

Capítulo 3

MEDICIÓN DE NIVEL DE LÍQUIDOS

Algunas decisiones deben tomar en cuenta el conocimiento acerca de muchos procesos industriales, esto es un factor fundamental que rige la selección y la toma de decisiones bajo un enfoque de responsabilidad y costo humano-monetario.

En el mundo que se vive, no hay tiempo suficiente para reflexionar sobre el curso de acción a seguir cuando se esta en la disyuntiva de realizar una selección adecuada bien sea para generar un plan a futuro o simplemente continuar una política sobre un proceso en particular. En la práctica, resulta sumamente difícil dejar de un lado ciertas variables que rigen un proceso y las técnicas que pueden ayudar al momento de realizar una selección. Es por ello que el conocimiento previo del proceso y el principio de medición facilitan la evaluación y selección del instrumento tomando en cuenta las muchas técnicas de medición que existen para hacer de una u otra manera el proceso más robusto y manejable.

Las distintas técnicas de medición de nivel constituyen entre otras, una herramienta muy importante en la rama de la Instrumentación y el Control, ya que la importancia de ciertos factores como la seguridad de las instalaciones, el control de la calidad del producto, la optimización de los procesos, y la protección del ambiente, dependen de la calidad de la medición que se esté haciendo y por ende la responsabilidad que esto conlleva al momento de tomar una decisión. Por lo tanto, para realizar una acertada selección se debe tener un

sólido conocimiento del proceso así como de los principios de funcionamiento, aplicaciones, ventajas, y desventajas de los instrumentos a utilizar.

El instrumentista debe conocer de las diferentes técnicas de medición y los dispositivos de medición disponibles, para así poder realizar una selección e implementación del sistema en cuestión más acorde con la aplicación en particular.

Los dispositivos de medición de nivel trabajan midiendo: la altura de líquido sobre una línea de referencia, la presión hidrostática, el desplazamiento producido en un flotador por el propio líquido contenido en el tanque del proceso, aprovechando características eléctricas del líquido ó midiendo el tiempo que tarda una onda (sonido o radio) en regresar a un receptor.

3.1. DESCRIPCION Y OBJETIVOS DEL CAPITULO

En este capítulo se describen los transductores industriales más utilizados en la medición de Nivel de líquidos. Se comienza con el concepto de nivel, uso de unidades, clases de nivel, leyes asociadas a los cambios de nivel, aplicaciones. Se clasificaran los instrumentos medidores de nivel en métodos de medición directa e indirecta, se toma en cuenta si la medición es continua o puntual, si el tanque es abierto o cerrado y si el proceso de medición de nivel es para líquido o gránulos.

Entre los métodos de medición directa para nivel de líquidos se estudiarán los indicadores visuales y el instrumento de flotador. Entre los métodos de medición indirecta para nivel de líquidos se tomarán en cuenta efectos que cambian con el nivel del líquido tales como el empuje producido por el propio líquido, la presión hidrostática y características eléctricas del líquido. Todos estos métodos de medición serán estudiados y

presentados así: principio de funcionamiento, características, ventajas, desventajas y aplicaciones.

Al terminar de estudiar este capítulo se deberá ser capaz de:

- Definir nivel de líquidos.
- Usar correctamente las unidades de medición de nivel de líquidos.
- Listar las clases de nivel.
- Definir las leyes asociadas a los cambios de nivel de líquidos.
- Desarrollar una lista de aplicaciones de la medición de nivel de líquidos en el ámbito industrial.
- Listar y describir los dispositivos que usan los métodos de medición directa para nivel de líquidos.
- Lista y describir los dispositivos que usan los métodos de medición indirecta para nivel de líquidos.
- Elegir el transductor más apropiado para la medición de nivel de líquidos.
- Especificar el medidor de nivel de líquidos.

3.2. CONCEPTO DE NIVEL

La medición de nivel se define como la determinación de la posición de la interface entre dos medios. Estos son usualmente fluidos, pero pueden existir sólidos o combinación de ellos. La interface puede existir entre un líquido y un gas, un líquido y su vapor, dos líquidos, un sólido o sólido diluido y un gas.

3.3. UNIDADES DE NIVEL

La unidad normalizada de medición de nivel en el Sistema Internacional de Unidades es el metro, cuyo símbolo es m, sin embargo en la industria se utilizan otras unidades como: pie (ft), pulgada (in), centímetro (cm). En la Tabla 3.1 se muestran estas unidades con sus respectivos factores de conversión.

Tabla 3.1 Factores de conversión para las unidades de nivel.

	ft	in	m	cm
ft	1	12	0,3048	30,48
in	0,0833	1	0,0254	2,54
m	3,2808	39,37	1	100
cm	0,0328	0,3937	0,01	1

3.4. CLASES DE MEDICIÓN DE NIVEL DE LÍQUIDOS

La medición de nivel se justifica tanto en mediciones de procesos continuos como en mediciones puntuales tales como alarmas por alto o bajo nivel.

En procesos continuos se tiende al logro de una capacidad de almacenamiento menor, reduciendo el costo inicial del equipo y exigiendo la necesidad de un control preciso y sensible de nivel. La aplicación más frecuente de los detectores de nivel es la señalización de lleno y vacío. Para la medición continua se utilizan, entre otros, los principios: capacitivo, conductivo, vibratorio, a microondas, hidrostático, a ultrasonido y radiométrico, además, en la actualidad, para la investigación se utilizan los basados en elementos radioactivos.

En la medición de nivel hay que tomar en cuenta algunas propiedades del líquido tales como la viscosidad del fluido, temperatura, densidad, corrosión, gránulos etc. Para el tipo de medición y la calidad deseada se deben conocer las características del instrumento

como campo de medición, exactitud, repetibilidad, presurización o no del recipiente, mantenimiento, calibración costo entre otras. Todo esto trae como consecuencia que existan varias técnicas para la medición de nivel.

3.5. LEYES ASOCIADAS A LOS CAMBIOS DE NIVEL

En la medición de nivel hay que tomar en cuenta algunas propiedades del líquido tales como la viscosidad del fluido, temperatura, densidad, corrosión, gránulos etc., así como algunas principios que son de uso normal en este tipo de medición

3.5.1. Principio de Vasos Comunicantes

Cuando se ponen en comunicación dos depósitos que contienen un mismo líquido que inicialmente están a distinta altura, el nivel de uno de los depósitos baja, sube el del otro hasta que ambos se igualan. Los conductores se comportan de modo análogo: cuando dos conductores que están a distinto potencial se conectan entre sí, la carga pasa de uno a otro conductor hasta que los potenciales en ambos conductores se igualen.

Dos recipientes de secciones S_1 y S_2 están comunicados por un tubo de sección S inicialmente cerrado, Figura 3.1. Si las alturas iniciales de fluido en los recipientes h_{01} y h_{02} son distintas, al abrir el tubo de comunicación, el fluido pasa de un recipiente al otro hasta que las alturas h_1 y h_2 del fluido en los dos recipientes se igualan.

Si $h_{01} > h_{02}$, la altura h_1 del fluido en el primer recipiente disminuye y aumenta la altura h_2 en el segundo recipiente. La cantidad total de fluido no cambia, de modo que:

$$S_1 h_1 + S_2 h_2 = S_1 h_{01} + S_2 h_{02} = (S_1 + S_2) h_{eq}$$

donde:

S_1 y S_2 son las secciones transversales de los recipientes

h_{01} y h_{02} son el nivel inicial

h_{eq} es la altura final de equilibrio

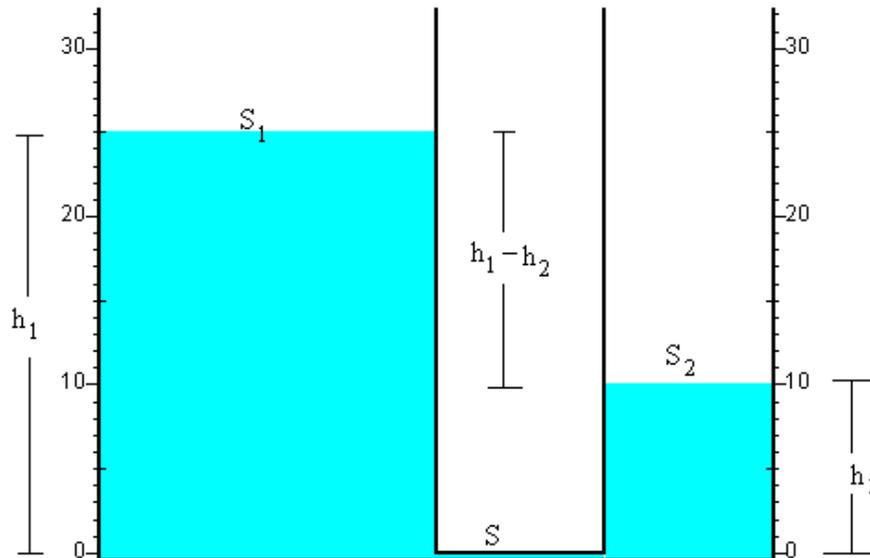


Figura 3.1. Principio de Vasos Comunicantes.

3.5.2. Principio de Arquímedes

El principio de Arquímedes afirma que todo cuerpo sumergido en un fluido experimenta un empuje vertical y hacia arriba igual al peso de fluido desalojado. La explicación de éste principio consta de dos partes como se indica en la figura 3.2:

1. El estudio de las fuerzas sobre una porción de fluido en equilibrio con el resto del fluido.
2. La sustitución de dicha porción de fluido por un cuerpo sólido de la misma forma y dimensiones.

Se considera un cuerpo totalmente sumergido en un fluido en reposo, Figura 3.2a. En este caso el fluido ejerce presión sobre todas las partes de la superficie del cuerpo en contacto con el fluido. Puesto que la presión varía con la profundidad la magnitud de la

fuerza que ejerce el fluido sobre la superficie de un cuerpo es mayor en las partes del cuerpo que se encuentran más profundas en el fluido.

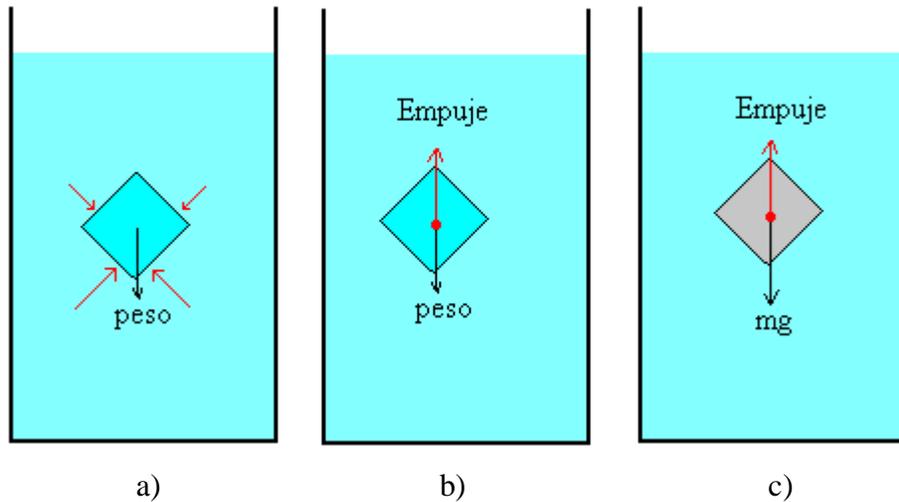


Figura 3.2. Principio de Arquímedes.

