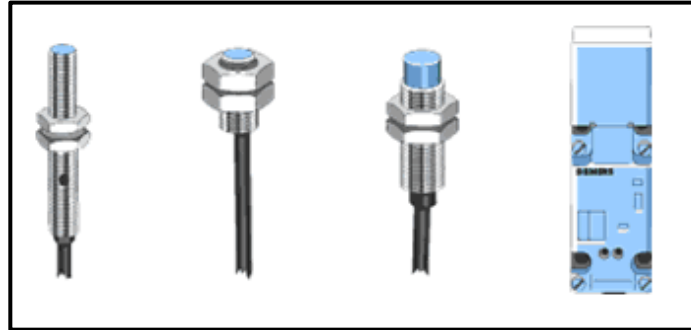


SENSORES INDUCTIVOS

I. TIPOS DE SENSORES

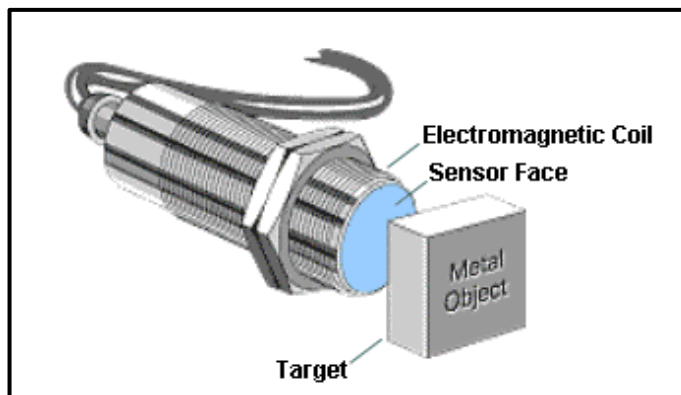
Hay cuatro principales tipos de sensores: Inductivo, capacitivo, Fotoeléctrico y Ultrasónico. Los sensores inductivos detectan la presencia de metales mediante un campo electromagnético, los sensores capacitivos usan un campo electrostático, los sensores ultrasónicos usan ondas ultrasónicas y los sensores fotoeléctricos reaccionan a los cambios en la cantidad de luz recibida.



Sensor	Objetos detectados	Tecnología
Inductivo	Metal	Campo electromagnético
Capacitivo	Todos	Campo electrostático
Ultrasónico	Todos	Ondas de sonido
fotoeléctrico	Todos	Luz

II. SENSORES DE PROXIMIDAD INDUCTIVOS

Este tipo de sensores incorporan una bobina electromagnética que es usada para detectar la presencia de un objeto de metal conductor. Ignoran los objetos no metálicos. Son utilizados principalmente en la industria, tanto para aplicaciones de posicionamiento como para detectar la presencia de objetos metálicos en determinados contextos (control de presencia o de ausencia, detección de paso, de atasco, de posicionamiento, de codificación y de conteo).

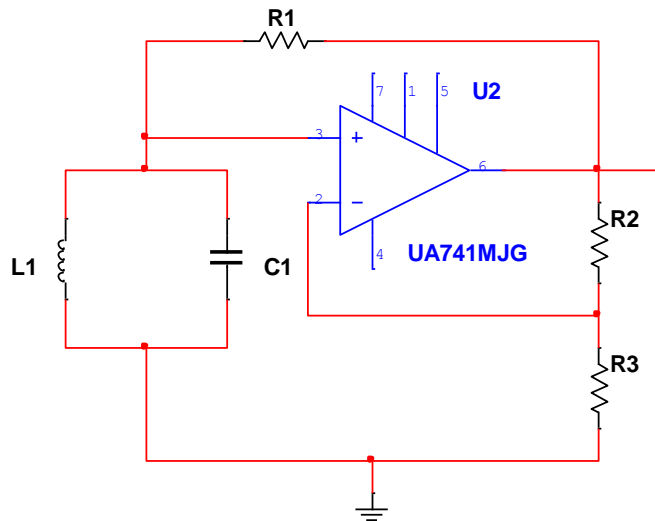


Los sensores inductivos usan el principio de operación de la corriente de Foucault.

El circuito oscilador produce un voltaje AC que, cuando se aplica a la bobina, causa un campo electromagnético.

1. Principio de Operación

El funcionamiento del Sensor inductivo se basa principalmente en la etapa del Oscilador:

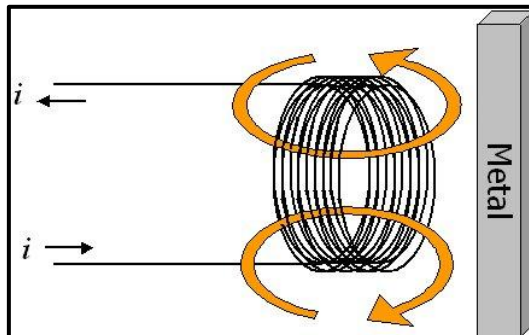


La función principal de este circuito es generar una señal senoidal, aunque también funciona como un filtro de alta selectividad.

El circuito tanque LC genera una señal senoidal se frecuencia:

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

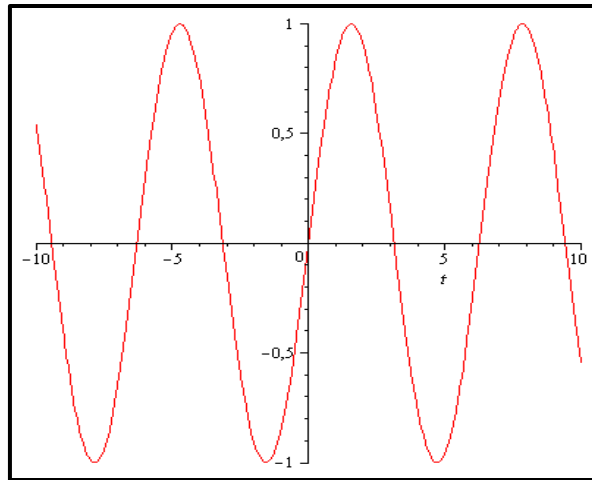
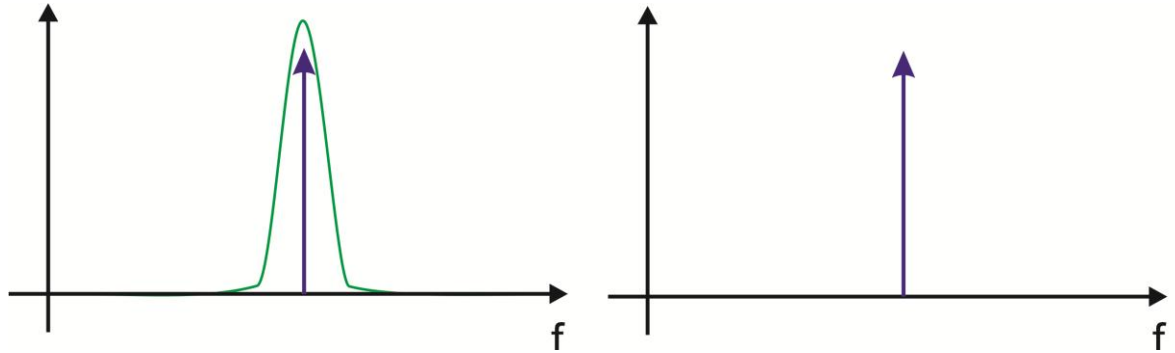
Cuando un objeto metálico entra al campo, las corrientes de Foucault circulan dentro de la placa y éstas generan a la vez un campo magnético opuesto al generado por el oscilador. La disminución del campo magnético tiene el efecto de reducir la inductancia de la bobina, cambiando levemente la frecuencia de las oscilaciones.



