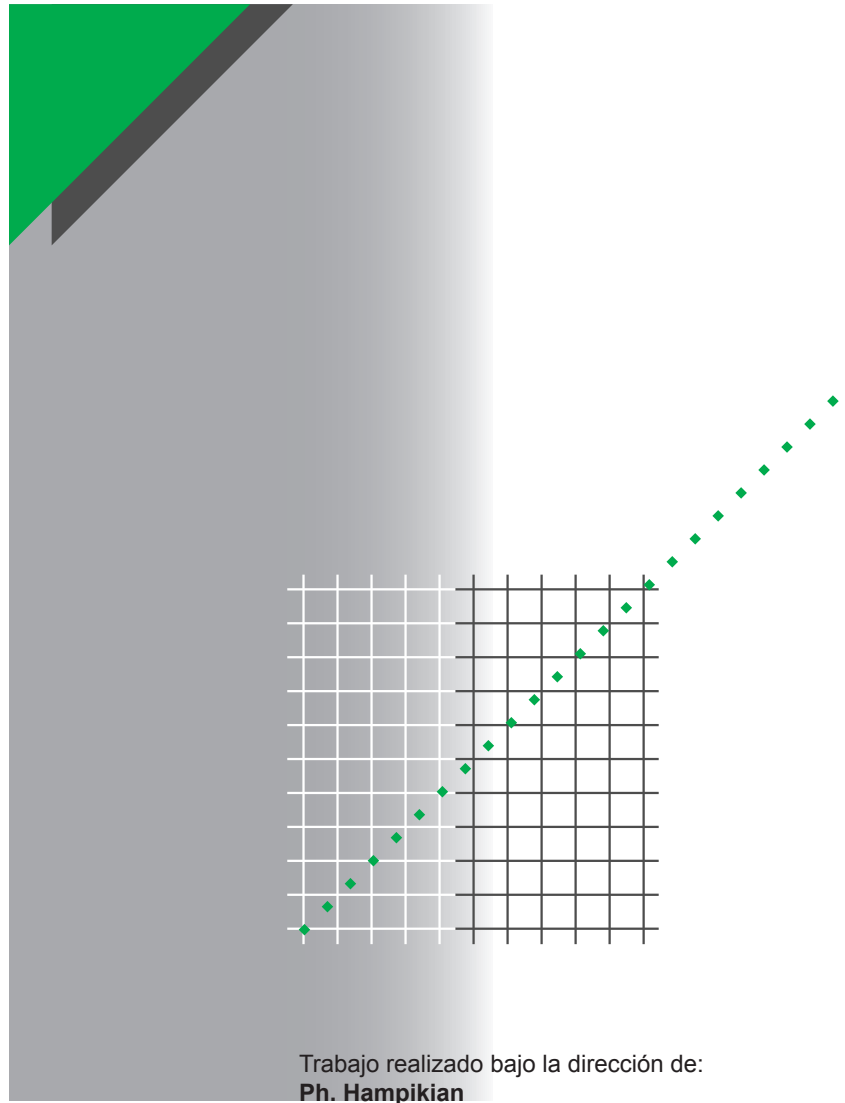


# Cuaderno Técnico nº 209

## Adquisición de datos: la detección



**Merlin Gerin**  
**Telemecanique**  
**Square D**  
**Eunea**

**Schneider**  
 **Electric**

La **Biblioteca Técnica** constituye una colección de títulos que recogen las novedades electrotécnicas y electrónicas. Están destinados a Ingenieros y Técnicos que precisen una información específica o más amplia, que complemente la de los catálogos, guías de producto o noticias técnicas.

Estos documentos ayudan a conocer mejor los fenómenos que se presentan en las instalaciones, los sistemas y equipos eléctricos. Cada uno trata en profundidad un tema concreto del campo de las redes eléctricas, protecciones, control y mando y de los automatismos industriales.

Puede accederse a estas publicaciones en Internet:

<http://www.schneider-electric.es>

La colección de **Cuadernos Técnicos** forma parte de la «Biblioteca Técnica» de **Schneider Electric España S.A.**

#### **Advertencia**

Los autores declinan toda responsabilidad derivada de la incorrecta utilización de las informaciones y esquemas reproducidos en la presente obra y no serán responsables de eventuales errores u omisiones, ni de las consecuencias de la aplicación de las informaciones o esquemas contenidos en la presente edición.

La reproducción total o parcial de este Cuaderno Técnico está autorizada haciendo la mención obligatoria:  
«Reproducción del Cuaderno Técnico nº 209 de Schneider Electric».

**n° 209**

## **Adquisición de datos: la detección**

Este Cuaderno Técnico es obra de un equipo que reúne varios especialistas de las diversas tecnologías presentadas:

**Jean-Marie Cannoni**

La detección electromecánica

**Vicent Daniau**

La visión – La RFID (Radio Frequency Identification)

**Patrice Delage**

La detección ultrasónica, los codificadores

**Cristophe Delaitre**

El control de presión

**Pascal Launay**

Las detecciones inductiva, capacitiva, fotoeléctrica

Y además:

**Alain Guillot**

Ofrece una visión de futuro de los detectores de presencia

Este equipo ha sido dirigido por:

**Philippe Hampikian**

Responsable de la Actividad Detección de Presencia

En un proceso automatizado, todos los datos necesarios para su funcionamiento deben ser detectados, para ser tratados por el sistema de control.

La función «detección» es, pues, esencial en todos los procesos industriales y, para hacer una buena elección, es imprescindible el conocimiento de las diferentes técnicas de los detectores: deben poder funcionar en los entornos a veces difíciles proporcionando una información compatible con los dispositivos de adquisición y tratamiento.

Este documento está destinado a quien quiera ampliar sus conocimientos en el campo de la Detección en los Automatismos Industriales.

Después de una presentación de las grandes líneas técnicas de este tema, se analiza detalladamente cada tecnología, lo que permite tener una primera guía de elección. Este panorama se completa con una aproximación a otras tecnologías relacionadas: la Visión, la RFID –Radio Frequency IDentification...

¡Aunque la detección puede parecer complicada, va a descubrir que es simplemente «diferente»!

Buena lectura.

Traducido por J.M. Giró

Original francés: septiembre 2005

Versión española: septiembre 2007

# Adquisición de datos: la detección

## Índice

<b>1</b>	<b>Introducción</b>	1.1	La detección: una función esencial	<b>p. 5</b>
		1.2	Las diversas funciones de la detección	p. 5
		1.3	Las diversas tecnologías de detectores	p. 6
		1.4	De las funciones anexas a los detectores	p. 6
<b>2</b>	<b>Los interruptores de posición electromecánicos</b>	2.1	Movimientos de detección	<b>p. 7</b>
		2.2	Modo de funcionamiento de los contactos	p. 7
<b>3</b>	<b>Los detectores de proximidad inductivos</b>	3.1	Principio	<b>p. 9</b>
		3.2	Descripción de un detector inductivo	p. 9
		3.3	Magnitudes que influyen en la detección inductiva	p. 10
		3.4	Funciones particulares	p. 11
<b>4</b>	<b>Los detectores de proximidad capacitativos</b>	4.1	Principio	<b>p. 12</b>
		4.2	Los diversos tipos de detectores capacitivos	p. 13
		4.3	Magnitud que influyen en la detección capacitiva	p. 13
<b>5</b>	<b>Los detectores fotoeléctricos</b>	5.1	Principio	<b>p. 14</b>
		5.2	Diferentes sistemas de detección	p. 14
		5.3	Magnitudes que influyen en la detección por sistemas fotoeléctricos	p. 19
<b>6</b>	<b>Los detectores por ultrasonidos</b>	6.1	Principio	<b>p. 20</b>
		6.2	Aplicación	p. 20
		6.3	Particularidades de los detectores de ultrasonidos	p. 21
		6.4	Las ventajas de la detección a ultrasonidos	p. 22
<b>7</b>	<b>La detección RFID –Radio Frequency IDentification–</b>	7.1	Generalidades	<b>p. 23</b>
		7.2	Principios de funcionamiento	p. 23
		7.3	Descripción de los elementos	p. 24
		7.4	Ventajas de la identificación RFID	p. 26
<b>8</b>	<b>La visión</b>	8.1	Principio	<b>p. 27</b>
		8.2	Los puntos clave de la visión	p. 27
<b>9</b>	<b>Los codificadores ópticos</b>	9.1	Presentación de un codificador óptico	<b>p. 32</b>
		9.2.	Familias de codificadores ópticos	p. 33
		9.3	Asociación codificador - unidad de procesamiento	p. 36
<b>10</b>	<b>Los presostatos y vacuostatos</b>	10.1	¿Qué es la presión?	<b>p. 37</b>
		10.2	Los detectores para el control de presión	p. 37
<b>11</b>	<b>Otras características de los detectores de presencia</b>			<b>p. 40</b>
<b>12</b>	<b>Conclusión</b>			<b>p. 41</b>

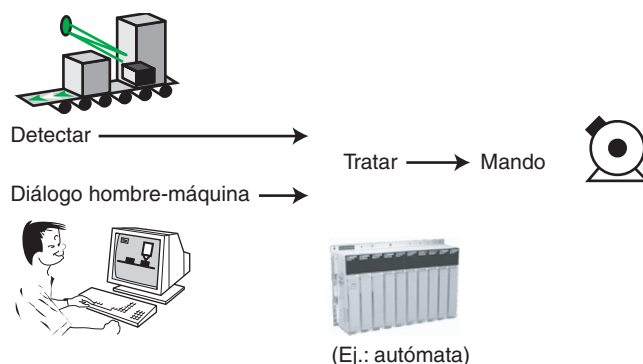
# 1 Introducción

## 1.1 La detección: una función esencial

La función «detección» es esencial porque es el primer eslabón en la cadena de información (**figura 1**) de un proceso industrial.

En efecto, en un sistema automático, los detectores aseguran la adquisición de los datos:

- de todos los sucesos necesarios para el control, para ser tenidos en cuenta por los sistemas de mando, según un programa establecido;
- del desarrollo de las diferentes fases del proceso durante la ejecución de este programa.



**Fig. 1:** Cadena de información de un proceso industrial.

## 1.2 Las diversas funciones de la detección

Las necesidades de detección son muy variadas. Las más elementales son:

- el control de la presencia, la ausencia o el posicionamiento de un objeto,
- la verificación del paso, movimiento o llenado de objetos,
- de conteo.

En general, estas necesidades quedan cubiertas por los dispositivos «todo o nada» (ToN), en el caso de las aplicaciones típicas de detección de piezas en las cadenas de fabricación o en las actividades de mantenimiento, así como en la detección de personas y vehículos.

Hay otras necesidades más específicas, tales como la detección:

- de presencia (o de nivel) de gas o de líquido,
- de forma,
- de posición (angular, lineal),

- de etiquetado, con lectura y escritura de informaciones codificadas.

A estas necesidades se añaden numerosas exigencias, especialmente en cuanto al entorno: los detectores, según su situación, deben poder resistir a:

- la humedad, incluso la inmersión (ej.: estanqueidad, sellado),
- la corrosión (industrias químicas o incluso instalaciones agrícolas),
- las grandes variaciones de temperatura (ej.: regiones tropicales),
- la suciedad de cualquier tipo (en el exterior o dentro de las máquinas),
- e, incluso, el vandalismo...

Para responder a todas estas necesidades los fabricantes han creado todo tipo de detectores con diferentes tecnologías.

## 1.3 Las diversas tecnologías de detectores

Los fabricantes de detectores se basan en diversos principios físicos de medida; entre los principales se pueden citar:

- mecánico (presión, fuerza) para los interruptores electromecánicos de posición,
- electromagnetismo (campo, fuerza) para los captadores magnéticos, detectores de proximidad inductivos,
- luz (potencia o desviación luminosa) para las células fotoeléctricas,
- capacidad para los detectores de proximidad capacitativos,
- acústico (tiempo de recorrido de una onda) para los detectores de ultrasonidos,

- fluido (presión) para los presostatos,
- óptico (análisis de imagen) para la visión.

Para cada tipo de captador, estos principios tienen ventajas y limitaciones; algunos son robustos porque necesitan el contacto con la pieza a detectar, otros pueden ser colocados en los ambientes agresivos pero no son utilizables con piezas metálicas.

En los capítulos siguientes, la presentación, de las diferentes tecnologías tiene por objeto la comprensión de las exigencias de instalación y de explotación de los captadores disponibles en el mercado de los automatismos y de los equipos industriales.

## 1.4 De las funciones anexas a los detectores

Se han desarrollado diversas tecnologías para facilitar la utilización de los detectores, entre ellas, puede citarse el autoaprendizaje.

Esta función de aprendizaje permite, simplemente pulsando un botón, definir el dominio de

detección efectivo del dispositivo, por ejemplo, el aprendizaje de los alcances, mínimo y máximo (con borrado del primer plano y del fondo) muy precisos ( $\pm 6$  mm para los detectores de ultrasonidos) y la capacidad de tener en cuenta el entorno para los detectores fotoeléctricos.

## 2 Los interruptores de posición electromecánicos

La detección se realiza por un contacto físico (dispositivo de ataque o cabeza de mando) con un objeto o un móvil.

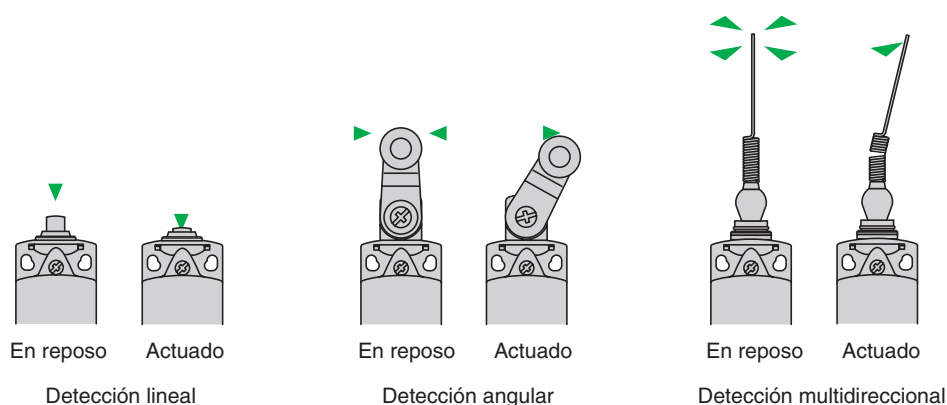
La información se transmite al sistema de tratamiento por la actuación de un contacto eléctrico (todo o nada).

Estos dispositivos (elemento de mando y contacto eléctrico) se llaman interruptores de posición. Se encuentran en todas las instalaciones automatizadas y en todo tipo de aplicaciones por sus numerosas ventajas inherentes a su tecnología.

### 2.1 Movimientos de detección

Un dispositivo de ataque o cabeza de mando puede tener varios movimientos (**figura 2**) para permitir la detección en múltiples posiciones y adaptarse así fácilmente a los objetos a detectar:

- rectilíneo,
- angular,
- multi-direccional.



**Fig. 2:** Representación de los diferentes movimientos de los interruptores de posición que se utilizan normalmente.

### 2.2 Modo de funcionamiento de los contactos

La oferta de los fabricantes se caracteriza por la tecnología utilizada para la maniobra de los contactos.

#### **Contacto con acción brusca, llamado también, de ruptura brusca.**

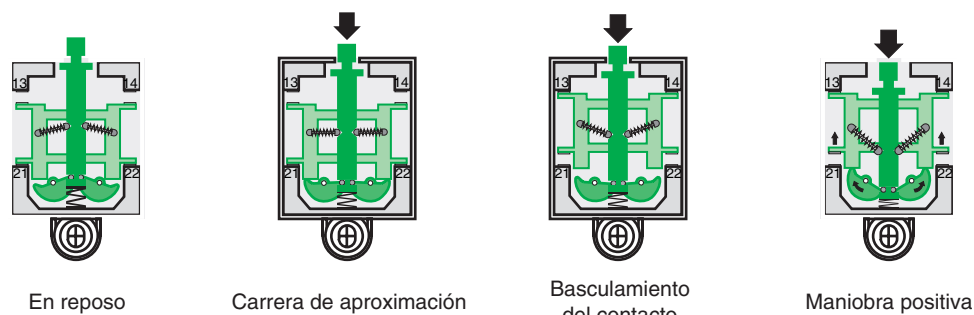
La maniobra de los contactos se caracteriza por un fenómeno de histéresis, es decir, por ser diferentes los puntos de acción y de desprendimiento (**figura 3**).

