

LECCION 1: PRINCIPIOS FISICOS DE LOS CAPTADORES DE SEÑAL

- 1.1. Introducción.
- 1.2. Características de los transductores.
- 1.3. Clasificación de los transductores según los principios físicos utilizados.
- 1.4. Clasificación de los transductores según los tipos de medidas a realizar.
 - 1.4.1-Transductores de posición y desplazamiento (lineal y angular).
 - 1.4.2-Transductores de velocidad y aceleración.
 - 1.4.3-Transductores de fuerza.
 - 1.4.4-Transductores de temperatura.
 - 1.4.5-Transductores acústicos.
 - 1.4.6-Transductores de iluminación.

1.1.-INTRODUCCIÓN.

En cualquier proceso industrial, y en particular en el campo de la Robótica, es muy común la necesidad de tomar medidas de distintas magnitudes físicas. La toma de estas medidas puede responder, de forma general, a dos tipos de necesidades distintas, según sea la función específica del sistema que estamos tratando, aunque los dispositivos de medida sean muy similares:

- La instrumentación de captación de datos y medida, que se limita a recoger los datos que queremos medir del sistema en cuestión para su posterior tratamiento.
- La instrumentación de control, que mide aquellas magnitudes que interesan, y en función de ellas se genera una salida que realimenta el sistema y lo modifica para hacerlo evolucionar en un sentido determinado.

Evidentemente, esta clasificación no es en modo alguno excluyente, y son posibles sistemas que conjugan ambas funciones, aunque en el campo de la Robótica lo más común es la medida de la posición o esfuerzos de un robot, o las características de un objeto manipulado por él, para obrar distintamente según sea el resultado de dicha medida, y la pura captación de datos no tenga, en general, mucho sentido.

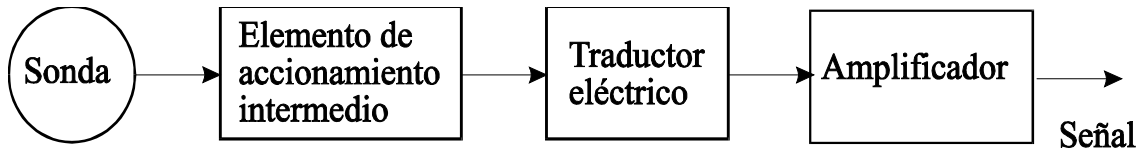
Aunque tradicionalmente la medida a tomar se transformaba en una señal de tipo generalmente mecánico, modernamente las medidas tomadas se transforman en señales eléctricas, más fáciles de manejar, y que pueden ser introducidas en un ordenador o en un autómatas para modificar la evolución del sistema. Los transductores, también llamados captadores, detectores, sensores, etc... son los elementos encargados de transformar las magnitudes físicas en señales eléctricas.

También se puede considerar como transductores, aunque en un sentido inverso, los accionadores, es decir, aquellos dispositivos que transforman una señal eléctrica en una magnitud física de cualquier otro tipo (por ejemplo un motor), aunque esta consideración no está muy extendida.

Aunque algunos transductores transforman de forma directa la magnitud a medir en señal eléctrica (sondas de temperatura Pt 100, células fotovoltaicas, etc...), cuando ello no es posible se utiliza un elemento de accionamiento intermedio que posibilite la transformación de la medida registrada en la sonda, o elemento de captación de la señal, con el elemento que la convierte en señal eléctrica; por ejemplo, para medir una presión se puede utilizar una membrana,

cuya deformación se transmite por un accionador mecánico a un potenciómetro, que la transforma en señal eléctrica.

Así, el esquema general de la constitución de un transductor podría ser el siguiente:



Por otra parte, para el diseño de un equipo de medida es necesario tener en cuenta la naturaleza de los datos a medir, ya que éstos pueden ser, en cuanto a la forma de variación de los mismos:

- Datos estáticos: son aquellos que no están sometidos a fluctuaciones rápidas o discontinuidades.
- Datos dinámicos: son aquellos que varían continuamente en el tiempo, presentándose en el funcionamiento estable y continuo de los sistemas. Son, casi siempre, de naturaleza periódica. Dentro de este grupo se pueden incluir:
 - Datos transitorios: se caracterizan por la presencia de cambios bruscos, y a veces imprevisibles, de las magnitudes a medir.
 - Datos aleatorios: están sujetos a fluctuaciones no previsibles, y su análisis debe efectuarse, en general, con criterios estadísticos.