Se tiene por lo tanto que un cuerpo totalmente sumergido en un fluido experimenta una fuerza resultante ascendente, la cual se denomina "fuerza de empuje", Figura 3.2b. La presión en cada parte de la superficie del cuerpo no depende del material de que está hecho el cuerpo, por lo tanto se puede imaginariamente reemplazar el cuerpo por el mismo fluido que lo está rodeando, Figura 3.2c. Esta porción de fluido experimentará las mismas presiones que el cuerpo que estaba en ese espacio y estará en reposo. Por lo tanto la fuerza de empuje que actúa sobre esa porción de fluido será igual a su peso y actuará hacia arriba pasando por su centro de gravedad.

Se tiene por lo tanto que cualquier cuerpo sumergido totalmente en un fluido experimenta una fuerza de empuje igual al peso del fluido desalojado.

$$\text{Empuje} = \text{peso} = m \cdot g$$

donde: m es la masa del líquido desplazado y g es la aceleración de gravedad

Considerando que la densidad está dada por: $\rho=m/V$, se tiene que la fuerza de empuje estará dada por:

$$\text{Empuje}=\rho\cdot V\cdot g$$

donde: ρ es la densidad del líquido, V es volumen de flujo desalojado.

3.6. APLICACIONES DE LAS MEDICIONES DE NIVEL

Las técnicas utilizadas de medición de nivel están presentes en todos los campos entre los cuales se tienen: química, petroquímica, alimentación, cervecería, tratamiento de aguas blancas, tratamiento de aguas residuales, materiales para la construcción, rocas y minerales, centrales de energía, fabricación de papel, astilleros, industrias del automóvil y aeronáutica.

Las razones para medir el nivel de líquidos son muy diversas, por lo general, una o más de las que se describen a continuación constituyen el motivo para la medición (y frecuentemente, el control automático) del nivel de líquidos: Mantenimiento de condiciones seguras de operación, la optimización y control de procesos, el ámbito de la investigación y el desarrollo entre otros.

3.7. MÉTODOS DE MEDICIÓN DE NIVEL

Los métodos más utilizados en la industria para la medición de nivel de líquidos pueden ser clasificados en métodos de medición directa e indirecta.

Métodos Directos:

Los métodos de medición directa utilizan para la medición de nivel, la altura del líquido sobre una línea de referencia:

- Indicadores visuales:
 - ✓ Medidor de sonda:
 - Regla graduada.
 - Varilla con gancho.
 - Cinta métrica metálica graduada con plomada.
 - ✓ Indicador de cristal.
- Instrumentos de flotador.

Métodos Indirectos:

Los métodos de medición indirecta miden otros efectos que cambian con el nivel del líquido, entre ellos:

- El empuje producido por el propio líquido:
 - ✓ Medidores de desplazamiento:
 - Mecanismo de resorte.
 - Mecanismo con barra de torsión.
- La presión hidrostática:
 - ✓ Manométrico.
 - ✓ Caja de diafragma.
 - ✓ Trampa de aire.
 - ✓ Tipo burbujeo.
 - ✓ Presión diferencial.
- Las características eléctricas del líquido:
 - ✓ Capacitivo.

- ✓ Ultrasonido.
- ✓ Resistivo.
- ✓ Conductivo.
- ✓ Radiación.
- ✓ Radar.
- ✓ Láser.

Todos estos métodos de medición de nivel requieren que los líquidos sean homogéneos y con densidad constante. Los métodos de medición de nivel a estudiar son los más utilizados en la industria. Se analizarán las características de cada método así como sus ventajas y desventajas. Es importante señalar que los métodos mencionados en esta guía son para la medición de nivel de líquidos, es decir, no se refieren a la medición de nivel en sólidos.

3.7.1 Métodos de medición directa

Entre los métodos de medición directa se tienen los Indicadores visuales, los Indicadores de cristal y los instrumentos de flotador.

3.7.1.1. Indicadores Visuales

Los indicadores visuales, llamados también medidores de sonda permiten la observación directa de la altura de la superficie libre del líquido sobre una escala graduada apropiadamente.

3.7.1.1.1. Medidor de sonda

Los medidores de sonda más utilizados son: Regla graduada, Varilla con gancho y cinta métrica metálica graduada con plomada.

La regla graduada se inserta verticalmente hacia el fondo del tanque como se muestra en la Fig. 3.3a. El nivel se determina leyendo directamente la longitud de la regla mojada por el líquido. En el momento de realizar la medición, el tanque debe estar a presión atmosférica.

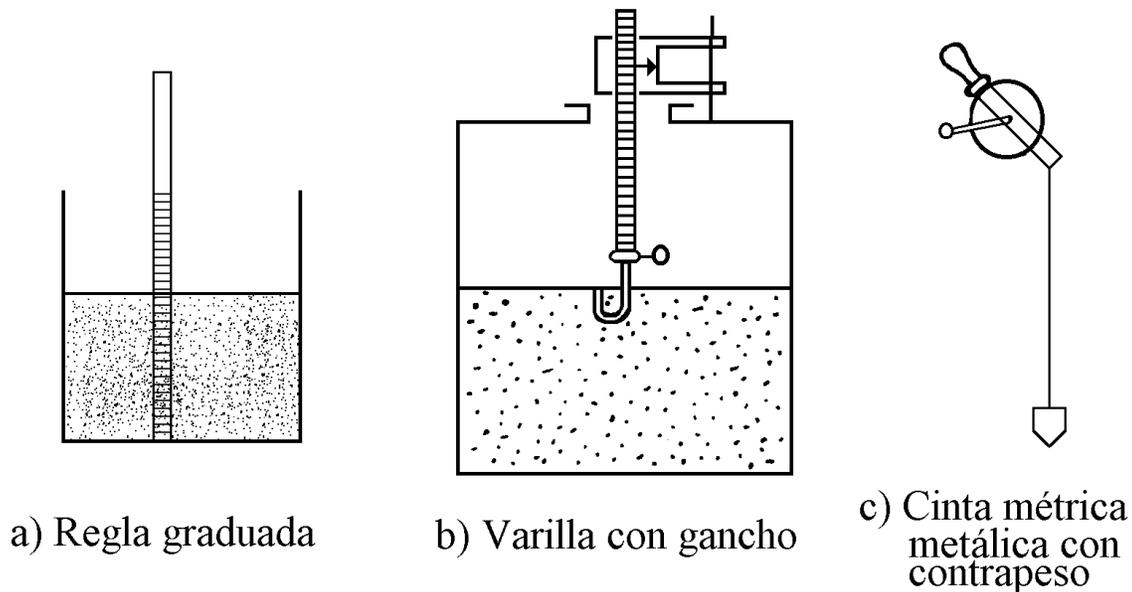


Fig. 3.3 Indicadores visuales.

La varilla con gancho se sumerge en el seno del líquido y se levanta después, hasta que el gancho rompe la superficie del líquido, Figura 3.3b. La distancia desde esta superficie hasta la parte superior del tanque representa indirectamente el nivel.

La **cinta métrica metálica graduada con plomada** se emplea cuando la regla graduada no tiene acceso al fondo del tanque. El instrumento está compuesto por tres partes principales: el carrete, la cinta graduada y un peso o plomada. La plomada sirve para que se mantenga la cinta tensa al penetrar en el líquido, Figura 3.3c.

Para medir el nivel, se deja que la cinta baje lentamente hasta que la plomada toque el fondo del recipiente. Una vez que la plomada toca el fondo se empieza a recoger la

cinta con el carrete, hasta que aparezca la parte donde el líquido ha dejado la marca que indica su nivel. Se usan cuando la regla graduada no tenga acceso al fondo del tanque.

Es un método muy seguro de medir el nivel de líquidos, pero tiene desventajas particulares, entre las cuales se pueden citar:

- El líquido debe dejar una línea nítida sobre la cinta.
- El líquido no debe emitir vapores dañinos para la salud.

3.7.1.1.1.1. Características generales del medidor de sonda

- Campo de medida limitado
- Buena exactitud: 0,5 mm fe
- Presión máxima: atmosférica
- Temperatura máxima de fluido: 60 °C

3.7.1.1.1.2. Ventajas del medidor de sonda

- Baratos.

3.7.1.1.1.3. Desventajas del medidor de sonda

- Son manuales.
- Se usan sin olas.
- Sólo para tanques abiertos.
- No para procesos continuos.

3.7.1.1.1.4. Aplicación del medidor de sonda

- Tanques abiertos.
- Medición de aceite.

- Medición de gasolina.
- Procesos granulosos.

3.7.1.1.2. Indicador de cristal

El funcionamiento del indicador de cristal se basa en el **principio de los vasos comunicantes**: con igual presión, el líquido del tanque sube en el tubo de vidrio hasta que ambos niveles sean iguales. Cuando el nivel varía en el tanque, varía también en el tubo de vidrio obteniéndose así una indicación real de nivel del proceso. En la Fig. 3.4 se representa este método de medición y se puede observar que sirve tanto para tanques abiertos como cerrados.

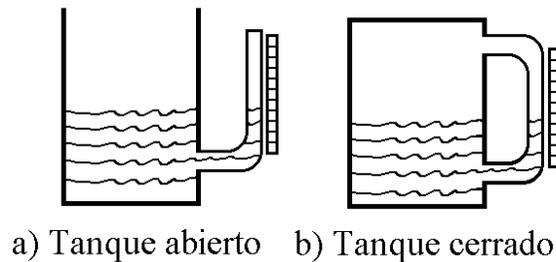


Fig. 3.4 Medidores de cristal.

Los indicadores de cristal se pueden clasificar para procesos de baja y alta presión. Los de baja presión consisten en un tubo de vidrio o plástico con sus extremos conectados a bloques metálicos y cerrados por prensaestopas que están unidas al tanque generalmente mediante tres válvulas, dos de cierre de seguridad en los extremos del tubo para impedir el escape del líquido en caso de rotura del cristal y una de purga, Fig. 3.5a.

