

## **1. Tecnología de Sensores.**

### **1.1 Análisis de Errores de Medición.**

Los instrumentos de control empleados en las industrias de proceso tales como química, petroquímica, alimentaria, metalúrgica, energética, textil, papelera, etc, tienen terminologías que definen las características de los diversos instrumentos utilizados.

La terminología empleada se han unificado con el fin de que los fabricantes, los usuarios y los organismos o entidades que intervienen directa o indirectamente en el campo de la instrumentación industrial empleen el mismo lenguaje. Las definiciones de los términos empleados se relacionan con las sugerencias hechas por ANSI/ISA.

Los siguientes términos se emplean para definir el funcionamiento de los sensores y transductores y, con frecuencia, el de los sistemas de medición.

#### **1.1.1. Rango ( range).**

Espectro o conjunto de valores de la variable medida que están comprendidas dentro de los límites superior e inferior de la capacidad de medida, de recepción o de transmisión del instrumento. Viene a establecer los dos valores extremos.

Ejemplo:

- Un manómetro de intervalo de medida entre 0 – 10 bar.
- Un transmisor de presión electrónico de 0 – 25 bar con señal de salida 4-20 mA c.c.
- Un instrumento de temperatura de 100 – 300 °C.

Otro término derivado es el de dinámica de medida o rangeabilidad (rangeability), que es el cociente entre el valor de medida superior e inferior de un instrumento. Por ejemplo, una válvula de control lineal que regule el caudal desde el 2% hasta el 100 % de su carrera tendrá una rangeabilidad de  $100/2 = 50$ .

#### **1.1.2. Margen o Alcance ( span).**

Es la diferencia algebraica entre los valores superior o inferior del campo de medida del instrumento. En los ejemplos anteriores es de 10 bar para el manómetro, de 25 bar para el transmisor de presión y de 200 °C para el instrumento de temperatura.

### 1.1.3. Error.

El error de la medida, es la desviación que presentan las medidas prácticas de una variable de proceso con relación a las medidas teóricas o ideales, como resultado de las imperfecciones de los aparatos y de las variables parásitas que afectan al proceso.

- a) Error = Valor leído en el instrumento – Valor ideal de la variable medida.
- b) Error Absoluto = Valor leído – Valor verdadero.
- c) Error Relativo = Error Absoluto / Valor verdadero.
- d) Error Estático: Si el proceso está en condiciones de régimen permanente.
- e) Error Dinámico: En condiciones dinámicas el error varía considerablemente debido a que los instrumentos tienen características comunes a los sistemas físicos; absorben energía del proceso y esta transferencia requiere cierto tiempo para ser transmitida, lo cual da lugar a retardos en la lectura del instrumento. Siempre que las condiciones sean dinámicas, existirá en mayor o menor grado el error dinámico, su valor depende del tipo de fluido del proceso, de su velocidad, del elemento primario, de los medios de protección, etc. Error Dinámico = Valor instantáneo – Valor indicado por el instrumento.
- f) Error Medio: es la media aritmética de los errores en cada punto de medida determinados para todos los valores crecientes y decrecientes de la variable medida.

Cuando una medida se realiza con la participación de varios instrumentos colocados unos a continuación de otros, el valor final de la medida estará constituido por los errores inherentes a cada uno de los instrumentos. Si el límite del error relativo de cada instrumento es  $\pm a$ ,  $\pm b$ ,  $\pm c$ ,  $\pm d$ , etc, el máximo error posible en la medición será la suma de los valores anteriores, es decir:

$$\pm(a + b + c + d + \dots)$$

Como es improbable que todos los instrumentos tengan el mismo tiempo su error máximo en todas las circunstancias de la medida, suele tomarse como error total de una medida a la raíz cuadrada de la suma algebraica de los cuadrados de los errores máximos de los instrumentos, es decir, la expresión:

$$\pm\sqrt{a^2 + b^2 + c^2 + d^2 + \dots}$$

#### **1.1.4. Incertidumbre ( uncertainty).**

Cuando se realiza una comparación de calibración, se compara el instrumento a calibrar con un aparato patrón para averiguar si el error ( diferencia en el valor medido por el instrumento y el valor medido por el patrón ) se encuentra dentro de límites dados por el fabricante del instrumento. Como el aparato patrón no permite medir exactamente el valor verdadero ( también tiene un error ) y como además en la operación de comparación intervienen diversas fuentes de error, no es posible caracterizar la medida por un único valor, lo que da lugar a la llamada incertidumbre de la medida o *incertidumbre*. Entre las fuentes de incertidumbre se encuentran.

- Influencia de las condiciones ambientales.
- Lecturas diferentes de instrumentos analógicos realizadas por los operadores.
- Variaciones en las observaciones repetidas de la medida en condiciones aparentemente idénticas.
- Valores inexactos de los instrumentos patrón.
- Muestra del producto no representativos.

Es decir, la incertidumbre es la dispersión de los valores que pueden ser atribuidos razonablemente al verdadero valor de la magnitud medida. En el cálculo de la incertidumbre intervienen la distribución estadística de los resultados de series de mediciones, las características de los equipos, etc.

#### **1.1.5. Exactitud ( accuracy).**

La exactitud es la cualidad o grado de un instrumento de medida de dar una lectura próxima al verdadero valor de la magnitud medida. En otras palabras, es el grado de conformidad de un valor indicado a un valor estándar aceptado o valor ideal, considerando este valor ideal como si fuera el verdadero. El grado de confiabilidad independiente es la desviación máxima entre la curva de calibración de un instrumento y una curva característica específica, posicionada de modo tal que se reduce al mínimo dicha desviación máxima.

La exactitud define los límites de los errores cometidos cuando el instrumento se emplea en condiciones normales de servicio durante un periodo de tiempo determinado ( normalmente un año).

Hay varias formas para expresar la exactitud:

- a) **como inexactitud**: un instrumento de temperatura tiene un rango 100 - 300 °C , si temperatura es 300 °C, y el instrumento marca 299,98 °C, se aproxima al valor real en 0,02 °C, o sea tiene una inexactitud de 0,02 °C.
- b) **como porcentaje del margen** : un instrumento de temperatura tiene un rango de 100 – 300 °C y una exactitud de  $\pm 0,5 \%$  del margen. La lectura del instrumento es de 150 °C, el margen es de 200 °C, luego el valor real de la temperatura estará comprendido entre  $150 \pm 200 * 0,5 / 100 = 150 \pm 1$ , es decir, entre 149 y 151 °C.
- c) **directamente, como unidad de la variable medida**, ejemplo exactitud  $\pm 1$  °C.
- d) **como porcentaje de la lectura efectuada** : exactitud de  $\pm 1\%$  de lectura. Si la lectura en el instrumento de temperatura es de 150 °C, la exactitud será de  $\pm 1,5$  °C, el valor real será  $150 \pm 1,5$  °C, es decir, 148,5 a 151,5 °C.
- e) **como porcentaje del valor máximo del campo de medida**: el valor máximo es 300°C, si la exactitud es del  $\pm 0,5\%$  del valor máximo, luego la exactitud es de  $\pm 300 \text{ °C} * 0,5/100 = \pm 1,5 \text{ °C}$ .
- f) **como porcentaje de la longitud de la escala**: si la longitud de la escala del instrumento es de 150 mm, la exactitud de  $\pm 0,5\%$  de la longitud es  $\pm 150 * 0,5/100 = \pm 0,75 \text{ mm.}$ , en la escala.

Hay que señalar que los valores de la exactitud de un instrumento se considera en general establecidos para el usuario, es decir, son los proporcionados por los fabricantes de los instrumentos. Sin embargo, estos últimos suelen considerar también los valores de calibración en fabrica y de inspección. Por ejemplo; un instrumento que en fabrica tiene una exactitud de calibración de + 0,8 %, en inspección le corresponde + 0,9 % y dada al usuario es  $\pm 1 \%$ .

#### 1.1.6. **Precisión** (precisión).

La precisión es la cualidad de un instrumento que tiene de dar lecturas muy próximas unas de otras, es decir, es el grado de dispersión de las mismas. Un instrumento puede tener una pobre exactitud, pero una gran precisión. Por ejemplo, un manómetro de intervalo o rango de medida de 0 – 10 bar, puede tener un error en la medida cero, sin presión en el proceso y marcando 2 bar. Si para una presión en el proceso de 5 bar, el instrumento marca diversas lecturas de 7,049 ; 7,05 ; 7,051 ; 7,052, efectuadas a lo largo del tiempo y en las mismas condiciones de servicio. Se dice que el instrumento tiene un error de 2 bar, pero los valores leídos están muy próximos entre si, con una pequeña dispersión de  $7,052 - 7,049 = 0,003$ , es decir, el instrumento tendrá una gran precisión.

Por lo tanto, los instrumentos de medida estarán diseñados por los fabricantes para que sean precisos, y como periódicamente estos deben calibrarse, reajustándose a su valor exacto. Precisión es sinónimo de repetibilidad.

#### **1.1.7. Sensibilidad (sensitivity).**

La sensibilidad es la razón entre el incremento de la señal de salida o de la lectura y el incremento de la variable que lo ocasiona, después de haberse alcanzado el estado de reposo. Por ejemplo; si en un transmisor electrónico de 0 - 10 bar, con salida de 4 – 20 mA c.c., la presión pasa de 5 a 5,5 bar y la señal de salida de 11,9 a 12,3 mA c.c. La sensibilidad es el cociente:

$$\frac{(12,3 - 11,9)/(20 - 4)}{(5,5 - 5)/(10 - 0)} = \pm 0,5 \text{ mA c.c./bar}$$

#### **1.1.8. Histéresis ( Hysteresis).**

La histéresis es la diferencia máxima que se observa en los valores indicados por el índice o la pluma del instrumento o la señal de salida para el mismo valor cualquiera del campo de medida, cuando la variable recorre toda la escala en los dos sentidos, ascendente y descendente.

Se expresa en porcentaje del margen de la medida. Por ejemplo; si en un termómetro de 0 – 100%, para el valor de lectura de 40°C, la aguja marca 39,9 °C al subir la temperatura desde la marca 0°C, e indica 40,1 °C, al bajar la temperatura desde la marca de 100°C, el valor de la histéresis es de:

$$\frac{40,1 - 39,9}{100 - 0} * 100 = \pm 0,2\%$$

#### **1.1.9. Error por no Linealidad.**

En algunos instrumentos se considera que la relación entre las entrada y salidas es de tipo lineal. Esta consideración de linealidad produce errores en la medida. Este error se define como la desviación máxima respecto a la línea recta correspondiente. Para expresar este error por no linealidad se utilizan varios métodos. En general este error se expresa como un porcentaje de la salida a rango total. Por ejemplo, un transductor para medir presión tendría un error por no linealidad de  $\pm 0,5 \%$  del rango total.

