

¿Qué Son y Cómo se Estima La Mejor Capacidad de Medida y la Capacidad de Medida y Calibración?

Jorge Reyes (jreyes@cdtdegas.com)
David Antolínez (fantolinez@cdtdegas.com)
Corporación CDT de GAS



Abstract:

In the present article the terms best measurement capability and calibration and measurement capability are described. It describes the aspects that have to be considered in order to estimate the best measurement capability and calibration and measurement capability. The same way, an overview of the usages in the international environment its shown, focused in the harmonization of them. As the final part of the document two cases are discussed as examples, related to the estimation of the calibration and measurement capability applied to pressure.

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.

1. INTRODUCCIÓN

Es clara la importancia que tienen las correctas mediciones para las empresas desde el punto de vista de los sistemas de gestión de calidad, como de la calidad de los productos y servicios, lo cual está directamente asociado a sostenibilidad de mismas[1]. Una buena parte de los aspectos necesarios para garantizar las correctas mediciones son los procesos de calibración de los instrumentos de medida[2]. El primer paso dentro de este proceso es la selección del laboratorio adecuado para realizar dichas calibraciones. Uno de los parámetros a considerar dentro de la selección, es la calidad de los resultados emitidos por el laboratorio. Comúnmente la calidad se ve reflejada en la incertidumbre de medida de los resultados de calibración. Por lo anterior existen dos términos que permiten mostrar las capacidades de los laboratorios de calibración. Estos términos son “Mejor Capacidad de Medida” y “Capacidad de Medida y Calibración”.

Dentro de este contexto en el presente artículo se presentan las definiciones y campos de aplicación de estos términos. Igualmente se muestran los aspectos a considerar para estimarlos. Seguidamente se muestra un panorama de las tendencias internacionales de armonización de los términos, en particular en el campo de acreditación. De la misma manera se da un breve panorama del proceso colombiano en dicho aspecto.

Finalmente se muestran dos ejemplos numéricos asociados a la calibración de instrumentos de presión. En dichos ejemplos se muestra que los aportes asociados al instrumento en calibración, y el método no pueden ser despreciados. Cuando estos aportes no se consideran (se desprecian) se llegan a valores de mejor capacidad de medición y capacidad de medida y calibración subestimados. Lo anterior conlleva a inconsistencias tales como laboratorios secundarios mostrando capacidades iguales o superiores a institutos nacionales de metrología, o laboratorios con patrones primarios y falta de comparabilidad de los resultados durante procesos de comparación. Estos problemas asociados a incorrectas interpretaciones o cuantificaciones de los términos en cuestión, derivan en confusiones para los clientes de los servicios de calibración, pérdida de confianza entre clientes y proveedores a nivel industrial, además de dificultades en el intercambio comercial regional e internacional.

2. DEFINICIONES

Como primer paso dentro del desarrollo del contenido del presente documento se presentan

las definiciones de los términos a tratar. Se inicia presentado la definición del término “Mejor Capacidad de Medición” y posteriormente la definición del término “Capacidad de Medición y Calibración”

2.1. Mejor Capacidad de Medición

El término Mejor Capacidad de Medición (MCM) también denominado Capacidad Óptima de Medida (COM) (en inglés “Best Measurement Capability BMC”) es un término asociado a la capacidad (calidad en términos de incertidumbre) de realizar una determinada medición en diferentes campos de aplicación de la metrología[3]-[5]. Dentro de estos campos de aplicación se destaca el uso del término por lo organismo de la comunidad internacional de acreditación liderada por “The International Laboratory Accreditation Cooperation” ILAC, donde el término se define como:

- *La incertidumbre de medición más pequeña que un laboratorio puede lograr dentro del alcance de su acreditación, cuando realiza calibraciones más o menos rutinarias de patrones de medición casi ideales, con el objetivo de definir, materializar, conservar o reproducir una unidad de la magnitud o uno o más de sus valores; o cuando realiza calibraciones más o menos rutinarias de instrumentos de medición casi ideales diseñados para la medición de la magnitud [3],[4].*

En este orden de ideas la determinación de la MCM es la estimación de incertidumbre del proceso de calibración de un instrumento prácticamente ideal. Es claro que dicha estimación no puede llevarse a cabo si no posee un pleno conocimiento de la confiabilidad, complejidad, cálculos y robustez del proceso de calibración. Para obtener la MCM se considera la incertidumbre que aporta, al menos, cada uno de los siguientes aspectos [4] (varios de las cuales no son tenidos en cuenta por creer que al considerar el patrón y/o el instrumento bajo calibración como equipos ideales, o casi ideales, no deberían aportar a la estimación):

- Trazabilidad de los patrón(es) e instrumentos asociados al proceso de medición
- Modelo de medida
- Deriva
- Estabilidad
- Método (Exactitud, repetibilidad, reproducibilidad)
- Condiciones Ambientales (ambientales, montaje, conexión, configuración)
- Personal (competencia)

Como se puede observar, la determinación de la MCM incluye la incertidumbre de los diversos aspectos asociados al proceso de calibración.