Como se dijo anteriormente, el circuito también actúa como un filtro de alta selectividad. A pequeñas variaciones de la frecuencia de oscilación la amplitud de la señal decae rápidamente.

En ausencia de Objetos metálicos:

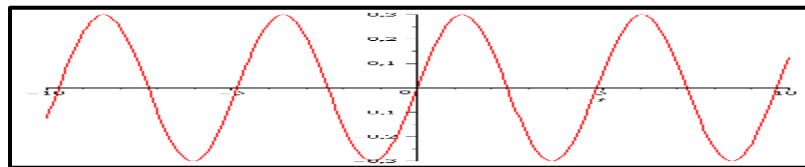
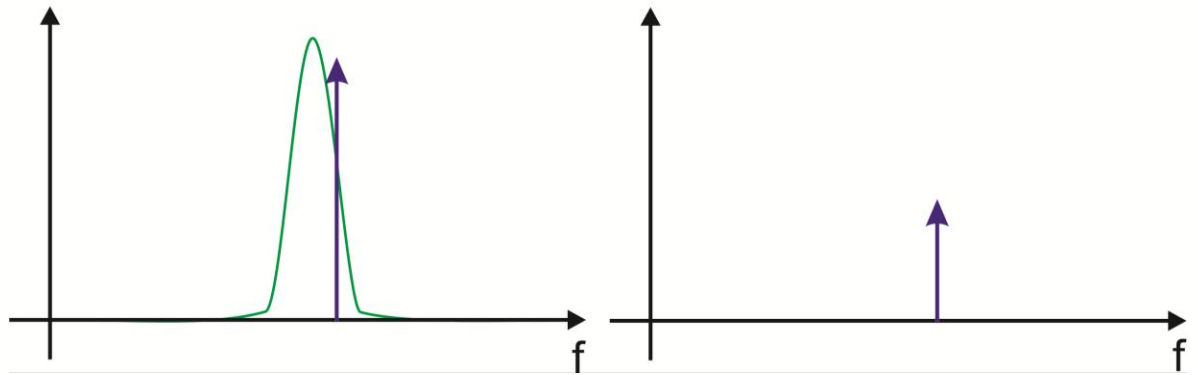
La señal senoidal tiene una frecuencia tal que se corresponde con la frecuencia central del filtro. La señal de salida es igual en amplitud a la señal de entrada (señal generada por el oscilador).



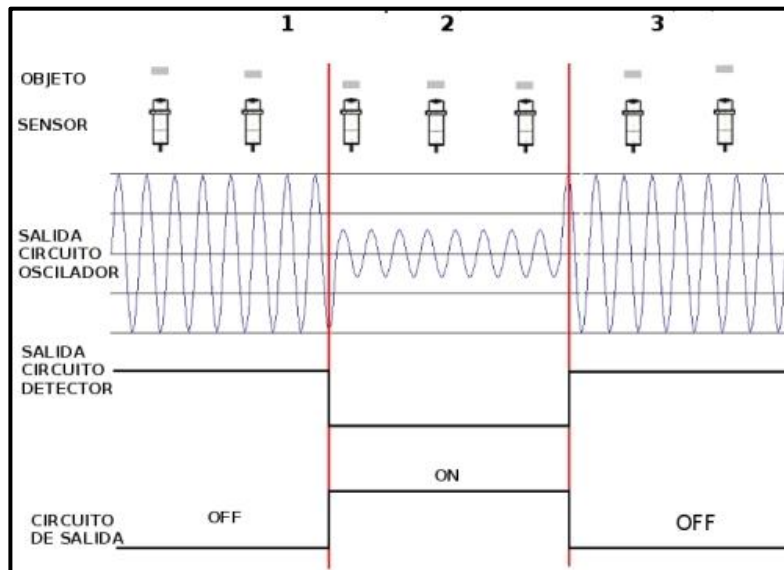
En presencia de Objetos metálicos:

La señal senoidal generada tiene una frecuencia levemente mayor a la frecuencia central del filtro, porque el acercamiento de un objeto metálico al sensor tiene el efecto de disminuir la inductancia de la bobina y en consecuencia aumenta la frecuencia de oscilaciones.

El filtro atenúa en gran medida la amplitud de la señal de entrada por su selectividad.



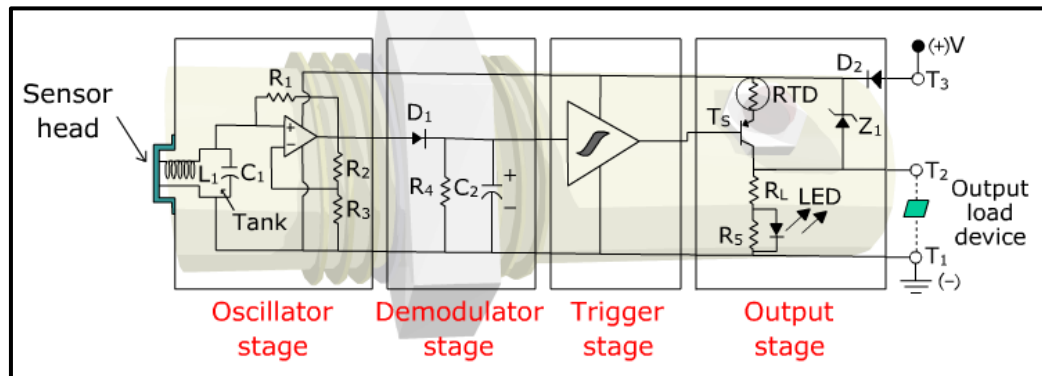
Es de esta manera que la amplitud de la señal del oscilador se decrementa en presencia de objetos metálicos y se incrementa en ausencia de éstos.



2. Circuito Interno

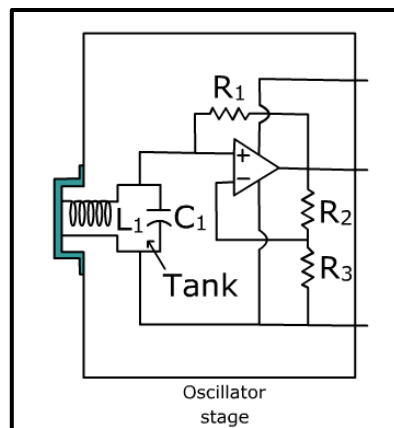
El circuito interno de este tipo de sensor consiste en cuatro etapas:

- Oscilador
- Demodulador
- Circuito de disparo
- Circuito de salida



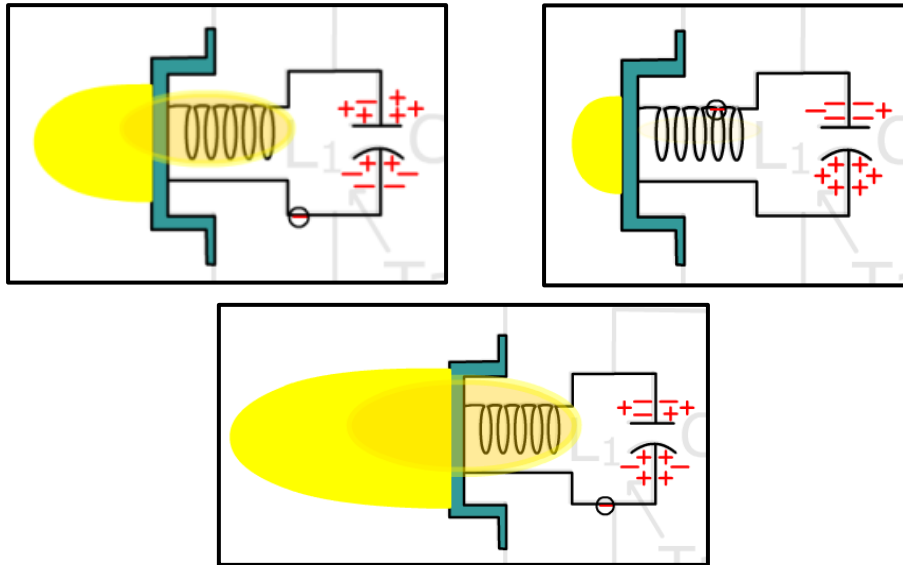
1) Oscilador

El oscilador consiste en un capacitor que almacena energía en su campo eléctrico y un inductor que almacena energía en su campo magnético.