### **1.1.10. Repetibilidad.**

La repetibilidad es la capacidad de reproducción de las posiciones de la pluma o del índice o de la señal del instrumento, al medir repetidamente valores idénticos de las variables en las mismas condiciones de servicio y en mismo sentido de variación, recorriendo todo el campo. La repetibilidad es sinónimo de precisión. A mayor repetibilidad menor dispersión de los valores de salida para un valor de la señal de entrada del proceso y, por lo tanto, mayor precisión.

Para determinarla, el fabricante comprueba la diferencia entre el valor verdadero de la variable y la indicación o señal de salida del instrumento recorriendo todo el campo, partiendo desde el valor mínimo del campo de medida.

La repetibilidad viene dada por la fórmula  $\sqrt{\frac{(x_i - x)^2}{N}}$

### **1.1.11. Estabilidad.(stability)**

Capacidad de un instrumento de medición para retener su calibración a través de un período prolongado. La estabilidad determina la consistencia de un instrumento a través del tiempo.

### **1.1.12. Zona Muerta ( Dead Zone).**

La zona muerta es el campo de valores de la variable que no hace variar la indicación o la señal de salida del instrumento, es decir, que no produce su respuesta. Viene dada por un porcentaje del alcance de la medida.

### **1.1.13. Banda/ Tiempo Muerto.**

La banda muerta o espacio muerto de un sensor es el rango de valores de entrada durante los cuales no se produce una señal de salida. El tiempo muerto es el lapso que transcurre desde la aplicación de una entrada hasta que la salida empieza a responder y a cambiar.

### **1.1.14. Resolución.**

Cuando la entrada varía continuamente en todo el rango, las señales de salida de algunos sensores pueden cambiar a pequeños intervalos. La resolución es el cambio mínimo del valor de la entrada capaz de producir en cambio observable en la salida.

## 1.2 Mediciones básicas de parámetros eléctricos y mecánicos.

### 1.2.1. Parámetros Eléctricos.

#### a) Conductividad.

La **conductividad eléctrica** es la capacidad de un cuerpo de permitir el paso de la corriente eléctrica a través de sí. También es definida como la propiedad natural característica de cada cuerpo que representa la facilidad con la que los electrones (y huecos en el caso de los semiconductores) pueden pasar por él. Varía con la temperatura. Es una de las características más importantes de los materiales.

La **conductividad** es la inversa de la resistividad, por tanto  $\sigma = \frac{1}{\rho}$ , y su unidad es el **S/m** (siemens por metro).

*No confundir con la conductancia (G), que es la facilidad de un objeto o circuito para conducir corriente eléctrica entre dos puntos. Se define como la inversa*

*de la resistencia:*  $G = \frac{1}{R}$

#### b) Capacitancia ( C).

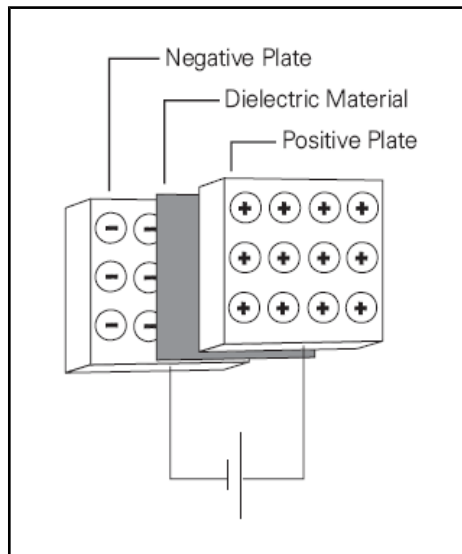
La **capacidad** o **capacitancia** es una propiedad de los **condensadores**. Esta propiedad rige la relación existente entre la **diferencia de potencial** (o tensión) existente entre las placas del capacitor y la **carga eléctrica** almacenada en este mediante la siguiente ecuación:

$$C = \frac{Q}{V}$$

Donde :

- C es la capacidad, medida en **faradios** (en honor al físico experimental Michael Faraday); esta unidad es relativamente grande y suelen utilizarse submúltiplos como el microfaradio o picofaradio.
- Q es la **carga eléctrica** almacenada, medida en **culombios**;
- V es la **diferencia de potencial** (o tensión), medida en **voltios**.

Cabe destacar que la capacidad es siempre una cantidad positiva y que depende de la geometría del capacitor considerado (de placas paralelas, cilíndrico, esférico). Otro factor del que depende es del dieléctrico que se introduzca entre las dos superficies del condensador. Cuanto mayor sea la constante dieléctrica del material no conductor introducido, mayor es la capacidad.



En la práctica, la dinámica eléctrica del condensador se expresa gracias a la siguiente **ecuación diferencial**, que se obtiene **derivando** respecto al tiempo la ecuación anterior.

$$i = \frac{dQ}{dt} = C \frac{dV}{dt}$$

Donde  $i$  representa la **corriente eléctrica**, medida en **amperios**.

### c) Inductancia.

En un **Inductor** o bobina, se denomina **inductancia**,  $L$ , a la relación entre el **flujo magnético**,  $\Phi$  y la **intensidad de corriente eléctrica**,  $I$ :

$$L = \frac{\Phi}{I}$$

El flujo que aparece en esta definición es el flujo producido por la corriente  $I$  exclusivamente. No deben incluirse flujos producidos por otras corrientes ni por imanes situados cerca ni por ondas electromagnéticas.

Esta definición es de poca utilidad porque es difícil medir el flujo abrazado por un conductor. En cambio se pueden medir las variaciones del flujo y eso sólo a través del **voltaje**  $V$  inducido en el conductor por la variación del flujo. Con ello llegamos a una definición de inductancia equivalente pero hecha a base de cantidades que se pueden medir, esto es, la corriente, el tiempo y la tensión:



$$V_L = L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

El signo de la tensión y de la corriente son los siguientes: si la corriente que entra por la extremidad A del conductor, y que va hacia la otra extremidad, aumenta, la extremidad A es positiva con respecto a la opuesta. Esta frase también puede escribirse al revés: si la extremidad A es positiva, la corriente que entra por A aumenta con el tiempo.

La inductancia siempre es positiva, salvo en ciertos circuitos electrónicos especialmente concebidos para simular inductancias negativas.

De acuerdo con el [Sistema Internacional de Medidas](#), si el flujo se expresa en [weber](#) y la intensidad en [amperio](#), el valor de la inductancia vendrá en [henrio](#) (H).

Los valores de inductancia prácticos van de unos décimos de nH para un conductor de 1 milímetro de largo hasta varias decenas de miles de Henrios para bobinas hechas de miles de vueltas alrededor de núcleos ferromagnéticos.

El término "inductancia" fue empleado por primera vez por [Oliver Heaviside](#) en febrero de [1886](#), mientras que el símbolo  $L$  se utiliza en honor al físico [Heinrich Lenz](#).

#### d) Impedancia.

La **impedancia** es una magnitud que establece la relación (cociente) entre la tensión y la intensidad de corriente. Tiene especial importancia si la corriente varía en el tiempo, en cuyo caso, ésta, la tensión y la propia impedancia se describen con números complejos o funciones del análisis armónico. Su módulo (a veces impropriamente llamado impedancia) establece la relación entre los valores máximos o los valores eficaces de la tensión y de la corriente. La parte real de la impedancia es la resistencia y su parte imaginaria es la reactancia. El concepto de impedancia generaliza la ley de Ohm en el estudio de circuitos en corriente alterna (AC). El término fue acuñado por Oliver Heaviside en 1886.

Sea un [componente electrónico](#) o eléctrico o un circuito alimentado por una corriente sinusoidal  $I_o \cos(\omega t)$ . Si la tensión a sus extremidades es  $V_o \cos(\omega t + \varphi)$ , la **impedancia** del circuito o del componente se define como un [número complejo](#)  $Z$  cuyo módulo es el cociente  $\frac{V_o}{I_o}$  y cuyo argumento es  $\varphi$ .

$$\begin{aligned} |Z| &= \frac{V_o}{I_o} \\ \arg(Z) &= \varphi \end{aligned}$$

$$\text{o sea } Z = \frac{V_o}{I_o} e^{j\varphi} = \frac{V_o}{I_o} (\cos \varphi + j \sin \varphi).$$

Es la oposición total (Resistencia, Reactancia inductiva, Reactancia capacitiva) sobre la corriente

Como las tensiones y las corrientes son sinusoidales, se pueden utilizar los **valores pico** (amplitudes), los **valores eficaces**, los **valores pico a pico** o los **valores medios**. Pero hay que cuidar de ser uniforme y no mezclar los tipos. El resultado de los cálculos será del mismo tipo que el utilizado para los generadores de tensión o de corriente.

La impedancia puede representarse como la suma de una parte real y una parte imaginaria:

$$Z = R + jX$$

**R** es la parte **resistiva** o **real** de la impedancia y **X** es la parte **reactiva** o **reactancia** de la impedancia.

#### f) Constantes Dieléctrica.

La **constante dieléctrica** o **permitividad relativa** de un medio continuo es una propiedad macroscópica de un medio dieléctrico relacionado con la permitividad eléctrica del medio. En relación la rapidez de las ondas electromagnéticas en un dielectrico es:

$$v = c / (k \cdot \mu_r)^{0.5}$$

donde **k** es la constante dieléctrica y **km** es la permeabilidad relativa

El nombre proviene de los materiales dieléctricos, que son materiales aislantes o muy poco conductores por debajo de una cierta tensión eléctrica llamada tensión de rotura. El efecto de la constante dieléctrica se manifiesta en la capacidad total de un condensador eléctrico o capacitor. Cuando entre los conductores cargados o paredes que lo forman se inserta un material dieléctrico diferente del aire (cuya permitividad es prácticamente la del vacío) la capacidad de almacenamiento de la carga del condensador aumenta. De hecho la relación entre la capacidad inicial  $C_i$  y la final  $C_f$  vienen dada por la constante eléctrica:

$$K = \frac{C_f}{C_i} = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} = \epsilon_r = (1 + \chi_e)$$

Donde  $\epsilon$  es la permitividad eléctrica del dieléctrico que se inserta.

Además el valor de la constante dieléctrica  $K$  de un material define el grado de polarización eléctrica de la sustancia cuando esta se somete a un campo eléctrico exterior. El valor de  $K$  es afectado por muchos factores, como el peso molecular, la forma de la molécula, la dirección de sus enlaces (geometría de la molécula) o el tipo de interacciones que presente.

Cuando un material dieléctrico reemplaza el vacío entre los conductores, puede presentarse la polarización en el dieléctrico, permitiendo que se almacenen cargas adicionales.

La magnitud de la carga que se puede almacenar entre los conductores se conoce como capacitancia ésta depende del material existente entre los conductores, el tamaño, la forma de los mismos y su separación.

