El arte de la medida en tanques

Enraf

For safety and precision

Prólogo

Este documento ofrece una introducción a la medición moderna de tanques, cómo y dónde se puede utilizar.

Se describen la medición precisa por servo y radar, la medición hidrostática de tanques (HTG) y el Sistema Híbrido de Gestión de Inventario (HIMS), que combinan las ventajas de todos los sistemas.

Se describe un análisis de incertidumbre de los datos de inventario de tanques y los resultados se utilizan para una comparación concisa de los sistemas de medición de tanques. Se enumeran y aclaran las incertidumbres causadas por la instalación. Se presentan las tecnologías actuales empleadas en la medición de tanques, así como las tendencias y posibilidades futuras de los sistemas de inventario.

Copyright by:
Enraf B.V.
Delftechpark 39, 2628 XJ Delft
P.O. Box 812, 2600 AV Delft
The Netherlands
Tel.: +31 (0)15 2701 100
Fax: +31 (0)15 2701 111
http://www.enraf.com
Email: info@enraf.nl

Contenido

Prólogo 2

1 Introducción a la medición de tanques 4
1.1 ¿Qué es la medición de tanques? 4
1.2 ¿Por qué medir tanques? 4
1.2.1 Control de inventario 4
1.2.2 Transferencia de custodia 5
1.2.3 Movimiento y operaciones de petróleo 5
1.2.4 Detección y conciliación de fugas 6

2 Técnicas de medición en tanques 7
2.1 Medición manual 7
2.2 Medidores de flotador y de cinta 7
2.3 Medidores servo 7
2.4 Medidores de radar 8
2.5 Medición hidrostática en tanques 9
2.6 Sistema híbrido de medición de inventario 10

3 Evaluación de cantidades en la medición de tanques 12
3.1 Evaluación de cantidades basada en nivel 12
3.2 Evaluación de cantidades basada en hidrostática 13
3.3 Evaluación de cantidades basada en híbrido 13

4 Incertidumbres en la medición de tanques 14
4.1 Fuentes de error 14
4.2 Resumen de incertidumbres 15

5 Seguridad 16
5.1 Riesgos de incendio y explosión 16
5.2 Rayos y medición de tanques 16
5.2.1 Circuito de supresión 16
5.2.2 Circuito de desviación 17
5.2.3 Puesta a tierra y blindaje 17
5.2.4 Experiencia de campo 17

6 Avances en la tecnología de medición de tanques 18
6.1 Medidores Servo 18
6.2 Medidores de radar 18
6.3 Medidores de temperatura 19
6.4 Medición hidrostática en tanques 20
6.5 Sistema híbrido de medición de inventario 20
6.6 Sistema central de gestión de inventario 20
6.7 Interfaz con sistemas host 21

7 Tendencias futuras en la tecnología de medición de tanques 22

8 Resumen 23

9 Bibliografía 23

El sistema completo de un solo proveedor 24

1 Introducción a la Medición de Tanques

1.1 ¿Qué es la Medición de Tanques?

La medición de tanques es el nombre genérico para la medición estática de la cantidad de productos líquidos en tanques de almacenamiento a granel.

Se reconocen dos métodos:
• Un sistema de medición de tanques basado en el volumen. Evaluación de la cantidad basada en la medición de nivel y temperatura.
• Un sistema de medición de tanques basado en la masa. Evaluación de la cantidad basada en la medición de la presión hidrostática de la columna de líquido.

Independientemente del método utilizado, un alto grado de fiabilidad y precisión es fundamental cuando los datos se utilizan para el control de inventario o la transferencia de custodia.
Refinerías, plantas químicas, terminales y empresas de almacenamiento independientes utilizan tanques de almacenamiento a granel para el almacenamiento de productos líquidos o licuados:
• Los tanques de almacenamiento a granel más comunes son tanques cilíndricos o esféricos verticales sobre el suelo. Los tanques cilíndricos verticales se pueden clasificar como tanques de techo fijo, con techo cónico o abovedado, o tanques de techo flotante. Las instalaciones de almacenamiento subterráneo, como las cavernas, se utilizan en áreas donde la estructura del suelo lo permite.

Fig. 1 Las refinerías utilizan tanques de almacenamiento a granel, para los cuales la medición de los tanques es esencial.

La medición de tanques es esencial para determinar el inventario de tanques de almacenamiento de líquidos a granel. Para reducir las pérdidas de vapor, los tanques de techo fijo pueden equiparse con techos flotantes o pantallas internas.

Los gases licuados se almacenan a presión en tanques esféricos, recipientes cilíndricos o en condiciones refrigeradas o criogénicas en tanques especialmente diseñados y bien aislados.
Las capacidades típicas de los tanques de almacenamiento a granel varían desde 1.000 m³ (6.300 bbl) hasta más de 120.000 m³ (755.000 bbl).
El valor de los productos almacenados en estos tanques asciende a varios millones de dólares.

Una incertidumbre de nivel de tan solo 1 mm (0,04 pulgadas) o 0,01 % en un tanque de 10 m (33 pies) de altura y 50 000 m³ (315 000 bbl) equivale a 5 m³ (31 bbl). Por lo tanto, la precisión es un requisito fundamental para una buena gestión del inventario; sin embargo, es solo uno de los muchos aspectos que intervienen en la medición de tanques. La fiabilidad para evitar derrames de producto y la seguridad del medio ambiente y del personal son igualmente importantes.
La siguiente lista muestra una serie de requisitos para los sistemas de medición de tanques.

Requisitos generales para un sistema de medición de tanques
• Seguridad
• Precisión y repetibilidad
• Fiabilidad y disponibilidad
• Compatibilidad con las operaciones
• Funcionamiento autónomo
• Fácil de usar
• Bajo mantenimiento
• Fácil de ampliar

Requisitos adicionales
• Detección de fallos de primer orden
• Aceptado para transferencia de custodia
• y fines legales (aranceles, regalías)
• Compatible con estándares (API, etc.)
• Interfaz con el ordenador host
• Soporte de software
• Capacidad de actualización
• Soporte de servicio y repuestos
• Relación precio/rendimiento aceptable
• Procedimientos de control de calidad del proveedor (ISO 9000)
• Manuales y documentación

1.2 ¿Por qué la medición de tanques?

La medición de tanques es necesaria para evaluar el contenido de los tanques, controlar el inventario de tanques y gestionar el parque de tanques.
Los requisitos del sistema dependen del tipo de instalación y operación.
Se pueden clasificar los siguientes tipos de operación, cada uno con sus propios requisitos específicos:
• Control de inventario
• Transferencia de custodia
• Movimiento y operaciones de petróleo
• Control y conciliación de fugas

1.2.1 Control de inventario

El control de inventario es una de las herramientas de gestión más importantes para cualquier refinería, terminal o empresa de almacenamiento.
El inventario representa una gran cantidad de activos para cada empresa. El control del inventario de tanques se basa en el volumen o la masa. Sin embargo, ni el volumen ni la masa son la única solución para un control de inventario preciso y completo. Productos recibidos,

las transferencias internas de productos y los productos entregados en refinerías, plantas químicas y terminales se miden comúnmente en unidades volumétricas o de masa, a menudo incompatibles.
Las conversiones de volumen a masa y viceversa deben realizarse con frecuencia, de modo que todos los parámetros de medición, como el nivel de producto, la interfaz de agua, la densidad y la temperatura, sean igualmente importantes. La combinación de volumen y masa, como se logra en sistemas híbridos, ofrece la solución más atractiva.
Los requisitos de precisión en planta para el control de inventario no suelen ser críticos. Las incertidumbres de medición no generan pérdidas financieras directas. La fiabilidad y la repetibilidad son mucho más importantes. Las empresas de almacenamiento y terminales independientes que almacenan y distribuyen exclusivamente productos propiedad de sus clientes no pueden operar sin un sistema de control de inventario preciso. Dicho sistema debe ser muy fiable, preciso y proporcionar todos los datos de inventario.

1.2.2 Transferencia de custodia

Muchas instalaciones utilizan su sistema de medición de tanques para medir las transferencias de producto entre el buque y la costa, o para sistemas de transmisión por tuberías.
Un sistema de medición de tanques es una solución muy rentable y precisa en comparación con los sistemas de medición de caudal, especialmente cuando existen caudales elevados y se transfieren grandes cantidades.
Sin embargo, cuando se utilizan sistemas de medición de caudal, el sistema de medición de tanques ofrece una herramienta de verificación perfecta.

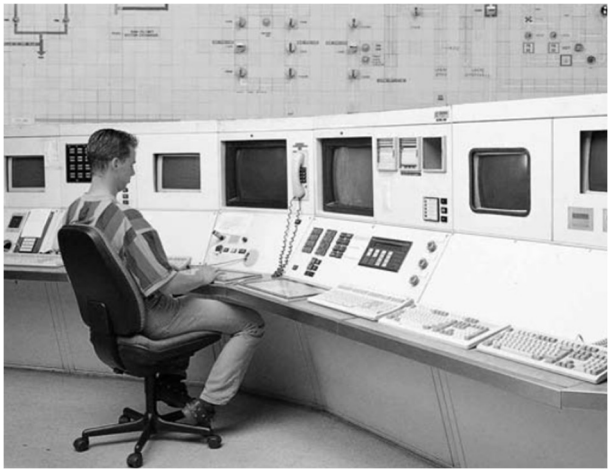


Fig. 2. Ejemplo de una sala de control central para un estudio bien organizado de todos los parámetros.

Cuando se trate de transferencias de custodia o la liquidación de impuestos, derechos o regalías, los instrumentos de medición y el sistema de control de inventario deben estar oficialmente aprobados y certificados para este fin.

En países donde dicha certificación legal aún no se aplica, la verificación de las mediciones suele ser realizada por empresas de topografía. Generalmente, utilizan cintas de inmersión, termómetros portátiles y recipientes de muestreo para medir el nivel, la temperatura y la densidad antes y después de las transferencias del producto.
Esto requiere mucho trabajo y tiempo.

Los inspectores utilizan los mismos procedimientos para calcular volúmenes o masas que los sistemas modernos de medición de tanques. Por lo tanto, contar con un sistema de medición de tanques fiable, preciso y certificado facilita sus inspecciones y reduce el tiempo de respuesta.
Otra ventaja es que, cuando la cantidad de producto transferido se determina mediante mediciones de apertura y cierre de tanques, se eliminan algunos errores sistemáticos.
Por consiguiente, la incertidumbre de dichas mediciones de transferencia es menor que la esperada con base en las incertidumbres especificadas para el inventario de tanques.

1.2.3 Movimiento y operaciones de petróleo

En general, las mediciones del contenido de los tanques para uso operativo diario, con fines de programación y para programas de mezcla no requieren la misma precisión que las operaciones de transferencia de custodia. Sin embargo, la fiabilidad y la repetibilidad de las mediciones son importantes. Las alarmas de nivel fiables también son imprescindibles para operar con seguridad. Un alto grado de precisión y fiabilidad permitirá que las operaciones utilicen con seguridad la capacidad máxima del tanque.
La experiencia previa indica que se puede lograr un aumento del 5 % en la capacidad de almacenamiento.

Fig. 3. Radar inteligente de alta presión para mediciones de nivel precisas

El movimiento y las operaciones de petróleo generalmente tienen requisitos de equipo muy estrictos. Especifican la compatibilidad con sus sistemas de control y gestión de supervisión. Las operaciones utilizarán la disponibilidad y la facilidad de mantenimiento como criterios principales para la selección de equipos. Sin embargo, los cálculos del "costo de propiedad" pueden proporcionar una excelente perspectiva para la selección o evaluación de instrumentos y técnicas de medición alternativas. Aun así, quien utilice este tipo de cálculos debe tener cuidado de utilizar únicamente argumentos correctos y válidos.
Por ejemplo, incluir el precio de un pozo tranquilizador en un estudio comparativo de indicadores de nivel puede ser inapropiado si dicho pozo ya forma parte de la construcción del tanque.
Además, debe valorarse un mejor rendimiento, en términos de mayor precisión y menor mantenimiento.

Para el movimiento y las operaciones de petróleo, se pueden utilizar técnicas de medición de masa o volumen. El volumen se puede obtener únicamente a partir del nivel; la masa se puede medir directamente mediante transmisores de presión. Se puede obtener información adicional midiendo la temperatura y la presión del vapor. También se puede añadir la medición de densidad, con una precisión del 0,5 % al 0,1 %. Cualquiera que sea la técnica seleccionada, debe ser compatible con las operaciones de todas las partes que utilizan los datos del sistema de medición de tanques. Como se mencionó anteriormente, los sistemas de gestión y control de la planta pueden facilitar el movimiento y las operaciones de petróleo. Mantener la integridad de los datos desde el campo hasta el sistema receptor es esencial. Un alto grado de integración en la transmisión de los instrumentos de campo es un requisito previo. Sin embargo, mientras no exista un estándar mundial para la comunicación digital, se utilizarán diferentes protocolos.

