

## IMPLEMENTACION DEL LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE ALTA FRECUENCIA EN EL CENAMEP AIP

*Raúl F. Solís B.<sup>1</sup>, Luis M. Mojica O.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> CENAMEP AIP, Panamá, Panamá, rsolis@cenamep.org.pa

<sup>2</sup> CENAMEP AIP, Panamá, Panamá, lmojica@cenamep.org.pa

**Abstract:** Este trabajo muestra el desarrollo del laboratorio de calibración en potencia y frecuencia, laboratorio de Alta Frecuencia, en el espectro de las radiofrecuencias y microondas por el CENAMEP AIP, como parte de su respuesta a las necesidades del creciente mercado de las telecomunicaciones en Panamá.

**Key words:** CENAMEP AIP, Frecuencia, Microondas Potencia Electromagnética, Radio Frecuencias.

### 1. INTRODUCCIÓN

En Panamá, el mercado de las telecomunicaciones ha tenido un crecimiento vertiginoso en la última década y, por ello, la Autoridad de Servicios Públicos (ASEP), entidad gubernamental encargada de regular y dirigir el mercado de las telecomunicaciones en Panamá, ha comenzado a lanzar campañas de verificación y regulación de las telecomunicaciones y el empleo del espectro radioeléctrico dentro del país y, por ello, el CENAMEP AIP en su labor como el laboratorio de referencia del país [1] decidió incursionar al campo de la metrología de radiofrecuencias (RF) y microondas ( $\mu\text{W}$ ) para apoyar las labores de regulación y verificación que realiza la ASEP, incorporando nuevos servicios de calibración como primer paso a consolidar la metrología de RF y  $\mu\text{W}$  en el país.



Figura 1. Vista del área del laboratorio de Alta Frecuencia donde actualmente se prestan los servicios de calibración.

Los primeros equipos adquiridos fueron un analizador de espectro, un analizador de redes vectoriales, un contador de microondas y un medidor de potencia junto con un sensor de

termopar. Todos estos equipos fueron adquiridos en el año 2004 junto con un entrenamiento por parte del fabricante y debido a problemas de presupuesto, seguimiento a los procesos de compra y el cambio del personal técnico del laboratorio, no se pudo realizar el entrenamiento sino hasta octubre de 2006. El especialista enviado por el fabricante que vino a brindar el entrenamiento en el CENAMEP, indicó que para iniciar el funcionamiento de los equipos se requerían componentes importantes como sensores, divisores de potencia, puentes direccionales para el analizador de redes, cables y extensiones para el sintetizador de señales y conectores y adaptadores para el analizador de espectro todo dentro del rango de frecuencias que se requería emplear a nivel metrológico. Estos resultados fueron nuevamente un obstáculo para lograr establecer los servicios de calibración en el área, pero dieron las bases sobre las cuales se comenzaría a planificar las directrices sobre los servicios que se deseaban desarrollar.

En el año 2007, y al ir desarrollando las capacidades asociadas al empleo de los equipos, se participó en un curso de metrología de RF y  $\mu\text{W}$  en el Centro Nacional de Metrología (CENAM), por lo que se logró crear el plan a seguir para desarrollar los servicios de calibración en el laboratorio de Alta Frecuencia del CENAMEP AIP. Pero a pesar de ya comenzar a contar con equipos y un nivel adecuado de conocimiento, solamente un metrólogo trabajaba de planta atendiendo también otros dos laboratorios (laboratorio de Tiempo y Frecuencia y Laboratorio de Longitud) por lo que el tiempo compartido entre los tres laboratorios minimizaba los avances (el de Alta Frecuencia era el menos desarrollado, Figura 1).

A mediados del año 2008 se incorporó un nuevo personal de planta creciendo la capacidad a dos metrólogos en los tres laboratorios. Esto permitió comenzar a desarrollar la infraestructura básica del sistema de calidad del laboratorio de Alta Frecuencia pero, por razones estratégicas del CENAMEP AIP, se prefirió enfocar todos los esfuerzos en el laboratorio de Tiempo y Frecuencia, el cual poseía en ese momento Capacidades de Medición de Calibración (CMC) y comenzar a trabajar en el desarrollo del una comparación en el laboratorio de Longitud (del cual se buscaba declarar). Esto nuevamente mermó las capacidades de seguir el plan de la instauración de los servicios del laboratorio de Alta Frecuencia.