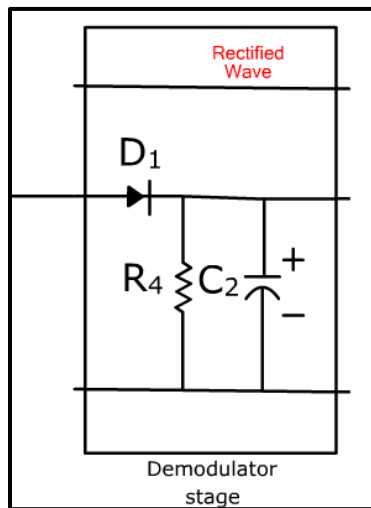
La energía almacenada es transferida de ida y vuelta entre el capacitor y el inductor en medios ciclos alternados. Esto ocurre cuando el capacitor se descarga y se carga la bobina y viceversa.

Como la corriente va y viene, el campo magnético alrededor de la bobina se contrae y se expande al frente del sensor.

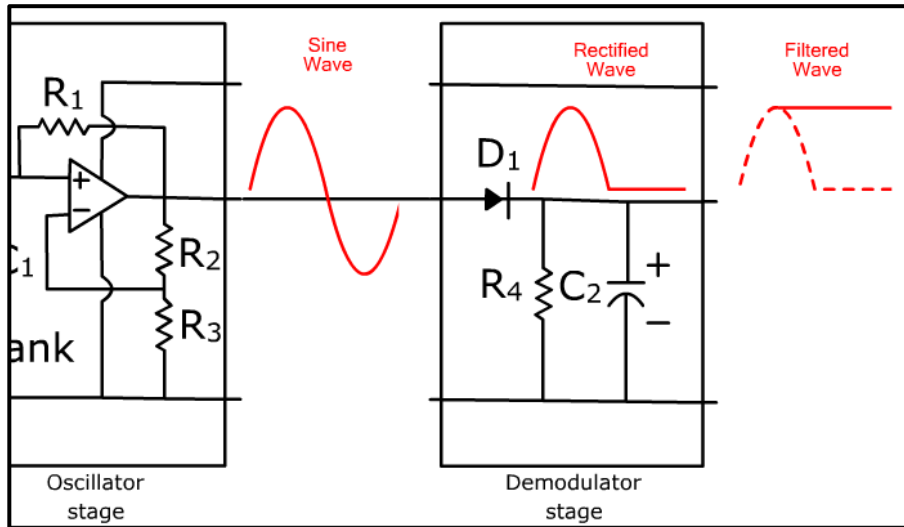


2) Demodulador

Como la corriente fluye en ida y retorno entre el capacitor y la bobina, se produce una onda senoidal, que es amplificada y alimentada a la etapa del demodulador.

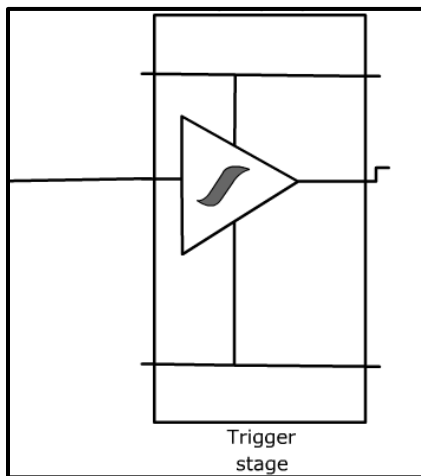


El demodulador tiene un diodo que funciona como un rectificador de media onda, convirtiendo la onda senoidal en una señal DC pulsante. Esta señal pulsante es filtrada a un voltaje DC constante por el resistor y el capacitor R4 y C2 respectivamente.

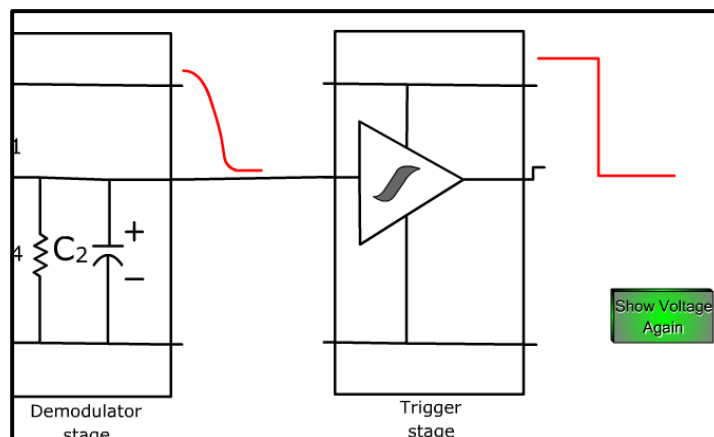


3) Circuito de Disparo

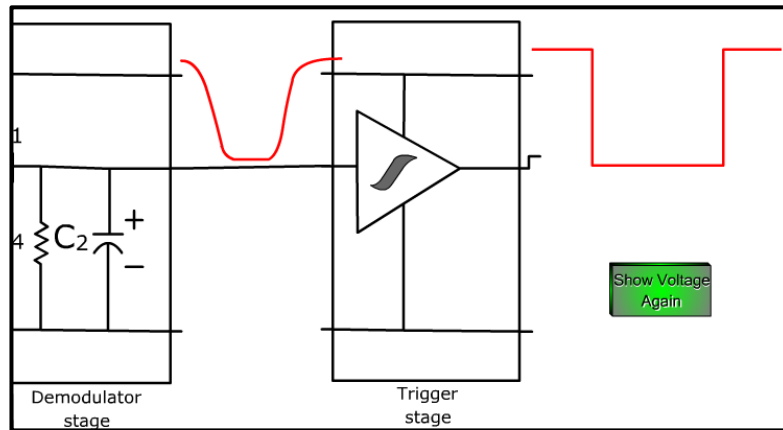
El voltaje DC del Demodulador es alimentado a la etapa de disparo. La función del circuito de disparo es producir 2 voltajes diferentes tal que la transición de uno al otro sea muy rápida.



