Perspectivas y Desafíos en Metrología para el Sector Manufacturero Visión 2030

Dirección de Área de Metrología Dimensional

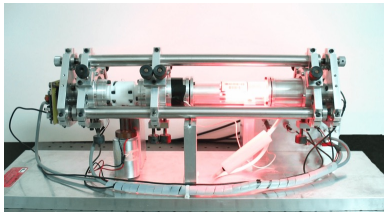
Miguel Viliesid Alonso
Coordinador Científico
Dirección General de Metrología Mecánica

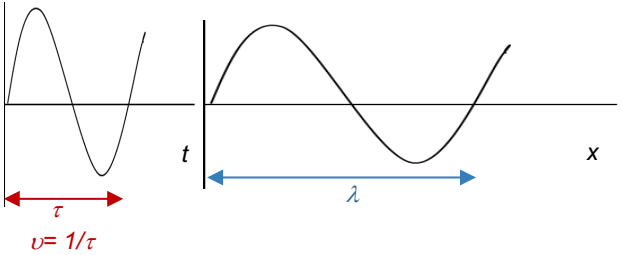
2024-04-25

Patrones Nacionales

La Dirección de Metrología Dimensional tiene a su cargo:

El Patrón Nacional Primario de Longitud, el Metro.



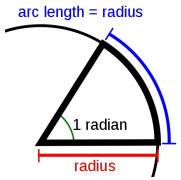


$1\text{m} \stackrel{\text{def}}{=} 1/c_0$, c_0 es la vel. de la luz en el vacío (cte. física abs.)

$\lambda = {}^{c_0}/_{\nu}$, ν frecuencia y λ longitud de onda.

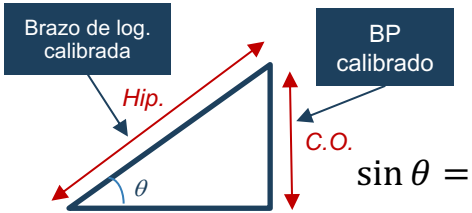
Realización: Láser estabilizado en frecuencia por absorción saturada de la molécula de yodo 127.

El Patrón Nacional de Ángulo Plano, el Radián.



$1\text{ rad} \stackrel{\text{def}}{=} {}^{arc\ length(=radius)}/_{radius}$

El radian es adimensional (cociente de dos longitudes).



$\sin\theta = {}^{C.O.}/_{Hip.}$

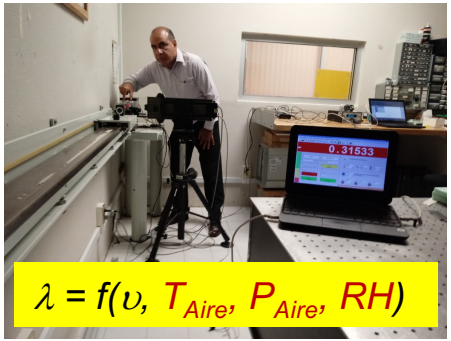
Realización: El radián es *trazable* al metro mediante un generador de pequeños ángulos donde el cateto opuesto y la hipotenusa son longitudes calibradas.

DESCRIPCIÓN DE CAPACIDADES ACTUALES

Diseminación del metro a través de servicos de calibración:

Calibación de láseres estabilizados a ~474 THz.

υ = 473,612 353 604 THz, U_υ = 24 kHz, $U_{\upsilon\,rel}$ = 4.2 x10^{-11} CMC



$\lambda = f(\upsilon, T_{Aire}, P_{Aire}, RH)$

Calibación de interferómetros láser.

U_υ = ~10^{-9} (relativa) Depende de la estabilidad del láser bajo calibración. CMC

Incluye:

- Calibración de estación meteorológica
- Calibración de sensores de temperatura de contacto.
- Comparación contra otro interferómetro laser caracterizado.

