

Criterios para la determinación de las *capacidades de calibración y medición* (CMC's) en tiempo y frecuencia para laboratorios secundarios de metrología

**Criterios para la determinación de las
capacidades de calibración y medición
(CMC's) en tiempo y frecuencia para
laboratorios secundarios de metrología**

Mauricio López

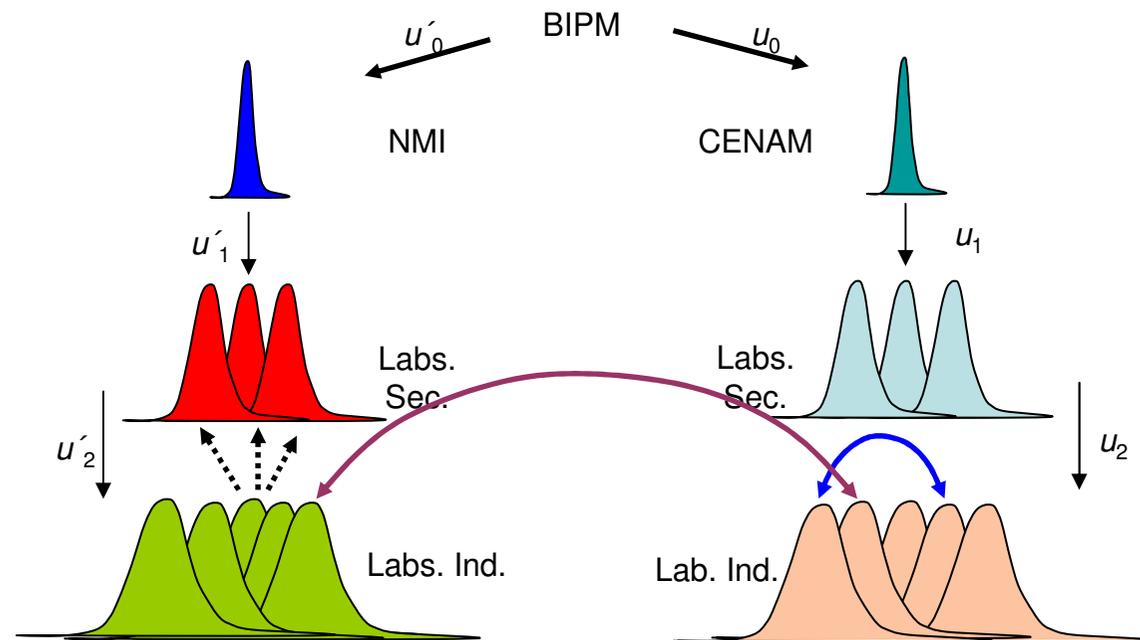
División de Tiempo y Frecuencia

Centro Nacional de Metrología, CENAM

Contenido

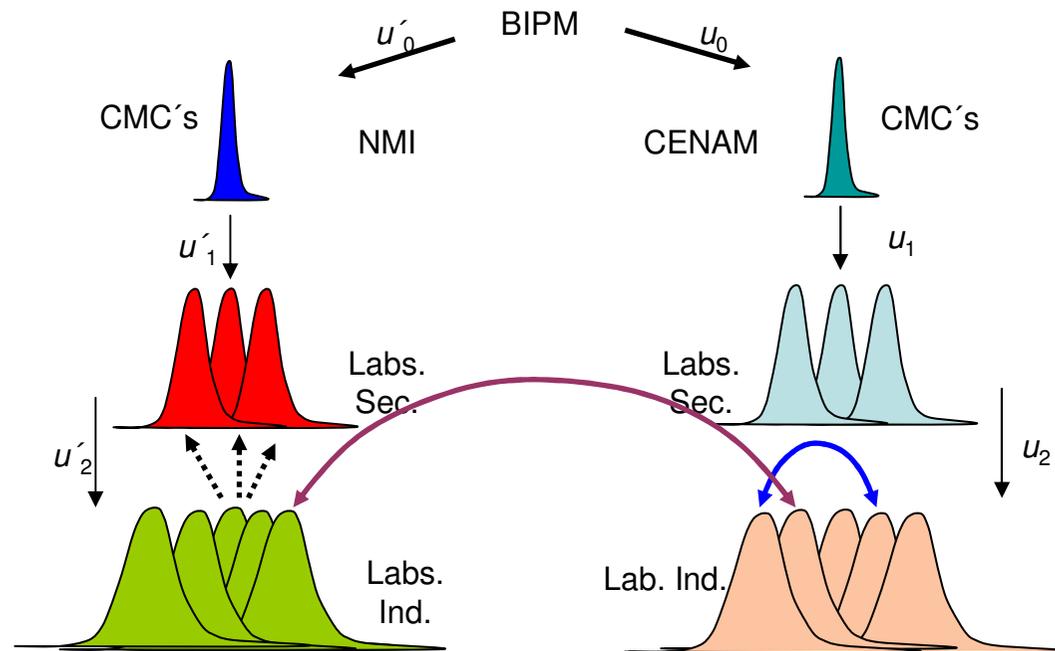
1. Introducción
2. Antecedentes
3. Capacidad de calibración y medición
4. Conclusiones

