

EL CARACTER SISTEMICO DE LAS MEDICIONES

Juan Carlos Cirvini
Envirocontrol S. A.

INTRODUCCION:

Las mediciones están presentes en la mayoría de las actividades que desarrolla el ser humano. Los hombres acostumbramos a medir aún aquellas magnitudes que no poseen unidades, entonces lo hacemos en forma difusa, por ejemplo: “tengo mucho sueño” o “me siento muy bien” o “me gusta muchísimo!”. Lógicamente también usamos en forma permanente y casi inconsciente un sinnúmero de medidas presentes y útiles para el desarrollo de nuestra vida, por ejemplo: “que temperatura tendremos hoy?” o “cuanto tiempo vas a demorar?” o “a que velocidad vamos?” o “que hora es?” o “su cuenta es de 100 pesos” o “Gabriel creció este mes 2 cm!!” o “quiero 500 gramos de pan”. Así como utilizamos constantemente las mediciones también confiamos en ellas, por ejemplo a nadie se le ocurre dudar de la hora que muestra la TV, de lo que indica el termómetro cuando alguien tiene fiebre, de lo que indica el velocímetro del automóvil, etc. etc.

Naturalmente esto comienza a cambiar cuando se definen valores de transacciones comerciales hasta convertirse en un tema superlativo en aquellas de gran valor económico ya que una pequeña desviación en las mediciones representa una gran cantidad de dinero, tal es el caso de las mediciones fiscales de hidrocarburos en las que, seguramente, todos los presentes tenemos algo que ver.

Por otra parte, las grandes compañías de instrumentación avanzan permanentemente en el desarrollo de nuevas tecnologías produciendo medidores cada vez más seguros y precisos. Este aspecto, sumado a la gran exigencia competitiva del mercado, impone orientar la atención más allá de los instrumentos para observar todo aquello que pueda influir en las mediciones, EL SISTEMA.

Este trabajo se basa en el estudio y observación de los sistemas de medición, en el análisis teórico y práctico de la interdependencia de cada uno de los elementos que participan y en la importancia que reviste el enfoque sistémico en el campo de las mediciones.

Se trata de analizar las mediciones como un emergente sistémico donde los resultados no dependen solo de los instrumentos sino de una gran cantidad de elementos y prácticas que en su conjunto conforman un sistema.

La identificación y el tratamiento adecuado de cada uno de los componentes sistémicos nos conducen directamente a las mejores mediciones.

DESARROLLO:

Cuando hablamos de mejores mediciones, hablamos también de mayor certeza o menor incertidumbre. Todas las mediciones deben acompañarse de un valor de incertidumbre ya que este último, no declarado, puede resultar hasta comparable al valor de la medida y en ese caso estaríamos cometiendo un error del orden del 100%.

Como definición sencilla podemos decir que la incertidumbre es un valor estadístico y representa una banda de valores dentro de la cual se encuentra el valor real. Por otra parte, se asocia siempre a un factor de cobertura que define el nivel de confianza.

NINGUNA MEDICION ESTA COMPLETA SIN UNA EVALUACION Y EXPRESION DE INCERTIDUMBRE.

Es por esta razón que resulta conveniente dedicar un pequeño espacio para hacer una reseña sobre la clasificación de errores y sus características básicas. La clasificación más general de errores es la siguiente:

- Error aleatorio
- Error sistemático
- Error espúreo

Error aleatorio

Este error no responde a ningún patrón, es propio de un elemento y no puede corregirse.

Ejemplo: La incertidumbre declarada por el fabricante de un medidor, para un termómetro podría ser $\pm 0,5$ Celsius. Este valor es la incertidumbre que el fabricante declara para ese medidor específico, es un valor estadístico, una banda dentro la cual los valores medidos se mueven aleatoriamente y dentro del cual se encuentra el valor real.

Error sistemático

Este error se repite bajo las mismas condiciones es decir que responde a un determinado patrón. Esta característica permite evaluar su comportamiento, detectar la fuente y por consiguiente puede corregirse.

Ejemplo: La influencia de la magnitud del caudal en la medición de una turbina.

Error espúreo

Este error se produce esporádicamente, generalmente es de corta duración, no puede predecirse y por lo tanto tampoco es posible corregirlo. Solo en algunos casos se puede enmascarar.

Ejemplo: El paso de un bolsón de gas en un medidor de caudal de líquidos.

Estos errores, a excepción del espúreo (por sus características de ocurrencia), podemos observarlos gráficamente a partir de una curva de distribución normal de probabilidad.

La curva representa la dispersión de las mediciones alrededor de un valor promedio que normalmente no es el valor real sino el valor más probable que indica el medidor.

Esto es característico de un elemento y, de alguna forma, expresa la calidad del mismo.

