



# Calibración y ajuste de mediciones del nivel de potencia en herramienta de monitoreo DTMB basada en STB comercial

*Dreyelian Morejón Betancourt, Yosvany Hervis Santana*

## RESUMEN / ABSTRACT

Actualmente en *LACETEL*<sup>®</sup>, Instituto de Investigación y desarrollo de Telecomunicaciones, está siendo desarrollada una herramienta para el monitoreo de la señal de televisión digital DTMB, usando el hardware de un receptor comercial. Dado que el resultado final consiste en modificar la funcionalidad del receptor para transformarlo en un instrumento de medición, se plantea entonces la necesidad de su calibración y ajuste para cada uno de los parámetros físicos a medir. El presente trabajo está centrado en la calibración y ajuste del instrumento para la medición de la potencia de la señal recibida. Luego de realizar una calibración inicial, se analizan los resultados de las mediciones obtenidas para cada canal, se identifica una relación funcional entre los valores, se ajustan las mediciones usando técnicas de regresión matemática y los ajustes obtenidos son incorporados al instrumento. Los resultados del ajuste son validados mediante una nueva calibración, verificándose una reducción en los errores sistemáticos del instrumento.

Palabras claves: TV Digital, Monitorización de señal DTMB, Instrumentos de medición, Calibración y ajuste.

*Currently in LACETEL<sup>®</sup>, Research & Development Telecommunications Institute, it is being developed a tool for monitoring DTMB digital TV signal, using the hardware of a commercial receiver. Since the final result is to transform a TV receiver into a measuring instrument, this implies the need for its calibration and adjustment for each of the physical parameters to be measured. The present work focuses on the calibration and adjustment of the instrument for the measurement of the received signal's power. After performing an initial calibration, the results of the measurements obtained for each channel are analyzed in function of the reference signal. A functional relationship between the values is identified, the measurements are adjusted using mathematical regression techniques and the obtained adjustments are built into the instrument. The outcome of the adjustment is validated through a new calibration, verifying a reduction in the systematic errors of the instrument.*

*Key words: Digital TV, DTMB signal monitoring, Measurement instruments, Calibration and adjust.*

*Calibration and adjust of power level measurements on DTMB monitoring tool based on a commercial STB.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Con el despliegue de la televisión digital en el país, surge también la necesidad de monitorear en tiempo real la calidad de la señal puesta en el aire por cada uno de los centros transmisores. No obstante, el despliegue del equipamiento necesario para este propósito constituye un reto, tanto desde el punto de vista logístico como económico, debido a la gran cantidad de emplazamientos involucrados en el proceso.

En este contexto, es útil constatar que el hardware sobre el que están basados los receptores modernos de televisión digital, tiene implícita la posibilidad de medir múltiples parámetros de la señal recibida. Desarrollando las funcionalidades necesarias es posible obtener, procesar y mostrar de forma conveniente esta información como parte del menú de usuario. De esta forma, se pueden aprovechar capacidades no explotadas en equipos cuya presencia en todo el

país es actualmente un hecho, transformando así un Set-Top Box (STB) comercial en un equipo de medición y monitoreo. Las ventajas son evidentes por sí mismas, el proceso de despliegue se reduce simplemente a actualizar los equipos ya existentes con el nuevo firmware convenientemente distribuido, evitando así incurrir en los costos asociados con el empleo de instrumentos de medición para este propósito.

En *LACETEL*<sup>®</sup> se está trabajando en un proyecto de este tipo desde el año 2015 y en estos momentos se cuenta con un desarrollo completamente funcional, aunque aún en fase de prueba y ajuste. La solución desarrollada hasta el momento inserta en el menú de usuario de un STB comercial dos nuevas pantallas con información de la señal recibida. La información mostrada en pantalla incluye un resumen de los parámetros fundamentales del modo de transmisión, nivel de potencia, razón de bit erróneo (BER) y relación señal a ruido (SNR). Asimismo, se muestra de forma gráfica el comportamiento durante el último minuto de la potencia, el BER y la SNR. Todos los parámetros mostrados se actualizan cada un segundo y, adicionalmente a los valores instantáneos, se muestran también los comportamientos promedios y extremos durante el último minuto, hora y día. Se incluye además la posibilidad de transferir los registros de mediciones a un dispositivo de almacenamiento externo, con el objetivo de ser usados para su análisis posterior.