La velocidad de desplazamiento de los contactos móviles es independiente de la velocidad del órgano de mando. Esta particularidad permite tener prestaciones eléctricas satisfactorias

incluso con muy bajas velocidades de desplazamiento del órgano de mando.

Además, los interruptores de posición con contactos de acción brusca tienen los contactos con maniobra positiva de apertura: esto se refiere a los contactos de apertura y se define de la siguiente forma:

«Un aparato cumple esta prescripción cuando todos los elementos de los contactos de apertura pueden ser llevados con certeza a su posición de apertura, puesto que no hay ninguna conexión elástica entre los contactos móviles y el órgano de mando al que se aplica el esfuerzo de accionamiento».



**Fig. 3:** Las diferentes posiciones de un contacto de ruptura brusca.

Esto se refiere al contacto eléctrico del interruptor de posición (**figura 3**), pero también el órgano de mando que debe transmitir al movimiento sin deformación.

El empleo de estos detectores en el campo de las aplicaciones de seguridad obliga a utilizar aparatos con maniobra positiva de apertura.

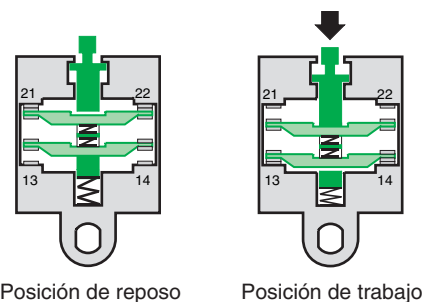
**Contacto con acción dependiente también llamado de ruptura lenta (figura 4).**

Este modo de funcionamiento se caracteriza por:

- los puntos de acción y de desprendimiento son los mismos,
- una velocidad de desplazamiento de los contactos móviles igual o proporcional a la velocidad del órgano de mando (que no debe ser inferior a  $0,1 \text{ m/s} = 6 \text{ m/min}$ ). Por debajo de estos valores, la apertura de los contactos se hace demasiado lenta, lo que es desfavorable para el buen funcionamiento eléctrico del contacto (riesgo de mantener durante un tiempo excesivo el arco eléctrico),

■ la distancia de apertura depende también de la trayectoria del órgano de mando.

Estos contactos, por su construcción, son naturalmente de maniobra positiva de apertura: el botón-pulsador actúa directamente sobre los contactos móviles.



**Fig. 4:** Ejemplo de un contacto con acción dependiente (ruptura brusca).



## 3 Los detectores de proximidad inductivos

Por su principio físico, estos detectores sólo funcionan con elementos metálicos.

### 3.1 Principio

El elemento sensible está constituido por un circuito inductivo (bobina de inductancia  $L$ ). Este circuito está asociado a un condensador de capacidad  $C$  para formar un circuito resonante a una frecuencia  $F_0$ , generalmente comprendida entre 100 kHz y 1 MHz.

Un circuito electrónico permite mantener las oscilaciones del sistema, según la fórmula:

$$F_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Estas oscilaciones crean un campo magnético alterno ante la bobina.

Si se introduce una pantalla metálica en el campo se crean unas corrientes de Foucault que inducen una carga adicional que modifica así las condiciones de oscilación (**figura 5**).

La presencia de un objeto metálico delante del detector disminuye el coeficiente de calidad del circuito resonante.

1<sup>er</sup> caso, sin pantalla metálica:

$$Q_1 = \frac{R_1}{L\omega}$$

Recuerde:

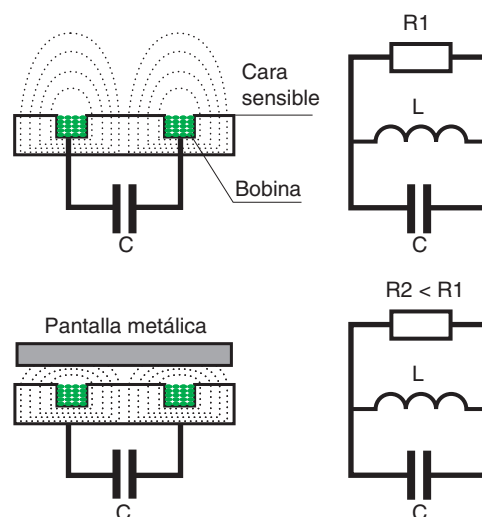
$$Q = \frac{R}{L\omega} = \frac{L\omega}{r} \Rightarrow R = Q^2 r$$

2<sup>o</sup> caso, con pantalla metálica:

$$Q = \frac{R_2}{L\omega} \quad R_2 < R_1 \Rightarrow Q_2 < Q_1$$

La detección se hace por la medida de la variación del coeficiente de calidad (de 3% a 20% alrededor del umbral de detección).

La aproximación de la pantalla metálica se traduce por una disminución del coeficiente de calidad y, por tanto, en una disminución de la amplitud de las oscilaciones. La distancia de detección depende de la naturaleza del metal a detectar (de su resistividad  $\rho$  y de su permeabilidad relativa  $\mu_r$ ).



**Fig. 5:** Principio de funcionamiento de un detector inductivo.

### 3.2 Descripción de un detector inductivo (**figura 6**)

**Transductor:** está constituido por una bobina de hilo de cobre multifilar (hilo de Litz) colocada en el interior de un seminúcleo de ferrita que dirige las líneas de campo hacia la parte delantera del detector.

**Oscilador:** existen muchos tipos de osciladores, por ejemplo, oscilador a resistencia negativa fija  $-R$ , que es igual en valor absoluto a la resistencia paralela  $R_p$  del circuito oscilante para su alcance nominal (ver apartado anterior).

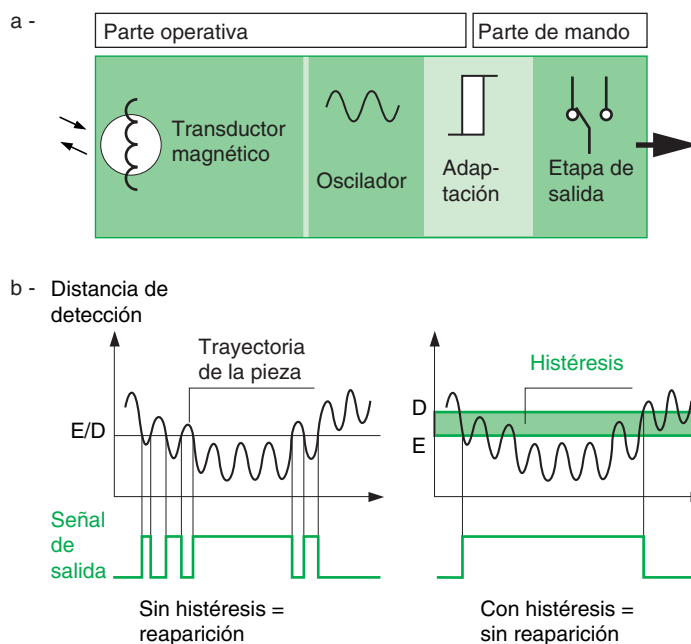
=> Si el objeto a detectar está más lejos del alcance nominal,  $|R_p| > |R|$ , las oscilaciones se mantienen.

=> Por el contrario, si el objeto a detectar está dentro del alcance nominal,  $|R_p| < |R|$ , las oscilaciones no se mantienen y el oscilador se bloquea.

**Etapas de ajuste:** está constituida por un detector de cresta seguido por un comparador de dos umbrales (trigger) para evitar las conmutaciones

intempestivas cuando el objeto a detectar está próximo al alcance nominal. Crea lo que se denomina la histéresis del detector (**figura 6b**).

**Etapas de alimentación y de salida:** permiten alimentar al detector en dos grandes márgenes de tensión de alimentación (desde 10 Vcc hasta 264 Vca). La otra, la etapa de salida, controla las cargas desde 0,2 A en cc hasta 0,5 A en ca, con o sin protección contra los cortocircuitos.



**Fig. 6:** Detector inductivo: esquema de principio [a]; histéresis del detector [b].

### 3.3 Magnitudes que influyen en la detección inductiva

Hay ciertas características que afectan particularmente a los dispositivos de detección inductiva, especialmente:

#### ■ Distancia de detección

Es función del tamaño de la superficie de detección.

$S_n$ : alcance nominal (en acero dulce) varía de 0,8 mm (detector Ø 4) a 60 mm (detector de 80 x 80).

■ Histéresis: recorrido diferencial (de 2 a 10% de  $S_n$ ) que evita los rebotes en la conmutación.

■ Frecuencia de paso de los objetos ante el detector, llamada como frecuencia de conmutación (máxima corriente 5 kHz).

### 3.4 Funciones particulares

- Detectores protegidos contra los campos magnéticos de las soldaduras.
- Detectores de salida analógica.
- Detectores con factor de corrección de 1, con los que la distancia de detección es independiente del metal detectado, férrico o no férrico (**figura 7**).
- Detectores selectivos de materiales férricos y no férricos.
- Detectores para control de rotación: estos detectores de baja velocidad son sensibles a la frecuencia de paso de objetos metálicos.
- Detectores para atmósferas explosivas (normas NAMUR).

- 
- Aplicación: cuando el objeto a detectar no es de acero, la distancia de detección del detector considerado es proporcional al factor de corrección del material constituyente del objeto.

$$D_{\text{mat } x} = D_{\text{acero}} \cdot K_{\text{mat } x}$$

- Los valores típicos del factor de corrección ( $K_{\text{mat } x}$ ) son:

□ Acero = 1

□ Inox = 0,7

□ Latón = 0,4

□ Aluminio = 0,3

□ Cobre = 0,2

Ejemplo:  $D_{\text{Inox}} = D_{\text{Acier}} \times 0,7$

NB: Esta corrección ya no es necesaria con los «detectores de factor 1».

**Fig. 7:** Factor de corrección, aplicación y valores típicos.

---

## 4 Los detectores de proximidad capacitativos

Esta tecnología permite la detección de todo tipo de materiales conductores o aislantes, como vidrio, aceite, madera, plástico, etc.

### 4.1 Principio

La cara sensible del detector es la armadura de un condensador.

Sobre esta cara se se aplica una tensión senoidal, creando así un campo eléctrico alterno delante del detector.

Considerando que esta tensión senoidal se referencia respecto a un «potencial de referencia» (tierra o masa, por ejemplo), la segunda armadura está constituida por un electrodo unido a este potencial de referencia (armazón de máquina, por ejemplo).

Estos dos electrodos, enfrentados, constituyen un condensador cuya capacidad es:

$$C = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot A}{d}$$

siendo  $\epsilon_0 = 8,854\ 187\ \text{pF/m}$  la permitividad del vacío, y  $\epsilon_r$  permitividad relativa del material que hay entre los 2 electrodos.

**1<sup>er</sup> caso:** sin objeto entre los dos electrodos (**figura 8**)

$$\epsilon_r \approx 1(\text{aire}) \Rightarrow C \approx \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

**2<sup>o</sup> caso:** presencia de un objeto aislante entre los dos electrodos (**figura 9**)

$$\Rightarrow (\epsilon_r \approx 4)$$

El electrodo de masa puede ser, en este caso, la correa metálica de una cinta transportadora, por ejemplo,

$$C = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot A}{d}$$

Cuando  $\epsilon_r$  medio se mantiene superior a 1 en presencia de un objeto, C aumenta.

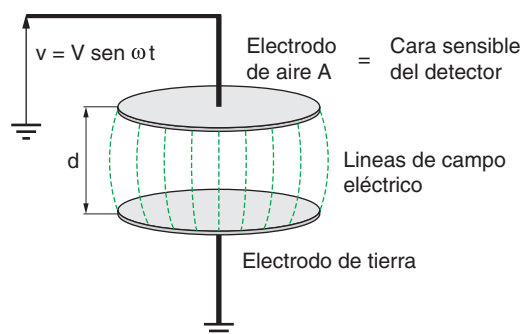
La medida del aumento del valor de C permite detectar la presencia de un objeto aislante.

**3<sup>er</sup> caso:** presencia de un objeto conductor entre los dos electrodos (**figura 10**)

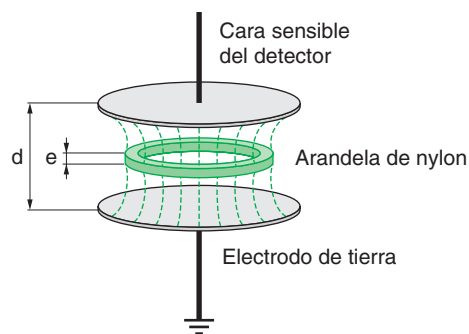
$$C = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot A}{d}$$

$$\text{siendo } \epsilon_r \approx 1(\text{aire}) \Rightarrow C \approx \epsilon_0 \frac{A}{d - e}$$

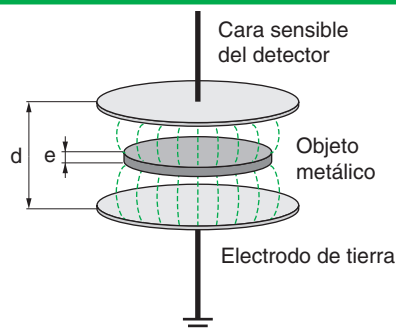
Por tanto, la presencia de un objeto metálico se traduce también en un aumento del valor de C.



**Fig. 8:** Descripción de un detector capacitativo sin objeto a detectar.



**Fig. 9:** Presencia de un objeto aislante en el seno de un detector capacitivo.



**Fig. 10:** Presencia de un objeto conductor en el seno de un detector capacitivo.

## 4.2 Los diversos tipos de detectores capacitivos

### Detectores capacitivos sin electrodo de masa

Utilizan directamente el principio antes descrito. Para poder detectar es necesario un camino a masa (potencial de referencia).

Se utilizan para detectar materiales conductores (metal, agua) a distancias importantes.

Aplicación tipo: detección de materiales conductores al través de un material aislante (figura 11).

### Detectores capacitivos con electrodo de masa

No siempre es posible encontrar un camino a masa. Es cuando se quiere detectar del contenedor (vasija) aislante vacío del ejemplo anterior.

La solución consiste en incorporar un electrodo de masa sobre la cara de detección.

Se crea un campo eléctrico independientemente del camino a masa (figura 12).

Aplicación: detección de todo tipo de materiales. Posibilidad de detectar los materiales aislantes o conductores detrás de una pared aislante, por ejemplo, cereales en una caja de cartón.

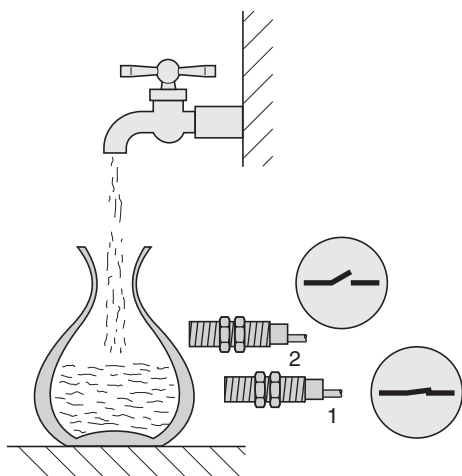


Fig. 11: Detección de la presencia de agua en un recipiente de vidrio o plástico.

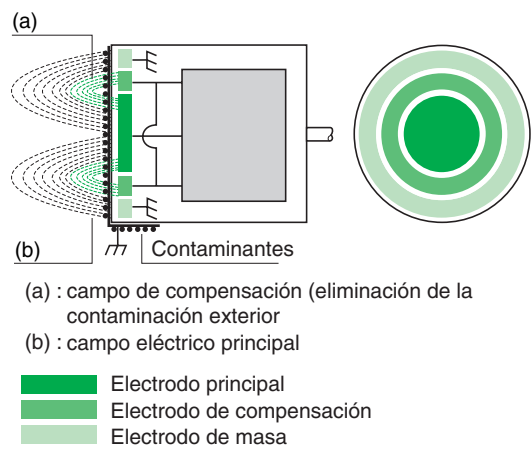


Fig. 12: Principio de funcionamiento de un detector capacitivo con un electrodo de masa.

