

Metrología como Soporte a los Sistemas de Gestión en la Industria

Rubén J. Lazos-Martínez

Centro Nacional de Metrología

km 4.5 Carretera a Los Cués, El Marqués, Querétaro, México

Tel. +52 (442) 211 0575. Correo electrónico: rlazos@cenam.mx



Todas las teorías son legítimas y ninguna tiene importancia. Lo que importa es lo que se hace con ellas. Jorge Luis Borges (1899-1986) Escritor argentino

Conjunto de teorías y de técnicas que permiten el aprovechamiento práctico del conocimiento científico, orientados a producir bienes y servicios de utilidad económica, social, y política.

En esta sección, cada semestre, expertos nacionales y/o extranjeros, ofrecerán artículos técnicos que buscan sensibilizar a nuestros lectores, acercándolos con conocimiento, a la aplicación de la metrología en las diferentes actividades de nuestra sociedad.



Abstract:

Management systems are supporting tools for the industry administration, which frequently follow the ISO 9001 model; this model includes a requisite for measurement and tracing equipment. This model is highly used in measurements with the ISO 10012 requirements, which involve in the one hand the concept of metrological confirmation of the equipment and the control of the measurement process, and in the other hand the essential concepts of metrological traceability and uncertainty. A process to find the balance between the requirements and the characteristics in the uncertainty is mentioned. The perspectives for the management systems that transcend the approach of "conformity" are shown and emphasis is made in the benefits of reliable and uniform measurements in financial and sustainability aspects and in the benefits of environmental impact and social environment.

1. INTRODUCCIÓN

Las industrias, como cualquier organización, dependen de la aceptación de sus productos para desarrollarse, lo cual implica su entrega sistemática conforme a los requisitos establecidos o esperados por los clientes, o mejor si tales requisitos son superados. El desarrollo pleno de una industria supone su viabilidad financiera en muchos de los casos, y también es deseable incluir como objetivos de su desarrollo aspectos de sustentabilidad, preservación del ambiente y un impacto positivo en su entorno social.

Puede afirmarse que la aceptación por parte del proveedor y del cliente, como por otras partes interesadas, de que los requisitos establecidos sean cumplidos tiene su base en los resultados de mediciones, debido a la objetividad que éstas conllevan cuando tienen una referencia común.

Las organizaciones en general, y en particular las industrias, han encontrado en la implementación de sistemas de gestión de calidad (SGC) según el modelo de ISO 9001 [1] una herramienta de apoyo cuyo beneficio principal es ordenar sus actividades. Según este documento, sus requisitos aplican cuando una organización

- a. Necesita demostrar su capacidad para proporcionar regularmente productos que satisfagan los requisitos del cliente y los legales y reglamentarios aplicables; y,
- b. Aspira a aumentar la satisfacción de sus clientes.

No obstante, debe advertirse que los SGC, aunque propician las condiciones para hacerlo, por sí mismos:

- No mejoran el producto.
- No incrementan la eficiencia.
- No incorporan innovaciones.
- No ganan mercados.
- No aumentan la rentabilidad de la organización.

El requisito 7.6 de ISO 9001 describe los requisitos sobre los equipos de medición, entendiéndose que se trata de mediciones de carácter físico, químico o biológico, en contraposición a las mediciones de desempeño que el propio SGC prescribe en su sección 8. El énfasis del requisito en 7.6 está en la demostración de la conformidad del producto con los requisitos del cliente, dejando de lado la no menos importante actividad de asegurar que el proceso de producción se mantenga dentro de sus especificaciones.

Aún cuando el ya citado requisito 7.6 requiere del aseguramiento de que las mediciones se realicen de "una manera coherente" con los requisitos al respecto, la interpretación de dicha coherencia no parece suficientemente clara. Por otro lado, el requisito de calibrar los equipos de medición logra la trazabilidad metroológica, y con ella la uniformidad de las mediciones, sin embargo deja de lado la consideración a la idoneidad de los equipos acorde con el uso a que se les destine.

En su momento se encontró que los requisitos sobre dispositivos de medición constituían una de las principales fuentes de incumplimiento de ISO 9001. La norma ISO 10012 [3] aplica el modelo ISO 9001 a los aspectos de mediciones, del cual hereda su estructura y enfoque, correspondiente a un nivel de madurez básico de la organización, centrado en apenas la conformidad con requisitos.