#### **g) Corriente de Eddy.**

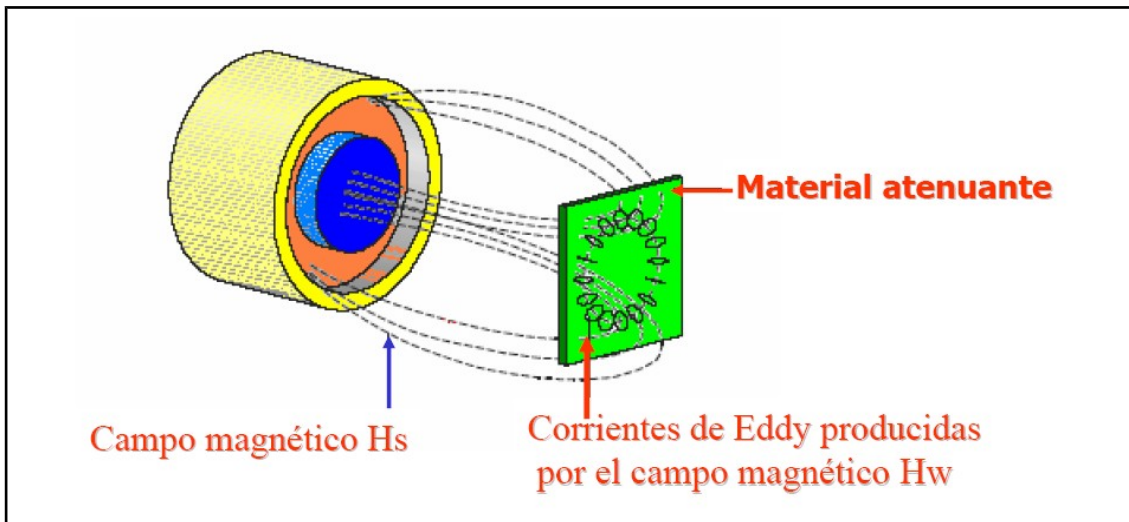
Las corrientes de Eddy empezaron a mencionarse desde 1824 por Dambey Argo y Jean B Foucault; pero su primera aplicación a las pruebas no destructivas data de 1879 con D. E. Hughes, quien las empleó para diferenciar tamaños, formas y composición de diferentes metales y aleaciones. Sin embargo, no fue hasta 1948 cuando el Instituto Reutlingen de Alemania, empezó el desarrollo de la actual instrumentación de corrientes de Eddy.

#### **Definición de Corriente de Eddy:**

Las corrientes de Eddy son corrientes eléctricas circulantes inducidas por un campo magnético alterno en un conductor aislado. También se le conocen como corrientes parásitas o corrientes de Foucault

Esta basada en los principios de la inducción electromagnética y es utilizada para identificar o diferenciar entre una amplia variedad de condiciones físicas, estructurales y metalúrgicas en partes metálicas ferromagnéticas y no ferromagnéticas, y en partes no metálicas que sean eléctricamente conductoras.

Las corrientes de Eddy son creadas usando la inducción electromagnética, este método no requiere contacto eléctrico directo con la parte que esta siendo inspeccionada.



El campo  $H_w$  creado como resultado de las corrientes parásitas (Corrientes de Eddy), actúa contra el campo generador  $H_s$ . Este efecto se conoce como desplazamiento del campo. Otro efecto, aunque menos importante, es el efecto superficial en las diferentes distancias de conmutación de diferentes materiales a las típicas frecuencias de oscilación. Generalmente, la frecuencia de oscilación de los sensores de proximidad inductivos se hallan en el rango de 300 – 800 kHz.

Como resultado de las corrientes parásitas, se crean pérdidas en una placa metálica. Asumiendo que la profundidad de penetración del campo es pequeña y que el campo que se aproxima no penetra en la placa metálica, se aplica la siguiente expresión.

$$\frac{\text{Disipación de Potencia}}{\text{area}} = H_o \cdot \sqrt{\frac{\pi \cdot f \cdot \mu}{K}}$$

$H_o$  = valor de la fuerza del campo magnético del campo disperso en la superficie de la placa.

$\mu$  = permeabilidad magnética.

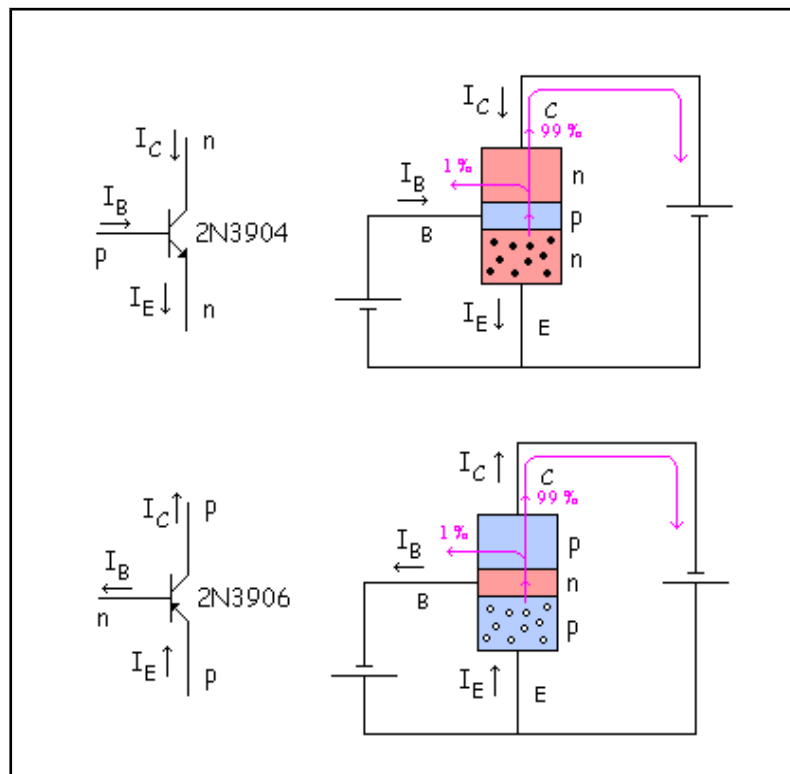
$K$  = Conductividad eléctrica del elemento.

$f$  = Frecuencia.

## h) Transistor de unión bipolar



Transistor de unión bipolar.



Esquema eléctrico: Transistor NPN y PNP

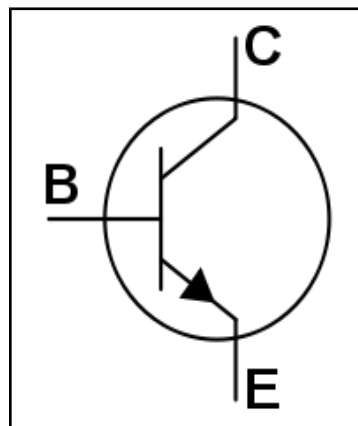
El **transistor de unión bipolar** (del inglés *Bipolar Junction Transistor*, o sus siglas *BJT*) es un dispositivo electrónico de estado sólido consistente en dos uniones PN muy cercanas entre sí, que permite controlar el paso de la corriente a través de sus terminales. Los **transistores bipolares** se usan generalmente en electrónica analógica. También en algunas aplicaciones de electrónica digital como la tecnología TTL o BICMOS. Un transistor de unión bipolar está formado por dos Uniones PN en un solo cristal semiconductor, separados por una región muy estrecha. De esta manera quedan formadas tres regiones:

- **Emisor ( E )**, que se diferencia de las otras dos por estar fuertemente dopada, comportándose como un metal. Su nombre se debe a que esta terminal funciona como *emisor* de portadores de carga.
- **Base ( B )**, la intermedia, muy estrecha, que separa el emisor del colector.
- **Colector ( C )**, de extensión mucho mayor.

La técnica de fabricación más común es la deposición epitaxial. En su funcionamiento normal, la unión base-emisor está polarizada en directa, mientras que la base-colector en inversa. Los portadores de carga emitidos por el emisor atraviesan la base, que por ser muy angosta, hay poca recombinación de portadores, y la mayoría pasa al colector. El transistor posee tres estados de operación: estado de corte, estado de saturación y estado de actividad.

## Tipos de Transistor de Unión Bipolar

### NPN



El símbolo de un transistor NPN.

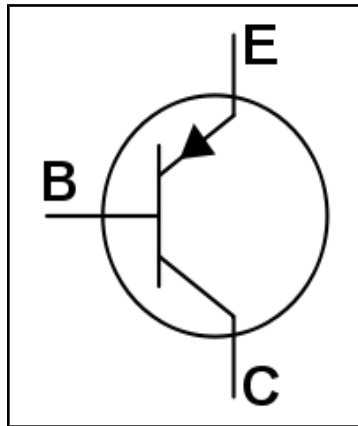
NPN es uno de los dos tipos de transistores bipolares, en los cuales las letras "N" y "P" se refieren a los portadores de carga mayoritarios dentro de las diferentes regiones del transistor. La mayoría de los transistores bipolares usados hoy en día son NPN, debido a que la movilidad del electrón es mayor que la movilidad de los "huecos" en los semiconductores, permitiendo mayores corrientes y velocidades de operación.

Los transistores NPN consisten en una capa de material semiconductor **dopado P** (la "base") entre dos capas de material **dopado N** ( Colector – Emisor). Una pequeña corriente ingresando a la base en configuración emisor-común es amplificada en la salida del colector.

La flecha en el símbolo del transistor NPN está en la terminal del emisor y apunta en la dirección en la que la **corriente convencional** circula cuando el dispositivo está en funcionamiento activo.

### PNP

El otro tipo de transistor de unión bipolar es el PNP con las letras "P" y "N" refiriéndose a las cargas mayoritarias dentro de las diferentes regiones del transistor. Pocos transistores usados hoy en día son PNP, debido a que el NPN brinda mucho mejor desempeño en la mayoría de las circunstancias.

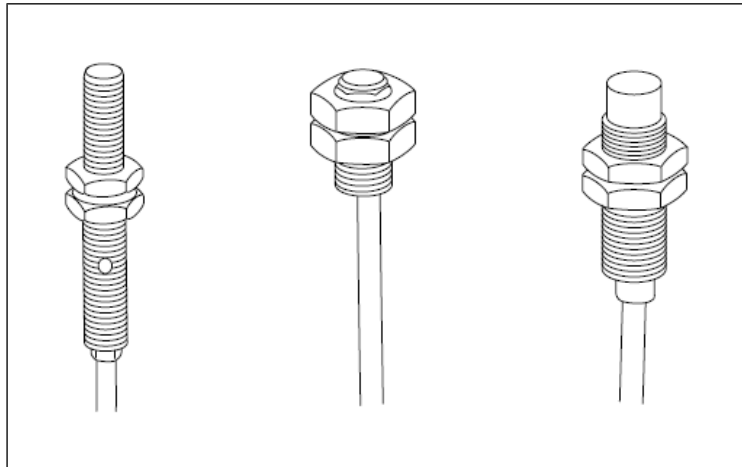


El símbolo de un transistor PNP.