## 4.3 Magnitud que influyen en la detección capacitiva

La sensibilidad de los detectores capacitivos, según la ecuación de base citada anteriormente (4.1), depende simultáneamente de la distancia objeto-captador y del material del objeto.

### ■ Distancia de detección

Está unida a la constante dieléctrica o permitividad relativa  $\epsilon_r$  propia del material del objeto a detectar.

Para poder detectar una gran variedad de materiales, los captadores capacitivos tienen generalmente un potenciómetro que permite ajustar su sensibilidad.

### ■ Material

La tabla de la figura 13 da las constantes dieléctricas de algunos materiales.

Material	$\epsilon_r$	Material	$\epsilon_r$
Acetona	19,5	Petróleo	2,0-2,2
Aire	1,000264	Barniz silicona	2,8-3,3
Amoníaco	15-25	Polipropileno	2,0-2,2
Etanol	24	Porcelana	5-7
Harina	2,5-3	Leche en polvo	3,5-4
Vidrio	3,7-10	Sal	6
Glicerina	47	Azucar	3,0
Mica	5,7-6,7	Agua	80
Papel	1,6-2,6	Madera seca	2-6
Nylon	4-5	Madera verde	10-30

Fig. 13: Constante dieléctrica de diversos materiales.

## 5 Los detectores fotoeléctricos

Su principio de funcionamiento los hace aptos para detectar todo tipo de objetos, que sean opacos, reflectante o hasta casi transparentes.

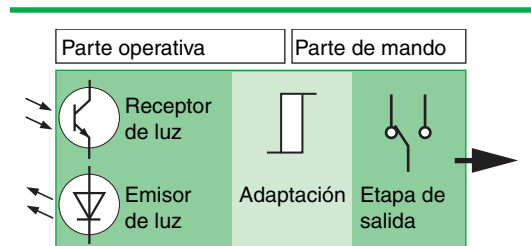
Se utilizan también para la detección de personas (apertura de puertas, barreras de seguridad).

### 5.1 Principio (figura 14)

Un diodo electroluminescente (LED) emite unos impulsos luminosos, generalmente en el infrarrojo próximo (850 a 950 nm).

Esta luz es recibida o no por un fotodiodo o un fototransistor en función de la presencia o de la ausencia de un objeto a detectar.

La corriente fotoeléctrica creada es amplificada y comparada con un umbral de referencia para dar una información todo o nada.



**Fig. 14:** Principio de funcionamiento de un detector fotoeléctrico.

### 5.2 Diferentes sistemas de detección

Las figuras de los sistemas de detección fotoeléctricos réflex que se presentan en este capítulo están destinadas a la comprensión de los dispositivos empleados. No son una representación óptica exacta puesto que, al ser la distancia objeto-detector netamente superior a la distancia emisor-receptor, pueden considerarse paralelos los rayos emitidos y recibidos.

#### Barrera (figura 15)

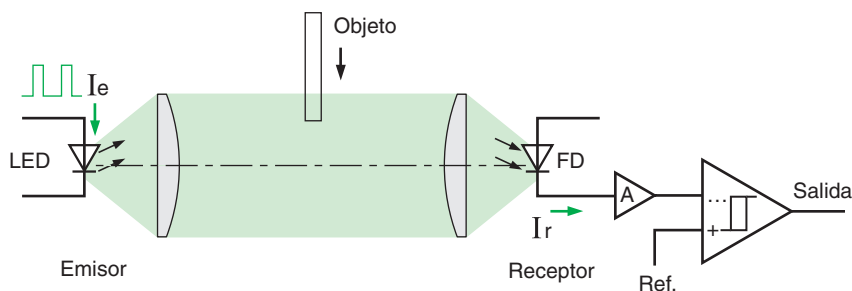
Emisor y receptor están colocados en dos cajas o envoltentes separadas.

El emisor: un LED, colocado en el foco de una lente convergente, crea un haz luminoso paralelo.

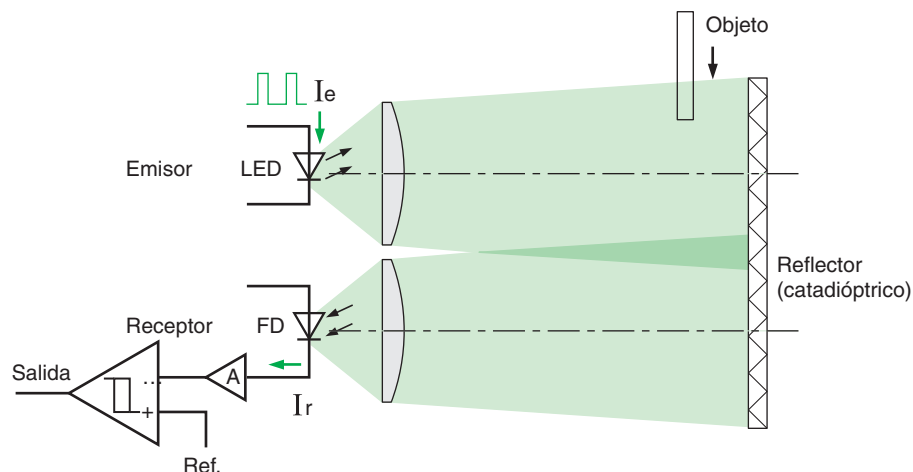
El receptor: un fotodiodo (o fototransistor) colocado en el foco de una lente convergente, suministra una corriente proporcional a la energía recibida. El sistema proporciona una información todo o nada en función de la presencia o de la ausencia del objeto en el haz.

□ Punto fuerte: la distancia de detección (alcance) puede ser larga (hasta a 50 m y más); depende de la dimensión de las lentes y, por tanto, del detector.

□ Puntos débiles: la necesidad de 2 cajas y, por tanto, de dos alimentaciones separadas, y el alineamiento para distancias de detección superiores a 10 m, lo que puede suponer una cierta dificultad.



**Fig. 15:** Detección del objeto.



**Fig. 16:** Principio de la detección fotoeléctrica réflex.

### Sistemas réflex

Hay dos sistemas denominados «réflex»: el simple y el de luz polarizada.

#### ■ Sistema réflex simple (figura 16)

El haz luminoso está generalmente en la gama del infrarojo próximo (850 a 950 nm).

□ Puntos fuertes: el emisor y el receptor están en una misma caja (un único cable de alimentación). La distancia de detección (alcance) es también larga, aunque inferior a la barrera (hasta a 20 m).

□ Punto débil: un objeto reflectante (cristal, carrocería de carruaje...) puede ser visto como un reflector y no ser detectado.

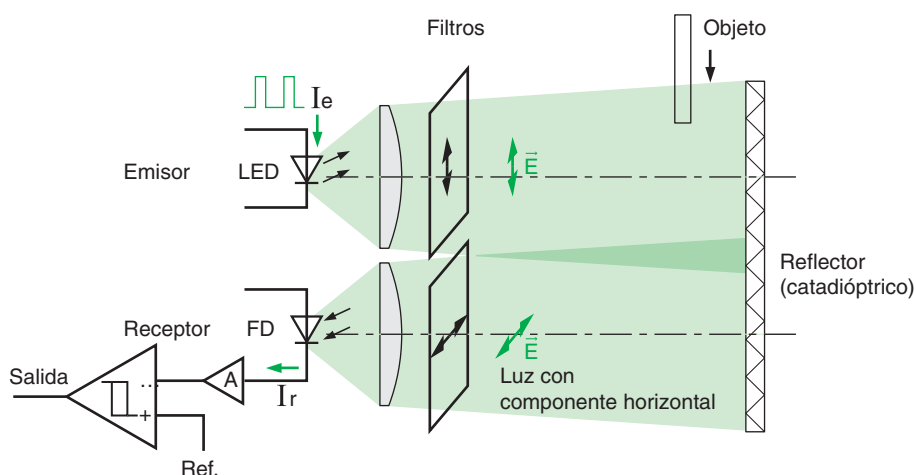
#### ■ Sistema réflex de luz polarizada (figura 17)

El haz luminoso utilizado está generalmente en la gama del rojo (660 nm).

La radiación emitida está polarizada verticalmente mediante un filtro de polarización lineal.

El reflector tiene la propiedad de cambiar el estado de polarización de la luz. Por tanto, una parte de la radiación reenviada tiene una componente horizontal.

En el receptor, un filtro de polarización lineal deja pasar esta componente y es esta luz la alcanza el elemento receptor.



**Fig. 17:** Principio de la detección fotoeléctrica réflex polarizado.

■ Un objeto reflectante (espejo, chapa o cristal) no puede cambiar el estado de la polarización del haz, al revés que el reflector. La luz reenviada por el objeto no podrá, por tanto, atravesar el polarizador del receptor (**figura 18**).

□ Punto fuerte: este tipo de detector resuelve el punto débil del sistema réflex simple.

□ Puntos débiles: en contrapartida, este detector tiene un coste superior y sus distancias de detección son mucho menores:

- réflex IR  $\Rightarrow$  15 m

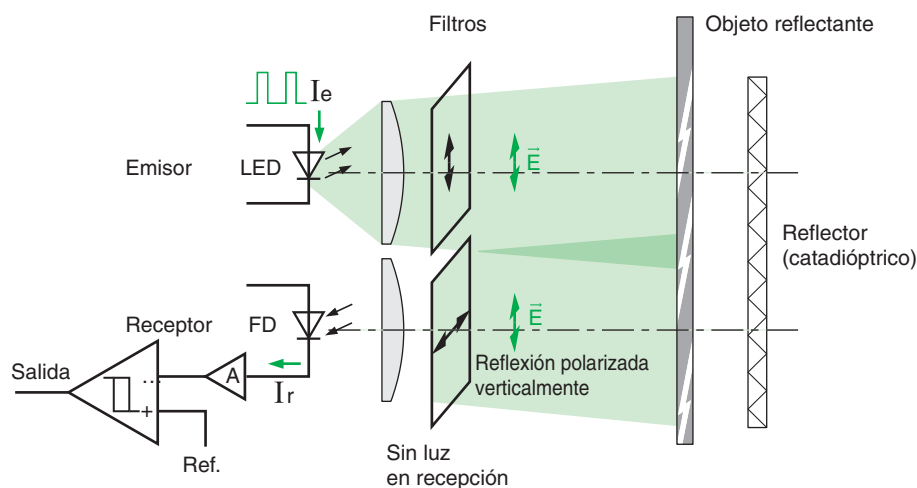
- réflex polarizado  $\Rightarrow$  8 m

### Sistema de reflexión directa (sobre el objeto)

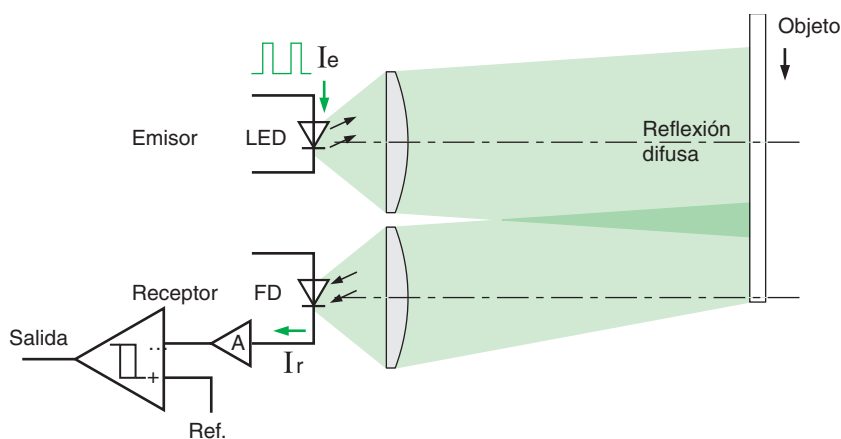
■ Reflexión directa simple (**figura 19**). Se utiliza la reflexión directa (difusa) del objeto a detectar.

□ Punto fuerte: no se necesita el reflector.

□ Puntos débiles: la distancia de detección de este sistema es corta (hasta 2 m). Además, varía con el color del objeto a «ver» y del fondo delante del que se encuentra (para un ajuste dado, la distancia de detección es mayor para un objeto blanco que para un objeto gris o negro) y una superficie plana más clara que el objeto a detectar puede hacer inoperante el sistema.

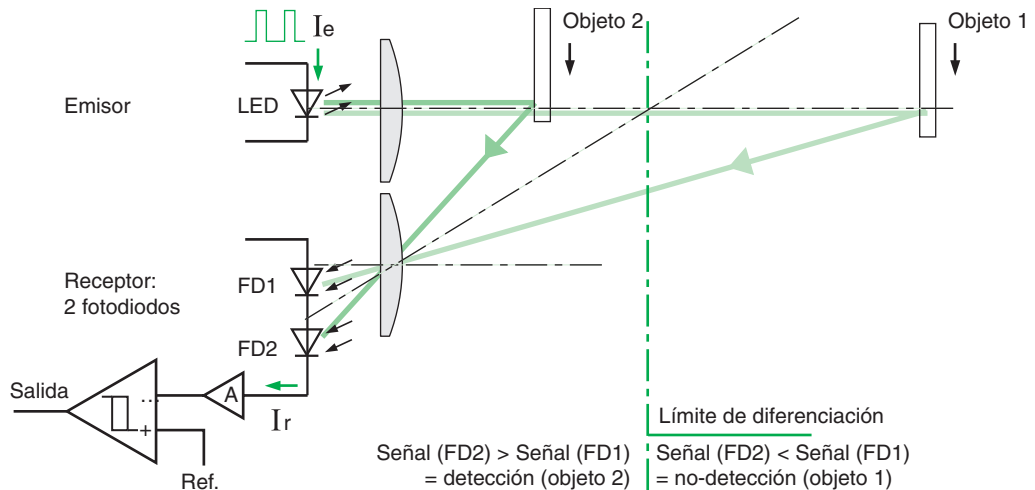


**Fig. 18:** Sistema réflex polarizado: principio de la no-detección de materiales reflectantes.



**Fig. 19:** Principio de la detección fotoeléctrica con reflexión directa simple.





**Fig. 20:** Principio de la detección fotoeléctrica de reflexión directa con supresión del plano posterior.

■ Reflexión directa con borrado del plano posterior (**figura 20**).

Con este sistema la detección se hace por triangulación. La distancia de detección (hasta 2 m) no depende del poder de reflexión del objeto sino únicamente de su posición: un objeto claro se detecta a la misma distancia que uno oscuro. De este modo, se ignora o borra el plano de fondo situado más allá de la zona de detección.

**Fibras ópticas**

■ Principio de funcionamiento

En la **figura 21** se recuerda el principio de funcionamiento.

Hay varios tipos de fibras ópticas: las multimodo y las monomodo (**figura 22**).

■ Fibras multimodo

En estas fibras la parte central, que conduce la luz, tiene un diámetro grande respecto a la longitud de onda utilizada ( $\Phi \approx 9$  a  $125 \mu\text{m}$ ;  $L_o = 0,5$  a  $1 \text{ mm}$ ). En estas fibras se utilizan dos tipos de propagación: con salto de índice y con gradiente del índice.

El principio de la propagación de las ondas luminosas en la fibra óptica es la reflexión interna.

Hay reflexión total interna cuando un rayo luminoso pasa de un medio a otro, si este último tiene un índice de refracción menor. Además, la luz se refleja en su totalidad y no se produce ninguna pérdida de luz cuando el ángulo de incidencia del rayo luminoso es mayor que el ángulo crítico. La reflexión total interna depende de dos factores: los índices de refracción de dos medios y el ángulo crítico.