1. Introducción



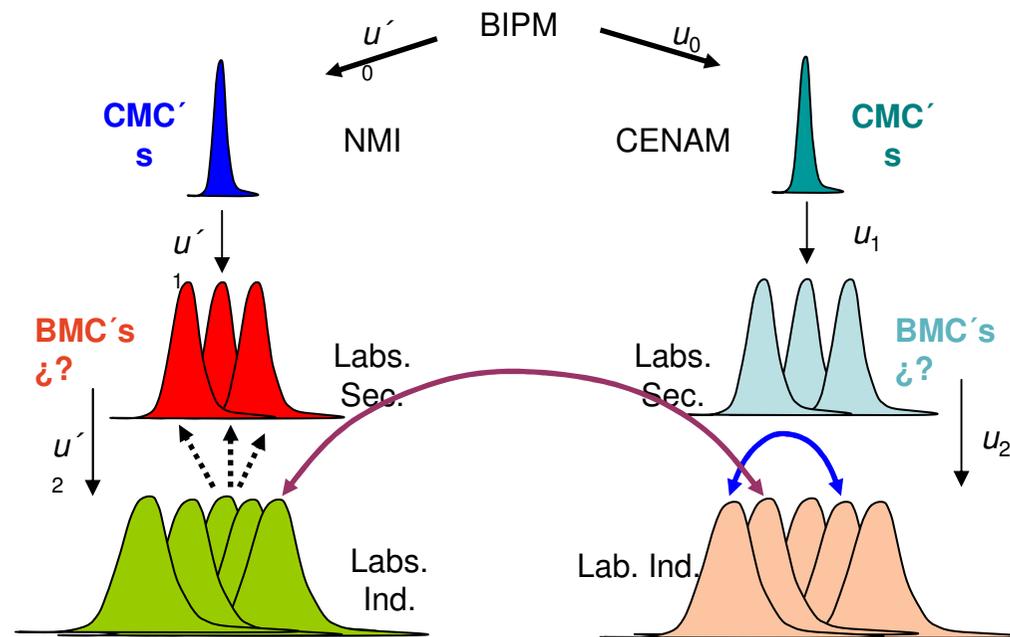
En una sociedad cada vez más globalizada, los mercados expanden sus áreas de cobertura más allá de las fronteras políticas de los países. El quehacer de la metrología no se excluye de esta realidad. Se requiere de parte de los laboratorios de calibración, tanto a nivel nacional como internacional, expresar sus capacidades de medición y calibración de manera similar con el objeto de que el usuario de los servicios elija el laboratorio del cual solicitará servicios de calibración. Más aún, se requiere el uso de expresiones similares en la declaración de capacidades de calibración y medición a favor del intercambio comercial.

1. Introducción



A nivel mundial, la equivalencia en las mediciones se asegura al más alto nivel por medio de los Institutos Nacionales de Metrología (NMI). Por acuerdo internacional (MRA del CIPM) los NMI's declaran sus capacidades de calibración y medición de manera similar con el objeto de facilitar el reconocimiento del grado de equivalencia en las mediciones que éstos realizan. Los NMIs a su vez diseminan la exactitud de sus patrones hacia los laboratorios secundarios, y éstos a laboratorios industriales, etc. Dada la necesidad de conocer el grado de equivalencia entre mediciones realizadas por laboratorios secundarios e industriales dentro de cada país, e incluso más allá de las fronteras, se requieren recorrer las cadenas de trazabilidad de manera adecuada. Para tal efecto se requiere el uso de expresiones de capacidades de medición y calibración similares de parte de los laboratorios que toman parte en las cadenas de trazabilidad

2. Antecedentes



La utilización del concepto “Mejor Capacidad de Medición (BMC)” no es completamente afín con el concepto “Capacidad de Medición y Calibración (CMC)” lo que puede originar conflictos en el establecimiento del nivel de equivalencia de las mediciones realizadas por los laboratorios, no solamente al interior del país, sino también cuando se intenta establecer el grado de equivalencia entre laboratorios de diferentes países.

2. Antecedentes

BMC

Servicio	Alcance	Características del instrumento bajo calibración Resolución	Contribución del laboratorio a la incertidumbre de medición (k=2)	Mejor capacidad de medición expresada como una incertidumbre
Tensión eléctrica continua Generación	3,3 V a 33 V	0,00001 V	10 $\mu\text{V}/\text{V}$	10 $\mu\text{V}/\text{V}$

Patrón utilizado en el servicio de calibración ¿?

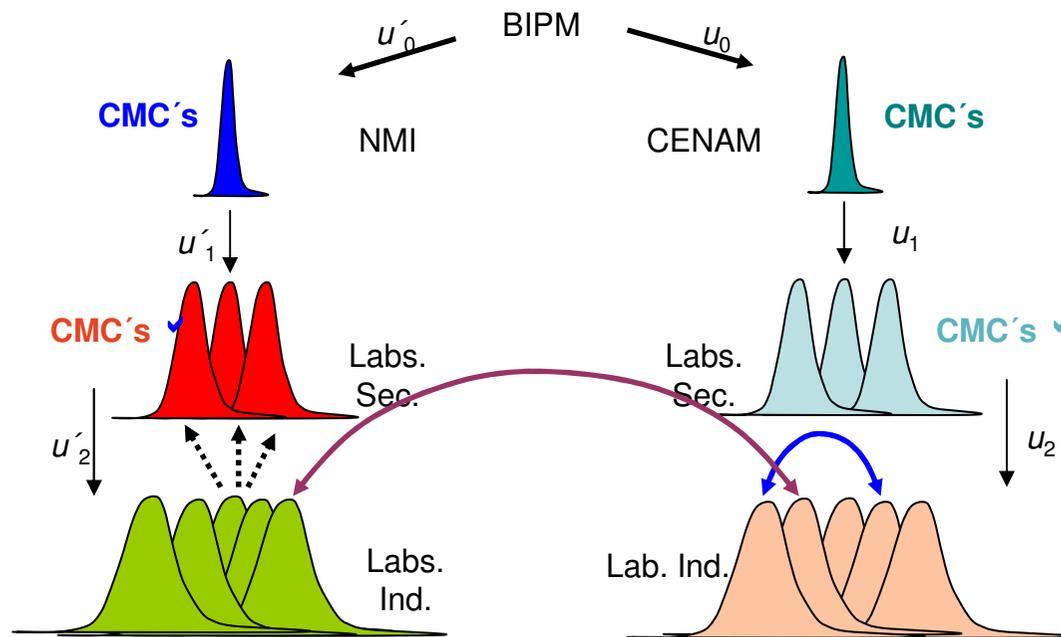
Lista de comparaciones que dan soporte al servicio ¿?