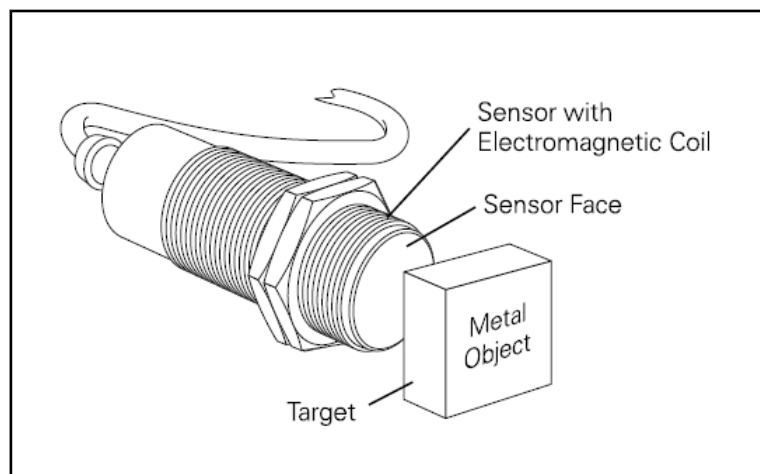
Los transistores PNP consisten en una capa de material semiconductor **dopado N** ( la base), entre dos capas de material **dopado P** ( emisor –colector). Los transistores PNP son comúnmente operados con el colector a masa y el emisor conectado al terminal positivo de la fuente de alimentación a través de una carga eléctrica externa. Una pequeña corriente circulando desde la base permite que una corriente mucho mayor circule desde el emisor hacia el colector.

La flecha en el transistor PNP está en el terminal del emisor y apunta en la dirección en que la **corriente convencional** circula cuando el dispositivo está en funcionamiento activo.

### 1.2.2. Sensor de Proximidad Inductivo.

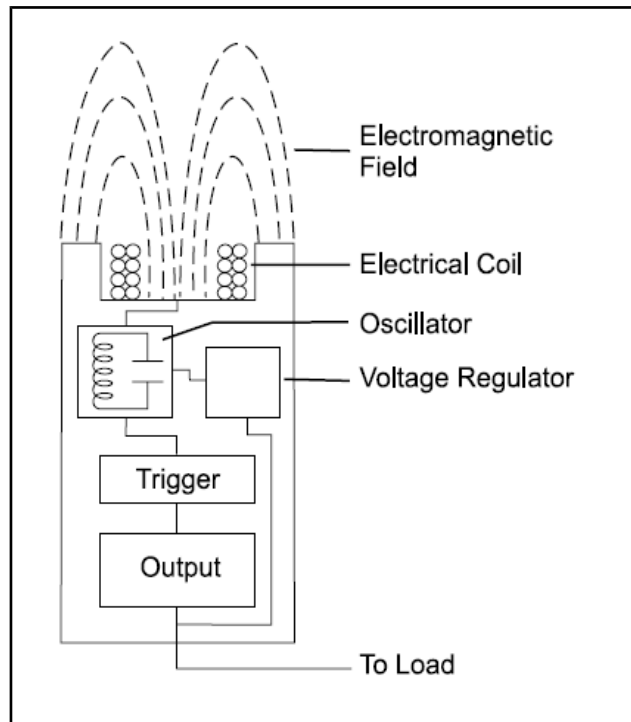


Los sensores de proximidad inductivos incorporan una bobina electromagnética la cual es usada para detectar la presencia de un objeto metálico conductor. Este tipo de sensor ignora objetos no metálicos.

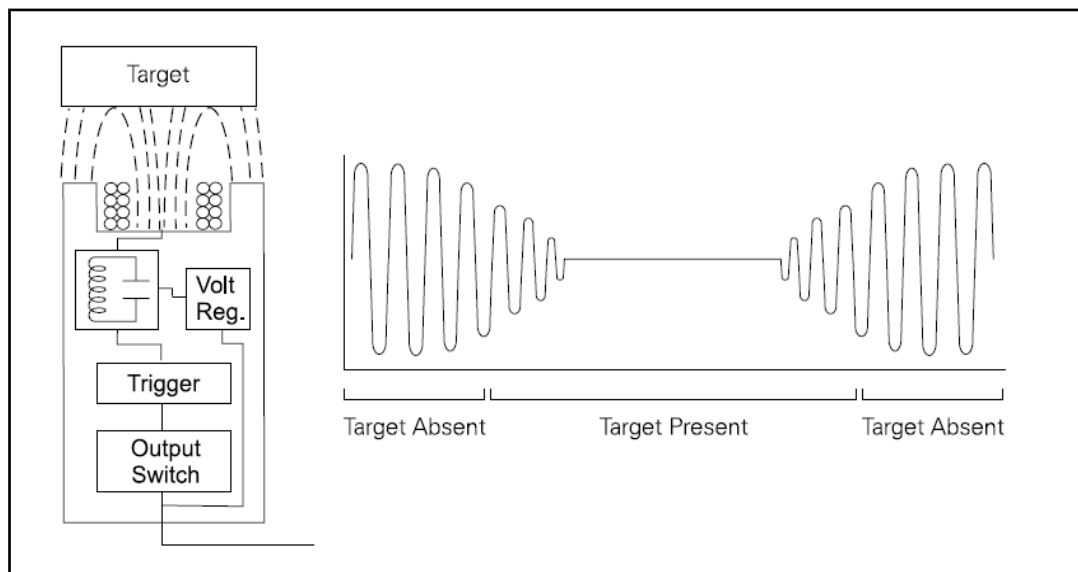


Los sensores de proximidad inductivos operan usando el principio de Corriente de Eddy (Eddy Current Killed Oscilador \_ ECKO). Este tipo de sensor consiste de cuatro elementos: bobina (coil), oscilador, disparador de circuito (trigger) y una salida (output). El oscilador es un circuito sintonizador inductivo – capacitivo , que crea una frecuencia de radio. El campo electromagnético producido por el oscilador es emitido desde la bobina hacia la cara del sensor.





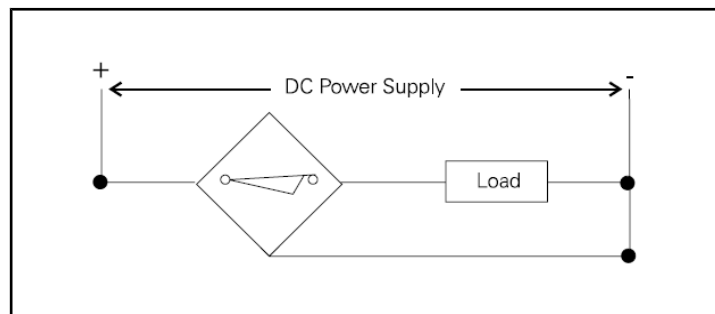
Cuando el objeto de metal entra en el campo electromagnético, se producen en el objeto Corrientes Circulantes de Eddy (conocidas como Corrientes Parasitas). Esto causa una carga en el sensor, decreciendo la amplitud de el campo electromagnético. Según el objeto se acerque al sensor, la corriente de Eddy aumentan, aumentando la carga en el oscilador y disminuyendo la amplitud del campo electromagnético. El circuito disparador monitorea la amplitud del oscilador y a un nivel predeterminado conmuta el estado de salida del sensor. Cuando el objeto se aleja la amplitud del oscilador vuelve a su condición normal ( on or off).



La gráfica indica que en presencia del objeto ( Target Present), la amplitud del oscilador es baja. La amplitud es normal cuando el objeto esta ausente ( Target Absent).

### Dispositivos en Corriente Continua.

Los modelos continuos son dispositivos típicamente trifilares (también disponible de dos hilos) que requieren una fuente de alimentación separada. El sensor está conectado entre los lados positivos y negativos de la fuente de alimentación. La carga está conectada entre el sensor y un lado de la fuente de alimentación. La polaridad específica de la conexión depende del modelo del sensor. En el siguiente ejemplo la carga (load) está conectado entre el lado negativo de la fuente de alimentación y el sensor.



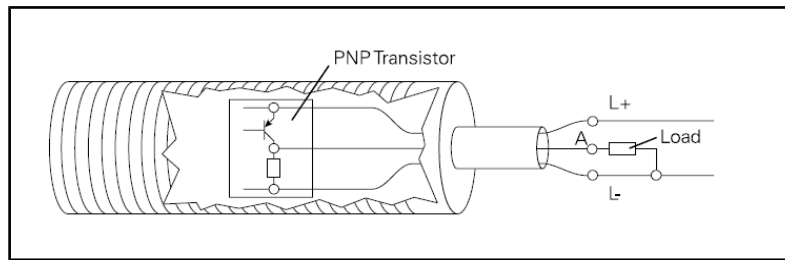
### Configuración de Salida.

El sensor de proximidad de la C.C., de tres hilos, puede ser tipo PNP o NPN. Esto se refiere al tipo de transistor usado en la conmutación de la salida del transistor.

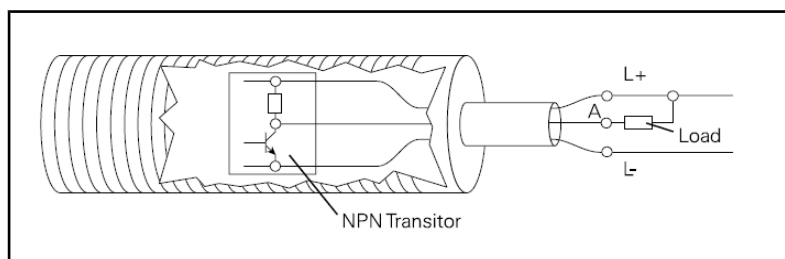
La figura ilustra la etapa de la salida de un sensor tipo PNP. La carga (Load) está conectada entre la salida (A) y el lado negativo de la fuente de alimentación (L -). Un transistor PNP, cambia la carga al lado positivo de la fuente de alimentación (L+).

Cuando el transistor conmuta ( on), el flujo de corriente completa la trayectoria desde (L -) a través de la carga ( Load ) hacia (L+).

Esto quiere decir que la corriente viaja de acuerdo a la configuración convencional de la corriente ( de + a -) originada en la carga (load). Esta terminología es a menudo confusa en los nuevos usuarios de sensores puesto que el flujo de electrones (de - a +) es desde la carga en el sensor, cuando el transistor de PNP se enciende "on".