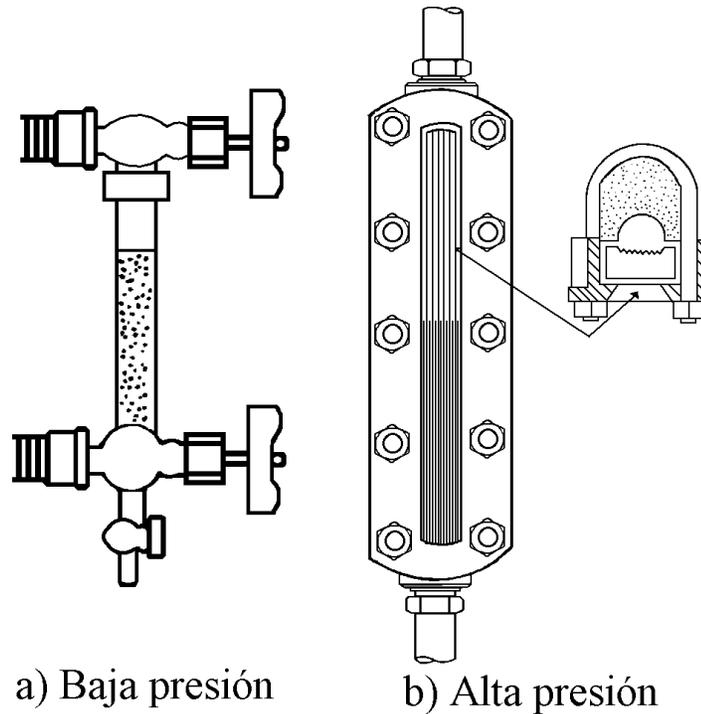


Fig. 3.5 Medidores de cristal.

La longitud del tubo está limitada a 70 in (1,78 m) y tiene una presión hasta de 101,5 psi. A menor longitud, se puede incrementar el rango de presión. A presiones más elevadas, el cristal es plano, grueso, de sección rectangular y está protegido por una armadura metálica, Fig. 3.5b. La longitud de estos indicadores oscila entre pocas pulgadas a 8 ft (2,5 m).

3.7.1.1.2.1. Características del indicador de cristal

- Exactitud: 0,5 mm fe
- Temperatura máxima de fluido: 200 °C
- Presión: hasta 7 bar (700 000 Pa) para baja presión
- Longitud:

- ✓ Hasta 1,78 m para baja presión
- ✓ Hasta 2,5 m para alta presión

3.7.1.1.2.2. Ventajas del indicador de cristal

- Económico.
- Seguridad en la lectura del nivel del líquido.
- Preciso.

3.7.1.1.2.3. Desventajas del indicador de cristal

- Manipular con cuidado para evitar roturas.
- No para control directo.
- Campo de medida limitado.
- Indicación local.
- Susceptibles de ensuciarse por las características del líquido.

3.7.1.1.2.4. Aplicaciones del indicador de cristal

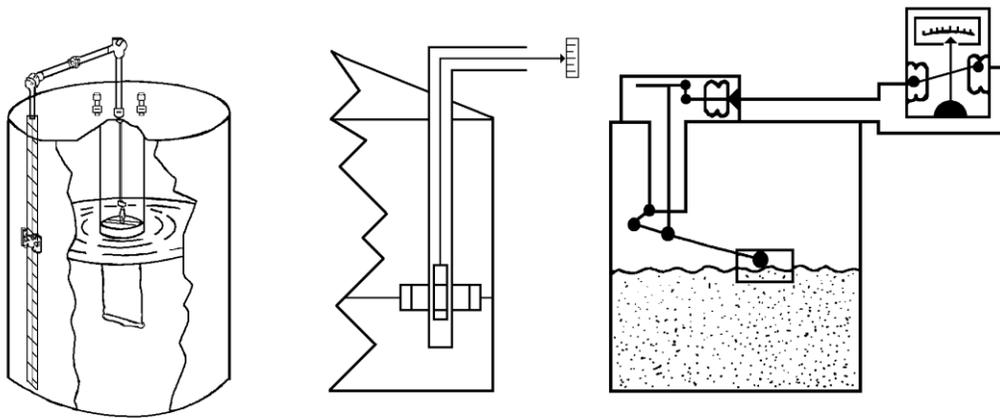
- Medición de líquidos.
- Lecturas periódicas de nivel.
- Tanques abiertos.
- Tanques cerrados:
 - ✓ Hervidores.
 - ✓ Evaporadores.
 - ✓ Condensadores.
 - ✓ Columnas de destilación.

3.7.1.2. Instrumentos de flotador

Se sumerge un flotador en el seno del líquido, el cual se mueve hacia arriba y hacia abajo con los cambios en el nivel, este movimiento del flotador puede ser transformado por diversos medios, en el exterior del tanque, en una acción de indicación, registro o control. El flotador se debe construir de tal manera que flote dentro del material. Esto significa que la densidad del flotador debe ser inferior al del material que lo sostiene.

La conexión puede ser:

- ✓ Directa: Flotador con cinta o cadena.
- ✓ Magnética.
- ✓ Hidráulica: Flotador acoplado hidráulicamente.



a) Conexión directa b) Conexión magnética c) Conexión hidráulica

Fig. 3.6 Instrumentos de Flotador.

El flotador con cinta o cadena, Figura 3.6a, se utiliza cuando el nivel del recipiente se desea indicar localmente sobre una escala. Está compuesto por un flotador, un cable, poleas, una escala y un indicador. El flotador está conectado por medio de un cable, a través de un sistema de poleas, a un peso con una aguja indicadora, la cual indicará sobre

una escala previamente calibrada el nivel del recipiente. Es de hacer notar que la indicación es inversa, es decir, si el recipiente está lleno el indicador estará en la parte más baja de la escala y si está vacío, en la parte más alta. Se usan en tanques generalmente cerrados a presión atmosférica y para mediciones de nivel en un río con la finalidad de obtener el flujo del mismo.

Flotador acoplado magnéticamente, Figura 3.6b. El flotador (imán) desliza exteriormente a lo largo de un tubo guía sellado, situado verticalmente en el interior del tanque. Dentro del tubo, una pieza magnética sigue al flotador en su movimiento y mediante un cable y un juego de poleas arrastra el índice de un instrumento situado en la parte superior del tanque. El instrumento puede además ser transmisor neumático o eléctrico. Se usan en control de nivel de calderas de pequeña capacidad de producción de vapor.

Flotador acoplado hidráulicamente, Figura 3.6c. El movimiento del flotador actúa sobre un fuelle de tal modo que, varía la presión de un circuito hidráulico y señala a distancia en el receptor el nivel correspondiente. Se usa en aplicaciones bajo presión y tiene la facilidad del control directo del proceso de ser necesario.

3.7.1.2.1. Características generales de los instrumentos de flotador

- El flotador puede tener formas muy variadas y estar formado por materiales muy diversos según sea el tipo de fluido
- Campo de medida de (0 a 10) m
- Exactitud: $\pm 0,25$ in
- Precisión: $\pm 0,5$ %

- Presión máxima: 5 000 psi(g)
- Temperatura máxima de fluido: 530 °C

3.7.1.2.2. Ventajas de los instrumentos de flotador

- Instalación sencilla.
- Método de medición probado y confiable.
- Permite medición continua.
- Turbulencias y espuma en la superficie del líquido no afectan de manera significativa la medición.

3.7.1.2.3. Desventajas de los instrumentos de flotador

- La medición puede ser afectada por depósitos de materiales sobre el flotador.
- Los tubos guías muy largos pueden dañarse ante olas bruscas en la superficie del líquido o ante la caída violenta del líquido en el tanque.
- No son adecuados para aplicaciones de líquidos viscosos.
- Las partes móviles están sujetas a desgaste requiriendo mantenimiento frecuente.
- La medición es afectada por los cambios en la gravedad específica del fluido.

3.7.1.2.4. Aplicaciones de los instrumentos de flotador

- Tanques abiertos.
- Tanques cerrados a presión o al vacío.

3.7.2 MÉTODOS DE MEDICIÓN INDIRECTA

Entre los métodos de medición indirecta para la medición de nivel de líquidos se tienen los que aprovechan el empuje producido por el propio líquido, la presión hidrostática y los que aprovechan las características del líquido.

3.7.2.1. Medidores que aprovechan el empuje producido por el propio líquido para la medición de nivel

El funcionamiento del medidor tipo desplazamiento, está basado en el **Principio de Arquímedes**, el cual establece que un cuerpo (flotador) sumergido en un líquido es empujado hacia arriba por una fuerza que es igual al peso del líquido desplazado. La ecuación utilizada para determinar la fuerza de flotación disponible es:

$$F = V \cdot s \quad (3.1)$$

donde:

F = Fuerza de flotación

V = Volumen del flotador

s = Gravedad específica del líquido

La fuerza que actúa sobre el área (presión) del cuerpo sumergido crea la fuerza llamada flotabilidad, la cual permite a un cuerpo cuya densidad media sea inferior a la de un líquido, flotar parcialmente sumergido en la superficie libre del líquido. Un cuerpo al flotar pierde un peso equivalente al peso del volumen de líquido desplazado.

Para relacionar la pérdida de peso de un cuerpo con el nivel de líquido en un recipiente, normalmente se utilizan dos mecanismos:

- ✓ Mecanismo de resorte.
- ✓ Mecanismo con barra de torsión.

3.7.2.1.1. Mecanismo de resorte

El mecanismo de resorte consiste de un flotador (cuerpo) parcialmente sumergido en el líquido y conectado a un resorte, Fig. 3.7. A medida que el flotador pierde peso, la fuerza ejercida sobre el resorte disminuye haciendo que éste se mueva. Este movimiento se utiliza para producir una señal proporcional al nivel o para activar un interruptor.

La fuerza de empuje ejercida sobre el flotador viene dada por la Ec. (3.1).

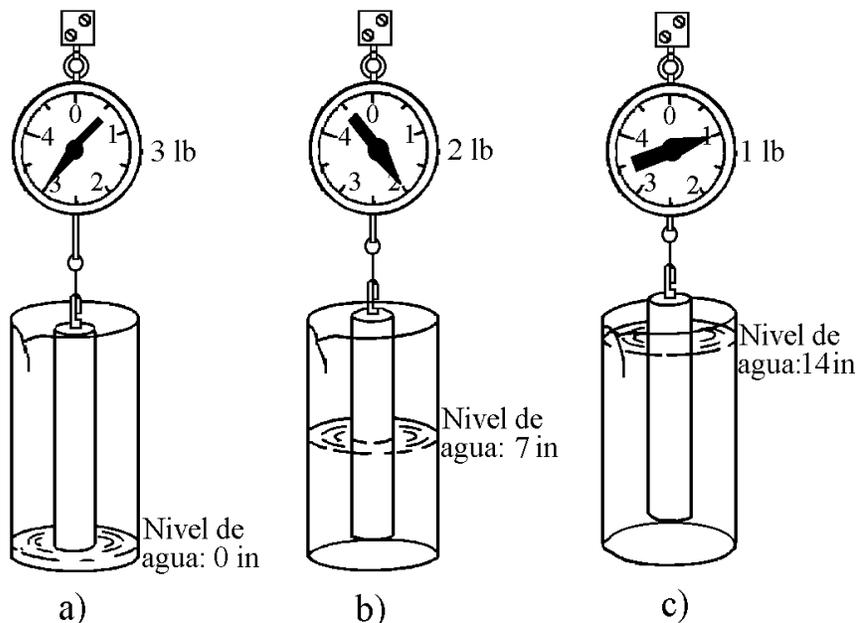


Fig. 3.7 Medidor tipo desplazamiento de mecanismo de resorte.