De manera más amplia, entre los ocho principios para la calidad contenidos en ISO 9000 [2] se encuentra el Enfoque basado en hechos para la toma de decisiones, concretado en que las decisiones eficaces se basan en el análisis de los datos y de la información, datos que en general provienen de resultados de mediciones.

2. UN SISTEMA PARA LA GESTIÓN DE LAS MEDICIONES

2.1. El modelo de ISO 10012

Cabe la interpretación de que este modelo es similar a ISO 9001, aplicado a aquella parte de la organización encargada de las mediciones de naturaleza física, química o biológica.

Como se mencionó, la norma muestra cierto paralelismo con ISO 9001, ejemplificado en:

- Los modelos contienen idénticos elementos principales con contenidos similares: Responsabilidad de la dirección, Gestión de los recursos, Realización del producto, y Medición, análisis y mejora.
- El "producto" se interpreta como "resultados de medición" en ISO 10012.
- La figura de "cliente" en ISO 9001 se convierte en la de "usuario", para evitar la referencia a clientes internos.
- Requiere un responsable de la implementación del sistema denominado "función metroológica".

Debe notarse que ISO 10012 describe un modelo de gestión y NO un conjunto de requisitos para demostrar competencia técnica, como ISO/IEC 17025 [4]. Puede aplicarse de manera aislada o en conjunto con modelos como el ya mencionado ISO 9001, ISO 14001, e incluso a la par que ISO/IEC 17025, sin contraposiciones.

Parece que la aportación mayor de ISO 10012 aparece en la sección correspondiente a realización del producto. El modelo toma como eje la correspondencia entre los requisitos metrológicos y las características de los equipos y del proceso de medición.

2.2. La confirmación metrológica

Los requisitos metrológicos son derivados de las necesidades de medición del usuario, cuya definición puede presentar serias dificultades y requerir, por tanto, del apoyo de los encargados de las mediciones encabezados por la función metrológica, según este modelo. Las características metrológicas de los equipos son determinadas principalmente mediante su calibración.

Como una aportación importante, el modelo demanda un conjunto de operaciones requeridas para asegurarse de que el equipo de medición es conforme a los requisitos correspondientes a su uso previsto, denominado confirmación metrológica, requisito no mencionado en otros modelos de gestión y de utilidad sobresaliente para lograr buenas mediciones. La confirmación de los equipos tendría que iniciarse desde el mismo proceso de selección y adquisición de equipos de medición, y mantenerse durante su uso dado que sus características cambian durante su uso, sin descartar las modificaciones al cambiar el uso previsto.

Esto es, los requisitos metrológicos -incluyendo el intervalo de medida y el error máximo tolerado- determinados por las necesidades del producto final intencionado de la organización, debieran corresponder al respectivo intervalo de medida y error obtenidos en la caracterización del sistema de medición. Debe anotarse que las desviaciones de esta correspondencia inciden negativamente en la rentabilidad de la organización.

Debe notarse que la confirmación metrológica es adicional al requisito de calibración e independiente del mismo en el sentido de que una calibración, por sí misma indispensable, no sustituye la confirmación metrológica.

2.3 Los procesos de medición

También el modelo dispone como requisito el control de los procesos de medición, cada uno considerado como el conjunto de operaciones para determinar el valor de una magnitud, definición que recuerda la más elaborada prescrita en el VIM [5] para “medición”: *proceso que consiste en obtener experimentalmente uno o varios valores que pueden atribuirse razonablemente a una magnitud.*

Los resultados de mediciones dependen tanto de los equipos, como de las condiciones en las que se realiza la medición, de la información y procedimientos disponibles -o más bien del conocimiento contenido en ellos-, y de las competencias del personal que las efectúa.

Nuevamente se encuentra la necesidad de tomar como punto de partida los requisitos metrológicos derivados de las necesidades del usuario, a ser satisfechos por las características del proceso de medición.

Entre los requisitos metrológicos para los procesos de medición se incluye la incertidumbre de medida que se requiere para los fines de producción o inspección, denominada en breve como incertidumbre requerida, la cual tendría que utilizarse como punto de partida para comparar con ella la incertidumbre de medida que caracteriza el resultado de las mediciones.