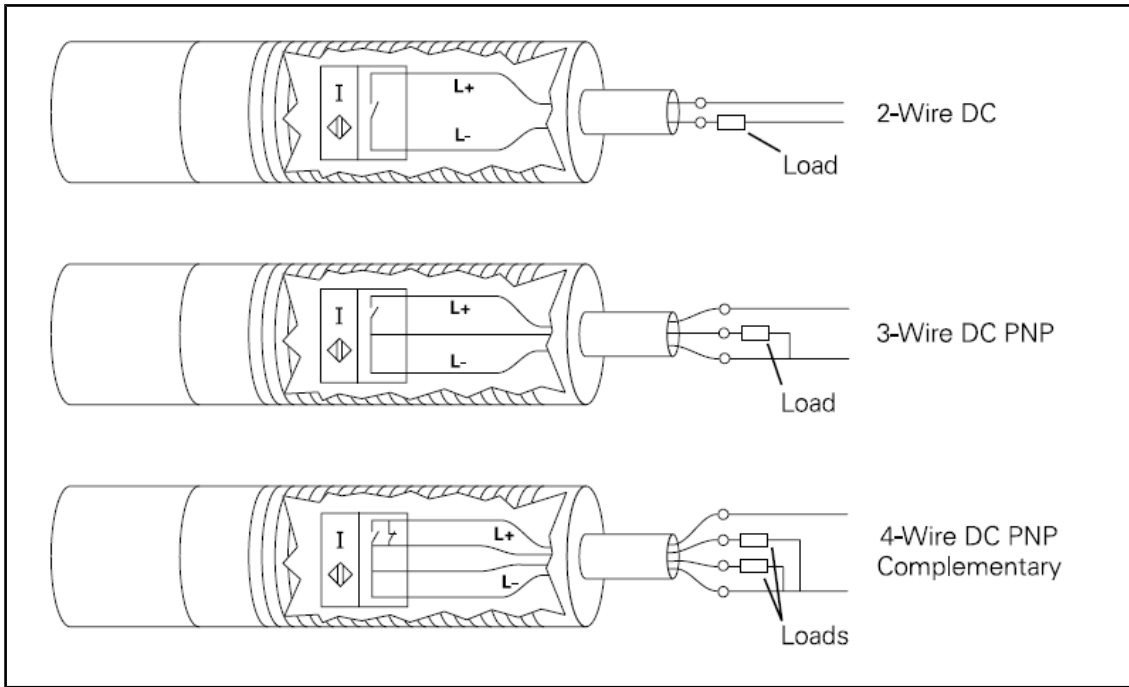
La figura siguiente ilustra la salida de un sensor NPN. La carga ( Load) esta conectada entre la salida (A) y el lado positivo de la fuente de alimentación ( poder) ( L +). Un transistor NPN conmuta la carga con el lado negativo de la fuentes de alimentación ( L -). Esto se refiere a que el flujo de corriente viaja en la dirección convencional en el sensor, cuando el transistor se activa. Esta ves, el flujo de electrones es opuesto a la dirección.



### **Normalmente Abierto (NO), Normalmente Cerrado (NC).**

Las salidas del sensor se consideran normalmente abiertos (NO\_ normally open) o normalmente cerrado (NC\_ normally closed) basado en la condición del transistor cuando un objeto esta ausente. Por ejemplo, la salida PNP está apagada (OFF) cuando el objeto esta ausente, entonces es un dispositivo normalmente abierto. Si la salida PNP está activada (on), cuando el objeto esta ausente es un dispositivo normalmente cerrado.

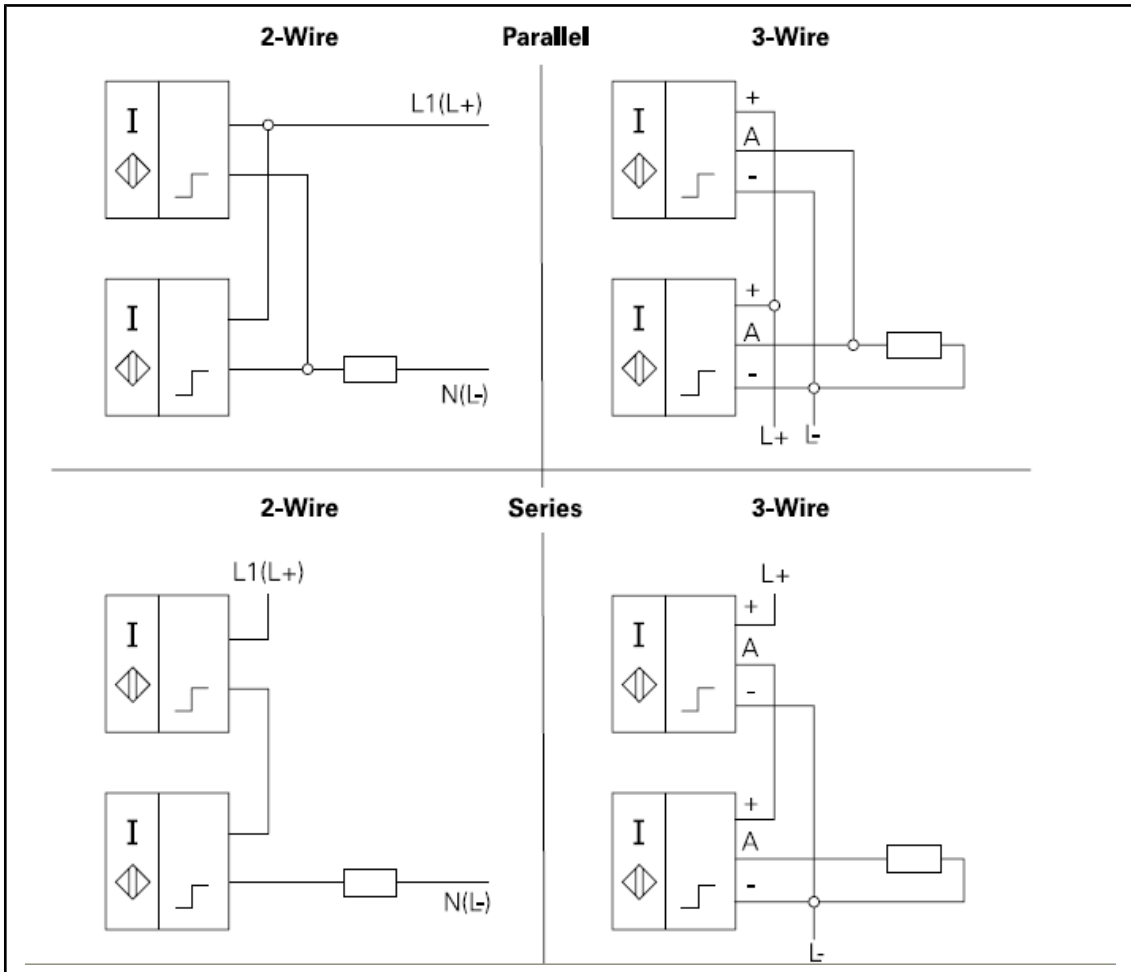
Los dispositivos del transistor pueden también ser complementarios (de cuatro hilos). Una salida complementaria se define cuando se tienen contactos normalmente abiertos y normalmente cerrados en el mismo sensor.



### Conexiones en Serie y Paralelo.

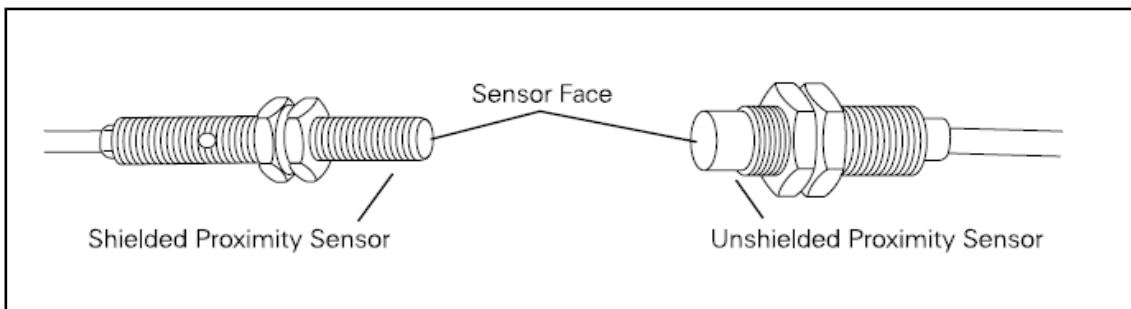
En algunas aplicaciones puede ser deseable utilizar más de un sensor para controlar un proceso. Los sensores se pueden conectar en serie o paralelo. Cuando los sensores están conectados en serie, todos los sensores deben estar activados para poder activar la salida. Cuando los sensores están conectados en paralelo cualquier de los sensor puede activar (on) la salida.

Hay algunas limitaciones que se deben considerar cuando los sensores se conectan en serie. Particularmente, el voltaje de fuente requerido aumenta con el número de dispositivos puestos en serie.



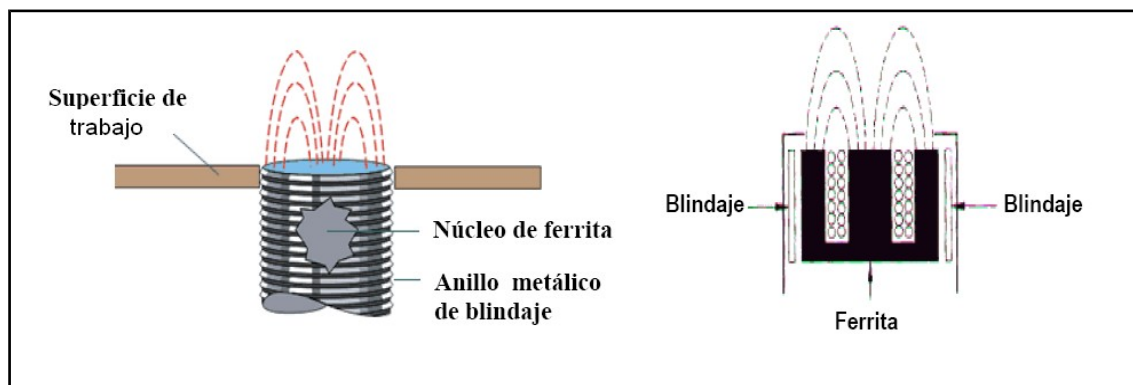
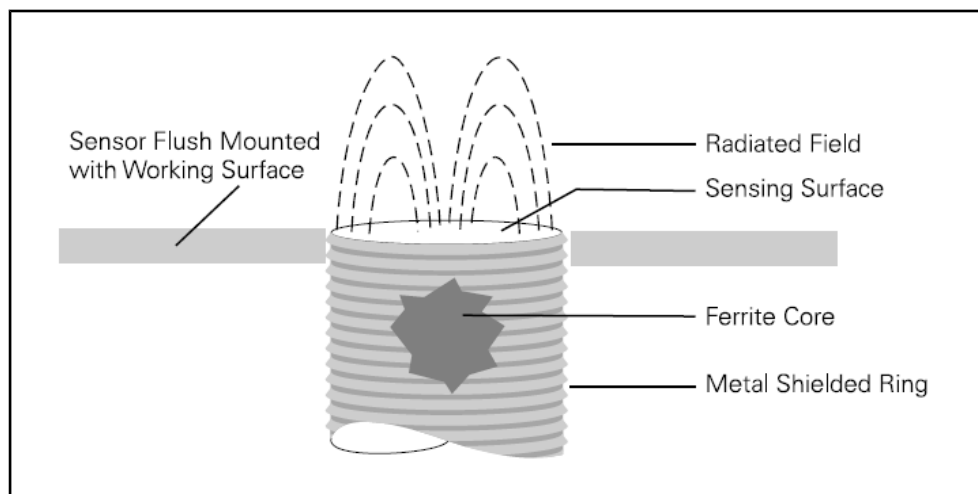
## Blindaje

Los sensores de proximidad contienen una bobina enrollada en un núcleo de ferrita. Estos pueden ser blindados (shielded) o no blindados (unshielded). Los sensores no blindados usualmente tienen mayor distancia de sensado que los blindados.