Por lo tanto, es claro que no es suficiente considerar solo la incertidumbre asociada a la trazabilidad del patrón o la clase de exactitud de los instrumentos utilizados en el proceso de calibración. Incluso es insuficiente solo considerar las fuentes asociadas a las características técnicas de los elementos utilizados dentro de calibración, estimadas como fuentes de incertidumbre tipo B, ya que se subestima el valor de la MCM. Esta subestimación se debe, a que se omiten incertidumbres que pueden tener aportes considerables como las asociadas a la repetibilidad y reproducibilidad del método y/o banco de calibración, las condiciones ambientales y la competencia del personal.

La principal diferencia radica en que la determinación de la capacidad de medida se realiza asumiendo un instrumento bajo prueba ideal o casi ideal. Hablando cuantitativamente, esto implica que la incertidumbre que aporta el instrumento bajo prueba es igual a cero (aclarando que tal dispositivo no existe)[6].

2.2. Capacidad de Medición y Calibración

El término Capacidad de Medición y Calibración (CMC), Calibration and Measurement Capability), ha sido desarrollado en un ambiente más restringido, asociado a los institutos nacionales de metrología INM dentro del marco de los acuerdos de reconocimiento mutuo (MRA) acordados con el comité internacional de pesas y medidas (CIPM). Este concepto se define como:

Una determinación objetiva de la influencia del instrumento en la CMC se puede obtener con una comparación con otros laboratorios, circulando un patrón similar al mejor instrumento que se desea calibrar[6]. Otra es que el laboratorio realice calibraciones sucesivas con instrumentos de buenas características metrológicas, similares a los mejores que se podrían calibrar.

- La capacidad de medición y calibración (expresada en términos de incertidumbre) que está disponible a los usuarios bajo condiciones normales, tal como se publica en la lista de servicios de un INM o en el alcance de calibración de un laboratorio[6],[7]. Además deberá ser: a) Llevada a cabo de acuerdo a un procedimiento documentado y un presupuesto de incertidumbres establecido bajo un sistema de calidad y b) Disponible para todos los clientes[4].

Se puede observar en la definición, que este es un concepto más cercano a la realidad del proceso de calibración. Esto en razón a que no considera instrumentación ideal, sino el posible mejor instrumento que el laboratorio pueda calibrar.

3. ANÁLISIS COMPARATIVO

Una vez aclarados los términos y el campo de aplicación dentro del cual surgieron, a continuación se tratan las diferencias asociadas a los mismos. La principal diferencia radica en que la determinación de la capacidad de medida se realiza asumiendo un instrumento bajo prueba ideal o casi ideal. Hablando cuantitativamente, esto implica que la incertidumbre que aporta el instrumento bajo prueba es igual a cero (aclarando que tal dispositivo no existe) [8].

De otro lado la estimación de la CMC incluye el desempeño metrológico del dispositivo bajo prueba (resolución, repetibilidad, etc.). En ese orden de ideas el laboratorio no puede pasar por alto las fuentes de in-

certidumbres asociadas con el comportamiento del instrumento en calibración. De lo anterior se deriva que lo más adecuado es identificar el mejor instrumento (más alto nivel en las características de desempeño metrológico como la clase de exactitud, resolución, etc.) que puede ser calibrado por el laboratorio de acuerdo con sus patrones y procedimientos[6]-[8]. Una determinación objetiva de la influencia del instrumento en la CMC se puede obtener con una comparación con otros laboratorios, circulando un patrón similar al mejor instrumento que se desea calibrar[8]. Otra es que el laboratorio realice calibraciones sucesivas con instrumentos de buenas características metrológicas, similares a los mejores que se podrían calibrar. No es necesario incluir

en la CMC los efectos que tenga el transporte del instrumento bajo prueba antes y/o después de su calibración, ni su estabilidad a largo plazo (deriva)[6],[7].