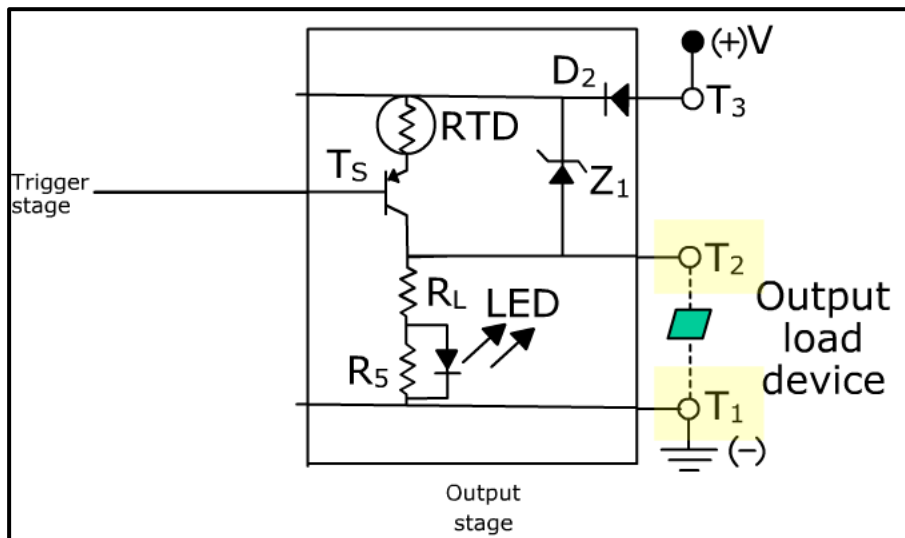
Cuando la salida del demodulador se reduce a un cierto nivel, la salida del circuito de disparo decrece rápidamente a un voltaje bajo.



Cuando la salida del demodulador se incrementa a un cierto nivel, la salida del circuito de disparo aumenta rápidamente a un voltaje alto.



4) Salida

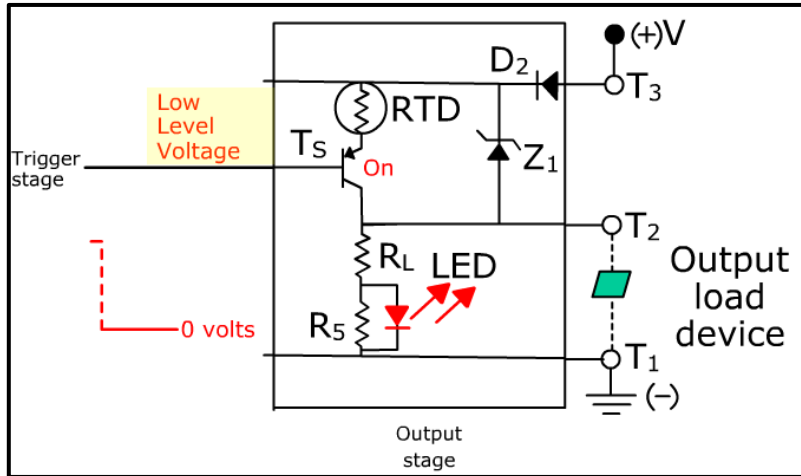


La función de la etapa de salida es proveer una señal de salida del sensor que sea lo suficientemente grande para la carga que se conecte, por ejemplo: lámpara, alarma, PLC, etc.

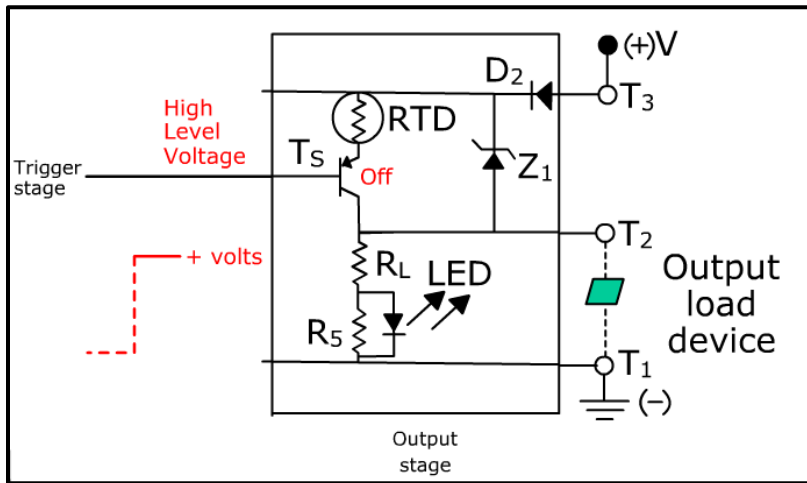
Además, dos de los terminales de salida son utilizados para conectar una fuente de alimentación para el sensor.

Dos voltajes, un nivel alto y un nivel bajo, del circuito de disparo son alimentados a la terminal de entrada del circuito de salida.

Cuando un voltaje bajo es aplicado a la base del transistor PNP causa que este se encienda y funcione como un switch cerrado. El LED se enciende e indica que se ha detectado un tipo de metal.

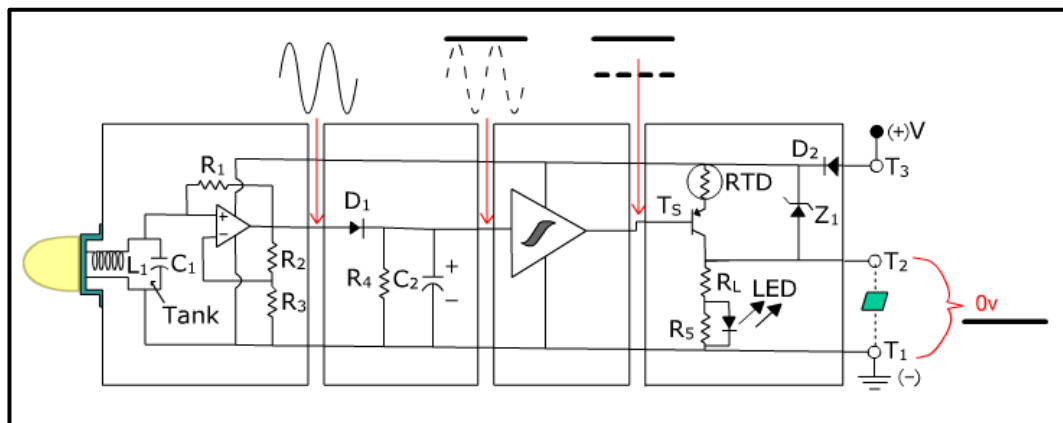


Cuando un voltaje alto es aplicado a la base del transistor PNP causa que éste se apague y funcione como un switch abierto.