La ISO TS 14253-2 [6] propone un procedimiento para determinar las condiciones a fin de que la incertidumbre de medida corresponda a la incertidumbre requerida, sin embargo no incluye alguna manera para determinar el valor de la incertidumbre requerida.

Cabe destacar que la estimación del valor de la incertidumbre de medida ha sido objeto de estudio intenso y el logro de acuerdos aceptados ampliamente, representados en la GUM [7] y sus suplementos.

En contraste, se conocen pocos métodos para determinar el valor de la incertidumbre requerida, por ejemplo [8], la cual depende, de manera evidente, de la amplitud de variación del mensurando y del riesgo que se está dispuesto a afrontar en caso de que su valor sea sobrestimado, tomando en cuenta el costo innecesario en que se incurriría si se determina una incertidumbre requerida demasiado reducida. La simulación de los resultados de un proceso de producción en términos de la variabilidad y las especificaciones

de dicho proceso, y de la incertidumbre de medida ilustran la importancia de una buena decisión sobre la incertidumbre requerida [9].

Debe notarse que una mejor correspondencia entre la incertidumbre requerida y la incertidumbre de medida conlleva una mejor eficiencia en el uso de los recursos utilizados para la medición -equipos, procedimientos, competencias personales- considerando que los resultados de los procesos de medición dependen de todos estos elementos.

2.4 Trazabilidad metrológica

En la introducción de este trabajo se ha afirmado que las mediciones son objetivas en tanto cuentan con una referencia común. No tendría sentido efectuar una comparación -entiéndase entre los resultados de un proveedor y los de su cliente- si ambos resultados no comparten la misma referencia. De hecho, establecer y mantener las mismas referencias para las medidas de la misma naturaleza han sido ocupaciones de las autoridades desde la antigüedad remota -recuérdense el cúbito egipcio, la Carta Magna inglesa, las medidas prehispánicas y una de las premisas de la Revolución Francesa (un solo rey, una sola ley y una única medida)-.

Desde la segunda mitad del siglo XIX, se ha logrado conformar un conjunto de unidades cuyas definiciones y realizaciones se han convertido en las referencias únicas para llevar a cabo mediciones, agrupadas en el denominado Sistema Internacional de unidades (SI) [10]. No obstante, existen todavía medidas de naturalezas tales que no han podido ser incluidas en el SI, por ejemplo la unidad internacional (IU) empleada en la industria farmacéutica para medir la actividad biológica, o los efectos de una sustancia, y la cual no corresponde a la masa o a la cantidad de sustancia.

La trazabilidad metrológica, según el VIM [5], es la “propiedad de un resultado de medida por la cual el resultado puede relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de medida”, una de cuyas notas acota que “la trazabilidad metrológica de un resultado de medida no garantiza por sí misma la adecuación de la incertidumbre de medida a un fin dado, o la ausencia de errores humanos”, en consonancia con el enfoque de ISO 10012.

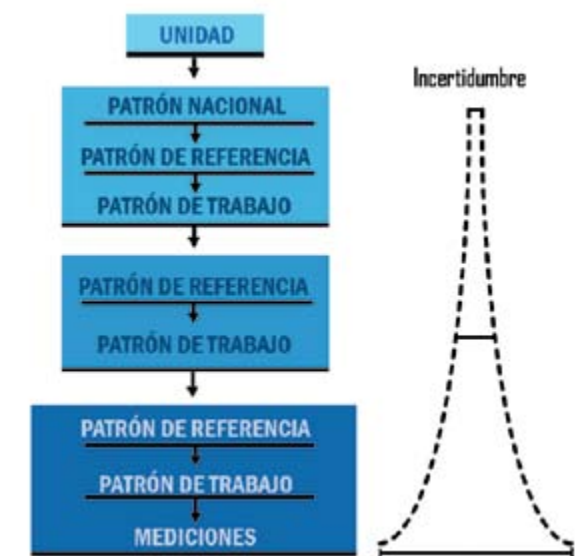


Figura 1. Cadena típica de trazabilidad, en la cual se muestra el incremento de la incertidumbre al alejarse de la referencia.

El análisis de la cadena que relaciona las mediciones hechas en piso con las referencias, Figura 1, permite decidir de la mejor manera las características de los proveedores de servicios de calibración, en función de la incertidumbre requerida, pues calibrar los equipos con patrones con una incertidumbre demasiado alta causará una incertidumbre de medida también alta que no corresponda a la incertidumbre requerida, y a la inversa. Una consideración adicional es que los servicios de calibración incrementan su costo cuando disminuye la incertidumbre que ofrecen.