Este tipo de medidor es muy utilizado en la industria, por lo que para ilustrar este tipo de medición, se realizaran algunos ejemplos de aplicación, con referencia a la Fig. 3.7.

Ejemplo #1: Un flotador sumergido en agua tiene una longitud de 14 in y un diámetro de 2,25 in. El peso del flotador en el aire es de 3 lb. Sabiendo que un galón de

agua pesa 8,33 lb y que el volumen de un galón es igual a 231 in³. Calcular el peso del flotador cuando está sumergido 100 % en el agua, Fig. 3.7c.

Solución:

$$(1) \quad \textit{Peso sumergido en el agua} = \textit{peso en el aire} - \textit{peso perdido}$$

$$(2) \quad \textit{Peso perdido} = \textit{peso del volumen del líquido desplazado}$$

→ Volumen del líquido desplazado:

$$V = (\pi D^2/4)L \tag{3.2}$$

donde: $\pi = 3,14$.

D = Diámetro del flotador

L = Longitud del flotador

$$\text{luego: } V = (\pi \cdot (2,25)^2/4) \cdot 14 = 55,63 \text{ in}^3$$

→ Peso del volumen desplazado:

Si 231 in³ pesan 8,33 lb, cuánto pesan 55,63 in³?

$$X = (55,63/231) \text{ gal} \cdot 8,33 \text{ lb/gal} = 2 \text{ lb}$$

Luego el peso del volumen desplazado es: 2 lb = peso perdido.

Entonces de (1), el peso neto del flotador sumergido 100 % en el agua será el peso en aire 3 lb menos el peso perdido 2 lb, es decir, 1 lb (0,45 kg).

** Haciendo el mismo procedimiento se obtiene que cuando el flotador está sumergido a la mitad (50 %) pierde un peso de 1 lb y su peso neto es de 2 lb (0,90 kg), Fig. 3.7b.

Ejemplo #2: Si el flotador del ejemplo anterior es sumergido en un líquido con una gravedad específica de 0,5. Calcular el peso del flotador cuando está sumergido 100%.

Solución:

→ Volumen de líquido desplazado es el mismo: $55,63 \text{ in}^3$.

→ Peso del volumen líquido desplazado es = Peso perdido del flotador.

Si 231 in^3 pesan $8,33 \text{ lb}\cdot\text{s}$, cuánto pesan $55,63 \text{ in}^3$?

$$X = (55,63/231) \cdot 8,33 \cdot \text{s} = 1 \text{ lb}$$

Entonces, el peso neto del flotador sumergido 100 % en el líquido es: $3 \text{ lb} - 1 \text{ lb} = 2 \text{ lb}$ ($0,90 \text{ kg}$).

Se concluye que, el peso que pierde el flotador es directamente proporcional a la gravedad específica del líquido en el cual está sumergido.

Ejemplo #3: Se tiene un flotador de otro material, en las mismas condiciones que el ejemplo 1, y de una longitud de 14 in y un diámetro de $1,125 \text{ in}$. Calcular el peso del flotador cuando está sumergido 100 % en el agua.

Solución:

→ Volumen del líquido desplazado es:

$$V = (\pi \cdot (1,125)^2 / 4) \cdot 14 = 13,91 \text{ in}^3$$

→ Peso del volumen desplazado es:

$$(13,91/231) \cdot 8,33 = 0,50 \text{ lb} = \text{Peso perdido del flotador.}$$

Entonces, el peso neto del flotador sumergido 100 % en el agua es: $3 \text{ lb} - 0.50 = 2,5$ lb.

Se concluye que, para un flotador de igual peso perdido y diferente volumen, el peso del flotador cambiara en el mismo sentido que el volumen.

3.7.2.1.2. Mecanismo con barra de torsión

El mecanismo con barra de torsión consiste de un flotador parcialmente sumergido en el líquido y conectado mediante una palanca a un tubo de torsión unido rígidamente al tanque como se muestra en la Fig. 3.8. Dentro del tubo y unido a su extremo libre se encuentra una varilla que transmite el movimiento de giro a un indicador o un transmisor.

El tubo de torsión se caracteriza fundamentalmente porque el ángulo de rotación de su extremo libre es directamente proporcional a la fuerza aplicada, es decir, al momento ejercido por el flotador. El movimiento angular del extremo libre del tubo de torsión es muy pequeño, del orden de los 9° .

El medidor puede estar montado directamente en el tanque (montaje interno, Fig. 3.8a) o en un tubo vertical al lado del tanque conectado con él, tanto abajo como arriba del nivel del líquido, formando vasos comunicantes (montaje externo, Fig. 3.8b), quedando el líquido en ambos siempre al mismo nivel.

Al disminuir el nivel del líquido en el tanque, aumenta el peso del flotador, aumenta la torsión del tubo y aumenta el movimiento angular del indicador. Este movimiento disminuye al aumentar el nivel del líquido pudiéndose de esta forma graduar el movimiento angular en unidades de nivel.

Cuando este tipo de medidor se usa para medir la densidad del líquido, el flotador debe estar totalmente sumergido.

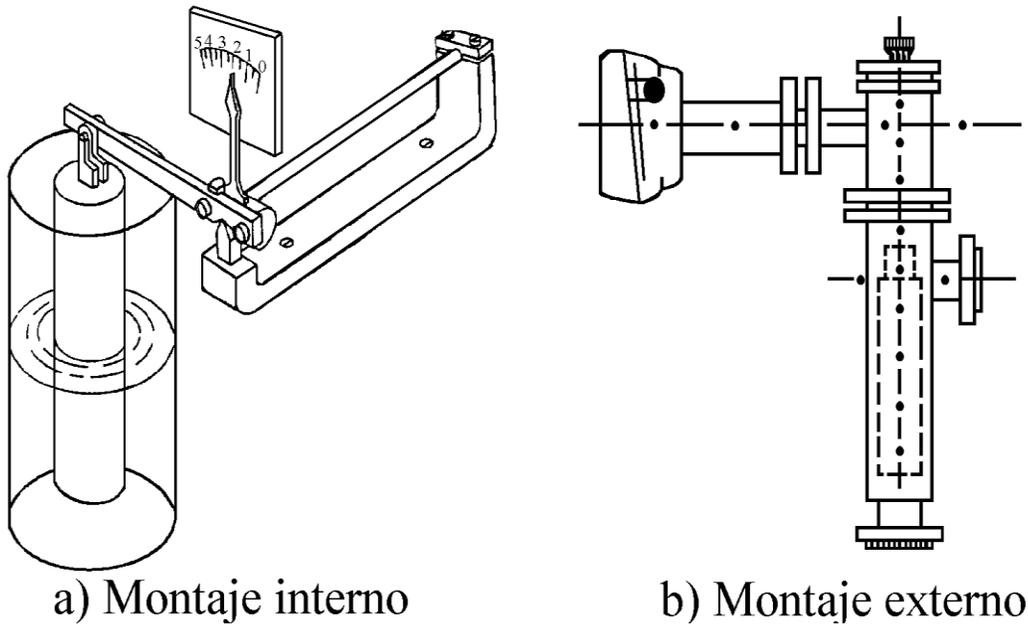


Fig. 3.8 Montajes del medidor tipo desplazamiento de mecanismo con barra de torsión

El instrumento puede utilizarse también en la medida de interface entre dos líquidos inmiscibles de distinta densidad, por ejemplo: agua y aceite. En este caso el flotador debe ser de diámetro pequeño y de gran longitud y estar totalmente sumergido, Fig 3.9.

El peso del volumen desplazado por el flotador, es decir, el empuje, se compone de dos partes, del líquido más denso en la parte inferior y del menos denso en la superior, con una línea de separación (interface) de la que depende el par de torsión proporcionado al transmisor exterior.

De la Fig. 3.9 se tiene que el empuje del líquido hacia arriba es:

$$F = V_1 \cdot s_1 + V_2 \cdot s_2$$

Si :

$$V_1 = A \cdot x \quad \text{y} \quad V_2 = A \cdot (l - x)$$

entonces:

$$F = A \cdot x \cdot s_1 + A \cdot (l - x) \cdot s_2 \quad (3.3)$$

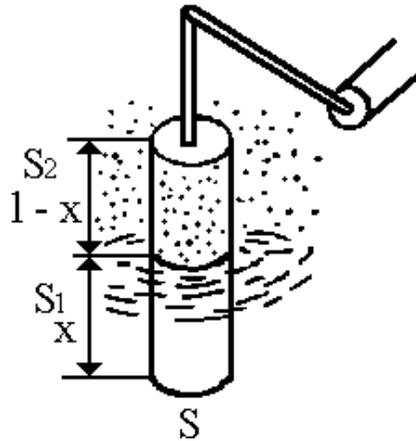


Fig. 3.9 Interface en el medidor de desplazamiento con barra de torsión.

donde: V_1 = volumen del flotador inmerso en el líquido más denso.

V_2 = volumen del flotador inmerso en el líquido menos denso.

A = Área del flotador.

x = Zona del flotador inmersa en el líquido de mayor densidad.

l = Longitud total del flotador.

s_1 y s_2 = Gravedades específicas de los líquidos.

Se observa que el empuje depende del nivel relativo de la separación de los dos líquidos y que la amplitud de la medida está determinada por la diferencia entre las gravedades específicas de los líquidos:

$$F_{m\acute{a}x} - F_{m\acute{i}n} = A \cdot l \cdot s_1 - A \cdot l \cdot s_2 = A \cdot l \cdot (s_1 - s_2) \quad (3.4)$$

La longitud y diámetro del flotador dependerán de la amplitud de medición seleccionada.

Ejemplo #4: Se tiene un flotador con una longitud de 14 in y un diámetro de 2,25 in, se usará para medir la interface entre un hidrocarburo líquido y agua. La gravedad específica del hidrocarburo (s_2) es 0,8 y la del agua (s_1) es 1,0. El flotador completamente inmerso en el hidrocarburo pesa 1,4 lb y en el aire 3 lb. Calcular el peso del flotador cuando está sumergido 40 % en el agua.