Según el tipo de señal eléctrica generada por los transductores, se pueden distinguir dos grandes grupos:

- Analógicos: comprende los transductores que generan una señal analógica.
- Digitales: comprende los transductores que generan una señal digital.

La evolución de la mayoría de las magnitudes físicas es de naturaleza analógica, y éste es el modo de funcionamiento de la práctica totalidad de transductores. Además, si se desea visualizar la evolución de la magnitud que estamos midiendo, ello se puede conseguir fácilmente a partir de una señal analógica.

No obstante, y a pesar de que la gran mayoría de transductores generan, originariamente una señal analógica, algunos de ellos convierten, bien en el mismo transductor, o bien en un equipo aparte, dicha señal analógica en digital. Esta conversión se utiliza cuando se desea eliminar la presencia de ruidos, interferencias, o distorsiones de la línea de transmisión entre el transductor y el equipo de medida; de forma particular cuando dicha transmisión se produce de forma hertziana, o la longitud de la línea es grande. La digitalización ofrece

también la posibilidad de almacenar la información, así como su tratamiento informatizado, con las consiguientes ventajas que ello conlleva.

De cualquier modo, si se utiliza señal digital, suele ser necesaria la transformación final de dicha señal en analógica para su posterior utilización.

El error producido en la medida tomada por cualquier transductor puede ser debido a multitud de causas, tales como errores de equipo, errores de interferencia, errores de instalación, etc.. Dado que la eliminación de estos errores no siempre es posible, lo que sí es deseable es su control y conocimiento con el fin de corregir el resultado final de la medida, lo que generalmente se puede conseguir mediante una adecuada utilización y calibración del equipo, conceptos que analizaremos más adelante.

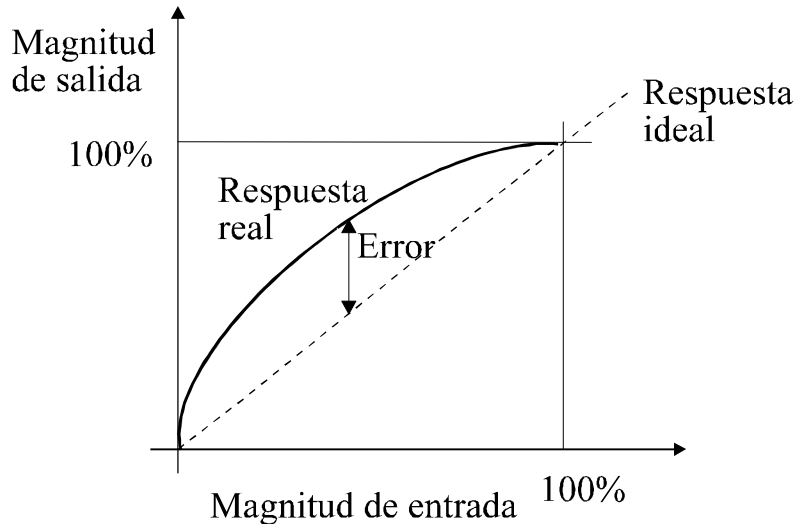
Finalmente, también es necesario mencionar que el propio proceso de medida introduce, siempre, una modificación de la magnitud que deseamos medir; piénsese, por ejemplo, que si instalamos un tacómetro para medir la velocidad angular de un eje que gira, el propio tacómetro modifica la velocidad de giro, por lo que la medida tomada no es la correcta. En general, hay que procurar que el proceso de medida influya lo menos posible sobre la magnitud que deseamos medir.

1.2.-CARACTERÍSTICAS DE LOS TRANSDUCTORES.

Cualquier aparato de medida se define por una serie de características que son totalmente aplicables a los transductores. Algunas de las características más importantes son las siguientes:

- Campo de medida: es el dominio de variación de la magnitud medida, en el cual se asegura la conversión con una precisión determinada, es decir, el rango de valores medibles con un mínimo de calidad.
- Curva de calibración: la corrección de los errores de equipo de un transductor se consigue mediante la calibración, operación mediante la cual se ajusta la salida U_S de un determinado equipo de captación o medida de modo que coincida lo mejor posible con una serie de medidas discretas proporcionadas por patrones correspondientes a la magnitud que se pretende medir (M_E). La curva de calibración representa la función teórica $U_S=f(M_E)$.

