

INFORME
INF/IBM/DGE/DMIC N° 0197/2022
IBM/2022-00905

A: Mabel Delgado de Meave
DIRECTORA GENERAL EJECUTIVA a.i

Vía: Henry Paco Mariño
DIRECTOR METROLOGÍA
INDUSTRIAL Y CIENTÍFICA

Vía: Juan Jose Mendoza Aguirre
SUPERVISOR DE LABORATORIO DE
TERMOMETRIA Y ELECTRICIDAD

De: Ana Maria Bernabe Mamani
RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE
TERMOMETRIA Y ELECTRICIDAD

Fecha: La Paz, 05 de diciembre de 2022

**Ref.:INFORME DE ACTIVIDADES DE LA ESTADÍA DE CAPACITACIÓN
TÉCNICA - CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS DE HUMEDAD RELATIVA Y
TEMPERATURA DE AIRE EN EL – INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA
INM COLOMBIA, EN BOGOTA -COLOMBIA.**

Estimada Directora:

Mediante el presente elevo a su autoridad para su conocimiento y consideración, el informe de actividades realizadas dentro de la estadía con objeto de la "Capacitación técnica al laboratorio de Humedad para asegurar la trazabilidad metrológica en las magnitudes de temperatura ambiental y humedad relativa" y Calibración de los patrones de Humedad Relativa , llevado a cabo en el INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA INM DE COLOMBIA, en Bogotá -Colombia, el cual fue llevado a cabo en fechas 2022-11-21 al 2022-11-25.

I. ANTECEDENTES

El IBMETRO y el Instituto PTB de Alemania han suscrito el proyecto bilateral "Fortalecimiento de la Infraestructura de la Calidad para eficiencia energética y energías renovables en Bolivia", suscrito entre IBMETRO y PTB que se desarrolla en 2021 – 2023.

El proyecto tiene como objetivo fortalecer la infraestructura de la calidad en temas relacionados a eficiencia energética para productos como refrigeradores y lámparas (luminarias), lo cual permitirá verificar la calidad y seguridad de los productos referente al cumplimiento de las normativas establecidas (Evaluación de la conformidad).

Además del fortalecimiento y la ampliación de las capacidades instaladas en IBMETRO, se promoverá también la difusión de los servicios, para el desarrollo de mediciones confiables para productos como refrigeradores y lámparas (luminarias).

El grupo objetivo lo constituyen: consumidores de energía, usuarios de los servicios de la IC en el tema de energía (pequeñas y medianas empresas), productores nacionales de aparatos electrodomésticos y organismos de regulación estatal relacionados.

Los resultados esperados del proyecto son:

- Personal capacitado en la magnitud de Humedad del IBMETRO, para ofrecer un mejor servicio de calibración de sensores de temperatura.
- Servicios reconocidos necesarios para la evaluación de la conformidad de productos.
- Trazabilidad metrológica de los laboratorios de ensayo y calibración de patrones nacionales de humedad relativa con sensor capacitivo.
- Capacitación orientada a asegurar la trazabilidad metrológica de equipos e instrumentos de medición de temperatura ambiental y humedad relativa.

La consolidación de conocimientos adquiridos sobre calibración de termohigrómetros digitales y/o analógicos humedad relativa tipo de sensor capacitivo, calibración de psicrómetros, termómetros de punto de rocío, humidímetros, cámaras climáticas, humedad absoluta, cálculos de incertidumbres asociadas, infraestructura necesaria y aseguramiento de la trazabilidad y calidad de resultados, permitirá fortalecer la competencia técnica del Laboratorio de Humedad Relativa del Instituto Boliviano de Metrología (IBMETRO) para con la industria y comercio a nivel nacional.

Buscar el desarrollo del personal técnico de laboratorio con experiencia en calibraciones en temas relacionados a magnitudes de temperatura ambiental y humedad relativa.

Incremento en la competencia técnica del personal de laboratorio en temas asociados a la diseminación de la trazabilidad metrológica en magnitudes de temperatura ambiental y humedad relativa.

Alto impacto con el fortalecimiento y la ampliación del alcance del servicio de calibración de instrumentos patrones de medición de temperatura ambiental y humedad relativa, mediante la demostración de la competencia técnica del laboratorio para realizar calibraciones de alta exactitud en el campo de magnitudes de temperatura ambiental y humedad relativa.