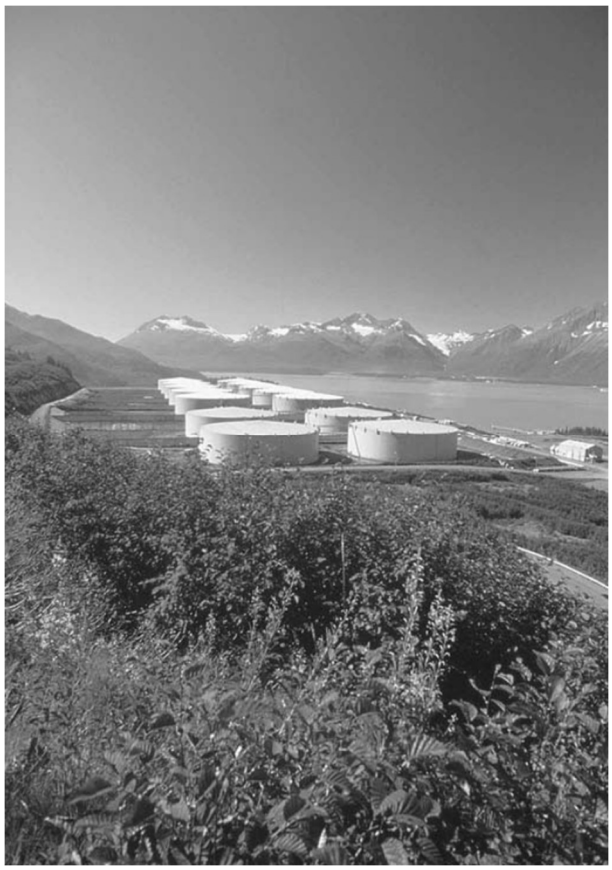
1.2.4 Detección y conciliación de fugas

Durante muchas décadas, la industria petrolera se ha preocupado por las consecuencias financieras de las pérdidas de petróleo. En los últimos años, también ha aumentado la concienciación sobre el impacto ambiental de la industria. La contaminación, causada tanto por derrames de líquidos como por emisiones atmosféricas, es un área de creciente preocupación, y la industria ha iniciado programas para reducir los riesgos de daños ambientales. Mantener un programa preciso de detección y reconciliación de fugas es fundamental para cualquier propietario de un parque de tanques con conciencia ambiental.

En la cuarta Conferencia sobre Control de Pérdidas de Petróleo, celebrada en 1991 y organizada por el Instituto del Petróleo de Gran Bretaña, varias autoridades destacadas presentaron ponencias sobre prácticamente todos los aspectos del control de pérdidas. El Dr. E.R. Robinson, consultor del Comité de Responsabilidad de PÉRDIDAS de Refinación de IP, demostró mediante una encuesta a 11 importantes refinerías del Reino Unido que una refinería promedio podría tener pérdidas anuales del 0,56 % de la cantidad total de entrada. Un sistema de medición de tanques preciso y confiable ayuda a cuantificar e identificar el origen de estas pérdidas y ofrece las herramientas para prevenirlas o, al menos, reducirlas.

Otro artículo presentado por el Dr. J. Miles (SGS Redwood Ltd.) formuló un enfoque interesante para la evaluación de la incertidumbre de las pérdidas. El stock se determina principalmente con base en la medición del tanque; sin embargo, las entradas y salidas también pueden evaluarse mediante el flujo (volumen o masa) y la báscula.
La conciliación de ambas mediciones es clave para un control de inventario confiable y un control de pérdidas eficaz. Un Sistema Híbrido de Gestión de Inventario (HIMS) combina sistemas de inventario basados en masa y volumen, mejorando la confiabilidad y reduciendo las incertidumbres del balance general.

Fig. 4. Los tanques de almacenamiento se pueden encontrar en todas partes, incluso en zonas remotas.



2 Técnicas de medición de tanques

¡La medición de tanques tiene una larga historia! Dado que cada usuario y cada aplicación tiene sus propios requisitos específicos, actualmente existen diversas técnicas y soluciones de medición para medir el contenido del tanque.

2.1 Medición manual

La medición de tanques comenzó con la medición manual (Fig. 5) utilizando una cinta métrica o varilla graduada. Esta técnica se sigue utilizando en todo el mundo y, hoy en día, sigue siendo la verificación para la calibración y verificación del rendimiento de los medidores.

Fig. 5. Medición manual

La precisión típica de una cinta de inmersión utilizada para mediciones de transferencia de custodia suele especificarse como ± (0,1 + 0,1 L) mm [equivalente a ± (0,004 + 0,0012 L') pulgadas] para la calibración inicial de cintas de inmersión nuevas. En la fórmula métrica, L es el nivel en metros y en la fórmula de pies y pulgadas, L' es el nivel en pies. Para las cintas en uso, se aplica la precisión de recalibración. Esta precisión duplica la incertidumbre de una cinta nueva. Sin embargo, la incertidumbre de la cinta no es la única causa de error. La inmersión manual precisa es una tarea difícil, especialmente con vientos fuertes, clima frío, durante la noche o cuando se requiere el uso de equipo de protección especial. Además, se debe añadir un error humano de al menos ± 2 mm (± 0,08 pulgadas) a las lecturas de la cinta. La norma API 2545 está dedicada exclusivamente a la medición manual de tanques. Otra desventaja de la medición manual de tanques es que a menudo no se permite que los empleados estén en un tanque debido a las normas de seguridad, lo que se traduce en tiempos de espera largos y costosos.

2.2 Medidores de flotador y cinta

Los primeros medidores de flotador y cinta, también llamados "Medidores Automáticos de Tanques", se introdujeron alrededor de 1930. Estos instrumentos utilizan un flotador grande y pesado para obtener suficiente fuerza motriz.
Inicialmente, el flotador se conectaba mediante un cable a una contrapesa con una escala y un indicador a lo largo del cuerpo del tanque que indicaban el nivel. Las versiones más nuevas tenían el flotador conectado, mediante una cinta de acero perforada, a un motor de resorte de par constante.
Las perforaciones accionan un contador mecánico simple que actúa como indicador local. La precisión típica de un medidor mecánico es de alrededor de 10 mm (½ pulgada). Debido a la fricción mecánica en las poleas, el motor de resorte y el indicador, la fiabilidad es baja.
La indicación remota es posible mediante un transmisor electrónico acoplado al indicador. Sin embargo, esto no mejora la fiabilidad ni la precisión del medidor mecánico.

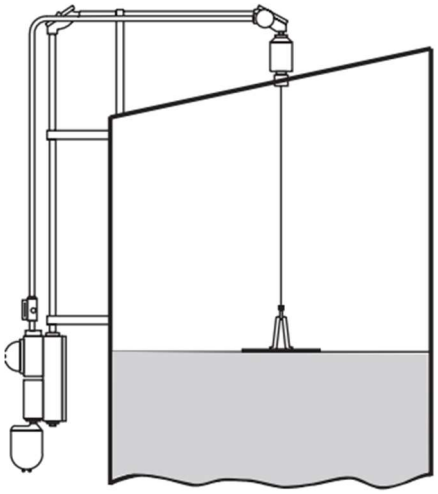


Fig. 6. Float and tape gauge

Una de las principales desventajas de los instrumentos accionados por flotador es el movimiento repentino y continuo debido a la turbulencia del líquido medido. Estos movimientos, que pueden ser bastante violentos, provocan una aceleración y desaceleración continua del mecanismo de accionamiento, lo que resulta en un desgaste excesivo del indicador, el transmisor y otros dispositivos acoplados al medidor. El sistema indicador y el transmisor no pueden seguir los movimientos de inversión ni las aceleraciones. Con frecuencia, el mecanismo de engranajes que acciona el eje del indicador y el transmisor se desacopla, lo que resulta en lecturas erróneas y la desincronización del transmisor. Esto conlleva un mantenimiento considerable y una falta de fiabilidad en las mediciones. Dada la actual preocupación mundial por prevenir derrames de producto, estos medidores ya no deberían utilizarse. Sin embargo, debido a su bajo precio, una gran parte de los tanques del mundo todavía están equipados con estos instrumentos.

2.3 Servomedidores

Los servomedidores de tanque (Fig. 7) representan una mejora considerable con respecto a los instrumentos accionados por flotador. Se desarrollaron durante la década de 1950. En este medidor, el flotador se reemplaza por un pequeño desplazador, suspendido por un cable de medición resistente y flexible. En lugar de un motor de resorte, los servomedidores utilizan un servomotor eléctrico para subir y bajar el desplazador. Un ingenioso sistema de pesaje mide continuamente el peso y la flotabilidad del

desplazador controla el servosistema. El motor también acciona el transmisor integrado.
La fricción mecánica en el servosistema, el transmisor, el indicador local y los interruptores de alarma no afecta la sensibilidad ni la precisión del medidor. Además, la turbulencia no tiene un efecto directo.
Un integrador en el sistema de control de servicio elimina los efectos de los movimientos repentinos del producto. El medidor no solo produce una medición de nivel promedio en condiciones de turbulencia, sino que también elimina movimientos innecesarios y reduce el desgaste, lo que prolonga considerablemente la vida útil del instrumento.

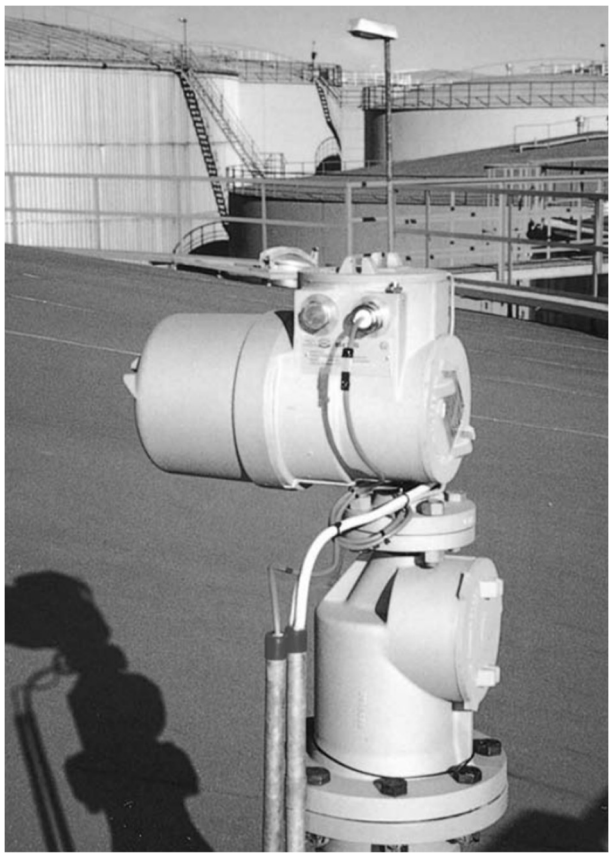


Fig. 7. Medidor servo

El medidor servo original no se parece mucho a la versión moderna actual. Estos instrumentos se han convertido en productos consolidados y altamente confiables, y están reemplazando gradualmente a los medidores de flotador mecánicos, lo que reduce el mantenimiento y mejora los resultados del inventario. Los medidores servo inteligentes modernos tienen muy pocas piezas móviles, lo que se traduce en confiabilidad y precisión a largo plazo. Además, cuentan con una alta capacidad de procesamiento de datos. Los instrumentos no solo miden el nivel del líquido, sino que también miden los niveles de interfaz y la densidad del producto. Las alarmas de nivel precisas y programables son estándar. Se pueden alcanzar precisiones superiores a 1 mm (1/16 de pulgada) en un rango de 40 m (125 pies). Su excepcional precisión y confiabilidad han resultado en la aceptación de las mediciones y la transmisión remota por parte de las autoridades de Pesos y Medidas y Aduanas e Impuestos Especiales en muchos países.

2.4 Medidores de radar

El uso del radar para medir los niveles de producto en los tanques de almacenamiento es una de las técnicas más recientes.
Los medidores de nivel por radar se desarrollaron a mediados de los años sesenta para los buques de transporte de crudo. La mayoría de estos buques estaban equipados con medidores mecánicos accionados por flotador. Los medidores de nivel solo se utilizaban cuando el buque estaba en tierra, cargando o descargando. Los nuevos procedimientos de seguridad para el lavado de tanques con tanques cerrados durante el viaje de regreso, y la necesidad de llenar el espacio vacío del tanque con gas inerte, hicieron preferibles las mediciones no intrusivas. La precisión era menos importante para la medición del nivel de los tanques de carga, ya que la transferencia de custodia y las mediciones fiscales utilizaban los medidores de nivel o caudalímetros certificados de la instalación en tierra.