Las referencias de los siguientes gráficos son las siguientes:

β = Error sistemático

ϵ = Error aleatorio

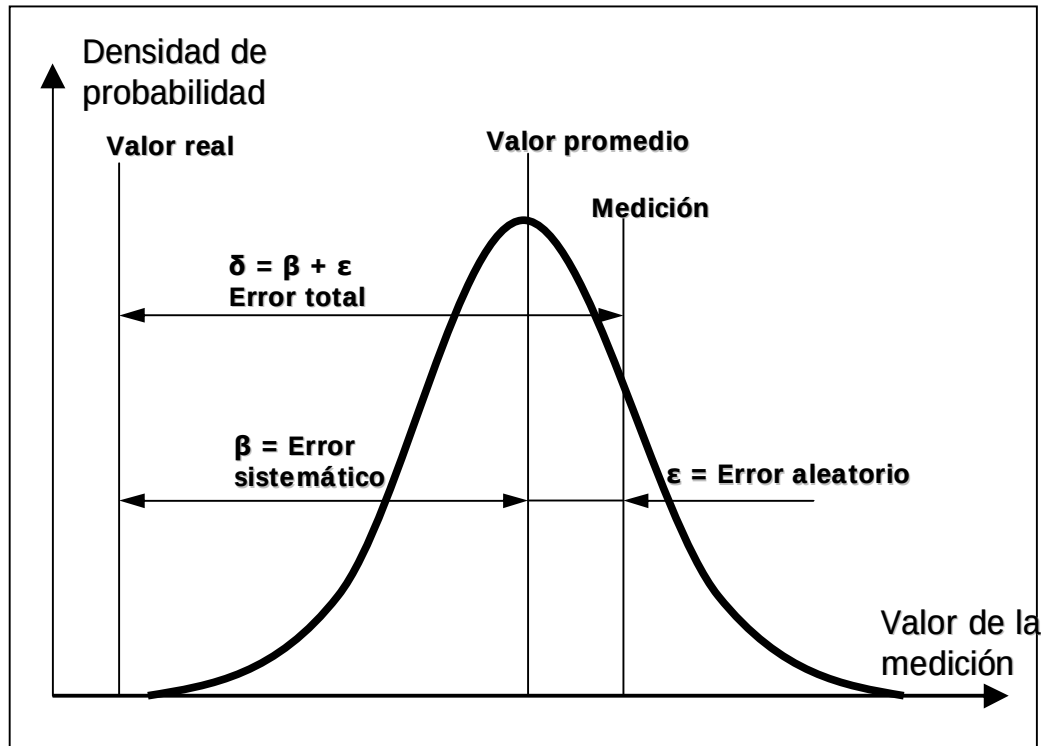


Gráfico N°: 1

Aquí podemos ver que para una muestra, el error aleatorio es la diferencia entre el valor de dicha medición y el valor promedio representado en la curva por el valor más probable, es decir el central.

El error sistemático es la diferencia entre el valor promedio y el valor real, que si bien existe, nadie lo conoce.

El error total es entonces la suma del error sistemático y el error aleatorio.

Si bien el error aleatorio y el espúreo existen y es importante tenerlos en cuenta, tal como mencionamos anteriormente no pueden corregirse por lo que gran parte de la atención se deposita en los errores sistemáticos para avanzar en la calidad de las mediciones.

Veamos rápidamente mediante los siguientes gráficos las alternativas posibles y sus características.

