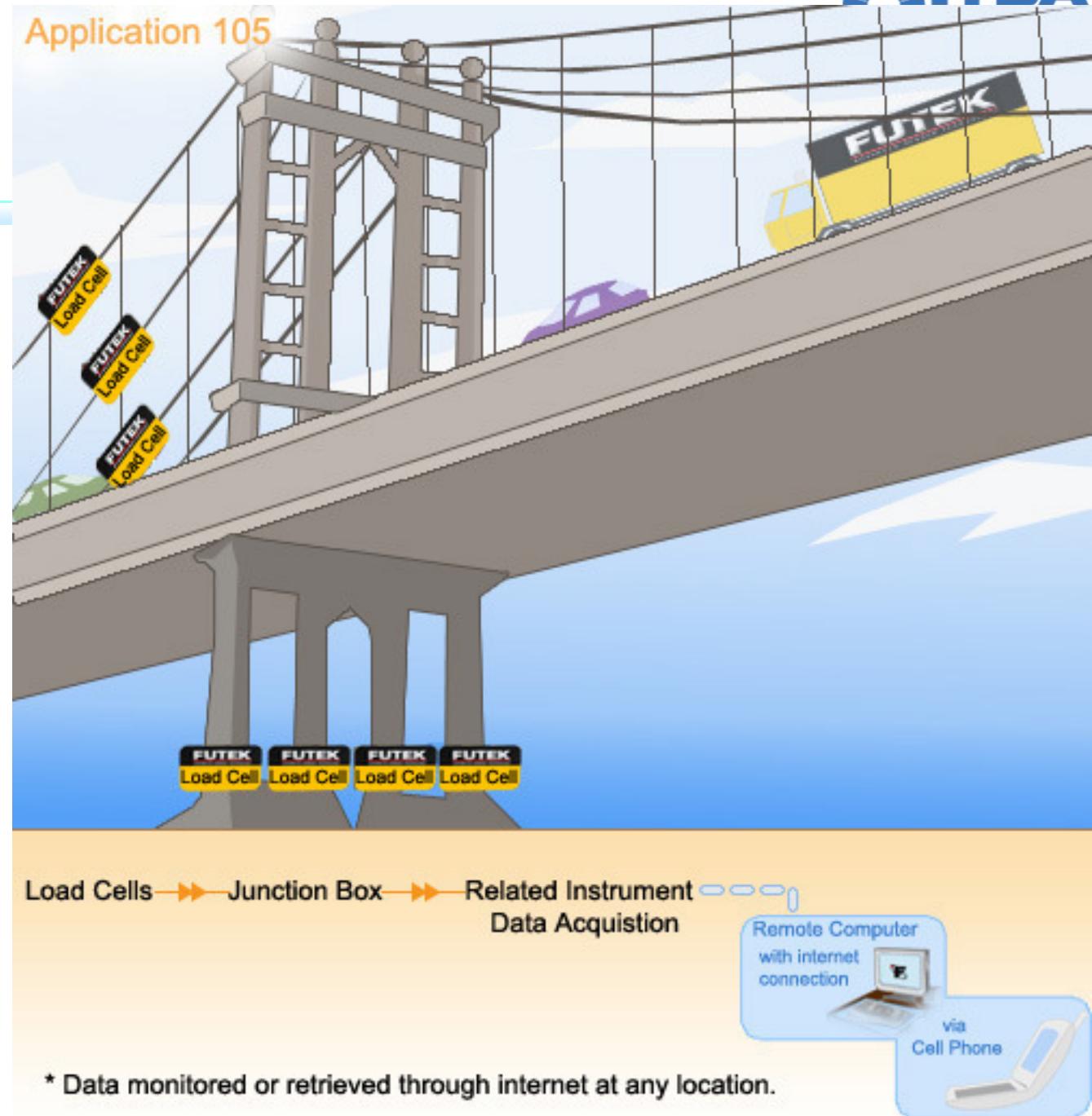
Aplicación de Celdas de Carga: Medición de esfuerzos debidos al viento



Aplicación de Celdas de Carga: Llenado de bolsas de regalo

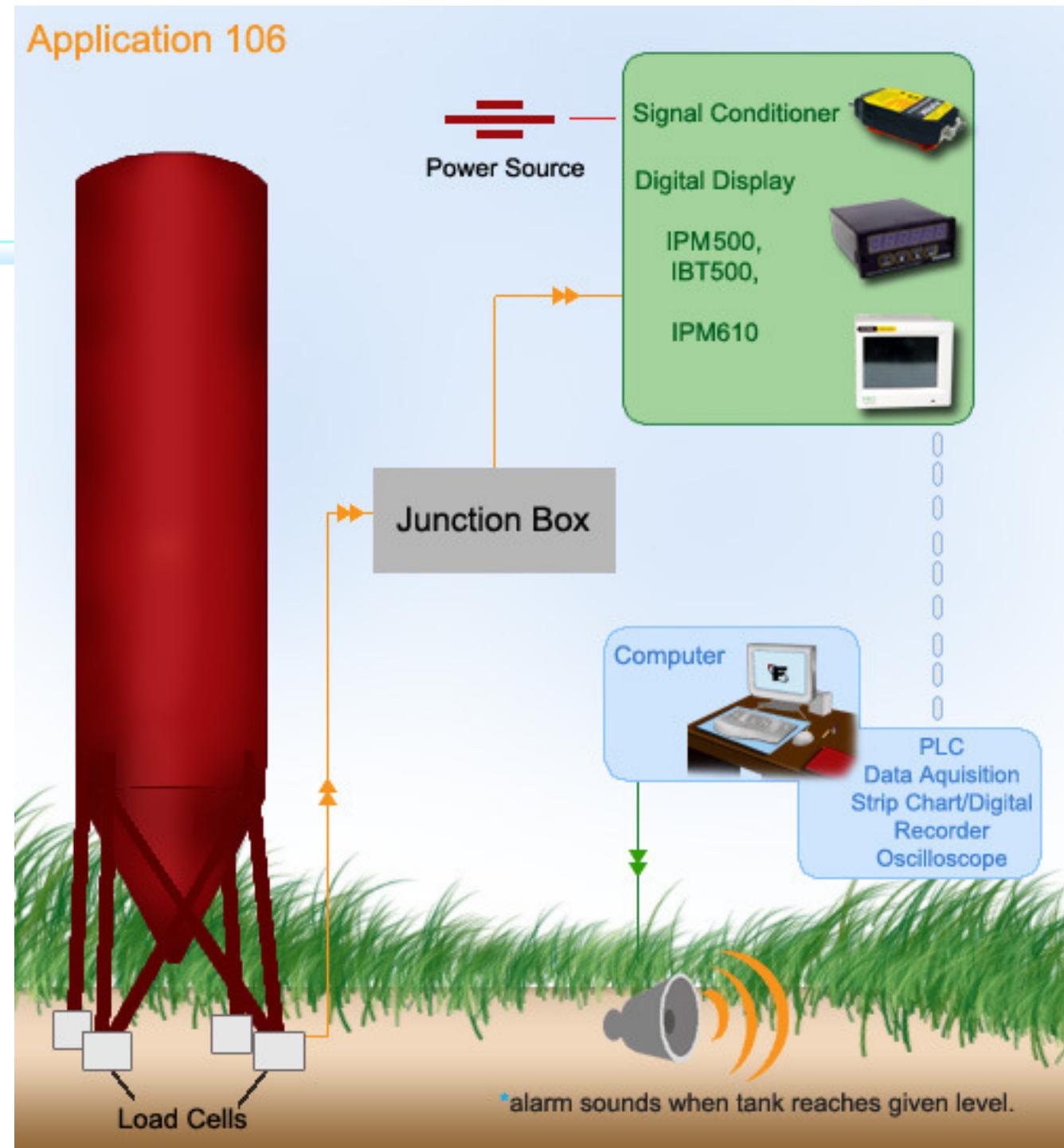


Aplicación de Celdas de Carga: Tensión en cables del puente



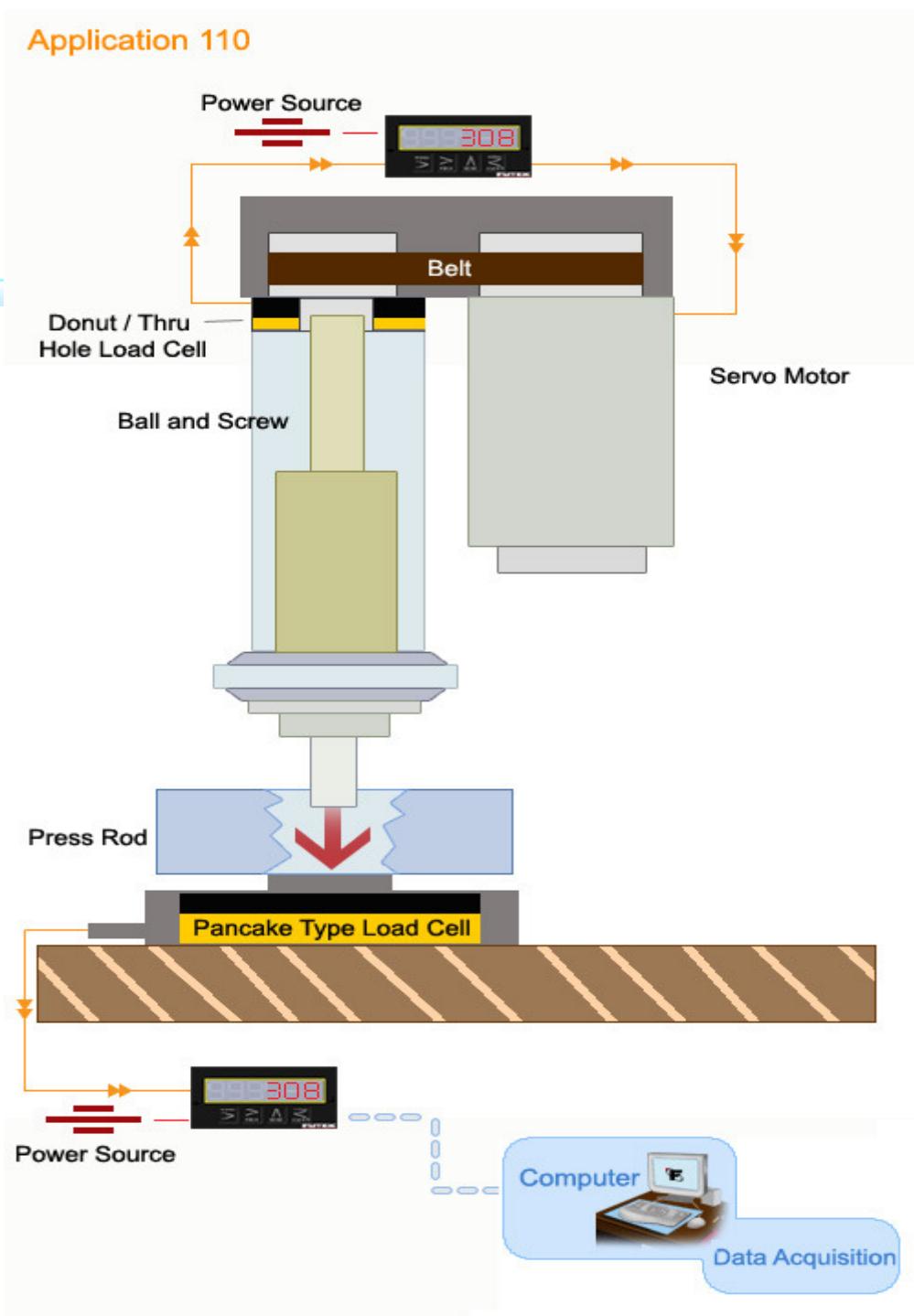
Aplicación de Celdas de Carga: Nivel de un silo

43



Aplicación de Celdas de Carga: Ensamble automático a lazo cerrado de componentes

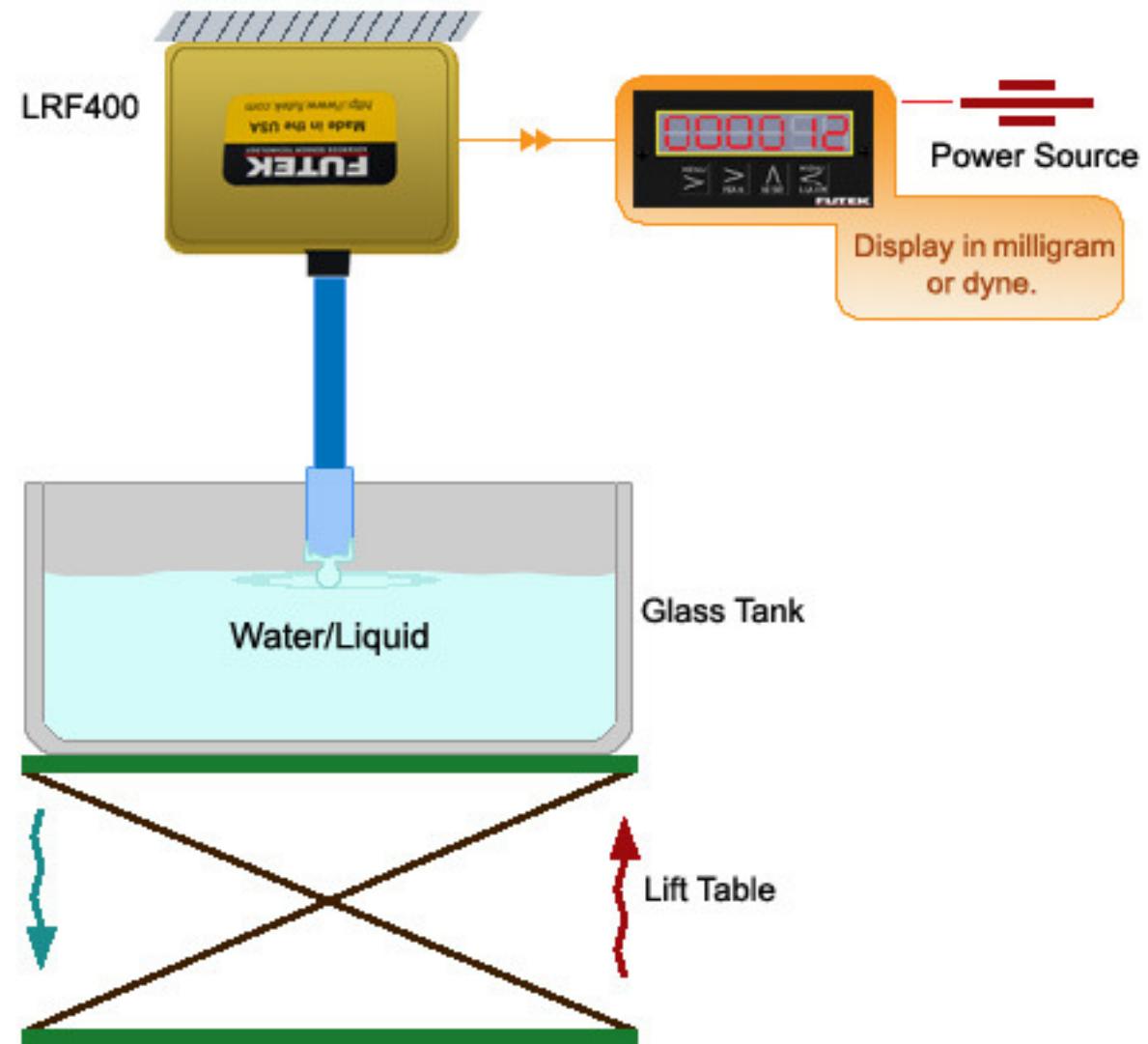
44



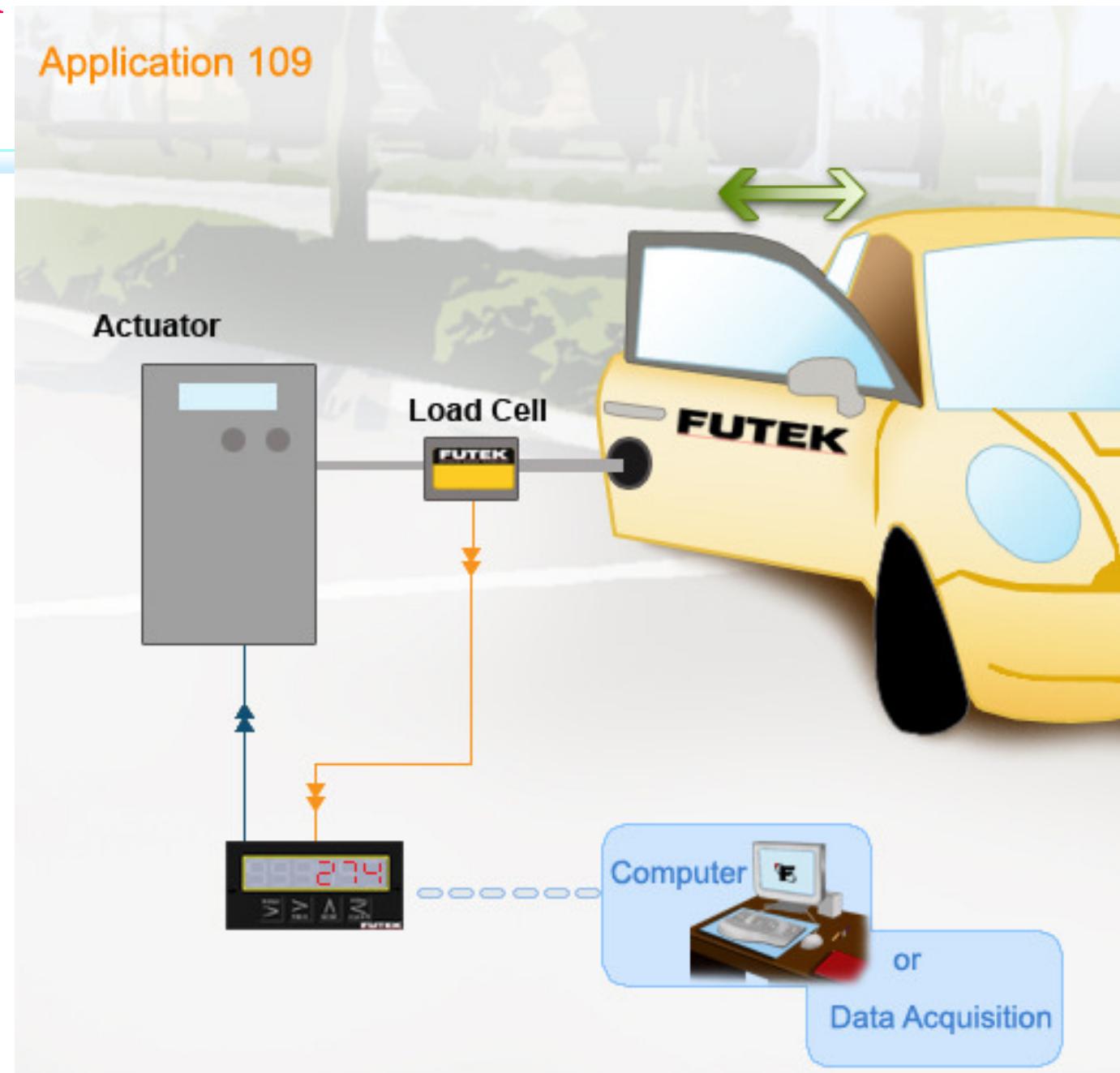
Aplicación de Celdas de Carga: Separación / Mezcla de distintos líquidos

Application 107

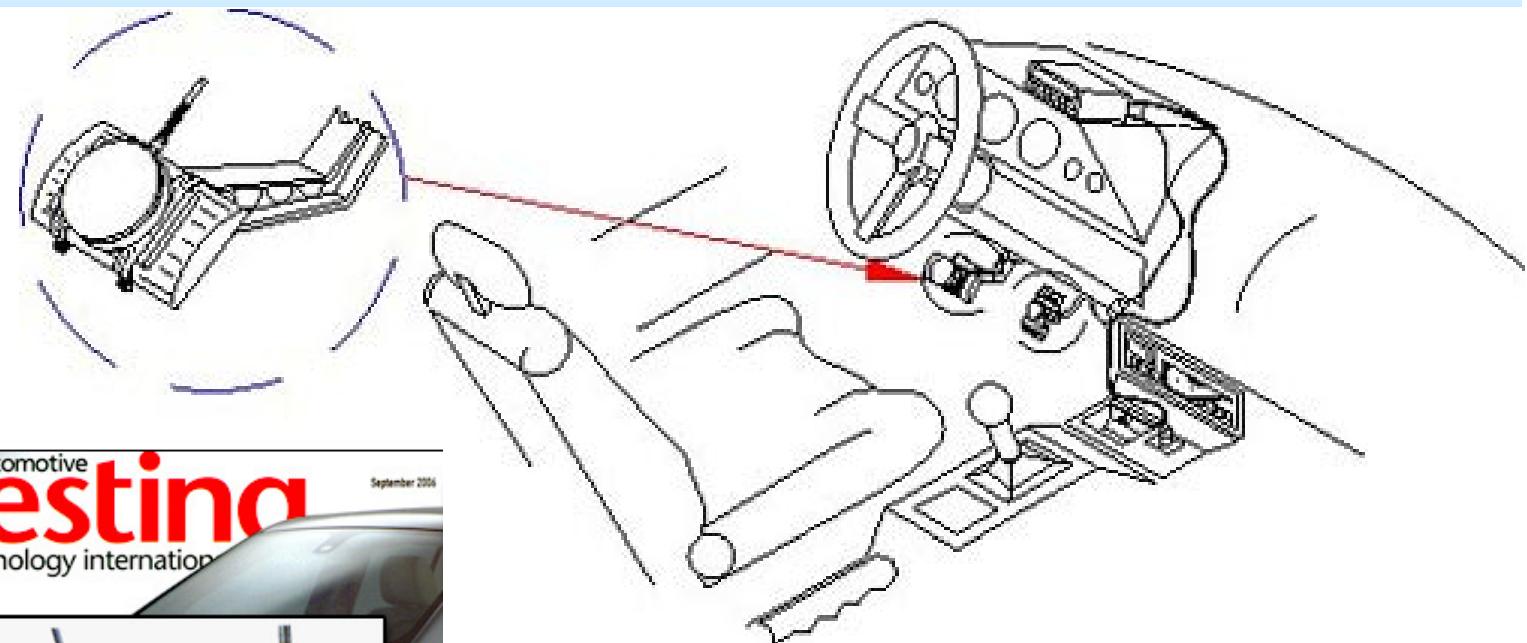
- MIT & NASA Utilize Futek Sensitive Dyne Sensor to measure water or liquid separation forces.



Aplicación de Celdas de Carga: Ensayo de puerta de automóvil

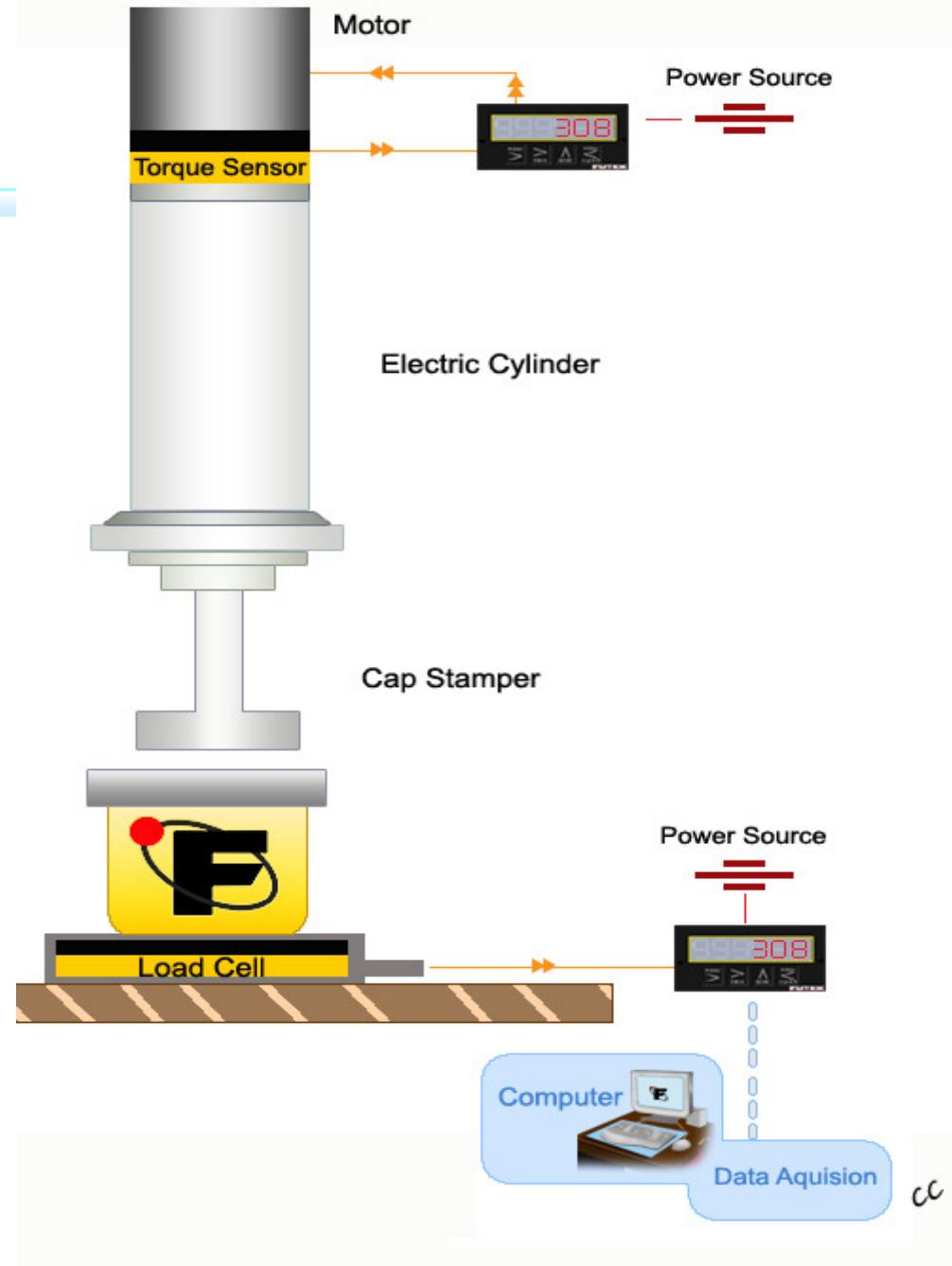


Aplicación de Celdas de Carga: Ensayo de freno de automóvil



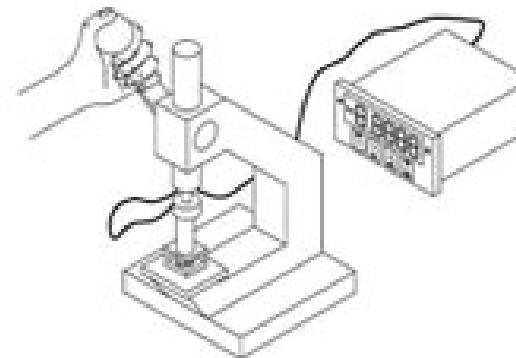
Aplicación de Celdas de Carga: Estampado / Tapado de Botellas y Envases

Application 116

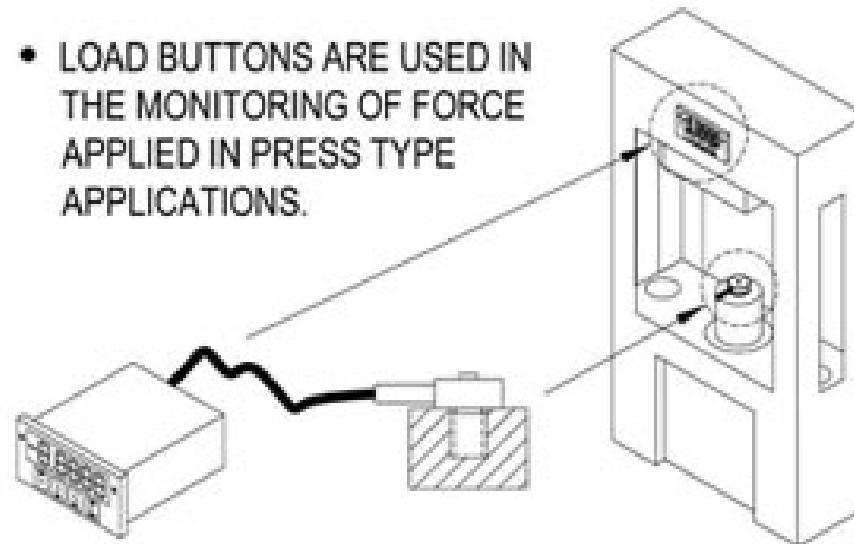


Aplicación de Celdas de Carga: Aplicaciones en prensas

- SENSOR MAY BE USED TO MONITOR FORCES IN AN ARBOR PRESS



- LOAD BUTTONS ARE USED IN THE MONITORING OF FORCE APPLIED IN PRESS TYPE APPLICATIONS.



Más aplicaciones en
http://www.futek.com/apps_load.aspx

SENSORES DE DETECCIÓN DE OBJETOS

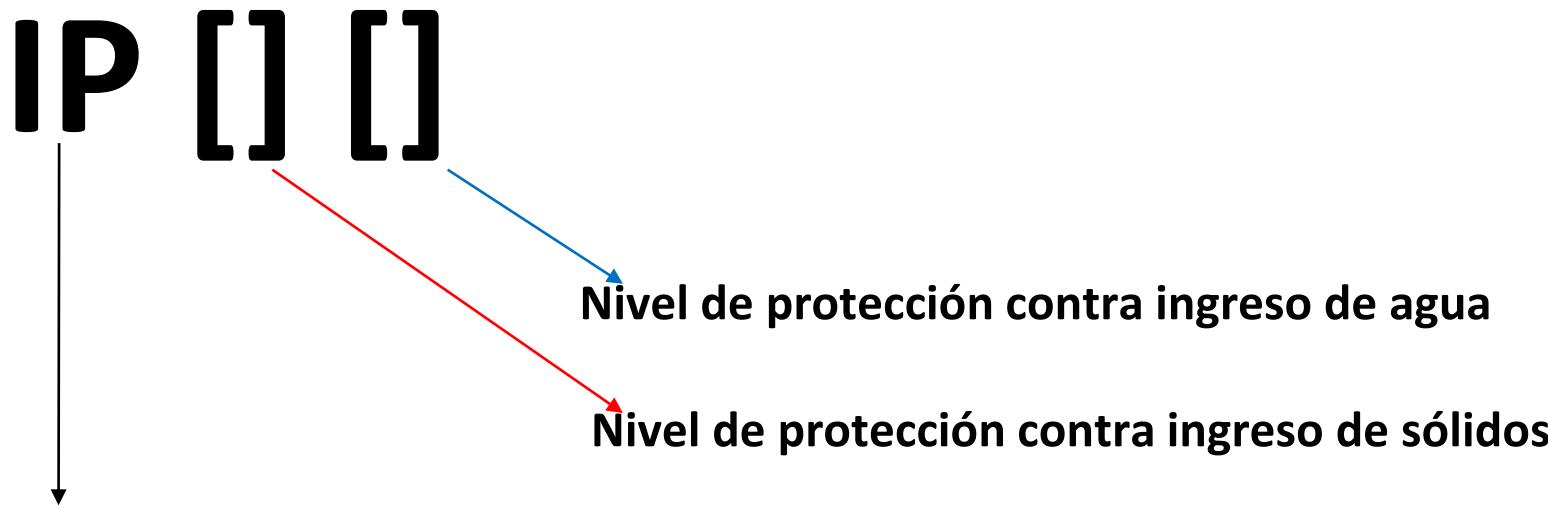
22.88

AGENDA

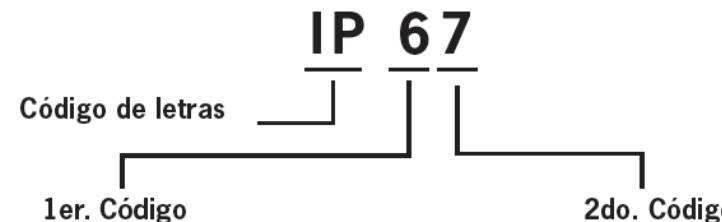
- Conceptos Básicos
- Sensores de detección mecánica
- Sensores de proximidad
 - Inductivos
 - Capacitivos
 - Fotoeléctricos
 - Ultrasónicos
 - Magnéticos
- Criterios de selección

Grado de Protección (IP)

- Cada uno de los sensores, conectores y cualquier otro dispositivo o equipo industrial puede ver alterado su funcionamiento ante la intrusión de cuerpos extraños o agua en su interior.
- Es por ello que la IEC (International Electrotechnical Commission) especifica el estándar 60529 para definir y clasificar el grado de hermeticidad de los equipos.
- La clasificación utiliza la siguiente codificación:



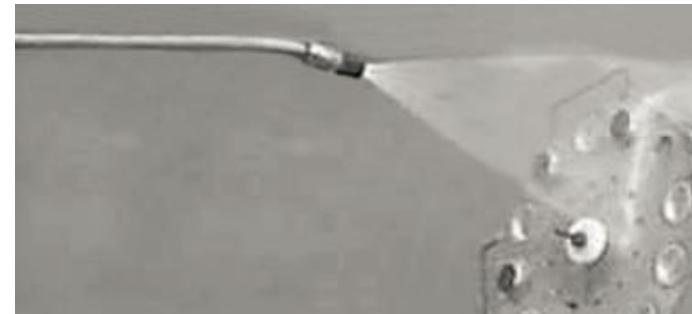
Grado de Protección (IP)



Nivel IP	Descripción del nivel de protección	Nivel IP	Descripción del nivel de protección
0	Sin protección	0	Sin protección.
1	Protegido contra objetos sólidos extraños de 50 mm de diámetro y mayor (protege contra una gran superficie de cuerpo, tales como el dorso de una mano).	1	Protegido contra la caída vertical de gotas de agua.
2	Protegido contra objetos sólidos extraños de 12.5 mm de diámetro y mayor (protege contra los dedos u objetos similares).	2	Protegido contra la caída vertical de gotas de agua cuando se inclina hasta 15°.
3	Protegido contra objetos sólidos extraños de 2.5 mm de diámetro y mayor (protege contra herramientas, cables gruesos, etc.).	3	Protegido contra salpicaduras de agua en un ángulo de hasta 60° a cada lado de la vertical.
4	Protegido contra objetos sólidos extraños de 1.0 mm de diámetro y mayor (protege contra la mayoría de los alambres, tornillos, etc.).	4	Protegido contra salpicaduras de agua contra el componente desde cualquier dirección.
5	Protegido de la cantidad de polvo que lo haría interferir con el funcionamiento normal.	5	Protegido contra agua proyectada en chorros de cualquier dirección.
6	Protegido contra polvo (no hay penetración de polvo, protección completa).	6	Protegido contra el agua en potente chorros desde cualquier dirección.
		7	Protegido contra la inmersión temporal en agua entre 15 cm y 1 m durante 30 minutos.
		8	Protegido contra la inmersión continua en agua más allá de 1 m.

Grado de Protección (IP)

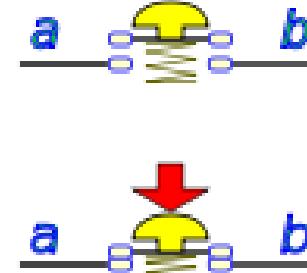
- El estándar alemán DIN 40050-9 extiende la norma descripta anteriormente, especificando la clasificación **IP69K** para aplicaciones donde se requiere **protección contra ingreso de agua a alta presión**.



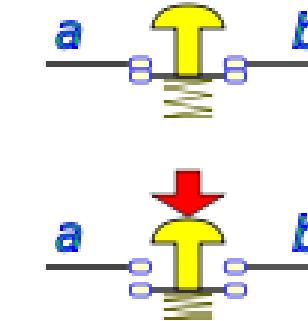
Circuito de conmutación

Un interruptor conmuta dos puntos: A y B. Se define cómo abierto si no permite la circulación de corriente, diremos que está cerrado si permite dicha circulación.

NA



NC



Tipo de salidas digital

- Contacto seco.
- Corriente continua:
 - Salida 3 hilos.
 - Salida 2 hilos.
- Corriente alterna:
 - Salida 2 hilos.

Transistores

Es un semiconductor, construido sobre una placa de silicio en el cual se diferencian 3 zonas dopadas con electrones (zona N) o huecos (Zona P)

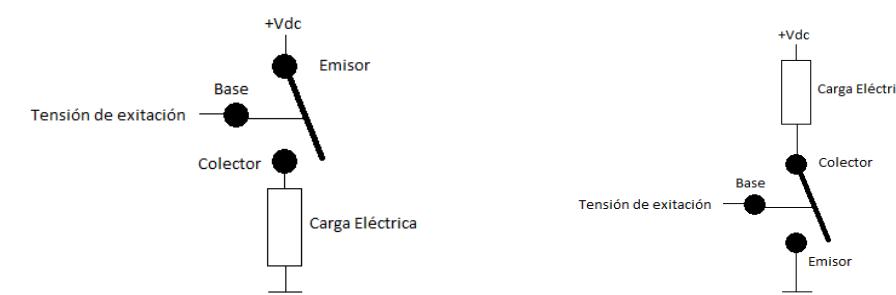
Esquema Constructivo



Esquema Eléctrico



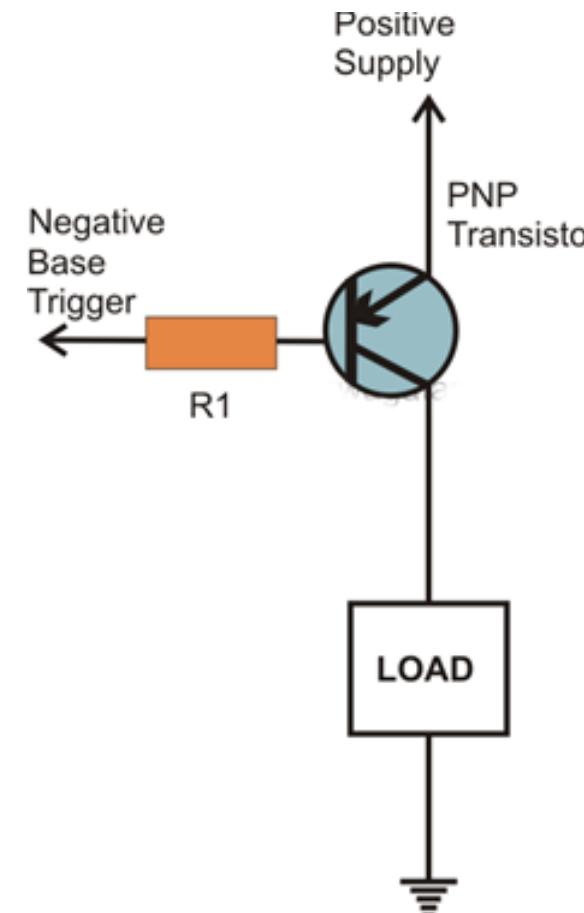
Esquema de funcionamiento
(Corte y Saturación)



Sensores PNP y NPN

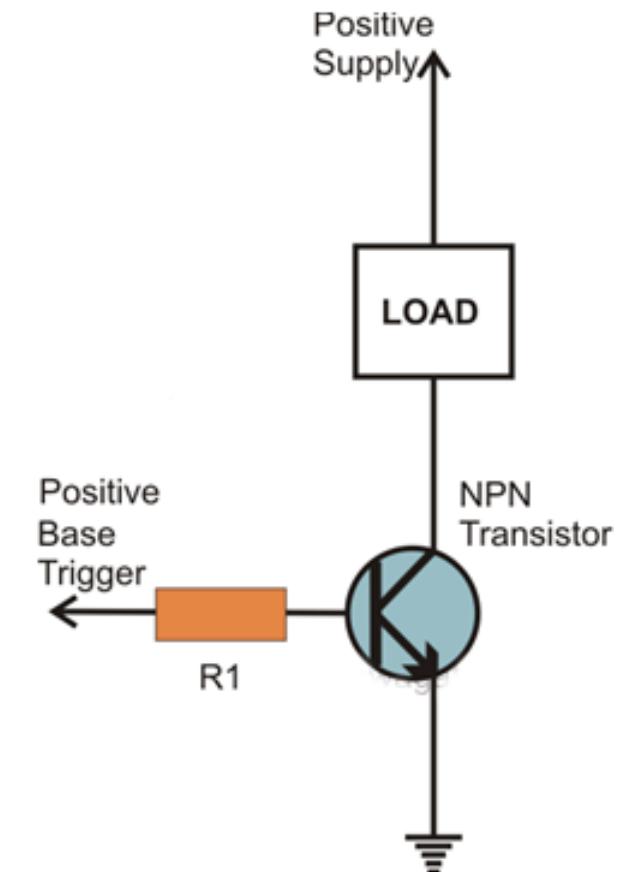
- **Sensor PNP:**

Commuta una terminal positiva



- **Sensor NPN:**

Commuta una terminal negativa



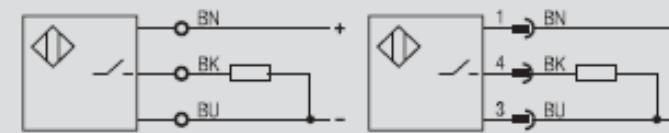
Esquema de conexiones 3 hilos CC

DC 3/4-Wire

Normally open

①

PNP (+) sourcing



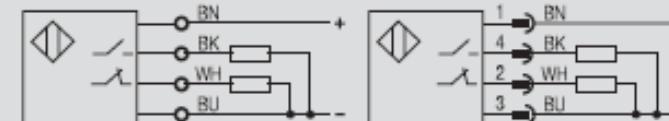
Normally closed

②



NO/NC

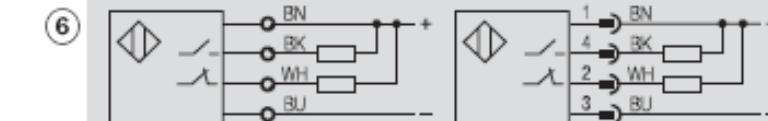
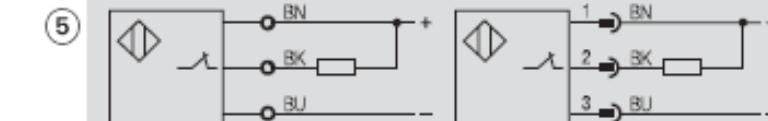
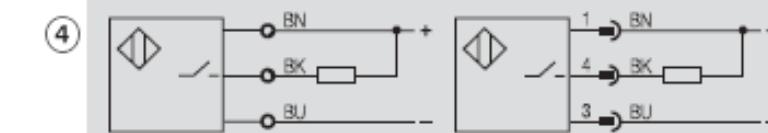
③



Cable/Terminals Connector

Cable/Terminals Connector

NPN (-) sinking



Esquema de conexiones 3 hilos CC

Ventajas

Corriente de fuga muy baja.

Típicamente con protección contra corto-circuito.

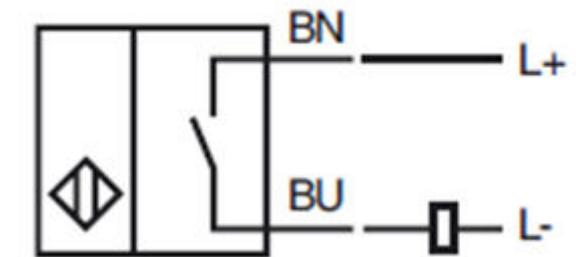
Desventajas

Configuración PNP o NPN

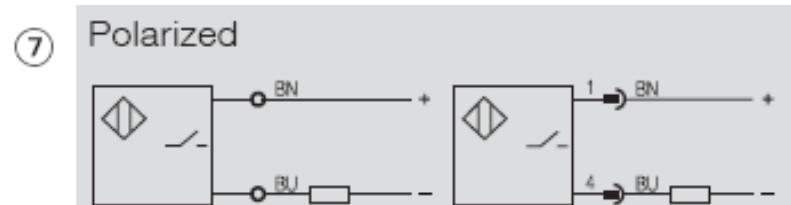
Mas hilos

Esquema de conexiones 2 hilos CC

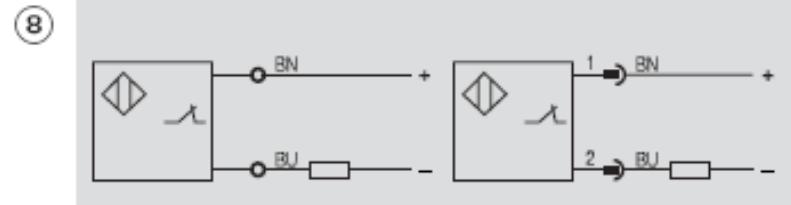
Círculo serie que mantiene activo al sensor constantemente.



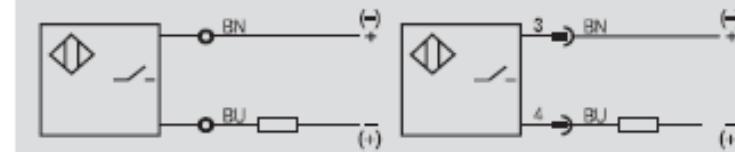
Normally open



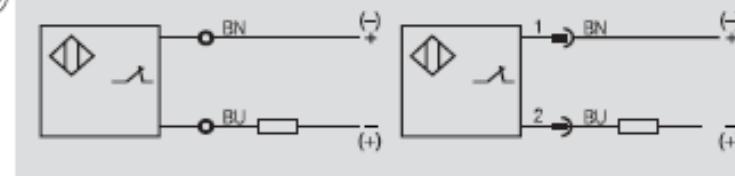
Normally closed



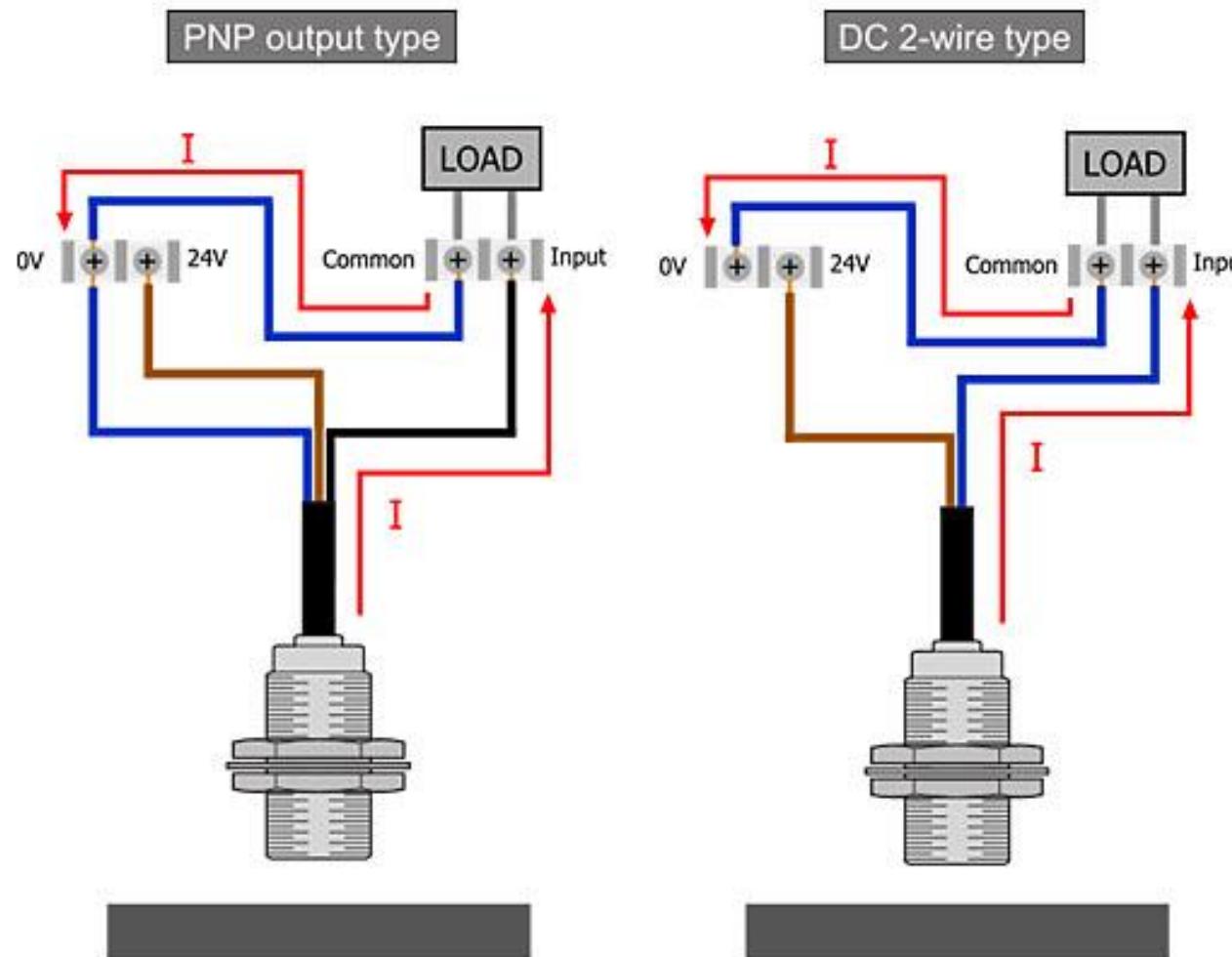
⑨ Non-polarized



10



Esquema de conexiones 2 hilos CC vs 3 hilos CC



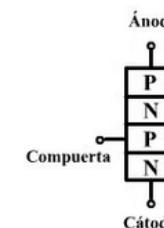
SCR y Tiristores

Construido sobre una placa de silicio en el cual se diferencian 4 zonas dopadas con electrones (zona N) o huecos (Zona P).

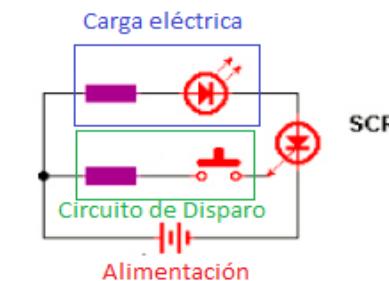
Esquema Eléctrico



Esquema Constructivo



Esquema de funcionamiento
(Corte y Saturación)



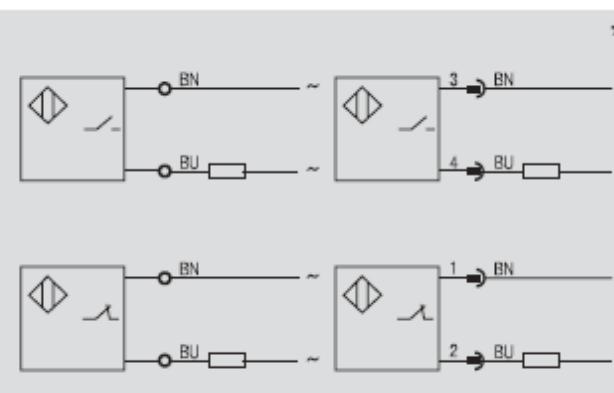
Esquema de conexiones AC

AC Sensor

5

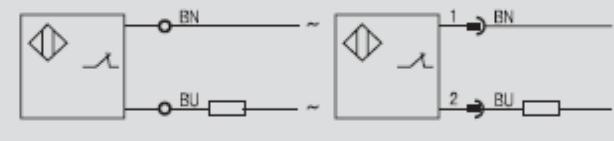
Normally open

⑪



⑫

Normally closed

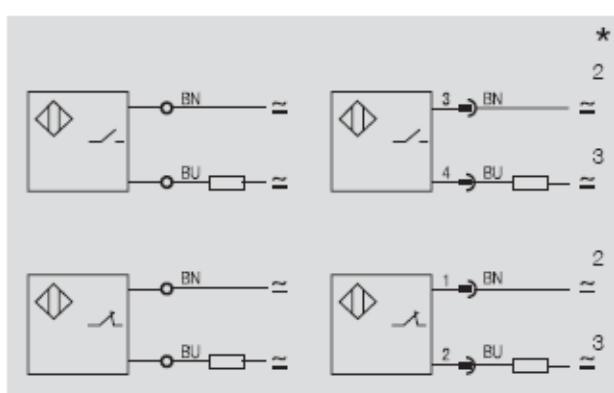


AC/DC

AC/DC-Sensors

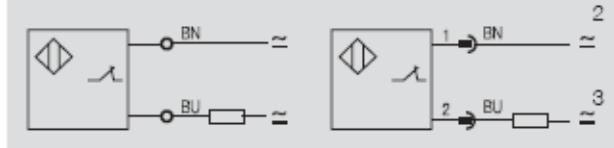
Normally open

⑯



⑰

Normally closed



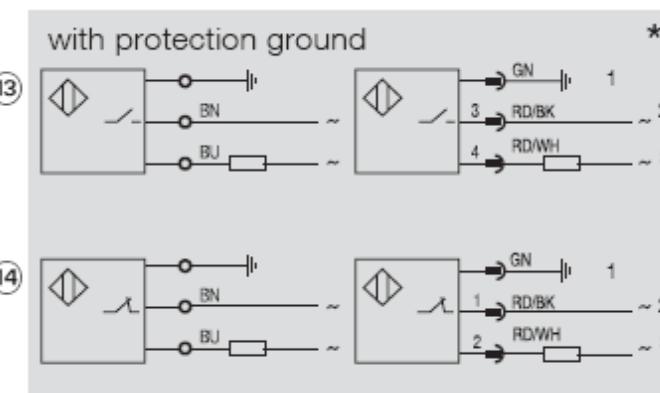
Wire colors

Coding per DIN IEC 60757

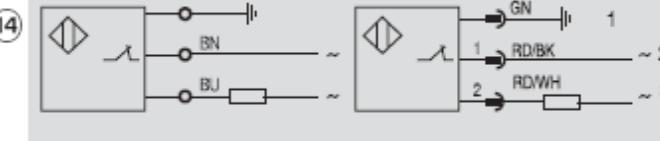
BN	brown
BK	black
BU	blue
WH	white

with protection ground

⑯

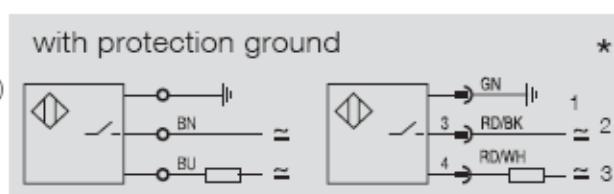


⑰

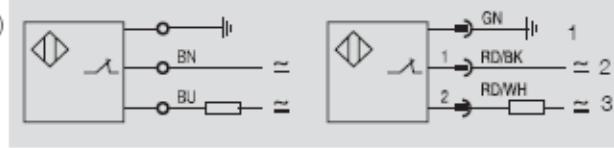


with protection ground

⑯



⑰



*Pin assignments shown are based on the U.S. standard for cable connectors

Frecuencia de conmutación

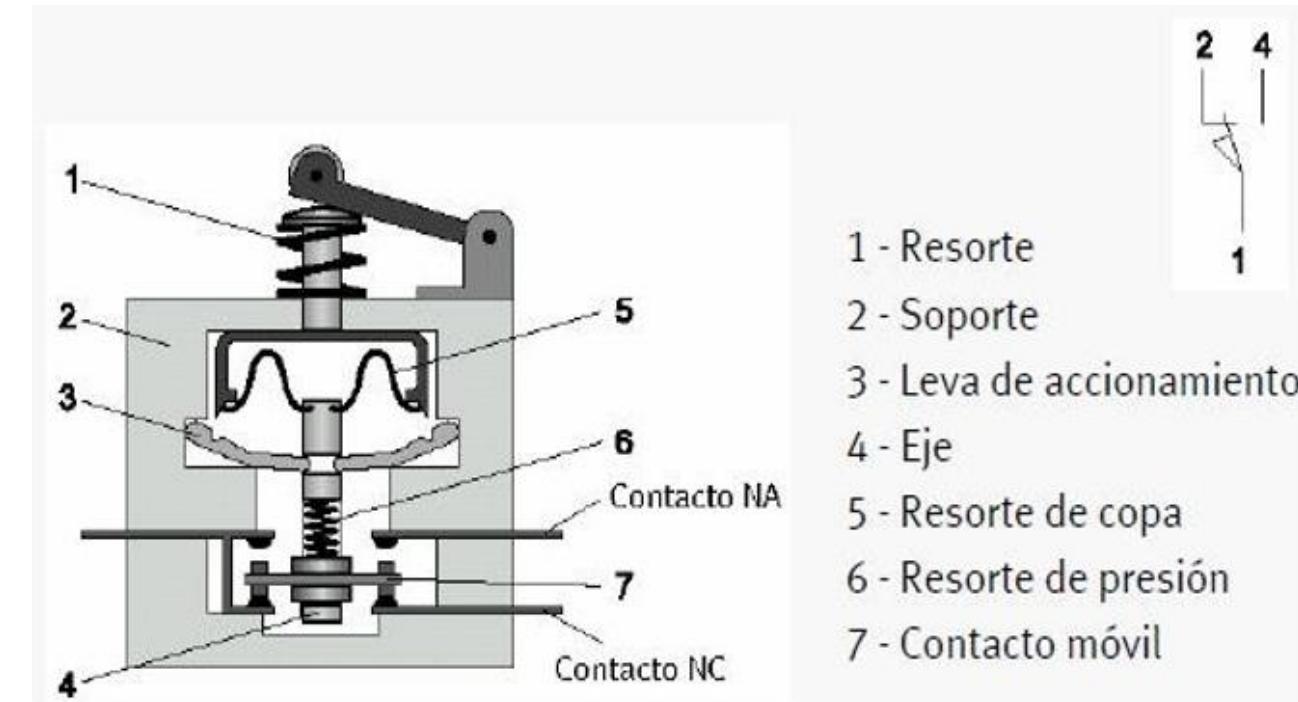
- Cuantas veces puede conmutar un sensor en un segundo
- Se representa en Hertz



Sensores de detección mecánica

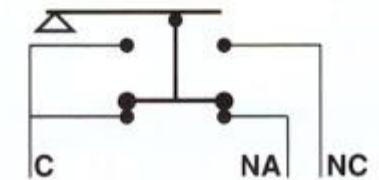
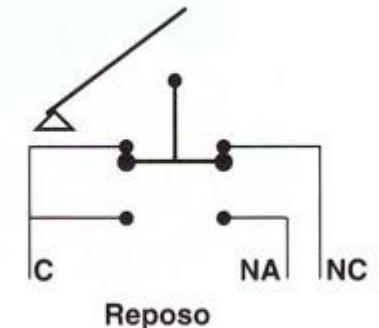
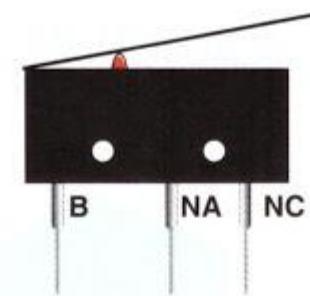
Principio de Funcionamiento

Son dispositivos electromecánicos que constan de un accionador vinculado mecánicamente a un conjunto de contactos. Cuando un objeto entra en contacto con el accionador, el dispositivo opera los contactos para cerrar o abrir una conexión eléctrica.



Sensores de detección mecánica

Ejemplos



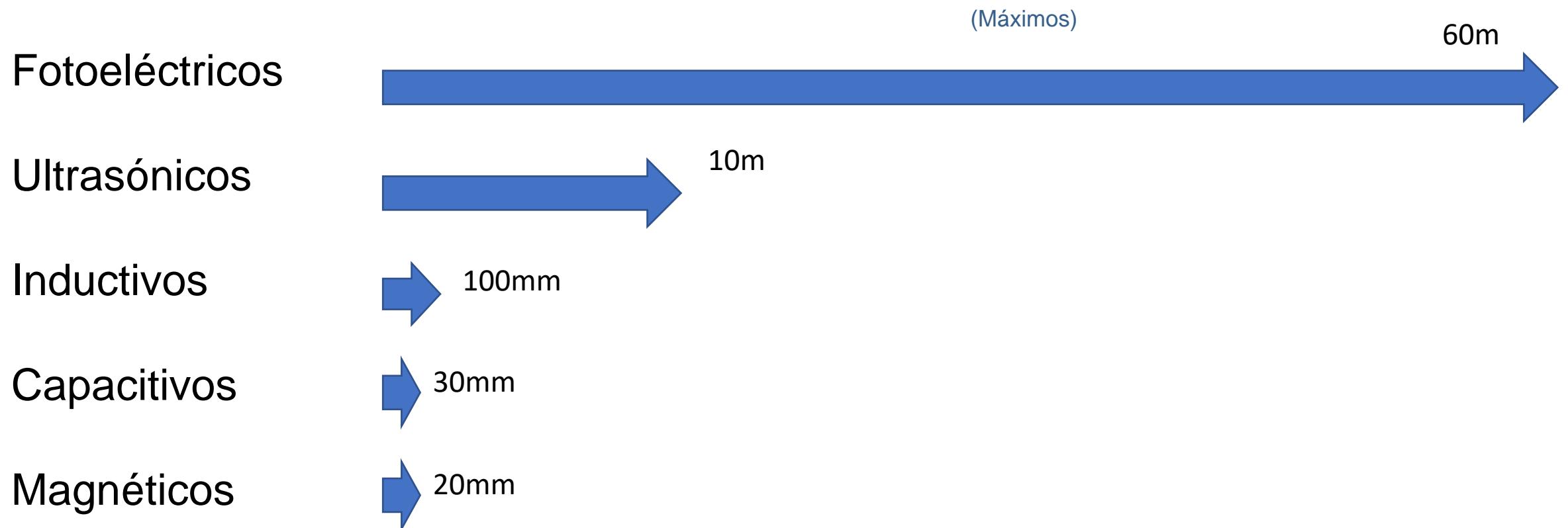
Sensores de detección mecánica

Aplicaciones: fin de carrera

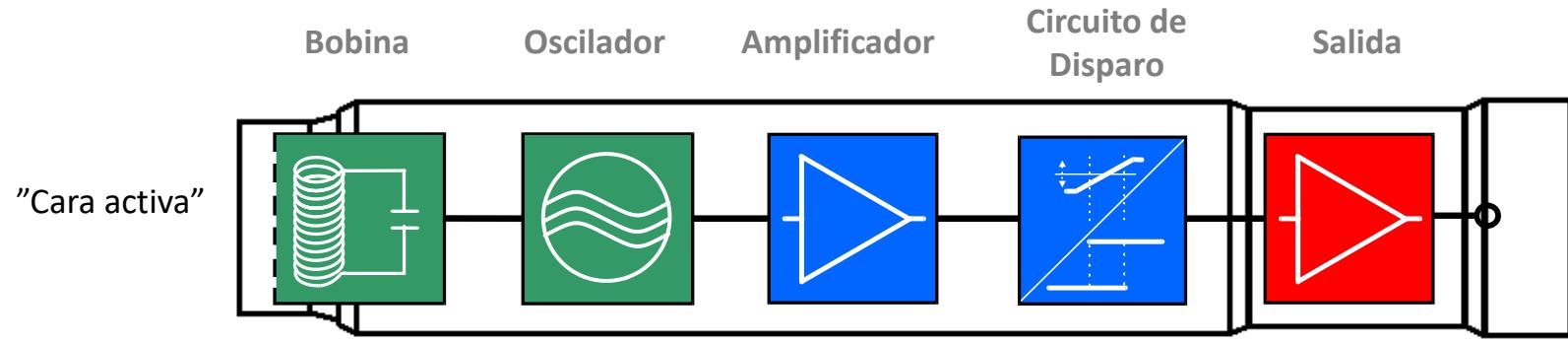


Sensores de proximidad

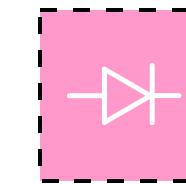
Rangos de operación típicos



Sensores Inductivos - Funcionamiento

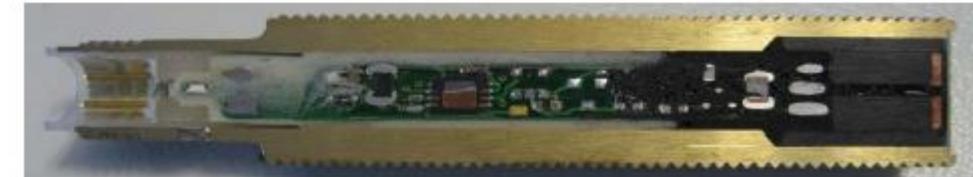
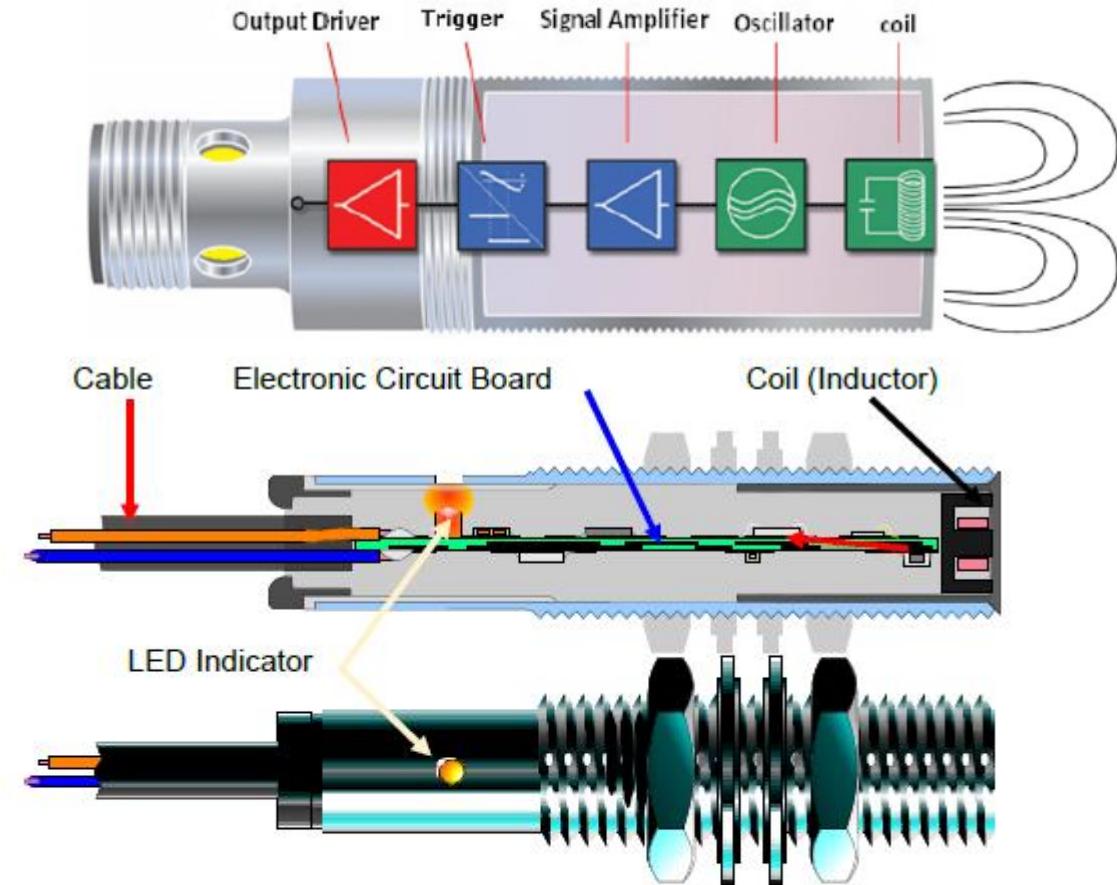
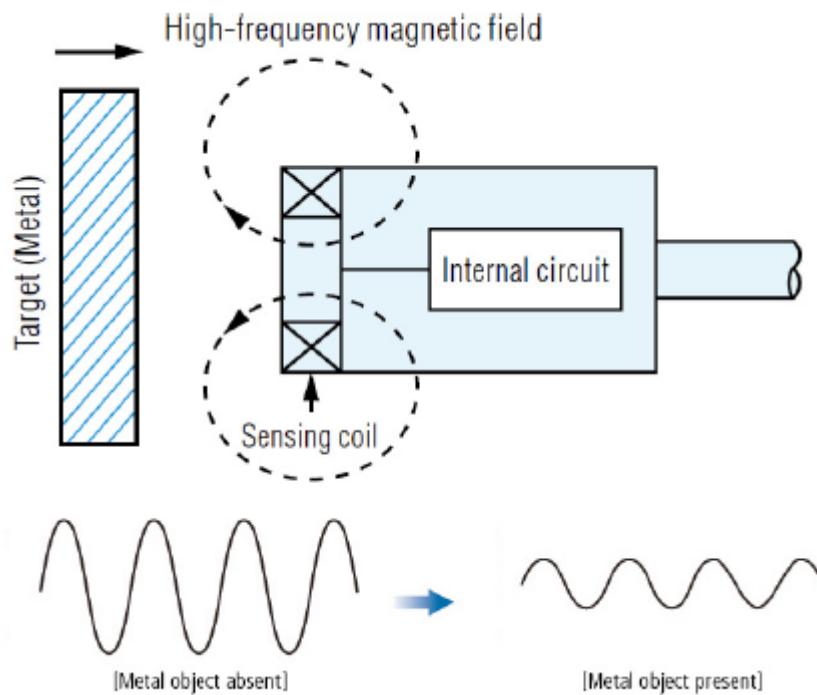


El funcionamiento del sensor inductivo de base en la interacción de metales con un campo electromagnético. El campo genera corrientes parásitas en el material, estas corrientes reducen la amplitud del campo electromagnético, esto es detectado por el sensor y genera el cambio en la salida



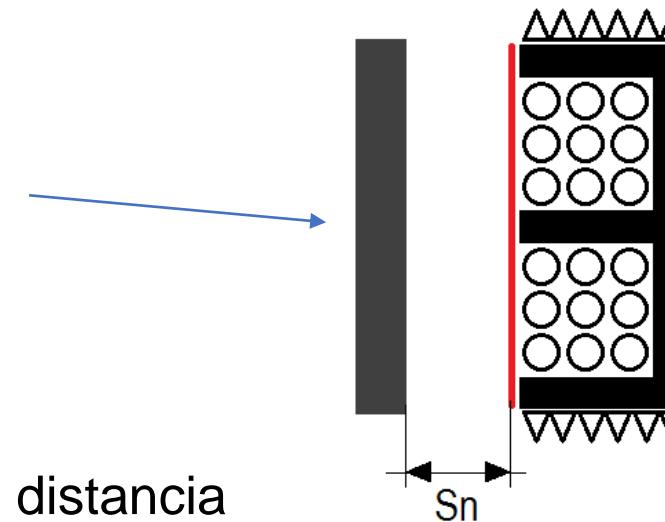
Voltaje de alimentación

Sensores Inductivos - Funcionamiento



Sensores Inductivos - Funcionamiento

Objetivo Estándar, construido en material de Hierro 360, formato cuadrada cuyo tamaño de arista es el diámetro del sensor.



Sn , conocida como sensibilidad nominal, distancia de detección, rango de detección, etc. Es un valor teórico que representa la distancia máxima entre la cara del sensor y el objetivo estándar de manera que al ser detectado por el sensor este commute su salida. Este valor no toma en cuenta tolerancias de fabricación, temperatura, etc.

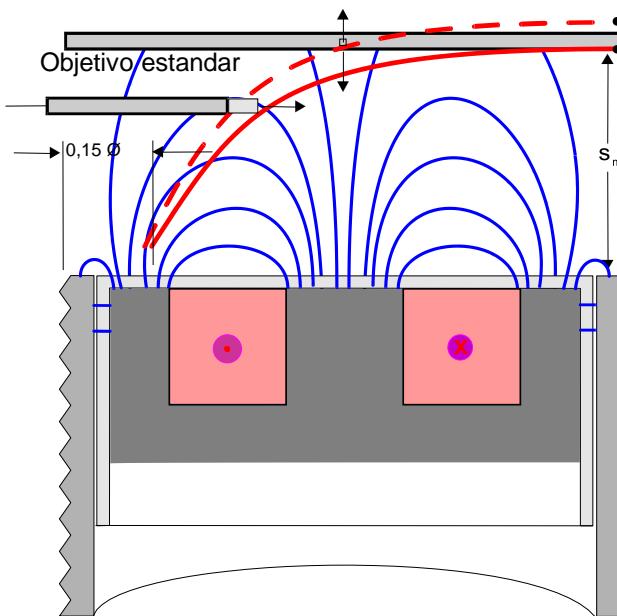
Sensores Inductivos

Factores que afectan la Sn del sensor

- Forma de Montaje
- Tamaño del Sensor
- Material a detectar

Sensores Inductivos

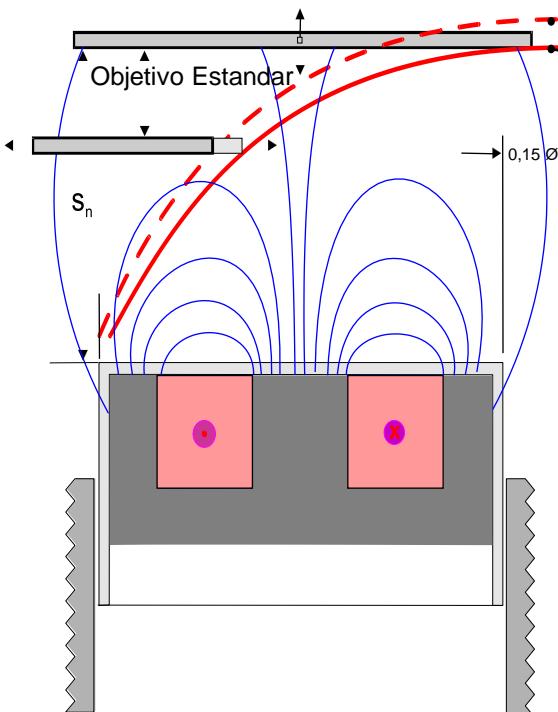
- Forma de montaje: **RASADOS**



Sensores Inductivos

- Forma de montaje: **NO RASADOS**

Tienen mayor alcance que los rasados



Sensores Inductivos

(Solo detectan 1 tipo de material!!!)

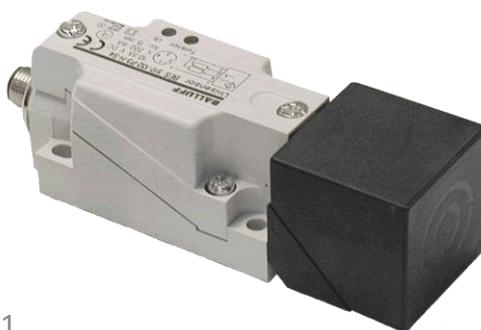
Tamaño del Sensor	Rasado	No Rasado
M8	1.5 mm	2.5 mm
M12	2 mm	4 mm
M18	5 mm	8 mm
M30	10 mm	15 mm
Q40	20 mm	40 mm

Material	Factor de Corrección
Acero inoxidable	0.8
Aluminio	0.4
Bronce	0.4
Cobre	0.35



Sensores Inductivos

Familias



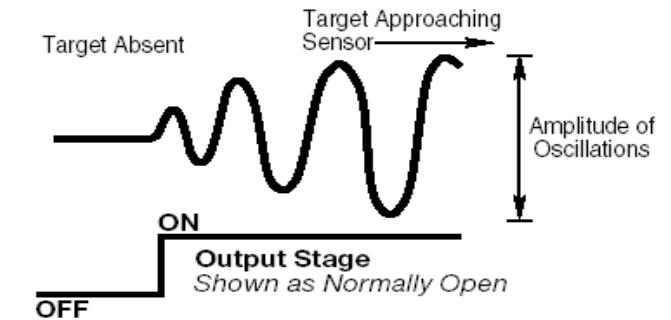
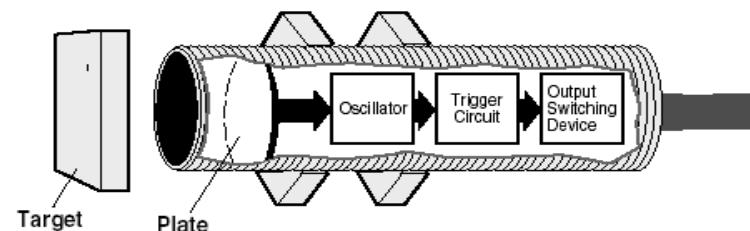
Sensores Inductivos

Aplicaciones

- Detección de objetos metálicos
- Fin de carrera

Sensores Capacitivos

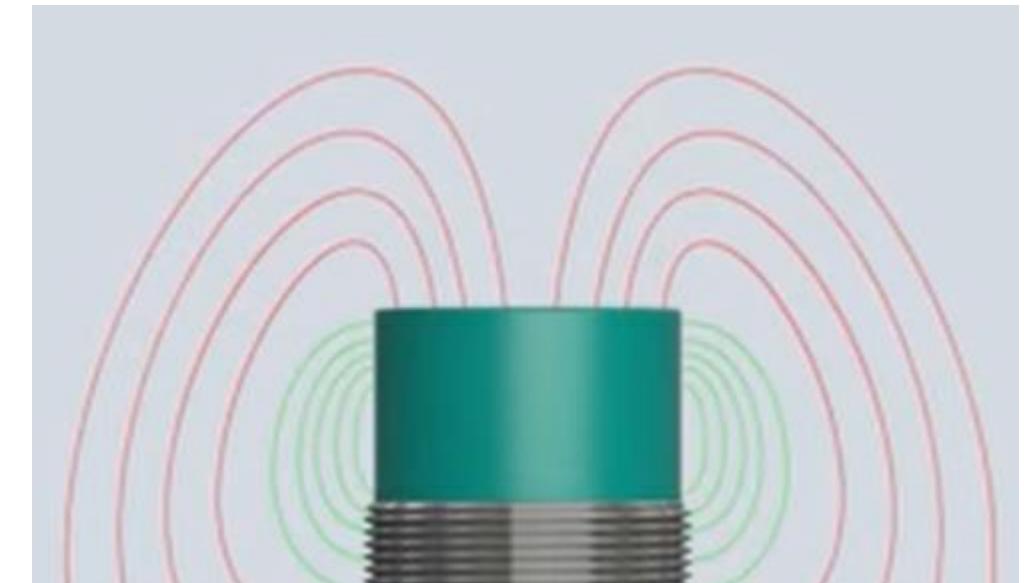
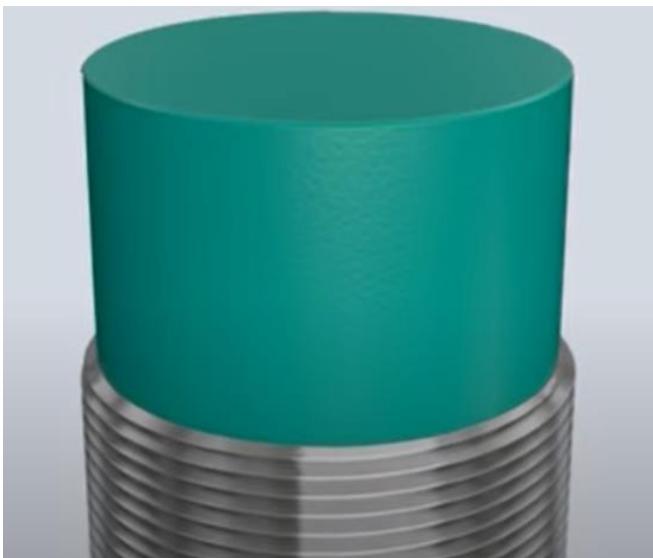
Principio de funcionamiento



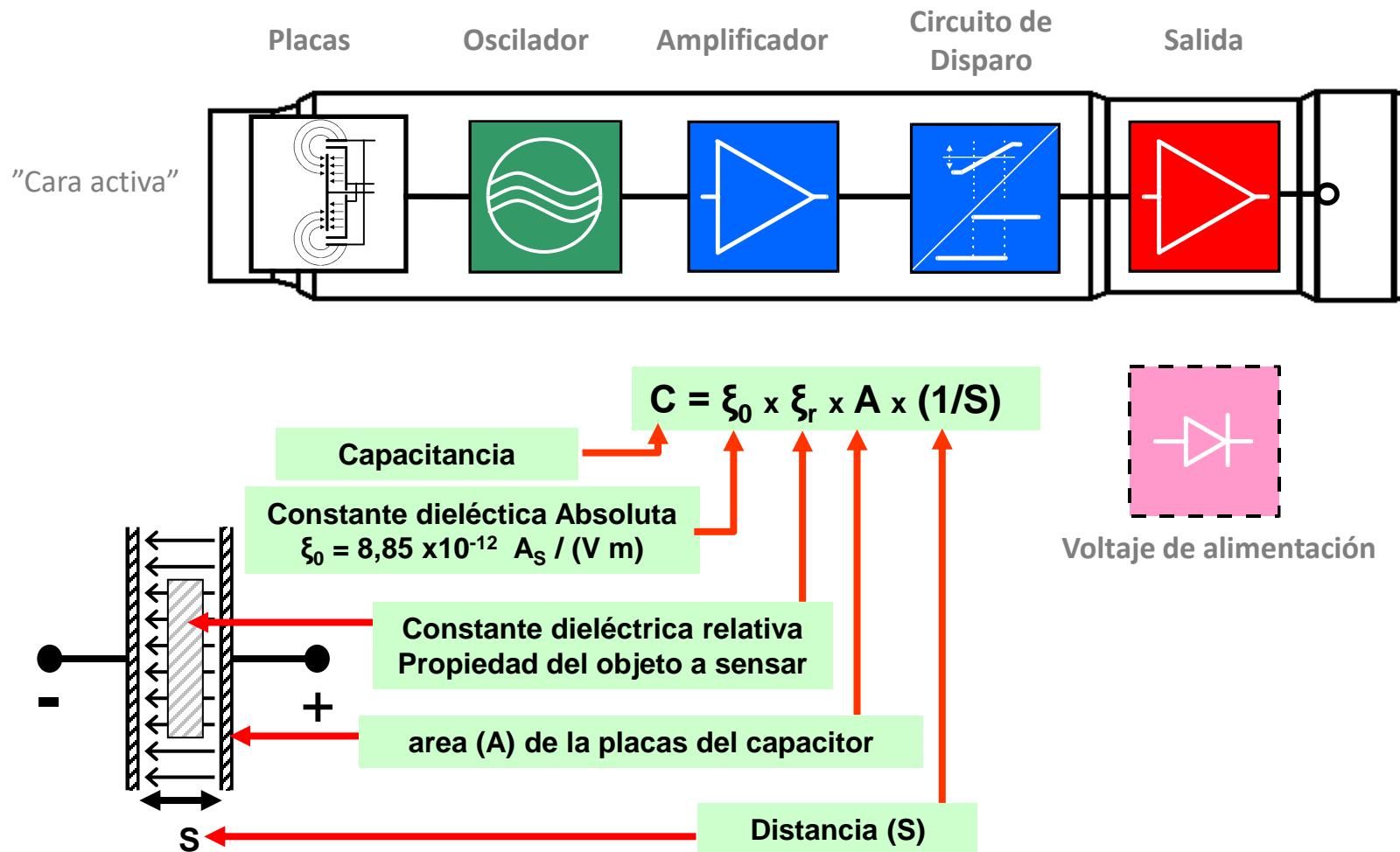
- Un Sensor Capacitivo actúa como un simple capacitor.
- Una placa metálica en la cara del sensor esta conectada eléctricamente a un circuito oscilador interno.
- El objeto a ser detectado actúa como un dieléctrico.
- La capacidad entre el objetivo y la placa interna del sensor, forma parte de la capacidad de retroalimentación en el circuito oscilador
- Al aproximarse un objetivo las oscilaciones se incrementan y entonces alcanzan un valor de umbral y activan el circuito de switcheo, generando así una salida.

Sensores Capacitivos

Esquema interno



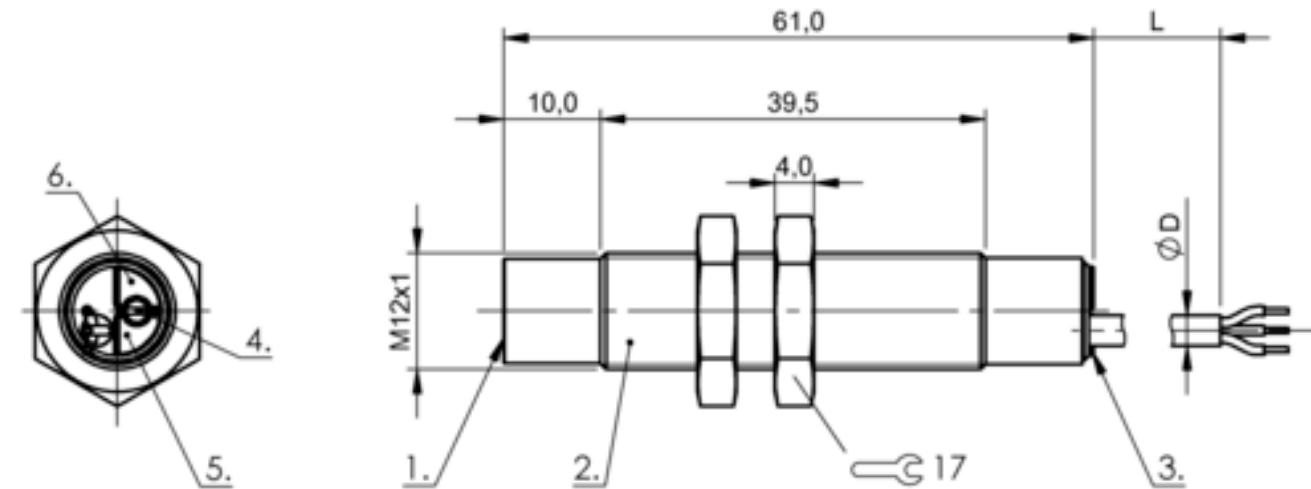
Sensores Capacitivos - Funcionamiento



Sensores Capacitivos

Parametrización

Todos los Sensores Capacitivos tienen un ajuste de sensibilidad
(puede ser remoto, por potenciómetro o por comunicación)



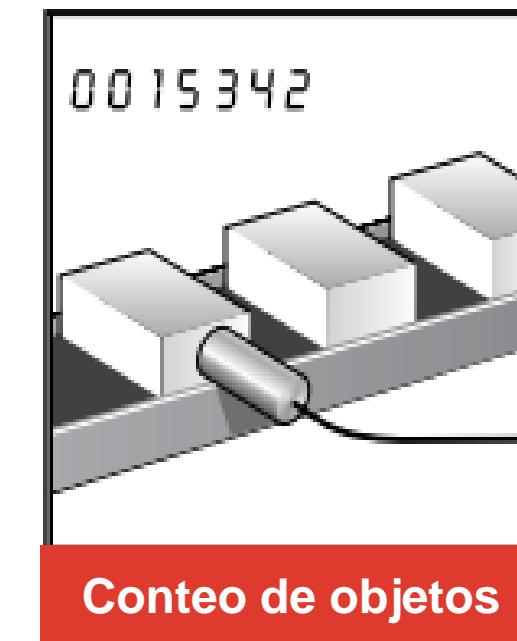
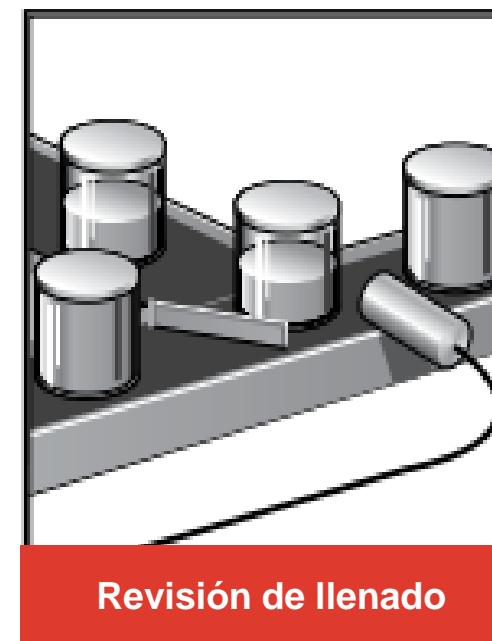
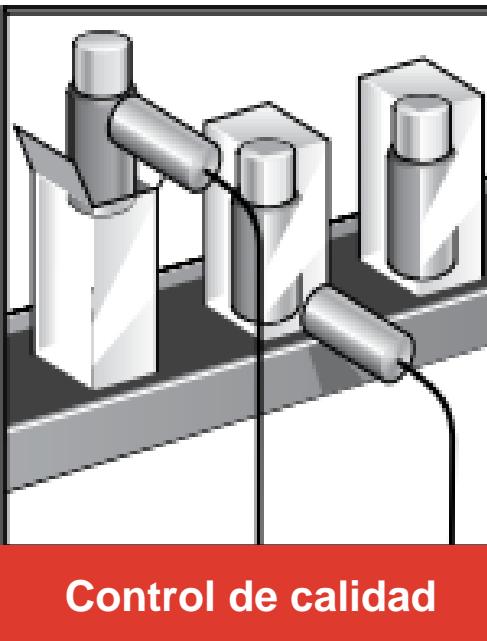
Sensores Capacitivos

Aplicaciones típicas

- Detección de Objetos
- Control de Nivel
 - Materiales Granulados
 - Materiales paletizados (presencia de volumen)
 - Líquidos (Aceites, agua, alcohol, etc)

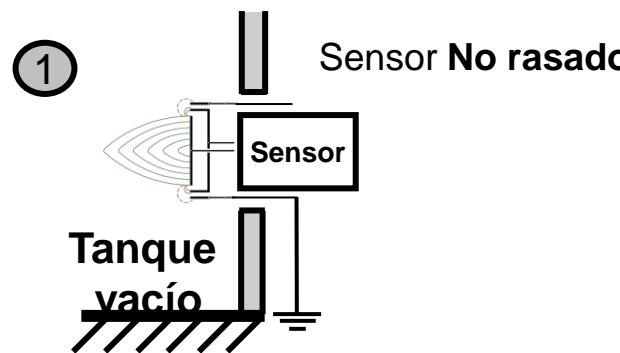
Sensores Capacitivos

Detección de objetos

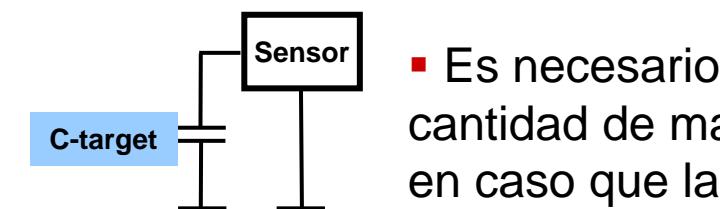
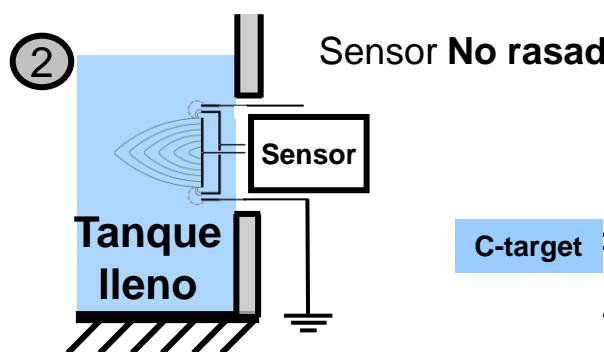


Sensores Capacitivos

Detección de nivel directo



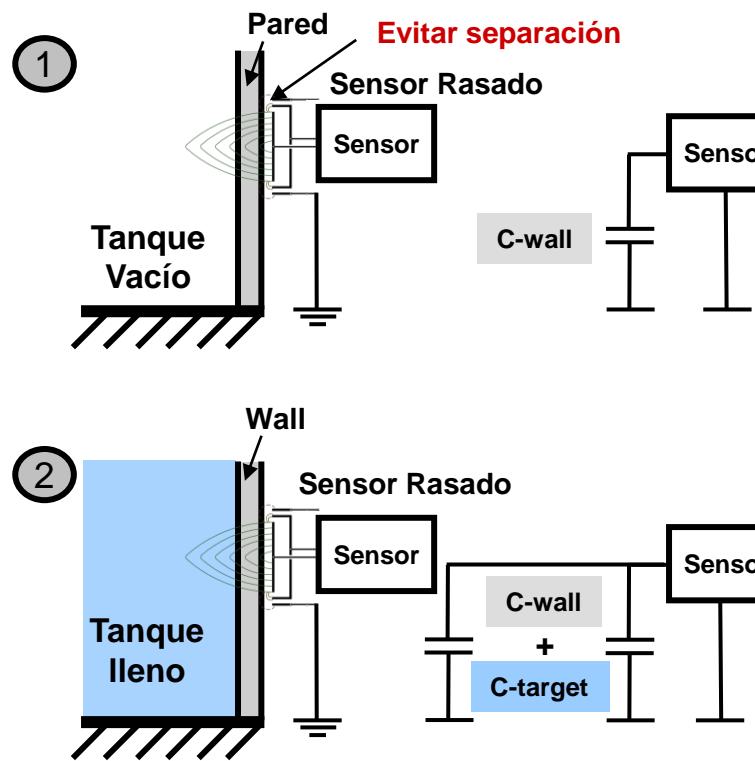
- No se requiere Pre-Ajuste



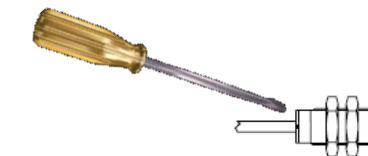
- Es necesario ajustar el sensor con la cantidad de material que se desea detectar o en caso que la conductividad relativa del sensor sea baja

Sensores Capacitivos

Detección de nivel indirecto



- Se necesita ajustar el sensor para no detectar la pared
- **C-wall** depende del material y del espesor.
- El material de la pared debe ser **no metálico**, de lo contrario la capacidad puede ser infinita

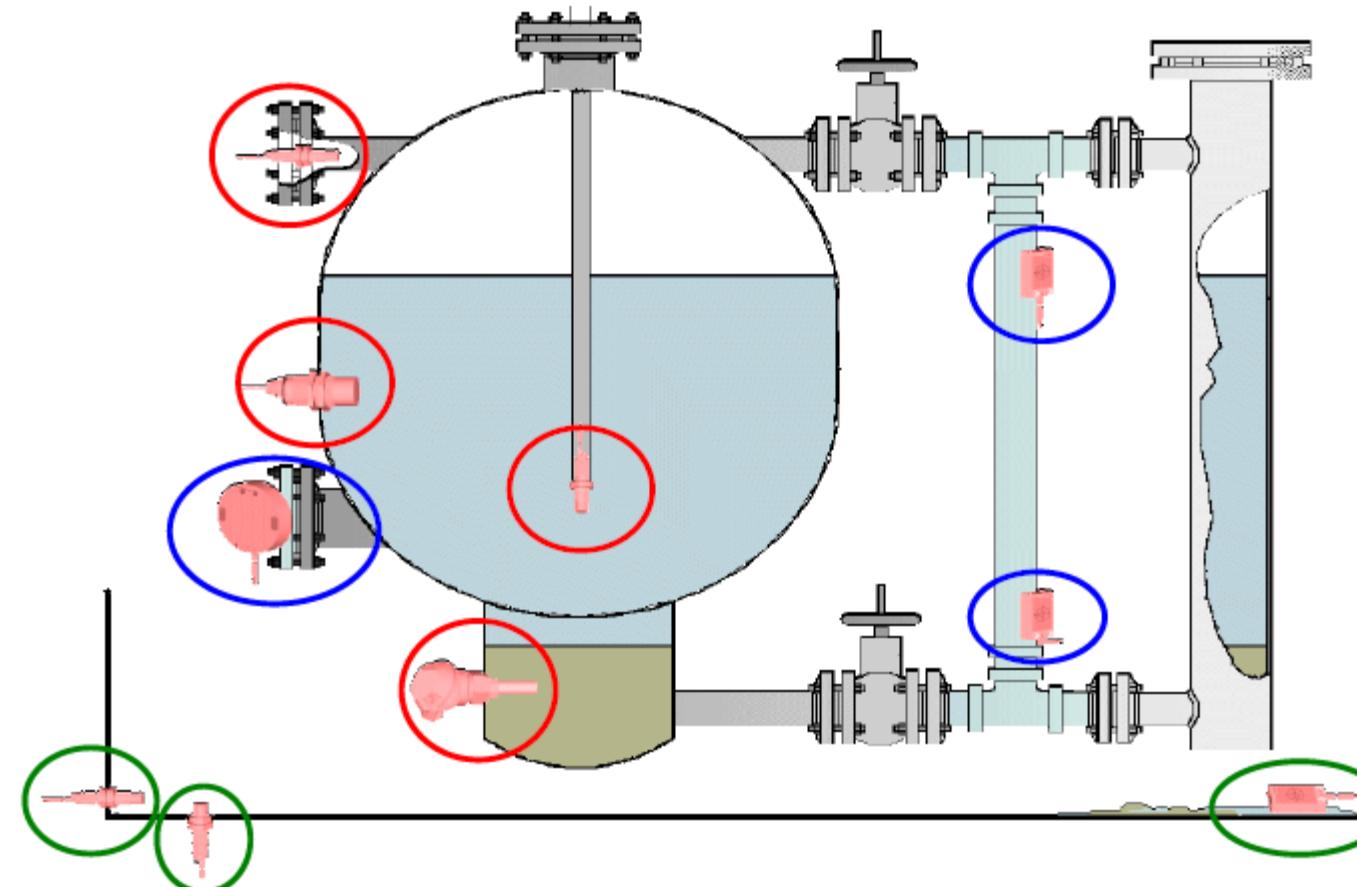


- El sensor requerirá un ajuste adicional a fin de compensar fluctuaciones del material

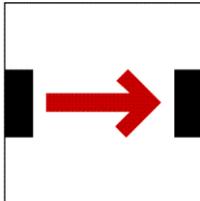
Sensores Capacitivos

Detección de nivel

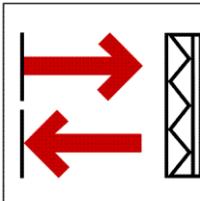
Red Circles → Direct Sensing (4)
Blue Circles → Indirect Sensing (3)
Green Circles → Leakage Sensing (Direct Sensing) (3)



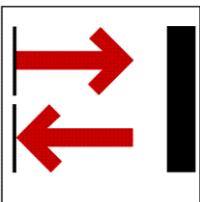
Sensores Fotoeléctricos - Clasificación



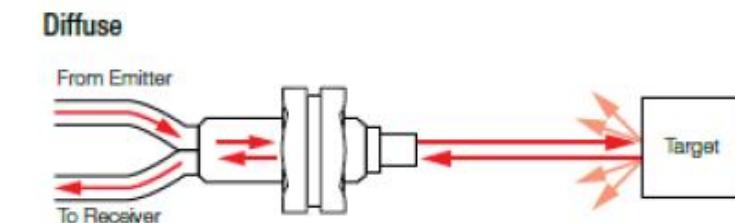
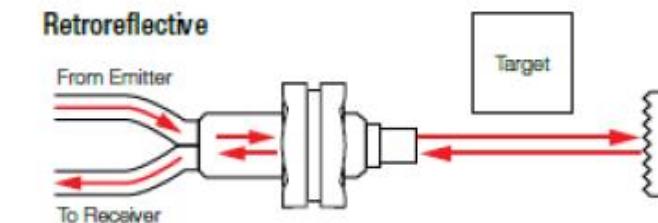
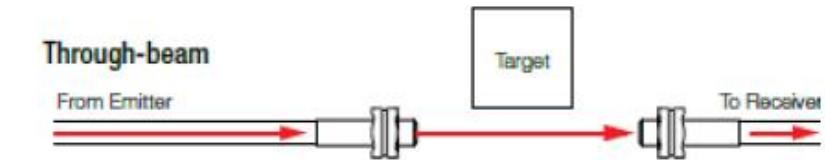
- Emisor / Receptor (Thru-Beam, Barrera)



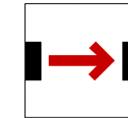
- Retroreflectivo



- Difuso

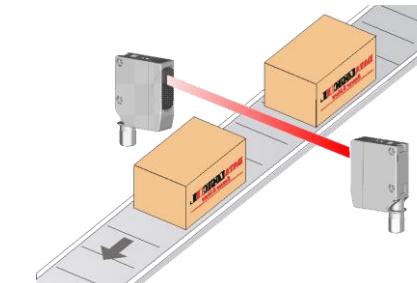
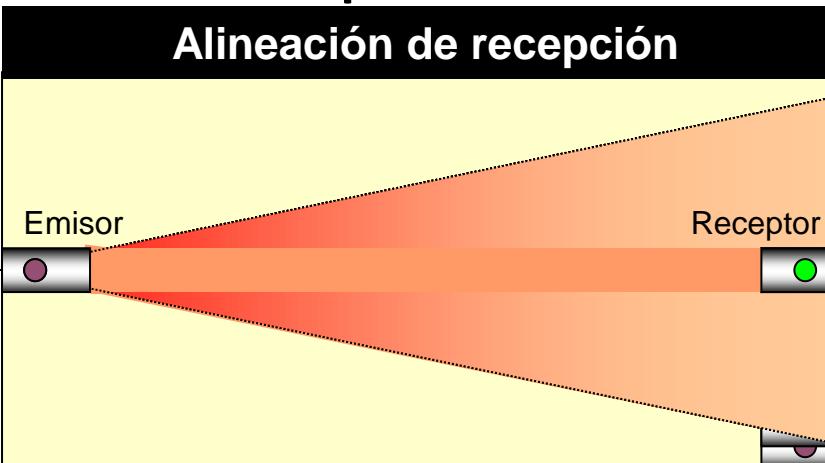


Sensores Fotoeléctricos - Funcionamiento

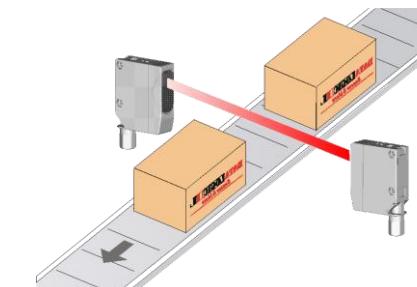
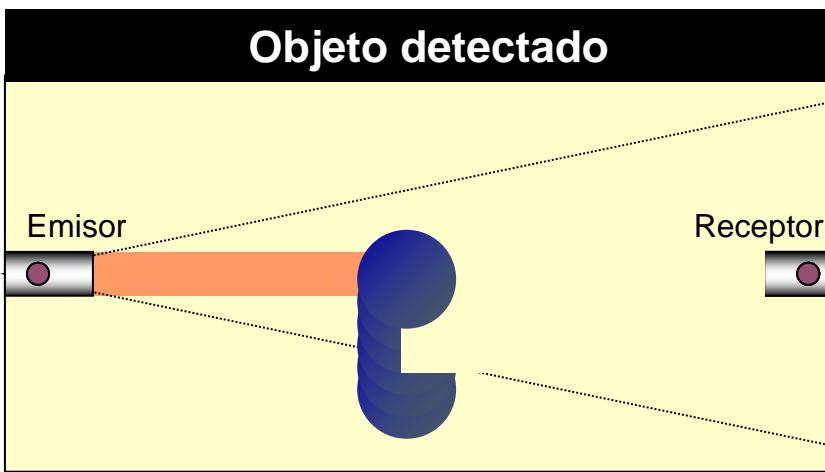


Emisor - Receptor

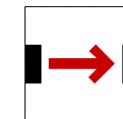
Alineación de recepción



Objeto detectado

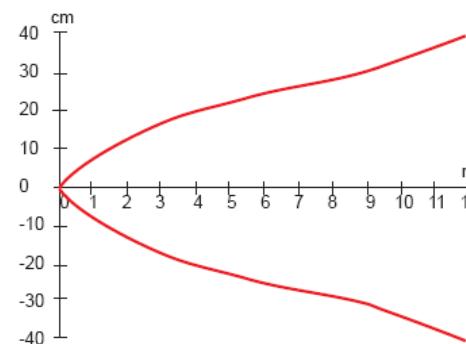


Sensores Fotoeléctricos - Funcionamiento



Emisor - Receptor

© Thru-Beam



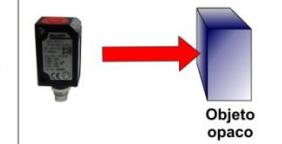
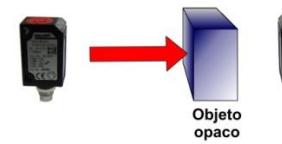
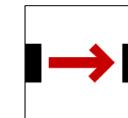
Tipo de Detección	Operación	Light On	Dark On
Emisor-Receptor Thru-Beam	Objeto ausente El receptor ve la luz del Emisor	Emisor  Receptor La salida es activada	Emisor  Receptor La salida no se activa
	Objeto presente El receptor no ve la luz del Emisor	Emisor  Receptor Objeto opaco La salida no se activa	Emisor  Receptor Objeto opaco La salida se activa

Gráfico de comportamiento Fotoeléctrico

Sensores Fotoeléctricos - Funcionamiento



Familias

2 Elementos



Tubular



Bloque



Cortina Dimensional

1 Elemento



Herradura



Ángulo



Ventana

Amplificador



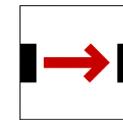
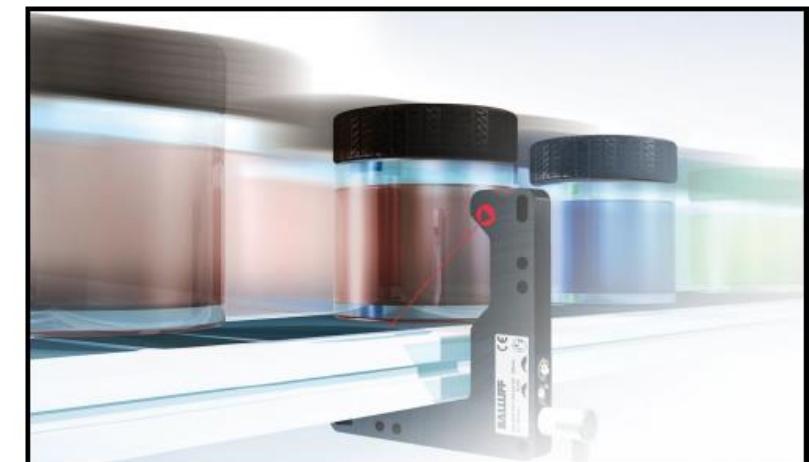
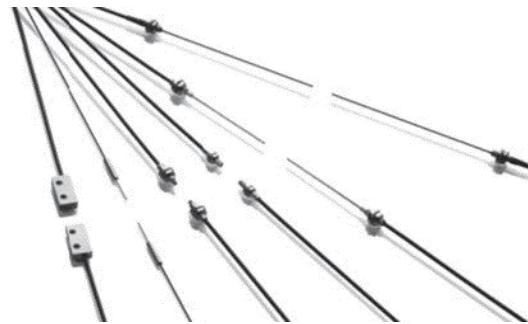
Fibra Óptica



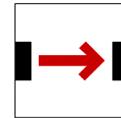
Cabeza Óptica

Sensores Fotoeléctricos

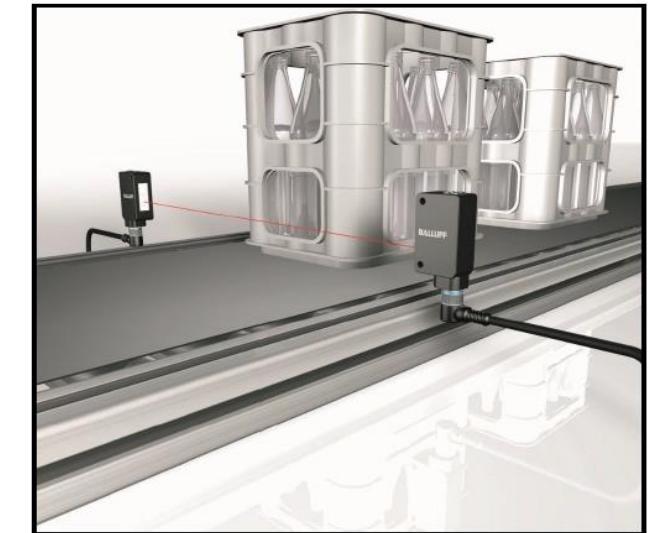
Emisor - Receptor



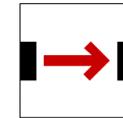
Sensores Fotoeléctricos



Aplicaciones



Sensores Fotoeléctricos

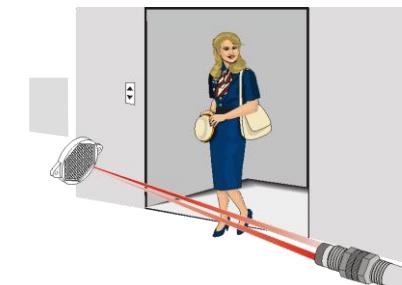
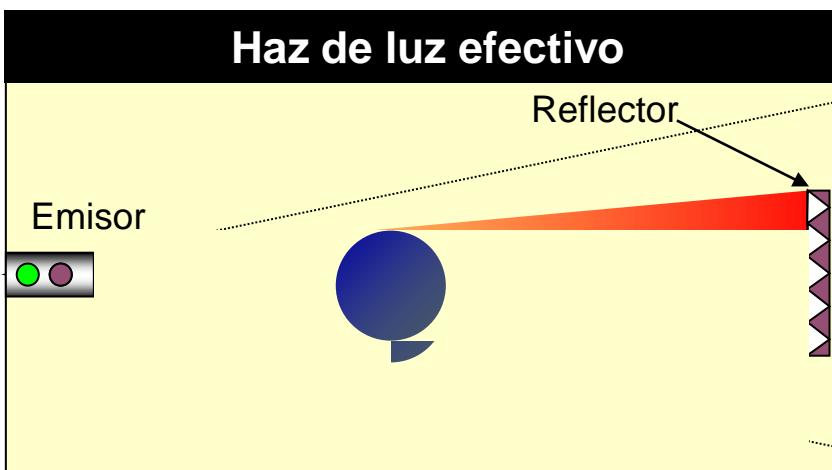
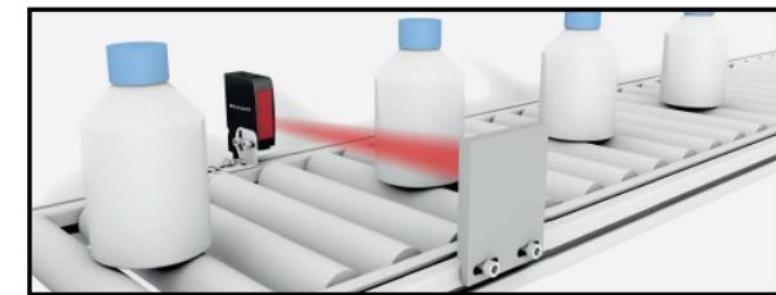
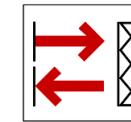
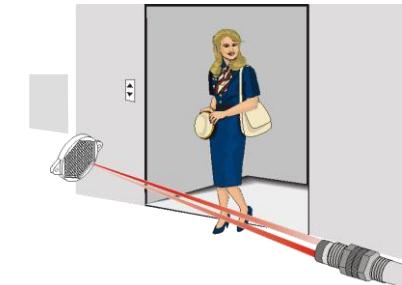
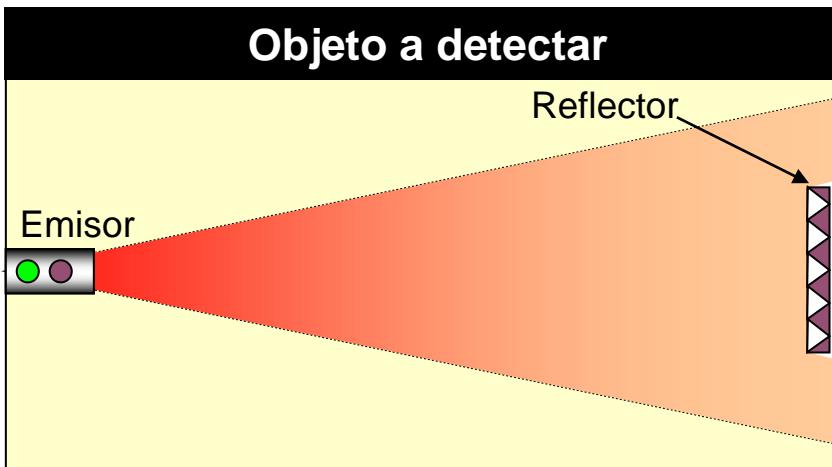