No obstante, más allá del estado de la implementación actual, el elemento más importante de este desarrollo radica en contar con el saber hacer necesario para implementar nuevas funcionalidades y escalar así a una solución útil y flexible, a la medida de las necesidades.

La transformación del STB en un instrumento de medición trae aparejada la necesidad de su calibración y ajuste, términos estos poco comprendidos y usualmente confundidos entre sí. La calibración consiste en el proceso de establecer y registrar el error de medición al que está sujeto un instrumento de medición. Contrario a lo que comúnmente se piensa, la calibración es un proceso puramente descriptivo, el cual no trae implícita ninguna alteración del instrumento calibrado. El mismo consiste en medir con el instrumento a calibrar un patrón de referencia cuyo valor tiene documentada la trazabilidad con los patrones internacionales. Los resultados obtenidos se registran para saber con certeza qué tan cercanos son estos valores.

Por su parte, el ajuste hace referencia al proceso de manipular las lecturas ofrecidas por el instrumento siguiendo una ley de variación previamente obtenida, de manera que el error de medición resultante sea el menor posible. Este proceso, a diferencia de la calibración, sí implica una alteración del instrumento.

En este trabajo nos estaremos concentrando en la metodología seguida, ajustes propuestos y resultados obtenidos durante el proceso de calibración y ajuste de las mediciones de potencia. Se comienza realizando una calibración inicial del equipo. Posteriormente se analiza la información obtenida y se proponen modelos de ajuste de curvas para reducir los errores sistemáticos y mejorar la exactitud del instrumento. Los resultados propuestos son implementados y validados mediante una nueva calibración.

## 2. CALIBRACIÓN INICIAL

Las mediciones se realizaron tomando como referencia un generador de señales BTC de Rohde & Schwarz. Se midieron los valores de potencia entre 0dBm y -86dBm, a intervalos de 2dBm, para todos los canales entre el 7 y el 51. El rango de frecuencias fue seleccionado por ser este el exigido en las regulaciones vigentes para la recepción de la TV digital en el país.

El STB usado para el desarrollo emplea el sintonizador R836 de Rafael Micro. Este circuito cuenta con un Control Automático de Ganancia (AGC) que varía dinámicamente el nivel de ganancia para lograr un nivel óptimo de SNR, minimizar las distorsiones y evitar la saturación del receptor ante niveles elevados de señal. Dicho comportamiento se ve reflejado a nivel de software en que, para niveles de señal mayores de cierto umbral definido por el fabricante del STB, las mediciones de potencia se obtienen de una variable, dadas directamente en unidades de dBm. No obstante, para niveles inferiores al umbral, el sistema habilita la máxima ganancia y los valores de potencia son asignados a otra variable, cuyo valor numérico es proporcional al nivel de señal. Adicionalmente, el umbral de ganancia no es el mismo para las bandas de VHF y UHF. En el caso de VHF el umbral es de -60dBm, mientras que para UHF es de -54dBm. Este comportamiento obliga a segmentar el análisis de los resultados obtenidos y, consiguientemente, la aplicación y validación del ajuste, para dos intervalos bien definidos de variación de los niveles de potencia en la señal de entrada.

En la Figura 1 se muestran los resultados de las mediciones para un conjunto de canales seleccionados, con la ganancia máxima desactivada (Figura 1a) y activada (Figura 1b). Nótese la relación de proporcionalidad inversa que se manifiesta en la Figura 1b entre los valores numéricos dados por el receptor y los niveles de referencia. Esto puede deberse a los ajustes realizados por el AGC en los niveles de amplificación, los cuales varían de forma inversamente proporcional al nivel de señal de entrada.