Es claro de lo anterior, que la MCM siempre es menor que la CMC (por considerar los aportes de medidor bajo prueba a la incertidumbre de medida). La otra diferencia a considerar como ya se mencionó, es el ámbito en el cual se crearon y aplicaron los términos. Por un lado el uso de CMC se da a nivel de INM, como herramienta dentro

de procesos de comparaciones internacionales, y para difundir la trazabilidad como entidades líderes dentro de cada uno de sus países. De otra parte el uso de MCM se aplicaba más a nivel de acreditación de laboratorios, que son los encargados de llevar la trazabilidad a los usuarios finales. Dado que, tanto los INM como los laboratorios acreditados tienen desde perspectivas diferentes un objetivo común de brindar trazabilidad, y para evitar las confusiones al respecto de las diferencias en la forma como ellos reportan sus capacidades (MCM y CMC), se viene realizando esfuerzos con el fin de llegar a un punto de armonización para la expresión de la capacidad tanto de INM como de los laboratorios acreditados[6]. Los resultados del trabajo de armonización, liderado por el Bureau International des Poids et Mesures BIPM y el ILAC se presentan en el siguiente numeral.

4. ARMONIZACIÓN DE LOS TERMINOS

Como resultado del trabajo mancomunado de ILAC y BIPM, se publicó el documento denominado "Calibration and Measurement Capabilities" [6]. De acuerdo con el documento, después de la "Reunión de Nashville"[6] de las Organizaciones Regionales de Metrología (ORM) e ILAC, en 2006, el grupo de trabajo BIPM-ILAC recibió una serie de comentarios sobre propuestas de una terminología común para la Mejor Capacidad de Medición (MCM) y Capacidad de Medición y Calibración (CMC). Algunos participantes, especialmente de la comunidad de Institutos Nacionales de Metrología y ORM, consideraron que los dos términos fueron aplicados de manera diferente, debido principalmente a mala e inconsistente interpretación[6]. Por tal razón el grupo de trabajo BIPM-ILAC redactó un texto sobre la expresión de la CMC que se presentó para aprobación por la Asamblea

Es claro, que con esta armonización se busca generar claridad para todos los usuarios de servicios de calibración, evitando que por posibles confusiones y malas interpretaciones se sobreestimen o subestimen las capacidades de laboratorios (por ejemplo laboratorios reportando mejores capacidades es decir menores incertidumbres que el INM o los laboratorios de los que reciben trazabilidad).

El tener Capacidades de Medición expresadas de forma similar, también facilita las actividades administrativas del organismo de acreditación[11]. Igualmente facilita la comprensión de los clientes sobre el alcance de los servicios ofrecidos por un laboratorio acreditado, seleccionando el que mejor satisfaga sus necesidades. Y especialmente, facilita el intercambio comercial regional e internacional[10],[11] (como los tratados de libre comercio).

General de ILAC en octubre de 2007 y por el CIPM en noviembre del mismo año donde se acordó la definición expuesta anteriormente[6],[7].

Además, en la nota uno[6],[7], que acompaña la definición de la CMC dada por BIPM e ILAC, se expresa que los términos MCM y CMC deben ser interpretados de manera similar y consistente. Es decir, ambos términos significan lo mismo por lo tanto los organismos de acreditación, los laboratorios, sus clientes, el mercado y entes reguladores deben considerarlos iguales. Esto conlleva a que los laboratorios deben estimar sus capacidades en términos de incertidumbre, considerando todos los aspectos mencionados en el numeral 2.1 más los efectos asociados al mejor instrumento que el laboratorio está en capacidad de calibrar, de acuerdo con sus patrones, procedimientos y métodos. Es claro, que con esta armonización se busca generar claridad para todos los usuarios de servicios de calibración, evitando que por posibles confusiones y malas interpretaciones se sobreestimen o subestimen las capacidades de laboratorios (por ejemplo laboratorios reportando mejores capacidades es decir menores incertidumbres que el INM o los laboratorios de los que reciben trazabilidad).

A nivel internacional la aplicación de esta nueva armonización de términos ya es una realidad y los diferentes organismos de acreditación liderados por ILAC la están implementando dentro de sus procesos [5],[9],[10].

5. PANORAMA EN COLOMBIA

En Colombia los procesos asociados a metrología y acreditación de laboratorios de calibración y ensayo han venido afrontando cambios evolutivos en los últimos años. Entre los mencionados cambios se encuentran la creación del Organismo Nacional de Acreditación de Colombia ONAC, la creación del Instituto Nacional de Metrología INM, la Red Colombiana de Metrología RCM, la aprobación de las convenciones del Metro y Metrología, y la

membrecía dentro de BIPM y OIML (Organización Internacional de Metrología Legal). Como es de esperarse todos estos cambios buscan alinear el país con el ámbito internacional en los temas de metrología y acreditación. Dentro de este panorama el ONAC, emitió el 27 de julio de 2011 la “Política de estimación de incertidumbre en la calibración”[11]

Dentro de las pautas de esta política, se establecen los criterios dados por el grupo de trabajo BIPM-ILAC[6],[7], para la evaluación y expresión de las Capacidades de Medición y Calibración (CMC) que deben cumplir los laboratorios acreditados.