Solución:

** Peso sumergido en el agua = peso en el aire – (peso perdido en agua + peso perdido en hidrocarburo)*

→ Volumen del líquido desplazado es:

En agua: $V_{agua} = (\pi D^2/4) L_{agua} = 22,26 \text{ in}^3$

En hidrocarburo: $V_{hidro} = (\pi D^2/4) L_{hidro} = 33,399 \text{ in}^3$

Donde: $L_{agua} = 5,6$ y $L_{hidro} = 8,4$

→ Peso del volumen líquido desplazado = peso perdido:

Del agua: $(V_{agua}/231) \cdot 8,33 \cdot s_1 = 0.802 \text{ lb.}$

Del hidrocarburo: $(V_{hidro}/231) \cdot 8,33 \cdot s_2 = 0.963 \text{ lb.}$

Entonces, el peso sumergido 40 % en el agua = $3 \text{ lb} - (0.802 \text{ lb} + 0.963 \text{ lb}) = 1.233 \text{ lb.}$

3.7.2.1.3. Características generales del medidor de desplazamiento

- Campo de medición: (0 a 984,25) in (0 a 24,99) m

- Exactitud: $\pm 0,25$ in ($6,35 \times 10^{-3}$ m)
- Presión máxima: 5 000 psi(g) ($3,448 \times 10^7$ Pa)
- Temperatura máxima: 540 °C
- Longitud estándar del flotador: (11,8 a 118) in (0,3 a 3) m
- Intervalo de medida puede variar de (0 a 300) mm cda a (0 a 2 000) mm cda
- Campo de medición de densidades es bastante amplio: (0,4 a 1,6)

3.7.2.1.4. Ventajas del medidor de desplazamiento

- Instalación sencilla.
- De fácil limpieza.
- Principio de operación confiable y probado.
- Medición continua.
- No lo afecta la turbulencia ni la espuma.
- Robustos.
- Miden interfaces.
- Buena sensibilidad.

3.7.2.1.5. Desventajas del medidor de desplazamiento

- Calibración ajustable en campo.
- Partes móviles sujetas a desgaste.
- El depósito de sólidos o el crecimiento de cristales en el flotador afectan la exactitud de la medición.
- Es apto para la medición de pequeñas diferencias de nivel (2 000 mm máx. estándar).

- La medición de nivel de interface requiere flotadores largos.
- No para líquidos viscosos.
- La medición es afectada por los cambios en la gravedad específica del fluido.

3.7.2.1.6. Aplicaciones del medidor de desplazamiento

- Tanques abiertos y cerrados o al vacío.
- Para producir una señal neumática para control.
- Para producir una señal eléctrica para ser usada en la operación de una válvula de control, un indicador o graficador localizado remoto al punto de medición.
- Medición de nivel de líquidos de gravedad específica constante.
- Medición de interface líquido - líquido.
- Control de bombas.
- Interruptores para señal de alarma.

3.7.2.2. Medidores que aprovechan la presión hidrostática para la medición de nivel

El nivel de un tanque abierto se puede medir por medio de la presión en un punto del fondo del tanque, ya que ésta es proporcional a la altura del líquido en ese punto y su peso específico, presión hidrostática (estudio de fluidos en reposo) ó cabezal estático, tal como se estudió al comienzo del capítulo 2 relacionado con medición de presión.

Existen varios tipos de medidores de nivel que trabajan u operan bajo este principio, de los cuales los más comunes son:

- ✓ Manométricos.

- ✓ De caja de diafragma.
- ✓ Trampa de aire.
- ✓ Tipo burbujeo.
- ✓ Presión diferencial.

3.7.2.2.1. Medidor manométrico

En este tipo de medidor se conecta un manómetro en la línea de descarga de un tanque de almacenamiento, Fig. 3.10, en la cual se pueden observar varios accesorios como son una válvula de cierre para mantenimiento, y un pote de decantación con una válvula de purga. La lectura del manómetro se puede calibrar para medir directamente nivel, teniendo en cuenta la densidad del líquido almacenado utilizando la ecuación de presión hidrostática, Ec (3.5).

$$P = h \cdot (l) \cdot s = h \cdot s \quad (3.5)$$

donde:

P = Presión

h = Altura del nivel del líquido

s = Gravedad específica

l = Presión causada por un 1 cm cda

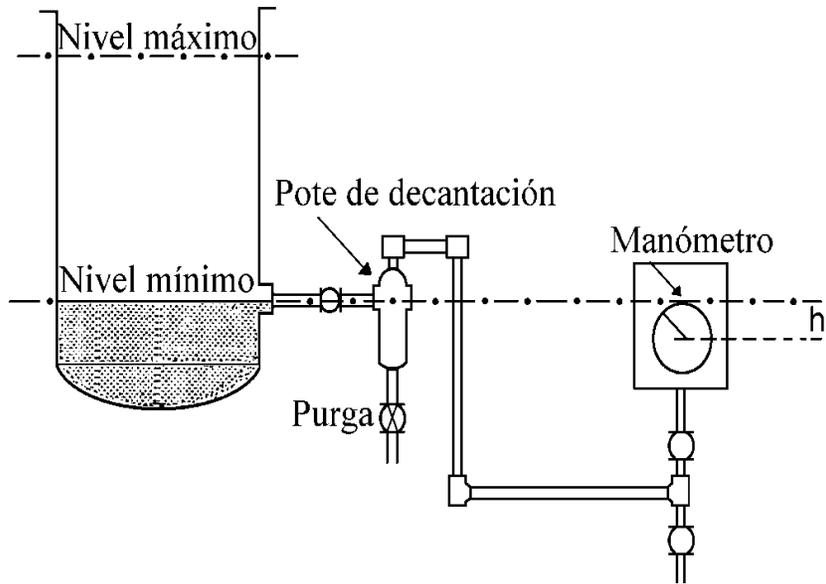


Fig. 3.10 Medidor manométrico.

Se asume que la gravedad específica del líquido es constante, sin embargo, las variaciones en la temperatura pueden afectar considerablemente la densidad del líquido introduciendo error en la medición.

3.7.2.2.1.1. Características

- Exactitud: $\pm 1\%$ fe
- Presión máxima: Atmosférica
- Temperatura máxima del fluido: $60\text{ }^{\circ}\text{C}$

3.7.2.2.1.2. Ventajas

- Económico

3.7.2.2.1.3. Desventajas

- Su campo de medida está limitado por la altura del tanque.
- Sólo sirve para fluidos limpios.

- En caso de mediciones de nivel con líquidos corrosivos o viscosos, es necesario colocarle al manómetro un equipo de sello para aislar al instrumento del fluido.

3.7.2.2.1.4. Aplicaciones

- Tanques abiertos y cerrados a presión atmosférica.

3.7.2.2.2. Medidor de caja de diafragma

El medidor de caja de diafragma, Fig. 3.11, es otro tipo de medición de nivel en tanques abiertos que utiliza el principio de presión hidrostática. El sistema utiliza una membrana conectada con un tubo al instrumento receptor. El sistema se llena de aire a presión atmosférica antes de ser instalado. El aire atrapado dentro del sistema cerrado se comprime cuando el nivel sube debido a que la presión hidrostática aumenta en el fondo del recipiente, trayendo como consecuencia un empuje sobre el diafragma. Este aumento de presión es detectado por el indicador, el cual indicará, sobre una escala previamente calibrada, el nivel existente en el recipiente.

Las cajas de diafragma pueden ser abiertas, Fig. 3.11a, o cerradas, Fig. 3.11b.

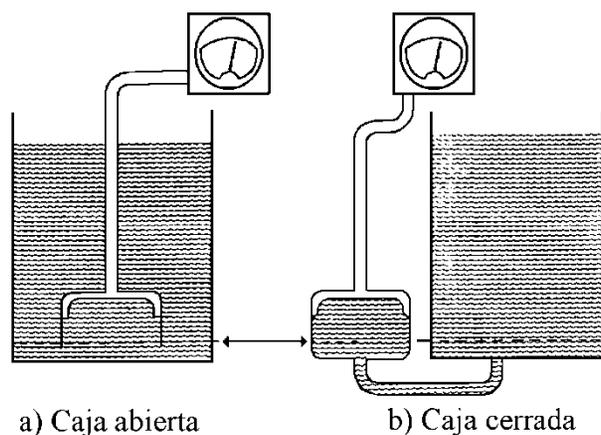


Fig. 3.11 Medidores de caja de diafragma.

La caja abierta se usa para fluidos no corrosivos bajo condiciones que permitan colocar la caja dentro del tanque al nivel mínimo. La caja cerrada se usa cuando el líquido no es corrosivo y las condiciones no permiten su instalación dentro del tanque. Este último caso es posible utilizarlo para líquidos corrosivos aislando apropiadamente la caja.

3.7.2.2.2.1. Características

- Exactitud: $\pm 1 \%$
- Precisión: $\pm 1 \%$ fe
- Presión máxima: Atmosférica
- Temperatura máxima del fluido: $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$

3.7.2.2.2.2. Ventajas

- Económicos.

3.7.2.2.2.3. Desventajas

- Su campo de medida está limitado por la altura del tanque.
- Cualquier pequeña fuga de aire destruye la calibración del instrumento.
- El volumen de aire interno es relativamente grande, por lo cual está limitado a distancias no mayores de unos 15 m debido a la compresibilidad del aire.

3.7.2.2.3. Sistema de trampa de aire

El sistema de trampa de aire es muy similar al de la caja de diafragma, excepto que no se usa diafragma, Fig. 3.12. El medidor de presión opera por la presión de aire atrapado. Existe la posibilidad de pérdidas pequeñas de este aire, por lo que se debe proveer una toma auxiliar para recuperar el aire perdido cuando sea necesario.

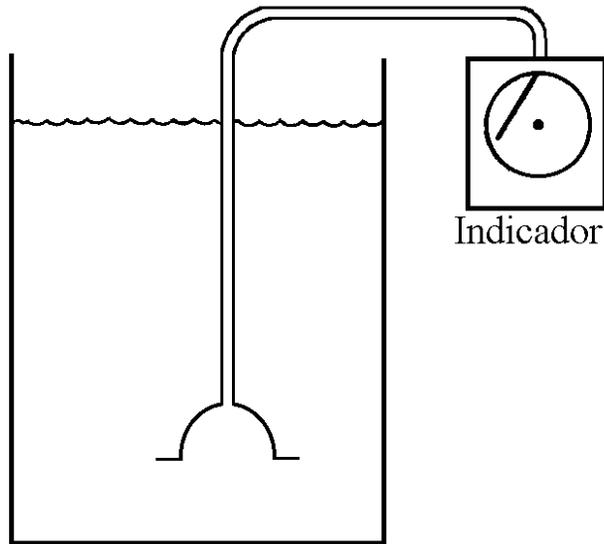


Fig. 3.12 Medidor de trampa de aire.

3.7.2.2.4. Medidor tipo burbujeo

El sistema de burbujeo de aire, está formado por un suministro continuo de aire, un regulador, un indicador visual de flujo y un indicador de nivel. Fig. 3.13.

Consiste en introducir un tubo dentro del tanque y luego aire a presión la cual se regula a un valor ligeramente superior a la presión hidrostática ejercida por la columna de líquido en el tanque al nivel máximo.

Cuando se va a realizar una medición de nivel, el aire de alimentación se ajusta de modo que la presión sea ligeramente superior que la presión ejercida por la columna de líquido. Esto se consigue regulando la presión del aire hasta que se observan burbujas saliendo del extremo de la tubería colocada dentro del recipiente.