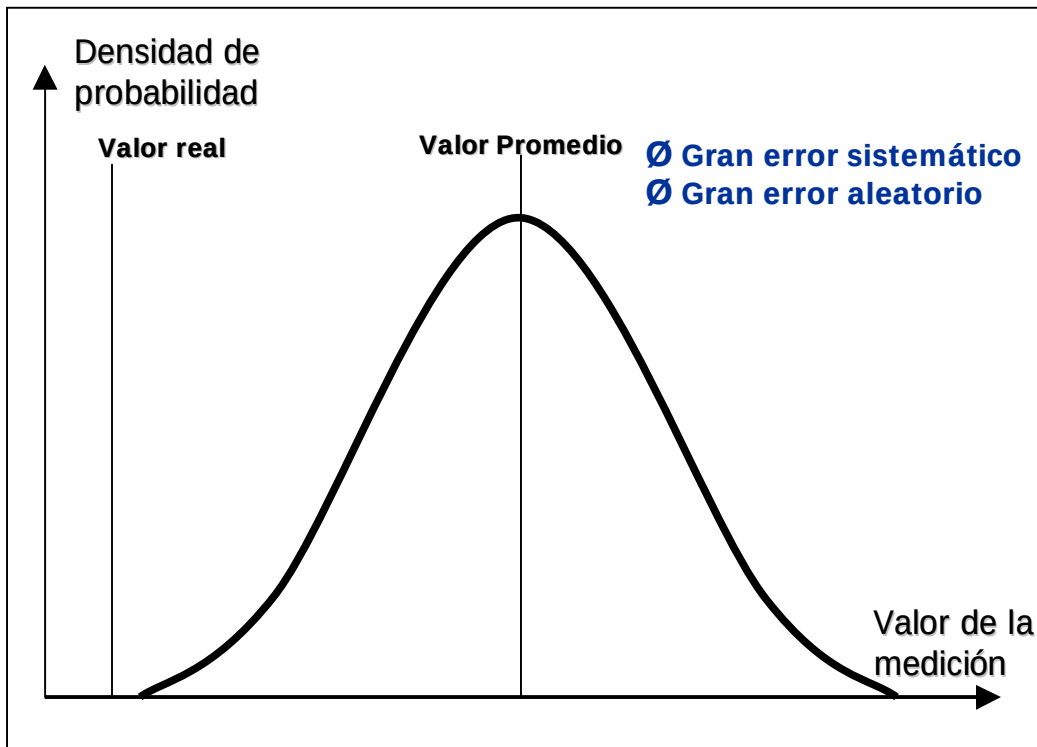


Gráfico N°: 2

En este gráfico se observa un gran error aleatorio, producto fundamentalmente de instrumentos de baja tecnología o calidad que imponen un comportamiento inestable y también un gran error sistemático, producto de uno o varios aspectos sistémicos que no fueron considerados y que alejan, en menor o mayor medida, el valor real del valor promedio medido.

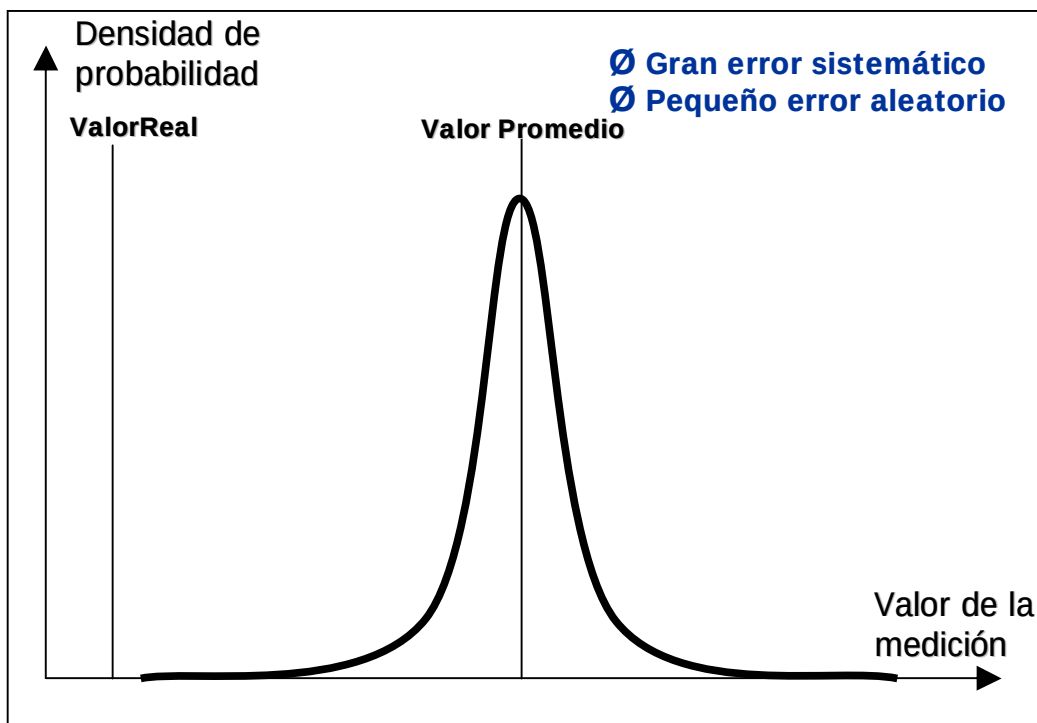


Grafico N°: 3

En este caso se observa que el error sistemático permanece igual que en el anterior, debido a las mismas causas, pero el error aleatorio ha disminuido sensiblemente. Esto se logra, básicamente, utilizando instrumentos de alta tecnología, más estables, más repetitivos y de mejor calidad.