Estos factores se relacionan con la siguiente ecuación:

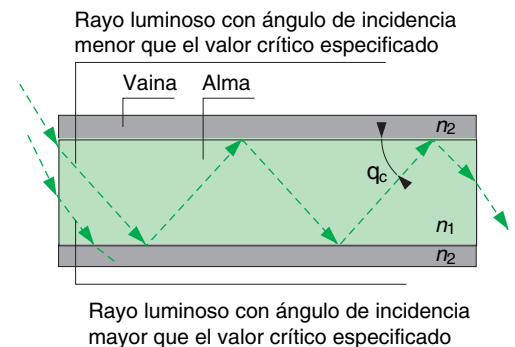
$$\theta_c = \frac{n_2}{n_1}$$

Conociendo los índices de refracción de dos materiales de la interface, puede calcularse fácilmente el ángulo crítico.

Físicamente, el índice de refracción de una sustancia es la relación entre la velocidad de la luz en el vacío ( $c$ ) es su velocidad en ese material ( $v$ ).

$$n = \frac{c}{v}$$

El índice de aire se considera igual al del vacío 1, ya que la velocidad de la luz en el aire es aproximadamente igual a la del vacío.



**Fig. 21:** Principio de la propagación de las ondas luminosas en la fibra óptica.

### ■ Monomodo

Éstas, por el contrario, tienen el diámetro del conductor de luz mucho menor que la longitud de onda utilizada ( $\Phi \leq 10 \mu\text{m}$ ;  $L_o =$  generalmente 1,5 mm). Su propagación es por salto de índice. Se utilizan, sobre todo, en telecomunicaciones.

Este repaso permite comprender la necesidad de cuidar su instalación, por ejemplo en lo que se refiere a la tirada de las fibras (esfuerzo de tracción reducido y radios de curvatura moderados, según las especificaciones de los fabricantes).

Las fibras ópticas más empleadas en la industria son las multimodo que tienen la ventaja de su robustez electromagnética (CEM –Compatibilidad ElectroMagnética) y su sencillez de instalación.

### ■ Tecnología de los detectores

Las fibras ópticas están colocadas frente al LED del emisor y frente al fotodiodo o fototransistor del receptor (figura 23).

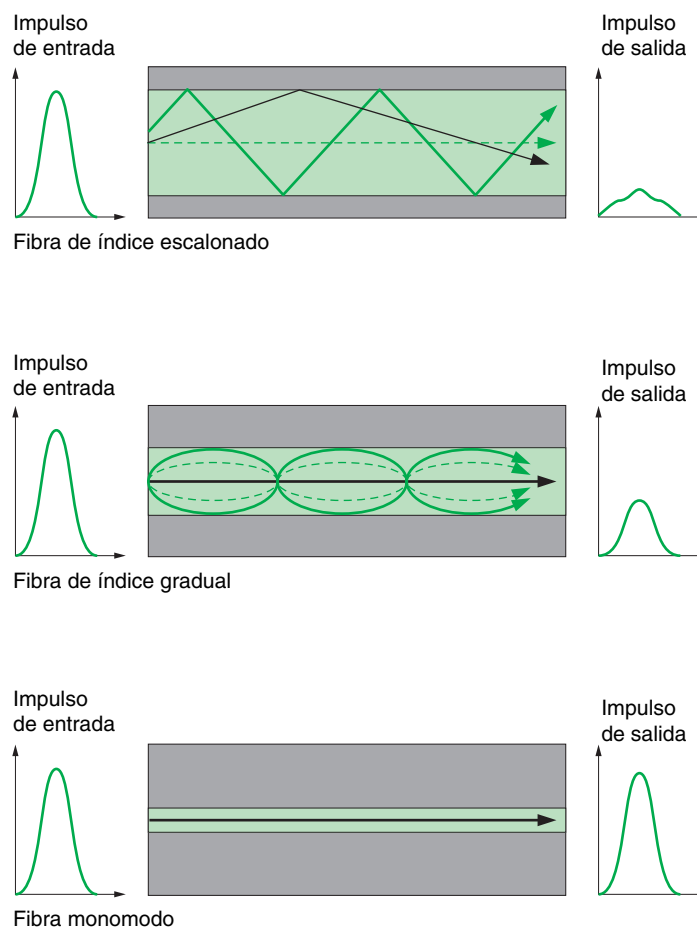


Fig. 22: Diversos tipos de fibra óptica.

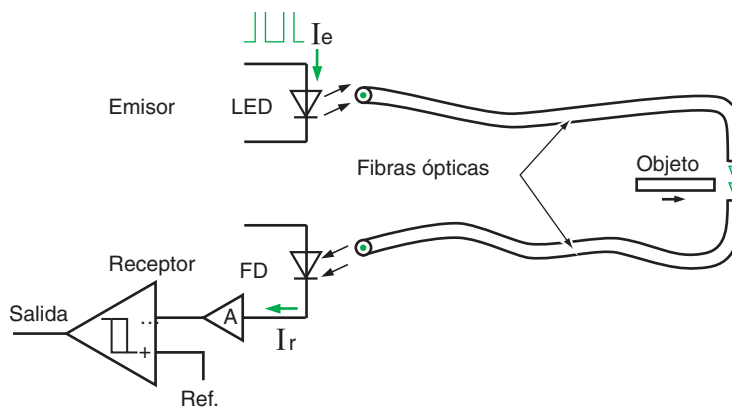


Fig. 23: Principio de un detector de fibra óptica.

### 5.3 Magnitudes que influyen en la detección por sistemas fotoeléctricos

Son varios los factores que influyen en los resultados de estos sistemas de detección.

Ya se han citado anteriormente:

- la distancia (detector-objeto)
- el tipo de objeto a detectar (su superficie: difusa, reflectante o transparente, su color y sus dimensiones).
- el entorno (luz ambiente, presencia de plano posterior ...)

## 6 Los detectores por ultrasonidos

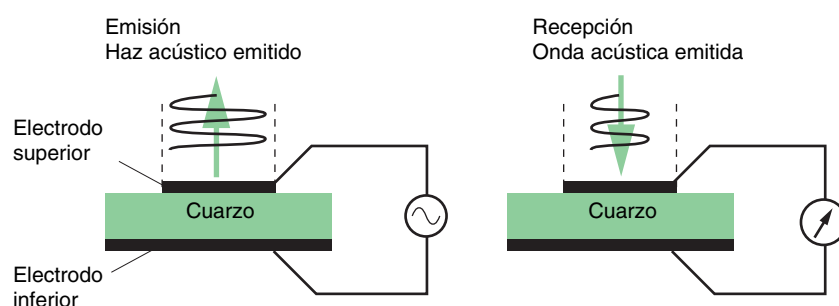
### 6.1 Principio

Los ultrasonidos se producen eléctricamente con la ayuda de un transductor electroacústico (efecto piezoeléctrico) que convierte la energía eléctrica que se le suministra en vibraciones mecánicas gracias a los fenómenos de piezoelectricidad o de magnetostricción (**figura 24**).

El principio es medir el tiempo de propagación de la onda acústica entre el sensor y el objeto.

La velocidad de propagación es de 340 m/s en el aire a 20° C; por ejemplo, para 1 m, el tiempo a medir es del orden de 3 ms. Este tiempo se mide con el contador de un microprocesador.

La ventaja de los sensores de ultrasonidos es el poder funcionar a gran distancia (hasta 10 m), pero, sobre todo, el ser capaz de detectar cualquier objeto que refleje el sonido, independientemente de su forma o color.



**Fig. 24:** Principio de un transductor electroacústico.

### 6.2 Aplicación (**figura 25**)

Excitado por el generador de alta tensión, el transductor (emisor-receptor) genera una onda ultrasónica pulsada (de 100 a 500 kHz, según el tipo) que se desplaza por el aire ambiente a la velocidad del sonido.

Cuando la onda encuentra un objeto, una onda reflejada (eco) vuelve hacia el transductor. Un microprocesador analiza la señal recibida y mide el intervalo de tiempo entre la señal emitida y el eco.

Por comparación con los tiempos, predefinido o aprendido, determina y controla el estado de las salidas. Conociendo la velocidad de propagación del sonido, se deduce la distancia mediante la fórmula:

$$D = \frac{T \cdot V_s}{2},$$

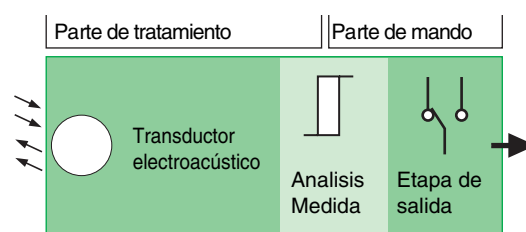
siendo:

D: distancia de detector al objeto,

T: tiempo transcurrido entre la emisión de la onda y su recepción,

Vs: velocidad del sonido (300 m/s).

La etapa de salida controla un conmutador estático (transistor PNP o NPN) que corresponde a un contacto, que cierra o abre, o proporciona una señal analógica (de corriente o tensión) directa o inversamente proporcional a la distancia del objeto medido.



**Fig. 25:** Principio de un detector de ultrasonidos.

## 6.3 Particularidades de los detectores de ultrasonidos

### Definiciones (figura 26)

**Zona ciega:** zona comprendida entre la cara sensible del detector y el alcance mínimo en el que no se puede detectar ningún objeto de manera fiable. Es imposible detectar correctamente los objetos en esta zona; además, hay que evitar el paso de cualquier objeto por esta zona ciega durante el funcionamiento del detector, porque puede provocar un estado inestable de las salidas.

**Zona de detección:** zona en la que el detector es sensible. Según los modelos de detectores, esta zona puede ser ajustable o fija por medio de un simple botón pulsador.

**Factores de influencia:** los detectores de ultrasonidos son particularmente adaptables a la detección de objeto duro y que tienen una superficie plana perpendicular al eje de detección. Sin embargo el funcionamiento del detector por ultrasonidos puede resultar perturbado por diferentes factores:

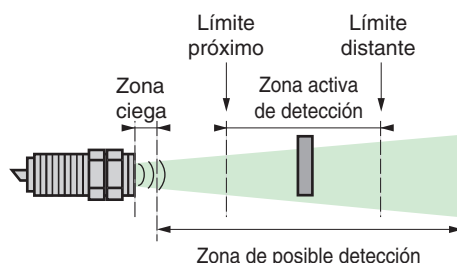
- Las corrientes de aire bruscas y de gran intensidad pueden acelerar o desviar la onda acústica emitida por el elemento (impulsión de piezas por chorro de aire).

- Los gradientes de temperatura importantes en el dominio de detección

Un fuerte calor producido por algún objeto crea zonas con temperaturas diferentes que modifican el tiempo de propagación de la onda e impide una detección fiable.

- Los aislantes acústicos

Materiales tales como el algodón, la celulosa, el caucho, absorben el sonido: para estos materiales se aconseja el modo de detección «réflex».



**Fig. 26:** Límites de utilización de los detectores de ultrasonidos.

- El ángulo entre la cara del objeto a detectar y el eje de referencia del detector.

Cuando este ángulo no es de  $90^\circ$ , la onda no es reflejada en el eje del detector y el alcance de trabajo disminuye. Este efecto es aún más acentuado cuando la distancia entre el objeto y el detector es mayor. Más allá de  $\pm 10^\circ$ , la detección resulta imposible.

- La forma del objeto a detectar

Por todo lo dicho, un objeto muy anguloso será más difícil de detectar.

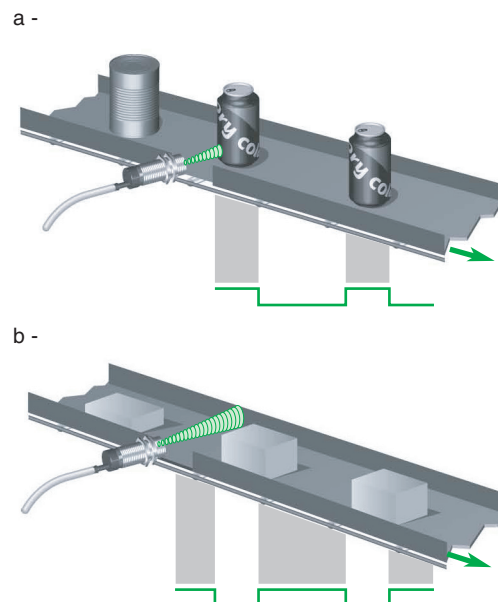
### Modo de funcionamiento (figura 27)

**Modo de reflexión directa:** un único detector emite la onda sonora y él mismo la capta después reflejarse en el objeto.

En este caso es el objeto quien asegura la reflexión.

**Modo réflex:** un único elemento emite la onda sonora y la recibe después de reflejarse en un reflector; de hecho el detector está permanentemente activado. El reflector en este caso es un elemento plano y rígido que puede ser una parte de la máquina. La detección del objeto se hace, en este caso, por corte de la onda. Este sistema es especialmente adecuado para la detección de materiales absorbentes u objetos angulosos.

**Modo barrera:** el sistema barrera se compone de dos productos independientes que tienen que colocarse uno frente al otro: el emisor de ultrasonidos y un receptor.



**Fig. 27:** Utilización de los detectores de ultrasonidos: [a] en modo proximidad o reflexión, y [b] en modo réflex.

## 6.4 Las ventajas de la detección a ultrasonidos

- No requiere el contacto físico con el objeto, por lo que no se desgasta, y se tiene la posibilidad de detectar objetos frágiles o recién pintados.
- Posibilidad de detectar cualquier material, independientemente de su color y, para una misma distancia, sin regulación o sin factor de corrección.
- Aparatos estáticos: no hay piezas en movimiento en el interior del detector, por lo que su duración es independiente del número de ciclos de maniobras.
- Buena resistencia en entornos industriales: dispositivos resistentes a las vibraciones y a los choques, resistentes a los ambientes húmedos o polvorientos.

## 7 La detección RFID –Radio Frequency Identification–

En este capítulo se abordan los dispositivos destinados al almacenamiento y la explotación de datos memorizados en las etiquetas electrónicas, usando una señal de radiofrecuencia.

### 7.1 Generalidades

■ La identificación por radiofrecuencia (RFID) es una tecnología de identificación automática relativamente reciente, adaptada a las aplicaciones que necesitan un seguimiento de objetos o de personas (trazabilidad, control de acceso, selección, almacenamiento).

■ El principio es asociar a cada objeto la capacidad de almacenar datos sin contacto, en lectura y en escritura.

■ Los datos se almacén en una memoria accesible por simple enlace de radiofrecuencia, sin contacto ni campo de visión, y a una distancia que va desde algunos centímetros a varios metros. Esta memoria toma la forma de una etiqueta electrónica, llamada también «transponder» (transmisor + respondedor), en cuyo interior se encuentra un circuito electrónico y una antena.

### 7.2 Principios de funcionamiento

Un sistema RFID está compuesto de los siguientes elementos (**figuras 28 y 29**):

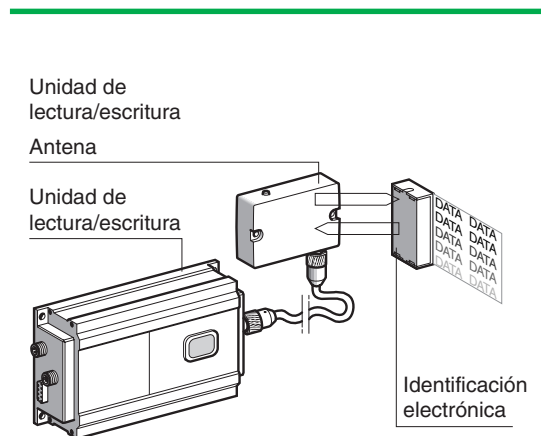
- una etiqueta electrónica,
- una estación de lectura/escritura (o lector RFID).

El lector

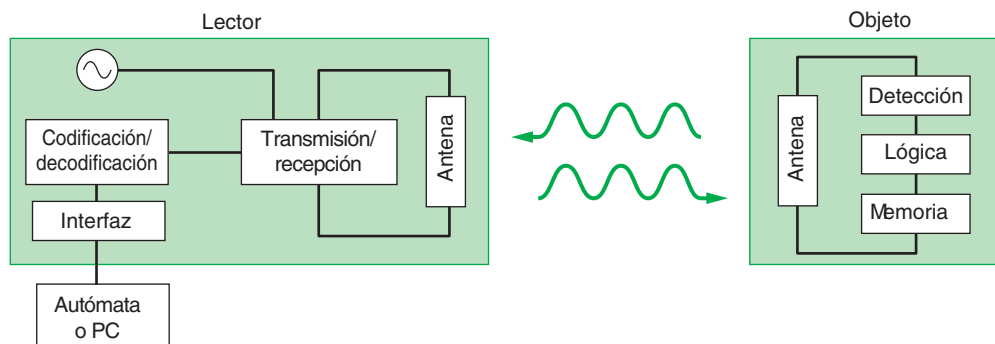
Modula la amplitud del campo radiado por su antena para transmitir las órdenes de lectura o de escritura a la lógica de procesamiento de la etiqueta. Simultáneamente el campo electromagnético generado por su antena alimenta el circuito electrónico de la etiqueta.