Fig. 8. Medidor de nivel por radar para medición en espacio libre

Los medidores de nivel por radar no tienen partes móviles y solo requieren una antena en el tanque. Esto resulta en un costo de mantenimiento muy bajo. Si bien los costos de inversión son mayores en comparación con los medidores de flotador, el costo de propiedad será considerablemente menor.
Los instrumentos de radar utilizan microondas, generalmente en el rango de 10 GHz, para medir el nivel del líquido. La distancia recorrida por la señal se calcula comparando las señales transmitidas y reflejadas. En la medición de tanques, se deben medir distancias relativamente cortas.
Las ondas electromagnéticas viajan casi a la velocidad de la luz. Debido a las cortas distancias, que van desde algunos centímetros (pulgadas) hasta, por ejemplo, 20 m (66 pies), y a la resolución requerida, una medición basada en el tiempo es casi imposible. La solución es variar la frecuencia de la señal transmitida y medir el desplazamiento de frecuencia entre la señal transmitida y la reflejada.
La distancia se puede calcular a partir de este desplazamiento de frecuencia.

Ahora hay medidores de nivel por radar disponibles para tanques de almacenamiento de productos en refinerías, terminales, industrias químicas y empresas de almacenamiento independientes. La ausencia de piezas móviles, su diseño compacto y su naturaleza no intrusiva resultan en bajos costos de mantenimiento y los hacen muy atractivos. Para lograr una precisión diez veces superior a la de las aplicaciones marinas, se han aplicado antenas específicas y procesamiento digital completo de señales. Los instrumentos de radar más antiguos estaban equipados con grandes antenas parabólicas o de bocina larga, mientras que los medidores de nivel por radar modernos utilizan técnicas de antenas planares. Estas antenas son compactas y tienen una eficiencia mucho mayor, lo que se traduce en una excelente precisión.

Fig. 9. Radar level gauge for stilling well measurement

Existen varios tipos de antena disponibles para adaptarse a prácticamente cualquier configuración de tanque:
• La propagación por espacio libre es el método más común y se utiliza si el medidor se instala sobre un tanque de techo fijo. (Fig. 8)
• En tanques de techo flotante, el medidor de radar puede instalarse en el poste guía. Una señal de radar específica (señal de modo circular) se guía a través de la carcasa interior del poste guía o del tubo de soporte. (Fig. 9)
• La detección del techo puede realizarse utilizando un reflector de techo y un medidor de nivel por radar con una antena de espacio libre.
• Los medidores de radar también pueden utilizarse en recipientes de almacenamiento de alta presión. Se puede instalar una válvula de aislamiento entre el recipiente y el instrumento. La verificación y calibración son posibles mientras el instrumento permanece en servicio.
La medición precisa en productos con presiones de vapor muy bajas es posible con la técnica más avanzada de medición por radar.
Su proveedor podrá informarle detalladamente sobre este tema. Los medidores de radar también son una opción lógica para tanques que contienen productos altamente viscosos, como asfalto expandido, productos contaminantes y líquidos muy turbulentos.

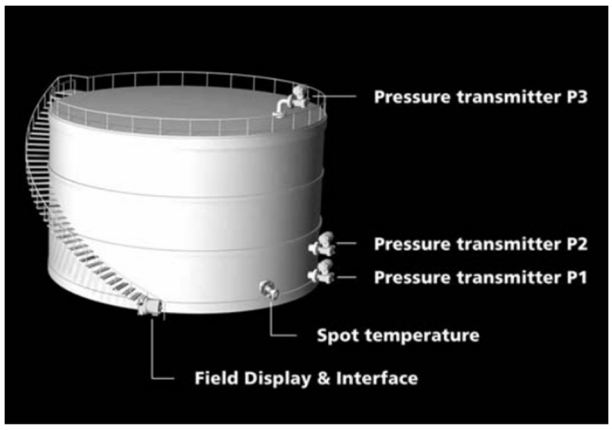


Fig. 10. Sistema HTG

2.5 Medición Hidrostática de Tanques

La Medición Hidrostática de Tanques (HTG) es una de las técnicas más antiguas para medir el contenido de un tanque. En la industria de procesos, la medición de nivel mediante transmisores de presión diferencial es muy común. Normalmente, este método utiliza transmisores de presión analógicos con una precisión del 1 %. Sin embargo, dado que los transmisores analógicos no son adecuados para este propósito, la medición de inventarios requiere una precisión mucho mayor. Actualmente, se encuentran disponibles transmisores de presión digitales inteligentes especialmente calibrados que ofrecen una precisión mucho mayor.

El microprocesador integrado permite compensar los efectos de la temperatura y las desviaciones sistemáticas del transmisor.
La HTG utiliza estos precisos transmisores de presión para una medición continua de la masa del contenido del tanque. (Fig. 10)

Existen varias configuraciones de HTG disponibles:

• Se puede construir un sistema HTG simple con un solo transmisor cerca del fondo del tanque (P1). La masa total se puede calcular multiplicando la presión medida por el área equivalente del tanque.

• Al añadir un segundo transmisor (P2) a una distancia conocida de P1, se puede calcular la densidad observada (DENS. OBS.) del producto a partir de la diferencia de presión P1 - P2.
El nivel se puede calcular a partir de la densidad y la presión P1.

• Se puede añadir un transmisor P3 o superior para eliminar el efecto de la presión de vapor en los transmisores P1 y P2.

Para tanques presurizados, el HTG es menos adecuado. La gran diferencia entre la presión de almacenamiento y las pequeñas variaciones de la presión hidrostática (ratio de reducción) provoca resultados inexactos.
Además, la instalación de las boquillas del transmisor en esferas es costosa y, a menudo, inaceptable.

En tanques atmosféricos, los sistemas HTG ofrecen una incertidumbre del 0,5 % o superior para la medición de masa.
La precisión de la medición del nivel de HTG, aunque suficiente para la determinación del área equivalente, es de 40 mm a 60 mm (1½ pulgadas a 2 pulgadas) y totalmente inaceptable para la custodia.

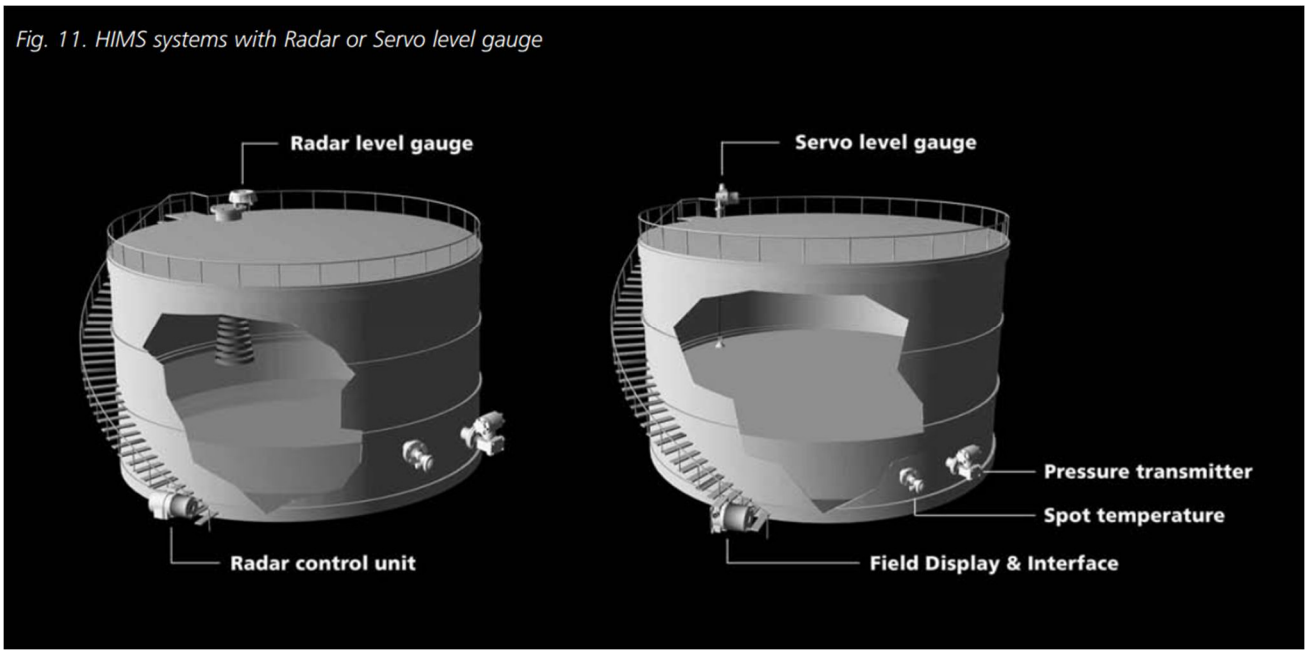


Fig. 11. HIMS systems with Radar or Servo level gauge

transferencia o evaluación de inventario. Por lo tanto, muchas empresas requieren la adición de un medidor de nivel específico. Una desventaja del sistema HTG es que la medición de densidad solo se realiza en un rango limitado cerca del fondo del tanque. Si el nivel del líquido está por encima del transmisor P2, el valor calculado se basa en mediciones activas. Sin embargo, si el nivel está por debajo de P2, no se realiza medición de presión diferencial. Este será el caso cuando el nivel esté solo de 1,5 a 2,5 m (de 6 a 8 pies) por encima del fondo del tanque. En muchos tanques, la densidad en la base del tanque será diferente a la densidad en niveles superiores. Esta estratificación de la densidad tiene un efecto devastador en los valores calculados de nivel y volumen. Dado que la medición de nivel de un sistema HTG es muy imprecisa, resulta inútil para cualquier tipo de protección contra sobrellenado. Las alarmas secundarias de nivel alto son esenciales.

2.6 Sistema Híbrido de Medición de Inventario

El Sistema Híbrido de Medición de Inventario (HIMS) combina las técnicas más modernas de medición de nivel con la medición hidrostática de tanques (Fig. 11 y 12). Utiliza un medidor de nivel avanzado por radar o servo para una medición precisa del nivel, con un transmisor de presión inteligente (P1) y un instrumento de medición de temperatura. En tanques no atmosféricos, se requiere un segundo transmisor para la compensación de la presión de vapor.

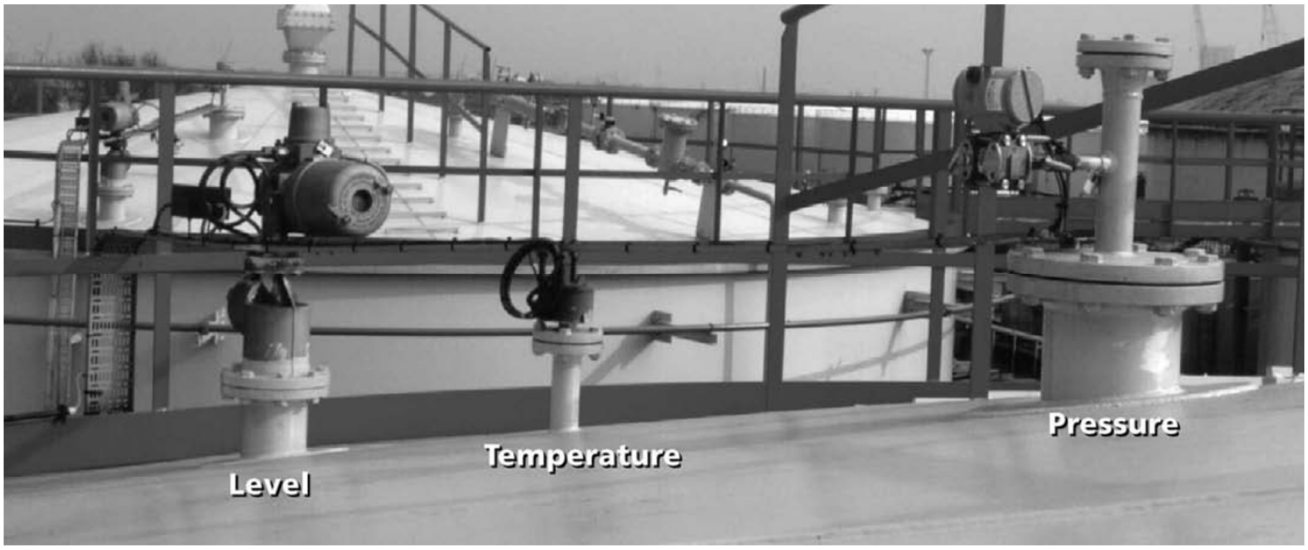


Fig. 12. Parte superior de una instalación HIMS

La medición de nivel es la base para un cálculo preciso del inventario de volumen. La medición de presión, combinada con el nivel, proporciona una verdadera medición de la densidad promedio a lo largo de toda la altura del producto. Esta densidad promedio se utiliza para la evaluación de la masa. La temperatura se utiliza para calcular volúmenes y densidades estándar a temperaturas de referencia.