5.1. Ventajas de Expresar la Capacidad de Medida de Forma Similar

Los Institutos Nacionales de Metrología determinan y expresan su Capacidad de Medición de forma similar como CMC (acuerdo internacional MRA del CIPM)[12], para poder determinar el “grado de equivalencia o igualdad” de las mediciones y calibraciones que realizan. Igualmente se requiere determinar el “grado de equivalencia” y trazabilidad de las mediciones que realizan los laboratorios secundarios e industriales, lo que también demanda declaraciones similares de capacidad de medición por parte de estos[12].

El tener Capacidades de Medición expresadas de forma similar, también facilita las actividades administrativas del organismo de acreditación [13]. Igualmente facilita la comprensión de los clientes sobre el alcance de los servicios ofrecidos por un laboratorio acreditado, seleccionando el que mejor satisfaga sus necesidades. Y especialmente, facilita el intercambio comercial regional e internacional [12],[13] (como los tratados de libre comercio).



Fig. 1. Patrón Tipo Balanza de Presión Corporación CDT de GAS

6. EJEMPLOS DE ESTIMACION DE LA CAPACIDAD DE MEDICIÓN Y CALIBRACIÓN

A continuación se presentan dos ejemplos de estimación de Capacidad de Medición y Calibración. Los ejemplos son aplicados a la calibración de instrumentos para medir presión. El mensurando del proceso de calibración es el error de medida del instrumento bajo prueba. La estimación se realiza con base en los patrones y procedimientos del laboratorio de presión de la Corporación CDT de GAS. Las capacidades se determinaron con transductores electrónicos con indicación directa, de diferentes características metrológicas y puntos de medida.

6.1. Caso 1

Para este caso la CMC se estimó considerando el uso de un patrón tipo balanza de presión (Fig. 1), en el intervalo de 3500 kPa a 6980 kPa. El instrumento bajo prueba es un transductor electrónico con clase de fabricante $\pm 0,25\%$ de la escala.

El modelo de determinación del error de medida del instrumento se obtiene aplicando la siguiente ecuación 1:

$$E_i = P_{ECi} - P_{Pi} \quad \text{Ec. 1}$$

Dónde:

E_i Error de medición del instrumento en el i -ésimo punto de calibración.

P_{Pi} Presión generada por el patrón en el i -ésimo punto de calibración.

P_{ECi} Lectura de presión del elemento en calibración el i -ésimo punto de calibración.

El modelo de medida (ecuación (2)), utilizado para determinar la presión del patrón, es basado en el uso del certificado de calibración emitido por la Superintendencia de Industria y Comercio SIC. El resultado obtenido con dicho modelo es la presión generada por la balanza a condiciones de Piedecuesta, Santander. Como se puede observar el modelo considera la corrección por expansión térmica, deformación lineal y columna hidrostática.

Dónde:

P_p : Presión generada por el patrón a condiciones de operación en kPa.

P_N : Presión nominal en kPa.

$$P_p = \left[\left(\sum P_{CERTIFICADO} \right) + \left(\left(\frac{1}{1 + ((\alpha + \beta) \cdot (t - 20)) + (\lambda P_N)} \right) - 1 \right) \cdot P_N \right] + (\rho_f \cdot g_l \cdot \Delta h) \cdot 10^{-3}$$

Ec. 2

$\Sigma P_{certificado}$: Corresponde al valor obtenido cuando se suman los valores de presión que se generan al colocar las pesas en el respectivo pistón. El valor es obtenido del certificado de calibración.

g_l : Es la aceleración de la gravedad local en $m \cdot s^{-2}$.

ρ_f : Es la densidad del fluido utilizado para transmisión de la presión, en $kg \cdot m^{-3}$.

t : Temperatura del pistón al momento de la medición, en $^{\circ}C$.

$\alpha + \beta$: Coeficientes de expansión térmica del ensamble pistón - cilindro, en $^{\circ}C^{-1}$.

λ : Coeficiente de deformación elástica del pistón, en kPa^{-1} .

Δh : Diferencia de altura entre la referencia

dada para el manómetro y la referencia del montaje usado para la calibración del instrumento, en metros.