La etiqueta

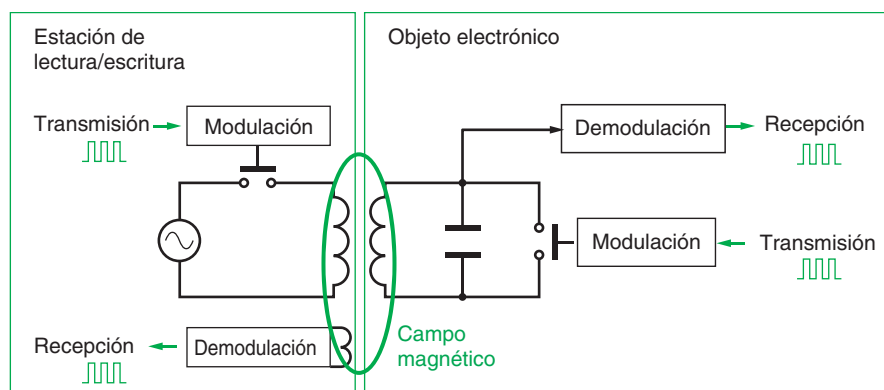
Transmite las informaciones a su alrededor, hacia la antena del lector, modulando con su propio consumo. Esta modulación es detectada por el circuito de recepción del lector que la convierte en señales digitales (**figura 30**).



**Fig. 29:** Elementos de un sistema RFID (Sistema Inductel de Telemecánica).



**Fig. 28:** Configuración de un sistema RFID.



**Fig. 30:** Funcionamiento de un sistema RFID.

## 7.3 Descripción de los elementos

### Las etiquetas electrónicas

Las etiquetas electrónicas se componen de tres elementos principales, reunidos en una única envoltura.

#### ■ Una antena (figura 31)

Debe estar adaptada a la frecuencia de la portadora y puede tener diferentes formas:

□ Bobina en hilo de cobre, con o sin núcleo de ferrita (canalización de las líneas de campo) o incluso estar gravada en un circuito impreso, flexible o rígido, o, también, estar impreso (con tinta conductora) para frecuencias inferiores a 20 MHz.

□ Dipolo grabado en un circuito impreso, o impreso (con tinta conductora) para frecuencias muy altas (> 800 MHz).

#### ■ Un circuito lógico de proceso de datos (figura 31)

Su misión es hacer de interfaz entre las órdenes captadas por la antena y la memoria.

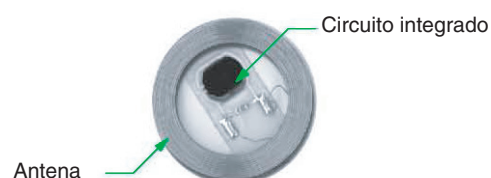
Su complejidad depende de las aplicaciones a las que se destine, desde la simple adecuación hasta la utilización de un microprocesador (ejemplo: las tarjetas de pago aseguradas con algoritmos encriptados).

#### ■ Una memoria

Se utilizan varios tipos de memorias para almacenar las informaciones en las etiquetas electrónicas (figura 32).

□ La capacidad de estas memorias va desde algunos octetos o bytes hasta varias decenas de kilobytes.

Nota: ciertas etiquetas llamadas «activas» llevan una pila destinada a alimentar su electrónica. Esta configuración permite aumentar la distancia de diálogo entre la etiqueta y la antena, pero exige sustituir regularmente la pila.



**Fig. 31:** Fotografía de una etiqueta RFID.

Tipo	Ventajas	Inconvenientes
ROM	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Buena resistencia a altas temperaturas</li> <li>■ Bajo coste</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Sólo lectura</li> </ul>
EEPROM	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ No necesita pila o batería para mantener los datos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Tiempo de relativamente largo en lectura o escritura</li> <li>■ Número de escrituras limitado a <math>10^5</math> ciclos por octeto</li> </ul>
RAM	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Rapidez de acceso a los datos</li> <li>■ Gran capacidad</li> <li>■ Número ilimitado de lecturas/escrituras</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Necesidad de insertar una pila para guardar los datos</li> </ul>
FeRAM (ferro-eléctrico)	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Rapidez de acceso a los datos</li> <li>■ Sin necesidad de pila para guardar los datos</li> <li>■ Capacidad elevada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Número de lecturas/escrituras limitado a <math>10^{12}</math></li> </ul>

**Fig. 32:** Diversos tipos memorias utilizadas para almacenar las informaciones en las etiquetas electrónicas.



### ■ Una caja

Se han creado cajas adaptadas a cada tipo de aplicación para agrupar y proteger los tres elementos activos de una etiqueta, por ejemplo:

- lámina en forma de tarjeta de crédito, para control de acceso de las personas (**figura 33a**),
- soporte adhesivo, para identificación de los libros en los estantes (**figura 33b**),
- tubo de vidrio, para identificación de los animales domésticos (inyección bajo la piel con la ayuda de una jeringuilla) (**figura 33c**),
- «botones» de plástico, para la identificación de las prendas y líneas (**figuras 33d y 33e**),
- placa para seguir los correos (**figura 33g**).

Existen muchas otras presentaciones: llaveros, «clavos» de plástico para identificación de palés de madera, o, incluso, cajas resistentes a los choques y a los productos químicos (**figura 33h**) para las aplicaciones industriales (tratamiento de superficies, hornos,...)

### Las estaciones

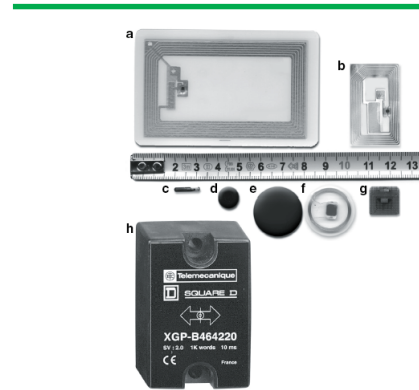
Una estación (**figura 34a**) juega el papel de interfaz entre el sistema de gestión (autómata programable, ordenador...) y la etiqueta electrónica, a través de un puerto de comunicaciones adaptado (RS232, RS485, Ethernet...).

Puede además integrar cierto número de funciones complementarias, adaptadas en función de las aplicaciones:

- entradas/salidas del tipo todo o nada,
- tratamiento local para funcionamiento en autónomo,
- control de varias antenas,
- detección con una antena integrada para formar un sistema compacto (**figura 34b**).

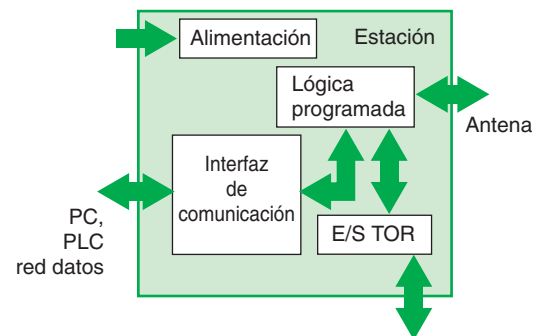
### Antenas

Las antenas se caracterizan por sus dimensiones (que determinan la forma de la zona en la que van a poder intercambiar las informaciones con las etiquetas) y la frecuencia del campo radiado. El uso de ferritas permite concentrar las líneas de campo electromagnético para aumentar la distancia de lectura (**figura 35**) y disminuir la influencia de masas metálicas que pueden estar próximas a la antena.



**Fig. 33:** Diversas formas de etiquetas y cajas RFID adaptadas para su uso.

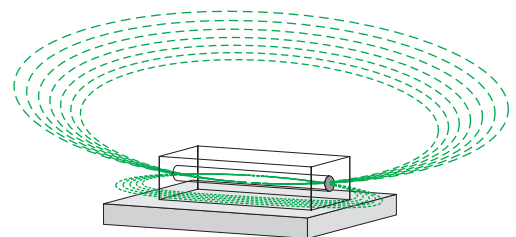
a -



b -



**Fig. 34:** Sinóptico y fotografía de un lector RFID (Estación Telemecánica Inductel).



**Fig. 35:** Influencia de una antena en ferrita sobre las líneas de campo electromagnético.

Las frecuencias utilizadas por las antenas están distribuidas en varias bandas, cada una de las cuales tiene sus ventajas e inconvenientes (figura 36).

Las potencias y las frecuencias utilizadas varían en función de las aplicaciones y de los países. Se han definido tres grandes zonas: América del Norte, Europa y el resto del mundo. A cada zona y a cada frecuencia le corresponde una banda autorizada de espectro de emisión (norma CISPR 300330) en la cual cada estación/antena RFID se debe de inscribir.

### Código y protocolo

Las normas internacionales definen protocolos de intercambio entre las estaciones y las etiquetas (ISO 15693 – ISO 14443 A/B). Hay también estándares en curso de definición que están muy especializados, como los destinados al campo de la gran distribución (EPC -Electronic Product Code-) o para la identificación de los animales (ISO 11784).

Frecuencia	Ventajas	Inconvenientes	Aplicación típica
125-134 khz (BF)	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Inmunidad al entorno (metal, agua...)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Pequeña capacidad memoria</li> <li>■ Tiempo de acceso largo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Identificación de animales domésticos</li> </ul>
13.56 Mhz (HF)	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Protocolos de diálogo antena/etiqueta normalizados (ISO 15693-ISO 14443 A/B)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Sensibilidad a los entornos metálicos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Seguimiento de libros en las bibliotecas</li> <li>■ Control de acceso</li> <li>■ Sistemas de pago</li> </ul>
850 - 950 Mhz (UHF)	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Coste muy bajo de cada etiquetas</li> <li>■ Distancia de diálogo importante (varios metros)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Margen de frecuencias no homogéneas entre países</li> <li>■ Alteración de zonas de diálogo por obstáculos (metal, agua...)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Gestión de los productos en la distribución</li> </ul>
2.45 (micro-ondas)	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Gran velocidad de transferencia entre antena y etiqueta</li> <li>■ Distancia de diálogo importante (varios metros)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ «Cortes» en la zona de comunicaciones difíciles de controlar</li> <li>■ Corte de sistemas de lectura</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Seguimiento de vehículos (peajes en las autopistas)</li> </ul>

Fig. 36: Descripción de las bandas de frecuencia utilizadas en RFID.

## 7.4 Ventajas de la identificación RFID

Comparada con los dispositivos de código de barras (etiquetas o marcado y lectores), la identificación RFID presenta las siguientes ventajas:

- posible modificación de las informaciones contenidas en la etiqueta,
- lectura/escritura a través de la mayor parte de los materiales no metálicos,
- insensibilidad al polvo y a la suciedad,
- posible registro de varios miles de caracteres en una etiqueta,
- confidencialidad de las informaciones (bloqueo del acceso a los contenidos en la etiqueta).

Todas estas ventajas ayudan a su desarrollo en el campo de las actividades de los servicios

(ej.: control de acceso a las pistas de eski) y en la distribución.

Además, la bajada constante de los precios de las etiquetas RFID debe llevar a estas etiquetas a sustituir los tradicionales códigos de barras en los envoltorios (cajas de cartón, containers, equipajes) en los diferentes campos de la logística y los transportes, pero también en los productos en proceso de fabricación en la industria.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que la idea atractiva de la identificación automática del contenido de los carros en las cajas de los hipermercados, sin ninguna manipulación de las mercancías, no se prevé todavía posible con estos sistemas, por razones físicas y técnicas.

## 8 La visión

### 8.1 Principio

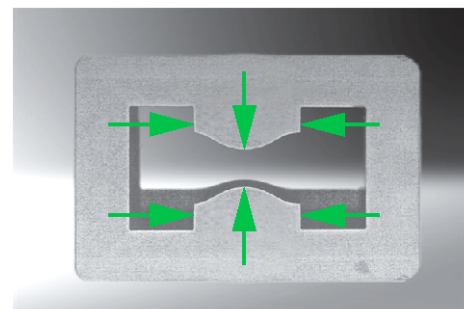
Es el ojo de la máquina el que da la vista a un automatismo.

En una fotografía tomada por una cámara, las características físicas del objeto son numerosas. Así es posible conocer (**figura 37**):

- sus dimensiones,
- su posición,
- su aspecto (estado de superficie, color, brillo, existencia de defectos),
- su marcado (logos, caracteres...).

El usuario puede también automatizar funciones complejas:

- de medida,
- de conducción,
- y de identificación.



**Fig. 37:** Control de una pieza mecánica. Las flechas indican las zonas verificadas por el sistema.

### 8.2 Los puntos clave de la visión

La visión industrial se compone de un sistema óptico (iluminación, cámara y óptica) asociado a una unidad de procesamiento y un control de los actuadores.

#### ■ Iluminación

Para valorar los elementos a controlar, es esencial tener una iluminación específica y bien adaptada para crear un contraste suficiente y estable.

#### ■ Cámara y óptica

De la elección de la óptica y de la cámara depende la calidad de la imagen capturada (contraste, nitidez) y esto con una distancia definida cámara/objeto y con un objeto a examinar perfectamente definido (dimensiones, estado de superficie y detalle a captar).

#### ■ Unidad de procesamiento

La imagen proveniente de la cámara se transmite a la unidad de procesamiento que contiene los algoritmos de conversión y análisis de imagen necesarios para la realización de los controles. Sus resultados se transmiten después al automatismo o controlan directamente un actuador.

#### La iluminación

##### ■ Las tecnologías de alumbrado

##### □ Alumbrado con tubo fluorescente de alta frecuencia

De luz blanca, tiene una larga duración (5000 horas) y el volumen alumbrado o «campo» es importante. Ello depende evidentemente de la potencia luminosa instalada.

##### □ Alumbrado halógeno

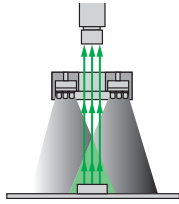
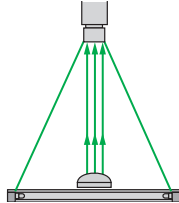
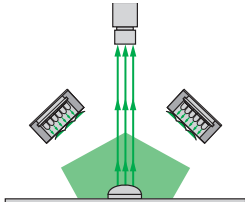
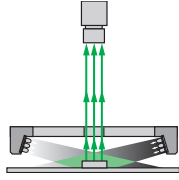
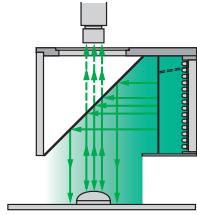
También de luz blanca, su duración es menor (500 horas) y, si es de gran potencia, puede cubrir un área importante.

##### □ Alumbrado con LED (Diodo Electro Luminescente)

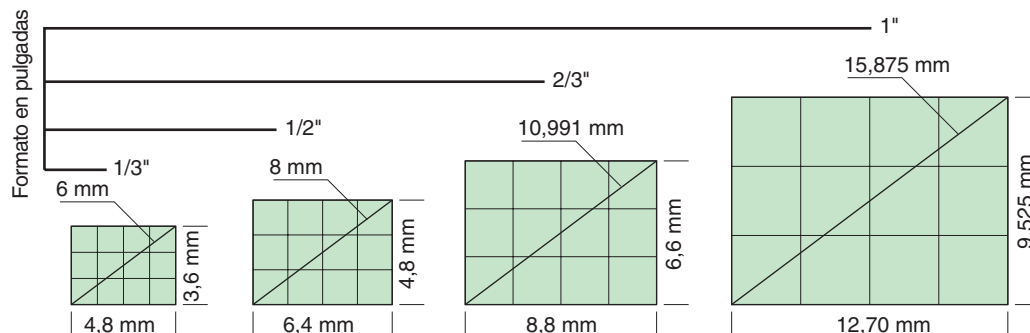
Este es el alumbrado preferido actualmente: es un alumbrado homogéneo y con una gran duración (30000 horas). Existe en colores, pero el campo abarcado se limita a unos 50 cm aproximadamente.

