



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Calibración Instrumental de Radio Frecuencia

POR

Gabriel Ignacio Spano Márquez

Memoria de Título presentada a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción
para optar al título profesional de Ingeniero Civil en Telecomunicaciones.

Profesor Guía
Sergio Torres Inostroza

Concepción,
21 de enero de 2026

©2026 Gabriel Ignacio Spano Márquez

© 2026 Gabriel Ignacio Spano Márquez

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento.

A todos los estudiantes de Telecom...

Resumen

El trabajo tiene por objetivo desarrollar e implementar un procedimiento técnico y normativo para la calibración de instrumentos de medición en Radio Frecuencia (RF), que garantice la trazabilidad metrológica, cumpla con los requisitos de la norma chilena NCh-ISO/IEC 17025:2017 y mejore la confiabilidad de las mediciones realizadas en entornos profesionales. La calibración en RF se reconoce como un proceso esencial para asegurar la exactitud, consistencia y validez de las mediciones en aplicaciones críticas como Telecomunicaciones (Telecom), defensa, medicina y sistemas de control industrial.

El procedimiento propuesto se estructura a partir de una revisión bibliográfica y normativa sobre metrología aplicada a RF, del diagnóstico del instrumental disponible en el Laboratorio de Microondas y Antenas, Facultad de Ingeniería, Universidad de Concepción (UdeC), y de la definición de un método de calibración basado en la Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medición (GUM). La metodología incluye la identificación de equipos críticos, el desarrollo de Budgets de Calibración, el cálculo de desviaciones e incertidumbres tipo A y tipo B, la aplicación de la ecuación de propagación de errores y la verificación del Nivel de Confianza mediante la fórmula de Welch-Satterthwaite.

Para la validación del procedimiento se lleva a cabo la calibración de los Analizadores de Espectros Portátiles, Aaronia AG, Spectran HF-60105 v4, utilizando como patrones instrumentos con mayor exactitud, entre ellos Medidores de Potencia y Sensores de Potencia. Las mediciones se realizan en un rango de frecuencias comprendido entre 100 [MHz] y 9395 [MHz], determinándose que la Desviación e Incertidumbre de los Analizadores se mantienen por debajo del error máximo permitido por el fabricante, cumpliendo con los criterios de aceptación establecidos.

Los resultados permiten confirmar que el procedimiento implementado es técnico y estadísticamente válido, al proporcionar mediciones trazables y reproducibles con un Nivel de Confianza del 95.45%. Se demuestra la factibilidad de ejecutar calibraciones internas en RF bajo criterios metrológicos reconocidos, fortaleciendo la autonomía técnica institucional y estableciendo las bases para la extensión del modelo a otros instrumentos y rangos de frecuencia.

En resumen, la Memoria de Título (MDT) contribuye al desarrollo de capacidades locales de calibración en RF, fomenta la adopción de normas internacionales y entrega una metodología sólida que mejora la calidad, eficiencia y confiabilidad de las mediciones en el ámbito de la Ingeniería.

Abstract

The objective of this work is to develop and implement a technical and regulatory procedure for the calibration of radio frequency (RF) measuring instruments that guarantee metrological traceability, complies with the requirements of NCh-ISO/IEC 17025:2017, and improves the reliability of measurements performed in professional environments. RF calibration is recognized as an essential process for ensuring the accuracy, consistency, and validity of measurements in critical applications such as Telecommunications (Telecom), defense, medicine, and industrial control systems.

The proposed procedure is structured based on a review of the literature and regulations on metrology applied to RF, of the diagnosis of the instruments available in the Microwave and Antenna Laboratory, Faculty of Engineering, University of Concepción (UdeC), and the definition of a calibration method based on the Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM). The methodology includes the identification of critical equipment, the development of Calibration Budgets, the calculation of type A and type B deviations and uncertainties, the application of the error propagation equation, and the verification of the Confidence Level using the Welch-Satterthwaite formula.

To validate the procedure, the Aaronia AG, Spectran HF-60105 v4, Portable Spectrums Analyzers are calibrated using more accurate instruments as standards, including Power Meters, and Power Sensors. Measurements are taken in a frequency range between 100 [MHz] and 9395 [MHz], determining that the Deviation and Uncertainty of the Analyzers remain below the maximum error allowed by the manufacturer, complying with the established acceptance criteria.

The results confirm that the implemented procedure is technically and statistically valid, providing traceable and reproducible measurements with a Confidence Level of 95.45%. The feasibility of performing internal RF calibrations under recognized metrological criteria is demonstrated, strengthening institutional technical autonomy and laying the groundwork for extending the model to other instruments and frequency ranges.

In summary, the Thesis (MDT) contributes to the development of local RF calibration capabilities, promotes the adoption of international standards, and provides a solid methodology that improves the quality, efficiency, and reliability of measurements in the field of Engineering.

Agradecimientos

Se expresa un profundo agradecimiento a mi familia, por el constante apoyo brindado y por ser una fuente inagotable de motivación a lo largo de todo el proceso. También se agradece a los amigos de la Universidad, por los momentos compartidos que aportaron alegría y compañerismo durante el proceso formativo, y a los amigos del colegio, por demostrar que la verdadera amistad perdura a pesar de los distintos caminos recorridos. Finalmente, se dedica un especial reconocimiento a mi Papá y Mamá (quien ya no me acompaña), por haber sido guías fundamentales en mi formación y por enseñar que en la Universidad no solo se adquieren conocimientos, sino también se aprenden valores que contribuyen al crecimiento personal y profesional.