Los medidores de nivel avanzados y los medidores de radar pueden suministrarse con una placa de interfaz que se comunica directamente con el transmisor de presión inteligente. El resultado es una medición única de nivel, temperatura y presión, y mediciones muy completas que proporcionan nivel, niveles de interfaz, niveles de interfaz producto-agua, densidad promedio, temperatura promedio, temperatura del vapor y alarmas.

Las instalaciones existentes con medidores de nivel avanzados de radar o servo pueden, en la mayoría de los casos, ampliarse fácilmente para convertirse en un sistema HIMS.

El HIMS se conoce como "lo mejor de ambos mundos", ya que ofrece lo mejor de la medición de nivel combinada con lo mejor de la medición hidrostática.

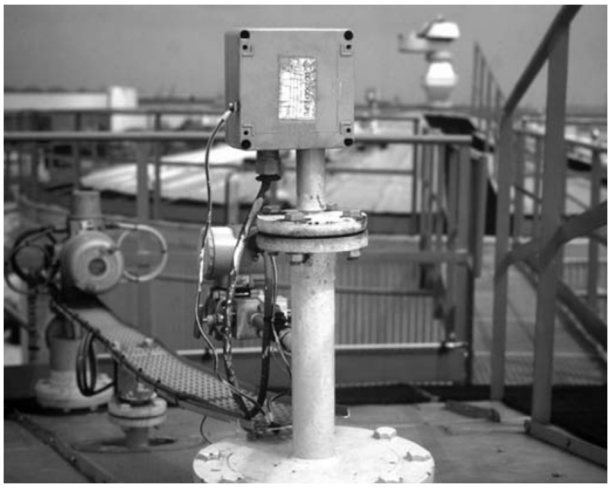


Fig. 12b. Ejemplo de un instrumento de medición de temperatura (instalación HIMS)

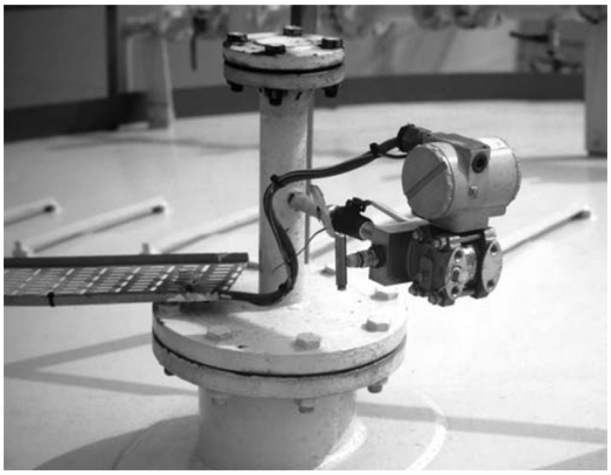


Fig. 12c. Transmisor de presión inteligente (instalación HIMS)

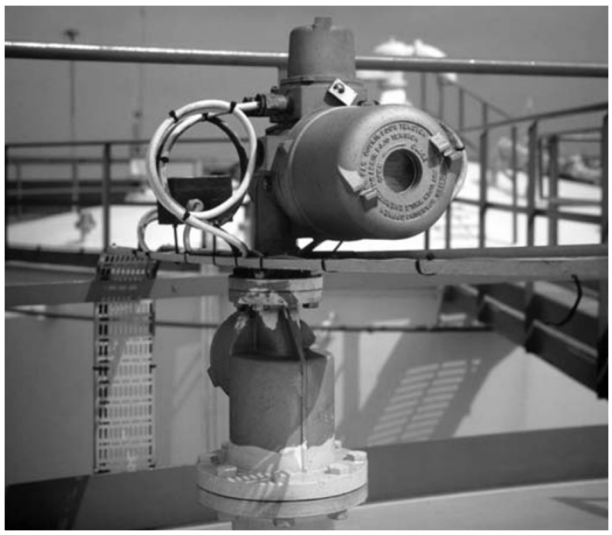


Fig. 12a. El indicador de nivel servo como parte de una instalación HIMS

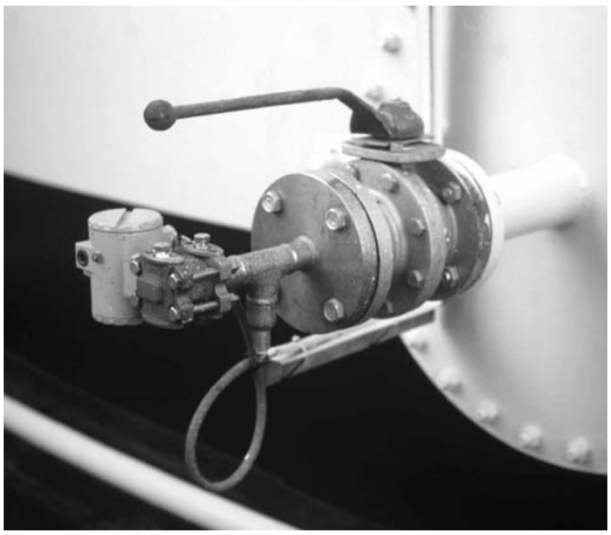


Fig. 12d. Ejemplo de un transmisor de presión inteligente en el lateral de un tanque (instalación HIMS)

3 Evaluación de cantidades en la medición de tanques

Las incertidumbres en la evaluación cuantitativa de un sistema de medición de tanques dependen de las incertidumbres de medición de los instrumentos instalados, la Tabla de Capacidad del Tanque (TCT) y la instalación.
Los instrumentos de medición de nivel miden el nivel de líquido en el tanque.
Los transmisores de presión miden la presión hidrostática de la columna de líquido. Tanto el nivel como la presión son funciones principales para el cálculo del volumen y la masa, respectivamente.
Los sistemas híbridos, como los HIMS, utilizan ambas entradas en un solo sistema.
Las conversiones de volumen a masa o viceversa se realizan utilizando la densidad y la temperatura como entradas secundarias. La entrada de densidad puede obtenerse de una fuente externa, como un laboratorio, o puede medirse en el tanque mediante transmisores de presión o un servomedidor de densidad. La entrada de temperatura se obtiene de un sistema de medición de temperatura en el tanque.

La forma en que los errores individuales influyen en la incertidumbre de masa o volumen depende del tipo de evaluación cuantitativa.

3.1 Evaluación de cantidad basada en niveles

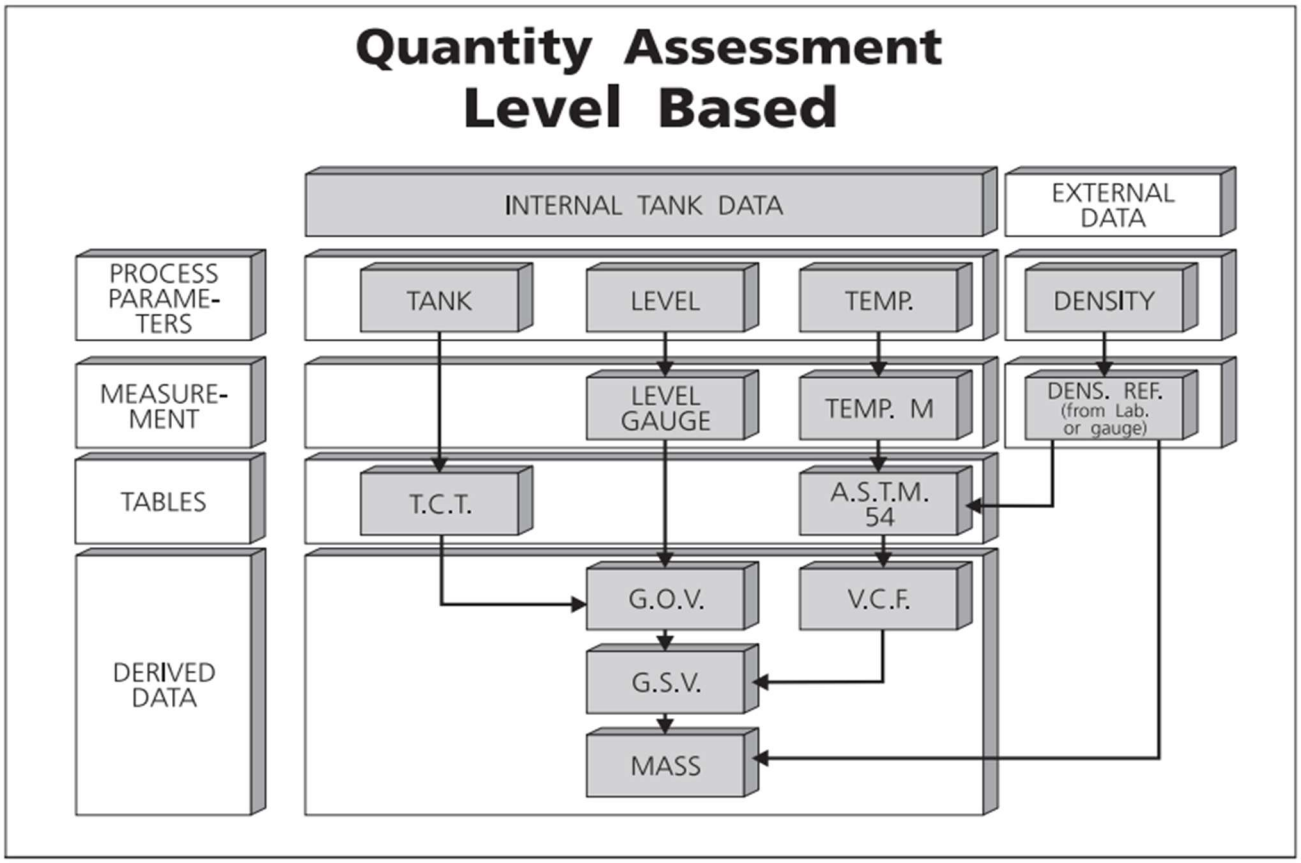
La figura 13 muestra cómo se realiza la evaluación de la cantidad en un sistema convencional basado en el nivel (volumen). El tanque referencia el nivel del líquido, la temperatura del líquido y el volumen del líquido.

La densidad son los parámetros relevantes.
• El nivel se mide con un medidor de nivel radar o servo.
• La temperatura se mide con un sensor de temperatura puntual o promedio.
• La densidad a la temperatura de referencia se obtiene mediante un análisis de laboratorio de una muestra al azar.
• El Volumen Bruto Observado (V.O.B.) se deriva del nivel y la Tabla de Capacidad del Tanque (T.C.T.).
• El Volumen Bruto Estándar (V.S.B.) se calcula a partir del V.O.B., corregido con el Factor de Corrección de Volumen (F.C.V.).
• El F.C.V. se deriva de la medición de temperatura utilizando la Tabla 54 de ASTM y la densidad a la temperatura de referencia (DENS. REF.).

La MASA total se calcula a partir del V.S.B. multiplicado por la densidad a la temperatura de referencia (DENS. REF.). La MASA del producto también se puede calcular a partir del Volumen Neto Estándar, como el V.O.G. menos el contenido de sedimentos y agua.

Las principales causas de incertidumbre son la evaluación de la temperatura y la Tabla de Capacidad del Tanque. Se pueden añadir funciones adicionales para mejorar el rendimiento total, por ejemplo, la medición de la presión de vapor y la interfaz agua.

Figura 13. Evaluación de cantidad basada en el nivel



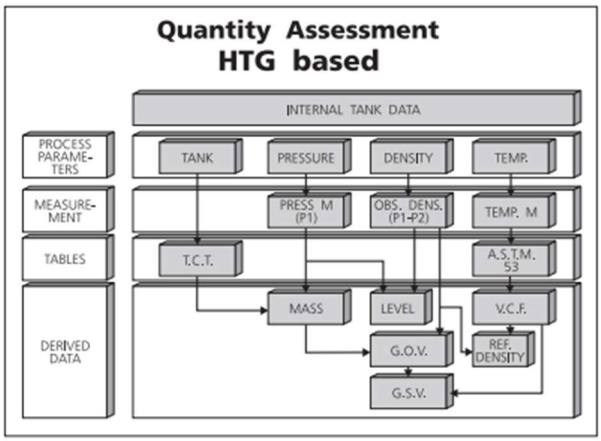


Figura 14. Evaluación de cantidad basada en HTG

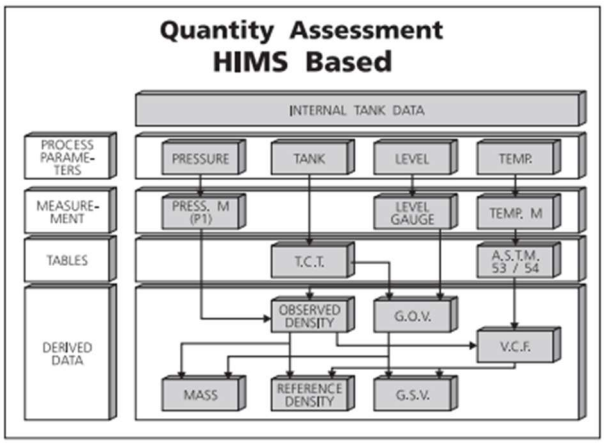


Figura 15. Evaluación de cantidades basada en HIMS

3.2 Evaluación de la cantidad basada en la hidrostática

La evaluación de la cantidad de un sistema basado en HTG se muestra en la Fig. 14. Los parámetros relevantes son las referencias del tanque: presión hidrostática del líquido, densidad del líquido y temperatura del líquido.