Emisor – Receptor

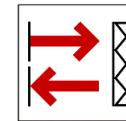
- Ventajas
 - ✓ Rango de hasta 60 metros
 - ✓ Discrimina objetos translúcidos
 - ✓ Detección de partes pequeñas
 - ✓ Excelente repetitividad
- Desventajas
 - Se deben instalar dos dispositivos
 - No detecta objetos transparentes

Sensores Fotoeléctricos

Retroreflectivo



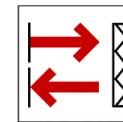
Sensores Fotoeléctricos



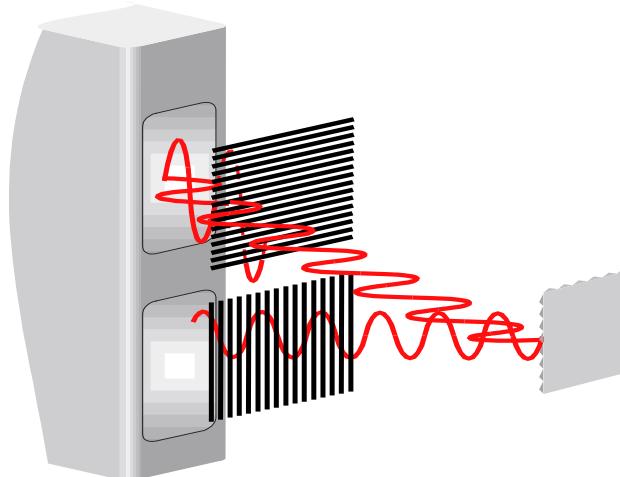
Retroreflectivo

- Ventajas
 - ✓ Rango de hasta 20 metros
 - ✓ Instalación eléctrica de un solo dispositivo
 - ✓ Detección de cuerpos sin importar color
 - ✓ Fácil de alinear
- Desventajas
 - Requiere un reflector
 - ¿Tiene problemas para detectar cuerpos **Brillosos?**

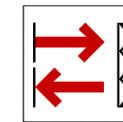
Sensores Fotoeléctricos



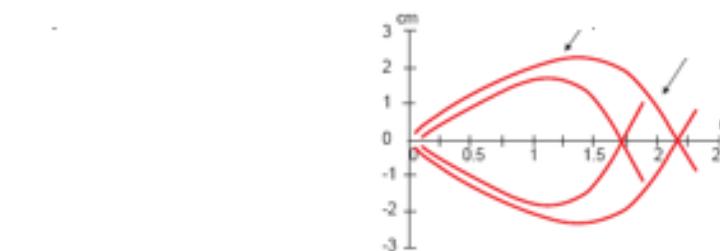
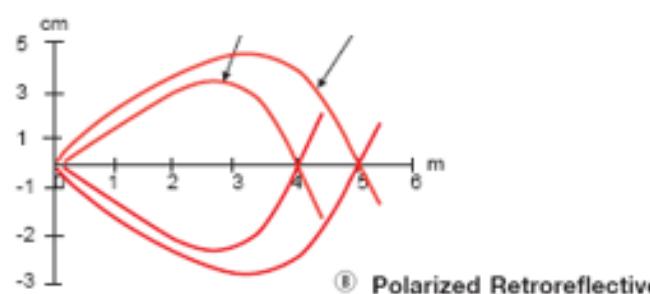
Retroreflectivo Polarizado



Sensores Fotoeléctricos



Operación Light On – Dark ON



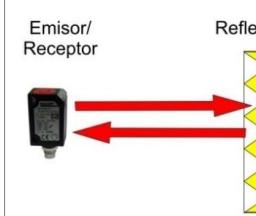
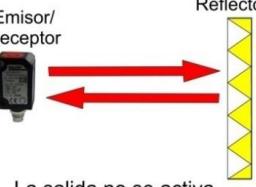
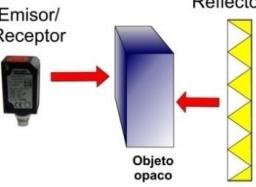
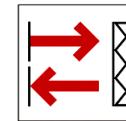
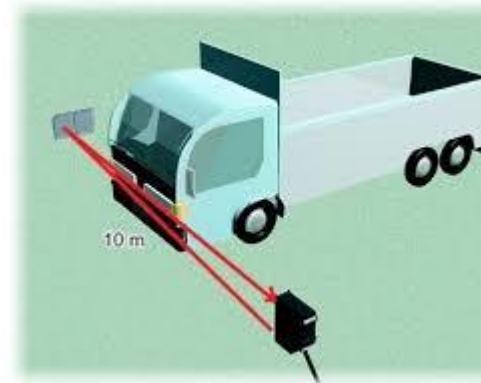
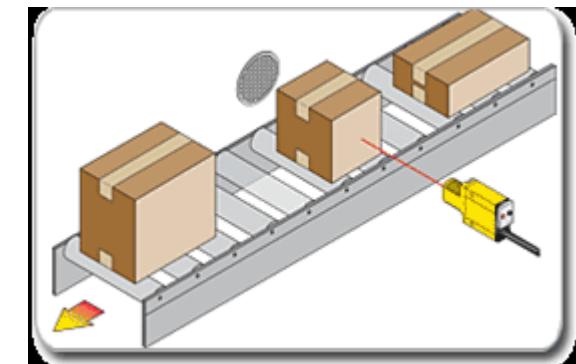
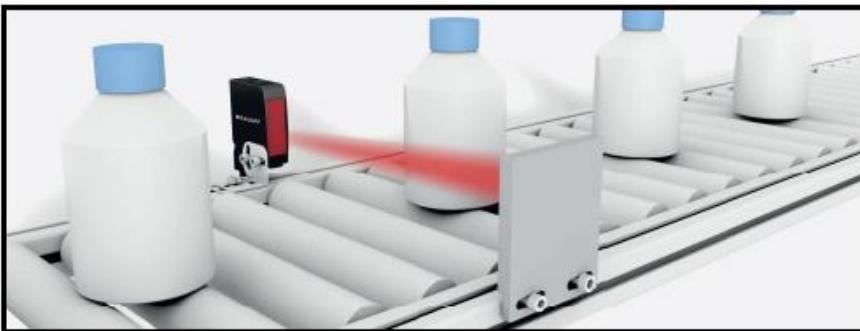
Tipo de Detección	Operación	Light On	Dark On
Retro-reflectivo	Objeto ausente El receptor ve la luz del Emisor  La salida es activada		 La salida no se activa
	Objeto presente El receptor no ve la luz del Emisor  La salida no se activa	 La salida se activa	

Gráfico de comportamiento Fotoeléctrico

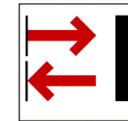
Sensores Fotoeléctricos



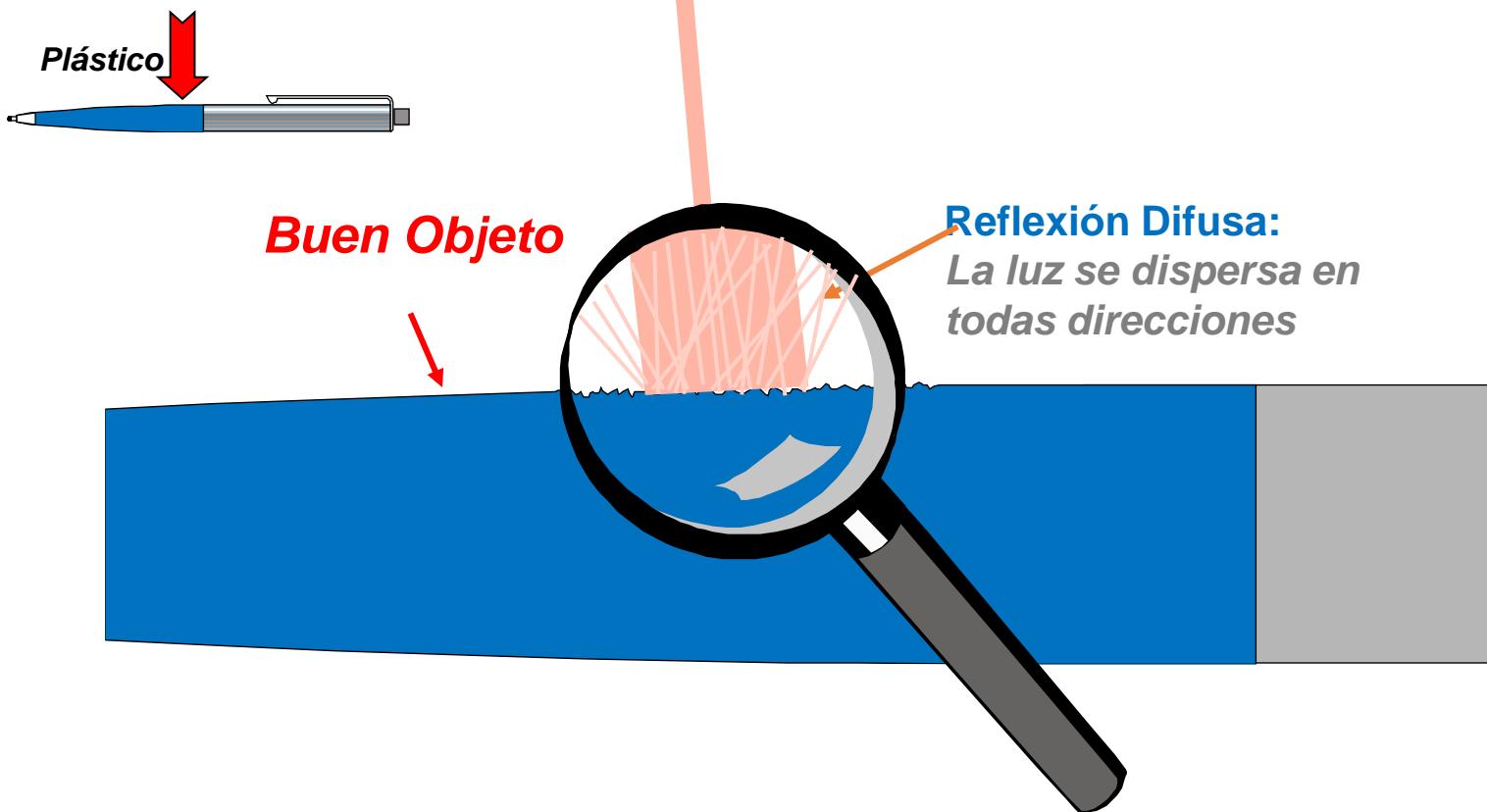
Aplicaciones



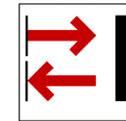
Sensores Fotoeléctricos



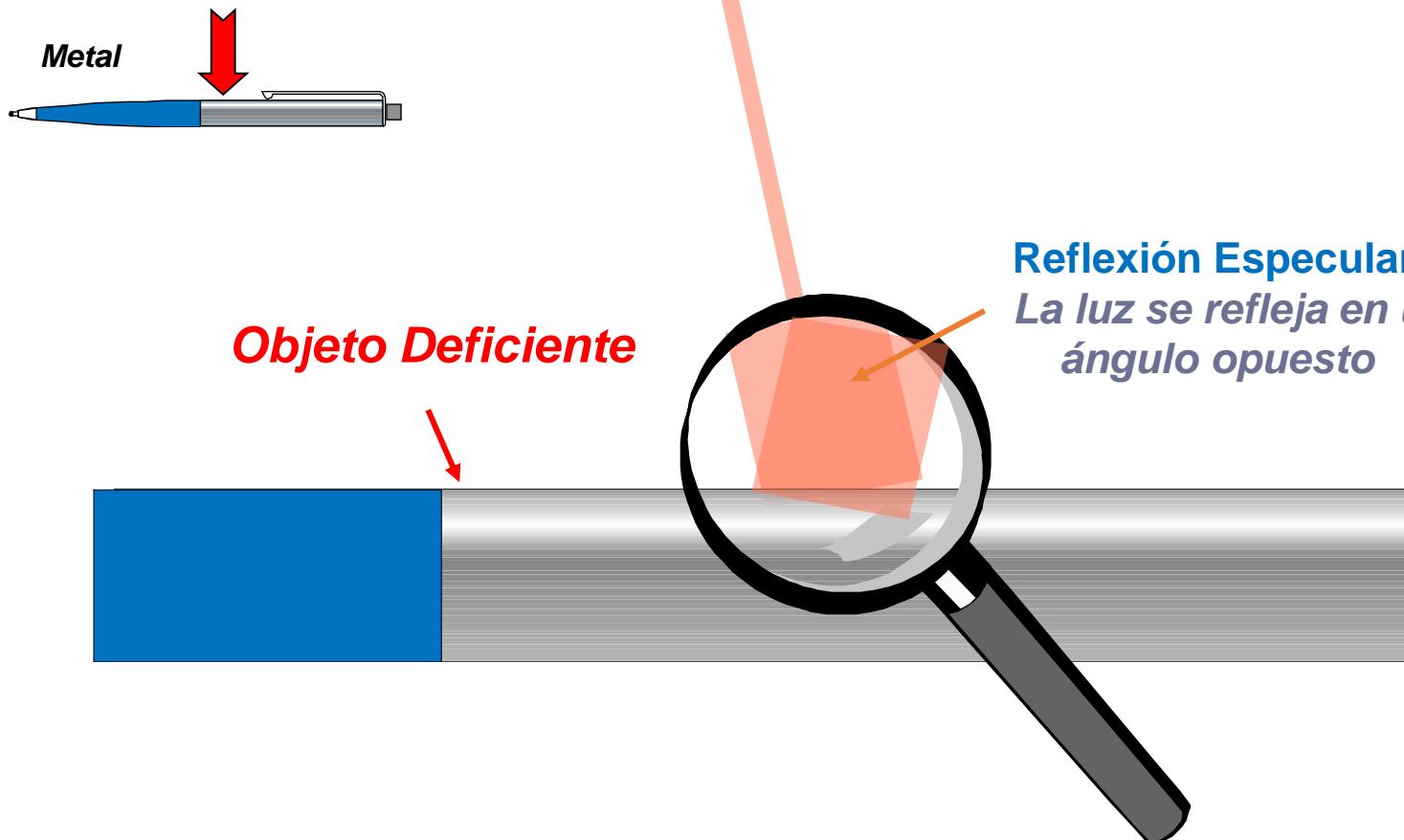
Difuso



Sensores Fotoeléctricos



Difuso

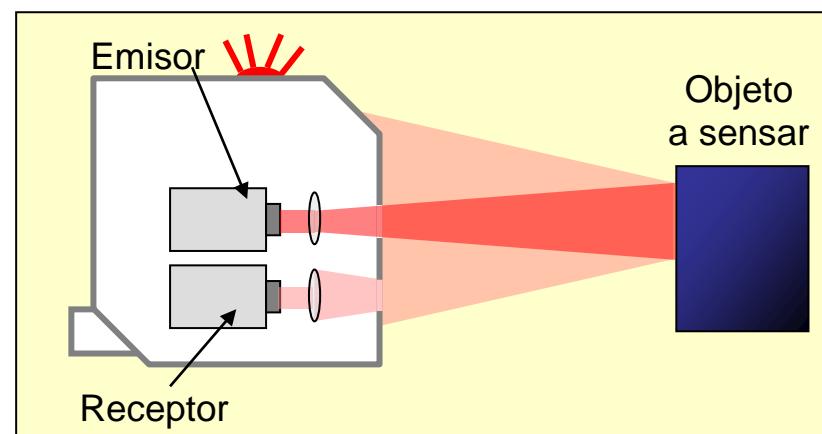


Sensores Fotoeléctricos

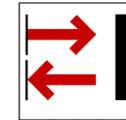


Difuso

- La luz impacta sobre el objeto
- La luz difundida por el objeto es detectada por el receptor



Sensores Fotoeléctricos



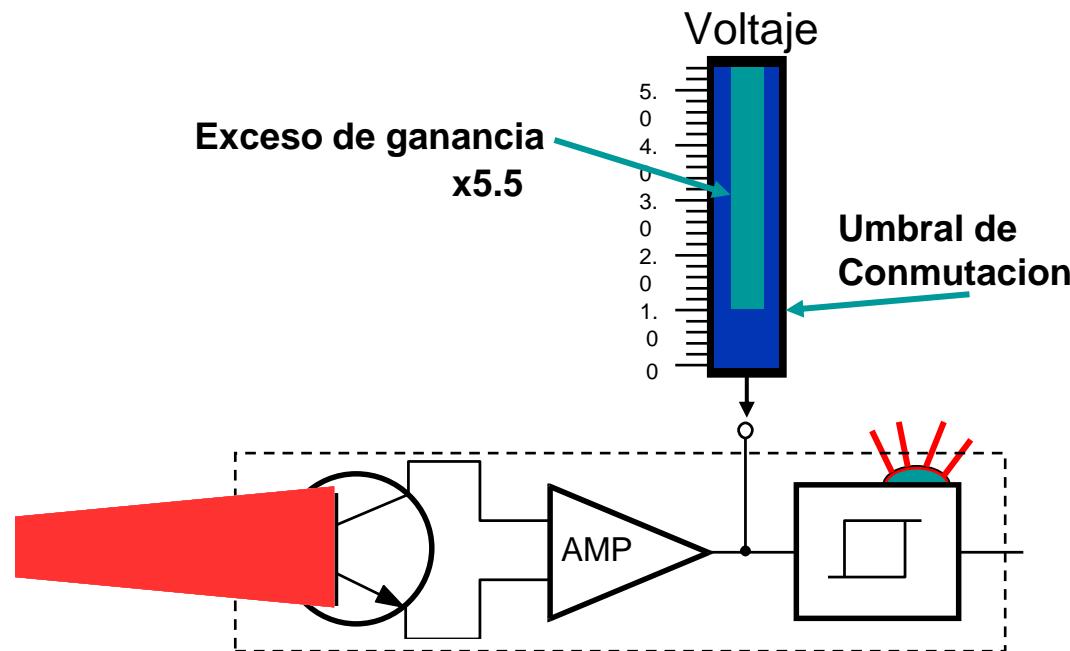
Difusos: Exceso de ganancia

- Es la cantidad de luz que recibe el receptor por encima de la porción necesaria para disparar la salida.
- Permite predecir el comportamiento del sensor en según las propiedades reflectivas del objeto y las características ambientales.

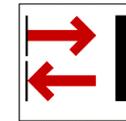
Sensores Fotoeléctricos



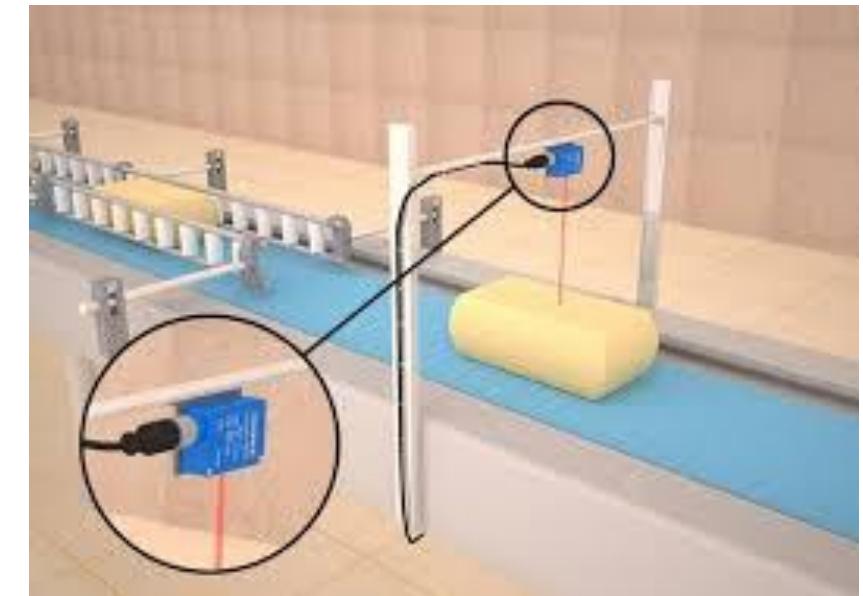
Difusos: Exceso de ganancia



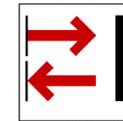
Sensores Fotoeléctricos



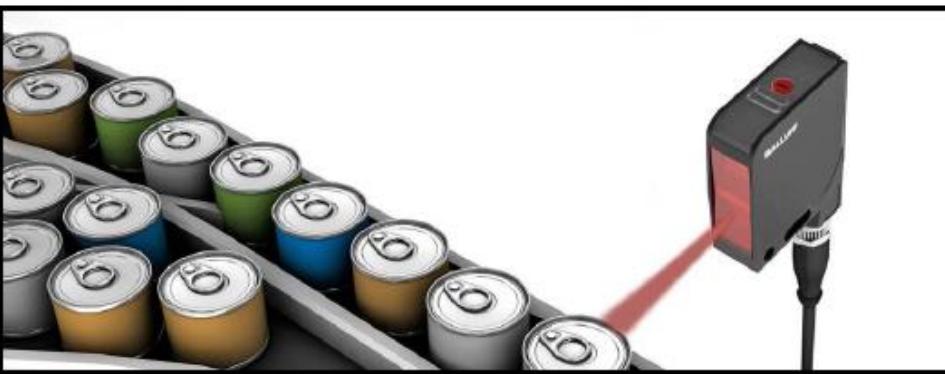
Aplicaciones



Sensores Fotoeléctricos



Aplicaciones



Sensores Ultrasónicos

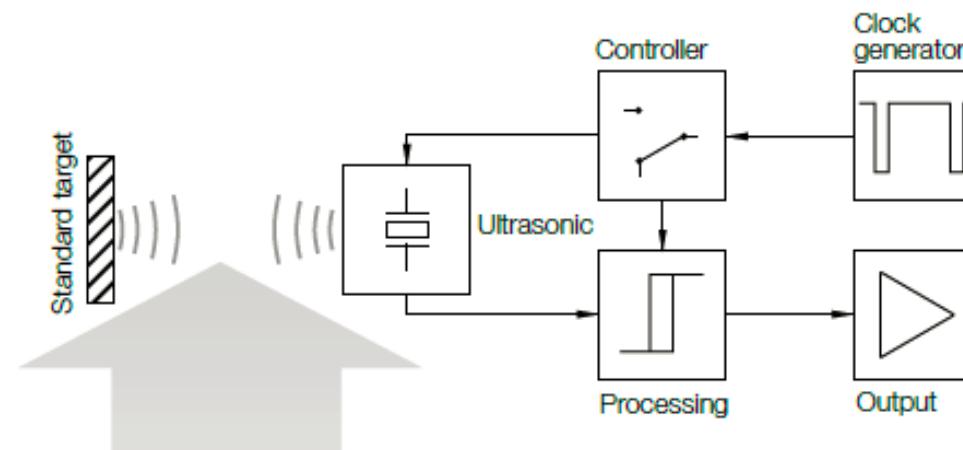
Principio de Funcionamiento

- La tecnología de ultrasonido se basa en la emisión de ondas acústicas con frecuencias mayores a 20kHz.
- Cuando estas ondas se encuentran con un objeto sólido, el sonido se refleja.
- El sensor recibe el sonido reflejado como un eco, determinando la distancia y convirtiendo este valor en una salida.

Sensores Ultrasónicos

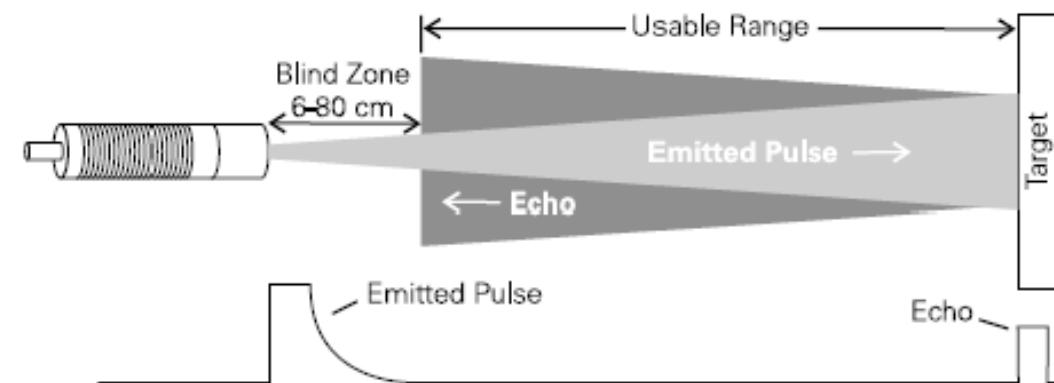
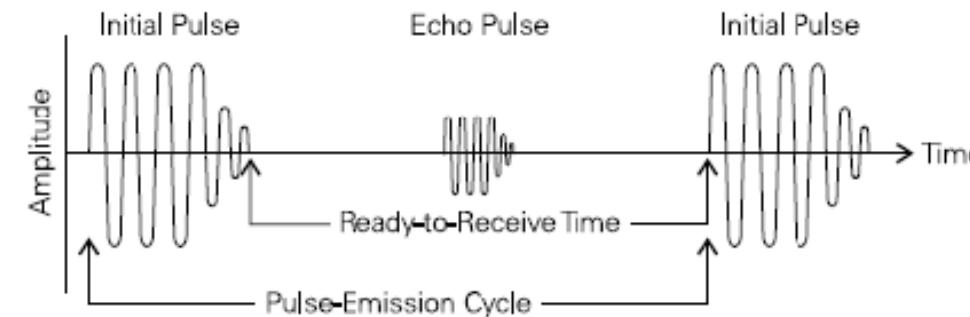
Principio de Funcionamiento

- La onda ultrasónica es generada internamente (ej. Piezoeléctrico).
- Al aplicarse un voltaje en este elemento, éste oscila y genera la señal de ultrasonido (ej. Parlante).
- Cuando el eco impacta contra este piezoelemento, se genera un voltaje (ej. Micrófono).



Sensores Ultrasónicos

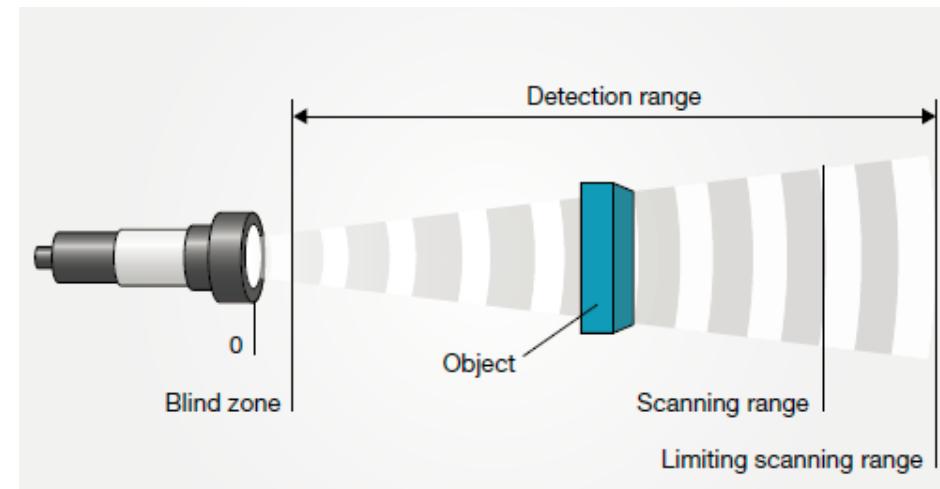
Principio de Funcionamiento



Sensores Ultrasónicos

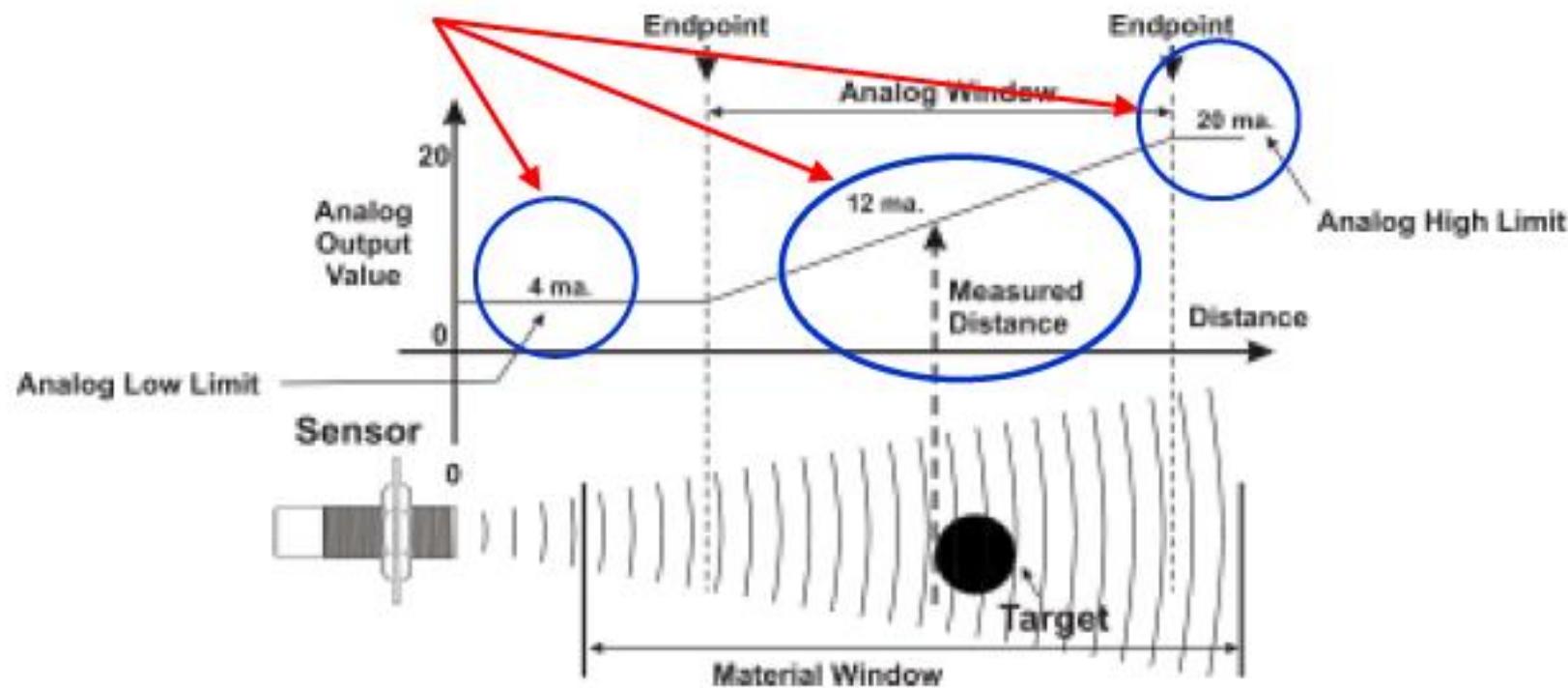
Principio de Funcionamiento

- El rango en el cual el sensor puede detectar objetos, se encuentra limitado por la menor y mayor distancia de operación.
- Existe una zona ciega, en la cual el sensor no puede detectar ningún objeto.



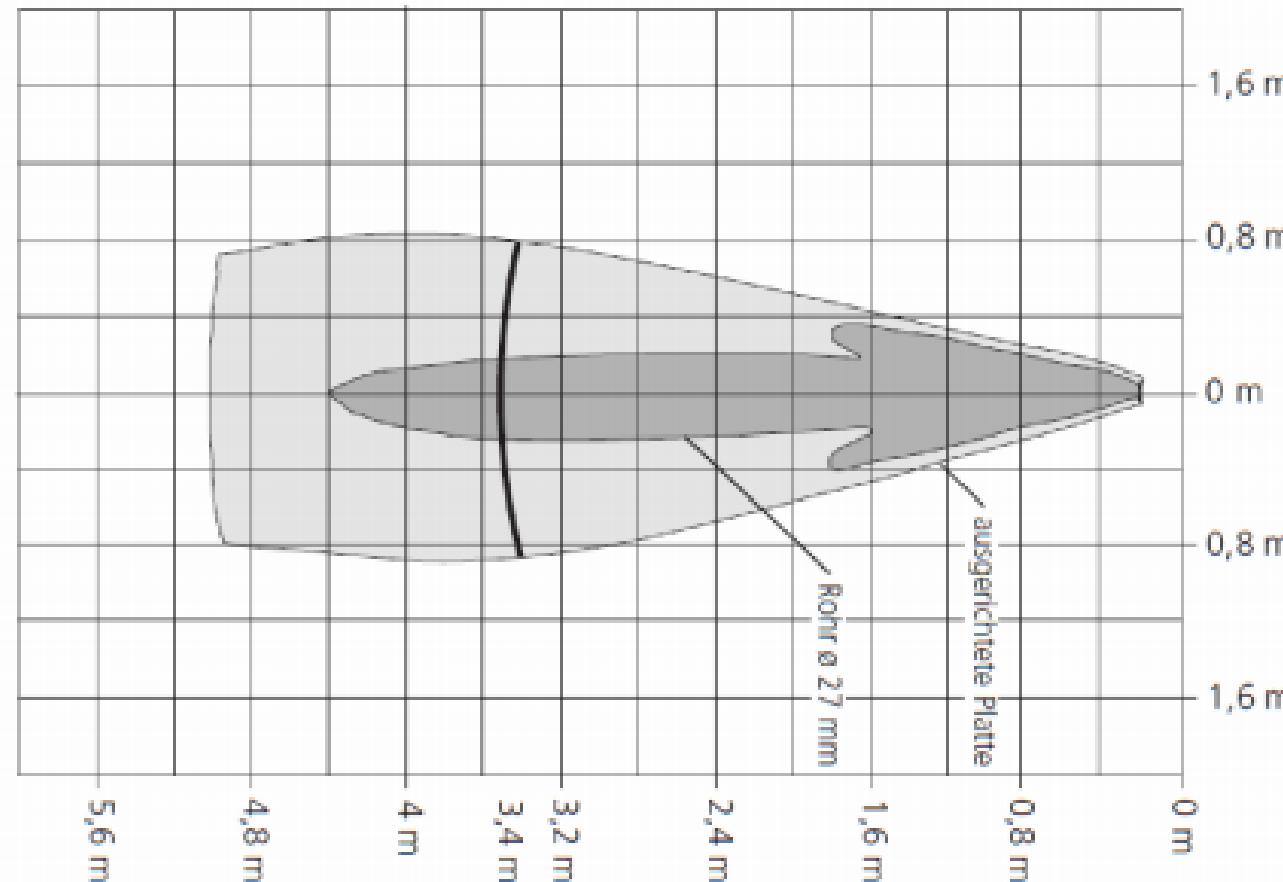
Sensores Ultrasónicos

Principio de Funcionamiento



Sensores Ultrasónicos

Curva característica



Curva 1: placa plana 100 mm x 100 mm. Curva 2: barra redonda, Ø 27 mm

Sensores Ultrasónicos

Propagación

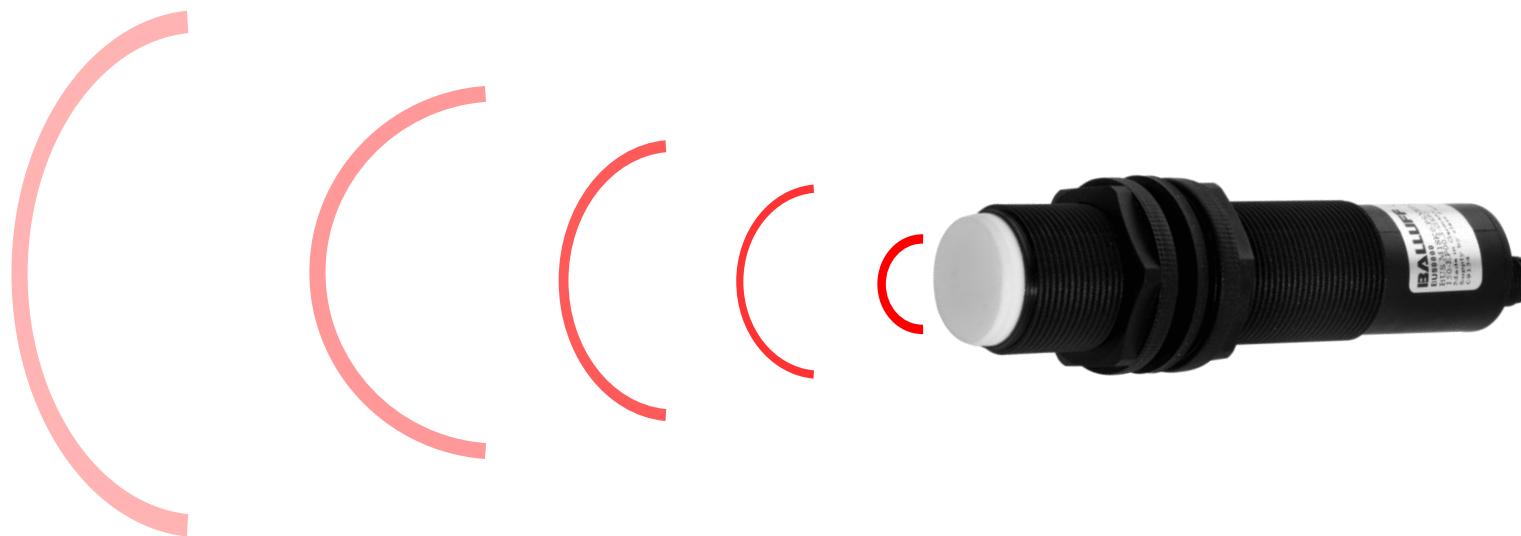
- El sonido es una onda mecánica y, por lo tanto, necesita de un medio para propagarse:
 - Gas
 - Líquido
 - Sólido



Sensores Ultrasónicos

Propagación en Aire

- Los sensores ultrasónicos son mayormente diseñados para uso en medios aéreos.
- Emiten un campo enfocado, el cual se vuelve mayor a medida que aumente la distancia.

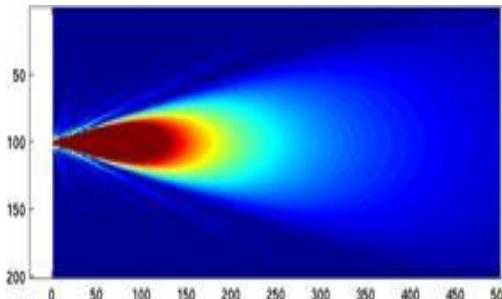


Sensores Ultrasónicos

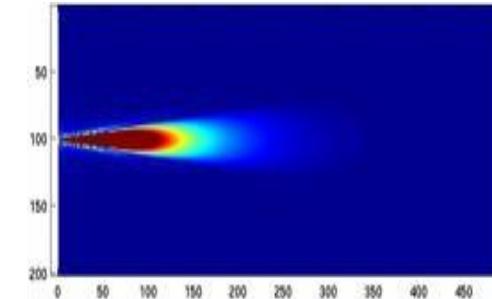
Cobertura de un sensor ultrasónico

A medida que aumenta la frecuencia, los sensores ultrasónicos poseen conos más pequeños y más enfocados.

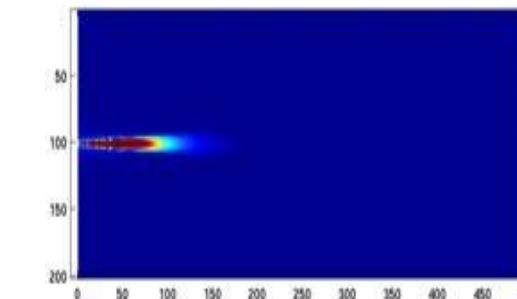
100 kHz



200 kHz



300 kHz



Sensores Ultrasónicos

Limitaciones en distancia de sensado

El amortiguamiento del sonido en aire, depende de los siguientes factores:

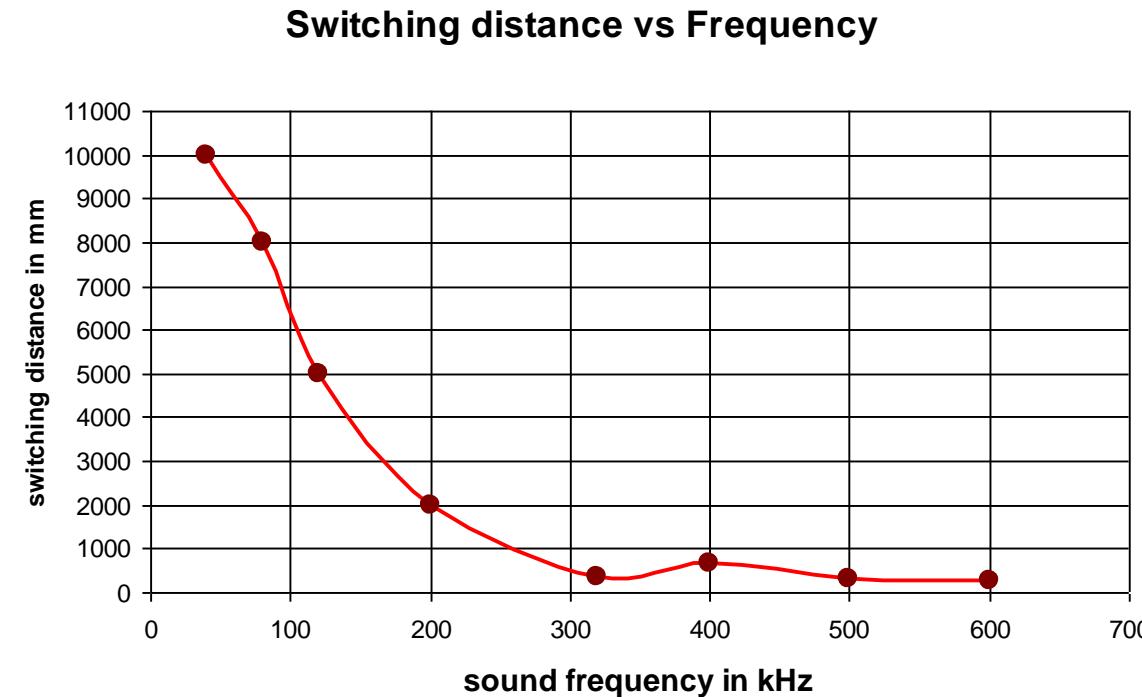
1. Frecuencia del sonido.
2. Temperatura del aire.
3. Humedad del aire.
4. Presión del aire.

Sensores Ultrasónicos

Limitaciones en distancia de sensado

A mayor frecuencia del sonido, menor distancia de sensado.

- **Frecuencia del sonido.**
- Temperatura del aire.
- Humedad del aire.
- Presión del aire.



Sensores Ultrasónicos

Limitaciones en distancia de sensado

A mayor temperatura y humedad del aire, menor distancia de sensado.

- Frecuencia del sonido.
- **Temperatura del aire.**
- **Humedad del aire.**
- Presión del aire.

Sensores Ultrasónicos

Limitaciones en distancia de sensado

A mayor presión del aire, menor amortiguamiento. Por lo tanto, el sensor posee mayor rango de detección.

- Frecuencia del sonido.
- Temperatura del aire.
- Humedad del aire.
- **Presión del aire.**

Sensores Ultrasónicos

Reflexión y Absorción de ondas ultrasónicas

- Los materiales suaves o delgados pueden ser permeables para el ultrasonido.
- Los materiales “duros” tienen buena reflexión.

Buena reflexión	Mala Reflexión
Agua, concreto, metal, madera, vidrio, plástico.	Alfombras, algodón, ropa, espuma.

Sensores Ultrasónicos

Reflexión y Absorción de ondas ultrasónicas

- Sin embargo, prácticamente todos los objetos pueden ser detectados, aún aquellos con mala reflexión. Pero sí se verá reducida la distancia de detección.
- La capacidad de detección de un objeto es independiente del color y brillo, pero si depende de la superficie.

Sensores Ultrasónicos

Factores a Considerar

Temperatura ambiente

- Puede usarse en ambientes de temperaturas cálidas o templadas. Los cambios de temperaturas no deben ser bruscos, para que el sensor pueda compensarlos.

Objetos calientes

- Detectarlos puede ser difícil, dado que se generan turbulencias de aire que debilitan las ondas de sonido.

Variaciones de la presión de aire

- Los sensores ultrasónicos no pueden usarse en vacío.

Sensores Ultrasónicos

Factores a Considerar

Humedad y Lluvia

Debe asegurarse que la superficie del sensor se mantenga seca, ya que la velocidad del sonido varía en zonas húmedas.

Superficies convexas

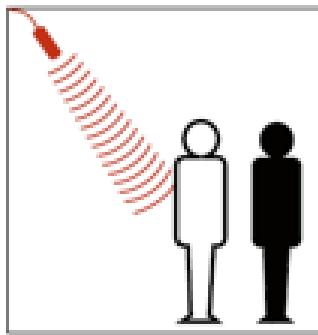
El rango máximo de detección decrece a medida que disminuye el radio.

Líquidos

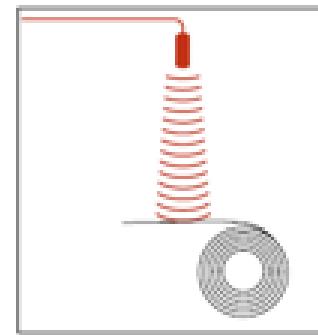
Es posible detectar líquidos con un sensor ultrasónico. El eje del haz de onda no debe desviarse más de 3° desde una línea perpendicular a la superficie del líquido.

Sensores Ultrasónicos

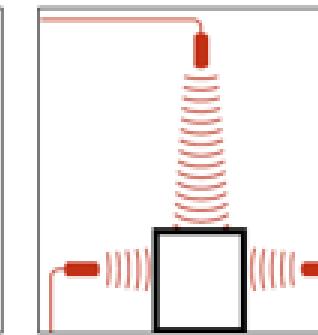
Aplicaciones típicas



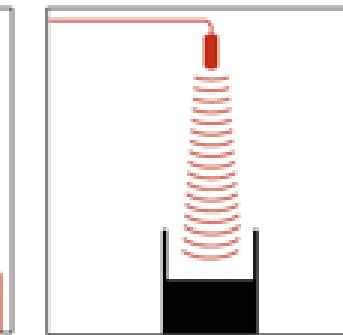
Detection of persons



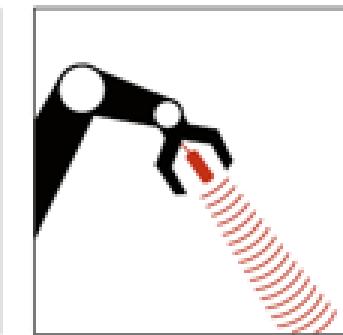
Foil-tear monitoring



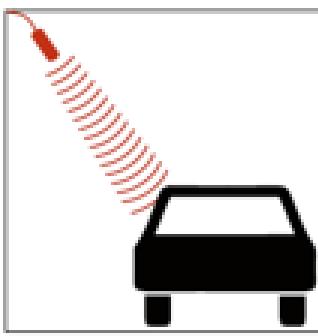
Height / width measurement



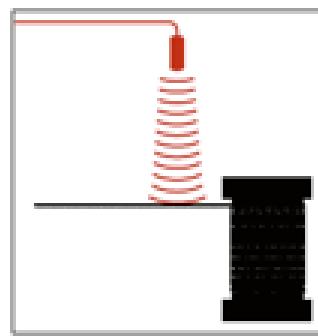
Presence monitoring



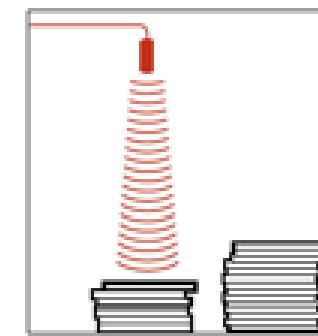
Robot positioning



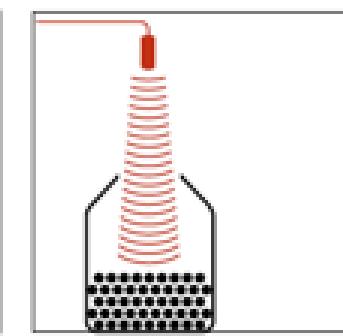
Positioning



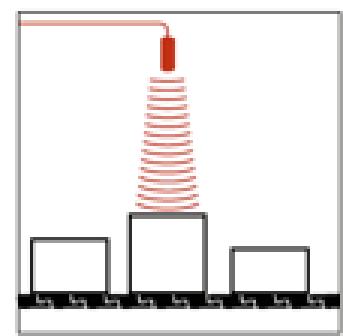
Wire-breakage-monitoring



Stack-height detection



Fill-level monitoring



Object detection

Sensores Ultrasónicos

Aplicaciones típicas

Medición de nivel:

- Líquidos
- sólidos



Sensores Ultrasónicos

Tipos de salida eléctrica

- Digital: PNP/NPN (NA o NC)
- Analógica (4-20mA / 0-10V)

Sensores Ultrasónicos

Adaptador de enfoque

Permite enfocar el haz ultrasónico



Sensores Ultrasónicos

Deflectores

Permite direccionar el haz ultrasónico



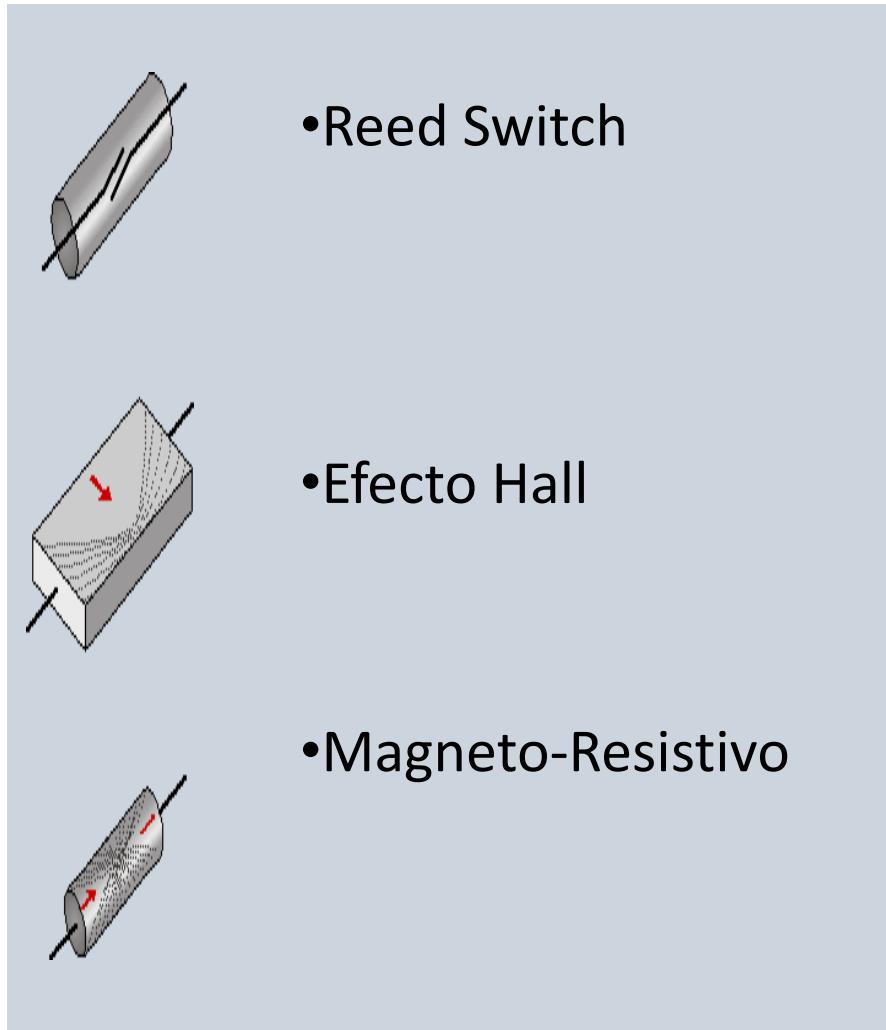
Sensores Magnéticos

Principio de Funcionamiento

- Los sensores magnéticos son aquellos que detectan campos magnéticos (de imanes) a través de metales no ferrosos (aluminio, bronce, etc.)
- Estos sensores convierten estos campos en señales de conmutación y entregan estas señales al controlador de la misma forma que un sensor inductivo.

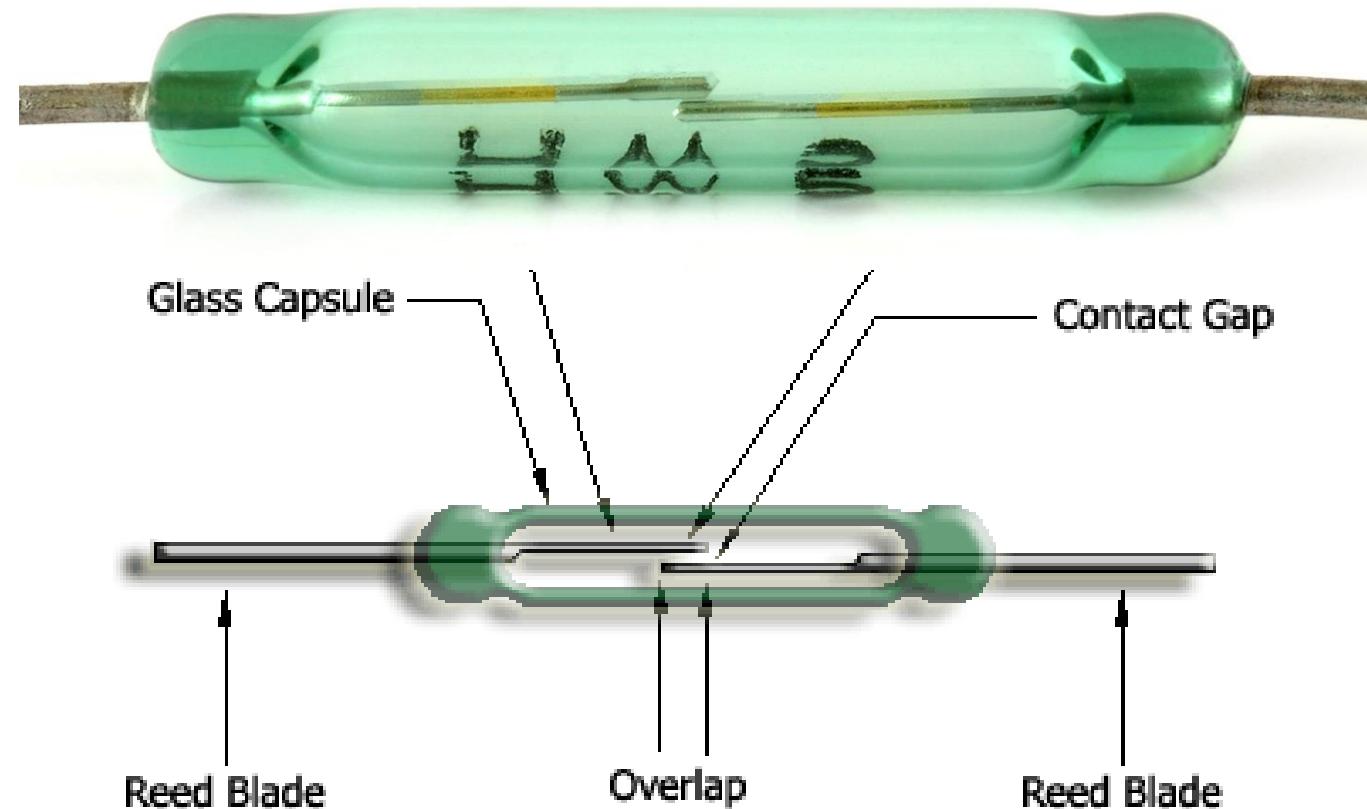
Sensores Magnéticos

Tecnologías de detección



Sensores Magnéticos

Tecnología reed-switch



Sensores Magnéticos

Tecnología reed-switch

- Dos lengüetas de contacto son moldeadas dentro de un tubo de vidrio sin aire, rellena de gas inerte.
- Estos contactos son magnetizados por las líneas de fuerza magnética de un imán permanente.
- Los contactos son atraídos al mismo tiempo.

Sensores Magnéticos

Tecnología reed-switch

- Cuando un campo magnético se genera en paralelo al sensor, las placas se convierten en portadoras de flujo en el circuito magnético.
- Las puntas de cada placa se convierten en polos magnéticos opuestos que se atraen.
- Si la fuerza magnética entre los polos es más fuerte que la encontrada en los polos de las placas, éstas se unirán.

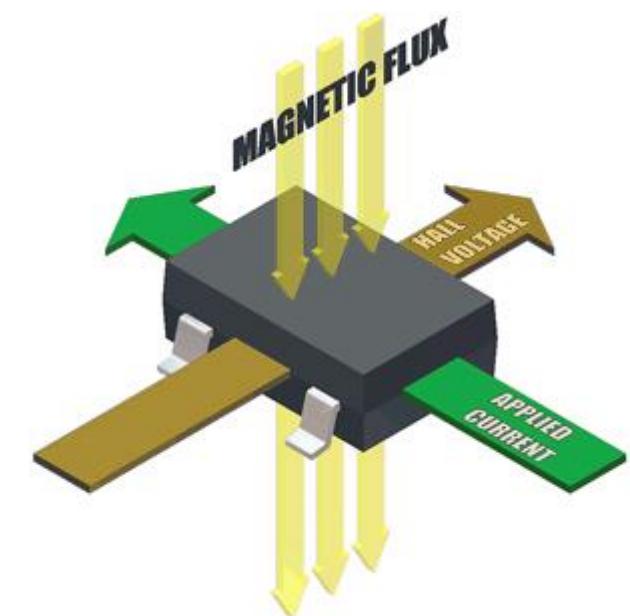
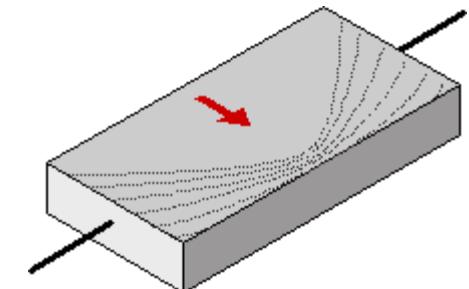


Sensores Magnéticos

Tecnología efecto hall

La polaridad del campo magnético induce un pequeño cambio de voltaje.

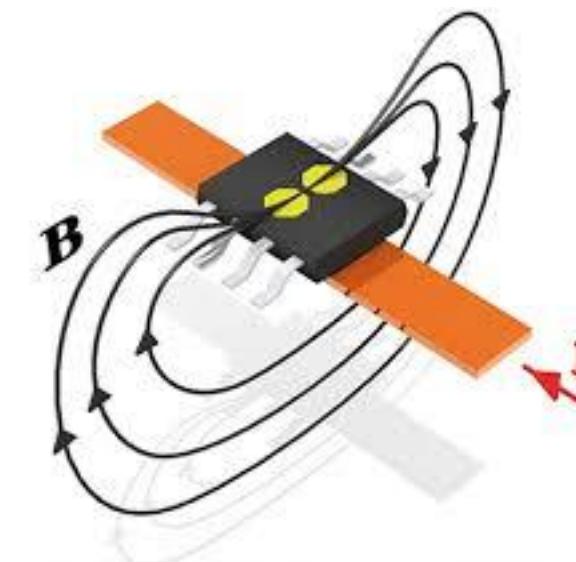
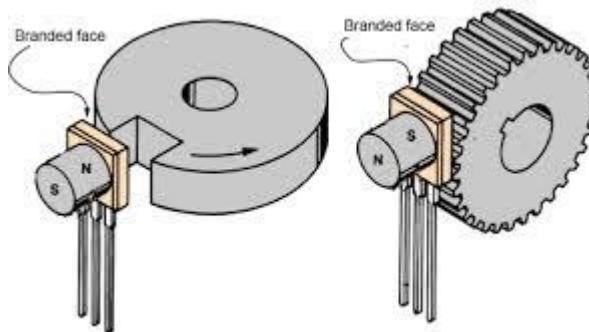
- Dispositivo de estado sólido.
- Elemento pequeño.
- Sensible a la polaridad.



Sensores Magnéticos

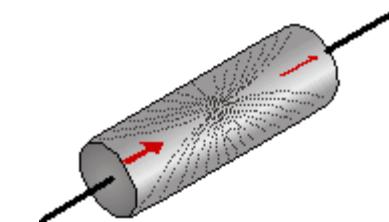
Tecnología efecto hall

Aplicaciones

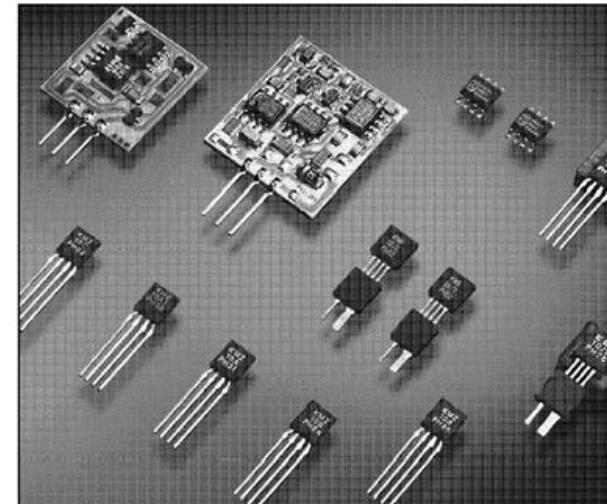


Sensores Magnéticos

Tecnología magneto-resistiva



- El campo magnético provoca un cambio en la Resistencia.
- Usado en cabezas de lectura de discos duros.
- El más estable de todos.
- Tolera los cambios de dirección del campo magnético.



Sensores Magnéticos

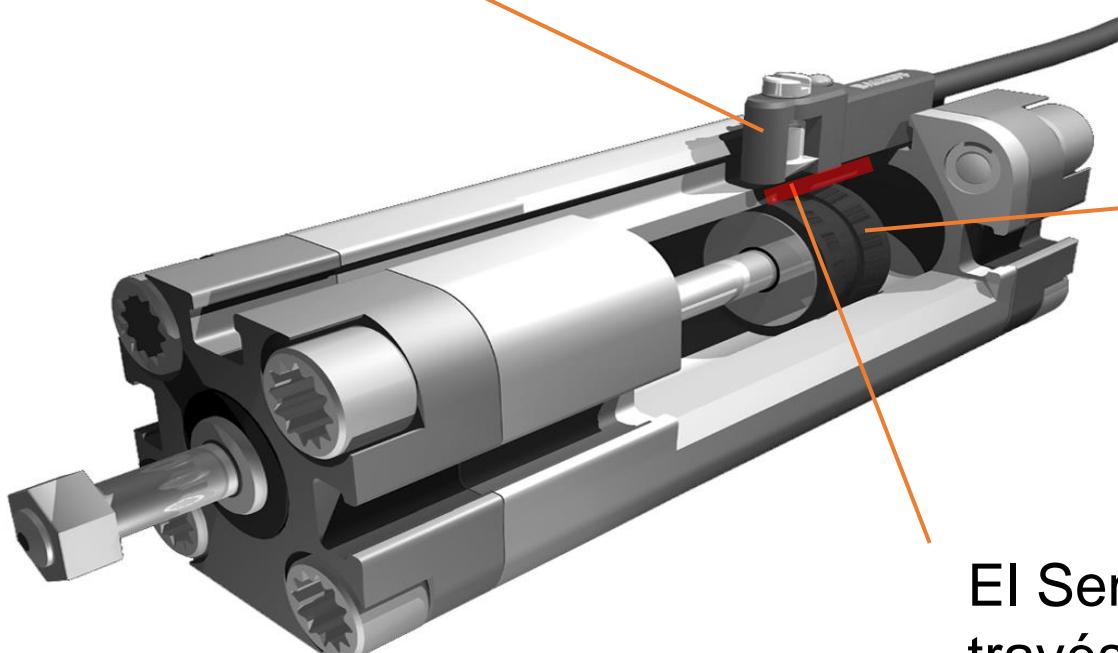
Comparación tecnologías

	Reed Switch	Hall Effect Technology	Magnetoresistive Technology
Attribute			
Operation	Mechanical contact pulled closed by magnetic field	Polarity of magnetic field induces small voltage change	Magnetic field causes change in resistance
Sensitivity	Medium	Low	High
Speed	Low	High	High
Temp. stability	Medium	Low	High
Noise immunity	High	Low	High
Magnet orientation	Parallel	Perpendicular	Any

Sensores Magnéticos

Aplicaciones típicas: detección de fin de carrera en cilindros neumáticos

El Sensor se monta en el cilindro



Anillo magnético instalado por el fabricante de cilindros.

El Sensor detecta el Magneto a través de la pared del cilindro (aluminio).

Sensores Magnéticos

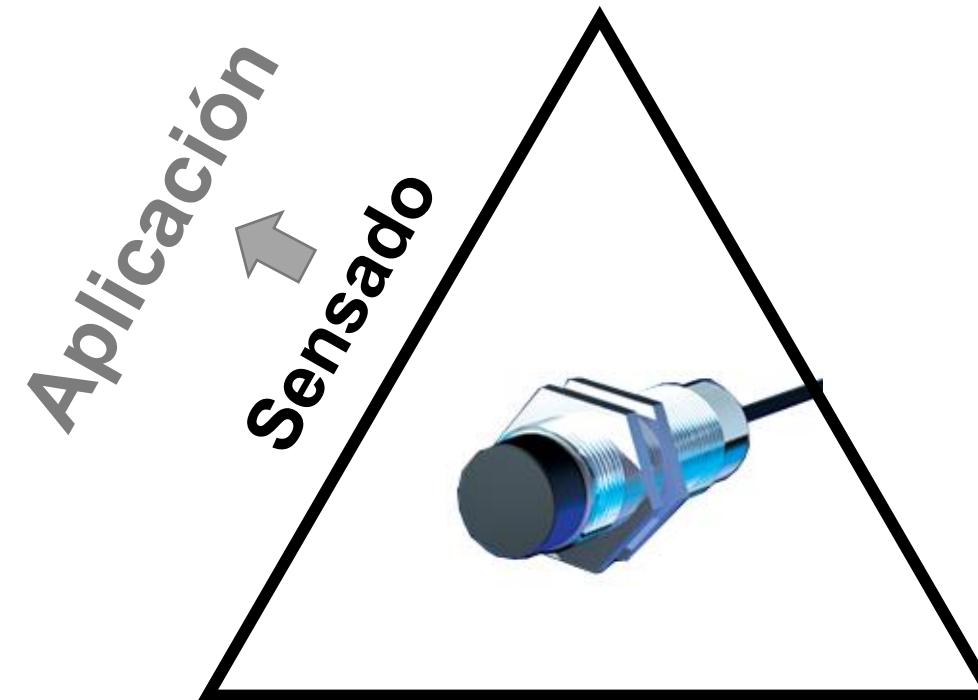
Tipos de salida eléctrica

- Digital: PNP/NPN (NA o NC)
- Contacto seco (en sensores tipo reed-switch).

Criterios de selección



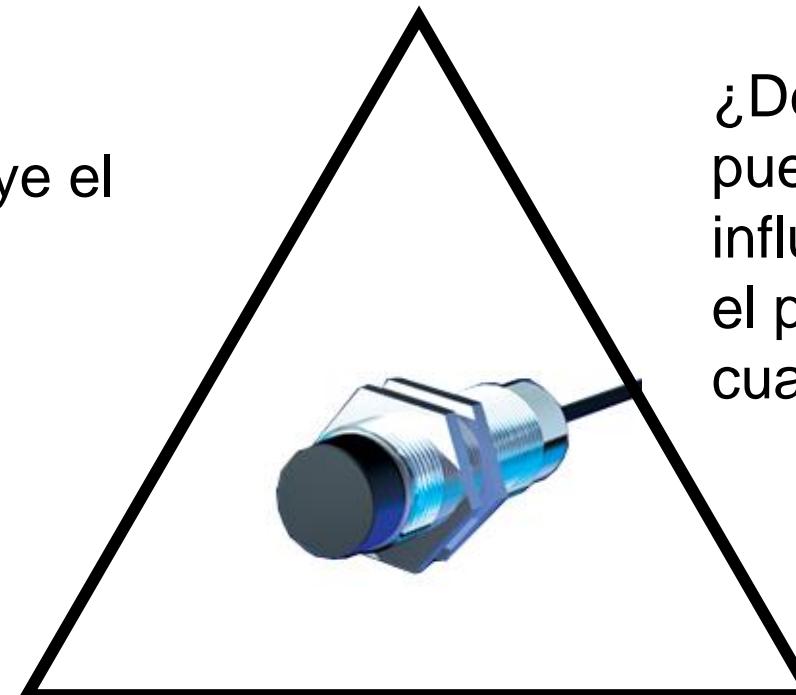
Criterios de selección



¿Que voy a detectar?
¿A que distancia?  **Tecnología**

Criterios de selección

¿De que manera influye el Medio ambiente en la integridad del sensor?



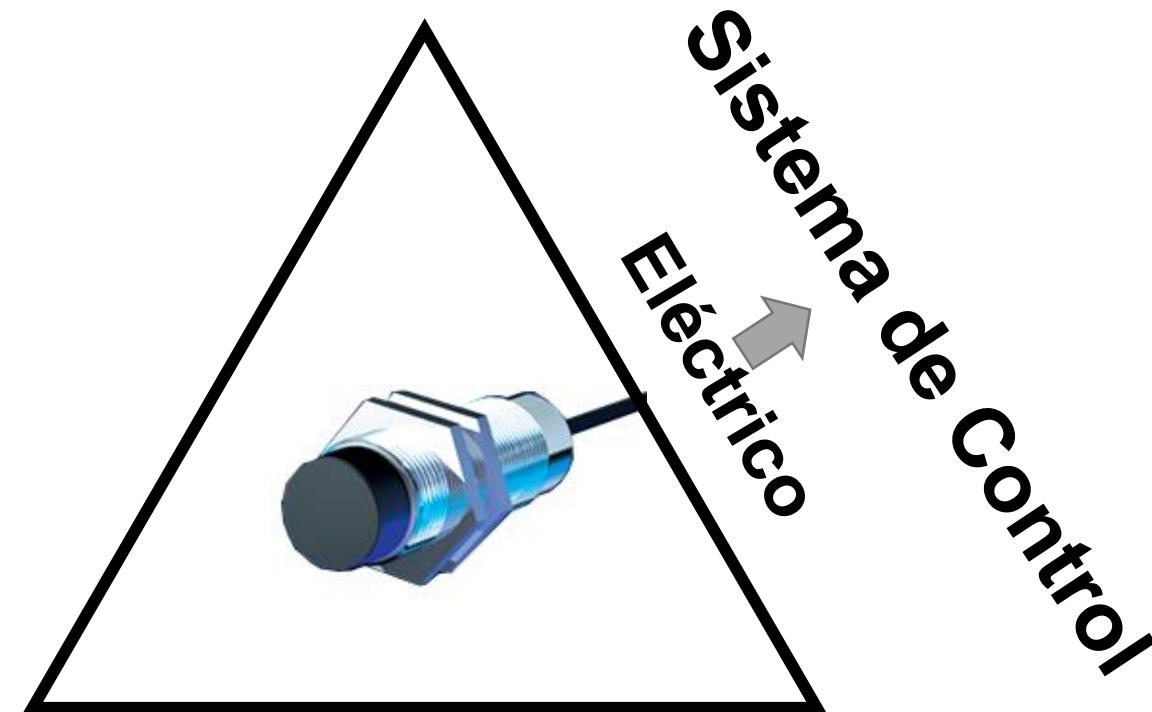
¿De que manera, puede el sensor influir o contaminar el proceso en el cual está montado?

Encapsulado



Ambiente

Criterios de selección



- Alimentación.
- Tipo de salida.
- Frecuencia de operación.
- Corriente y Tipo de Carga.
- Conectividad.
- Protocolo de comunicación.
- Diagrama de conexiones.

SENsores de presión

22.88

AGENDA

- Principios Físicos
 - Definición
 - Unidades
 - Tipos de presión
- Tecnologías de sensado
 - Sensores basados en conversión mecánica
 - Sensores basados en conversión eléctrica.
- Instalación
- Aplicaciones

Importancia de los sensores de presión

- La presión es la segunda variable más monitoreada en la industria, luego de la temperatura.
- La medición de presión tiene tres razones fundamentales:
 - Indicación de presión para su visualización.
 - Control de procesos automatizados.
 - Monitoreo de presiones en forma remota

Sensores de presión en la vida cotidiana



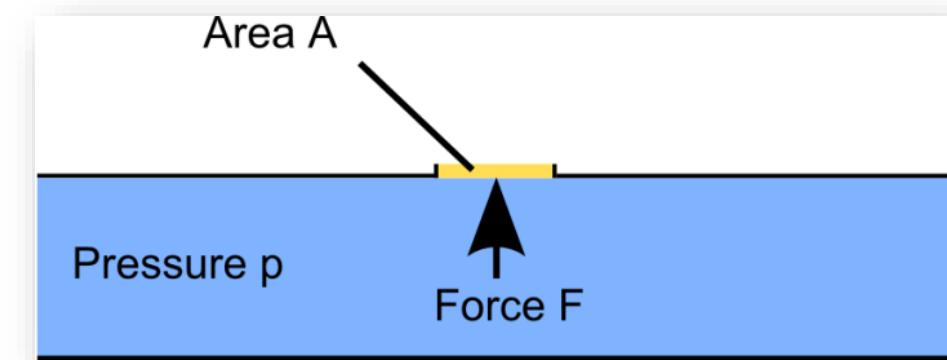
Sensores de presión en la vida cotidiana



¿Qué es la presión?

- Presión P es una fuerza F aplicada sobre una unidad de área A en dirección perpendicular de la superficie.
- En un contenedor cerrado la presión es la misma en cualquier punto y la presión no tiene dirección. Por lo tanto no importa la posición o la orientación del montaje del sensor.

$$p = \frac{F}{A}$$



¿Qué es la presión hidrostática?

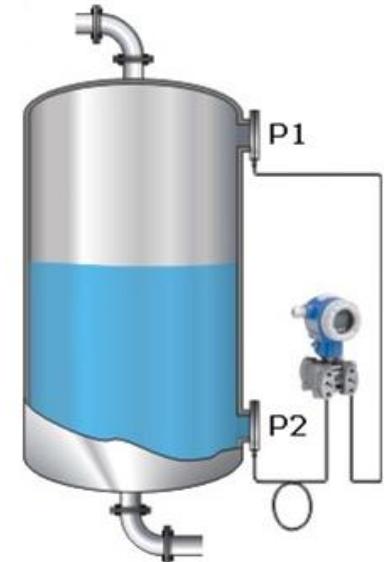
La presión en un fluido dentro de un contenedor abierto depende de la altura en donde se haga la medición. Entre más abajo esté el punto de medición más alta será la presión.

Si la presión se mide en 2 puntos diferentes la presión será más alta en el punto de medición más abajo.

La presión **P** es proporcional a la altura **H**:

$$p = \frac{F}{A} = \frac{m \cdot g}{\pi * r^2} = \frac{m \cdot g}{\pi * r^2}$$

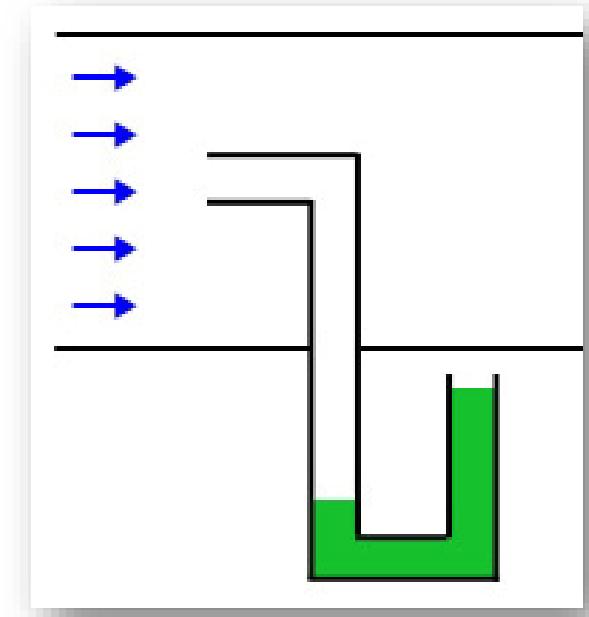
$$m = \delta * Vol = \delta * \pi * r^2 * h \Rightarrow p = \frac{\delta * \pi * r^2 * h * g}{\pi * r^2}$$
$$p = \delta * g * h$$



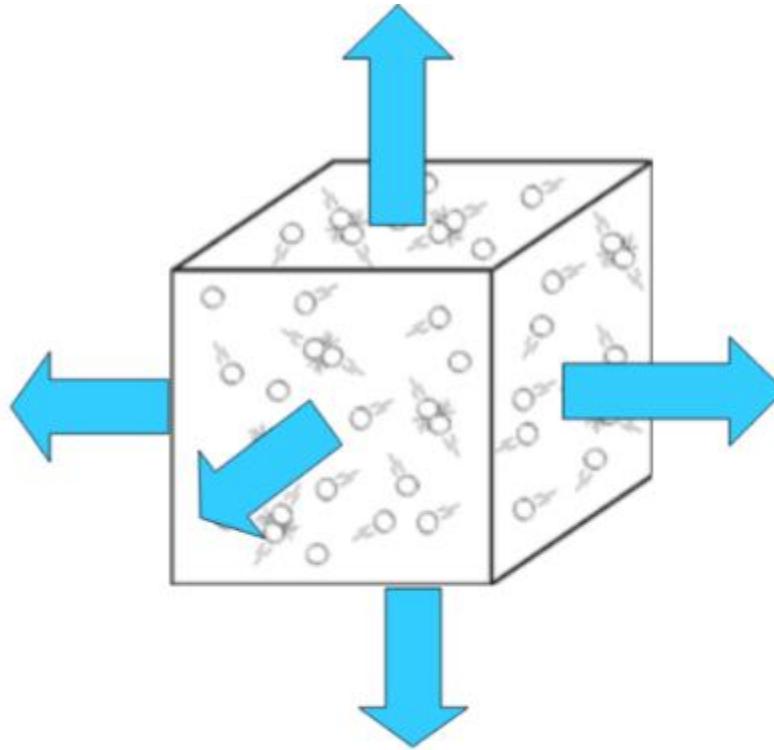
¿Qué es la presión dinámica?

«Representa la energía cinética de un fluido en movimiento».

- En la imagen se aprecia una tubería con un fluido en movimiento. Hay un segundo tubo interno, con un diámetro más pequeño.
- El fluido verde es empujado por el fluido en la tubería principal: la diferencia de altura del fluido verde representa la **presión dinámica**.



Presión en un gas



Pressure is dependent on Volume

Boyle's Law (1662):

$$P \cdot V = \text{constant} \text{ (at constant } T, n)$$

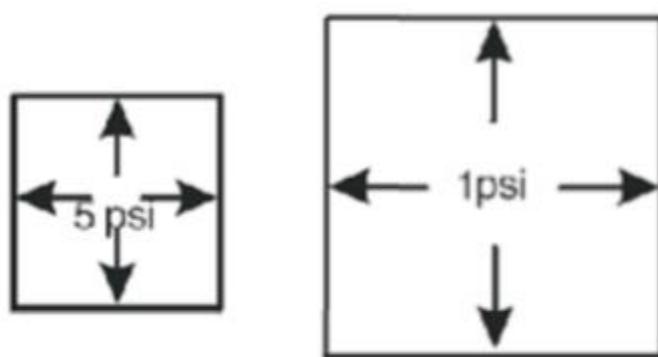
Pressure is dependent on Temperature

Charles' Law (1787):

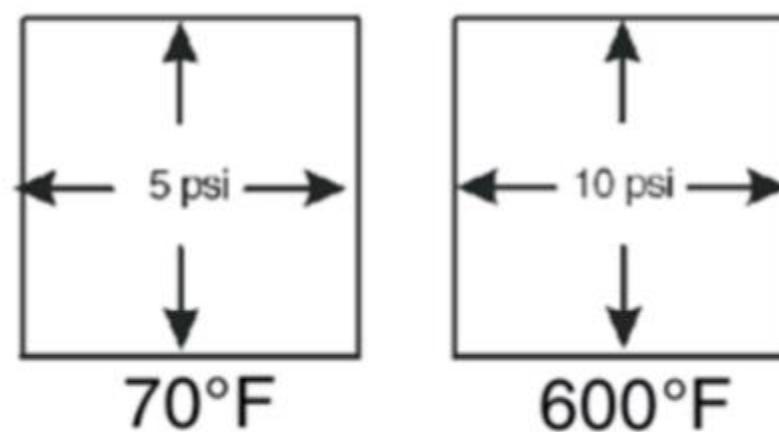
$$V = \text{constant} \cdot T \text{ (at constant } P, n)$$

Presión en un gas: ley de gases ideal

Boyles Law



Charles Law



Volume Increases - Pressure Decreases

Temperature Increases - Pressure Increases

Ideal Gas Law

$$PV = nRT$$

Unidades de presión típicas en la industria

- La unidad SI es el **Pascal** con símbolo *Pa*. 1 Pascal se define como 1 **Newton por metro cuadrado**:

$$1 \text{ Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

- La unidad **Bar** cuyo símbolo es *bar* equivale:

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$$

- Finalmente, la unidad **libras-por-pulgada cuadrada** con símbolo *psi* no es una unidad SI, pero muy común en países de habla inglesa.

$$1 \text{ psi} \approx 6895 \text{ Pa} \quad 1 \text{ bar} \approx 14,5 \text{ psi}$$

Otras unidades de presión

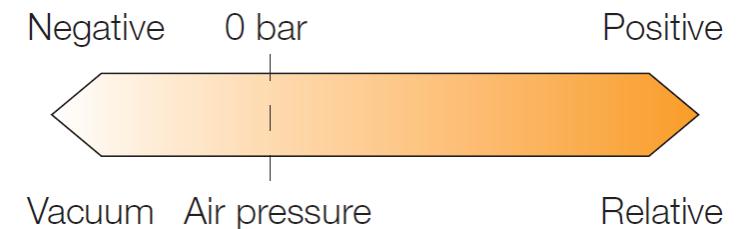
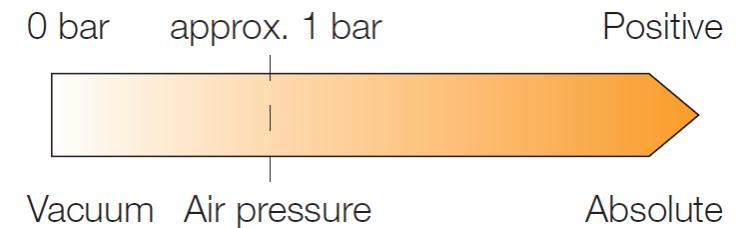
Nombre común de la Unidad	Abrev.	Fórmula	Presión Atmosférica Normal
Pascal	Pa	N/m ²	101325 Pa
Atmósfera	atm		1 atm
Libra	psi	lb/in ²	14.7 psi
Torricelli	Torr	mm(Hg)	760 Torr
Columna de Agua	m.c.a.	m(H ₂ O)	10.332 m
Kilo	Kg	kg/cm ²	1.033 kg/cm ²
Bar	Bar	Bar	1.01325 bar

Unidades de presión: conversiones

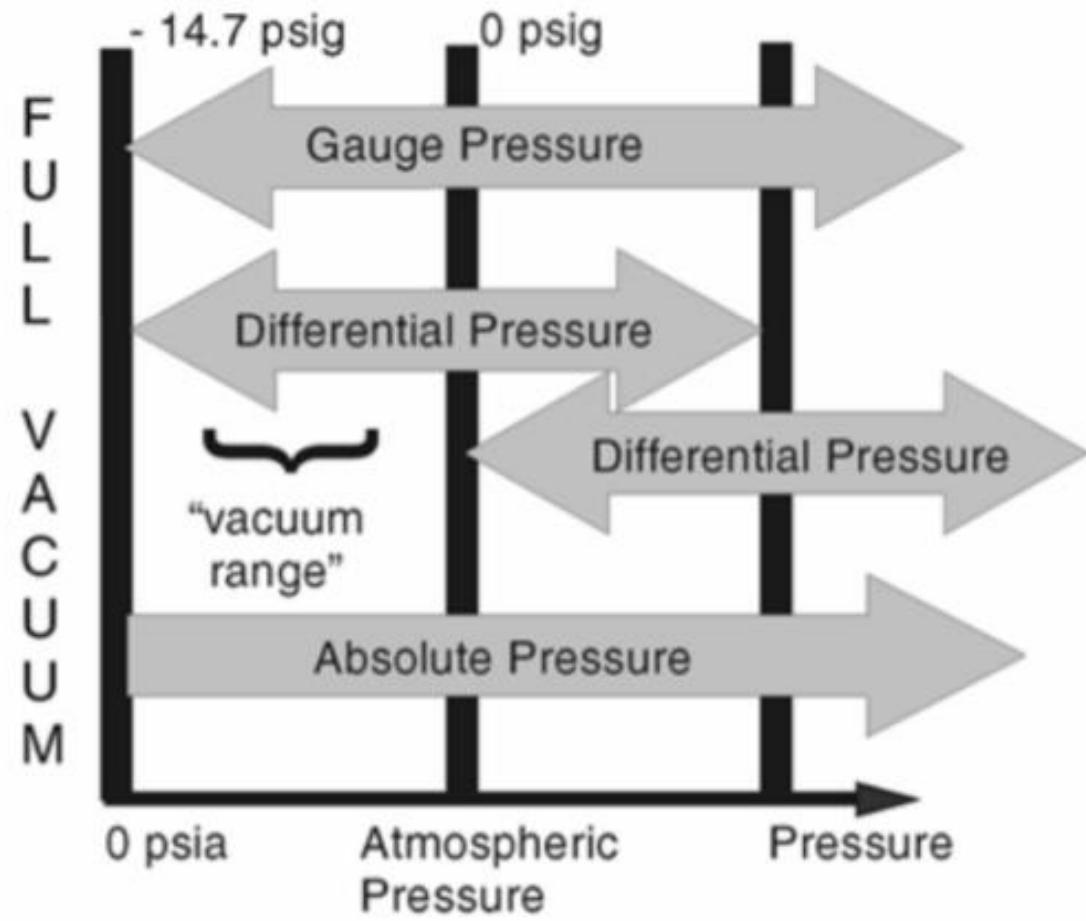
From \ To	Pa (N/m^2)	kPa	MPa	bar	mbar	mm H ₂ O	kg/cm ²	atm	inch Hg	mm Hg	inch H ₂ O	psi
Pa (N/m^2)	1	10^3	10^{-6}	10^{-5}	10^{-2}	0.1020	1.020×10^{-5}	9.869×10^{-6}	2.953×10^{-4}	7.501×10^{-3}	4.016×10^{-3}	1.451×10^{-4}
kPa	10^3	1	10^{-3}	10^{-2}	10	102.0	0.0102	9.869×10^{-3}	0.2953	7.501	4.016	0.14505
MPa	10^6	10^3	1	10	10^4	1.020×10^5	10.20	9.869	295.3	7501	4016	145.05
bar	10^5	100	0.1	1	10^3	1.020×10^4	1.020	0.9869	29.530	750.1	401.6	14.505
mbar	100	0.1	10^{-4}	10^{-3}	1	10.20	1.020×10^{-3}	9.869×10^{-4}	0.0295	0.7501	0.4016	0.0145
mm H ₂ O	9.807	9.807×10^3	9.807×10^6	9.807×10^5	9.807×10^2	1	10^4	9.678×10^5	2.891×10^3	0.0734	0.0394	1.4224×10^3
kg/cm ²	9.807×10^4	98.07	0.0981	0.98077	980.7	10^4	1	0.9678	28.910	734.2	393.7	14.224
atm	1.013×10^5	101.3	0.1013	1.013	1013	1.033×10^4	1.033	1	29.922	760.1	406.7	14.68
inch Hg	3.386×10^3	3.386	3.386×10^{-3}	0.0339	33.864	345.9	0.0346	0.0334	1	25.40	13.62	0.4912
mm Hg	133.3	0.1333	1.333×10^{-4}	1.333×10^{-3}	1.333	13.62	1.362×10^{-3}	1.316×10^{-3}	0.0394	1	0.5362	0.0193
inch H ₂ O	249.1	0.2491	2.491×10^{-4}	2.491×10^{-3}	2.491	25.40	2.54×10^{-3}	2.458×10^{-3}	0.0734	1.8650	1	0.0361
psi	6.895×10^3	6.895	6.895×10^{-3}	0.0689	68.948	704.3	0.0704	0.0680	2.036	51.71	27.73	1

¿Qué es la Presión Absoluta, Diferencial y Relativa?

- La Presión Absoluta es la presión medida en referencia al vacío. Es siempre positiva.
- La Presión Relativa es la que se mide en referencia con la Presión Atmosférica.
- La Presión Diferencial es la que se mide en referencia a una Presión Arbitraria



¿Qué es la Presión Absoluta, Diferencial y Relativa?



Atmospheric pressure = $14.7 \text{ psia} \pm 0.3 \text{ psi}$

Tecnologías de sensores de presión

Podemos agrupar las tecnologías de sensado en dos grandes grupos, de acuerdo al principio de funcionamiento en el que se basan:

Mecánicos:

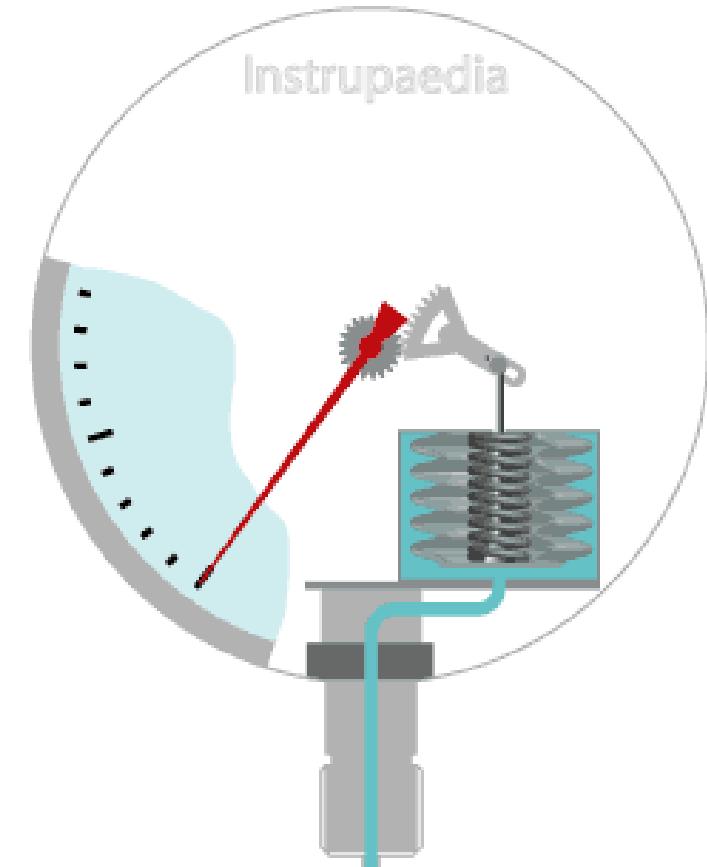
- Fuelle
- Tubo Bourdon
- Diafragma

Eléctricos:

- Capacitivos
- Resistivos
- Otros

Sensores de presión tipo fuelle

- Consiste en un fuelle fabricado con tubos sin costura de paredes delgadas prensados hidráulicamente.
- Al aplicarse presión, el fuelle se comprimirá y de desplazará hacia arriba, transmitiendo mecánicamente el valor de presión medido.
- El fuelle posee varias convoluciones: a mayor cantidad, mayor rango de medición.



Sensores de presión tipo fuelle

Ventajas:

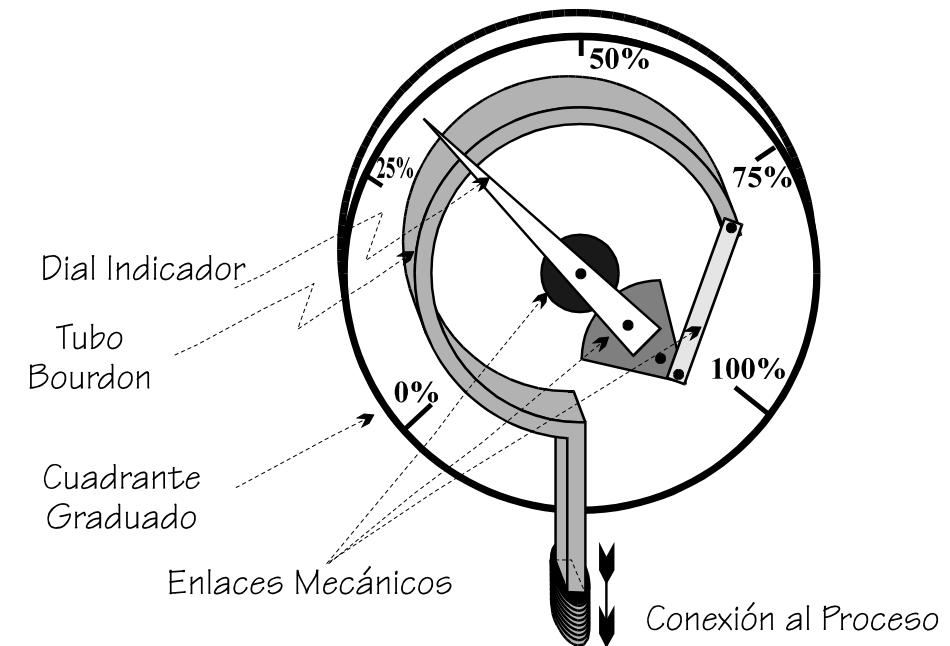
- Soportan fuerzas elevadas.
- Permite medir presiones absolutas y diferenciales.

Desventajas:

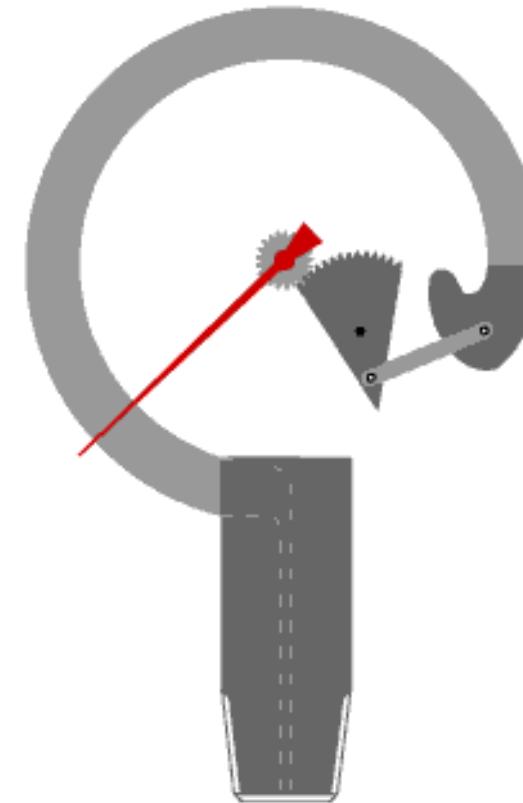
- Diseñados para medición de presiones bajas.
- Sensibles a cambios de temperatura, endurecimiento, fricción y vibraciones.

Sensores de presión tubo Bourdon

- Los sensores Bourdon consisten generalmente en tubos curvados (tipo C) en arco de sección oval.
- A medida que se aplica presión al interior del tubo, éste tiende a enderezarse.
- El trayecto del movimiento se transmite a un mecanismo y es la medida de presión que se indica mediante una aguja.
- Si un tubo Bourdon se somete a presión superior a la de su límite y a presiones mayores que las que actuó sobre él, puede producirse una deformación permanente



Sensores de presión tubo Bourdon



Sensores de presión tubo Bourdon

Ventajas:

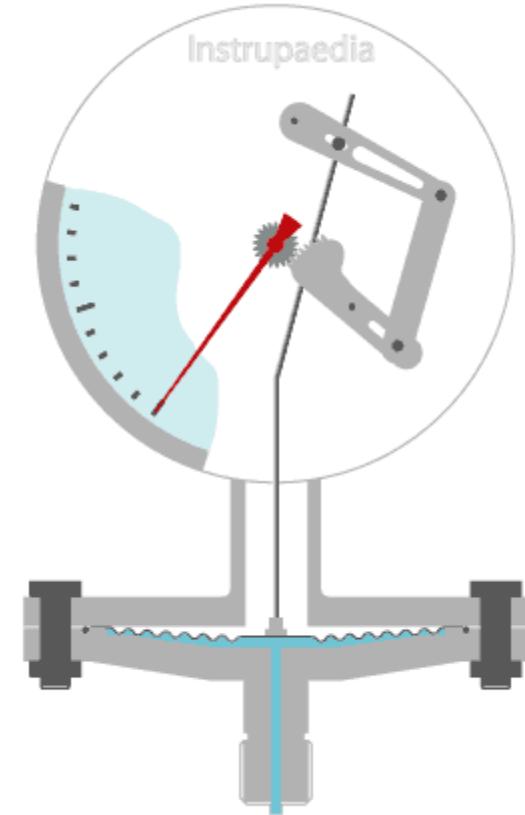
- Bajo costo.
- Construcción sencilla.
- Amplios rangos de medición (hasta 7000 bar).

Desventajas:

- Poco precisos.
- Sensibles a shocks y vibraciones.

Sensores de presión de diafragma

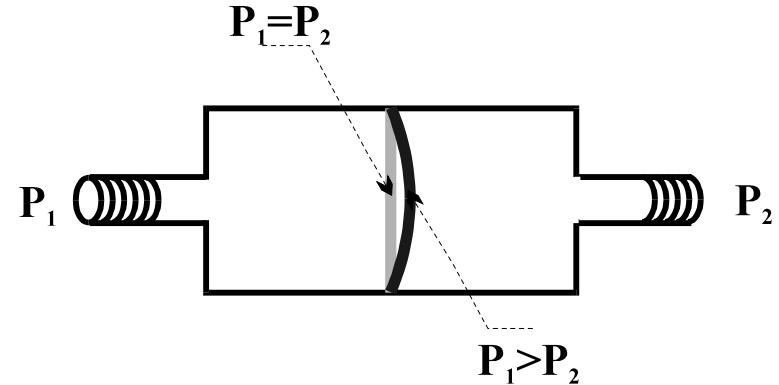
- Este sensor posee dos cámaras separadas por una membrana o diafragma flexible, típicamente hecha de una lámina delgada de acero, sensible a pequeños cambios de presión.
- El diafragma se vincula mecánicamente al mecanismo de transmisión, el cual amplifica las pequeñas deflexiones del diafragma para su correcta visualización.



Sensores de presión de diafragma

Principio de funcionamiento

$$F = (P_2 - P_1) A$$



$$M = \frac{\text{Esfuerzo}}{\text{Deformación}} = \frac{F/s}{\Delta x/l}$$

$$\Delta x = \frac{P_2 - P_1}{S/A \ M/l} = k \Delta P$$

Comparación tubo Bourdon y diafragma



Sensores de presión de diafragma

Ventajas:

- Pequeño desplazamiento.
- Posibilidad de recubrimientos (ej. Teflón).
- Protección ante sobrecargas.

Desventajas:

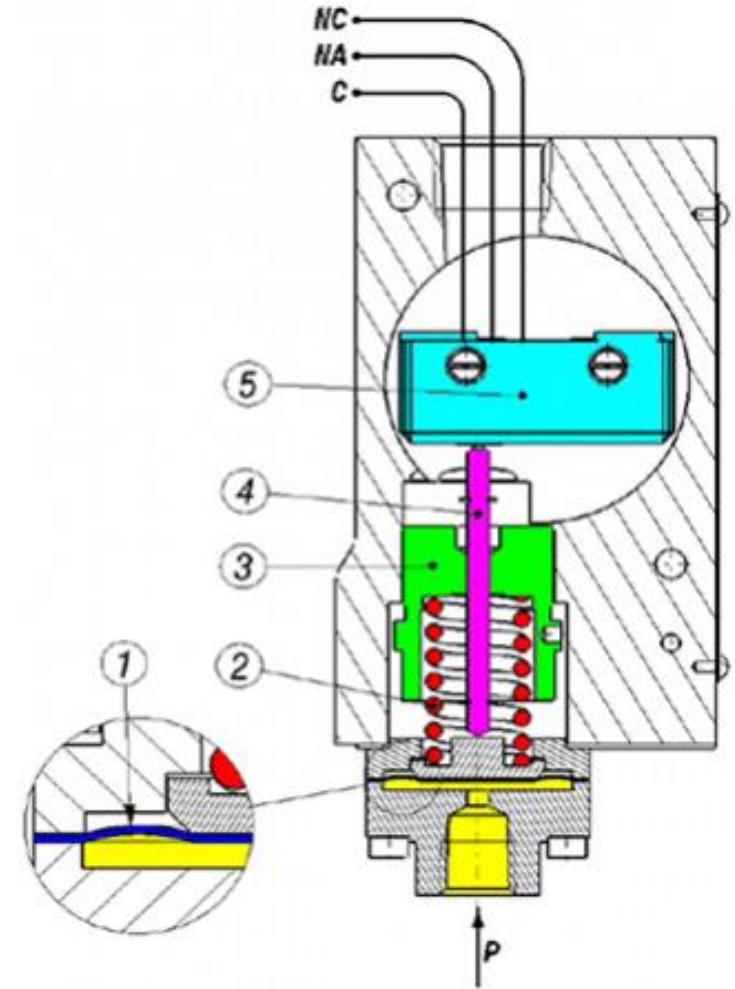
- Mantenimiento complejo.
- Rangos limitados de presión (típicamente menos de 100 bar)

Evolución de sensores de presión

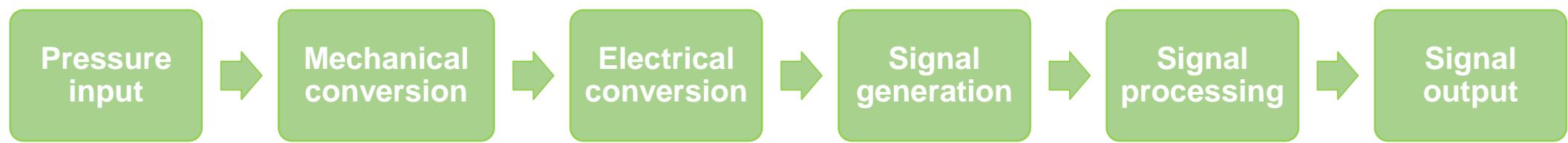


Presostatos

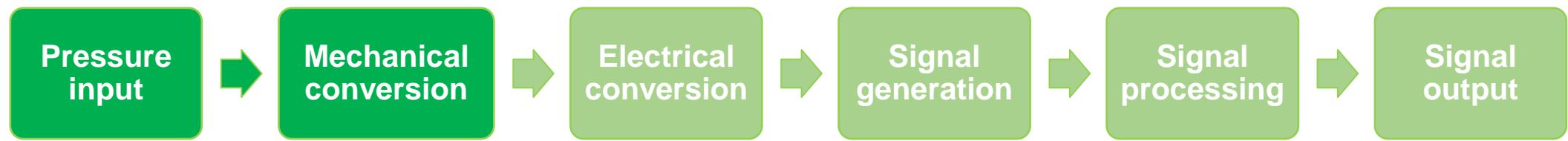
- El Presostato es un interruptor de presión que cierra o abre un circuito eléctrico en función de la presión.
- La presión que actúa sobre el sensor ejerce un empuje sobre el actuador, que queda contrarrestada por la fuerza del resorte.
- Cuando el empuje alcanza el valor necesario para vencer la fuerza producida por el resorte, el actuador hace un pequeño desplazamiento accionando el switch.
- Cuando la presión vuelve a los valores anteriores al de intervención, acciona nuevamente el switch, restaurando automáticamente el circuito a la configuración original.



Conversión de presión a señal eléctrica



Conversión de presión a señal eléctrica



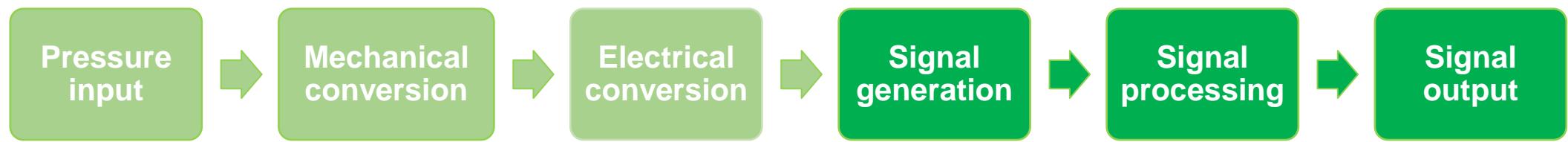
La presión causa una deformación mecánica en el elemento sensor, como por ejemplo una membrana o galga extensométrica.

Conversión de presión a señal eléctrica



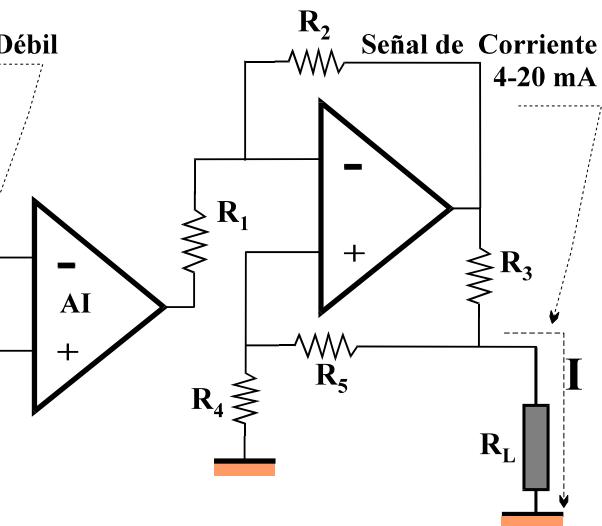
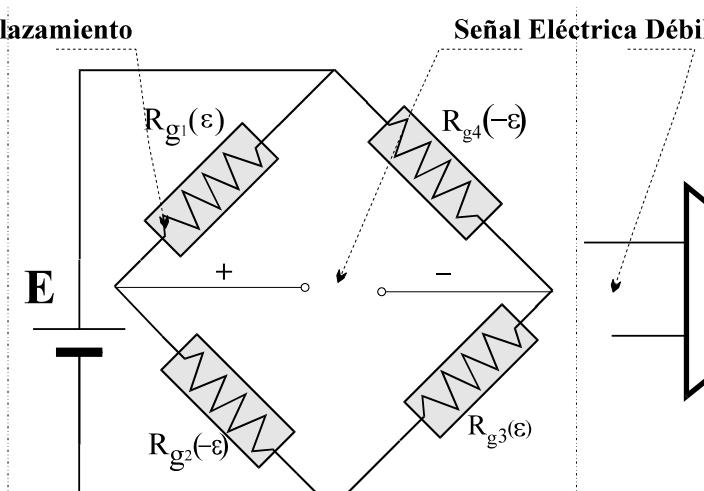
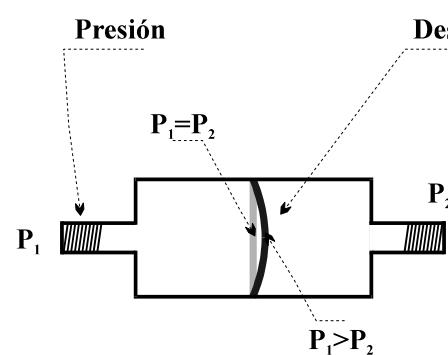
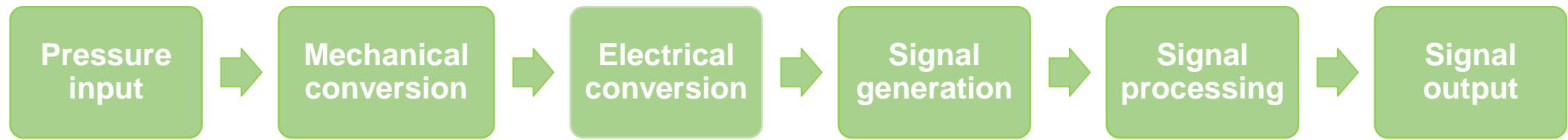
- Esta deformación se convierte en una señal eléctrica mediante el uso de diversas técnicas de medición, que consisten en utilizar el efecto que dicha deformación tiene en el cambio de alguna variable física:
 - Resistencia.
 - Capacidad.
 - Inductancia.

Conversión de presión a señal eléctrica



La señal eléctrica se amplifica, linealiza y se compensa térmicamente.

Conversión de presión a señal eléctrica



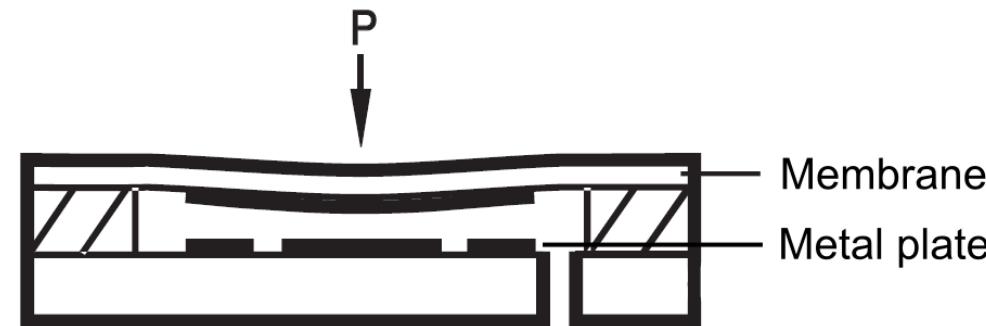
SENSOR

CONVERTIDOR

ACONDICIONADOR DE SEÑALES

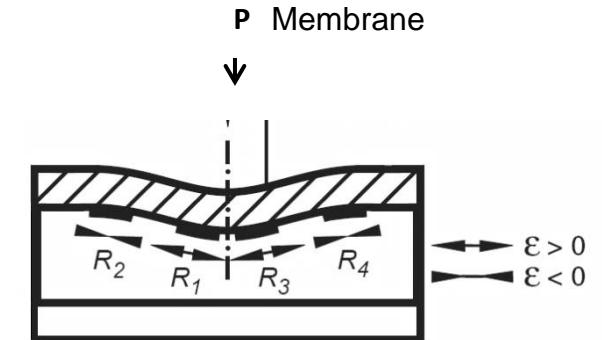
Sensores de presión capacitivos

- La membrana y una placa metálica forman un capacitor.
- Una deformación en la membrana cambia la distancia entre las placas del capacitor y, por ende, el valor de capacidad.
- Esta tecnología es muy precisa.