Entre el año 2008 y el año 2010 se lograron conseguir los componentes faltantes para el desarrollo de los servicios de calibración. Se adquirieron cables de baja pérdida, llaves de ajuste para conectores tipo N, SMA y 3.5 mm, un kit de verificación y de calibración para analizadores de redes, un divisor de potencia, un puente direccional, sensores de potencia para el analizador de redes y otro nuevo para el medidor de potencia, todos para trabajar en un rango hasta de 18 GHz y, además, se adquirieron componentes de limpieza y manipulación (alcohol, dedales antiestáticos, mantas antiestáticas, aire comprimido, etc.). También, como parte de la mejora del laboratorio, se mejoró la infraestructura eléctrica para evitar que los equipos estuvieran en la misma fase de los aires acondicionados la cual ya estaba muy saturada.

Ítem	Costo (USD)
Analizador de espectro	32 655.00
Analizador de redes escalar	21 039.00
Calibrador de rango	4 887.00
Medidor de potencia / Contador de microonda	14 340.00
Sintetizador de señales	44 150.00
Sensor de potencia de termopar	1 365.00
Sensor de potencia de diodo	2 271.00
Detectores de potencia	4 288.00
Puente direccional	6 293.00
Divisor de potencia	1 894.00
Conjunto de calibración tipo N	25 529.00
Conjunto de verificación tipo N	10 892.00
Conjunto de atenuadores tipo N	1 718.00
Cables de baja pérdida	3 126.00
Llave de ajuste (SMA, 3.5 mm y N)	1 698.00
Manta antiestática	497.00
Adaptadores 3.5 mm a N	1 190.00
Adaptadores N a N	1 407.00
Terminaciones tipo N	3 156.00
<b>Total</b>	<b>182 395.00</b>

Tabla 1. Costos de los componentes principales empleados en el laboratorio de Alta Frecuencia.

Como se puede apreciar en la Tabla 1, que habla de los costos de los componentes principales utilizados para la implementación básica de un laboratorio de calibración de RF y  $\mu\text{W}$ , son inversiones muy elevadas que no pueden ser fácilmente llevadas por la industria (además de los entrenamientos, mantenimiento de los equipos y el personal que trabaja exclusivamente en el área de metrología) por lo que CENAMEP, como figura gubernamental, realizó esas inversiones.

Entre el año 2010 y el 2011, y debido a la falta de experiencia en el área, se decidió empezar solamente con servicios básicos de calibración los cuales incluirían calibración de contadores de frecuencia y generadores de señales, tanto en frecuencia como en potencia.

## 2. SERVICIOS DE CALIBRACIÓN

El laboratorio de Alta Frecuencia del CENAMEP AIP posee actualmente tres servicios de calibración. A los tres servicios se les han desarrollado sus procedimientos de

calibración, hojas de cálculo y protocolo de toma de datos. Además para cumplir con el sistema de calidad bajo la norma ISO/IEC 17025, se tienen procedimientos de estimación de la incertidumbre de calibración, almacenaje, transporte y manipulación de equipos. Se validaron las hojas de cálculo y se desarrollaron y verificaron los programas de adquisición de datos desarrollados por el laboratorio.

Para el servicio de calibración de contadores de RF y  $\mu\text{W}$  y el servicio de calibración de generadores de señales en frecuencia, se aprovechó la experiencia adquirida en los trabajos realizados en el laboratorio de Tiempo y Frecuencia del CENAMEP en el servicio de calibración de osciladores (referencias de frecuencia o bases de tiempo) y las calibraciones y verificaciones de generadores de funciones, sintetizadores, frecuencímetros y contadores de frecuencia. Con la experiencia ya adquirida, se logró avanzar enormemente en el desarrollo del sistema de calidad y los servicios de calibración en esta área.

Para el servicio de calibración de generadores de señales en potencia, la dificultad para establecer el servicio de calibración fue de mayor nivel por la poca experiencia que se tenía en el área. A pesar que ya se tenía el equipamiento básico y las habilidades y conocimientos para su utilización y empleo, se requería adquirir y emplear el componente metrológico para realizar el servicio (en especial el tratamiento de los datos y la estimación de la incertidumbre). Pero después de adquirir el conocimiento necesario y realizar distintos ensayos de aptitud en la calibración, se consideró que para iniciar los servicios de calibración en el área de la potencia en RF y  $\mu\text{W}$ , se debería empezar por la calibración de fuentes, y en los próximos años, se comenzaría a calibrar medidores (analizadores de espectro, sensores, etc.) y parámetros de dispersión S, ya que su implementación va a tomar un poco más de tiempo, habilidades y conocimientos.