Índice General

RESUMEN.....	4
ABSTRACT.....	5
AGRADECIMIENTOS...	6
ÍNDICE DE FIGURAS.....	9
ÍNDICE DE TABLAS.....	10
1 INTRODUCCIÓN	12
1.1 TRABAJOS PREVIOS	12
1.1.1 Revisión Bibliográfica	12
1.1.2 Discusión	14
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	16
1.2.1 Introducción.....	16
1.3 OBJETIVOS	16
1.3.1 Objetivo General	16
1.3.2 Objetivos Específicos.....	16
1.4 METODOLOGÍA.....	17
1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES	18
1.5.1 Alcances.....	18
1.5.2 Limitaciones	18
2 MARCO TEÓRICO	19
2.1 INTRODUCCIÓN	19
2.2 DEFINICIONES Y CONCEPTOS CLAVE	20
2.3 MODELOS Y FORMULACIONES MATEMÁTICAS	25
2.3.1 Desarrollo de Desviación	25
2.3.2 Desarrollo de Incertidumbre.....	25
2.4 METODOLOGÍAS RELEVANTES	26
3 DESARROLLO	28
3.1 INTRODUCCIÓN	28
3.2 EXPOSICIÓN DEL TEMA.....	28
3.2.1 Visita al Laboratorio de Calibración de Radio Frecuencia (RF) ASMAR(T)	28
3.2.2 Selección del Instrumento a calibrar en Laboratorio de Microondas y Antenas.....	32
3.2.3 Revisión y selección del Certificado de Calibración de Analizadores de Espectros Portátiles.....	33

3.2.4	<i>Ejemplos de Budget de Calibración para el Cálculo de Desviación</i>	35
3.2.5	<i>Estimación Teórica del Cálculo de la Incertidumbre</i>	40
3.2.6	<i>Especificaciones Instrumental requerido para calibrar Aaronia AG, Spectran HF-60105 v4</i>	48
3.2.7	<i>Ejemplo de Budget de Calibración con el Cálculo de Desviación e Incertidumbre</i>	54
4	RESULTADOS	57
4.1	BUDGET DE CALIBRACIÓN ANALIZADOR ESPECTRO PORTÁTIL, AARONIA AG, SPECTRAN HF-60105 v4	57
4.2	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	68
5	CONCLUSIONES	69
5.1	RESUMEN.....	69
5.2	CONCLUSIONES	69
5.3	TRABAJO FUTURO	70
	BIBLIOGRAFÍA	72

Índice de Figuras

FIGURA 1.1	ANALIZADOR DE REDES VECTORIALES, AGILENT N5230C.....	29
FIGURA 1.2 & 1.3	PANTALLA ANALIZADOR DE REDES VECTORIALES, AGILENT N5230C	29
FIGURA 2.1 & 2.2	MEDIDOR DE POTENCIA, KEYSIGHT N1914A	30
FIGURA 3	SENSOR DE POTENCIA, KEYSIGHT E9304A H18	30
FIGURA 4	SENSOR DE POTENCIA, AGILENT 8487D.....	30
FIGURA 5.1 & 5.2	CONTADOR DE FRECUENCIA, AGILENT 53152A	31
FIGURA 6.1 & 6.2	GENERADOR DE FRECUENCIA, AGILENT E8257D.....	31
FIGURA 7.1 & 7.2	ANALIZADOR DE ESPECTROS, HEWLETT PACKARD (HP) 8565E.....	31
FIGURA 8.1	CALIBRADOR MULTIPRODUCTO (MPC), FLUKE 5522A (PATRÓN).....	35
FIGURA 8.2 & 8.3	ESPECIFICACIONES DEL MPC, FLUKE 5522A (PATRÓN)	35
FIGURA 9.1	MULTÍMETRO DIGITAL (DMM), FLUKE 87V (UUT)	36
FIGURA 9.2, 9.3 & 9.4	ESPECIFICACIONES DEL DMM, FLUKE 87V (UUT).....	36
FIGURA 10	ESQUEMA PARA MODELO DE MEDICIÓN	41
FIGURA 11	ESQUEMA PARA FUENTES DE INCERTIDUMBRE	42
FIGURA 12	ESQUEMA DE ANÁLISIS INCERTIDUMBRE TIPO B	44
FIGURA 13	DIFERENCIA ENTRE INCERTIDUMBRE COMBINADA & EXPANDIDA	46
FIGURA 14.1 & 14.2	DATA SHEET MEDIDOR DE POTENCIA, AGILENT N1913A.....	48
FIGURA 15.1 & 15.2	DATA SHEET SENSOR DE POTENCIA, AGILENT E4412A	48
FIGURA 15.3 & 15.4	DATA SHEET SENSOR DE POTENCIA, AGILENT E4412A	48
FIGURA 16.1 & 16.2	DATA SHEET GENERADOR DE RF, AGILENT N9310A	49
FIGURA 17.1 & 17.2	DATA SHEET GENERADOR DE RF, HP 8672A	50
FIGURA 18.1 & 18.2	DATA SHEET AARONIA AG, SPECTRAN HF-60105 V4.....	51
FIGURA 18.3	DATA SHEET AARONIA AG, SPECTRAN HF-60105 V4.....	51
FIGURA 19.1 & 19.2	PRIMER SET-UP DE MEDICIÓN.....	52
FIGURA 20.1 & 20.2	SEGUNDO SET-UP DE MEDICIÓN.....	52
FIGURA 21.1 & 21.2	ESPECIFICACIONES DEL MPC, FLUKE 5520A (PATRÓN)	54
FIGURA 22.1 & 22.2	ESPECIFICACIONES PARA VOLTAJE DEL DMM, FLUKE 87V (UUT)	54
FIGURA 23.1 & 23.2	GRÁFICO POTS. IN VS FREC. SPECT. 60812 & AGILENT (N1913A & E4412A).....	64
FIGURA 24.1 & 24.2	GRÁFICO POTS. IN VS FREC. & CALIBRACIÓN VS FREC 60812	65
FIGURA 25.1 & 25.2	GRÁFICO POTS. IN VS FREC. & CALIBRACIÓN VS FREC 60809	65
FIGURA 26.1 & 26.2	GRÁFICO POTS. IN VS FREC. & CALIBRACIÓN VS FREC 57905	65
FIGURA 27.1 & 27.2	GRÁFICO POTS. IN VS FREC. & CALIBRACIÓN VS FREC 57904	65