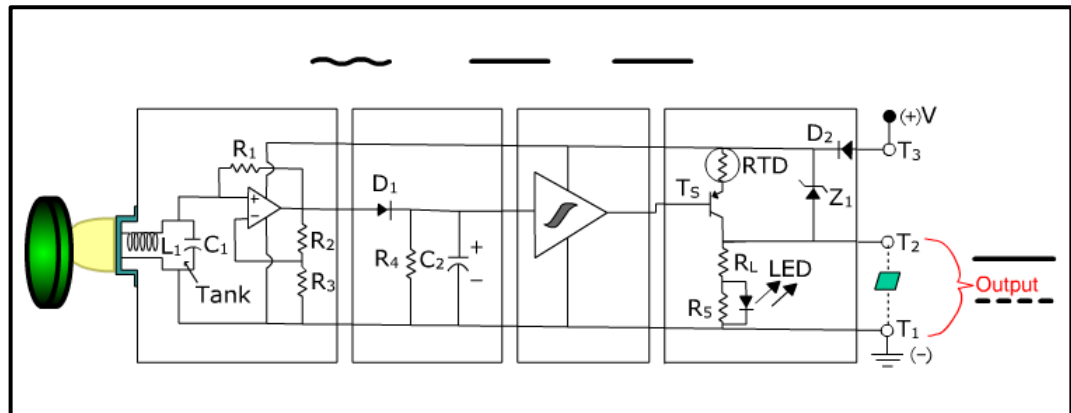


Funcionamiento en Conjunto

a) En ausencia del objetivo a detectar

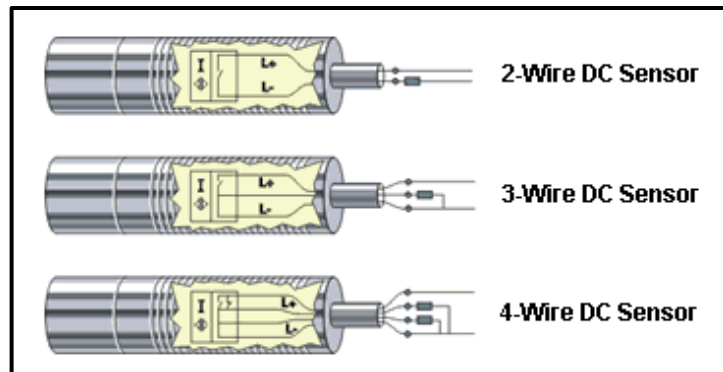


b) En presencia del objetivo a detectar



3. Sensores Inductivos de Corriente Continua

Los modelos de sensores de CC son típicamente de 3 líneas o 4 líneas, aunque también están disponibles muchos modelos de 2 líneas. Los modelos de CC utilizan transistores NPN o transistores PNP para conmutar la señal de salida.

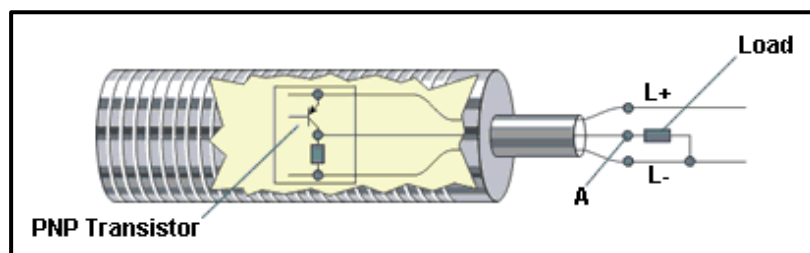


4. Modos de Operación

a) Carga a Sumidero

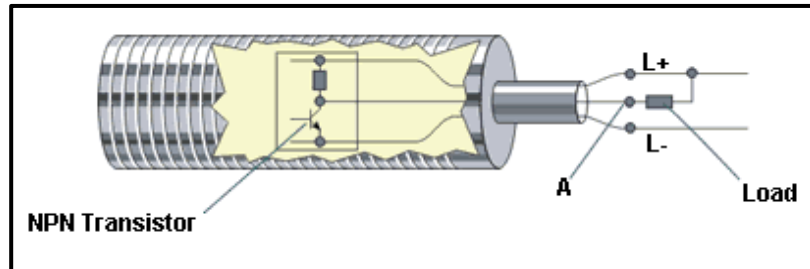
Los sensores con conexión de carga a sumidero usan un transistor PNP para conmutar la señal de salida. El tipo de transistor usado es un factor importante para determinar la compatibilidad con las entradas a los sistemas de control.

La siguiente figura muestra la etapa de salida de un sensor con conexión de carga a sumidero. Cuando el transistor NPN conmuta a ON, la corriente fluye a través del transistor a la carga.

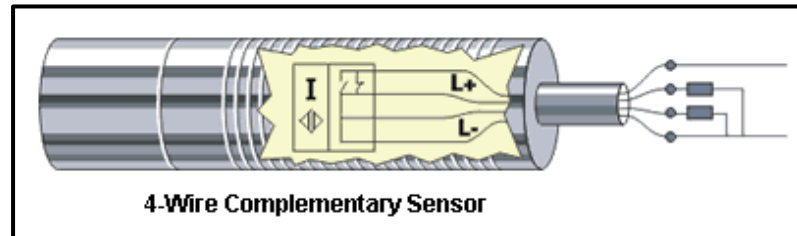


b) Carga a fuente

Utiliza un transistor NPN para conmutar la señal de salida. Cuando el transistor NPN conmuta a ON, la corriente fluye a través de la carga al transistor.



También existen sensores con transistores complementarios, de 4 líneas. Una salida complementaria es definida como si se tuviera una salida normalmente abierta (NO) y una salida normalmente cerrada (NC) en el mismo sensor.



Operación Normalmente Abierto y Normalmente Cerrado

Las salidas son consideradas normalmente abiertas (NO) o normalmente cerradas (NC) basándose en el estado del transistor cuando un objeto de metal a detectar se encuentra ausente.

Si, por ejemplo, el transistor de salida está apagado cuando el objeto metálico está ausente, entonces es un dispositivo normalmente abierto (NO).

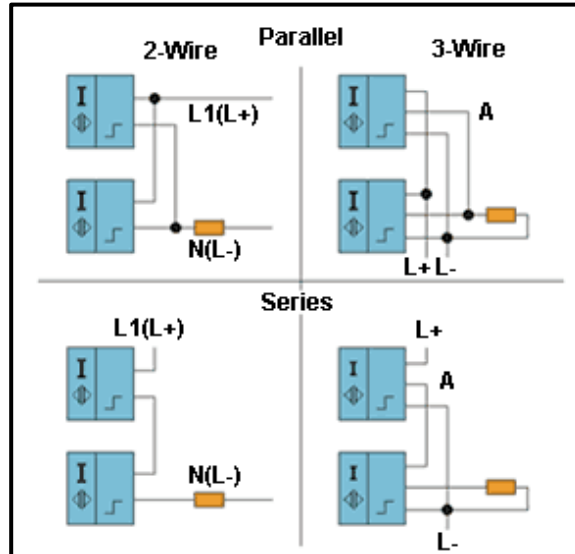
Si el transistor de salida está encendido cuando el objeto metálico está ausente, entonces es un dispositivo normalmente cerrado (NC).

5. Conexiones serie y paralelo

En muchas aplicaciones puede ser necesario utilizar más de un sensor para controlar un proceso. Los sensores pueden ser conectados en serie o en paralelo.

Cuando los sensores son conectados en paralelo cualquiera de los sensores puede entregar corriente a la carga (basta con que sólo uno detecte la presencia de un objeto metálico).

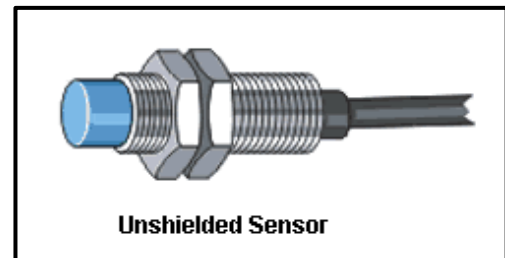
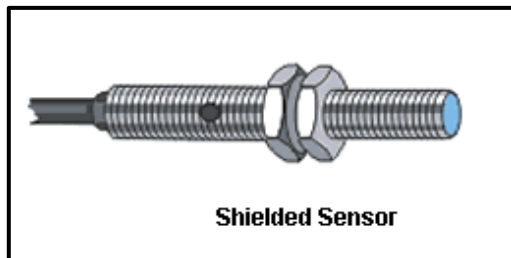
Cuando los sensores son conectados en serie todos los sensores deben entregar corriente a la carga (todos los sensores deben detectar uno o varios objetos metálicos a la vez).