### 2.1. Calibración de contadores de radiofrecuencia y microonda

Para realizar la calibración de los contadores, se trabaja con un sintetizador de frecuencia de onda continua (CW), cuyo rango de operación va desde 10 MHz hasta 26.5 GHz y que, además, está disciplinado por la referencia externa de 10 MHz provenientes de la realización local de UTC, el UTC(CNMP).

$$\sigma_y(\tau) = \sqrt{\frac{1}{2(N-1)} \sum_{i=1}^{N-1} (y_{i+1} - y_i)^2} \quad (1)$$

Donde:

- $\sigma_y(\tau)$ : representa el desvío de Allan de la frecuencia de la señal analizada en el tiempo de observación  $\tau$  utilizado.
- $N$ : representa el número de muestras utilizadas
- $y_i$ : representa la muestra de fase en la  $i$ -ésima posición

La definición local, UTC(CNMP), sostiene una estabilidad de  $8E-12$  Hz/Hz para un tiempo de observación de un segundo ( $\tau = 1$  s) y posee un comportamiento al incrementarse el tiempo de observación de:

$$\sigma_y = \frac{7 \times 10^{-12}}{\tau^{3/8}} \text{ Hz/Hz} \quad (2)$$

Donde  $\tau$  va de 10 a  $2.59E6$  (30 días), y representa la estabilidad en términos de Allan (Relación 1), la cual indica la estabilidad de la frecuencia de la realización local de UTC. Para normalizar el análisis de frecuencias, utilizamos el desvío de frecuencia (Relación 3) que nos permite establecer el corrimiento o desviación que tiene la frecuencia con respecto a la frecuencia nominal.

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{\sum_{i=1}^N f_i}{f_{Nom}} \quad (3)$$

La estabilidad del sintetizador fue caracterizada utilizando el contador de  $\mu W$  y un contador universal con capacidad de medir hasta 3 GHz. Como metodología de validación se compararon los datos obtenidos en distintas frecuencias y se observó que para el rango desde 50 MHz hasta los 3 GHz la dispersión de los datos para ambos equipos utilizando la misma fuente de  $\mu W$  fue no mayor a la variación de la resolución del sistema (la estabilidad del sintetizador con respecto a la varianza de Allan, y utilizando el contador universal, para una frecuencia de 50 MHz fue de  $2.6E-12$  Hz/Hz y para una frecuencia de 3 GHz fue de  $1.9E-12$  Hz/Hz, ambos en un tiempo de observación de 10 segundos).

Como el contador de  $\mu W$  no puede asegurar el mismo tiempo de observación para capturar los datos, no se puede utilizar la varianza de Allan para estimar la estabilidad de la señal, por lo que se utilizó la desviación estándar para obtener la dispersión de la toma de datos en la calibración, y el cual dio un resultado de  $1.9E-11$  Hz/Hz. La estimación de la incertidumbre de calibración para este servicio, tomó en cuenta las siguientes fuentes de incertidumbre:

Fuente	Valor (Hz/Hz)	Distribución	k	U (Hz/Hz)
Patrón	$7.0E-12$	Normal	2	$4E-11$
Sintetizador	$1.9E-11$	Normal		

Tabla 2. Fuentes de incertidumbre principales asociadas al establecimiento del servicio de calibración.

En la Tabla 2, se muestran las fuentes principales de incertidumbre que el proceso de calibración posee, y de los cuales, la fuente de incertidumbre que proviene del Patrón es dado por la estabilidad de el mismo, mientras que la incertidumbre dada por el Sintetizador fue obtenida de las mediciones obtenidas por los contadores de frecuencia.