## Sensor de Proximidad Inductivo Blindado.

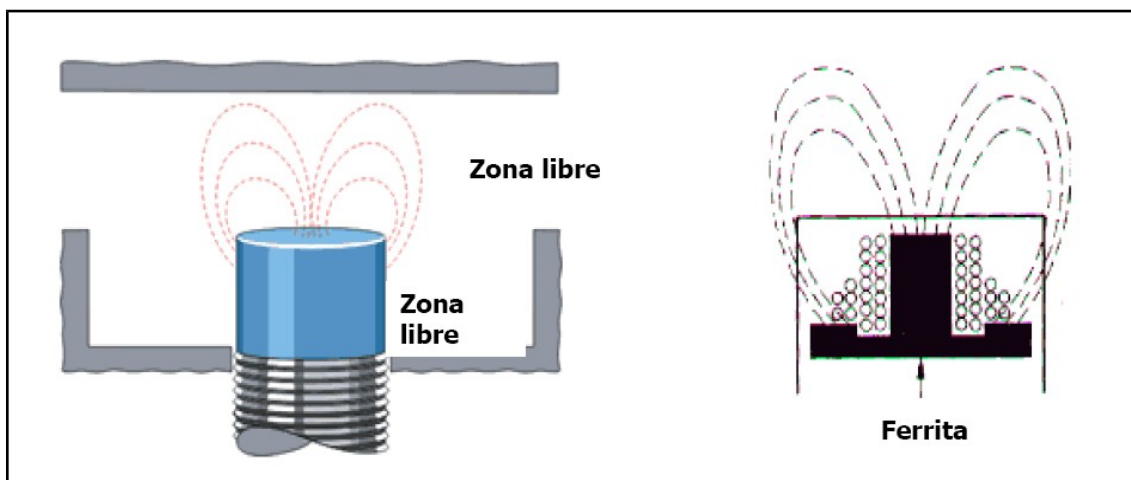
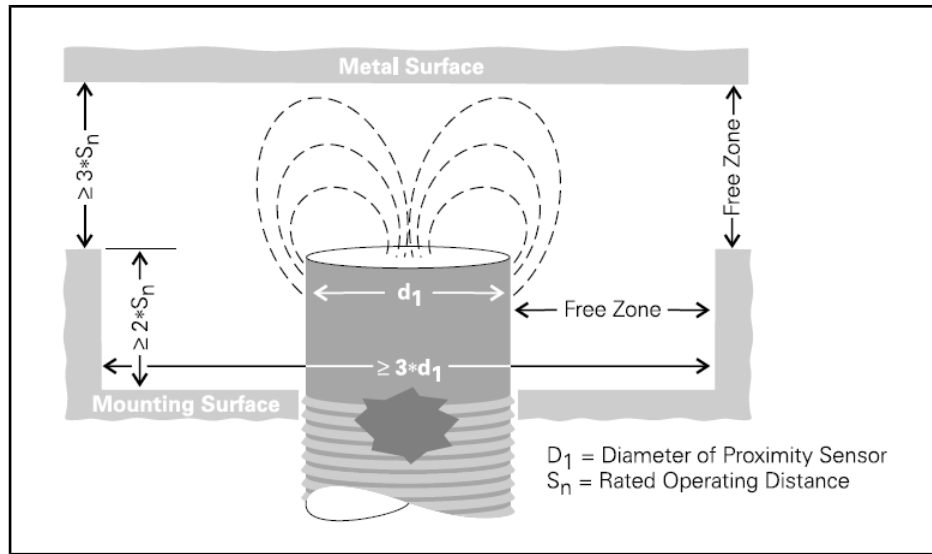
El núcleo de ferrita concentra el campo radiado ( Radiated Field) en la dirección de uso. Un sensor de proximidad blindado tiene un anillo de metal alrededor del núcleo que restringe la radiación lateral del campo. Los sensores de proximidad blindados pueden ser montados en placas metálicas. Se recomienda dejar un espacio libre de metal cerca y alrededor de la superficie de sensado ( Sensing Surface) del sensor. Si la superficie del objeto metálico esta opuesta al sensor de proximidad, este debe estar a un mínimo de tres veces la distancia de sensado del sensor, desde la superficie de sensado.



## Sensor de Proximidad Inductivo No Blindado.

Un sensor de proximidad no blindado, no tiene un anillo de metal alrededor del núcleo que restrinja la radiación lateral del campo. Un sensor no blindado no puede instalarse en un soporte metálico. Tiene que haber un área alrededor de la superficie de sensado libre de metal. Esta área debe ser mínimo tres veces el diámetro de la superficie de sensado. La superficie de sensado debe colocarse a una distancia mínima de dos veces la distancia de operación desde la superficie de

montaje, y a un mínimo de tres veces la distancia de operación de la superficie del objeto de metal.

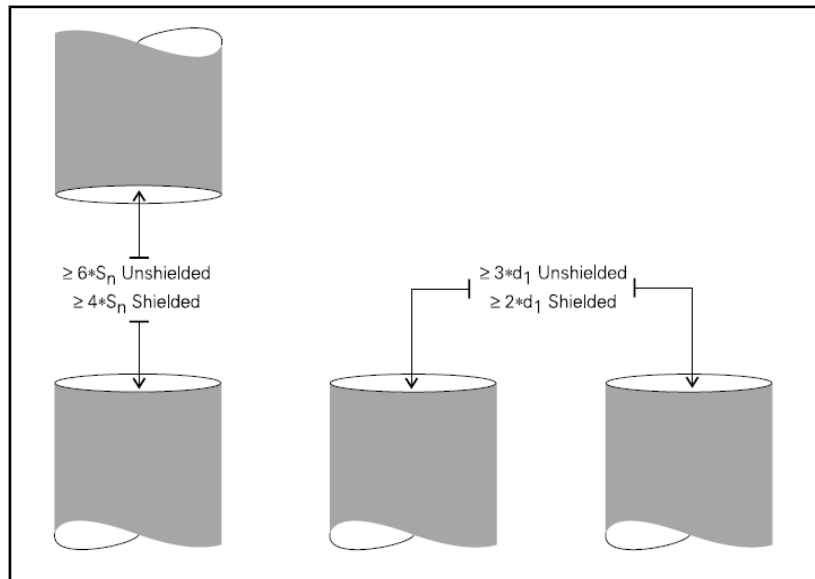


### Montaje de Múltiples Sensores.

Cuando dos o mas sensores son montados adyacente o opuestos uno del otro, ocurren interferencias que producen salidas falsas. La siguiente guía se usa generalmente para minimizar interferencias:

- Sensores Blindados( shielded) opuestos deben separarse un mínimo de 4 veces la distancia del alcance de sensado.
- Sensores No Blindados ( unshielded) opuestos deben separarse un mínimo de 6 veces la distancia del alcance o margen de sensado.
- Sensores Blindados adyacentes deben separarse una distancia mínima de dos veces el diámetro de la superficie de sensado del sensor.

- Sensores No Blindados adyacentes deben separarse una distancia mínima de tres veces el diámetro de la superficie de sensado del sensor.

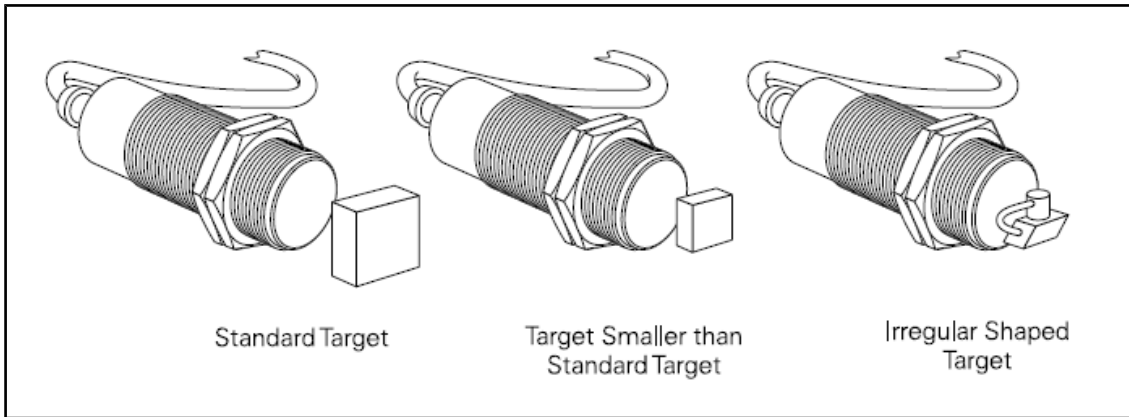


### Objeto Estándar (patrón).

Un objeto estándar ( Standard Target) esta definido por un metal de superficie plana y lisa, hecho de acero dúctil de 1 mm. ( 0,04 pulg) de espesor. El acero dúctil esta compuesto de un alto contenido de fierro y carbono. El objeto estándar usado con sensores blindados tiene lados igual al diámetro de la superficie de sensado. El objeto estándar usado en sensores no blindados tiene lados iguales a el diámetro de la superficie de sensado o tres veces la distancia del alcance de operación.

Si el objeto a detectar es más grande que la objeto estándar, el rango de detección no cambia. Sin embargo, si el objeto es más pequeño o de una forma irregular, la distancia ( $S_n$ ) de detección disminuye. Entre más pequeña sea el área del objeto, más cercana debe estar a la cara de sensado, para detectarlo.