En cuanto a las referencias, actualmente el SI consta de siete unidades de base y un gran número de unidades derivadas. Las definiciones de las unidades de base han evolucionado hacia expresiones en términos de constantes de la naturaleza como la velocidad de la luz, por lo que están dejando de depender de artefactos -como el metro- o de experimentos irrealizables en la práctica -como el Ampere-. El kilogramo como la unidad de longitud está en proceso de trascender la definición original del siglo XIX, para ser expresada con referencia a un valor fijo y sin incertidumbre de la constante de Planck.

Las unidades de medida empleadas para las mediciones de fluidos pueden expresarse generalmente en el SI, aún cuando debe reconocerse que no es sencillo dejar atrás el uso durante centurias de unidades como el barril para volumen o la BTU para energía; el empleo de unidades de medida son parte de la cultura.

2.5 Incertidumbre de medida

La incertidumbre de medida es un concepto indisolublemente ligado a la medida con el que se intenta expresar cuantitativamente la duda inherente al resultado de medición. Aún cuando su empleo en metrología se ha formalizado hace apenas unas décadas, el concepto ha sido discutido al menos desde el siglo XII. Se ha comentado que es una “medida de la ignorancia física”. De hecho, haciendo un paralelismo con el ámbito financiero, donde se aplican conceptos y algoritmos similares, el “riesgo” se encuentra como el concepto correspondiente a la incertidumbre de medida.

Como una parte integral de los resultados de medición, su valor depende de los elementos usados para la misma: equipos, infraestructura, conocimientos y competencia del personal, más precisamente de las “imperfecciones” de cada uno de ellos. De esta manera se identifican como causas genéricas de la incertidumbre de medida las imperfecciones en la definición del mensurando -magnitud que se desea medir-, las condiciones imperfectas en la medición, las características imperfectas del instrumento, la lectura imperfecta de las indicaciones del instrumento, el acoplamiento imperfecto del instrumento con el medio, el conocimiento imperfecto de las magnitudes que influyen en la medición, la calibración imperfecta del instrumento, entre otras -véase Figura 2-. El calificativo imperfecto se está utilizando en el sentido de carencia de información completa.

Determinación del coeficiente de descarga de la placa mediante su calibración	0.010
Medición de la presión diferencial	.006
Medición de la presión estática	0.005
Determinación del diámetro de la tubería a la temperatura de referencia	0.005
Incertidumbre estándar combinada	0.016

Tabla 1. Contribuciones principales a la incertidumbre de medida del flujo másico con una placa de orificio [11]. Cifras en kg/s.

Es evidente que analizar las contribuciones a la incertidumbre de medida también beneficia la rentabilidad de la organización. Por ejemplo, en la medición de flujo másico mediante una placa de orificio, la contribución mayor a la incertidumbre de medida proviene de la determinación del coeficiente de descarga de la placa, por lo que es evidente que los intentos de reducir la incertidumbre tendrían que iniciar considerando el cambio en este rubro.

Según el VIM, [5], la incertidumbre de la medida es un *parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de los valores atribuidos a un mensurando, a partir de la información que se utiliza.*

La necesidad de su empleo se aclara cuando se reconoce la variabilidad de los resultados que ocurre inevitablemente al medir -descartando aquellas mediciones llevadas a cabo con instrumentos demasiado burdos, en la cual la incertidumbre de la imperfección que ofrece el ins-