Índice de Tablas

TABLA 1	CARTA GANTT DE METODOLOGÍA	17
TABLA 2	EXACTITUD EN POTENCIA ANALIZADOR REDES VECTORIALES, AGILENT N5230C	29
TABLA 3	INVENTARIO INSTRUMENTAL RF EN LAB. MICROONDAS Y ANTENAS, UDEC	32
TABLA 4	CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN DE LOS SPECTRAN HF-60105 V4	33
TABLA 5	INSTRUMENTOS PATRÓN DE REFRENCIA DE CALIBRACIÓN EN AARONIA AG	33
TABLA 6	DATOS DE CALIBRACIÓN DEL CERTIFICADO N° 22-3416	34
TABLA 7	BUDGET CALIBRACIÓN PARA DESVIACIÓN V_{DC} EN DMM, FLUKE 87V	37
TABLA 8.1	DESVIACIÓN V_{DC} EN DMM, FLUKE 87V	38
TABLA 8.2	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS (ESPEC. TÉC.) DMM, FLUKE 87V	38
TABLA 9	BUDGET CALIBRACIÓN PARA DESVIACIÓN I_{DC} EN DMM, FLUKE 87V	39
TABLA 10.1	DESVIACIÓN I_{DC} EN DMM, FLUKE 87V	39
TABLA 10.2	ESPEC. TÉC. DEL DMM, FLUKE 87V	39
TABLA 11	FUENTES DE INCERTIDUMBRE TÍPICAS	43
TABLA 12	DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD	45
TABLA 13	GRADOS DE LIBERTAD V/S NIVEL DE CONFIANZA	47
TABLA 14	BUDGET CALIBRACIÓN PARA CALCULAR DESVIACIÓN V_{AC} EN DMM, FLUKE 87V	55
TABLA 15	COMPONENTES DE INCERTIDUMBRE TIPO A Y TIPO B	55
TABLA 16	COEFICIENTES SENSIBILIDAD Y CALCULO INCERTIDUMBRE COMBINADA U_C	55
TABLA 17	CÁLCULO INCERTIDUMBRE EXPANDIDA U FÓRMULA WELCH-SATTERHWAITE	56
TABLA 18	COMPARACIÓN ESPEC. TÉC. VS DESVIACIÓN $\pm$ INCERTIDUMBRE	56
TABLA 19	PRESENTACIÓN EN CERTIFICADO V_{AC}	56
TABLA 20	EXTRACTO EXCEL PARA CÁLCULO DESVIACIÓN	57
TABLA 21	EXTRACTO EXCEL PARA CÁLCULO INCERTIDUMBRE TIPO A	59
TABLA 22	EXTRACTO EXCEL PARA CÁLCULO INCERTIDUMBRE TIPO B	59
TABLA 23.1	EXTRACTO EXCEL PARA CÁLCULO INCERTIDUMBRE COMBINADA U_C [DBM]	60
TABLA 23.2	EXTRACTO EXCEL PARA CÁLCULO INCERTIDUMBRE COMBINADA U_C [%]	61
TABLA 24	GRADOS DE LIBERTAD V/S NIVEL DE CONFIANZA FINAL	62
TABLA 25	EXTRACTO EXCEL PARA CÁLCULO INCERTIDUMBRE EXPANDIDA U	63
TABLA 26	EXTRACTO EXCEL PARA ESPECIFICACIONES VS DESVIACIÓN $\pm$ INCERTIDUMBRE	63
TABLA 27	ESPEC. TÉC. FABRICANTE SPECTRAN HF-60105 V4	64
TABLA 28	PUNTOS CRÍTICOS DE ANALIZADORES DE ESPECTROS PORTÁTILES	66

Acrónimos

Mayúsculas

RF	: Radio Frecuencia.
ISO	: International Organization for Standardization (Organización Internacional de Estandarización).
IEC	: International Electrotechnical Commission (Comisión Electrotécnica Internacional).
GUM	: Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medición.
MDT	: Memoria de Título.
INN	: Instituto Nacional de Normalización.
SNA	: Servicio Nacional de Aduanas.
IA	: Inteligencia Artificial.
OIML	: Organización Internacional de Metrología Legal.
INS	: Instituto Nacional de Salud.
CEM	: Centro Español de Metrología.
UUT	: Unit Under Test (Unidad Bajo Prueba).
DMM	: Digital Multimeter (Multímetro Digital).
MPC	: Multi-Product Calibrator (Calibrador Multiproducto)
HP	: Hewlett Packard.
R&S	: Rohde & Schwarz.

Minúsculas

Telecom	: Telecomunicaciones.
NCh	: Norma Chilena.
UdeC:	: Universidad de Concepción.
SGC-Lab	: Sistema de Gestión de Calidad de Laboratorios.
Ej.	: ejemplo.
s/c	: sin certificado.
Espec. Téc.	: Especificaciones Técnicas.
In	: entrada

1 Introducción

1.1 Trabajos Previos

1.1.1.- Revisión Bibliográfica

La calibración de instrumentos en Chile debe considerar fuentes académicas, normativas técnicas y estándares internacionales adoptados en el país.

a.- Normativas y Estándares en Chile

Chile cuenta con un marco normativo que regula la calibración de instrumentos, basado en estándares internacionales y supervisado por instituciones como el **Instituto Nacional de Normalización (INN)** y el **Servicio Nacional de Aduanas (SNA)**. Algunas normas relevantes incluyen:

- **Norma Chilena-Organización Internacional de Normalización o Estandarización/Comisión Electrotécnica Internacional (NCh-ISO/IEC) 17025:** Esta norma, adoptada del estándar internacional ISO/IEC 17025, establece los requisitos para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración. Es fundamental para garantizar la trazabilidad y confiabilidad de las mediciones.
- **Decreto Supremo N° 54 (2009):** Regula el sistema nacional de metrología y establece los requisitos para la acreditación de laboratorios de calibración.