■ Estos sistemas de iluminación se pueden aplicar de modos diferentes. Se utilizan principalmente cinco sistemas (**figura 38**) para hacer resaltar la característica a controlar:

- anular,
- retroiluminación,
- lineal directo,
- rasante,
- coaxial.

Sistemas	Características	Aplicaciones tipo
<b>Anular</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Conjunto de LED dispuestos en anillo</li> <li>■ Sistema de iluminación muy potente: permite iluminar el objeto en su eje, por encima</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Control de precisión de tipo marcado</li> </ul>
<b>Retro-iluminación</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Iluminación situada detrás del objeto y frente a la cámara</li> <li>■ Permite reconocer la silueta del objeto (sombra chinesca)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Medida de las cotas de un objeto o análisis de elementos opacos</li> </ul>
<b>Línea directa</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Utilizado para reconocer una superficie pequeña del objeto y crea una sombra bien contrastada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Búsqueda de defectos específicos, control preciso de fileteado...</li> </ul>
<b>Rasante</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Permite: <ul style="list-style-type: none"> <li>□ detectar los bordes</li> <li>□ controlar un marcado</li> <li>□ detectar defectos en superficies vítreas o metálicas</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Control de caracteres impresos, del estado de una superficie, detección de rayas o arañazos...</li> </ul>
<b>Coaxial</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Permite detectar superficies lisas perpendiculares al eje óptico orientando la luz hacia un espejo semi-reflectante</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Control, análisis y medida de superficies metálicas planas u otras superficies reflectantes</li> </ul>

**Fig. 38:** Tabla de los diversos sistemas de iluminación para la visión industrial.



**Fig. 39:** Tamaño de los captadores utilizados en la industria.

### Las cámaras y ópticas

#### ■ Las tecnologías de cámaras

##### □ Cámara CCD (Charged Coupled Device)

Hoy se prefieren estas cámaras por su buena definición.

Para los procesos continuos, se utilizan las cámaras lineales (CCD lineales); en los demás casos, se utilizan las cámaras con medición matricial (CCD matricial):

Las cámaras industriales utilizan muchos formatos de captador (**figura 39**) definidos en pulgadas: 1/3, 1/2 y 2/3 (1/3 y 1/2: videocámara, 2/3 y más: alta resolución industrial, televisión...).

Las ópticas son específicas para cada tipo de captador, para poder utilizar la totalidad de los píxels.

##### □ Cámara CMOS

Progresivamente suplantada por CCD

Coste atractivo ⇒ utilización aplicaciones básicas

##### □ Cámara Vidicon (tubo)

Actualmente obsoleta.

#### ■ El barrido («escaneado»)

Las cámaras son o de imagen entrelazada o de «escaneado progresivo = full frame».

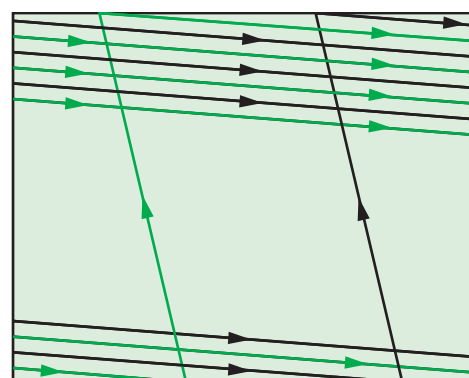
Cuando las vibraciones y la toma de imagen al vuelo son frecuentes, es aconsejable utilizar un captador «de escaneado progresivo (llamado Progressive Scan)» (o lectura al vuelo) o «Full Frame».

Los captadores CCD permiten la exposición de todos los píxels en un mismo instante.

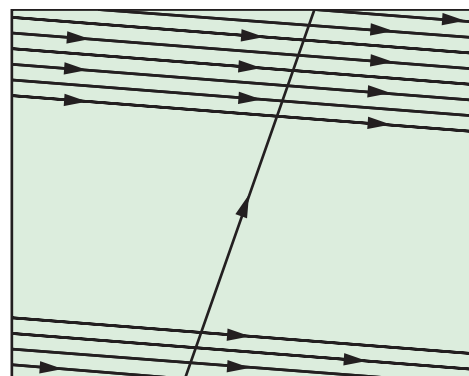
##### □ Barrido (o escaneado) entrelazado

El sistema entrelazado procede del vídeo. Se desarrolla analizando una imagen por escaneado alternativo de una línea de cada dos (**figura 40**).

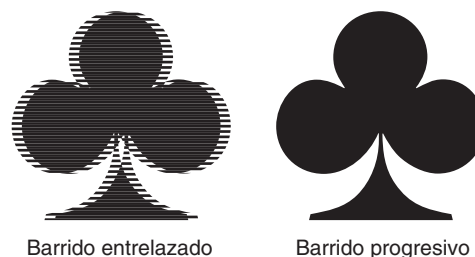
Su objetivo es el de economizar la mitad de la banda pasante soportando algunos defectos poco visibles en una pequeña pantalla, especialmente el centelleo (o flicker).



**Fig. 40:** Barrido entrelazado: una primera trama, representada con líneas negras, analiza las líneas impares; otra, en verde, analiza las líneas pares.



**Fig. 41:** Barrido progresivo: todas las líneas de una imagen son escaneadas en cada instante.



**Fig. 42:** diferencia entre los dos tipos de barrido.

□ Barrido o escaneado progresivo

Es el tipo de análisis de imagen utilizado en informática. Su principio es el escaneado de todas las líneas de la imagen a la vez (**figura 41**). Su ventaja es la supresión del centelleo y la obtención de una imagen estable (**figura 42**).

■ La óptica

□ Las monturas a rosca «C» y «CS», que tienen un Ø 25,4 mm, son las más utilizadas en el medio industrial.

La distancia focal (f en mm) se expresa directamente a partir del tamaño del objeto a encuadrar (H en mm), de la distancia objeto ⇒ objetivo (D en mm), y del tamaño de la imagen (h en mm):

$$f = D \cdot \frac{h}{H} \text{ (figura 43).}$$

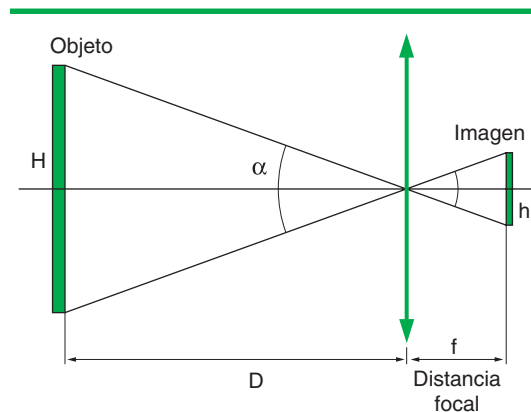
$$\text{Con un ángulo de campo} = 2 \cdot \arctg \left( \frac{h}{2 \cdot f} \right)$$

Así, cuanto menor es la distancia focal, mayor es el campo cubierto.

□ Por tanto, la elección del tipo de objetivo es función de la distancia D y del tamaño del campo a visualizar H.

**Unidad de procesamiento**

Su circuitería electrónica tiene dos misiones: tratar digitalmente la imagen y después analizar esta imagen mejorada.



**Fig. 43:** Distancia focal.

■ Algoritmos manipulación-conversión

Los pre-tratamientos cambian el valor de nivel de gris de los pixels. El objetivo de estos pre-tratamientos es mejorar la imagen para poder analizarla con más eficacia y fiabilidad. Entre estos pre-tratamientos posibles, los más empleados son:

- la digitalización,
- la proyección,
- la erosión/dilatación,
- la apertura/cierre.

■ Algoritmos de análisis de imagen

En la tabla de la **figura 44** se presentan diferentes algoritmos de análisis de imagen.

Hay que tener en cuenta que en la columna «pre-requisitos» están indicados los tratamientos de imágenes que preceden a este análisis.

Algoritmo de análisis de imagen	Principio de funcionamiento y utilización preferente (en negrita)	Prerrequisito	Ventaja(s)	Límites
Línea	Conteo de pixels, de objetos. <b>Presencia/ausencia</b> , conteo	Digitalización y eventualmente ajuste de exposición	Muy rápido (< ms)	Estabilidad de la imagen respecto a la digitalización
Análisis binario de la zona (negro o blanco)	Conteo de pixels. <b>Presencia/ausencia</b> , análisis de superficie, control de intensidad	Digitalización y eventualmente ajuste de exposición	Rápido (ms)	Estabilidad de la imagen respecto a la digitalización
Análisis de zona en niveles de gris	Cálculo del nivel de gris medio. Presencia/ausencia, análisis de superficie, <b>control de intensidad</b>	Ninguno		
Búsqueda de límites por análisis binario	Identificación de los bordes en la imagen binaria. Medida, presencia/ausencia, posicionamiento	Digitalización y eventualmente ajuste de exposición		Precisión máxima de pixelado. Estabilidad de la imagen respecto a la digitalización
Búsqueda de límites (bordes) por análisis de niveles de grises	Identificación de los bordes en niveles de grises. <b>Medida</b> , presencia/ausencia, <b>posicionamiento</b>	Ninguno y eventualmente ajuste de posición	Permite detectar los bordes de un objeto deteriorado o de una superficie desigual. Posible «alisado» de objeto de superficie irregular con pre-tratamiento por cálculo de niveles medios de grises de los pixels	Necesita de un reposicionamiento preciso
Obtención de la forma	Conteo, detección del objeto, identificación de medidas y parámetros geométricos. Posicionamiento, re-posicionamiento medida, clasificación, identificación	Digitalización y eventualmente ajuste de exposición	Obtención de multitud de datos, polivalente. Permite re-posicionamiento en 360 °	Precisión máxima de pixelado. Estabilidad de la imagen respecto a la digitalización. Lento (> 10... 100 ms)
Comparación de formas	Búsqueda de formas similares a modelos pre-registrados. Posicionamiento, re-posicionamiento, medida, clasificación, conteo, identificación	Ninguno	De fácil instalación	Reconocimiento limitado a 30°. Lento (> 10...100 ms) si el modelo y/o la zona búsqueda son extensos
OCR/OCV	Reconocimiento óptico de caracteres (OCR) o verificación óptica de caracteres o logos (OCV)	Tener un buen nivel de contraste de la imagen. Maximizar el tamaño de la imagen. Utilizar re-posicionamiento.	Lectura de todo tipo de caracteres o logos por lectura una biblioteca (alfabeto)	Estabilidad del marcado a controlar en el tiempo (piezas embutidas)

**Fig. 44:** Los diferentes algoritmos de análisis de imagen utilizada en la visión industrial.



## 9 Los codificadores ópticos

### 9.1 Presentación de un codificador óptico

#### ■ Constitución

Un codificador óptico rotativo es un captador angular de posición que tiene un emisor de luz (LED), un receptor fotosensible y un disco unido mecánicamente por su eje al órgano controlador de la máquina, disco que tiene una sucesión de zonas opacas y transparentes.

La luz emitida por los LED llega a los fotodiodos cada vez que atraviesa las zonas transparentes del disco. Los fotodiodos generan entonces una señal eléctrica que se amplifica y se convierte en una señal cuadrada, antes de ser transmitida hacia un sistema de proceso. Cuando el disco gira, la señal de salida del codificador está constituida de una secuencia de señales cuadradas. La **figura 45** muestra este dispositivo.

#### ■ Principios

□ La rotación de un disco graduado, función del desplazamiento del objeto a controlar, genera impulsos, todos semejantes, en la salida de un captador óptico.

La resolución, es decir, el número de impulsos por vuelta, corresponde al número de sectores en el disco o a un múltiplo de éste. Pero, cuanto mayor sea el número de puntos, mayor será el número de señales por vuelta, lo que permitirá una división más fina del desplazamiento o de la velocidad del móvil unido al codificador.

Ejemplo de aplicación: el corte en longitud

La resolución se expresa por la fracción

$$\frac{\text{distancia recorrida en una vuelta}}{\text{número de puntos}}$$

Así, cuando el producto que hay que cortar tiene una rueda de medida con un perímetro de 200 mm, para obtener una precisión de 1 mm el codificador deberá tener una resolución de 200

puntos. Para una precisión de 0,5 mm, la resolución del codificador deberá ser de 400 puntos.

#### ■ Realización práctica (**figura 46**)

La parte emisora se hace con una fuente luminosa triple, con tres fotodiodos o LED (por la redundancia), con una duración de unos 10 a 12 años.

Un circuito integrado ASIC (Application Specific Integrated Circuit) asociado al captador óptico de la señal sinusoidal permite obtener, después de la amplificación, señales cuadradas.

El disco se fabrica en:

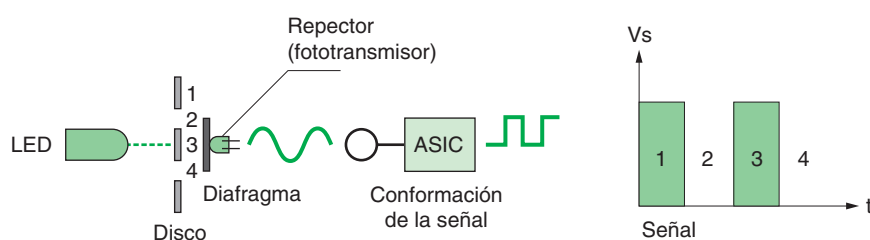
□ POLYFASS (Mylarmica) irrompible para las resoluciones alcanzadas:

- 2048 puntos con un diámetro de 40 mm,
- 5000 puntos con un diámetro de 58 mm,
- 10000 puntos con un diámetro de 90 mm,

□ VIDRIO para las resoluciones superiores y las frecuencias elevadas de lectura hasta a 300 kHz.



**Fig. 45:** Ejemplo de un codificador óptico (marca Telemecánica).



**Fig. 46:** Principio de un codificador incremental.



## 9.2. Familias de codificadores ópticos

La oferta de los fabricantes permite cubrir todo el conjunto de aplicaciones industriales. Esta oferta abarca varias familias principales:

- los codificadores incrementales, que permiten conocer la posición de un móvil y controlar su desplazamiento por conteo/desconteo de los impulsos que generan;
- los codificadores absolutos de posición que dan la posición exacta en una o en varias vueltas. Estas dos familias pueden tener variantes como:
- los codificadores absolutos multivuelta,
- los tacocodificadores que proporcionan además información de la velocidad,
- los tacómetros en las señales se procesan para dar información de la velocidad.

Todos estos dispositivos utilizan técnicas similares, pero se distinguen entre sí por la distribución de las ventanas de los discos y por la codificación y tratamiento de la señal óptica.

### Codificadores incrementales (figura 47)

Los codificadores incrementales se destinan a las aplicaciones de posicionamiento y control de desplazamiento de un móvil por conteo/desconteo de los impulsos que liberan.

- el disco de un codificador incremental tiene dos tipos de pistas:

- una pista exterior (vías A y B) divididas en «n» intervalos de ángulos iguales y alternativamente opacos y transparentes, siendo «n» la resolución o número de períodos. Dos fotodiodos desfasados, instalados tras estas pistas, producen dos señales cuadradas A y B cada vez que el haz luminoso atraviesa una zona transparente. El desfase de 90° eléctricos (1/4 de período) de las señales A y B define el sentido de rotación (figura 48): en un sentido, la señal B está en 1 durante el frente de subida de A; mientras que en el otro sentido, está en 0;

- una pista interior (pista Z) que tiene una única ventana transparente. La señal Z, denominada «top 0», de 90° eléctricos de duración, se sincroniza con las señales A y B; define una posición de referencia y permite la reinicialización en cada vuelta.

- Explotación de las vías A y B

Los codificadores incrementales permiten tres niveles de precisión y de explotación:

- utilización de los frentes de subida de la vía A únicamente: explotación simple, correspondiente a la resolución del codificador,
- utilización de los frentes de subida y bajada de la vía A únicamente: se dobla la precisión de explotación,
- utilización de los frentes de subida y de bajada de las vías A y B: la precisión y explotación se cuadruplican (figura 49).