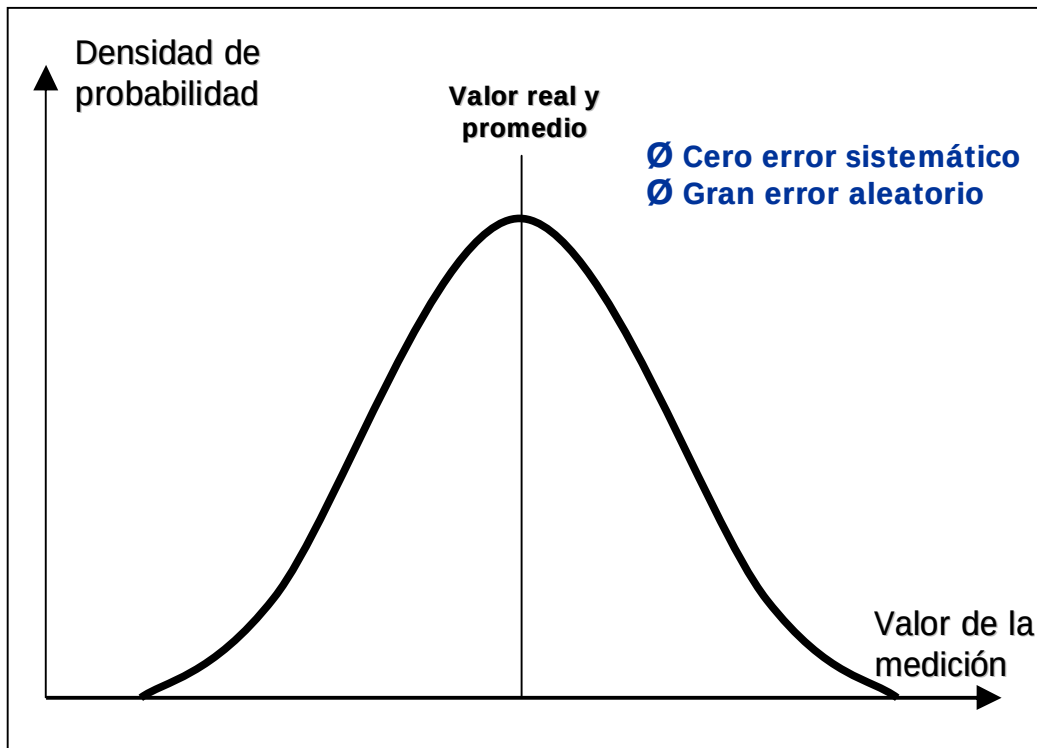


Grafico N°: 4

Ahora se observa que el error aleatorio vuelve a ser importante, como en el primer caso y por las mismas causas, pero el error sistemático se ha hecho cero o muy pequeño ya que coincide o se encuentra muy próximo al valor promedio. Esto se logra, principalmente, mediante una profunda evaluación de las influencias que cada uno de los elementos sistémicos aporta al resultado final de la medición.

En cualquiera de los casos anteriores, al menos un aspecto aportó una parte de considerable magnitud al error total.

El siguiente gráfico muestra el caso ideal donde ambos tipos de error se manifiestan en su mínima expresión.

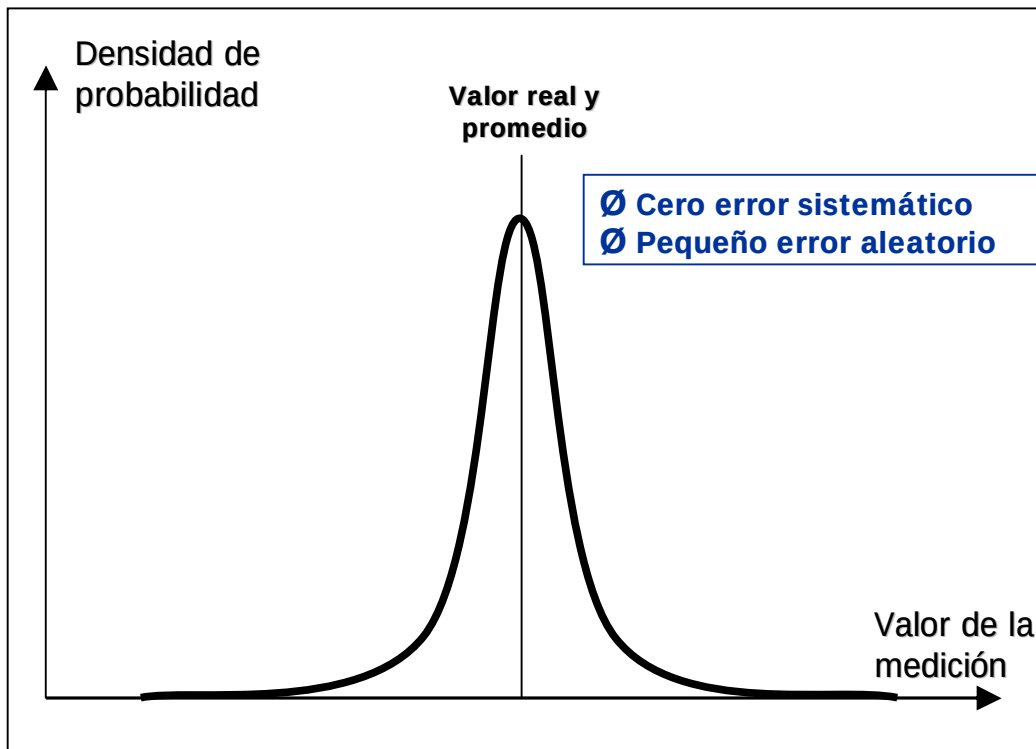


Gráfico N°: 5

En este caso ideal los errores se encuentran minimizados, producto, en la generalidad de los casos de una acción conjunta entre los responsables de la selección y mantenimiento de los instrumentos y los metrologos responsables de detectar y ponderar las fuentes de error a fin de llevarlas a la mínima expresión.

Luego de esta breve reseña podemos abordar el aspecto sistémico de las mediciones como idea central de este trabajo.