• La presión M se mide mediante el transmisor de presión P1.
• La densidad observada (DENS. OBS.) se mide utilizando los transmisores de presión P1 y P2.
• La temperatura se puede medir para los cálculos de G.S.V. con un sensor de temperatura.
• La MASA se calcula directamente a partir del área equivalente y el transmisor PI (PRESS. M). El área equivalente se obtiene de la Tabla de Capacidad del Tanque (T.C.T.).
• La G.O.V. se deriva de la MASA y la densidad observada.
• La densidad observada se deriva de la medición de la presión diferencial de P1 - P2 y la distancia entre ambos transmisores. El V.C.F. se deriva de la medición de temperatura según la Tabla 54 de ASTM y la densidad a la temperatura de referencia (DENS. REF.).
• El G.S.V. se calcula a partir del G.O.V., corregido con el V.C.F.
• El V.C.F. se deriva de la medición de temperatura según la Tabla 54 de ASTM y la densidad a la temperatura de referencia (DENS. REF.).
• El nivel se deriva de la medición de presión (PRESS M) y densidad (DENS. OBS.) obtenida de P1 y P2.
• La densidad a la temperatura de referencia (DENS. REF.) se deriva de la densidad observada (DENS. OBS.), corregida con el V.C.F.

Las principales incertidumbres en un sistema HTG son causadas por la T.C.T., los transmisores de presión y los cálculos que utilizan un valor de densidad incorrecto debido a productos no homogéneos.

Las variaciones de temperatura no influyen en la precisión de la masa. La temperatura es necesaria para el cálculo de la densidad en condiciones de referencia y G.S.V.

3.3 Evaluación de cantidad basada en sistema híbrido

La evaluación de cantidad de un sistema basado en HIMS se muestra en la Fig. 15.

Los parámetros relevantes son la presión hidrostática del líquido, las referencias del tanque, el nivel y la temperatura del líquido.

• La presión hidrostática se mide con el transmisor de presión P1.
• El nivel se mide con un medidor de nivel radar o servo avanzado.
• La temperatura se mide con un sensor de temperatura puntual o un sensor de temperatura promedio.

El sistema es básicamente el mismo que el sistema basado en nivel; sin embargo, la densidad se deriva de la presión hidrostática (PRESS M) medida por P1 y la altura de la columna de líquido en P1.

• El G.O.V. se deriva del nivel y la Tabla de Capacidad del Tanque (T.C.T.).
• El G.S.V. se calcula a partir del G.O.V. y se corrige con el V.C.F.
• La MASA, sin embargo, se calcula directamente a partir del G.O.V. y la DENS. OBS. de PRESS. M medido por P1.
• La DENS. REF. se calcula a partir de DENS. OBS. corregido con el V.C.F.
• El V.C.F. en este caso se deriva de la medición de temperatura utilizando la Tabla 54 de ASTM y el DENS. OBS.

HIMS proporciona, como ventaja adicional, una medición continua de densidad promedio altamente precisa.

La densidad promedio observada se determina en toda la altura del nivel. Esta es una característica única, ya que todos los demás sistemas determinan la densidad en uno o más niveles específicos o en un rango limitado de 2 m a 3 m (6,6 pies a 5 pies).

4 Incertidumbres en la Medición de Tanques

Para comparar los diferentes sistemas de evaluación de cantidades, es necesario analizar todos los parámetros que afectan la incertidumbre final de cada sistema.

Las hojas de datos de los instrumentos generalmente solo indican la precisión en condiciones de referencia. La precisión de masa y volumen derivada de estos datos suele ser demasiado optimista. Para una correcta interpretación de las hojas de datos y la justificación de la elección de los instrumentos, también deben tenerse en cuenta los errores causados por la instalación.
Esto puede ser difícil. Incluso en las organizaciones internacionales que se ocupan de la estandarización, se dedica mucho tiempo a establecer la forma correcta de calcular o determinar las incertidumbres finales.

Se desarrolló un análisis de incertidumbre para la medición de tanques para comprender mejor los mecanismos y parámetros involucrados. Con base en este análisis, se han elaborado varios gráficos y tablas de datos que ilustran las incertidumbres de los sistemas de medición abordados en este documento. El análisis se realizó tanto para el inventario como para las transferencias de lotes. Todas las incertidumbres se expresan como valores relativos, es decir, como porcentajes del inventario o de la cantidad transferida, como es habitual en el control de pérdidas y la transferencia de custodia.

La comparación utiliza especificaciones genéricas de incertidumbres para equipos de medición de tanques, tanques de almacenamiento e instalaciones. Se asume que los datos utilizados son independientes del fabricante.

4.1 Fuentes de error

La incertidumbre global en la evaluación cuantitativa es el resultado combinado de todas las incertidumbres de cada parámetro individual en el cálculo. Para obtener la precisión óptima de un medidor específico, se requiere una instalación cuidadosa. Esto aplica a todo tipo de medidores. La Fig. 16 muestra las principales fuentes de error en la medición de tanques.

Figura 16. Principales fuentes de errores

Medición de nivel

Falta de estabilidad de la instalación

Medición de temperatura

Estratificación de la temperatura

Medición hidrostáticas de nivel

Posición del transmisor

Viento

Aplicaciones presurizadas

• Los tanques de almacenamiento a granel no están diseñados para servir como recipientes de medición. Su forma real se ve influenciada por numerosos factores.
Es posible la compensación computarizada de algunos de estos efectos, siempre que se conozcan y sean reproducibles.
Para obtener la máxima precisión con dispositivos de medición de nivel, es fundamental contar con una plataforma de medición estable. El uso de una tubería de soporte es una técnica disponible y conocida, y ya está presente en muchos tanques, con y sin techos flotantes. La presencia de dicha tubería es una ventaja que permite obtener la máxima precisión posible al elegir instrumentos en un proyecto de renovación.

Para los medidores de radar, se pueden utilizar las tuberías existentes para proporcionar estabilidad mecánica. Se requieren antenas de modo circular cuando se prevé la instalación en una tubería. En tanques de alta presión, se recomienda la instalación de un inserto con pines de referencia.

• La temperatura es un parámetro de medición que a menudo se subestima. Una medición precisa de la temperatura promedio es esencial para lograr cálculos de inventario precisos.
Las mediciones puntuales no son útiles cuando la temperatura del producto está estratificada.

• Los equipos utilizados en sistemas HTG se instalan fuera del tanque. En el caso de tanques existentes, un método de instalación con conexión en caliente (HOT TAPPING) mientras el tanque permanece en servicio puede ser la solución si las regulaciones de la empresa lo permiten. Esta técnica está completamente desarrollada, pero existen diferentes opiniones sobre los aspectos de seguridad. El transmisor P1 debe instalarse lo más bajo posible, pero por encima del nivel máximo de agua y sedimentos.
Es importante tener en cuenta que el producto debajo de la boquilla P1 no se mide realmente. Esta restricción limita considerablemente la cantidad mínima que se puede medir para fines de custodia e impuestos.

Un estudio realizado por la empresa holandesa de pesos y medidas demostró que el viento puede causar errores de hasta un 0,2 % en un tanque de 10 m (33 pies) de altura. En tanques de techo fijo, este error se puede compensar mediante una conexión externa entre P1 y P3. Las altas presiones nominales de operación que se encuentran en recipientes de tipo esfera y bala requieren transmisores especialmente diseñados. La medición de la pequeña señal superpuesta a la alta presión reduce la precisión.

4.2 Resumen de incertidumbres

Las figuras 17 y 18 muestran resúmenes respectivos sobre las incertidumbres en el inventario y la transferencia de lotes para sistemas basados en nivel (servo/radar), sistemas HIMS y HTG.

Inventory		Level Servo/Radar		HIMS		HTG	
[m]	[ft]	Mass	G.S.V.	G.S.V.	Mass	Mass	G.S.V.
20	66	0.12	0.06	0.06	0.04	0.04	0.43
10	33	0.12	0.07	0.07	0.08	0.08	0.41
2	6.5	0.13	0.08	0.08	0.08	0.40	0.34
Inventory uncertainties in [%]							

Figura 17. Resumen de las incertidumbres del inventario

Transfer		Level Servo/Radar		HIMS		HTG	
[m]	[ft]	Mass	G.S.V.	G.S.V.	Mass	Mass	G.S.V.
20-18	66-60	0.31	0.30	0.30	0.28	0.28	3.09
4-2	13-6.5	0.14	0.10	0.10	0.28	0.28	0.61
20-26	66-6.5	0.11	0.04	0.04	0.03	0.03	0.47
Batch transfer uncertainties in [%]							

Fig. 18. Resumen de las incertidumbres en las transferencias de lotes

Nota: Para sistemas basados en nivel, la densidad se obtiene del análisis de laboratorio de una muestra tomada al azar; se asume que la incertidumbre es de ± 0,1 %.

Fig. 19. Refinería

5 Seguridad

5.1 Riesgos de incendio y explosión

La mayoría de los instrumentos de medición de tanques se instalan en tanques que contienen productos inflamables. Los instrumentos en dichos tanques o en la zona de peligro circundante deben ser a prueba de explosiones.
Los circuitos que entran en la atmósfera del tanque, como los sistemas de medición de temperatura, deben ser intrínsecamente seguros. Anteriormente, cada país tenía sus propias normas de seguridad, pero la armonización internacional de normas se ha convertido en una realidad.

Las normas europeas CE/ATEX y las estadounidenses FM son aceptables en muchos países. La seguridad, es decir, el hecho de que la construcción a prueba de explosiones o intrínsecamente segura cumpla con las normas, debe estar certificada por un instituto de aprobación independiente. Institutos reconocidos son PTB (Alemania), Factory Mutual Research (EE. UU.), SAA (Australia), JIS (Japón) y CSA (Canadá).

Los mejores instrumentos de medición de tanques no solo cumplen con las normas de seguridad, sino que las superan al anticiparse a los requisitos de seguridad futuros. Dichos requisitos incluyen la exclusión del aluminio en el interior de los tanques de almacenamiento (zona O) y la limitación de la energía cinética de las partes móviles de un medidor a valores mucho menores que los que podrían causar ignición.

5.2 Rayos y Medición de Tanques

Los rayos pueden causar situaciones peligrosas, por lo que se deben tomar medidas para proteger la instalación y el sistema de medición de tanques contra estos peligros. Los sistemas modernos de medición de tanques contienen numerosos circuitos electrónicos. Su ubicación sobre los tanques de almacenamiento hace que estos equipos sean más vulnerables a los daños causados por rayos que cualquier otro tipo de equipo industrial.
Los sistemas de comunicación actuales, que conectan todos los equipos de campo a través de una sola red, aumentan la probabilidad de posibles daños a los equipos, ya que las redes se extienden por áreas cada vez más extensas. Siendo la alta fiabilidad y disponibilidad uno de los principales requisitos de los equipos modernos de medición de tanques, existe la necesidad de métodos de protección contra rayos bien diseñados y probados en campo. La figura 20 muestra un medidor de tanque sometido a una prueba de alta tensión.

En los parques de tanques, los rayos provocan una diferencia de potencial directa entre el medidor, conectado a tierra al tanque por un extremo, y el receptor central por el otro. Esto genera una diferencia de potencial entre el cable y el medidor, o entre el cable y el receptor. Esta diferencia entre el equipo y el cable intenta ecualizarse y busca una ruta de baja impedancia entre los circuitos conectados al cable y la tierra. En cuanto la diferencia de potencial supera la tensión de aislamiento, se produce una ruptura entre los componentes electrónicos y la tierra. Además, se inducen corrientes transitorias en los componentes y el cableado adyacentes.

Las corrientes que fluyen a través de los componentes electrónicos causan efectos desastrosos. Todo semiconductor que no sea lo suficientemente rápido o capaz de manejar las corrientes, incluso durante un corto periodo, será destruido.