b.- Instituciones Involucradas

- **INN:** Organismo encargado de promover y difundir las normas técnicas en Chile, incluyendo aquellas relacionadas con la calibración de instrumentos.
- **SNA:** Supervisa la calibración de instrumentos utilizados en el comercio exterior, como balanzas y medidores de flujo, para garantizar su exactitud y cumplimiento con las normativas internacionales.
- **Laboratorios Acreditados:** En Chile, existen laboratorios acreditados por el INN bajo la NCh-ISO/IEC 17025, especializados en la calibración de instrumentos de medición en diversas áreas, incluyendo RF, temperatura, presión, masa, etc.

c.- Investigaciones y Estudios

Aunque la literatura específica sobre calibración de instrumentos en Chile es limitada, algunos estudios y publicaciones destacan la importancia de la metrología y la calibración en el contexto nacional:

- **Estudios sobre Metrología en Chile:** Investigaciones realizadas por universidades chilenas, como la Universidad de Chile y la Pontificia Universidad Católica de Chile, se desarrollan temas relacionados con la metrología y la calibración, especialmente en el ámbito industrial y científico.
- **Publicaciones del INN:** El INN ha publicado guías y manuales sobre la implementación de la NCh-ISO/IEC 17025, que incluyen recomendaciones para la calibración de instrumentos.

d.- Aplicaciones en la Industria

En Chile, la calibración de instrumentos es esencial en sectores como:

- **Minería:** Donde se utilizan instrumentos de medición de presión, eléctricas, temperatura y flujo, etc., que requieren calibración periódica para garantizar la seguridad y eficiencia operativa.
- **Telecomunicaciones (Telecom):** La calibración de equipos de RF es crítica para asegurar la calidad de las señales y el cumplimiento de normativas internacionales.
- **Energía:** En la generación y distribución de energía, la calibración de medidores eléctricos y de flujo es fundamental para garantizar la exactitud en las mediciones.

e.- Desafíos y Oportunidades

- **Acceso a Laboratorios Acreditados:** Aunque Chile cuenta con laboratorios acreditados, en algunas regiones el acceso a servicios de calibración puede ser limitado, lo que representa un desafío para las empresas.
- **Adopción de Tecnologías Avanzadas:** La implementación de técnicas de calibración basadas en inteligencia artificial (IA) y automatización es una oportunidad para mejorar la eficiencia y exactitud en los procesos de calibración.

f.- Referencias Bibliográficas

Algunas fuentes recomendadas para profundizar en el tema incluyen:

- **INN:** Documentos técnicos y guías sobre la NCh-ISO/IEC 17025.
- **SNA:** Regulaciones y normativas relacionadas con la calibración de instrumentos en el comercio exterior.
- **Publicaciones Académicas:** Artículos y tesis de universidades chilenas sobre metrología y calibración.
- **Organización Internacional de Metrología Legal (OIML):** Estándares internacionales adoptados en Chile.

1.1.2.- Discusión

Esta revisión bibliográfica realizada permite establecer un marco teórico robusto que sustenta la necesidad y la metodología de la MDT.

Uno de los pilares fundamentales en los procesos de calibración es el cumplimiento de los requisitos normativos internacionales, siendo la NCh-ISO/IEC 17025 el estándar de referencia para la competencia técnica de los laboratorios de ensayo y calibración. Según la NCh-ISO 17025:2001 [1], un laboratorio debe demostrar que es técnicamente competente y que sus resultados son técnicamente válidos. Esta normativa ha sido posteriormente actualizada en su versión NCh-ISO/IEC 17025:2017, la cual enfatiza un enfoque basado en procesos y en la gestión del riesgo, tal como se detalla en los documentos de Sistema de Gestión de Calidad de Laboratorios (SGC-Lab) [2]. Esta transición refleja la evolución en las prácticas metrológicas y la necesidad de mayor robustez en los sistemas de gestión de calidad.

En la misma línea, el Instituto Nacional de Salud (INS) plantea estrategias clave para definir planes de confirmación metrológica, lo cual es relevante al momento de planificar la calibración de instrumentos de RF, ya que permite identificar los equipos críticos, definir frecuencias de calibración y criterios de aceptación basados en el riesgo y el impacto en los procesos [3].

Un aspecto técnico clave en cualquier proceso de calibración es la adecuada cuantificación de la incertidumbre de medida, lo cual garantiza la validez de los resultados obtenidos. La GUM, proporcionada por el Centro Español de Metrología (CEM) [4], entrega un marco metodológico ampliamente aceptado para evaluar y combinar las distintas fuentes de incertidumbre presentes en una medición. Este aspecto es especialmente crítico en la calibración de instrumentos de RF, donde factores como la impedancia característica, el acoplamiento, las pérdidas por cable y la variación por frecuencia pueden tener un impacto significativo.

Además, desde una perspectiva más amplia, el INN [5] promueve el desarrollo de normativas técnicas que permiten establecer criterios homogéneos para los procesos de calibración y certificación, alineando así las prácticas locales con estándares internacionales. La metrología también se relaciona con el cumplimiento regulatorio, como se menciona en documentos del SNA [6], donde se establece la importancia del control técnico de instrumentos y productos importados, que en muchos casos dependen de mediciones exactas en frecuencias de bandas altas.

Desde un enfoque técnico-divulgativo, publicaciones como las de ElectroIndustria destacan la importancia de la metrología y calibración en la vida cotidiana [9] y en la industria [10], subrayando cómo la falta de calibración puede llevar a errores graves en aplicaciones de Telecom, seguridad electrónica y control de procesos. Estas fuentes también refuerzan la necesidad de contar con personal habilitado y procedimientos estandarizados, como los que se buscan establecer en esta MDT.

En conjunto, esta discusión bibliográfica permite evidenciar que la calibración en RF no solo es una necesidad técnica, sino también una exigencia normativa y estratégica para asegurar la calidad de los productos y servicios. La MDT, por tanto, se apoya en un marco teórico y práctico sólido que justifica la implementación de procedimientos de calibración trazables, confiables y en conformidad con las normativas internacionales.