Para establecer la estimación de la incertidumbre del objeto bajo calibración, tomamos en cuenta dos factores o

fuentes de incertidumbre adicionales las cuales son la resolución del objeto bajo calibración, y la dispersión de los datos medidos. Por los datos obtenidos de las pruebas y comparaciones con los equipos del laboratorio de Tiempo y Frecuencia del CENAMEP, se ha logrado establecer que la incertidumbre asociada al proceso de calibración es cercana a  $4E-11$  Hz/Hz, pero para lograr introducir las variaciones y proyecciones dentro de una misma recta (y por el momento cubrir la posibilidad de que venga otro sintetizador como referencia) establecimos que la incertidumbre de calibración sería expresada como está en la Relación 4.

$$U = \frac{8 \times 10^{-10}}{\sqrt{\tau}} \text{ Hz/Hz} \quad (4)$$

Donde  $\tau$  va de 1 a 3600, y U es la incertidumbre con un factor de cobertura de  $k=2$ . La determinación de la incertidumbre va asociada al proceso de calibración ya que si el objeto puede ser automatizado, se puede establecer la estabilidad de la lectura a lo largo del intervalo de calibración. Si no se pueda automatizar la toma de datos por parte del objeto, se utilizan periodos no menores a 10 s y se adquieren los datos de manera manual.

Para realizar la calibración, el sintetizador es programado para que genere una señal con una amplitud de 0 dBm sobre una línea coaxial de 50  $\Omega$ . La salida del sintetizador es verificada con un sistema de medición de potencia (Figura 2) para asegurar que se disminuya la posibilidad de generar un daño al objeto bajo calibración mediante la aplicación de una potencia no tolerada.

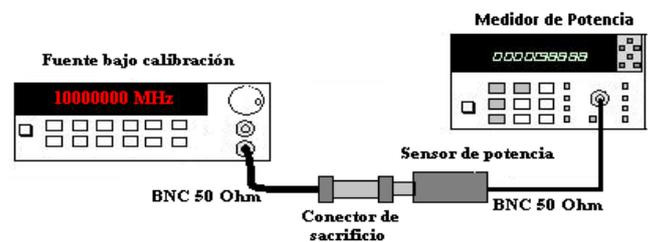


Figura 2. Medición de potencia en RF y  $\mu W$  para realizar verificaciones de intensidad de señal o calibraciones de potencia.

Después se toman los datos de frecuencia en diferentes puntos del rango de operación del contador indicado por el cliente, la ASEP o las especificaciones técnicas del objeto. El esquema del proceso de toma de datos se aprecia como lo indica la figura 3.

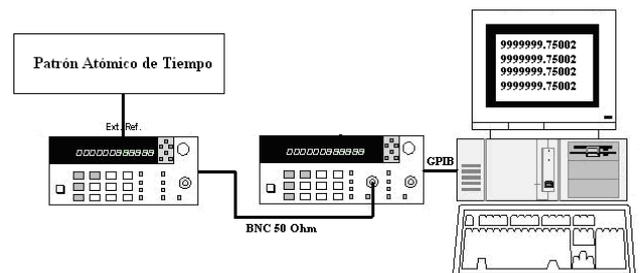


Figura 3. Esquema de calibración de contadores en RF y  $\mu W$  utilizado en el laboratorio de Alta Frecuencia.

Se adquieren 10 datos por cada punto a calibrar, de los cuales se deben escoger 12 puntos distintos de calibración que permitan cubrir el rango de operación del contador bajo calibración.

La expresión de los resultados es dada por una tabla que indique la frecuencia nominal, el desvío fraccional de frecuencia asociado al punto y la incertidumbre del punto o escala bajo calibración. Además el certificado muestra el método empleado, ejemplificando en un esquema e indicando el procedimiento asociado. La calibración se realiza con una temperatura de  $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$  y una humedad relativa de  $55\% \pm 15\%$ .

## 2.2. Calibración de generadores de señales en frecuencia.

La calibración de generadores de señales se implementa utilizando un contador de  $\mu\text{W}$ , cuyo rango de operación va desde los 10 MHz hasta los 26.5 GHz en dos etapas. La primera etapa mide de 10 MHz hasta 125 MHz y la segunda etapa mide de 50 MHz hasta 26.5 GHz. Este contador esta disciplinado a una señal de 10 MHz provenientes de la realización UTC(CNMP).

El contador de microondas permite la automatización de la toma de datos, pero no asegura que el tiempo de observación sea el mismo a lo largo de toda la medición (tiempo muerto variable). Eso lo corroboramos al utilizar el contador universal y comprar los resultados de la medición. El establecimiento de la inestabilidad de medida fue realizado utilizando la desviación estándar, y se puede apreciar su comportamiento con respecto a la frecuencia en la Tabla 3:

Frecuencia	Desviación del promedio. 1000 muestras (Hz)
50 MHz	0.008
1 GHz	0.011
3 GHz	0.015
18 GHz	0.016
26.5 GHz	0.019

Tabla 3. Comparación de la dispersión de los datos de medida obtenidos el contador de microondas.