Sensores de presión resistivos

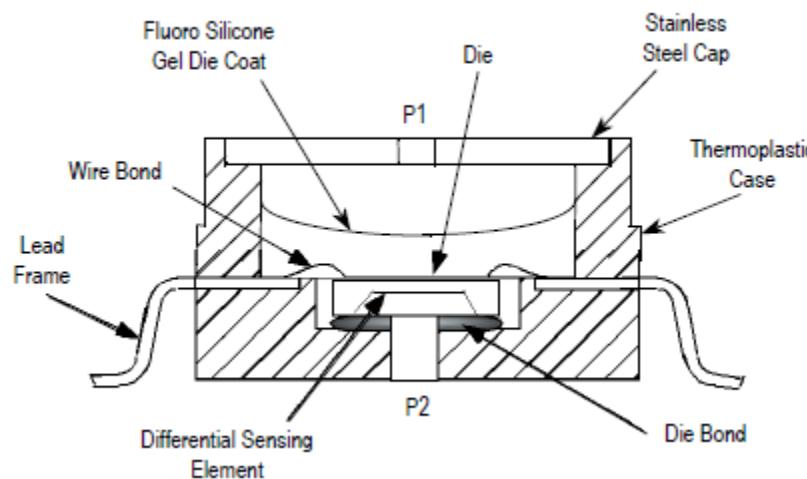
- Los sensores de presión resistivos utilizan una galga extensométrica.
- Una deformación en la membrana causa un cambio en la resistencia eléctrica.
- Este cambio se mide mediante un puente de Wheatstone.
- Familias:
 - Piezorresistiva
 - Película delgada
 - Película gruesa



Sensores de presión resistivos

Tecnología piezorresistiva

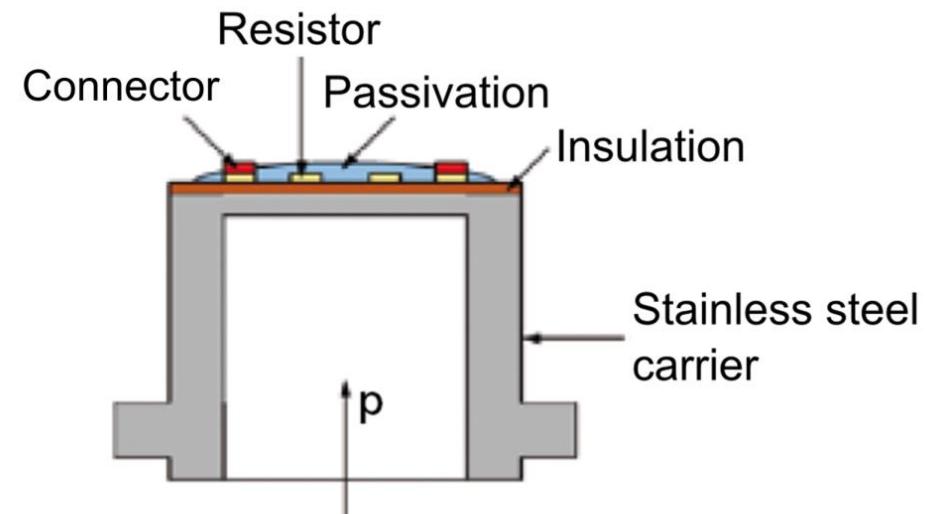
- Se basa en un semiconductor de silicona piezorresistivo.
- El semiconductor está protegido por una membrana de acero inoxidable.
- La presión se transfiere indirectamente vía un líquido (normalmente aceite de silicona).



Sensores de presión resistivos

Tecnología de película delgada

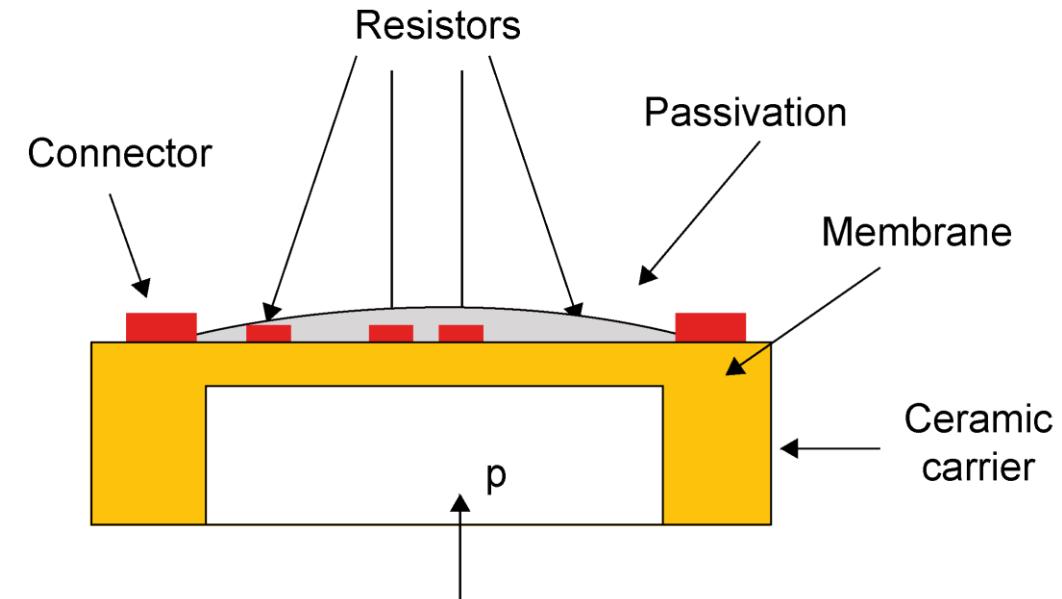
- Celda de medición con una capa de acero inoxidable.
- Las resistencias están colocadas en la membrana usando un proceso de litografía.



Sensores de presión resistivos

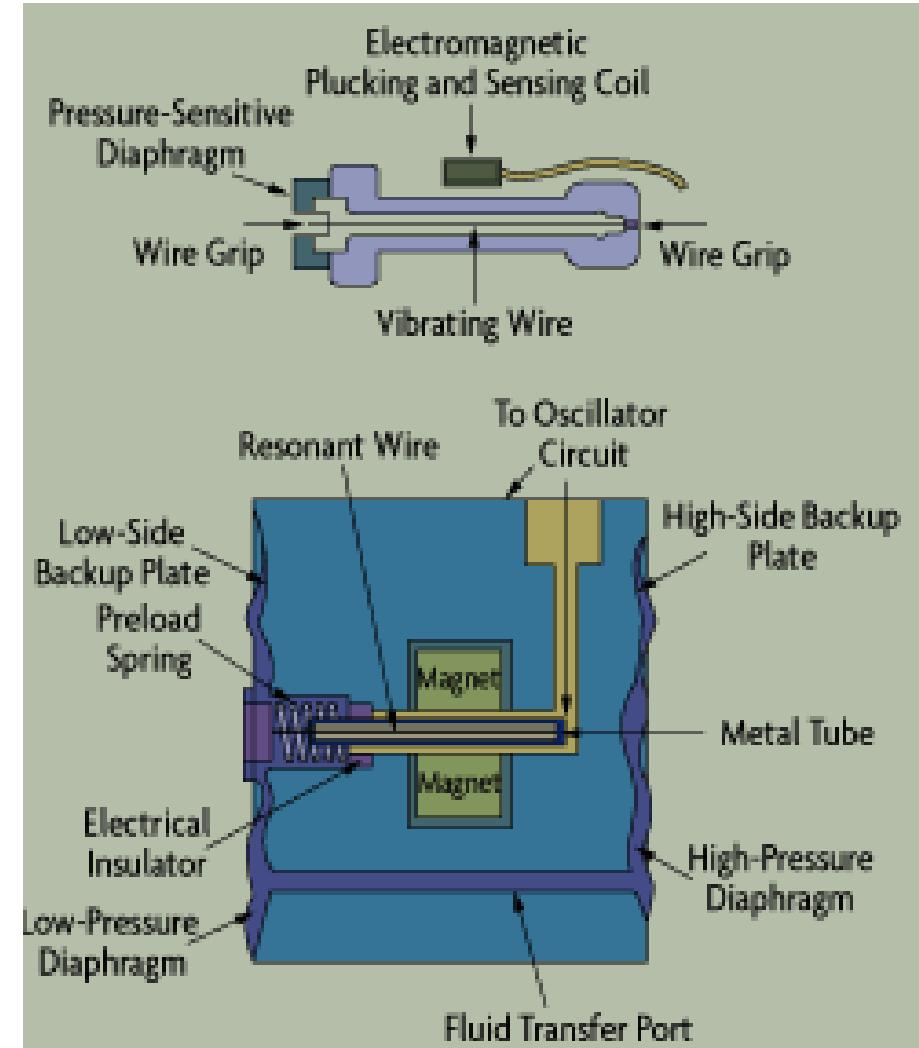
Tecnología de membrana gruesa

- Celda de medición con una capa cerámica.
- Las resistencias están colocadas en la membrana usando un proceso de recubrimiento grueso.
- Las celdas de medición con capa cerámica presentan estabilidad muy duradera y resistencia a la corrosión.
- No es necesaria la transferencia de fluidos.



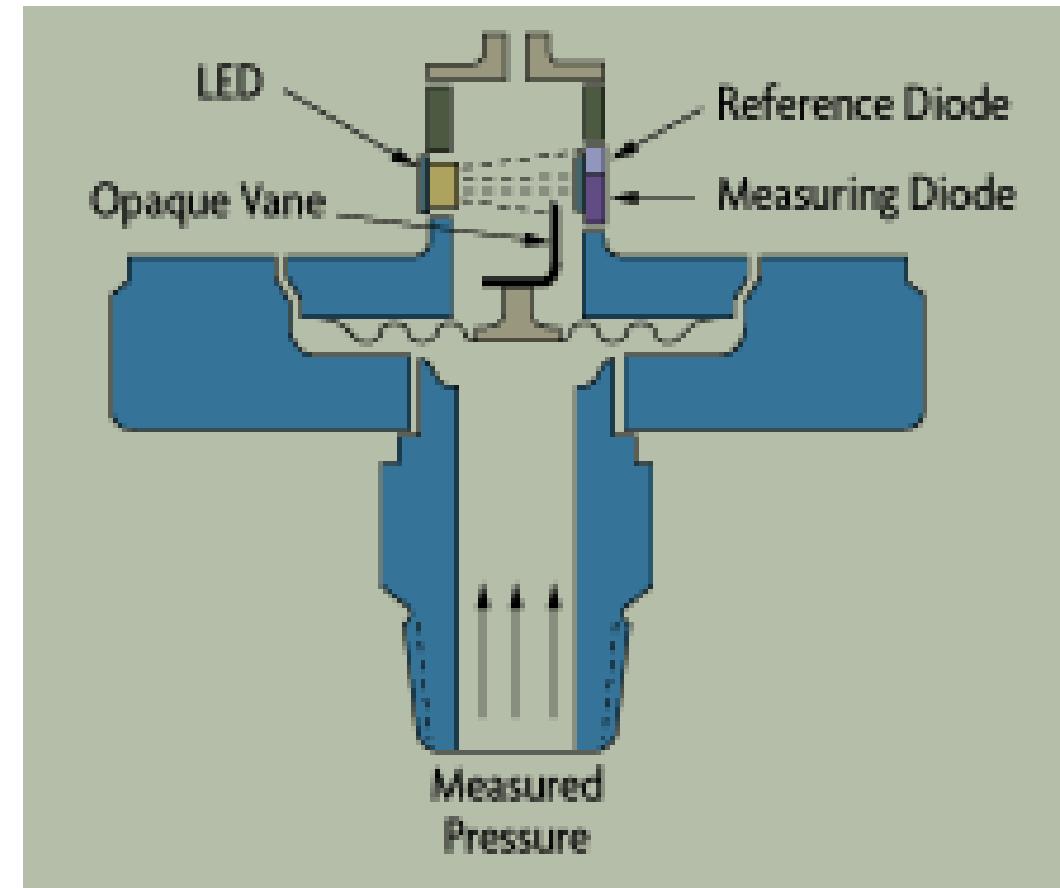
Sensores de presión de alambre resonante

- Consiste de un alambre firme en un extremo estático y el otro extremo vinculado al diafragma. Un oscilador hace resonar al alambre en su frecuencia de resonancia. El alambre se comprimirá o estirará según la presión aplicada en el diafragma, lo cual modificará su frecuencia de resonancia.
- Útil para presiones muy bajas.
- Salida digital directa.
- Sensible a cambios de temperatura, shocks y vibraciones
- Salida no lineal.



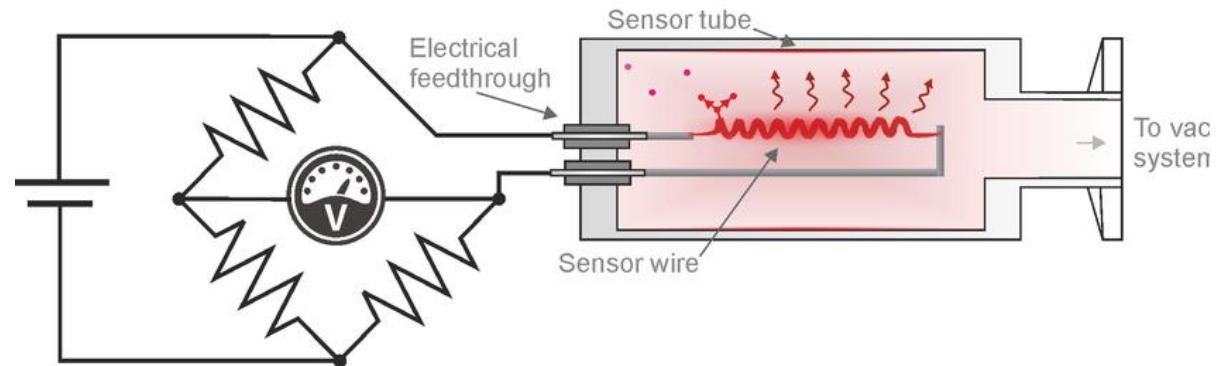
Sensores de presión de conversión óptica

- Se basan en un principio de emisión fotoeléctrica, cuyo haz se ve perturbado (intensidad, frecuencia, fase o polarización) por efecto de la presión.
- Inmune a cambios de temperatura (Diodos emisor, sensor y de referencia afectados en igual medida).
- Errores de histéresis y repetibilidad casi nulos
- Bajo mantenimiento.



Sensores de presión térmicos

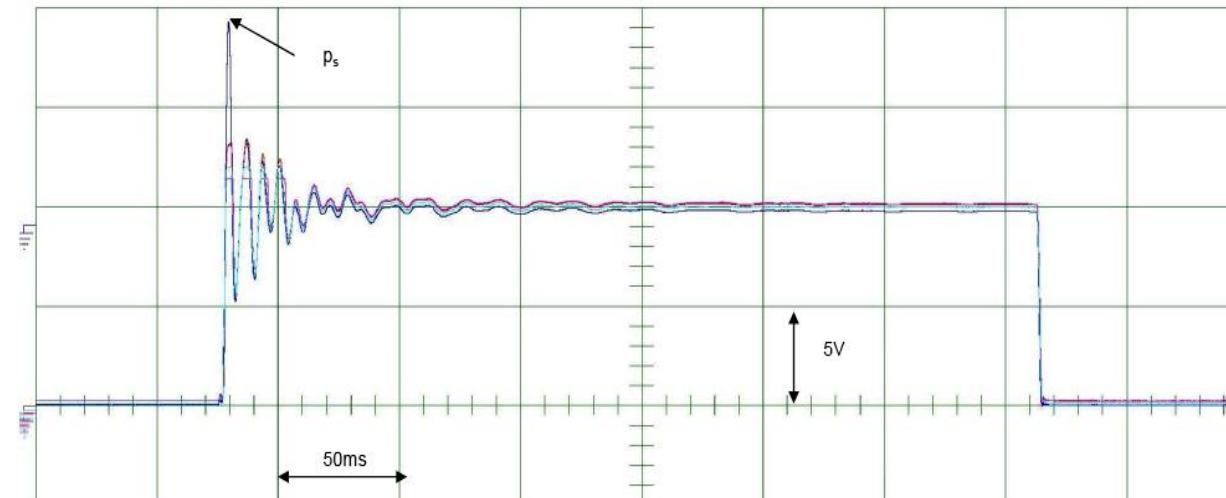
- Miden la presión a partir de los cambios en la conductividad térmica de un gas que se producen como resultado de variaciones en la densidad.
- Sensor más popular es el que utiliza una galga Pirani para medir presiones de vacío.
- Existen versiones modernas basados en un Pirani tipo MEMS (utiliza un resistencia sobre un semiconductor, en lugar de filamento).



Parámetros característicos de un sensor de presión

Picos de presión

En aplicaciones hidráulicas pueden existir picos de alta presión, por ejemplo los causados por válvulas de switcheo o cavitación. Para soportar estos picos de presión, los sensores cuentan con un rango de sobrecarga extendido y una presión de ruptura.

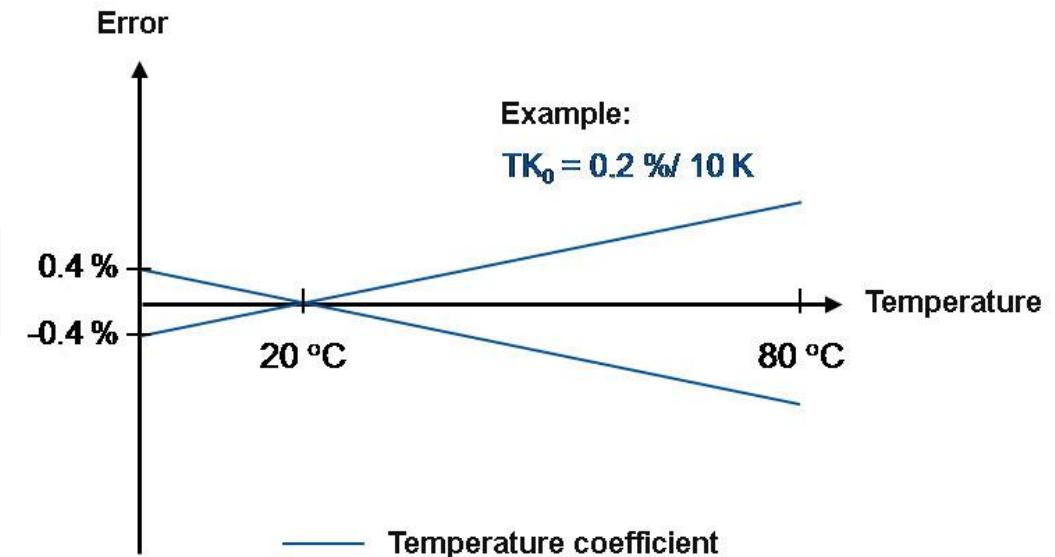


Parámetros característicos de un sensor de presión

Deriva térmica

Normalmente expuesto en hojas de datos como TC (Temperature coefficient).

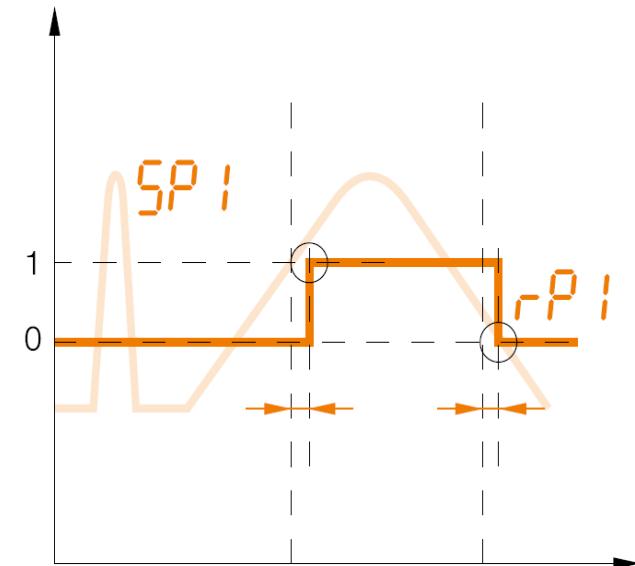
Temperature coefficients (TEMPCO) in the temperature range -20...80° C (in % of the span per 10 K)		
Greatest TEMPCO of the zero point		0.2
Greatest TEMPCO of the span		0.2
Kompenzierter Temperaturbereich °C 0 ... +80 Erweiterte Temperaturbereiche auf Anfrage.		
Temperaturkoeffizienten im kompensierten Temperaturbereich ■ Mittlerer TK des Nullpunktes ■ Mittlerer TK der Spanne		
% d. Spanne	Typisch $\leq \pm 0.2 / 10 \text{ K}$	max. $\leq \pm 0.4 / 10 \text{ K}$
% d. Spanne	Typisch $\leq \pm 0.15 / 10 \text{ K}$	max. $\leq \pm 0.25 / 10 \text{ K}$
Temperature coefficients within rated temperature range ■ Mean TC of zero ■ Mean TC of span		
	% of span	$\leq 0.2 / 10 \text{ K}$
	% of span	$\leq 0.2 / 10 \text{ K}$



Parámetros característicos de un sensor de presión

Retardo de tiempo

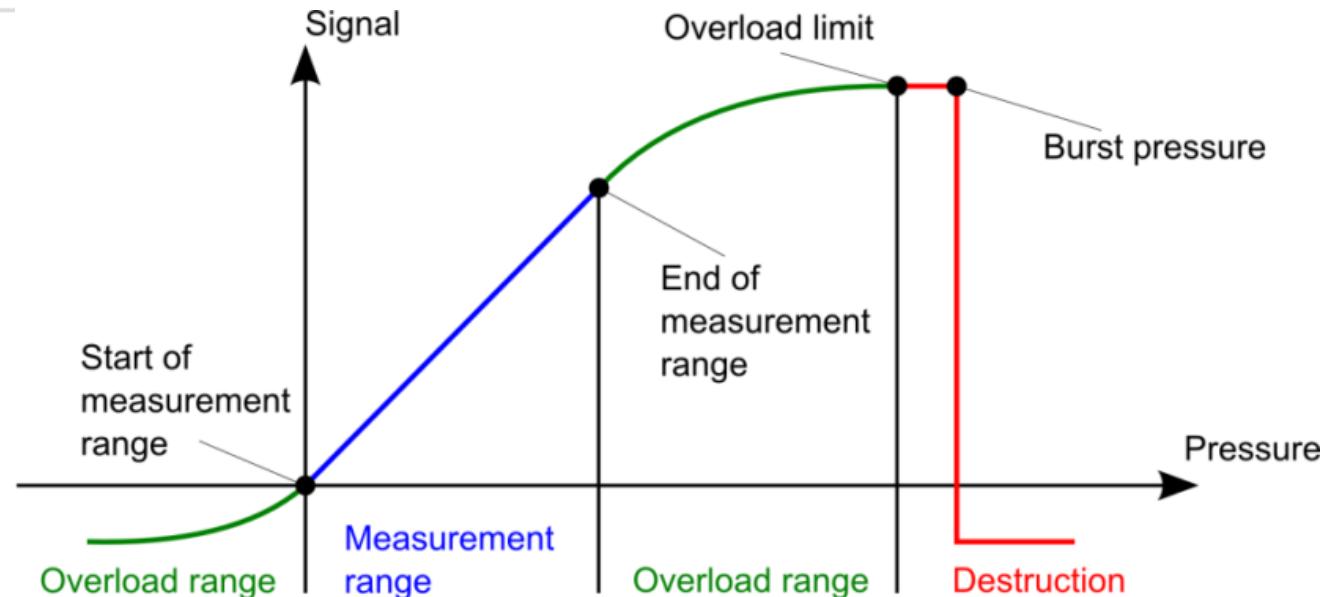
- Se utiliza para filtrar picos indeseados de presión que ocurren momentáneamente.
- El estado de la salida no cambia inmediatamente cuando el evento ocurre, sino cuando el evento ocurre, sino cuando este se mantiene (según se configure).
- Si el evento no se mantiene el tiempo programado el estado actual de la salida no cambia.



Rangos de presión

Range/Distance

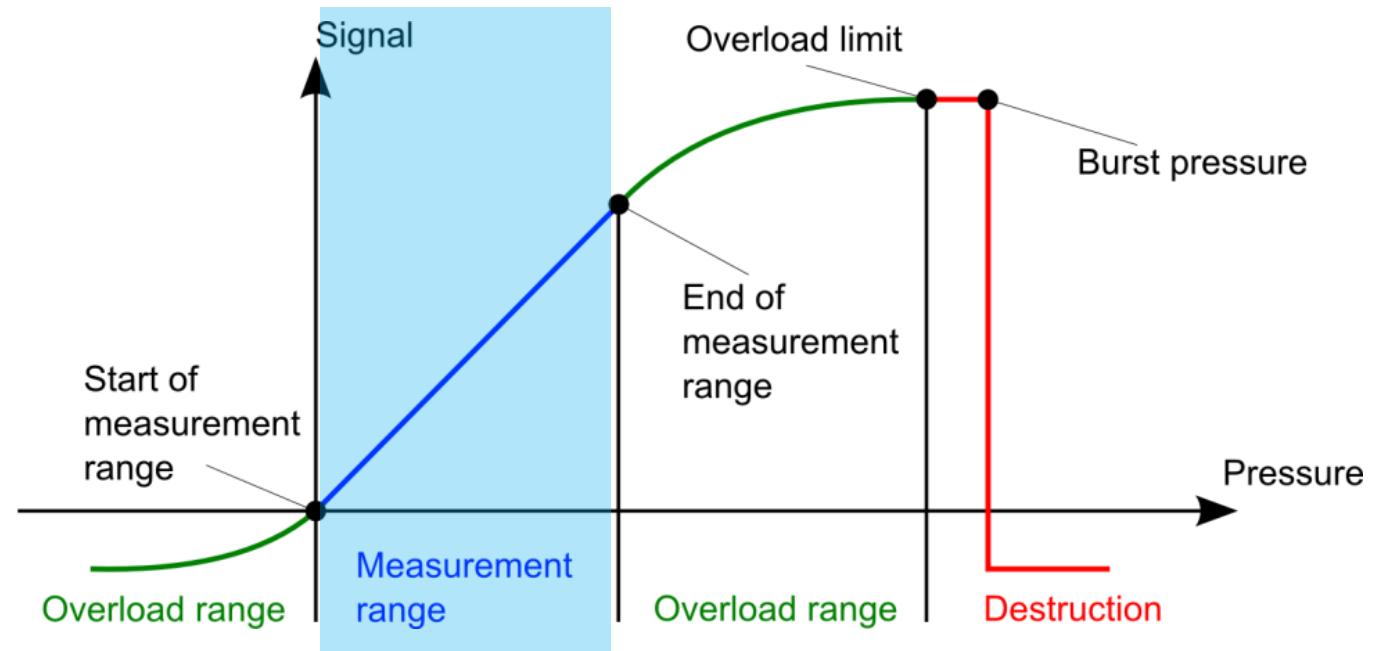
Accuracy	$\pm 0.5\% \text{ FSO BFSL}$
Burst pressure	35.00 bar
Long-term stability max.	0.3 % FSO/year
Measuring range	0...10 bar
Overload pressure	20 bar



Rangos de presión

Rango de medición

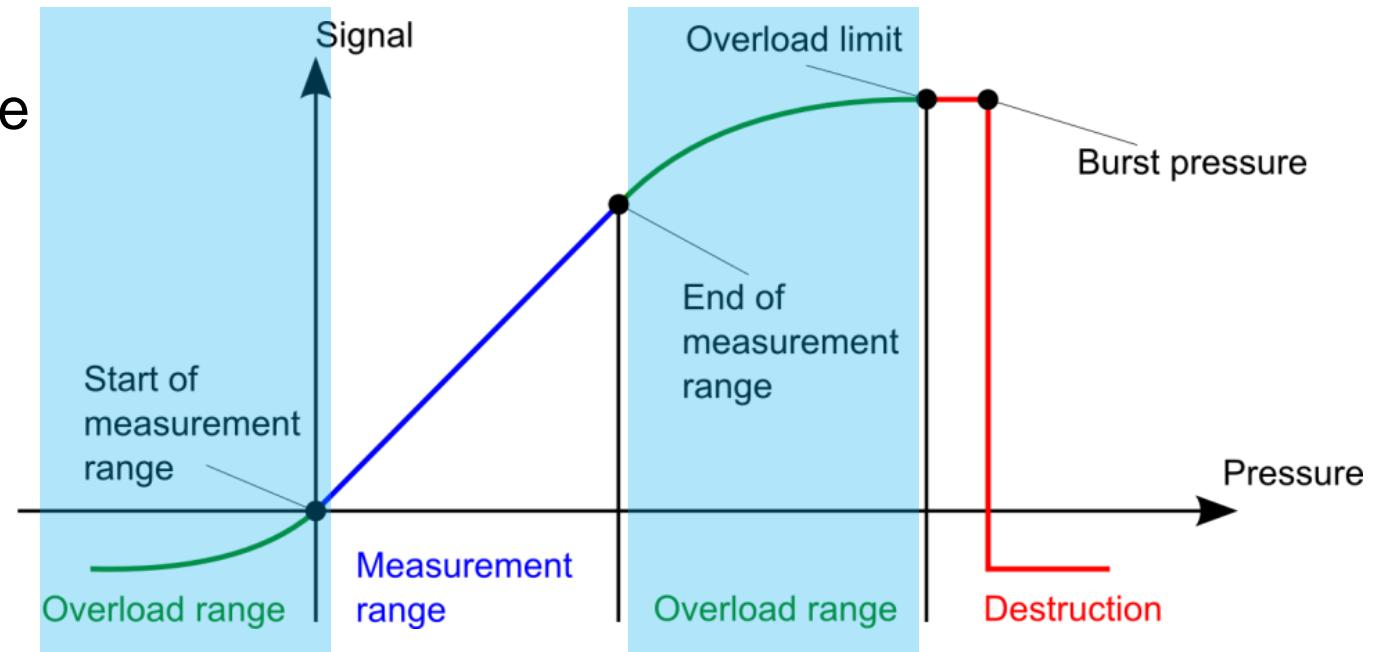
- Rango nominal de trabajo.
- El error de medición se especifica en este rango.



Rangos de presión

Rango de sobrecarga

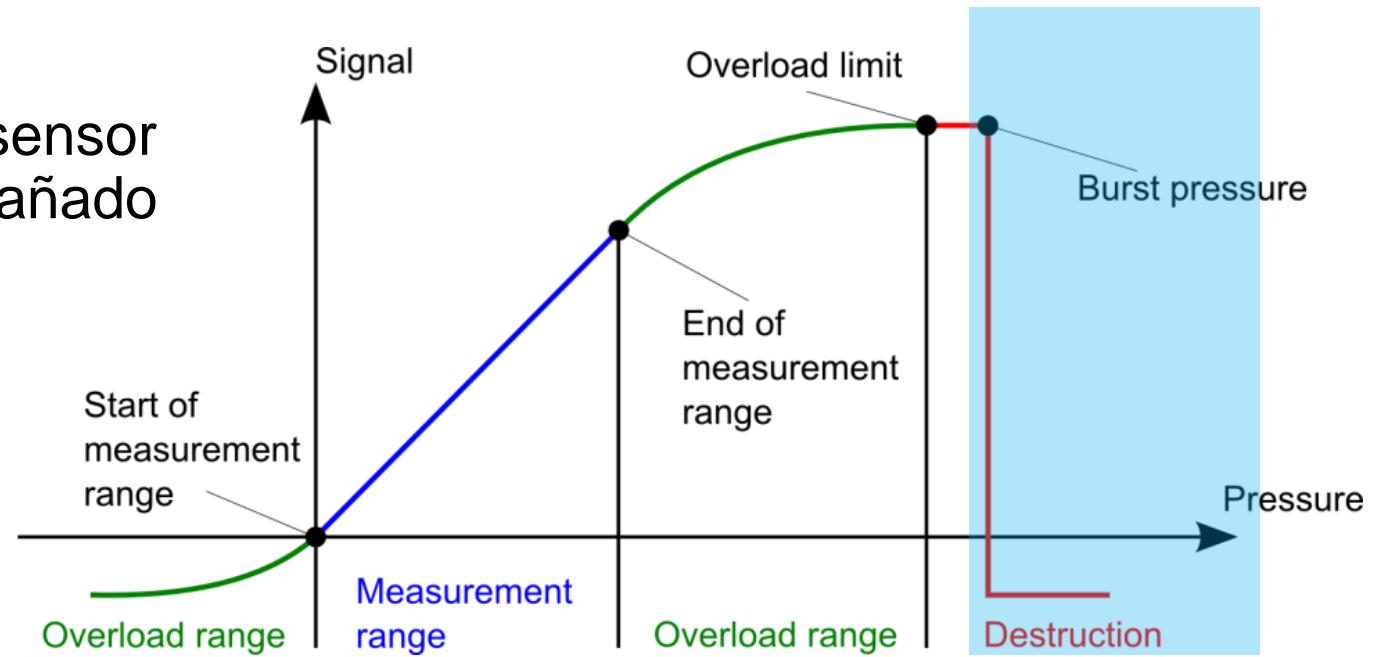
- No habrá daños permanentes en este rango.
- El error puede exceder el límite especificado.



Rangos de presión

Destrucción

Mas allá de este punto, el sensor se verá permanentemente dañado o mecánicamente destruido.



Factores que afectan la medición de presión

- Reference accuracy (under reference conditions)
- Temperature effect on filling oil (oil expands, pushing on diaphragm)
- Ambient temperature effects (circuit effects)
- Linearity (how straight is the output-to-pressure line)
- Hysteresis (is the output “line” the same going up, as coming back down)
- Repeatability (how consistent is the output “line” on each pass)
- Long-term stability (zero drift)
- Static pressure effect (is the DP accuracy diff at diff line pressures)
- Mounting position effects (is the output affected by transmitter orientation)
- Vibration effect (is the measurement stable when the sensor is moving)
- Power supply effect (is the measurement stable when line voltage drops)
- RFI effect (is the measurement stable in the presence of hi freq fields)
- Total Performance (a.k.a. “Total Probable Error”- reference accuracy plus temperature effects plus static pressure effects)

Factores que afectan el error en la medición de presión

- Reference Accuracy – Accuracy at reference ambient conditions, comprised of linearity, hysteresis and repeatability

+/- 0.075% of set span

- How good is the transmitter under ideal conditions?

- Total Performance – Accuracy over a range of ambient conditions, comprised of reference accuracy and ambient temperature effects

+/- 0.15% of URL

- How good is the transmitter under normal conditions?

- Long-term stability – Measurement of zero-point drift over several years

+/- 0.05% of URL per year

Factores que afectan el error en la medición de presión

- Reference Accuracy – Accuracy at reference ambient conditions, comprised of linearity, hysteresis and repeatability

+/- 0.075% of set span

- How good is the transmitter under ideal conditions?

- Total Performance – Accuracy over a range of ambient conditions, comprised of reference accuracy and ambient temperature effects

+/- 0.15% of URL

- How good is the transmitter under normal conditions?

- Long-term stability – Measurement of zero-point drift over several years

+/- 0.05% of URL per year

Error probable total (TPE)

$$\text{Total Probable Error} = \sqrt{\text{Error}_1^2 + \text{Error}_2^2 + \text{Error}_3^2 + \dots}$$

$$\text{TPE} = \sqrt{\text{Reference Accuracy}^2 + \text{Temperature Effect}^2 + \text{Static Pressure Effect}^2}$$

Total Probable Error = Total Performance

A better description of what the user will see, in the process

Example: Foxboro IGP10 doesn't specify TPE, so what is it?

Reference Accuracy = 0.06% of Span

Ambient Temperature Effect = 0.03% URL + 0.06% Span

Assume Span = URL, TD 1:1

Error probable total (TPE): Ejemplo sensor real

- Model 3051S2T Classic, 150 psig sensor
 - Reference Accuracy = 0.055% of Span for TD < 10:1
 - Ambient Temperature Effect = 0.0125% URL + 0.0625% Span from 1:1 to 5:1
 - Assume TD 1:1

$$TPE = \sqrt{0.055^2 + 0.075^2} = 0.09\% \text{ of Span}$$

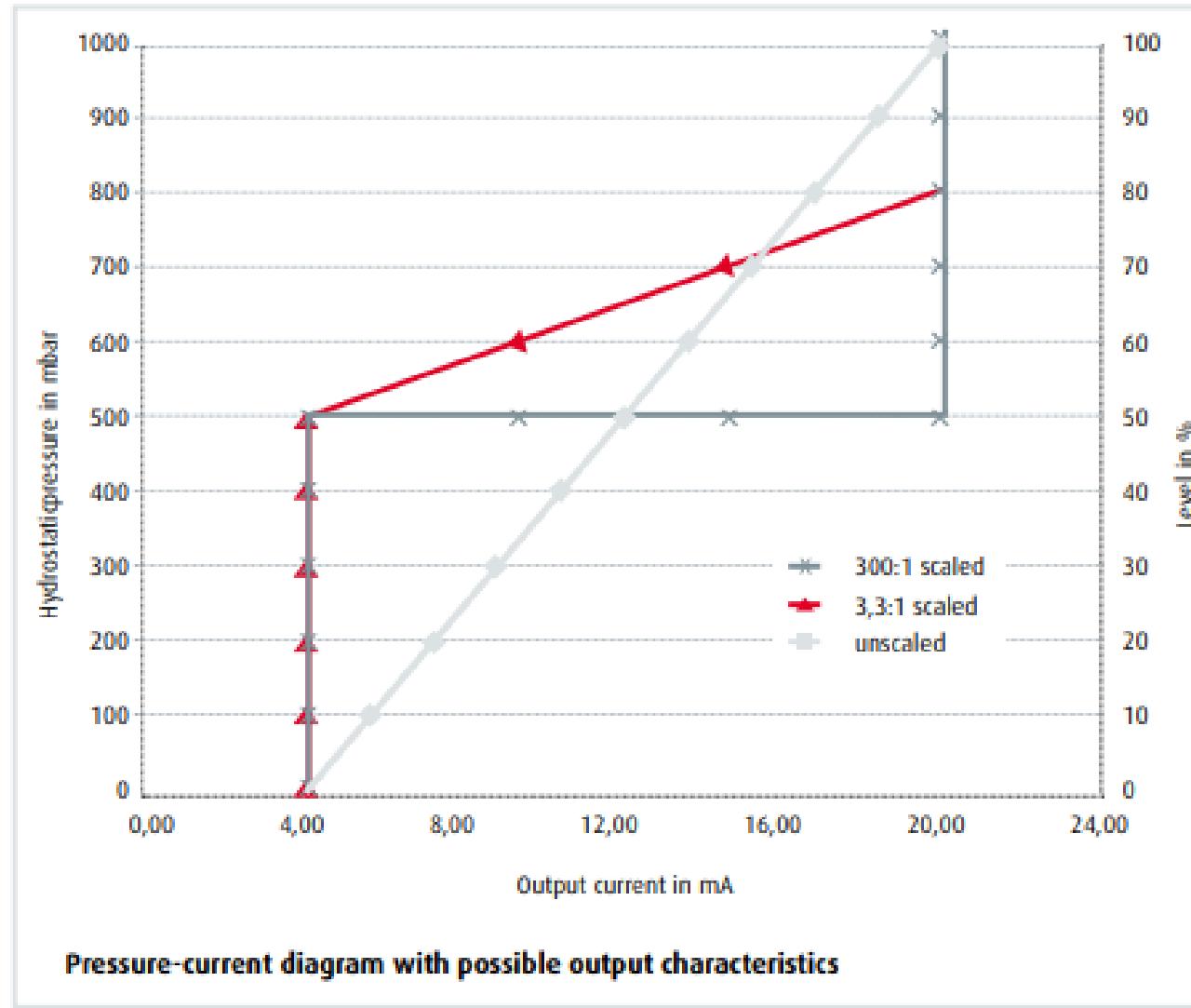
Error por Turndown

Turndown is a term used to describe how much the Set Span has been reduced from the Full Scale Span of the transmitter sensor.

$$\begin{aligned}\text{Turndown} &= \text{FULL SCALE SPAN} / \text{SET SPAN} \\ &= (\text{URL} - \text{LRL}) / (\text{URV} - \text{LRV})\end{aligned}$$

Generally expressed as a ratio (e.g. 10:1)

Error por Turndown



Error por Turndown

Adjustable span transmitters are typically specified with a “maximum turndown ratio”...

For example:

URL = 150 psig Max TD = 100:1

Minimum span = URL/Max TD = 1.5 psig

BEAR IN MIND: Turndown is a useful feature ... but it isn't “free”

What does turndown “cost” ?

When should turndown be used?

What benefit is a transmitter with 400:1 turndown?

Error por Turndown: ejemplo

Example of Turndown 100:1

$$\text{Total Performance} = \sqrt{(\text{Accuracy})^2 + (\text{Temperature Coefficient})^2}$$

$$= \sqrt{(0.05\% \text{ of URV})^2 + ((0.08 \times \text{TD} + 0.05)\% \text{ of URV})^2}$$

$$\text{Total Performance} = 8.05\% \text{ of URV}$$

Error por Turndown

Turndown is a useful feature ... but it isn't “free” ...
Turndown

What does 100:1 turndown “cost” ?

- Increased sensitivity to thermal effects
- Increased non-linearity of output

Error por Turndown

When should “high” turndown be used?

- As a **stop-gap measure** – replacing a failed transmitter with a transmitter in the storeroom ... while ordering a transmitter with the appropriate measuring range – **PERFECT**

- As a way to reduce the number of transmitter types in use in a facility by **standardizing** on fewer measuring ranges –

Error por Turndown

■ Advantages

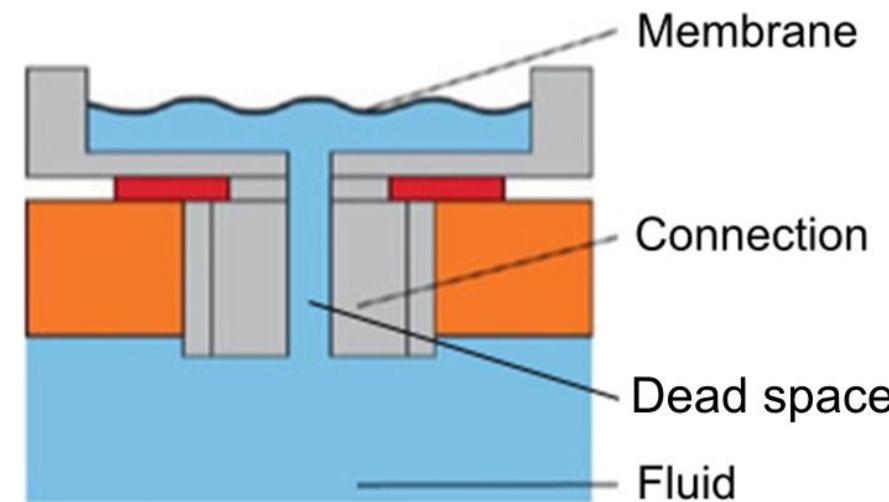
- Use one transmitter for several different ranges -> minimize inventory

■ Disadvantages

- Higher reference inaccuracies due to non-linearity
 - Ex. Reference Accuracy = $0.0075\% \text{ of set span} \times TD$
- Increased sensitivity to thermal effects
 - Ex. Ambient Temperature Effects = $(0.08 \times TD + 0.05)\% \text{ of URV}$

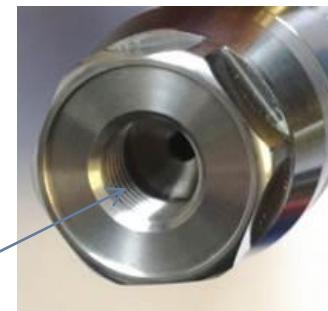
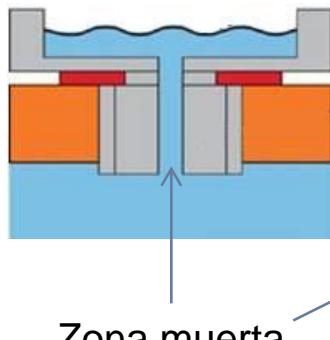
Zona muerta de un sensor de presión

El espacio muerto o zona muerta es el área existente entre la membrana del sensor de presión y la presión del fluido a medir.

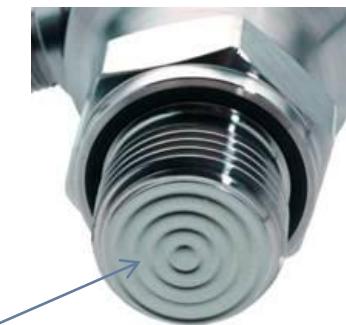
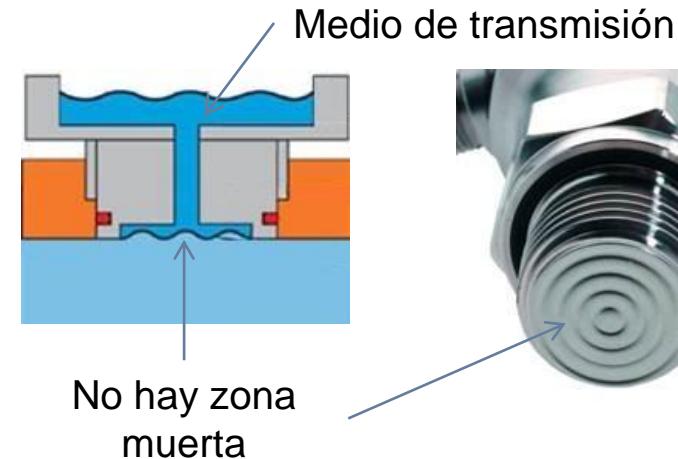


Diferencia entre un sensor estándar y uno rasado

Estándar



Flush (Rasado)



Usado para fluidos habituales que no requieren proceso de limpieza.

Aplicaciones: sistemas hidráulicos, lubricación, sistemas de enfriamiento, etc.

Usado para medios viscosos o que contengan sólidos y que requieran procesos de hygiene. Aplicaciones: Alimentos y Bebidas, pinturas, etc.

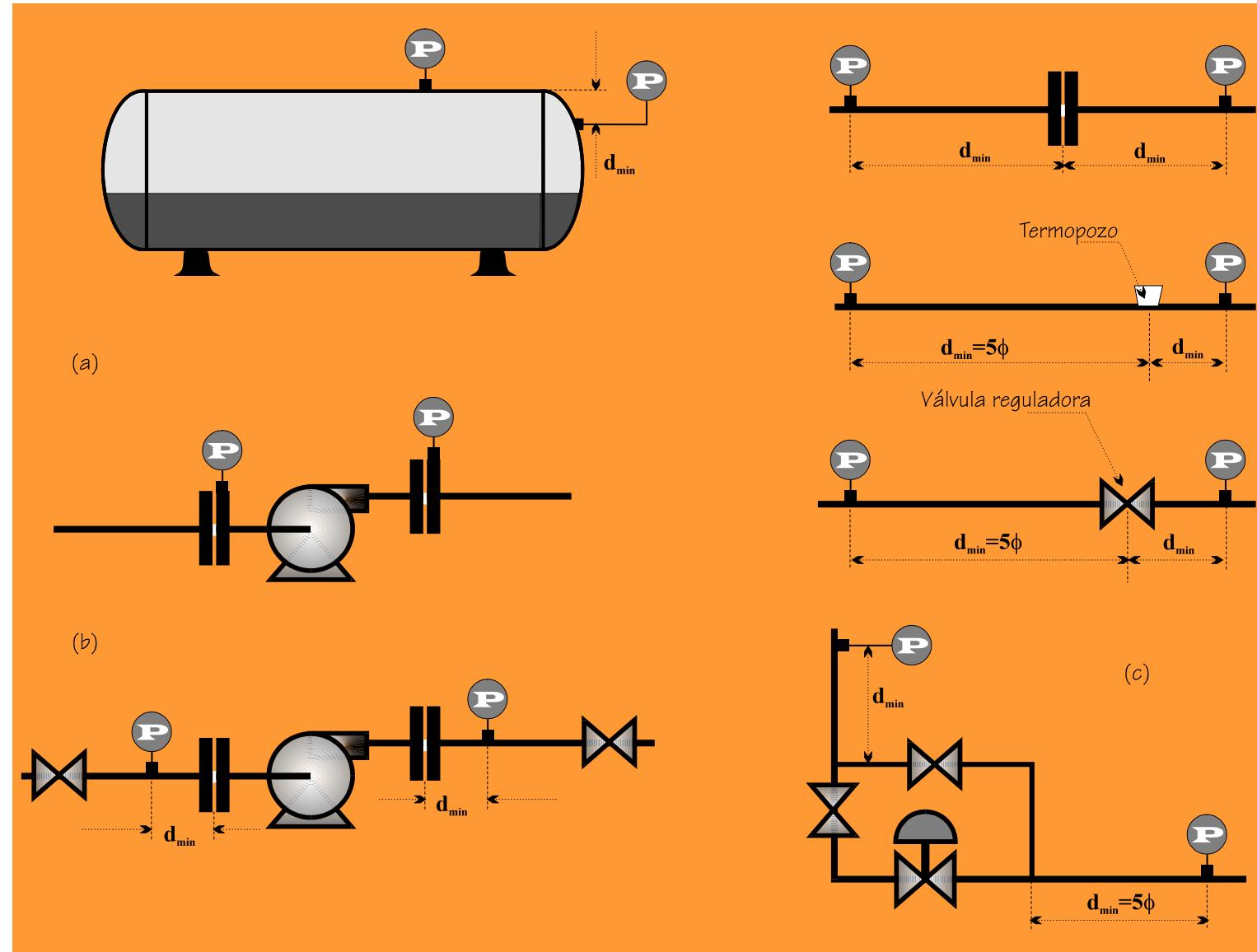
Sensor de presión rasado



Instalación mecánica

- **Instalación de sensores de presión de gas**
 - Evitar acumulación de líquidos y sedimentos.
 - Ubicar el sensor por encima de la conexión de proceso.
 - No es necesario compensar la elevación del sensor (en general).
- **Diseño de Cañerías e Instrumentación**
 - Debe satisfacer las especificaciones del diagrama P&I.
 - Debe considerarse el efecto de la presencia del sensor sobre el proceso.
 - Debe resultar legible y accesible para mantenimiento y reparación.

Instalación mecánica



Instalación mecánica

- Corrección por la altura del sensor
 - Montaje por debajo del punto de medición
 - Presión = Medición - Supresión de Cero = $M - y r_{liq}$
 - Montaje por encima del punto de medición
 - Presión = Medición + Elevación = $M + y r_{liq}$

- Cavitación

- Golpe de Ariete

- Accesorios de instalación

- Amortiguadores (Snubbers)
- Sellos
 - Mecánicos
 - Líquidos
 - Mixtos

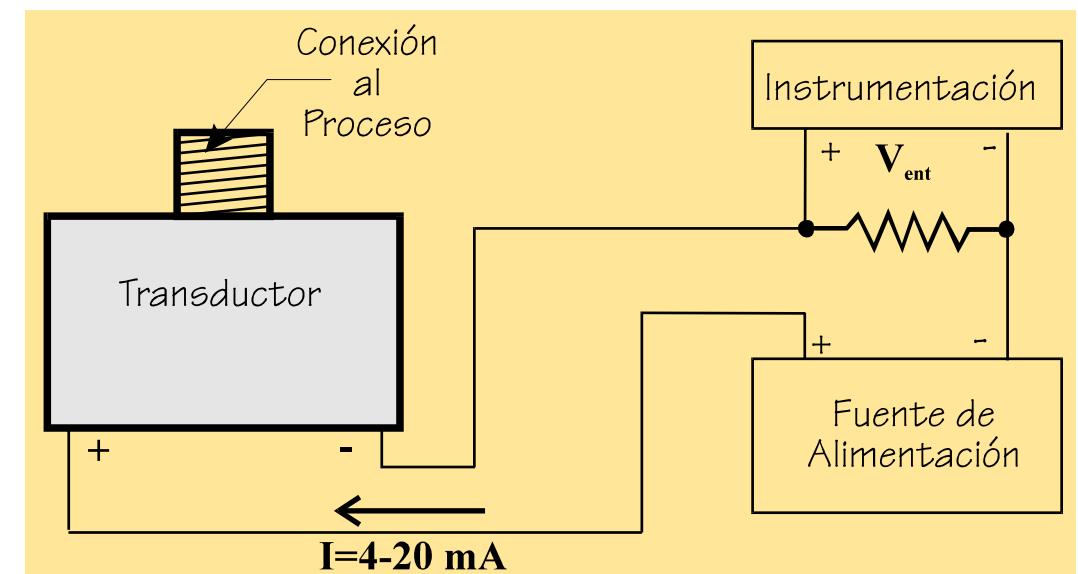
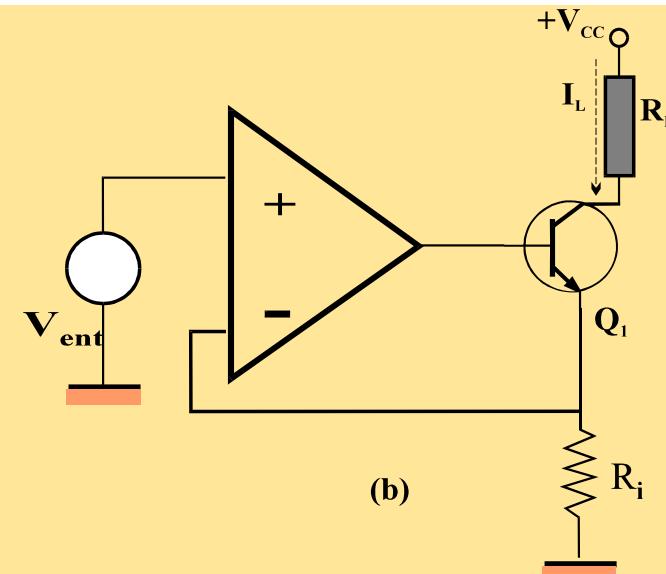
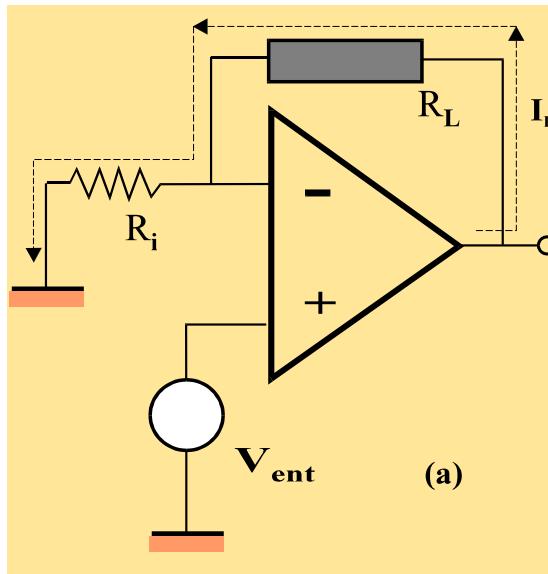


Instalación de sensor de presión en medios críticos



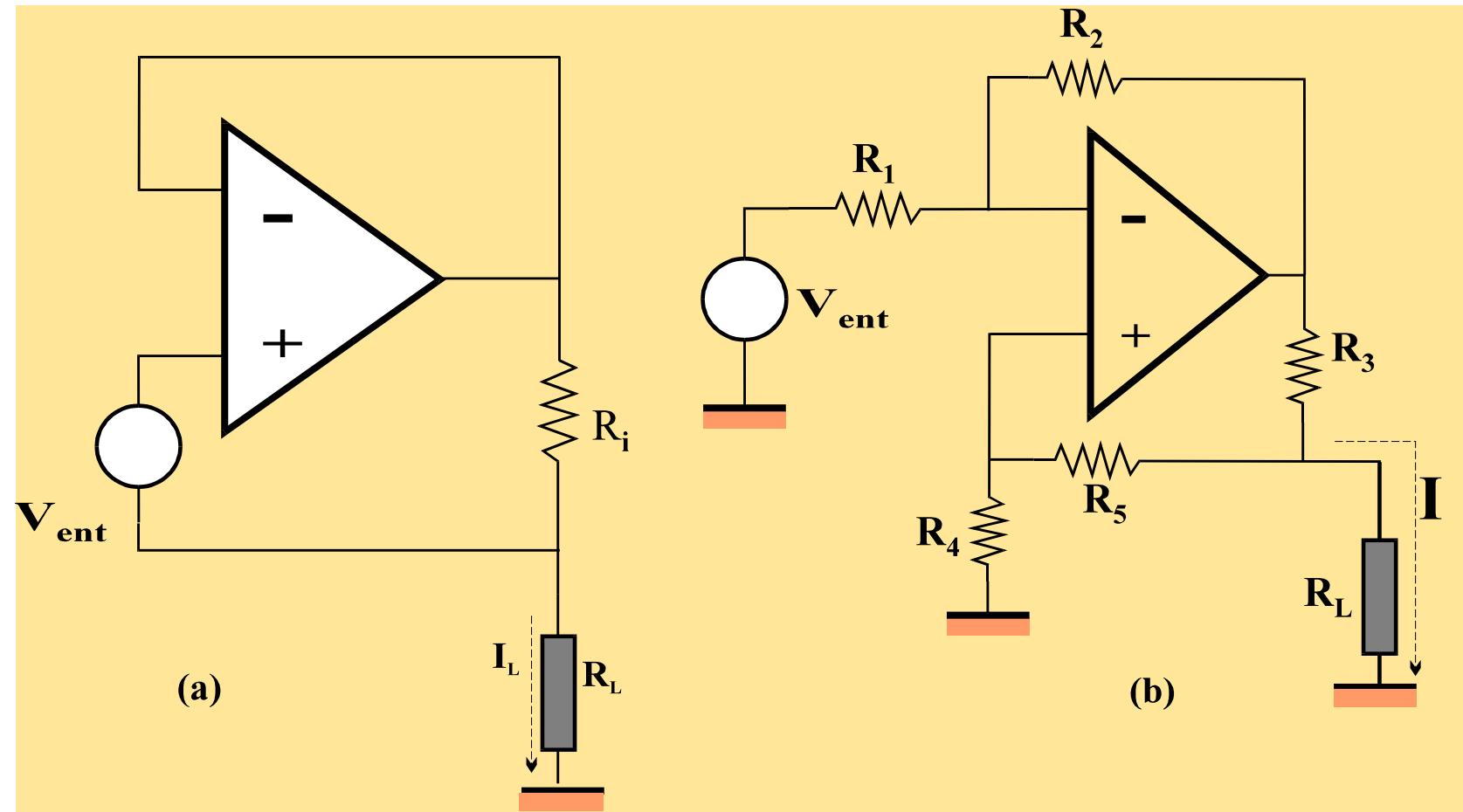
Instalación eléctrica

- Conexión de un sensor con salida en mA a instrumentación con entrada de tensión:
 - $R = V / I = 5V / 20 \text{ mA} = 250\text{ohm}$
 - $V = R I = 250\text{ohm} * 4 \text{ mA} = 1\text{V}$
- Conexión de sensor con salida en tensión a instrumentación con entrada de 4-20 mA:



Instalación eléctrica

Conexión de un sensor con salida en tensión a instrumentación con entrada de 4-20mA



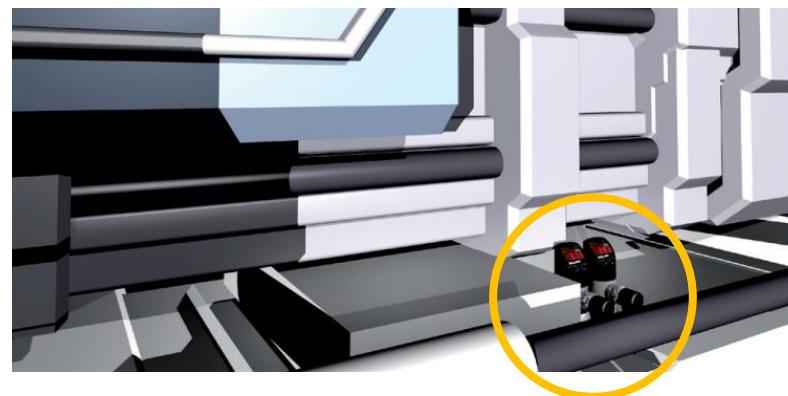
Criterios de selección

- Requerimientos de presión
 - Rango de presiones previstas para el proceso
 - Presión de rotura del sensor
 - Exactitud
 - Repetibilidad
 - Error
 - Relativo/absoluto/diferencial.
- Rango de temperaturas de trabajo
- Compatibilidad química con el fluido de trabajo
- Tipo de tecnología utilizada para la medición/detección
- Tipo de salida eléctrica:
 - Analógica: Tensión/Corriente
 - Digital
 - Comunicación

Criterios de selección (continuación)

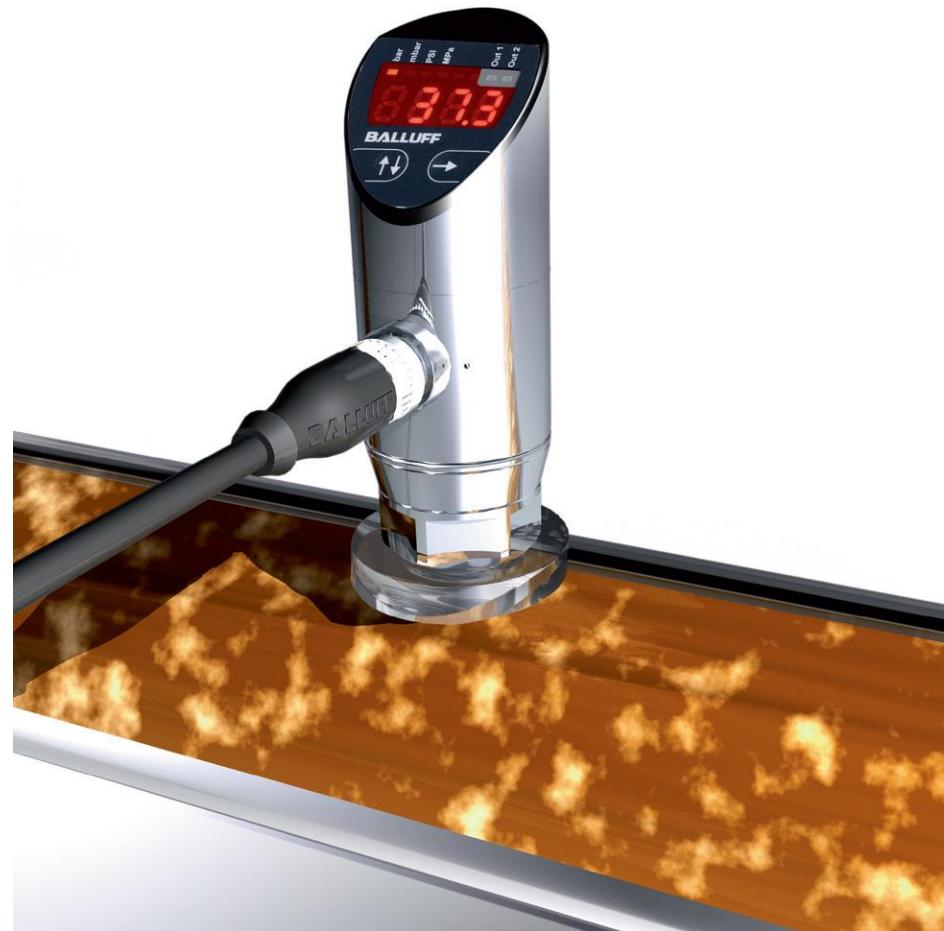
- Tipo de conexión al proceso:
 - Bridas
 - Conexión roscada
 - Terminación en cañería lisa
- Tipo de montaje.
- Tipo de interconexión eléctrica:
 - Bornes
 - Conector standard
 - Alambres simples, para soldar,
 - Terminales del tipo circuito integrado para su montaje sobre plaquetas de circuito impreso.
- Condiciones del ambiente: explosivo, con polvo, área higiénica, inflamable, etc.
- Grado de hermeticidad.

Control de presión en inyectoras



Medición de nivel

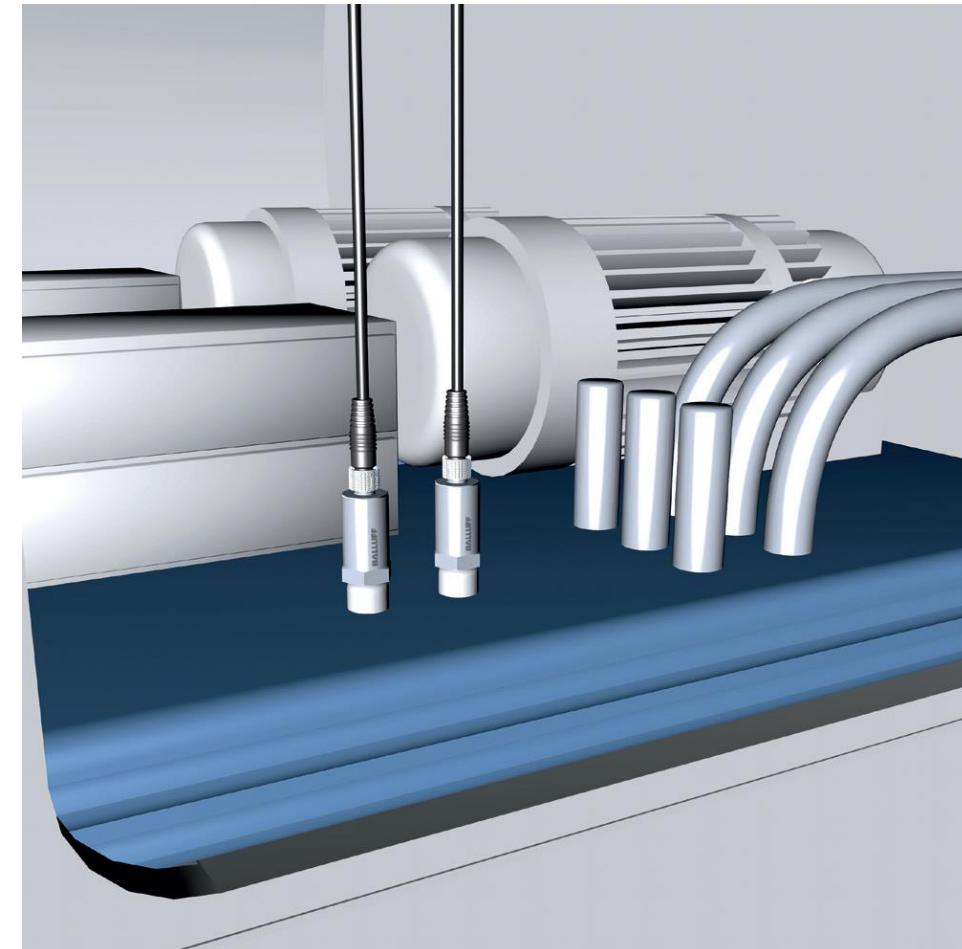
Medición de presión de fluidos viscosos (pintura)



Control de presión de lubricante en máquinas herramienta



Control de centrales hidráulicas

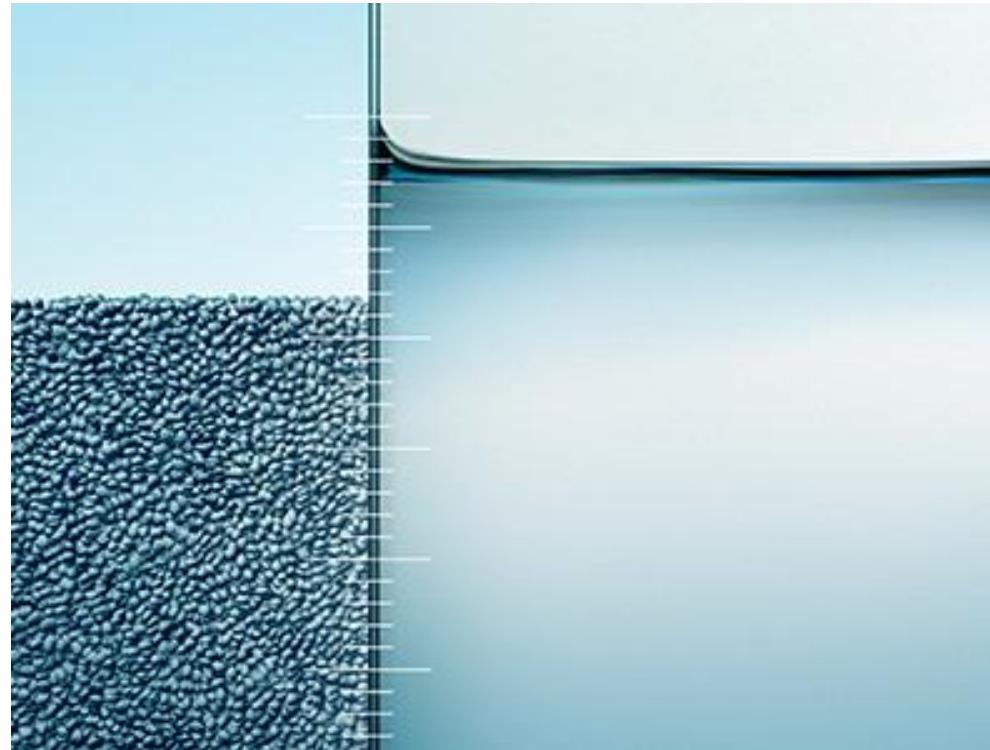


Control de ventosas en grippers y manipuladores



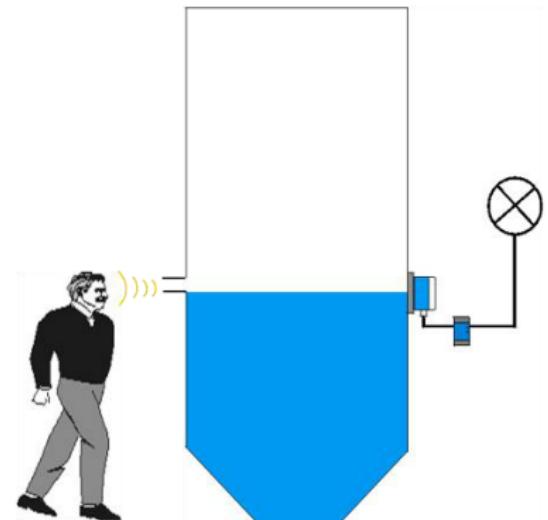
MEDICIÓN DE NIVEL

22.88



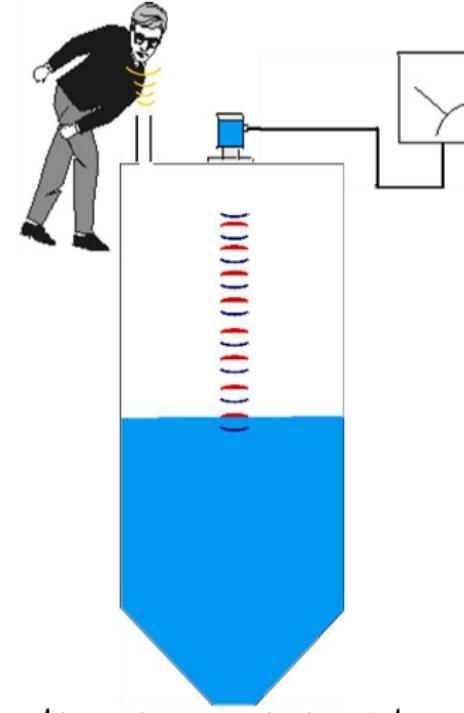
Medición de Nivel Continua vs Detección de Nivel

Point Level



- covered, or uncovered?
- on or off?
- yes or no?
- cannot tell you “how much”

Continuous Level



- true measurement
- continuous monitoring
- tells “how much”

Tubo de medición e indicación visual

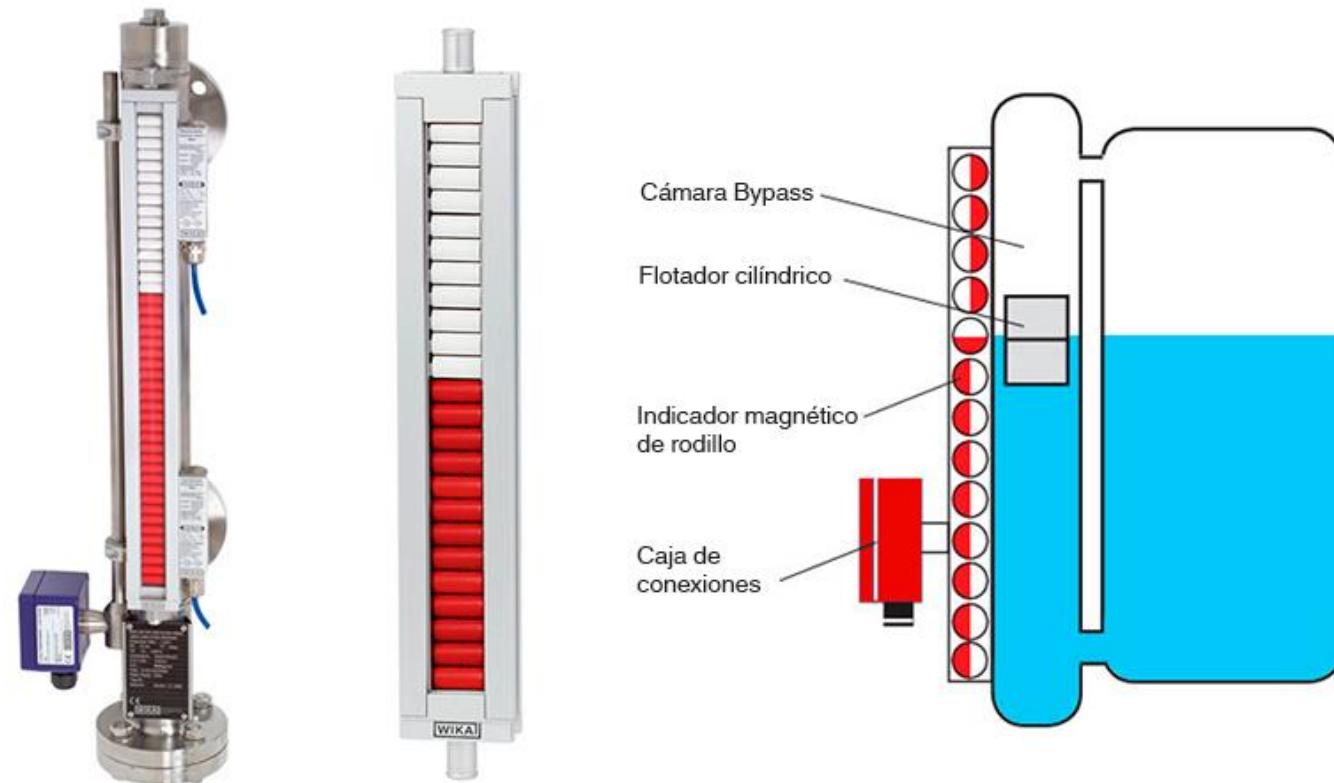
- Este sistema tipo bypass funciona según el principio de los “vasos comunicantes”.
- El tubo permite una eventual instalación de sensores de medición e indicación de nivel sobre el mismo.
- Las turbulencias en el tanque no se transmiten al tubo.
- La temperatura del líquido en el tubo es más cercana a la ambiente.
- Suelen tener una mirilla de vidrio graduada para la indicación visual.
- Mediante válvulas manuales se puede desvincular el tubo del tanque.



<https://youtu.be/IzqYvz6SWrY>

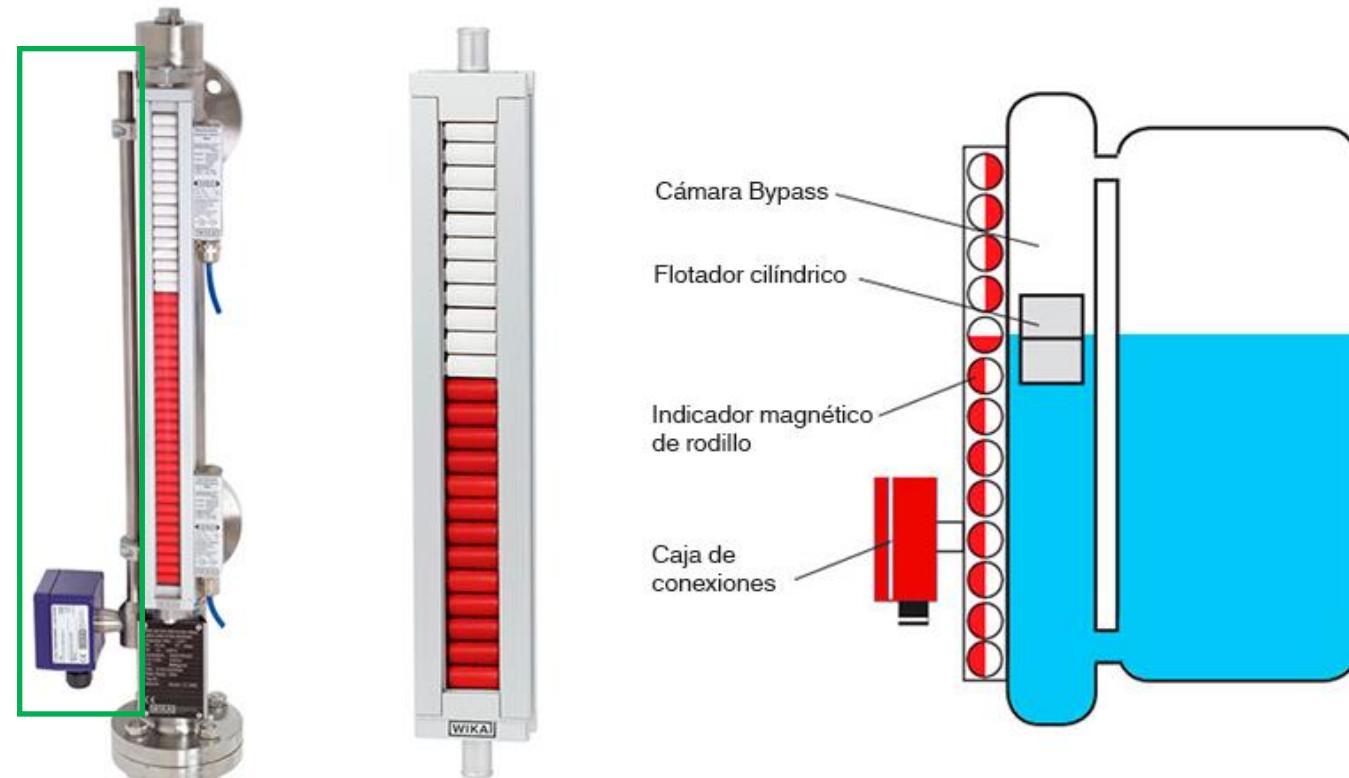
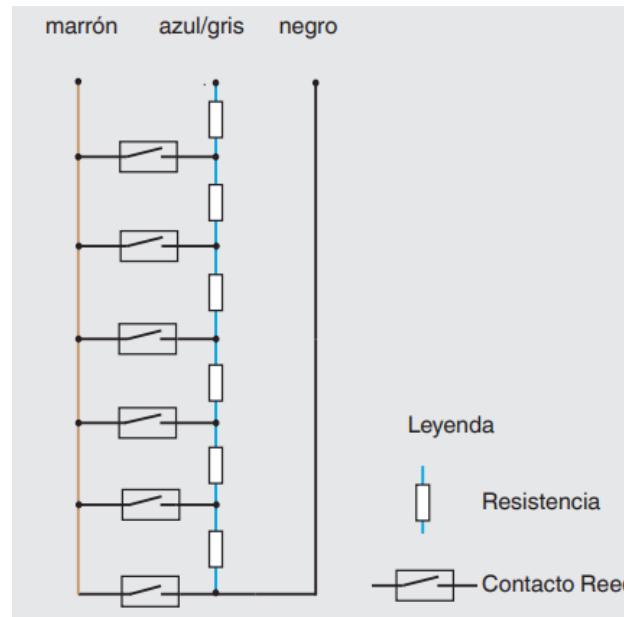
Tubo de medición e indicación visual con detección magnética

- Dentro del flotador en el tubo se halla un elemento magnético y en el exterior del tubo va montado un indicador visual con rodillos magnéticos.
- Según aumenta o disminuye el nivel del líquido del interior del depósito y por ende de la cámara, el flotador asciende o desciende.
- Los rodillos o banderolas magnéticas del indicador responden al elemento magnético del flotador girándose y presentando otro color, normalmente rojo.



Tubo de medición + indicación visual + medición y detección magnética

- Se puede acoplar un transmisor de nivel de tipo Reed e interruptores de nivel bajo y alto.
- Circuito interno:



<https://www.youtube.com/watch?v=aTxCSaWUiUU>

Medición de nivel por presión hidrostática

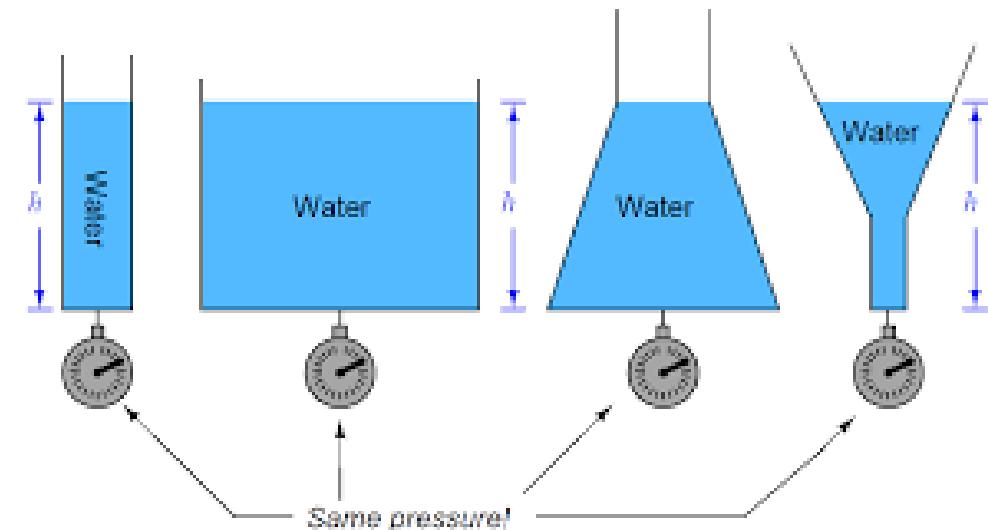
La presión es un fluido en un contenedor abierto depende de la altura en donde se haga la medición. Entre más abajo esté el punto de medición más alta será la presión.

La presión **P** es proporcional a la altura **H**:

$$p = \frac{F}{A} = \frac{m \cdot g}{\pi * r^2} = \frac{m \cdot g}{\pi * r^2}$$

$$m = \delta * Vol = \delta * \pi * r^2 * h \Rightarrow p = \frac{\delta * \pi * r^2 * h * g}{\pi * r^2}$$

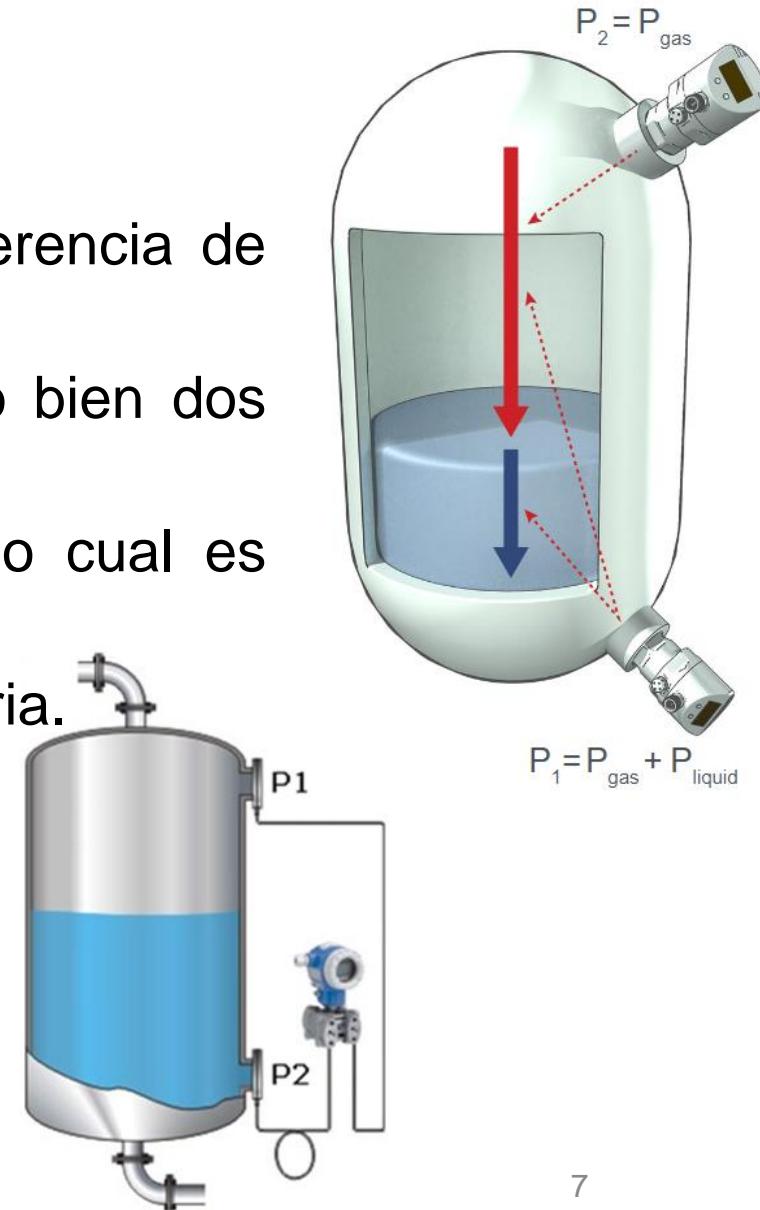
$$p = \delta * g * h$$



Medición de nivel por presión hidrostática

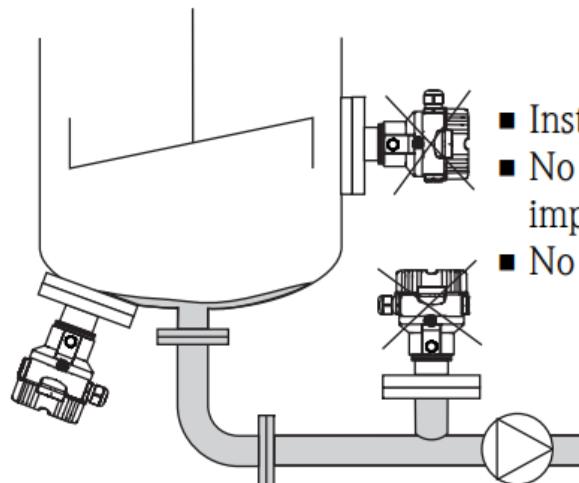
- En tanques cerrados, el nivel será proporcional a la diferencia de presión P_1-P_2 .
- Se deberá utilizar un transmisor de presión diferencial o bien dos transmisores de presión relativa.
- La medición depende de la densidad del líquido, con lo cual es necesaria conocerla a priori.
- Es el principio de medición de nivel más usual en la industria.

<https://www.youtube.com/watch?v=4CA8N6bpPBw>



Medición de nivel por presión hidrostática

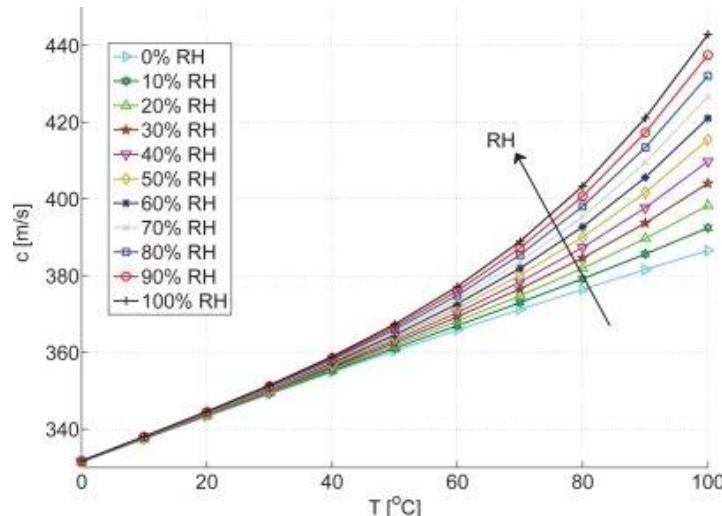
- La medición puede efectuarse desde los laterales, el inferior o desde la tapa del tanque.
- Muy baja influencia de la temperatura
- Bajo mantenimiento
- Rango de medición prácticamente ilimitado.
- No apto para medición de interfase.
- Relación líneal presión-nivel.



- Instale siempre el equipo por debajo del punto de medida más bajo.
- No monte el equipo en una cortina de producto ni en un punto del depósito en el que pueda haber impulsos de presión debidos a un agitador.
- No monte el equipo en el área de succión de la bomba.

Medición de nivel por ultrasonido

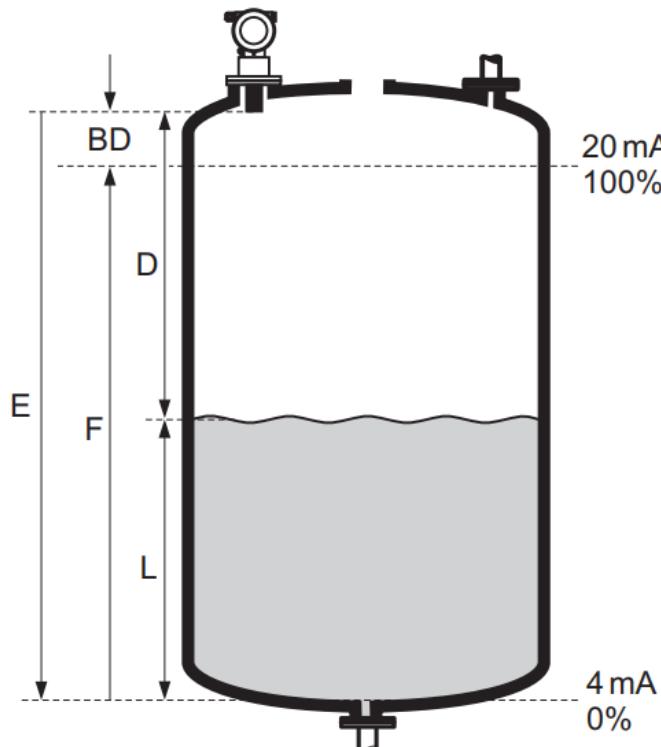
- Principio de medición por Tiempo de Vuelo o Tiempo de Retorno.
- Aplicable a la medición de líquidos y sólidos de todo tipo.
- Medición errática ante la presencia de espuma.
- Sensible a las variaciones en la temperatura y humedad. Los más caros tienen medición de temperatura incorporada.



<https://www.youtube.com/watch?v=mQnhxrgtAME&list=PLQRFGW1Z4TGF-fSOC2yOcJ0rxik24wM2Y&index=12>

Medición de nivel por ultrasonido

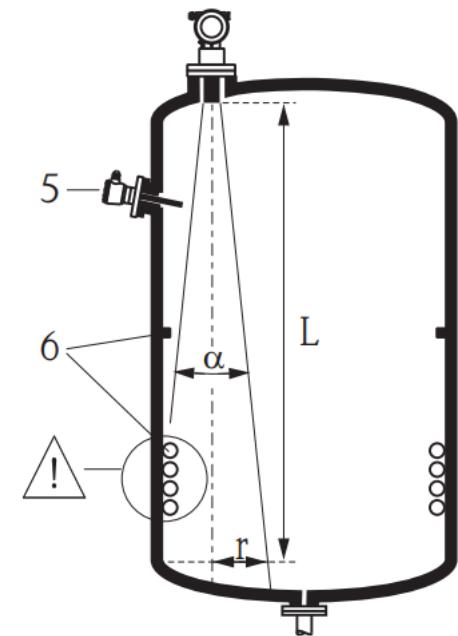
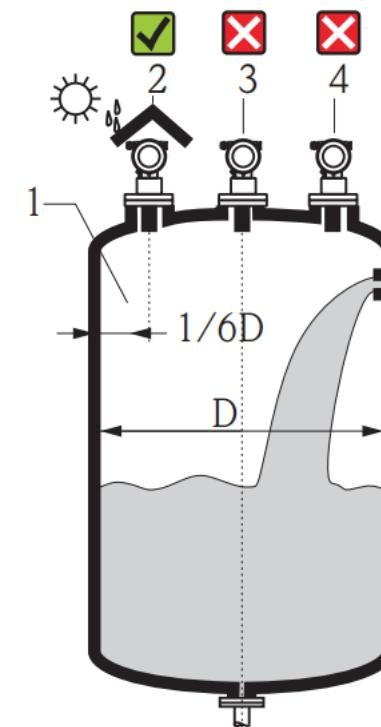
- Es auto-limpiante.
- Ofrece una medición independiente a las propiedades físicas del líquido/sólido.
- El haz suele tener un ángulo α que va de 6 a 12 grados.
- Rango de medición de unos 25-30m en líquidos y 15-20m en sólidos.
- Sensible a obstáculos como agitadores, camisas o instrumentos. Se suele compensar por software.



E: Empty distance;
F: Span (full distance);
D: Distance from sensor membrane - product surface;
L: Level;
BD: Blocking distance

$$D = c * t/2$$

$$L = E - D$$



Medición de Nivel por Radar

Principio de funcionamiento por Tiempo de Vuelo pero utilizando ondas electromagnéticas en el rango de los GHz.

$$c_0 = \frac{1}{\sqrt{(\mu_0 \cdot \epsilon_0)}}$$

c propagation velocity of electromagnetic wave in vacuum (meter/second)

μ_0 permeability of free space ($4 \pi \times 10^{-7} \text{H/m}$)

ϵ_0 permittivity of free space ($8.854 \times 10^{-12} \text{F/m}$)

- Characterization of electromagnetic waves:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

c propagation velocity of electromagnetic wave (meter/second)

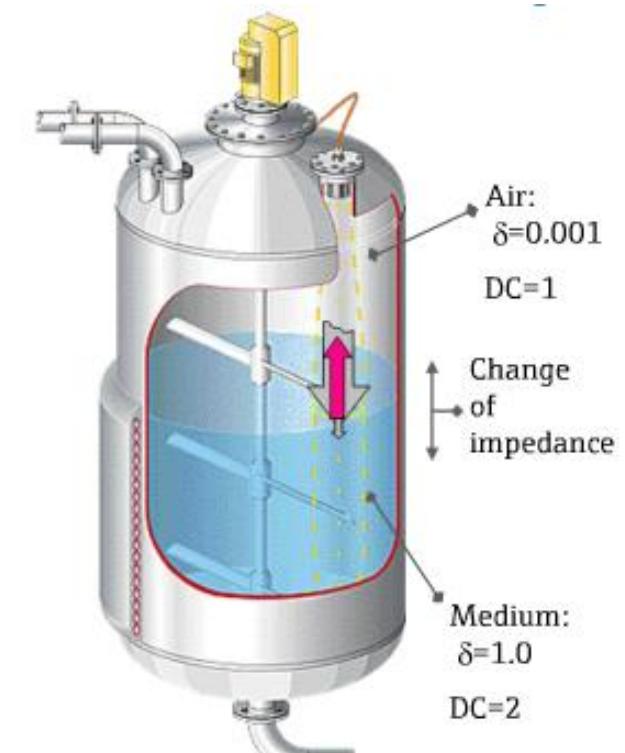
λ wave lenght (meter)

f frequency (Hertz)

Medium	ϵ_r	μ_r	c'
Air	1.000594	1.000000	299792458
CO ₂	1.000985	1.000000	299644919
O ₂	1.000486	1.000002	299719335
N ₂	1.000528	1.000000	299713344
SO ₂	1.009900	0.999991	298320756

$\mu_r \approx 1$

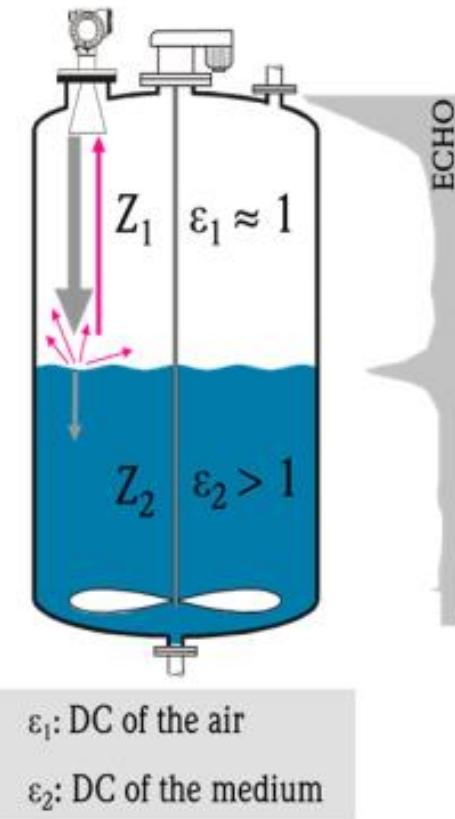
Para medios no magnéticos la influencia en μ_r es despreciable. ϵ_r es el factor más importante para la medición por Radar



Medición de Nivel por Radar

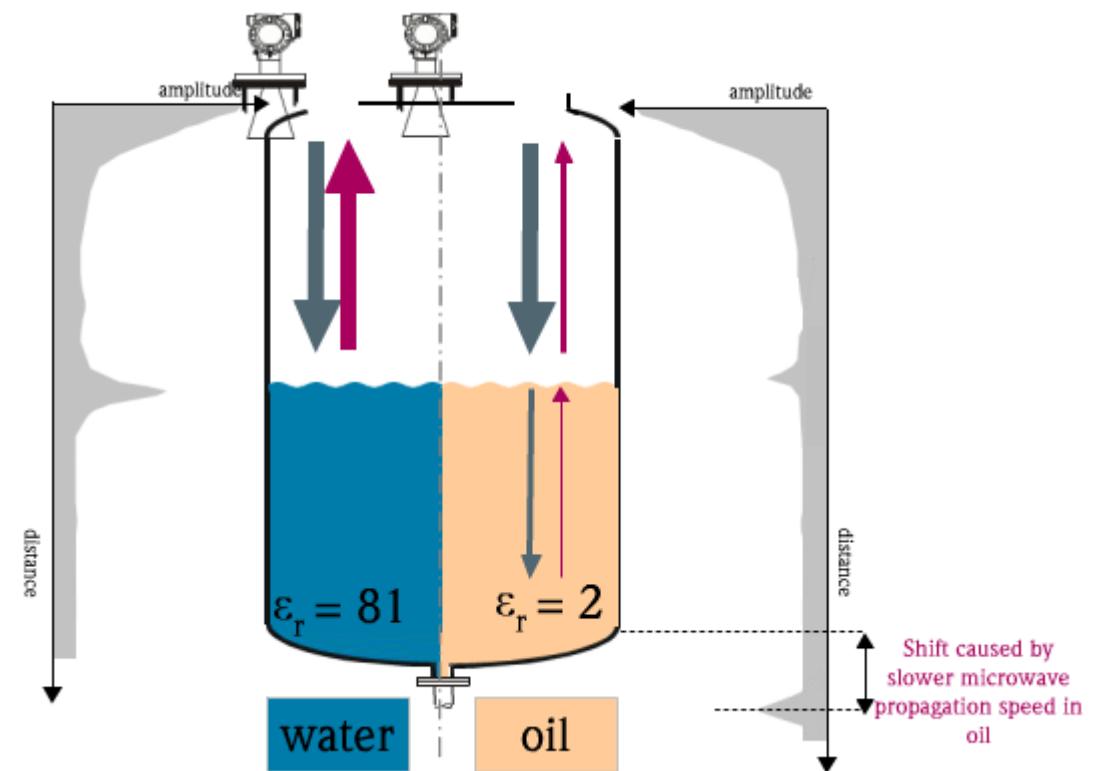
Reflexión debida al cambio de medio (ϵ_r)

Media group	Solid		Fluid	
	DC (ϵ_r)	Examples [DC]	DC (ϵ_r)	Examples [DC]
A	1.4 ... 1.9	plastic granulate [1.8], sugar [1.8], white cement [1.43]	1.4 ... 1.9	non - conductive liquids (e.g. liquefied gas like butane [1.2], chlorine [1.8])
B	1.9 ... 2.5	portland cement [3.8], plaster [1.9]	1.9 ... 4	non - conductive liquids (e.g. oil [3], toluene [2.5])
C	2.5 ... 4	quartz sand [2.6], rice [3.5]	4 ... 10	e.g. hydrochloric acid [4.6], chloroform [5.5]
D	4 ... 7	copper ore [6], phosphorus salt [4], coffee [4.6]	> 10	conductive liquids e.g. petroleum [17.8], water [81]
E	> 7	ferrite [9.3], active coal pellets [14]		



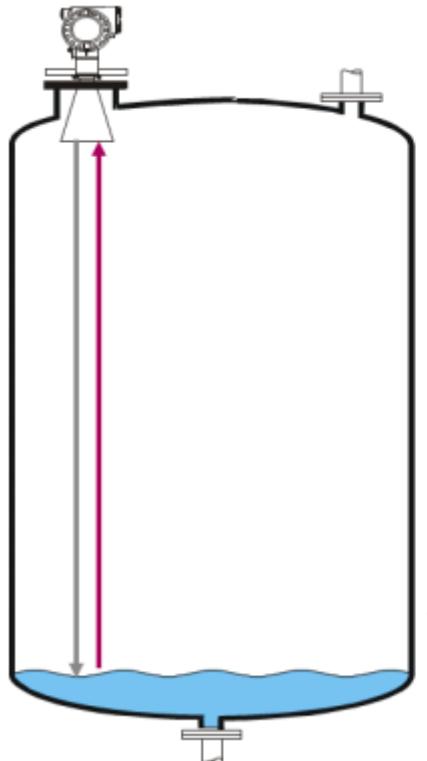
Medición de Nivel por Radar

- Influencia del tipo de medio sobre la reflexión de la onda.

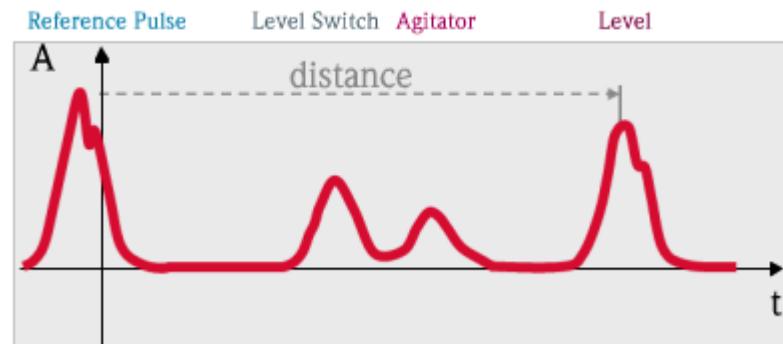
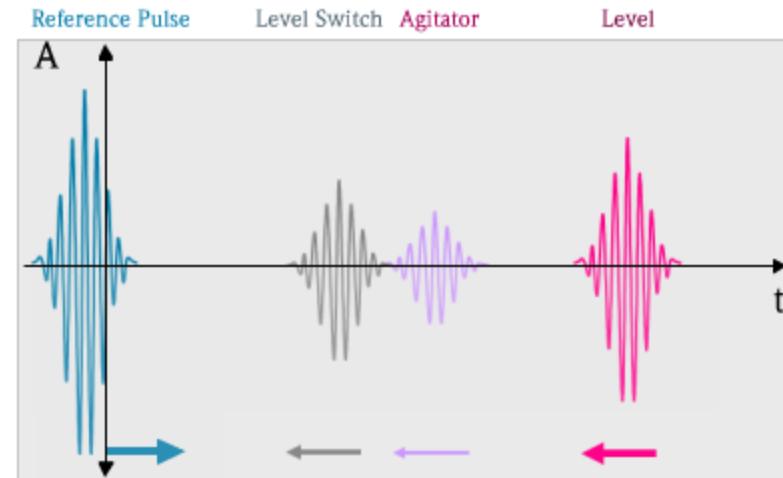
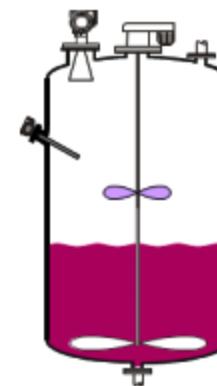
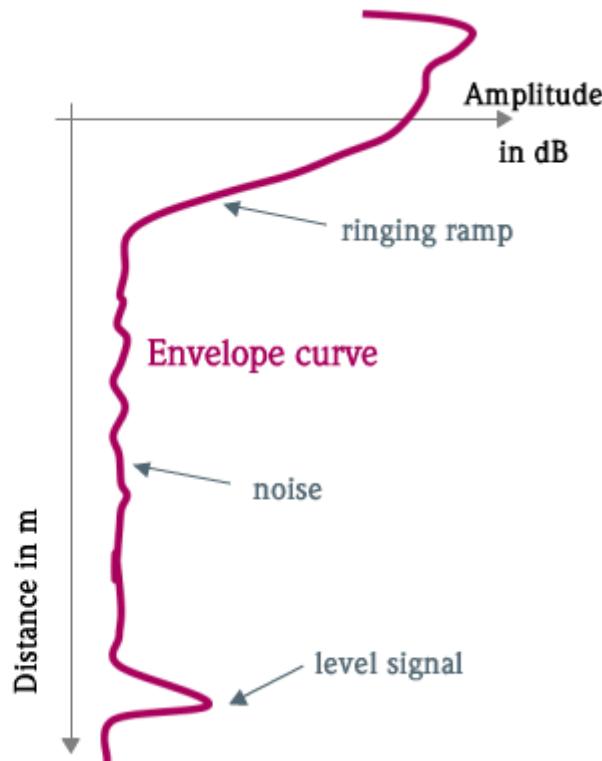


Medición de Nivel por Radar

- Proceso de medición:
 1. Emisión del pulso de referencia
 2. Amplificación y cálculo logarítmico de las señales recibidas
 3. Rectificación del pulso emitido y las señales recibidas
 4. Generación de envolvente y filtrado
 5. Evaluación de distancia

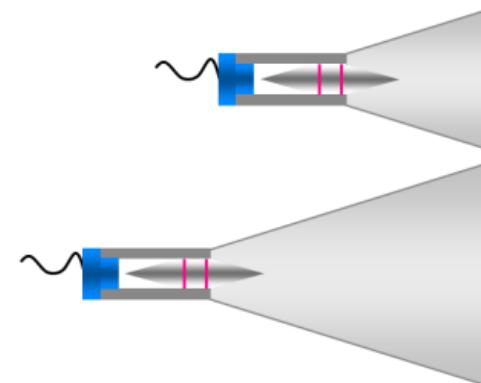
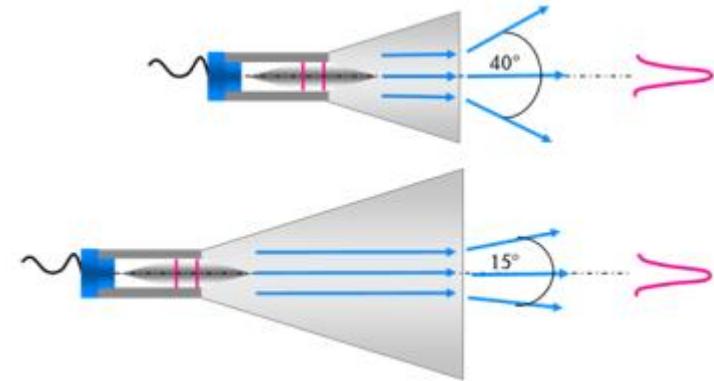
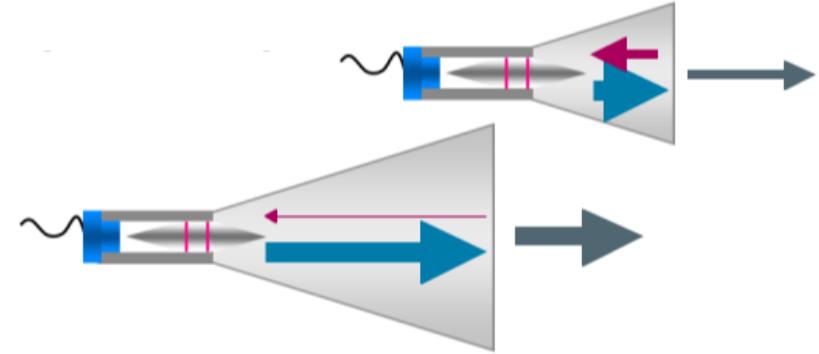


28/04/2020



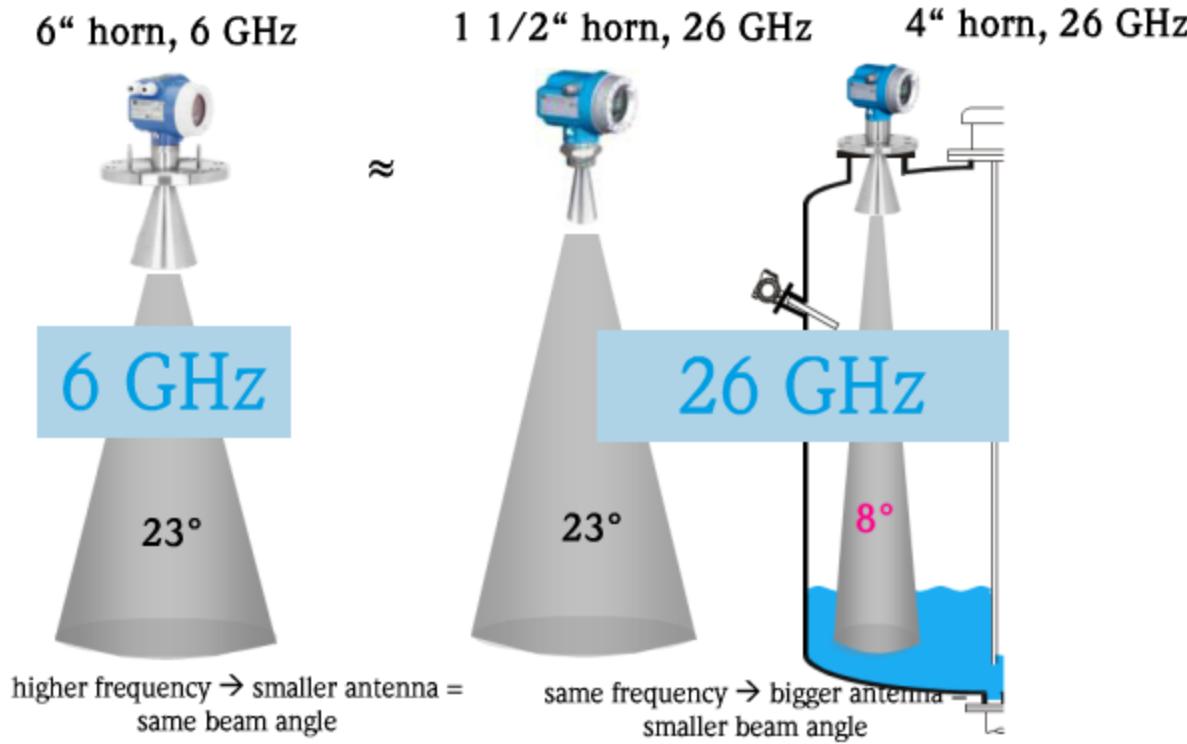
Medición de Nivel por Radar

- Beneficios de utilizar antenas grandes:
 - Mejor adaptación de impedancias durante la transmisión
 - Menor ángulo del lóbulo por lo tanto mejor foco
 - En la recepción: Mayor área de cobertura → Mayor energía recibida



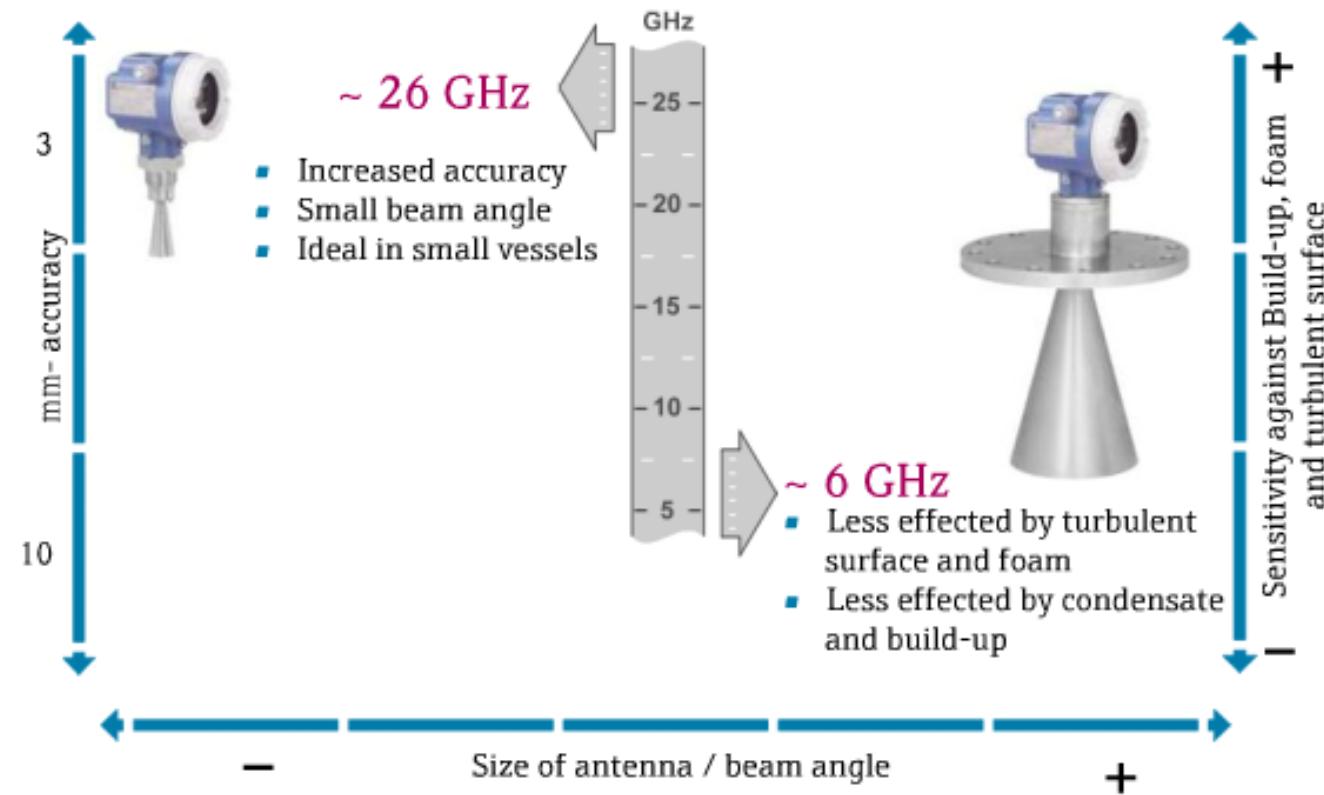
Medición de Nivel por Radar

- Beneficios de utilizar antenas grandes:



Medición de Nivel por Radar

- Frecuencias de trabajo: ventajas y desventajas



Medición de Nivel por Radar

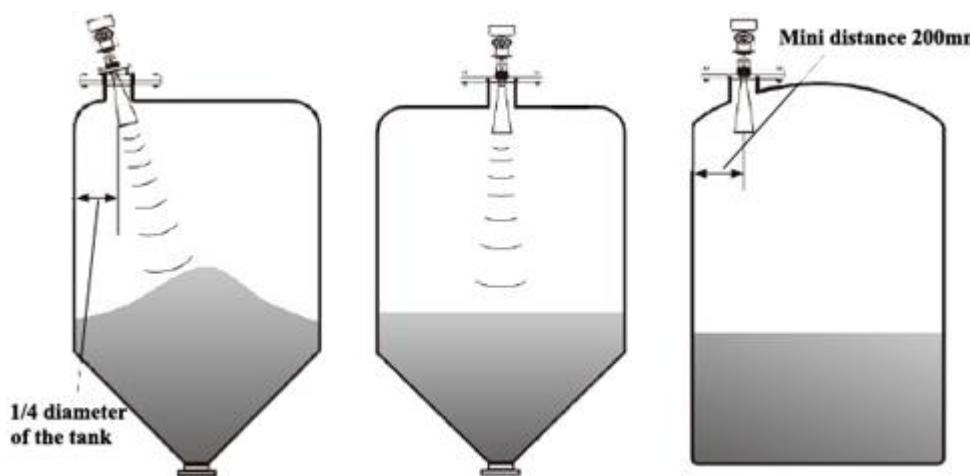
- Aplicable a la medición de nivel de líquidos y sólidos.
- Utilizan frecuencias de transmisión que van de 6 a 100GHz.
- Cuanto mas alta es la frecuencia, mas focalizado es el haz de transmisión. (Ej: haz 4 grados a 26GHz)
- A bajas frecuencias son mas inmunes a la presencia de turbulencias y espuma, así como también a la presencia de agitadores u otros instrumentos en el interior del tanque.
- Si la espuma es densa la medición suele ser errática.



https://www.youtube.com/watch?v=uxt86zxN_B8

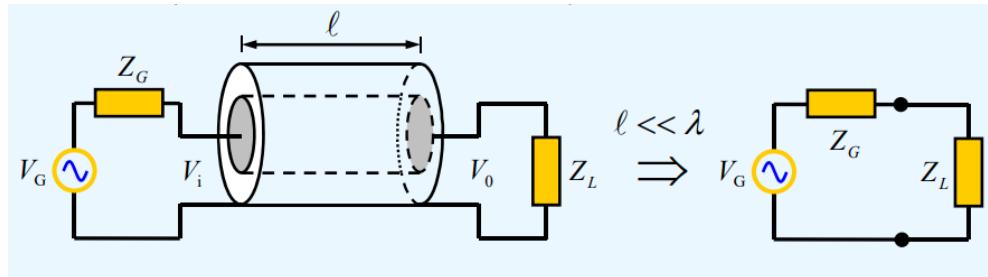
Medición de Nivel por Radar

- Es posible medir el nivel de tanques plásticos aún desde el exterior.
- En líquidos con baja permeabilidad eléctrica (ϵ) la reflexión es muy débil y por lo tanto el error de medición aumenta.
- Es costoso frente a otras tecnologías como presión hidrostática y ultrasonido.
- Es sensible a la acumulación de material en el cono del radar.
- Al igual que el ultrasónico tiene una zona muerta



Radar guiado / Onda Guiada

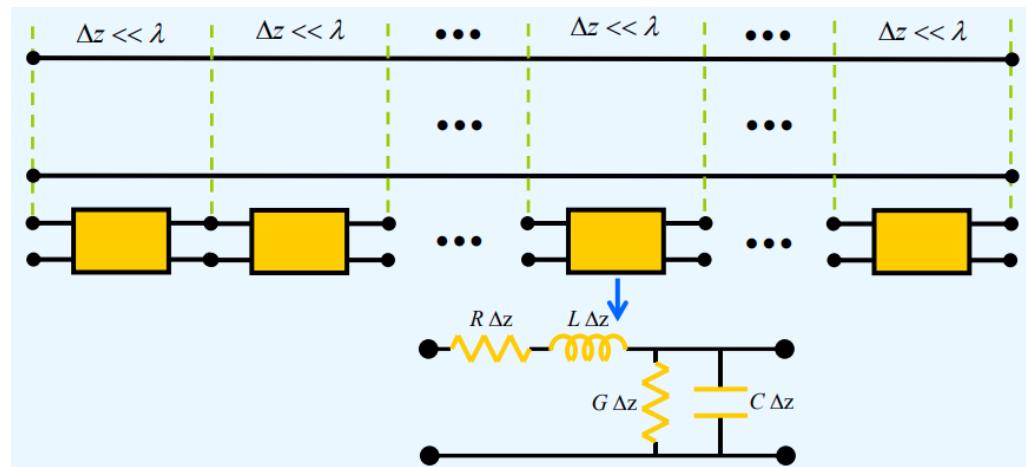
- Modelo circuitual de una línea de transmisión a baja frecuencia ($L \ll \lambda$):



- En aquellos circuitos donde existan elementos de tamaño NO mucho menor que la longitud de onda, no es válida la teoría de circuitos concentrados (leyes de Kirchhoff).
- Estos circuitos se denominan circuitos distribuidos y su análisis requiere de una extensión de la teoría de circuitos convencional que tenga en cuenta de forma explícita los efectos propagativos de las señales.