1.2 Definición del Problema

1.2.1.- Introducción

En aplicaciones donde las señales de RF son críticas; incluyendo Telecom, sistemas de defensa, dispositivos médicos electrónicos e industrias de alta tecnología, la exactitud metrológica y la consistencia de las mediciones constituyen parámetros clave para asegurar la integridad operativa y la eficiencia de los sistemas. Sin embargo, se observa que, en muchos casos, los procedimientos de calibración instrumental de RF son insuficientes, inexistentes o poco sistematizados. Esto genera riesgos significativos como errores de medición, incumplimiento normativo, ineficiencias técnicas, etc.

Dado que los instrumentos de medición en RF, como Analizadores de Espectros, Generadores de Señales y Medidores de Potencia, son altamente sensibles y pueden desviarse con el tiempo, su calibración periódica, basada en normas reconocidas como la ISO/IEC 17025, es indispensable para asegurar resultados válidos y trazables. En este contexto, se vuelve prioritario establecer un procedimiento de calibración técnico, normativo y operativo que permita abordar esta necesidad con criterios de calidad, eficiencia y seguridad.

1.3 Objetivos

1.3.1.- Objetivo General

Desarrollar e implementar un procedimiento técnico y normativo para la calibración de instrumentos de medición en RF, que garantice la trazabilidad metrológica, cumpla con los requisitos de la NCh-ISO/IEC 17025:2017 y mejore la confiabilidad de las mediciones en entornos profesionales.

1.3.2.- Objetivos Específicos

- Identificar instrumentos de medición de RF críticos en el entorno de trabajo seleccionado.
- Analizar requisitos técnicos y normativos aplicables, con énfasis en la ISO/IEC 17025 y GUM.
- Revisar procedimientos estandarizados de calibración para instrumentos de RF, incluyendo frecuencias, criterios de aceptación y tolerancias.
- Validar procedimiento mediante la aplicación práctica en un entorno real, evaluando resultados, mejoras y desviaciones.

1.4 Metodología

Para el desarrollo de la MDT se adoptará una metodología de tipo aplicada, con enfoque cualitativo y cuantitativo, desarrollada en las siguientes etapas:

- **Diagnóstico inicial:** Se recopila información del instrumental de RF existente en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería, UdeC, sus condiciones actuales y se revisa su calibración.
- **Revisión normativa y técnica:** Se estudia la ISO/IEC 17025, guías de metrología y manuales de fabricantes.
- **Diseño del procedimiento:** Se elabora el procedimiento de calibración paso a paso (Budget de Calibración), incluyendo formatos de registro, cálculos de incertidumbre y criterios de aceptación.
- **Implementación piloto:** Se aplica el procedimiento en al menos un instrumento clave, registrando resultados y analizando desviaciones.
- **Evaluación y validación:** Se comparan los resultados, se verifica la trazabilidad, se realiza retroalimentación técnica y se efectúan ajustes finales.
- **Documentación:** Se genera el informe final con el procedimiento técnico, los resultados obtenidos y las recomendaciones para su adopción institucional.

Tabla 1: Carta Gantt de Metodología

Meses		Agosto 2025				Septiembre 2025				Octubre 2025				Noviembre 2025				Diciembre 2025			
Semanas		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Actividades																					
1	Informe Final I-2025																				
	- Repasar Cálculo de Incertidumbre																				
	- Repasar Cálculo de Desviación																				
	- Revisar Listado Puntos Críticos																				
2	Cálculo Incertidumbre Práctico																				
	- Cálculo de Incertidumbre con énfasis en fuentes y su evaluación																				
3	Budget de Calibración del Analizador de Espectro Portátil																				
	- Med. efectuadas en Serie = 60812																				
	- Med. efectuadas en Serie = 60809																				
	- Med. efectuadas en Serie = 57904																				
	- Med. efectuadas en Serie = 57905																				
	- Preparación de Presentación de Informe de Avance																				
4	Preparación de Informe Final																				
	- Diseño del procedimiento																				
	- Implementación piloto																				
	- Evaluación y validación																				
	- Documentación																				
	- Entrega Informe Final																				

1.5 Alcances y Limitaciones

1.5.1.- Alcances

- Se centrará en la calibración de instrumentos electrónicos utilizados en el rango de RF (de aproximadamente 10 [kHz] a 18 [GHz]).
- Se abordarán los principios técnicos de calibración, el análisis de incertidumbre, la trazabilidad metrológica y la documentación conforme a la NCh-ISO/IEC 17025:2017.
- El procedimiento diseñado será aplicable a laboratorios, centros de servicio técnico y unidades de mantenimiento electrónico.

1.5.2.- Limitaciones

- No se contempla la certificación oficial ante organismos de acreditación, se establece un modelo de implementación.
- Se limita a equipos disponibles en el entorno laboral; no se considera instrumental especializado de laboratorio de alta gama.
- No se desarrollará software específico, aunque se utilizarán hojas de cálculo para el cálculo de desviaciones, incertidumbres y registro de datos.

2 Marco Teórico

2.1 Introducción

La calibración instrumental en RF constituye una de las áreas más críticas de la metrología eléctrica, debido a la alta sensibilidad y complejidad de las señales que se manipulan en este rango de frecuencias. La exactitud de las mediciones en RF es esencial para garantizar la calidad, la confiabilidad y la trazabilidad de los resultados obtenidos en sectores como las Telecom, la defensa, la medicina y la investigación científica.

En este contexto, la metrología aplicada a la RF busca establecer procedimientos estandarizados que aseguren que los instrumentos de medición, como Analizadores de Espectros, Generadores de Señales o Medidores de Potencia, funcionen dentro de los parámetros especificados por el fabricante y conforme a las normativas internacionales, principalmente la NCh-ISO/IEC 17025:2017 y la GUM.

El presente marco teórico aborda los fundamentos conceptuales y matemáticos que sustentan la calibración de instrumentos de RF, incluyendo definiciones clave, modelos de medición, formulaciones matemáticas y metodologías reconocidas para la evaluación de la incertidumbre y la trazabilidad metrológica.