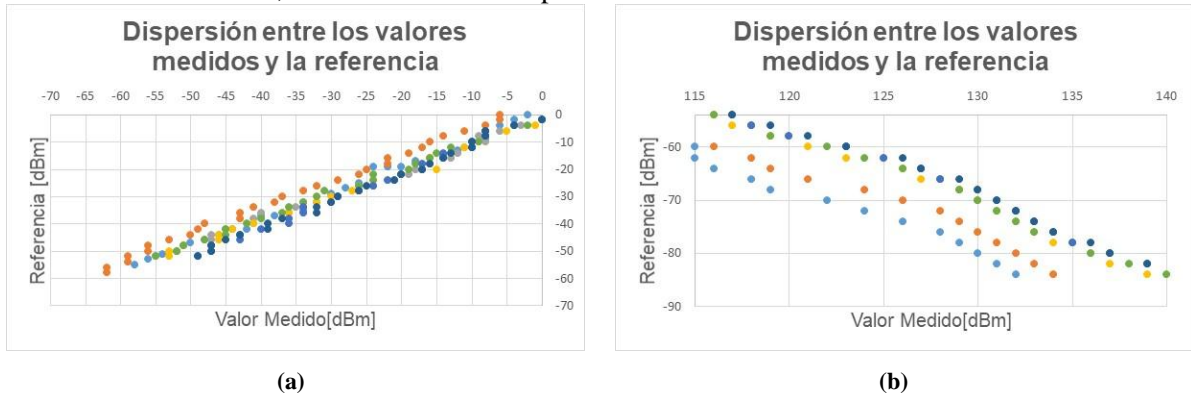


Figura 1

Relación entre los valores medidos y la referencia para distintos canales: a) Con máxima ganancia deshabilitada, b) Con máxima ganancia habilitada.

A partir de los resultados mostrados, se puede constatar de forma visual que la relación funcional es aproximadamente lineal, con errores sistemáticos que se presentan en forma de desplazamientos en el eje de las ordenadas y distribuidos entre todos los canales medidos. Con el objetivo de cuantificar la influencia de estas desviaciones, se calculan los errores individuales de cada medición, restando el valor medido con el STB del valor de referencia generado con el BTC. Para cada canal se determina el máximo de los errores, el resultado se muestra graficado en la Figura 2. Nótese que los errores máximos por canal oscilan entre -9dBm y 5dBm, concentrándose la mayor parte de ellos entre  $\pm 4$ dBm.

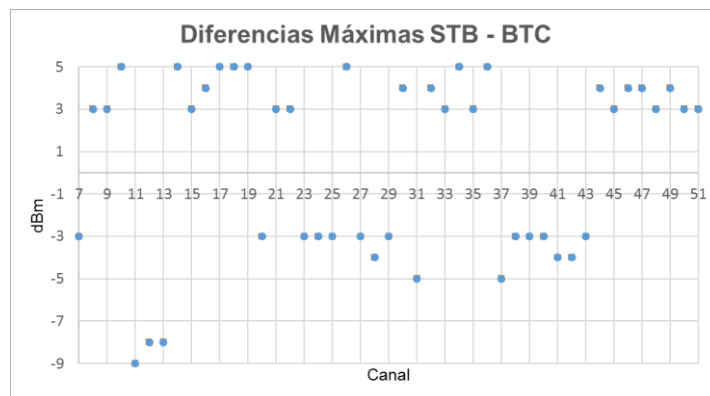


Figura 2

Errores máximos por canal entre los valores medidos (STB) y los valores de referencia (BTC).

### 3. AJUSTE DEL INSTRUMENTO

Una vez obtenidas las series con los valores medidos e identificada la linealidad de las relaciones funcionales entre las mediciones y la señal de referencia, deben aplicarse técnicas de regresión numérica para encontrar las funciones  $y = ax + b$  que mejor se ajusten a estas. Los coeficientes  $a$  y  $b$  se estiman usando el método de los mínimos cuadrados [1], cuyo criterio de ajuste óptimo está dado por los valores que minimizan la relación (1).

$$\sum_{i=1}^n (y_i - (a + bx_i))^2 \quad (1)$$

donde  $y_i$  y  $x_i$  están referidos a los valores medidos por el STB y a los valores de referencia fijados con el instrumento patrón, respectivamente. Se puede demostrar [1] a partir del desarrollo de (1) que el resultado que se obtiene para  $a$  y  $b$  está dado por (2) y (3).

$$b = \frac{\sum_i (x_i - \mu_x)(y_i - \mu_y)}{\sum_i (x_i - \mu_x)^2} \quad (2)$$

$$a = \mu_y - b\mu_x \quad (3)$$

donde  $\mu_x$  y  $\mu_y$  son los valores medios de  $x$  y  $y$ .