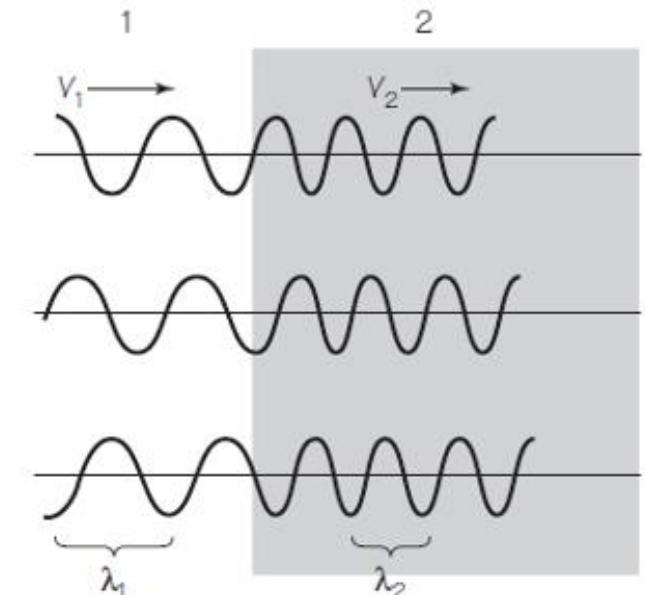
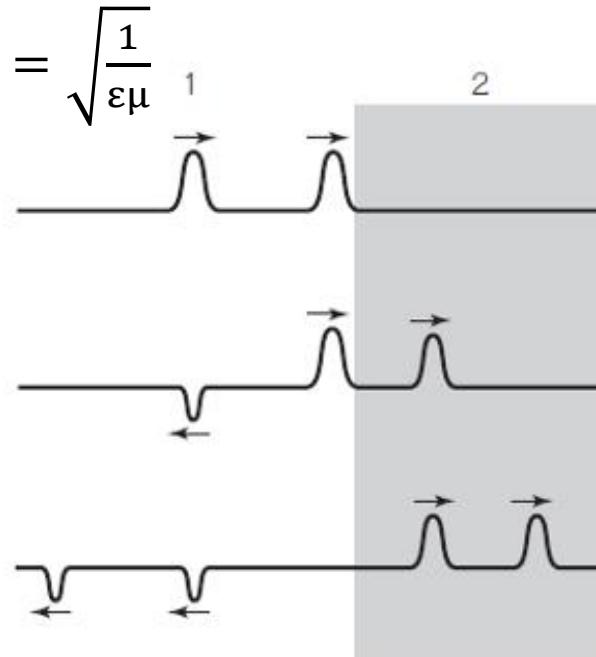
Radar guiado / Onda Guiada

- Los efectos propagativos pueden, hasta cierto punto, modelarse mediante circuitos equivalentes.
- En el caso de una línea de transmisión, se puede dividir en secciones de longitud $\Delta z \ll \lambda$ y sustituir cada sección por su circuito equivalente.
- Los parámetros R, L, C, G se denominan **PARAMETROS PRIMARIOS** de la línea. Su valor depende de la geometría y de los materiales de cada tipo de línea.



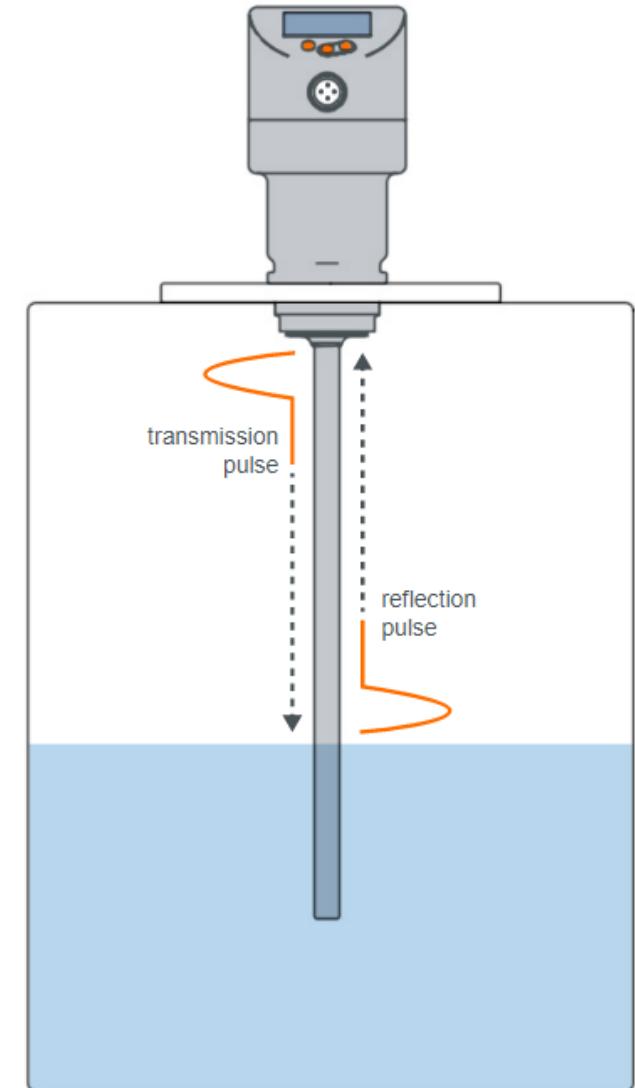
Radar guiado / Onda Guiada

- En aquellos puntos en los cuales haya un cambio de medio o geometría, la impedancia característica de la línea cambiarán y por lo tanto se producirán reflexiones y refracciones de la señal. Mismo fenomeno estudiado en optica.
- Para las ondas incidentes y transmitidas se puede escribir $\lambda_1 / \lambda_2 = v_1 / v_2$.
- La velocidad de propagación de la onda EM siempre será igual a la velocidad de la luz en el medio y se puede calcular como $c = \sqrt{\frac{1}{\epsilon\mu}}$



Radar guiado / Onda Guiada

- El medidor radar guiado funciona con pulsos de radar de alta frecuencia que se emiten y guían a lo largo de una sonda, la cual puede ser de tipo varilla o un cable.
- Cuando el pulso llega a la superficie del producto, se refleja una parte debido a un cambio del valor de la constante dieléctrica relativa.
- El Tiempo de Vuelo entre que se emite y recibe el pulso es medido y analizado por el instrumento y constituye una medición directa de la distancia entre la conexión a proceso y la superficie del producto.
- La intensidad de la reflexión depende de la constante dieléctrica del producto. Cuanto mayor sea el valor de la constante dieléctrica, tanto mayor es la reflexión.



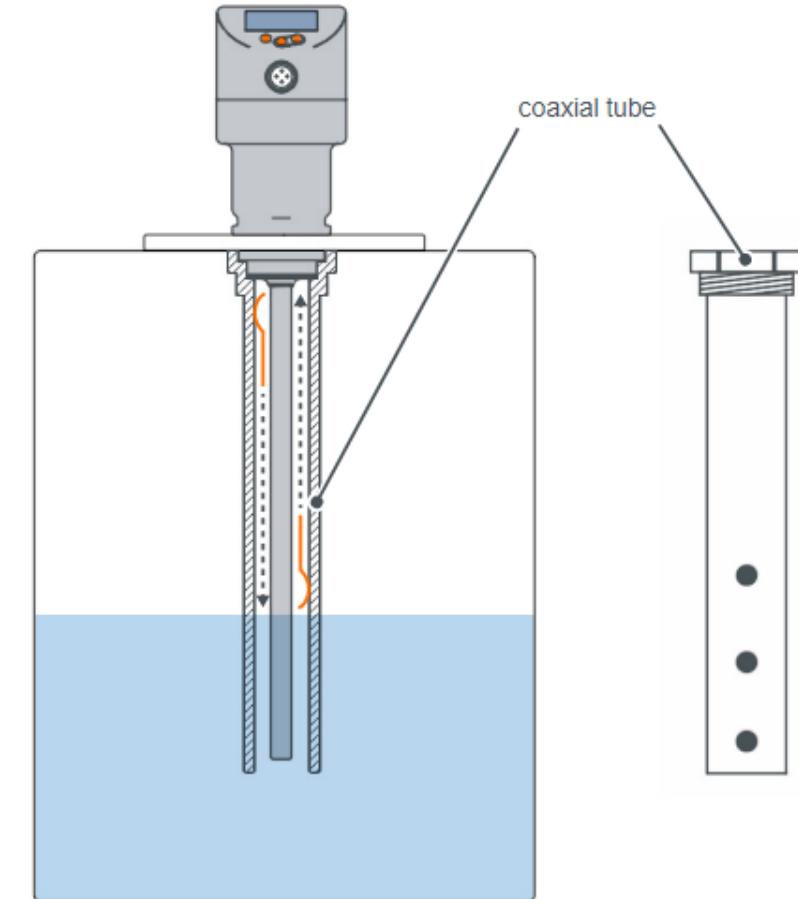
Radar guiado / Onda Guiada

- Es aplicable a líquidos de cualquier tipo y sólidos granulados.
- Para algunos líquidos con bajas constantes dieléctricas ϵ , como por ejemplo aceites, el pulso de radar no es reflejado con suficiente intensidad y por lo tanto es necesaria la utilización de tubos coaxiales para intensificar y contener la señal.

https://www.youtube.com/watch?v=EO9zOT_Ulu8

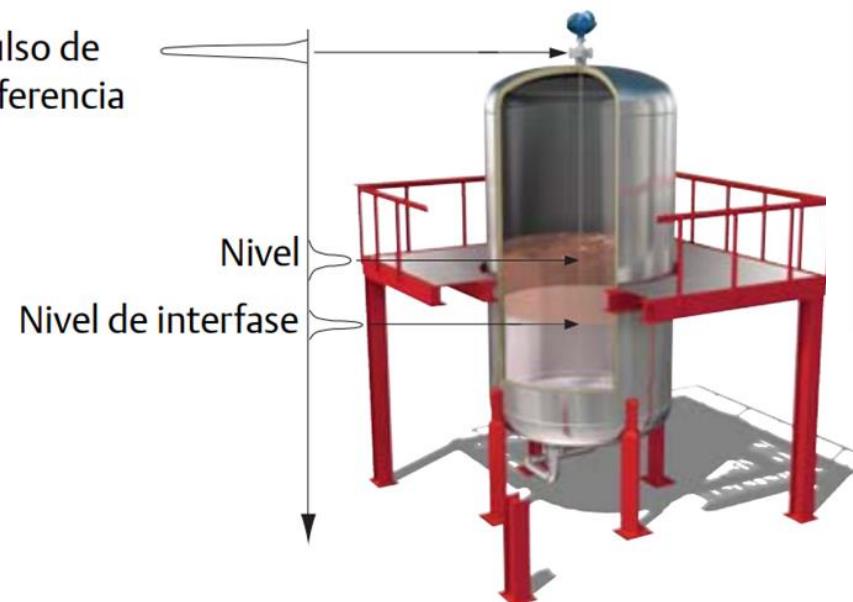
<https://www.youtube.com/watch?v=QqjAYIHOQEY>

Material	ϵ_r
Aire	1
Aceite	2,8
Agua destilada	80
Acetona	191
Nylon	3,5
Titanio	1200



Radar guiado / Onda Guiada

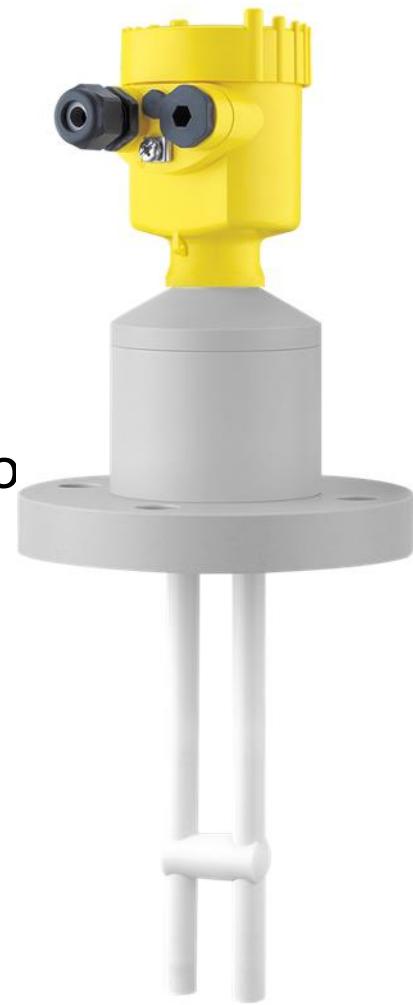
- Hay modelos a varilla, cable y tubo coaxial. La versión con cable puede medir hasta 75m. La versión con tubo coaxial también anula problemas de reflexiones con materiales dentro del tanque (agitadores, otros instrumentos, etc...)
- Es aplicable tanto a líquidos como a sólidos granulados.
- Se logran precisiones cercanas al milímetro
- Apto para medición de interfase.



Medición de nivel Capacitiva

- El principio de la medición de nivel capacitiva se basa en el cambio del valor de la capacidad. Una sonda aislada (de varilla o cable) y las paredes del tanque constituyen un capacitor cuya capacidad es proporcional al nivel de producto.
- Cuando el tanque no es metálico se utiliza un tubo perforado metálico como segundo electrodo.
- Se utiliza una doble varilla aislada cuando el líquido es muy corrosivo y el tanque es plástico (por ej. ácidos muy concentrados).
- La medición se realiza a una frecuencia de alrededor de los 500kHz y las capacidades medidas son del orden de los pF.

Doble varilla



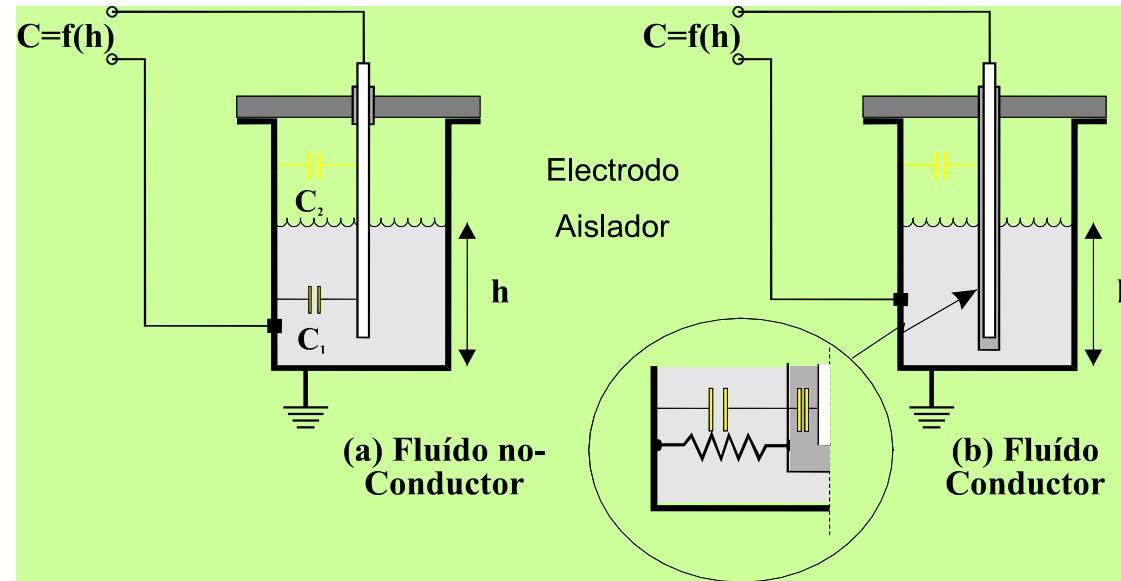
Cable



Varilla



Medición de nivel Capacitiva



$$C = K \epsilon_0 A / d$$

Ejemplo 13-2: debe utilizarse un sistema capacitivo para la medición del nivel de agua en un tanque de 30 cm de altura. Se cuenta con dos electrodos cilíndricos, separados 1 cm entre ellos, con un radio promedio de 5 cm, colocado a lo largo del tanque. Encontrar el rango de variación de la capacidad.

Capacidad del sensor con tanque vacío, de Ec. 11-7:

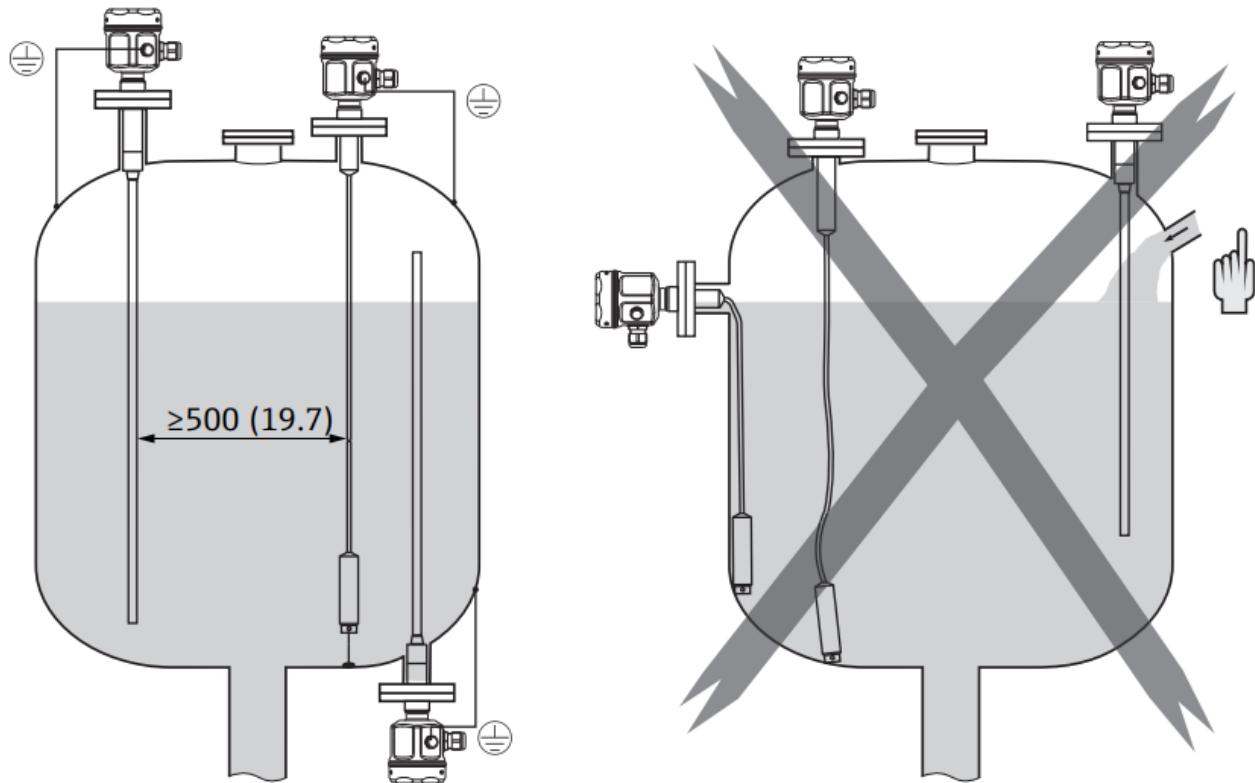
$$C = K \epsilon_0 A / d = 1 * 8.85 \text{ pF/m} * (2\pi 0.05m 0.3m) / 0.01m = 83.4 \text{ pF}$$

Capacidad del sensor con tanque lleno,

$$C = K \epsilon_0 A / d = 78.5 * 8.85 \text{ pF/m} * (2\pi 0.05m 0.3m) / 0.01m = 6548 \text{ pF}$$

Medición de nivel Capacitiva

- Consideraciones de montaje



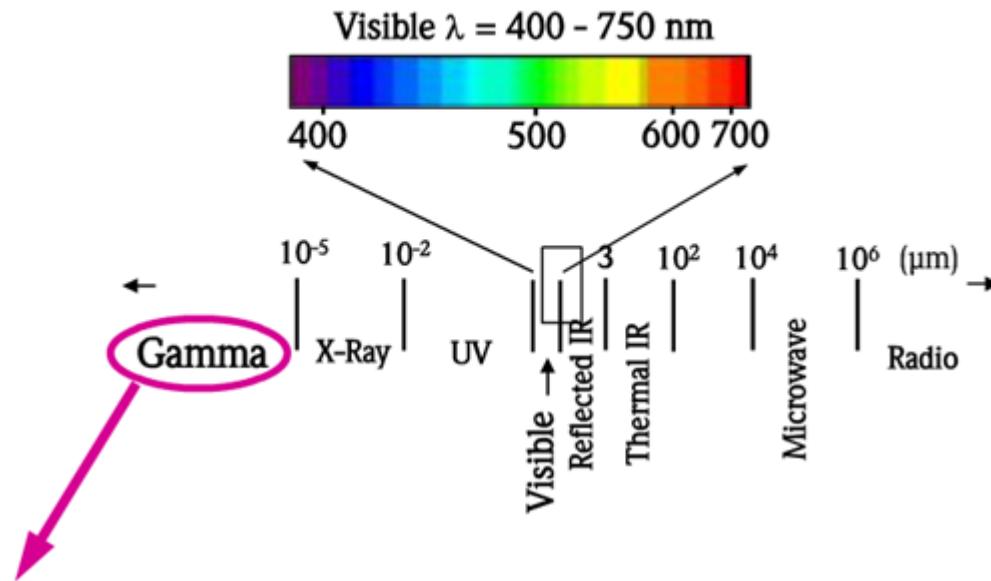
Medición combinada – Radar Guiado y Capacitivo

- Para la medición combinada de nivel e interfase con presencia de emulsión.
- Fusiona ambas tecnologías (2 sensores en 1) para tener una medición completa.



<https://www.youtube.com/watch?v=YsX98qOFo68&list=PLQRFGW1Z4TGF-fSOC2yOcJ0rxik24wM2Y&index=24>

Medición y detección de nivel por Radiación Gamma



- short wave length $\lambda = 10^{-5} - 10^{-7} \mu\text{m}$
- very high frequency
- ionising radiation ($\lambda < 100 \text{ nm}$)
- high-energy photons (higher energy than light)

Source material

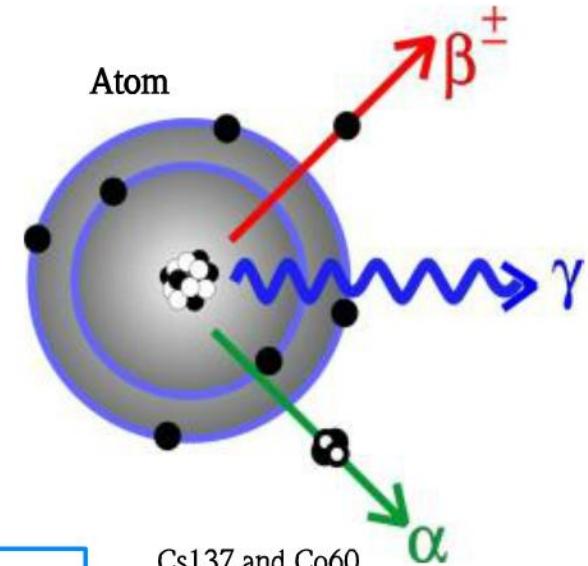
A spontaneous decay of an atom is a radioactive decay, which emits radiation.

3 types of radiation

Alpha particle radiation

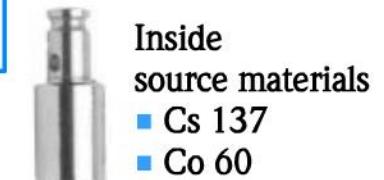
Beta particle radiation

Gamma electromagnetic wave



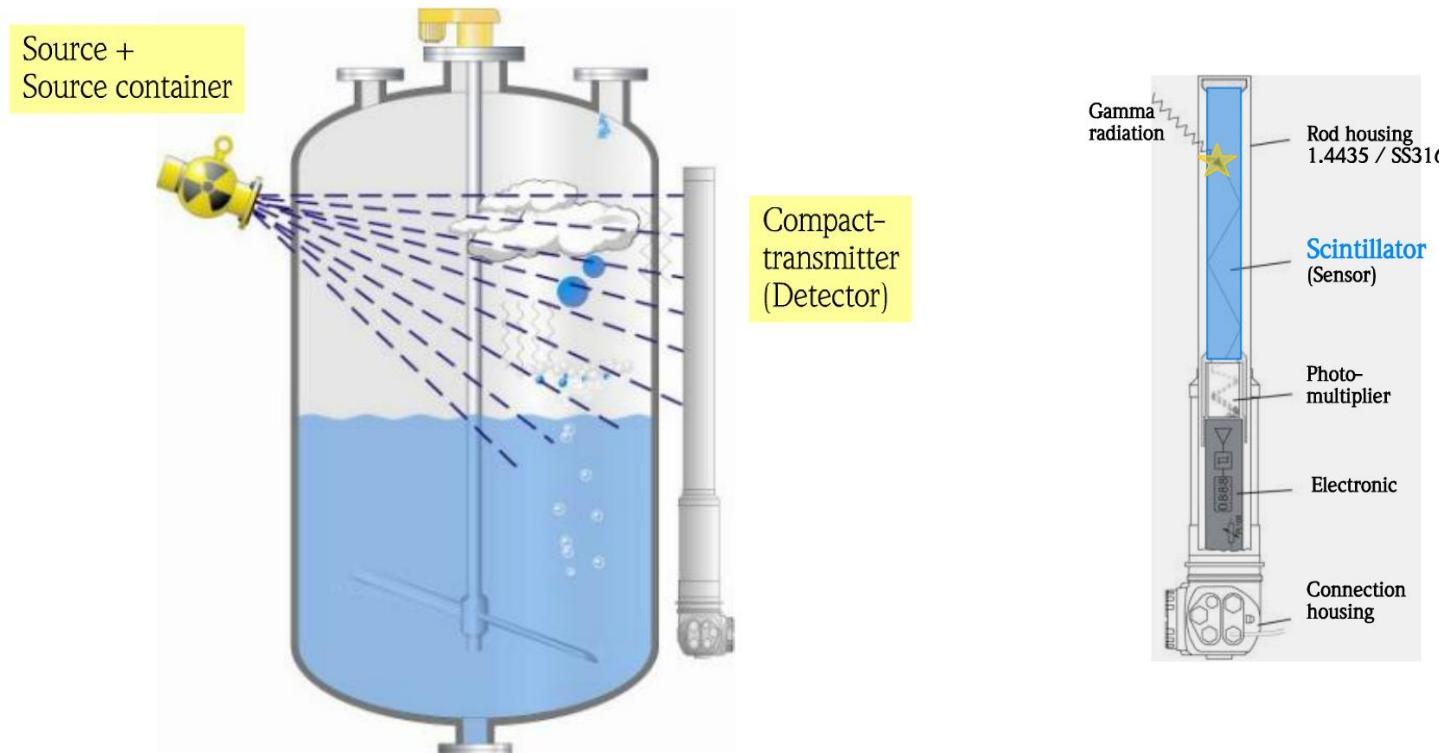
Cs137 and Co60
no alpha decay

Source



Medición y detección de nivel por Radiación Gamma

- La radiación atraviesa metales y concreto → Medición sin contacto / No invasiva
- Nivel de radiación emitida muy baja → No implica riesgo alguno



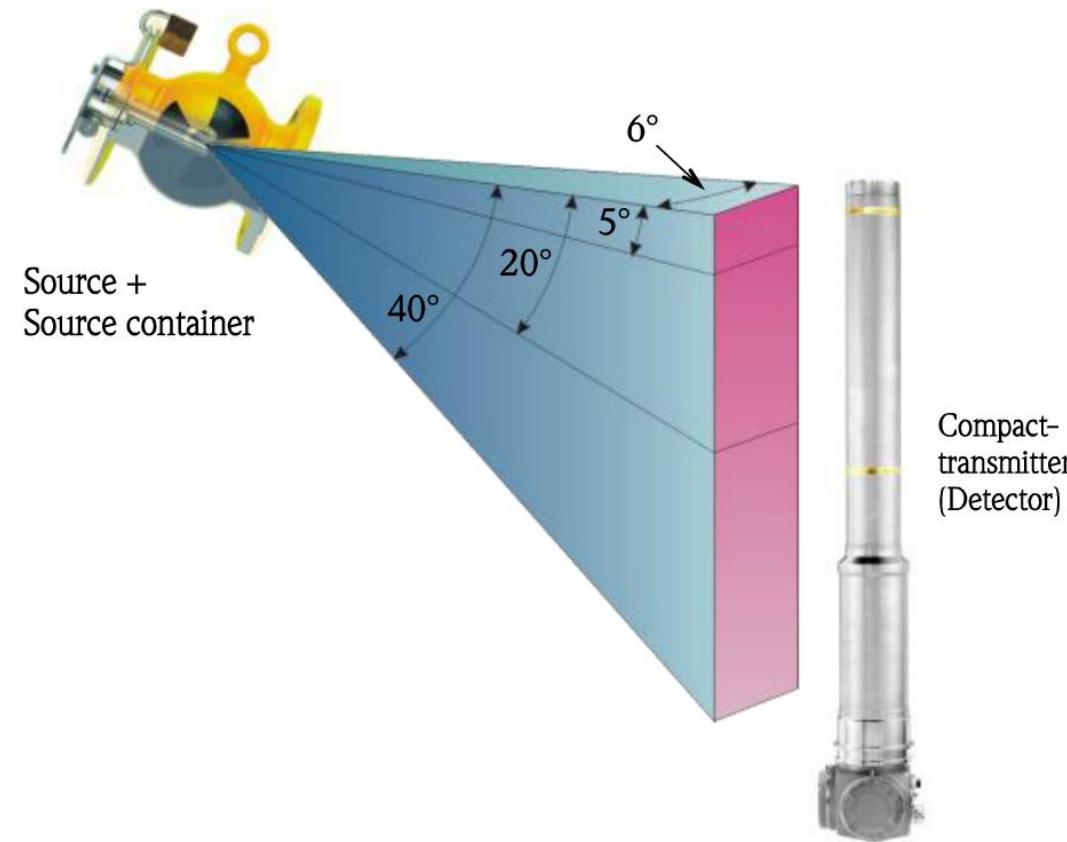
Funcionamiento:

- La radiación entra al sensor
- La atenuación genera pulsos de luz
- Un foto-multiplicador convierte esa luz a pulsos de corriente
- Se realiza un conteo de los pulsos detectados

<https://www.youtube.com/watch?v=pMbclVYQsoM&list=PLQRFGW1Z4TGF-fSOC2yOcJ0rxik24wM2Y&index=16>

Medición y detección de nivel por Radiación Gamma

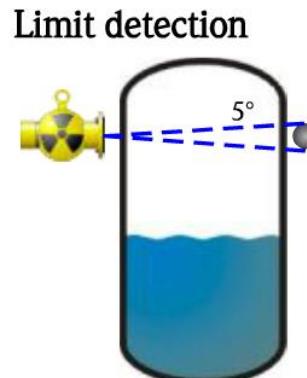
- Haz de radiación



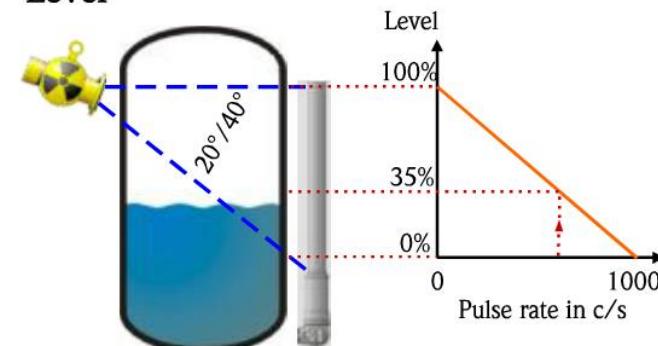
Medición y detección de nivel por Radiación Gamma

Aplicaciones:

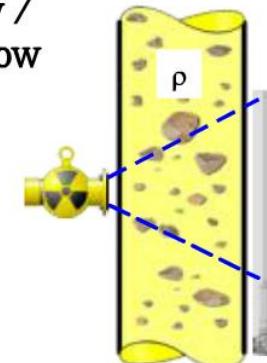
- Permite medir nivel continuo, detección de nivel, medición de densidad y medición de interfase



Level

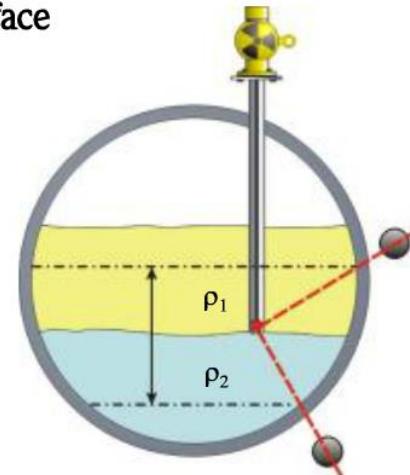


Density / Mass flow

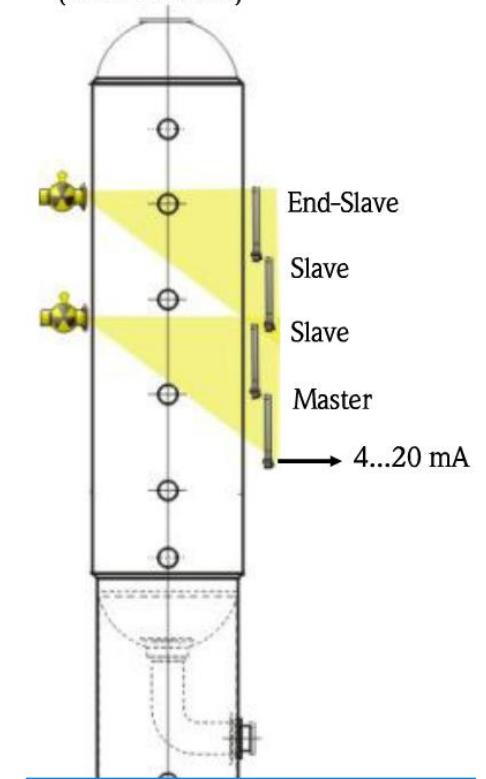


- Density (0.5 ... 3.0 g/cm³)
- Concentration
- Solid contents in liquids
(% Weight, % Volume, weight/volume)

Interface



- Large measuring range
(with cascade)



Medición y detección de nivel por Radiación Gamma

Ventajas:

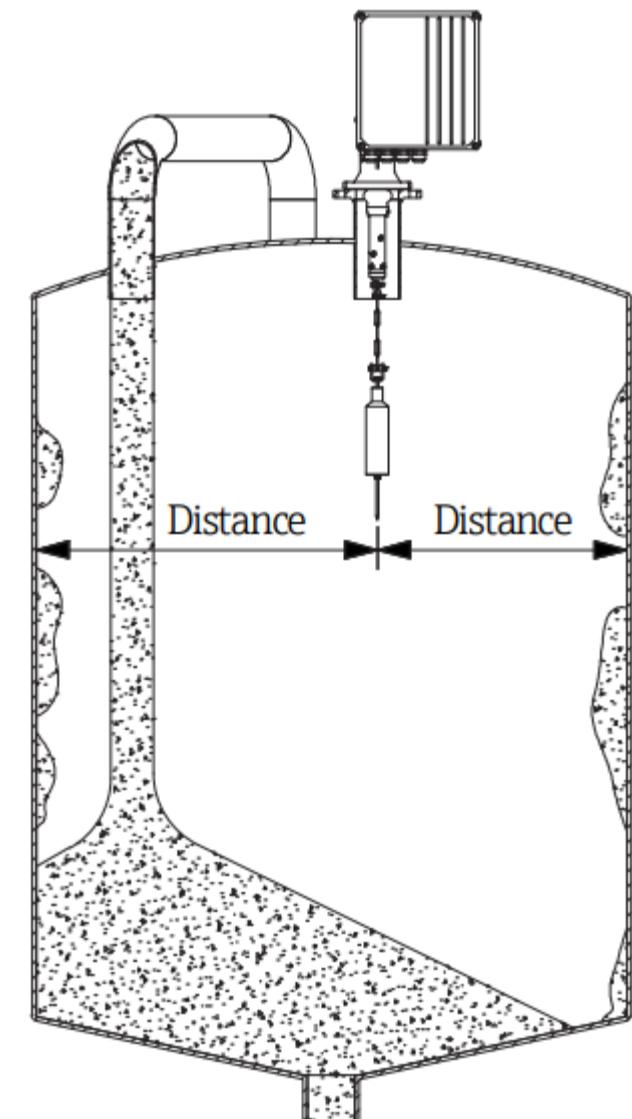
- Utilizable para cualquier tipo de líquidos y sólidos
- Apto para condiciones extremas de presión y temperatura.
- Apto para productos tóxicos, inflamables o muy abrasivos.
- Permite medir nivel continuo, detección de nivel, medición de densidad y medición de interfase



Medición de nivel electromecánica en silos



- Mediante un pequeño motor se hace descender un contrapeso mediante un cable de acero o una cadena.
- El sensor tiene incorporado una celda de carga, con lo cual, cuando detecta una disminución en el peso medido, calcula la posición del nivel del sólido en función del recorrido.
- Por ultimo se sube el contrapeso nuevamente y el motor es apagado.
- El equipo da una señal 4-20mA y salidas digitales para indicación de nivel máximo.
- Es posible linealizar la salida en función de la forma del silo (cilindro-cónico).



Detección de Nivel por Espectroscopia de Impedancia

El equipo funciona según el procedimiento de espectroscopia de impedancia. Analiza las características eléctricas de los fluidos que se van a controlar en un rango de frecuencia entre 50 y 200 MHz. Desde la punta de la sonda se forma un campo eléctrico que se ve influido por el nivel. El tipo de fluido, así como las adherencias o la espuma, poseen diversas características eléctricas que se utilizan para la evaluación.

Aplicaciones:

- Líquidos acuosos
- Líquidos viscosos
- Solidos en polvo o pequeñas partículas



Detección de Nivel por Espectroscopía de Impedancia

Principio de Funcionamiento

Cada medio crea un perfil de firma único en este barrido de espectro de alta frecuencia (50 a 200MHz).

En cada punto, se realizan tres mediciones:

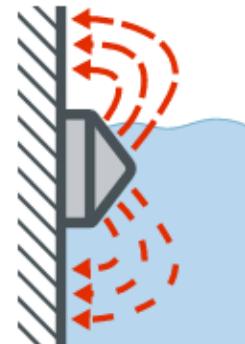
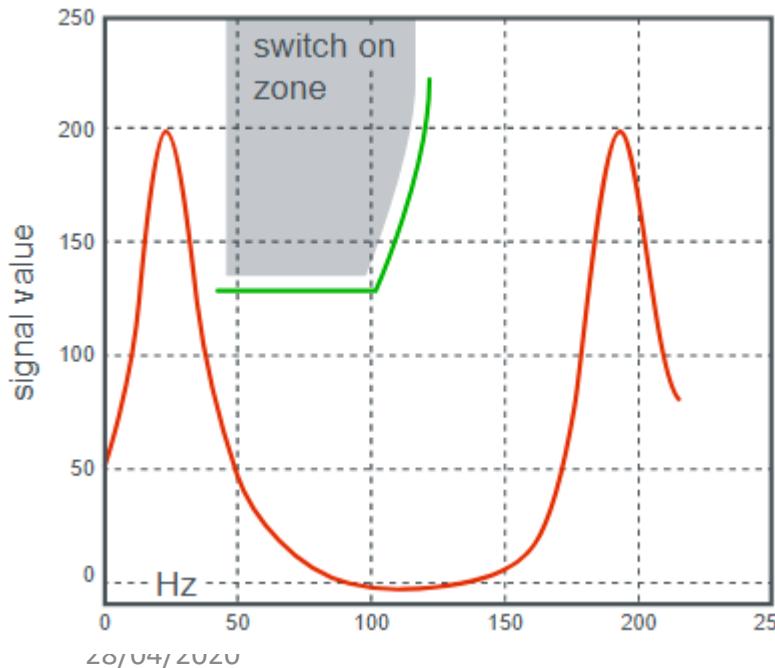
- Atenuación del campo electromagnético (α [dB/m])
- Conductancia del campo eléctrico ($\sigma \rightarrow J = \sigma E$)
- Permeabilidad magnética ($\mu \rightarrow B = \mu H$)

Detección de Nivel por Espectroscopía de Impedancia



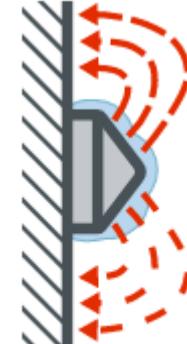
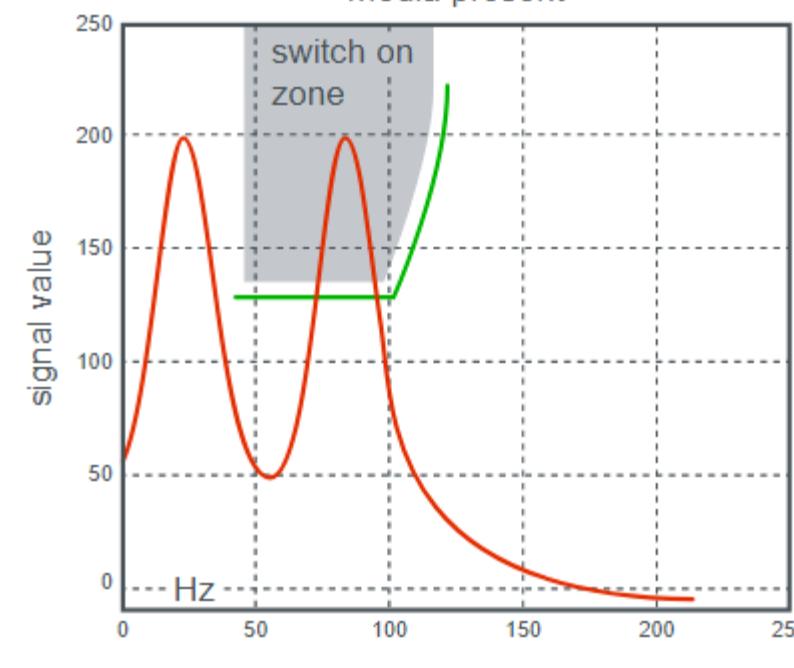
- Baja atenuación
- Baja conductancia
- Baja permeabilidad

no media present



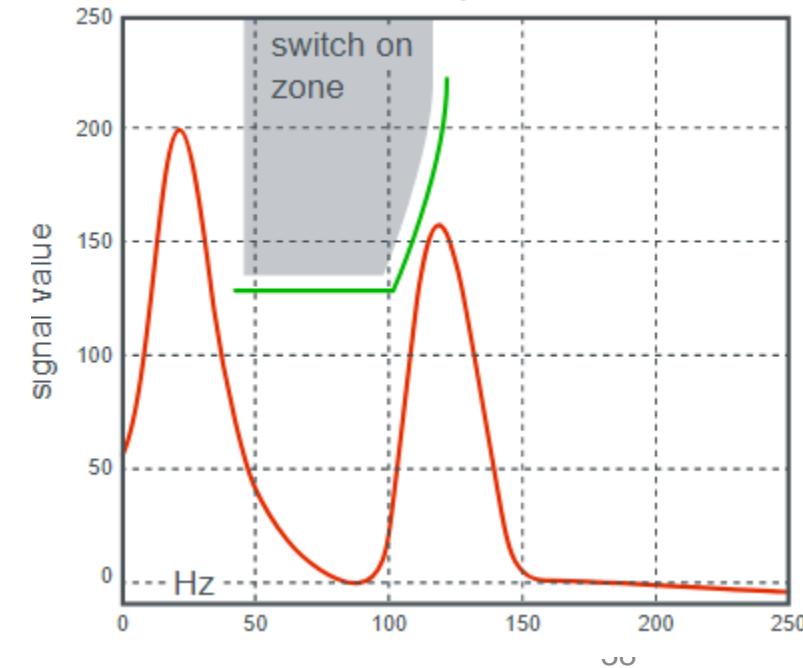
- Alta atenuación
- Alta conductancia
- Alta permeabilidad

media present



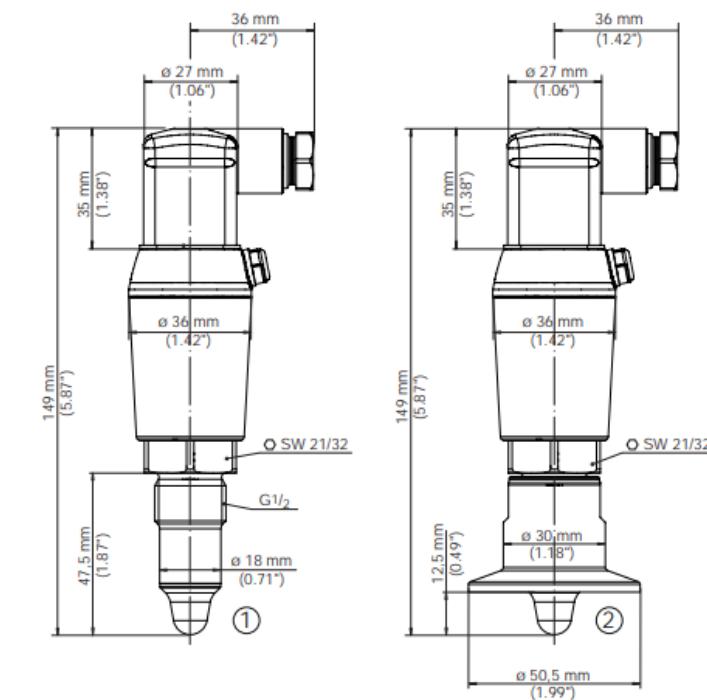
- Baja atenuación
- Alta conductancia
- Alta permeabilidad

residue present



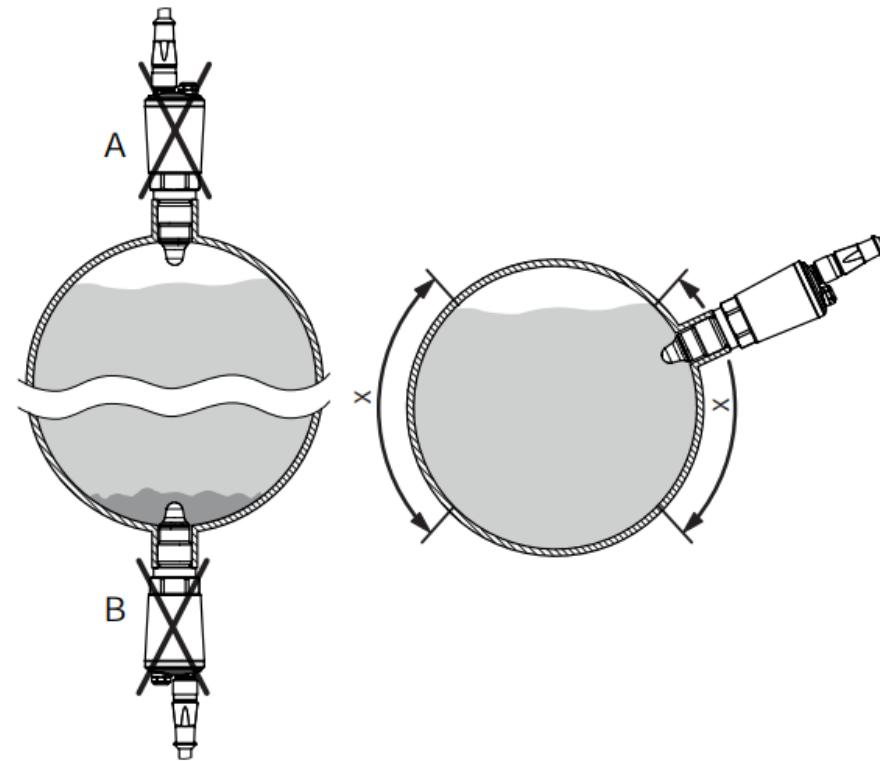
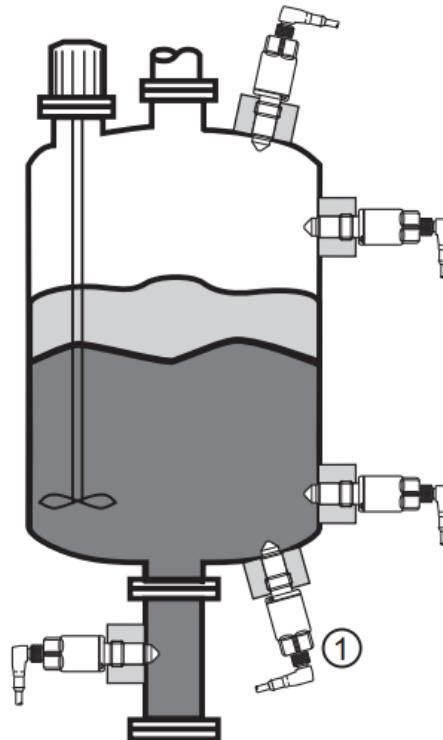
Detección de Nivel por Espectroscopía de Impedancia

- El equipo no solo permite detección ON/OFF sino que a través de su salida analógica (típicamente por IOLink) permite identificar diversos materiales y conmutar distintas salidas digitales según el material detectado.
- Están reemplazando rápidamente a los sensores por horquilla vibrante.
- Mediante la utilización de accesorios mecánicos se pueden montar de manera tal que sean sanitarios.
- Inmune a presencia de espuma y depósitos.



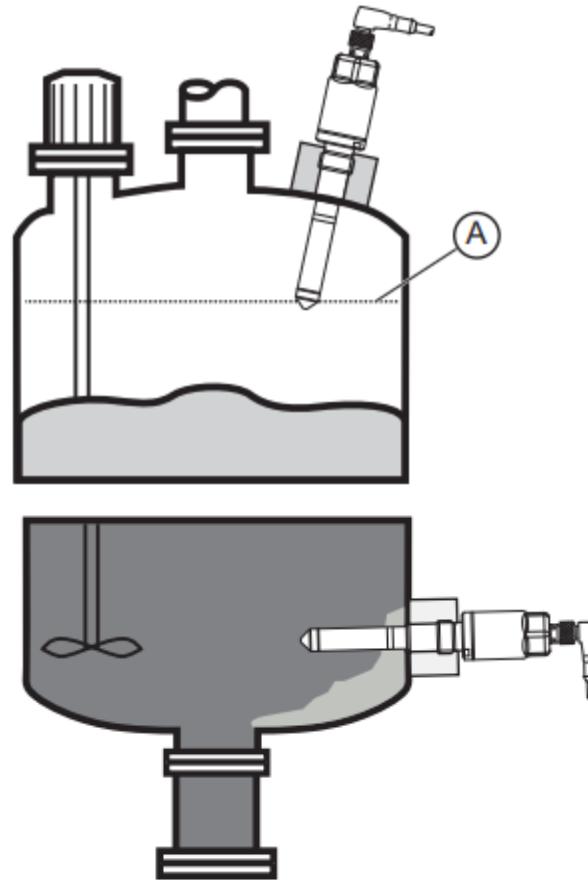
Detección de Nivel por Espectroscopía de Impedancia

Consideraciones de montaje de sensores de sonda corta

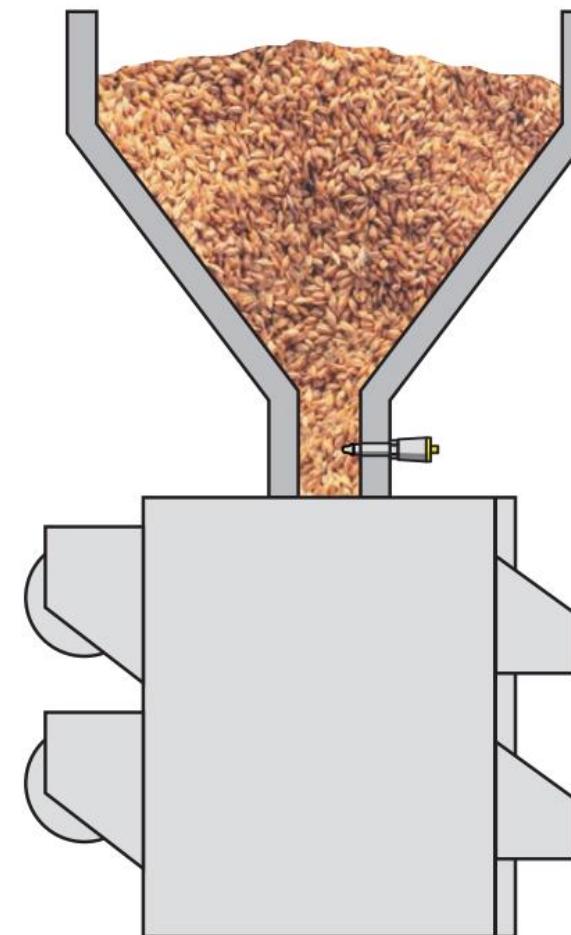


Detección de Nivel por Espectroscopía de Impedancia

Consideraciones de montaje de sensores de sonda larga



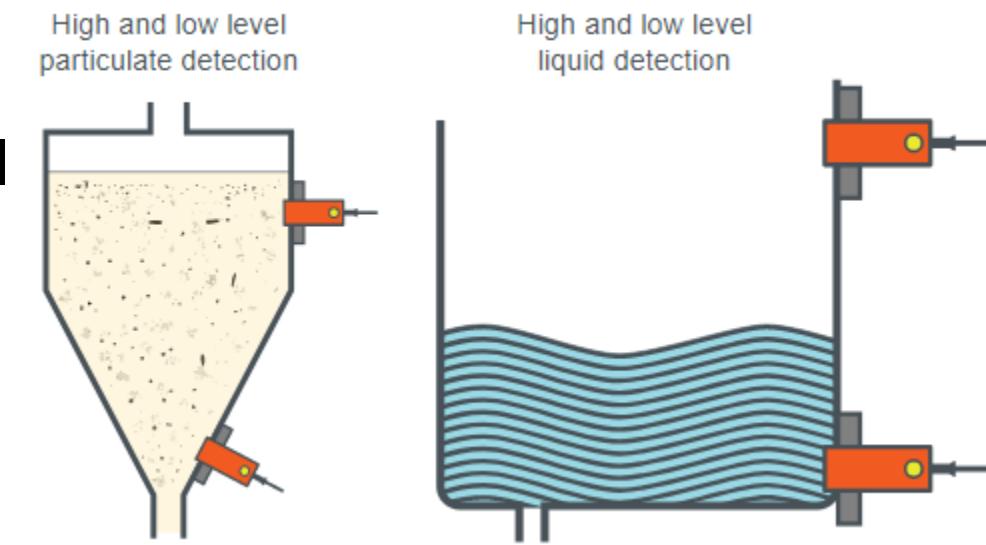
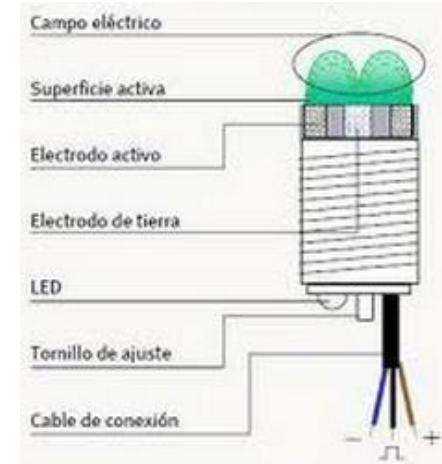
28/04/2020



41

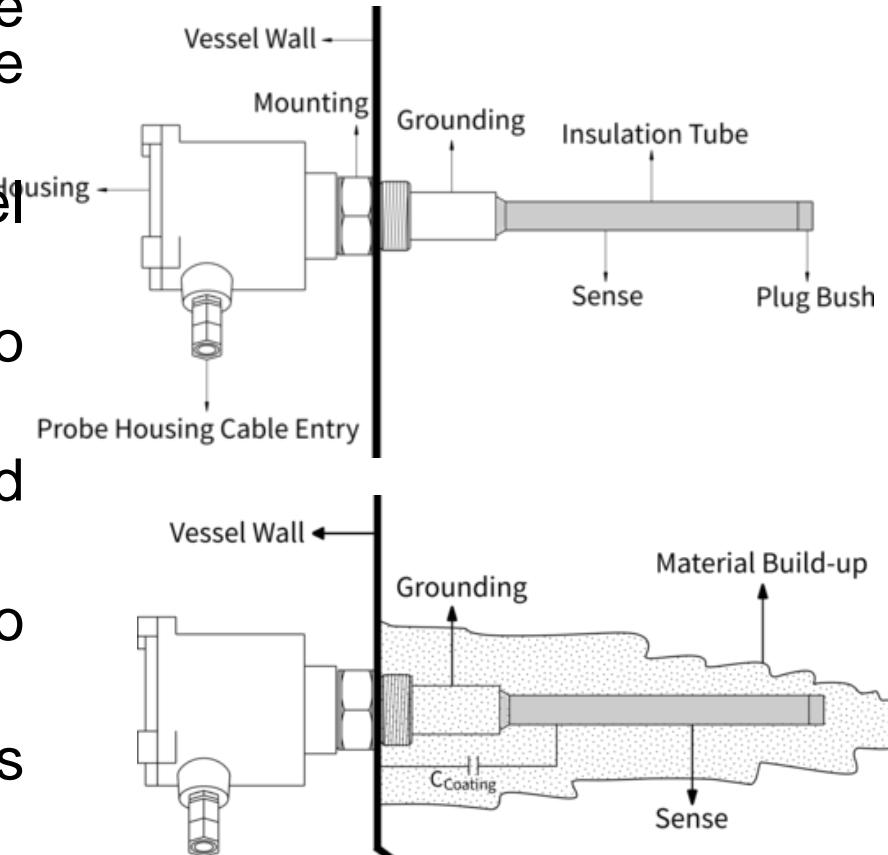
Detección de Nivel con Sensores de Proximidad Capacitivos

- En determinadas condiciones es posible utilizar sensores de proximidad capacitivos (vistos en la clase de detección de objetos) para detección de nivel.
- Funcionan en líquidos y sólidos granulados
- Tienen ajuste de sensibilidad
- El tanque NO debe ser metálico
- El sensor debe ser colocado en la pared lateral



Detectores de Nivel Capacitivos – Sonda Estándar

- Mismo principio de operación que los sensores de nivel continuos, midiendo capacidad entre el tanque metálico y una varilla sensora.
- Operan a unos 500kHz midiendo capacidades del orden de los pF.
- La varilla sensora está aislada del housing utilizando aislantes de bajo dieléctrico como el Nylon.
- Cuando el material cubre el sensor, la capacidad aumenta y el sensor comuta.
- Cuando el tanque no es metálico se utiliza un tubo perforado metálico como segundo electrodo.
- **Limitación:** El detector de nivel comienza a dar falsas indicaciones cuando el material se adhiere a la sonda.

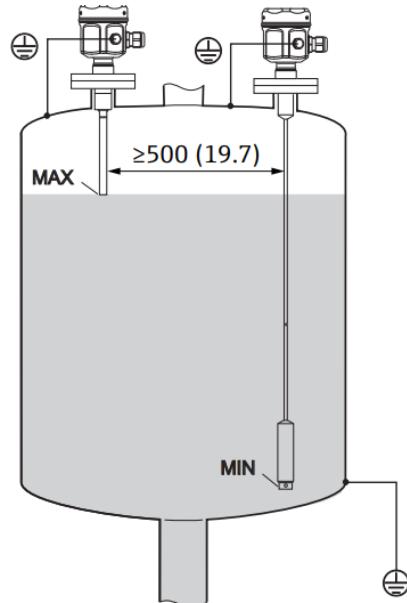


Detectores de Nivel Capacitivos – Sonda Estándar

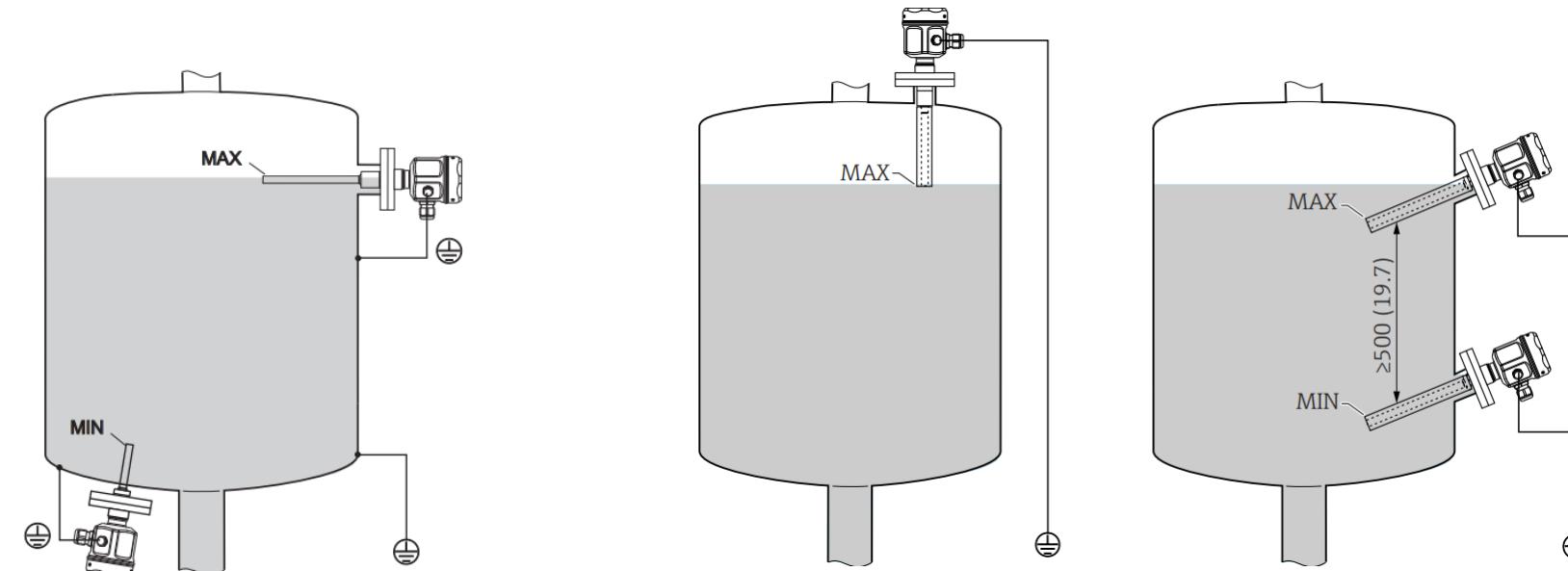
Consideraciones de montaje en tanques:

- La sonda no debe tocar el tanque
- Distancia mínima de 500mm entre sensores
- No instalar debajo de cortinas de agua
- Suficientemente alejados de agitadores

Tanques metálicos



Tanques plásticos o no conductivos



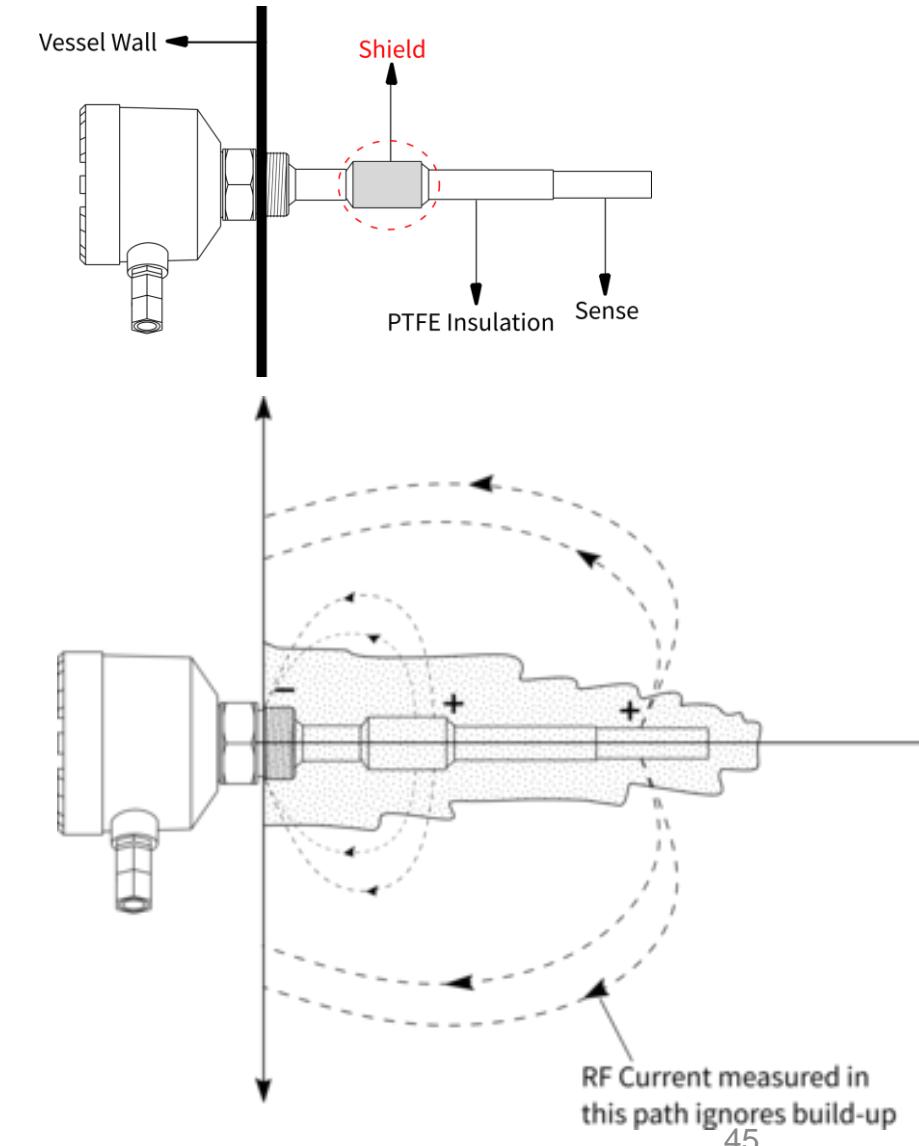
Detectores de Nivel Capacitivos – Sonda con compensación activa de adherencias

El electrodo sensor y el blindaje están conectados a la misma fuente (equipotenciales) pero aislados eléctricamente entre ellos.

El propósito de agregar el blindaje es impedir que haya circulación de corriente de RF desde la punta sensora y la pared del tanque a través del material residual.

Este diseño ayuda a diferenciar entre la acumulación de material residual y el nivel real.

<https://www.youtube.com/watch?v=kljAjbYsW7Y>



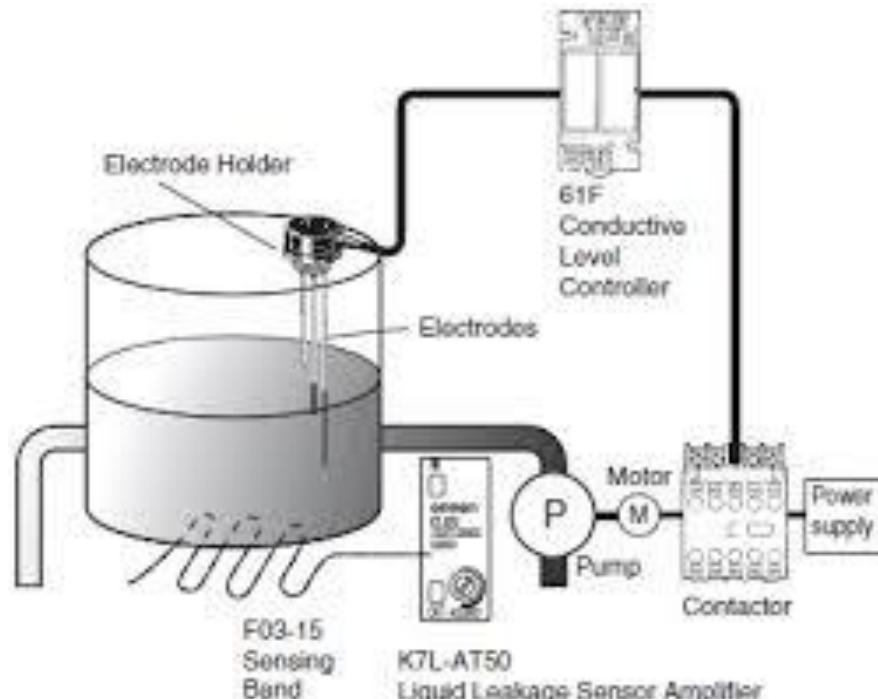
Detección de Nivel por Conductividad

- La resistencia entre los electrodos de medición cambia con la presencia o ausencia de producto.
- Para uso en aplicaciones con líquidos conductivos (a partir de $10 \mu\text{S}/\text{cm}$).
- Para evitar la electrolisis se utiliza corriente alterna libre de CC.
- Tecnología económica con hasta cinco puntos de detección de nivel con una única sonda.
- Requiere la instalación de “Level control relay”.

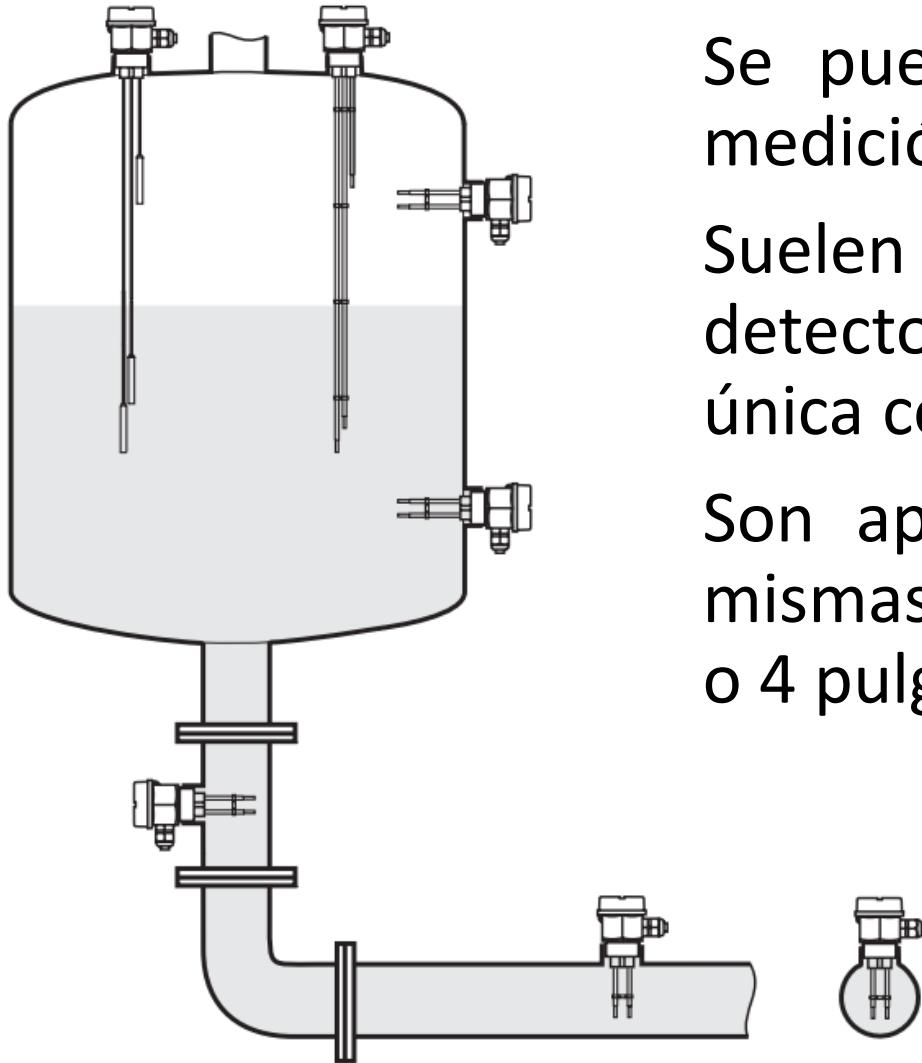


Detección de Nivel por Conductividad

- En sondas de varilla única, la pared del tanque debe ser conductora de la electricidad para funcionar como contraelectrodo.
- Las sondas pueden ser con varillas o cables. En ambos casos se debe realizar el corte a la medida de detección deseada.



Detección de Nivel por Conductividad



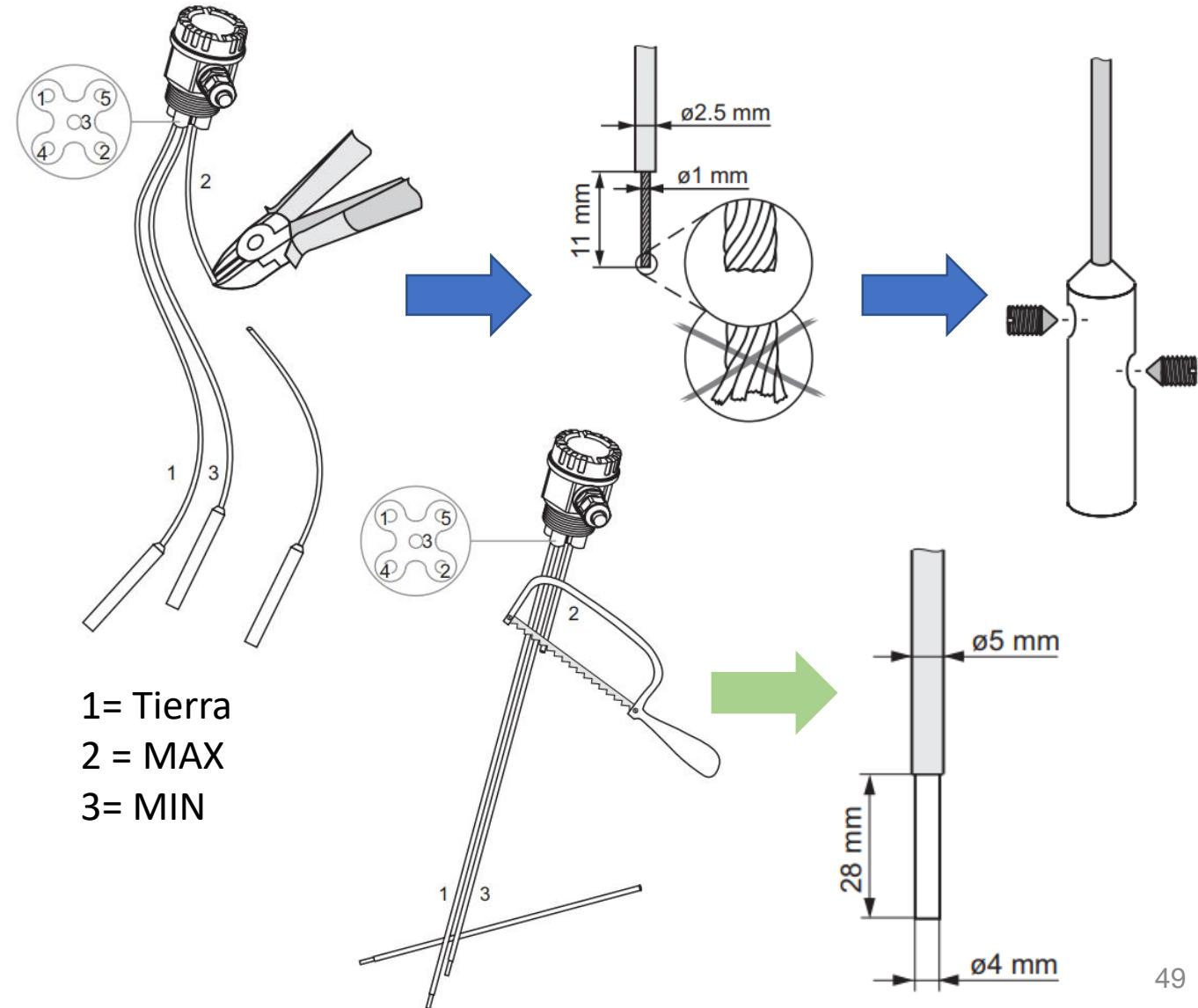
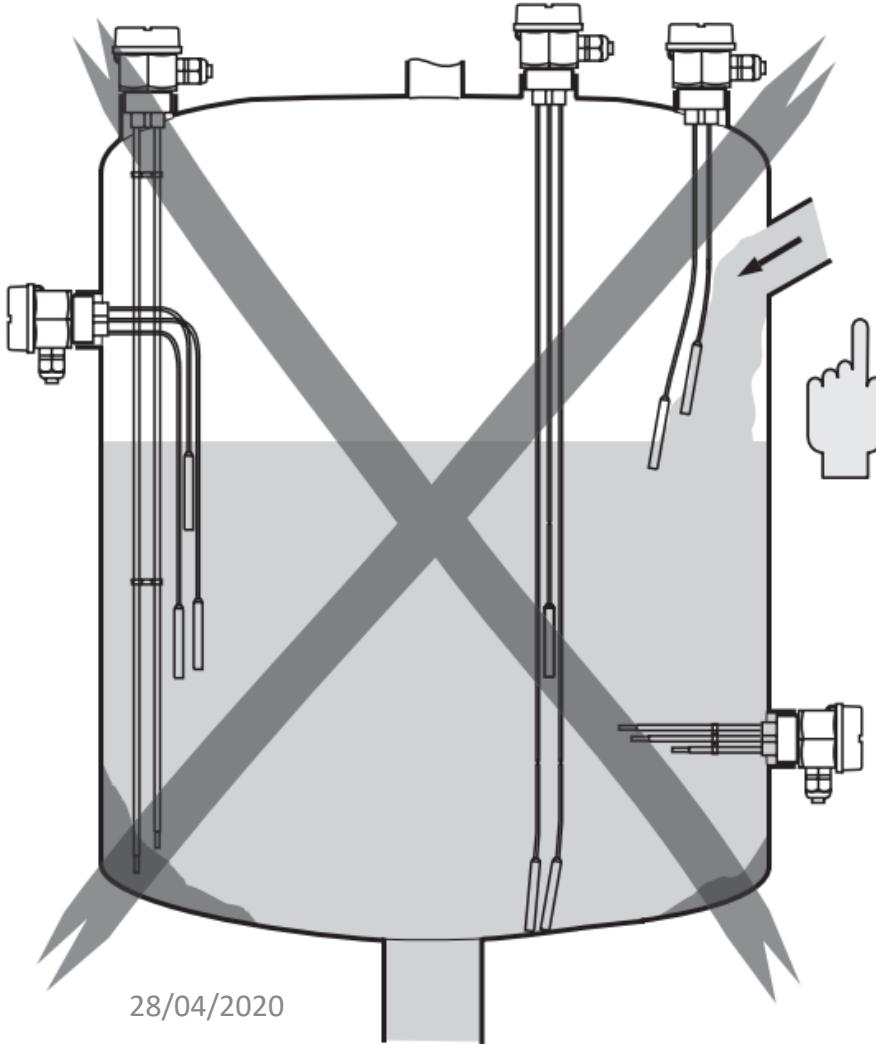
Se pueden montar horizontalmente (solo 1 punto de medición) o verticalmente como es más usual.

Suelen ser sensores económicos. Son los únicos detectores de nivel con medición multipunto desde una única conexión a proceso.

Son aptos para su utilización en cañerías, aunque las mismas deben ser de diámetro (normalmente mayores a 3 o 4 pulgadas).

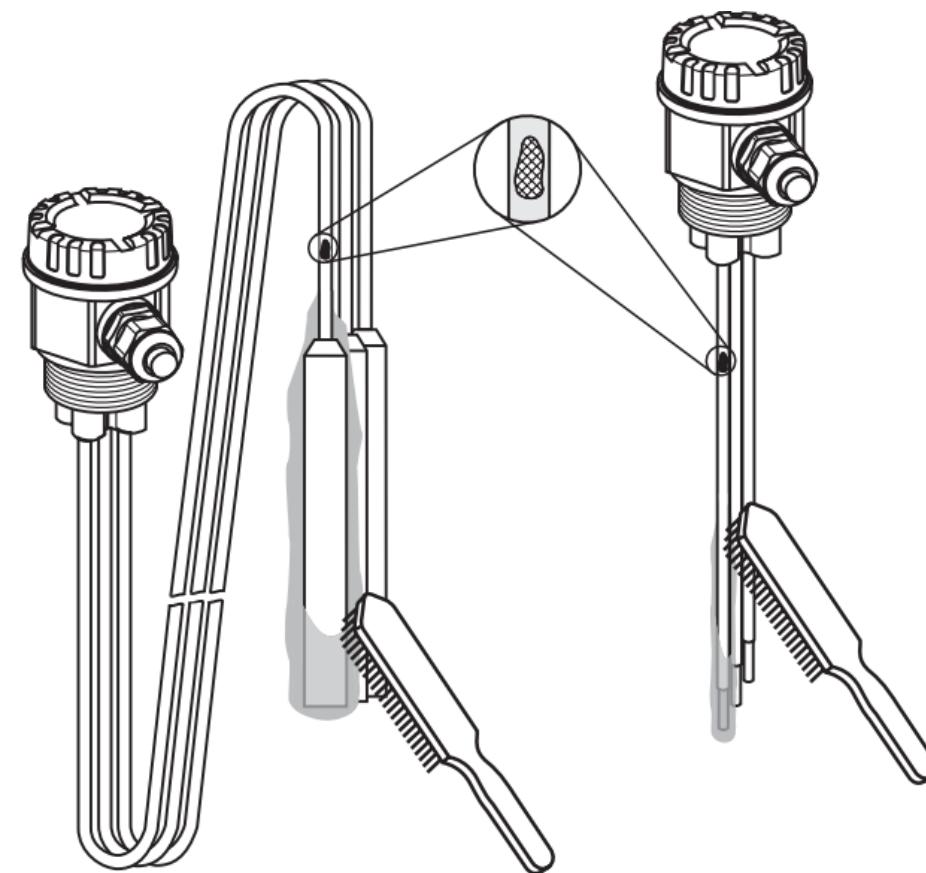
Detección de Nivel por Conductividad

Ajuste del largo de las sondas de tipo cable y tipo varilla



Detección de Nivel por Conductividad

Requiere una limpieza periódica de las sondas para eliminar las adherencias.



Detección de Nivel por Interruptor de Flotador

Se usa predominantemente en depósitos y contenedores como protección para bombas o como alarma de nivel.

Siempre comutan un contacto que puede ser NA o NC en función si se quiere medir un nivel bajo o alto.

Hay versiones para montaje lateral con rosca G1/2 en adelante.

Suelen ser muy económicos.

Pueden trabarse o enredarse si el medio no contiene sólidos en suspensión.



Detección de Nivel por Paleta Rotativa

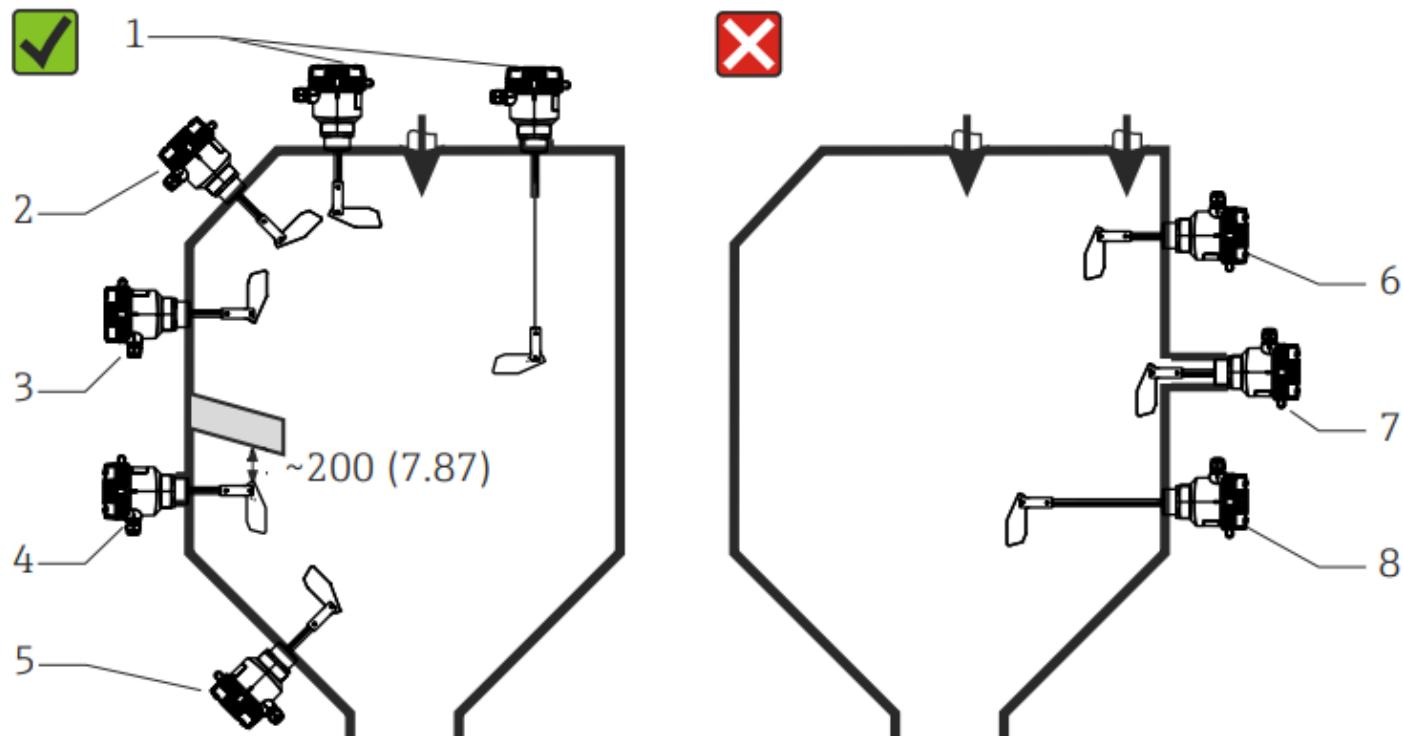
Para la detección de nivel en sólidos granulados.

Un pequeño motor hace girar la paleta. La misma gira libremente cuando no hay producto, mientras que acciona un embrague ante el aumento de toque que requiere la presencia de sólidos. La activación del embrague es detectada por un sensor y se conmuta la salida (NO o NC).

<https://www.youtube.com/watch?v= -kRQVp4NB0>



Detección de Nivel por Paleta Rotativa



Orientaciones admisibles

- 1: Vertical desde la parte superior
- 2: En ángulo desde la parte superior
- 3: Desde el lateral
- 4: Desde el lateral con cubierta protectora para proteger de caídas de sólidos
- 5: Desde la parte inferior (el equipo debe estar protegido contra choques)

Orientaciones no admisibles

- 6: En la dirección del flujo de sólidos
- 7: Casquillo de montaje demasiado largo
- 8: Horizontal con longitudes de eje >300 mm (11.8 in)



Detección de Nivel por Barrera de Microondas

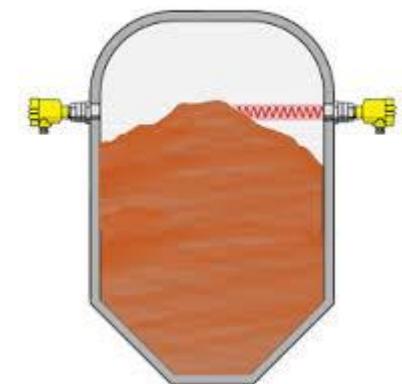
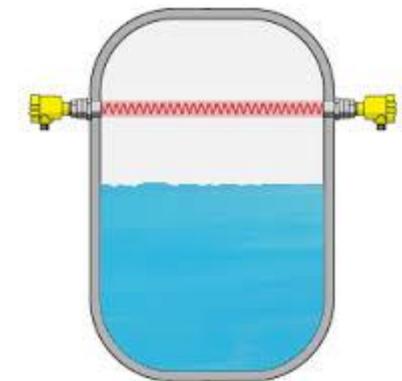
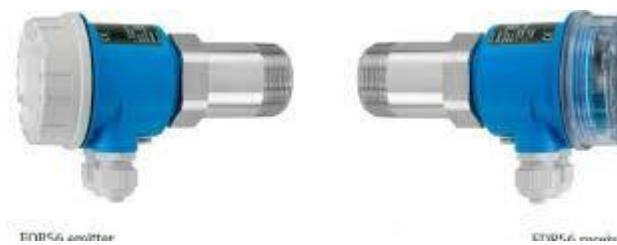
Las barreras de microondas se basan en el fenómeno de absorción de las microondas.

Un emisor y un receptor de microondas forman una barrera de radiación. Un estrecho haz atraviesa el depósito en el nivel deseado.

Tan pronto como el producto entra en el haz de radiación, la señal de las microondas se amortigua, de modo que sólo una parte llega al receptor.

Esta atenuación se detecta y se dispara una señal de comutación.

- Densidad alta = mucha atenuación
- Densidad baja = poca atenuación



Detección de Nivel por Barrera de Microondas

Ventajas:

- ✓ Es un método insensible a las condiciones del proceso ya que el montaje es externo. Esto permite su utilización con sólidos abrasivos, aplicaciones con polvo en suspensión con riesgo de explosión, etc...
- ✓ No tiene partes móviles ni desgaste.
- ✓ Aplicable a la medición de líquidos y sólidos de todo tipo
- ✓ Puede dar una señal continua.



Detección de Nivel por Horquilla Vibrante

detección

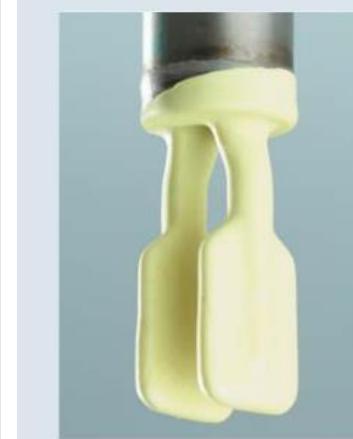
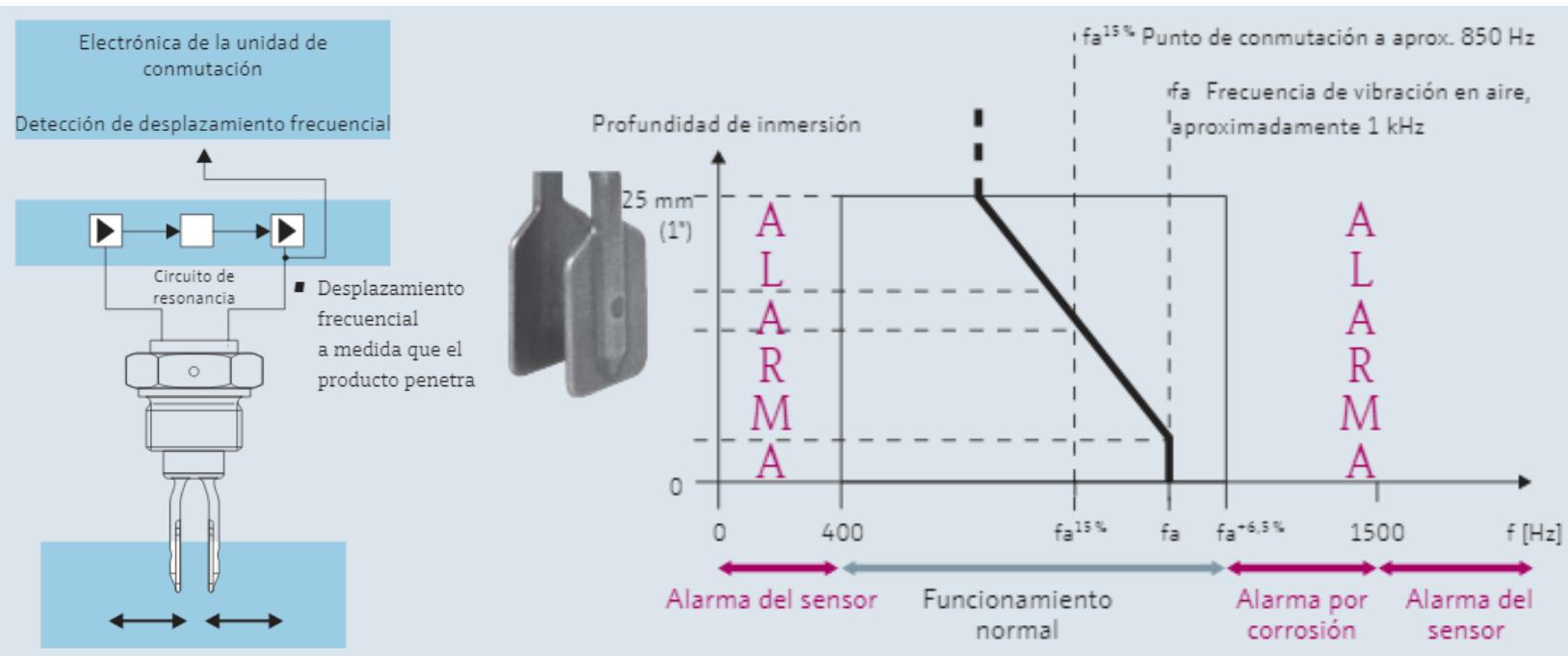
- Para la medición de nivel en líquidos y sólidos granulados.
- Se excita un cristal piezoeléctrico que excita una horquilla de dos clavijas. Cuando están en el aire, las horquillas vibran a su frecuencia natural. Cuando el líquido cubre las horquillas, la frecuencia y la amplitud de la oscilación caen.
- La frecuencia utilizada va de 1 a 1,5kHz.
- Los cambios de frecuencia se monitorizan continuamente a través de los componentes electrónicos del interruptor.
- No se ve afectado por la presencia de espuma y tolera cierto nivel de adherencias.
- El principio de funcionamiento también permite una medida de la densidad.



<https://www.youtube.com/watch?v=FL5Tg4sRrmk>

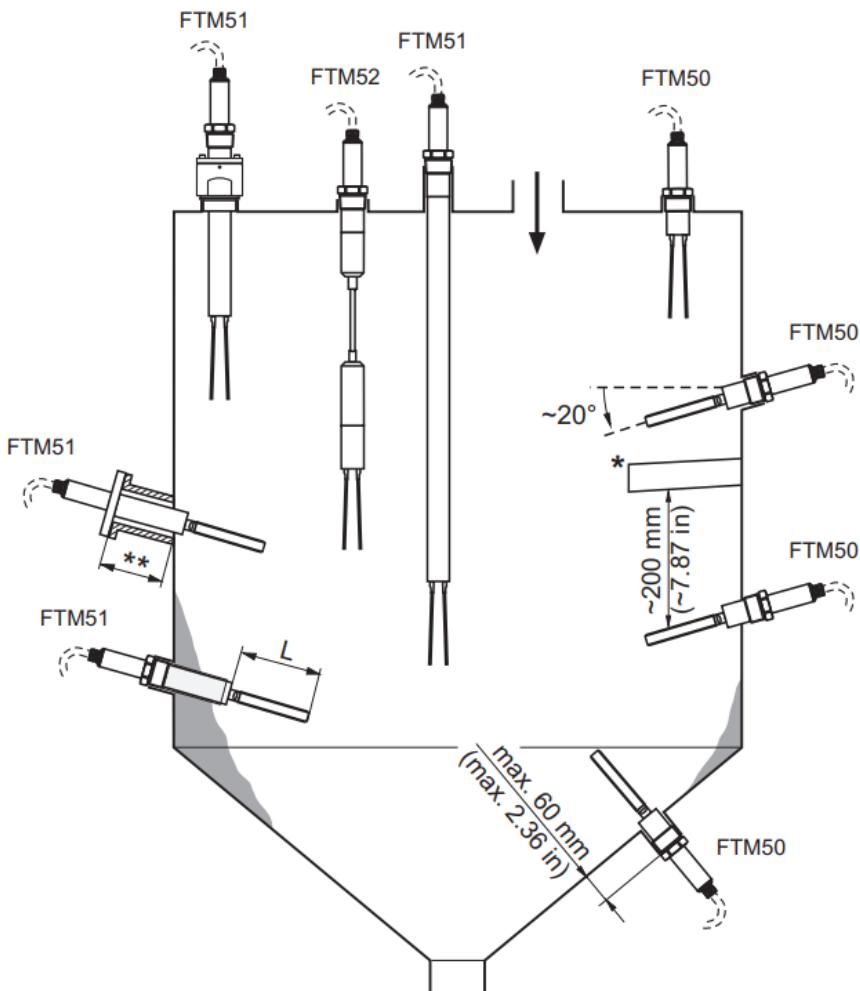
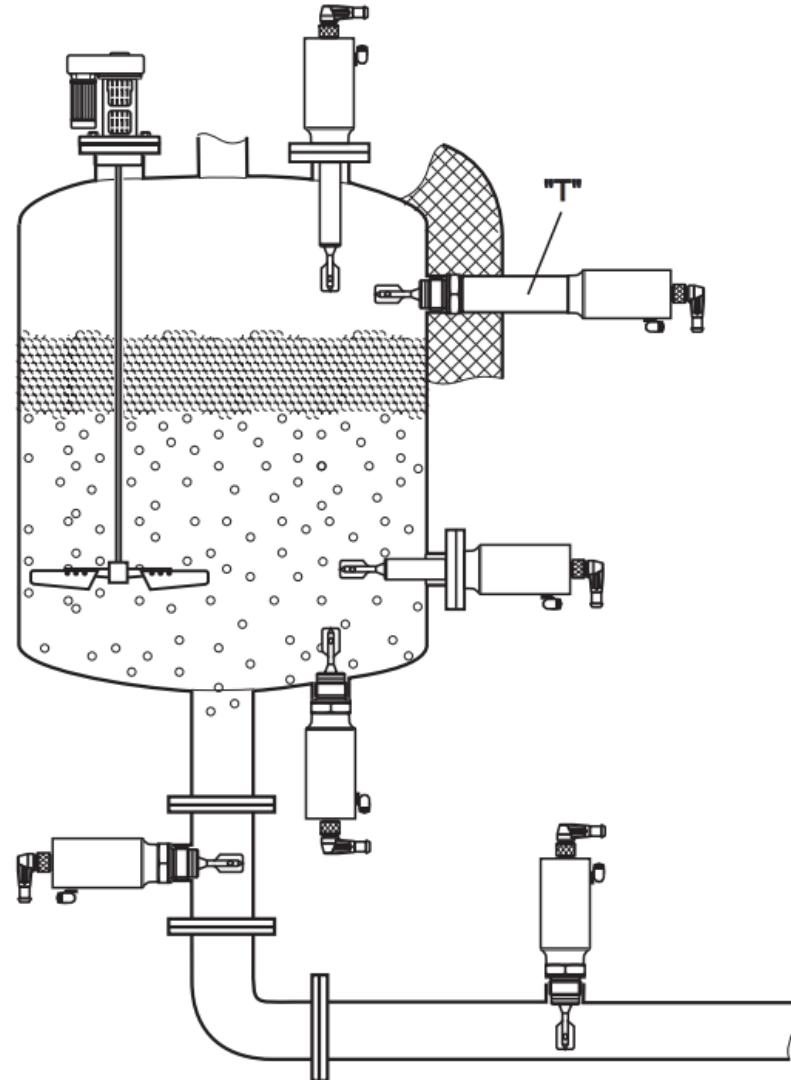
Detección de Nivel por Horquilla Vibrante

- Mediante un análisis frecuencial los detectores de nivel de horquilla vibrante permiten la posibilidad de detectar fallos de manera preventiva.
- Un cambio de frecuencia más allá de un cierto valor admisible indica una irregularidad en el sistema vibrante, por ejemplo, corrosión o adherencias.



Detección de Nivel por Horquilla Vibrante

- Consideraciones de montaje para Líquidos y Sólidos



Detección de Nivel por Horquilla Vibrante

Ventajas:

- ✓ Uso universal: insensible a las propiedades del producto como la conductividad, la constante dieléctrica, la viscosidad, la presión y la temperatura
- ✓ Sin tareas de calibración ni mantenimiento
- ✓ Punto de commutación preciso
- ✓ Control de la acumulación de suciedad y de la abrasión
- ✓ Utilizable tanto en tanques como en cañerías



Sensores y Actuadores 22.88

Buses de campo

PARTE 1

PLC con Tarjetas de IO



Cada tarjeta de entradas y salidas está cableada a un grupo de borneras frontera en un tablero auxiliar. De este tablero se cablean las señales a cada sensor o actuador en campo.

Desventajas:

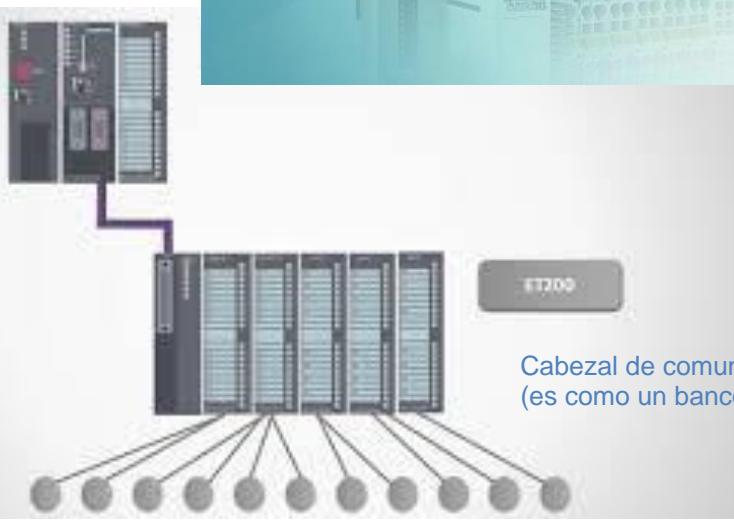
- Ocupa mucho espacio
- Mucho cableado
- Agregar nuevas señales es complicado y costoso

Ventaja:

- No requiere personal calificado
- Es simple

PLC Siemens S5 instalado en 1991.
Tiene 224 DI, 32 DO, 48 AI y 24 AO.

Periferia descentralizada

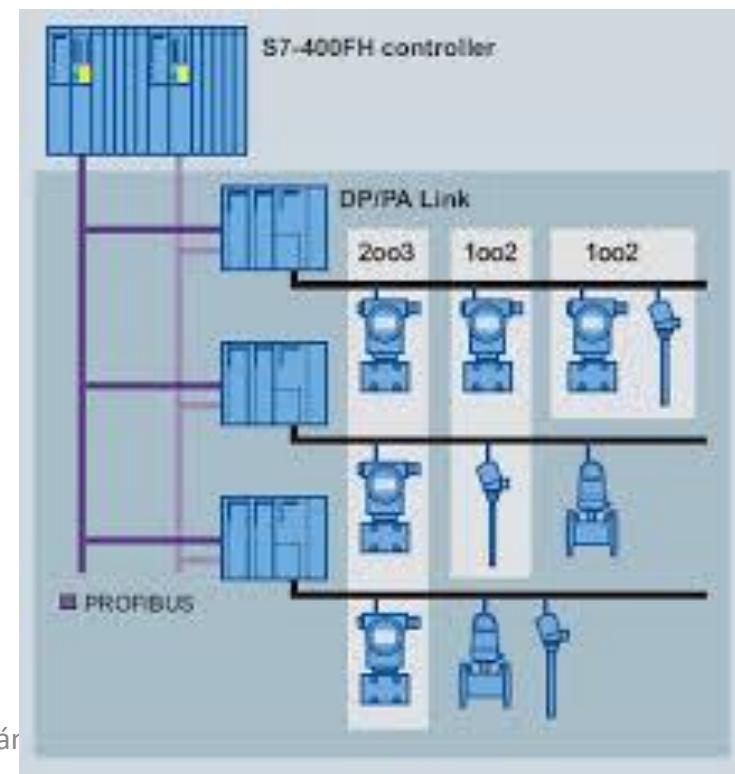


El PLC es conectado, mediante algún tipo de bus, a módulos de comunicaciones con tarjetas de IO. Estos equipos pueden ubicarse a varios cientos de metros. Cada fabricante desarrolló sus propios protocolos de comunicación. Algunos prevalecieron frente a otros con el paso del tiempo. Se ganó mucha compatibilidad entre distintas marcas con el paso de los años. Este sistema es muy utilizado en la actualidad.