La calibración de instrumentos electrónicos en RF es crucial por varias razones:

Exactitud y Precisión: Los instrumentos de RF, como Analizadores de Espectros, Generadores de Señales o Medidores de Potencia, deben proporcionar mediciones exactas y precisas. La calibración asegura que estos instrumentos funcionen dentro de las Especificaciones del Fabricante y que las mediciones sean confiables.

Cumplimiento de Normas: Muchas industrias, como las de Telecom, la defensa y la medicina, están reguladas por estándares internacionales que requieren mediciones exactas. La calibración regular ayuda a cumplir con estas normas y a evitar sanciones o rechazos de productos.

Consistencia en las Mediciones: La calibración garantiza que las mediciones sean consistentes a lo largo del tiempo y entre diferentes instrumentos. Esto es especialmente importante en entornos donde múltiples dispositivos deben operar en conjunto o donde las mediciones se comparan longitudinalmente.

Detección de Desviaciones: Con el uso continuo, los instrumentos pueden desviarse de sus especificaciones originales. La calibración regular permite detectar y corregir estas desviaciones antes de que afecten significativamente los resultados.

Optimización del Rendimiento: La calibración no solo corrige errores, sino que también puede optimizar el rendimiento del instrumento, asegurando que opere en su máxima capacidad.

Reducción de Costos: Identificar y corregir problemas de forma temprana mediante la calibración puede prevenir fallas y reducir el tiempo de inactividad en operaciones críticas.

Garantía de Calidad: En la fabricación y desarrollo de productos, la calibración es parte integral de los sistemas de gestión de calidad, asegurando que los productos finales cumplan con las especificaciones requeridas.

Seguridad: En aplicaciones donde la RF se utiliza para comunicaciones críticas o en equipos médicos, la exactitud es vital para la seguridad. La calibración permite evitar errores con posibles consecuencias graves.

2.2 Definición y Conceptos clave

En primer lugar, se efectúa un análisis de los conceptos básicos, tales como, Calibración, Ajuste, Certificación, Mantenimiento, Verificación, Recalibración, Desviación, Incertidumbre y Trazabilidad.

a.- Calibración:

Es un proceso metrológico que consiste en comparar las mediciones realizadas por un instrumento o sistema de medición con un patrón de referencia conocido y trazable, con el objetivo de determinar y, si es necesario, ajustar la exactitud del instrumento. La Calibración es el cálculo de la Desviación e Incertidumbre de un instrumento. Este proceso permite asegurar que las mediciones obtenidas sean confiables y consistentes con los estándares internacionales.

Elementos clave de la Calibración:

- **Instrumento unidad bajo prueba (UUT):** Dispositivo o sistema cuya exactitud se desea verificar.
- **Patrón de referencia:** Dispositivo o material de referencia con una exactitud conocida y superior al instrumento que se calibra. Este patrón debe estar trazable a estándares nacionales o internacionales.

- **Procedimiento de Calibración:** Conjunto de pasos y métodos que se siguen para comparar las mediciones del Instrumento UUT con las del Patrón de referencia.
- **Certificado de Calibración:** Documento que registra los resultados de la calibración, incluyendo las desviaciones e incertidumbres encontradas y cualquier ajuste realizado.

b.- Ajuste:

Es un proceso mediante el cual se calibra o se configura un instrumento, dispositivo o sistema para que funcione de manera exacta y precisa según las especificaciones deseadas. Este proceso implica comparar las mediciones o respuestas del instrumento con un estándar conocido y realizar modificaciones para corregir cualquier desviación o error. El objetivo del Ajuste es garantizar que el instrumento proporcione resultados confiables y exactos en su uso cotidiano. Este ajuste puede ser realizado por el operador en forma manual o automática (instrumentos de última generación).

c.- Certificación:

Es un proceso mediante el cual una entidad autorizada y reconocida (organismo de certificación) verifica y confirma que un producto, servicio, sistema, proceso o persona cumple con los requisitos, normas o estándares específicos establecidos. Este proceso implica una evaluación rigurosa, que puede incluir pruebas, inspecciones, auditorías y revisiones documentales, para garantizar que el producto de la Certificación cumple con los criterios definidos.

Tiene como objetivo principal:

- **Garantizar la calidad y seguridad:** Asegurar que un producto o servicio cumple con los estándares de calidad y seguridad requeridos.
- **Generar confianza:** Proporcionar a los usuarios, clientes o reguladores la seguridad de que el producto o servicio es confiable y cumple con las expectativas.
- **Cumplimiento normativo:** Verificar que se cumplen las regulaciones o normativas aplicables en un sector específico.
- **Facilitar el comercio internacional:** La Certificación puede ser un requisito para la comercialización de productos en diferentes países, especialmente cuando existen normas internacionales.

d.- Mantención o Mantenimiento:

Se refiere al conjunto de actividades, acciones y procedimientos realizados de manera planificada y sistemática para preservar, conservar o restaurar un equipo, sistema o infraestructura, con el fin de garantizar su correcto funcionamiento, prolongar su vida útil y prevenir fallas o deterioros.

La Mantención es esencial en cualquier ámbito donde se utilicen herramientas, maquinarias o dispositivos, ya que permite asegurar su eficiencia, seguridad y confiabilidad.