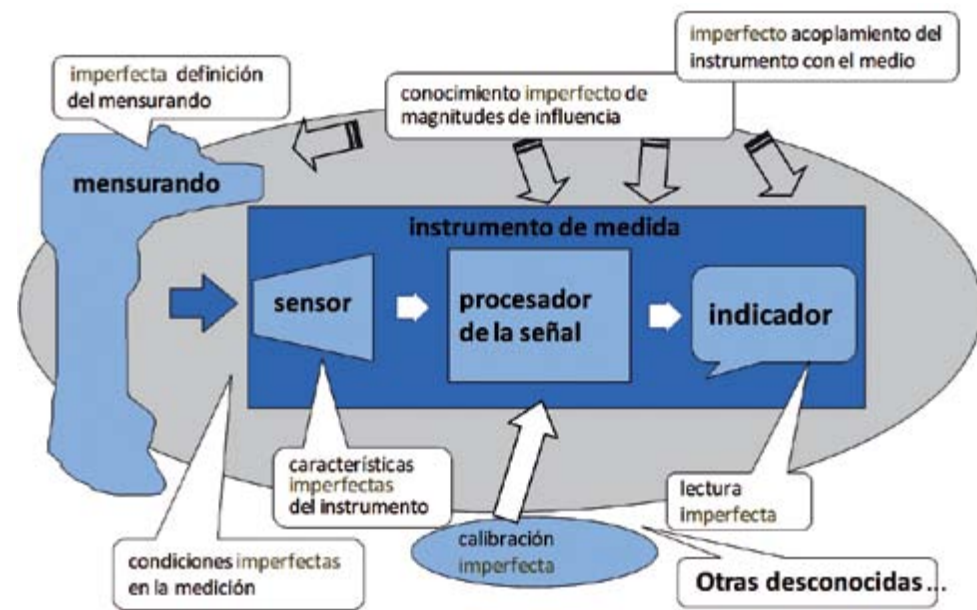


Figura 2. Causas de la incertidumbre de medida.

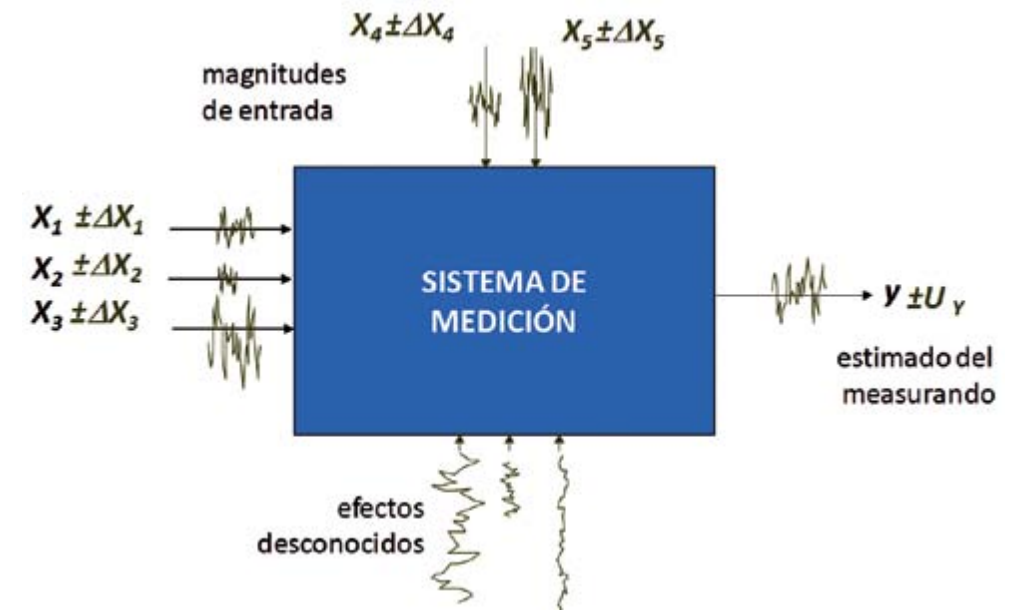


Figura 3. La expresión de los resultados de un sistema de medición es una variable aleatoria porque las entradas al sistema también lo son.

trumento para medir en cuanto a su lectura-, y por lo que su apropiada expresión requiere de la aplicación de métodos de la estadística descriptiva, y particularmente de la función de densidad de probabilidad, *fdp*, véase por ejemplo [12], que tiene su simplificación en el más conocido histograma.

La descripción de las *fdp* puede hacerse en términos de sus momentos, el momento de orden 1 corresponde a la media, el de orden 2 a la varianza, el de orden 3 refleja su asimetría, etc. Los métodos numéricos de estimación de la incertidumbre de medida publicados recientemente [13] toman en cuenta la información de la *fdp* completa.