### ■ Eliminación de parásitos

Todo sistema de conteo puede verse perturbado por la aparición de parásitos en línea que son contabilizados como los impulsos generados por el codificador.

Para eliminar este riesgo, la mayor parte de los codificadores incrementales producen, además de las señales A, B, y Z, sus complementarios  $\overline{A}$ ,  $\overline{B}$  y  $\overline{Z}$ . Si el sistema de tratamiento está diseñado para poder explotarlos (comandos numéricos NUM, por ejemplo), estas señales complementarias permiten diferenciar los impulsos de los codificadores de los impulsos parásitos (figura 50), evitando así que se cuenten estos últimos al reconstruir la señal emitida (figura 51).

### Codificadores absolutos

- Principio de diseño

Los codificadores absolutos se utilizan en aplicaciones de control de desplazamiento y de posicionamiento de un móvil. Son rotativos y funcionan de manera similar a los captadores incrementales pero se distinguen por la naturaleza del disco.

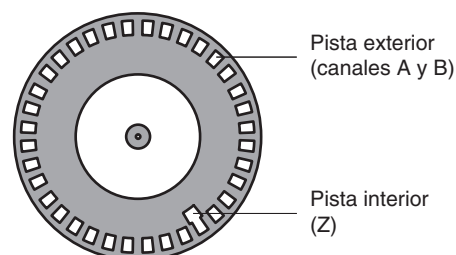


Fig. 47: Aspecto de un disco graduado de un codificador incremental.

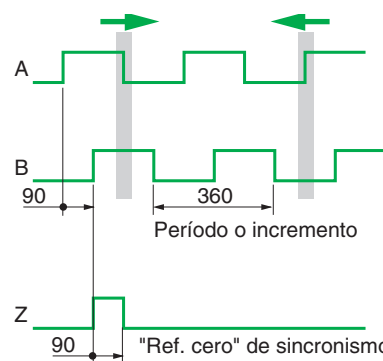
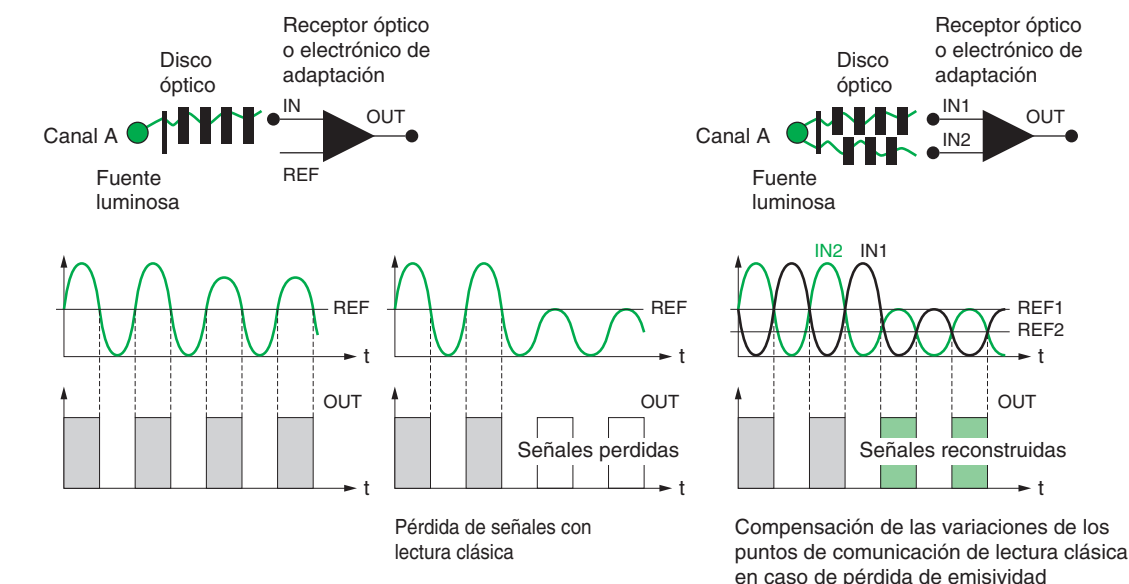
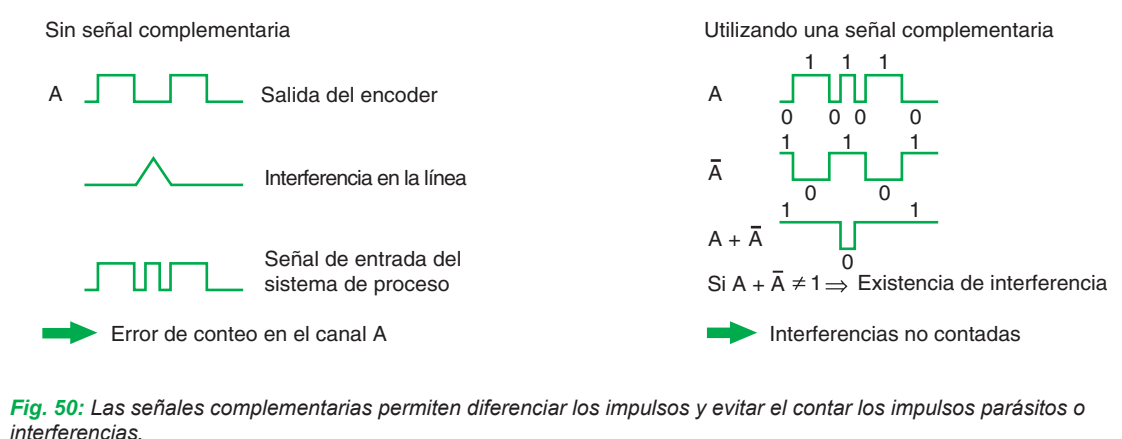
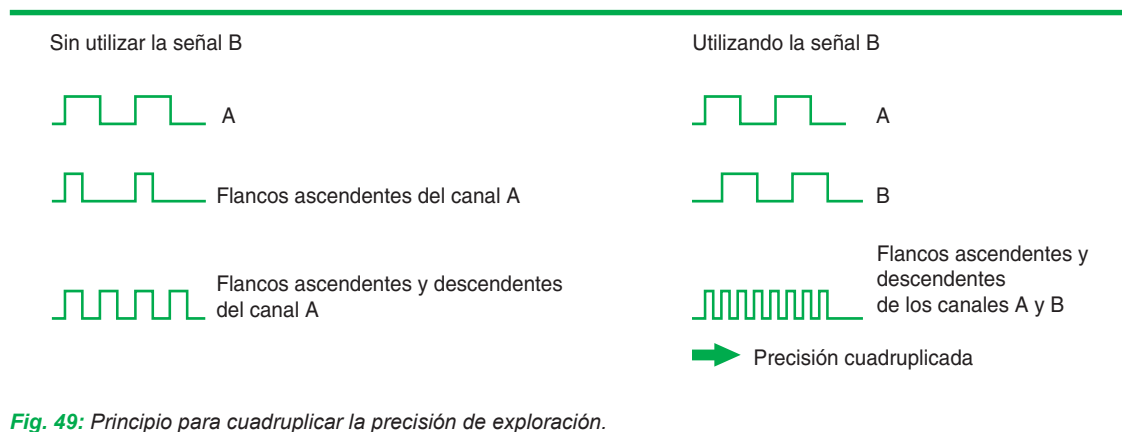


Fig. 48: Principio de detección de la dirección de rotación y «cero» de referencia.



Los discos tienen varias pistas concéntricas divididas en segmentos iguales alternativamente opacos y transparentes (**figura 52**). Un codificador absoluto proporciona en todo momento un código que es la imagen de la posición real del móvil a controlar.

La primera pista interior está compuesta por una mitad opaca y otra transparente. La lectura de

esta pista permite determinar la media vuelta en la que se sitúa el objeto (MSB: Most Significant Bit).

Las siguientes pistas, del centro hacia el exterior del disco, están divididas en 4 cuartos de disco alternativamente opacos y transparentes. Así, la lectura de la segunda pista combinada con la lectura de la anterior (la primera) permite

determinar en qué cuarto de vuelta ( $1/4$  ó  $1/2$ ) se sitúa el objeto. Las pistas siguientes permiten determinar sucesivamente en qué octavo ( $1/8$  ó  $1/2$ ) o en qué décimo sexto de vuelta ( $1/16$ )... etcétera, se sitúa el móvil.

La pista exterior corresponde al bit de menor significación (LSB: Least Significant Bit).

El número de salidas paralelas es el mismo que el número de bits o de pistas que hay en el disco. La imagen del desplazamiento necesita tantas parejas diodo/fototransistor como bits emitidos o pistas en el disco. La combinación de todas las señales en un momento dado da la posición del móvil.

Los codificadores absolutos se caracterizan por la emisión de un código numérico, imagen de la posición física del disco. Una única cifra corresponde a una única posición; este código proporcionado por un codificador rotativo absoluto puede ser binario natural (binario puro) o binario reflejado, también denominado código Gray (figura 53).

#### ■ Ventajas de los codificadores absolutos

El codificador absoluto tiene dos ventajas importantes respecto al codificador incremental:

□ insensibilidad a los cortes de red puesto que al conectar la tensión o después de un corte, el codificador proporciona una información inmediatamente utilizable por el sistema de

proceso, y que corresponde a la posición angular real del móvil. En cambio, el codificador incremental, antes de poder usar útilmente sus señales, necesita una reinicialización.

□ insensibilidad con los parásitos en línea. Una perturbación puede modificar el código proporcionado por un codificador absoluto, pero este código vuelve a ser automáticamente correcto desde la desaparición del parásito. Por el contrario, con un codificador incremental, salvo que se utilicen señales complementarias, la información parásita es procesada.

#### ■ Utilización de las señales

Para cada posición angular del eje, el disco suministra un código, que puede ser un código binario o un código Gray:

##### □ El código binario puro

Permite efectuar las 4 operaciones aritméticas con los números expresados en este código. Por tanto, es directamente utilizable por los autómatas (PLC) para efectuar sus cálculos.

Pero esto tiene el inconveniente de que varios bits que cambian de estado entre dos posiciones, por lo que se puede producir una posible ambigüedad de lectura.

Para evitar esta ambigüedad los codificadores absolutos generan una señal de inhibición que bloquea las salidas en cada cambio de estado.

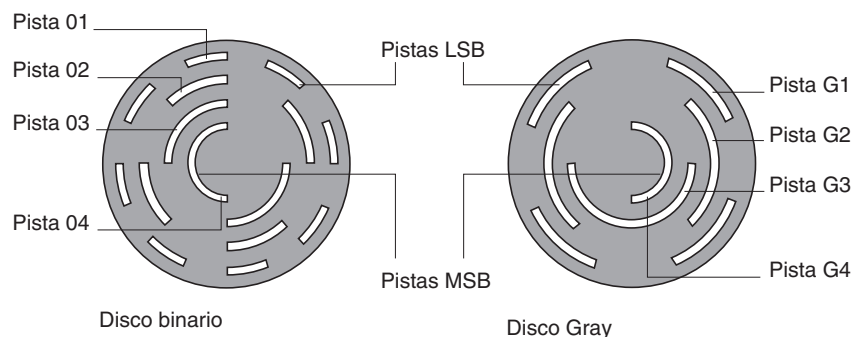


Fig. 52: Discos grabados de un codificador absoluto.



Fig. 53: Señal generada en código Gray por un codificador rotativo absoluto.

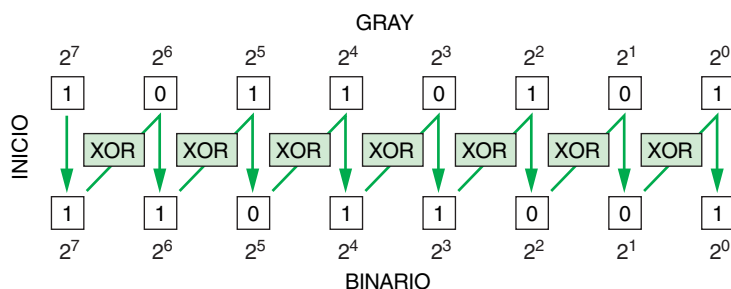


Fig. 54: Principio de un conversor de Gray a binario.

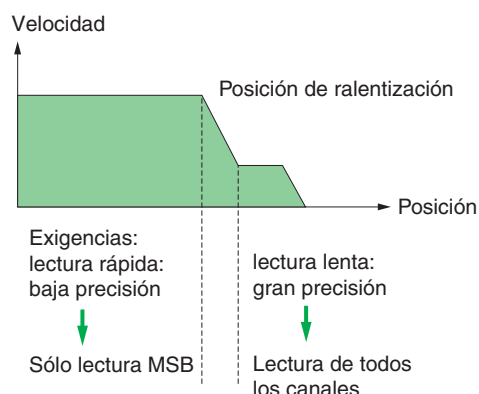


Fig. 55: Posicionamiento de un móvil en un eje.

□ El código Gray, en el que hay un único bit cambiando de estado, evita así esta ambigüedad. Pero, para su explotación por un autómata, este código debe ser previamente transcodificado en binario (figura 54).

#### ■ Utilización de un codificador absoluto

En la mayor parte de las aplicaciones la búsqueda de una mejor productividad obliga a hacer desplazamientos rápidos, a gran velocidad, y después ralentizamientos para conseguir posicionamientos precisos.

Para alcanzar este objetivo con las tarjetas de E/S estándar hay que supervisar los MSB cuando la velocidad es elevada, para activar la ralentización con media vuelta de antelación (figura 55).

#### Variantes de los codificadores

Se han ideado numerosas variantes y varias presentaciones para satisfacer las diferentes exigencias de utilización, por ejemplo:

- codificadores absolutos multivuelta,
- tacocodificadores y tacómetros,
- codificadores de eje sólido,
- codificadores de eje hueco,
- codificadores de eje cruzado.

## 9.3 Asociación codificador - unidad de procesamiento

Los circuitos de entrada de las unidades de tratamiento deben ser compatibles con los flujos de información proporcionados por los codificadores (figura 56).

Unidad de proceso		Encoder			
		Incremental			Absoluta
		Frecuencia de la señal (kHz)			Conexión paralela
		≤ 0,2	≥ 40	> 40	
Autómata programable (PLC)	Entradas ToN	■			■
	Conteo rápido Tarjeta de ejes	■	■		
Controlador numérico		■	■	■	
Microprocesador	Entradas paralelas				■
Tarjetas específicas		■	■	■	■

Fig. 56: Tipos principales de unidades de proceso utilizados en la industria y codificadores que suelen asociárseles.

## 10 Los presostatos y vacuostatos

### 10.1 ¿Qué es la presión?

La presión es el resultado de una fuerza aplicada en una superficie. Si  $P$  es la presión,  $F$  la fuerza y  $S$  la superficie, tiene la relación

$$P = \frac{F}{S}$$

La tierra está rodeada por una envoltura de aire que tiene una cierta masa y que, por tanto, ejerce una cierta presión, llamada «presión atmosférica» y que es igual a 1 bar, a nivel del mar.

La presión atmosférica se da en hPa (hectopascal) o mbar: 1 hPa = 1 mbar.

La unidad internacional de presión es el pascal (Pa): 1 Pa = N/m<sup>2</sup>

Una unidad más práctica es el bar:

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 10^5 \text{ N/m}^2 = 10 \text{ N/cm}^2$$

Presostatos, vacuostatos y transmisores de presión tienen por función controlar o regular o medir una presión o una depresión en un circuito hidráulico o neumático.

Los presostatos o vacuostatos transforman un cambio de presión en señal eléctrica «todo o

nada» cuando se alcanzan los puntos de consigna previstos. Pueden ser de tecnología electromecánica o electrónica (figura 57).

Los transmisores de presión (también llamados captadores analógicos) transforman la presión en señal eléctrica proporcional y son de tecnología electrónica.



Fig. 57: Ejemplo de detectores de presión (marca Telemecánica), presostato electromecánico, presostato electrónico, transmisor de presión.

### 10.2 Los detectores para el control de presión

#### Principio

Los aparatos electromecánicos utilizan el desplazamiento de una membrana, de un pistón o de un fuelle para accionar mecánicamente los contactos eléctricos (figura 58).