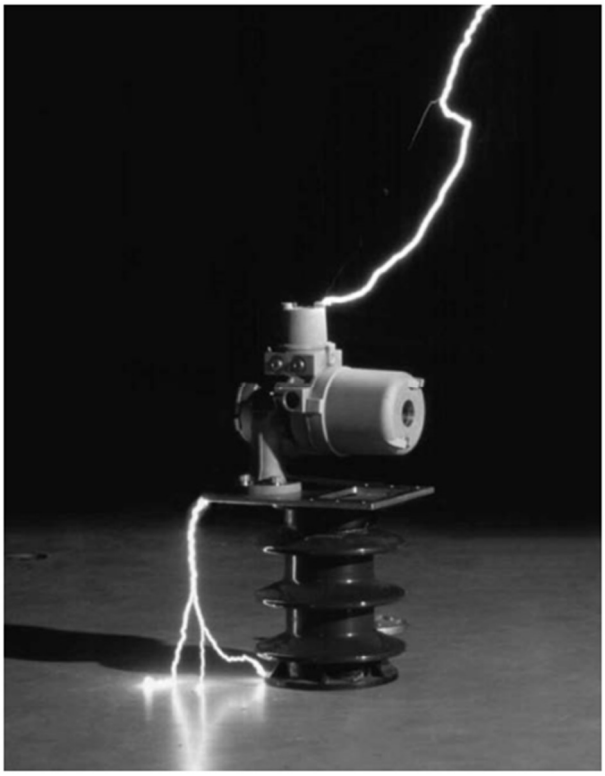


Fig. 20. Medidor de tanque bajo prueba de alto voltaje

Se utilizan dos técnicas básicas para minimizar los daños causados por rayos y transitorios: Supresión y Desvío.

5.2.1 Circuito de supresión

Mediante circuitos especiales en todos los cables de instrumento, tanto de entrada como de salida, es posible suprimir la magnitud del transitorio que se produce en el instrumento. (Fig. 21)
Un tubo de descarga de gas forma el núcleo.

Los tubos de descarga de gas están disponibles para protección de tensión desde 60 V hasta más de 1000 V y reaccionan en varios microsegundos, tras lo cual forman una trayectoria ionizada conductora.
No ofrecen protección hasta que son completamente conductores.

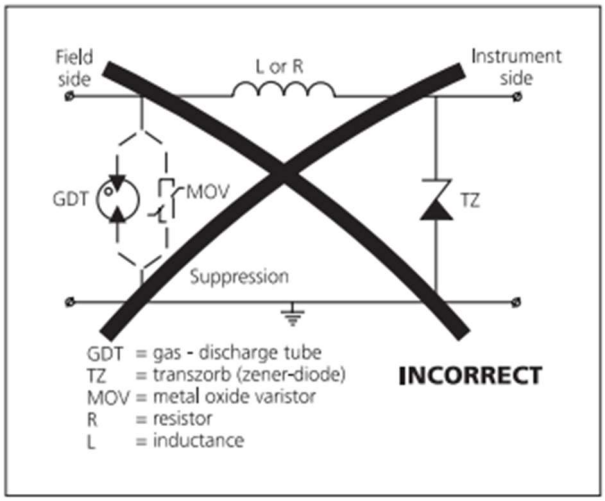


Fig. 21. Circuito de supresión

Se puede añadir un transzorb o varistor, en combinación con una resistencia y, preferiblemente, un inductor, para mejorar la protección.
Estos semiconductores reaccionan en un par de nanosegundos y limitan la tensión. Un problema importante es que cada vez que un supresor de transitorios reacciona, se degrada. Por lo tanto, su fiabilidad es baja, lo que hace que este tipo de dispositivo no sea adecuado para aplicaciones críticas como los medidores de tanques.

5.2.2 Circuito de desviación

La desviación (Fig. 22) es una técnica mucho más fiable y más adecuada para la protección contra rayos de los instrumentos electrónicos de medición de tanques. La protección moderna utiliza la desviación combinada con apantallamiento y aislamiento galvánico completo. Es una técnica en la que los picos de alta tensión se desvían en lugar de disiparse.

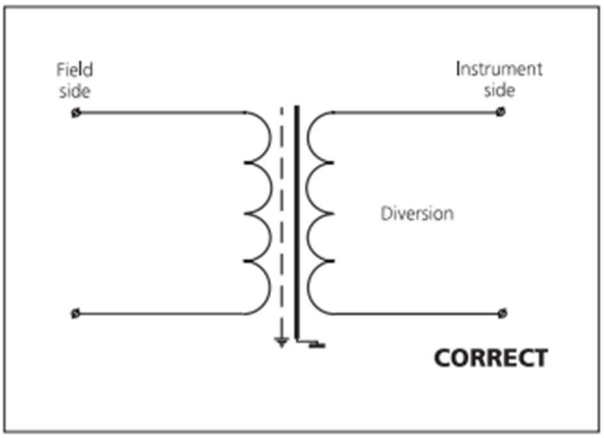


Fig. 22. Circuito de desviación

Se utilizan transformadores de aislamiento especialmente diseñados para todas las entradas y salidas. Cuentan con dos blindajes de tierra internos separados entre los devanados primario y secundario y el núcleo del transformador. El cableado externo está físicamente separado del cableado interno y se emplean pistas de tierra en todas las placas de circuito para blindar los componentes electrónicos. Lamentablemente, este método de protección no es adecuado para señales de CC. En este caso, se utiliza una protección transitoria convencional, mejorada con un aislamiento galvánico adicional.

5.2.3 Conexión a tierra y blindaje

Una conexión a tierra y un blindaje adecuado también ayudarán a proteger los instrumentos y sistemas conectados al cableado de campo contra daños causados por rayos. La posible ruta de descarga sobre la brida de un instrumento (por ejemplo, la de un medidor de nivel) y la brida de montaje correspondiente debe tener una resistencia prácticamente nula para evitar la acumulación de diferencias de potencial.
Una conexión a tierra deficiente o desconectada puede provocar chispas e incendiar los vapores del producto circundante.

5.2.4 Experiencia de campo

El método de desviación descrito para la protección interna contra rayos se ha utilizado durante más de 15 años, con aproximadamente 50.000 instrumentos instalados. Casi el 100 % de estos equipos se instala sobre tanques de almacenamiento a granel y se interconecta mediante redes de área amplia (WAN).

Un gran número de instalaciones se ubican en zonas conocidas por su propensión a los rayos. Hasta la fecha, solo se han registrado unos pocos incidentes en los que los rayos hayan tenido un papel decisivo. La magnitud de los daños siempre fue limitada y pudo repararse localmente con un bajo coste. Antes de la aplicación de este método de protección, se habían registrado daños por rayos más extensos.

Fig. 23. Tanques típicos de almacenamiento de líquidos a granel

6 Avances en la tecnología de medición de tanques

6.1 Servomedidores

Los servomedidores modernos ya pertenecen a la septima generación (Fig. 24). Utilizan microcontroladores integrados de última generación, lo que minimiza la cantidad total de componentes electrónicos.
Las herramientas avanzadas de desarrollo de software y los lenguajes de programación de alto nivel proporcionan un funcionamiento fiable.
Los algoritmos de control difuso mejoran la interacción entre la mecánica y la electrónica, reduciendo el número de piezas mecánicas.
Los servomedidores avanzados de tanques (ATG) actuales tienen menos de cinco piezas móviles.

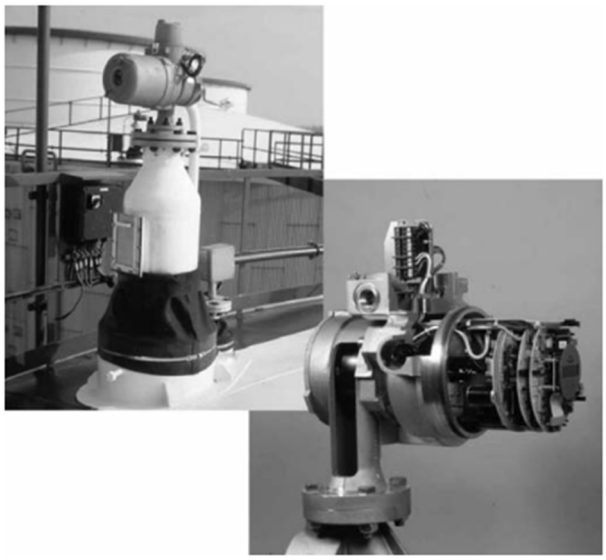


Fig. 24. Medidor servo de tecnología avanzada

Las principales características de un medidor servo de tecnología avanzada son:

• Bajo costo operativo.
• Tiempo medio entre fallas (MTBF) típico de más de 10 años.
• Bajo costo de instalación, especialmente al reemplazar medidores servo existentes.
• Precisión estándar de 1 mm (0,04 pulgadas).
• Compensación por software de la deformación del tanque hidrostático, lo que elimina la necesidad de tuberías de soporte para una medición precisa.
• Programación completa para una configuración y un mantenimiento sencillos sin necesidad de abrir el instrumento.
• Construcción compacta y ligera que no requiere equipo de elevación.
• Posibilidad de instalación mientras el tanque permanece en pleno funcionamiento.
• Diagnóstico continuo para máxima confiabilidad y disponibilidad.
• Medición de la interfaz agua-producto para mediciones programadas.
• Medición de la densidad puntual y promedio del producto.
• Interconexión con otros transmisores inteligentes, por ejemplo, para la temperatura, la presión del producto y del vapor, mediante un protocolo digital, incluyendo compatibilidad con la densidad promedio.

La estricta legislación alemana actualmente acepta medidores servo avanzados como una alarma única para la protección contra sobrellenado.

6.2 Medidores de radar

Los medidores de radar desempeñan un papel importante en la medición de tanques (Fig. 25 y 26). Su naturaleza no intrusiva de estado sólido los hace muy atractivos. La precisión del medidor de radar de última generación cumple con todos los requisitos para la transferencia de custodia y las mediciones de inventario legal.

Fig. 25. Medidor de nivel de radar con tecnología de antena planar

La fiabilidad es alta y el mantenimiento se reducirá aún más.
La inteligencia integrada permite el diagnóstico remoto del rendimiento total del instrumento. Su diseño compacto y ligero simplifica la instalación sin necesidad de izar el equipo. La instalación es posible mientras el tanque permanece en pleno funcionamiento.
Los avances actuales apuntan a funciones más integradas. Los diseños mejorados de antena y la generación y procesamiento de señales totalmente digitales ofrecen un mejor rendimiento con menor interacción entre el tanque y el haz del radar.

Las principales características del medidor de nivel por radar de nueva generación son:

• SIN piezas móviles.
• Coste de mantenimiento muy bajo.
• Bajo coste operativo.
• Instrumento no intrusivo.
• Bajo coste de instalación.
• MTBF típico de más de 60 años.
• Bajo coste de propiedad.
• Diseño modular.
• Precisión estándar de 1 mm (0,04 pulgadas).
• Compensación por software de la deformación del tanque hidrostático, lo que elimina la necesidad de tuberías de soporte para una medición precisa.
• Programación completa para una fácil configuración y verificación.
• Construcción compacta y ligera que elimina la necesidad de instalar equipos de elevación mientras el tanque permanece en funcionamiento.
• Diagnóstico continuo que proporciona la máxima fiabilidad.
• Medición de la interfaz agua-producto mediante sonda digital integrada.
• Medición de la densidad mediante el transmisor de presión integrado en el sistema (HIMS).
• Interconexión con otros transmisores, por ejemplo, Para temperatura y presión de producto y vapor mediante protocolo digital.

Fig. 26. Medidor de nivel por radar para aplicaciones de alta presión

6.3 Medición de temperatura

La medición precisa de la temperatura es esencial para los sistemas de medición de nivel en tanques.
Los elementos de medición puntual de temperatura son ampliamente aceptados para la evaluación de la temperatura de productos en tanques con productos homogéneos.
La instalación es sencilla y la fiabilidad es buena. El gráfico de la Fig. 27 muestra que las mediciones puntuales no son adecuadas para medir con precisión la temperatura de productos con tendencia a la estratificación. Los efectos de la estratificación de la temperatura solo pueden ignorarse en productos ligeros que se mezclan frecuentemente.

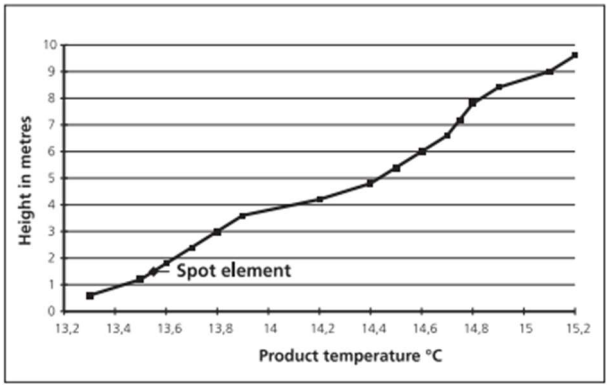


Fig. 27. Estratificación de la temperatura en un tanque de almacenamiento.