Aplicando el método de los mínimos cuadrados se obtuvieron ajustes lineales para cada una de las series de mediciones. A modo de ilustración, en la Figura 3 se muestra gráficamente el ajuste obtenido para el canal 11. En la Figura 3a se muestra el resultado para los niveles de potencia por debajo del umbral de activación de la ganancia máxima, mientras que los resultados mostrados en la Figura 3.b corresponden al sistema con ganancia máxima activada. La aplicación del ajuste consiste en corregir los valores  $y_i$  medidos con el receptor mediante la aplicación de las ecuaciones obtenidas para cada canal. El resultado esperado de este proceso es obtener una mayor similitud entre la corrección de los valores medidos  $y_i$  y los valores de referencia  $x_i$ , tal como se expresa en la relación (1).

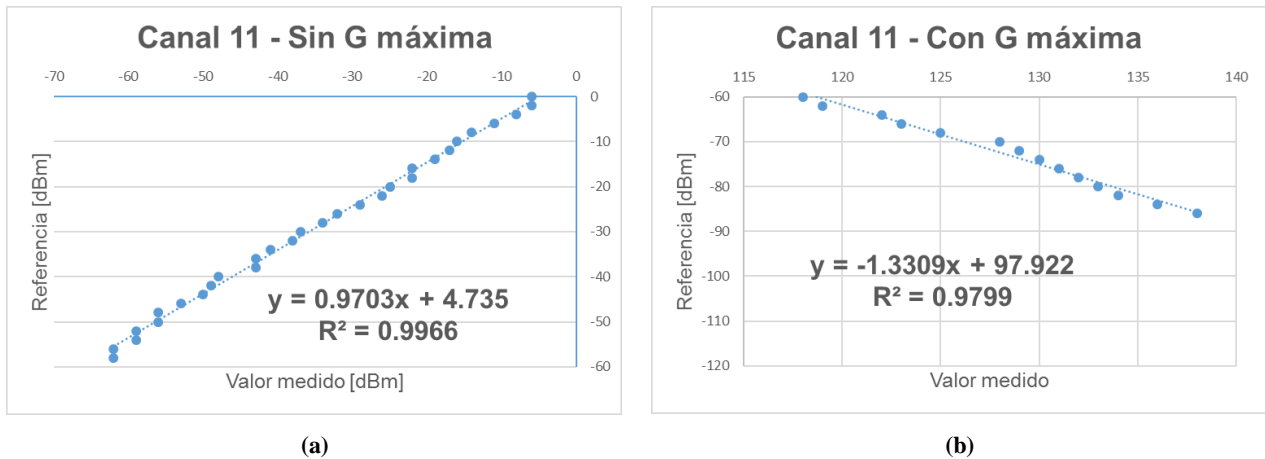


Figura 3

Ajuste lineal obtenido para el canal 11: a) Con máxima ganancia deshabilitada, b) Con máxima ganancia habilitada.

Para cuantificar el grado de similitud o asociación entre las series de pares medidos y el ajuste, se puede usar el coeficiente de correlación [1 – 3], el cual está dado por (4).

$$R = \frac{\sum_i(x_i - \mu_x)(y_i - \mu_y)}{\sqrt{[\sum_i(x_i - \mu_x)^2][\sum_i(y_i - \mu_y)^2]}} \quad (4)$$

El valor de  $|R|$  es un número real comprendido entre 0 y 1. El valor 0 indica que ambas variables son completamente independientes entre sí, mientras que 1 es el caso extremo en que ambas están completamente correlacionadas (ajuste perfecto sobre una misma curva). Dada la presencia de errores en las mediciones, resulta altamente improbable el caso  $|R| = 1$ . Debido a esto, se considera a cualquier valor en el intervalo  $0.9 \leq |R| < 1$  como un valor aceptable de similitud entre los valores [1].