6. Blindaje

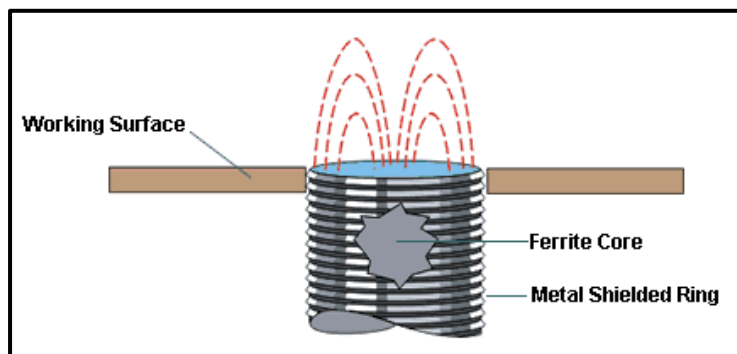
Los sensores de proximidad contienen bobinas que se enrollan en núcleos de ferrita. Éstos pueden ser blindados o no blindados.

Los sensores no blindados usualmente tienen una mayor distancia de sensado que los sensores blindados.



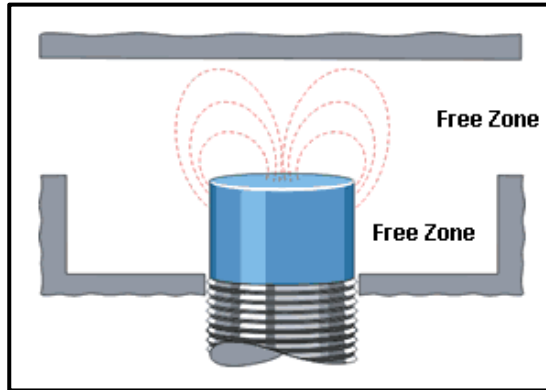
a) Sensores de Proximidad Inductivos blindados

El núcleo de ferrita concentra el campo de radiación en la dirección de uso. Un aro de metal es puesto alrededor del núcleo para restringir la radiación lateral del campo. Los sensores blindados pueden ser montados al ras en una superficie metálica, pero se recomienda un espacio libre de metales por encima y alrededor de la superficie de sensado.



b) Sensores de Proximidad Inductivos no blindados

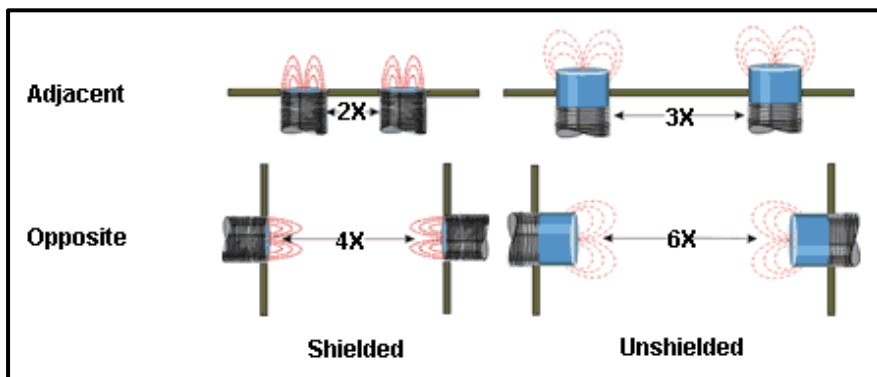
Un sensor de proximidad no blindado no tiene un aro de metal alrededor del núcleo de ferrita que restrinja la radiación lateral del campo. Los sensores no blindados no pueden ser montados al ras en superficies metálicas. Debe existir un área libre de metales alrededor de la superficie de sensado.



7. Montaje de varios sensores inductivos

Se debe tener en cuenta las siguientes recomendaciones para evitar interferencias entre los campos magnéticos de los sensores.

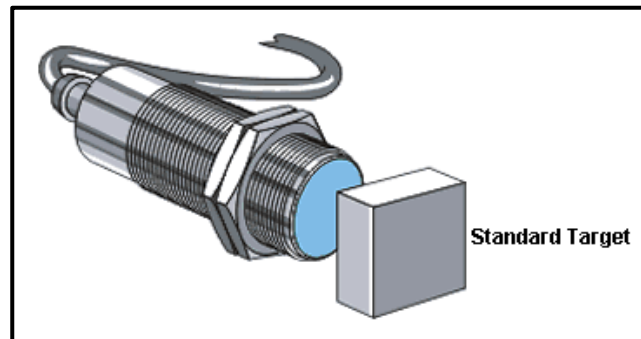
- Sensores blindados adyacentes deben estar separados por lo menos dos veces el diámetro de los sensores.
- Sensores no blindados adyacentes deben estar separados por lo menos tres veces el diámetro de los sensores.
- Sensores blindados opuestos deben estar separados por lo menos cuatro veces el rango nominal de detección.
- Sensores no blindados opuestos deben estar separados por lo menos seis veces el rango nominal de detección.



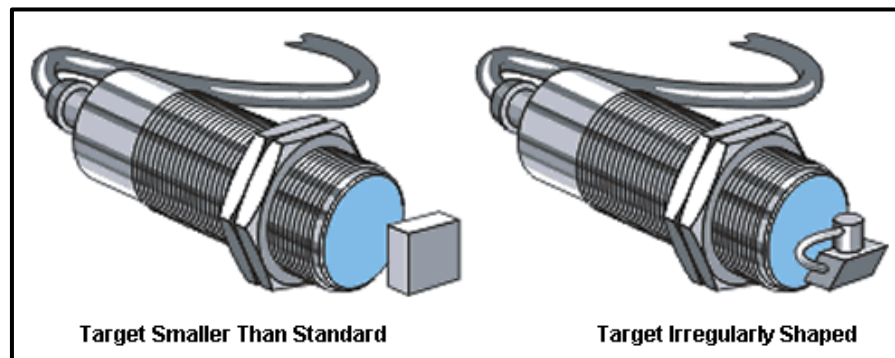
8. Objeto metálico Patrón Para Sensores Inductivos

Un objeto patrón está definido como una superficie lisa de acero dulce que tiene 1 mm de espesor. La longitud del lado del objeto patrón es igual al diámetro de la superficie del sensor o tres veces el rango nominal de operación, cualquiera que sea el mayor.

El acero dulce está compuesto por un gran contenido de hierro y carbón que otros tipos de acero.



Si un objeto es más grande que el objeto patrón, el rango de sensado no cambia. Aunque si el objeto es más pequeño o de forma irregular, la distancia de sensado se decrementa. Cuanto menor sea el área de la placa debe estar más cerca de la superficie del sensor para que sea detectada.



a) Tamaño del objeto y factor de corrección

Un factor de corrección puede ser aplicado cuando los objetos son más pequeños que el objeto patrón. Para determinar la distancia de sensado para un objeto que es más pequeño que el objeto patrón multiplicar el rango nominal de sensado por el factor de corrección.

Tamaño del Objeto Comparado con Objeto Patrón	Factor de Corrección	
	Blindado	No Blindado
25 %	0.56	0.50
50 %	0.83	0.73
75 %	0.92	0.90
100 %	1	1

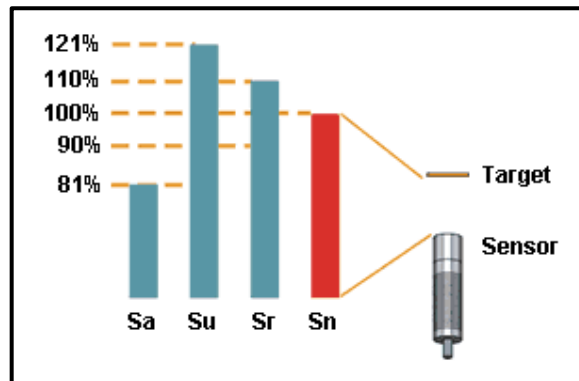
b) Material del objeto

Cuando el material a ser sentido es diferente al hierro dulce, se deben aplicar los siguientes factores de corrección.