La Mantención puede clasificarse en varios tipos, dependiendo de su objetivo y momento de aplicación:

- **Mantención Preventiva:** Acciones planificadas para evitar fallas o deterioros. Incluye revisiones periódicas, limpieza, lubricación y ajustes.
- **Mantención Correctiva:** Intervenciones realizadas para reparar o corregir fallas una vez que estas han ocurrido.
- **Mantención Predictiva:** Monitoreo constante del equipo para detectar señales de posibles fallas y actuar antes de que ocurran.
- **Mantención Proactiva:** Identificación y eliminación de las causas raíz de las fallas para evitar que se repitan.

e.- Verificación:

Es un proceso sistemático que consiste en confirmar que un producto, sistema, componente o herramienta cumple con los requisitos, especificaciones o normas establecidas. Este proceso se realiza mediante la revisión, medición, comparación o análisis de evidencias objetivas para asegurar que el producto en cuestión funciona correctamente y dentro de los parámetros esperados.

f.- Recalibración:

Es un proceso técnico que consiste en ajustar y verificar la exactitud de un instrumento de medición (UUT), comparándolo con un estándar de referencia conocido y realizando los ajustes necesarios para garantizar que las mediciones sean confiables y exactas. Este proceso es esencial para mantener la integridad de los datos y asegurar que los instrumentos funcionen dentro de los límites de tolerancia especificados por el fabricante o por normas internacionales.

Es necesaria porque, con el tiempo, los instrumentos pueden desviarse de su calibración original debido a factores como el desgaste, cambios ambientales (temperatura, humedad, etc.), o el envejecimiento de los componentes electrónicos. La frecuencia de Recalibración depende del uso del instrumento, las condiciones de operación y los requisitos de exactitud.

g.- Desviación:

Se refiere a la diferencia entre el valor medido por un instrumento y el valor real o esperado de la magnitud que se mide. Esta desviación puede ser causada por diversos factores, como errores sistemáticos, errores aleatorios, imperfecciones en el instrumento, condiciones ambientales, o incluso por el uso incorrecto del instrumento.

La Desviación puede expresarse de varias maneras:

- **Desviación Absoluta:** Es la diferencia entre el valor medido y el valor real, expresada en las mismas unidades que la magnitud medida.

$$\text{Desviación Absoluta} = \text{Valor Medido} - \text{Valor Real} \quad (1)$$

- **Desviación Relativa:** Es la relación entre la Desviación Absoluta y el valor real, generalmente expresada como un porcentaje.

$$\text{Desviación Relativa} = \left(\frac{\text{Desviación Absoluta}}{\text{Valor Real}} \right) \bullet 100\% \quad (2)$$

- **Desviación Estándar:** En el caso de múltiples mediciones, la Desviación Estándar es una medida de la dispersión de los valores medidos alrededor de la media, lo que indica la exactitud del instrumento.

$$\text{Desviación Estándar} = \sqrt{\frac{\sum (\text{Valor Medido} - \text{Valor Promedio})^2}{(n-1)}} \quad (3)$$

h.- Incertidumbre:

Se define como un parámetro asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que pueden atribuirse razonablemente al mensurando Y (la cantidad que se mide). En otras palabras, la Incertidumbre cuantifica la duda sobre el valor verdadero de una medición, teniendo en cuenta todos los factores que pueden afectar el resultado.

Se entiende la Incertidumbre como una estimación de los posibles errores presentes en una medición, y no como un error en sí misma. Se expresa generalmente como un intervalo alrededor del valor medido, dentro del cual se espera que se encuentre el valor verdadero con un cierto Nivel de Confianza.

Componentes de la Incertidumbre

- **Incertidumbre Tipo A:** Se evalúa mediante métodos estadísticos, a partir de una serie de observaciones repetidas. (Ej.: La Desviación Estándar de una serie de mediciones).
- **Incertidumbre Tipo B:** Se evalúa por otros medios que no sean el análisis estadístico de series de observaciones. Esto puede incluir información de Especificaciones del Fabricante, calibraciones previas, experiencia, etc.

La Incertidumbre Combinada u_c es la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las incertidumbres tipo A y tipo B.

i.- Trazabilidad:

Es un concepto fundamental en metrología y calidad que se refiere a la capacidad de rastrear y documentar la historia, la ubicación y la aplicación de un producto, instrumento o medición a lo largo de su ciclo de vida. En el contexto de mediciones y equipos de medición, la Trazabilidad implica la vinculación de los resultados de medición a estándares de referencia nacionales o internacionales, a través de una cadena ininterrumpida de comparaciones, todas con incertidumbres determinadas.

Asegura que las mediciones sean consistentes, confiables y comparables, lo que es esencial en aplicaciones críticas como la fabricación, la salud, la seguridad y el comercio internacional. Para lograr la Trazabilidad, se deben seguir procedimientos estandarizados, como calibraciones periódicas, uso de patrones de referencia certificados y documentación detallada.

Elementos Clave de la Trazabilidad

- **Cadena de Comparación:** Una serie de mediciones o calibraciones que vinculan el instrumento UUT con un estándar de referencia.
- **Estándares de Referencia:** Patrones primarios o secundarios que están certificados y reconocidos internacionalmente (Ej.: los mantenidos por institutos nacionales de metrología).
- **Incertidumbre de Medición:** La estimación cuantitativa de la duda asociada a un resultado de medición.
- **Documentación:** Registros detallados que incluyen certificados de calibración, condiciones ambientales, métodos utilizados y resultados obtenidos.

2.3 Modelos y Formulaciones matemáticas

2.3.1.- Desarrollo de Desviación

El proceso de calibración se fundamenta en la formulación matemática de la medición. En términos generales, el mensurando Y se define como una función de las magnitudes de entrada X_i :

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N) \quad (4)$$

El mejor estimado del mensurando y se obtiene evaluando la función en los valores estimados de las magnitudes de entrada x_i :

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_N) \quad (5)$$

En el caso de la calibración de instrumentos de RF, el modelo más común corresponde al modelo de medición directa, en el cual se compara la indicación del instrumento UUT con la de un instrumento patrón. La Desviación o error de medición δ se expresa como:

$$\delta = X_{UUT} - X_{Patrón} \quad (1)$$

donde:

- X_{UUT} : Valor medido por el instrumento UUT.
- $X_{Patrón}$: Valor de referencia proporcionado por el patrón de calibración (patrón de referencia).