En la figura se representa una curva típica de calibración con una relación lineal entre las señales de entrada y salida, criterio general para casi todos los equipos. En él, los ajustes de error nulo se realizan en los puntos de cero y plena escala, aunque esta elección es arbitraria.

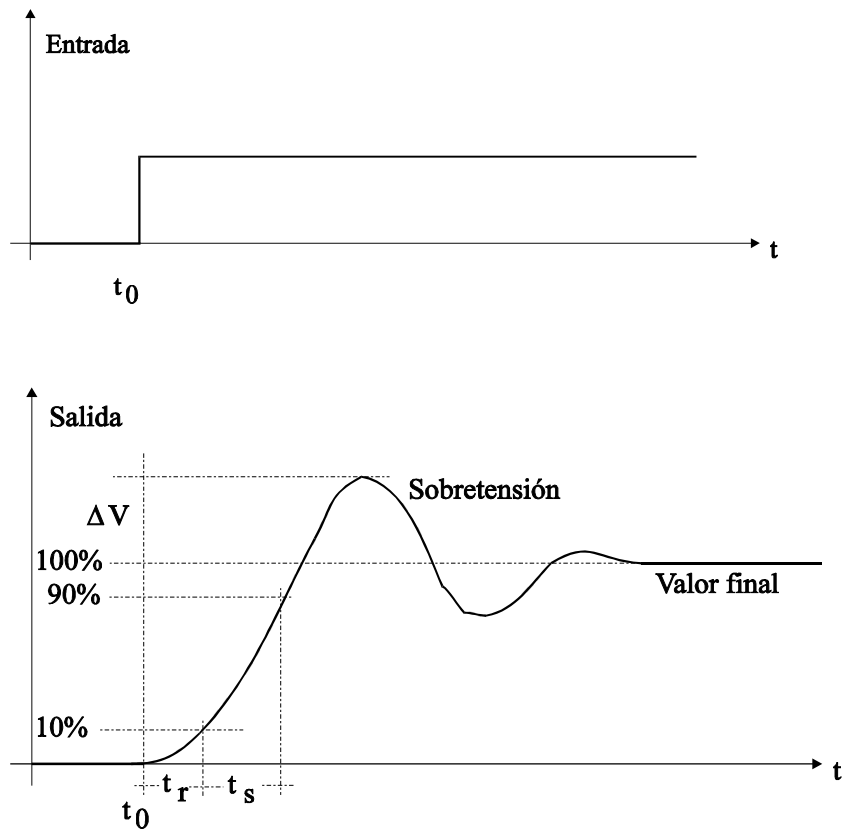


El error de linealidad se refiere al mayor o menor grado en que la respuesta real del equipo se aparta de la línea recta, y se suele expresar en un tanto por ciento del valor de plena escala.

- Sensibilidad (S): Es la derivada de la curva de calibración, y representa la variación producida en la señal de salida por un incremento elemental de la magnitud de entrada:

$$S = \frac{dU_s}{dM_e}$$

- Rapidez de respuesta: la rapidez de respuesta es un factor a tener muy en cuenta cuando se trata con magnitudes que pueden tener variaciones bruscas o muy rápidas. Si el sistema de medida no es capaz de seguir estas variaciones fielmente, la medida no será, obviamente, válida, y podrá tener no sólo un desfase en el tiempo, sino que la forma de la función de salida puede ser muy distinta a la forma de la función de entrada. Evidentemente, ningún transductor reacciona inmediatamente a la señal de entrada, y la forma típica de la salida de un transductor frente a una señal escalón como magnitud de entrada se puede ver en la figura siguiente:



A partir de esta figura se pueden definir los siguientes parámetros, que evalúan las características dinámicas del dispositivo de medida:

- Tiempo de retardo (t_r): es el tiempo transcurrido entre el instante de aplicación de la función escalón y el instante en que la magnitud de salida toma el 10% de su amplitud final.
 - Tiempo de subida/bajada (t_s/t_b): es el intervalo de tiempo comprendido entre los instantes en que la magnitud de salida toma niveles correspondientes al 10% y al 90% de su amplitud final (en valor absoluto).
 - Sobreoscilación (o sobretensión): es la diferencia entre el valor de pico de la magnitud de salida y la amplitud final, y suele expresarse como un porcentaje de esta magnitud.
- Resolución: Es la mínima variación de la magnitud de entrada que puede apreciarse en la salida del captador con una precisión determinada.