Contribuir al desarrollo de la metrología y la matriz energética en Bolivia.

II. DESARROLLO DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

Las actividades realizadas se detallan a continuación:

Domingo 2022-11-20

Se partió del Aeropuerto Internacional de El Alto a horas 3h20 en el vuelo Nro. AV 224, a horas 06:05 llegamos al Aeropuerto El Dorado de la ciudad de Bogotá - Colombia, luego nos dirigimos a la (Terminal 1 – Aeropuerto Internacional El Dorado: segundo piso, puerta 7, carril central) donde se tomó el transporte de Hotel rumbo a realizar el Check in en el Hotel Tryp Bogotá Embajada, ubicado en Carrera 51 No. 24 -35.

Lunes 2022-11-21

El día lunes partimos del Hotel Tryp Bogotá Embajada hacia el Instituto Nacional de Metrología – INM de Colombia, al llegar nos recibió el Físico Andrés Bohórquez, quien nos presentó al subdirector de Metrología Física el Físico Luis Carlos Castro Camacho quien nos dio la bienvenida. A continuación, se inició la inducción en el laboratorio de Temperatura y Humedad, comenzando con la presentación del equipo de trabajo posteriormente se realizó el relevamiento de equipos de este Laboratorio. Luego se nos compartió un poco de la historia del Laboratorio de Temperatura y Humedad así también nosotros compartirle las experiencias y la situación actual que nosotros también tenemos en los Laboratorios de Temperatura y Humedad en las

etapas de calibración y control metrológico, del Instituto Boliviano de Metrología de IBMETRO – Bolivia.



Figura 1. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA – INM COLOMBIA

Luego de ello revisamos el cronograma y concepto de la capacitación para poder abarcar todos los temas que involucraban ese día.

Por lo que empezamos con una presentación que el Físico Andrés Bohórquez, ya tenía preparada donde se empezó con conceptos fundamentales, ecuación de Clausius – Clapeyron y trazabilidad en Humedad Relativa y Temperatura Ambiente además de:

- Características técnicas y especificaciones metrológicas de equipo generador de dos presiones, así como cámaras climáticas, empleados para calibración de termohigrómetros en modo temperatura del medio ambiente y humedad relativa
- Medidores puntos de rocío, humedad relativa y humedad absoluta.
- Procedimientos de calibración en cámara generadora de dos presiones.
- Aplicación en el mercado actual.
- Realización de protocolos de calibración de sensores de Humedad Relativa en base a la ISO/IEC 17025-2017.
- Método de calibración usando generadores de dos presiones, cámaras climáticas de humedad con temperatura controlada.

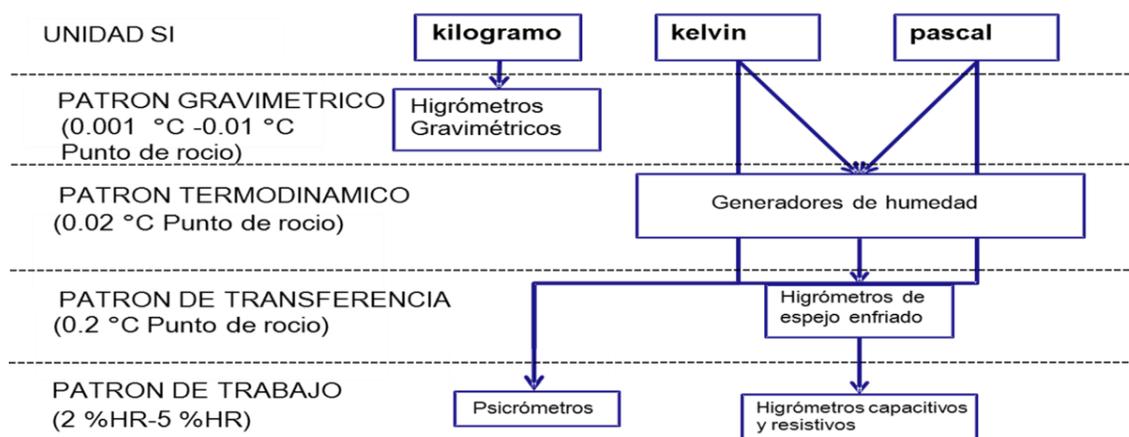


Figura 2. TRAZABILIDAD DE HUMEDAD RELATIVA



Figura 3. SISTEMA DE MEDICION CAMARA CLIMATICA

GENERADOR DE HUMEDAD DE DOS PRESIONES

El principio del funcionamiento del generador de humedad de dos presiones se basa en la Ley de las Presiones Parciales de Dalton que establece que la presión ejercida por una mezcla de gases en un volumen dado es igual a la suma de las presiones ejercidas por cada uno de los gases componentes de la mezcla.