En la Fig. 2 se presenta el árbol de incertidumbres que afecta la presión generada por el patrón tipo balanza de presión. De igual forma en la Fig. 3 se presenta el diagrama de árbol de las fuentes de incertidumbre asociadas a la determinación del error de medida del instrumento bajo prueba. Se puede observar, que para este último, se toma la incertidumbre combinada obtenida de acuerdo con las fuentes presentadas en la Fig. 2, más los aportes del instrumento bajo prueba (considerando las características típicas de los mejores instrumentos que son calibrados en el laboratorio con el mencionado patrón y

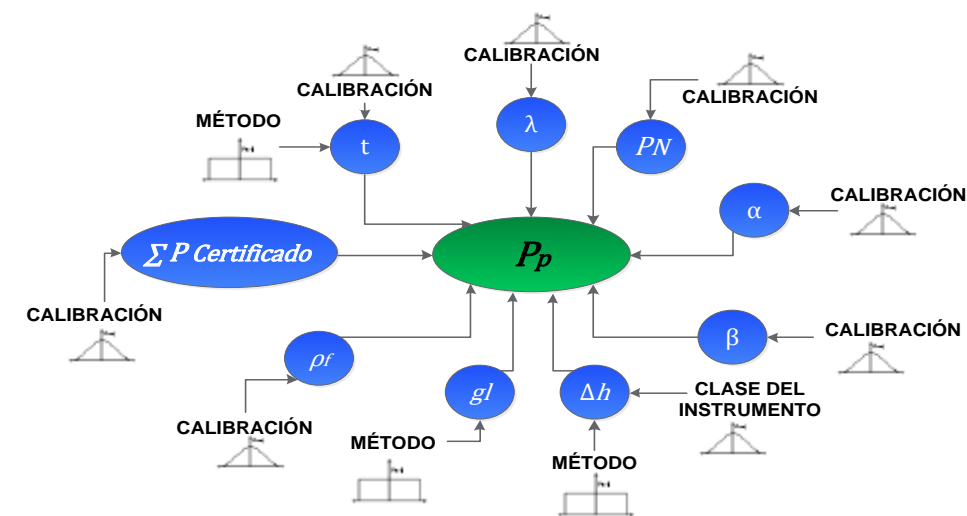


Fig 2. Diagrama de Árbol Fuentes de Incertidumbre Asociadas a la Generación del Presión con el Patrón

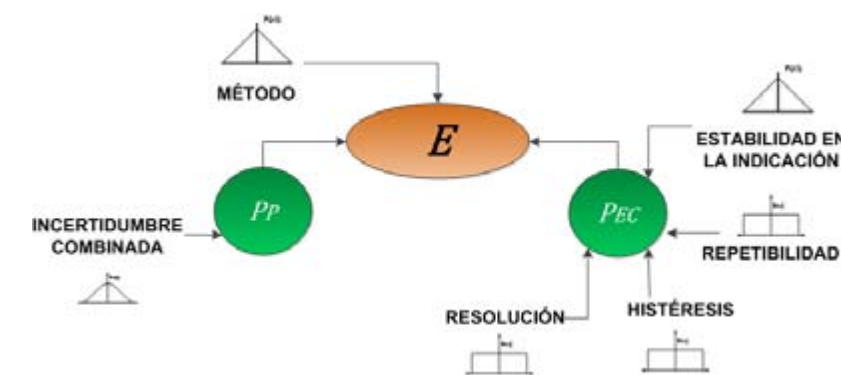


Fig 3. Diagrama de Árbol Fuentes de Incertidumbre Asociadas Error de Medida del Instrumento Bajo Prueba

procedimiento) y el método (que considera pruebas de repetibilidad y reproducibilidad llevadas a cabo incluyendo los metrologos).

Como primer paso para la estimación de la CMC, en la Tabla 1 se presenta la cuantificación de las fuentes de incertidumbre tipo B asociadas a la determinación de la presión generada por el patrón.

Seguidamente en la Tabla 2 se presenta el resultado de la estimación. Se puede observar que los aportes, tanto del instrumento bajo prueba como los asociados al método, tienen un valor menor a los asociados a la reproducción de presión del patrón. No obstante también se puede observar que no son de magnitud despreciable, y en conjunto llegan a valores de aporte similares a la reproducción de presión por parte del patrón.

ID	$u_{c,B}$ [kPa]	Calibración			
		U Original [ppm]	PDF		
$\sum P_{CERTIFICADO}$	*	90+0,00033		N k=2	
Pistón de Alta		$\sum P_{CERTIFICADO}$			
P_N	*	87+0,00033		N k=2	
Pistón de Alta		$\sum P_{CERTIFICADO}$			
	[kPa ⁻¹]	U Original [kPa ⁻¹]	PDF		
λ Pistón de Alta	1,65·10 ⁻¹⁰	3,3·10 ⁻¹⁰		N k=2	
	[kg m ⁻³]	U Original [kg m ⁻³]	PDF		
Densidad Fluido	ρ_f	0,25	0,5	N k=2	
	[m s ⁻²]	U Original [m s ⁻²]	PDF		
Aceleración de la gravedad local	g_l	0,00034	0,001166	R	
	[m]	Clase de Exactitud Instrumento	Método de Medición	Referencia de Flotación	
		U Original [m]	PDF	U Original [m]	PDF
Diferencia de altura	Δh	6,13·10 ⁻⁴	20·10 ⁻⁶	N k=2	2·10 ⁻³
	[°C ⁻¹]	U Original [°C ⁻¹]	PDF		
Coefficiente de expansión térmica del ensamble	α	5,77·10 ⁻⁷	2·10 ⁻⁶	R	
Coefficiente de expansión térmica del ensamble	β	5,77·10 ⁻⁷	2·10 ⁻⁶	R	
	[°C]	Calibración del Instrumento	Método de Medición		
		U Original [°C]	PDF	U Original [°C]	PDF
Temperatura al momento de la medición	t	0,153	0,2	N k=2	0,4