### Factor de Corrección para los Objetos.

Un factor de corrección puede ser aplicado cuando los objetos son más pequeños que el objeto estándar. Para determinar la distancia de detección para un objeto que sea más pequeño que el objeto estándar ( $S_{new}$ ), multiplique la distancia de los rango sentido ( $S_{rated}$ ), con el factor de corrección ( $T$ ). Si, por ejemplo, un sensor blindado tiene una distancia de detección  $c$  de 1 milímetro y el objeto es la mitad del tamaño de la objeto estándar (patrón), la nueva distancia de detección es 0.83 milímetros (1 milímetro x 0.83).

$$S_{new} = S_{rated} \times T$$

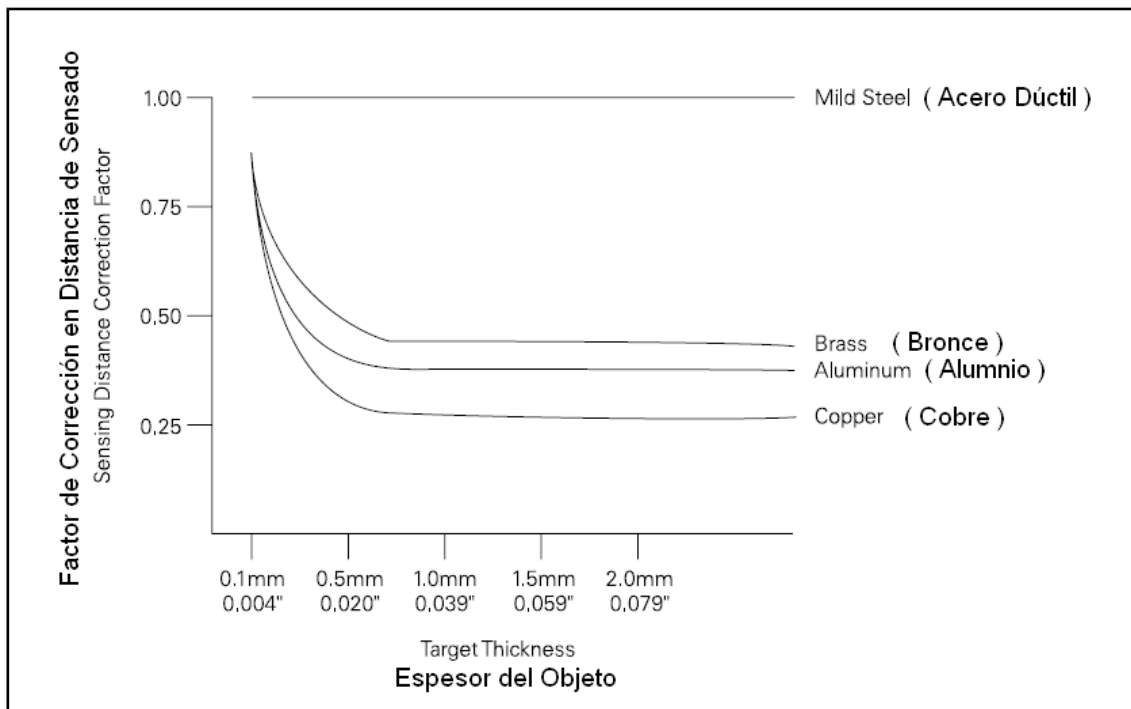
$$S_{new} = 1 \text{ mm} \times 0.83$$

$$S_{new} = 0.83 \text{ mm}$$

Size of Target Compared to Standard Target	Correction Factor	
	Shielded	Unshielded
25%	0.56	0.50
50%	0.83	0.73
75%	0.92	0.90
100%	1.00	1.00

## Espesores de los Objetos.

El espesor del objeto es otro factor que debe ser considerado. La distancia de detección es constante para el objeto estándar. Sin embargo, para los objetos no ferrosos tales como el latón, el aluminio y el cobre, ocurre un fenómeno conocido como “efecto piel”. La distancia de detección disminuye cuando el espesor del objeto aumenta. Si objeto es distintos al objeto estándar, es necesario aplicar un factor de corrección al espesor del objeto.



## Material del Objeto.

El material del objeto también tiene un efecto sobre la distancia de detección. Cuando el material es distintos al acero dúctil , se debe aplicar un factor de corrección.

Material	Correction Factor	
	Shielded	Unshielded
Mild Steel, Carbon (Acero)	1.00	1.00
Aluminum Foil (Lamina)	0.90	1.00
300 Series Stainless Steel	0.70	0.08
Brass (Bronce)	0.40	0.50
Aluminum (Aluminio)	0.35	0.45
Copper (Cobre)	0.30	0.40

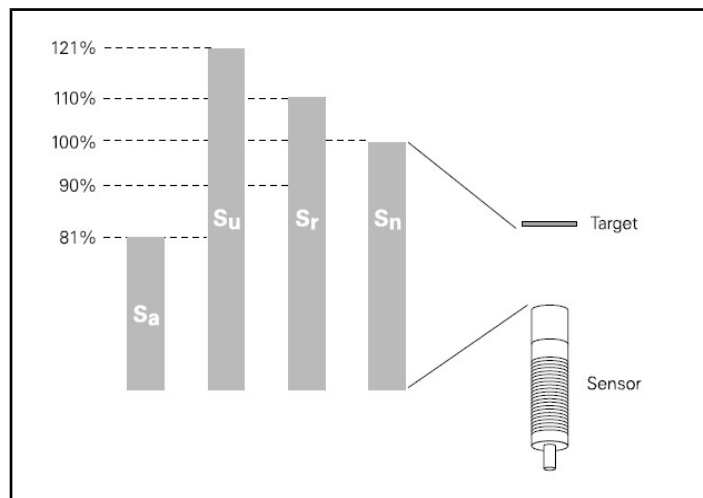
## RANGO DE DISTANCIAS DE OPERACIÓN.

El rango de distancia de detección ( $S_n$ ) es un valor teórico que no toma en consideración cosas tales como las tolerancias de fabricación, temperatura de funcionamiento, y voltaje de fuente. En algunas aplicaciones el sensor puede reconocer objetos que esté fuera de la distancia de detección. En otras aplicaciones el objeto no puede ser reconocido hasta que esté más cerca a la distancia de detección. Varios otros términos se deben considerar cuando se evalúa una aplicación con sensores.

La distancia efectiva de operación ( $S_r$ ) se mide en el voltaje nominal de la fuente a una temperatura ambiente  $23^{\circ}\text{C}$  del  $\pm 0.5^{\circ}$ . Si se considera la tolerancia de fabricación. La distancia efectiva de operación es el  $\pm 10\%$  de la distancia de detección. Esto significa que el objeto será detectado entre 0 y el 90% de distancia de detección. Dependiendo del dispositivo, sin embargo, la distancia efectiva de detección puede ser tan lejana hacia fuera como 110% de la distancia de detección.

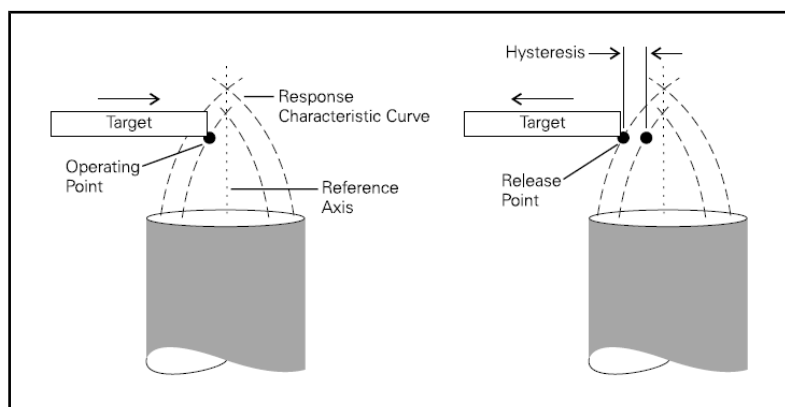
La distancia útil de conmutación ( $S_u$ ) es la distancia de la conmutación medida bajo condiciones específicas de temperatura y voltaje. La distancia útil de conmutación es el  $\pm 10\%$  de la distancia efectiva de operación.

La distancia de operación garantizada ( $S_a$ ) es cualquier distancia de conmutación para la cual una operación del interruptor de proximidad dentro de condiciones específicas de operación es garantizada. La distancia de operación garantizada está entre 0 y el 81% de la distancia de detección.



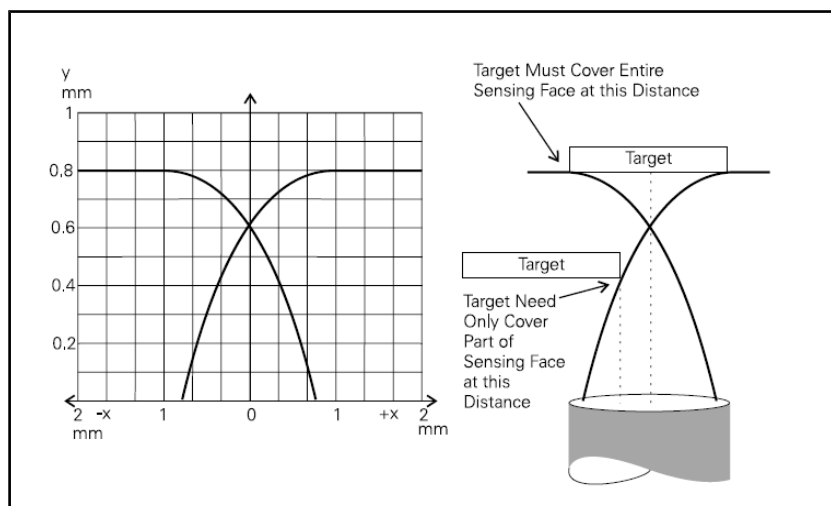
### Característica de Respuesta.

Los interruptores de proximidad responden a un objeto solamente cuando está en un área definida delante de la cara de detección del interruptor. El punto en el cual el interruptor de proximidad reconoce un objeto entrante es el punto de operación. El punto en el cual un objeto saliente hace al dispositivo volver a su estado normal se llama el punto de liberación (release). El área entre estos dos puntos se llama la zona de la histéresis.



## Curva de Respuesta.

El tamaño y la forma de la curva de respuesta depende del interruptor de proximidad específico. La curva siguiente representa un tipo de interruptor de proximidad.



## Características Técnicas.

La tabla interior indica los datos técnicos más relevantes relacionados con los sensores de proximidad inductivos. Datos típicos

Tabla: Datos Técnicos de Sensores de Proximidad Inductivos.

Material del objeto	Metales
Tensión de Funcionamiento	Típica 10 – 30 V
Distancia de conmutación nominal	Típica 0,8 – 10 mm Max. Aprox. 250 mm
Intensidad Máxima	75 - 400 mA
Temperatura de Funcionamiento	- 25 a + 70 °C
Vibración	10 – 50 Hz, 1 mm amplitud
Sensibilidad a la Suciedad	Insensible
Vida útil	Muy larga
Frecuencia de Conmutación	Típica 10 – 5000 Hz, Máx. 20 KHz
Ejecución	Cilíndrica, rectangular
Tamaños Estándar	M8x1, M12x1, M30x1, diámetro 4,...30.
Clase de Protección	IEC 529, DIN 40 050 hasta IP 67

### 1.2.3. Sensor de Proximidad Capacitivo.

Los sensores capacitivos pueden detectar materiales conductores y no conductores, en forma líquida o sólida. Existen distintas aplicaciones, incluso control de niveles en depósitos, también para detectar el contenido de contenedores, o en máquinas empaquetadoras. Otras aplicaciones incluyen el posicionado y montaje de materiales en sistemas de transporte y almacenaje, por ejemplo cintas transportadoras y mecanismos de guía.