Buses de campo



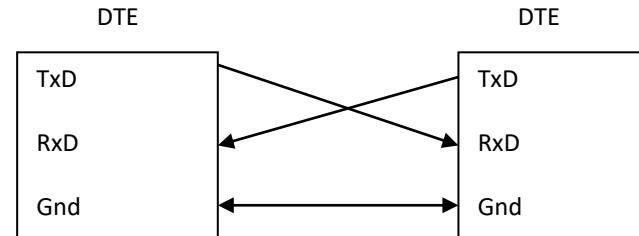
Son redes de comunicaciones que **recorren el piso de planta**, interconectando los diferentes sensores y actuadores entre si. Prácticamente ya no hay más cableado en los tableros. **Al PLC le llega solo un cable de datos.**



RS-232

Este estándar fue diseñado en los 60s para comunicar un equipo terminal de datos o DTE (Data Terminal Equipment, el PC en este caso) y un equipo de comunicación de datos o DCE (Data Communication Equipment, habitualmente un módem).

El RS-232C es un estándar que constituye la tercera revisión de la antigua norma RS-232, propuesta por la EIA (Asociación de Industrias Electrónicas)



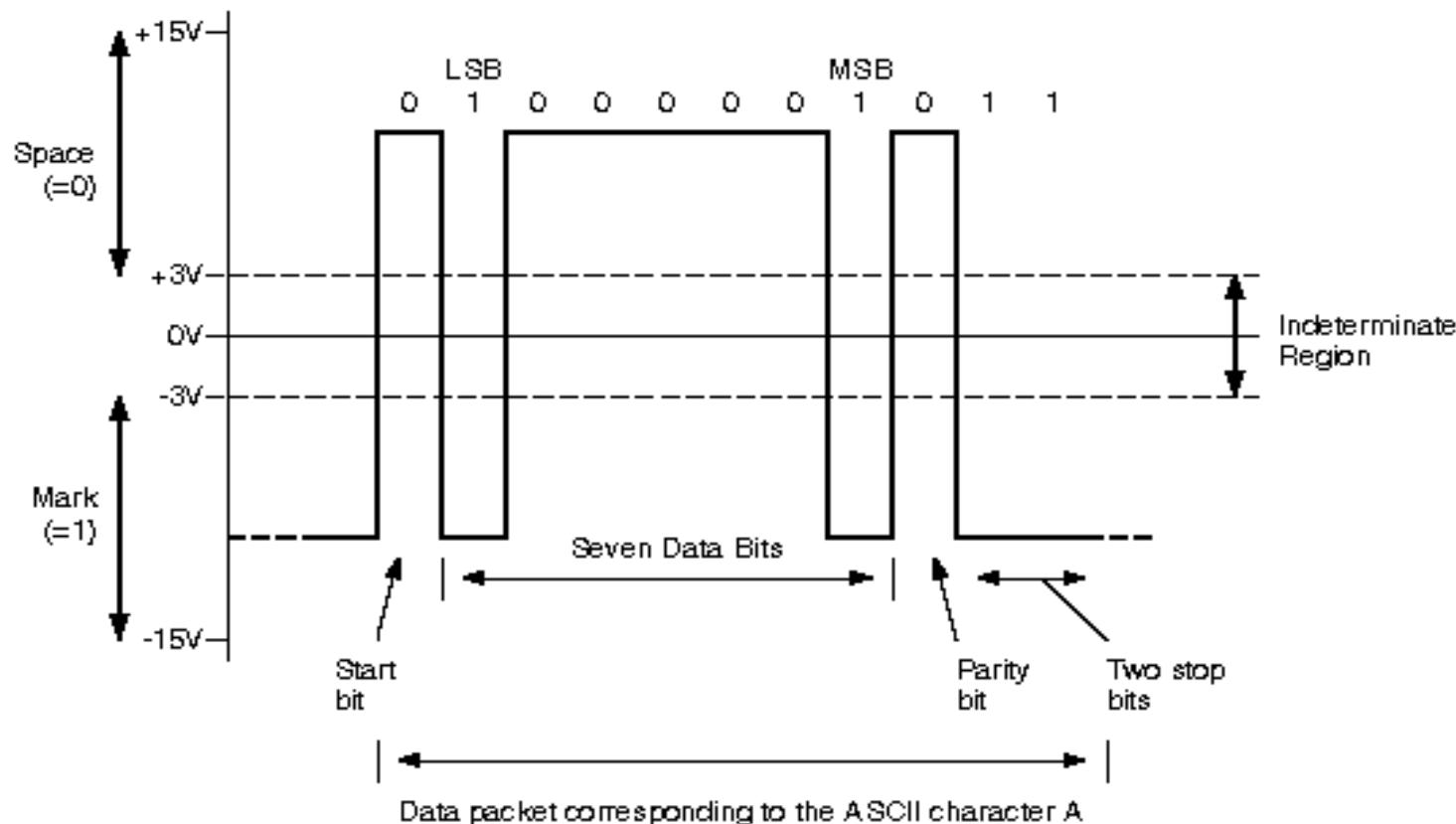
Características del RS-232C

- Diseñado para comunicaciones punto a punto
- Todas las señales están referidas a un común
- El RS-232C consiste en un conector tipo DB-25 de 25 pines, aunque es normal encontrar la versión de 9 pines DB-9
- Conector de DTE debe ser macho y el conector de DCE hembra.
- Los voltajes para un nivel lógico alto están entre -3V y -15V, y un nivel bajo +3V y +15V. Los voltajes más usados son +12V/-12V, +9V/-9V.
- Dependiendo de la velocidad de transmisión empleada, es posible tener cables de hasta 15 metros de largo.
- Velocidad: 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600 , 19200 y 38400bps

Características del RS-232C

- Capacidad de transmisión simplex, half duplex o full duplex.
 - En un canal **simplex** los datos siempre viajarán en una dirección, por ejemplo desde DCE a DTE.
 - En un canal **half duplex**, los datos pueden viajar en una u otra dirección, pero sólo durante un determinado periodo de tiempo; luego la línea debe ser conmutada antes que los datos puedan viajar en la otra dirección.
 - En un canal **full duplex**, los datos pueden viajar en ambos sentidos simultáneamente.

RS-232 Asincrónico



RS-232 Asincrónico

Bit de inicio: cuando el receptor detecta el bit de inicio sabe que la transmisión ha comenzado y es a partir de entonces que debe leer las señales de la línea a distancias concretas de tiempo, en función de la velocidad de transmisión determinada.

Bit de paridad: con este bit se pueden descubrir errores en la transmisión. Se puede dar paridad par o impar. En la paridad par, por ejemplo, la palabra de datos a transmitir se completa con el bit de paridad de manera que el número de bits 1 enviados sea par.

Bit de parada: indica la finalización de la transmisión de una palabra de datos. El protocolo de transmisión de datos permite 1, 1.5 y 2 bits de parada.

Desventajas del RS-232

- Las señales están referidas a masa, con lo cual:
 - La velocidad de transmisión y la distancia entre equipos es muy limitada (a medida que se aumenta la longitud, aumenta la capacitancia del cable y la línea actúa como filtro pasa bajos).
 - Tiene baja inmunidad al ruido.
- Solo pueden comunicarse dos equipos entre si

RS-422

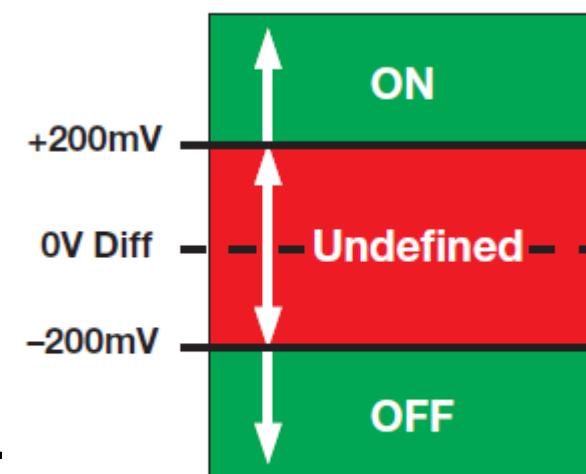
- Es una red Simplex que permite tener un transmisor y hasta 10 receptores.
- Trabaja en modo diferencia logrando alta inmunidad al ruido (el ruido eléctrico afectará por igual ambos hilos y al hacer la diferencia se anulará).
- Logra aumentar la distancia a cubrir y la velocidad de transmisión.

RS-422

El RS-422 transmite utilizando tensiones diferenciales entre un par de hilos trenzados (A y B). El estado de la señal (0 o 1) es definido por la diferencia de voltaje entre las líneas “A” y “B”. Cualquier esclavo verá un 1 cuando la tensión en “B” sea mayor a la de “A” en al menos 200mV; y verá un 0 cuando la tensión en “A” sea mayor a la de “B” en al menos 200mV.

- $V_a - V_b < -0.2V \Rightarrow "1"$
- $V_a - V_b > 0.2V \Rightarrow "0"$

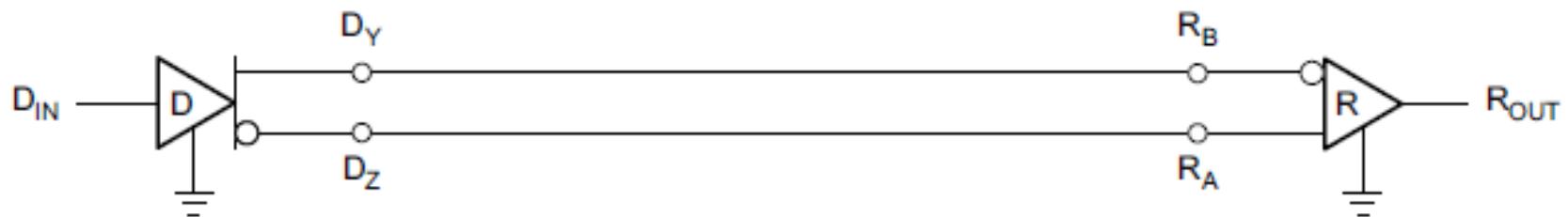
Donde V_a y V_b son los voltajes en las líneas “A” y “B”, respectivamente.



Receiver Sensitivity

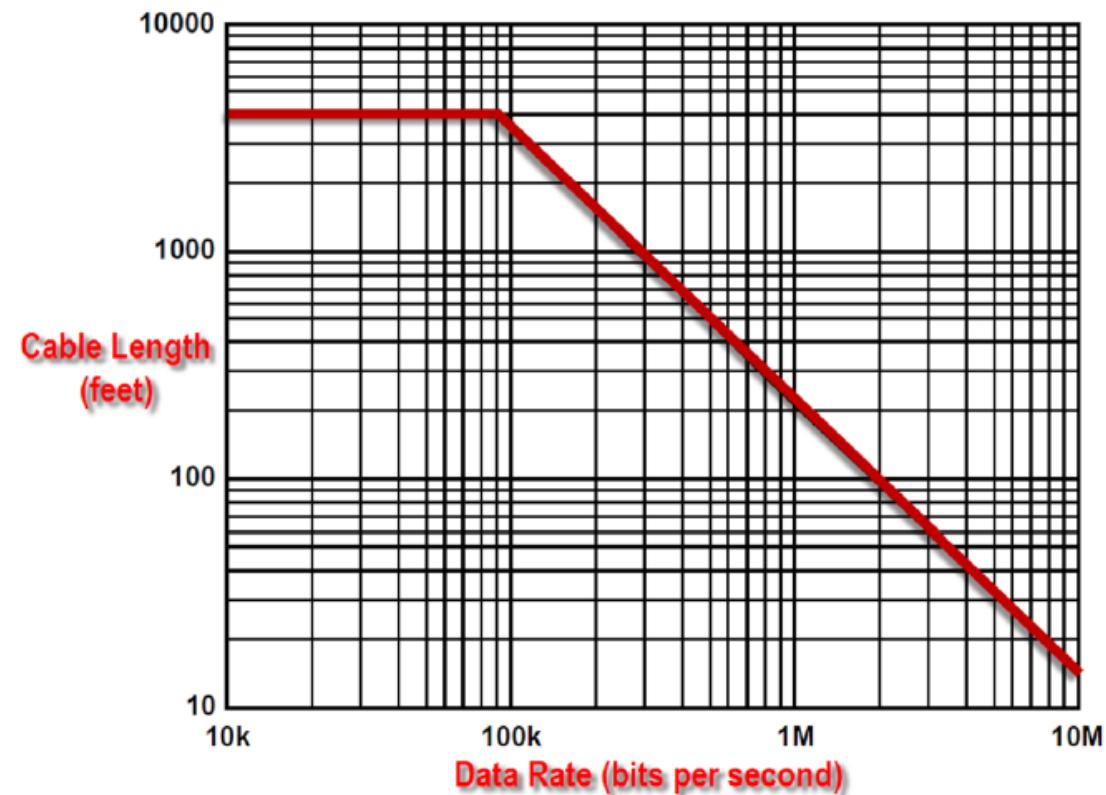
RS422 - Terminador

- Con el aumento de la velocidad y/o la distancia entre dispositivos, el cable se convierte en una línea de transmisión y nace la necesidad de utilizar terminadores para disminuir las reflexiones en el extremo de la línea (en el último dispositivo).



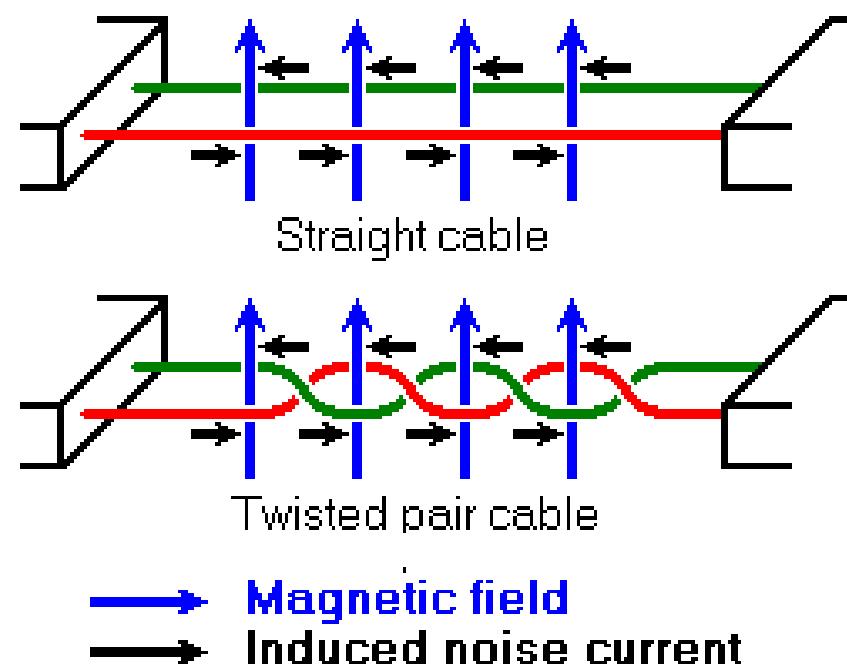
RS422 – Distancia vs Velocidad

Velocidad	Distancia
9,6 Kbps	1200 m
19,2 Kbps	1200 m
45,45 Kbps	1200 m
93,75 Kbps	1200 m
187,5 Kbps	1000 m
500 Kbps	400 m
1,5 Kbps	200 m
3 Mbps	100 m
6 Mbps	100 m
12 Mbps	100 m



Par trenzado

- Se utiliza un cable con los pares trenzados para lograr mayor inmunidad a la interferencia magnética



RS-422 vs. RS-232

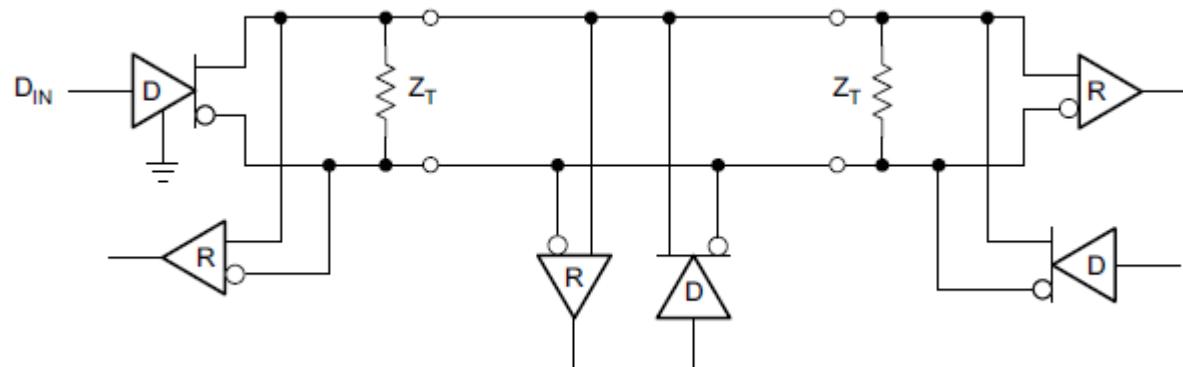
Ventajas respecto a RS-232:

- Tiene alta inmunidad al ruido
- Permite lograr mayores velocidades y distancias
- Se le puede transferir información hasta a 10 dispositivos

RS-485

(Es Half-Duplex, uno transmite y todos los demás escuchan, pero no hay más de uno transmitiendo a la vez)

- Trabaja en **modo diferencial** de la misma forma que RS-422 y también utiliza par trenzado y las mismas velocidades de transmisión.
- RS-485 incorpora la tecnología **three-state** para lograr ser multipunto (tener más de un transmisor en la línea, no simultáneos).

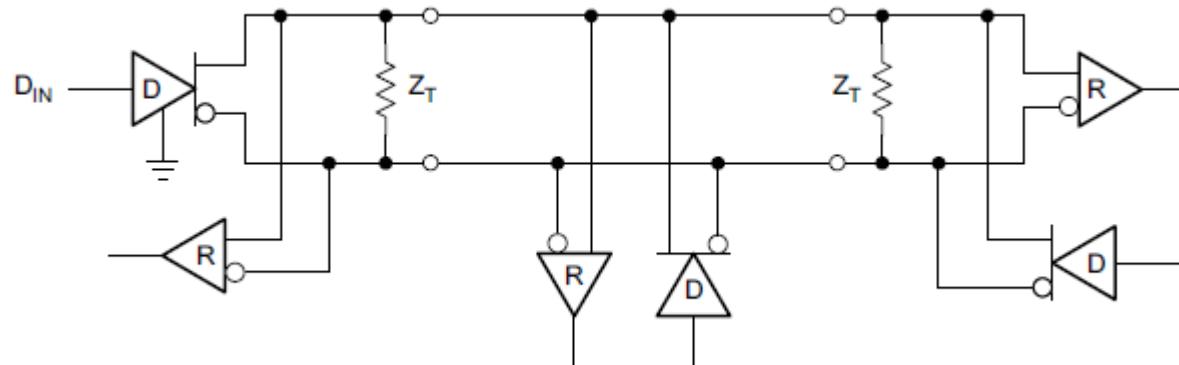


RS-485

- Permite tener **hasta 32 equipos** receptores/transmisores.
- Esto se debe a que el RS485 ha aumentado la resistencia de los receptores de $4\text{k}\Omega$ a $12\text{k}\Omega$, permitiendo así reducir a un tercio la impedancia que ve el transmisor.

RS-485

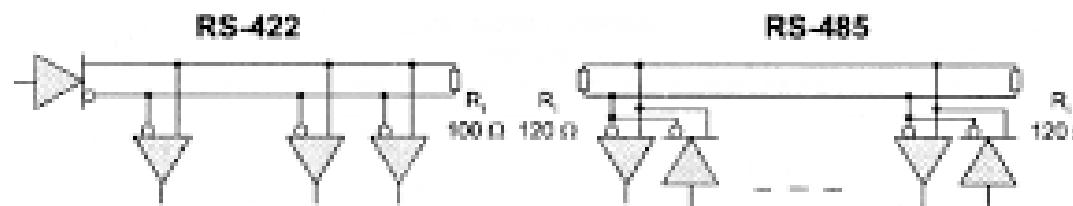
- RS 485 **requiere utilizar un terminador en los dos extremos de la red**, dado que es half duplex. (Porque, a diferencia del 422, acá cualquiera puede hablar)



RS-485

- RS-485, ~~al igual que RS-422~~, puede hacerse full dúplex mediante la utilización de cuatro hilos. Sin embargo, esto no es estrictamente necesario dado que esté bus de comunicaciones es multipunto (tiene más de un posible transmisor).

Comparison RS422 - RS485



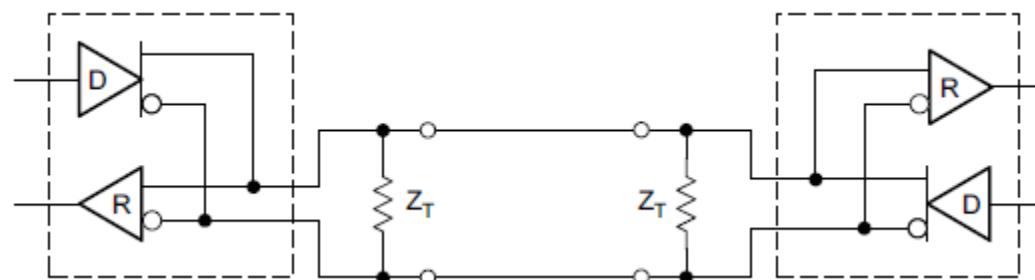
1 generator
up to 10 receiver
simplex operation

up to 32 generators / receivers
Half duplex operation

-7 V to +7 V	Max common mode voltage	-7 V to +12 V
4 kΩ	Receiver input impedance	12 kΩ
100 Ω	Minimum generator load	60 Ω
<150 mA to GND	Generator short circuit current	<250mA to -7 V/+12 V

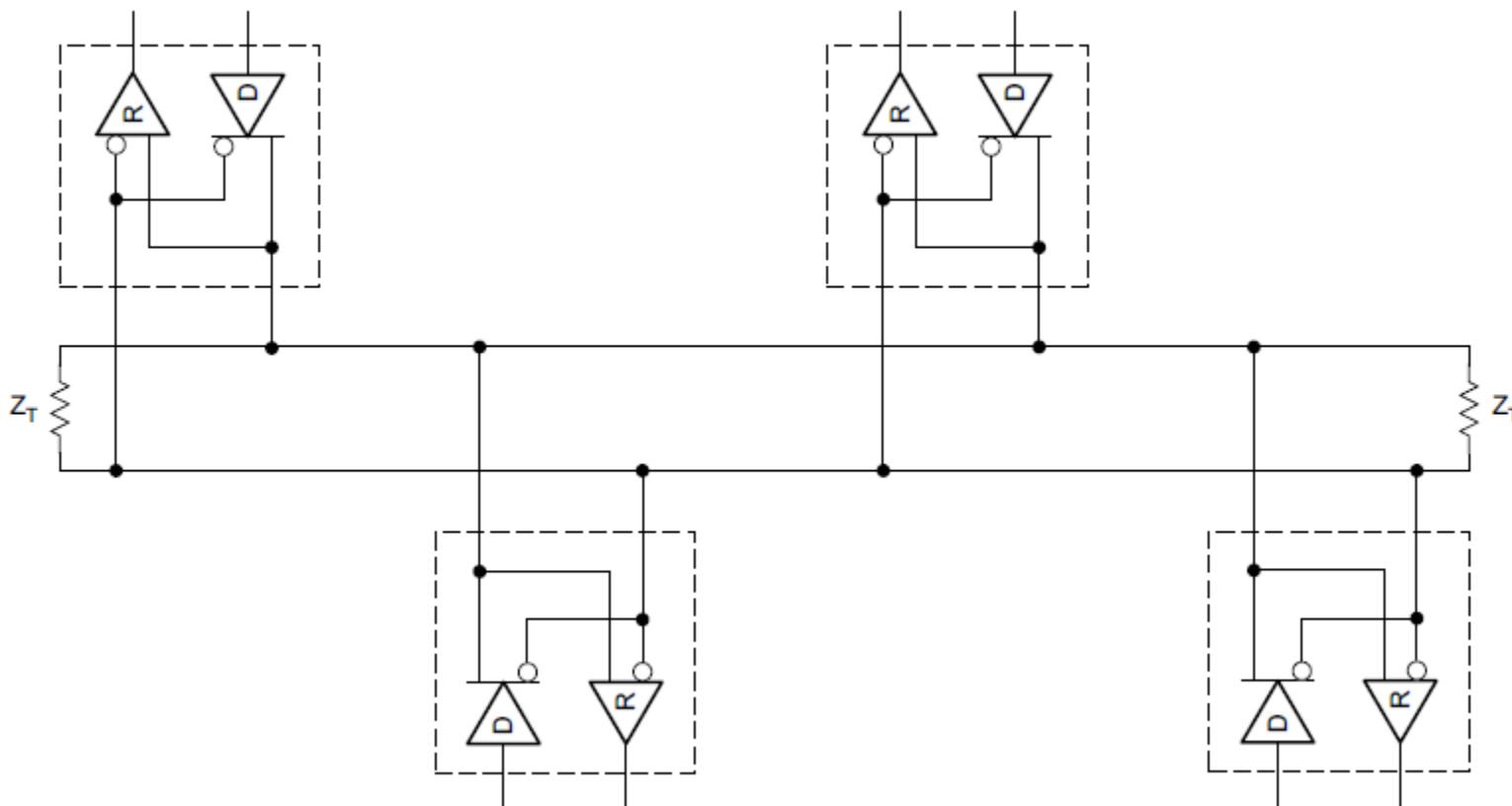
Configuración Punto a Punto

- Es la configuración más simple.
- Frente a RS-422, no se requieren cuatro hilos para tener comunicación bidireccional.



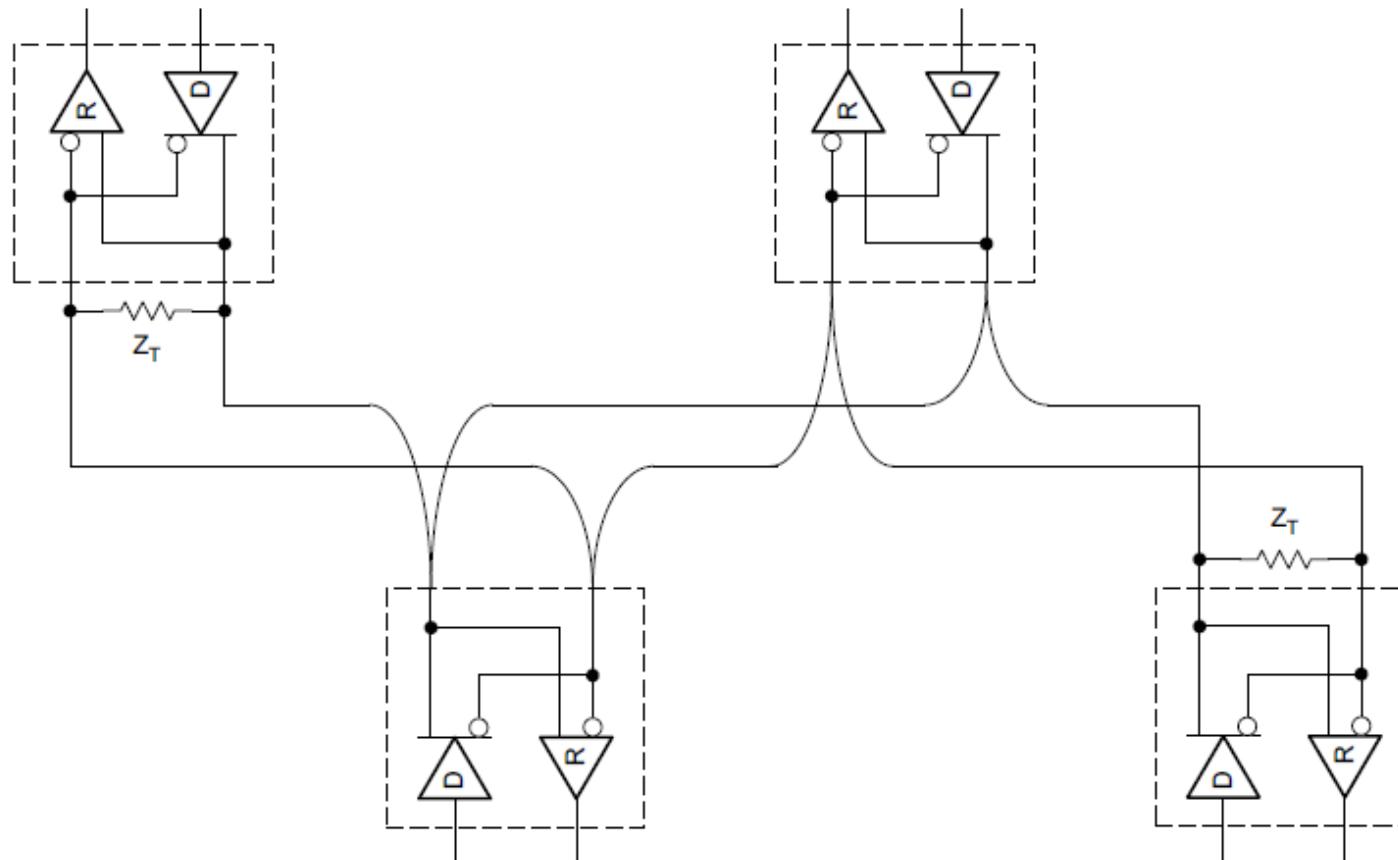
Bus and Stub Configuration

En esta topología las **estaciones** están directamente **conectadas al bus principal**. Para reducir las reflexiones, es esencial que la distancia de los cables que conectan las estaciones con el bus principal sea lo más corta posible.



Configuración Daisy-Chain

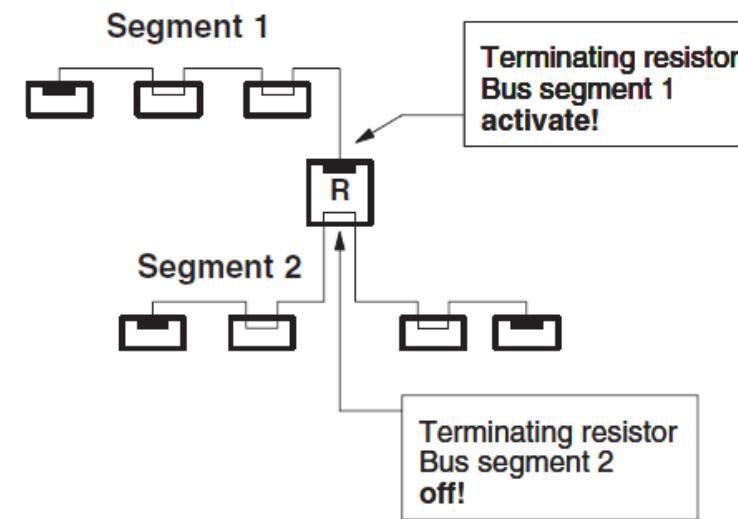
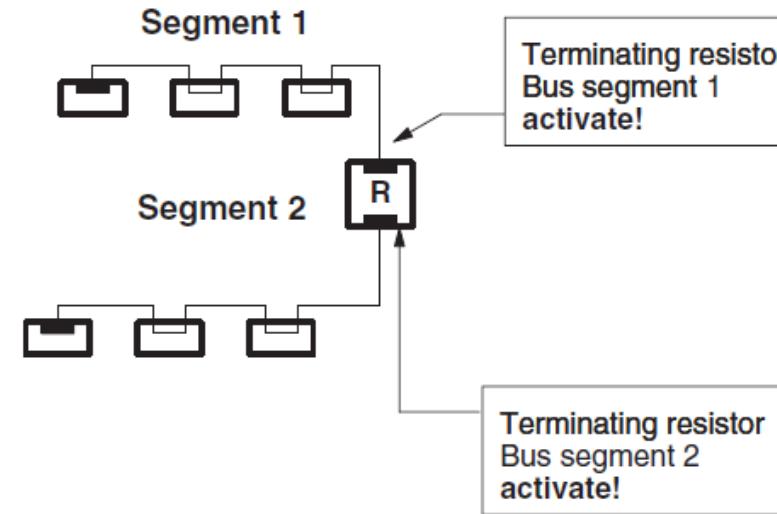
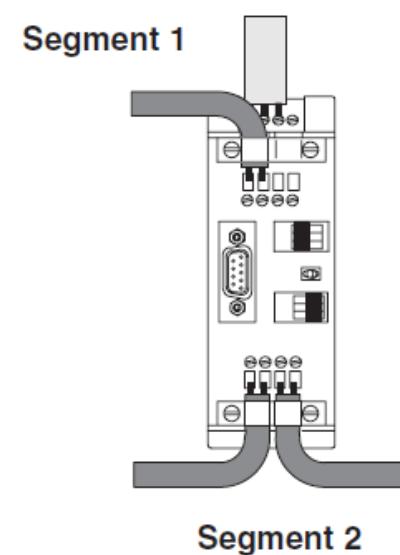
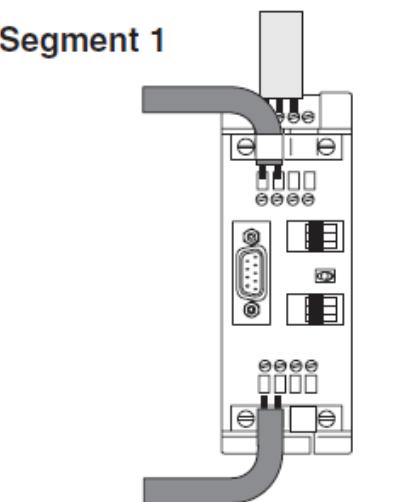
Una configuración ampliamente utilizada es la denominada daisy-chain . En esta topología, cada estación es conectada al bus de manera de no tener derivaciones en el bus y hacer que el mismo se asemeje lo máximo posible a una línea de transmisión y poder así minimizar las reflexiones.



Repetidores

El repetidor permite:
 - Duplicar el alcance
 - Duplicar la cantidad de equipos

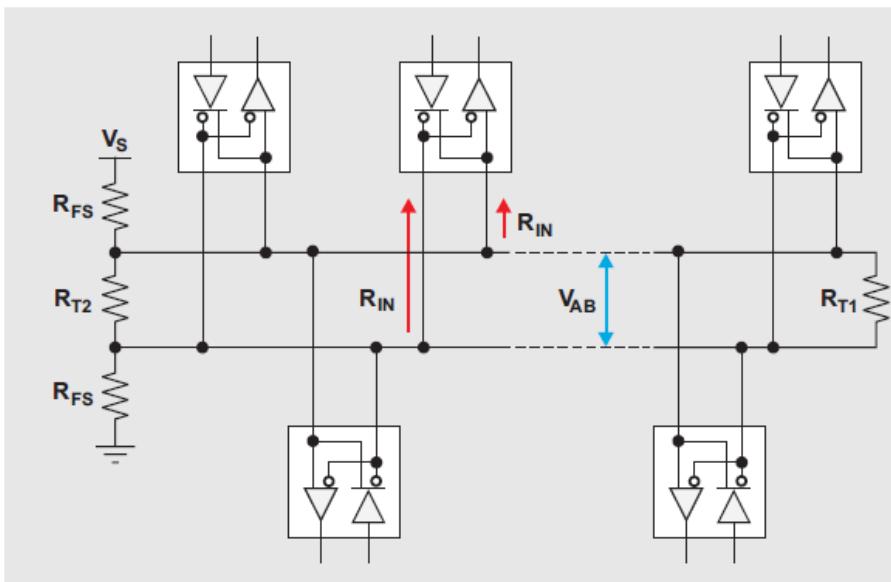
Pueden lograrse muchas otras topologías (estrella, árbol, etc.) si se acude a la utilización de repetidores. Se permite hasta un **máximo de 9 repetidores conectados en serie.**



Terminadores pasivos y activos

(Resistencias igual a la impedancia de la red)

- Como RS-485 trabaja de manera diferencial, en aquel momento en que ninguno de los equipos está transmitiendo, la tensión $V_a - V_b$ será nula e implicará un estado no válido en los receptores.
- Este estado no válido típicamente hará que el receptor repita el estado del último bit válido recibido.
- Al utilizar un terminador activo, se fija una tensión $V_a - V_b$ que evita este problema.



Explicación
detallada en:



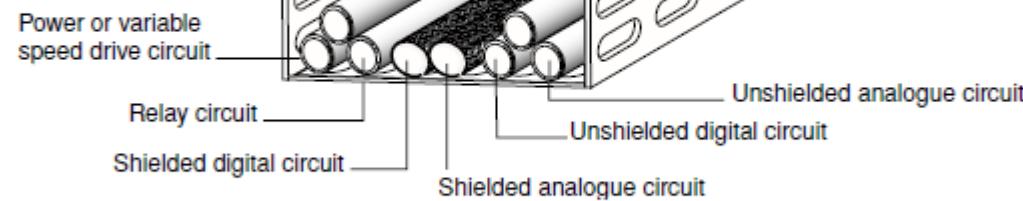
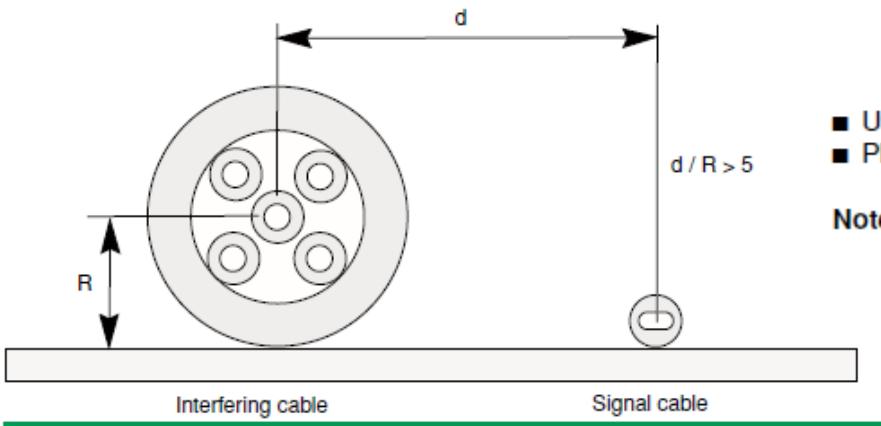
Buenas prácticas de cableado

Muchos buses de campo basados en RS-485 (Profibus DP por ejemplo) especifican la utilización de **cables mallados** para reducir aún más la inmunidad al ruido. Estas **mallas** están **conectadas a tierra**.

- Attach unshielded cables in corners of chutes.

For proper protection, the following ratio should be respected:

$$\frac{\text{Distance between cables}}{\text{Radius of the largest cable}} > 5$$



- Use a vertical separation in the trunking to avoid mixing incompatible cables.
- Place a metal cover on the signal half of the trunking.

Note: a metal cover over the complete trunking does not improve EMC.

- Keep relay, variable speed drive and power circuits separate from analogue, digital and telecommunications pairs.
- Use a special trunking inside cabinets for power cables.



Separate power cables from data cables when installing variable speed drives.

Tabla comparativa

SPECIFICATIONS	RS232	RS422	RS485
Mode of Operation	SINGLE ENDED	DIFFERENTIAL	DIFFERENTIAL
Total Number of Drivers and Receivers on One Line (One driver active at a time for RS485 networks)	1 DRIVER 1 RECEIVER	1 DRIVER 10 RECEIVER	32 DRIVER 32 RECEIVER
Maximum Cable Length	15 m	1200 m 12 Mbps - 100Kbps	1200 m 12 Mbps - 100Kbps
Maximum Data Rate (15m - 1200m for RS422/RS485)	20 Kbps	100Kbps	100Kbps
Maximum Driver Output Voltage	+/-25V +/-5V to +/- 15V	-0.25V to +6V	-7V to +12V +/-1.5V
Driver Output Signal Level (Loaded Min.)		+/-2.0V	
Driver Output Signal Level (Unloaded Max)	+/-25V	+/-6V	+/-6V
Driver Load Impedance (Ohms)	3k to 7k	100	54
Max. Driver Current in High Z State (Power ON)	N/A +/-6mA @ +/-	N/A	+/-100uA
Max. Driver Current in High Z State (Power OFF)	2v	+/-100uA	+/-100uA
Slew Rate (Max.)	30V/uS	N/A	N/A
Receiver Input Voltage Range	+/-15V	-10V to +10V	-7V to +12V
Receiver Input Sensitivity	+/-3V	+/-200mV	+/-200mV
Receiver Input Resistance (Ohms), (1 Standard Load for RS485)	3k to 7k	4k min.	>=12k

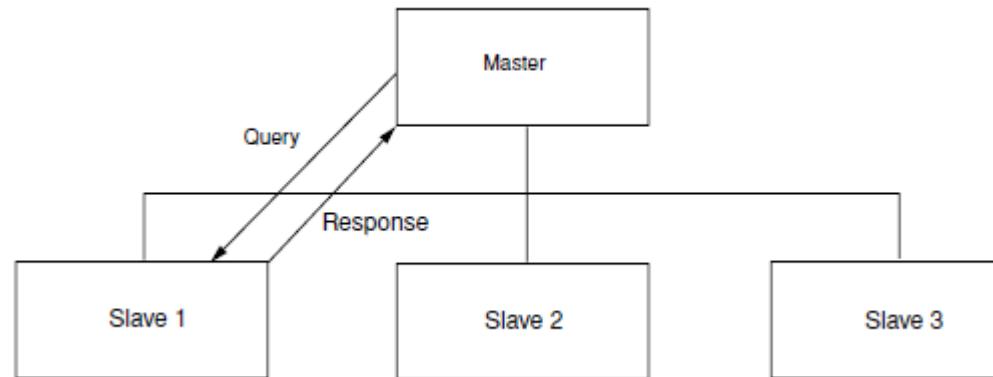
Modbus RTU

- Creado por la empresa Modicon (ahora Schneider Electric) in 1979 para sus PLCs.
- El protocolo Modbus puede ser utilizado en RS-232, RS-422 o RS-485
- Permite que un dispositivo maestro estable comunicación bidireccional con hasta 32 esclavos
- Pensado para comunicar PLCs con PCs, PLCs entre sí o PLCs.
- Direccionamiento: Cada dispositivo tiene una única dirección cuyo valor puede ir entre 1 y 247. La dirección 0 se reserva para paquetes broadcasting.

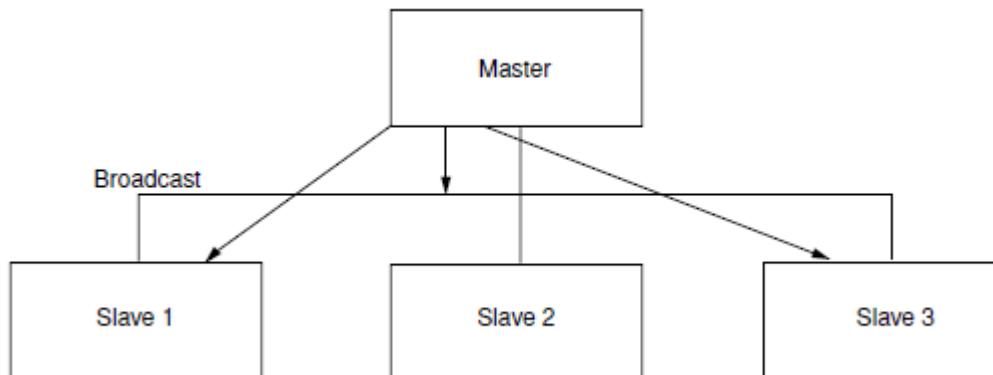
Paquetes que tienen a todos los esclavos como destinatarios

Modbus RTU

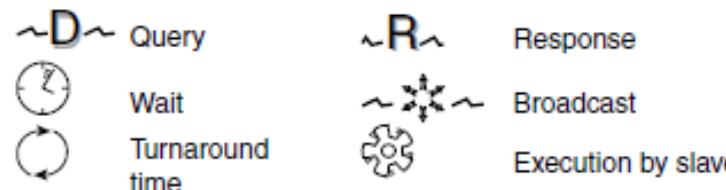
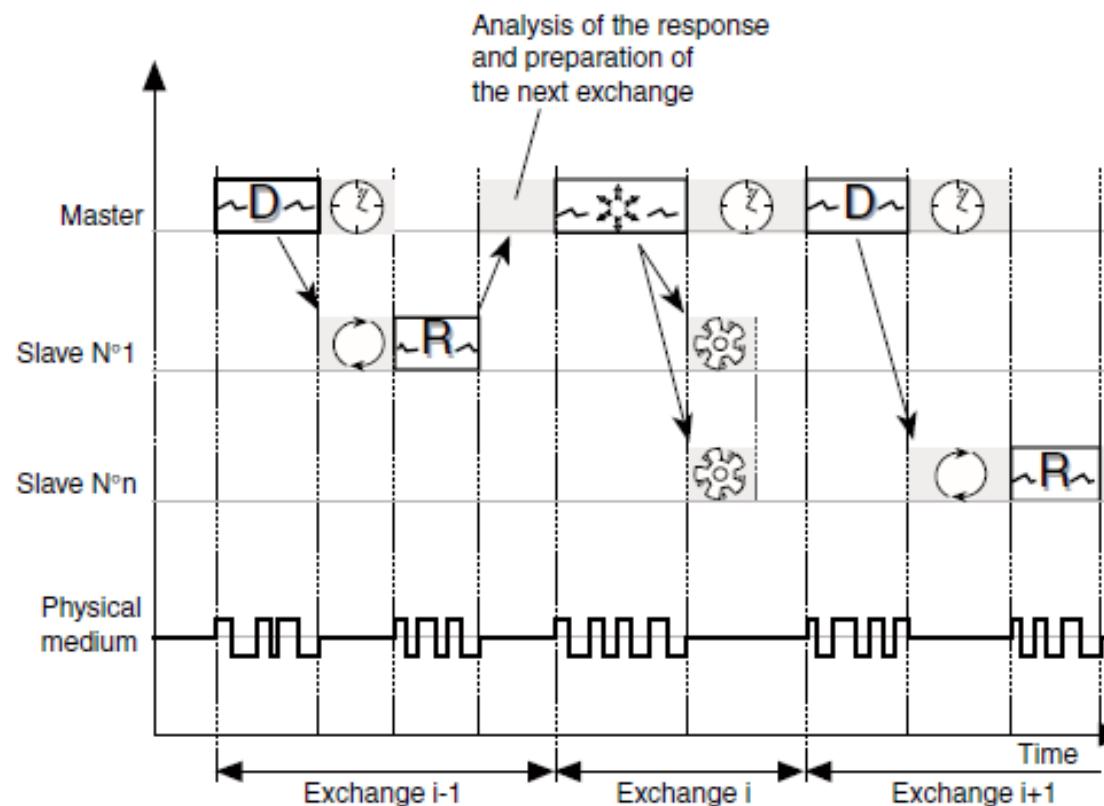
- El maestro interroga a cada esclavo y espera su respuesta.



- Los mensajes broadcast solo pueden ser de escritura. Los esclavos no emitirán respuesta ante estos mensajes.



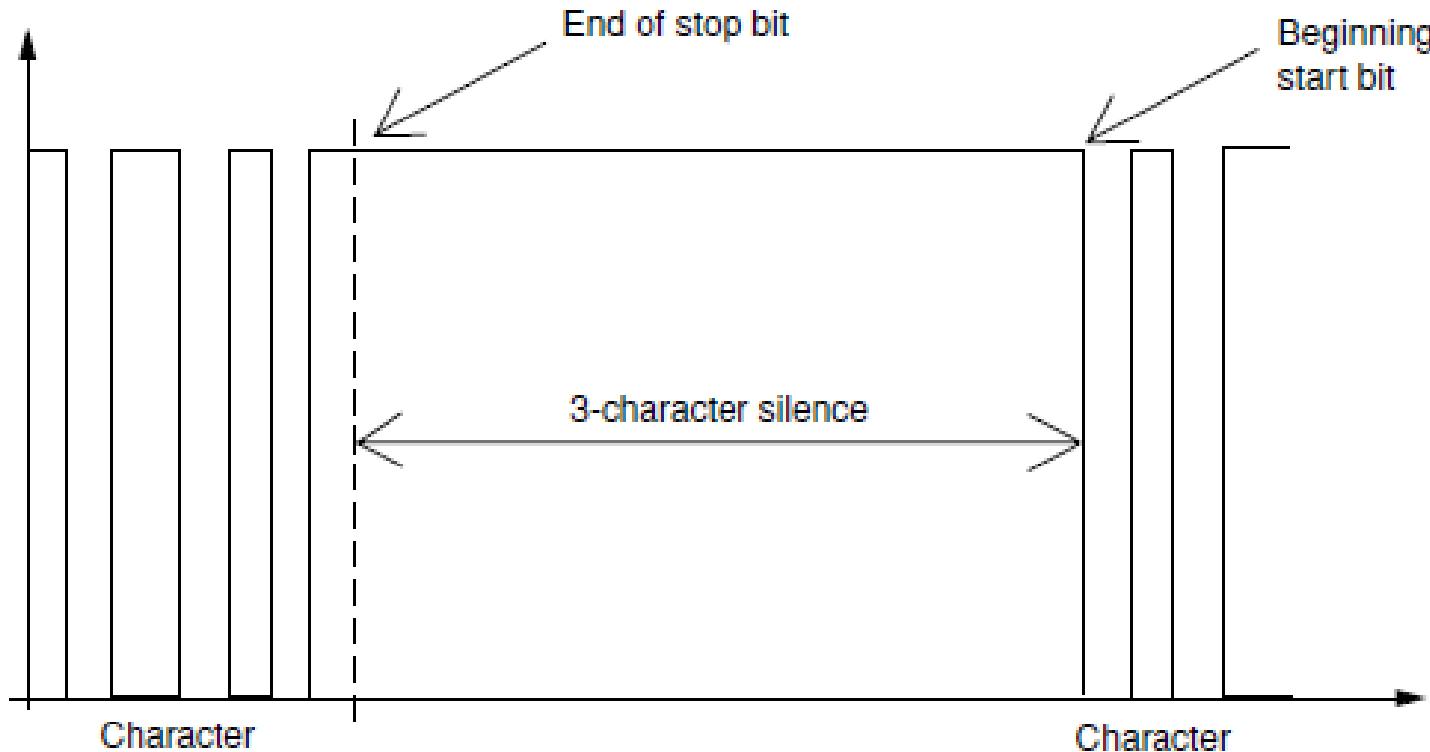
Utilización del medio de transmisión



Note: The lengths of QUERY, RESPONSE, BROADCAST, WAIT and PROCESSING depend on the function performed.

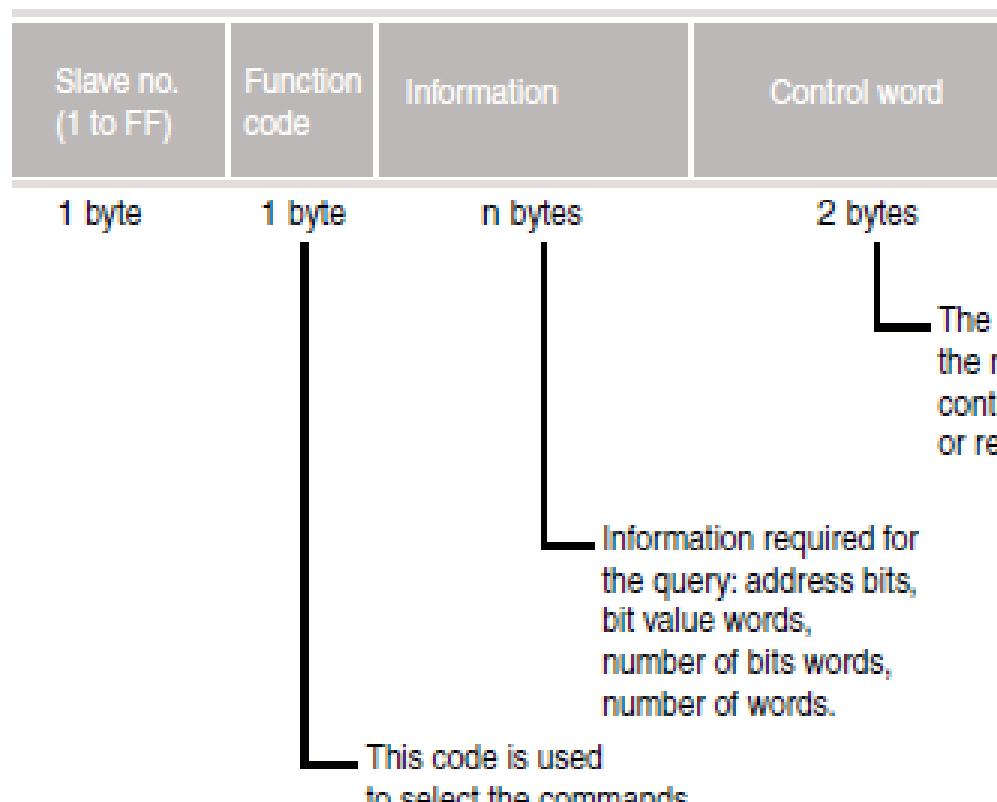
Modbus RTU

Cualquier carácter recibido después de un silencio de 3 o más caracteres es considerado el comienzo de una trama.



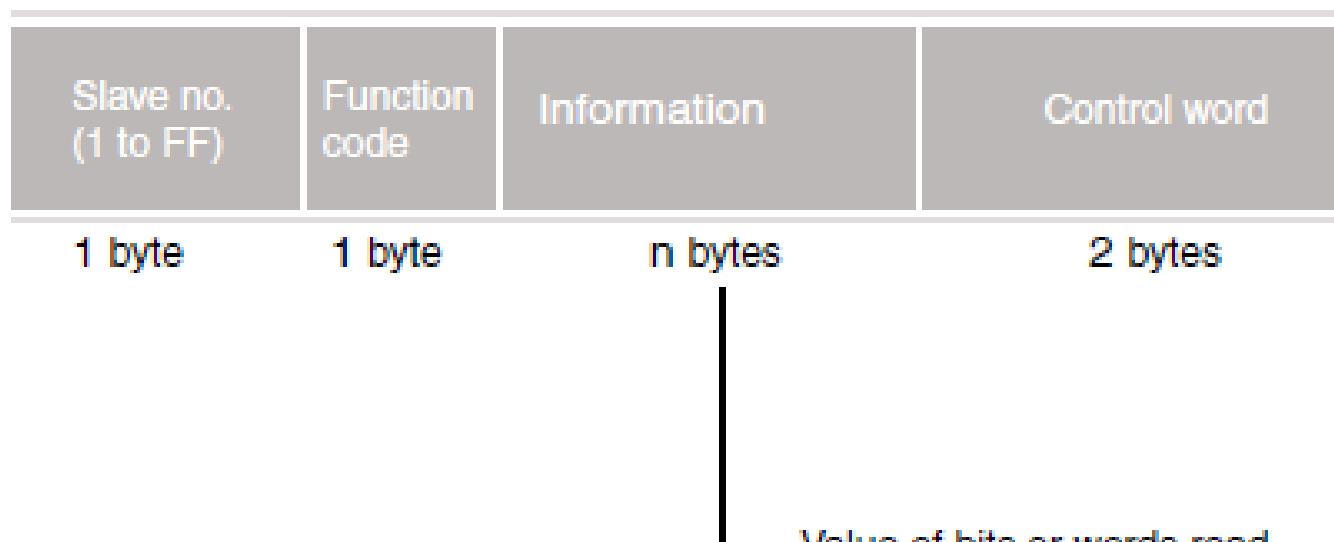
Estructura de la trama

- Encuesta por parte del maestro al esclavo



Estructura de una trama Modbus

- Respuesta del esclavo:



Value of bits or words read,
value of bits or words written,
number of words or number of bits,
diagnostic.

Function Codes

Function type		Function name	Function code
Data Access	Bit access	Physical Discrete Inputs	Read Discrete Inputs 2
		Internal Bits or Physical Coils	Read Coils 1
			Write Single Coil 5
			Write Multiple Coils 15
	16-bit access	Physical Input Registers	Read Input Registers 4
			Read Holding Registers 3
			Write Single Register 6
		Internal Registers or Physical Output Registers	Write Multiple Registers 16
			Read/Write Multiple Registers 23
			Mask Write Register 22
			Read FIFO Queue 24
	File Record Access		Read File Record 20
			Write File Record 21
Diagnostics			Read Exception Status 7
			Diagnostic 8
			Get Com Event Counter 11
			Get Com Event Log 12
			Report Slave ID 17
			Read Device Identification 43
Other		Encapsulated Interface Transport	43

Ejemplo lectura de registros de un esclavo

Function 3: read output words or internal bits.

Function 4: read input words.

The number of words to read should be ≤ 125

Read n words: function 3 or 4

- Query.

Slave no.	3 or 4	Address of the first word to read: MSB* LSB*	Number of words to read: n ≤ 125 : MSB* LSB*	CRC 16 LSB* MSB*
1 byte	1 byte	2 bytes	2 bytes	2 bytes

- Response.

Slave no.	3 or 4	Number of bytes read	Value of first word MSB* LSB*	Value of last word MSB* LSB*	CRC 16 LSB* MSB*
1 byte	1 byte	1 byte	2 bytes	2 bytes	2 bytes

Ejemplo lectura de bits de un esclavo

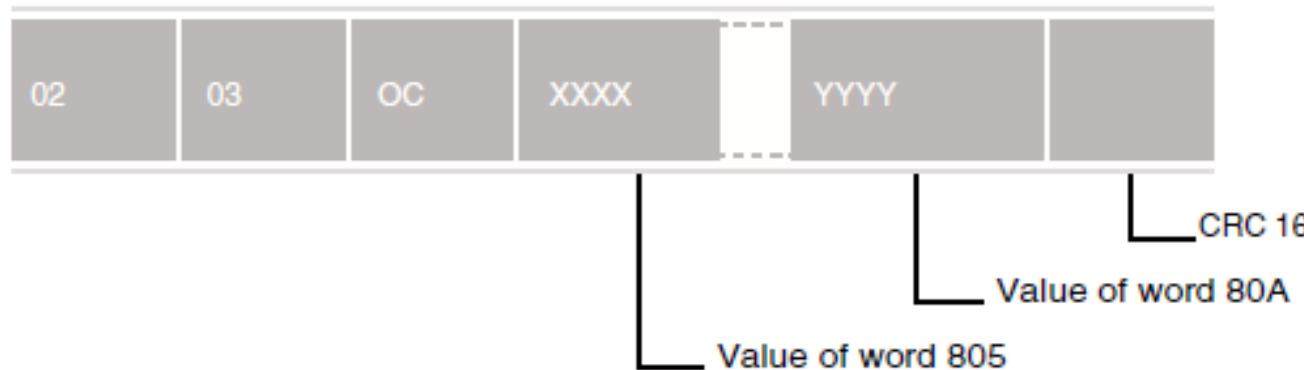
Example:

Read words 805 to 80A of slave no. 2.

■ *Query.*



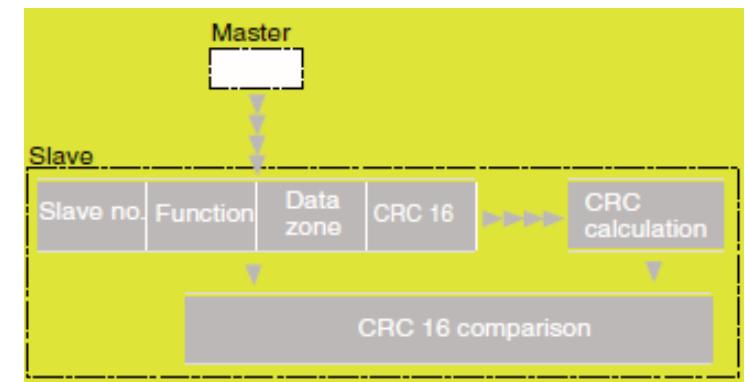
■ *Response.*



Checksum (CRC)

El maestro transmite cada trama indicando:

- Número de esclavo
- Código de la función
- Parámetros de la función



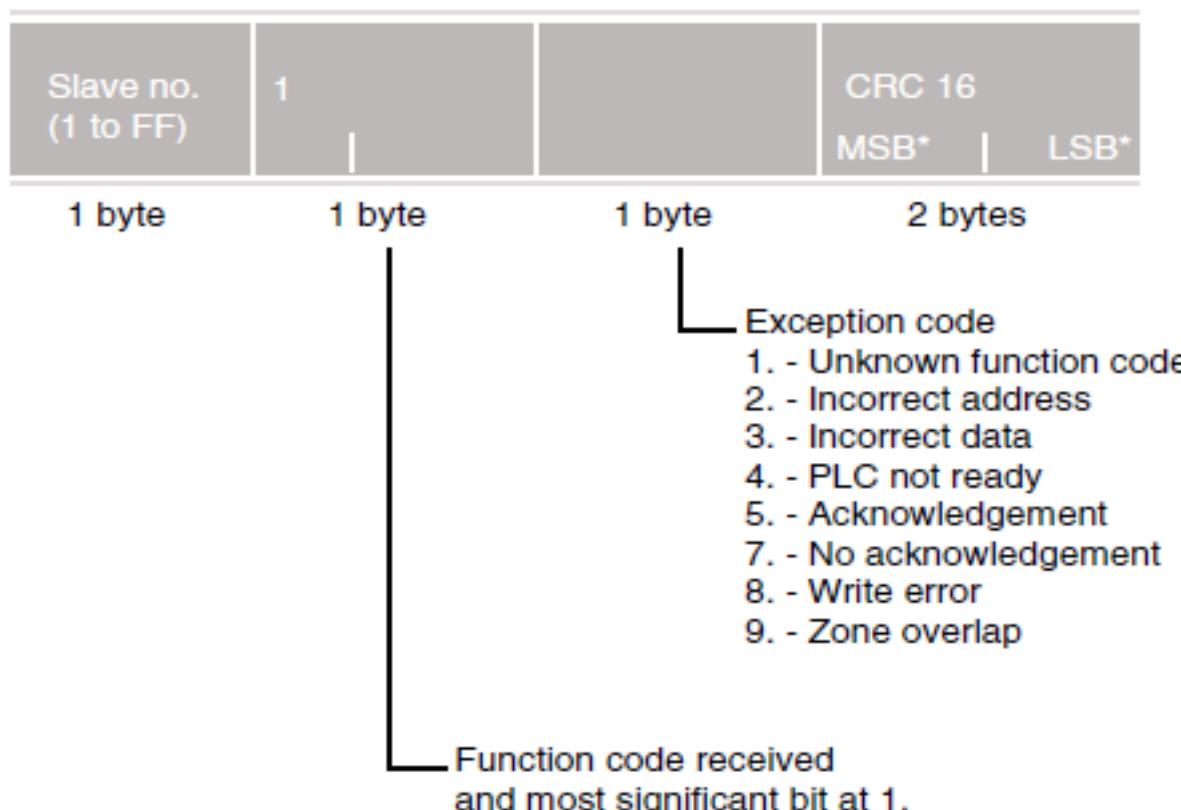
El maestro calcula y transmite el contenido de checksum (CRC).

Cuando el esclavo recibe el mensaje, guarda el mensaje en su memoria, calcula el CRC y luego lo compara con el CRC recibido.

- Si el mensaje recibido es incorrecto (los dos CRC no son iguales) el esclavo no responde.
- Si el mensaje es correcto pero el esclavo no puede procesarlo (dirección incorrecta, información incorrecta, etc.), el esclavo envía una respuesta de excepción.

El código para el cálculo del CRC puede encontrarse fácilmente en la web.

Contenido de una respuesta de excepción



Ventajas de Modbus

- Ampliamente difundido en la industria
- Documentación abierta y muy difundida
- Su uso es totalmente gratuito
- Fácil de desarrollar
- Compatible con casi cualquier PLC
- Es fácil de implementar en una PC con puerto serie (solo se requiere un conversor RS-232 a Rs-485)

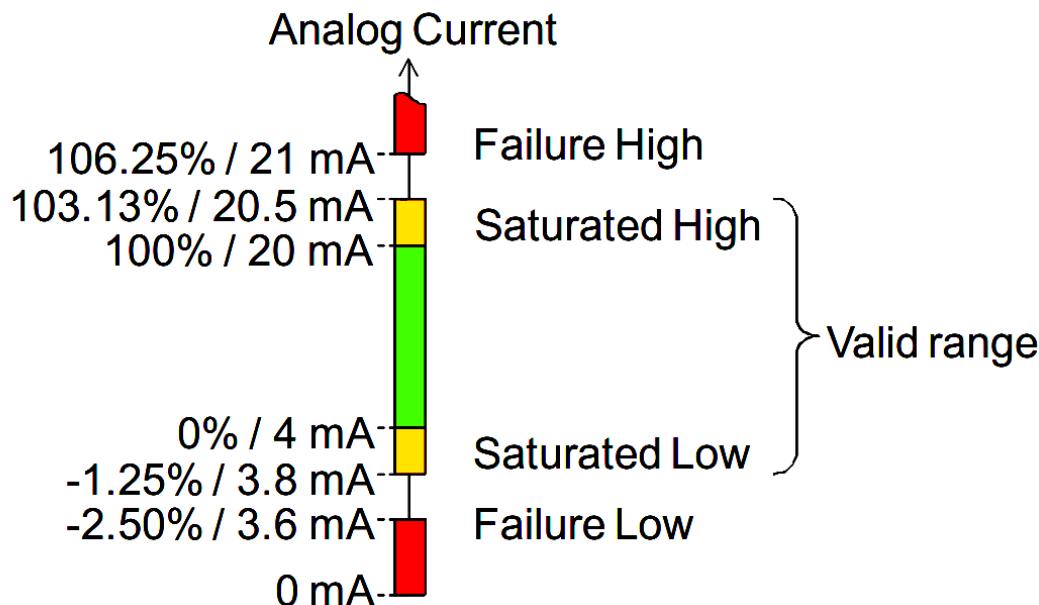
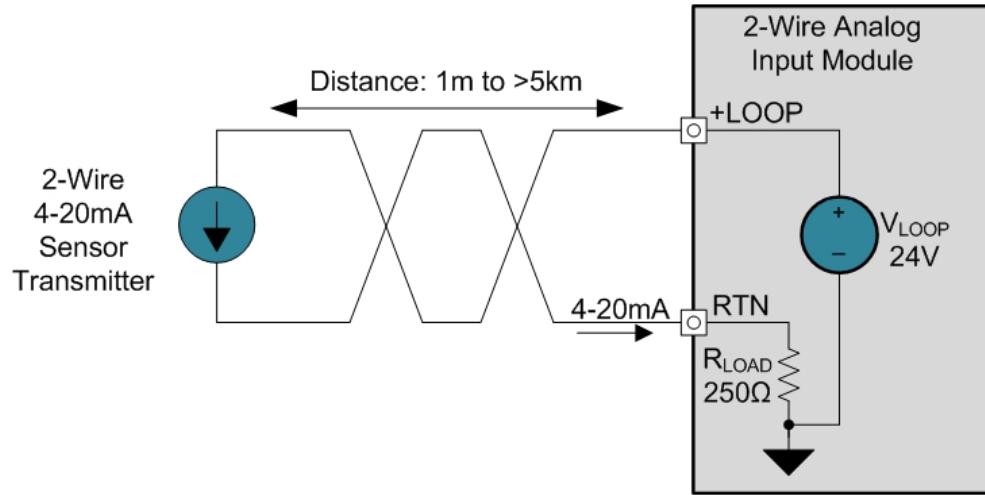
Desventajas de Modbus

- No permite comunicación entre esclavos
- El maestro desperdicia mucho ancho de banda consultando cíclicamente a cada esclavo
- La tensión de alimentación para los esclavos se debe proveer por otro medio

Desventajas de Modbus

- No permite comunicación entre esclavos
- El maestro desperdicia mucho ancho de banda consultando cíclicamente a cada esclavo
- La tensión de alimentación para los esclavos se debe proveer por otro medio

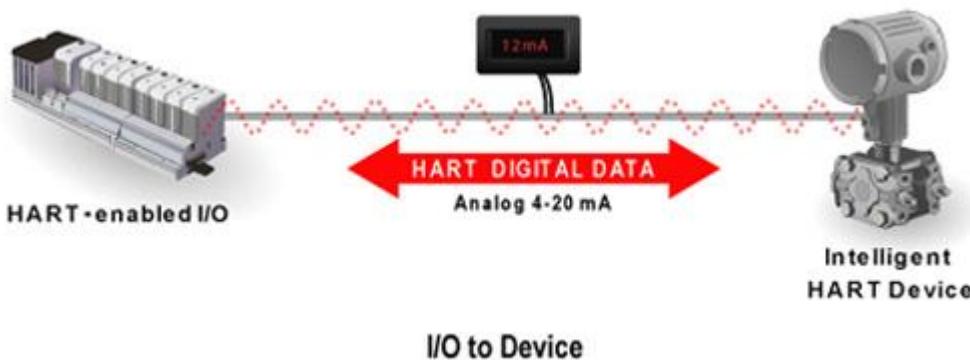
Comunicación 4-20mA



The NAMUR NE43 "Standardization of the Signal Level for the Failure Information of Digital Transmitters" recommendation was created to standardize failure indication from transmitters and interpretation in control systems to enable better analog integration.

NE43 defines 3.8 to 20.5 mA as a valid ('Good') measurement value where 3.8 to 4 and 20 to 20.5 mA indicates saturation. A signal of <3.6 mA or >21 mA indicates a transmitter failure ('Bad').

HART



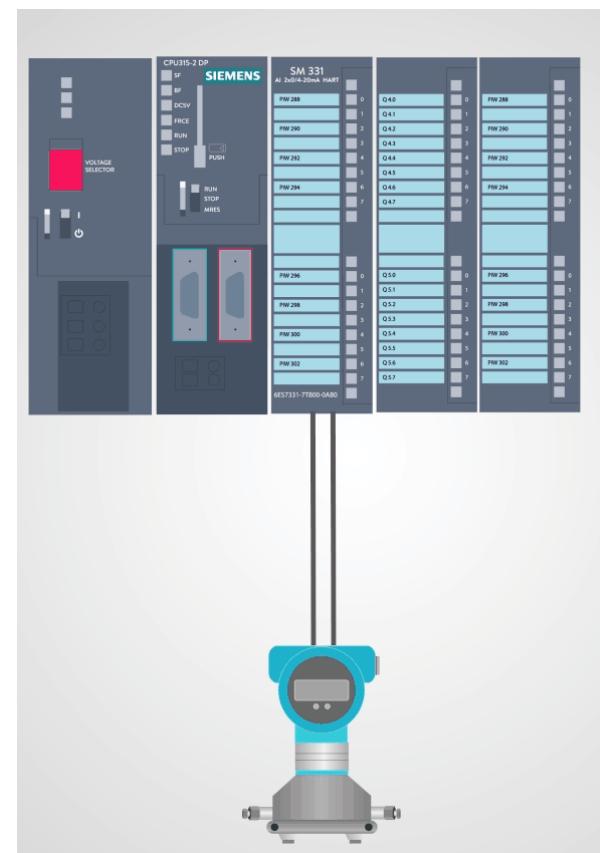
I/O to Device

- Durante muchos años, el estándar de comunicación utilizado para la instrumentación de procesos ha sido la transmisión analógica convencional en corriente 4-20mA.
- En 1986 fue introducido por primera vez por la compañía Rosemount Inc. el protocolo de comunicación HART (Highway Adressable Remote Transducer).
- Este protocolo proporciona una solución para la comunicación de instrumentos inteligentes, compatible con la transmisión analógica convencional en corriente 4-20mA, que permite que la señal analógica y las señales de comunicación digital sean transmitidas simultáneamente sobre el mismo cableado.

Señal (de alta frecuencia) montada sobre la analógica 4-20 mA

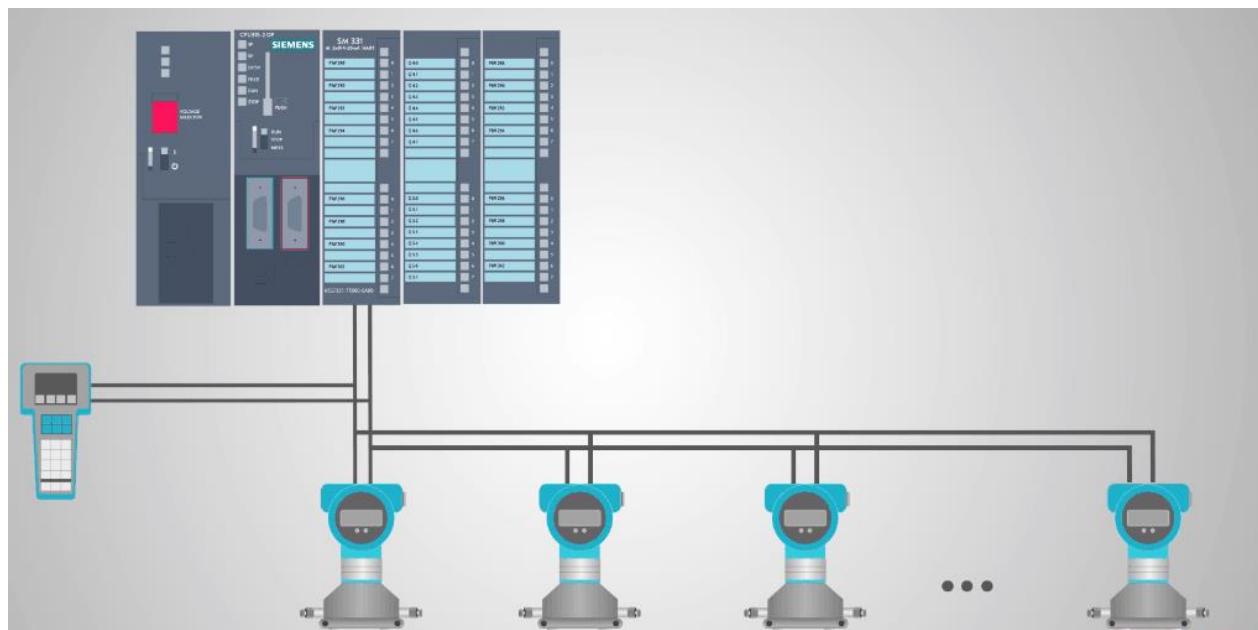
HART Punto a Punto

- La señal convencional de 4-20 mA es usada para comunicar una variable de proceso mientras otras variables adicionales, parámetros de configuración y otras informaciones del dispositivo son transmitidas digitalmente usando el protocolo HART.
- La señal análoga de 4-20 mA no es afectada por la señal HART y puede ser usada para el monitoreo o control de forma normal.
- La señal de comunicación digital HART le da acceso a variables secundarias y otras informaciones pueden ser utilizadas para propósitos de operación, mantenimiento y diagnóstico.



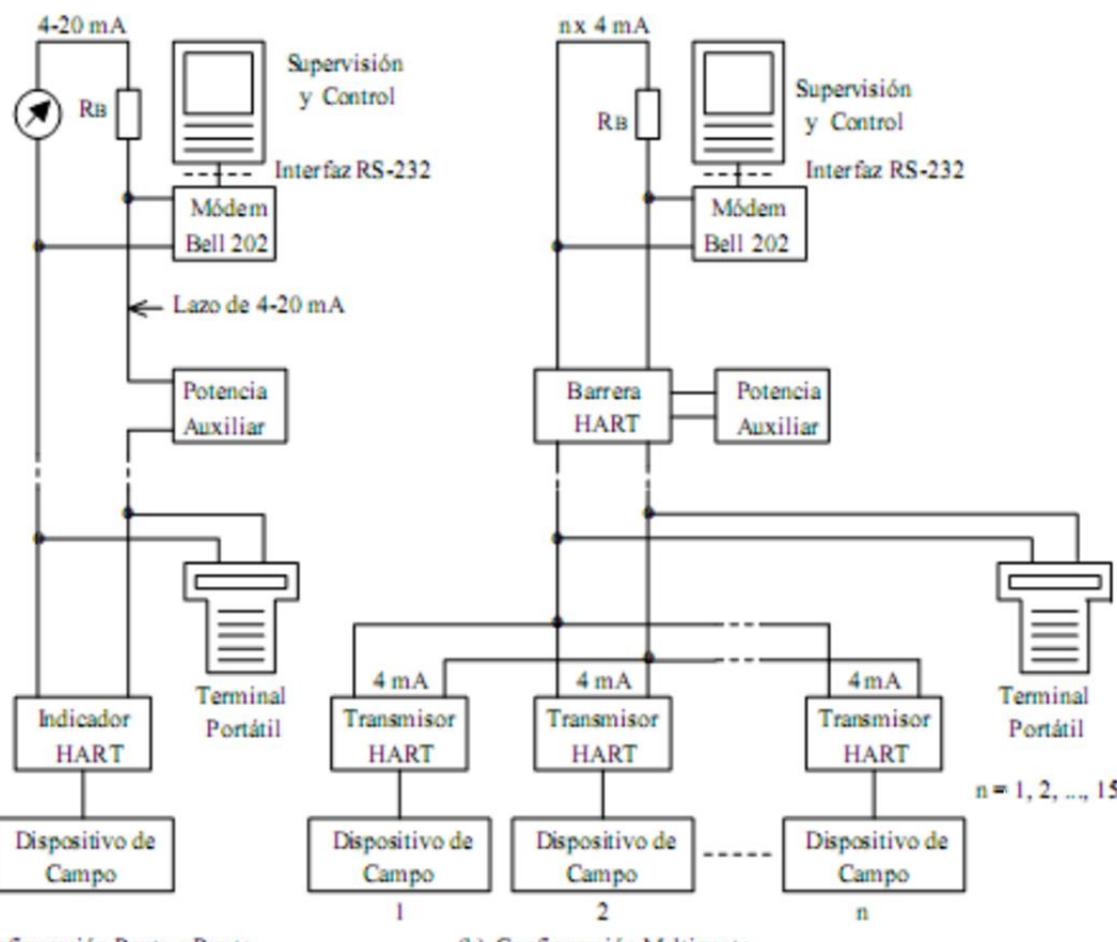
HART Multi-punto

- El modo Multipunto requiere solamente un par de alambres y el lazo de control puede tener hasta 15 dispositivos.
- Todos los valores de proceso son transmitidos digitalmente en el modo Multi-punto y la corriente a través de cada equipo está fijada a un mínimo valor (típicamente 4 mA).



HART

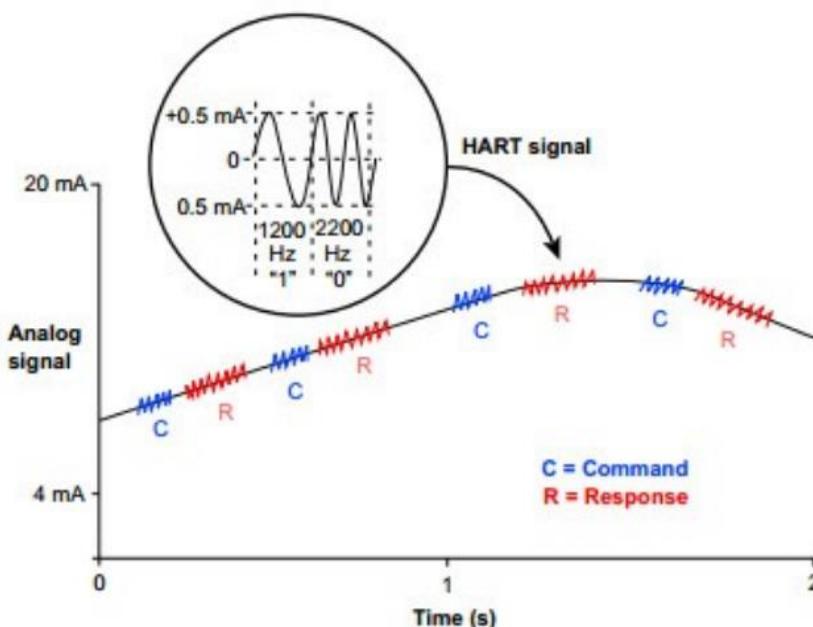
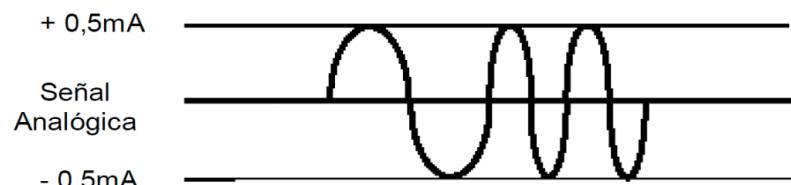
- En HART un esclavo habla solo cuando es requerido por un maestro.
- En una red HART existen dos tipos de maestros:
 - Maestro Primario: suele ser el PLC y es quien requiere constantemente la información.
 - Maestro Secundario: suele ser un dispositivo portátil que se utiliza ocasionalmente y es opcional.
- Los maestros secundarios pueden comunicarse a con los dispositivos de campo sin distorsionar la comunicación con el maestro primario.



HART

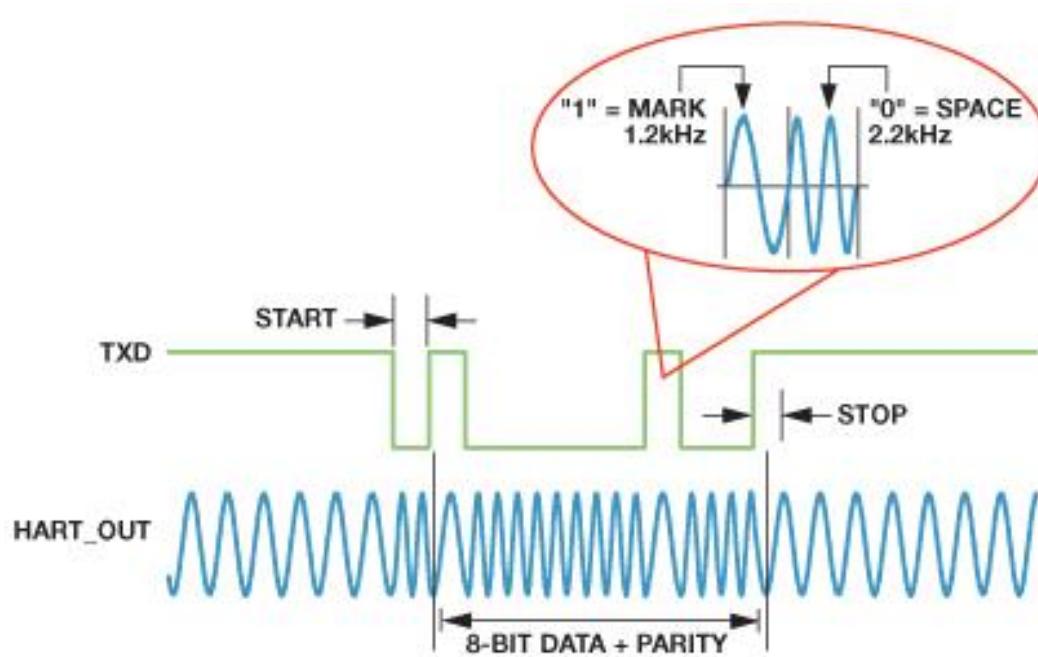
- El protocolo HART utiliza el estándar Bell 202 FSK (Codificación por Cambio de Frecuencia) para superponer las señales de comunicación digital a una señal analógica convencional de 4 a 20mA.
- La lógica "1" es representada por una frecuencia de 1200Hz y la lógica "0" es representada por una frecuencia de 2200Hz.
- Como la señal digital FSK simétrica a cero, no existe un nivel de corriente continua asociadas a la señal y por lo tanto no interfiere con la señal 4-20mA.
- En HART la velocidad de comunicación es de 1200 bits/seg.

Pensado más para diagnóstico y proceso, pero no para sensores veloces



Carácter HART

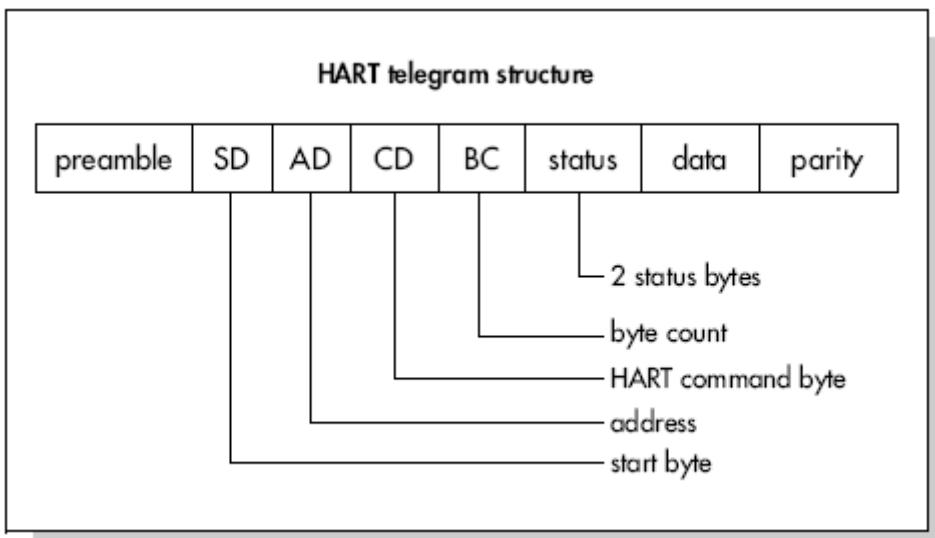
La transferencia de datos en HART se realiza de manera similar a lo analizado en RS232 o RS485.



Telegrama HART

Estructura de un paquete HART:

Field Name	Length (Bytes)	Purpose
Preamble	5-20	Synchronization and Carrier Detect
Start Byte	1	Specifies Master Number
Address	1-5	Specifies slave, Specifies Master and Indicates Burst Mode
Command	1	Numerical Value for the command to be executed
Number of Data Bytes	1	Indicates the size of the Data Field
Status	Master (0) Slave (2)	Execution and Health Reply
Data	0-253	Data associated with the command
Checksum	1	XOR of all bytes from Start Byte to Last byte of Data



Comandos HART

Universal Commands	Common Practice Commands	Device-Specific Commands
<ul style="list-style-type: none"> • Read manufacturer and device type • Read primary variable (PV) and units • Read current output and percent of range • Read up to four predefined dynamic variables • Read or write eight-character tag, 16-character descriptor, date • Read or write 32-character message • Read device range values, units, and damping time constant • Read or write final assembly number • Write polling address 	<ul style="list-style-type: none"> • Read selection of up to four dynamic variables • Write damping time constant • Write device range values • Calibrate (set zero, set span) • Set fixed output current • Perform self-test • Perform master reset • Trim PV zero • Write PV unit • Trim DAC zero and gain • Write transfer function (square root/linear) • Write sensor serial number • Read or write dynamic variable assignments 	<ul style="list-style-type: none"> • Read or write low-flow cut-off • Start, stop, or clear totalizer • Read or write density calibration factor • Choose PV (mass, flow, or density) • Read or write materials or construction information • Trim sensor calibration • PID enable • Write PID setpoint • Valve characterization • Valve setpoint • Travel limits • User units • Local display information

Características de HART

Ventajas:

- Compatible con instrumentación convencional 4-20mA
- Es abierto
- Robusto
- Sencillo
- Económico
- Permite una configuración centralizada

Desventajas:

- Solo para instrumentación analógica
- Hasta 15 dispositivos máximo
- Lento (máximo 2 comunicaciones por segundo)



Sensores y Actuadores 22.88

Buses de campo

PARTE 2

PROFIBUS

PROFIBUS es un protocolo abierto de la organización *PROFIBUS y PROFINET International* actualmente compuesta por 1400 empresas y varias universidades. El término PROFIBUS es una fusión de PROcess FleldBUS

PROFIBUS DP	DP: Periféricos descentralizados
PRIFIBUS PA	PA: Automatización de procesos
PRIFIsafe	PROFIBUS para aplicaciones de seguridad
PROFIdrive	PROFIBUS para aplicaciones de accionamientos

Para fin de 2013 había un total de 47,4 millones de equipos con comunicación PROFIBUS instalados a nivel mundial.

PROFIBUS

Capas físicas soportadas:

- RS-485
- Fibra óptica
- Inalámbrica (diferentes tecnologías)
- Manchester Encoded Bus Powered (MBP)
- RS-485-IS
- MBP-IS

PROFIBUS

Existen diferentes tipos de designaciones del protocolo PROFIBUS según la capa física en la cual es implementada o su tipo de aplicación.

Target Application	Factory Automation	Motion Control	Process Automation	Safety
Typical designation	PROFIBUS DP	PROFIdrive	PROFIBUS PA	PROFIsafe
Application profile	None or specific	PROFIdrive	PA device	PROFIsafe
Communication	PROFIBUS DP protocol	PROFIBUS DP protocol	PROFIBUS DP protocol	PROFIBUS DP protocol
Transmission	RS-485	RS-485	RS-485 MBP-IS	RS-485 MBP-IS

Table 2-1: Target applications and typical use of PROFIBUS standards

PROFIBUS

- **PROFIBUS DP:**
 - Se refiere en general al protocolo PROFIBUS DP ejecutado en RS-485.
 - Se utiliza para conectar a un PLC con:
 - Otros PLCs (maestro-esclavo)
 - Paneles de operación
 - Remotas de periferia distribuida (DI,DO,AI,AO)
 - Variadores de velocidad y servomotores
 - Instrumentos analógicos que tengan alimentación aparte
 - Conversores a otros buses de campo (AS-i, Modbus, etc)
- **PROFIBUS PA:**
 - Se refiere en general al protocolo PROFIBUS DP que se ejecuta en la capa física Manchester encoded Bus Powered (MBP) (IEC-61158-2).
 - Se utiliza para conectar a un PLC con:
 - Instrumentos y actuadores analógicos (temp, nivel, presión, V. control)

PROFIBUS

Maestro: En PROFIBUS se definen dos tipos de maestros:

- **Maestro clase uno:** Controlador típico, por ejemplo **un PLC**, una PC con PLC integrado, etc...
- **Maestro clase dos:** Estación de trabajo para configurar la red o resolver problemas.

Esclavo: Cualquier dispositivo que no es un maestro de clase uno o clase dos. Ningún esclavo puede hablar en la red salvo que un maestro le diga al esclavo que puede hacerlo.

Servicios cíclicos y acíclicos

Servicios cíclicos:

- Son un grupo de comandos que se utilizan durante el intercambio de datos entre el maestro clase uno y el esclavo.
- Se llama cíclico porque los comandos ocurren en cada ciclo de bus.
- Los datos de estos mensajes son típicamente de entrada/salida a los fines del control.

Servicios acíclicos:

- Son un grupo de comandos utilizados luego del intercambio de datos entre el maestro y el esclavo.
- Se llama acíclico porque se inicia sólo a pedido y puede tardar varios ciclos hasta completar la comunicación, y el maestro nunca sabe exactamente cuándo se completará.
- Los datos comunicados de esta forma son de configuración o de diagnóstico.

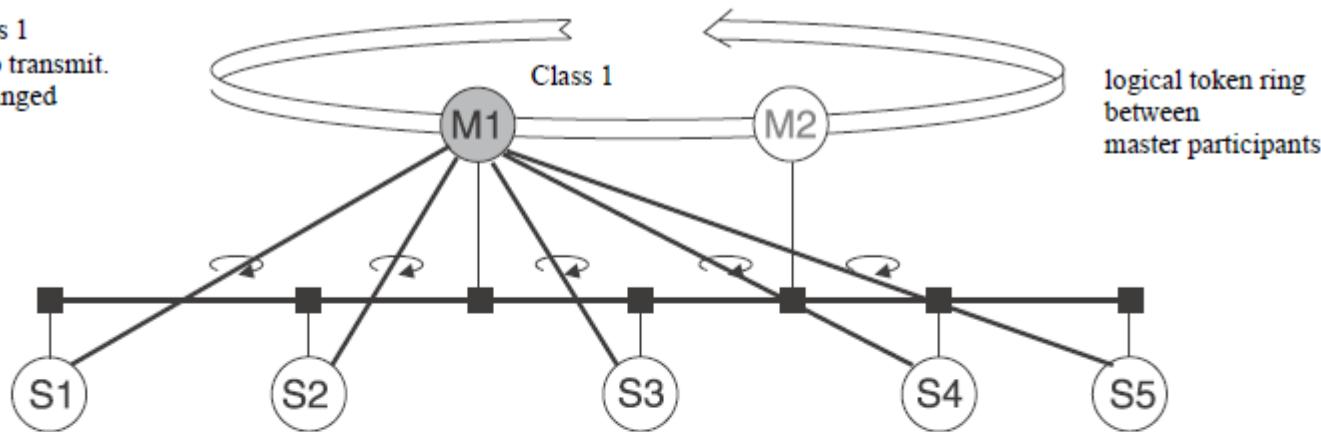
Gestión de la red Profibus

EL protocolo Profibus DP utiliza un método híbrido de acceso centralizado maestro-esclavo y un pasaje de testimonio (token) descentralizado.

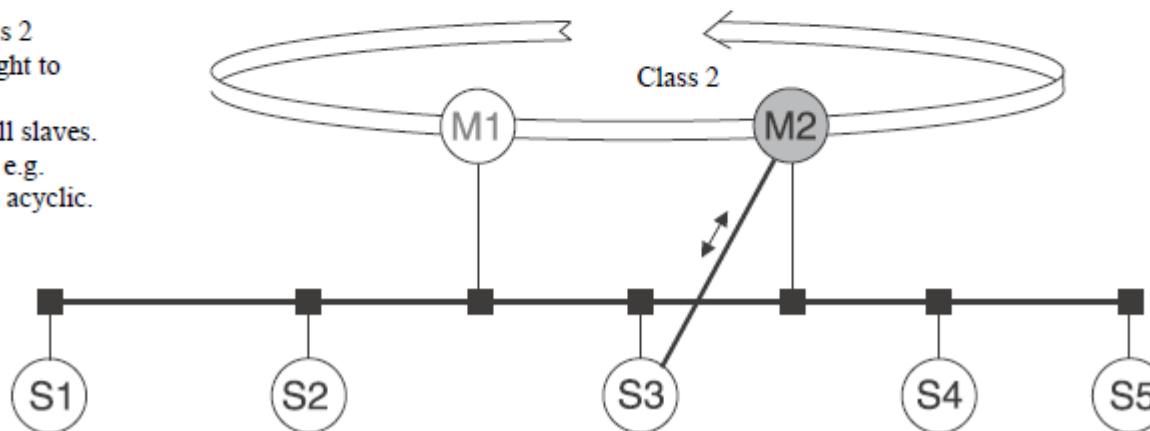
- Cuando el maestro posee el token, tiene derecho a transmitir.
- Al poseer el token puede hablar con los esclavos por un periodo de tiempo determinado.
- Cuando termina este período de tiempo, el token es pasado al siguiente maestro clase 1 o clase 2 de la red.

Redes con más de un maestro

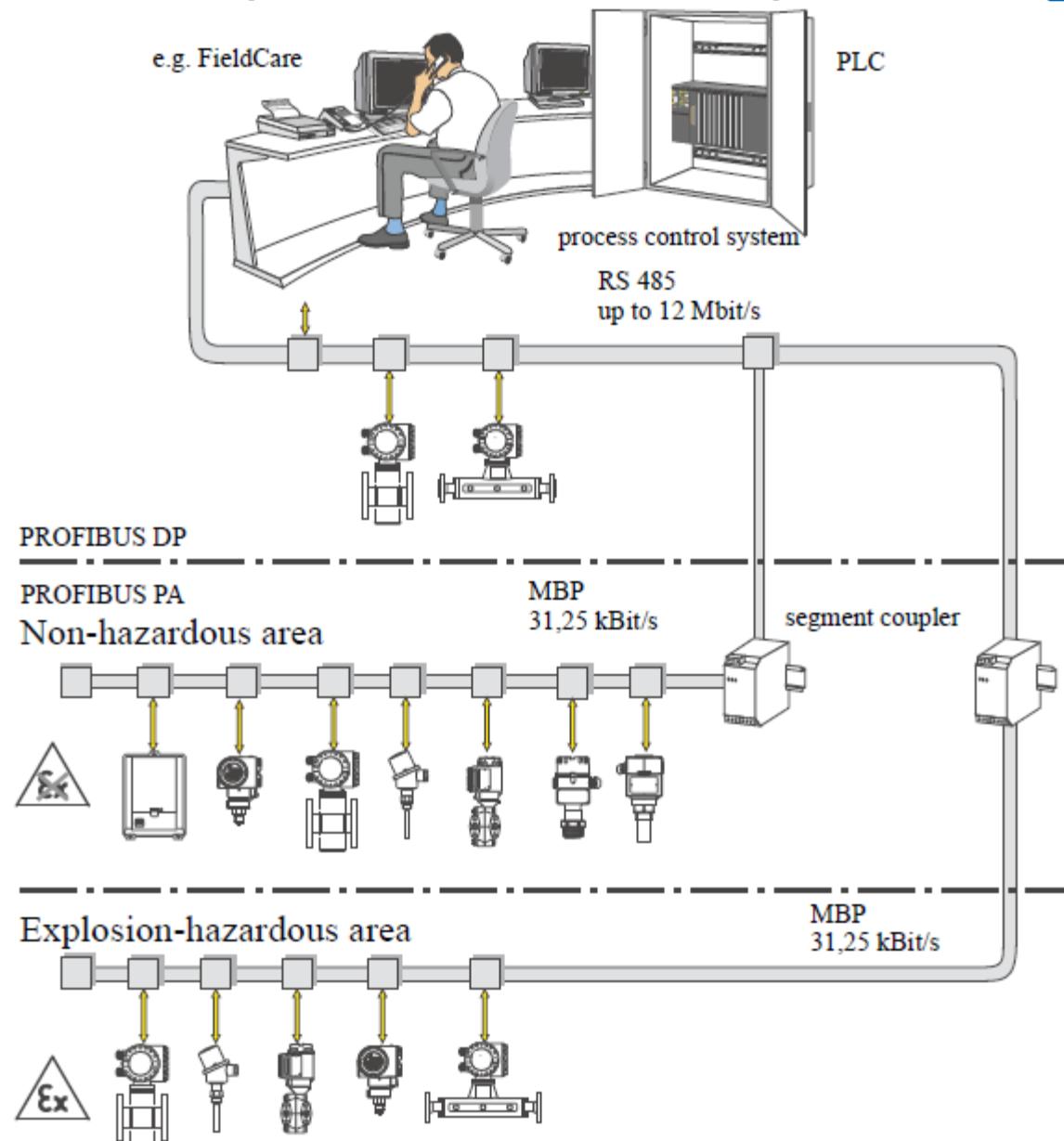
Master 1, Class 1
has the right to transmit.
Data are exchanged
cyclically.



Master 2, Class 2
receives the right to
transmit.
It can talk to all slaves.
Data exchange, e.g.
with slave 3 is acyclic.



Arquitectura típica



Caracter PROFIBUS

Este formato de caracter es utilizado en todos los telegramas. Cuando los mensajes contienen caracteres word, se envía primero la parte alta y luego la parte baja (Big-Endian/ formato Motorola).

Las redes PROFIBUS emplean paridad impar para controlar la integridad de los datos enviados en cada caracter.

Profibus NRZ-Coded Character Frame (Even Parity)

Start	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	Parity	Stop
“0”	0	1	2	3	4	5	6	7	even	“1”
←	LSB	←	←	←	←	←	←	MSB	←	←

Telegramas

El protocolo PROFIBUS es complejo debido a la gran variedad de tipos de comunicaciones y comandos posibles.

Hay distintos tipos de formatos de telegramas:

- Telegramas sin campo de datos
- Telegramas con largo variable de 4 a 249 bytes
- Telegramas con un campo de datos fijo de 8 bytes
- Telegrama Token
- Un telegrama corto de 1 byte para respuestas de confirmación

Tipos de telegramas

Telegram without data field:



Telegram with variable length:



The PDU has a variable length between 1 and 246 bytes.

Telegram with fixed data length:



The PDU has a fixed length of 8 bytes

Token telegram:



Sort confirmation:



SD = Start Delimiter

ED = End Delimiter

DA = Destination Address

SA = Source Address

LE = Length

LEr = Length repeated

FC = Function Code

FCS = Frame Checking Sequence (Checksum)

SC = Sort Confirmation

Ejemplo de una secuencia

Example of a sequence:

A master receives the token from its colleague:

SYN	SD4	DA	SA
-----	-----	----	----

Más detalle en:



Adobe Acrobat Document

It sends a telegram without a data field:

SYN	SD1	DA	SA	FC	FCS	ED
-----	-----	----	----	----	-----	----

and receives a short confirmation in reply.

SC

The master sends another telegram without a data field:

SYN	SD1	DA	SA	FC	FCS	ED
-----	-----	----	----	----	-----	----

and receives a telegram with variable length in reply:

SD2	LE	LER	SD2	DA	SA	FC	PDU	FCS	ED
-----	----	-----	-----	----	----	----	-----	-----	----

The master sends a telegram with variable length

SYN	SD2	LE	LER	SD2	DA	SA	FC	PDU	FCS	ED
-----	-----	----	-----	-----	----	----	----	-----	-----	----

and receives no reply.

The master passes on control and sends a token telegram:

SYN	SD4	DA	SA
-----	-----	----	----

The field

SYN

designates the 33 bit synchronization pause.

The synchronization pause marks the beginning of a new telegram sequence.

Direcciones PROFIBUS

Número	Uso
0	Reservada para herramientas de configuración y diagnostico
1...125	Direcciones para maestros y esclavos. Las direcciones de los maestros deben ser las primeras.
126	Dirección reservada. Es la dirección por defecto que tienen los dispositivos al salir de fábrica.
127	Dirección reservada para broadcast

Direcciones PROFIBUS

Por lo general se le puede asignar una dirección a un esclavo PROFIBUS desde unos DIP switches o bien desde software (desde un maestro clase dos).

- A = DIP switches 1 – 7: defining the device address
- B = DIP switch 8: address mode (type of addressing)
(ON = software addressing / OFF = hardware addressing)



GSD

- Para poder integrar los dispositivos a la red, el sistema Profibus DP requiere una descripción de los parámetros del dispositivo, tales como:
 - datos de salida
 - datos de entrada
 - formato de los datos
 - velocidades de transmisión soportadas
 - códigos de falla
 - etc.
- Esta información está contenida en un archivo de texto plano con extensión .gsd que es requerido por el maestro Profibus DP para la configuración del dispositivo en la red.

GSD ejemplo

```
#Profibus_DP
;
GSD_Revision = 1
Vendor_Name = "SAMSON AG"
Model_Name = "Positioner 3785"
Revision = "V1.0"

Ident_Number = 0x3785
Protocol_Ident = 0
Station_Type = 0
FMS_supp = 0
Slave_Family = 12
;
Hardware_Release = "E 1.00 M 2.00"
Software_Release = "K 1.33 R 1.23"
;
31.25_supp = 1
45.45_supp = 1
93.75_supp = 1
MaxTsdr_31.25 = 100
MaxTsdr_45.45 = 200
```

```
MaxTsdr_93.75 = 1000
;
Redundancy = 0
Repeater_Ctrl_Sig = 0
;
Freeze_Mode_supp = 0
Sync_Mode_supp = 0
Auto_Baud_supp = 0
Set_Slave_Add_supp = 0
Min_Slave_Intervall = 100 ;
User_Prm_Data_Len = 0
Max_Diag_Data_Len = 32
;
Bitmap_Device = "SR3785_N"
;

----- Meaning of the device related diagnostic bits:
Unit_Diag_Bit(00) = "Hardware failure electronics"
Unit_Diag_Bit(01) = "Hardware failure mechanics"
Unit_Diag_Bit(04) = "Memory error"
; etc.
```



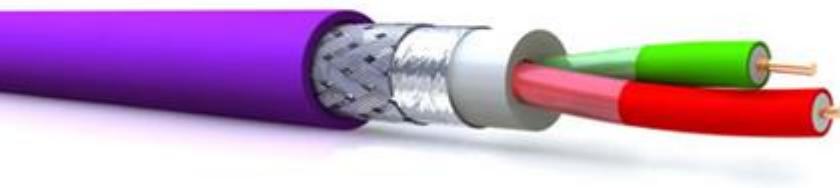
Sams3785.gsd

PROFIBUS DP

- Como se comentó anteriormente, Profibus DP es la implementación del protocolo Profibus sobre la capa física RS-485.
- Las características de la red Profibus DP son idénticas a las vistas en RS-485 salvo algunas particularidades como el cable utilizado, los conectores y el tipo de terminación del bus.
- Todos estos elementos fueron especialmente diseñados para ser utilizados en este bus, pero son completamente compatibles con una red RS-485 estándar.

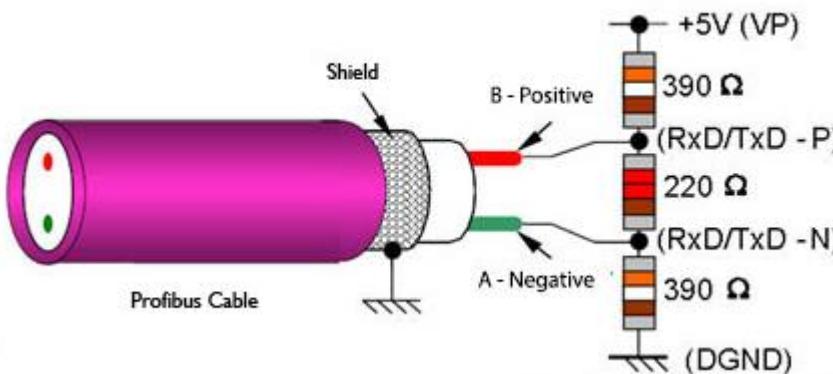
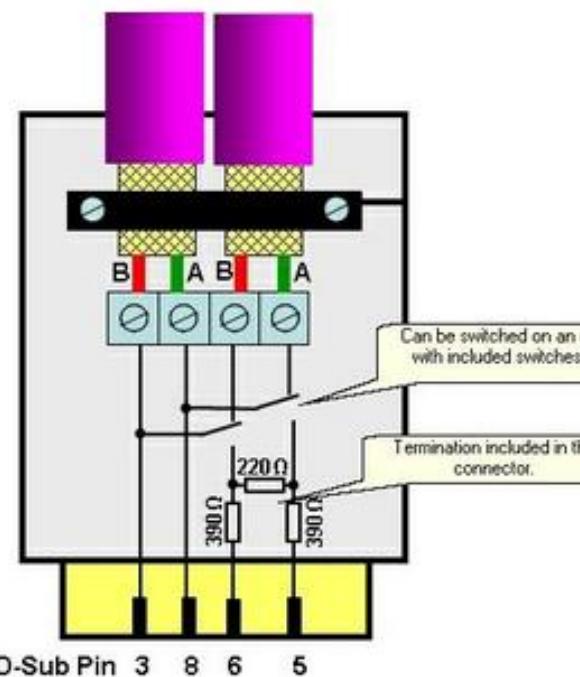
El cable PROFIBUS DP

El cable Profibus Tipo A (el utilizado en la actualidad) posee las siguientes características:



Característica	Valor
Resistencia de los conductores (Loop)	110 Ω/km max.
Código de colores	a(-): verde b(+): rojo
Resistencia de la malla	nom. 12 Ω/km
Atenuación a 0.25 / 0.625 / 1.25 / 3.125 / 16 MHz	nom. 6 / 9 / 12 / 18 / 40 dB/km
Impedancia a 3 MHz	150 ±15 Ω

Conector PROFIBUS DP con terminador integrado



- Conexión Daisy Chain
- Terminador integrado con switch para activarlo
- Conexión simple. No se requiere más que un alicate.
- El primer y el último dispositivo de la red deben tener el terminador activado.

Repetidores Profibus DP

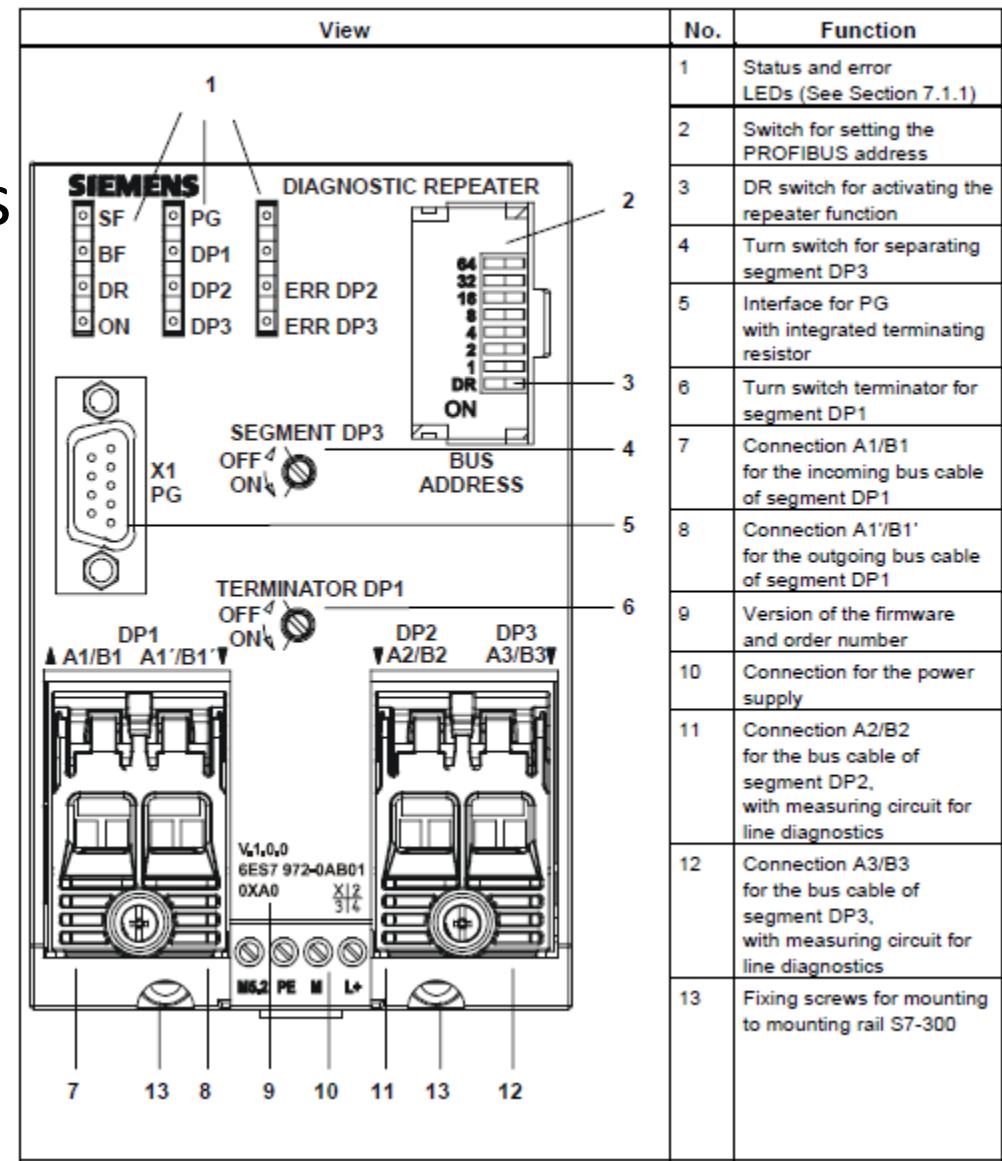
Además de los repetidores RS-485 estándares, existen **repetidores con diagnostico que monitorean el segmento de red durante la operación y envían información al maestro Profibus DP.**

Estos equipos **funcionan como un esclavo más de la red y requieren de una dirección Profibus.** Muchos repetidores tienen más de una salida repetida y se los denomina Hubs.