A menudo, cuando no se posee la suficiente familiaridad con los valores esperados de  $R$ , puede dificultarse la interpretación de los resultados obtenidos. Un parámetro más adecuado para cuantificar la dependencia entre dos variables es el coeficiente de determinación [3], el cual está dado por  $R^2$ . El coeficiente de determinación se interpreta como el porcentaje de variación de una variable que es previsto por la otra. Aunque el coeficiente de correlación es útil para determinar el grado de relación entre las variables, el coeficiente de determinación permite interpretar las relaciones entre las variables a partir de las variaciones de estas. Por ejemplo, podría pensarse que  $R_1 = 0.2$  corresponde a una relación entre variables el doble de fuerte que otra con  $R_2 = 0.1$ . Sin embargo, desde el punto de vista del coeficiente de determinación esta conclusión prueba ser falsa, dado que  $R_1^2 = 0.04$ , cuyo valor es cuatro veces el de  $R_2^2 = 0.01$ , lo cual nos indica que  $R_1$  caracteriza una relación que es cuatro veces más fuerte que la caracterizada por  $R_2$ .

Para evaluar el grado de exactitud en cada uno de los ajustes obtenidos, se calcularon los  $R^2$  de cada uno y en todos los casos se obtuvo valores superiores a 0.97. En la Figura 4 se muestran de forma gráfica los valores de  $R^2$  para cada canal.

Nótese que los  $R^2$  de los ajustes con la ganancia máxima activada son menores a los que se obtienen para los ajustes con la ganancia máxima desactivada. Estos resultados numéricos están en correspondencia con lo observado en la Figura 1, donde se puede apreciar una mayor dispersión de las mediciones obtenidas con la ganancia máxima activada. No obstante, en todos los casos  $R^2$  se mantiene por encima de 0.97, lo cual significa que al menos el 97% de las variaciones en las mediciones del instrumento son debidas a las variaciones en el generador de referencia.

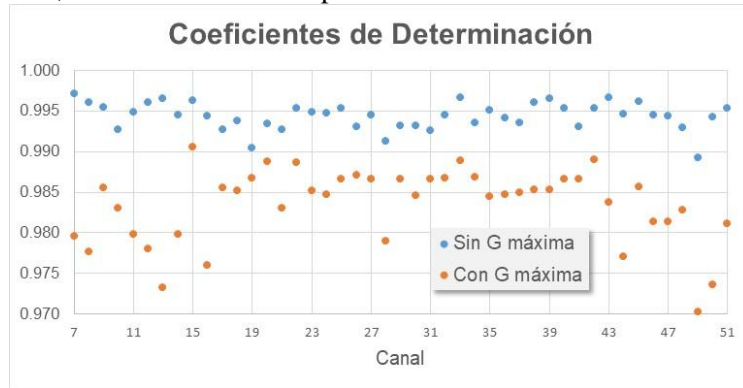


Figura 4

Coeficientes de determinación correspondientes a los ajustes obtenidos para cada canal.

## 4. VALIDACIÓN

Para validar la eficacia de los ajustes y su impacto en la exactitud de las mediciones obtenidas con el STB, se realiza una nueva calibración del equipo luego de implementados los ajustes obtenidos en el Epigrafe 3, bajo las mismas condiciones en que fue realizada la calibración inicial. En la Figura 5 se muestran los resultados obtenidos para un conjunto de canales, antes y después del ajuste.