Origen de la trazabilidad ¿?

Método de medición utilizado ¿?

Valores de parámetros de influencia ¿?

3. Capacidades de medición y calibración



Para facilitar el establecimiento del grado de equivalencia de mediciones realizadas entre diferentes laboratorios se requiere por parte de los laboratorios secundarios de metrología que sus servicios sean acompañados por una declaración de Capacidades de Calibración y Medición (CMC) de manera similar a la forma de expresar las CMCs de los laboratorios primarios.

3. Capacidades de medición y calibración

CMC

Servicio de calibración o medición			Intervalo o nivel de medición			Condiciones de medición		Incertidumbre expandida			Patrón de referencia		comparaciones
Magnitud	Instrumento o artefacto	Tipo de instrumento o método	Valor mínimo	Valor máximo	Unidades	Parámetro	Especificaciones	Valor	Unidades	Nivel de confianza	Patrón	Origen de trazabilidad	

Formato para la declaración de Capacidad de Calibración y Medición (CMC) utilizada por el *Bureau International des Poids et Mesures* (BIPM) para los Institutos Nacionales de Metrología. Es importante resaltar la importancia que tiene la declaración del patrón utilizado en el servicio de calibración así como el patrón que ofrece trazabilidad. Las condiciones de medición son también parte importante en la declaración de las CMCs. Las comparaciones en las que ha participado el laboratorio ofrecen también información relevante sobre la trazabilidad e incertidumbre del servicio.

3. Capacidades de medición y calibración

A fin de aclarar el tipo de información requerida en cada uno de los campos del formato para la declaración de las CMC's, se presenta a continuación una serie de ejemplos para el llenado de los campos en la declaración de capacidades de calibración y medición.

Para la expresión de las CMC's es recomendable utilizar, en la medida de lo posible, la misma clasificación que los NMI's hacen para los servicios de calibración .

En seguida se muestra la declaración de capacidades de medición y calibración del CENAM para las magnitudes de tiempo y frecuencia. Por último, se presenta la forma de expresar los resultados de medición en un servicio de calibración para el caso de frecuencia en donde la incertidumbre de medición es expresada en términos de la desviación de Allan.

3. Capacidades de medición y calibración

Servicio de calibración o medición		
Magnitud	Instrumento o artefacto	Tipo de instrumento o método

Magnitud: magnitud a ser medida

Instrumento o artefacto: instrumento o patrón a ser calibrado

Tipo de instrumento o método: un segundo nivel de detalle que algunas veces es necesario para describir un servicio específico

3. Capacidades de medición y calibración

Ejemplo

Servicio de calibración o medición		
Magnitud	Instrumento o artefacto	Tipo de instrumento o método
Longitud	Bloques patrón	Interferométrico
		Comparación mecánica
Presión	Balanza de presión	Gas
		Hidráulico

3. Capacidades de medición y calibración

Intervalo o nivel de medición		
Valor mínimo	Valor máximo	Unidades

Valor mínimo: límite inferior o valor específico

Valor máximo: límite superior o valor específico

Unidades: expresadas en términos del SI

3. Capacidades de medición y calibración

Ejemplo

Intervalo o nivel de medición		
Valor mínimo	Valor máximo	Unidades
1	1	MΩ
4,5	13	MN
0,5	10	Mg/L

3. Capacidades de medición y calibración

Condiciones de medición	
Parámetro	Especificaciones

Parámetro: define las condiciones de medición o cualquier variable independiente relevante en el servicio de calibración

Especificaciones: valores que toma el parámetro

3. Capacidades de medición y calibración

Ejemplo

Condiciones de medición	
Parámetro	Especificaciones
Temperatura del baño de aceite	20 °C
Frecuencia	50 Hz – 20 000 Hz

3. Capacidades de medición y calibración

Incertidumbre expandida		
Valor	Unidades	Nivel de confianza

Valor: incertidumbre expandida para el nivel de confianza indicado. Si se expresa en forma de un intervalo deberá interpretarse en correspondencia lineal con el intervalo de medición.

Unidades: usar las mismas unidades que las utilizadas para indicar el intervalo de medición.

Nivel de confianza: normalmente del 95%. Otros valores pueden ser especificados si son ofrecidos por el laboratorio..

3. Capacidades de medición y calibración

Ejemplo

Incertidumbre expandida		
Valor	Unidades	Nivel de confianza
0,0005	%	95%
de 5 a 20	$\mu\text{V/V}$	95%
32	mg	99%
0,5	$\mu\text{mol/mol}$	95%

3. Capacidades de medición y calibración

Patrón de referencia	
Patrón	Origen de la trazabilidad

Patrón: usar una descripción breve pero sin ambigüedades que identifique el tipo de patrón que puede ser entendida por un experto

Origen de la trazabilidad: indicar el origen inmediato de la trazabilidad

3. Capacidades de medición y calibración

Ejemplo

Patrón de referencia	
Patrón	Origen de la trazabilidad
Conjunto de masas tipo E2	CENAM
Lamparas fotométricas	NIST
Balanza de presión	BNM

3. Capacidades de medición y calibración

Lista de comparaciones

Lista de comparaciones: indicar las comparaciones en las que el laboratorio ha participado (no incluir las comparaciones en las que ha participado el laboratorio que da origen a la trazabilidad).