1.3-CLASIFICACIÓN DE LOS TRANSDUCTORES SEGÚN LOS PRINCIPIOS FÍSICOS UTILIZADOS.

Atendiendo a la naturaleza de la señal eléctrica producida por un transductor, y a los principios físicos utilizados, es posible agrupar los transductores según los siguientes criterios:

TRANSDUCTORES ANALÓGICOS DIRECTOS: Se conocen bajo esta denominación aquellos transductores en los que cualquier variación de la señal de entrada se traduce en una variación de la amplitud de la señal de salida. Dentro de este grupo se pueden distinguir los siguientes:

- Generadores: La señal de entrada genera una señal de salida. Ejemplos de este tipo son:
 - * Piezoeléctricos: la piezoelectricidad es una propiedad que tienen algunos materiales (como el cuarzo) por la cual se genera una d.d.p. entre dos puntos del material a partir de una deformación en el mismo. Esta propiedad es empleada en los equipos de ecografía para detectar las vibraciones de los ultrasonidos y poder, de este modo, generar imágenes a partir de las señales recibidas en un transductor.
 - * Fotoeléctricos: Son los que funcionan debido al efecto fotoeléctrico. Una onda luminosa genera una emisión de electrones en el material, y por tanto una d.d.p. Ejemplo de ello son los generadores fotovoltaicos.
 - * Termoeléctricos: En ellos, la unión de dos metales distintos genera una d.d.p. que depende de la temperatura a que se encuentra dicha unión. Dicha propiedad es empleada en la fabricación de sondas de temperatura.
 - * Magnetoeléctricos y electrodinámicos: Ambos se basan en los fenómenos de inducción electromagnética.
- De parámetro variable: La señal de entrada se traduce en la variación de algún parámetro, variación que es medida. Existen diversos tipos, según el parámetro que varía:
 - * De resistencia variable: El parámetro que varía es la resistencia de un circuito eléctrico, resistencia que se puede determinar fácilmente. Según cual sea la señal de entrada, existen varios tipos:
 - Potenciométricos: Un cursor desliza por la resistencia, de modo que según cual sea su posición, varía la resistencia. Estos dispositivos, llamados potenciómetros pueden ser tanto lineales como angulares.
 - Termorresistivos: Están constituidos por materiales cuya resistencia varía de forma notable con la temperatura. Si la resistencia está construida a base de materiales conductores, la resistencia aumenta con la temperatura, por lo que estas termoresistencias se denominan PTC (positive temperature coefficient). Un ejemplo de ellas son las Pt100, llamadas así porque están formadas a base de Platino, y a 0 °C presentan una resistencia de 100 Ω. Las PTC presentan un comportamiento lineal, al menos en un determinado rango de temperaturas, aunque son bastante lentas. En cambio, si la resistencia está construida a base de materiales semiconductores, su resistencia disminuye con

la temperatura, por lo que se denominan NTC (negative temperature coefficient). A diferencia de las PTC no son lineales, aunque son notablemente más rápidas en su tiempo de respuesta.

- Fotorresistivos: Se basan en la propiedad de los semiconductores por la cual su resistencia disminuye cuando sobre él incide un haz luminoso. Se les conoce como LDR, y son bastante lentas y no lineales.
 - Extensiométricos: Estos dispositivos, más conocidos como galgas extensiométricas, se basan en la propiedad de algunos materiales de variar su resistencia de forma notable cuando es deformado.
 - Electroquímicos: Corresponden a disoluciones cuya resistencia varía en función de su composición, por ejemplo el agua con sales disueltas.
- * De capacidad variable: El parámetro que varía es la capacidad de un condensador. Esta capacidad puede ser variada de distintas formas:
- De geometría variable: cuando se modifica la geometría del condensador (superficie de placas o separación entre ellas).
 - De dieléctrico variable: cuando lo que se modifica son las características del dieléctrico.
- * De inductancia variable: En ellos se varían parámetros de circuitos magnéticos.
- * De transformador variable: En ellos se hace variar el coeficiente de inducción mutua entre dos o más solenoides cambiando la cantidad del núcleo ferromagnético existente entre ambos. Según que se midan desplazamientos lineales o angulares, estos dispositivos se conocen como LVDT (linear variable differential transformer), o Selsyn.
- Especiales:
- * Fotoeléctricos activos. Están constituidos por fototransistores, en los que la corriente colector-emisor depende del nivel de iluminación recibida.
 - * De efecto Hall, y que se basan en este efecto.
 - * Otros captadores, como los radares, ultrasonidos, etc...