En el caso de la mezcla de aire seco y vapor de agua, la ley predice que la presión del vapor de agua permanece como una fracción de la presión total. El método de las dos presiones, contempla la saturación de una corriente de aire con vapor de agua a unas condiciones dadas de presión y temperatura. Esa corriente de aire saturada con vapor de agua se expande isotérmicamente hasta la presión de la cámara de prueba.

Así, mediante la medición de las condiciones de presión y temperatura, antes y después de la expansión del gas, se calcula el valor de la humedad relativa.



Figura 4. SISTEMA DE MEDICION CAMARA GENERADORA DE DOS PRESIONES

HIGRÓMETRO DE PUNTO DE ROCÍO DE ESPEJO ENFRIADO

Cuando una masa de aire húmedo se enfría hasta alcanzar el punto de rocío (temperatura a la cual la presión de vapor de agua es igual a la de saturación), el vapor se condensa, empañando las superficies aledañas, o formando pequeñas gotas en suspensión. Este es el fundamento del higrómetro de punto de rocío que a continuación se describe.

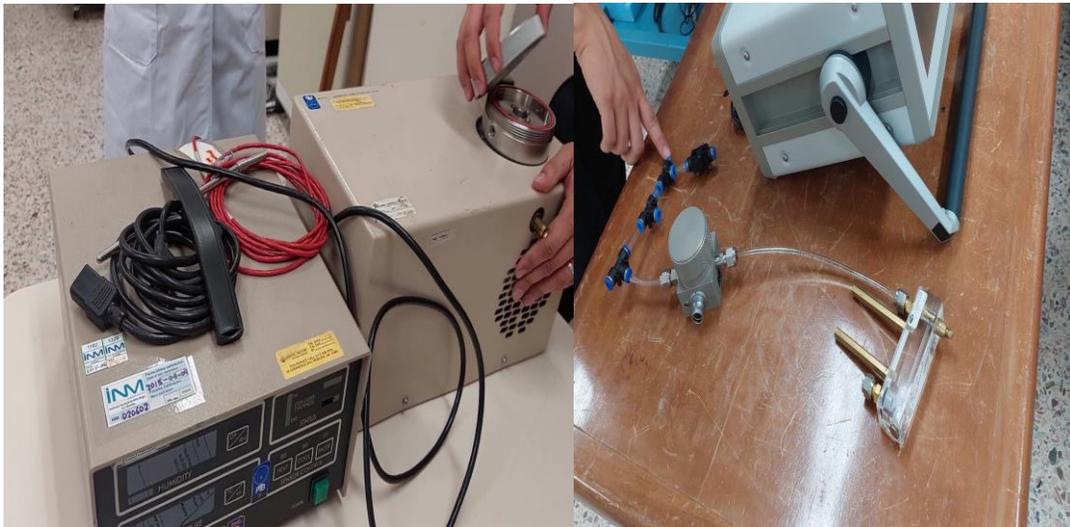


Figura 5. DEW POINT

Este día también pudimos presenciar la calibración de los termohigrómetros en la cámara generadora de dos presiones, la cual fue explicada y realizada por el instructor Físico Andrés Bohórquez, se explico detalles de la calibración, principio de funcionamiento de la cámara generadora de dos presiones y todo el sistema de medición.

Martes 2022-11-22

El día martes 22 de noviembre inicialmente se empezó con la presentación continuando con la capacitación en Humedad Relativa y Temperatura ambiente, donde se estudio el principio de funcionamiento de las Cámaras Climáticas, Cámaras salinas, Higrómetros de Espejo Enfriado, Higrómetros capacitivos. Su selectividad en la adsorción de moléculas diferentes al agua.

Así también se siguió con el cronograma para este día, de la capacitación que se coordino previamente:

- Calibración por comparación de termohigrómetros modo temperatura de ambiente y humedad relativa.
- Se inicio con el taller práctico de la evaluación y estimación de la incertidumbre de medición para termohigrómetros
- Variables de influencia, se revisó las consideraciones metrológicas y cálculo de incertidumbres asociadas a cada mensurando y presupuestos.