Repetidores

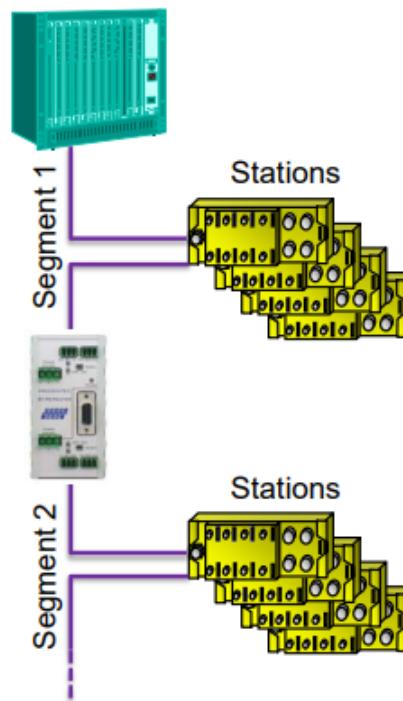
Los repetidores con diagnóstico son capaces de detectar:

- Cable cortado
- Malla cortada
- Falta o sobrante de terminadores
- Cortocircuitos (A con B o A/B con la malla)
- Cruce de A y B
- Puntos de reflexión que causan fallas

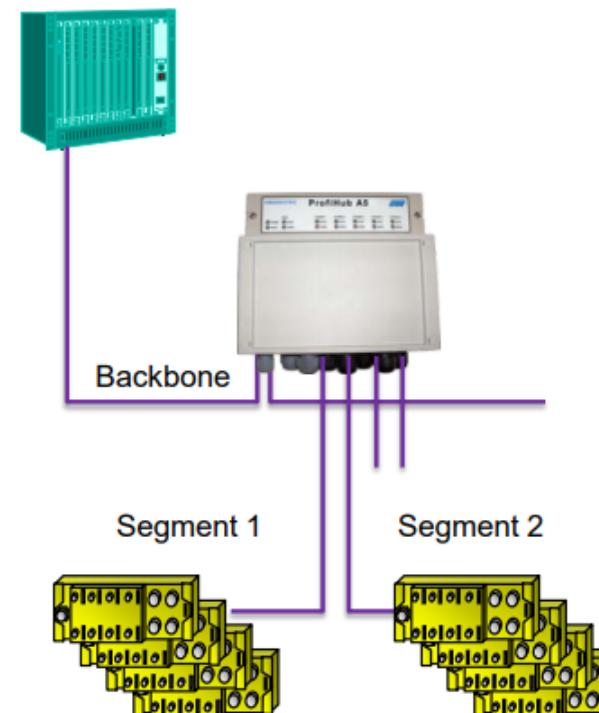


Repetidores vs Hubs

Single Repeaters



PROFIBUS Hubs

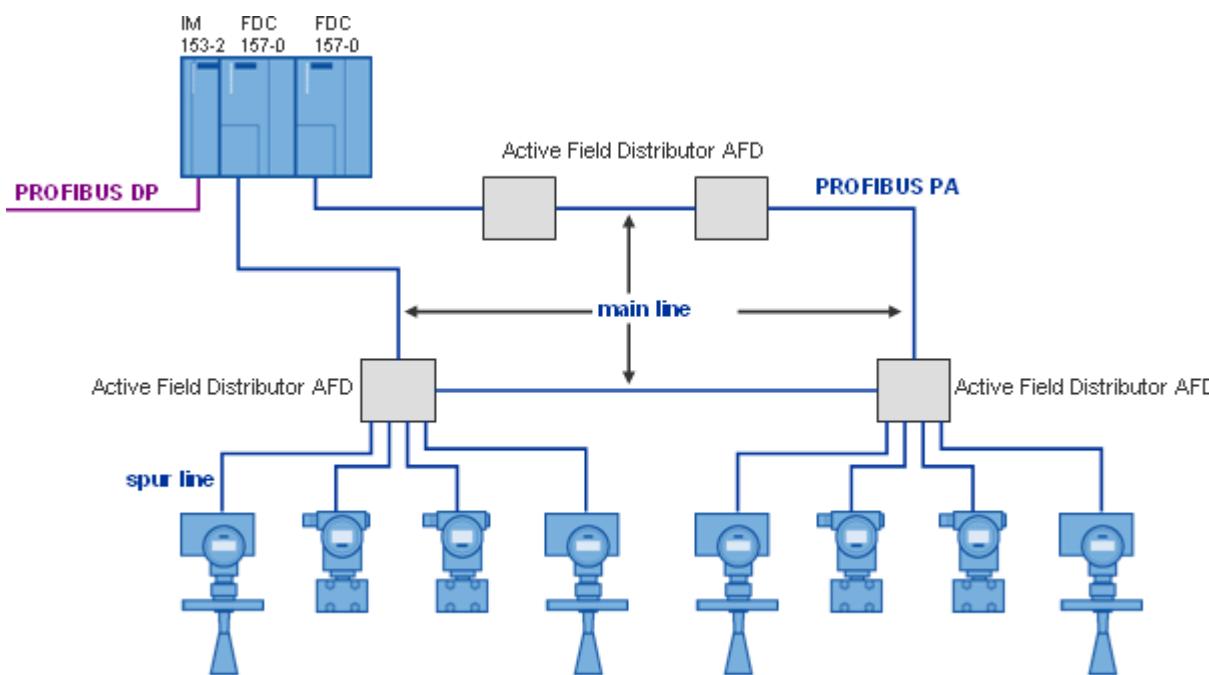


Reglas de diseño para redes Profibus DP

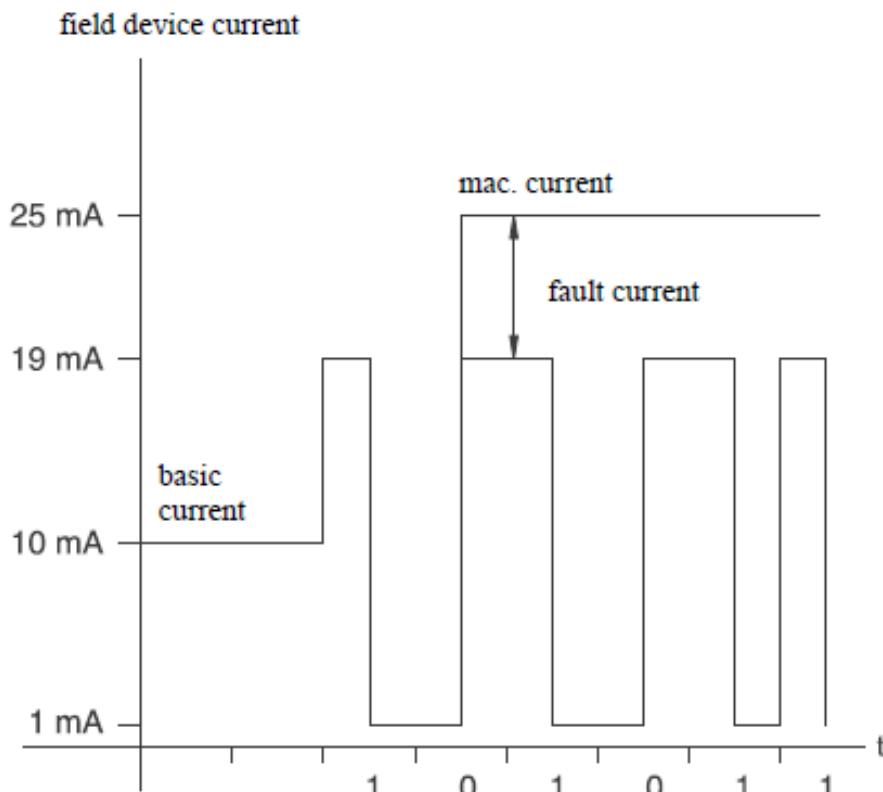
- 1) No exceder los 32 nodos por segmento
- 2) Los nodos deben tener un enlace daisy chain (no líneas auxiliares).
- 3) Terminar cada segmento en sus extremos
- 4) No exceder los 125 dispositivos en la red Profibus DP
- 5) No utilizar más de 9 repetidores entre el maestro y cualquiera de los esclavos.
- 6) Respetar la correlación entre el largo de la red y la velocidad de transmisión (ver tabla para RS-485).
- 7) Seguir las prácticas de puesta a tierra recomendadas: conectar todos los blindajes del cable a tierra

PROFIBUS PA

- El bus Profibus PA está pensado para interconectar equipos analógicos como:
 - Transmisores de temperatura, presión, nivel, caudal, etc
 - Válvulas de control
- Funciona a baja velocidad, largas distancias y provee alimentación.



PROFIBUS PA



- El bus Profibus PA es energizado por una fuente de 24Vdc junto con un acoplador del segmento.
- Velocidad de transmisión fija de 31.25 kbit/seg con codificación manchester
- Los esclavos funcionan como consumidores de corriente, consumiendo una corriente nominal de 10mA del cable del bus (algunos dispositivos requiere más).
- Esta corriente provee la potencia necesaria para que el equipo opere.
- Si un dispositivo de campo transmite información, lo hará modulando su corriente consumida en ± 9 mA.
- De manera que un dispositivo de campo no bloquee el bus cuando entra en falla, su máxima corriente es limitada por la llamada corriente FDE (Fault Disconnection Electronics).

Características Profibus PA

- Transmisión de la señal a través de un cable de dos hilos trenzados con malla.
- Alimentación de los instrumentos a través del bus.
- Permite contar con seguridad intrínseca (anti-explosiones).
- Se utilizan las topologías lineal y estrella o una mezcla de ambas.
- Soporta hasta 32 esclavos por segmento de red Profibus PA
- Se pueden colocar hasta 4 repetidores en serie (raramente usados)
- La tensión de alimentación soportada por los esclavos va de 32V a 9V

La trama Profibus PA

Es casi igual a la trama Profibus DP salvo por:

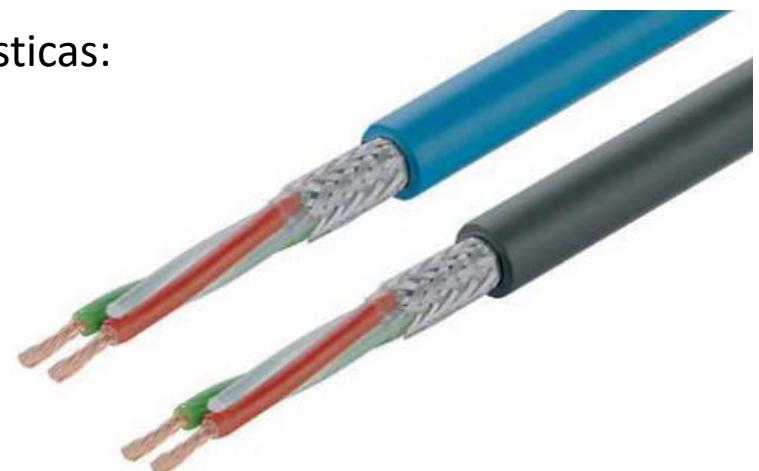
- Se agrega a la trama un preámbulo de 16 bits a la trama
- Se agrega un byte de Start of Frame
- Se reemplaza el ED por un campo de 16 CRC bits y un byte de End of Frame.



P:	16 Bit Preamble
SD:	Start Delimiter
LE:	Net Data Length (DU) + DA, SA , FC, DSAP, SSAP
LER:	Length repeated
DA:	Destination Address (Where the message goes to)
SA:	Source Address (Where the message comes from)
FC:	Function Code (FC=Type & Priority of Message)
DU:	Data Unit (Up to 246 Bytes including 2 Bytes for SAP's)
FCS:	Frame Checking Sequence
CRC:	16 Bit Cyclic Redundancy Check
ED:	End Delimiter
EOF:	End Of Frame

El cable PROFIBUS PA

El cable Profibus PA posee las siguientes características:

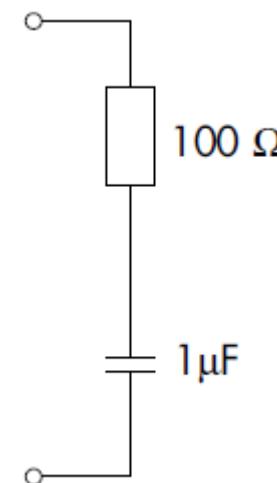


Característica	Valor
Resistencia de los conductores (Loop)	max. 43,6 Ω/km
Código de colores	a(-): verde b(+): rojo
Resistencia de la malla	nom. 12 Ω/km
Atenuación a 39kHz	max. 3.0 dB/km
Impedancia	100 ±20 Ω

Terminadores Profibus PA

En ambos extremos de la red Profibus PA se deberá colocar un terminador pasivo que consiste en un circuito serie entre una resistencia y un capacitor de los siguientes valores:

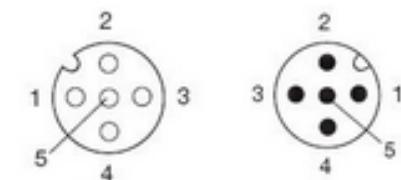
- $R = 100 \Omega \pm 2 \%$
- $C = 1 \mu F \pm 20 \%$



Conectores Profibus PA

Suelen utilizarse conectores M12 para conectar los esclavos a las cajas de derivación.

También es muy común que el cable se conecte directamente a una bornera en el instrumento.



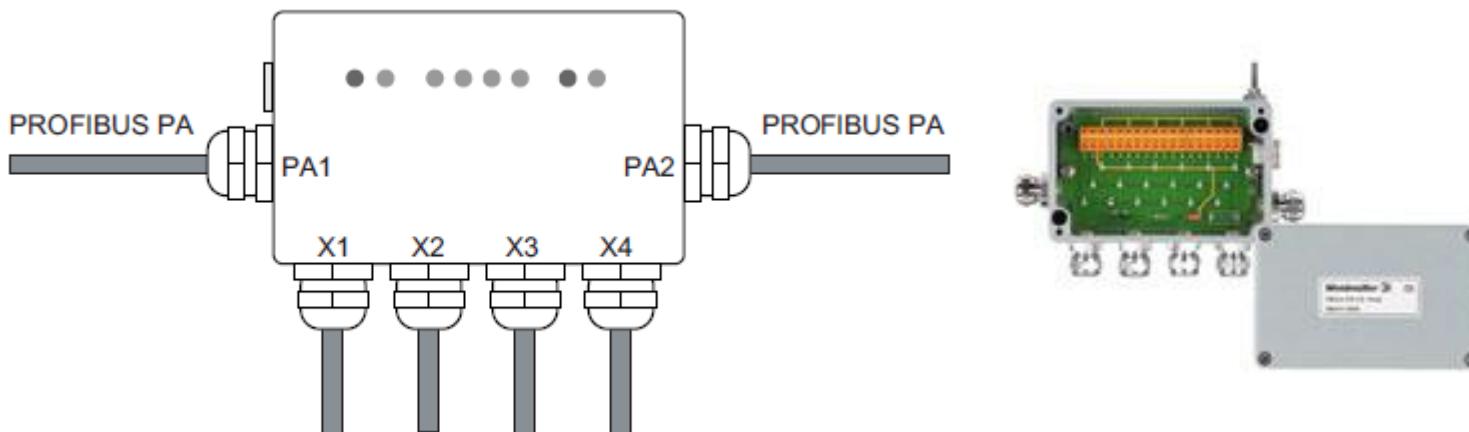
M12 Socket M12 Male
 plug

Pin no.	Signal	Function	
1	DATA-B	Data line plus (B conductor)	Mandatory
3	DATA-A	Data line minus (A conductor)	Mandatory
4	Shield	Ground connection	Optional
Thread	Shield	Ground connection	Recommended

Derivadores Profibus PA

Las cajas de empalmes Profibus PA ofrecen muchas características especiales que varían según el modelo y fabricante.

- Protección contra cortocircuitos: útil cuando se conecta un nuevo equipo y accidentalmente se hace un cortocircuito. Sin esta protección colapsaría toda la red.
- Protección contra sobretensión y sobrecorriente: para proteger a la red contra los rayos.
- Terminador integrado
- Conexión M12 o con borneras según se requiera



Reglas de diseño de una red Profibus PA

1) El largo máximo de cada derivación depende de la cantidad total de derivaciones:

Cantidad de derivaciones = Cantidad de dispositivos	Largo máximo
1-12	120m
13-14	90m
15-18	60m
19-24	30m
25-32	<1m

2) Utilizar un cable Profibus PA clase A y de un solo fabricante (mezclar diferentes tipos de cables pueden generar reflexiones).

3) El largo total de la red (segmento) no puede exceder los 1900m. No obstante, el largo máximo también depende del consumo de energía de la red y de la tensión suministrada al acoplador.

4) Mínimo de 9V en cada esclavo de la red.

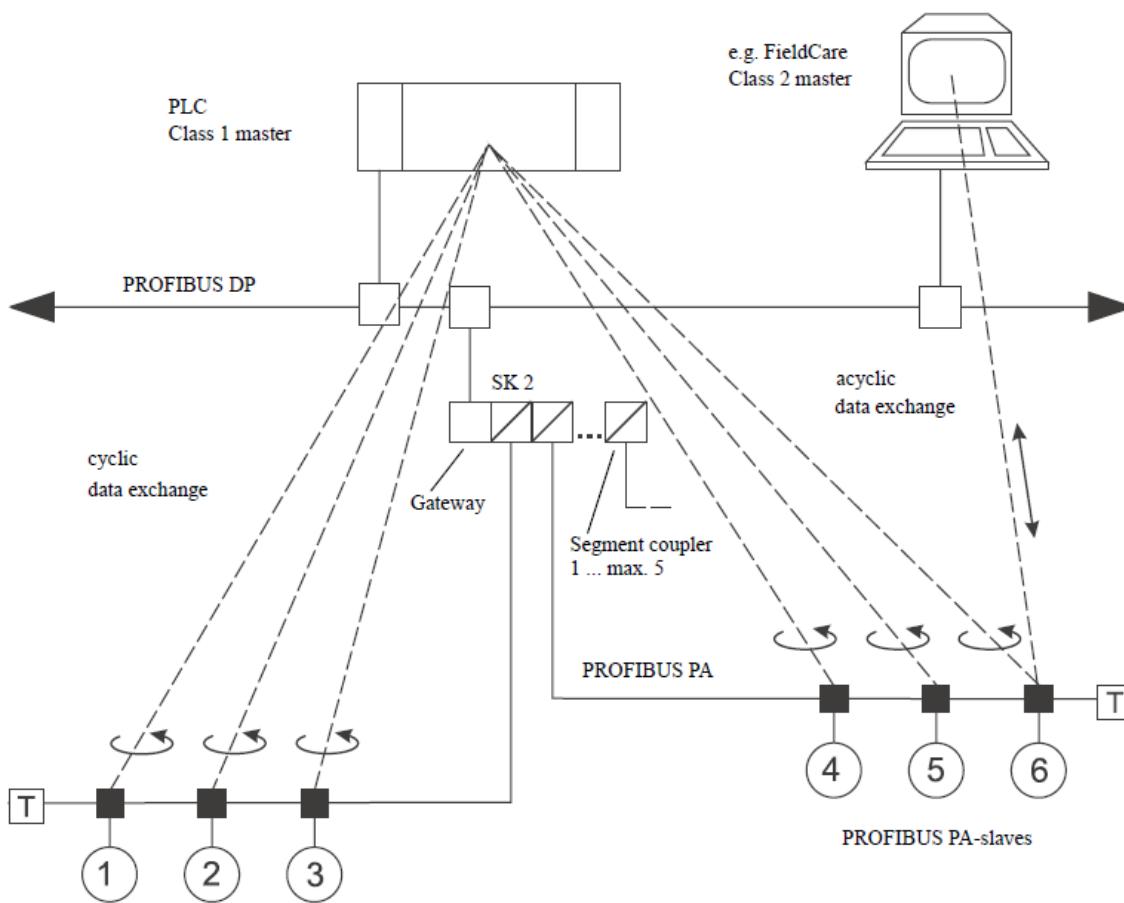
5) Terminar cada segmento en sus extremos.

6) Seguir las prácticas de puesta a tierra recomendadas: Se recomienda conectar el blindaje del cable a tierra en todos los dispositivos y que todas las puestas a tierra tengan el mismo potencial (puesta a tierra equipotencial).

Watch Dog Time

- Los dispositivos PROFIBUS pueden activar un mecanismo de watchdog que **chequea si el maestro profibus continua estando activo en cada ciclo de la red.**
- **Este tiempo es medido por el esclavo Profibus.**
 - Si el watchdog es activado y el temporizador desde el último ciclo expira, el esclavo pasará a un modo de espera y pondrá sus salidas en un valor seguro.
- El maestro profibus tiene una seguridad similar.
 - Si el tiempo de ciclo de la red es largo, se corre riesgo de que el maestro DP vea que hay equipos faltantes en la red.

DP/PA Coupler



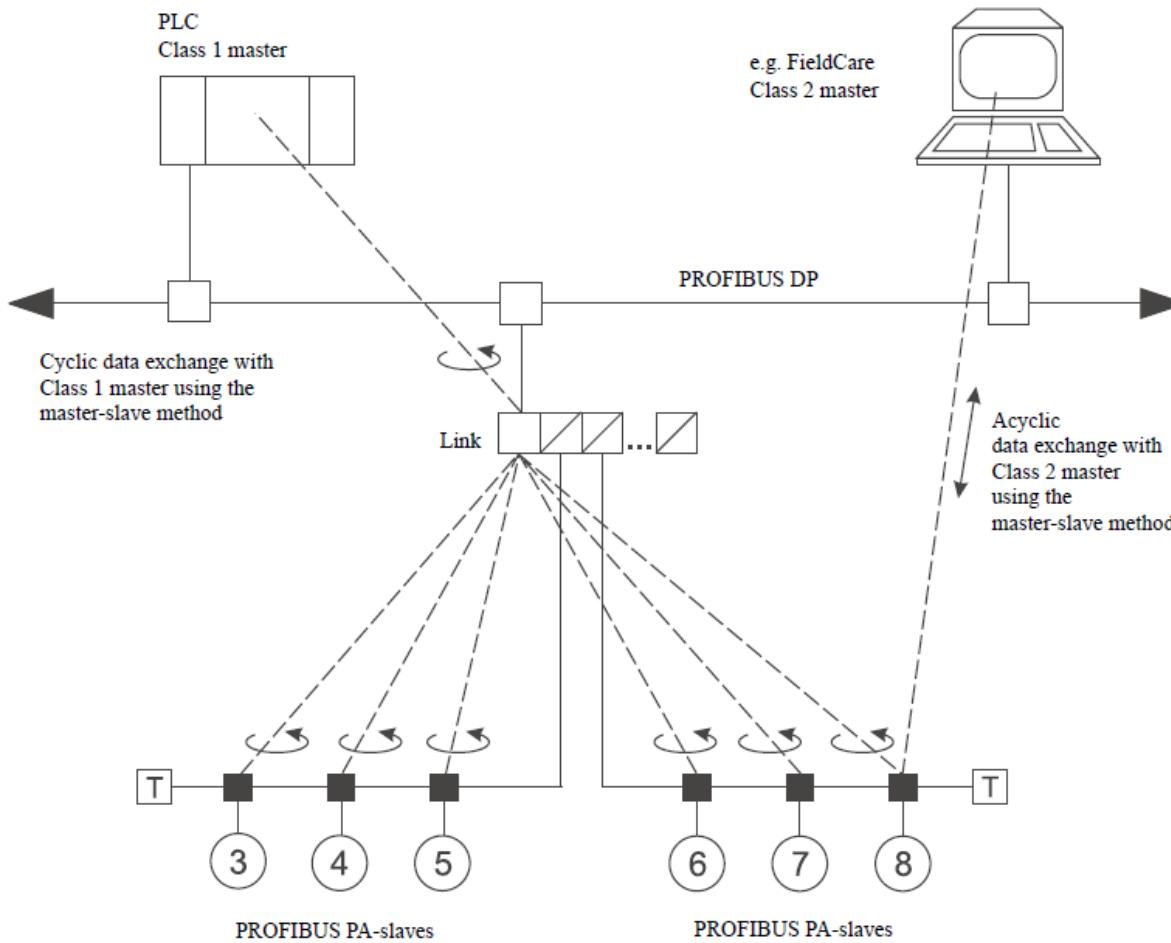
- Los acopladores DP/PA transforman la trama PROFIBUS de una capa física a otra (RS-485 y MBP).
- Los esclavos Profibus PA son transparentes al acoplador y se ven desde el PLC como si estuviesen en la red Profibus DP.
- Puede tener varias salidas para conectar más de un segmento Profibus PA.
- El acoplador no es visto por el PLC dado que no tiene una dirección assignable (es transparente).
- Hay un único campo de direcciones para las redes Profibus DP y PA.

DP/PA Coupler

El acoplador SK2 de Pepperl+Fuchs tiene las siguientes características:

- Un acoplador permite tener hasta 20 power links.
- No tiene una restricción en cuanto al total de datos de E/S a intercambiar con los esclavos PA en la red (sigue aplicando el límite de 244 Byte I/O por esclavo)
- Soporta cualquier velocidad de transmisión del lado DP (45,45 kBd... 12 MBd)
- El acoplador no requiere dirección del lado DP ni del lado PA
- Acceso transparente desde el maestro Profibus DP a los esclavos Profibus PA
- Hay que tener en cuenta que el watchdog timer en el maestro DP debe ser mayor al tiempo de ciclo de la red PA más el tiempo de ciclo de la red DP (ver filminas de tiempo de ciclo).
- Hay un único campo de direcciones común a la red DP y PA conectadas al acoplador.

DP/PA Link



- A diferencia de un coupler, un link es reconocido por el maestro Profibus DP como un esclavo más de la red con una dirección Profibus DP determinada.
- Los dispositivos del lado Profibus PA ya no pueden ser vistos directamente por el maestro DP.
- Ahora es el Link es encargado de interrogar a los esclavos PA mediante servicios cíclicos y guardar toda la información de los mismos en un buffer, el cual podrá ser leído cíclicamente por el PLC maestro de la red Profibus DP.

DP/PA Link

Características del DP/PA Link:

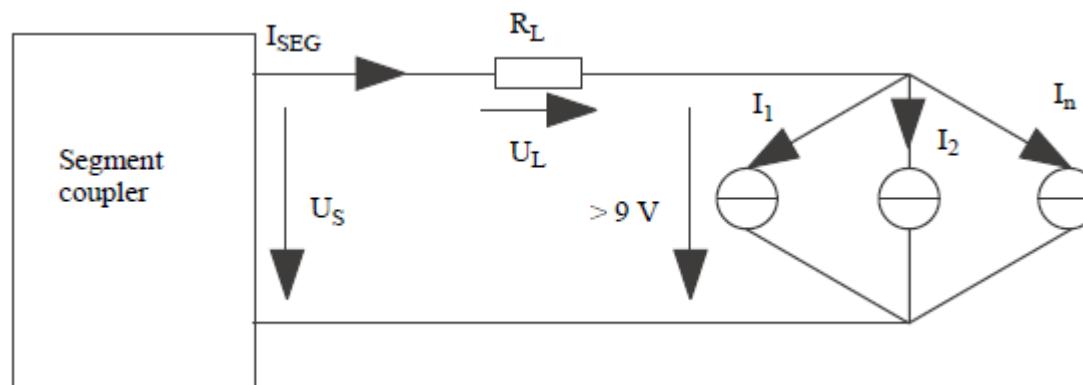
- Los campos de direcciones de las redes Profibus DP y Profibus PA son independientes.
- Según el modelo, puede soportar más de un power link.
- Soporta cualquier velocidad de transmisión del lado PROFIBUS DP (9.6 kBit/s a 12MBit/s).
- El DP/PA Link no es transparente y por lo tanto se debe modificar su GSD para que contenga toda la información de I/O correspondiente a los esclavos PA que tiene conectados. Hay herramientas de software creadas para dicha tarea.
- El link está sometido a las mismas limitaciones que otros esclavos Profibus DP. No puede tener más de 244bytes de Entrada y 244 bytes de Salida, lo cuál hace que esto pueda ser un problema en redes PA con muchos equipos o equipos con gran cantidad de E/S.

Voltaje en el último instrumento Profibus PA

- La resistencia del cable causa una caída de tensión en el segmento de la red Profibus PA.
- Esta caída de tensión es mayor en el dispositivo más lejano al acoplador.
- Debe asegurarse que la tensión en este dispositivo sea mayor a 9V (mínima tensión de operación).
- Hay dos maneras de hacer este chequeo:
 - Cálculo del peor caso
 - Cálculo preciso

Cálculo de peor caso

El peor caso será cuando todos los dispositivos estén ubicados al final del bus.
El circuito equivalente será el siguiente:



$$U_B = U_S - (I_{SEG} \times R_{SEG})$$

whereby: U_B = Voltage at last device

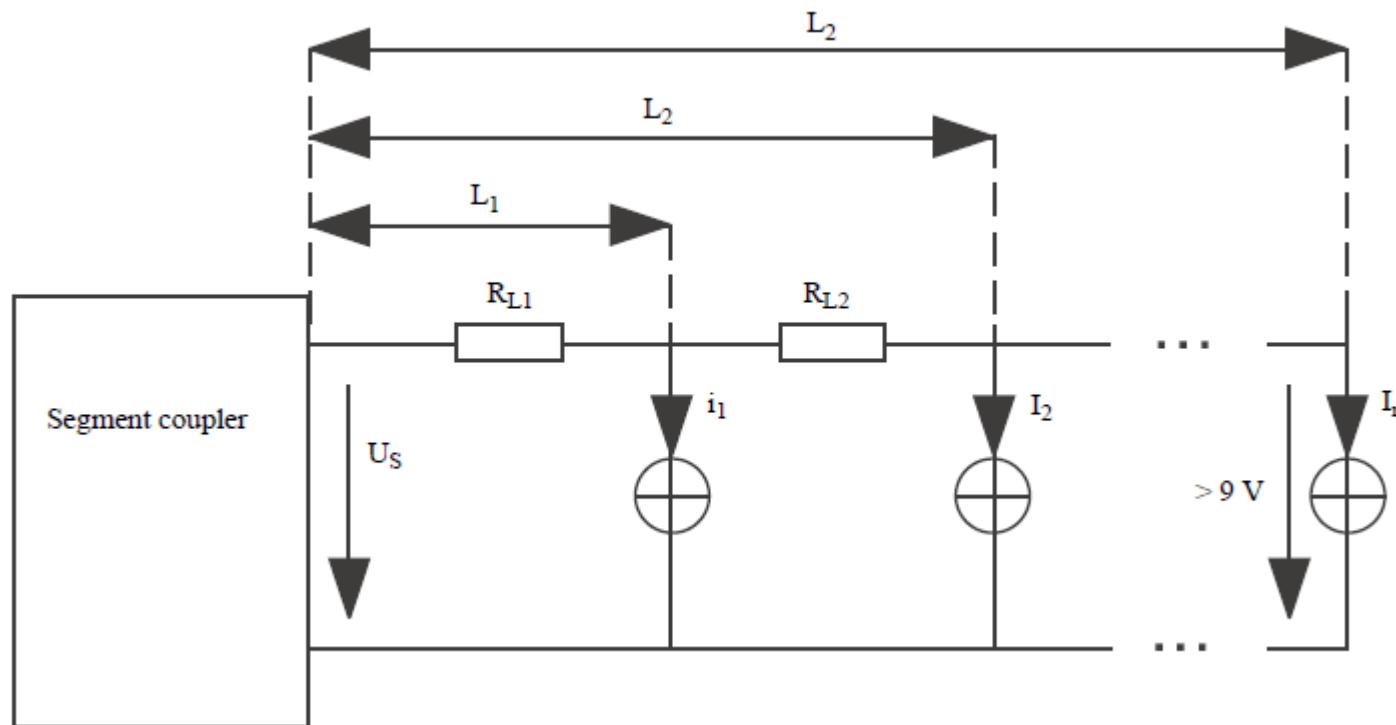
U_S = Output voltage of the segment coupler (manufacturer's data)

I_{SEG} = Current consumed on the segment ($\sum I_B + \text{max. } I_{FDE}$, see Section 4.3)

R_{SEG} = Cable resistance = bus length x specific resistance

Cálculo preciso

Este cálculo tiene en cuenta la distribución real de los dispositivos en el bus. El circuito equivalente es el siguiente:



Cálculo preciso

Each station causes a voltage drop on the length segment through which its power supply current flows. For the first station, this would be:

$$\begin{aligned} U_{RL1} &= I_1 \times R_{L1} \\ &= I_1 \times L_1 \times \rho ; \end{aligned}$$

where ρ = the specific resistance bus cable in Ω/km
 L_1 = length of line segment 1 in km, measured from the terminals of the coupler

For the second station, the following applies:

$$\begin{aligned} U_{RL2} &= I_2 \times (R_{L1} + R_{L2}) \\ &= I_2 \times L_2 \times \rho \end{aligned}$$

In general, the voltage drop over the entire bus segment U_{RL} is:

$$U_{RL} = \rho \times \sum_{x=1}^n [I_x \times L_x]$$

The segment is in order when:

$$U_{RL} = U_s - 9 \text{ V}$$

where U_s is the supply voltage

Cálculo del largo máximo de la red Profibus PA

La tensión en el último dispositivo debe ser igual o mayor a 9V, con lo cual la máxima caída de tensión en la red será:

$$U_{Lmax} = U_S - 9V$$

Donde:

U_{Lmax} = la máxima caída de tensión admisible en el bus

U_S = tensión de salida del acoplador del segmento Profibus PA (dato del fabricante)

El correspondiente largo de la red en metros será:

$$L = \frac{1000 * U_{Lmax}}{I_{SEG} * \rho}$$

Donde:

I_{SEG} = corriente total consumida por todos los dispositivos conectados al bus

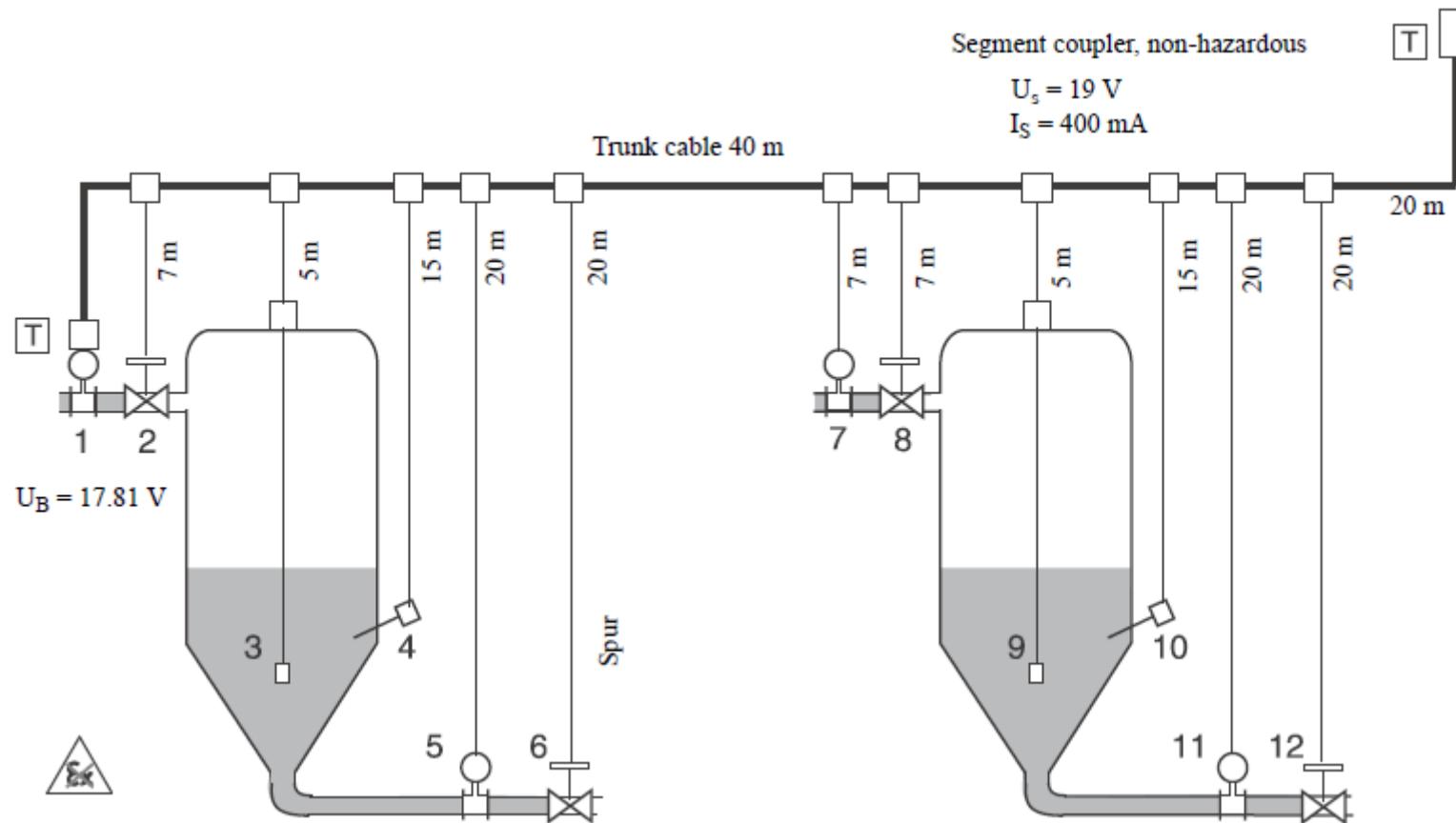
$$= \sum I_B + \max I_{FDE}$$

ρ = resistencia de los conductores del cable Profibus PA (loop)

Ejercicio ejemplo:

Calculation example for a PROFIBUS PA segment in a non-hazardous area with the architecture shown in Fig. 4.3. Used components:

- Segment coupler non-hazardous area: Siemens, $I_S = 400 \text{ mA}$, $U_s = 19 \text{ V}$.
- Cable: Lapp, specific resistance of cable = $44 \Omega/\text{km}$



Ejercicio ejemplo:

**Cable length
(worst case)**

Max. loop resistance, non-hazardous area (see Table 5-2)	39 Ω
Specific resistance of cable	44 Ω/km
Max. length (m)= 1000 x (loop resistance/specific resistance) 1000 x (39 Ω/44 Ω) =	886 m
Length of trunk cable	60 m
Total length of spurs	141 m
Total length of cable (= trunk cable + spurs) L_{SEG}	201 m
Total length of cable L_{SEG} 201 m < Max. length 886 m	OK!

Ejercicio ejemplo:

Current consumption

No.	Device	Manufacturer	Tag	Basic current	Fault current
1	Promass 83	Endress+Hauser	FIC122	11 mA	0 mA
2	Positioner	—	FV121	10 mA	0 mA
3	Levelflex M	Endress+Hauser	LIC124	11 mA	0 mA
4	TMT 184	Endress+Hauser	TIC123	11 mA	0 mA
5	Promass 83	Endress+Hauser	FIC126	11 mA	0 mA
6	Positioner	—	FV125	10 mA	6 mA
7	Promass 83	Endress+Hauser	FIC222	11 mA	0 mA
8	Positioner	—	FV221	10 mA	0mA
9	Levelflex M	Endress+Hauser	LIC224	11 mA	0 mA
10	TMT 184	Endress+Hauser	TIC223	11 mA	0 mA
11	Promass 83	Endress+Hauser	FV226	11 mA	0 mA
12	Positioner	—	VIC225	11 mA	4 mA
Max. fault current (max. I_{FDE})				6mA	
Current consumption $I_{SEG} = \sum I_B + \text{max. } I_{FDE}$				135 mA	
Output current of segment coupler I_s				400 mA	
$I_s \geq \sum I_B + \text{max. } I_{FDE}?$				Yes	OK!
					47

Ejercicio ejemplo:

Voltage at last device

Output voltage of segment coupler U_S (manufacturer's data)	19.00 V
Specific resistance of cable R_K	44 Ω/km
Total length of cable L_{SEG}	201 m
Resistance of cable $R_{SEG} = L_{SEG} \times R_K$	8.844 Ω
Current consumption of segment I_{SEG}	135 mA
Voltage drop $U_A = I_{SEG} \times R_{SEG}$	1.19 V
Voltage at last device $U_B = U_S - U_A$	17.8 V
	≥ 9 V
	OK!

Conclusion

Result of the calculations:

- Cable length: OK
- Current consumption: OK
- Voltage at last device: OK

From the point of view of the architecture, the segment in Example 1 can be operated with a standard segment coupler with an output current of 400 mA.

Tiempo de ciclo

- El tiempo de ciclo con el cual se actualizan los datos de entrada y salida en el PLC debe ser tenido en cuenta al momento del diseño del sistema de control.
- Cuando utilizamos Profibus PA, un mal diseño puede hacer que las entradas y salidas se actualicen muy lentamente.
- El tiempo de ciclo estará marcado por el tiempo necesario para actualizar los datos presentes en todos los equipos de la red.
- El tiempo de ciclo total de actualización de las entradas y salidas en el PLC se calcula como (peor caso):

Tiempo de ciclo total = Tiempo de ciclo interno del PLC para actualizar sus entradas y salidas + Tiempo de ciclo de la red Profibus DP + Tiempo de la red Profibus PA

Tiempo de ciclo Profibus PA

El tiempo de ciclo Profibus PA depende de:

- El número n de equipos en la red
- La cantidad de datos L de los esclavos en la red

La cantidad de datos efectiva L se calcula como la sumatoria de la cantidad de datos de entrada y salida de todos los dispositivos (en bytes).

$$\text{TCycle_PA_Channel} = (0.256 \text{ ms} * L) + (n * 12 \text{ ms}) + 40 \text{ ms}$$

Tiempo de ciclo Profibus DP

El tiempo de ciclo en Profibus DP se calcula aproximadamente como:

$$\text{TCycle_DP} = \text{Tbit} * n * 500 + 11 * \text{Tbit} * L$$

n = el número de esclavos PROFIBUS DP/PA

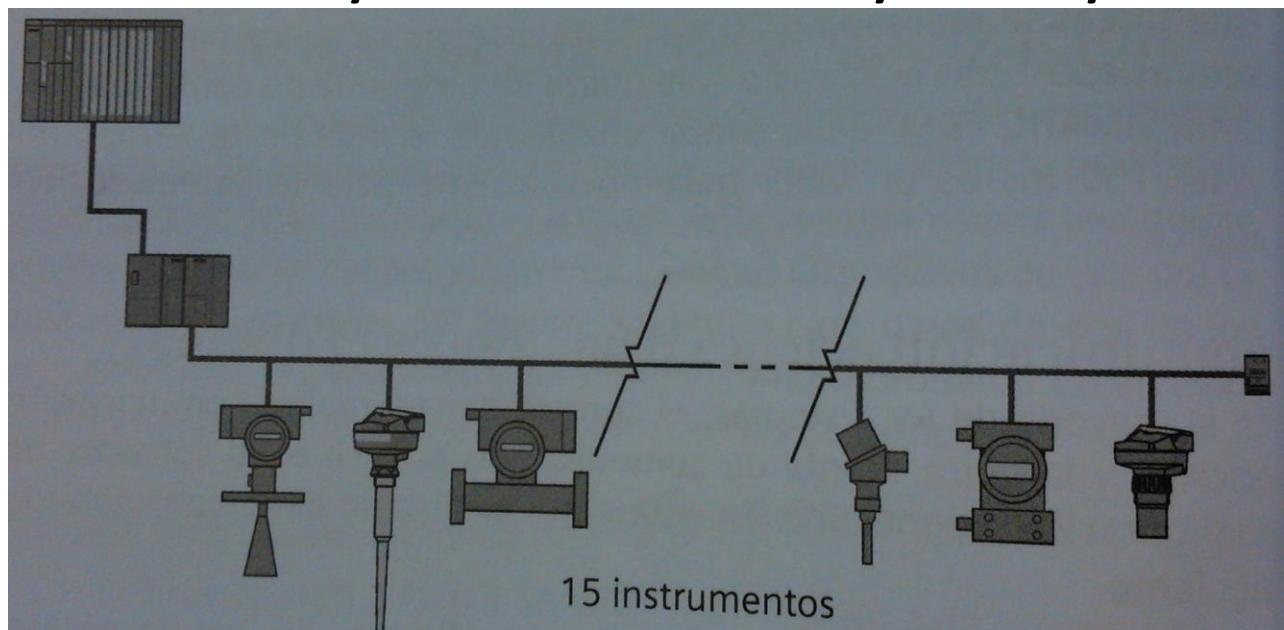
L = la suma de la cantidad de bytes de entrada y salida de todos los esclavos PROFIBUS DP/PA

TBit = bit time = $1/\text{transfer rate}$

Nota: La ecuación anterior asumen que hay un solo maestro en la red y que no hay tráfico de telegramas acíclicos.

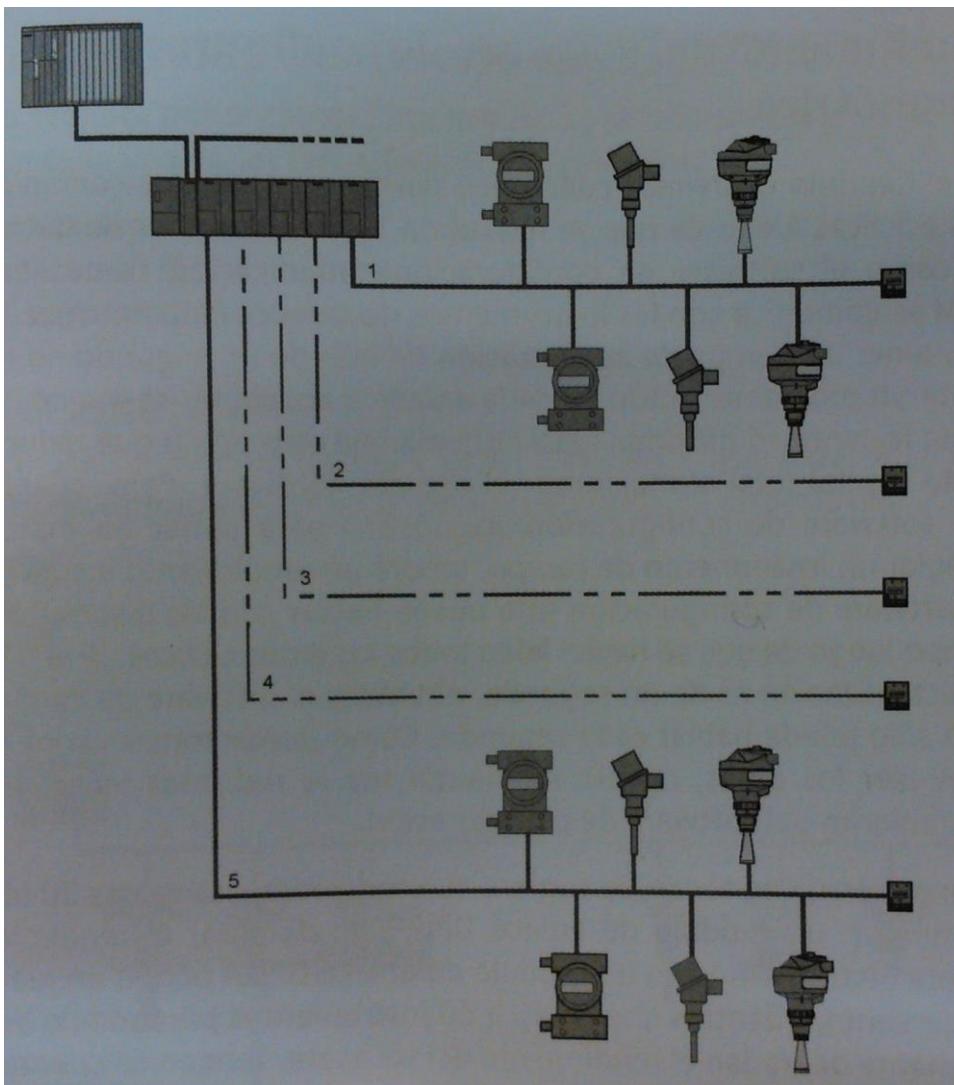
Ejemplo 1

Una red Profibus PA de 15 instrumentos, cada uno con un byte de entrada y un byte de salida.



$$\text{TCycle_PA_Channel} = (0.256 \text{ ms} * 30) + (15 * 12 \text{ ms}) + 40 \text{ ms} = 227,68 \text{ mseg}$$

Ejemplo 2



El gateway DP/PA (Coupler o DP/PA Link) posee cinco segmentos (5 power links), cada uno con 6 instrumentos. Cada instrumento tiene un byte de entrada y un byte de salida.

Ejemplo 2

Tiempo de ciclo de la red PA = Tiempo de ciclo segmento 1 + Tiempo de ciclo segmento 2 + ... + Tiempo de ciclo segmento 5

Tiempo de ciclo segmento 1 = $(0.256 \text{ ms} * 12) + (6 * 12 \text{ ms}) + 40 \text{ ms} = 115 \text{ mseg}$

Tiempo de ciclo segmento 2 = $(0.256 \text{ ms} * 12) + (6 * 12 \text{ ms}) + 40 \text{ ms} = 115 \text{ mseg}$

Tiempo de ciclo segmento 3 = $(0.256 \text{ ms} * 12) + (6 * 12 \text{ ms}) + 40 \text{ ms} = 115 \text{ mseg}$

Tiempo de ciclo segmento 4 = $(0.256 \text{ ms} * 12) + (6 * 12 \text{ ms}) + 40 \text{ ms} = 115 \text{ mseg}$

Tiempo de ciclo segmento 5 = $(0.256 \text{ ms} * 12) + (6 * 12 \text{ ms}) + 40 \text{ ms} = 115 \text{ mseg}$

Tiempo de ciclo de la red PA = 575 mseg

Actuator Sensor Interface

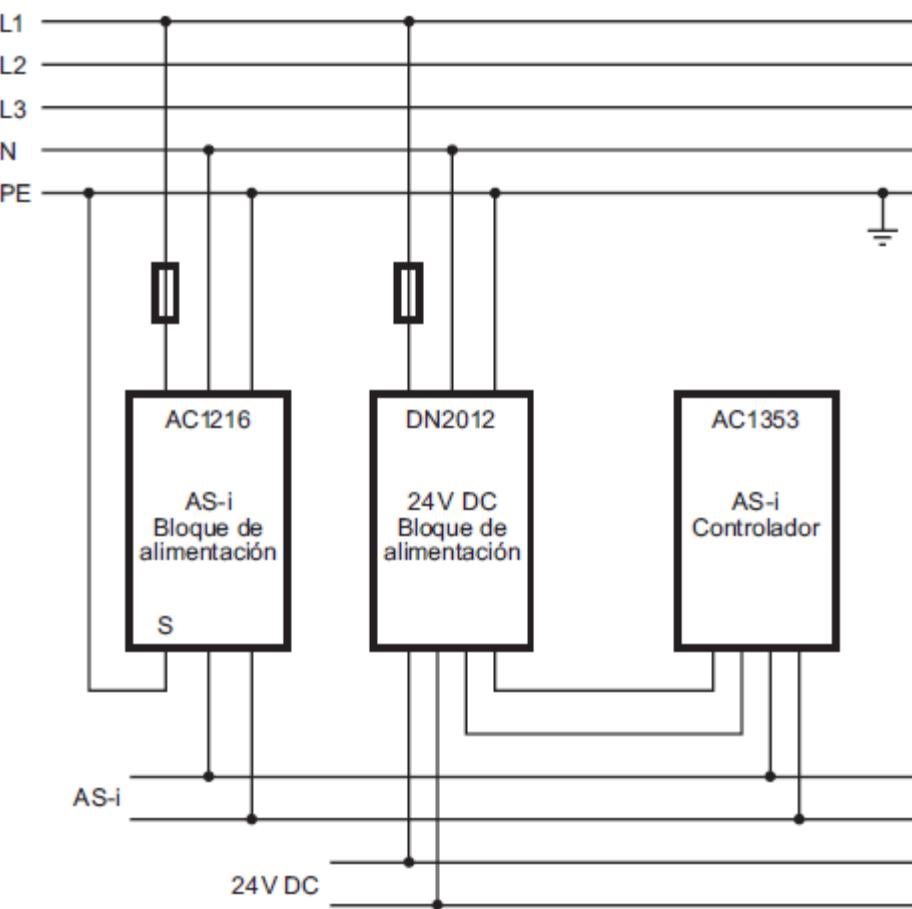
Bus de campo de bajo nivel dedicado a comunicar sensores y actuadores (principalmente digitales) con un PLC u otro dispositivo.

Fue creado en 1994 por un grupo de empresas Alemanas entre las cuales se encuentra Balluff, Siemens, Festo, Leuze, Pepperl+Fuchs, Sick, Turk y otras.

Características del Bus AS-i

- Posee alimentación y datos en el mismo cable
- Sistema Maestro-Esclavo con un solo maestro por red
- Permite hasta 62 esclavos por red
- No requiere el uso de terminadores
- Topología de la red muy flexible y con buena inmunidad al ruido
- Cubre distancias de 100m o hasta 600m con repetidores
- Los telegramas son simples, cortos y de largo fijo
- El maestro interroga cíclicamente a sus esclavos
- El tiempo de ciclo de una red completa con 62 esclavos es aproximadamente 10mseg

Componentes de la red AS-i

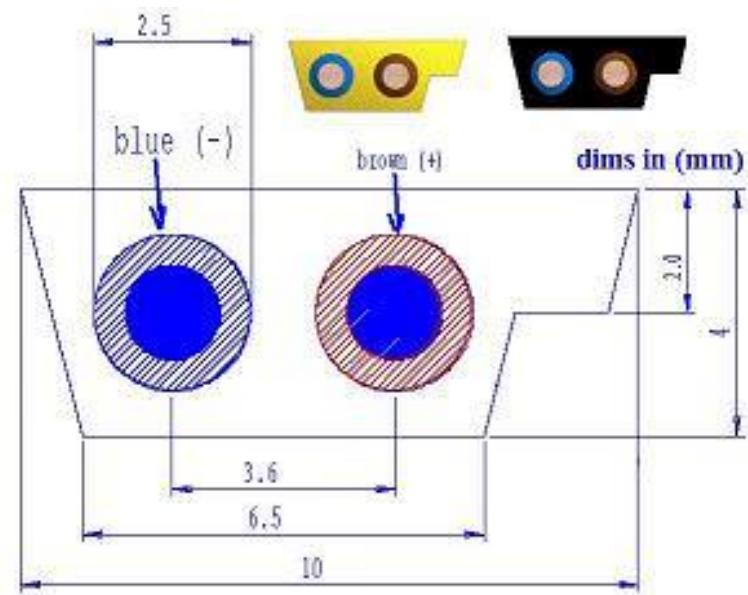


Una red AS-i requiere de:

- un maestro o controlador
- una fuente AS-i para energizar la red
- esclavos

El cable AS-i

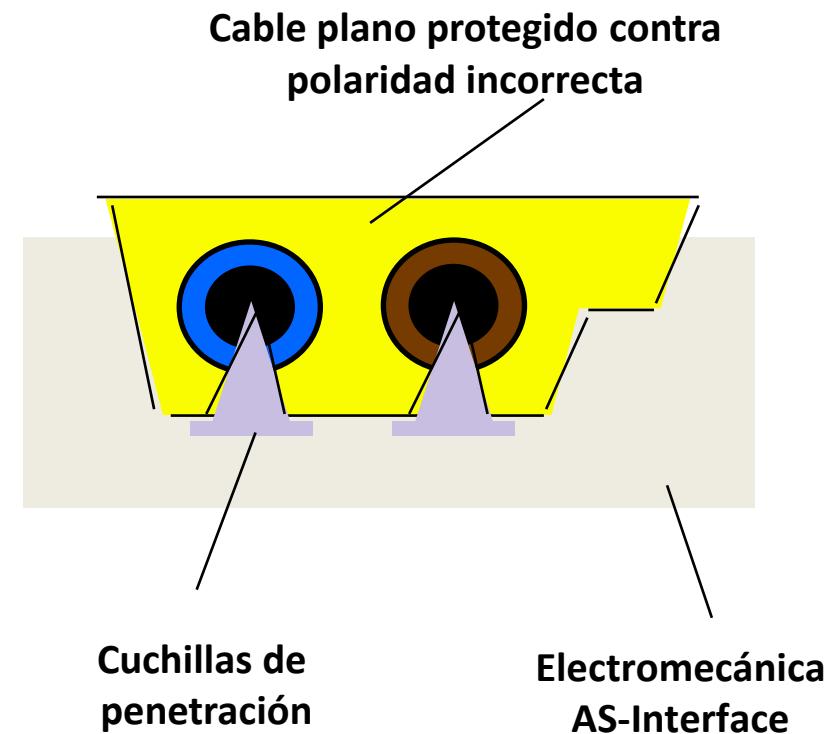
- Cable plano codificado protegido contra polaridad incorrecta.
- No tiene malla.
- Tiene dos conductores de 1,5mm².
- De color amarillo para el Bus AS-i y de color negro para la tensión auxiliar de alimentación de 24VDC.
- Resistencia de 26,6mΩ/m.



Conexión del cable AS-i

El conector o el esclavo posee unas cuchillas de penetración que hacen contacto con los conductores del cable.

El cable es auto-cicatrizable y permite un grado de protección IP67 (inmerso en 1m durante 30min).



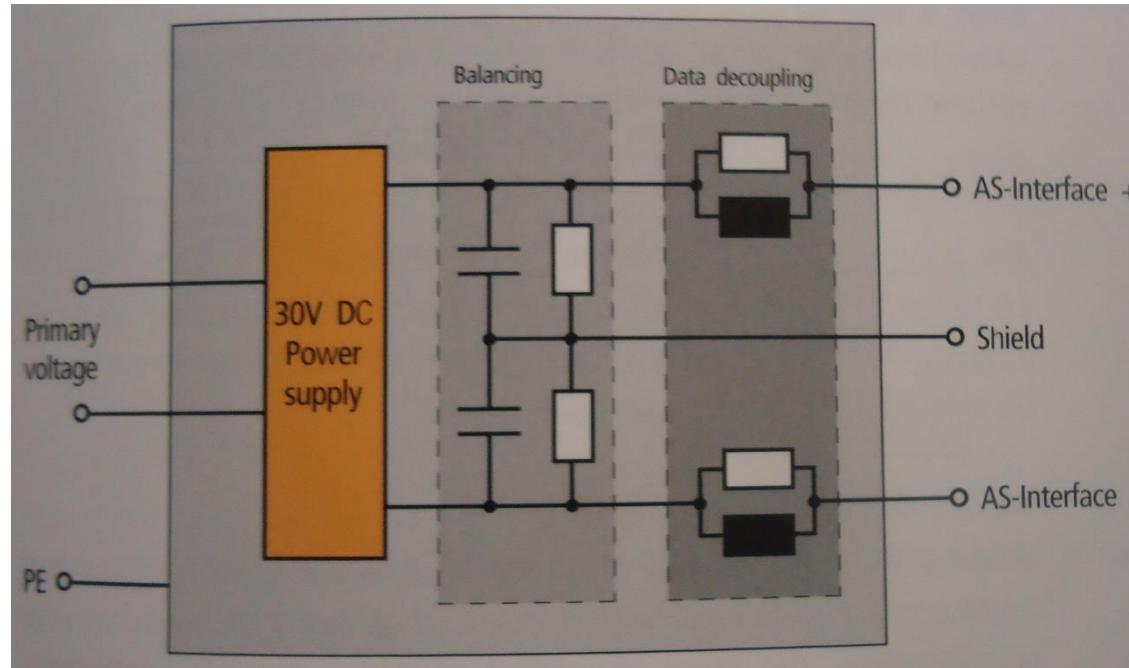
La fuente de tensión AS-i

Las fuentes de tensión para redes AS-i suministran una tensión entre 29,5V y 31,6V con corrientes de salida de hasta 8A.

La fuente es también utilizada para balancear la red AS-i. Solo en este punto la red AS-i es conectada a tierra.

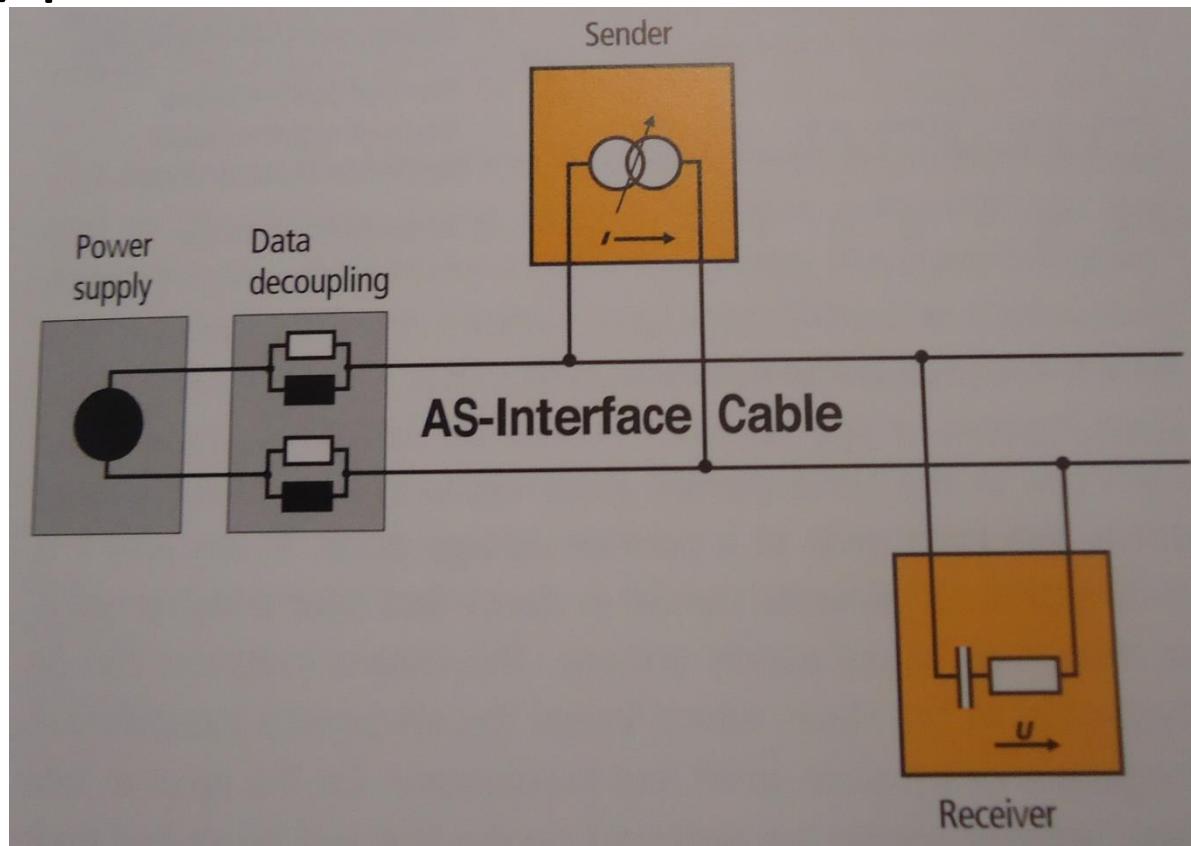
La fuente desacopla los datos, mide el desbalance con respecto al punto medio

La fuente también posee un circuito L-R (50mH y 39Ω)para desacoplar los datos.

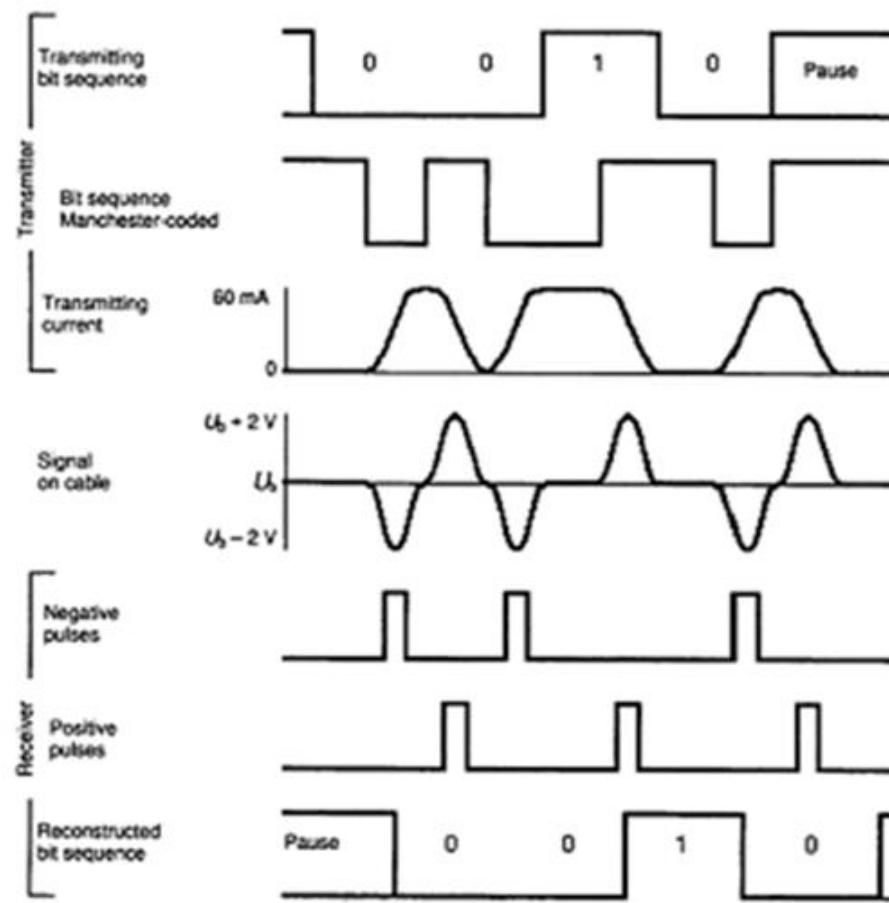


Funcionamiento del bus AS-i

AS-i utiliza una modulación de pulsos alternada (APM) para la transmisión serie.



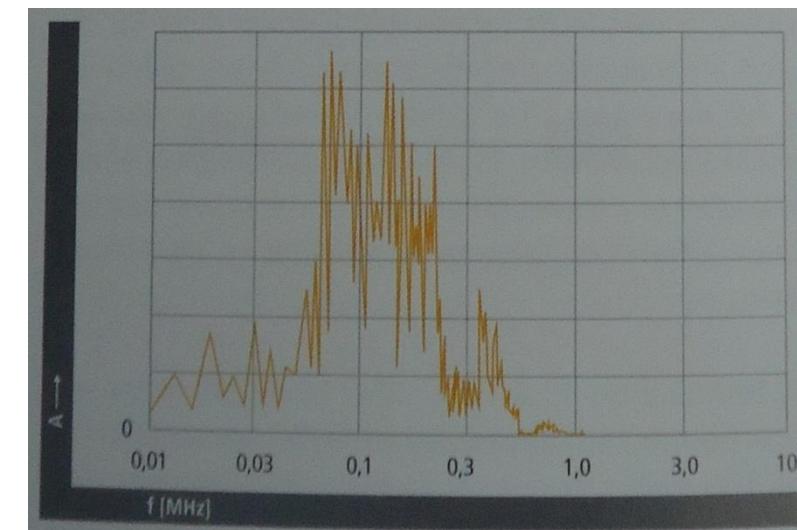
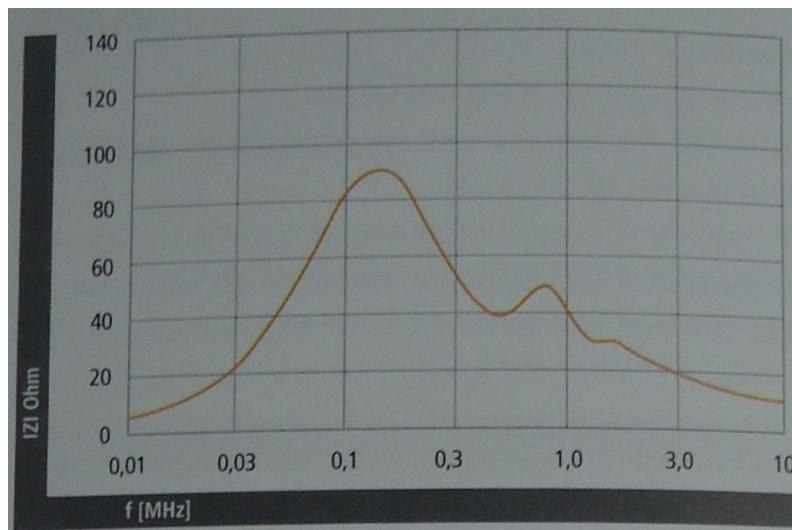
Funcionamiento del bus AS-i



- La secuencia de bits a enviar primero es codificada en código manchester.
- Luego esa codificación es convertida en una variación de la corriente.
- Un inductor en el sistema hace que la tensión quede desfasada 90° respecto de la corriente.
- Luego los pulsos de tensión son recibidos por el otro dispositivo y decodificados.

Funcionamiento del bus AS-i

Si para generar los pulsos de corriente se utiliza una forma de onda equivalente a la integral de un \sin^2 , entonces los pulsos de tensión tendrán forma de \sin^2 y el ancho de banda será reducido. El cable AS-i ha sido especialmente diseñado para ajustarse al espectro de la señal utilizada. Con esta tecnología de modulación se pueden transmitir bits de 6mseg de duración, obteniendo tasa de transmisión de 167kbps.



Funcionamiento del bus AS-i

Hay solo dos tipos de telegramas:

- Los enviados por el maestro
- Las respuestas de los esclavos

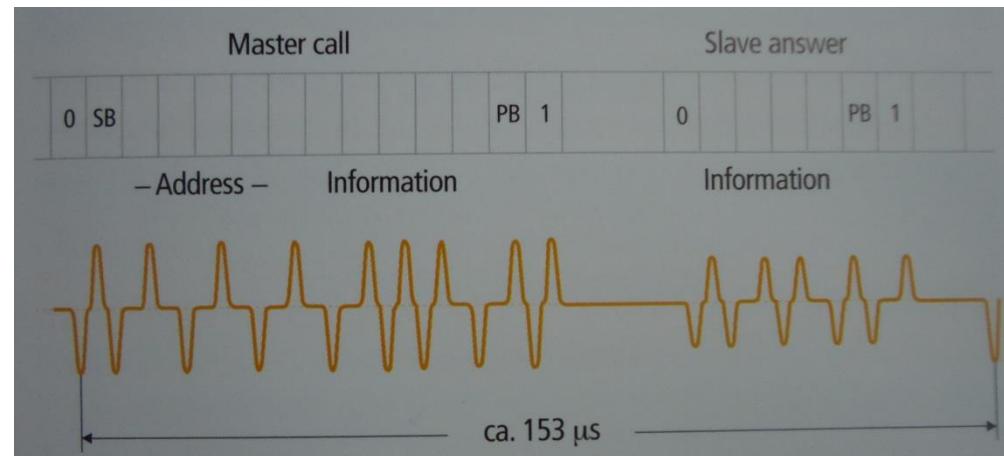
Una secuencia completa consiste en:

- Un pedido del maestro (14 bits)
- Una pausa del maestro (2 a 10 bits)
- La respuesta del esclavo (7 bits)
- Una pausa del esclavo (1,5 a 2 bits)

Un tiempo de bit equivale a $6\mu s$.

Funcionamiento del bus AS-i

- El esclavo puede responder a partir del 2do bit de pausa del esclavo y puede demorarse como máximo 10 bits.
- Si finalizada la pausa el maestro no recibe respuesta, el maestro puede repetir su pedido o bien seguir con el próximo esclavo.



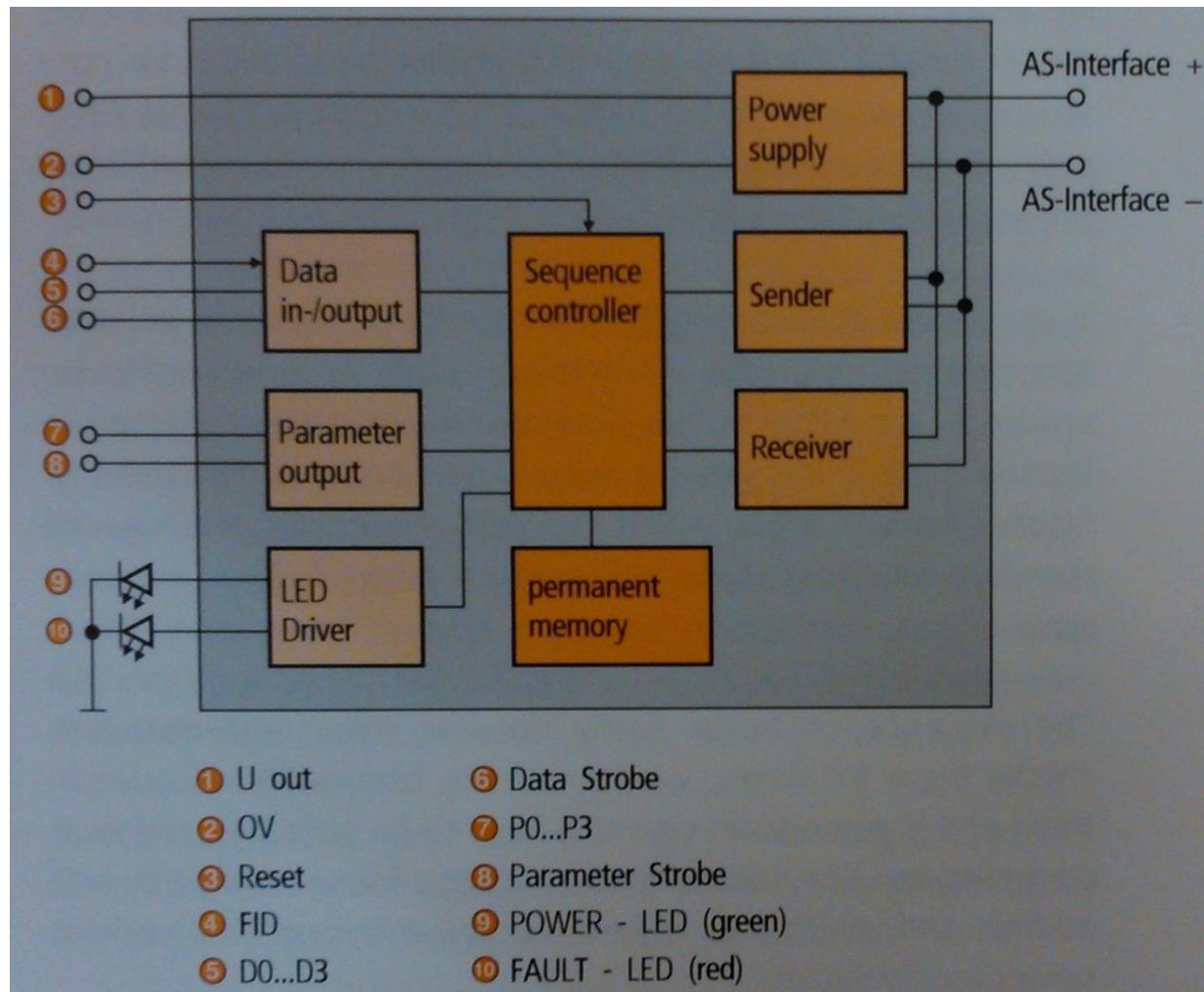
Telegrama Maestro -> Esclavo

Start bit ST	Identifica el comienzo de la trama. 0=Start bit válido; 1= no permitido.
Control bit SB	Identifica el tipo de pedido. 0= data request/parameter request o address assignment; 1=command request.
Address A0...A4	Dirección del esclavo (5 bits).
Information I0...I4	Estos 5 bits contienen la información a transferir al esclavo en función del tipo de pedido.
Parity bit PB	Bit de paridad. Un 1 significa que la paridad es par.
End bit EB	Identifica el fin del pedido. 0= no permitido; 1= end bit válido

Telegrama Esclavo -> Maestro

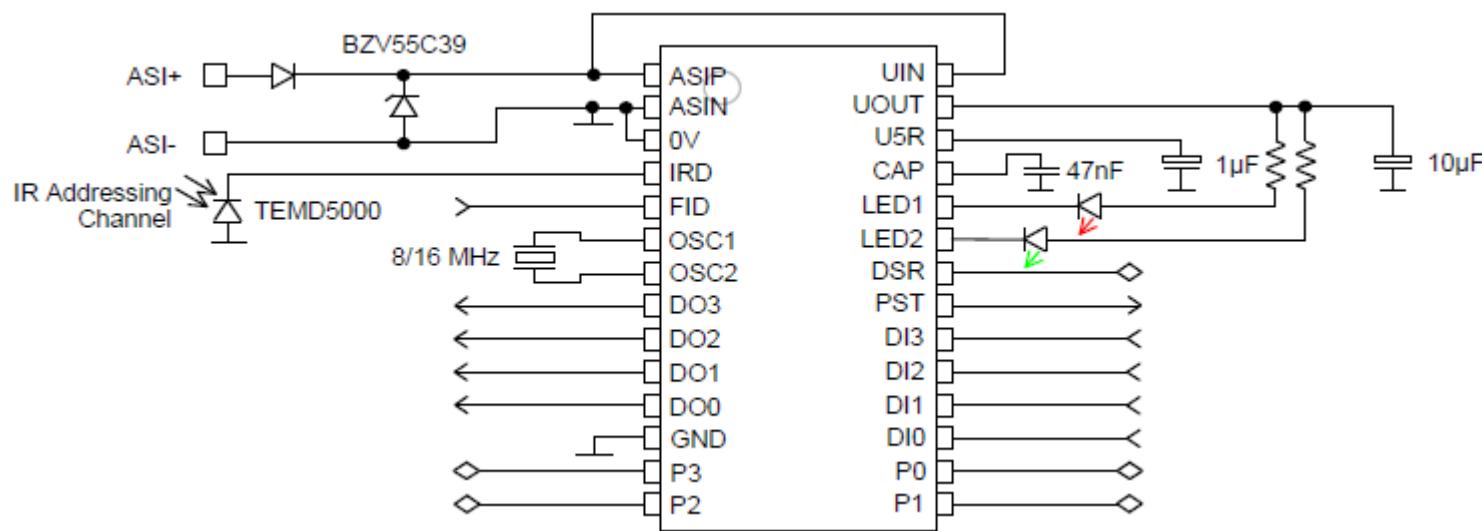
Start bit ST	Identifica el comienzo de la respuesta del esclavo. 0=Start bit válido; 1= no permitido.
Information I0...I3	Estos 4 bits contienen la información a transferir al maestro.
Parity bit PB	Bit de paridad. Un 1 significa que la paridad es par.
End bit EB	Identifica el fin del pedido. 0= no permitido; 1= end bit válido

Estructura de un esclavo AS-i



Integrados AS-i

- Hay varios integrados en el mercado que funcionan como esclavos AS-i. Como el protocolo es abierto, cualquiera puede comprarlos y usarlos libremente. Algunos modelos: AS 2702 de AMS, ASI4U de ZMD, etc...



Comandos del maestro AS-i

	ST	CB	5 bit address						5 bit information					PB	EB
Data request	0	0	A4	A3	A2	A1	A0	0	D3	D2	D1	D0	PB	1	
Parameter request	0	0	A4	A3	A2	A1	A0	1	D3	D2	D1	D0	PB	1	
Address assignment	0	0	0	0	0	0	0	A4	A3	A2	A1	A0	PB	1	
Command request: Write extended ID code 1	0	1	0	0	0	0	0	0	ID3	ID2	ID1	ID0	PB	1	
Command request: Delete address	0	1	A4	A3	A2	A1	A0	0	0	0	0	0	PB	1	
Command request: Reset slave	0	1	A4	A3	A2	A1	A0	1	1	1	0	0	PB	1	
Command request: Read IO configuration	0	1	A4	A3	A2	A1	A0	1	0	0	0	0	PB	1	
Command request: Read ID Code	0	1	A4	A3	A2	A1	A0	1	0	0	0	1	PB	1	
Command request: Read extended ID Code 1	0	1	A4	A3	A2	A1	A0	1	0	0	1	0	PB	1	
Command request: Read extended ID Code 2	0	1	A4	A3	A2	A1	A0	1	0	0	1	1	PB	1	
Command request: Read status	0	1	A4	A3	A2	A1	A0	1	1	1	1	0	PB	1	
Broadcast (reset)	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	PB	1	

Comando Read I/O Configuration

Con este comando el maestro le solicita al esclavo su configuración de entradas y salidas.
La respuesta del esclavo podrá ser:

Code (hexa)	D0	D1	D2	D3
0	IN	IN	IN	IN
1	IN	IN	IN	OUT
2	IN	IN	IN	I/O
3	IN	IN	OUT	OUT
4	IN	IN	I/O	I/O
5	IN	OUT	OUT	OUT
6	IN	I/O	I/O	I/O
7	I/O	I/O	I/O	I/O
8	OUT	OUT	OUT	OUT
9	OUT	OUT	OUT	IN
A	OUT	OUT	OUT	I/O
B	OUT	OUT	IN	IN
C	OUT	OUT	I/O	I/O
D	OUT	IN	IN	IN
E	OUT	I/O	I/O	I/O
F	TRI	TRI	TRI	TRI

IN= Entrada

OUT= Salida

I/O= Bidireccional

TRI= Sin función

La configuración de entradas y salidas la fija el fabricante al fabricar el equipo y no puede ser modificada.

Comando Read Extended ID Code 1 / 2

Este comando le solicita el esclavo que envíe el ID Code para su identificación.

- El ID code es grabado por el fabricante y no puede ser modificado.
- Por ejemplo, una respuesta por parte del esclavo de valor A en hexa, indica que el esclavo posee direccionamiento extendido y un valor B en hexa indica que el esclavo es un esclavo de seguridad.

El ID Code 2 también es grabado por el fabricante y no puede ser modificado.

- Sirve para expandir la posibilidad de identificación de los diferentes tipos de esclavos AS-i.

La combinación del I/O configuration y los ID-Code determinan el perfil del esclavo.

Comando Data Request

Es el comando más frecuente e importante. Es utilizado para escribir las salidas del esclavo y obtener el valor de las entradas en el telegrama de respuesta.

	ST	CB	5 bit address					5 bit information					PB	EB
Data request	0	0	A4	A3	A2	A1	A0	0	D3	D2	D1	D0	PB	1

Comando Address Assignment

Este comando es utilizado para asignarle una dirección al esclavo que tiene la dirección 0 (dirección por defecto de un esclavo). El esclavo demora aproximadamente 500ms escribir su nueva dirección en la memoria no volátil.

Direccionamiento Extendido

La siguiente tabla muestra los comandos del maestro AS-i cuando se utiliza direccionamiento extendido. Sacando un bit de salida y colocando un más de dirección se tienen 64 esclavos con 3 salidas

	ST	CB	5 bit address						5 bit information					PB	EB
Data request	0	0	A4	A3	A2	A1	A0	0	/Sel	D2	D1	D0	PB	1	
Parameter request	0	0	A4	A3	A2	A1	A0	1	/Sel	D2	D1	D0	PB	1	
Address assignment	0	0	0	0	0	0	0	A4	A3	A2	A1	A0	PB	1	
Command request: Write extended ID code 1	0	1	0	0	0	0	0	0	ID3	ID2	ID1	ID0	PB	1	
Command request: Delete address	0	1	A4	A3	A2	A1	A0	0	/Sel	0	0	0	PB	1	
Command request: Reset slave	0	1	A4	A3	A2	A1	A0	1	Sel	1	0	0	PB	1	
Command request: Read IO configuration	0	1	A4	A3	A2	A1	A0	1	Sel	0	0	0	PB	1	
Command request: Read ID Code	0	1	A4	A3	A2	A1	A0	1	Sel	0	0	1	PB	1	
Command request: Read extended ID Code 1	0	1	A4	A3	A2	A1	A0	1	Sel	0	1	0	PB	1	
Command request: Read extended ID Code 2	0	1	A4	A3	A2	A1	A0	1	Sel	0	1	1	PB	1	
Command request: Read status	0	1	A4	A3	A2	A1	A0	1	/Sel	1	1	0	PB	1	
Broadcast (reset)	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	PB	1	

Direccionamiento Extendido

- Este cambio fue implementado en la versión 2.1 en 1998 y mantiene la compatibilidad hacia atrás.
- Por ejemplo, el esclavo extendido con dirección 10A será visto por un maestro viejo como un esclavo con dirección 10.
- Un esclavo viejo conectado a un maestro 2.1 ocupará la dirección completa (A y B).
- Se puede ver como la versión 2.1 sacrifica una DO, pero logra duplicar la cantidad de esclavos conectados al bus (ver fila data request).

LEDs de indicación del módulo AS-i

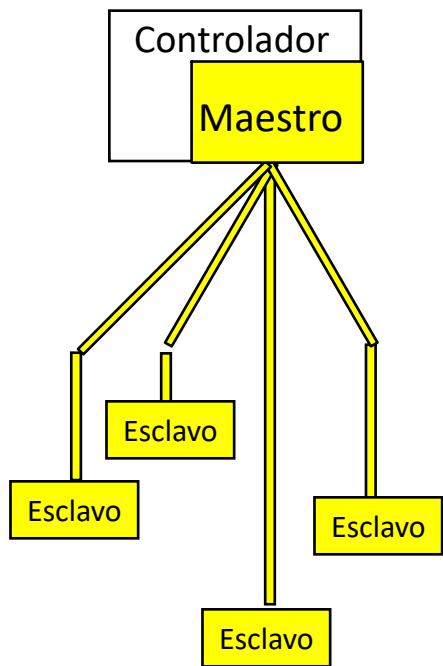
Diagnostic LED			Description
[AS-i]	green	lights	AS-i voltage supply present
[AUX]	green	lights	External voltage supply present
[I1]...[I4] [O1]...[O4]	yellow	lights	Binary input/output is switched on
[FAULT]	red	lights	AS-i communication error, e.g. slave address = 0
		flashes	Peripheral fault **)

**) Indication peripheral fault in the following cases:

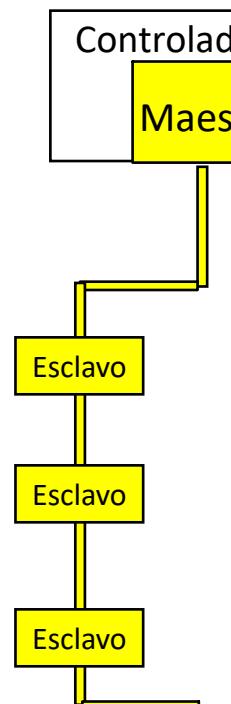
- Lacking auxiliary voltage.
- Overload etc.

Topologías soportadas

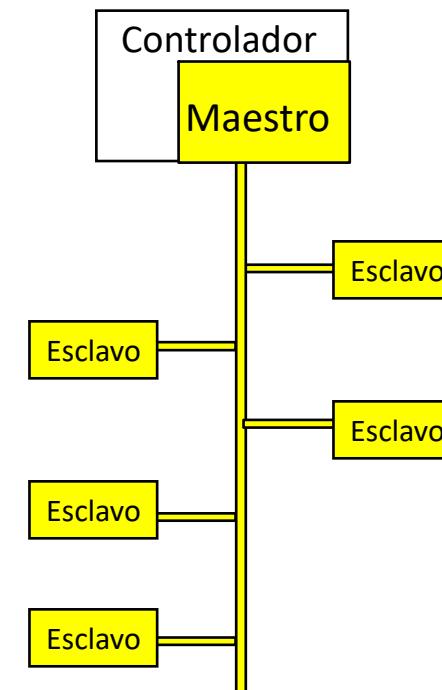
Estrella



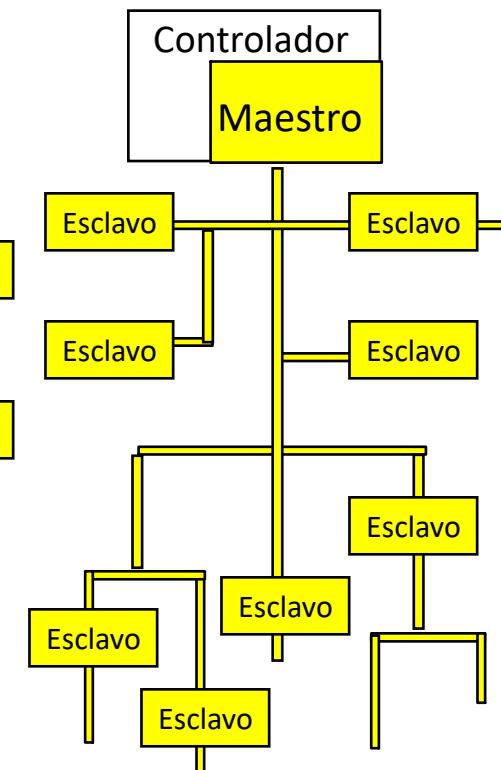
Linea
(La más estable)



Rama



Arbol



Direccionador AS-i



El direccionamiento de los esclavos AS-i se puede llevar a cabo básicamente de dos formas:

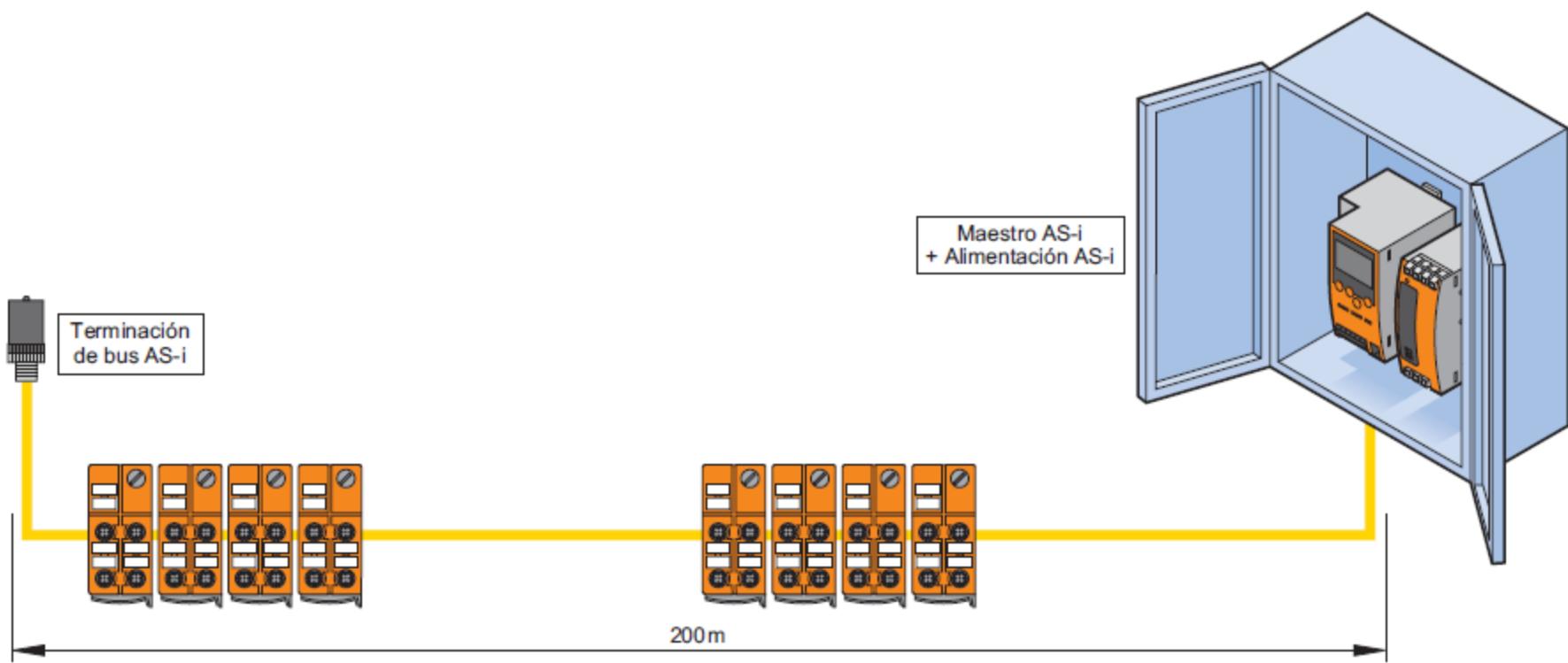
- con una unidad de direccionamiento independiente
- mediante el software en el maestro AS-i

La unidad de direccionamiento tiene las siguientes características:

- **Direccionamiento de esclavos estándar y de direccionamiento extendido**
- Indicación de todos los esclavos AS-i disponibles en el bus
- Lectura y registro de los datos y parámetros de los esclavos
- Indicador de fallos de periféricos de un esclavo

Extensión de cable con terminación de bus

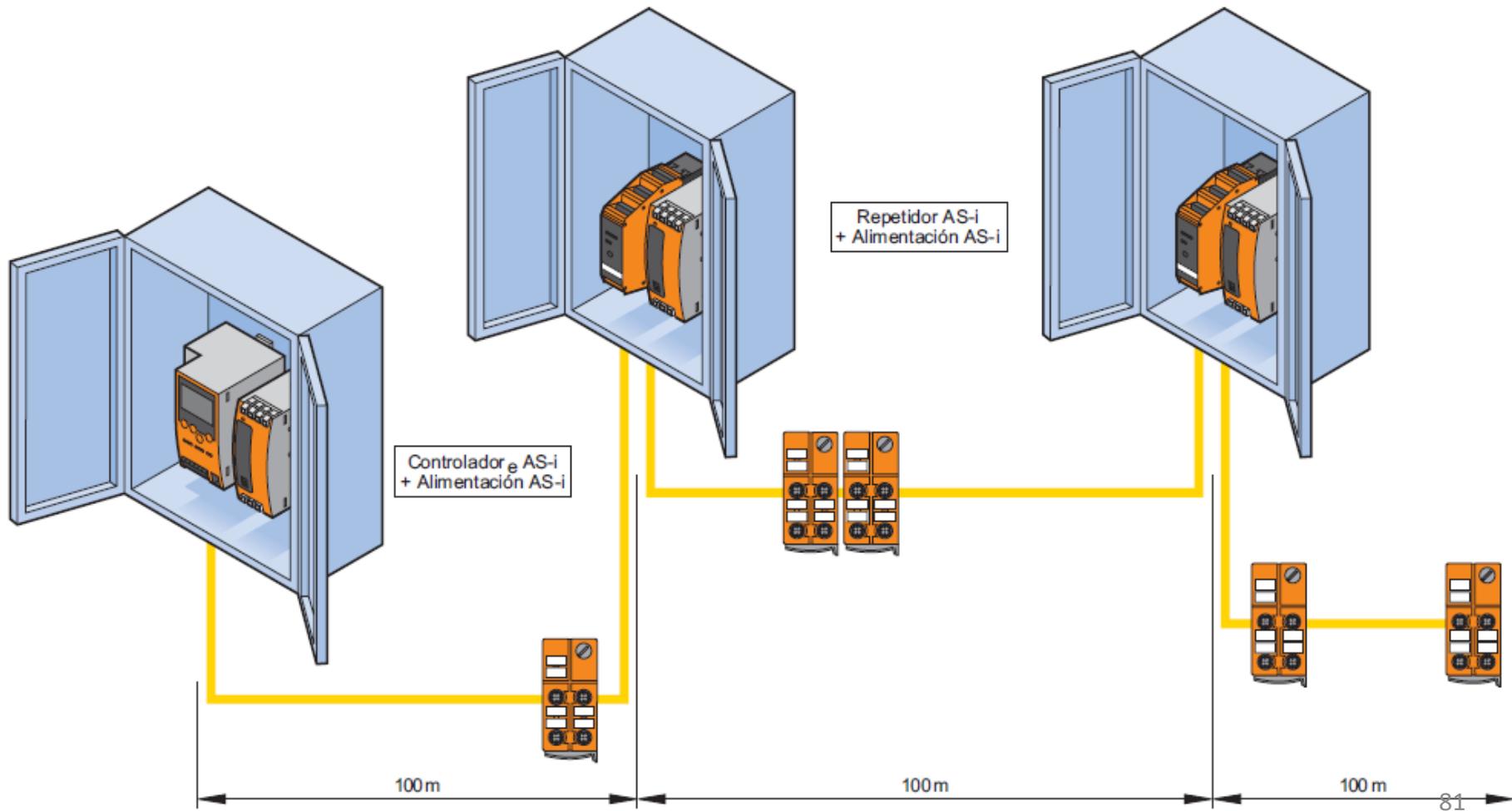
En el mejor de los casos, la terminación de bus duplica también el cable de bus AS-i. No obstante, antes y después del montaje hay que controlar el número de telegramas repetidos mediante un dispositivo apropiado o a través del display del Controlador. Sólo de esta manera se puede llevar un control de la mejora de la calidad de transmisión.



Uso de repetidores AS-i



Los repetidores AS-i se pueden instalar en los armarios eléctricos para poder prolongar la longitud del cable y aumentar el suministro total de corriente. No es posible establecer una conexión en paralelo de alimentaciones AS-i sin repetidores. Se pueden conectar hasta dos repetidores en serie.



Terminador AS-i

Originalmente no previsto por el estándar.

Esta compuesto de una bobina, una resistencia y un capacitor.

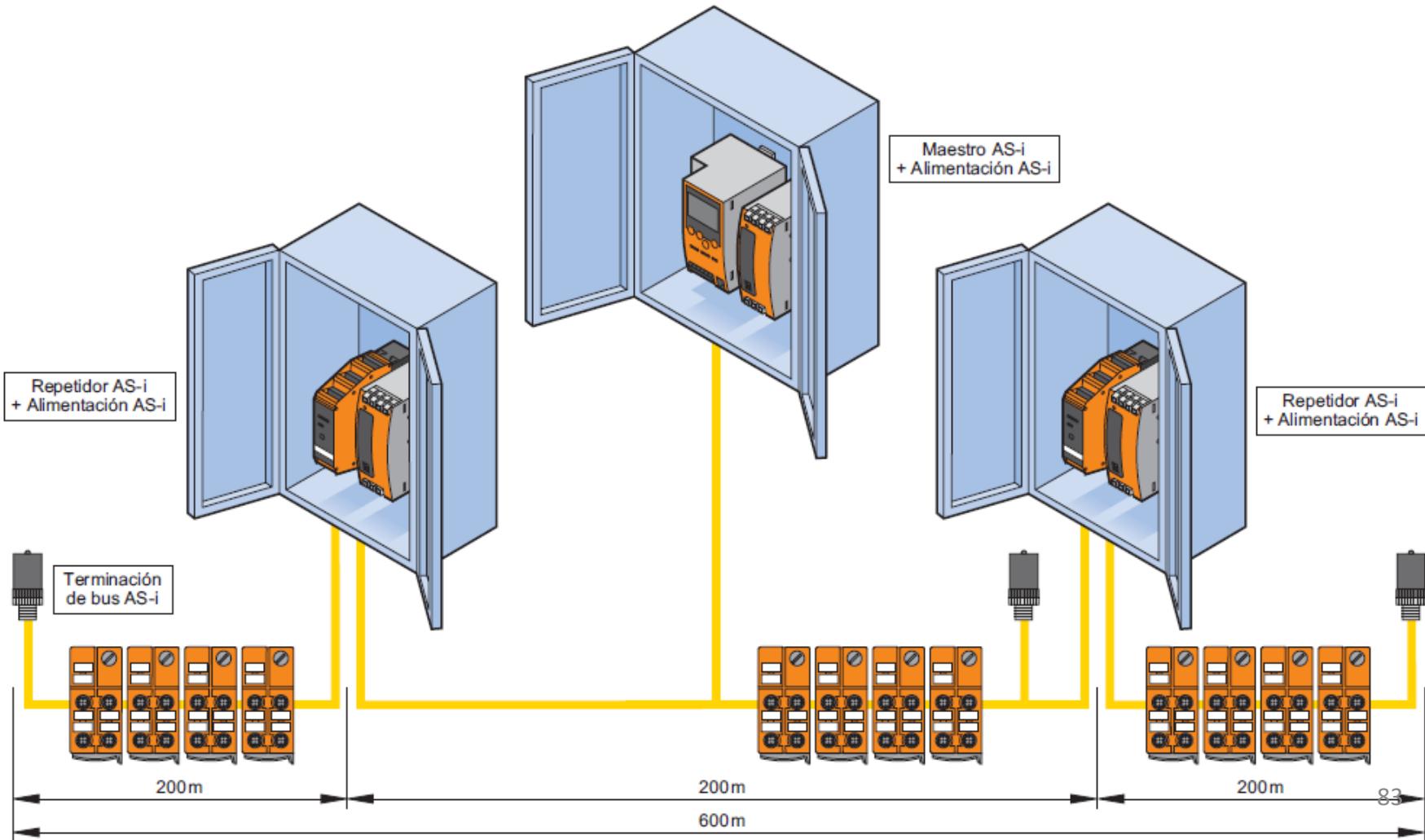
Minimiza las reflexiones en el cable, mejorando la relación señal ruido.

Permite aumentar el alcance de la red a más de 100m.



Extensión máxima posible con repetidores y terminación de bus

La longitud máxima del bus se alcanza empleando 2 repetidores y 2 terminaciones de bus. Puede darse el caso de limitaciones dependiendo del tipo de tendido del cable y de la topología. La configuración de la extensión de cable mencionada anteriormente no es apropiada para las aplicaciones de Safety at Work.



Distribución de pines de los conectores M12

AS-Interface	Auxiliary energy	AS-Interface and auxiliary energy	Binary input	Binary output (semiconductor)
				
1 - AS-Interface +	1 - AUX +	1 - AS-Interface +	1 - U+(24V DC)	1 - U+(24V DC)
2 -	2 -	2 - AUX -	2 - Gate input 1	2 -
3 - AS-Interface -	3 - AUX -	3 - AS-Interface -	3 - 0V	3 - 0V
4 -	4 -	4 - AUX +	4 - Gate input 1	4 - Gate output
5 -	5 - (Gnd)	5 - (Gnd)	5 - (Gnd)	5 - (Gnd)

Binary double input	Binary output (relay)	Analog input	Input for Pt100 sensor	Analog output
				
1 - U+(24V DC)	1 - Change over contact	1 - U +	1 - Iconst +	1 - Out
2 - Gate input 2	2 - Normally closed contact	2 - In +	2 - In +	2 -
3 - 0V	3 -	3 - 0V	3 - Iconst -	3 - 0V
4 - Gate input 1	4 - Normally open contact	4 - In -	4 - In -	4 -
5 - (Gnd)	5 - (Gnd)	5 - (Gnd)	5 - (Gnd)	5 - (Gnd)

Esclavos AS-i seguros

Los esclavos AS-i seguros se utilizan para conectar señales que son criticas en cuanto a seguridad, por ejemplo las paradas de emergencia, sensores en puertas, etc.

Los esclavos seguros se dividen en dos tipos:

- los esclavos inteligentes, integrados directamente en el sensor
- los esclavos en módulo de entrada clásico con hasta dos entradas seguras

A los esclavos seguros se los identifica por tener un valor igual a B en el ID Code.

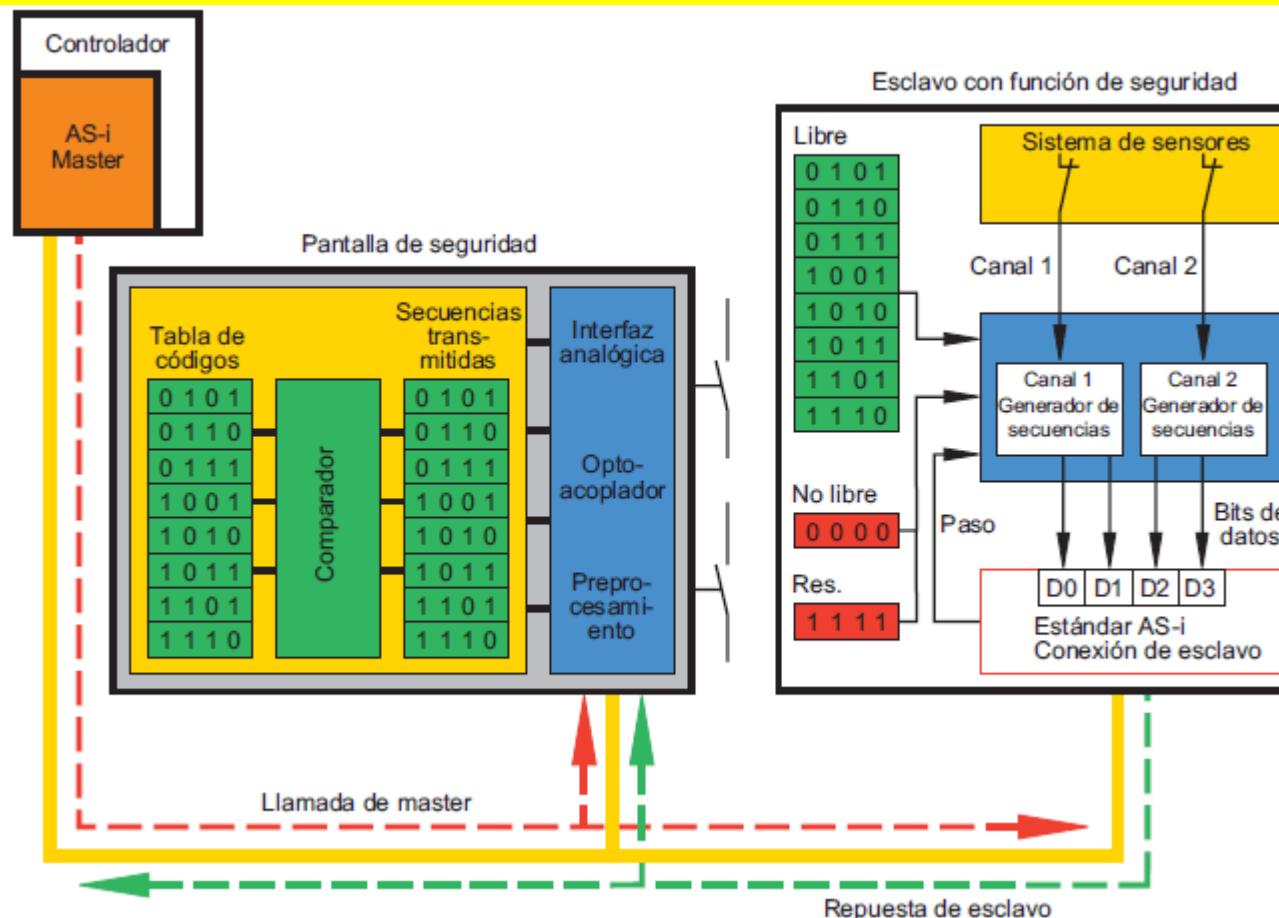
Se pueden conectar como máximo 31 esclavos seguros a un maestro.

El modo de direccionamiento extendido no se puede efectuar con este tipo de esclavos.

Esclavos Seguros

Los esclavos seguros constan de un esclavo AS-i estándar, un generador de secuencias de códigos y la propia secuencia de códigos del mismo esclavo. Hay que tener en cuenta que “0 0 0 0” y “1 1 1 1” están bloqueados y no se pueden utilizar para el intercambio de datos normal.

La secuencia “0 0 0 0” causa la activación inmediata del monitor de seguridad.

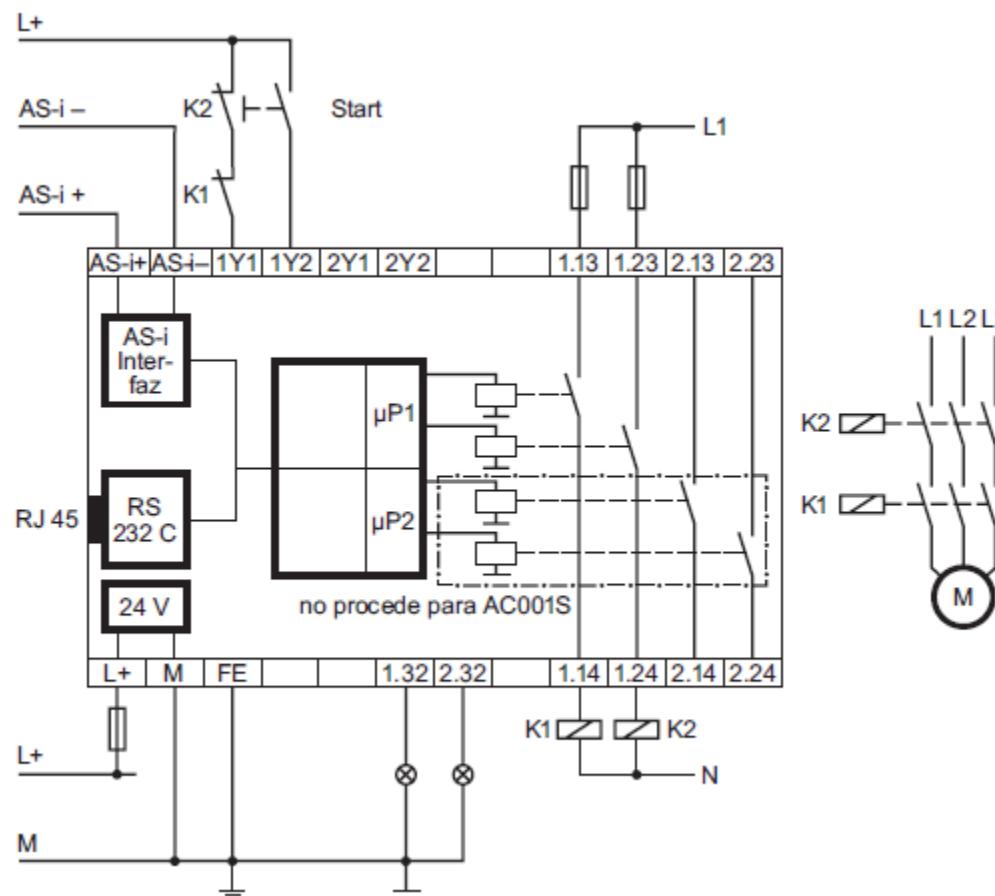


Monitor de Seguridad

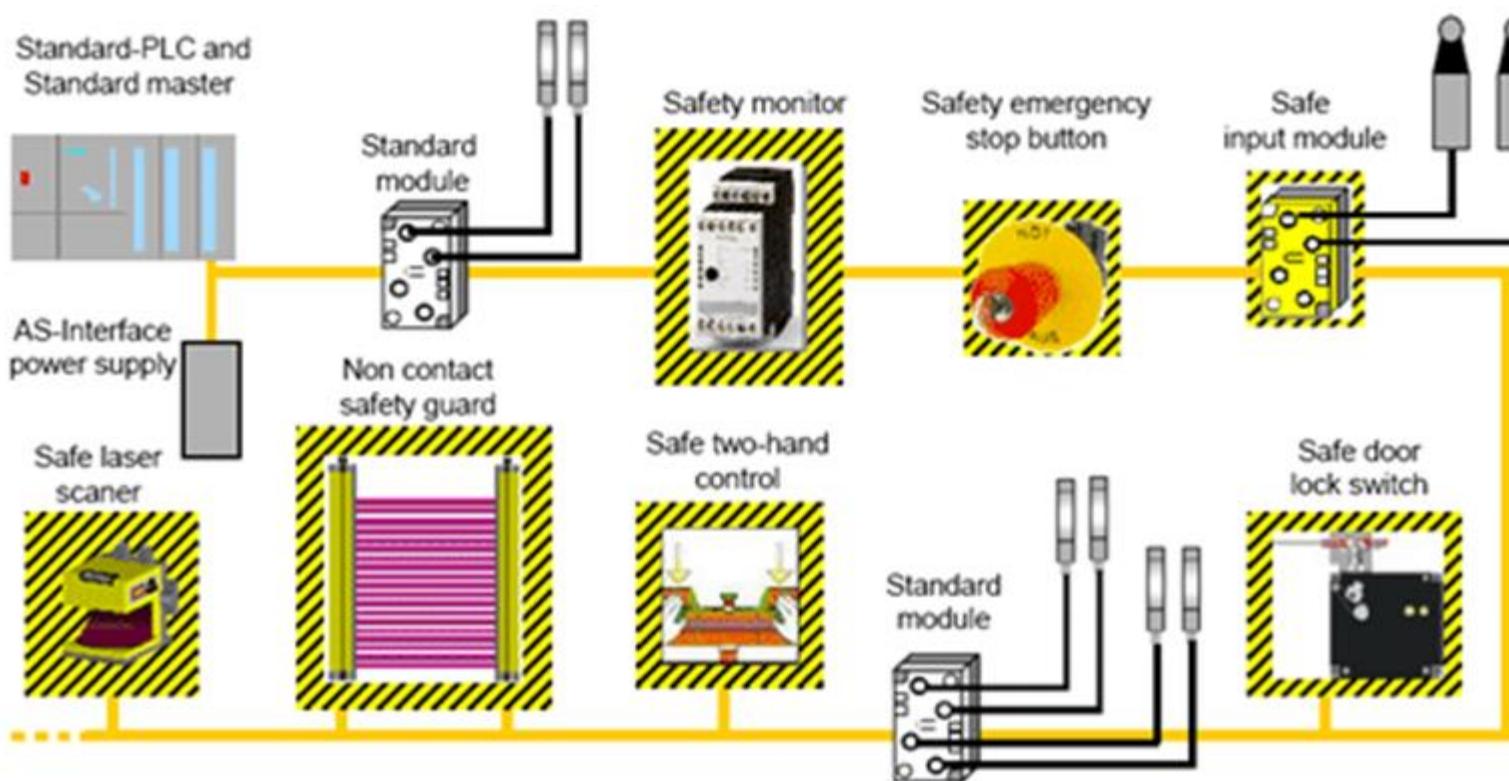
El monitor de seguridad escucha la comunicación en la red entre el maestro y los esclavos.