3. Capacidades de medición y calibración

Ejemplo de declaración de CMC's

Servicio de calibración o medición			Intervalo o nivel de medición			Condiciones de medición		Incertidumbre expandida			Patrón de referencia		comparaciones
Magnitud	Instrumento o artefacto	Tipo de instrumento o método	Valor mínimo	Valor máximo	Unidades	Parámetro	Especificaciones	Valor	Unidades	Nivel de confianza	Patrón	Fuente de trazabilidad	
Longitud	Bloque patrón	Interfero métrico	0	100	nm			17	nm	95%	Láser estabilizado por efecto Zeeman	CENAM	CCL-K1
Resistencia en DC	Resistir		1	1	Ω	Temperatura del baño de aceite	23 °C	0,3	$\mu\Omega$	95%	Resistor Tipo Thomas	NRC	CCEM-K1

3. Capacidades de medición y calibración

Tiempo y frecuencia

Calibration or Measurement Service	Instrument or Artifact
Time scale difference	Local clock
Time scale difference	Local clock
Time scale difference	Remote clock
Time scale difference	Remote clock
Frequency	Local frequency standard
Frequency	Remote frequency standard
Frequency	General frequency source
Frequency	Frequency counter
Frequency	Frequency meter
Time interval	Period source
Time interval	Rise/fall time source
Time interval	Pulse width source
Time interval	Time difference source
Time interval	Delay source
Time interval	Period meter
Time interval	Rise/fall time meter
Time interval	Pulse width meter
Time interval	Time difference meter
Time interval	Delay meter

3. Capacidades de medición y calibración

Tiempo y frecuencia

Calibration or Measurement Service		Measurand Level or Range			Measurement Conditions/Independent Variable		Expanded Uncertainty				
Calibration or Measurement Service	Instrument or Artifact	Instrument Type or Method	Minimum value	Maximum value	Units	Parameter	Specifications	Value	Units	Coverage Factor	Level of Confidence
Time scale difference	Local clock	Direct comparison against UTC(CNM)	-1	1	s	Averaging time	1 hour	2	ns	2	95%
Time scale difference	Local clock	Comparison against UTC	-1	1	s	Averaging time	5 days	20	ns	2	95%
Time scale difference	Remote clock	GPS C-V comparison against UTC(CNM)	-1	1	s	Averaging time	1 day	15	ns	2	95%
Time scale difference	Remote clock	Comparison against UTC	-1	1	s	Averaging time	5 days	25	ns	2	95%
Frequency	Local frequency standard	Comparison against CENAM standard	5 10	5 10	MHZ	Averaging time	2 days	1.E-13	Hz/Hz	2	95%
Frequency	Remote frequency standard	GPS C-V comparison against CENAM standard	5	5	MHZ	Averaging time	1 day	5.E-13	Hz/Hz	2	95%
Frequency	General frequency source	Comparison against CENAM standard	1	100	MHZ	Averaging time	2 days	2.E-13	Hz/Hz	2	95%
Frequency	Frequency counter	Comparison against CENAM standard	1	100	MHZ	Averaging time	2 days	2.E-13	Hz/Hz	2	95%
Frequency	Frequency meter	Comparison against CENAM standard	1	100	MHZ	Averaging time	2 days	2.E-13	Hz/Hz	2	95%

3. Capacidades de medición y calibración

Tiempo y frecuencia

Calibration or Measurement Service			Reference Standard used in calibration		List of Comparisons supporting this measurement/ calibration service	SIM Time and Frequency Services Administration		
Calibration or Measurement Service	Instrument or Artifact	Instrument Type or Method	Standard	Source of traceability		NMI Service Identification	NMI	Internal Comment
Time scale difference	Local clock	Direct comparison against UTC(CNM)	CENAM time scale	BIPM	BIPM Circular T and Time Section annual report	1.1.1	CENAM	
Time scale difference	Local clock	Comparison against UTC	CENAM time scale	BIPM	BIPM Circular T and Time Section annual report	1.1.2	CENAM	
Time scale difference	Remote clock	GPS C-V comparison against UTC(CNM)	CENAM time scale	BIPM	BIPM Circular T and Time Section annual report	1.2.1	CENAM	
Time scale difference	Remote clock	Comparison against UTC	CENAM time scale	BIPM	BIPM Circular T and Time Section annual report	1.2.2	CENAM	
Frequency	Local frequency standard	Comparison against CENAM standard	CENAM time scale	BIPM	BIPM Circular T and Time Section annual report	2.1.1	CENAM	
Frequency	Remote frequency standard	GPS C-V comparison against CENAM standard	CENAM time scale	BIPM	BIPM Circular T and Time Section annual report	2.1.2	CENAM	
Frequency	General frequency source	Comparison against CENAM standard	CENAM time scale	BIPM	BIPM Circular T and Time Section annual report	2.2.1	CENAM	
Frequency	Frequency counter	Comparison against CENAM standard	CENAM time scale	BIPM	BIPM Circular T and Time Section annual report	2.3.1	CENAM	
Frequency	Frequency meter	Comparison against CENAM standard	CENAM time scale	BIPM	BIPM Circular T and Time Section annual report	2.3.2	CENAM	