1 Partes por millón de la presión generada en kPa
* Estimada en función de la presión generada
N: Normal, R: Rectangular, T: Triangular

Tabla 1. Cuantificación Fuentes de Incertidumbre Tipo B Asociadas a la Generación del Presión con el Patrón.

Variables de Entrada			
Variables	Valores de Entrada	Estimación de Incertidumbre	
X_i	x_i	$u_c(x_i)$	$u_i(y)$ [kPa]
$\sum P_{CERTIFICADO}$	6980,9900 [kPa]	0,3222 [kPa]	0,3222
P_N	7001,2400 [kPa]	0,3126 [kPa]	-2,3936·10 ⁻⁵
λ	3,1·10 ⁻⁹ [kPa ⁻¹]	1,65·10 ⁻¹⁰ [kPa ⁻¹]	-0,0162
ρ_f	860,2 [kg·m ⁻³]	0,250 [kg·m ⁻³]	-1,7574·10 ⁻⁴
g_l	9,7781 [m·s ⁻²]	3,3660·10 ⁻⁴ [m·s ⁻²]	-2,0815·10 ⁻⁵
Δh	-0,0719[m]	7,072·10 ⁻⁴ [m]	5,9482·10 ⁻³
α	5,5·10 ⁻⁶ [°C ⁻¹]	5,774·10 ⁻⁷ [°C ⁻¹]	-8,1224·10 ⁻³
β	11·10 ⁻⁶ [°C ⁻¹]	5,774·10 ⁻⁷ [°C ⁻¹]	-8,1224·10 ⁻³
t	22,01[°C]	0,1528 [°C]	-0,0169
Y	y	$u_c(y)$	
P_p	6980,0012 [kPa]	0,3233 [kPa]	

Incertidumbre Indicación Instrumento en Calibración				
ID	u_c [kPa]	U Original [kPa]	PDF	u estándar [kPa]
U_{ResEC}	1,9903·10 ⁻¹	0,6895	R	1,9903·10 ⁻¹
U_{HisEC}	3,4966·10 ⁻³	1,2117·10 ⁻²	R	3,4966·10 ⁻³
U_{RepEC}	3,4963·10 ⁻³	1,2112·10 ⁻²	R	3,4963·10 ⁻³
U_{EstEC}	0	0	T	0

Error de medición instrumento en calibración				
X_i	x_i	$u_c(x_i)$	$u_i(y)$ [kPa]	
P_p	6980,0012 [kPa]	0,3233 [kPa]	-0,3233	
P_{EC}	6978,1836 [kPa]	0,1991 [kPa]	0,1991	
Método	---	134,8148·10 ⁻³ [kPa]	0,1348	

Y	y	$u_c(y)$	k	$U(y)$
E	-1,8176 [kPa]	0,4029 [kPa]	2	0,8058

Tabla 2. Valores Estimación CMC Ejemplo 1

6.2. Caso 2

Para este caso la CMC se determinó usando como patrón un transmisor electrónico, en una presión de 103,421 [kPa], y el instrumento bajo prueba es un transductor electrónico clase $\pm 0,075\%$ de la escala. El modelo de determinación del error de medida del instrumento se obtiene aplicando la siguiente ecuación:

$$E_i = P_{ECi} - (P_{Pi} + (\rho \cdot g \cdot \Delta h) \cdot 10^{-3})$$

Ec. 3

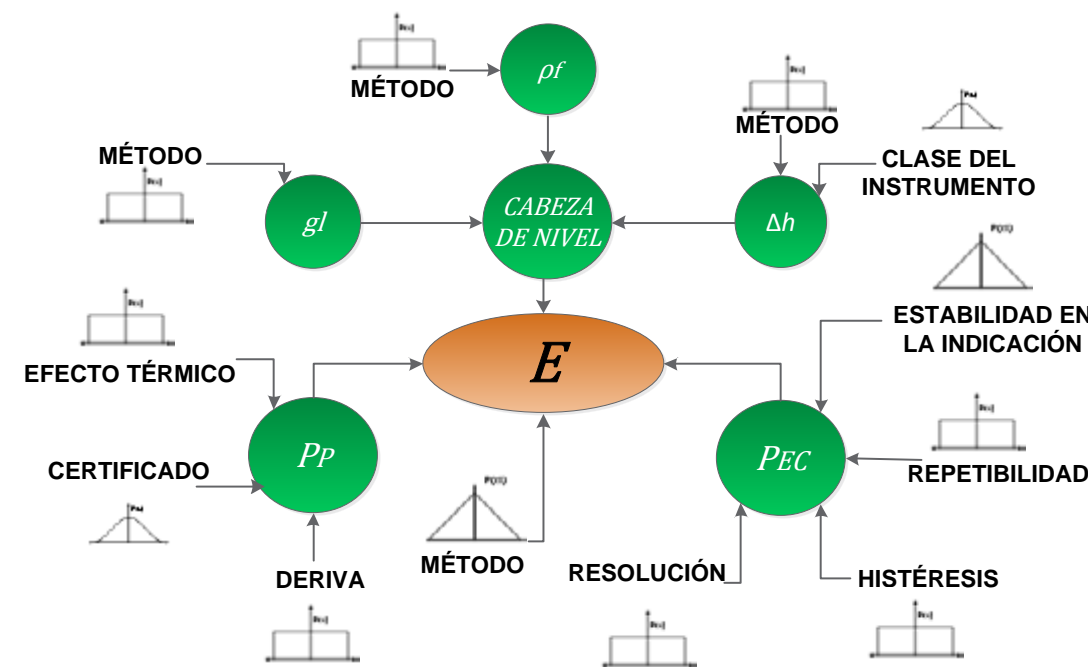


Fig 4. Diagrama Esquemático de las fuentes de incertidumbre caso 2.

Variables de Entrada				
Variables	Valores de Entrada	Estimación de Incertidumbre		
X_i	x_i	$u_c(x_i)$	$u_i(y)$ kPa	
Incertidumbre cabeza de nivel				
ρ_f	1,066 [kg·m ⁻³]	0,0025 [kg·m ⁻³]	1,2223·10 ⁻⁴	
g_l	9,7781 [m·s ⁻²]	3,3660·10 ⁻⁴ [m·s ⁻²]	1,7941·10 ⁻⁶	
Δh	0,005[m]	5,774·10 ⁻⁴ [m]	6,0189·10 ⁻³	
Y	y	$u_c(y)$		
Cabeza de nivel	5,20·10 ⁻⁵ [kPa]	6,02·10 ⁻⁶ [kPa]		
Incertidumbre Indicación Instrumento en Calibración				
ID	u_c [kPa]	U Original [kPa]	PDF	u estándar [kPa]
U_{ResEC}	1,9904·10 ⁻⁴	6,8948·10 ⁻⁴	R	1,9904·10 ⁻⁴
U_{HisEC}	1,9904·10 ⁻³	6,8948·10 ⁻³	R	1,9904·10 ⁻³
U_{RepEC}	1,9904·10 ⁻³	6,8948·10 ⁻³	R	1,9904·10 ⁻³
U_{EstEC}	4,2221·10 ⁻³	0,0205	T	4,2221·10 ⁻³
Incertidumbre Indicación Patrón en Calibración				
ID	u_c [kPa]	U Original [kPa]	PDF	u estándar [kPa]
U_{CertPP}	1,0342·10 ⁻³	2,0684·10 ⁻³	N	1,0342·10 ⁻³
$U_{EfectoTemp}$	5,9711·10 ⁻³	0,0210·10 ⁻³	R	5,9711·10 ⁻³
$U_{DerivaPP}$	1,8659·10 ⁻³	6,4637·10 ⁻³	R	1,8659·10 ⁻³
Incertidumbre por Método de Determinación del Error de Calibración				
ID	u_c [kPa]	U Original [kPa]	PDF	u estándar [kPa]
$U_{MedError}$	3,0826·10 ⁻³	0,0151	T	3,0826·10 ⁻³
Error de medición instrumento en calibración				
X_i	x_i kPa	$u_c(x_i)$ kPa	$u_i(y)$ kPa	
P_p	103,421	6,3404·10 ⁻³	-6,3404·10 ⁻³	
P_{EC}	103,282	5,0780·10 ⁻³	5,0780·10 ⁻³	
Cabeza de nivel	5,20·10 ⁻⁵	6,02·10 ⁻⁶	6,02·10 ⁻⁶	
Método	0,0151	3,0826·10 ⁻³	3,0826·10 ⁻³	
Y	y kPa	$u_c(y)$ kPa	k	$U(y)$ kPa
E	-0,1390	8,69·10 ⁻³	2	0,0176

Tabla 3. Valores Estimación CMC: Ejemplo 2

Dónde:

E_i Error de medición del instrumento en el i -ésimo punto de calibración.