Diseminación de la Unidad de Longitud y Cadena de Trazabilidad

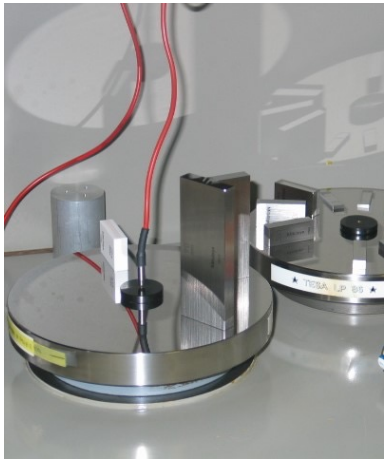
Entidad responsable	Método de calibración	Instrumento o patrón	Incertidumbre (Long. Nom. 100 mm)
Trazabilidad **CENAM**	Pulsación de frecuencias	Laser estabilizado en frecuencia por absorción saturada de I^{127}	$\pm 2{,}5 \times 10^{-12}$ m
	Interferometría	Laser estabilizado en frecuencia	$\pm 1 \times 10^{-10}$ m
		Bloques patrón de referencia	$\pm 4{,}5 \times 10^{-8}$ m
Laboratorio Acreditado SNC	Comparación Mecánica	Bloques patrón de trabajo	$\pm 1{,}1 \times 10^{-7}$ m [0] $\pm 2{,}1 \times 10^{-7}$ m [1] $\pm 4 \times 10^{-7}$ m [2]
	Comparación	Instrumentos de medición	$\pm 2 \times 10^{-5}$ m
Industria		Pieza producto	$\pm 3 \times 10^{-5}$ m

Diseminación

DESCRIPCIÓN DE CAPACIDADES ACTUALES

Diseminación del metro a través de servicos de calibración *(cont.)*

- Calibración de BP por Interferometría Absoluta 0 a 300 mm). U_I = 40 nm@100 mm ($U_{I\,rel}$= ~5x10^{-6}).