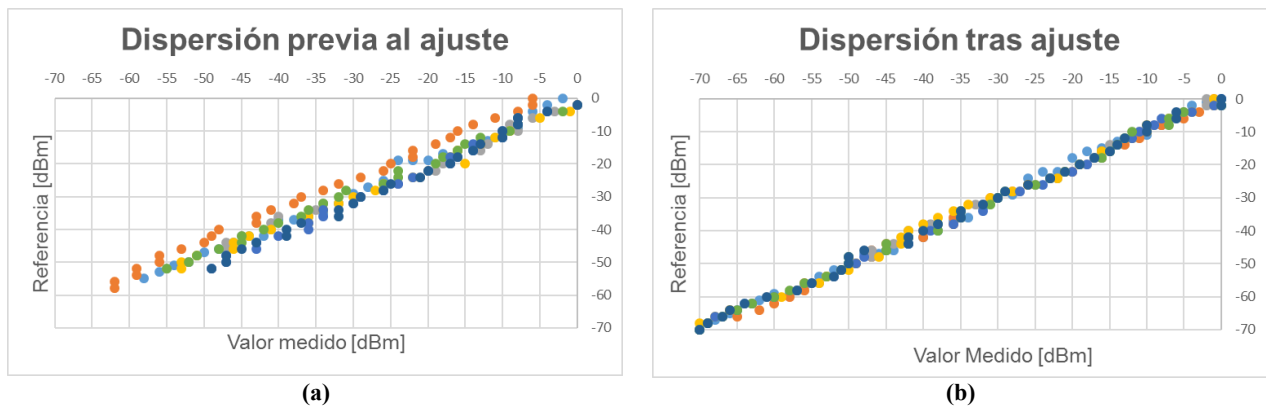


Figura 5

Relación entre los valores medidos y la referencia para distintos canales: a) Previo al ajuste numérico, b) Posterior al ajuste numérico

Nótese como, a simple vista, se puede observar una reducción en la dispersión de las mediciones y en los errores máximos en cada canal. Las mediciones obtenidas tras el ajuste están mucho más concentradas sobre la recta  $y = x$ , lo cual es indicativo de una mayor exactitud de los valores medidos.

Para cuantificar la eficacia del ajuste, se calcularon los errores o desviaciones máximas en cada canal. Como se puede observar en la Figura 6, el error máximo tras el ajuste se mantuvo entre  $\pm 2\text{dBm}$  y  $\pm 3\text{dBm}$ , mientras que los valores previos al ajuste oscilaban entre  $\pm 3\text{dBm}$  y  $\pm 8\text{dBm}$ .

No obstante, para caracterizar más fielmente el comportamiento de una variable aleatoria no basta con conocer su tendencia central o las desviaciones extremas con respecto a la media, sino que también es necesario conocer cómo se encuentran distribuidas las muestras alrededor de su media aritmética. Para caracterizar este comportamiento se emplean funciones estadísticas tales como la varianza y la desviación estándar. La varianza para un conjunto finito de  $n$  muestras, se define según (5).

$$V_s = \frac{\sum_i (x_i - \mu_x)^2}{n-1} \quad (5)$$



Figura 6

**Influencia del ajuste en los errores máximos del instrumento para un conjunto de canales.**

Sin embargo, dado que la varianza es una magnitud cuadrática, resulta más conveniente usar la desviación estándar, cuya unidad de medida es la misma que en la magnitud caracterizada. Para un conjunto finito de  $n$  muestras, la desviación estándar está dada por (6).

$$\sigma = \sqrt{V_s} = \sqrt{\frac{\sum_i (x_i - \mu_x)^2}{n-1}} \quad (6)$$

El valor de  $\sigma$  ofrece una medida cuantitativa que caracteriza la precisión del instrumento. No obstante, la precisión es un atributo propio del desempeño del equipo que no varía al aplicar ajustes sobre las indicaciones numéricas. La influencia del ajuste se puede ver reflejada de una forma más directa en el comportamiento de los valores medio de los errores de las mediciones. Al corregirse la respuesta del instrumento para el parámetro ajustado, los errores sistemáticos se reducen y, consecuentemente, es también de esperar una reducción en la media de estos valores.

Pero más allá de su utilidad para caracterizar la precisión del instrumento,  $\sigma$  es también útil para describir la distribución de los valores de la serie alrededor de la media. La desigualdad de Chebyshev establece una cota inferior a la probabilidad de que el valor de una variable aleatoria con varianza finita esté a una cierta cantidad de desviaciones estándar de su valor medio [3], pero el valor real de estas cotas es específico de cada distribución probabilística en cuestión. En el caso de las mediciones, considerando que todas las fuentes de error son de carácter aleatorio y ninguno de estos factores predomina sobre los restantes, se puede afirmar que los valores obtenidos siguen aproximadamente una ley de distribución normal o gaussiana [2]. Para una distribución gaussiana, se conoce que aproximadamente el 68% de las muestras deben estar agrupadas alrededor de la media [1 – 3], a una distancia menor que la desviación estándar de la distribución (Figura 7). En el caso específico de la validación del ajuste, si tomamos la  $\sigma$  de los errores de cada medición, más del 60% de los errores deben ser menores que la suma de la media de los errores y la  $\sigma$  de los mismos.