Fuente de incertidumbre	Símbolo	Distribución	Incertidumbre típica	Coficiente de sensibilidad	Grados de libertad
Lectura del instrumento bajo calibración	$u(HR_x)$	Normal	$\frac{s_{HR_x}}{\sqrt{n}}$	-1	n-1
Resolución del Higrómetro	$u(\delta(HR_x)_{Res})$	Rectangular	$\frac{res_x}{2\sqrt{3}}$	-1	∞
Histéresis	$u(\delta(HR_x)_{HIST})$	Rectangular	$\frac{\delta(HR_x)_{HIST}}{\sqrt{3}}$	-1	∞
Variación de Temperatura	$u(\delta(HR_m)_T)$	Normal	$\frac{s_T}{\sqrt{n}}$	$\frac{\Delta HR_x}{\Delta T}$	n-1

Tabla 1. INCERTIDUMBRE INSTRUMENTO BAJO CALIBRACIÓN

- Incertidumbre de medición: Sistema patrón
- Incertidumbre de medición: IBC
- Histéresis
- Coeficiente de Temperatura IBC

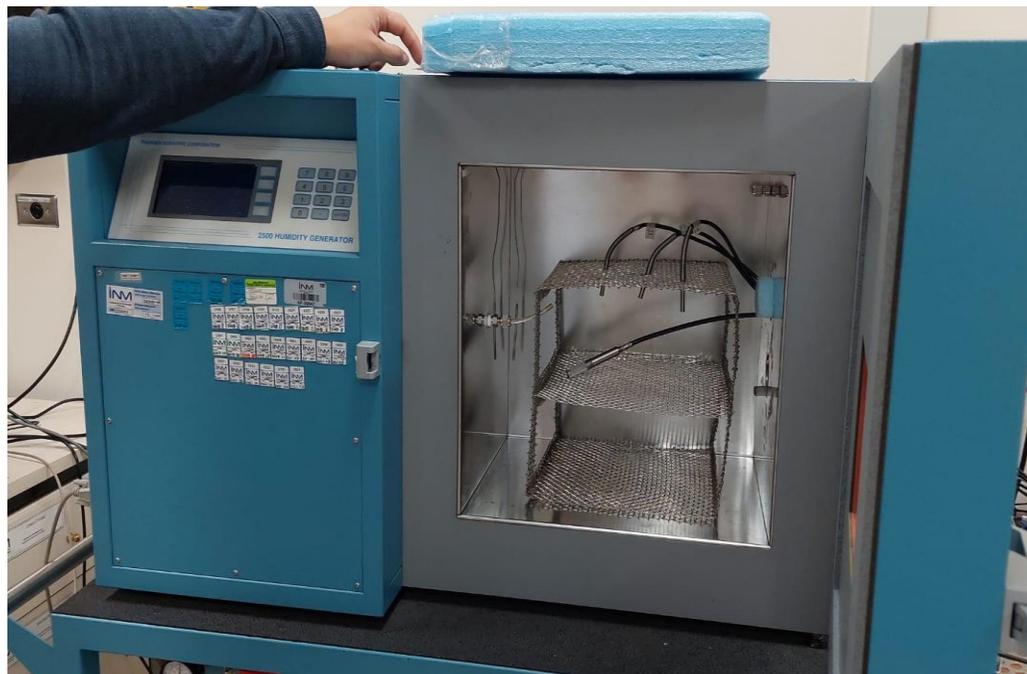


Figura 6. SISTEMA DE MEDICION PARA CALIBRACION POR COMPARACION EN CAMARA GENERADORA DE DOS PRESIONES

Miércoles 2022-11-22

El día miércoles 22 de noviembre, se continuo con la capacitación en esta oportunidad con el taller práctico de la evaluación y estimación de la incertidumbre de medición para termohigrómetros por comparación con un sistema de cámara generadora de dos presiones. Luego se procedió a realizar la calibración en punto de rocío – DEW POINT.