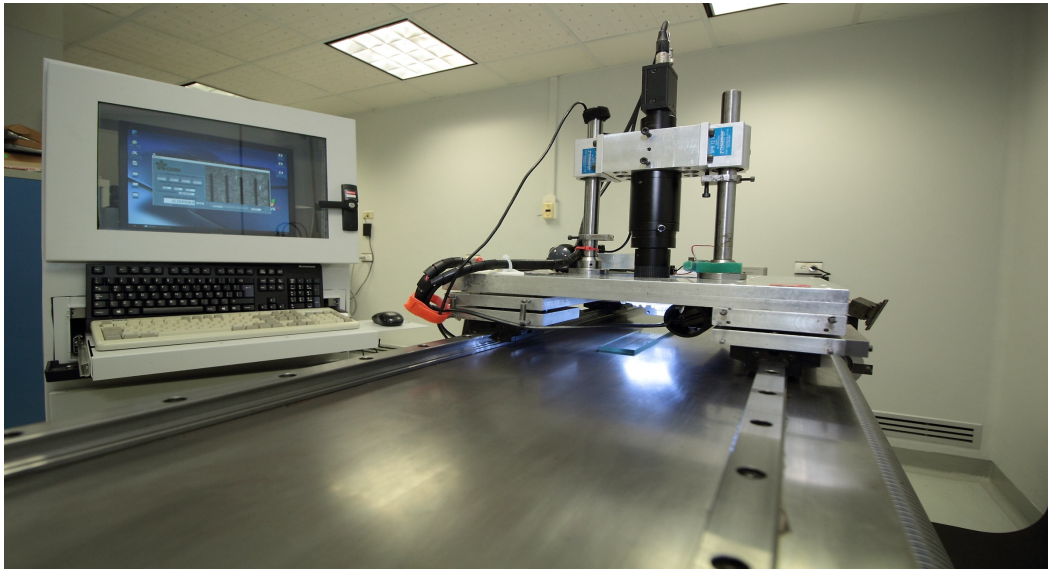


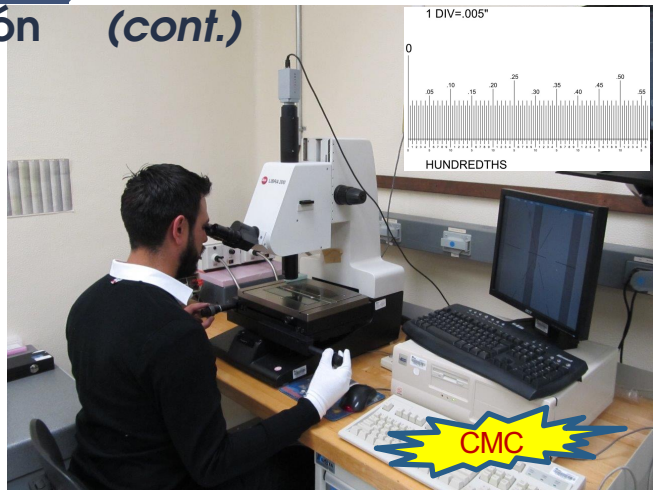
- Calibración de BP or Comp. Mecánica (0 a 500 mm). U_I = 99 nm@100 mm ($U_{I\,rel}$= ~1x10^{-5}).

DESCRIPCIÓN DE CAPACIDADES ACTUALES

Diseminación del metro a través de servicos de calibración *(cont.)*

- **Calibración de Reglas Graduadas, 0 a 3000 mm.** U_l = 2.2 µm@100 mm ($U_{l\,rel}$= ~$3x10^{-5}$).





- **Calibración de Escalas Lineales, 0 a 300 mm.** U_l = 580 nm@100 mm ($U_{l\,rel}$= ~$6x10^{-6}$).