Con una herramienta de software se programa al monitor de seguridad que condiciones de la imagen de proceso (entradas y salidas de los esclavos seguros y no seguros) hacen que los reles de seguridad se activen.

Monitor de seguridad



Monitor de seguridad



ETHERNET & PROFINET

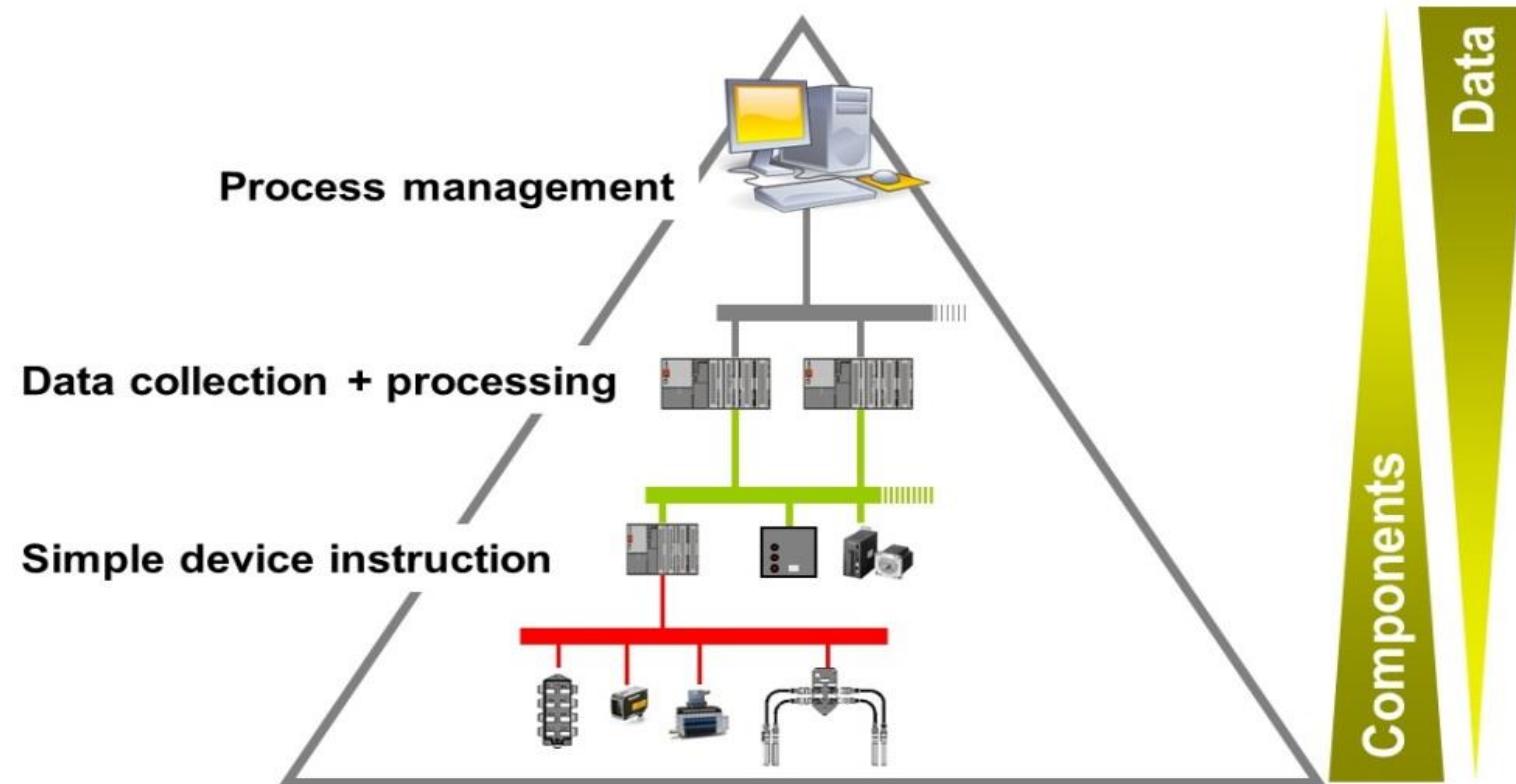
22.88

AGENDA

- Breve repaso buses y topologías
- ETHERNET
- ETHERNET/IP
- PROFINET
- Comparación PROFINET vs PROFIBUS

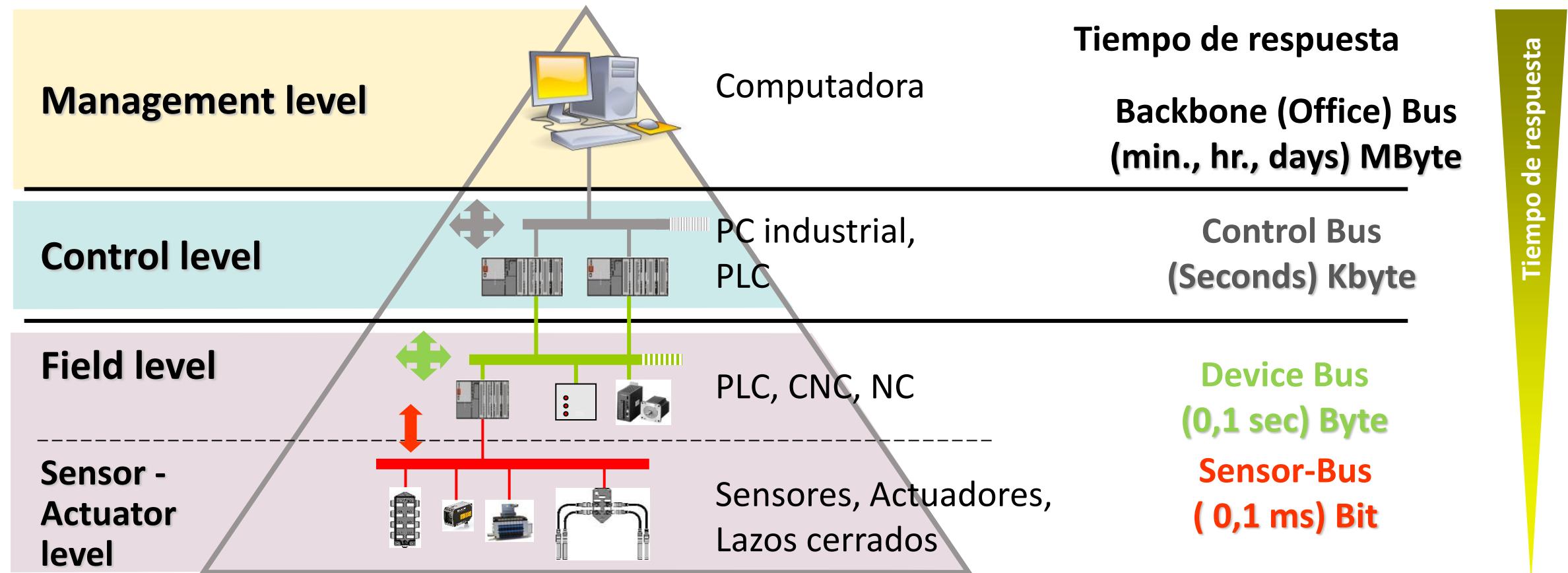
Buses de campo

Pirámide de automatización



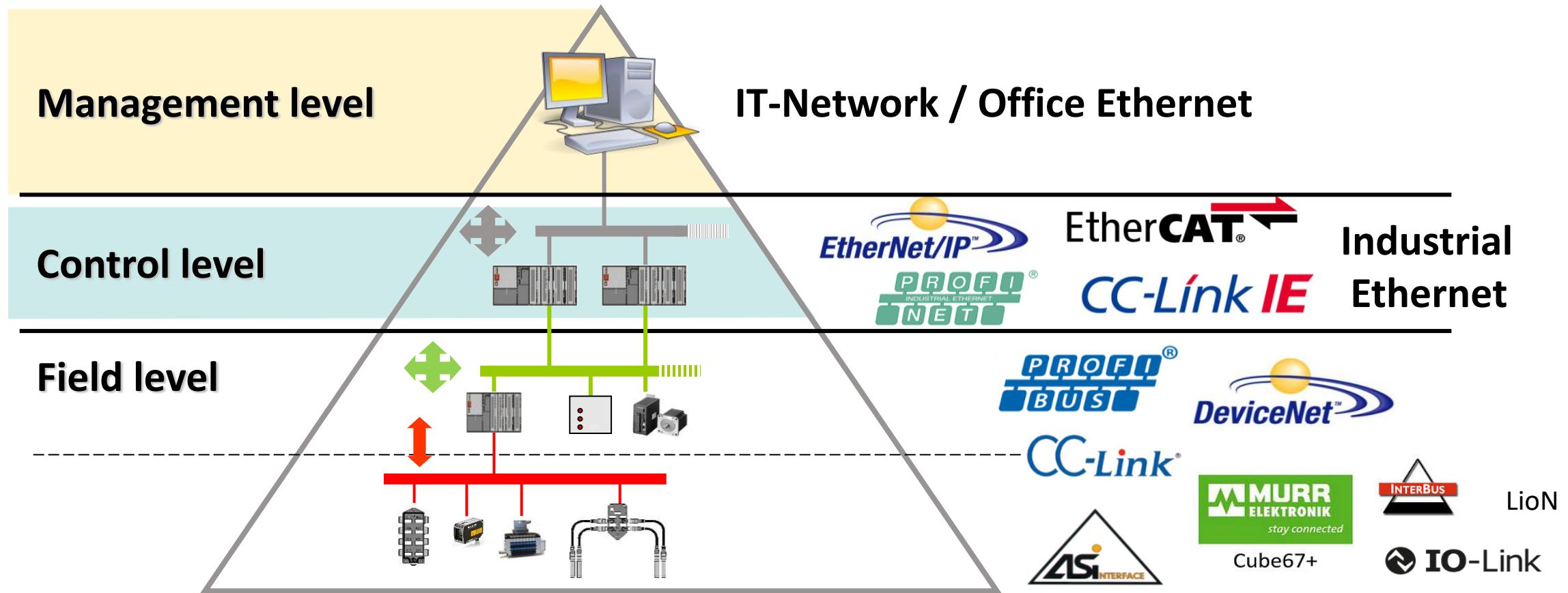
Buses de campo

Niveles de Jerarquía



Buses de campo

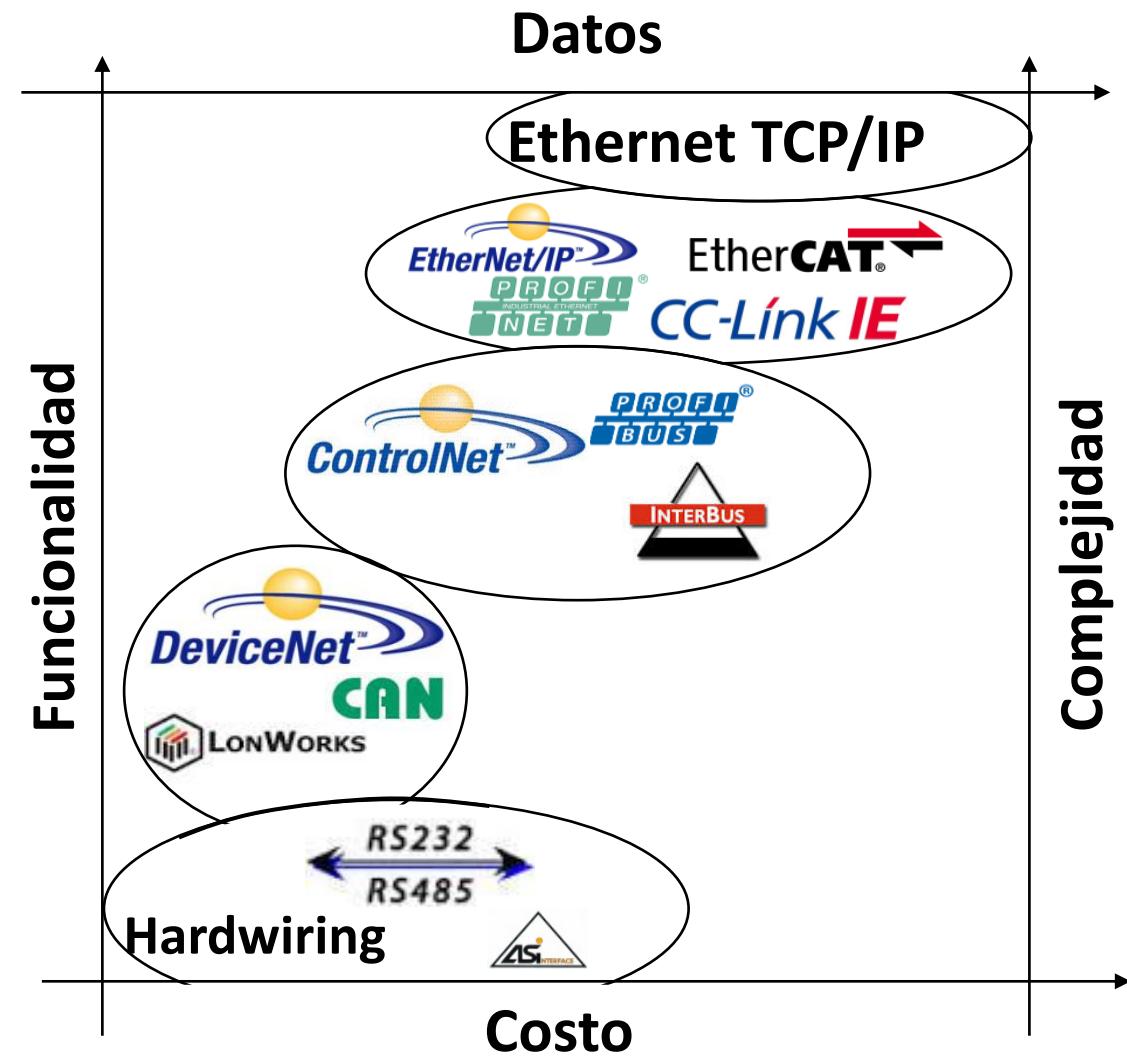
Niveles de Jerarquía



Buses de campo

Comparativa de manejo de datos

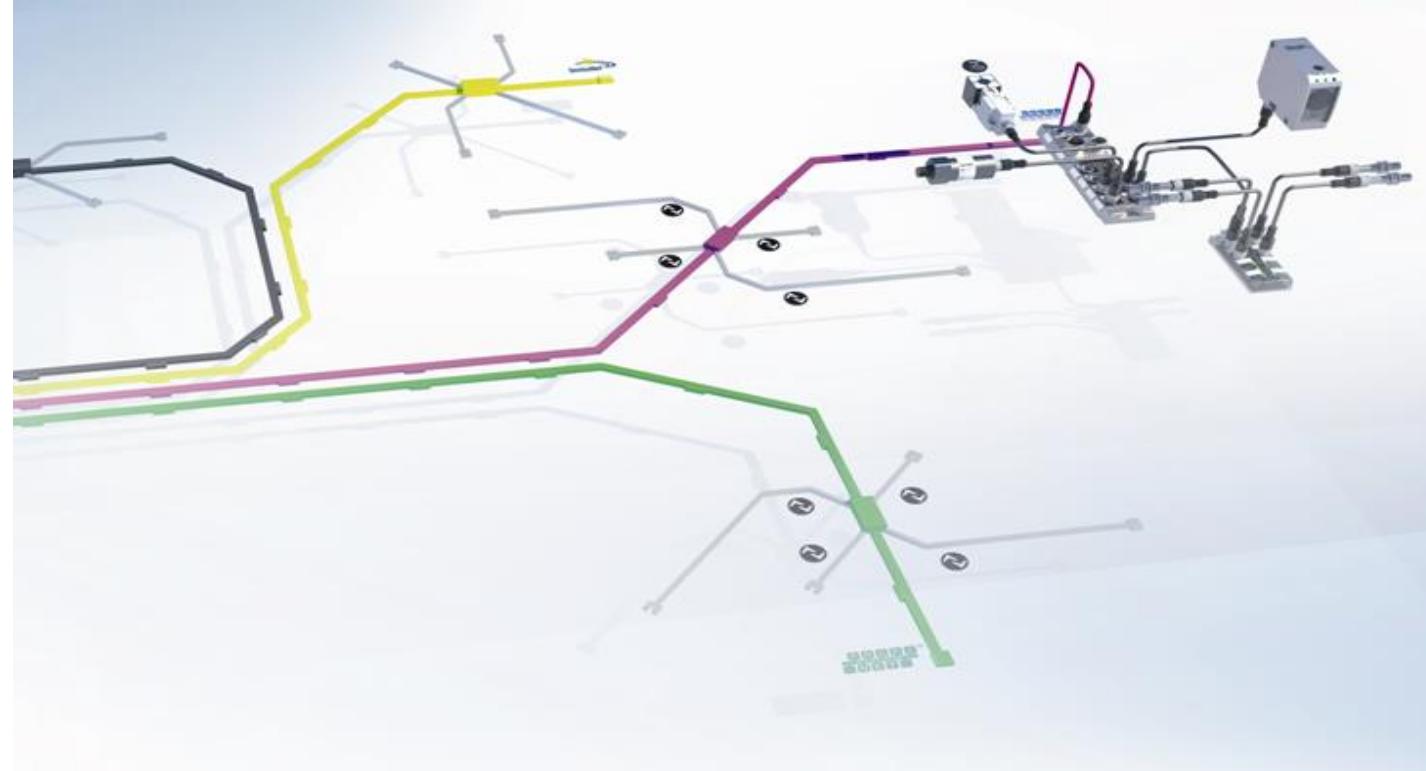
- Qué red utilizar dependerá fuertemente de la cantidad de datos necesarios.
- Ethernet está diseñado para manejar grandes cantidades de datos (más de 1000 bytes a la vez); por lo que resulta poco conveniente para dispositivos simples.



Buses de campo

Topologías

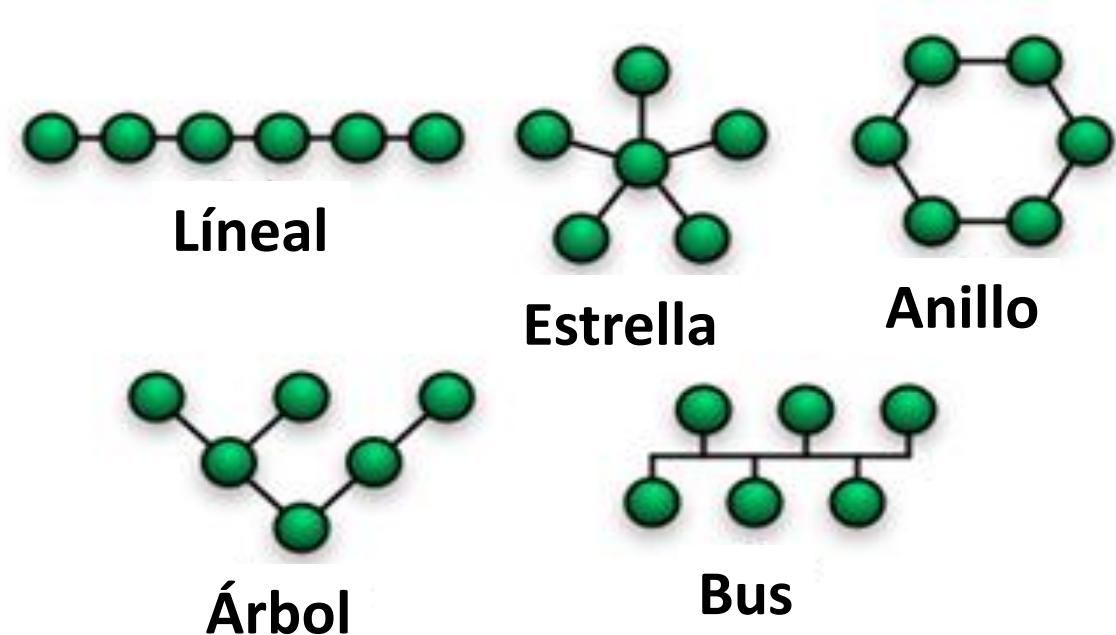
- Una topología define la forma en que los dispositivos pueden ser conectados físicamente dentro de la red



Buses de campo

Topologías

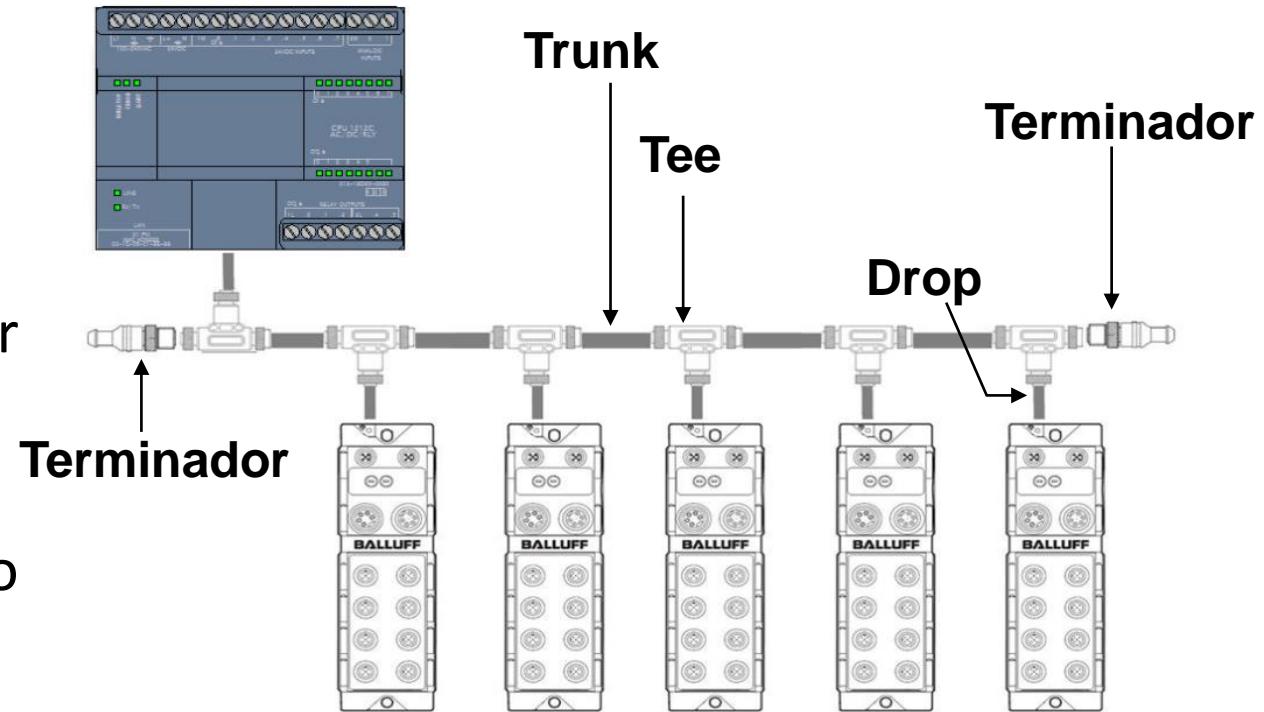
- Las topologías de red más populares son:
- Estrella
- Bus / Lineal / Trunk and Drop
- Anillo / Daisy Chain
- Árbol



Buses de campo

Topología LINEAL

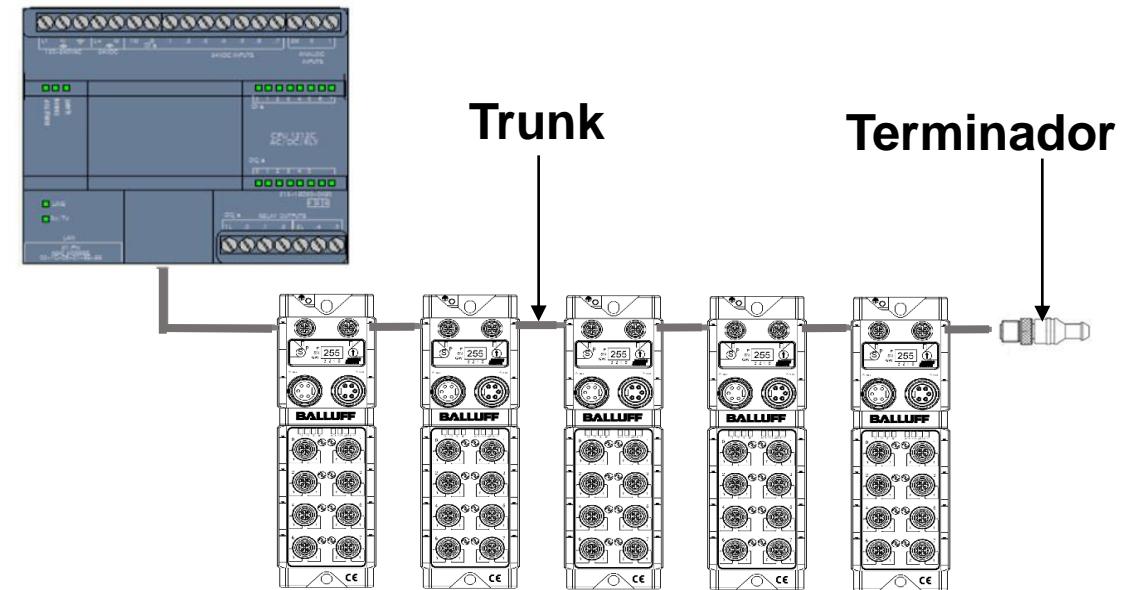
- Troubleshooting sencillo.
- Requiere terminadores para adaptar impedancias.
- Un dispositivo puede ser desconectado sin ocasionar una falla en la red.
- Mayores costos por cables extras.



Buses de campo

Topología de ANILLO / DAISY CHAIN

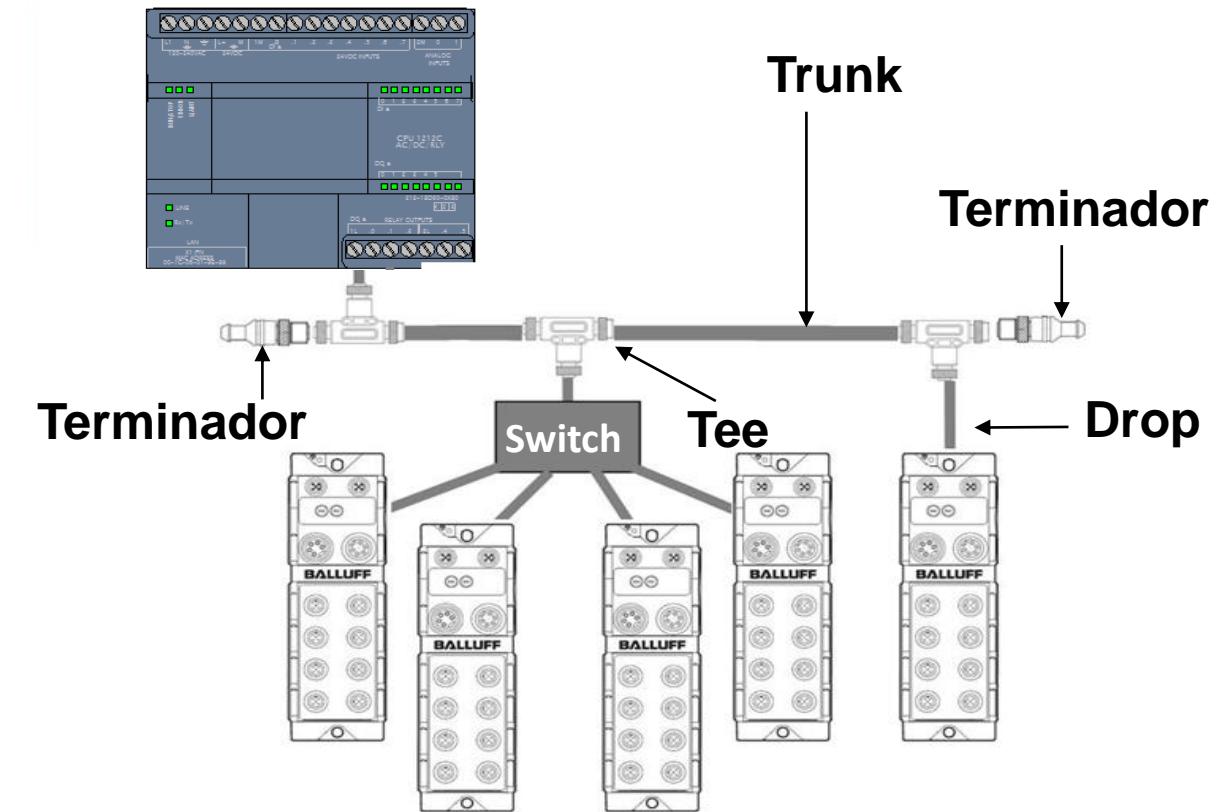
- Dispositivos conectados en serie.
- Troubleshooting difícil
- La desconexión de un dispositivo interrumpirá la red.
- Bajo coste debido a la menor cantidad de componentes de cableado.



Buses de campo

Topología de ESTRELLA

- Ideal para gran cantidad de I/O.
- Instalación flexible.
- Troubleshooting sencillo.
- Costo moderado.



Modelo OSI

OSI Model		
Layer name	Resides at this layer	Data unit
7 Application	FTP, HTTP, SMTP, SNMP	Data
6 Presentation	Encryption, compression, conversion	
5 Session	Authentication, authorization, duplex, RPC	
4 Transport	TCP, UDP, packet switching	Segment
3 Network	IP addresses, routers, subnet masks, QoS, DNS	Packet/Datagram
2 Data Link	Switches, MAC ID	Frame
1 Physical	STP, UTP, 2-pair, 4-pair, fiber	Bit

Ethernet

Capa física

IMPORTANCIA: El 95% de los problemas de red están vinculados a la capa física.

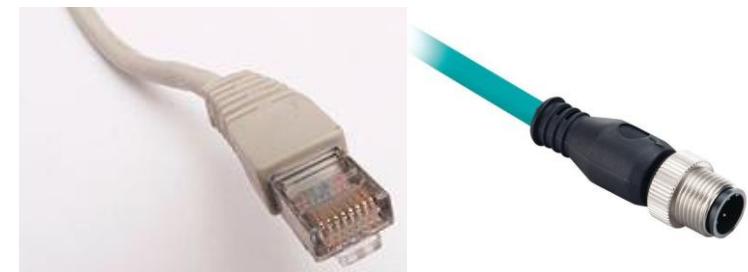
- La capa física realiza las operaciones necesarias para que las señales electrónicas puedan ser transmitidas y recibidas en el medio físico.
- Recibe tramas de la capa de enlace de datos y las transforma en bits que pueden transmitirse por el cable de Ethernet.

Ethernet

Capa física

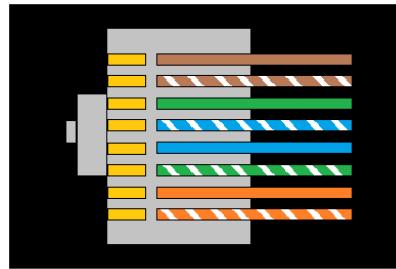
Opciones de medios

- Cable coaxial.
- Par de cables trenzados (2 o 4 pares, con o sin blindaje)
- Fibra óptica

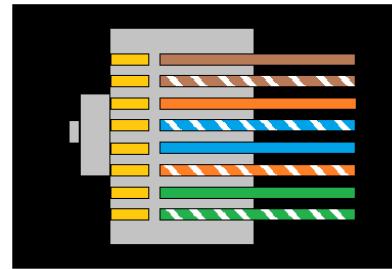


Ethernet

Pin out cables trenzados



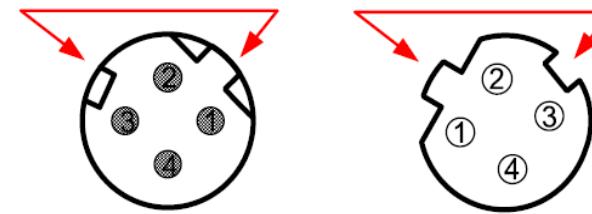
T568A



T568B

Pin	Signal Name	Pin T568B	Pair Assignment	EtherNet/IP
1	TXD+	White Orange	Pair 3	TXD+ (WH/OR)
2	TXD-	Orange		TXD- (OR)
3	RXD+	White Green	Pair 2	RD+ (WH/GR)
4	NA ⁽¹⁾	Blue	Pair 1	
5	NA ⁽¹⁾	White Blue		
6	RXD-	Green	Pair 2	RD- (GR)
7	NA ⁽¹⁾	White Brown	Pair 4	
8	NA ⁽¹⁾	Brown		
(1) Not used for 10 Mb/s and 100 Mb/s networks				

M12 four pole D-coded pin-out



M12 Pole	Wire color	Name	Signal
1	White-Orange	Transmit Data +	TX+
2	White-Green	Receive Data +	RX+
3	Orange	Transmit Data -	TX-
4	Green	Receive Data -	RX-

Ethernet

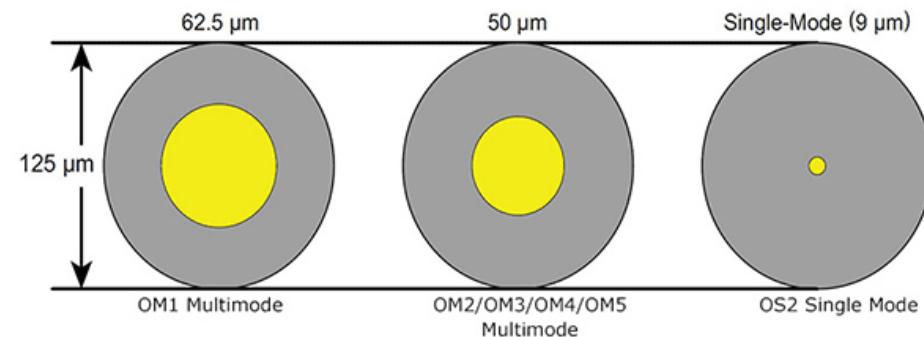
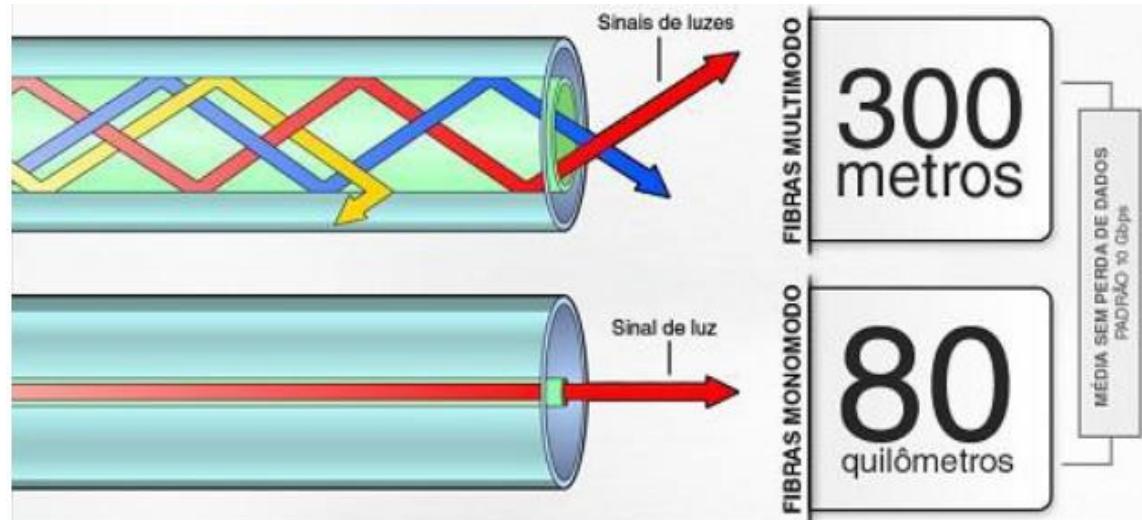
Fibras ópticas

Monomodo:

- +Vel, +Alcance
- Difícil alineamiento, + precio

Multimodo:

- - precio, sencillez para redes LAN
- -Vel, -Alcance



Ethernet

Capa Enlace de datos (Data Link)

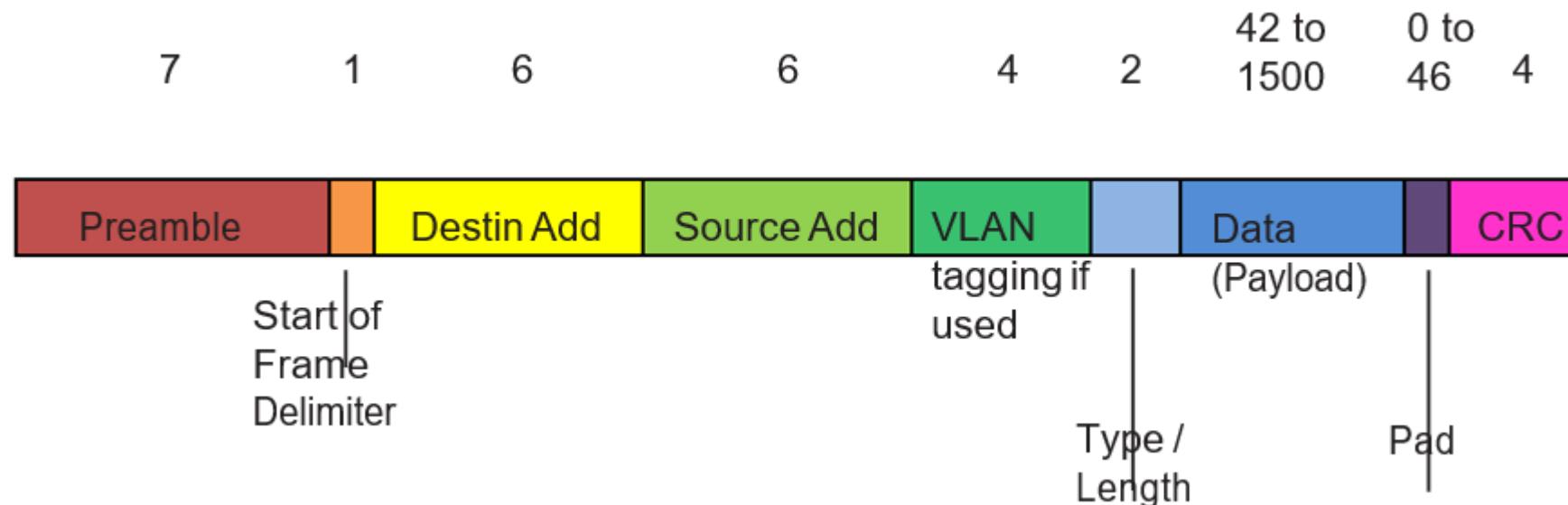
- La capa de enlace de datos toma los bits de la capa física y los convierte en tramas.
- La capa de enlace de datos también se ocupa de la detección y resolución de colisiones

Ethernet

Capa Enlace de datos (Data Link)

Frame:

- Valores en bytes
- Add expresados en MAC



Ethernet

Capa Enlace de datos (Data Link)

Direccionamiento

MAC ID

- Significa Media Access control identification.
- Es una dirección de 48 bits asignada por el fabricante e identifica cada nodo en la red en forma univoca (cómo si fuese un número de serie)
 - Tres primeros bytes identifican al fabricante.
 - Los segundos tres bytes los asigna el fabricante

Ethernet

Capa Enlace de datos (Data Link)

Switches

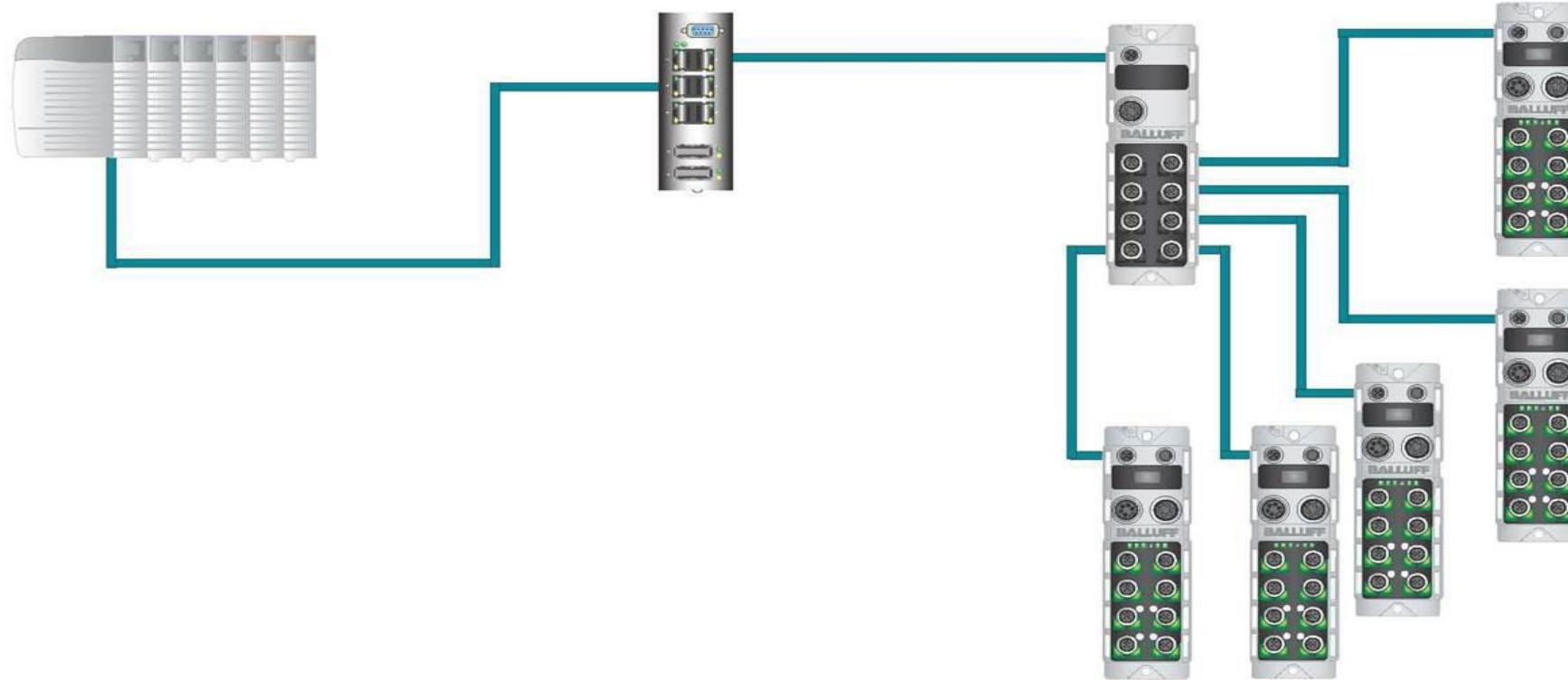
Existen básicamente dos grandes categorías de conmutadores: gestionados y no gestionados. La diferencia básica es la capacidad de cambiar la configuración del conmutador. Los conmutadores no gestionados no tienen direcciones IP y, por lo tanto, no hay forma de cambiar su configuración.

IMPORTANCIA EN AUTOMATIZACIÓN:

- Los switches con gestión permiten administrar tráfico multi-cast.
- Administración de VLAN

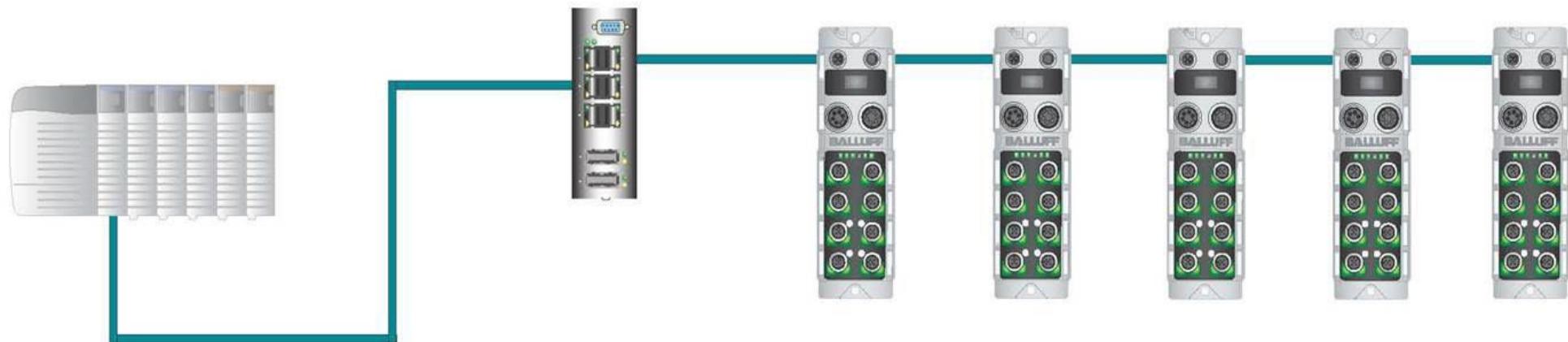
Ethernet

Capa Enlace de datos (Data Link): TOPOLOGÍA ESTRELLA



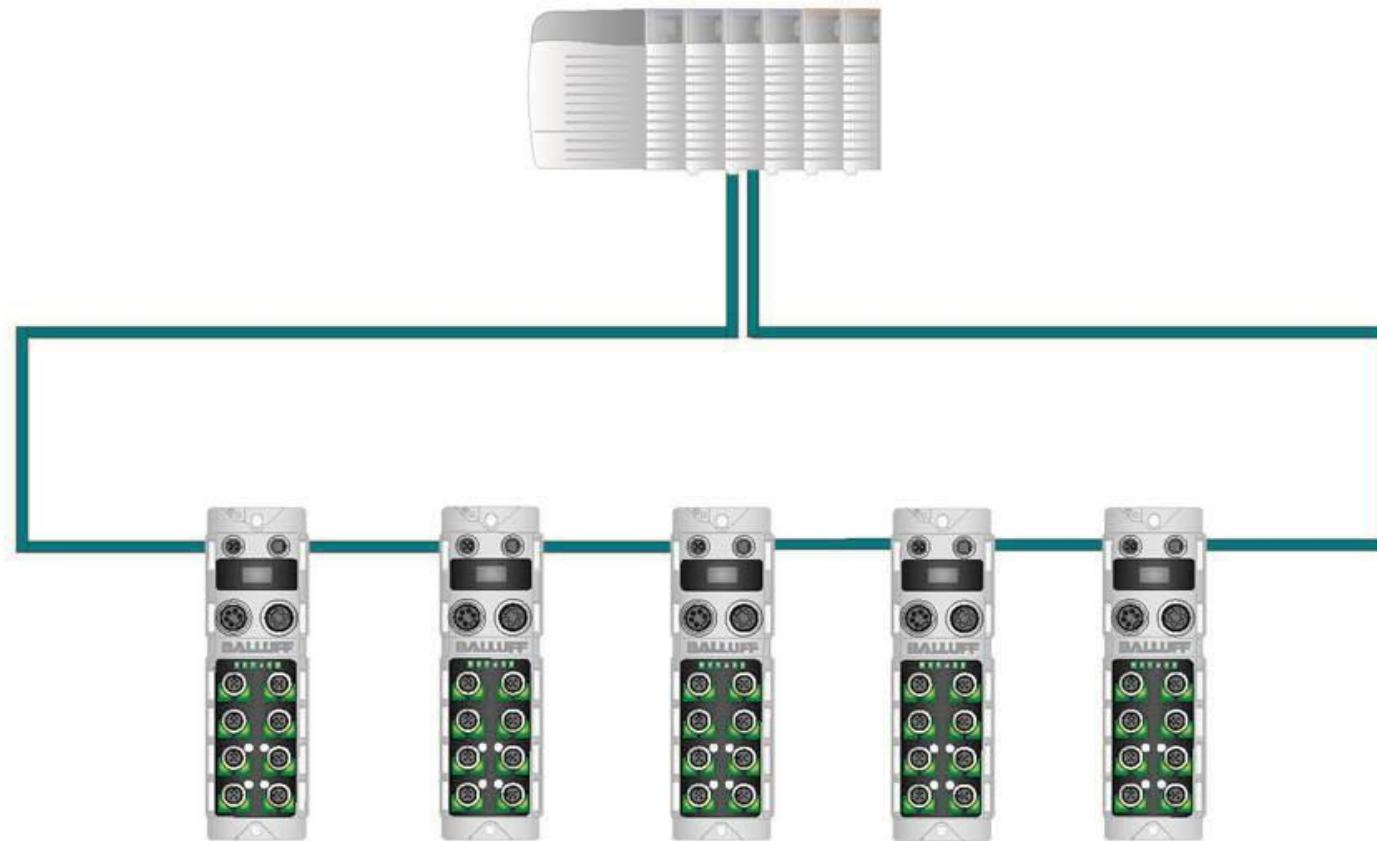
Ethernet

Capa Enlace de datos (Data Link): TOPOLOGÍA LINEAL O DAISY-CHAIN



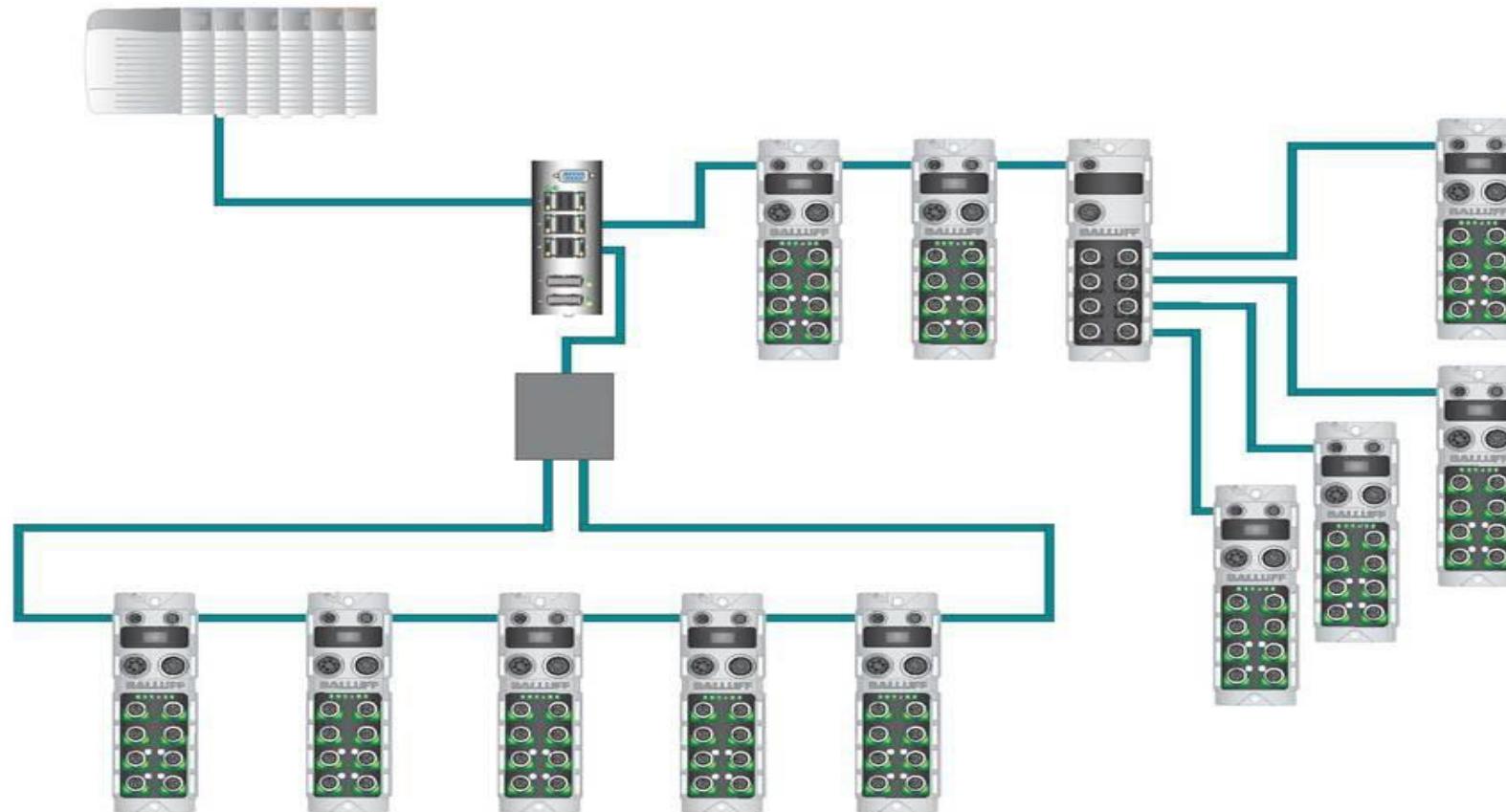
Ethernet

Capa Enlace de datos (Data Link): TOPOLOGÍA ANILLO



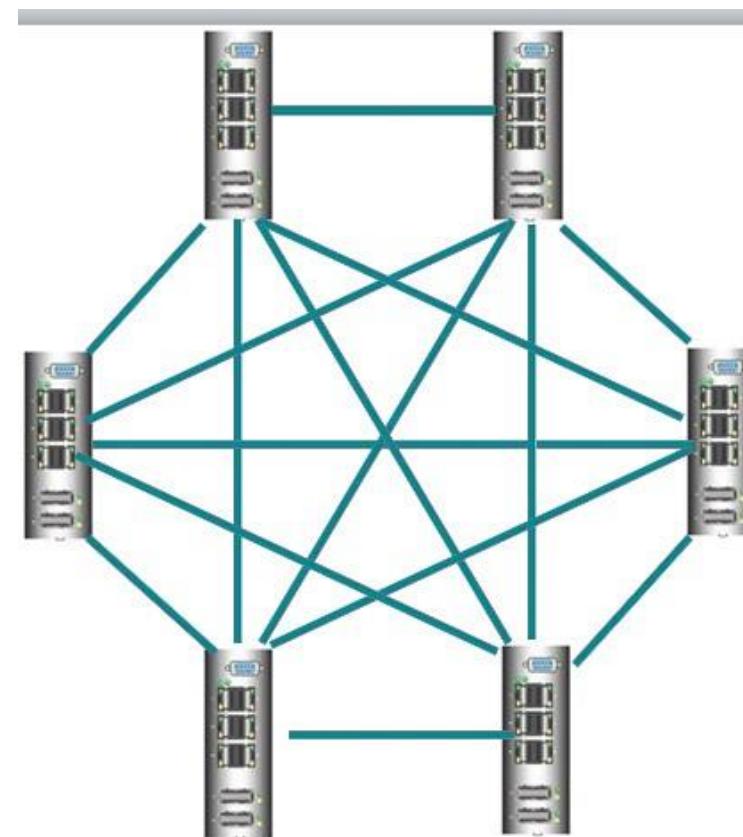
Ethernet

Capa Enlace de datos (Data Link): TOPOLOGÍA MIXTA



Ethernet

Capa Enlace de datos (Data Link): TOPOLOGÍA MESH



Ethernet

Capa de red

- La capa de red permite la comunicación de dispositivos de una red física con dispositivos de otra red física.
- La asignación correcta de las direcciones es crucial.

Funciones de la capa de red

La capa de red se ocupa del reenvío de paquetes (unicast, multi-cast, broadcast) y del enrutamiento de paquetes utilizando el direccionamiento lógico.

Ethernet

Capa de red: Dispositivos

Routers

El router tiene una tabla que utiliza para enrutar el tráfico de los dispositivos de una subred a los dispositivos de otra subred. El método que utiliza para ello es analizar el paquete de capa 3, concretamente la dirección de destino.

Gateways

Cualquier dispositivo o programa de software que conecta dos redes que tienen protocolos diferentes. Por esta razón, las gateways también se denominan convertidores de protocolo.

El Gateway por defecto es la dirección IP del nodo (router) que sirve de punto de acceso para otras redes

Ethernet

Capa de red: Direcccionamiento

Dirección IP

En la actualidad existen dos estándares diferentes para el formato de una dirección IP de Ethernet: IPv4 e IPv6.

Los dos formatos son los siguientes:

- 192.168.1.100 (4 bytes para una red IPv4 = 48 bits).
- 2001:0db8:85a3:0042:1000:8a2e:0370:7334 (8 grupos de 4 dígitos hexadecimales en IPv6 = 128 bits)

Ethernet

Capa de transporte

- La capa de transporte es la principal responsable de la entrega de datos de extremo a extremo: se encarga de que los datos de cada aplicación lleguen a su destino.
- Convierte los paquetes en segmentos si se trata del protocolo TCP o en datagramas si se trata del protocolo UDP.
- También regula la velocidad del flujo de datos (control de flujo) y vigila la fiabilidad (control de errores). Añade los puertos de origen y destino a la cabecera de cada paquete.

Ethernet

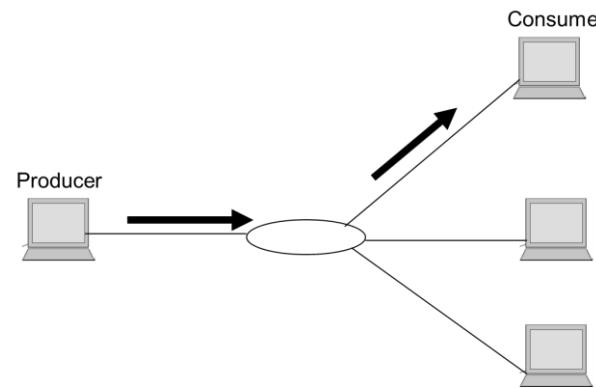
Capa de transporte: Protocolos

TCP	UDP
Explicit messages (configuration)	Implicit messages (I/O)
Flow control and error checking	No flow control or error checking
Explicit messages (Class 3) Examples: PLC to PLC message, downloading to or uploading from a PLC	Implicit messages (Class 1) Example: I/O, produced/consumed tags, scheduled connections
Verification of delivery	Fast data delivery
	Ethernet/IP
	DNS (Domain Name System)
	NFS (Network File System)
Unicast messages only	Unicast, Multi-cast, or Broadcast
Packets sent in order	Datagrams sent out of order then reassembled
Telnet, HTTP, FTP,	Ethernet/IP, SNMP

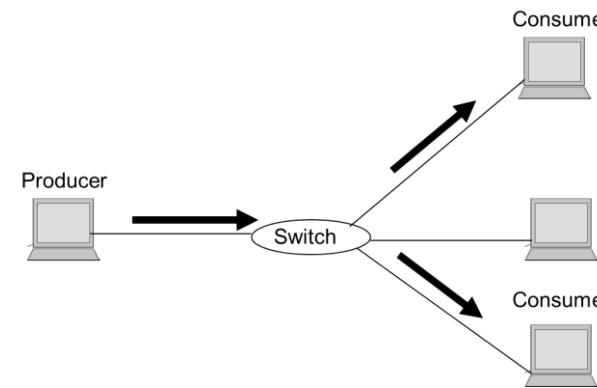
Ethernet

Capa de transporte

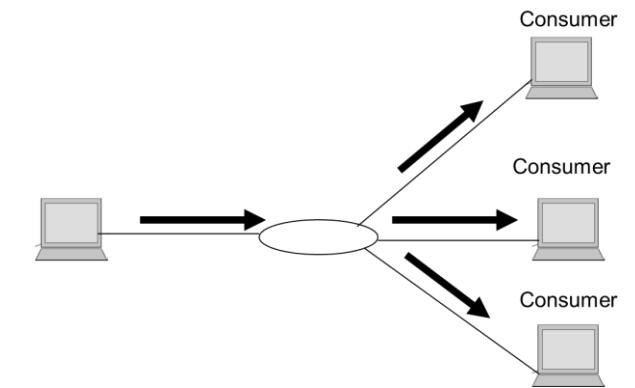
Tipos de mensajes



unicast



multicast



broadcast

Ethernet

Capa de sesión

Vinculada a:

- Autenticación
- Autorización
- Half-duplex/Full duplex

Ethernet

Capa de presentación

Vinculada a:

- Ecriptación de datos
- Conversión de datos de un formato a otro

Ethernet

Capa de aplicación

- La capa de aplicación es responsable de la interfaz de usuario.
- Los navegadores web, las aplicaciones de correo electrónico, las aplicaciones de mensajería instantánea, los videojuegos y las aplicaciones de transferencia de archivos funcionan en la capa de aplicación.

Protocolos

HTTP (Hyper Text Transfer Protocol)

FTP (File Transfer Protocol)

SNMP (Simple Network Management Protocol)

SMTP (Simple Mail Transfer Protocol)

Ethernet/IP

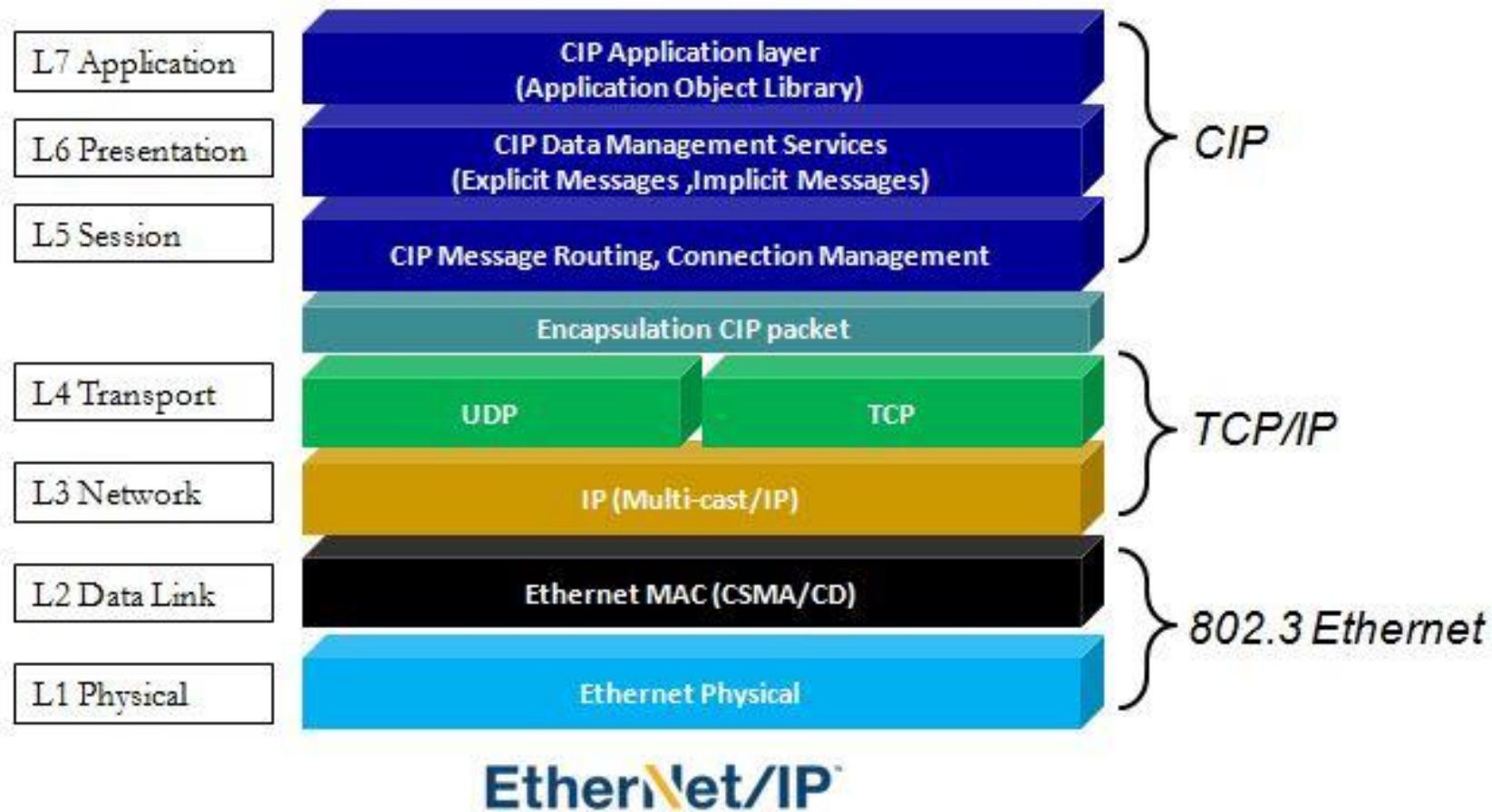
Desarrollado por Rockwell Automation con dos objetivos específicos:

- Tenía que compartir fácilmente los datos con otras redes industriales, específicamente ControlNet y DeviceNet.
- Tenía que ser compatible con la infraestructura Ethernet que ya existía en las instalaciones de fabricación. Para lograr esto, Rockwell Automation desarrolló Ethernet/IP para que fuera la tercera red que utiliza CIP (el Protocolo de Control e Información).

Esto significa que a partir de la quinta capa del modelo OSI, no hay diferencia entre las tres redes en su comunicación y pueden compartir datos entre ellas sin problemas. Sus protocolos de transporte son diferentes en la cuarta capa y los dispositivos y medios necesarios para cada red son diferentes en la capa física.

Ethernet/IP

OSI Model for EtherNet/IP



PROFINET

Definición

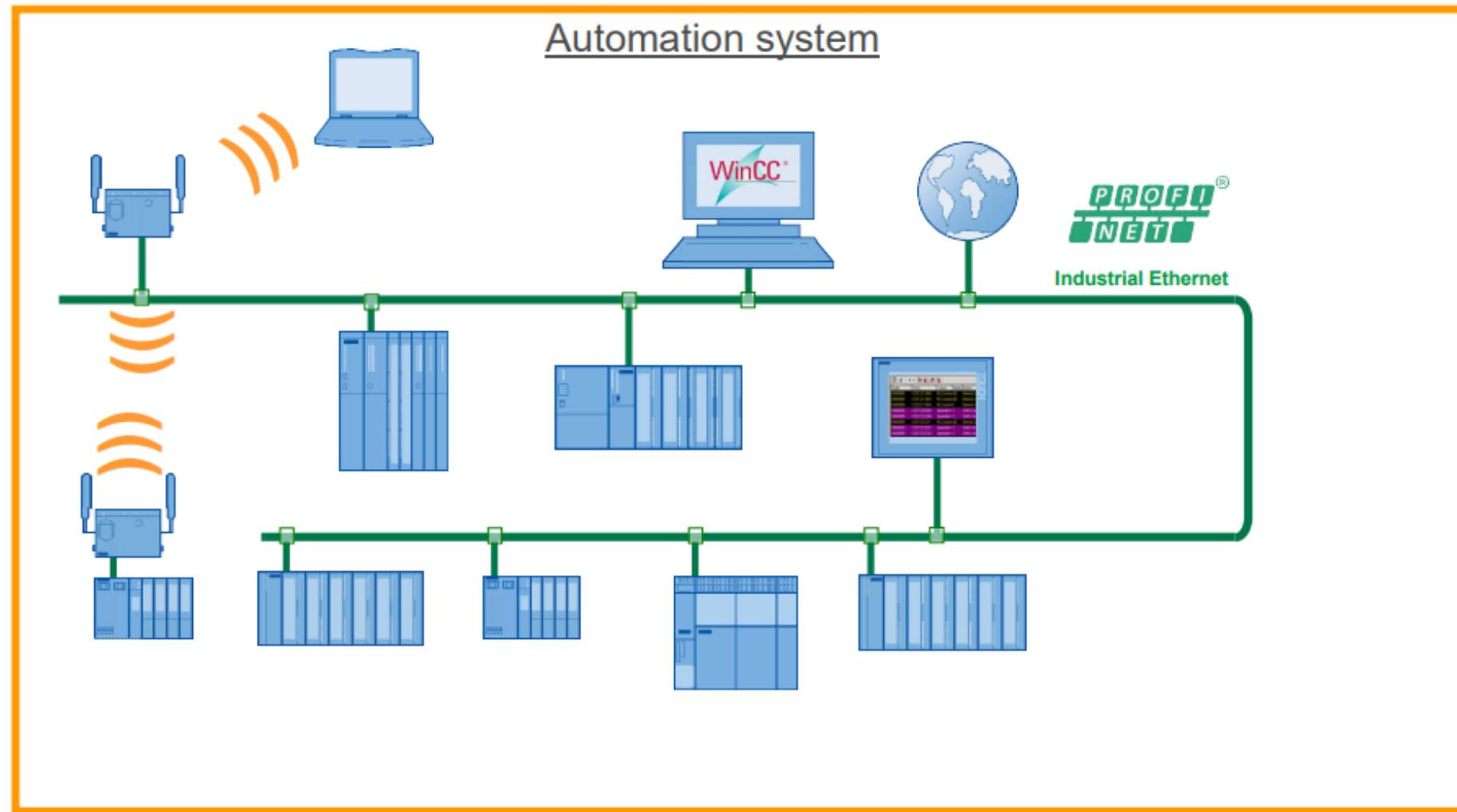
- Acrónimo para **PROcess Field NET**.
- PROFINET es un standard abierto de Ethernet Industrial, basado en IEEE802.3 e IEEE802.1Q
- Múltiples topologías de red soportadas.
- Múltiples medios de transmisión: par cruzado de cobre, fibra óptica, Wireless LAN, Bluetooth.
- Distancia puerto a puerto de 100m en cobre y hasta 80km en FFOO.
- Si bien incorpora el concepto de Profibus, no se trata de **Profibus sobre Ethernet!!!**

PROFINET

Definición

- Envío y recepción de datos en forma simultánea (full dúplex).
- Velocidad estándar de 100Mbps.
- Dispositivos Ethernet estándares y PROFINET pueden convivir en la misma red.
- PROFINET es Real-Time Ethernet.
- Comunicación a nivel IT en paralelo con comunicación en tiempo real.

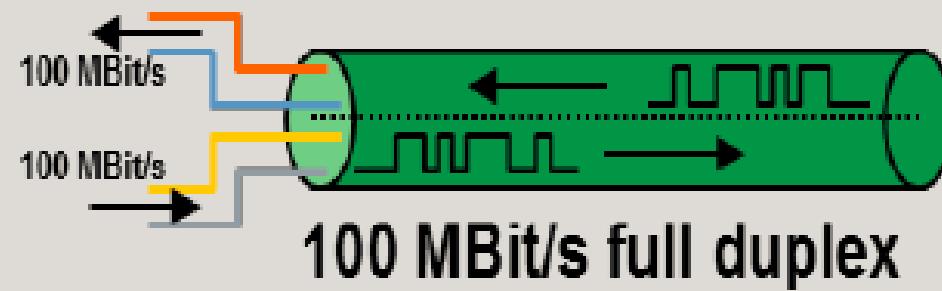
PROFINET



PROFINET

Características

PROFINET uses full duplex communication

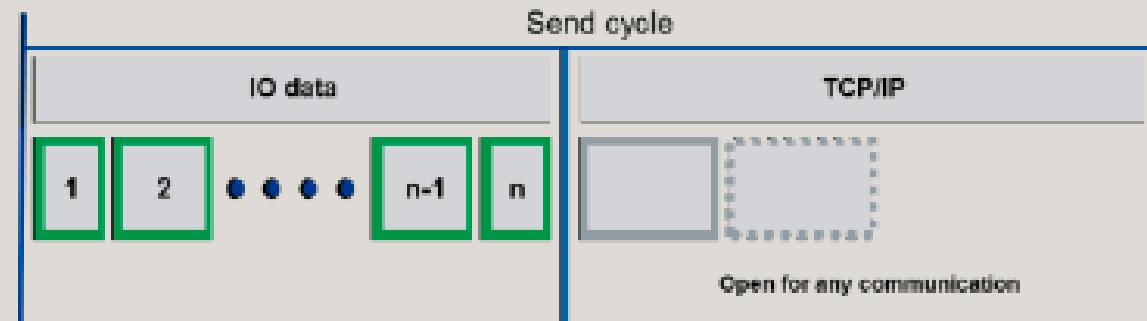


→ More applications on one cable

PROFINET

Características

Separate channels for IO data and TCP/IP



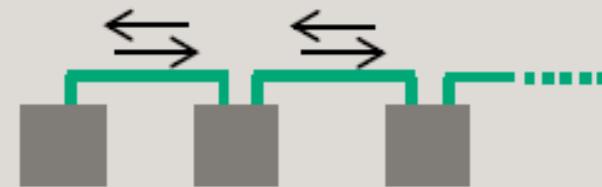
→ No extra network for TCP/IP needed

PROFINET

Definición

- El estándar IEEE802.1Q, también conocido como dot1Q permite a múltiples redes compartir de forma transparente el mismo medio físico, sin problemas de interferencia entre ellas (trunking).
- Redundancia en forma directa, sin necesidad de anillos de FFOO (Profibus).

PROFINET is "switched Ethernet"
(no need for repeater)



Switches connected into a line

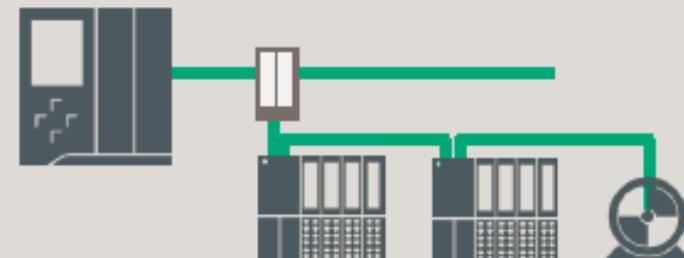
→ The topology follows the production process

PROFINET

Definición

- PROFINET se integra en los dispositivos en forma sencilla.
- Los módulos de I/O poseen switch incorporado.

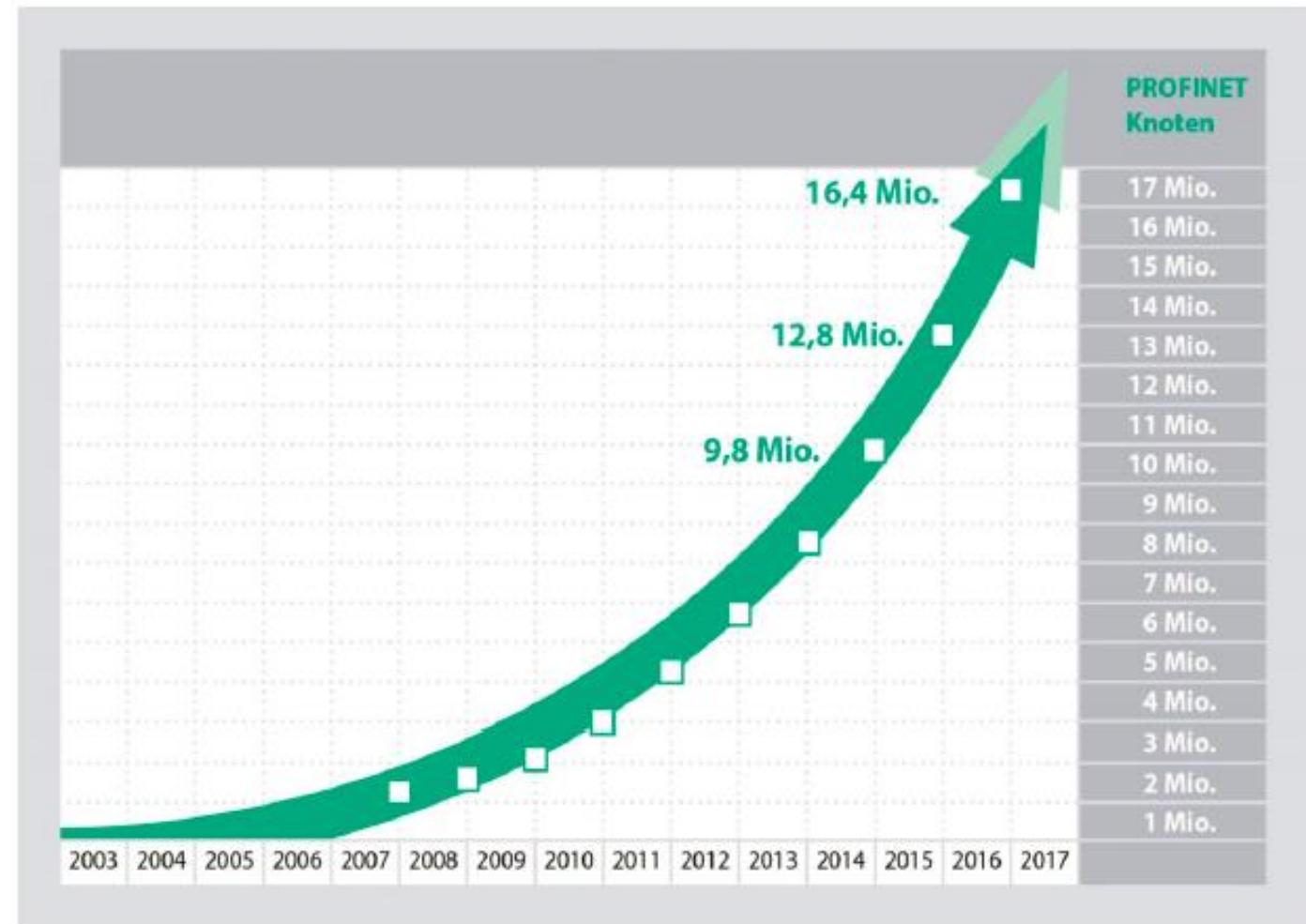
PROFINET is switch integration



→ Reduced network costs

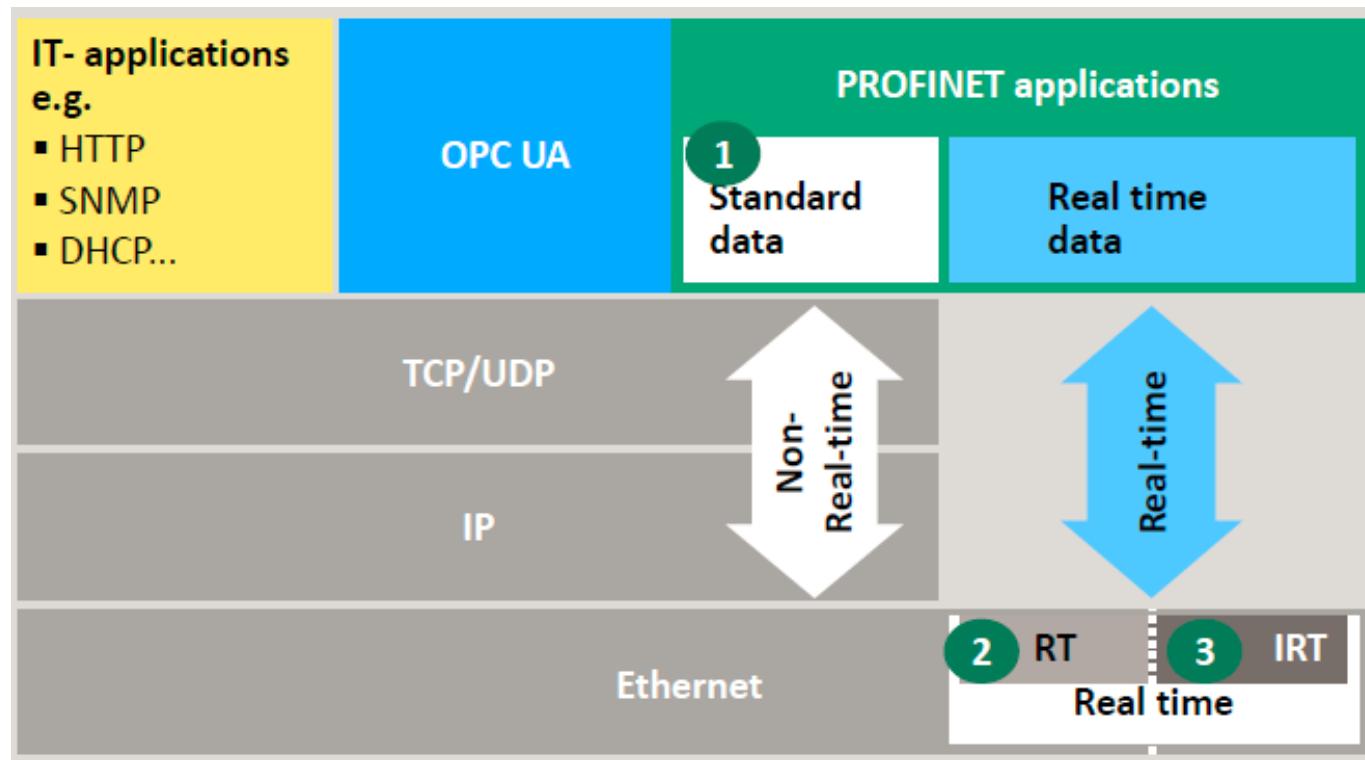
PROFINET

Cantidad de nodos instalados



PROFINET

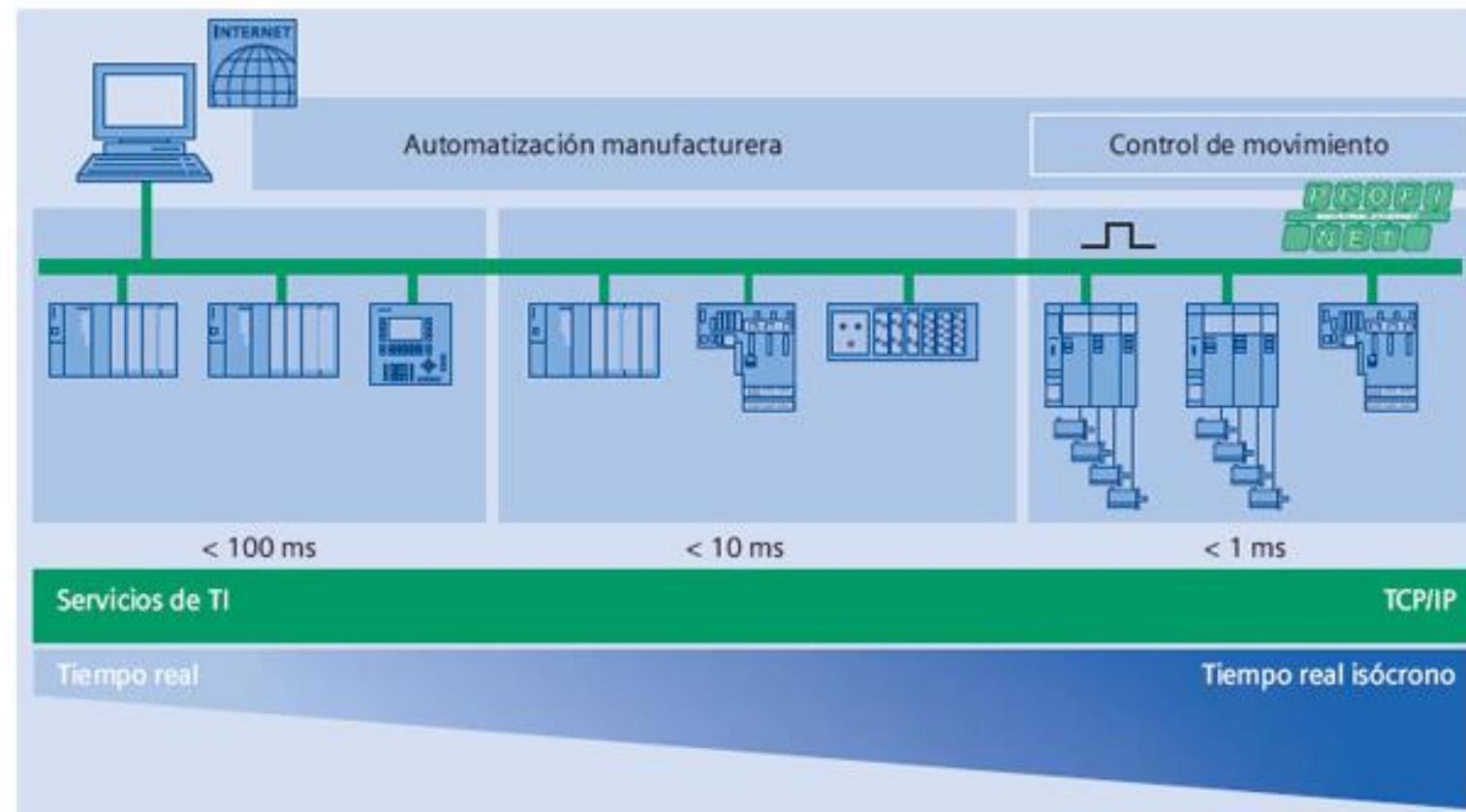
Canales de comunicación



- 1. Standard channel:**
 - Parametrización, configuración y diagnóstico.
- 2. Real time channel:**
 - Comunicación de datos cíclica.
 - Alarmas acíclicas.
- 3. IRT channel:**
 - Comunicación cíclica, sincrónica.

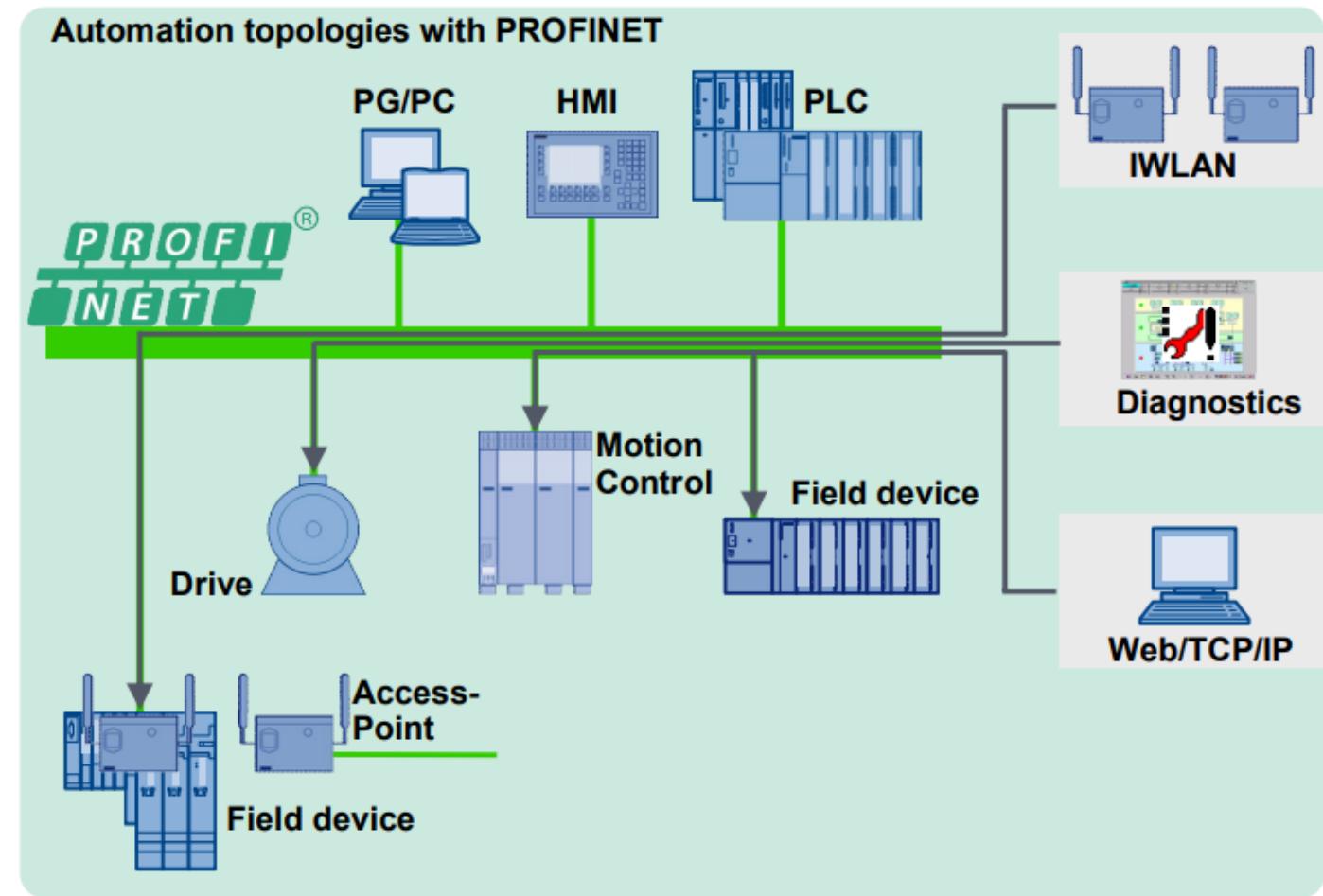
PROFINET

Canales de comunicación



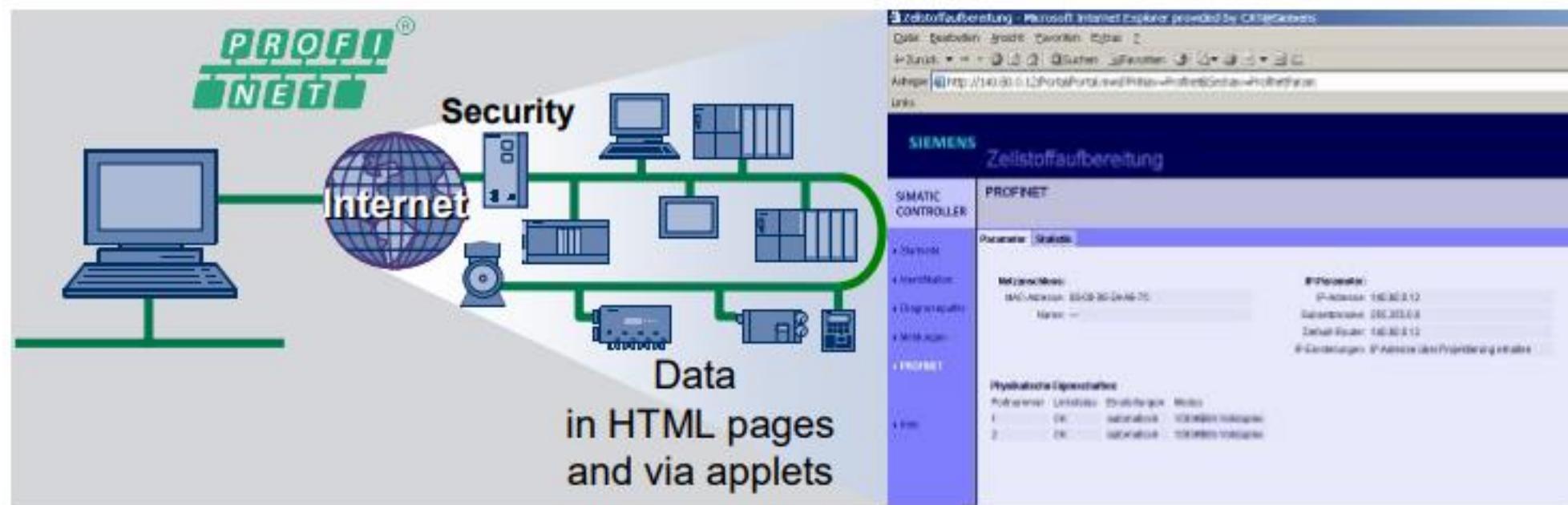
PROFINET

- A diferencia de otros buses de campo como Profibus, PROFINET utiliza el mismo bus para todos los niveles de automatización y control.



PROFINET

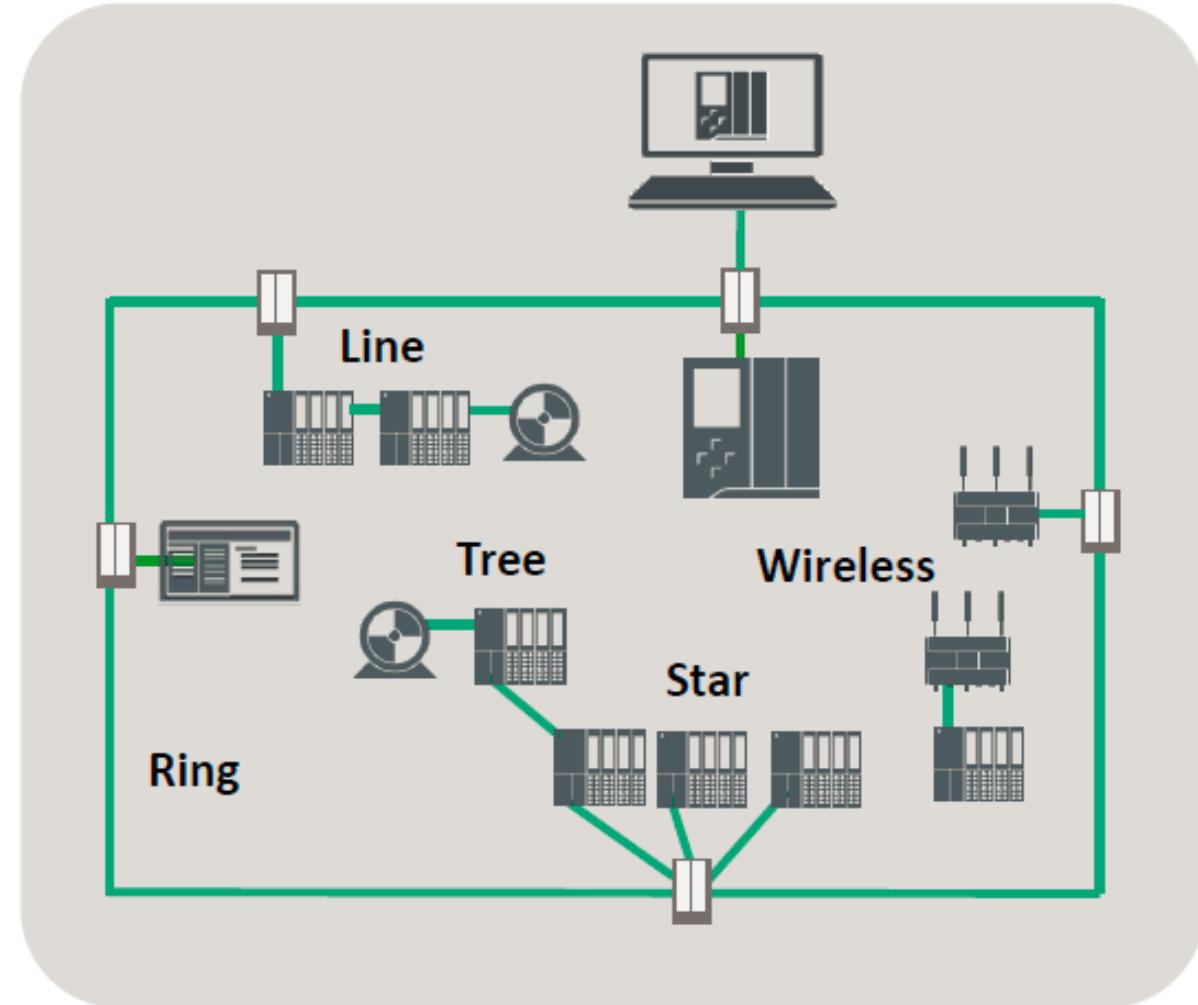
- Funcionalidades web integradas para diagnóstico y service.
- Acceso desde cualquier sitio en el mundo con un explorador de internet estándar, gracias al web server incorporado en cada dispositivo.



PROFINET

Topologías

- Topología flexible orientada a la estructura de planta:
- Estructura lineal a través de los puertos switch de los dispositivos.
- Topologías árbol y estrella.
- Anillos redundantes.
- Wireless (WLAN, Bluetooth), cobre o FFOO.
- Fácil combinación de diferentes topologías.



PROFINET

Direccionamiento

- Cada módulo dentro de una red PROFINET posee tres direcciones:
- MAC.
- IP
- Device Name.

PROFINET

Direccionamiento

MAC

- Significa Media Access control identification.
- Es una dirección de 48 bits asignada por el fabricante e identifica cada nodo en la red en forma univoca (como si fuese un número de serie)
 - Tres primeros bytes identifican al fabricante.
 - Los segundos tres bytes los asigna el fabricante
- Esta dirección se utiliza para transferir datos de I/O una vez que la comunicación se encuentra establecida.

PROFINET

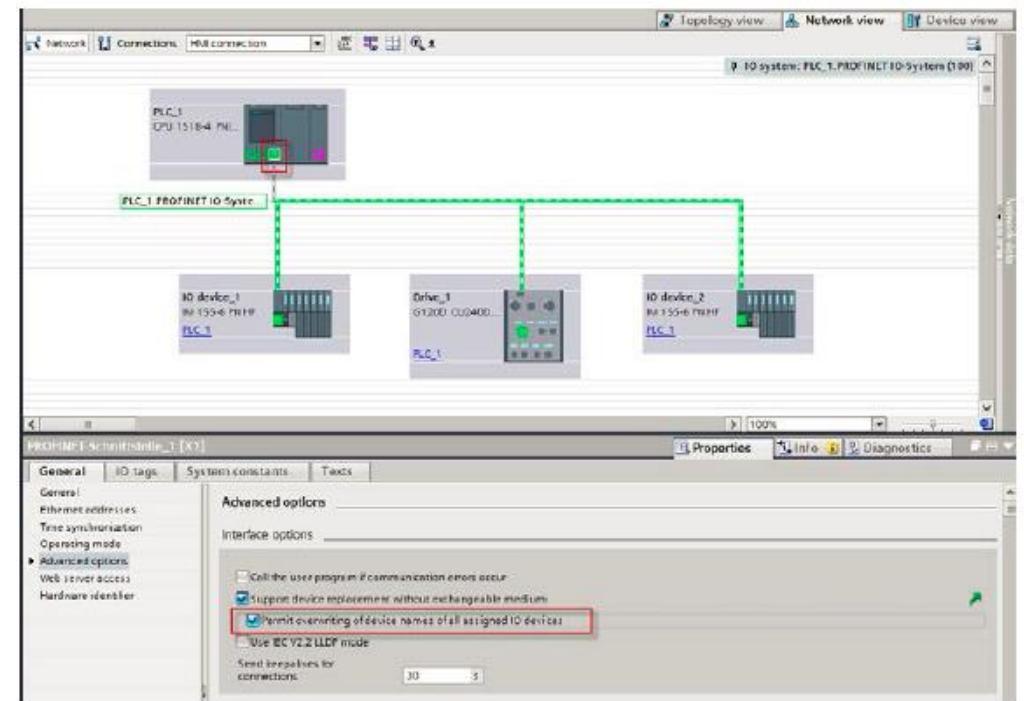
Direccionamiento

- **IP**
- Cada dispositivo PROFINET tiene una dirección de Protocolo de Internet (IP). Esta dirección se utiliza para iniciar la conexión y enviar parámetros de configuración a los dispositivos. La dirección puede ser asignada por dos métodos: DCP y DHCP.
- **Device Name**
 - Es un nombre lógico que cada módulo recibe al ser configurado.
 - Su existencia es importante dado que si un dispositivo se reemplaza, también lo hará su MAC y la dirección IP es dinámica, por lo tanto es necesario una dirección que sea fija como el ***Device Name***.

PROFINET

Puesta en marcha rápida y sencilla

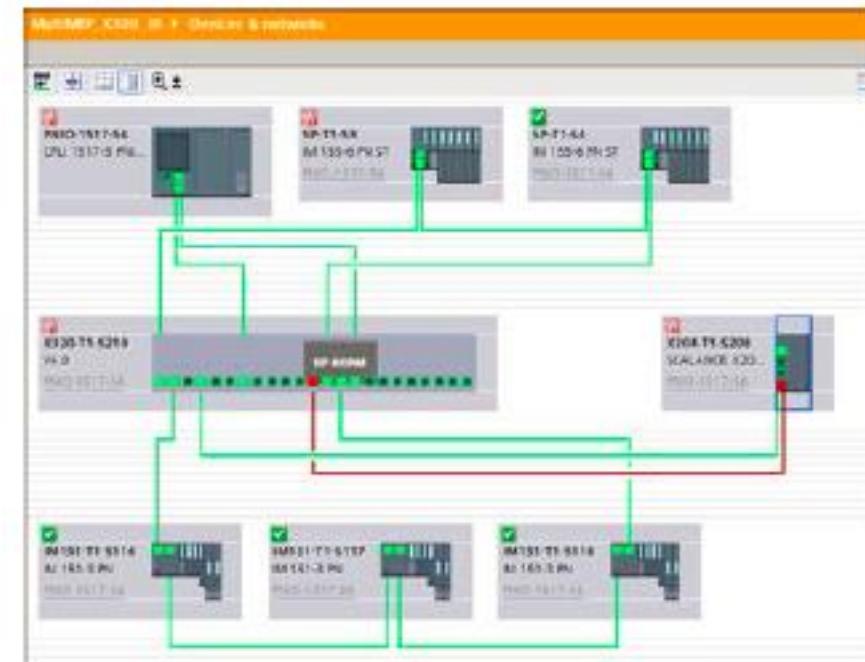
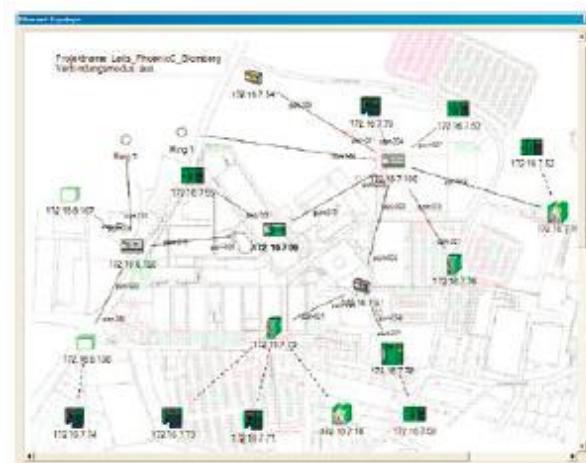
- Reconocimiento de topología.
- Scan online de dispositivos conectados.
- Asignación automática de dirección IP.
- Documentación automática de los dispositivos y red.



PROFINET

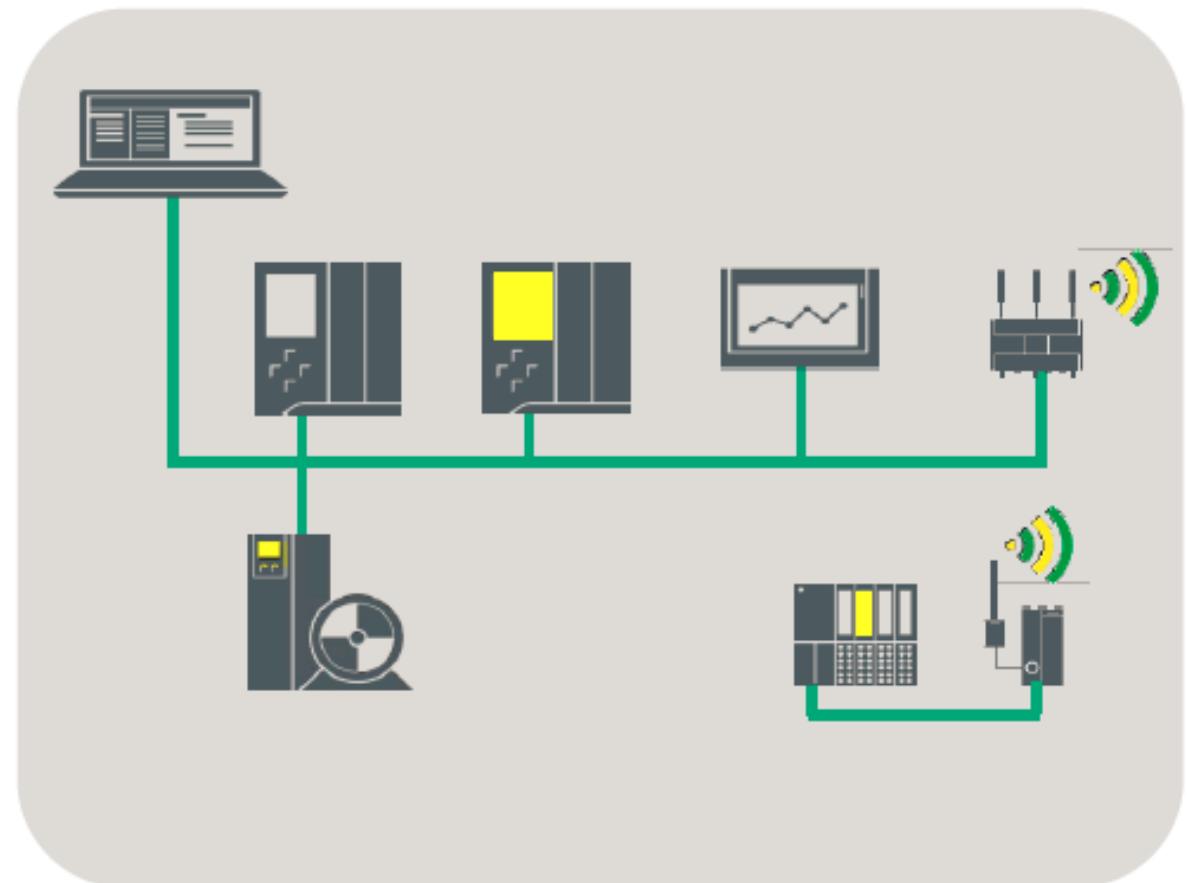
Diagnóstico de red

- Integración vía SNMP.
- Localización de errores con vistas de topologías, estadísticas, información de puertos, etc.



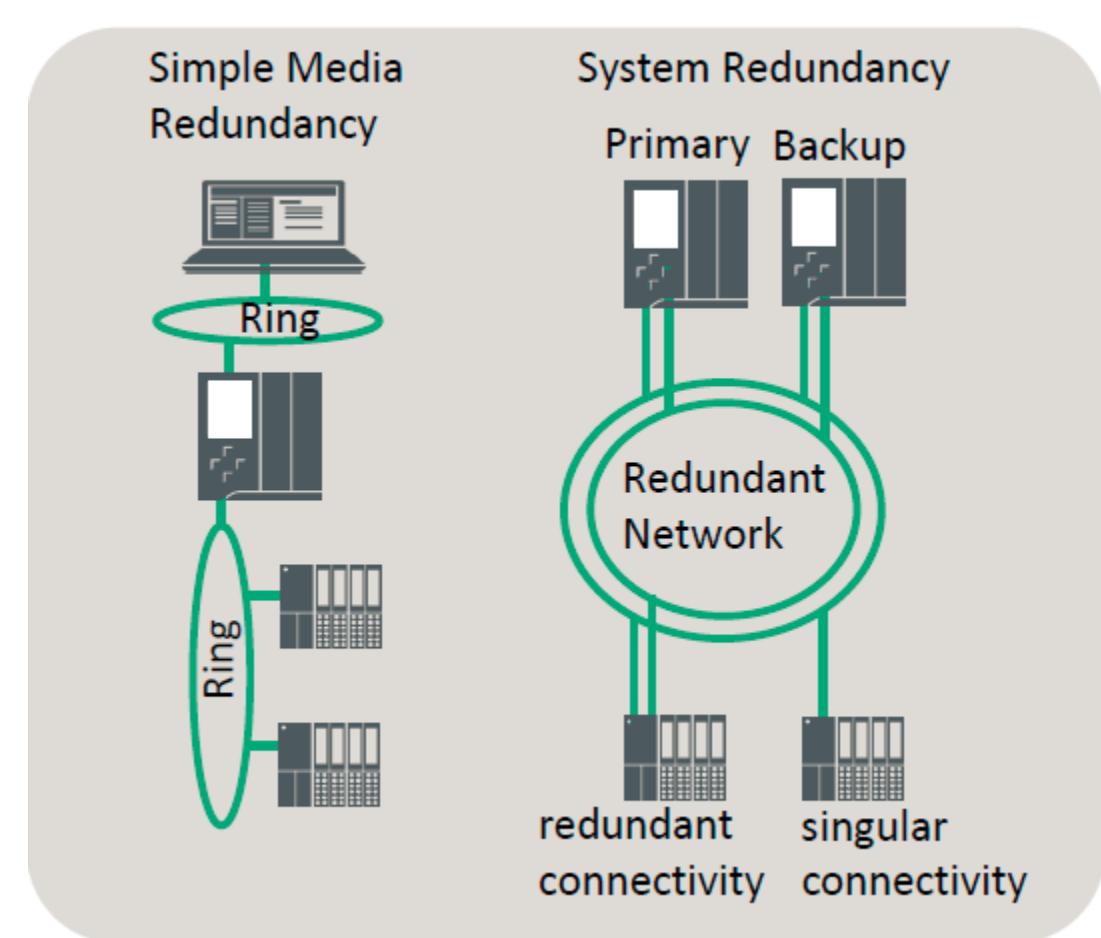
PROFINET

Integración Safety



PROFINET

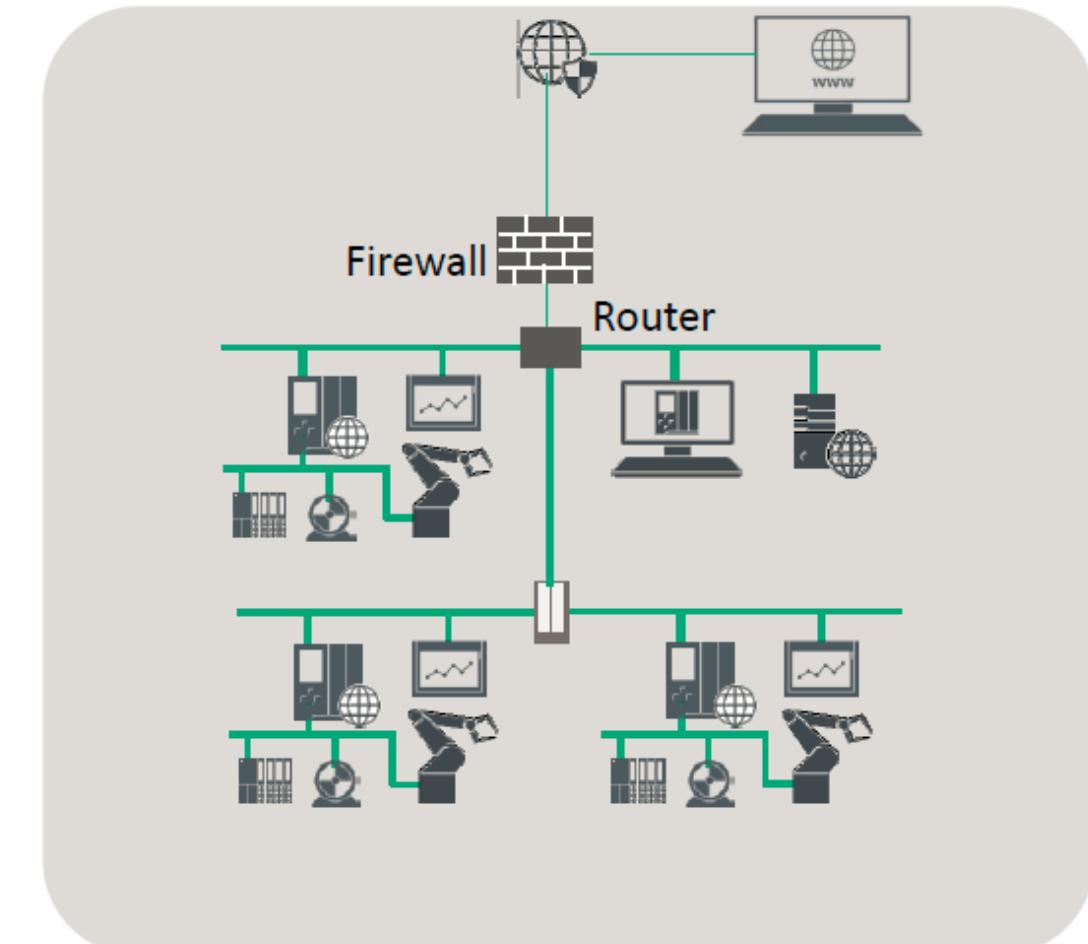
Redundancia de red escalable



PROFINET

Integración IT

- PROFINET soporta estructuración de redes vía routers y bridges.