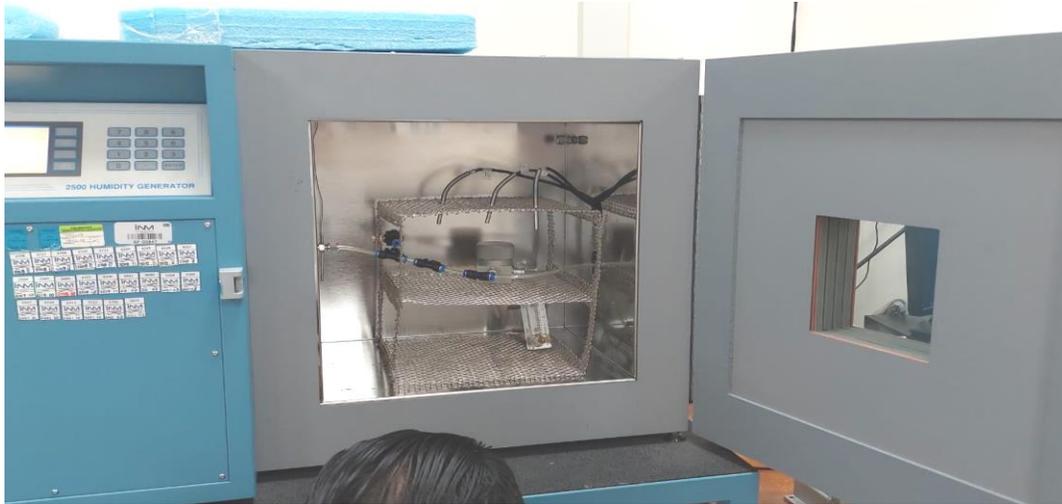


Figura 7. SISTEMA DE MEDICION PARA CALIBRACION POR COMPARACION CON CAMARA GENERADORA DE DOS PRESIONES – DEW POINT

- Calibración de higrómetros de punto de rocío.
- Taller práctico de la evaluación y estimación de la incertidumbre de medición para higrómetro de punto de rocío.
- Variables de influencia y cálculo de incertidumbres asociadas a cada mensurando y presupuestos.
- Incertidumbre de medición de todo el sistema de calibración patrón e instrumento bajo calibración.

Posteriormente, en horas de la tarde se revisó los siguientes temas

- Interpretación de certificados de higrómetros de punto de rocío.
- Aseguramiento de la calidad de los resultados
- Modelos matemáticos.
- Determinación de fuentes de incertidumbre de interés.
- Cálculo de la corrección con su incertidumbre.

Jueves 2022-11-24

El día jueves 24 de noviembre se procedió con la revisión de la norma DKD-R 5-7 (estabilidad, uniformidad, efecto por radiación y el efecto de carga), para caracterización de medios isotermos donde compartimos conocimientos de como el Laboratorio de Humedad de IBMETRO evalúa los aportes de incertidumbre con respecto a la caracterización de medio isotermos así también recibimos la retroalimentación de como lo realizan en el INM de Colombia, es allí donde nos percatamos que podemos reducir la incertidumbre por efecto de radiación modificando el ensayo que actualmente se esta utilizando, esto nos ayudaría a mejorar la calidad de las mediciones que reportamos a la industria nacional.

Este día se confirmó el ingreso del pago correspondiente a la calibración de los patrones de Humedad, por lo que se ingresó de manera oficial los patrones de Humedad Relativa del Laboratorio de Humedad de IBMETRO, para calibración según cotización ya programada (Se adjuntan documentos de respaldo). Por lo que pudimos ser parte de la calibración de los mismos por el método de comparación utilizando el sistema de medición con la cámara generadora de dos presiones.



Figura 8. Calibración de patrones de Humedad Relativa del Laboratorio de Humedad - IBMETRO

El procedimiento y la realización de la calibración de los patrones de Humedad del Laboratorio de Humedad de IBMETRO fue explicada y realizada por el instructor Físico Andrés Bohórquez. Por lo que se pudo observar el comportamiento, revisión planilla de cálculos estudios de estabilidad, homogeneidad, histéresis, coeficiente de temperatura etc., tanto para el medio generador como para los patrones de trabajo además del instrumento bajo calibración.

Se pretendía que la calibración pueda culminar al día siguiente siguiendo los tiempos de estabilización estipulado para cada punto de calibración.

Se aprovecho también en participar de una calibración de un sensor Pt 25 en puntos fijos esto ya en la magnitud de Temperatura, a fin de ver y aprender de los Métodos de calibración de Termómetros de Resistencia de Platino de acuerdo a la ITS-90.