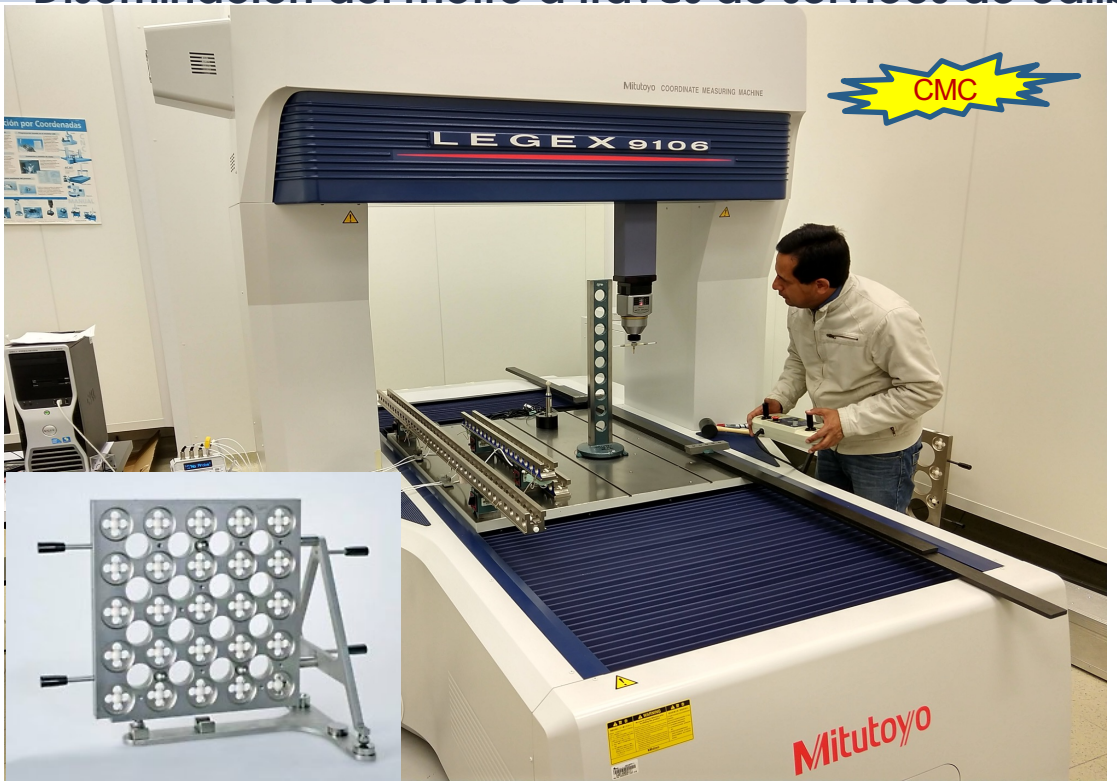
DESCRIPCIÓN DE CAPACIDADES

Diseminación del metro a través de servicos de calibración *(cont.)*

- **Calibración de Patrones de Diámetro.**
  U_{DI} = ~280 nm@100 mm ($U_{l\,rel}$= ~3x10^{-6}).

DESCRIPCIÓN DE CAPACIDADES ACTUALES

Diseminación del metro a través de servicos de calibración *(cont.)*



- **Calibración de Patrones para *CMM*, hasta 1100 mm en *x*:**
  - **Reglas a Pasos,**
  - **Barras de Bolas,**
  - **Placas de Bolas,**
  - **Otros artefactos 1D, 2D y 3D para calibración de CMM**

U_l = 400 nm@100 mm ($U_{l\,rel}$= ~$4x10^{-6}$)

DESCRIPCIÓN DE CAPACIDADES ACTUALES

Diseminación del metro a través de servicos de calibración *(cont.)*

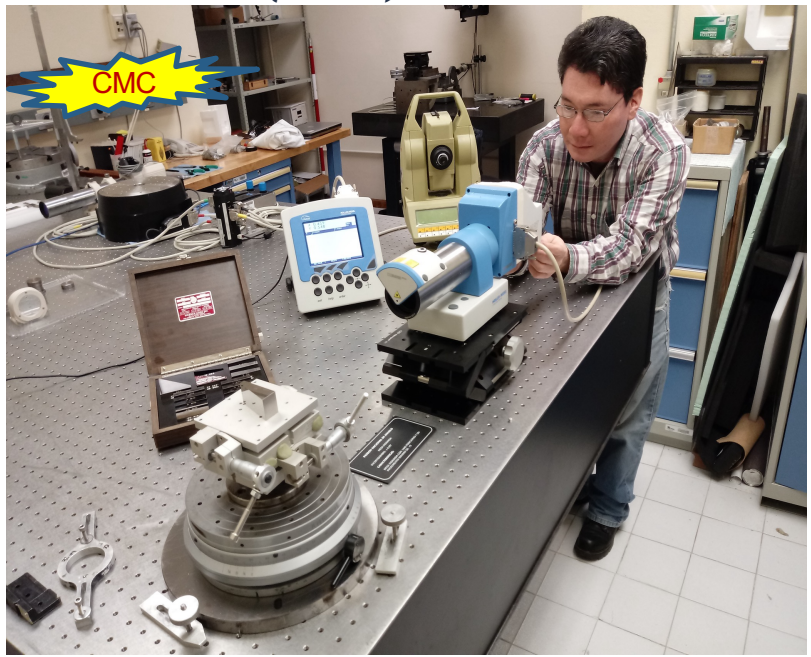
Otras calibraciónes y actividades en Metrología de Coordenadas:

- *Diseño de patrones de grandes dimensiones*
- Calibración de patrones de grandes dimensiones
- *Desarrollo de métodos de calibración de patrones de grandes dimensiones.*
- *Verificación de CMM*
- *Verificación de Laser Tracker*
- *Verificación de brazos de medición.*

DESCRIPCIÓN DE CAPACIDADES ACTUALES

Diseminación del radián a través de servicos de calibración *(cont.)*

- **Calibración de BP Angulares, 1 a 45°.**
  U_I = 0.3” ($U_{I\,rel}$= ~$2x10^{-6}$).