El método GUM, analítico, solamente incorpora información del primero y el segundo momentos. Adicionalmente, cabe anotar que las recomendaciones de la GUM en cuanto a la expresión de la incertidumbre de medida giran en torno a la suposición de una *fdp* del mensurando gaussiana -o normal-, para reflejar un comportamiento bastante frecuente de los resultados de medición, y lo cual, afortunadamente, facilita la aplicación del método GUM pues los momentos de orden mayor a 2 pueden expresarse en términos de los momentos de orden 1 y 2 para estas *fdp*.

Se reconoce que el error de medida está relacionado con el momento de orden 1 de la *fdp* del mensurando, y la incertidumbre con el momento de orden 2.

3. ¿EXISTEN EFECTOS DE LAS BUENAS MEDICIONES EN LA “RENTABILIDAD” DE LAS ORGANIZACIONES?

En este trabajo se considera la “rentabilidad” no exclusivamente en función de las ganancias pecuniarias de la organización, sino como el conjunto de los beneficios originados en la organización que incluyen los aspectos:

- financieros,
- personal de la organización,
- sustentabilidad de la organización,
- preservación del ambiente,
- entorno social.

Como se mencionó, los resultados de medición sirven para tomar decisiones, por lo que buenas mediciones conducen a buenas decisiones, las que a su vez inciden positivamente en la rentabilidad de la organización. Más aún, un adecuado sistema de gestión de las mediciones conlleva otras oportunidades para mejorar la rentabilidad:

- La decisión sobre las capacidades de los proveedores de servicios de calibración depende del valor de incertidumbre requerida, tomando en cuenta que el costo de estos servicios incrementa cuanto más reducido sea el valor de la incertidumbre.
- La selección de servicios de calibración incorporados a los acuerdos internacionales

de reconocimiento mutuo facilitan el reconocimiento de las mediciones y pruebas de la empresa, que evitan los costos por nuevas pruebas en los países de los clientes o proveedores.

- El análisis de las contribuciones a la incertidumbre de medida encaminado a la reducción eficaz de la misma en caso necesario.
- La selección del valor de la incertidumbre de medida que mejor corresponda a la incertidumbre requerida, con lo cual se minimizan los costos, por un lado no incurriendo en los costos de incumplimiento del producto, y por el otro evitando los costos altos de la adquisición y operación de equipos de medición con capacidad innecesariamente alta.
- En los procesos de inspección de producto, en los cuales tradicionalmente se encuentran los estados de aceptado y rechazado, aparece un tercer estado para el cual no se tiene la certeza para aceptar o para rechazar, y en el eje de los valores de la variable medida, la extensión correspondiente a este tercer estado es del tamaño de la incertidumbre de medida. Esta situación ha sido abordada recientemente por varios autores [14, 15].

4. ¿QUÉ HAY MÁS ALLÁ DEL ENFOQUE AL “CUMPLIMIENTO”?

Los niveles de madurez de las organizaciones en cuanto a calidad han ameritado la atención de un buen número de autores, los cuales comúnmente despliegan como nivel más bajo aquél en el cual la calidad de los productos es circunstancial, no se observa sistematización alguna. El siguiente nivel usualmente aparece asociado a un sistema orientado al cumplimiento de requisitos; la implementación de sistemas de gestión de acuerdo a modelos como ISO 9001 o a ISO 10012 para mediciones correspondería a este nivel. Los niveles superiores abandonan el enfoque al “cumplimiento”, porque es un hecho, y se trasladan al enfoque del “desempeño”. Las similitudes y diferencias entre los términos en lengua inglesa *conformance* y *performance* son ilustrativas al respecto.

En uno de sus anexos, la ISO 9004 [16] muestra la descripción de una jerarquía para los niveles de madurez de una organización, la cual no es

difícil extrapolar a aquella parte de la organización encargada de las mediciones, la función de metrología en el lenguaje de la ISO 10012, la cual puede resumirse como:

Factor clave	Salto
Interés	De requisitos a partes interesadas.
Enfoque	De procesos propios a procesos interrelacionados incluyendo proveedores y socios clave.
Motivador de mejora	De satisfacción del cliente a análisis de información generada externamente.
Sistemas implementados	De ISO 10012 a sistema ágil, flexible e innovador.
Logro de resultados	De algunos resultados predecibles a tendencias positivas sostenidas.
Aprendizaje	De prueba y error a aprendizaje continuo y sinérgico.