3. Capacidades de medición y calibración

Ejemplo para la determinación de CMC's en tiempo y frecuencia

Calibration or Measurement Service			Measurand Level or Range			Measurement Conditions/Independent Variable			Expanded Uncertain		
Calibration or Measurement Service	Instrument or Artifact	Instrument Type or Method	Minimum value	Maximum value	Units	Parameter	Specifications	Value	Units	Coverage Factor	Level of Confidence
Time scale difference	Local clock	Direct comparison against UTC(CNIM)	-1	1	s	Averaging time	1 hour	2	ns	2	95%
Time scale difference	Local clock	Comparison against UTC	-1	1	s	Averaging time	5 days	20	ns	2	95%
Time scale difference	Remote clock	GPS C-V comparison against UTC(CNIM)	-1	1	s	Averaging time	1 day	15	ns	2	95%
Time scale difference	Remote clock	Comparison against UTC	-1	1	s	Averaging time	5 days	25	ns	2	95%
Frequency	Local frequency standard	Comparison against CENAM standard	5 10	5 10	MHz	Averaging time	2 days	1.E-13	Hz/Hz	2	95%
Frequency	Remote frequency standard	GPS C-V comparison against CENAM standard	5	5	MHz	Averaging time	1 day	5.E-13	Hz/Hz	2	95%
Frequency	General frequency source	Comparison against CENAM standard	1	100	MHz	Averaging time	2 days	2.E-13	Hz/Hz	2	95%
Frequency	Frequency counter	Comparison against CENAM standard	1	100	MHz	Averaging time	2 days	2.E-13	Hz/Hz	2	95%
Frequency	Frequency meter	Comparison against CENAM	1	100	MHz	Averaging time	2 days	2.E-13	Hz/Hz	2	95%

3. Capacidades de medición y calibración

Ejemplo para la determinación de CMC's en servicios de calibración para frecuencia

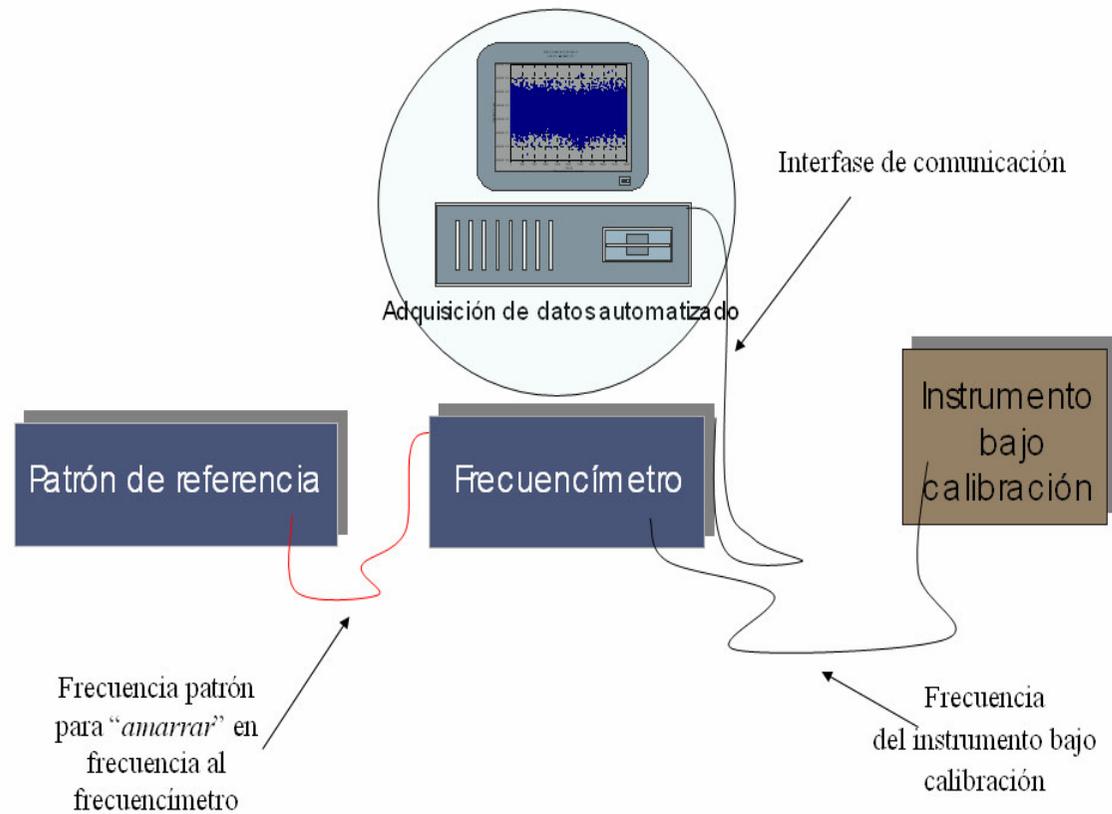
Métodos locales de medición de frecuencia

1. Medición directa de frecuencia
2. Diferencia de fase
3. Diferencia de frecuencias con mezclador
4. Diferencia de fase con doble mezclador de frecuencias