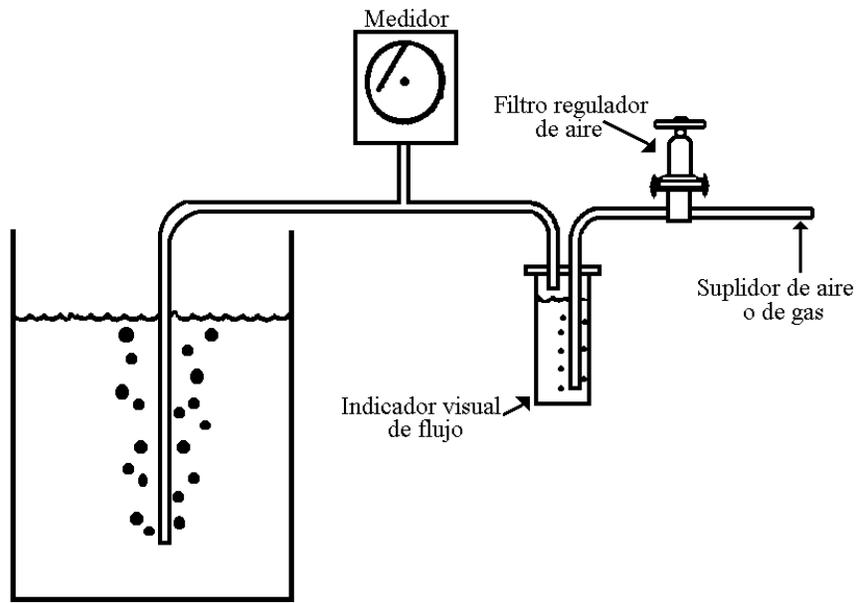


Fig. 3.13 Medidor tipo burbujeo.

Debido a que puede ser que no sea conveniente la inspección visual para detectar la presencia de burbujas, se instala en la línea de acceso de aire, un indicador visual de flujo, el cual es normalmente un rotámetro.

La importancia de mantener un flujo a través del tubo es debido al hecho de que el líquido en el tubo debe ser desplazado por el aire creando una contrapresión que va a depender del nivel existente en el recipiente, siendo detectada por el indicador de nivel como el nivel existente en el recipiente.

La tubería empleada suele ser de 0,5 in con el extremo biselado para una fácil formación de las burbujas de aire. Una tubería de menor diámetro tipo capilar reduciría el tiempo de respuesta pero produciría un error en la medición provocado por la pérdida de carga del tubo.

El diámetro del tubo puede ir desde 1 in hasta 2 in se baja dentro del tanque hasta unas 3 in por encima de la línea de sedimentos. Si el líquido no acepta aire debe usarse otro gas.

3.7.2.2.4.1. Características

- Exactitud: $\pm 1\%$ fe
- Presión máxima: 400 kg/cm² (0,058 Pa)
- Temperatura máxima de fluido: 200 °C

3.7.2.2.4.2. Ventajas

- Barato y versátil.

3.7.2.2.4.3. Desventajas

- Durante el mantenimiento se puede contaminar el líquido.
- Su campo de medida está limitado por la altura del tanque.

3.7.2.2.4.4. Aplicaciones

- Tanques abiertos.
- Líquidos muy corrosivos o con sólidos en suspensión.

3.7.2.2.5 Instrumentos de presión diferencial

En los sistemas de presión diferencial se puede conectar un tubo entre la toma de presión baja (L) y la parte superior del tanque, para medir así la diferencia de presión ΔP entre las tomas inferior y superior del tanque, pudiéndose calibrar esta ΔP en función de la altura del nivel en estudio. Los transmisores de presión diferencial de diafragmas se utilizan en la medición de nivel en tanques cerrados bajo presión, aunque también se pueden usar

para medir nivel en tanques abiertos dejando la toma de presión baja (L) igual a la presión atmosférica.

Los casos que se presentan con más frecuencia son: tanques abiertos, tanques cerrados con atmósfera condensable sobre el líquido y tanque cerrado con atmósfera no condensable sobre el líquido.

Las variaciones de presión dentro del tanque afectan la medición de nivel, por lo que se hace necesario hacer compensación en las mediciones, Fig. 3.14.

El medidor de presión diferencial consiste en un diafragma en contacto con el líquido del tanque. En el tipo más utilizado, el diafragma está fijado en una brida que se monta rasante al tanque para permitir, sin dificultades, la medida de nivel de fluidos.

Debido a que el instrumento mide presión diferencial, la presión estática sobre la superficie del líquido no tiene efecto en la medición, por lo que, variaciones en la presión estática no causan errores en la medición.

Para efectos de calibración, se debe seleccionar el nivel cero del líquido en un eje a la altura del diafragma, haciendo coincidir este nivel con el 0% del aparato de medición.

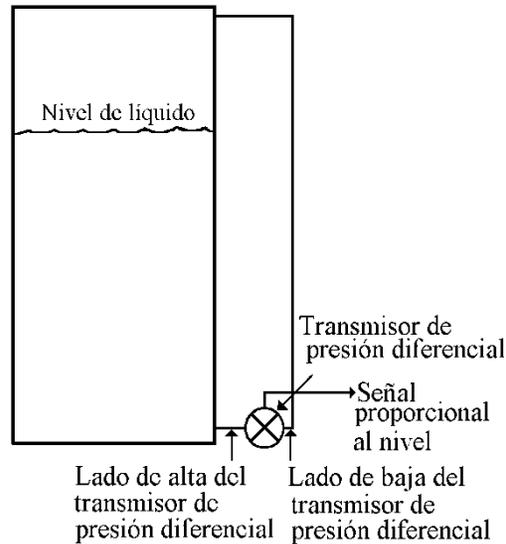


Fig. 3.14 Medidor de presión diferencial.

3.7.2.2.5.1. Elevación y supresión de cero

Cuando se necesita colocar el medidor en una posición diferente al nivel cero del líquido, se debe considerar en la calibración, el efecto producido por el cabezal de presión causado por el líquido con respecto al punto cero de referencia.

En la Fig. 3.15a, el instrumento de presión diferencial está instalado por debajo del cero de referencia del punto de medición en el tanque. Esto causará un aumento de presión en el medidor, produciendo una supresión de cero que debe ser compensada al calibrar el mismo. En la Fig. 3.15b, se puede observar que el tubo de conexión exterior está lleno del gas que está en la parte superior del líquido. Si se considera la densidad del gas muy pequeña, la fuerza ejercida por el gas en el lado de baja del instrumento es despreciable y se produce una supresión de cero comportándose como el caso de supresión de cero en tanque abierto.

Cuando se utiliza un instrumento de presión diferencial en un tanque cerrado, Fig. 3.15c, puede existir supresión ó elevación de cero. Para la medición de nivel en un proceso

de vapor, normalmente en la línea conectada al lado de baja (L) del instrumento el vapor se condensa. Al líquido condensado en el tubo externo se le denomina pierna húmeda. Este líquido produce una presión hidrostática en el lado de baja del instrumento causando una lectura menor de cero, por lo que se produce una elevación de cero que debe ser compensada al calibrar. La pierna húmeda se puede llenar con un fluido de densidad conocida y colocar un sello protector en la unión superior con el tanque.

En las Figs. 3.15a, 3.15b y 3.15c se observa la siguiente nomenclatura:

A = Rango de medición

B = Distancia entre el nivel mínimo y la conexión del instrumento

C = Distancia entre la conexión del instrumento y el lado de alta (H) del transmisor de presión diferencial

D = Distancia entre las dos conexiones del tanque

Para complementar el entendimiento de los principios de elevación y supresión de cero, a continuación se presentan los siguientes ejemplos:

Ejemplo #5: En la Fig. 3.15a se tienen los siguientes valores:

$$A = 80 \text{ in}$$

$$B = 5 \text{ in}$$

$$C = 15 \text{ in}$$

La gravedad específica (s) del fluido es 0,8.

Calcular:

- 1.- El alcance (span) del instrumento en pulgadas de agua.
- 2.- El valor de supresión de cero en pulgadas de agua.
- 3.- El campo de medida.

Solución:

- 1.- El span es igual a:

$$\text{span} = A \cdot s = 80 \cdot 0,8 = 64 \text{ in H}_2\text{O}$$

- 2.- La supresión de cero es igual a:

$$B \cdot s + C \cdot s = 5 \cdot 0,8 + 15 \cdot 0,8 = 16 \text{ in H}_2\text{O}$$

- 3.- El campo de medida es de:

$$(16 \text{ a } 80) \text{ in H}_2\text{O}$$

Ejemplo #6: En la figura 3.15c se usa un sello líquido (cuya gravedad específica s_1 del fluido de sello es 0,6) en la salida del tubo externo o pierna húmeda y se tienen los siguientes valores:

$$A = 100 \text{ in}$$

$$B = 10 \text{ in}$$

$$C = 20 \text{ in}$$

$$D = 120 \text{ in}$$

La gravedad específica s del fluido en el tanque es 0,73.

Calcular:

- 1.- El alcance (span) del instrumento en pulgadas de agua.
- 2.- Determinar si existe elevación o supresión de cero.
- 3.- El valor de la elevación o supresión de cero.
- 4.- El campo de medida.

Solución:

1.- El cálculo del span es independiente del sello líquido, por lo tanto, el cálculo del span es igual al ejemplo #5:

$$\text{span} = A \cdot s = 100 \cdot 0,73 = 73 \text{ in H}_2\text{O}$$

2.- De la Fig. 3.15c, si se cumple que:

$$(D+C) \cdot s_1 > (B+C) \cdot s \text{ existe elevación de cero.}$$

$$(120+20) \cdot 0,6 > (10+20) \cdot 0,73$$

$$140 \cdot 0,6 > 30 \cdot 0,73$$

$$84 \text{ in H}_2\text{O} > 21,9 \text{ in H}_2\text{O, luego, existe elevación de cero.}$$

3.- El valor de elevación de cero es:

$$(D+C) \cdot s_1 - (B+C) \cdot s = 84 - 21,9 = 62,1 \text{ in H}_2\text{O}$$

4.- El campo de medida es:

(-62.1 a 10,9) in H₂O (se recomienda invertir la conexión)

3.7.2.2.5.2. Características

- Exactitud: $\pm 0,5$ % fe
- Presión máxima: 150 kg/cm²
- Temperatura máxima de fluido: 200 °C

3.7.2.2.5.3. Ventajas

- No tienen partes móviles dentro del tanque.
- Son de fácil limpieza.
- Precisos y confiables.
- No son influidos por las fluctuaciones de presión.

3.7.2.2.5.4. Desventajas

- El rango de medición está limitado por los intervalos del manómetro diferencial de que se disponga.
- En tanques cerrados presentan el inconveniente de la posible condensación de los vapores del tanque en el tubo de conexión al instrumento.
- Algunos fluidos presentan el riesgo de depósitos de cristales o de sólidos en la superficie del diafragma.

3.7.2.2.5.5. Aplicaciones

- Es adecuado para la medición de nivel de interface.
- Aplicaciones de indicación, registro y control de nivel.