P_p Lectura corregida del patrón en el i -ésimo punto de calibración en kPa.

P_{ECi} Lectura de presión del elemento en calibración el i -ésimo punto de calibración kPa.

ρ_f Densidad del fluido de calibración en kg m^{-3}

g_l Gravedad local en $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$

Δh Diferencia de altura entre el patrón y el instrumento bajo prueba en m

En la Fig 4 se pueden observar las diferentes fuentes de incertidumbre que se consideraron en este caso, para determinar la CMC.

En la tabla 3 la cuantificación de la Capacidad de Calibración y Medición para el caso 2.

Al igual que los resultados del primer caso mostrado como ejemplo, los aportes del instrumento bajo prueba y el método son menores que los asociados al patrón. Pero de igual forma se observa que no son despreciables.

7. CONCLUSIONES

Como conclusión principal del tema tratado se puede mencionar que existe una tendencia a nivel mundial enfocada a que todos los laboratorios de calibración y ensayos utilicen la CMC como parámetro para presentar capacidades. También es claro que la estimación de esta capacidad debe considerar la incertidumbre de todos los aspectos asociados al proceso de calibración. Entre los aspectos a considerar se encuentra el patrón de medida, el instrumento bajo prueba y el método (repetibilidad, reproducibilidad, capacidad técnica de quien ejecuta entre otros).

En contexto nacional también es claro que los lineamientos dados por el ONAC se encaminan a que de igual manera los laboratorios acreditados, o en vías de acreditación, utilicen la CMC como parámetro para presentar sus capacidades.

Dentro del contenido del documento se presentaron dos ejemplos numéricos basados en procesos reales que muestran que los aspectos asociados al instrumento bajo prueba y el método, pueden tener aportes considerables dentro de la estimación de la CMC. De lo anterior se concluye que no considerar y cuantificar estos aspectos dentro de la estimación de CMC, conlleva a una subestimación de su valor. Esta subestimación genera confusión en los clientes, dificultades para ejecutar procesos de comparación y es sinónimo de baja calidad en los resultados, y por ende en la trazabilidad que se ofrece a través del proceso de calibración.

REFERENCIAS

[1] R. Lazos, "La Metrología Como Soporte a Los Sistemas de Gestión en la Industria" 6ª Jornada Internacional de Medición de Fluidos, 2011.

[2] International Organization of Standardization ISO, "ISO 10012 Measurement Management Systems – Requirements for Measurement Processes and Measuring Equipment", International Standard, 2003.

[3] EA-4/02, "Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration", 1999.

[4] METAS y Metrólogos Asociados, La Guía METAS "Capacidad de Medición", 2006.

[5] Entidad Nacional de Acreditación de España ENAC, "Laboratorios de Calibración: Cambio De Terminología de COM a CMC", Nota de Prensa, 2010.

[6] BIPM/RMO-ILAC/RAB Working Party, "Calibration and Measurement Capabilities", 2007.

[7] ILAC, "Policy for Uncertainty in Calibration", 2010.

[8] R. Carranza, "Mejor Capacidad de Medición, Laboratorios de Calibración", CENAM, 2005.

[9] International Laboratory Accreditation Cooperation ILAC, "Action Required by Ilac Members On Ilac General Assembly Resolutions", Circular, 2009.

[10] European Accreditation Laboratory Committee, "Best Measurement Capability

(BMC) Change in Terminology to Calibration and Measurement Capability (CMC)" Circular, 2009.

[11] ONAC, CEA-06, "Política de Estimación de Incertidumbre en la Calibración", 2011.

[12] M. López, "Criterios para la determinación de las capacidades de calibración y medición (CMC's) en tiempo y frecuencia para laboratorios secundarios de metrología", CENAM, Encuentro nacional de metrología eléctrica, 2007.

[13] F. García, "Propuesta para la declaración armonizada de CMC en el marco de acreditación de laboratorios de calibración de instrumentos de pesaje no automáticos", CESMEC-LCPN-M, Simposio de metrología, 2010.



De lo anterior se concluye que no considerar y cuantificar estos aspectos dentro de la estimación de CMC, conlleva a una subestimación de su valor. Esta subestimación genera confusión en los clientes, dificultades para ejecutar procesos de comparación y es sinónimo de baja calidad en los resultados, y por ende en la trazabilidad que se ofrece a través del proceso de calibración.