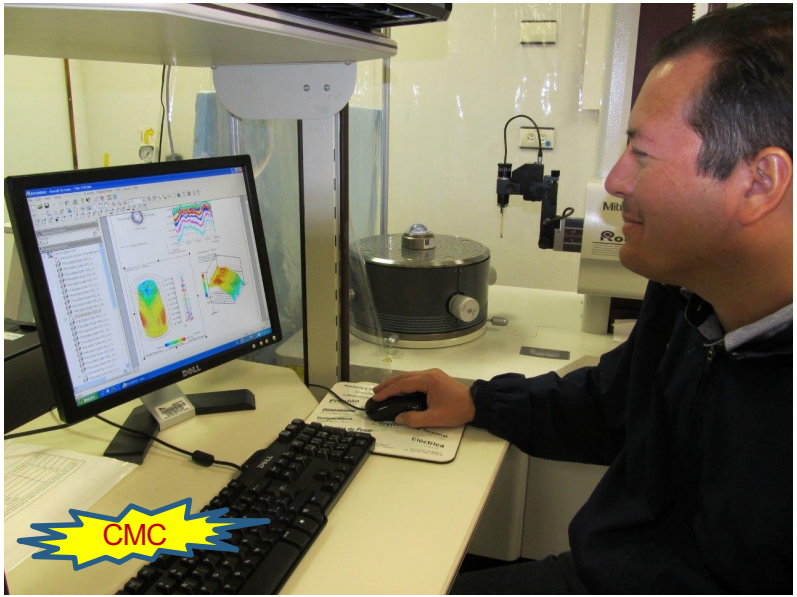


- **Calibracióntros de otros instrumentos y patrones de ángulo:**
  - Autocolimadores,
  - Mesas indexadas,
  - Mesas de senos,
  - Niveles electrónicos,
  - Teodolitos,
  - Etc.

DESCRIPCIÓN DE CAPACIDADES ACTUALES

Diseminación del metro a través de servicos de calibración

- Redondez.