3. Capacidades de medición y calibración

Ejemplo para la determinación de CMC's en tiempo y frecuencia

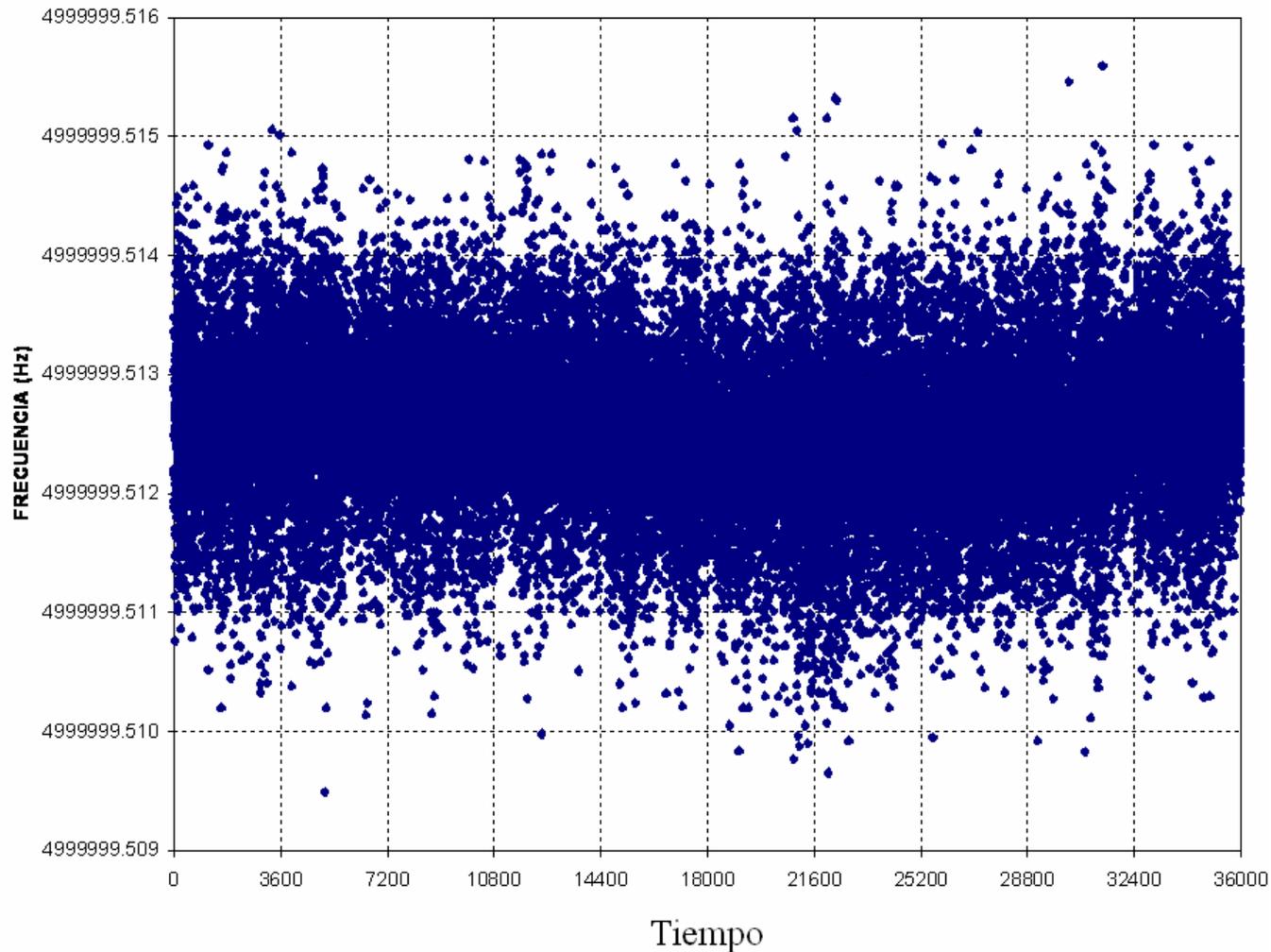
1. Medición directa de frecuencia



3. Capacidades de medición y calibración

Ejemplo para la determinación de CMC's en tiempo y frecuencia

MEDICIONES DE FRECUENCIA
FIGURA 1 (04-2003F.DAT)