5. CONCLUSIONES

Las mediciones tienen vital importancia para la efectiva implementación de sistemas de gestión de calidad, pero más esencialmente, para la sustentabilidad de las organizaciones; la falta de mediciones confiables conlleva al detrimento de la organización. Por el contrario, la existencia de mediciones confiables en una organización propicia su sano desarrollo, aun cuando debe reconocerse que tampoco garantiza su éxito: Contar con buenas mediciones en una organización es una condición necesaria pero no suficiente para el desempeño exitoso de las organizaciones.

De manera similar al modelo de ISO 9001 para los sistemas de gestión de las organizaciones en general, la ISO 10012 propone un modelo para la gestión de las mediciones

en una organización. El modelo contiene como elementos básicos a la confirmación metrológica de equipos para medir y al control de los procesos de medición, y establece como requisitos el balance entre características y requisitos en estos dos elementos.

Como partes indispensables en este modelo, y en todos los conocidos sobre gestión de mediciones, aparecen la trazabilidad metrológica y la incertidumbre de las medidas, por medio de las cuales puede cuantificarse la comparabilidad de los resultados de medida, y con ello la objetividad

y confiabilidad de las mismas, que las constituye en soportes inigualables para tomar decisiones. Adicionalmente, los beneficios incidentes en una organización pueden amplificarse dando la debida consideración tanto a los resultados de mediciones como a su gestión.

No hay razón para que los sistemas de gestión de las mediciones se queden en el nivel reactivo de cumplimiento de requisitos. Como otros tipos de sistemas, el de gestión de las mediciones puede y conviene que trascienda a los niveles de agilidad, flexibilidad e innovación que requiere la dinámica organizacional actual.

REFERENCIAS

- [1]. COPANT ISO 9001:2008. *Sistemas de gestión de la calidad - Requisitos*.
- [2]. COPANT ISO 9000-2000. *Sistemas de gestión de la calidad - Fundamentos y vocabulario*.
- [3]. COPANT ISO 10012. *Sistemas de gestión de las mediciones – Requisitos para los procesos de medición y los equipos de medición*.
- [4]. COPANT - ISO/IEC 17025:2008. *Requisitos generales para la competencia de laboratorios de ensayo y de calibración*.
- [5]. NMX-Z-055-IMNC-2009. *Vocabulario Internacional de Metrología - Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados (VIM). Traducción reconocida al español de JCGM 200: 2008. International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM)*.
- [6]. ISO TS 14253-2 *Geometrical product specifications (GPS) – Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment. Part 2: Guide to the estimation of uncertainty in GPS measurement, in calibration of measuring equipment and in product verification*.
- [7]. NMX-CH-140-IMNC. *Guía para la expresión de incertidumbre en las mediciones, equivalente a JCGM 100:2008. GUM 1995 with minor corrections. Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement. BIPM*.
- [8]. R. J. Lazos-Martínez, *Las mediciones y la calidad, Publicación Técnica CNM-MMD-PT-003. Centro Nacional de Metrología. Los Cués, Qro., México, 1996*.
- [9]. Julio César Hernández Cruz, Carlos A. Galván

Hernández, Ignacio Hernández Gutiérrez y Rubén J. Lazos Martínez, *Impacto de la incertidumbre de medición en el costo de la producción*, http://www.cenam.mx/dimensional/java/Applet_JC/Impacto_U.aspx, consultada el 3 de junio de 2011.

[10]. *The International System of Units. BIPM. 8a. Ed. 2006*.

[11]. R. Arias, *incertidumbre en la medición de flujo másico mediante una placa de orificio*, abril de 2001. <http://www.cenam.mx/publicaciones/gratuitas/>

[12]. P. G. Hoel. *Introduction to Mathematical Statistics. Wiley International, 4a. Ed. (1971), p. 73*.

[13]. *ISO-GUM Supplement 1: Numerical methods for the propagation of distributions, 2004*.

[14]. *ISO 14253-1 Geometrical product Specification (GPS) – Inspection by measurement of workpieces and measuring instruments – Part 1: Decision rules for proving conformance or non-conformance with specification*.

[15]. JCGM 104:2009. *Evaluation of measurement data – An introduction to the “Guide to the expression of uncertainty in measurement” and related documents. BIPM, 2009*.

[16]. NMX-CC-9004-IMNC-2009. *Gestión para el éxito sostenido de una organización - Un enfoque basado en la gestión de la calidad*.