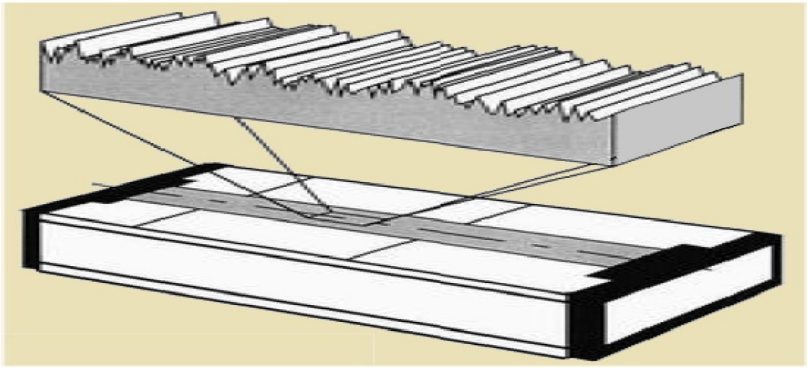


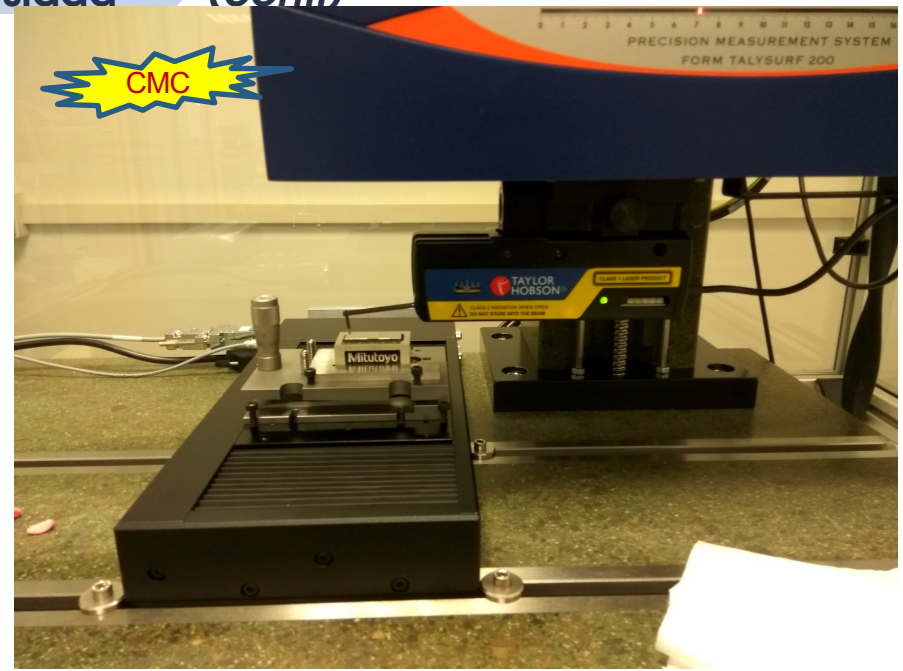
- Otras calibraciones.

DESCRIPCIÓN DE CAPACIDADES ACTUALES

Diseminación del metro a patrones de rugosidad *(cont.)*

- Calibración de patrones de rugosidad, *Ra* entre 0.02 a 50 µm. U_{Ra} = ~100 nm ($U_{l\ rel}$= ~$2x10^{-3}$).





ACTIVIDADES ORIENTADAS A CUMPLIR LA VISIÓN DEL CENAM

- Desarrollamos, mantenemos y mejoramos el patrón primario de longitud, **el metro.**
- Diseminamos a los más altos grados de exactitud esta unidad.
- Desarrollamos, mantenemos y mejoramos el patrón primario de ángulo, **el radián.**
- Diseminamos el **radián** a través de diversos servicios de calibración de alta exactitud.

ACTIVIDADES ORIENTADAS A CUMPLIR LA VISIÓN DEL CENAM

- Mejoras y desarrollo de nuevos equipos para ofrecer servicios con mayor alcance o menor incertidumbre; o nuevos servicios.
- Impartimos cursos y asesorías a la industria y a los laboratorios acreditados.
- Participamos en comparaciones internacionales y cursos con otros *NMI* del SIM.
- Organizamos Ensayos de Aptitud y participamos en Evaluaciones para los Laboratorios Acreditados.

ACTIVIDADES ORIENTADAS A CUMPLIR LA VISIÓN DEL CENAM

- Realizamos, a solicitud de parte, mediciones para deslinde de diferencias entre cliente y proveedor.
- Hemos organizado conferencias de Metrología Dimensional (NACMA), participamos en el Simposio de Metrología y en ontras conferencias nacionales e internacionales.
- Tenemos convenios generales firmados por el CENAM y algunos adicionales firmados por la DMD.
- Participamos en proyectos de investigación con el SIM.
- Múltiples trabajos publicados a nivel nacional e internacional.