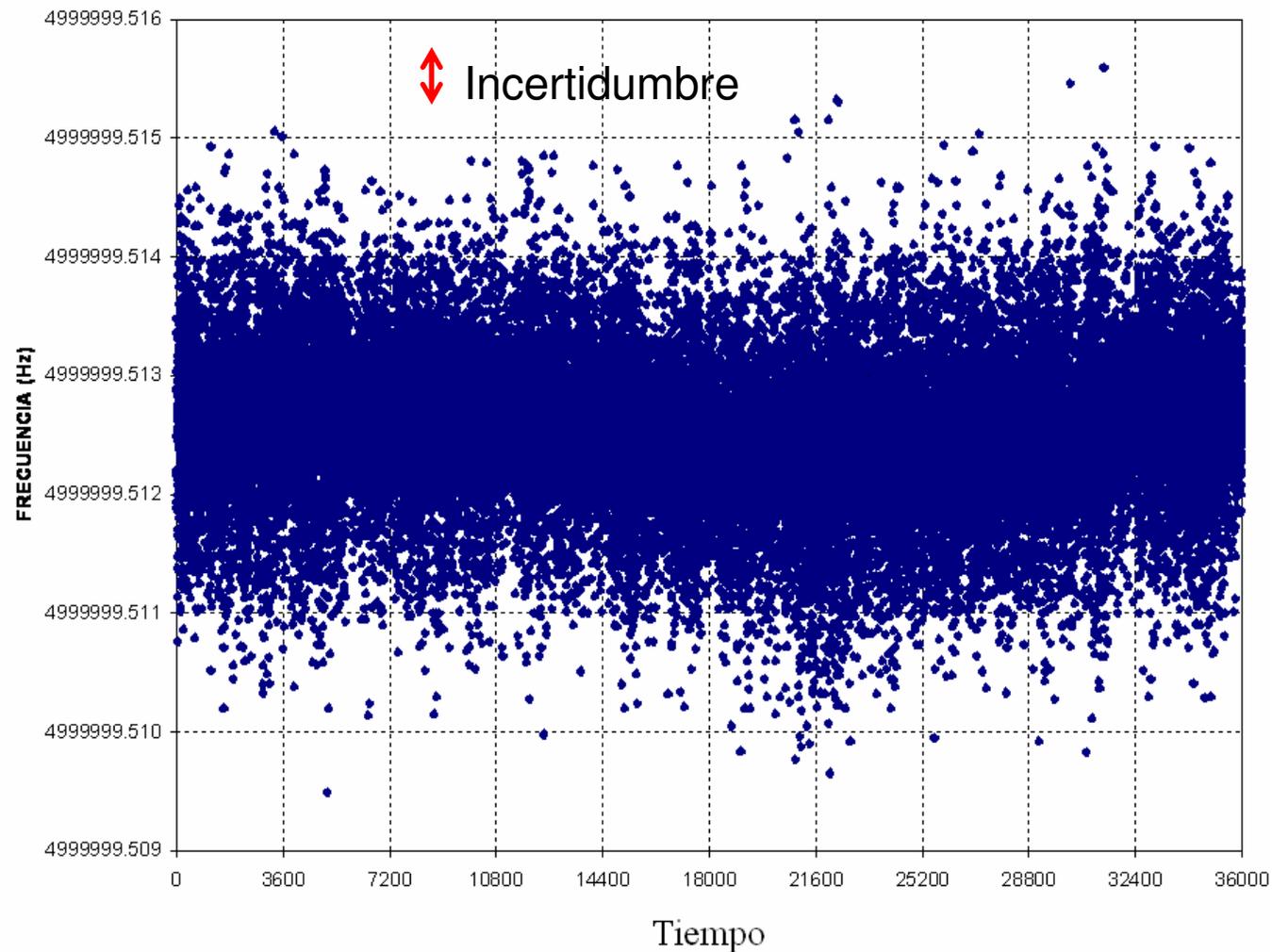


10 horas de medición, $\tau = 1$ s

3. Capacidades de medición y calibración

Ejemplo para la determinación de CMC's en tiempo y frecuencia

MEDICIONES DE FRECUENCIA
FIGURA 1 (04-2003F.DAT)