Los detectores de presión electrónicos Telemecánica están equipados con una célula cerámica piezo-resistiva (figura 59). La deformación debida a la presión se transmite a las resistencias de «membrana gruesa» del

punto de Wheatstone serigrafado en la membrana cerámica. La variación de resistencia se procesa después mediante la circuitería electrónica integrada para dar una señal o bien todo o nada o bien proporcional a la presión (por ejemplo, 4-20 mA, 0-10 V...).

El control o la medida de presión se obtiene por la diferencia entre las presiones existentes a los dos lados del elemento sometido a la presión. Según la presión de referencia, se utiliza la siguiente terminología:

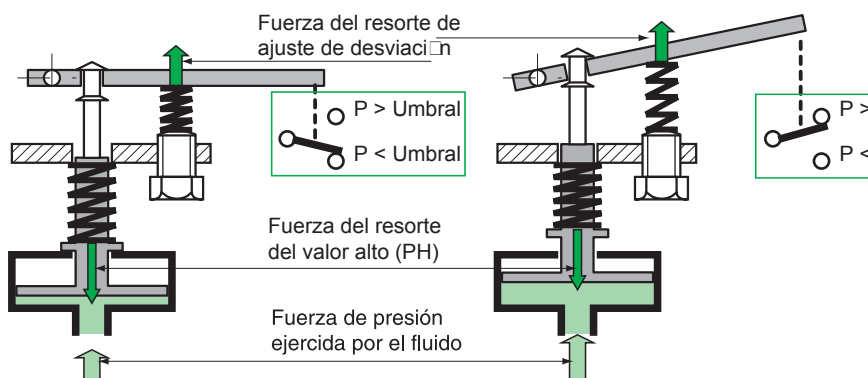
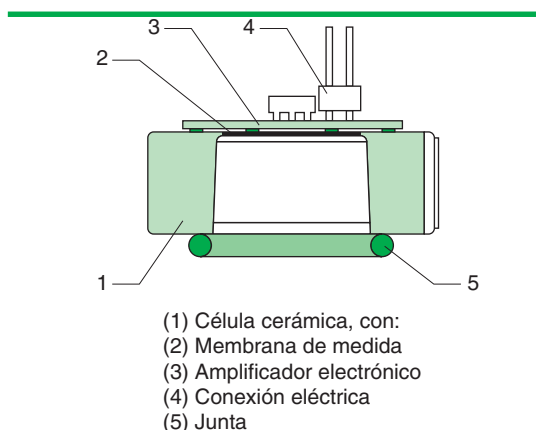


Fig. 58: Principio de un detector de presión electromecánico (marca Telemecánica).



**Fig. 59:** Corte de un detector de presión (marca Telemecánica).

**Presión absoluta:** medida respecto a una escala de volumen, generalmente en vacío.

**Presión relativa:** medida respecto a la presión atmosférica.

**Presión diferencial:** mide la diferencia entre dos presiones.

Hay que tener en cuenta que los contactos eléctricos de salida pueden ser:

- de potencia, bipolares o tripolares, para el mando directo de motores monofásicos o trifásicos (bombas, compresores,...),
- o estándar, para mando de las bobinas de contactores, relés, electroválvulas, entrada de autómatas, etc.

#### Terminología (figura 60)

- Terminología general

#### □ Zona de funcionamiento

Es el intervalo definido por el valor mínimo de ajuste del punto bajo (PB) y el valor máximo de ajuste del punto alto (PA) para los presostatos y vacuostatos. Corresponde al alcance de medida de los transmisores de presión (llamados también captadores analógicos). Hay que tener en cuenta

que las presiones indicadas en los aparatos tienen como base la presión atmosférica.

NB de la versión en inglés: En la documentación de Telemecánica se indica PB (punto bajo) que se corresponde con LP (low point) en inglés; del mismo modo, PA (punto alto en español) se corresponde con PH (point haut, en francés) y con HP (high point, en inglés)

#### □ Zona de reglaje

Es el intervalo definido por el valor mínimo y el valor máximo del ajuste del punto alto.

#### □ Calibre

Valor máximo de la zona de funcionamiento para los presostatos.

Valor mínimo de la zona de funcionamiento para los vacuostatos.

#### □ Punto de consigna alto (PA)

Es el valor de la presión máxima escogida y reglada en el presostato o vacuostato, valor en el que cambiará de estado de la salida cuando la presión sea ascendente.

#### □ Punto de consigna bajo (PB)

Es el valor de la presión mínima seleccionada y regulada en el presostato o vacuostato, valor en el que cambiará de estado de la salida cuando la presión sea descendente.

#### □ Intervalo

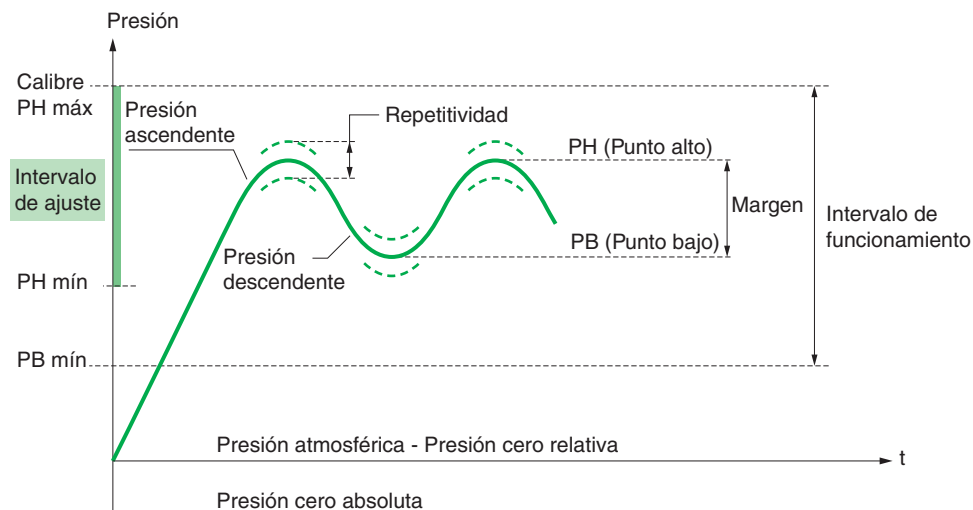
Es la diferencia entre el punto de consigna alto (PA) y el punto de consigna bajo (PB).

#### □ Aparatos con intervalo fijo

El punto bajo (PB) está directamente ligado al punto alto (PA) por el intervalo.

#### □ Aparatos de intervalo ajustable

La regulación del intervalo permite fijar el punto bajo (PB).



**Fig. 60:** Representación gráfica de los términos que normalmente se utilizan.



■ Terminología específica de mecanismos electromecánicos (**figura 61**)

#### □ Precisión de la indicación del punto de consigna

Es la tolerancia entre el valor de consigna indicado y el valor real de activación del contacto. Para un punto de consigna preciso (primera instalación del producto), utilizar la referencia de un dispositivo graduado (ej.: manómetro).

#### □ Repetitividad (R)

Es la variación del punto de funcionamiento entre dos maniobras sucesivas.

#### □ Deriva (F)

Es la variación del punto de funcionamiento durante toda la vida del aparato.

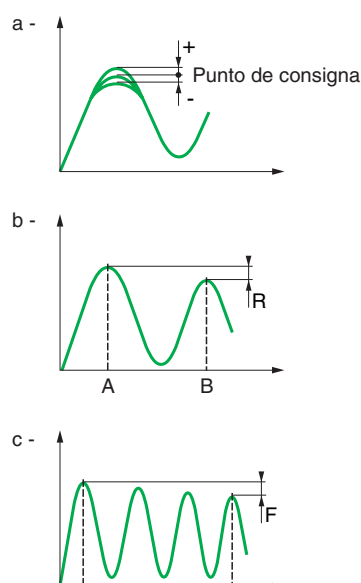
□ Terminología específica de mecanismos electrónicos

□ **Rango de medida (EM)** o zona de medida de un transmisor de presión, corresponde al intervalo de las presiones medidas por el transmisor. Está comprendido entre 0 bar y la presión correspondiente al calibre del transmisor.

□ **La Precisión** se compone de la linealidad, de la histéresis, de la repetitividad y de las tolerancias de los ajustes. Se expresa en % del intervalo de medida del transmisor de presión (% EM).

□ **La linealidad** es la diferencia más importante entre la curva real del transmisor y la curva nominal (**figura 62**).

□ **La histéresis** es la diferencia más importante entre la curva de presión ascendente y la curva de presión descendente (**figura 62**).



**Fig. 61:** Representación gráfica de los términos específicos de un elemento electromecánico [a] precisión del punto de consigna, [b] repetitividad entre dos manómetros A y B, [c] deriva, o variación del punto de funcionamiento durante toda la vida del aparato.

□ **La repetitividad** es la banda de dispersión máxima obtenida al variar la presión en unas condiciones determinadas (**figura 62**).

□ **Las tolerancias de los ajustes** son las tolerancias de ajuste del punto cero, determinadas por el fabricante, y de la sensibilidad (pendiente de la curva de la señal de salida del transmisor).

#### □ Deriva en temperatura (**figura 63**).

La precisión de un detector de presión es siempre sensible a la temperatura de funcionamiento. Esta deriva es proporcional a la temperatura y se expresa en % de EM/K y afecta especialmente al punto cero y a la sensibilidad.

#### □ Presión máxima admisible en cada ciclo (Ps)

Se refiere a la presión que puede soportar el detector de presión en cada ciclo sin incidencia en su duración. Es igual, al menos, a 1,25 veces el calibre del aparato.

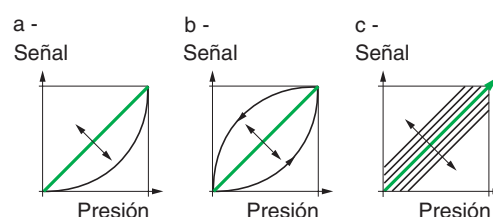
#### □ Presión máxima admisible accidentalmente

Es la presión máxima, independientemente de los golpes de presión, a la que el detector de presión puede estar sometido de forma ocasional sin dañar al aparato.

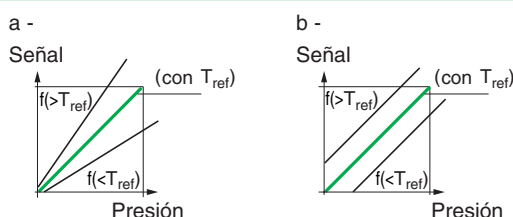
#### □ Presión de ruptura

Es presión límite por encima de la que el detector tiene riesgo de presentar una fuga, incluso un estallido de su mecánica.

Todas estas definiciones relativas a las presiones son esenciales para obtener, al elegir, una perfecta adecuación de los captadores con necesidad y, especialmente, para asegurar su capacidad para utilizarlos en los circuitos hidráulicos o para soportar fenómenos transitorios severos que pueden aparecer, como el «golpe de ariete».



**Fig. 62:** Representación gráfica de la [a] linealidad, [b] histéresis y [c] repetitividad.



**Fig. 63:** Representación gráfica de las derivas por temperatura [a] de la sensibilidad, [b] del punto cero.

## 11 Otras características de los detectores de presencia

En este documento se han presentado las diversas tecnologías de detección. Cada una tiene sus ventajas particulares y sus limitaciones de empleo.

Para su elección, hay que tener en cuenta otros criterios que se describen en las tablas de elección incluidas en los catálogos de los constructores. Mediante éstas y según los detectores, hay que tener especialmente en cuenta:

- las características eléctricas,
- las exigencias medio ambientales,
- las posibilidades y facilidades de puesta en marcha.

En los párrafos siguientes se dan algunos ejemplos de criterios que, sin estar centrados en la función básica, describen las ventajas en la puesta en marcha y en la explotación.

### Las características eléctricas

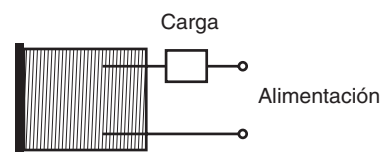
- la tensión de alimentación, ca o cc, con un margen más o menos amplio,
- las técnicas de conmutación de la carga, a «2 hilos» o a «3 hilos» (figura 64).

Estas dos técnicas las utilizan muchos constructores, pero es importante prestar atención a las corrientes residuales y a las caídas de tensión en bornes de los detectores: si éstas con bajas garantizan una mejor compatibilidad con todo tipo de cargas.

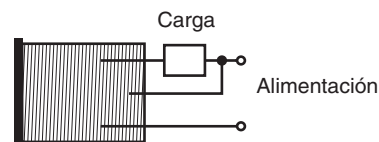
### Exigencias del medio ambiente

- Eléctricas
  - inmunidad a los parásitos de las líneas
  - inmunidad a la radiofrecuencia
  - inmunidad a las descargas eléctricas
  - inmunidad a las descargas electrostáticas
- Térmicas

Generalmente, de -25 a +70° C, pero, según los detectores y sus fabricantes, llegan de -40 a +120° C.



Técnica a «2 hilos»: el detector se alimenta en serie con la carga, soportando, por tanto, una corriente residual a circuito abierto y una caída de tensión a circuito cerrado. La salida puede ser o normalmente abierta (NO) o normalmente cerrada (NC). Y la máxima intensidad de corriente conmutada, tanto en ac como en dc, puede ser más o menos importante, con o sin protección contra cortocircuito.



Técnica a «3 hilos»: El detector tiene 2 hilos de alimentación y 1 hilo para la transmisión del señal de salida (o más, en el caso de los productos con varias salidas). La salida puede ser transistorizada de tipo PNP o NPN.

Fig. 64: Las técnicas de conmutación de carga.

### ■ Humedad/polvo

El grado de protección de la envolvente (estanqueidad): IP68, por ejemplo, para un detector expuesto al aceite de corte de una máquina herramienta.

### Las posibilidades/facilidades de instalación

- forma geométrica (cilindro o paralelepípedo)
- caja de metal/plástico
- posibilidad de instalarse en una estructura metálica
- sistemas/dispositivos de fijación
- conexiónado, mediante cable o conector
- función de autoaprendizaje



## 12 Conclusión

### ¿Y el futuro?

Las prestaciones de los captadores electrónicos aumentarán aún más gracias al desarrollo de la electrónica, tanto en lo que se refiere a las características eléctricas de los componentes como a sus dimensiones. Así con el «boom» de las telecomunicaciones (internet, teléfonos móviles), las frecuencias de trabajo de la electrónica han aumentado desde algunos centenares de MHz hasta los GHz. Precisamente por esto, por ejemplo, es posible medir más fácilmente las velocidades de propagación de las ondas y así franquear los fenómenos físicos locales. Además las tecnologías de tipo Bluetooth o WiFi dan la posibilidad de realizar captadores sin hilos, con conexiones por radio con frecuencias del orden de 2,4 GHz.

Otra aportación de la electrónica moderna consiste en el tratamiento digital o numérico de la señal: la bajada de precio de los micro-controladores permite añadir funciones evolucionadas (como la auto-adaptación al entorno teniendo en cuenta la presencia de humedad, de humo o elementos metálicos próximos: captador «inteligente» capaz de autocontrol) .

Así, los captadores electrónicos, gracias a esta evolución tecnológica, se adaptarán mejor a las

necesidades iniciales y más fácilmente, después, a los cambios de proceso... y todo esto con un incremento de coste casi imperceptible. Pero esta evolución requiere inversiones importantes que, por ahora, sólo los grandes fabricantes de captadores pueden realizar.

### Importancia de los captadores

Todos los diseñadores y usuarios de los sistemas automáticos, desde una simple puerta de garage hasta una cadena de producción, saben perfectamente que el buen funcionamiento de un automatismo depende de la elección de los detectores, los cuales permiten:

- asegurar personas y bienes,
- fiabilizar un automatismo de un proceso industrial,
- optimizar el control de los equipos industriales,
- controlar los costes de explotación.

Pero los detectores tienen exigencias en cuanto a su puesta en marcha y su explotación, exigencias inherentes a tecnologías como las explicadas en este Cuaderno Técnico.

Esta guía debe permitirnos aprender mejor los límites de su utilización y los reglajes necesarios de todos los captadores.