EL SISTEMA

Supongamos que luego de evaluar un sistema de medición de caudal, concluimos en que los elementos sistémicos que influyen son los siguientes:

- Instalaciones
- Producto
- Condiciones de proceso
- Instrumento
- Control

Si bien los elementos sistémicos en la medición de flujo son similares para diferentes tecnologías, utilizaremos diversas tecnologías para analizar el comportamiento de los mismos, mediante ejemplos reales.

Los elementos sistémicos influyen o afectan de forma diferente sobre la magnitud que estamos midiendo, esta influencia podemos clasificarla en dos grandes tipos, aquellas cuyo comportamiento es conocido por lo que el error que provocan se incluye en los

sistemáticos y por consiguiente se pueden compensar y aquellos que poseen un comportamiento aleatorio que naturalmente no puede compensarse pero si es posible identificarlo y neutralizarlo eliminando la fuente.

Veamos entonces mediante los ejemplos cada uno de los aspectos planteados.

INSTALACIONES

Si bien los aspectos relacionados con las instalaciones influyen de forma diferente para cada tecnología, ninguna de ellas está libre de estas influencias y deben considerarse fundamentalmente aquellas especificadas por los fabricantes de instrumentos.

Algunos de los aspectos a tener en cuenta son:

- Soportaría de los medidores y piping
- Orientación de los medidores
- Alineación del piping
- Diseño
- Dimensionamiento

Algunos instrumentos como los medidores por efecto coriolis requieren especial atención en el diseño y dimensionamiento de la soportería ya que el principio de funcionamiento se basa en vibraciones mecánicas.

En estos casos se trata de que los sensores se encuentren firmemente soportados para evitar que las perturbaciones mecánicas externas, influyan en las mediciones.

Estas perturbaciones se manifiestan de diferentes formas en el sistema de medición y pueden clasificarse como aleatorios pero una vez, identificado puede eliminarse o minimizarse corrigiendo los defectos de la instalación.

La siguiente fotografía muestra una instalación deficiente sin la soportería recomendada por el fabricante.



Todos los instrumentos, independientemente de su tecnología, requieren de ciertas condiciones para funcionar correctamente.

En este caso solo es necesario instalar una soportería robusta lo más próximo posible al sensor para neutralizar un efecto sistémico.

PRODUCTO

El caso que vamos a presentar tiene relación con el comportamiento de un producto como consecuencia de sus características cualitativas.

Algunas de las características del producto a considerar son:

- Estado
- Presión de vapor
- Densidad
- Viscosidad
- Corrosividad
- Abrasividad
- Contenido de sólidos

La experiencia fue la siguiente:

Descripción de la aplicación:

En una unidad de medición fiscal (LACT) de crudo en especificación, las instalaciones se encuentran diseñadas para bombear con 1; 2; 3; 4 o 5 bombas, según se requiera. Las presiones de bombeo podían variar entre 50 psi y 450 psi, según se utilizaran de una a cinco bombas.

Objetivo de la experiencia:

Verificar el efecto de la presión sobre la densidad del producto.

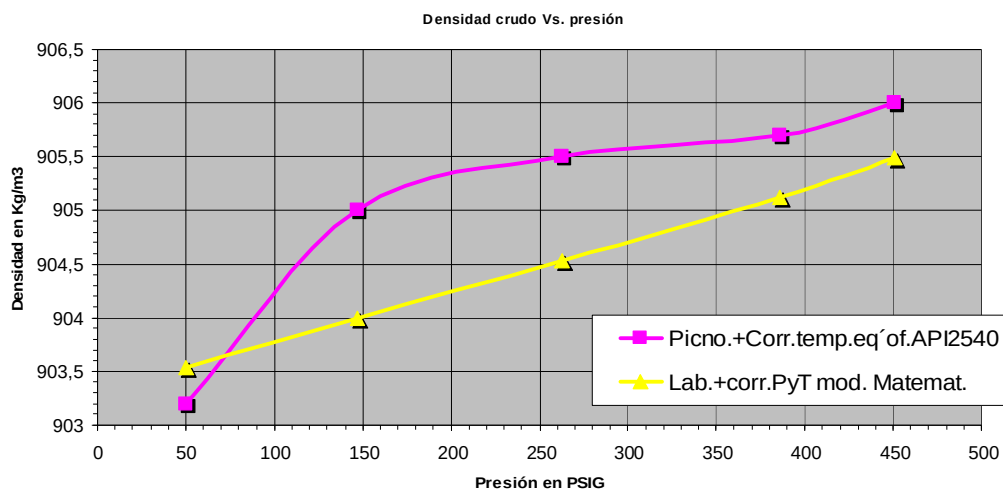
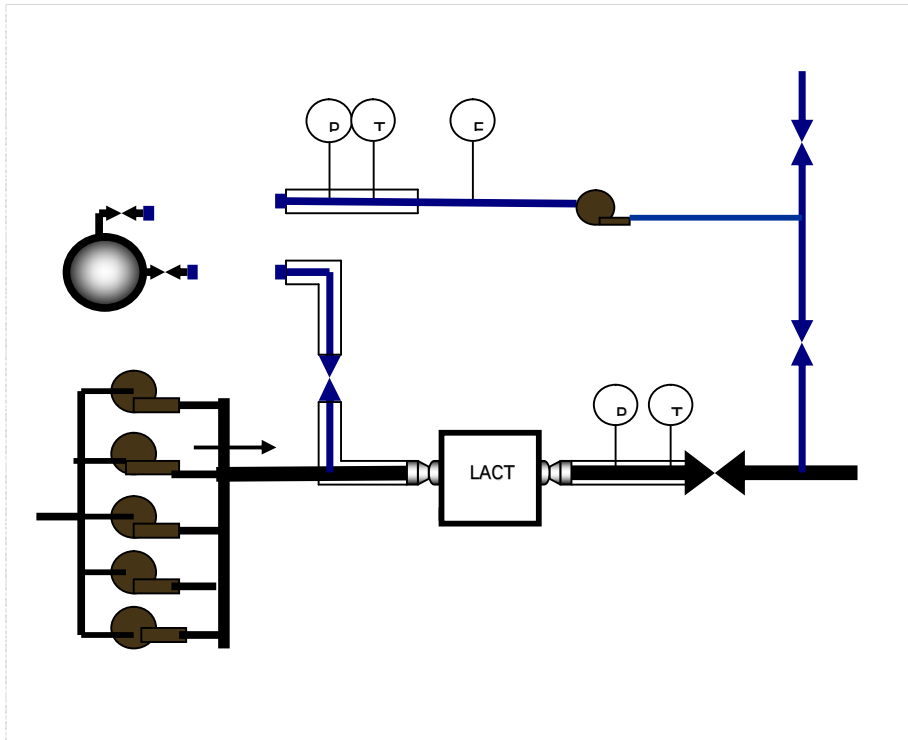
Ensayo:

Se instaló un lazo picnométrico de proceso en paralelo con el medidor de la unidad LACT y se realizaron 5 determinaciones de densidad utilizando de una a cinco bombas respectivamente.

Luego se determinó en laboratorio la densidad del crudo a partir de una muestra extraída del proceso durante los ensayos y con ese valor, mediante un modelo matemático lineal, se definió una recta de variación de densidad por efecto de la presión.

Tanto las determinaciones picnométricas como la de laboratorio fueron corregidas a 15 Celsius.

A continuación puede observarse el esquema de la instalación y el gráfico con los resultados.



Conclusión:

En primer lugar, se verifica mediante el modelo lineal la tendencia que muestran los ensayos.

Luego se observa que de acuerdo a los resultados de las picnometría, el crudo aumentó su densidad de 903.5 Kg/m³ a 906 Kg/m³ en correspondencia con una variación de presión de 50 psi a 450 psi. Esta variación representa un 0.28% que se traduce directamente al volumen medido.

Suponiendo que este error sistemático no se corrige y por la unidad LACT pasan 10000 m³/día, la diferencia entre utilizar una o cinco bombas sería de 28 m³/día.

Este efecto varía notablemente de un producto a otro y para hidrocarburos es mayor cuanto mayor sea la proporción de componentes livianos que posea.

CONDICIONES DE PROCESO

El caso anterior es también válido para ejemplificar este componente sistémico, ya no desde las características del producto sino desde la presión como condición de proceso.

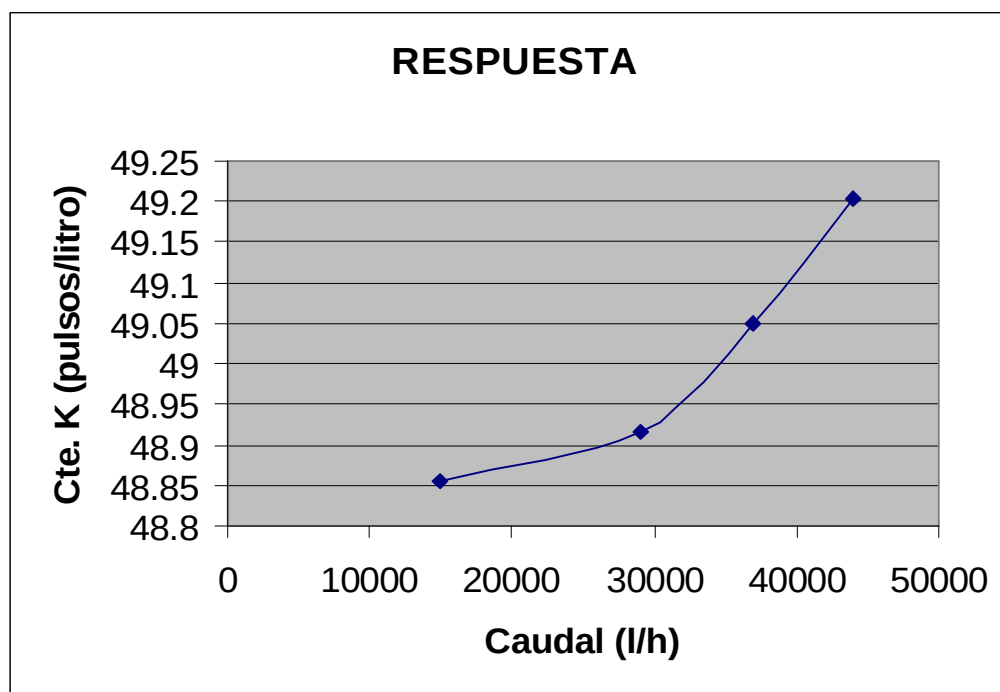
Desde esta óptica, tanto la presión como otras condiciones de proceso ejercen más de una influencia en el sistema que deben tratarse independientemente y, generalmente, esta influencia se manifiesta sobre el producto y sobre los instrumentos.