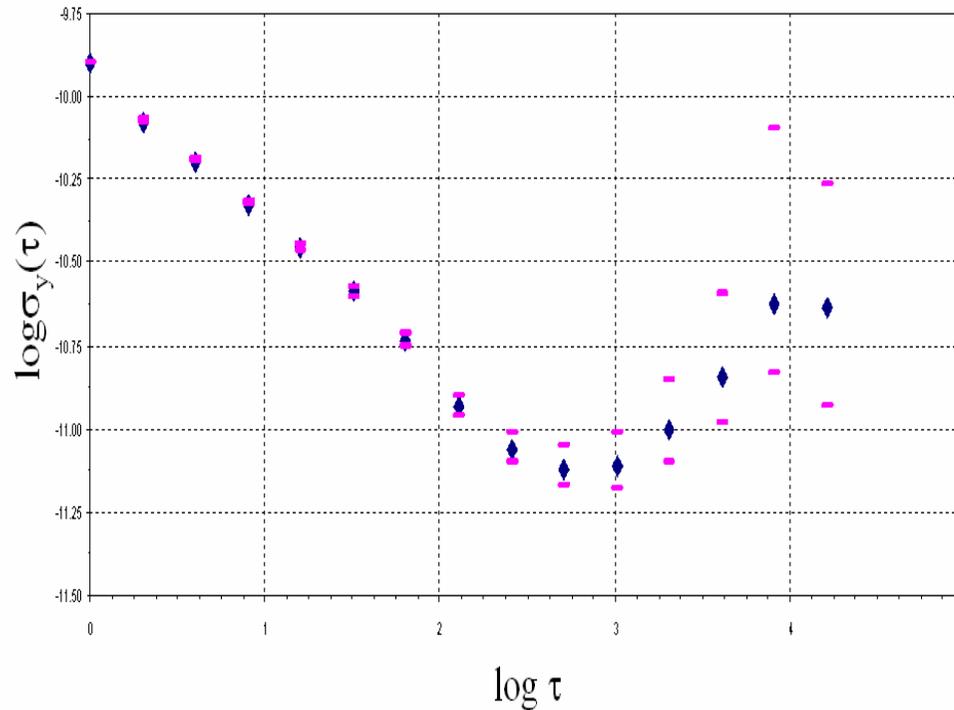


10 horas de medición, $\tau = 1$ s

3. Capacidades de medición y calibración

Ejemplo para la determinación de CMC's en tiempo y frecuencia

Desviación de Allan

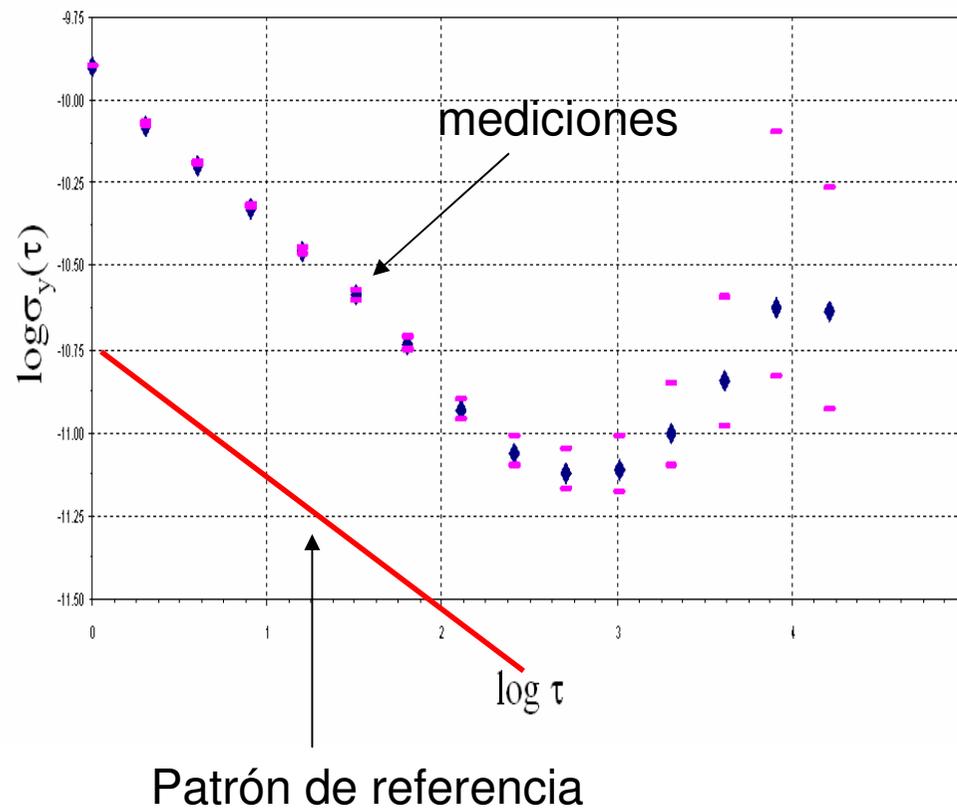


Debido a que la frecuencia constituye una variable aleatoria dependiente del tiempo se requiere del uso de la varianza de Allan para la expresión de la estabilidad de la frecuencia y como parte fundamental de la incertidumbre en el servicio de calibración. La varianza de Allan es además una forma eficiente en la detección del tipo de ruido presente en el oscilador y constituye una herramienta muy valiosa en la detección de factores de influencia que puedan estar degradando el desempeño del oscilador.

3. Capacidades de medición y calibración

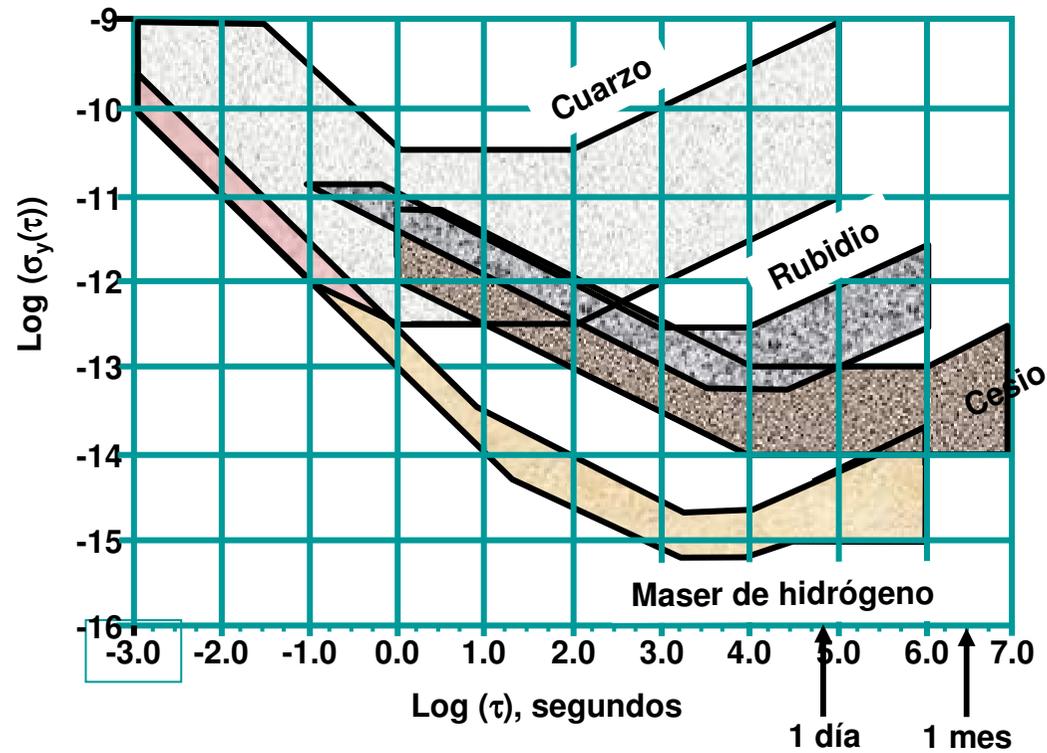
Ejemplo para la determinación de CMC's en tiempo y frecuencia

Desviación de Allan



3. Capacidades de medición y calibración

Comparación de la estabilidad entre diferentes patrones de frecuencia



3. Capacidades de medición y calibración

Ejemplo para la determinación de CMC's en tiempo y frecuencia

Determinación de la incertidumbre expandida

$$u = k \sqrt{\sum_i u_i^2}$$

$$u(\tau) = k \sqrt{u_m^2 + \sigma_y^2(\tau)}$$

$$f = f_0 \left(1 + \frac{\Delta f}{f} \pm \sigma_y(\tau) \right)$$

$$f = f_0 (1 + m \pm \sigma_y(\tau))$$

4. Conclusiones

Se requiere de parte de los laboratorios de calibración, tanto a nivel nacional como internacional, expresar sus capacidades de medición y calibración de manera similar con el objeto de que el usuario de los servicios elija el laboratorio del cual solicitará servicios de calibración. Más aún, se requiere el uso de expresiones similares en la declaración de capacidades de calibración y medición a favor del intercambio comercial.

Dada la necesidad de conocer el grado de equivalencia entre mediciones realizadas por laboratorios secundarios e industriales dentro de cada país, e incluso más allá de las fronteras, se requieren recorrer las cadenas de trazabilidad de manera adecuada. Para tal efecto se requiere el uso de expresiones de capacidades de medición y calibración similares de parte de los laboratorios que toman parte en las cadenas de trazabilidad

La utilización del concepto “Mejor Capacidad de Medición (BMC)” no es completamente afín con el concepto “Capacidad de Medición y Calibración (CMC)” lo que puede originar conflictos en el establecimiento del nivel de equivalencia de las mediciones realizadas por los laboratorios, no solamente al interior del país, sino también cuando se intenta establecer el grado de equivalencia entre laboratorios de diferentes países.

Para la expresión de las CMC's es recomendable utilizar, en la medida de lo posible, la misma clasificación que los NMI's hacen para los servicios de calibración .