TRANSDUCTORES ANALÓGICOS INDIRECTOS: En ellos varía cualquier otro parámetro que no es la amplitud de la señal de salida. Pueden ser:

- Moduladores de frecuencia: Cuando la señal de entrada modifica la frecuencia de la señal de salida. Un ejemplo es el transductor de elemento vibrante, y que se basa en la propiedad de una cuerda de variar su frecuencia de vibración en función de la tensión a la que está sometida.
- Generadores de frecuencia: Cuando la señal de entrada genera una señal de salida de frecuencia variable. Ejemplos de ellos son:
 - * Electromagnéticos, donde un campo magnético induce una señal de frecuencia variable con el campo inductor, como sucede en los cuentakilómetros de bicicleta, donde un imán colocado en los radios de una de las ruedas induce una señal cada vez que pasa cerca de una bobina colocada en una de las horquillas. La frecuencia de la señal es proporcional a la velocidad del ciclista.
 - * Fotoeléctricos: se basan en el efecto de una barrera óptica en optoacopladores, de forma que cada vez que la barrera se

interpone entre el emisor de luz y el receptor, se genera una señal. Este mecanismo es el empleado por los ratones de ordenador para calcular la posición del puntero y su movimiento en la pantalla.

- Digitales: Son análogos a los fotoeléctricos, pero con la diferencia de que en vez de existir acoplamiento óptico entre emisor y receptor, ahora existe un simple contacto eléctrico entre dos conductores, contacto que puede ser regulado mediante una tarjeta con perforaciones. Pueden ser tanto lineales como angulares.

1.4-CLASIFICACIÓN DE LOS TRANSDUCTORES SEGÚN LOS TIPOS DE MEDIDAS A REALIZAR.

A partir de la tabla anterior, en función del tipo de medida que se desea realizar, se puede utilizar uno o varios tipos de transductores distintos. Hay que señalar que, en muchas ocasiones, cuando es posible la utilización de distintos fenómenos físicos para medir una magnitud, el campo de medida de la misma determina la utilización de un dispositivo u otro. En otras ocasiones, la sencillez del método o del equipo asociado al captador es lo que determina esta elección.

La descripción que se hace a continuación es tan sólo orientativa, y hay que tener en cuenta que la aplicación de un fenómeno físico para la medida de una determinada magnitud física es, en buena medida, un ejercicio de imaginación.

1.4.1-Transductores de posición y desplazamiento (lineal y angular).

Para medir posiciones ó desplazamientos, tanto lineales como angulares se pueden utilizar algunos de los dispositivos mencionados anteriormente:

- Extensiométricos y potenciométricos, tanto lineales como angulares.
- De transformador variable (LVDT y Selsyn), de inductancia variable, y de capacidad variable.
- Generadores de frecuencia (tanto electromagnéticos como fotoeléctricos), cuya resolución depende del número de divisiones de la corona giratoria o de la regleta. En el caso de los fotoeléctricos, una barrera óptica se intercala entre el fotoemisor y el receptor de luz, que emite un pulso cada vez que el haz de luz se interrumpe, pulsos que van a un contador, que conociendo la posición de partida puede saber la posición en cada momento y el ángulo o longitud recorrida.
- Codificadores digitales. Este tipo de dispositivos producen una señal digital de salida que refleja, de forma inequívoca, la posición del elemento cuya posición queremos conocer. Para ello, el elemento móvil del transductor tiene un código digital que es leído, traduciendo así su posición. Dicho código puede ser leído de distintas formas: ópticamente, eléctricamente, o cualquier otra.
- Otros, tales como el uso de radares, ultrasonidos, etc...

grande, y no altere las características del sistema que medimos. La deformación que se mide puede ser debida tanto a esfuerzos de tracción como de flexión o torsión.

Los elementos más comunes que se utilizan para medir la deformación son las galgas extensiométricas, ya que se adhieren a la pieza con un adhesivo y quedan sólidamente unidas a ellas, no teniendo partes móviles y siendo muy fáciles de manejar. Al aplicarles una determinada tensión fija, se mide la intensidad que circula por ellas, intensidad que es directamente proporcional a la resistencia y, por tanto, a la deformación. Para medir esta intensidad, dado que presenta variaciones pequeñas, suele ser preciso utilizar un amplificador.