En la Tabla 4 se muestran las fuentes principales de incertidumbre que el proceso de calibración posee, y de los cuales, la fuente de incertidumbre que proviene del Patrón es dado por la estabilidad de el mismo, mientras que la incertidumbre dada por el Contador fue obtenida de las mediciones realizadas por el contador de  $\mu\text{W}$  con respecto a la señal patrón que se le ingresaba y la Resolución es con respecto a lo indicado por el fabricante del contador de  $\mu\text{W}$ .

Fuente	Valor (Hz/Hz)	Distribución	k	U (Hz/Hz)
Resolución	1E-10	Rectangular	2	7.1E-11
Patrón	7E-12	Normal		
Contador	1.9E-11	Normal		

Tabla 4. Fuentes de incertidumbre principales asociadas al establecimiento del servicio de calibración.

Para establecer la estimación de la incertidumbre del objeto bajo calibración, tomamos en cuenta dos factores o fuentes de incertidumbre adicionales las cuales son la resolución del objeto bajo calibración, y la dispersión de los datos medidos. Los datos obtenidos de las pruebas y comparaciones con los equipos del laboratorio de Tiempo y Frecuencia del CENAMEP, se ha logrado establecer que la incertidumbre asociada al proceso de calibración es de cercana a  $7.1\text{E-}11\text{ Hz/Hz}$ , pero por razones de control sobre los equipos bajo calibración, se prefirió aplicar una sola incertidumbre a ambos canales para que cubriese toda la escala bajo calibración. La incertidumbre que asociamos para brindar el servicio de calibración es:

$$U = 2 \times 10^{-10} \text{ Hz/Hz} \quad (5)$$

Para realizar la calibración y antes de realizar la toma de datos, se verifica que el generador de señales solamente de una señal de 0 dBm sobre una línea coaxial de  $50\ \Omega$  (Figura 2). Una vez verificada, la toma de datos es realizada automatizando el control del contador para que realice la adquisición de los datos de frecuencia (ver Figura 4-a). Si el equipo bajo calibración permite automatizar su control, se procede a establecer la total automatización del proceso de calibración (Figura 4-b).

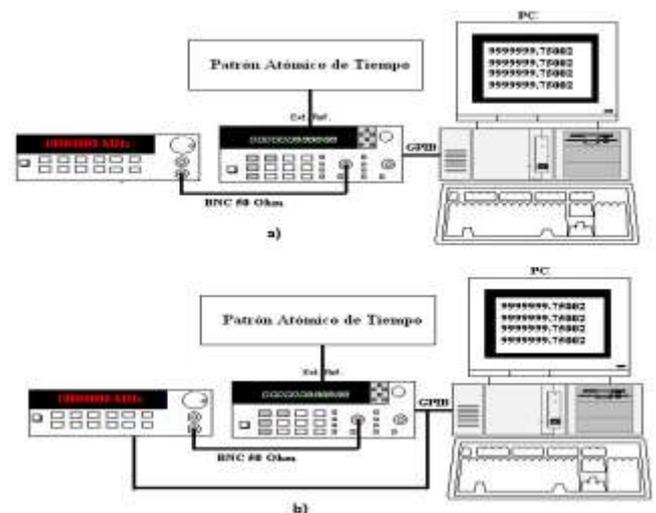


Figura 4. Esquema de calibración de generadores de señales en frecuencias de RF y  $\mu\text{W}$  utilizado en el laboratorio.

La expresión de los resultados es dada por una tabla que indique la frecuencia nominal, el desvío fraccional de frecuencia asociado al punto y la incertidumbre del punto o escala bajo calibración. Además el certificado muestra el método empleado, ejemplificando en un esquema e indicando el procedimiento asociado. La calibración se realiza con una temperatura de  $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$  y una humedad relativa de  $55\% \pm 15\%$ .

## 2.3. Calibración de generadores de señales en potencia.

La calibración de la potencia de una fuente de RF o  $\mu\text{W}$  es realizada mediante un arreglo de sensores de potencia de diodo (potencia de  $-70\text{ dBm}$  a  $-20\text{ dBm}$ , de 10 MHz a 18 GHz) y uno a termopar (potencia de  $-10\text{ dBm}$  a  $+35\text{ dBm}$ , de

10 MHz a 18 GHz) utilizados solamente para realizar calibraciones en potencia. Además se utiliza un adaptador, que llamamos conector de sacrificio, el cual se utiliza para no conectar directamente el sensor al conector del equipo bajo calibración.