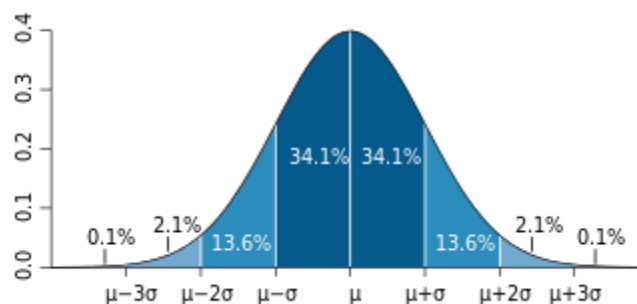


Figura 7

**Distribución de probabilidad alrededor de la media en una distribución gaussiana con media  $\mu$  y desviación estándar  $\sigma$ .**

En la Figura 8 se muestra graficada la suma de los valores medios y la desviación estándar de los errores de las mediciones obtenidas para un conjunto de canales.

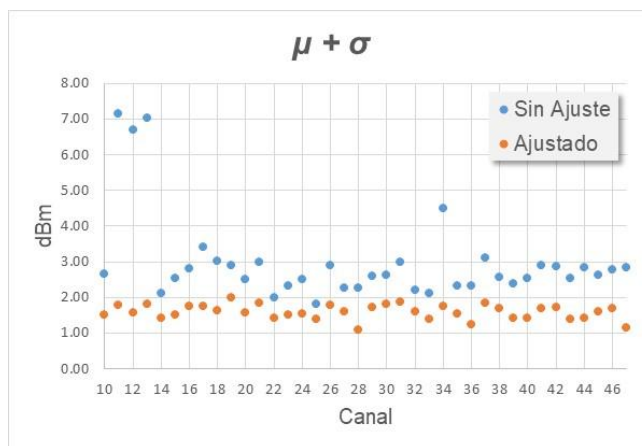


Figura 8

**Influencia del ajuste en la distribución de los errores alrededor de la media para un conjunto de canales.**

Considerando una distribución gaussiana, es de esperar que aproximadamente el 68% de los errores en las mediciones deben estar concentrados entre  $\pm 1\text{dBm}$ , mientras que poco más del 20% deben ser de  $\pm 2\text{dBm}$  o más. Esta hipótesis se ve confirmada a partir de los resultados mostrados en la Figura 9, donde se puede observar que los porcentos de desviación de las mediciones respecto a los valores de referencia obtenidos para cada canal, se encuentran distribuidos alrededor de una media de aproximadamente 74% (línea sólida).



Figura 9

**Porcentaje de las mediciones en cada canal desviadas de los valores de referencia entre  $\pm 1\text{dBm}$ .**

En la Tabla 1 aparecen relacionados los valores de exactitud del nivel de potencia en distintos modelos de instrumentos de medición portátiles profesionales [4 – 6].

Tabla 1

**Valores de exactitud para algunos instrumentos de medición profesionales**

Fabricante	Equipo	Exactitud del nivel de potencia
Deviser	DS2800 Spectrum Analyzer	$< \pm 1.5 \text{ dB}$
Deviser	S7000 TV & Satellite Analyzer	$< \pm 2.0 \text{ dB}$
R&S	ETH Handheld TV Analyzer	$< \pm 1.0 \text{ dB}$

Comparando estos valores con los resultados obtenidos tras el ajuste, se observa que los valores de exactitud especificados para estos equipos son similares a los resultados obtenidos para la herramienta evaluada. Salvando las distancias y sin pretender alcanzar las especificaciones técnicas y el desempeño de un instrumento de medición profesional, estos resultados demuestran que la herramienta desarrollada ofrece un grado aceptable de fiabilidad para los propósitos y entornos en que se prevé su empleo.