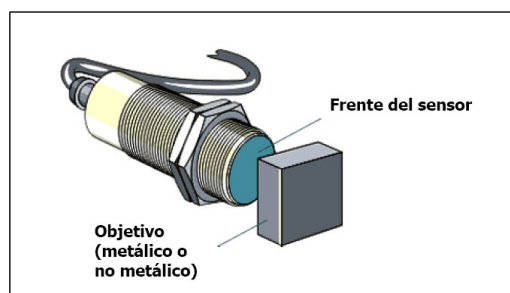
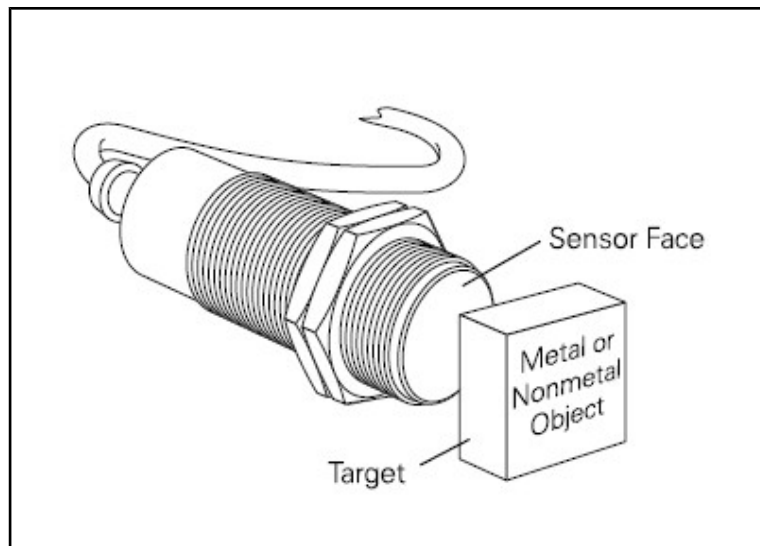
Materiales típicos que pueden ser detectados:

**Sólidos:** Madera, cerámica, vidrio, apilamientos de papel, plástico, piedra, goma, hielo, materiales no férricos, y materias vegetales.

**Líquidos:** Agua, aceite, adhesivo y pinturas.

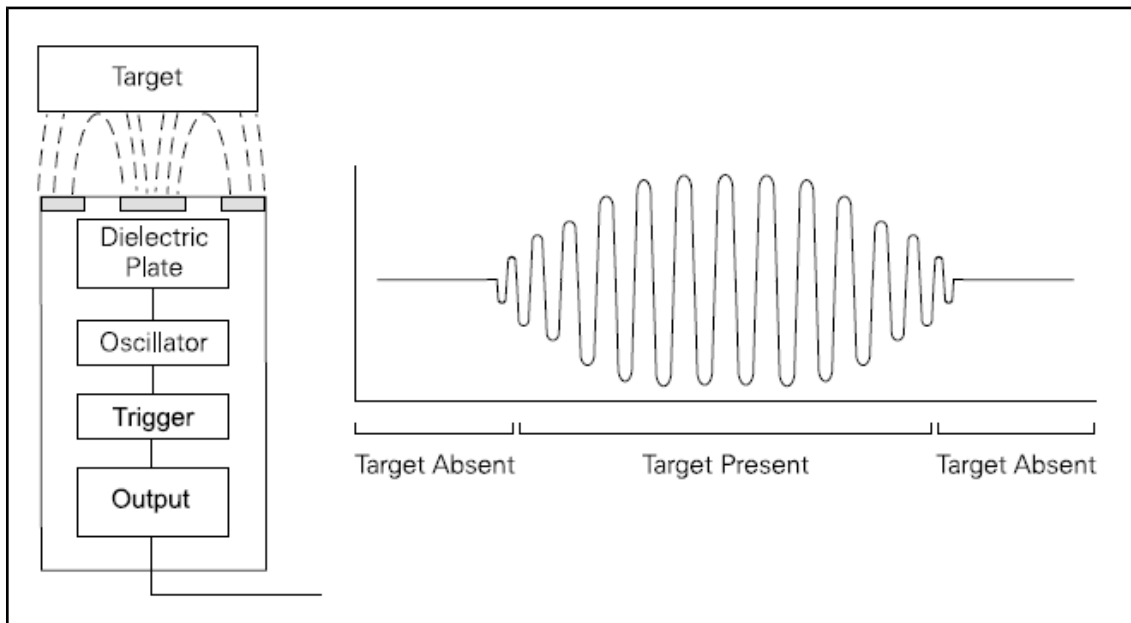
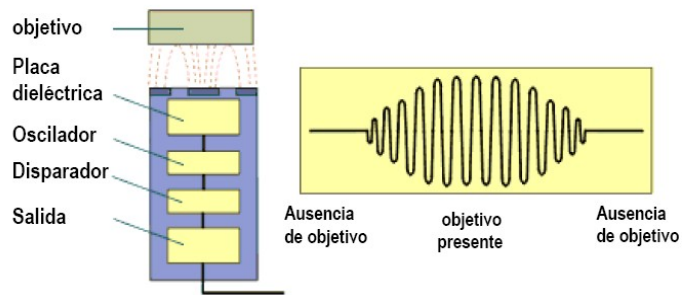
**Granulados:** Granulados plásticos, semillas, alimentos, y sal.

**Polvos:** Tintas, polvo de jabón, arena, cemento, fertilizantes, azúcar, harina y café.



Los sensores de proximidad capacitivos son similares a los inductivos. La principal diferencia entre los dos tipos es que los sensores capacitivos producen un campo electrostático en lugar de un campo electromagnético.

## Teoría de operación de los sensores de proximidad capacitivos



La superficie de sensado del sensor capacitivo está formada por dos electrodos concéntricos de metal de un capacitor.

Cuando un objeto se aproxima a la superficie de sensado y éste entra al campo electrostático de los electrodos, cambia la capacitancia en un circuito oscilador.

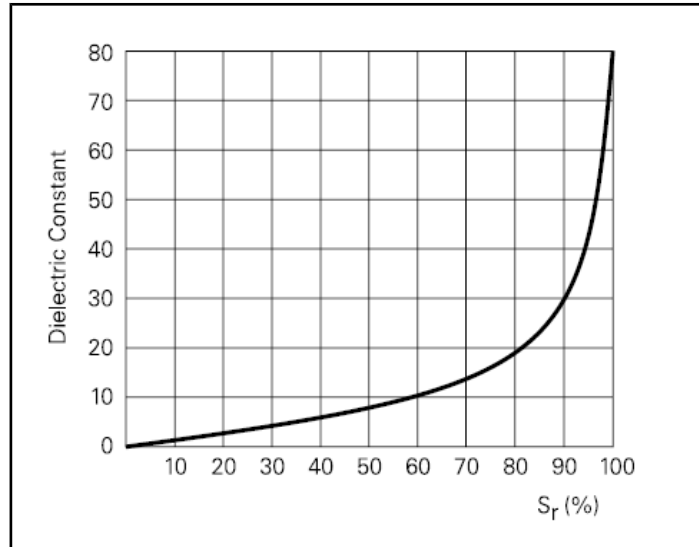
Esto hace que el oscilador empiece a oscilar. El circuito disparador lee la amplitud del oscilador y cuando alcanza un nivel específico la etapa de salida del sensor cambia.

Conforme el objetivo se aleja la amplitud del oscilador decrece, conmutando al sensor a su estado original.

### **La constantes dieléctrica.**

Los sensores capacitivos dependen de la constante dieléctrica del objeto. Mientras más grande es la constante dieléctrica de un material es más fácil de detectar. Cada sensor capacitivo está especificado

para un objeto estándar, siendo este normalmente definido como metal o agua.

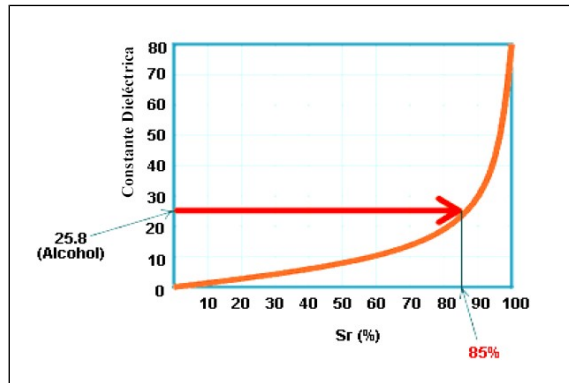


La gráfica muestra la relación de las constantes dieléctricas de un objeto y la habilidad del sensor de detectar el material basado en la distancia nominal de sensado ( $S_r$ ).

Material	Dielectric Constant	Material	Dielectric Constant
Alcohol	25.8	Polyamide	5
Araldite	3.6	Polyethylene	2.3
Bakelite	3.6	Polypropylene	2.3
Glass	5	Polystyrene	3
Mica	6	Polyvinyl Chloride	2.9
Hard Rubber	4	Porcelain	4.4
Paper-Based Laminate	4.5	Pressboard	4
Wood	2.7	Silica Glass	3.7
Cable Casting Compound	2.5	Silica Sand	4.5
Air, Vacuum	1	Silicone Rubber	2.8
Marble	8	Teflon	2
Oil-Impregnated Paper	4	Turpentine Oil	2.2
Paper	2.3	Transformer Oil	2.2
Paraffin	2.2	Water	80
Petroleum	2.2	Soft Rubber	2.5
Plexiglas	3.2	Celluloid	3



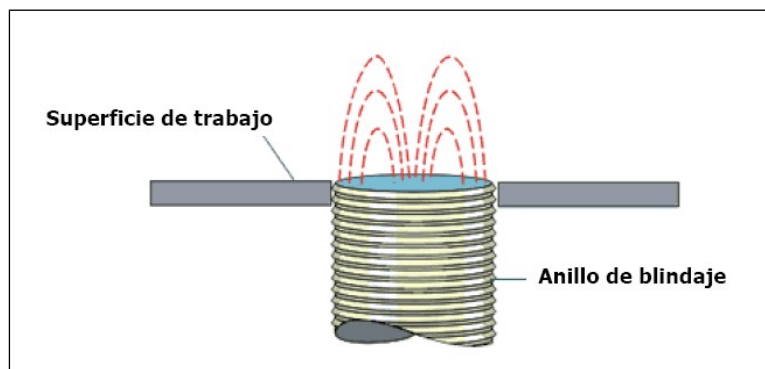
Ejemplo: Si un sensor capacitivo tiene una distancia de sensado nominal de 10 mm., y el objeto es alcohol ( según tabla tiene constante dieléctrica de 25,8 ).



Al graficar dicho valor, se aprecia que la distancia efectiva de sensado es aproximadamente el 85% de la distancia nominal, es decir, 8,5 mm.

### Sensores Capacitivos Blindados:

Los sensores blindados se pueden montar en soporte metálicos sin que se afecten adversamente sus características de sensado. Se debe tener cuidado de asegurarse que este tipo de sensores sea usados en ambiente secos, puesto que la presencia de líquido en la superficie de detección puede hacer que el sensor dispare en falso.



### **Detección a través de Barreras.**

Una aplicación para un sensor capacitivo es de detectar nivel a través de una barrera. Por ejemplo, se tiene agua (c. dieléctrica = 80) en un recipiente de vidrio (c. dieléctrica = 5). El agua tiene una const. , dieléctrica mucho mayor que el vidrio. Esto le otorga al sensor la habilidad de “ ver a través de la barrera “ de vidrio y detectar el agua.