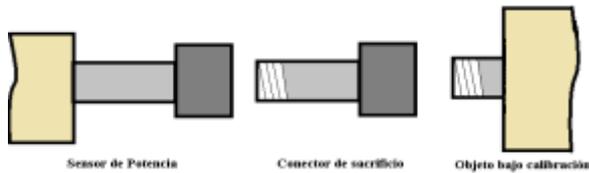


Figura 5. Esquema de conexión utilizando un conector de sacrificio para proteger el conector de los sensores de potencia.

La importancia del conector de sacrificio radica en que nosotros no sabemos cuáles son las condiciones de uso del los objetos (limpieza, mantenimiento, si se esfuerzan las conexiones, malos manejos, etc.) y por lo tanto no sabemos si estas pueden llegar a cambiar el coeficiente de reflexión, o incluso dañar el conector del sensor, y siempre está conectado entre el objeto bajo calibración y el sensor empleado (Figura 5). Aunque aumenta un poco la incertidumbre de medida, es un paso necesario para asegurar el buen desempeño del equipo de referencia.

Tanto los sensores como el medidor son calibrados por un Instituto Nacional de Metrología, que tenga experiencia comprobada (no importa actualmente si no tiene publicada sus Capacidades de Medición y Calibración) y exprese claramente la trazabilidad de su medida en conjunto con la incertidumbre declarada para el proceso

Fuente	Valor (%)	Distribución	k	U (%)
Resolución	0.1	Rectangular	2	3.6
Patrón	0.85	Normal		
Referencia del sensor	0.5	Normal		
Sistema	0.1	Normal		
Desacople Sensor y Referencia	0.75	U		
Desacople Sensor, Adaptador y Objeto	1.2	U		
Instrumentación	2	Rectangular		

Tabla 5. Fuentes de incertidumbre principales asociadas al establecimiento del servicio de calibración de potencia en fuentes de señales.

En la Tabla 5, se muestran las fuentes principales de incertidumbre que el proceso de calibración de potencia posee y han logrado ser cuantificadas [2], y de los cuales, la fuente de incertidumbre que proviene del Patrón es dado por la calibración del conjunto sensor medidor, la Resolución es con respecto a lo indicado por el fabricante del medidor de potencia, Referencia del sensor es por la calibración de la referencia de potencia para el ajuste del sensor, el Desacople sensor y referencia es la incertidumbre asociada a el máximo desacople que podemos encontrar (data de fabricante y estimada), el Desacople Sensor, Conector y Objeto es la incertidumbre asociada a él desacople que existe entre el sensor, el conector de sacrificio y el objeto, la Instrumentación es la incertidumbre que asocia a todos los parámetros del equipos (linealidad, deriva, ruido, ajuste por cero, etc.) y Sistema es la incertidumbre asociada a la repetitividad de la medición.

La calibración se lleva a cabo escogiendo los puntos según lo indicado por la ASEP, el cliente o dentro de lo especificado por el fabricante. A pesar de que la incertidumbre estimada resulto de 3.6 % de la medida, se prefirió escoger que la incertidumbre asociada sea del 5% del valor indicado en cualquier punto de -70 dBm a +35 dBm con frecuencias de operación de 10 MHz hasta 18 GHz. Ambos sensores son calibrados en un laboratorio primario con comparaciones internacionales.

La expresión de los resultados es dada por una tabla que indique la frecuencia nominal, la potencia indicada, el error de la medida y la incertidumbre del punto o escala bajo calibración. Además el certificado muestra el método empleado, ejemplificando en un esquema e indicando el procedimiento asociado. La calibración se realiza con una temperatura de  $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$  y una humedad relativa de  $55\% \pm 15\%$ .

### 3. CONCLUSIÓN

Como se ha visto, el desarrollo de la metrología de RF y  $\mu\text{W}$  en el CENAMEP ha tenido un avance muy lento, y solamente en este último año se ha logrado realizar grandes avances tanto en la instauración del sistema de calidad del laboratorio, como en el desarrollo de las habilidades técnicas en los procedimientos de calibración.