Algunas de las condiciones de proceso a tener en cuenta son:

- Presión
- Temperatura
- Tipo de flujo (laminar/turbulento)
- Magnitud del flujo
- Variabilidad del flujo

Como ejemplo podemos citar la influencia de la magnitud del flujo sobre la medición de caudal en una turbina.

El siguiente gráfico muestra la variación del factor K respecto de la magnitud del flujo de una turbina ensayada en un prover con agua y manteniendo invariables el resto de las condiciones de proceso.



Naturalmente los computadores de flujo poseen la capacidad de corregir automáticamente este efecto, variando la constante de calibración en función del caudal de proceso.

INSTRUMENTO

Si bien el instrumento también constituye una fuente de error, en rigor, solo debería considerarse como una componente aleatoria si es que se respetan los requisitos fundamentales para asegurar su exactitud (característica asociada al error sistemático), con lo cual las dispersiones que introduzca sean exclusivamente debidas a su precisión (característica asociada al error aleatorio), que, aunque no es posible corregir o compensar, debe tenerse en cuenta al momento de evaluar y calcular la incertidumbre en la medición.

Este concepto se define con mayor claridad en la norma ISO 17025 que establece los requisitos para el reconocimiento formal de la competencia técnica de los laboratorios de ensayo y calibración.

Es claro que no se trata de convertir los sistemas industriales de medición en laboratorios pero si es cierto que, de la citada norma se pueden extraer conceptos y recomendaciones aplicables a cualquier sistema de medición de calidad.

Estas recomendaciones tienen relación con:

- La verificación
- La calibración
- El mantenimiento
- La comprobación del estado metrológico
- La identificación y el registro

Y tienden a incrementar el nivel de excelencia de las mediciones.

Independientemente de lo dicho, existen otras fuentes de error relacionadas con el instrumento pero no con su calidad sino con el dimensionamiento y selección, es decir con la eficacia de las definiciones de ingeniería.

Un ejemplo podría ser el siguiente:

Un caudalímetro de insuficiente capacidad para la aplicación funciona en una línea que transporta gasolina a una temperatura elevada y una presión muy baja, que escasamente mantienen en estado líquido al producto. Al instalar el medidor se observa que en el mismo se produce una pérdida de carga importante y que el producto comienza a gasificar dentro del medidor, distorsionando la medición ya que el instrumento, por su tecnología, no admite dos fases.

Si bien en el problema intervienen otros elementos sistémicos como las condiciones de proceso y las características del producto, una adecuada selección y dimensionamiento del medidor lo hubiese evitado.

CONTROL

Aunque no es muy frecuente, los sistemas de control pueden constituir una fuente de error en las mediciones.

Por el contrario, en ocasiones suelen aportar las herramientas necesarias para resolver problemas de medición mediante las avanzadas prestaciones que poseen en la actualidad.

Veamos un caso donde el sistema de control provocó un problema de medición pero luego, utilizando una de sus prestaciones, se pudo detectar el origen del inconveniente.

El ejemplo es el siguiente:

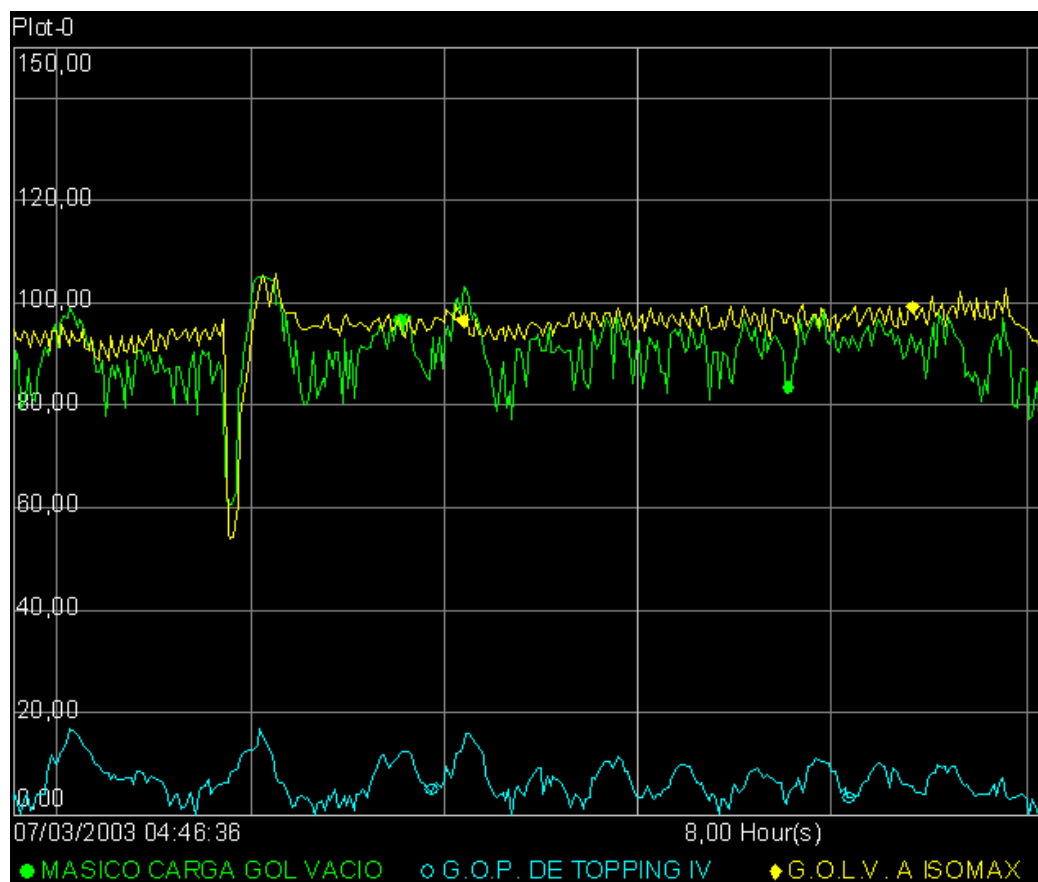
Una refinería solicita asistencia para controlar un caudalímetro másico por efecto coriolis, manifestando que las mediciones presentan una inestabilidad importante y permanente, muy superior a la especificada por el fabricante.

En primer lugar se controlaron todos los aspectos relacionados directamente con el medidor (instalación; configuración; conexionado; etc.) y luego, analizando los gráficos de tendencia se pudo observar que la frecuencia de oscilación era muy baja, de aproximadamente un ciclo cada 3 o 4 minutos. Esta característica orientó la atención hacia el proceso, descartando posibles ruidos eléctricos o mecánicos y fallas en el medidor.

Finalmente, se pudo comprobar que la medición respondía fielmente a las variaciones de flujo y que dichas oscilaciones eran producidas por una válvula de control con problemas de sintonía de lazo, ubicada aguas arriba del medidor.

Las variaciones permanentes en las condiciones de operación de un medidor, siempre poseen, en mayor o menor grado, un error asociado.

La curva intermedia del siguiente gráfico de tendencia representa la magnitud del flujo presente en el medidor, antes de solucionar el problema de sintonía.



MEDICIONES FISCALES:

Las mediciones fiscales merecen un tratamiento especial y exclusivo.

Desde la óptica de este trabajo solo se puede decir que revisten una importancia superlativa dado que en ellas se depositan valores económicos de gran magnitud por lo que se debe enfatizar la atención para colocarlas en el nivel de excelencia que requieren.

En este tipo de mediciones el aspecto sistémico NO PUEDE estar ausente, debe ser el eje.

CONCLUSIONES:

El tema abordado en este trabajo puede extenderse tanto como se quiera. En esta breve propuesta solo he tratado de instalar, con un vocabulario sencillo, la idea de una visión más amplia que la usual sobre las mediciones, donde todo depende de todo, tal como sucede en el universo de los sistemas.

Para finalizar, quiero hacer dos citas, la primera de un reconocido consultor de empresas quien, a modo de ejemplo, mencionó las partes de un avión (turbinas, instrumentos, circuitos hidráulicos, alerones, combustible, etc. etc.) diciendo finalmente que solo el conjunto de todas ellas, actuando relacionadas armónicamente, eran capaz de volar.....

La segunda alude al “Efecto Mariposa”

“Si agita hoy, con su aleteo, el aire de Pekín una mariposa, puede modificar los sistemas climáticos de Nueva York el mes que viene....”

El meteorólogo Edward Lorenz, quien se dedicaba a estudiar el comportamiento de la atmósfera, intentó explicar una idea sistémica mediante un ejemplo hipotético. Sugirió que imaginásemos a un meteorólogo que hubiera conseguido hacer una predicción muy exacta del comportamiento de la atmósfera, mediante cálculos muy precisos y a partir de datos muy exactos. Podría encontrarse una predicción totalmente errónea por no haber tenido en cuenta el aleteo de una mariposa en el otro lado del planeta. Ese simple aleteo podría introducir perturbaciones en el sistema que llevaran a la predicción de una tormenta.

Si bien su teoría define un aspecto caótico e impredecible de las variables, también posee una clara visión sistémica de los hechos.

Ing. Juan Carlos Cirvini
Envirocontrol S.A.