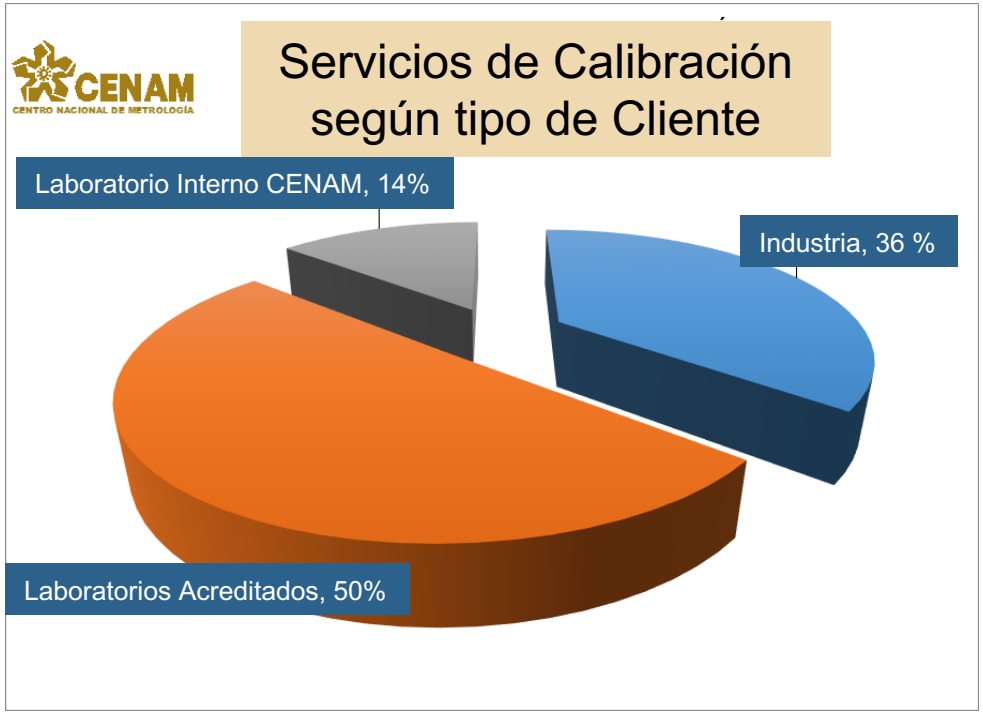
Servicios de Calibración y Ensayos de Aptitud

- Se han realizado, en promedio de los últimos cinco años, más de 700 servicios de calibración al año.
- Esos servicios son tanto a Laboratorios acreditados, directamente a la industria o internos al propio CENAM.
- En los últimos cinco años también se han realizado 38 Ensayos de Aptitud (EA). En cada uno de ellos participan entre 8 y 15 laboratorios acreditados. Estos EA son imprescindibles para que dichos laboratorios mantengan su acreditación.

Servicios de Calibración y Ensayos de Aptitud

- Desde la creación del CENAM, el número de laboratorios acreditados en Metrología Dimensional se ha incrementado de 2 (1993, con la DGN) a casi 100 tan solo con la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA). El CENAM han contribuido a la acreditación de estos laboratorios calibrando sus equipos, entrenando a su personal, evaluado sus Capacidades de Medición o Calibración (CMC) u organizando EA en los que participan.

Clientes atendidos…



A manera de ejemplo, hay casi cien LA con la EMA:

- 18 en calibración de BP Cortos,
- 9 en teodolitos y estaciones totales,
- 22 en CMM y
- 14 en verificación de mesas de planitud.

HACIA DÓNDE VAN PATRONES, SERVICIOS, NORMAS, REGULACIONES.

El problema no consiste en la reducción de la incertidumbre de su definición, sino en la reducción de la incertidmbre en su diseminación. La incertidumbre al pasar a la longitud de un artefacto no se ha logrado reducir por debajo de 10 nm@100 mm ($\sim 10^{-7}$). Este es un reto a nivel mundial. Máxime que los patrones utilizados para, por ejemplo calibración de CMM de alta exactitud, ya exigen este nivel de incertidumbres.

- Calibración de BP largos (> 100 mm),
- Calibración de Reglas a Pasos,
- Calibración de patrones grandes (> 1m)
- Otros…

Retos…

- Abordar las nuevas tecnologías que emergen día a día haciéndonos de los equipos necesarios y contratando personal para atender los nuevos servicios o capacitando a nuestro personal al respecto.
- Diseñar y construir patrones de alta exactitud que puedan atender las necesidades cada vez más demandantes de nuestros clientes, tanto en exactitud como en alcance.
- Con todo esto, mantenernos a la cabeza del Sistemqa de calibración Nacional (SNC) y como líder en Metrología en el subcontinente latinoamericano.