En general, se utilizan elementos de medición de temperatura promedio en caso de estratificación térmica.
El último desarrollo es el Termómetro Multitemperatura (MTT), que se muestra en la Fig. 28 y que utiliza 16 termosensores distribuidos uniformemente sobre la máxima altura posible del líquido.
Un elemento Pt100 de clase A de alta precisión en la parte inferior actúa como referencia. Se pueden alcanzar precisiones superiores a 0,05 °C (0,08 °F). Los elementos también pueden medirse individualmente para obtener perfiles de temperatura y temperaturas de vapor.

Los MTT están disponibles con tubos de protección de nailon y acero inoxidable. Ofrecen una construcción robusta, ideal para los entornos hostiles de un tanque de almacenamiento a granel.

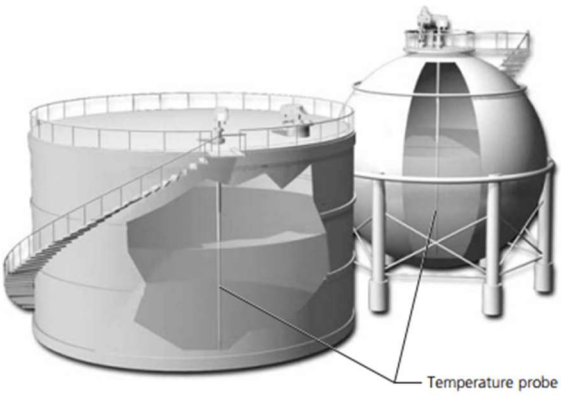


Fig. 28. La temperatura media es un parámetro importante

Otro tipo de elemento de medición de temperatura promedio es el termómetro multirresistencia (MRT). Su funcionamiento se basa en varios elementos sensores de temperatura de cable de cobre de diferentes longitudes. La medición de la temperatura promedio se logra midiendo el termómetro de resistencia completamente sumergido más largo, seleccionado mediante un selector de elementos de estado sólido. Una desventaja del MRT es la delicada construcción de los elementos.
El cable de cobre muy fino utilizado hace que el dispositivo sea susceptible a daños, especialmente durante el transporte y la instalación.

6.4 Medición hidrostática de tanques

Los recientes desarrollos de transmisores inteligentes abrieron una nueva era para la medición hidrostática de tanques (HTG).
El desarrollo de transmisores de presión inteligentes con microcomputadoras hizo posible la medición hidrostática de tanques. Hace tan solo un par de años, los transmisores de presión de alta precisión eran escasos y bastante caros. Ahora, varios fabricantes ofrecen transmisores con una precisión del 0,02 %. La comunicación digital mediante estándares de facto, como el protocolo HART™, permite una interfaz sencilla con prácticamente cualquier transmisor. Esta amplia gama simplifica la selección para aplicaciones específicas y permite al usuario elegir su transmisor preferido. La estandarización inherente para el usuario final reduce los costes de mantenimiento.

6.5 Sistema Híbrido de Medición de Inventario

Los Sistemas Híbridos de Medición de Inventario (HIMS) también se basan en la integración de transmisores de presión inteligentes. Los medidores de nivel modernos, ya sean servomotores o radar, ofrecen la posibilidad de una interfaz directa con transmisores de presión inteligentes. El HIMS facilita la integración de sistemas de inventario total de tanques, midiendo todos sus parámetros a través de un único sistema.

6.6 Sistema Central de Gestión de Inventario

La interfaz con los operadores y/o el sistema de control y gestión de supervisión es el sistema de gestión de inventario de medición de tanques. (Fig. 29) Estos sistemas de alta velocidad recopilan los datos de medición de todos los instrumentos de medición de tanques, verifican continuamente el estado de las alarmas y los parámetros funcionales, y calculan datos de inventario en tiempo real, como el volumen y la masa.

El hardware utilizado generalmente consiste en computadoras personales o industriales estándar equipadas con software específico para la gestión de inventarios. Es este software, junto con la fiabilidad e integridad de la instrumentación de campo, lo que determina el rendimiento y la precisión del sistema de gestión de inventarios. Todos los instrumentos de campo, independientemente de su antigüedad o tipo, deben comunicarse a través del mismo bus de transmisión.
Los volúmenes y la masa del producto deben calcularse de la misma manera que lo hacen las autoridades designadas por el propietario y los peritos.

El software del sistema debe almacenar los parámetros de la tabla del tanque, calcular los volúmenes observados y estándar, corregir el agua libre y, si corresponde, corregir la inmersión del techo flotante. Los cálculos del Volumen Bruto Estándar (VBS) deben estar en de acuerdo con las recomendaciones API, ASTM e ISO, implementando las tablas 6A, 6B, 6C, 53, 54A, 54B, 54C y 5.

La calidad del sistema de gestión de inventario se puede evidenciar mediante la disponibilidad de pesos y medidas o las aprobaciones de Aduanas e Impuestos Especiales. Los sistemas de gestión de inventario pueden contar con sus propias consolas de visualización o poner todos los datos a disposición de un sistema de supervisión.

Los sistemas en red están disponibles cuando se requiere. Además de una gran cantidad de funciones de gestión de inventario, el sistema también puede controlar las válvulas de entrada y salida de los tanques, iniciar y detener bombas, mostrar datos de otros transmisores, proporcionar documentos de envío, generar curvas de tendencia, mostrar gráficos de barras, realizar una detección precisa de fugas, calcular caudales, controlar relés de aviso de alarmas, realizar numerosas tareas de diagnóstico y mucho más. Para ver ejemplos de formatos de visualización de un sistema de gestión de inventario, consulte la Fig. 30.

La facilidad de uso del sistema es fundamental. Los sistemas más avanzados y de mayor calidad cuentan con teclas de ayuda contextuales que facilitan al operador las instrucciones de ayuda adecuadas de inmediato.

Fig. 29. Sistema central de gestión de inventario

6.7 Interfaz con sistemas host

Los sistemas receptores también pueden equiparse con interfaces de comunicación host para la conexión a los sistemas de gestión de planta, como por ejemplo:
- Sistemas de Control Distribuido (DCS),
- Sistemas de Control Integrado (ICS),
- Sistemas de contabilidad de aceite,
- etc.

Se han desarrollado protocolos en estrecha colaboración con reconocidos proveedores de sistemas de control.

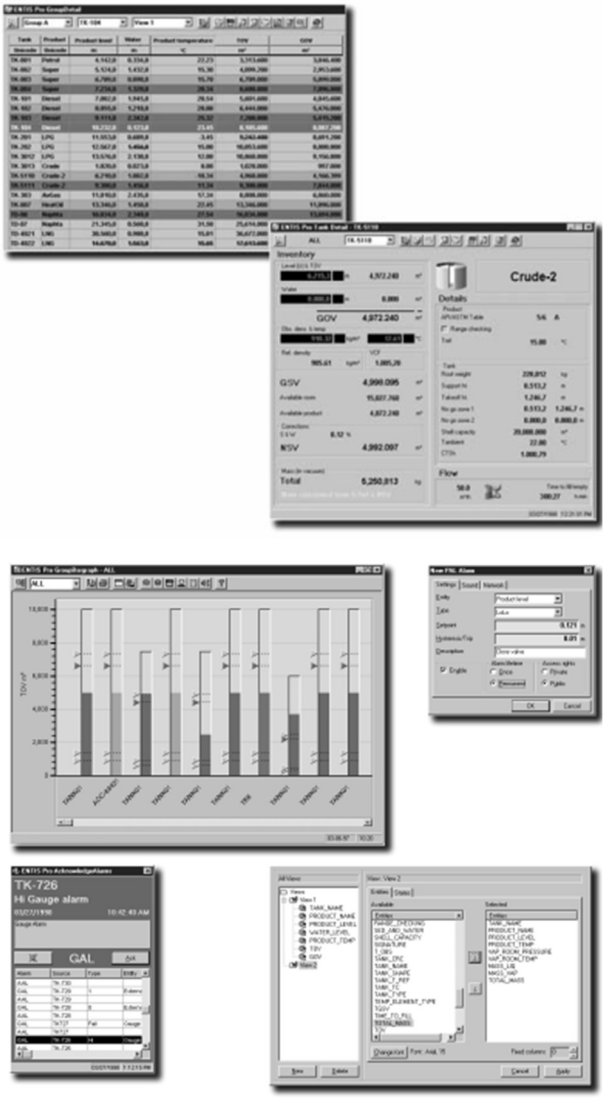
Estos son necesarios para transmitir y recibir los datos típicos de medición de aforo de tanques.
Se dispone de protocolos MODBUS estándar y otros para una comunicación fluida entre los sistemas de inventario de tanques y los sistemas de control de terceros. Los DCS modernos u otros sistemas tienen la potencia suficiente para gestionar los cálculos de inventario, pero a menudo carecen de la programación específica necesaria para una gestión eficaz del inventario.

Los sistemas de gestión de inventario de tanques, especialmente desarrollados para parques de tanques y equipados con enlaces host adecuados, ofrecen claras ventajas.

• Evitan que el proveedor del sistema host necesite conocimientos detallados sobre el manejo de datos específicos del transmisor y del medidor.
• Mantener una base de datos única, con todos los parámetros relacionados con los tanques en un solo ordenador, es sencillo e inequívoco.
• Los procedimientos de cálculo de inventario y transferencia fuera del sistema central son más fáciles para las autoridades de Pesos y Medidas.
• La implementación del software necesario para la gestión de nuevos o más medidores de tanques puede restringirse al sistema de medición de tanques. Esto mejorará la fiabilidad y la disponibilidad del sistema central.

Conectar todos los instrumentos de campo mediante un bus de campo al sistema de supervisión, DCS o Sistema de Medición de Tanques, resulta ventajoso para las operaciones. Simplifica el mantenimiento y el servicio, y permite una rápida sustitución del equipo en caso de avería.

Fig. 30. Formatos de visualización de un sistema de gestión de inventario



7 Tendencias futuras en la tecnología de medición de tanques

La combinación de técnicas de medición estáticas y dinámicas permite la monitorización continua de los niveles físicos de existencias en tiempo real. Al conciliar los cambios registrados en los niveles de existencias con los movimientos medidos, el sistema puede detectar e identificar inmediatamente cualquier pérdida de producto.

Los movimientos inesperados de producto pueden ser señalizados al operador mediante una alarma.
El análisis estadístico de los datos estáticos del sistema de medición de tanques y los datos dinámicos de los caudalímetros también podría utilizarse para mejorar la precisión de la tabla de capacidad de los tanques.
La correlación cruzada de los medidores y los caudalímetros podría reducir aún más las incertidumbres de las mediciones. Con instrumentos de medición de tanques de alta precisión, combinados con potentes plataformas informáticas, la conciliación automática se vuelve viable.

Las interfaces con los sistemas de múltiples proveedores, desde la medición de tanques hasta los sistemas de carga y control de válvulas, serán factibles mediante estándares de comunicación internacionalmente aceptados.

Fig. 31. Instalación de almacenamiento de gas a presión

8 Resumen

Existe una amplia gama de instrumentos de medición de tanques. Las técnicas empleadas son más complementarias que competitivas, ya que cada principio de medición tiene sus propias ventajas. Los medidores servo y de radar modernos han mejorado considerablemente. Si la masa es la medida deseada para la transferencia de inventario y custodia, se prefiere su uso casi sin necesidad de HTG.

Los costos de cualquier sistema de medición de tanques se determinan principalmente por el costo de la instalación, incluido el cableado de campo. En los proyectos de modernización, los costos dependen en gran medida de la posibilidad de modernizar las instalaciones existentes.

Debido a la práctica comercial mundial, la medición de volumen seguirá desempeñando un papel importante en el mantenimiento y puede proporcionar un funcionamiento sin problemas si se aplica correctamente. La posibilidad de instalaciones mixtas con servo, radar, HTG y HIMS proporciona una flexibilidad óptima y aprovecha la capacidad de cada técnica de medición.

La combinación de volumen y masa ofrece grandes ventajas.