3.7.2.3. Medidores que aprovechan las características del líquido para la medición de nivel

Entre las características del líquido que se aprovechan para la medición del nivel se encuentra la capacitancia. El principio básico de funcionamiento del medidor de nivel capacitivo, Fig. 3.16, se basa en las propiedades que tiene un capacitor de almacenar cargas eléctricas y así, oponerse a cambios en el voltaje de un circuito. En el medidor capacitivo, una de las placas del condensador está formada por un electrodo sumergido en el fluido y la otra, está comprendida por las paredes del tanque. El dieléctrico es el del fluido dentro del tanque.

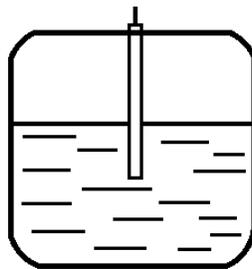


Fig. 3.16 Medidor de nivel capacitivo.

La ecuación que define la capacitancia del medidor capacitivo es:

$$C = (K \cdot A) / D \quad (3.6)$$

donde:

C = Capacitancia

K = Constante dieléctrica

A = Área común entre las placas

D = Distancia entre las placas

En la Fig. 3.16 se puede observar que el área común entre las placas y la distancia entre ellas son valores fijos, sin embargo, el dieléctrico varía con el nivel del fluido y esta variación es usada para producir una señal proporcional al nivel.

La forma y el tamaño del electrodo varía de acuerdo a la aplicación, para superficies líquidas se usan varillas pequeñas circulares, mientras que para algunos sólidos se requieren placas de gran área.

Las mejores mediciones se obtienen cuando la diferencia de capacitancia es grande, es decir, cuando la diferencia entre las constantes dieléctricas de los dos medios a medir es grande.

Existen dos tipos de materiales con los cuales se pueden hacer mediciones:

- ✓ Conductivos.
- ✓ No conductivos.

Para mediciones con **materiales no conductivos** se utiliza una barra metálica de prueba, como se muestra en la Fig. 3.17.

El sistema total de capacitancia C_E es determinado por la Ec. (3.7):

$$C_E = C_1 + C_2 + C_3 \quad (3.7)$$

Y

$$C_2 = (0,614 \cdot K_a \cdot (L-l)) / \text{Log}(D/d)$$

$$C_3 = (0,614 \cdot K_p \cdot l) / \text{Log}(D/d)$$

donde:

C_1 = Capacitancia del aislamiento entre la barra metálica y el tanque

C_2 = Capacitancia de la fase vapor que despide el líquido ó el aire contenido en el recipiente.

C_3 = Capacitancia de la fase líquida

K_a = Constante dieléctrica de la fase vapor

K_p = Constante dieléctrica de la fase líquida

L = Altura total del recipiente

l = Altura del nivel del vapor y el líquido

D = Diámetro del recipiente

d = Diámetro de la placa de prueba

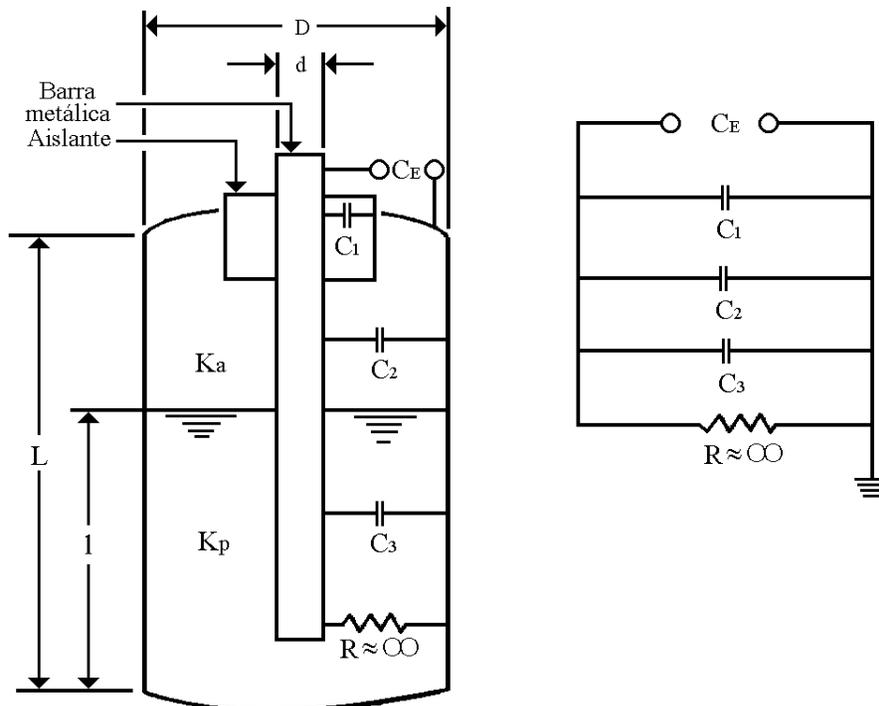


Fig. 3.17 Medidor capacitivo para materiales no conductivos.

Se puede observar que cuando las constantes dieléctricas son constantes, la capacitancia del sistema es función de la altura del nivel del líquido.

Para mediciones de nivel de líquidos con **materiales conductivos** se utiliza el sistema mostrado en la Fig. 3.18. En estos casos el electrodo debe estar cubierto por un material aislante.

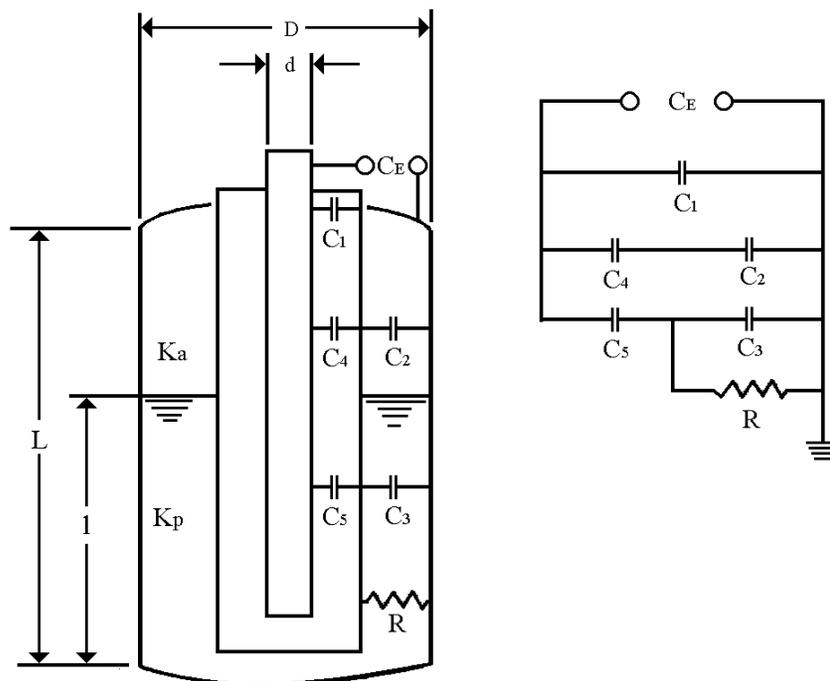


Fig. 3.18 Medidor capacitivo para materiales conductivos.

El sistema de capacitancias está determinado por la Ec. (3.8):

$$C_E = C_1 + (C_2 \cdot C_4) / (C_2 + C_4) + (C_3 \cdot C_5) / (C_3 + C_5) \quad (3.8)$$

donde:

C_4 = Capacitancia entre el aislante y la barra de prueba en la parte de la fase vapor

C_5 = Capacitancia entre el aislante y la barra de prueba en la parte de la fase líquida

El tamaño de la barra de prueba es importante en las aplicaciones de medición de nivel con principio capacitivo. El diferencial de capacitancia (ΔC) sobre el rango de medición de nivel, influye en el alcance del instrumento de medición tipo capacitivo.

Se sugiere un ΔC de 10 pF o mayor para obtener una buena resolución y exactitud. Para uso en alarmas de nivel, se sugiere un alcance de por lo menos 2 pF. También se recomienda que la relación entre ΔC y la capacitancia para nivel mínimo se mantenga entre 0,25 y 4.

3.7.2.3.1. Métodos utilizados para la medición de capacitancias

Varios métodos de medición y detección de capacitancias son usados por el medidor de capacitancia, uno de ellos es el del circuito puente mostrado en la Fig. 3.19.

La impedancia variable es conectada a uno de los lados del circuito puente, la variación de nivel da como resultado un desbalance en el puente proporcional al valor del nivel.

Cuando el puente se encuentra balanceado se debe cumplir que:

$$Z_1 \cdot Z_4 = Z_2 \cdot Z_3 \quad (3.9)$$

Esta ecuación, define la condición de balance del puente sin considerar si las impedancias son resistencias, capacitancias, inductancias o combinaciones de ellas, además las relaciones de impedancias no son afectadas por la magnitud de la fuente de voltaje en corriente alterna, sin embargo, la condición de balance se obtiene únicamente cuando el ángulo de fase y la magnitud de los cuatro lados del puente satisfacen la Ec. (3.9). Los componentes reales e imaginarios de las impedancias deben equilibrarse simultáneamente,

es por esto que en la Fig. 3.19 existen dos resistencias variables. Cuando el puente no está balanceado se deben utilizar los métodos convencionales para la solución del circuito.

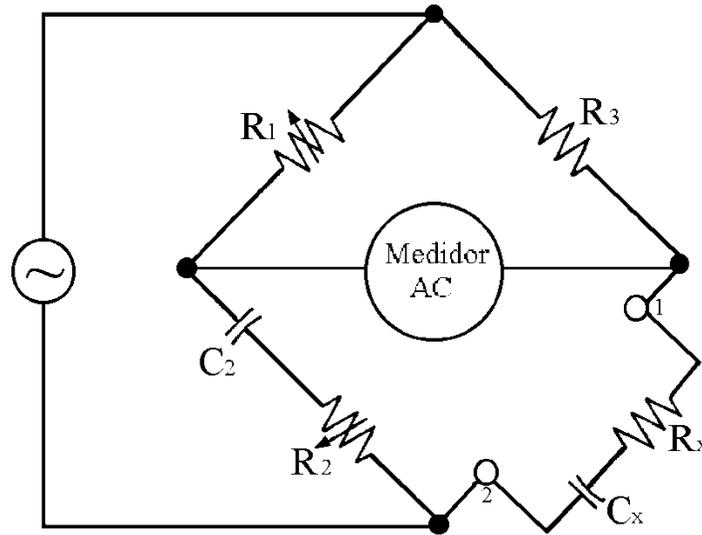


Fig. 3.19 Circuito puente de capacitancias.