La experiencia adquirida al desarrollar el laboratorio de Alta Frecuencia es de suma importancia, ya que nos permite establecer cuáles son los criterios básicos y líneas a seguir para el desarrollo de nuevos laboratorios dentro del CENAMEP AIP, los cuales pueden requerir de implementar técnicas y conocimientos que en Panamá no se poseen en un momento dado pero es necesario desarrollarlo. Esto lo podemos ejemplificar al desarrollar un sistema de calibración de acelerómetros por método primario de interferometría, el cual requerirá la creación de un nuevo laboratorio en el área de la acústica, ultrasonido y vibraciones. Como experiencia adquirida al crear este laboratorio podemos establecer los siguientes puntos como los lineamientos básicos a seguir al desarrollar un nuevo laboratorio:

1. Identificación de la necesidad puntual de la industria.
2. Estimación de los recursos mínimos necesarios para poderles brindar la solución a la necesidad.
3. Conversar con todas las partes interesadas en que se brinde el servicio (industria y clientes, gobierno y regulación, dirección y jefaturas del laboratorio y el personal técnico encargado).
4. Capacitación y asesoramiento en el área de la instrumentación y manejo de equipos, como en el área de la metrología a desarrollarse con personas que tengan experiencia demostrada en el área de la instrumentación y la metrología.

5. Adecuación de la infraestructura del área a emplearse como zona de calibración, mantenimiento de patrones y almacenamiento de equipos.
6. Adquisición de los equipos básicos para brindar el servicio.
7. Ensayo y establecimiento de los parámetros de operación del desarrollo del servicio de calibración (método de calibración empleado y la estimación de la incertidumbre).
8. Desarrollo de la parte documental del sistema de calidad del laboratorio.
9. Validación del alcance del servicio de calibración.
10. Prestación del servicio de calibración de manera abierta al público en general.

Al concluir la idea del desarrollo de este documento, podemos resumir las especificaciones de los servicios de calibración implementados por el Laboratorio de Alta Frecuencia en la Tabla 6:

Servicio de Calibración de	Rango de Operación	Incertidumbre U, K=2
Contadores de Radiofrecuencia y Microonda	Frecuencia: 10 MHz hasta 26.5 GHz. Potencia de -20 dBm a +30 dBm	$\frac{8 \times 10^{-10}}{\sqrt{\tau}} \text{ Hz}/\text{Hz} \tau$ va de 1 a 3600
Generadores de Señales en Frecuencia	Frecuencia: 10 MHz hasta 26.5 GHz. Potencia de -20 dBm a +30 dBm	$2 \times 10^{-10} \text{ Hz}/\text{Hz}$
Generadores de Señales en Potencia.	Potencia de -70 dBm a +35 dBm. Frecuencia: de 10 MHz hasta 18 GHz.	5 %

**Tabla 6. Servicios de calibración ofrecidos y sus incertidumbres asociadas por el laboratorio de Alta Frecuencia del CENAMEP AIP.**

Con la implementación de estos servicios de calibración, el CENAMEP AIP espera poder darle una respuesta satisfactoria a la industria de las telecomunicaciones con respecto a sus necesidades actuales (cumplimiento de las recomendaciones UIT-R SM.377-4 [2] y la UIT-R SM.378-7 [3]), en vísperas de que podamos mejorar los servicios de calibración ya existentes y desarrollar nuevos servicios de calibración como calibración de analizadores de espectro y osciloscopios, calibraciones de medidores de potencia, calibración de atenuadores y caracterización de parámetros de dispersión, en el rango de 10 MHz hasta 18 GHz.

Estas inversiones permitirán crear las bases para hacerle frente a los nuevos requisitos de la industria en las telecomunicaciones, las cuales están en la implementación de nuevos y que deben ser verificados y regulados para asegurar una competencia justa y asegurar la salud y la calidad de vida de la población.

#### 4. REFERENCIAS

- [1] Ministerio de Comercio e Industrias, Resolución N° 002 del viernes 25 de julio de 2008: "por la cual se designa al Centro Nacional de Metrología de Panamá (CENAMEP AIP), asociación de interés público, con personería jurídica, como entidad que realizara las funciones de laboratorio nacional de metrología".
- [2] Agilent Technologies. Agilent Fundamentals of RF and Microwave Power Measurements, Application Note 64-1C. ISSN 5965-6630E. April 16, 2001.
- [3] Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU), Recomendación UIT-R SM.377-4 "Precisión de las mediciones de frecuencia en las estaciones"
- [4] Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU), Recomendación UIT-R SM.378-7 "Mediciones de la intensidad de campo en las estaciones de comprobación técnica"