Material	Factor de Corrección	
	Blindado	No Blindado
Acero dulce	1	1
Lámina de aluminio	0.90	1
Acero inoxidable	0.70	0.8
Latón	0.40	0.50
Aluminio	0.35	0.45
Cobre	0.30	0.40

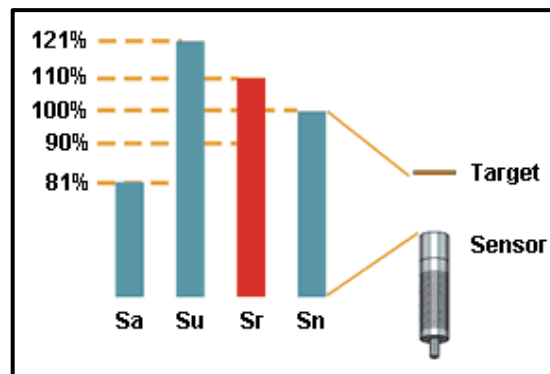
9. Distancia de Operación Nominal

La distancia de operación nominal es un valor teórico que no toma en cuenta muchos factores como tolerancias de fabricación, temperatura de operación y voltaje de alimentación. En muchas aplicaciones el sensor puede reconocer un objeto que está fuera de la distancia de sentido. En otras aplicaciones el sensor podría no reconocer el objeto hasta que esté más cerca que la distancia de sentido. Varios otros casos pueden ser considerados cuando se evalúa una aplicación.



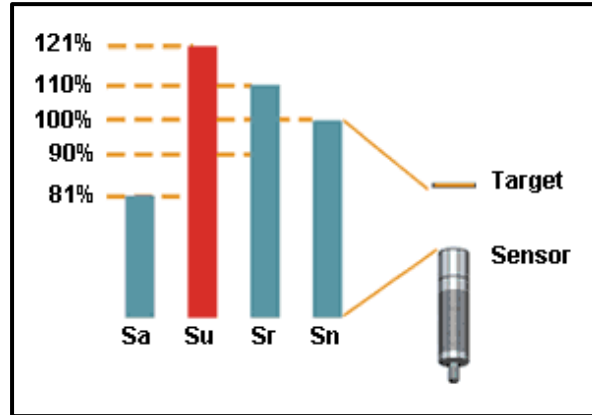
a) Distancia de Operación Efectiva

Se mide con el voltaje de alimentación nominal a una temperatura ambiente de 25 ± 5 °C. La distancia de operación efectiva varía $\pm 10\%$ de la distancia nominal de sentido. Algunos dispositivos, sin embargo, detectan objetos más allá del 110% de la distancia nominal de sentido.



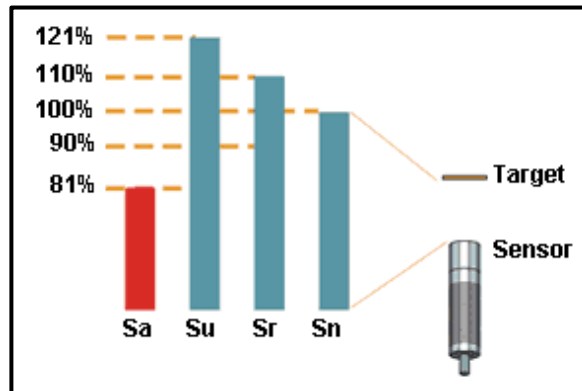
b) Distancia útil de conmutación

La distancia útil de conmutación es la distancia de conmutación medida bajo las condiciones especificadas de temperatura y voltaje. La distancia útil de conmutación es $\pm 10\%$ de la distancia de operación efectiva.



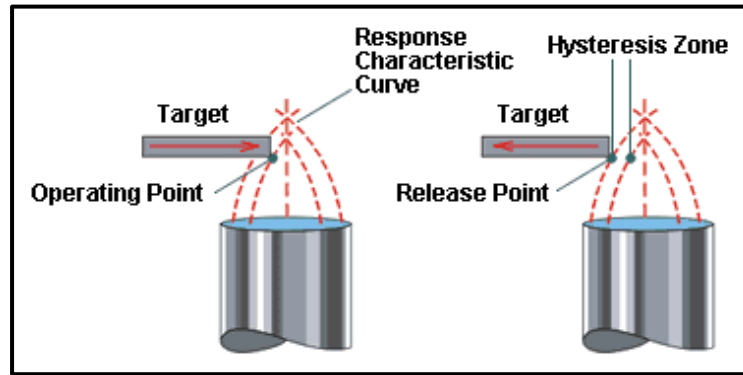
c) Distancia de Operación Garantizada

La distancia de operación garantizada es cualquier distancia para que la operación del conmutador de proximidad dentro de las condiciones de operación permisible especificadas esté garantizada. La distancia de operación garantizada está entre 0 y 81% de la distancia nominal de operación.



10. Características de respuesta

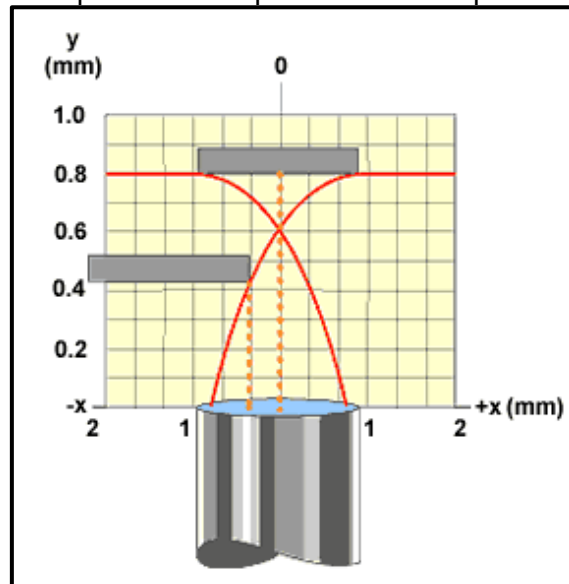
Los sensores de proximidad responden a un objeto sólo cuando éste se encuentra en un área definida al frente de la superficie del sensor. El punto en el que el sensor de proximidad reconoce el ingreso de una placa es el punto de operación. El punto en que una placa saliente causa que el sensor regrese a su estado normal es llamado punto de liberación. El área entre esos dos puntos es llamado zona de histéresis.



Curva de Respuesta

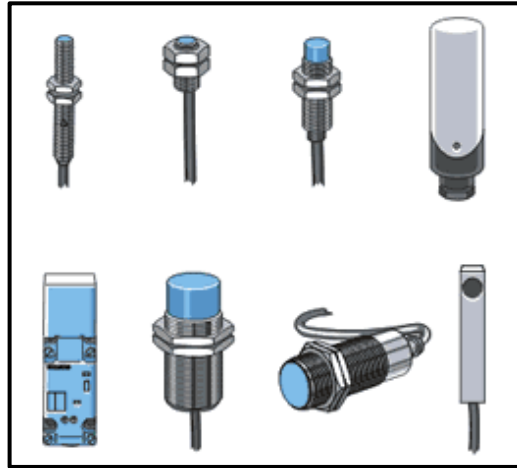
La magnitud y forma de la curva de respuesta depende del sensor de proximidad.

La siguiente curva representa un tipo de sensor de proximidad.