## 5. CONCLUSIONES

La herramienta de monitoreo de la señal DTMB basada un STB comercial constituye un instrumento útil para la medición y monitorización de los parámetros de la señal recibida y constituye una alternativa viable a las soluciones basadas en instrumentos de medición profesionales. Las principales ventajas del desarrollo propuesto radican en su bajo coste, facilidad de despliegue y posibilidades de implementación de nuevas funcionalidades y soluciones a la medida. La fase actual del desarrollo contempla la calibración y ajuste del instrumento para los parámetros físicos cuya medición le ha sido incorporada. En este trabajo se ha abordado en particular el procedimiento seguido para la calibración y ajuste de las mediciones del nivel de potencia. El instrumento fue calibrando usando un instrumento profesional como generador de las señales de referencia. Fue posible, a partir de la calibración inicial, identificar relaciones lineales entre los valores de referencia y los medidos. Se calcularon ajustes independientes para cada canal, los cuales fueron incorporados al instrumento y validados mediante una nueva calibración. Como resultado, el error absoluto máximo fue reducido a aproximadamente 3dBm, con más del 60% de las lecturas confinadas al entorno de  $\pm 1$ dBm. Aun cuando el instrumento está basado en un hardware comercial de propósitos generales, no concebido como un instrumento de medición, los valores de exactitud obtenidos tras el ajuste son cercanos a los especificados para instrumentos comerciales.

## REFERENCIAS

1. Morris, Alan; Langari, Reza. Measurement and Instrumentation: Theory and Application. 2<sup>nd</sup> ed. Editorial Elsevier, 2016.
2. Sáez Ruiz, Sifredo; Font Avila, Luis. Incertidumbre de la Medición: Teoría y Práctica. Maracay: L&S Consultores. 2001.
3. Walpole, Ronald E.; Myers, Raymond H.; Myers, Sharon L.; Ye, Keying. Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias. Novena edición. Editorial Pearson Educación, México, 2012.
4. Deviser Instruments Incorporated. *S7000 TV & Satellite Analyzer Datasheet*. 2014. Disponible en: <http://www.comtech.co.hu/media/k2/attachments/S7000.pdf>.
5. Deviser Instruments Incorporated. *DS2800 Spectrum Analyzer Datasheet*. 2014. Disponible en: [http://deviserinstruments.com/uploads/3/4/7/9/34796732/ds2800\\_ds\\_140921.pdf](http://deviserinstruments.com/uploads/3/4/7/9/34796732/ds2800_ds_140921.pdf).
6. Rohde&Schwarz GmbH & Co. *R&S@ETH Handheld TV Analyzer Brochure*. 2013. Disponible en: [https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl\\_downloads/dl\\_common\\_library/dl\\_brochures\\_and\\_datasheets/pdf\\_1/ETH\\_bro\\_en\\_5213-9592-12\\_v0500.pdf](https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/pdf_1/ETH_bro_en_5213-9592-12_v0500.pdf).

## AUTORES

**Dreyelian Morejón Betancourt:** La Habana, 8 de junio de 1978. Graduado de Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica, CUJAE, La Habana, Cuba, 2004. Graduado de Master en Sistemas de Radiocomunicaciones, CUJAE, La Habana, Cuba, 2010. Posición Actual: Aspirante a Investigador en **LACETEL**<sup>®</sup>, Instituto de Investigación y Desarrollo en Telecomunicaciones, La Habana, Cuba. e-mail: [dreyelian@lacetel.cu](mailto:dreyelian@lacetel.cu)

**Yosvany Hervis Santana:** Matanzas, 26 de agosto de 1988. Graduado de Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica, CUJAE, La Habana, Cuba, 2012. Graduado de la Maestría de Sistemas Digitales, CUJAE, 2017. Posición Actual: Aspirante a Investigador en **LACETEL**<sup>®</sup>, Instituto de Investigación y Desarrollo en Telecomunicaciones, La Habana, Cuba. e-mail: [yosvany@lacetel.cu](mailto:yosvany@lacetel.cu)