PROFINET

GSDML (General Station Description)

- Para poder integrar los dispositivos a la red, el sistema PROFINET requiere una descripción de los parámetros del dispositivo, como datos de salida, datos de entrada, formato de los datos, velocidades de transmisión soportadas, códigos de falla, etc.
- A diferencia de los archivos .gsd de Profibus, estos archivos .gsdml están escritos en XML.

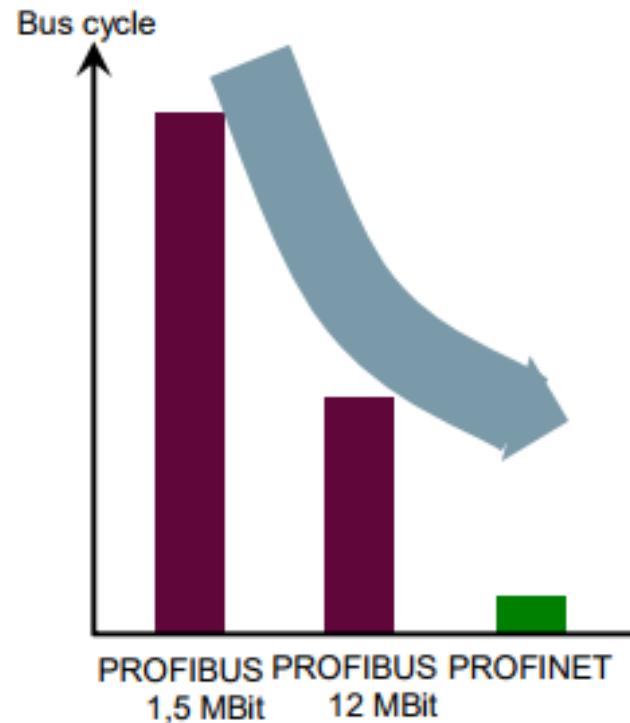
PROFINET

Ejemplo GSDML

```
<ProfileBody>
  <DeviceIdentity VendorID="0x0378" DeviceID="0x302A">
    <InfoText TextId="TOK_DevIdent_InfoText" />
    <VendorName Value="Balluff GmbH" />
  </DeviceIdentity>
  <DeviceFunction>
    <Family MainFamily="I/O" ProductFamily="Balluff" />
  </DeviceFunction>
  <ApplicationProcess>
    <DeviceAccessPointList>
      <DeviceAccessPointItem ID="DAP 1" PhysicalSlots="0..15" ModuleIdentNumber="0x00000001" MinDeviceInterval="64"
FixedInSlots="0" ObjectUUID_LocallIndex="1" NameOfStationNotTransferable="true" MultipleWriteSupported="true">
        <ModuleInfo CategoryRef="ID_Category">
          <Name TextId="TOK_ModInfo_Name" />
          <InfoText TextId="TOK_ModInfo_InfoTextId_DAP1" />
          <VendorName Value="Balluff GmbH" />
          <OrderNumber Value="BNI0052" />
          <HardwareRelease Value="1" />
          <SoftwareRelease Value="V1.0" />
        </ModuleInfo>
        <SubslotList>
          <SubslotItem SubslotNumber="32768" TextId="TOK_Subslot_8000" />
          <SubslotItem SubslotNumber="32769" TextId="TOK_Subslot_8001" />
          <SubslotItem SubslotNumber="32770" TextId="TOK_Subslot_8002" />
        </SubslotList>
```

PROFIBUS VS PROFINET

Comparación de especificaciones



	PROFIBUS	PROFINET
Transmission Speed	12MBit/s	100MBit/s 1000MBit/s <i>Backbone</i>
Cycle time	Min. 300µs	Min. 31,25µs
Number of devices on ONE Controller	125 <i>limited</i>	256 (<i>with CPUs</i>) 128 (<i>with CPs</i>)
IO Data	244 Byte	1440 Byte

PROFIBUS VS PROFINET

Aspectos a tener en cuenta

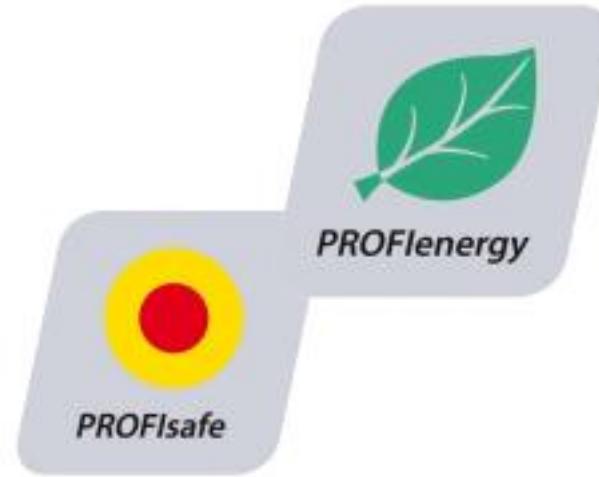
- Velocidad de actualización y número de I/Os
- Robustez y disponibilidad
- Programación y configuración
- Sencillez de instalación
- Extensión y estructura de red
- Disponibilidad de productos



PROFIBUS VS PROFINET

Ventajas PROFINET

- Fácil instalación.
- Muy alta velocidad.
- Reutilización del bus.
- Acceso a tecnologías futuras.
- PROFIsafe.
- PROFIdenergy.



IO-LINK

SENSORES Y ACTUADORES 22.88

AGENDA

Definición de IO-Link

Comunicación

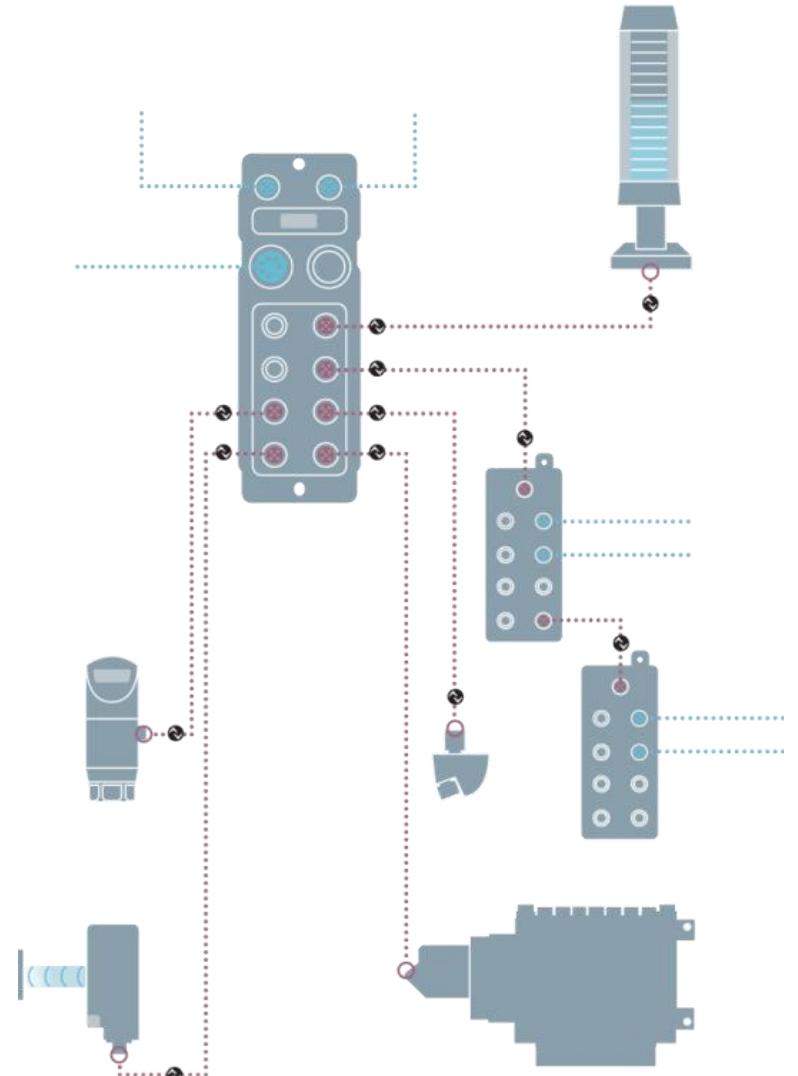
Tipos de datos

Arquitecturas posibles

Ejemplos y aplicaciones

¿QUÉ ES IO-LINK?

- IO-Link es una tecnología de comunicación punto a punto, bidireccional.
- Utiliza como conductor un cable estándar de 3 hilos, como los utilizados por sensores digitales.
- Estándar abierto.

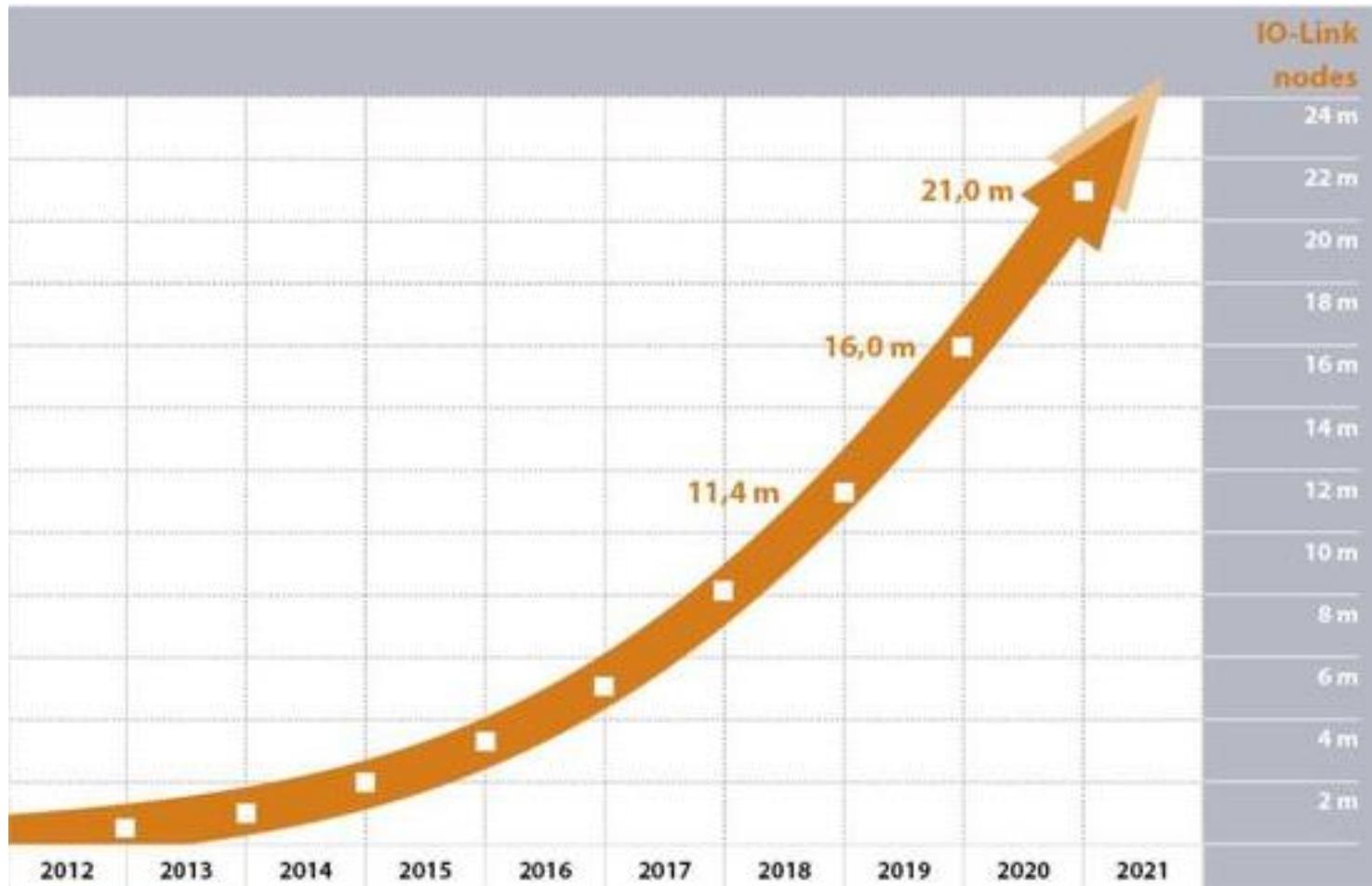


CONSORCIO

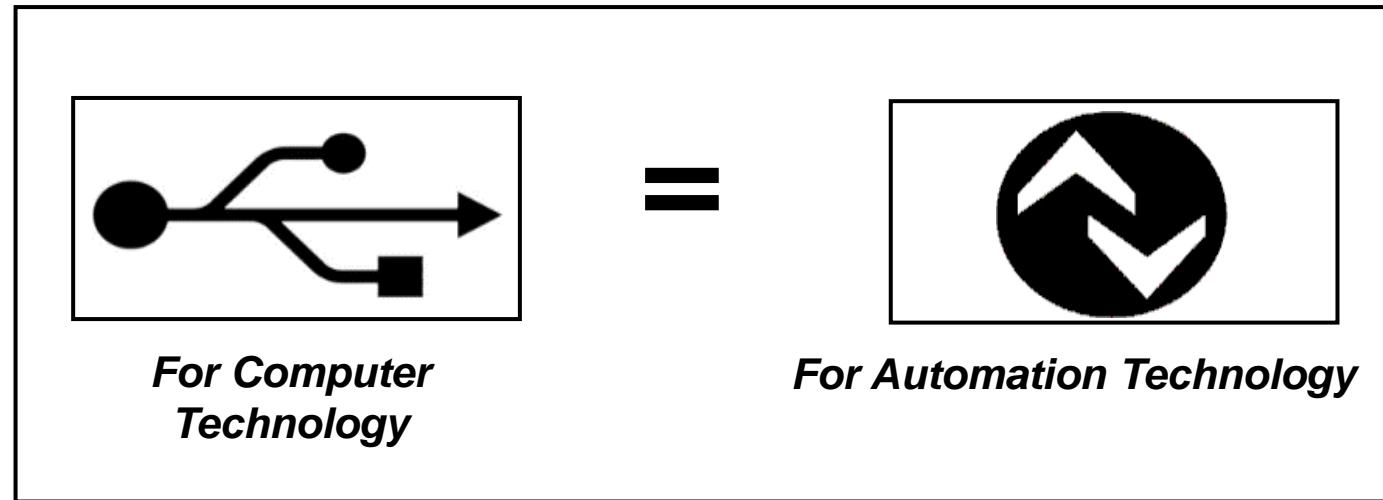
- Año 2006.
- 300 empresas.
- 13000 dispositivos.



EVOLUCIÓN EN IMPLEMENTACIÓN



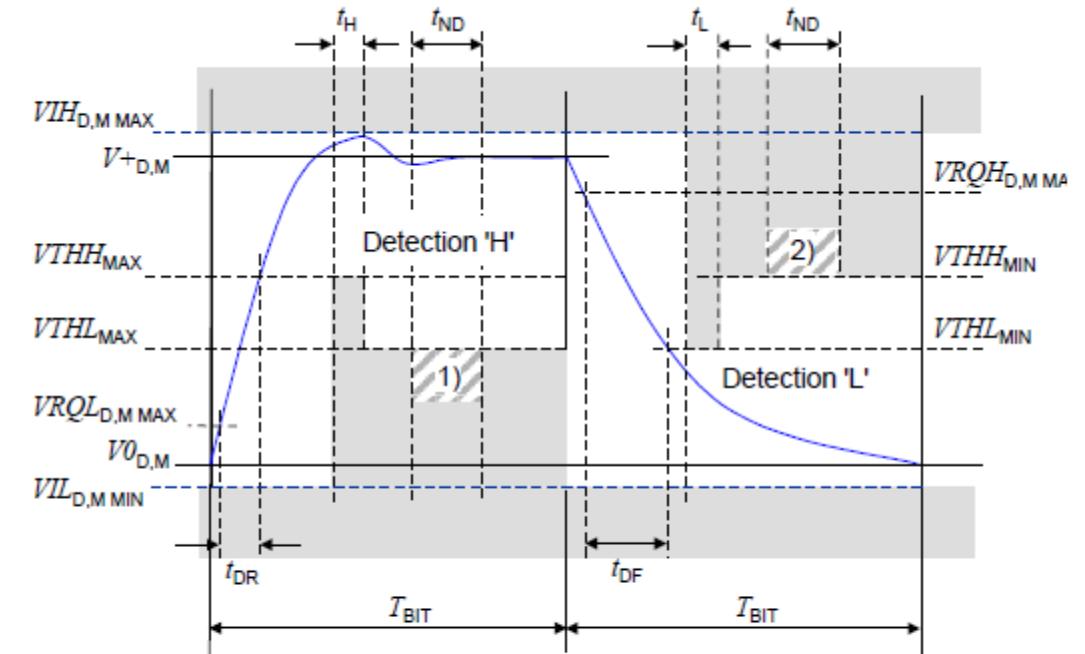
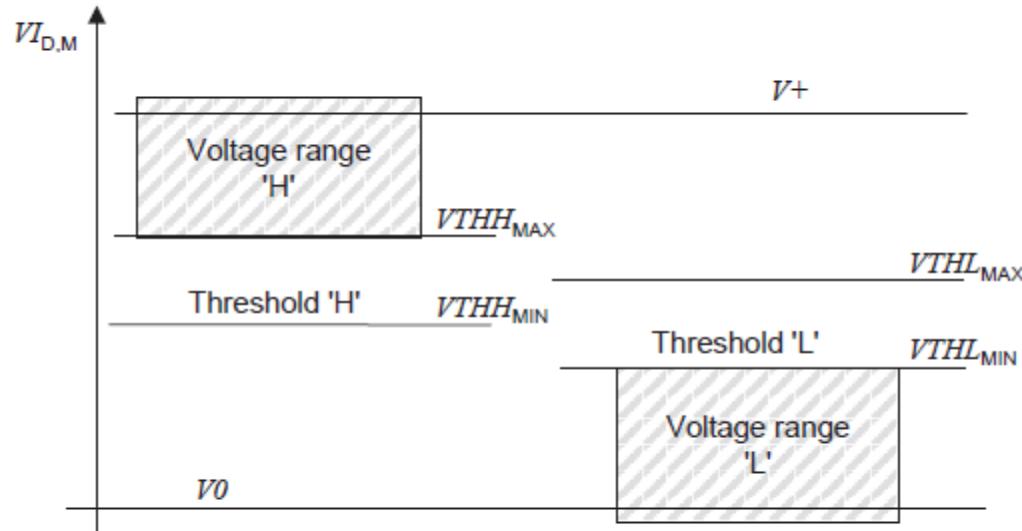
IO-LINK NO ES UNA NUEVA RED!



ESTÁNDAR IEC 61131-9

- Define una tecnología de comunicación digital del tipo “single-drop”.
- Orientado principalmente a sensores y actuadores.
- Habilita la transferencia de parámetros, datos de proceso y diagnóstico.

SEÑAL IO-LINK



NOTE In the figure, 1) = no detection 'L'; and 2) = no detection 'H'

1 lógico: por encima de 13V.

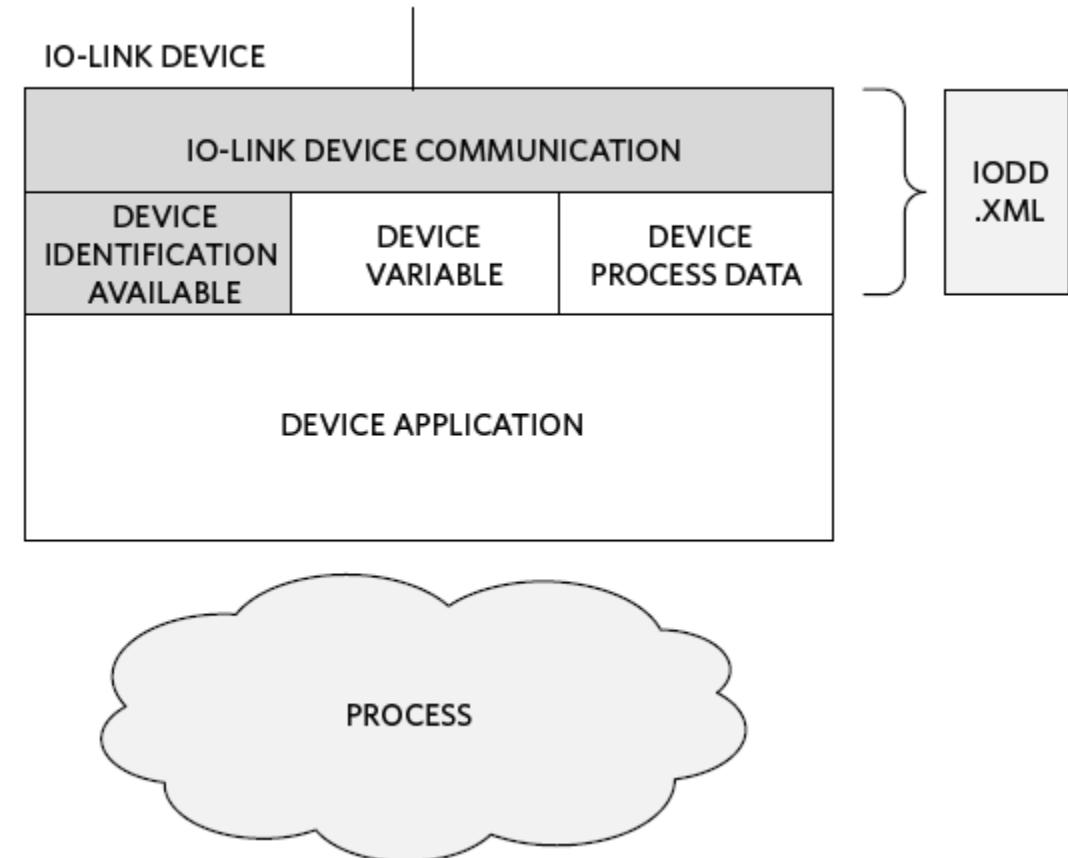
0 lógico: por debajo de 8V.

ARCHIVO DE DESCRIPCIÓN DE HARDWARE

Todos los dispositivos IO-Link poseen un archivo electrónico asociado:
IO-Link Device Description (IODE)

El IODD contiene:

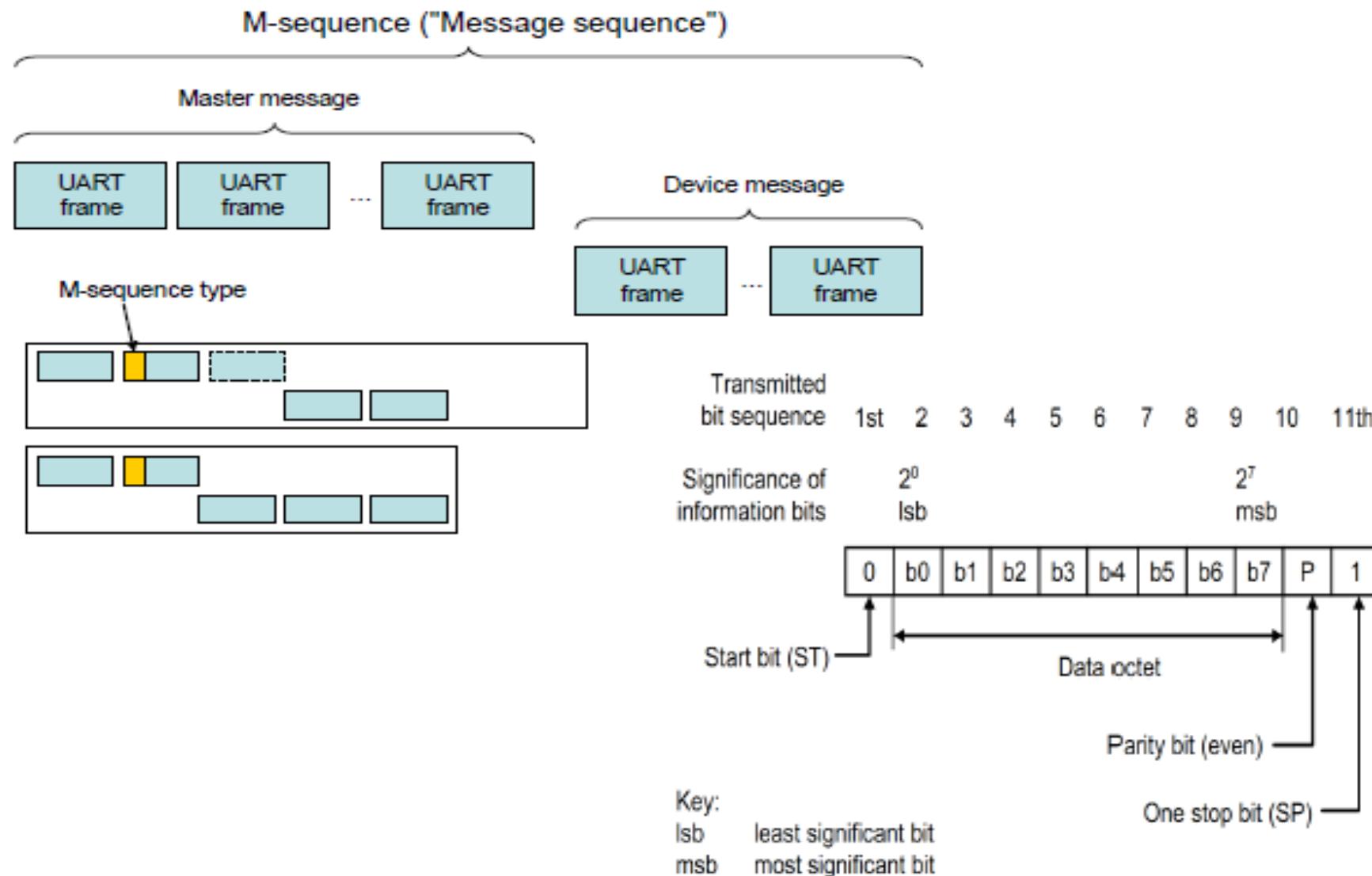
- Parámetros del dispositivo.
- Información de identificación.
- Información de diagnóstico y proceso.
- Formato XML.



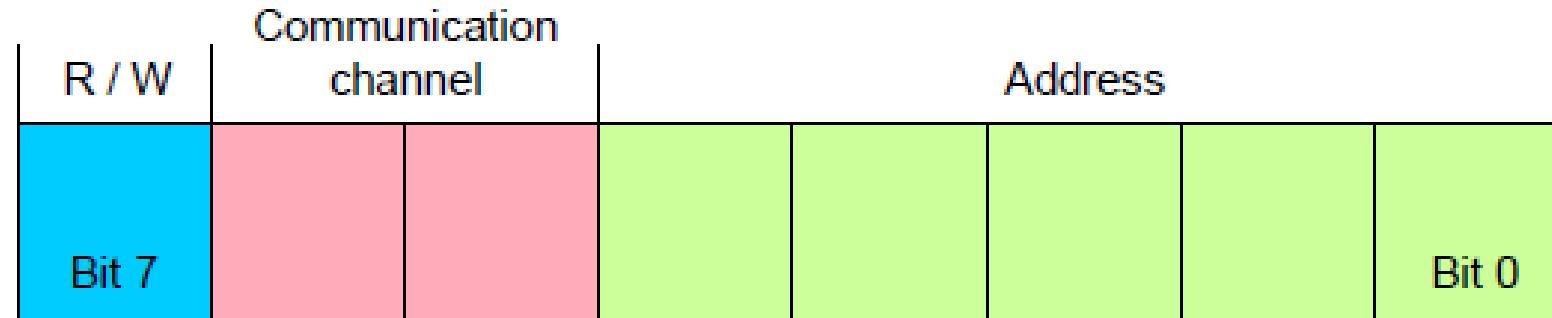
Secuencia de comunicación Maestro-Esclavo

- Los mensajes de comunicación consisten en telegramas tipo UART, que pueden variar entre 1 y 66 palabras.
- Cada telegrama UART posee 11 bits.
- Los mensajes pueden contener datos de proceso, comandos de parametrización, diagnóstico, etc.
- Existe un handler que se encarga de confirmar el modo de operación y errores de comunicación.

Secuencia de comunicación Maestro-Esclavo



TRAMA

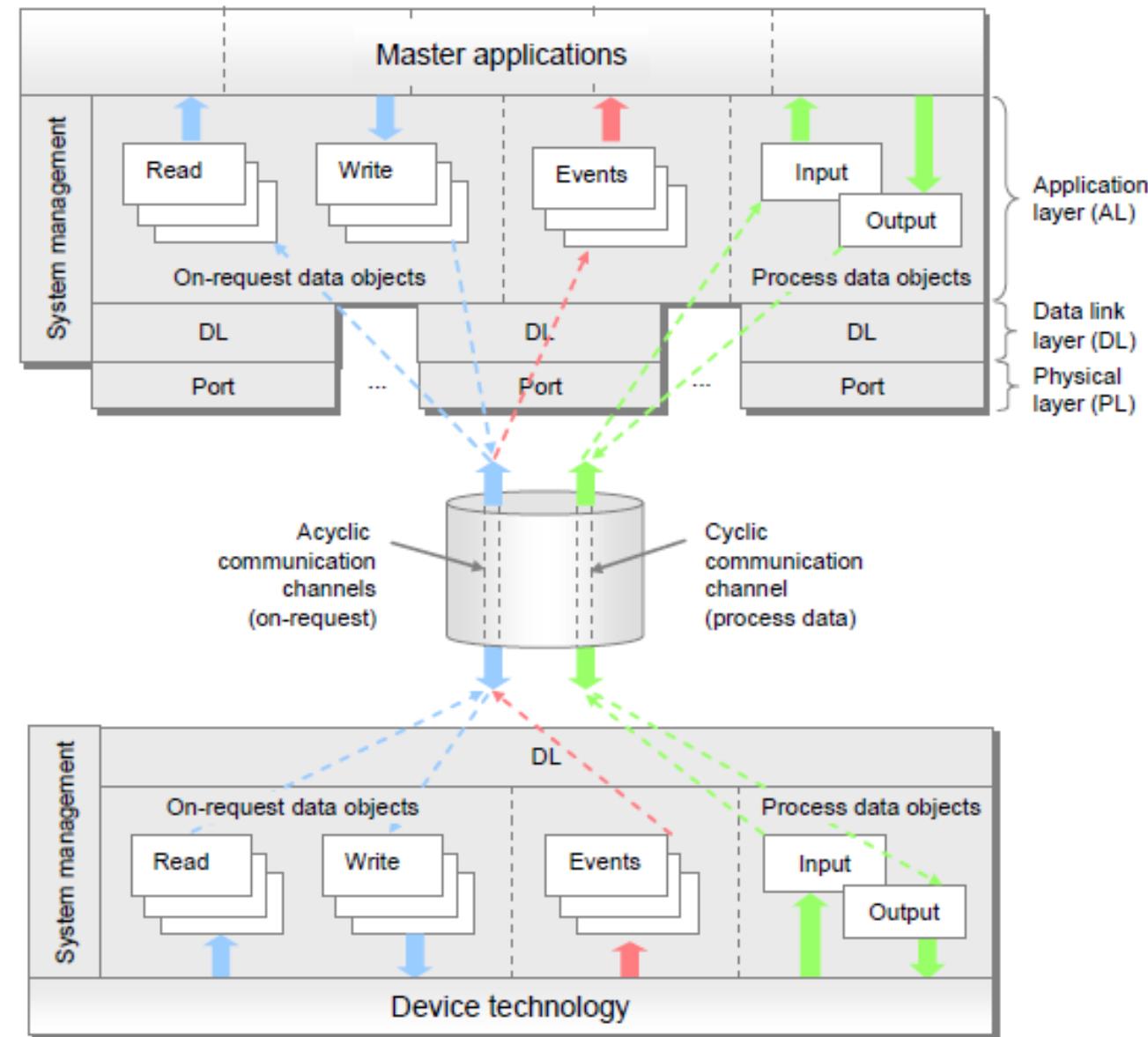


- Bit 0 a 4: Dirección
- Bit 5 a 6: Canal

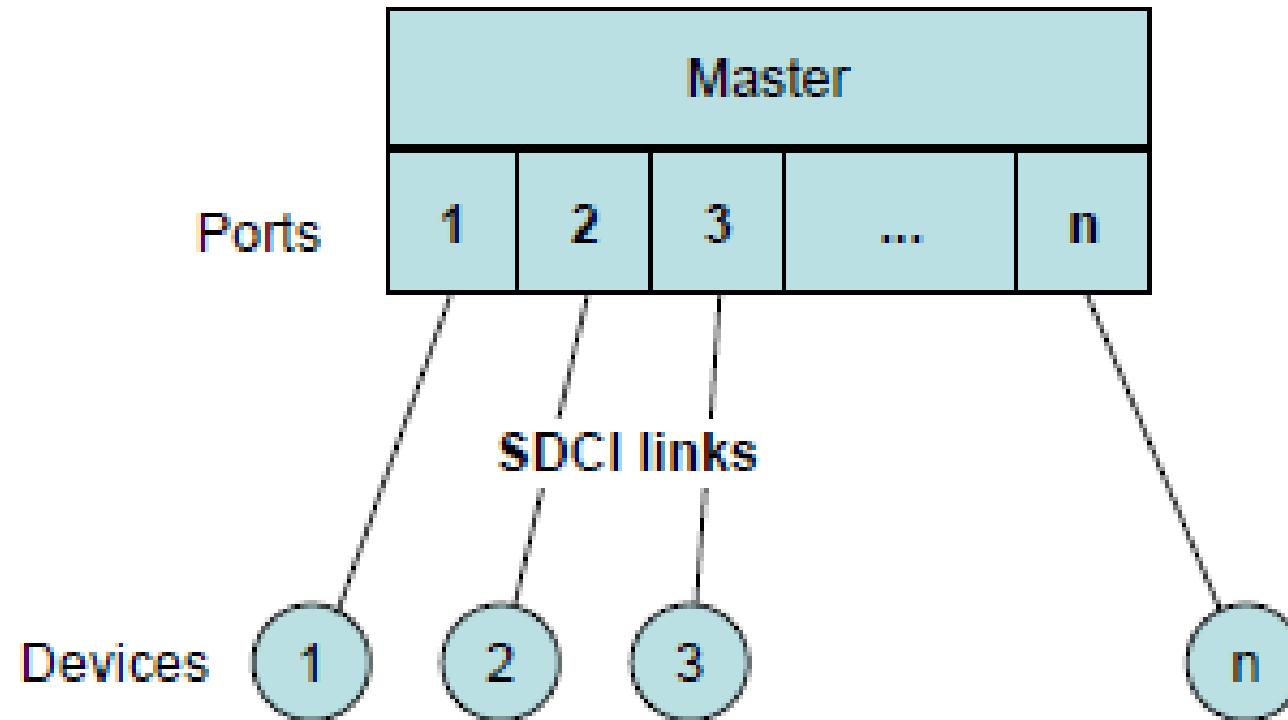
Value	Definition
0	Process
1	Page
2	Diagnosis
3	ISDU Index Service Data Unit

- Bit 7: R/W

Esquema de comunicación IO-Link

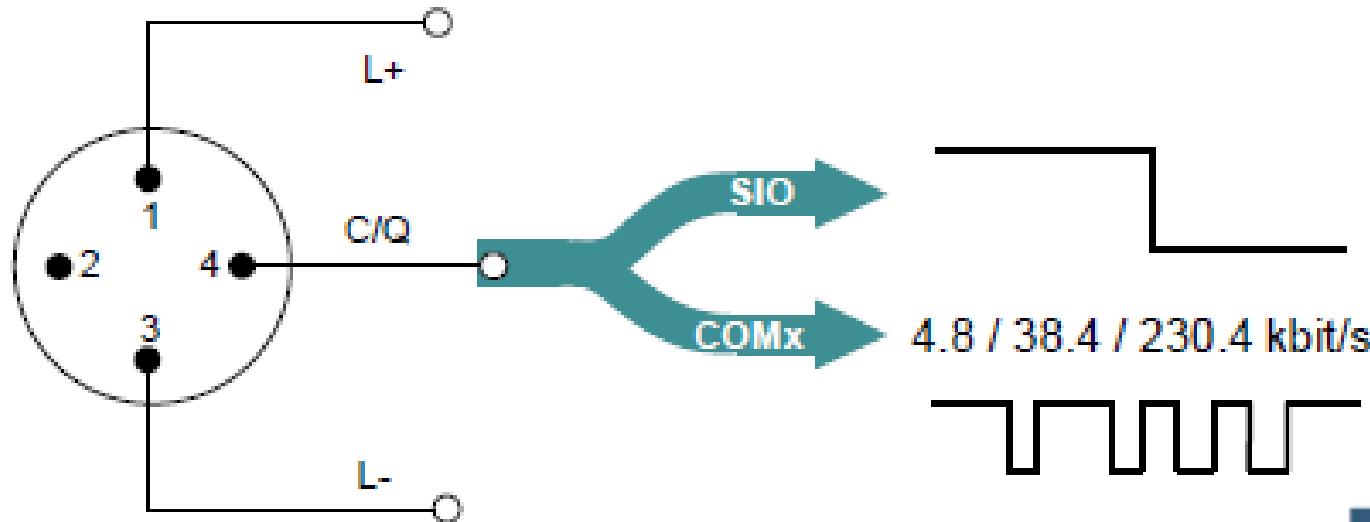


Topología



SDCI: Single-drop Digital Communication Interface

Puerto IO-Link



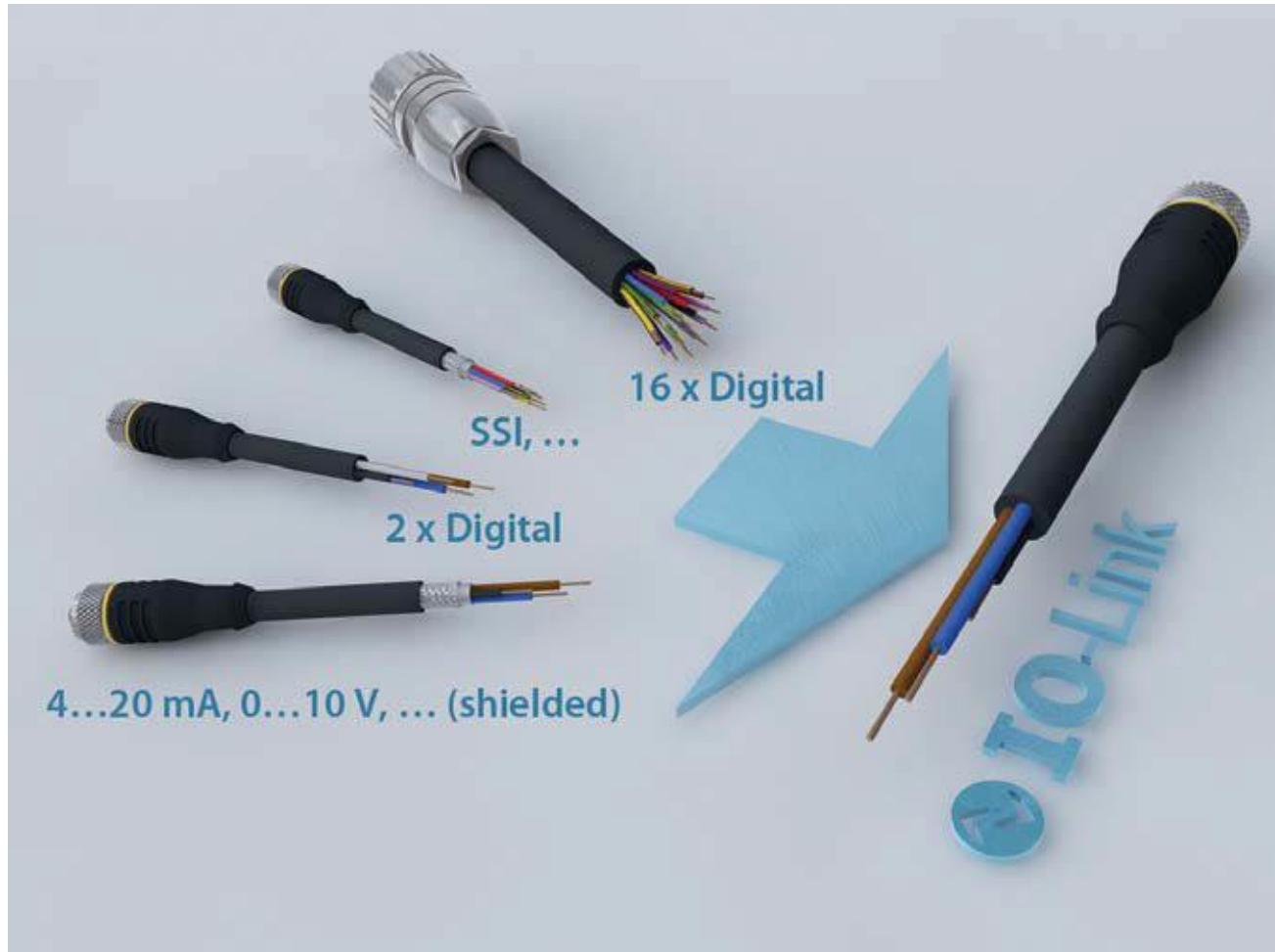
Pin	Signal	Designation	Standard
1	L+	24V	IEC 61131-2
2	I/Q	Not connected, DI, or DO	IEC 61131-2
3	L-	0V	IEC 61131-2
4	Q	"Switching signal" (SIO)	IEC 61131-2
	C	"Coded switching" (COM1, COM2, COM3)	IEC 61131-9

Velocidades de transmisión

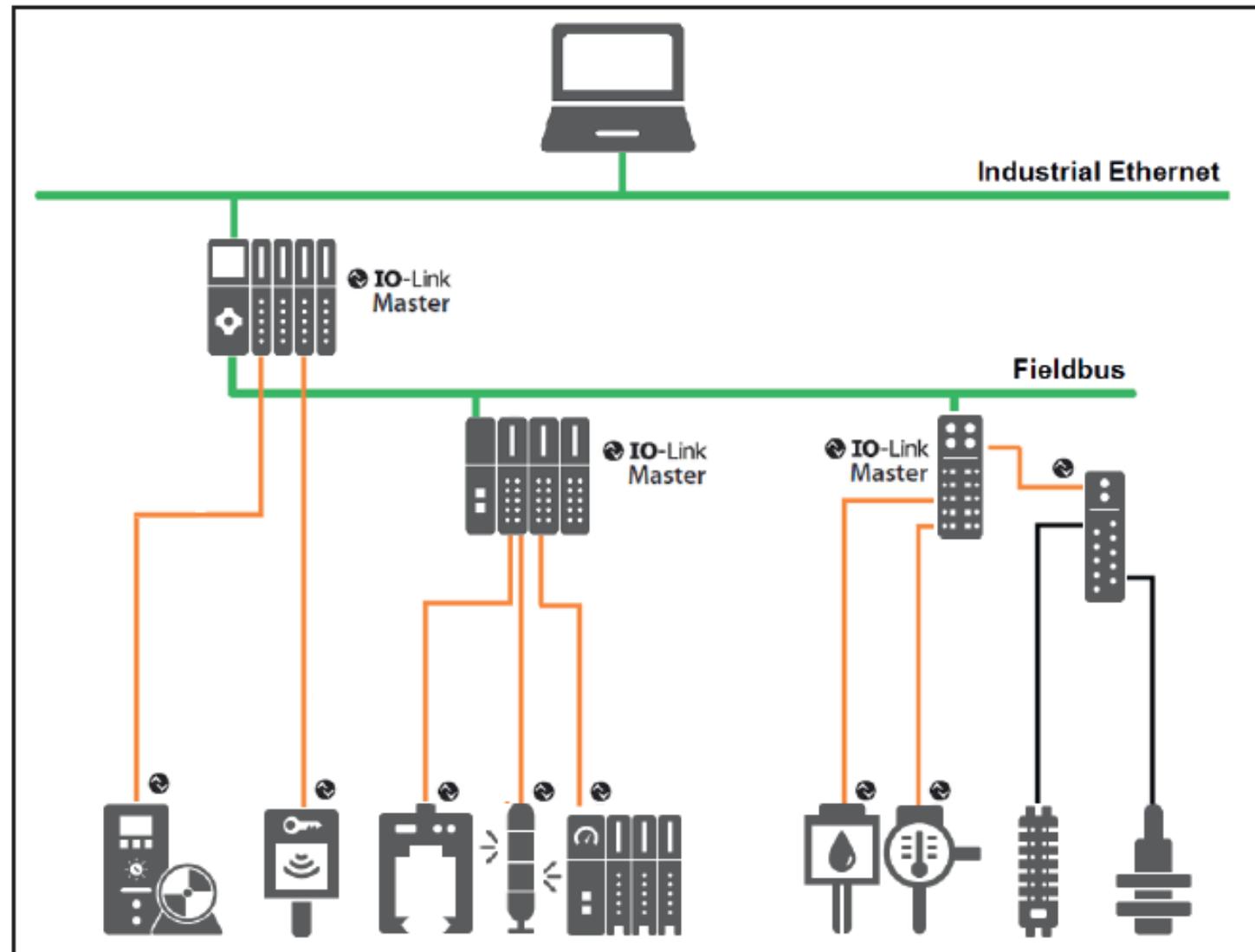
- COM 1 = 4.8 kbaud
- COM 2 = 38.4 kbaud
- COM 3 = 230.4 kbaud

A partir de la versión IO-Link 1.1, el maestro soporta todas las velocidades de transmisión y se adapta automáticamente a la velocidad del esclavo.

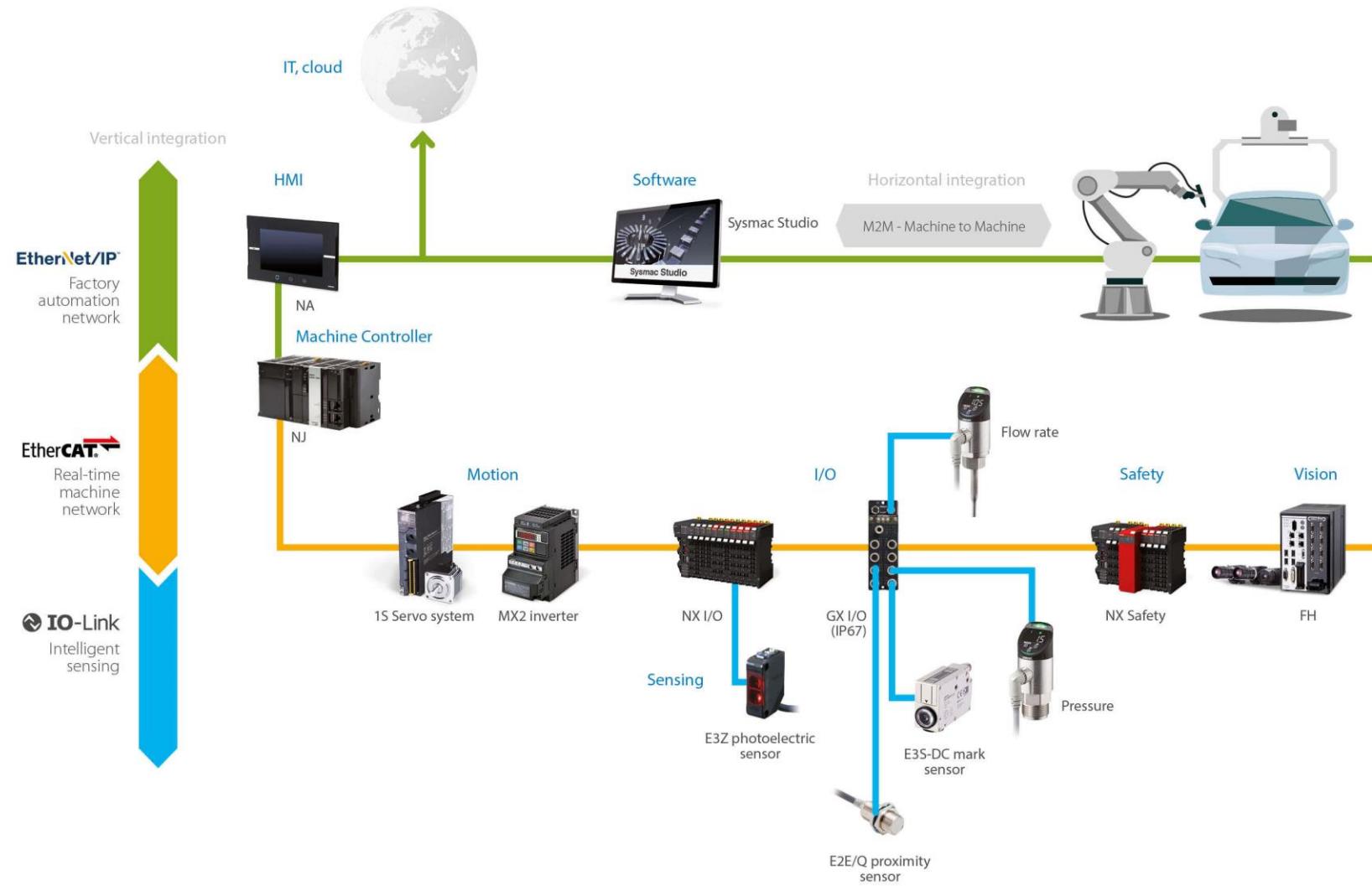
Conexión IO-Link



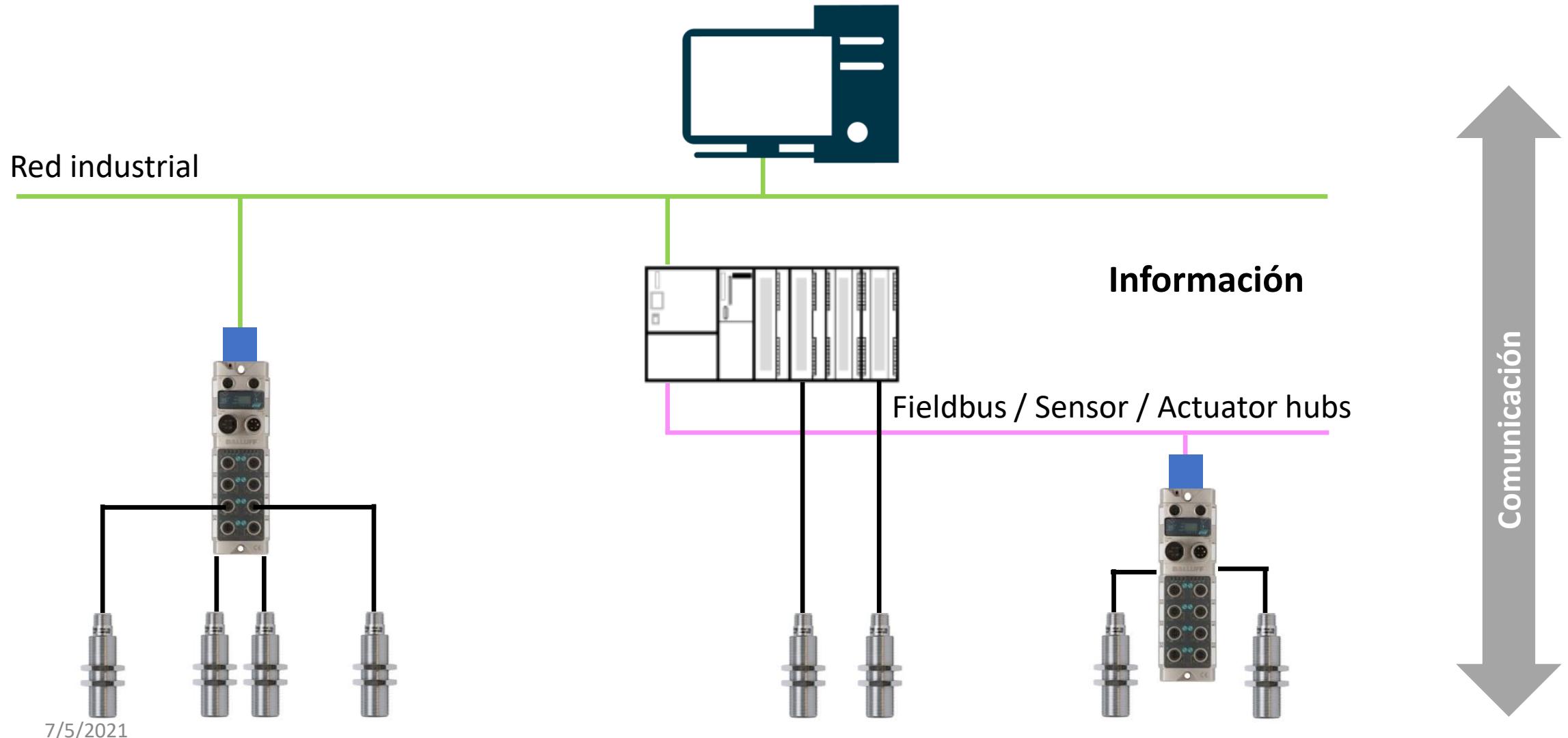
¿CÓMO SE INTEGRA IO-LINK EN UNA ARQUITECTURA?



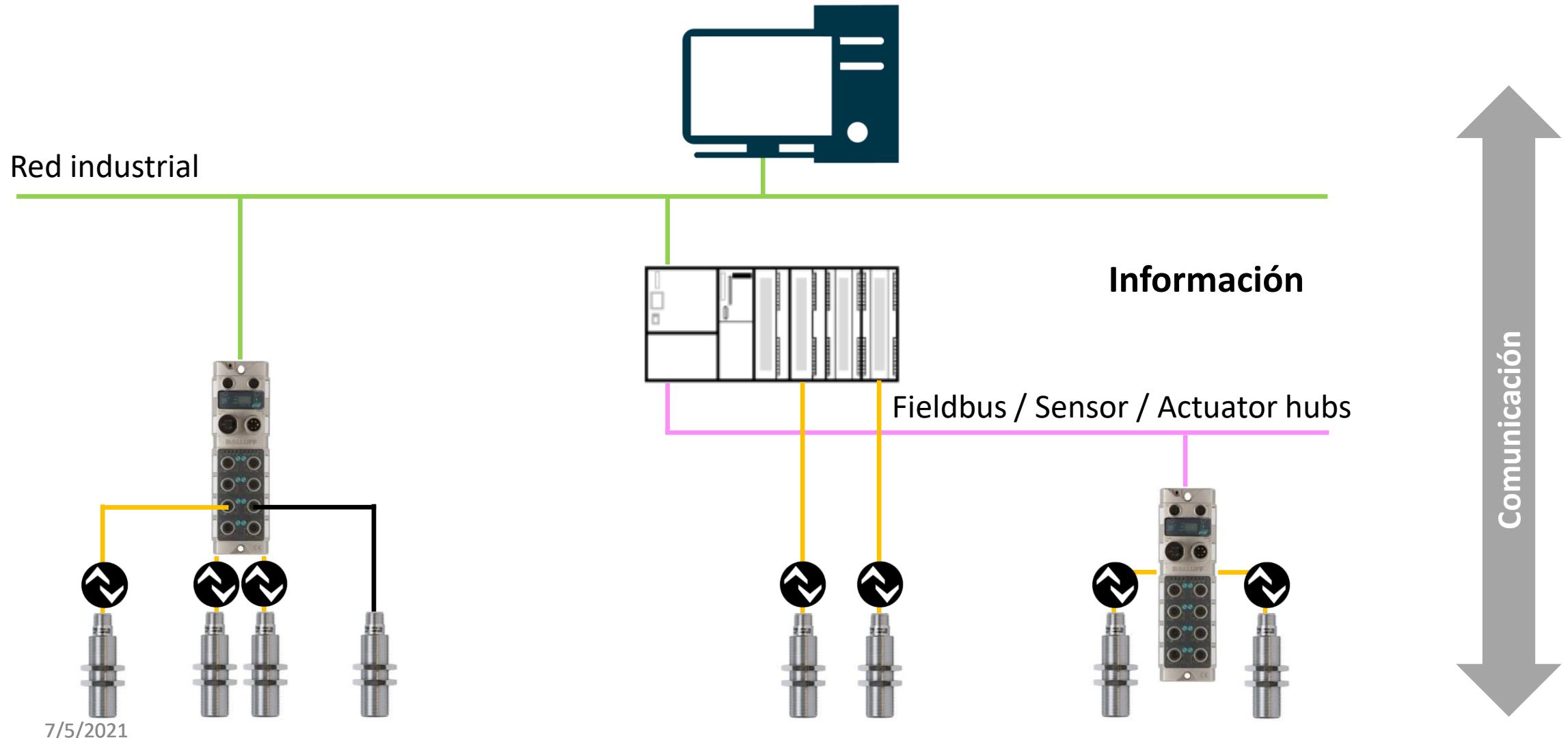
Integración vertical



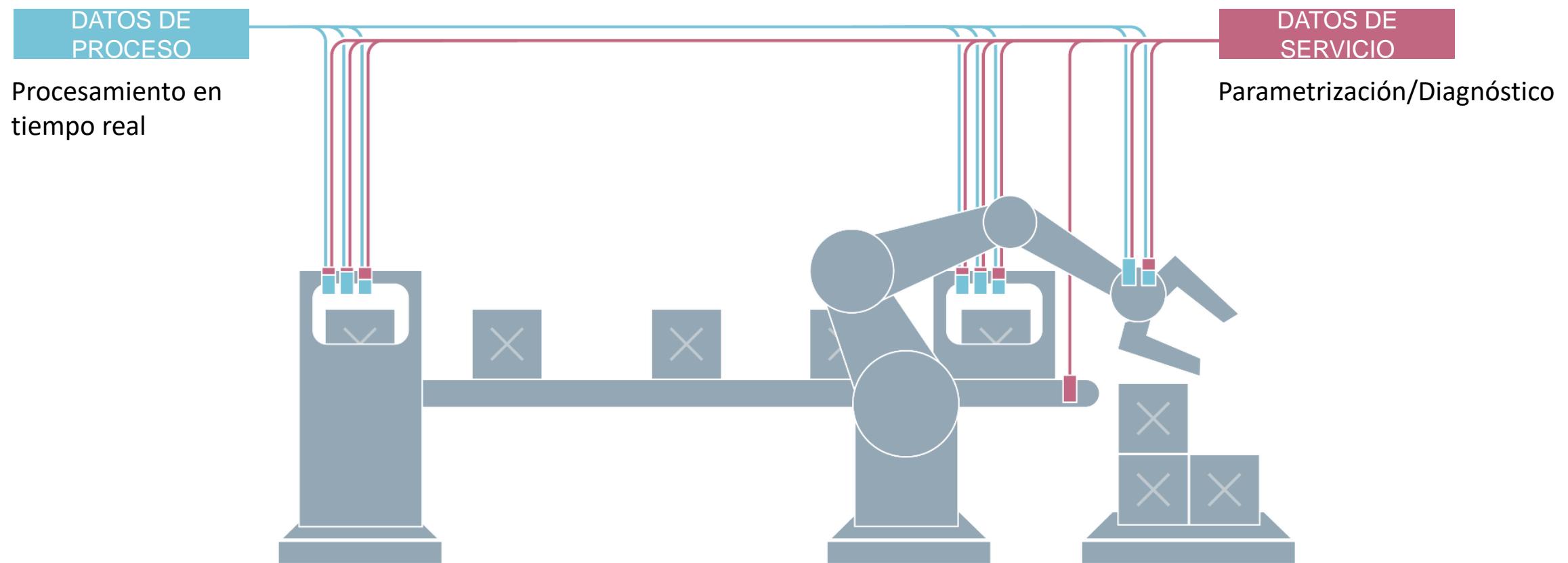
VISIBILIDAD EN CAMPO ANTES DE IO-LINK



VISIBILIDAD EN CAMPO CON IO-LINK



DATOS DE PROCESO Y DATOS DE SERVICIO



IO-Link posibilita datos de valor agregado

Sensor standard

Presión



Sensor IO-Link

Presión



Valor analógico o digital

0...10V
4...20mA

Medición

0...10 bar
-1...5 bar
0...100 bar

Switching points

true
false

Parámetros



Diagnóstico



Metadata

IO-Link posibilita datos de valor agregado

- Tiempo de operación
- Temperatura ambiente e interna
- Vibración
- Tiempo de vida
- Alarmas de cortocircuito/sobrecarga
- Estado de comunicación

Ejemplo sensor de presión IO-Link



Interfaz IO-Link

Información general sobre el dispositivo

Tasa de baudios	COM 2 (38,4 kbaudios)
Longitud de datos de proceso en la entrada	2 bytes
Tiempo de ciclo mínimo	5 ms
Versión IO-Link	V1.1 (compatible hacia abajo V1.0)
Modo SIO	Sí

Datos de proceso

La longitud de datos de proceso del sensor de presión es de 16 bits.

En los datos de proceso, se transmiten los estados de conexión de las dos salidas de conmutación (BCD1 y BCD2), así como el valor de medición actual.

Los 14 bits del valor de medición están escalados según el rango de medición del sensor.

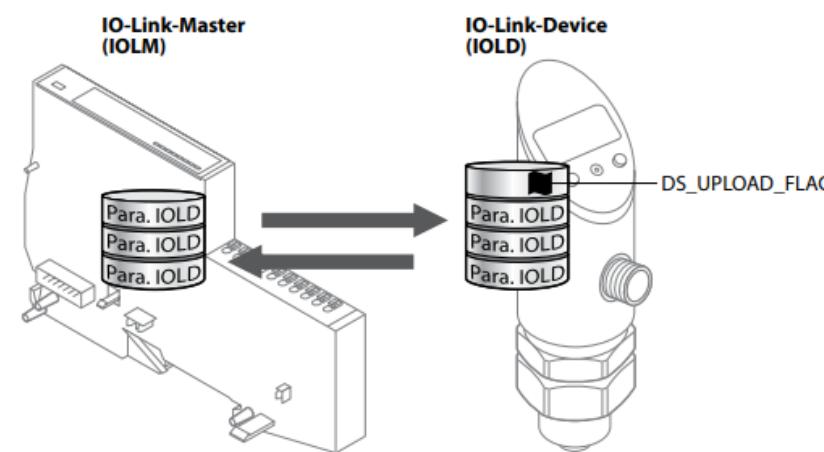
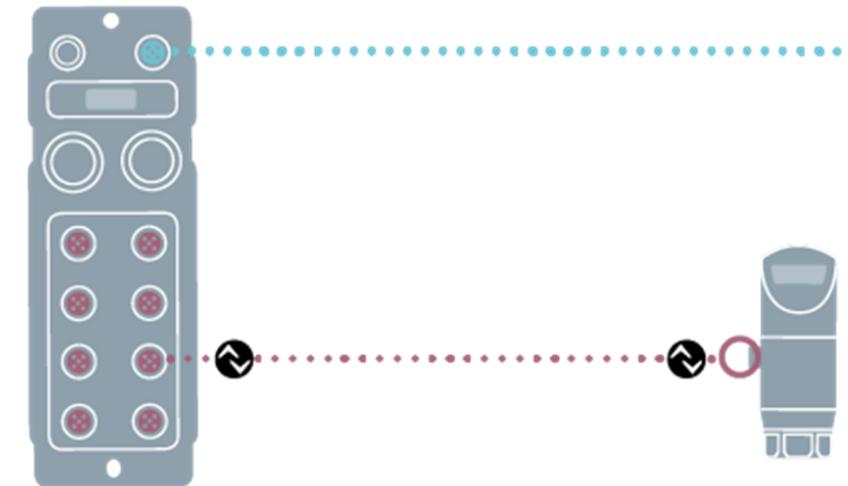
Bit 15	Bits 14...2	Bit 1	Bit 0
Bit con signo	Valor de medición	BDC2/ salida 2	BDC1/ salida 1

Ejemplo sensor de presión IO-Link (continuación)

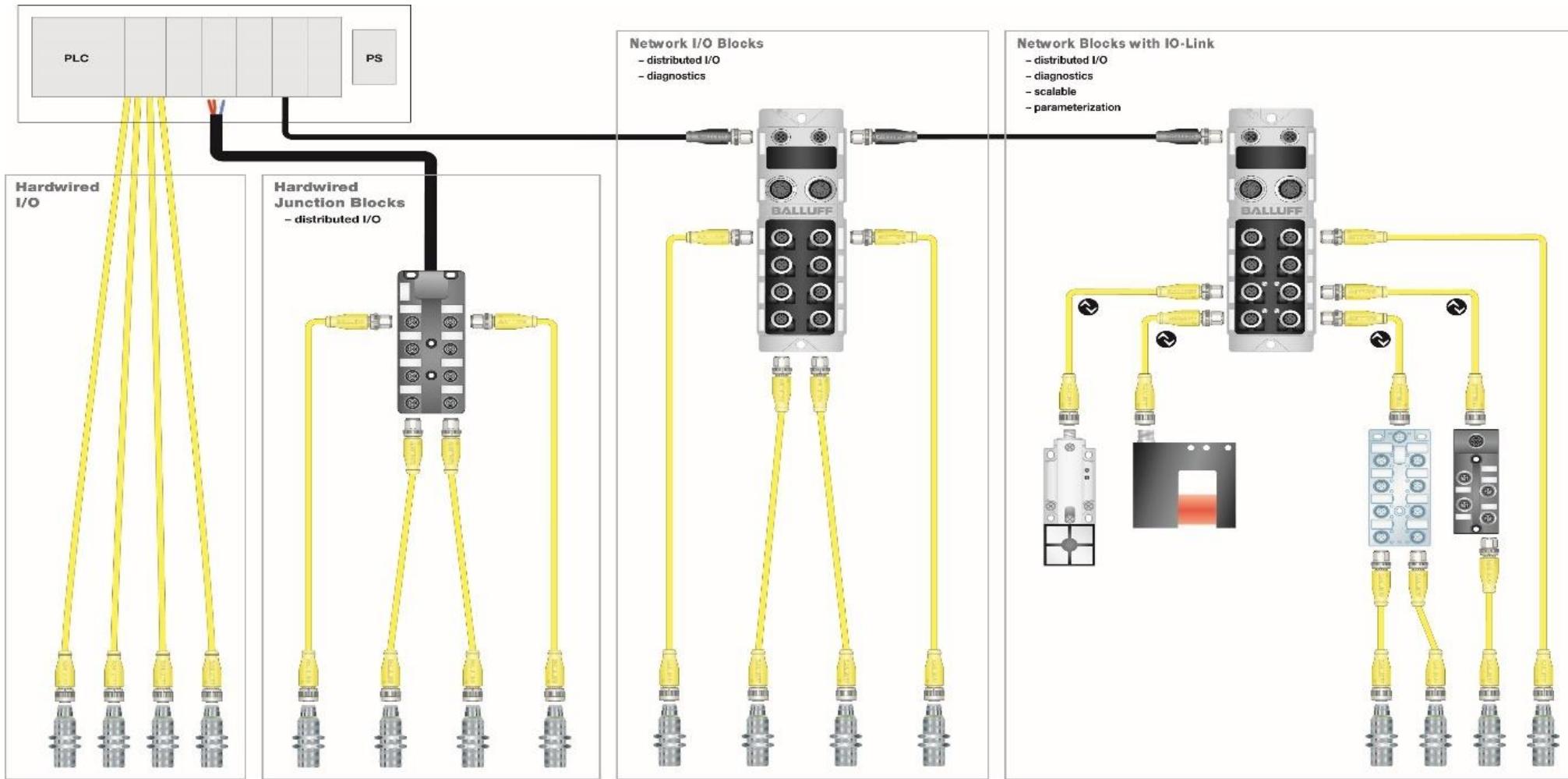
Index hex	Subindex hex	Object name	Acceso	Length	Value Range	Gradient	Unidad	Default
0x3C	0x01	SetPoint 1 = SP1	R/W	2 Byte	Process Data			75 %
	0x02	SetPoint 2 = rP1	R/W	2 Byte	Process Data			74 %
0x3E	0x01	SetPoint 1 = SP2	R/W	2 Byte	Process Data			85 %
	0x02	SetPoint 2 = rP2	R/W	2 Byte	Process Data			84 %
0x52	0x00	Temperature	R	2 Byte	-40...150	1	°C	0
0x57	0x00	Operating hours	R	4 Byte	0...4294967295	1	h	0
0x60	0x00	Password	W	2 Byte	0000...9999			0
0x98	0x00	Pressure peaks	R	4 Byte	0...4294967295	1		0
0xD0	0x00	Delay Switching Time 1	R/W	2 Byte	0...500	0.1	s	0
0xD1	0x00	Delay Back Switching Time 1	R/W	2 Byte	0...500	0.1	s	0
0xD2	0x00	Delay Switching Time 2	R/W	2 Byte	0...500	0.1	s	0
0xD3	0x00	Delay Back Switching Time 2	R/W	2 Byte	0...500	0.1	s	0
0xD5	0x00	Min Pressure Value	R	2 Byte	Process Data			
0xD6	0x00	Max Pressure Value	R	2 Byte	Process Data			
0xD7	0x00	Measure damping	R/W	2 Byte	0...1000 in 10 ms steps	1	ms	0

IO-Link permite incrementar la eficiencia

- Parametrización automática de sensores
- Se eliminan errores humanos.
- Acceso remoto.



Evolución en la conectividad de campo



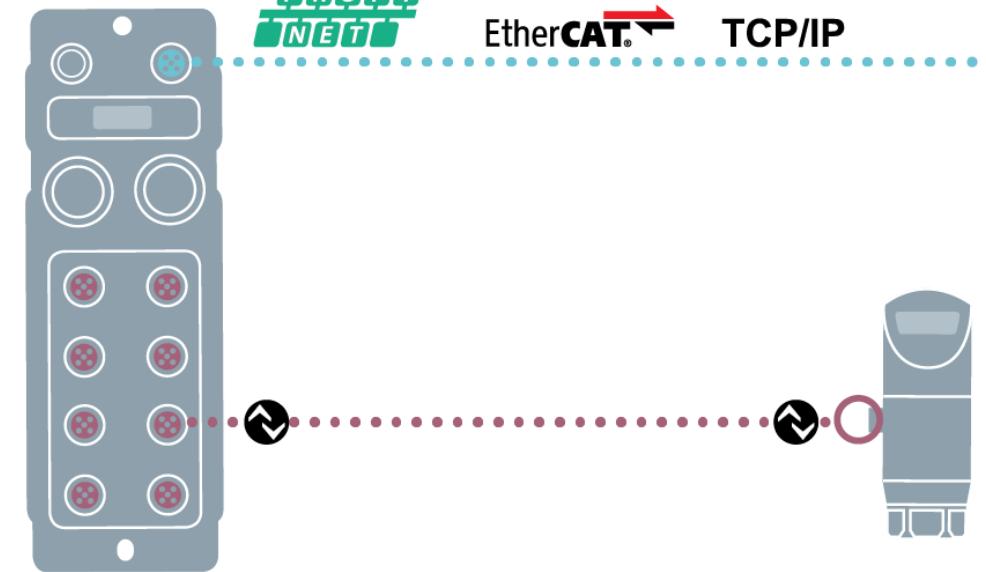
IO-Link como comunicación universal

- Usa la infraestructura y red industrial existente.

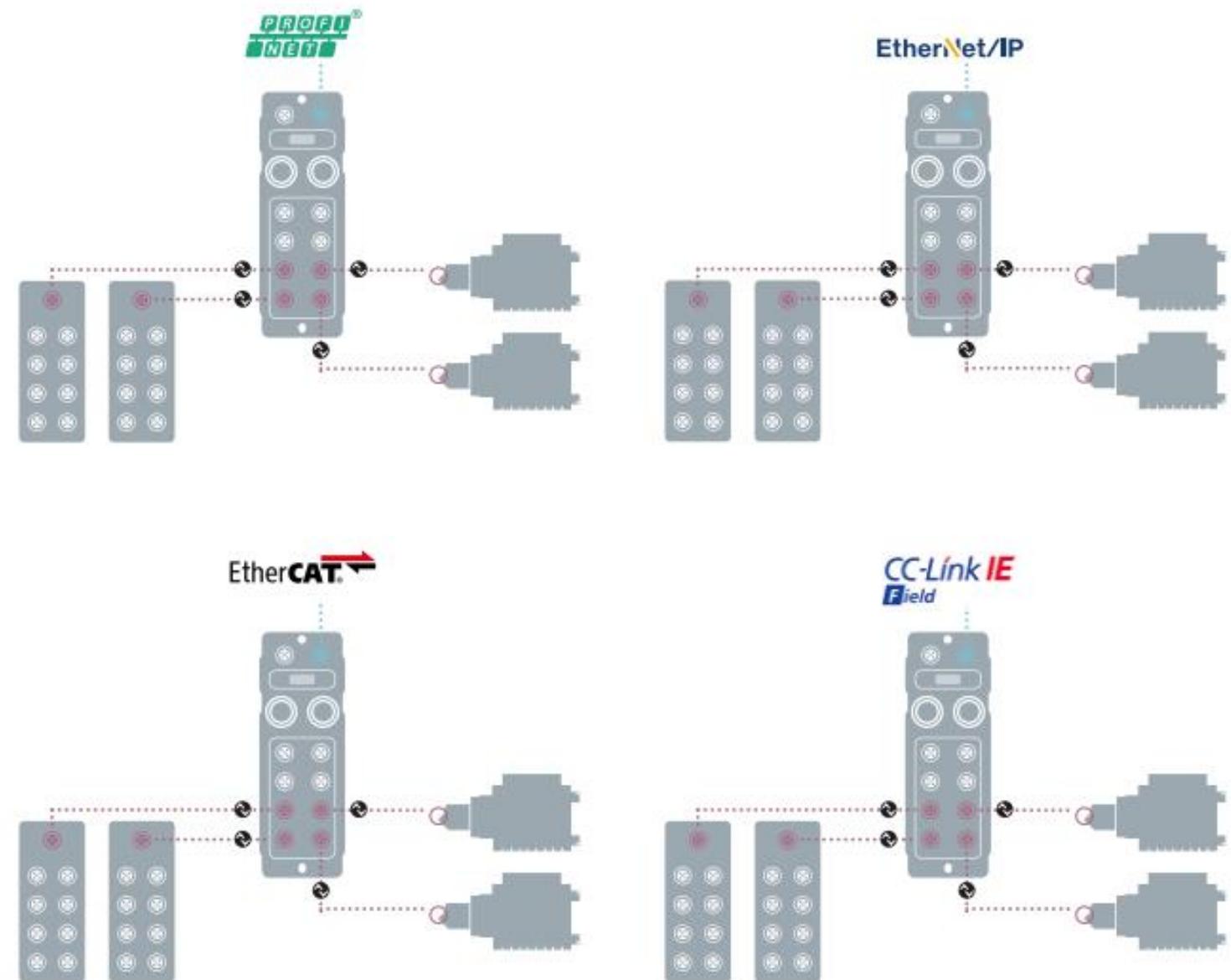
- DeviceNet & EtherNet/IP
- CC-Link & CC-LinkIE Field
- Profinet & Profibus
- EtherCAT & TCP/IP



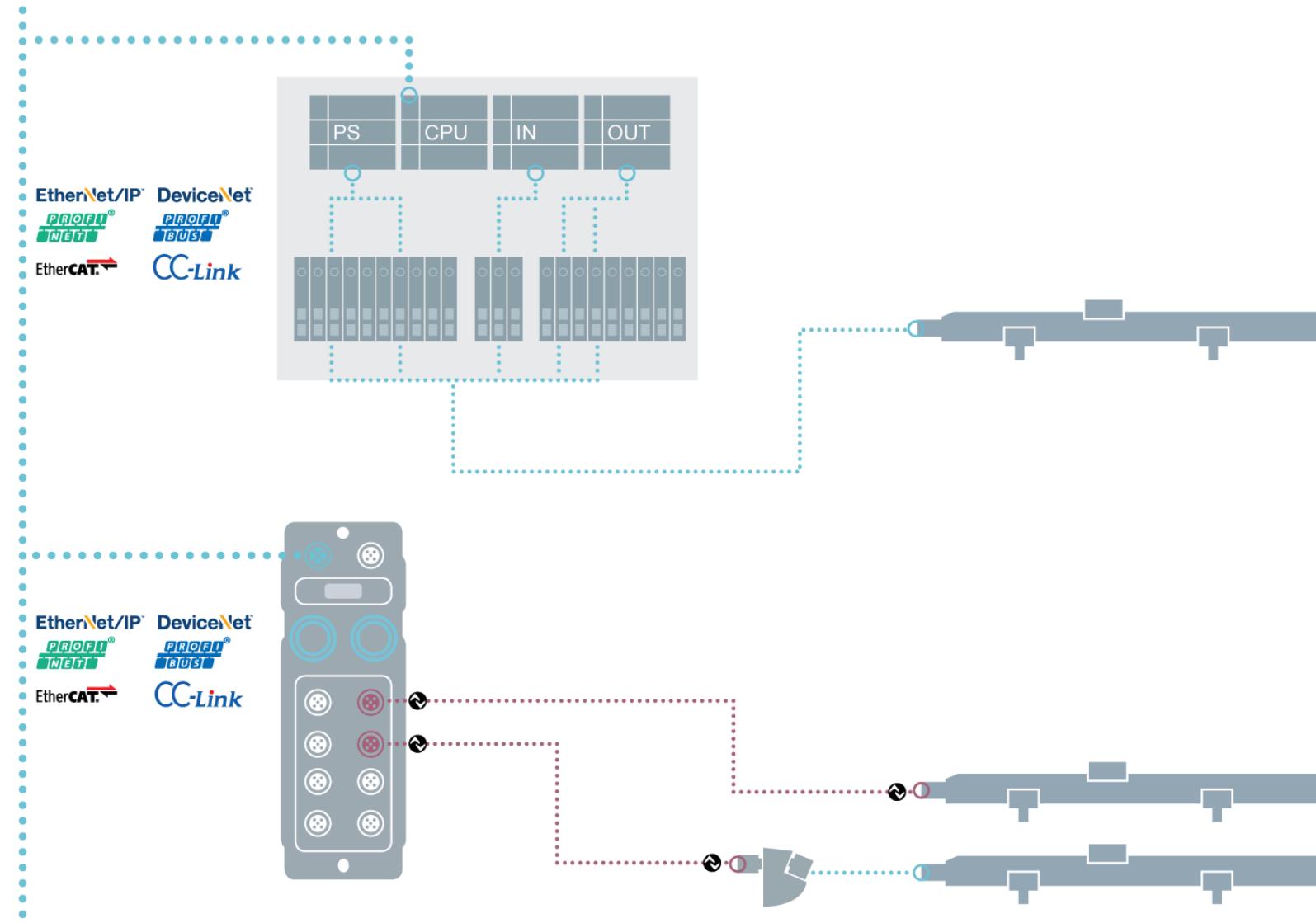
- Independiente del controlador
 - Siemens, Allen Bradley
 - Omron, Festo, o Schneider Electric
- Independiente del robot
 - ABB, Motoman, Kuka o Fanuc, etc.



Modularidad



IO-Link como interfaz para señales analógicas



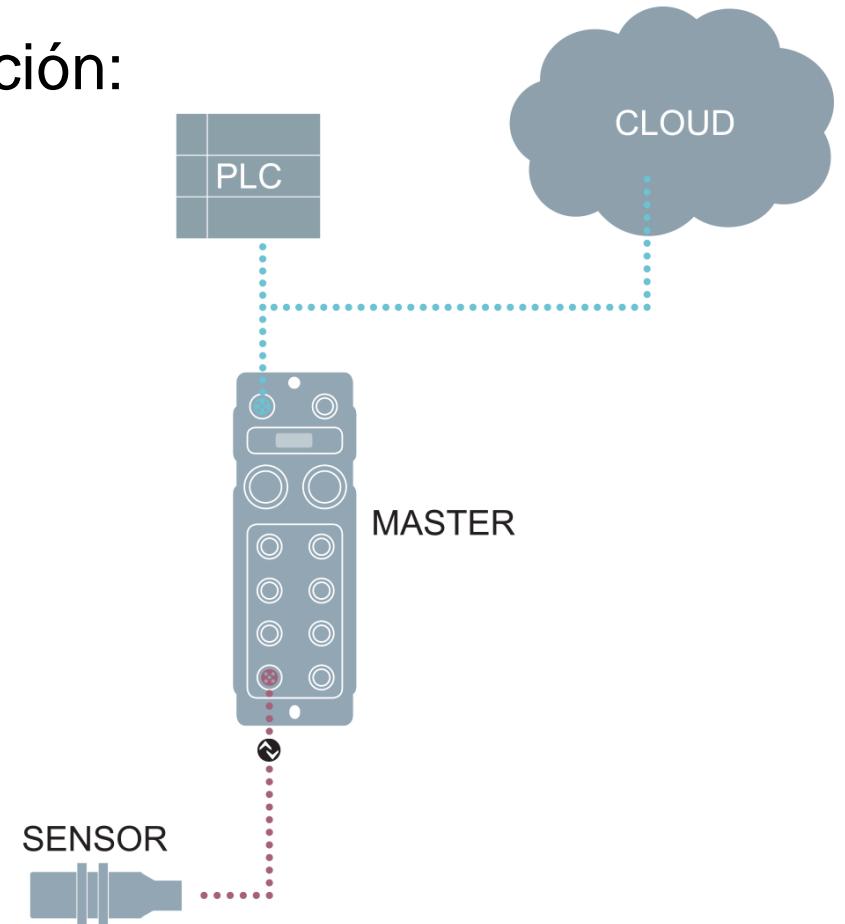
IO-Link hace posible mantenimiento predictivo

Dispositivos IO-Link hacen visible mayor información:

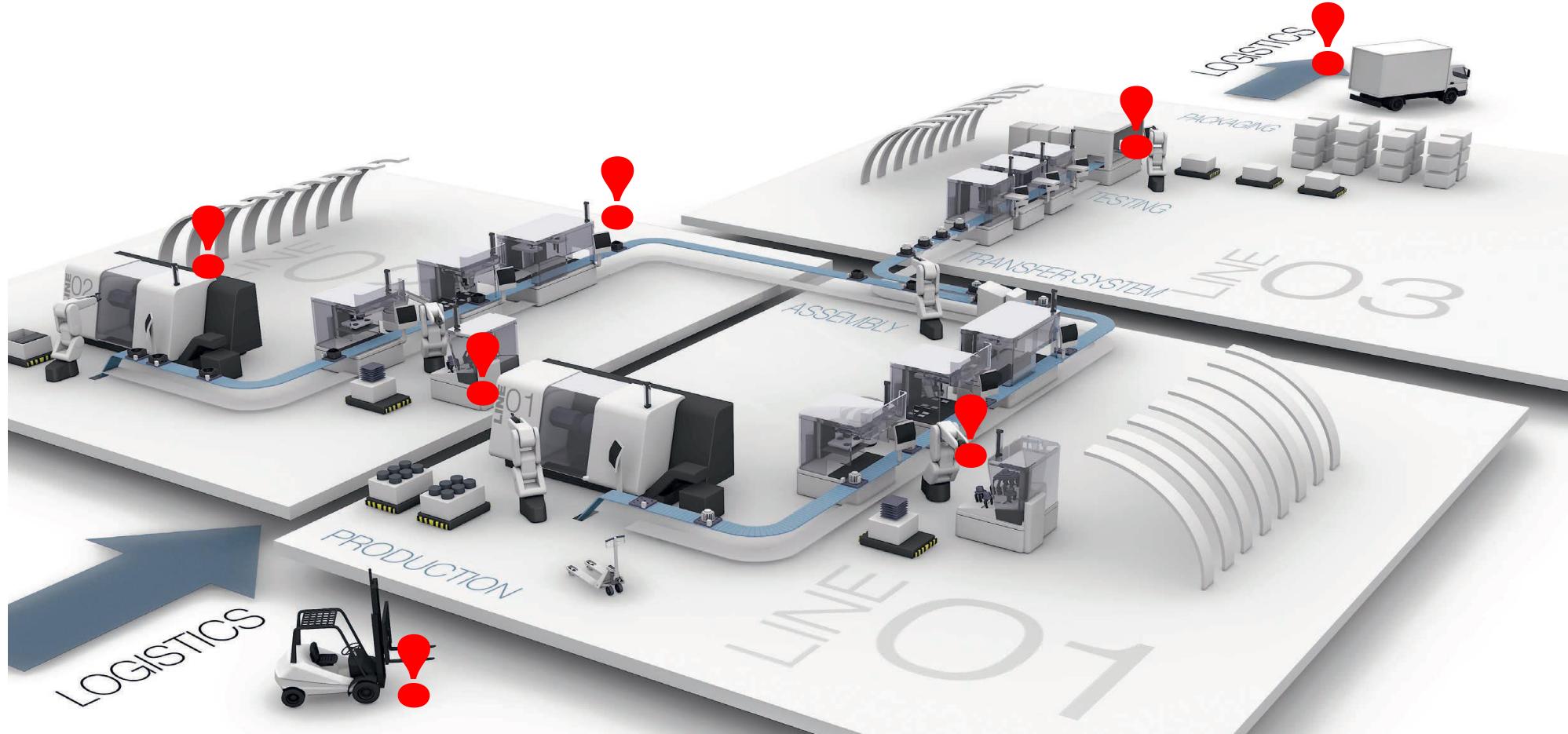
- **Datos de Proceso**
Conteo/Detección

- **Datos de parametrización**
Distancia de operación/Sensibilidad

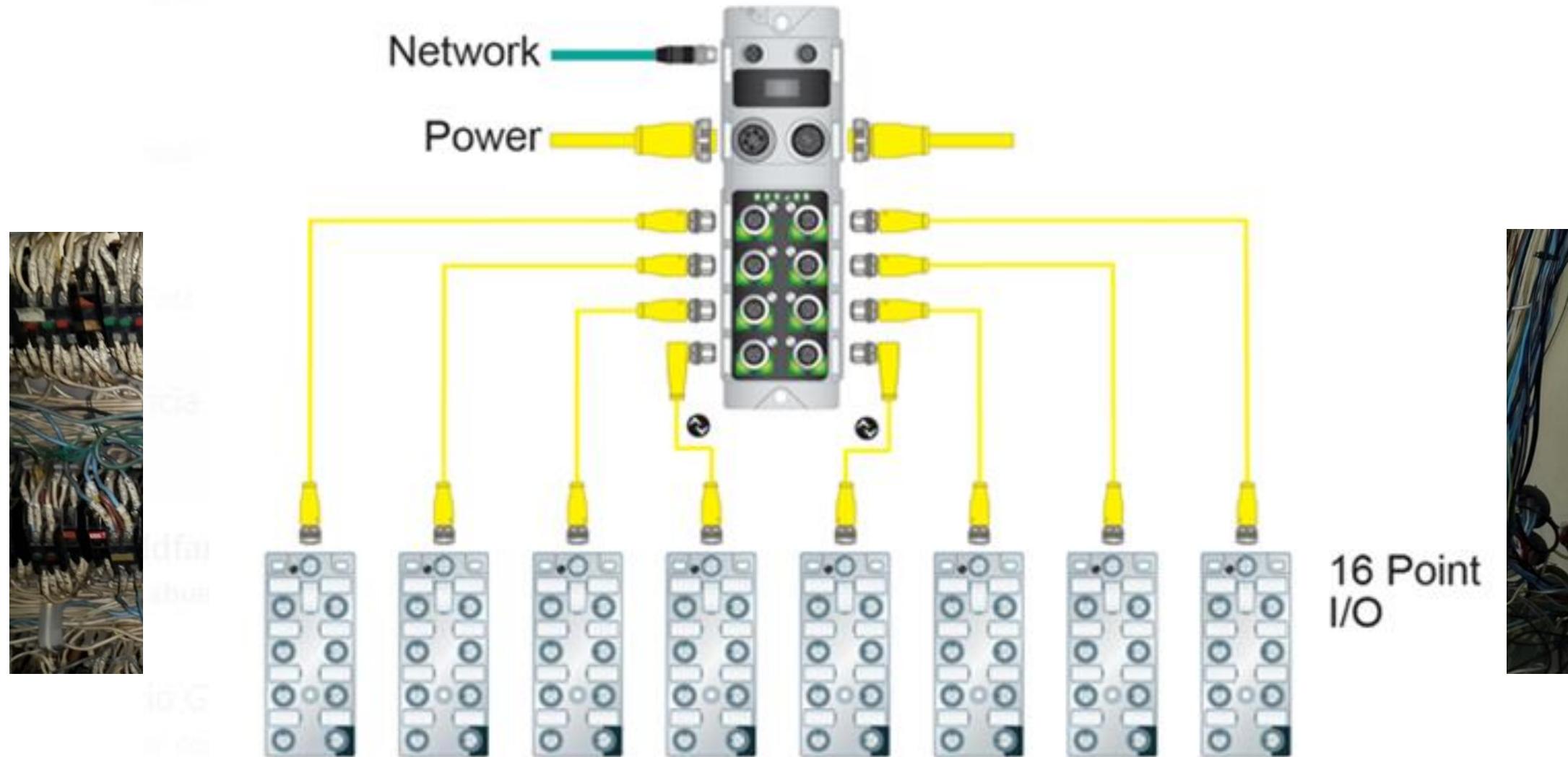
- **Diagnóstico**
Temp/Vibración/Humedad/Sobrecarga



Rol de IO-Link en la INDUSTRIA 4.0



Ejemplo retrofit tablero con relés



Descentralización de señales de campo

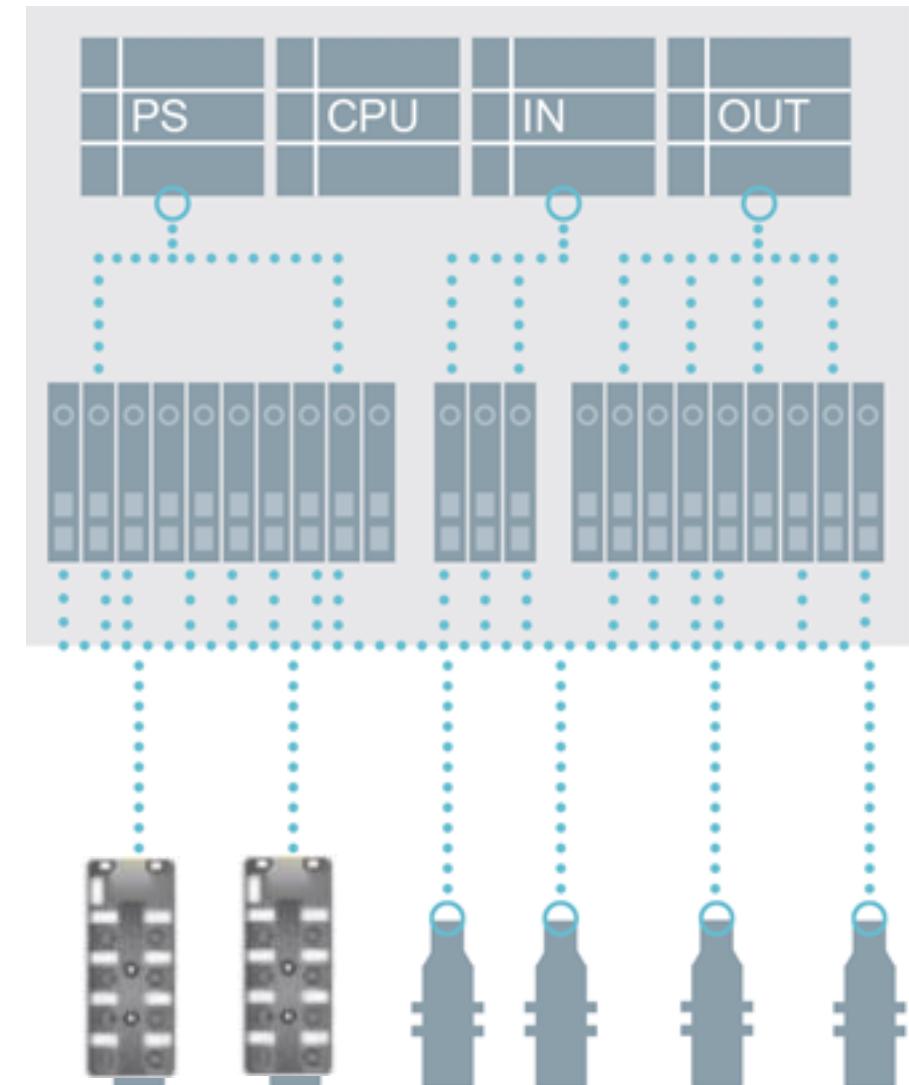
Ejemplo de arquitectura con cableado duro o paralelo

- Tarjeta I/O de 128 entradas.
- 128 bornes o terminales de conexión.
- Cajas de paso/distribuidores pasivos

Costo estimado:

- Tarjetas I/O: 1200 EUR
- Cajas de paso/distrib. pasivos: 500 EUR
- Cables: 250 EUR
- Bornes: 250 EUR

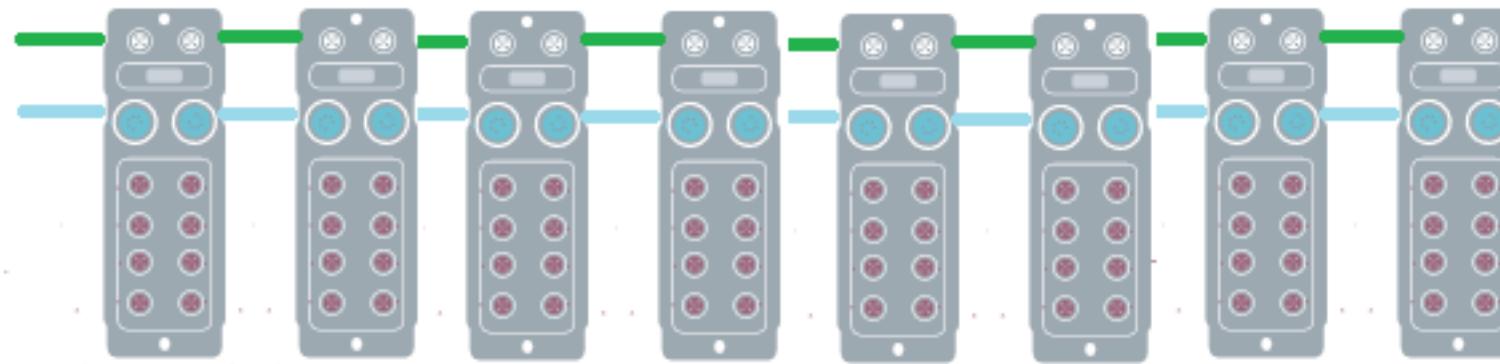
TOTAL: 2200 EUR



Descentralización de señales de campo

Ejemplo de arquitectura con bus de campo

- 8 remotas + 8 cables de alimentación + 8 cables de bus.



Costo estimado:

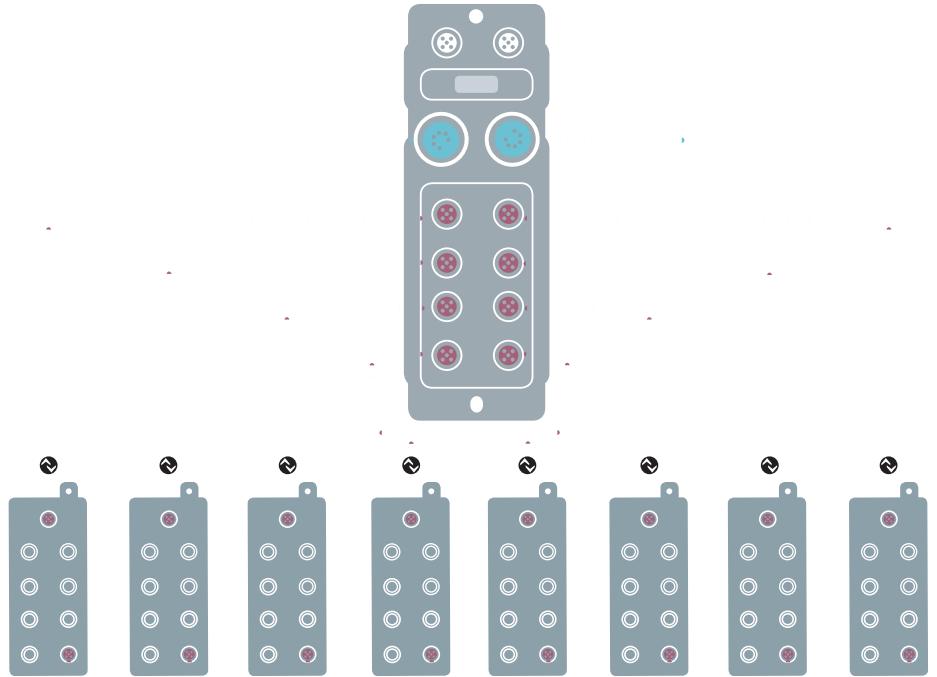
- Remotas (x8): 4000 EUR
- Cables bus/red (x8): 500 EUR

TOTAL: 4500 EUR

Descentralización de señales de campo

Ejemplo de arquitectura con IO-Link

- 1 remota maestro + 16 hubs.
- Conexión vía conector M12.



Costo estimado:

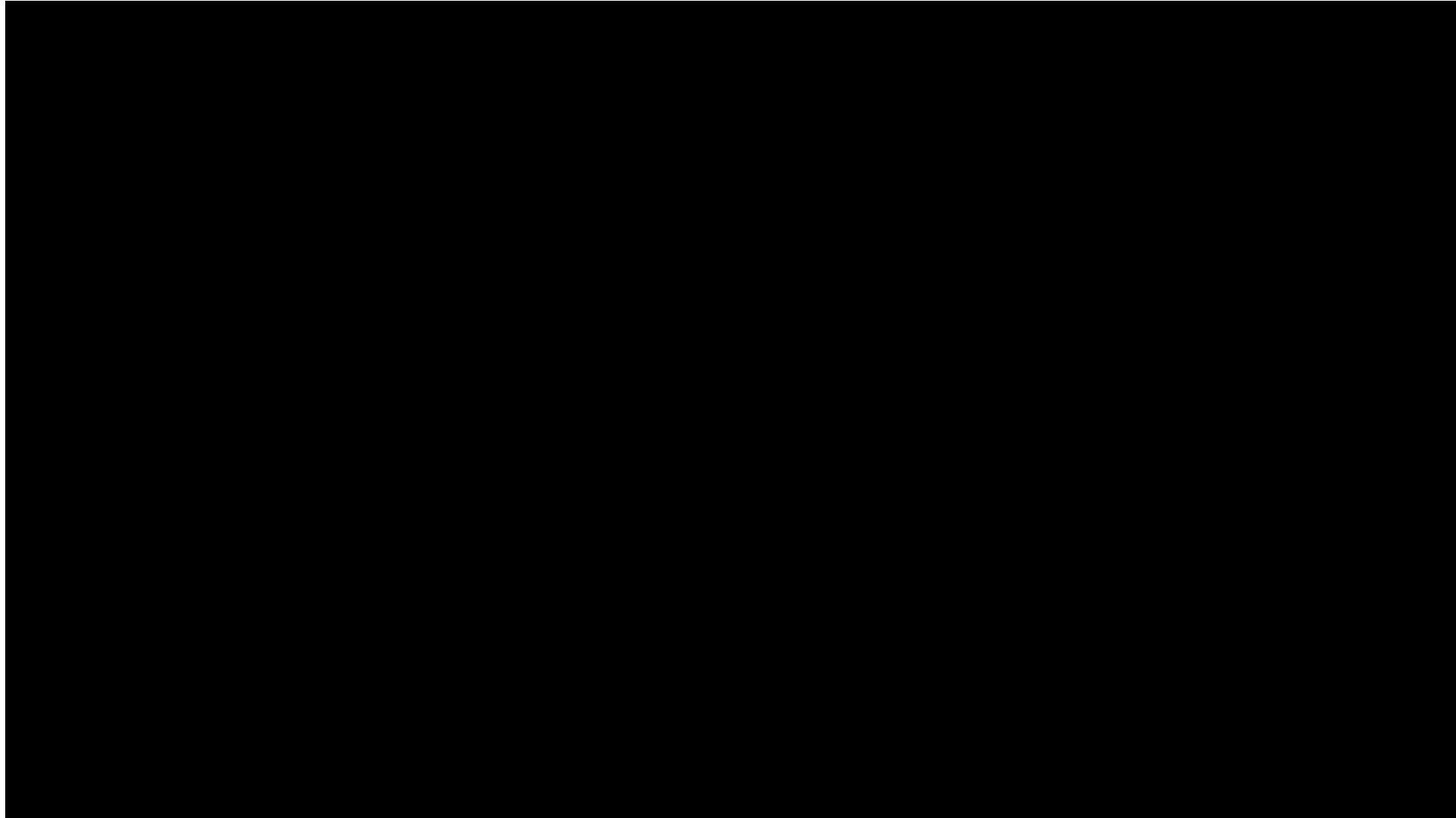
- Maestro: 700 EUR
- Hubs (x8): 1200 EUR
- Cables Maestro: 150 EUR
- Cables Hubs (x8): 150 EUR

TOTAL: 2200 EUR

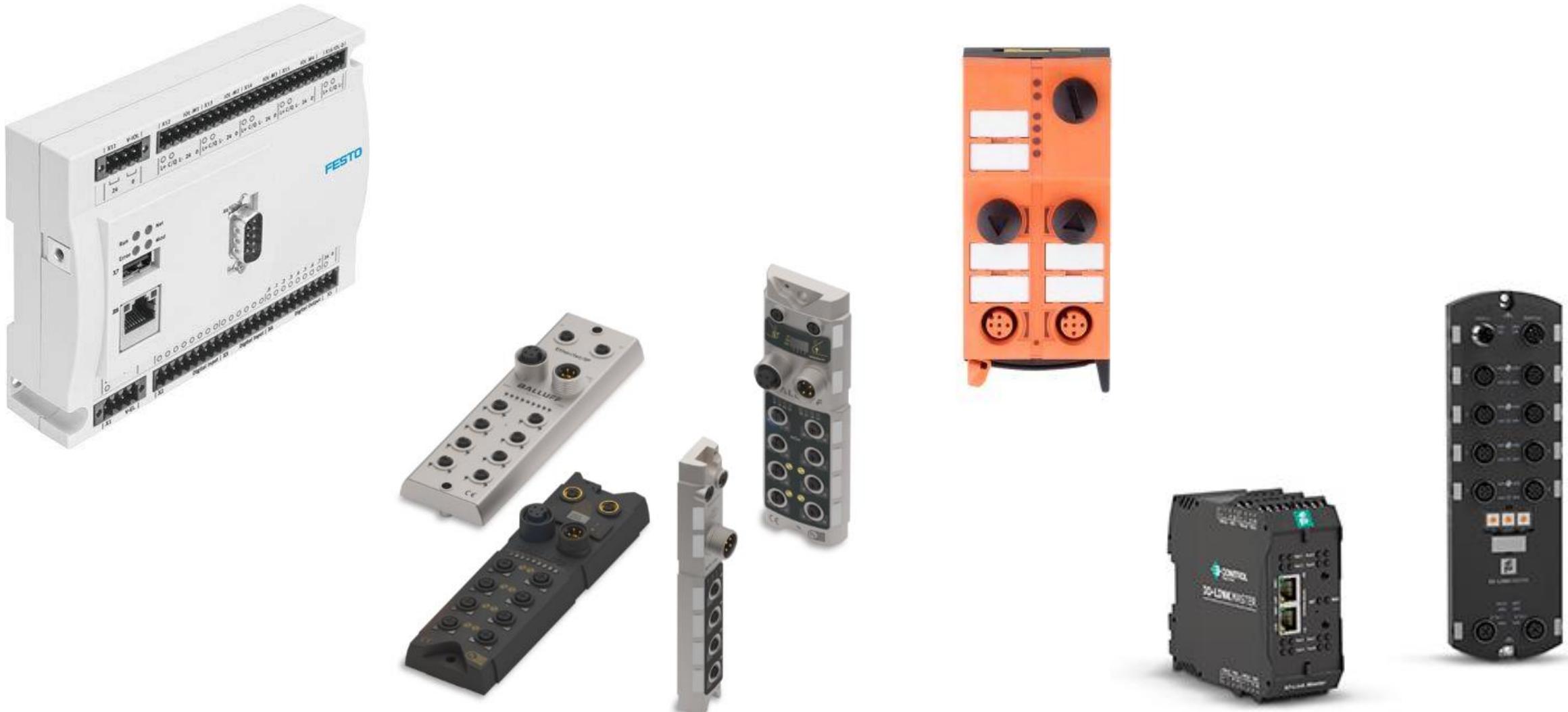


AHORRO +50%!!!

Ejemplo conexión múltiple de sensores de presión



Maestros IO-LINK en la Industria



Esclavos IO-LINK en la Industria: módulos de I/O



Esclavos IO-LINK en la Industria: sensores



Monitoreo de condiciones



Mecánicos



Barrera



Inductivos



Color



Laser de Distancia

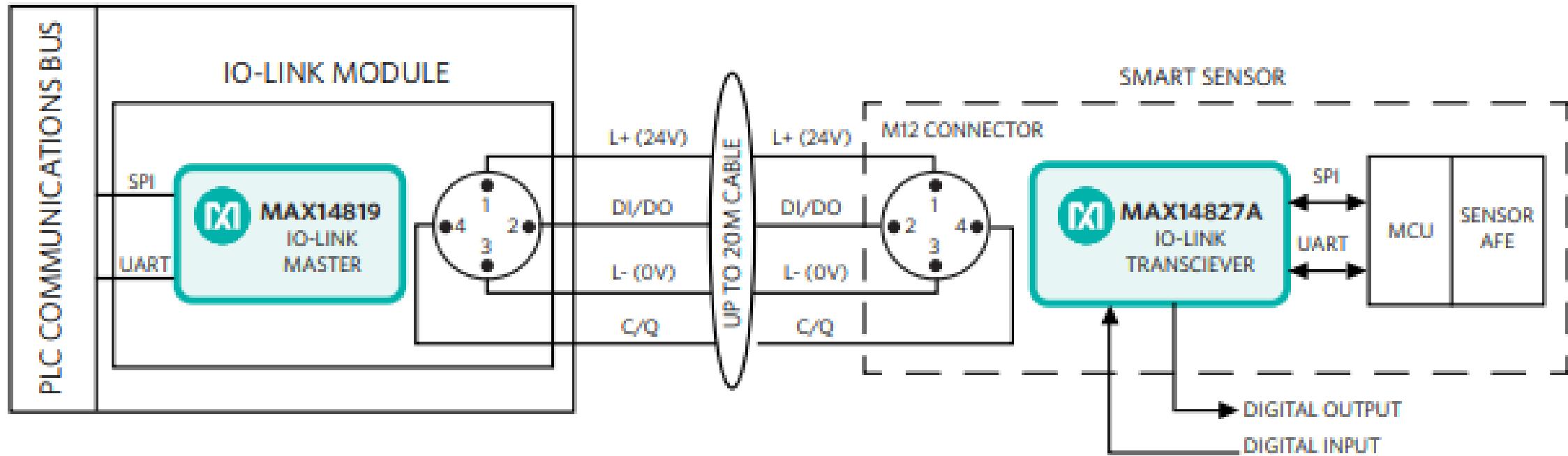


Presión



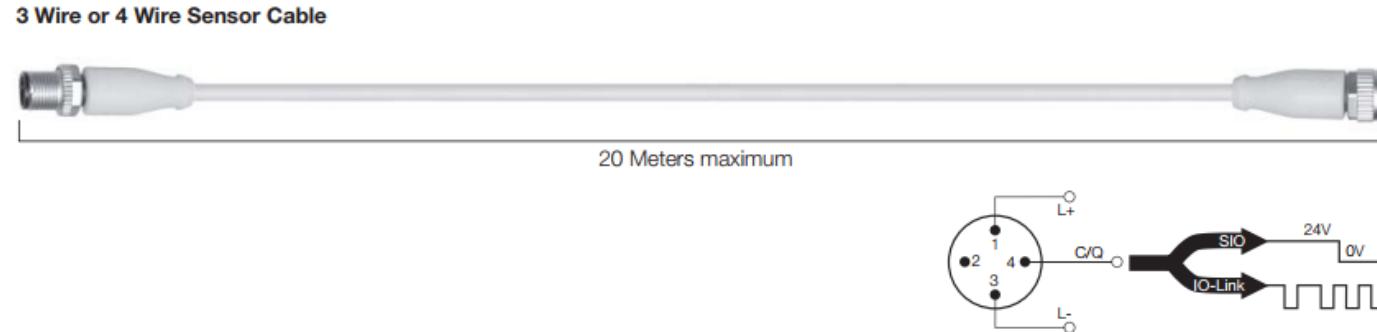
Transductor Lineal

Diseño de maestros y esclavos IO-Link con circuitos integrados



LIMITACIONES

- Máxima distancia entre maestro y esclavo: 20 metros.



- Safety: limitado a pocos protocolos de red industrial.

CONCLUSIÓN

- **Universal** IO-Link es un estandard abierto.
- **Inteligente** Brinda datos de valor agregado, diagnóstico y parametrización online.
- **Simple** Simplifica el conexionado y minimiza errores.