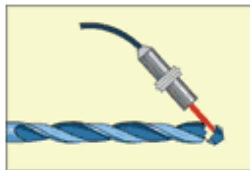


En este ejemplo una placa a aproximadamente 0.45 mm de sensor causa que éste opere cuando la placa cubre cerca del 25% de la superficie del sensor. A 0.8 mm del sensor la placa debe cubrir completamente a la superficie del sensor.

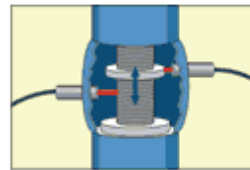
11. Modelos comunes de sensores Inductivos



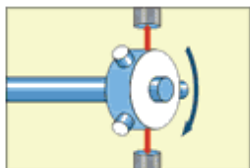
12. Ejemplos de Aplicación



**Detecting
Broken
Drill Bit**



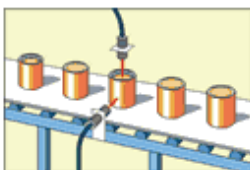
**Detecting
Full Open or
Closed
Valve
Position**



**Detecting Set
Screws on Hub
for Speed or
Direction Control**



**Detecting
Broken
Drill Bit on
Milling
Machine**



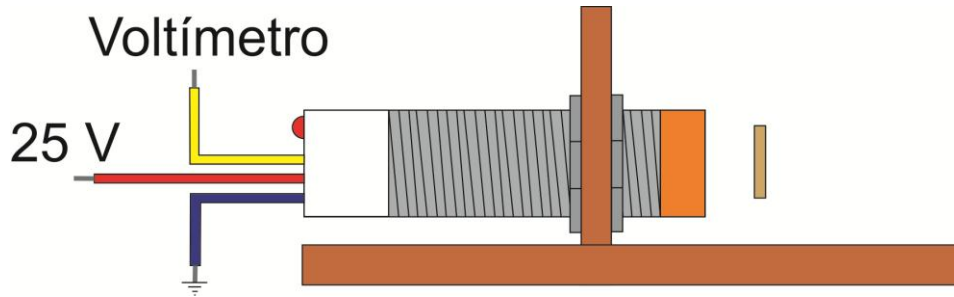
**Detecting
Presence of
Can and Lid**

III. DATOS TÉCNICOS DE SENSOR INDUCTIVO LJM18A-8Z/PK

Tipo:	Normalmente Abierto NO
Tipo de transistor:	PNP
Distancia nominal:	8 mm
Diámetro:	18 mm
Tensión:	10 – 30 V CC
Salida de control:	máx. 200 mA
Objeto patrón detectado:	Hierro 3 10 x 10 x 1 mm
Distancia diferencial	± 10%
Repetibilidad	± 0,5%
Tiempo de respuesta de DC	200HZ
Temperatura de funcionamiento	-25 °C - +65 °C
Humedad de funcionamiento	45% -85%
Resistencia de aislamiento	50 megohmio
Material de la Caja	Metal
Clase de protección	IP67

IV. PRUEBAS

Se realiza pruebas con el sensor usando diferentes materiales para comprobar las especificaciones teóricas de los rangos de detección, aplicando factores de corrección.



Voltaje de Sensor	
Inactivo	0 V
Activo	24.3 V

1) COBRE

Parámetros	
Dimensiones	10 mm x 10 mm x 3 mm
Factor de Corrección por material	0.40
Factor de Corrección por tamaño	1
Sn (teórico)	$8 \text{ mm} \times 0.4 \times 1 = 3.2 \text{ mm}$
Sn (experimental)	3 mm
Error (%)	6.67 %

2) ALUMINIO

Parámetros	
Dimensiones	10 mm x 10 mm x 1 mm
Factor de Corrección por material	0.45
Factor de Corrección por tamaño	1
Sn (teórico)	$8 \text{ mm} \times 0.45 \times 1 = 3.6 \text{ mm}$
Sn (experimental)	4.5 mm
Error (%)	20 %

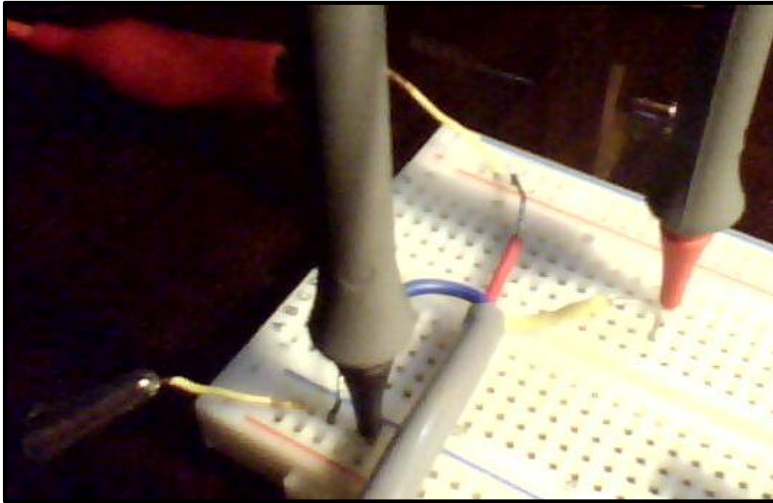
3) Latón

Parámetros	
Dimensiones	10 mm x 10 mm x 0.5 mm
Factor de Corrección por material	0.5
Factor de Corrección por tamaño	1
Sn (teórico)	8 mm x 0.5 x 1 = 4 mm
Sn (experimental)	4 mm
Error (%)	0 %

Parámetros	
Dimensiones	5 mm x 5 mm x 0.5 mm
Factor de Corrección por material	0.5
Factor de Corrección por tamaño	0.73
Sn (teórico)	8 mm x 0.5 x 0.73 = 2.92 mm
Sn (experimental)	2.5 mm
Error (%)	16.8 %

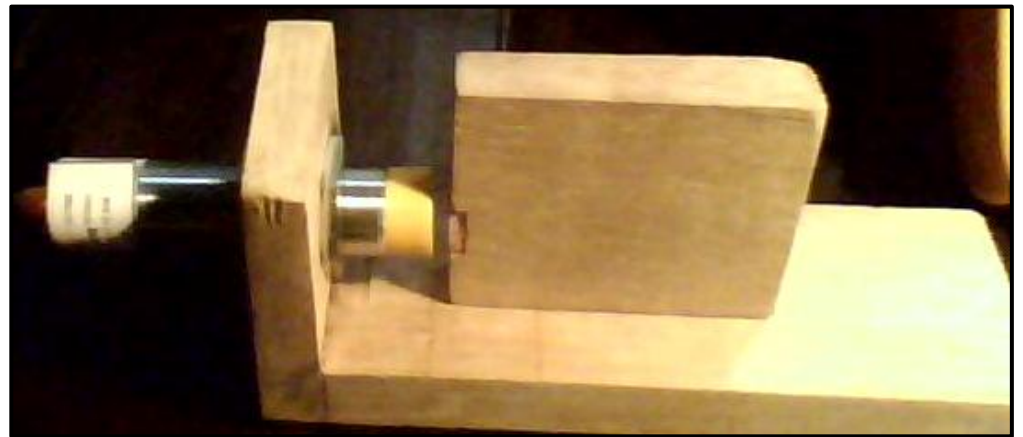
4) Objeto amorfo (Alicate de acero inoxidable)

Parámetros	
Dimensiones	
Factor de Corrección por material	0.8
Factor de Corrección por tamaño	1
Sn (teórico)	8 mm x 0.8 x 1 = 6.4 mm
Sn (experimental)	7 mm
Error (%)	8.6 %



Conexiones del Sensor,
Fuente y multímetro.

Área de
Trabajo



Detección de Cobre