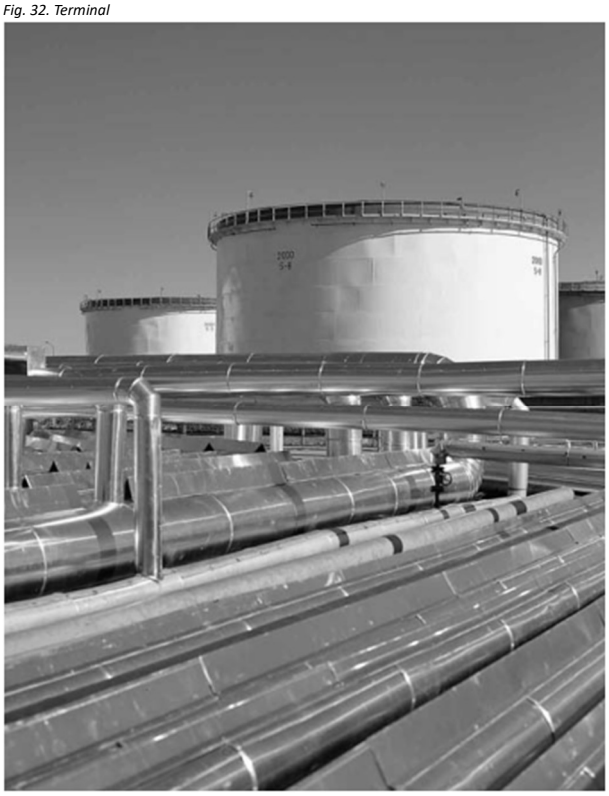
Probablemente no se publique una norma de medición globalmente aceptada hasta dentro de varios años. La implementación de cálculos de volumen y masa fuera de los sistemas de información de gestión, DCS o host sigue siendo preferible. Los requisitos de integridad para los cálculos de volumen y masa impuestos por las autoridades de peso y medición son más fáciles de cumplir externamente y justifican el hardware adicional.

Los buses de campo estándar pueden desempeñar un papel decisivo en la interfaz directa entre los sistemas de medición de tanques dedicados y otros sistemas. Sin embargo, la calidad de las mediciones nunca debe sacrificarse en aras de la estandarización de los buses.

9 Literatura

- ISO 91.
- ISO/TC28/sección 3.
  Términos relacionados con el cálculo de la cantidad de petróleo.
- ASTM, Tablas 6, 53 y 54.
- Manual API de Normas de Medición de Petróleo.
  Anexo al capítulo 1, «Vocabulario».
- Publicación de Enraf: Mantenimiento de la seguridad del almacenamiento en tanques con sistemas modernos de medición automática de tanques.
- Publicación de Enraf: Análisis de las incertidumbres en los sistemas de medición de tanques.

Fig. 32. Terminal



Todos los productos de un solo proveedor

AlarmScout y WaterScout

Dispositivos innovadores para prevenir sobrellenados y derrames. AlarmScout detecta líquidos, lodos, espuma e interfaces (p. ej., aceite/agua).
WaterScout también puede utilizarse para la medición precisa del nivel en la interfaz agua/producto.

Indicador del panel de control

Este indicador de panel remoto puede utilizarse en una sala de control o en una instalación de bombeo. Muestra el nivel y la temperatura promedio del líquido. Las órdenes de prueba y verificación se pueden ejecutar fácilmente mediante las teclas programables del panel frontal.

Terminal portátil Enraf

Para una puesta en marcha y configuración del instrumento seguras y cómodas, incluso en zonas peligrosas. Este instrumento portátil cuenta con una pantalla LCD de fácil lectura y un teclado de membrana ASCII completo.

Pantalla e interfaz de campo

Un dispositivo de campo de estado sólido versátil, con certificación EEx, para la visualización de datos de medición de tanques a nivel del suelo, eliminando la necesidad de subir al tanque. El FDI proporciona información de inventario de tanques aceptada por W&M cuando es necesario.

Securiterre

Este dispositivo de puesta a tierra garantiza la carga segura de productos inflamables. Ayuda a prevenir explosiones por ignición por electricidad electrostática. Sus aplicaciones incluyen la puesta a tierra de camiones cisterna y vagones cisterna, aviones, helicópteros, barcazas, buques cisterna, bidones de petróleo, etc.

Medición de temperatura promedio

Para un cálculo correcto del inventario, es fundamental contar con una temperatura promedio precisa del líquido. El Termómetro Termosensor Múltiple (MTT) utiliza tecnología probada y ofrece un parámetro de temperatura altamente eficiente para el control total del inventario.

Sistemas de medición hidrostática de tanques

El Sistema Híbrido de Gestión de Inventario (HIMS) es único, ya que combina medición hidrostática y un medidor de nivel. La densidad promedio está disponible continuamente.
Un sistema de medición hidrostática de tanques (HTG) es la solución para una medición precisa de la masa.

Unidad de Interfaz de Comunicación, CIU Prime

Esta unidad multifuncional es una interfaz entre los instrumentos de campo y el sistema de gestión de inventario de tanques.
La función principal de la CIU Prime es escanear los medidores de los tanques.
La información está disponible mediante la emulación de CIU o los protocolos MODBUS.

Unidad de Interfaz de Comunicación, CIU Plus

La CIU Plus procesa los datos recibidos de una CIU Prime.
Esto genera información que incluye: volumen, caudal y masa, utilizando fórmulas conforme a estándares internacionales.
La información está disponible para sistemas de nivel superior.

Sistema de gestión de inventario Entis Pro

El enfoque CYBER de Enraf para la gestión del inventario de líquidos. Este sistema flexible basado en Windows NT proporciona datos de alta calidad para una gestión eficaz de parques de tanques. Con la última tecnología, Enraf ha obtenido el reconocimiento de las autoridades de medición oficiales.

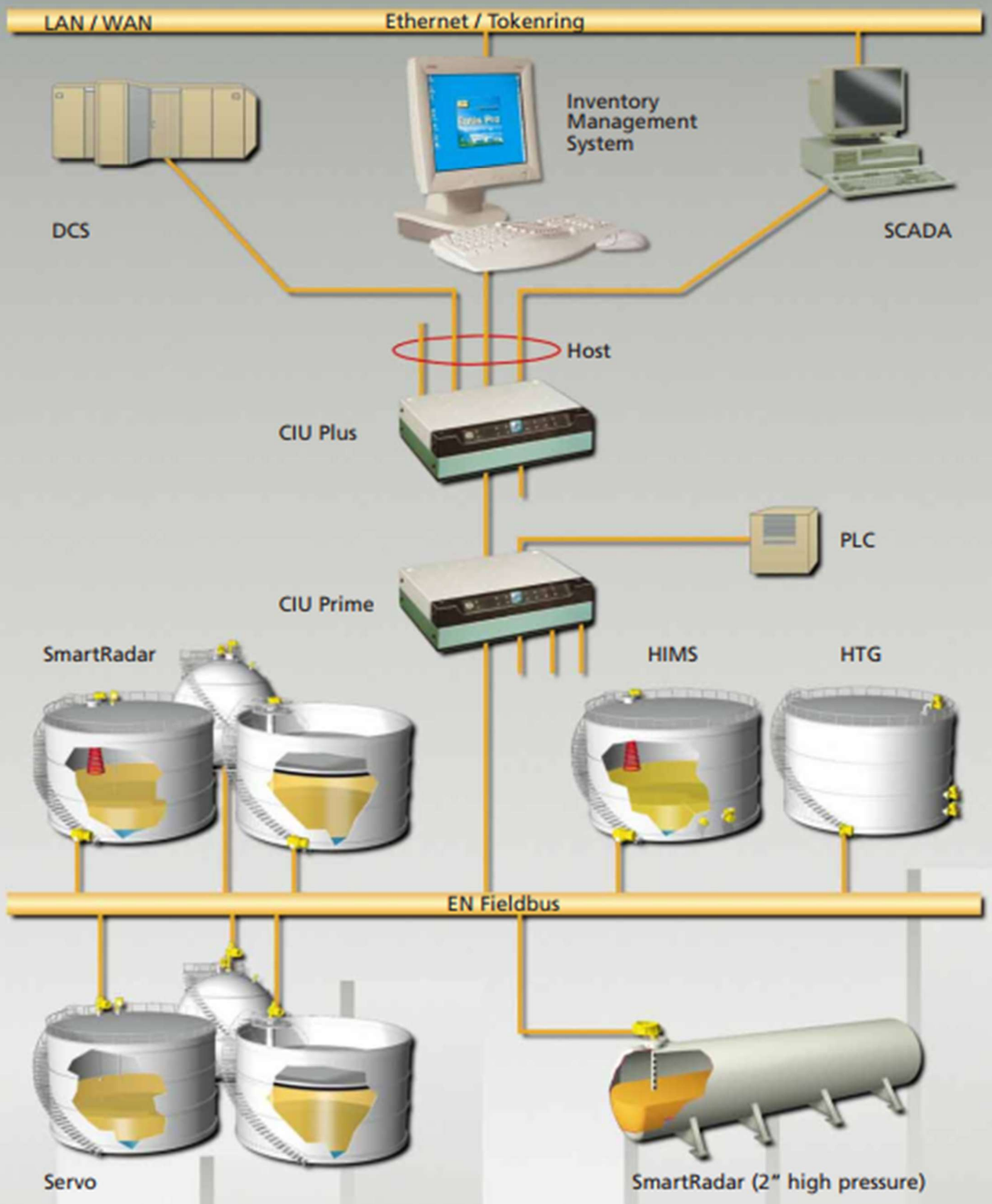
Medidor de tanques servoaccionado

Este medidor de tanques inteligente es de quinta generación para aplicaciones de almacenamiento de líquidos. Este instrumento puede detectar el nivel, el nivel de interfaz y la densidad del producto. Recibió la certificación de las principales autoridades de pesos y medidas.

Medidor de nivel SmartRadar

Un medidor de nivel único que utiliza la tecnología más avanzada es el último desarrollo en medición de nivel no intrusiva.
SmartRadar utiliza tecnología de antena planar y procesamiento digital avanzado de señales para ofrecer resultados de medición superiores.

The complete system from one supplier



Enraf | Terminal Automation
| Contrec
| Tanksystem
| Marine Systems
| Fluid Technology

Compañias

The Netherlands: Enraf Terminal Automation T +31 (0)15 2701 100,
F +31 (0)15 270 1111
E info@enraf.nl, **I** www.enraf.com

Australia: Enraf Contrec Ltd.
T +61 3 9804 4200, **F** +61 3 9822 8329
E contrec@contrec.com.au, I www.enrafcontrec.com

Switzerland: Enraf Tanksystem SA
T +41 26 91 91 500, **F** +41 26 91 91 505
E info@tanksystem.com, **I** www.enraftanksystem.com

Americas: Enraf Fluid Technology USA Inc.
T +1 770 475 1900 , F +91 44 281 56 888
E info@us.enraf.com, I www.enraffluidtechnology.com

United Kingdom: Enraf Fluid Technology Ltd.
T +44 (0)1329 825 823, F +44 (0)1329 825 824
E info@uk.enraf.com , I www.enraffluidtechnology.com

France: Enraf Marine Systems
T +33 (0)1 3920 3827, F +33 (0)1 3902 2561
E contact@enrafmarine.fr, I www.enrafmarine.com

Sucursales

Americas: Enraf Inc.
T +1 832 467 3422, **F** +1 832 467 3441
E sales@enrafinc.com

China: Enraf Pte. Ltd. (Shanghai Rep. Office)
T +86 21 50367000, **F** +86 21 50367111
E enraf@enraf.com.cn

France: ENRAF S.a.r.l. (Sevran)
T +33 (1) 49 36 20 80, **F** +33 (1) 43 85 26 48
E enraffrance@compuserve.com

France: ENRAF S.a.r.l. (Martigues)
T +33 (4) 42 07 07 69, **F** +33 (4) 42 81 41 81
E gillesbarreau@enraf.fr

Germany: Enraf GmbH
T +49 (0)212 58 750, **F** +49 (0)212 58 7549
E info@enraf.de

India: Enraf India Pvt. Ltd. (Mumbai)
T +91 22 285 23 990, **F** +91 22 285 22 264
E enraf@enraf.in

India: Enraf India Pvt. Ltd. (Chennai)
T +91 44 281 56 999, **F** +91 44 281 56 888
E enraf@enraf.in

Middle East: Enraf Middle East
T +973 17 456 187, **F** +973 17 456 133
E salesbahrain@enraf.nl

Russia: Enraf B.V. (Moscow Rep. Office)
T/F +7 (0)95 788 0713, **T/F** +7 (0)95 788 0691
E enrafrus@co.ru

Singapore: Enraf Pte. Ltd .
T +65 676 94 857, **F** +65 683 67 496
E enraf@enraf.com.sg

United Kingdom: Enraf Ltd.
T +44 (0)1329 825 823, **F** +44 (0)1329 825 824
E info@enraf.co.uk

La información de esta publicación está sujeta a cambios sin previo aviso. ® Enraf es una marca registrada. © Enraf B.V. Países Bajos.

IN 4416.650 Rev. 6