El único problema que pueden presentar es el efecto que la temperatura tiene sobre la medida, ya que la temperatura afecta al valor de una resistencia. Para compensarlo, las galgas se montan formando parte de un puente de Wheatstone, de modo que el efecto de la temperatura no sólo afecte a la galga, sino también a otras resistencias, y la intensidad que las recorre no cambie.

- Transductores piezoeléctricos: en función de la fuerza aplicada al cristal varía la señal generada por el cristal.

1.4.4-Transductores de temperatura.

Para medir temperaturas se puede utilizar cualquiera de los elementos siguientes:

- Transductores termorresistivos, bien sean de elemento conductor (termorresistencias), cuya resistencia aumenta con la temperatura (PTC, PT100), o de elemento semiconductor (termistores), cuya resistencia disminuye con la temperatura (NTC). A pesar de que en todos estos elementos la resistencia no varía linealmente con la temperatura, en intervalos de temperatura restringidos sí que se puede considerar que dicha variación es lineal.
- Transductores generadores termoeléctricos (termopares).
- Otros.

En la tabla siguiente se puede ver el campo de aplicación de algunos de los sistemas de medida mencionados:

Temperatura (°C)	-272	-270	-250	-200	-100	0	200	1000	5000
Sonda Ni									
Sonda Pt									
Sonda Ge									
Termistores									
Termopar Cu-Ct									
Termopar Fe-Ct									
Termopar Cr-Al									
Termopar Pt-PtRd									
Diámetro									

1.4.5-Transductores acústicos.

Los transductores acústicos, o micrófonos, se basan siempre en el mismo principio; una membrana se utiliza como elemento de accionamiento intermedio, que transmite la presión producida por el sonido a un elemento que la transforma en señal eléctrica. Dicho elemento puede ser tanto un cristal piezoeléctrico, como una bobina móvil que genera una d.d.p. en otra bobina, ó la armadura de un condensador cuya capacidad se hace variar de este modo.

1.4.6-Transductores de iluminación.

Los transductores detectores de luz se basan en dispositivos tales como fotodiodos, fototransistores, fototiristores, o fotorresistencias.

BIBLIOGRAFIA:

- Sensores y acondicionadores de señal
R. Pallás Areny
Ed. Marcombo, Barcelona, 1998
- Instrumentación electrónica (captadores de señal)
J.M. Ferrero Corral
S.P.U.P.V., Valencia, 1986

EJERCICIOS LECCION 1: PRINCIPIOS FISICOS DE LOS CAPTADORES DE SEÑAL

1.1- Un reostato de longitud L y resistencia total R_0 se utiliza para construir un transductor de posición, queriéndose registrar la distancia del cursor al extremo del reostato unido a tierra. Para ello, se conecta el reostato a un generador de c.c. de f.e.m. constante ε , y se coloca un voltímetro entre el cursor del reostato, y su extremo unido a tierra. Calcular:

- 1) El campo de medida del transductor.
- 2) La ecuación de la curva de calibración, o ecuación que liga la tensión marcada por el voltímetro con la distancia entre el cursor y el extremo unido a tierra.
- 3) La sensibilidad del transductor.

Solución: 1): $V = \frac{\varepsilon}{L} x$ 2): $S_e = \frac{\varepsilon}{L}$

1.2- Para controlar el estado de llenado de un depósito en el que se almacena un material no conductor de permitividad dieléctrica relativa ε_r , se disponen dos placas conductoras de superficie S , enfrentadas entre ellas, y separadas una distancia d , formando un condensador plano. La altura de las placas es L , y en serie con el condensador se conectan un generador de corriente alterna de f.e.m. eficaz constante ε y pulsación ω , y un amperímetro, midiéndose la corriente en éste último, y relacionándola con el nivel de llenado del depósito. Calcular:

- 1) La ecuación que da el valor eficaz de la intensidad de corriente, en función de la altura que se ha llenado el depósito.
- 2) La sensibilidad de este sistema de medida.

Solución: 1) $I = \varepsilon\omega \frac{\varepsilon_0 S}{d} + \frac{\varepsilon_0 S}{Ld} (\varepsilon_r - 1)\varepsilon\omega x$ 2) $S_e = \frac{\varepsilon_0 S (\varepsilon_r - 1)\varepsilon\omega}{Ld}$