Figura 9. Realización de la celda de Punto triple de agua WTR

Viernes 2022-11-25

El día viernes 25 de noviembre era nuestro último día en el INM de Colombia, para completar con la capacitación pre coordinada, así como poder participar en la conclusión de la calibración de los patrones de Humedad relativa del Laboratorio de Humedad de IBMETRO, de esta manera también pudimos completar la capacitación con los siguientes puntos:

- Validación de métodos de calibración
- Reporte de resultados de calibración
- Generación de cartas de control.
- Realización de informes y/o certificados de calibración de higrómetros capacitivo y temperatura de aire.
- Interpretación de informes y/o certificados de calibración de higrómetros capacitivo y temperatura de aire.

En horas de la tarde se culminó con la calibración de los patrones de Humedad, por lo que se aprovecho en evaluar los resultados de la calibración, así como los parámetros metrológicos involucrados para su análisis.

Se coordinó la salida formal de los patrones de Humedad relativa del Laboratorio de Humedad de IBMETRO (Se adjuntan documentos de respaldo).

El departamento de comunicación del INM de Colombia publicó la actividad de la capacitación que se vino realizando toda la semana, esto muestra los lazos entre ambas instituciones que se han sido fortalecidos después de este intercambio de experiencias y conocimiento.



Figura 10. Intercambio de experiencias y conocimiento
INM de Colombia – IBMETRO Bolivia

El laboratorio de Humedad y Temperatura del INM de Colombia está conformado por:

- ✓ Físico Andrés Jhovanny Bohórquez Garzón – Responsable del Laboratorio de Temperatura y Humedad
- ✓ Físico Diego Zamora – Técnico del Laboratorio de Temperatura
- ✓ Físico Jeyson Andrés Monroy Garzón – Técnico del Laboratorio de Humedad

Sábado 2022-11-26

Partimos del Hotel rumbo al Aeropuerto "El Dorado" de Bogotá - Colombia a horas 21h25 arribando al Aeropuerto Internacional de El Alto de La Paz – Bolivia a horas 02h15.

De esta manera se culmino con la semana de capacitación.

III. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La capacitación recibida de parte de los instructores Físicos del Laboratorio de Temperatura y Humedad del Instituto Nacional de Metrología del INM de Colombia ha sido muy provechosa debido que todo lo aprendido con relación a la calibración de sensores de humedad relativa sensor tipo capacitivo en cámara generadora de dos presiones y punto de rocío de espejo enfriado.

Entre toda la semana de la "Capacitación técnica al laboratorio de Humedad para asegurar la trazabilidad metrológica en las magnitudes de temperatura ambiental y humedad relativa", se pudo intercambiar y compartir los conocimientos y experiencias. Sin duda esta capacitación fue muy enriquecedora para que como personal entrenado podamos implementarlo en el laboratorio de Humedad de IBMETRO – Bolivia. Estamos seguros de que los lazos entre ambas instituciones han sido fortalecidos después de este intercambio.

Los conocimientos adquiridos en la capacitación realizada en el Laboratorio de Temperatura y Humedad del INM de Colombia, se prevé la realización de mejoras en el actual procedimiento así como la planilla de presupuesto de incertidumbre para la calibración de termohigrómetros modo humedad y la calibración de termohigrómetros modo temperatura, además de la implementación a futuro de servicios de calibración considerando la utilización de otros medios generadores de humedad como cámara generadora de dos presiones y punto de rocío de espejo enfriado. Entre las actividades propuestas, a continuación, se detallan:

- ✓ Mejora en la capacidad del personal técnico del Laboratorio de Humedad para la ampliación del alcance de prestación de servicios de calibración en el área de magnitudes Temperatura y Humedad relativa.
- ✓ Mejoras en las planillas de cálculo, procedimientos e instructivos para la calibración de termohigrómetros en modo temperatura y modo humedad.
- ✓ Mayor destreza en la realización de la caracterización de la cámara climática que es el generador de temperatura y humedad de nuestro laboratorio.
- ✓ Reconocimiento de nuevos patrones primarios en humedad relativa y Dew Point, con el objeto de proyectar la adquisición de los mismos.
- ✓ Mejora en el procedimiento de control metrológico y los análisis que involucran.

Análisis y revisión de la planilla de presupuesto de incertidumbre para la estimación de incertidumbre de medición para calibración de termohigrómetros en modo temperatura de ambiente y humedad relativa, de tal manera de buscar la reducción