Sustituyendo en la Ec. (3.9) los valores de la Fig. 3.19 se obtiene:

$$R_1 \cdot (R_x - jX_{C_x}) = (R_2 - jX_{C_2}) \cdot R_3 \quad (3.10)$$

luego:

$$R_1 R_x - jR_1 X_{C_x} = R_2 R_3 - jX_{C_2} R_3 \quad (3.11)$$

donde:

$$R_1 R_x = R_2 R_3 \quad (3.12)$$

$$jR_1 (1/(\omega C_x)) = jR_3 (1/(\omega C_2)) \quad (3.13)$$

simplificando:

$$R_1 C_2 = R_3 C_x \quad (3.14)$$

Resolviendo las Ecs. (3.12) y (3.14) tenemos que:

$$R_x = R_2 R_3 / R_1 \quad (3.15)$$

$$C_x = R_1 C_2 / R_3 \quad (3.16)$$

En la práctica, la componente C_x del puente es la capacitancia de prueba definida por la relación capacitancia-nivel y el término R_x es generalmente la resistencia propia de la capacitancia C_x . Cuando el puente está balanceado se utiliza la Ec. (3.16) para conocer el valor de C_x y así obtener la medición del nivel.

Ejemplo #7: Una capacitancia de prueba con una característica de 5 pF/ft es usada en una medición de nivel. El circuito puente tiene los siguientes valores:

$$C_2 = 100 \text{ pF}$$

$$R_1 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 100 \text{ k}\Omega$$

$$R_3 = 50 \text{ k}\Omega$$

Calcular: El nivel del tanque.

Solución:

De la Ec. (3.16) se tiene:

$$C_x = ((10 \times 10^3)(100 \times 10^{-12})) / (50 \times 10^3) = 20 \text{ pF}$$

y para las características dadas de la capacitancia de prueba de 5 pF/ft, para 20 pF se tiene:

$$\text{nivel} = 20 \text{ pF} / (5 \text{ pF/ft}) = 4 \text{ ft} = 1,219 \text{ m}$$

3.7.2.3.2. Características

- Exactitud: $\pm 1 \%$ fe

- Presión máxima: (80 a 250) kg/cm²
- Temperatura máxima de fluido: (200 a 400) °C

3.7.2.3.3 Ventajas

- No contiene partes móviles.
- Fáciles de limpiar.
- Presentan buena resistencia a la corrosión.
- Se pueden hacer mediciones en materiales conductivos y no conductivos.
- Su campo de medición es bastante amplio.
- Puede soportar temperaturas y presiones extremas.

3.7.2.3.4. Desventajas

- Las mediciones están sujetas a errores ocasionados por variaciones de temperatura, ya que la temperatura afecta la constante dieléctrica del material a ser medido.
- El material aislante utilizado puede causar errores en la medición.
- En la medición de sólidos, variaciones en el tamaño de las partículas afectan a la constante dieléctrica.

3.7.2.3.5. Aplicaciones

- Puede emplearse en la medición de interface.
- En la industria de procesamiento de alimentos.
- En aplicaciones on/off para alarmas o sistemas de control.

3.7.2.4. Medidor de ultrasonido

El ultrasonido es utilizado en mediciones donde no se permite el contacto del instrumento de medición con el líquido. En el medidor de nivel por ultrasonido, cuando las ondas sonoras viajan en un medio que absorbe el sonido y golpean a otro medio tal como una pared, una partícula en el líquido, o la superficie del líquido, solamente una pequeña porción de la energía de la onda sonora penetra la barrera y el resto de la energía se refleja. La onda sonora reflejada es un eco. El medidor de ultrasonido utiliza el principio del eco para su funcionamiento.

La cantidad de energía reflejada depende del coeficiente de absorción de los materiales el cual se define como:

$$d = (\text{Energía absorbida})/(\text{Energía reflejada por el material}) \quad (3.17)$$

Este valor depende de la frecuencia y propiedades del líquido tales como: porosidad, grosor del material y rigidez.

El diagrama de bloques que ilustra el principio de funcionamiento del medidor de ultrasonido se muestra en la Fig. 3.20.

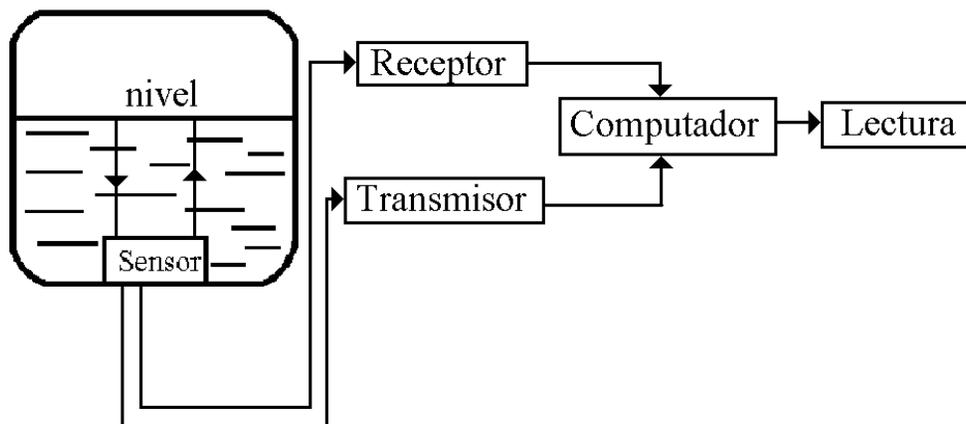


Fig. 3.20 Diagrama de bloques del medidor de ultrasonido.

El emisor dispone de un oscilador excitador para enviar un impulso ultrasónico a la superficie del fluido y el receptor, recibe esta señal reflejada enviando una señal función del tiempo transcurrido, y por lo tanto del nivel, a un indicador. En otras palabras, el nivel se mide en función del tiempo necesario para que la señal se desplace del transmisor a la superficie del líquido y retorne al receptor.

La utilización del computador permite, a través de un programa, almacenar el perfil ultrasónico del nivel, y así tener en cuenta las características particulares de la superficie del líquido, tal como la espuma, con lo cual se mejora la precisión de la medida. Por otro lado, el computador facilita la conversión del nivel a volumen del tanque para usos de inventario, y además proporciona características de autocomprobación del instrumento.

Para medición continua de nivel, los dispositivos deben ubicarse de manera tal, que la señal de ultrasonido apunte directamente al material para tener así la trayectoria de medición más directa. El transmisor y el receptor pueden ubicarse juntos como un solo dispositivo pero el receptor debe estar separado del transmisor aproximadamente unas 4 in, de esta manera se puede mejorar las operaciones y confiabilidad del instrumento. Este sistema requiere de una sola entrada al tanque y normalmente consiste de un transductor piezoeléctrico. En el caso de alarmas cuando la onda sonora es interrumpida por el nivel del líquido del proceso, se opera un sistema de control para las mismas.

En la medición continua la velocidad del sonido cambia con el medio de transmisión y la temperatura. Por ejemplo, la velocidad del sonido en el aire a 20 °C es 1 129 ft/s, cuando a 100 °C es 1 266 ft/s. La velocidad del sonido en el agua a 15 °C es 4 714 ft/s y a través del alcohol a 20 °C es 3 890 ft/s.

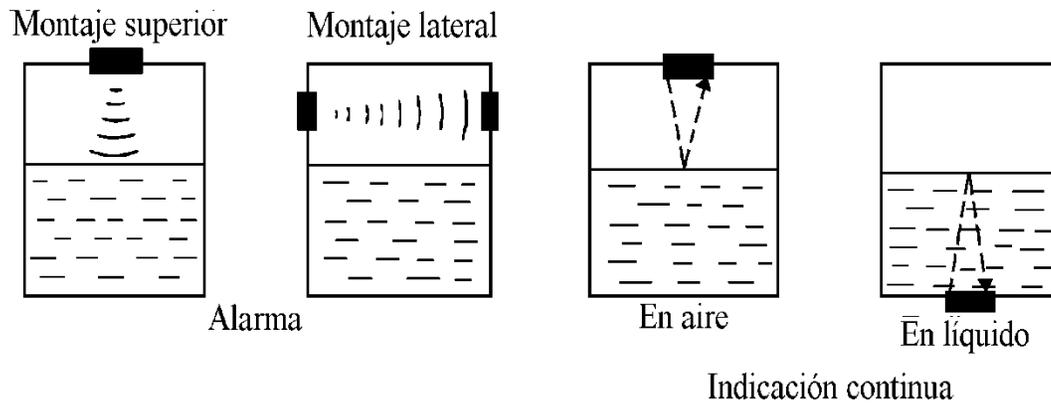


Fig. 3.21 Montajes de los sensores para medidor de ultrasonido.

En estas aplicaciones, los sensores vibran a una frecuencia de resonancia determinada, que se amortigua cuando el líquido los moja.

En la Fig. 3.21 se muestran varias disposiciones de montaje de los sensores que se utilizan en casos de alarmas o de indicación continua de nivel.

3.7.2.4.1. Características

- Campo de medida: (0,5 a 100) ft (0,152 a 30,48) m
- Exactitud: $\pm (1 \text{ a } 3) \% \text{ fe}$
- Presión máxima: 400 kg/cm²
- Temperatura máxima de fluido: 200 °C
- Frecuencia de ultrasonido: (1 a 20) kHz
- Potencia de consumo < 10 W
- Repetibilidad: 6,4 mm

3.7.2.4.2. Ventajas

- Adecuados para todos los tipos de tanques y de líquidos.
- Muy exactos.

- Más sofisticados que los medidores convencionales.
- No poseen partes móviles.
- No requieren mantenimiento.
- No es intrusivo.

3.7.2.4.3. Desventajas

- Costosos.
- La medición es afectada por las propiedades del medio como porosidad de la superficie, espesor del material y rigidez.
- Sensibles a la densidad.
- Dan señales erróneas cuando la superficie del nivel del líquido no es nítida como en el caso de un líquido que forme espuma.
- La velocidad del sonido cambia con la temperatura: al aumentar la temperatura, la velocidad del sonido en el aire aumenta mientras que en el agua disminuye.

3.7.2.4.4. Aplicaciones

- Se utilizan para hacer mediciones de nivel continuas y para alarmas.

3.8. SELECCIÓN DE MEDIDORES DE NIVEL DE LÍQUIDOS

En la gama existente de medidores de nivel, los que son generalmente elegidos para diferentes aplicaciones son los medidores de desplazamiento y de presión hidrostática debido a su simplicidad y confiabilidad. Otras técnicas disponibles como la capacitiva y el ultrasonido, están siendo usadas como una segunda selección si las primeras opciones presentan problemas. Sin embargo, los avances en electrónica y la disponibilidad de los sistemas de adquisición de datos, han cambiado casi todas las

desventajas de estos sistemas. Además, los principios de medición de electrónica ofrecen la posibilidad de auto chequeo a todo el instrumento. Esta posibilidad es particularmente importante para incrementar la disponibilidad y confiabilidad de los sistemas de protección. En todo caso el medidor de nivel seleccionado dependerá de las necesidades o condiciones de operación.

En la selección de un medidor de nivel de líquidos se requiere básicamente:

- ✓ Altura del tanque
- ✓ Rango de nivel: máximo, normal, mínimo.
- ✓ Características del fluido
- ✓ Exactitud requerida

Servicio:

- ✓ Fluido
- ✓ Temperatura
- ✓ Presión

Para completar la selección del instrumento, se debe hacer uso de las normas recomendadas para el tipo de instrumento específico seleccionado.