2.3.2.- Desarrollo de Incertidumbre

En la evaluación de la Incertidumbre, las fuentes de error pueden provenir de múltiples factores: resolución instrumental, deriva, estabilidad térmica, repetibilidad, entre otros. Para combinar las contribuciones individuales se aplica la **ecuación de propagación de incertidumbres**:

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \left(\frac{df}{dx_i} \right)^2 \bullet u^2(X_i) \quad (6)$$

donde $u_c(y)$ representa la **Incertidumbre Combinada**, y $u(X_i)$ la Incertidumbre Estándar asociada a cada variable de entrada.

Posteriormente, se calcula la **Incertidumbre Expandida** U mediante el Factor de Cobertura k :

$$U = k \bullet u_c(y) \quad (7)$$

Este parámetro se asocia comúnmente a un **Nivel de Confianza del 95.45%**, con $k = 2$.

Para estimar el número efectivo de Grados Efectivos de Libertad V_{eff} se utiliza la fórmula de Welch-Satterthwaite:

$$V_{eff} = \frac{u_c^4(y)}{\sum \frac{u_i^4(y)}{v_i}} \quad (8)$$

lo que permite determinar el valor exacto del Factor de Cobertura k en función del Nivel de Confianza seleccionado.

La validez del modelo de medición y de la incertidumbre asociada garantiza la trazabilidad y comparabilidad internacional de los resultados.

2.4 Metodologías Relevantes

La metodología adoptada para la calibración de instrumentos de RF se sustenta en los siguientes pilares normativos y técnicos:

a.- Norma NCh-ISO/IEC 17025:2017

Establece los requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración, asegurando la trazabilidad de las mediciones, la validez de los resultados y la gestión de la incertidumbre.

b.- Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medición (GUM)

Define los principios, métodos estadísticos y fórmulas para la evaluación de la Incertidumbre Estándar $u(X_i)$, Combinada $u_c(y)$ y Expandida U .

c.- Procedimientos de Calibración y Validación Experimental

- Identificación del instrumento UUT.
- Selección del patrón de referencia trazable.
- Definición del modelo de medición.
- Estimación de la Desviación e Incertidumbre.
- Comparación con las Especificaciones del Fabricante.
- Emisión del Certificado de Calibración.

d.- Enfoque Metrológico en RF

La calibración en RF exige un control riguroso de las condiciones ambientales y de los elementos de conexión (Cables, Adaptadores, Impedancia de 50 [Ω]), dado que cualquier variación puede introducir errores significativos.

De esta manera, la aplicación coherente de los principios de la ISO/IEC 17025 y la GUM permite establecer un procedimiento técnico y estadísticamente válido para la calibración instrumental de RF, garantizando la trazabilidad metrológica y la confiabilidad de los resultados obtenidos.

3 Desarrollo

3.1 Introducción

El avance tecnológico en los sistemas electrónicos y de Telecom ha generado una creciente demanda de mediciones exactas y confiables en el dominio de la RF. En ámbitos como las Telecom, la defensa, la medicina, la industria manufacturera y el desarrollo científico, se requiere el correcto funcionamiento de instrumentos que operan en este rango de frecuencias. La calibración adecuada de estos instrumentos resulta crucial para asegurar resultados trazables, repetibles y alineados con estándares internacionales.

En este contexto, la calibración instrumental en RF se considera un campo estratégico dentro de la metrología, donde la aplicación de normativas como la NCh-ISO/IEC 17025:2017 y la GUM se vuelve esencial para garantizar la validez técnica de los resultados. A pesar de su importancia, se ha detectado que en muchos entornos laborales los procedimientos de calibración aún son escasos, desactualizados o carecen de estandarización formal.

Con el propósito de responder a esta necesidad, se desarrolla un procedimiento técnico y normativo para la calibración de instrumentos de medición en RF. El procedimiento incluye aspectos clave como la identificación de equipos críticos, el análisis de desviación e incertidumbre, la documentación técnica conforme a normas vigentes y la implementación práctica de un modelo de calibración aplicable en laboratorios.

3.2 Exposición del Tema

A continuación, se detallan los pasos efectuados en el desarrollo de la calibración instrumental en RF:

3.2.1.- Visita al Laboratorio de Calibración de Radiofrecuencia (RF) ASMAR(T)

ASMAR(T) tiene un laboratorio acreditado ante el INN, que calibra instrumental de RF para clientes, fines propios y de la Armada, siendo el único en todo el país. Se realizó una visita al laboratorio de la empresa con el objetivo de identificar los patrones y procedimientos que utilizan en RF, para calibrar los instrumentos.

Se detallan los instrumentos patrones con sus respectivas magnitudes:

a.- Parámetros de Dispersión:

Analizador de Redes Vectoriales:

Marca: Agilent Modelo: N5230C

Rango de Frecuencia: 10 [MHz] - 40 [GHz]

Rango de Potencia: -30 [dBm] a +10 [dBm]

Fecha calibración: enero 2025

Próxima calibración: enero 2026

Exactitud en Frecuencia: ± 0.015 [ppm] (típica, a 25°C)

Exactitud en Potencia:

Tabla 2: Exactitud en Potencia del Analizador de Redes Vectoriales, Agilent N5230C

N5230C - Configurable Test Set and Extended Power Range (Option 425 or 525) Typical				
Descripción	10 [MHz] - 200 [MHz]	200 [MHz] - 2 [GHz]	2 [GHz] - 20 [GHz]	20 [GHz] - 40 [GHz]
Directivity	32 [dB]	55 [dB]	49 [dB]	43 [dB]
Source match	25 [dB]	46 [dB]	42 [dB]	35 [dB]
Load match	24 [dB]	43 [dB]	41 [dB]	37 [dB]
Reflect. tracking	± 0.050 [dB] (+0.02/°C)	± 0.030 [dB] (+0.02/°C)	± 0.040 [dB] (+0.02/°C)	± 0.060 [dB] (+0.02/°C)
Transmission tracking	± 0.10 [dB] (+0.02/°C)	± 0.056 [dB] (+0.02/°C)	± 0.078 [dB] (+0.02/°C)	± 0.107 [dB] (+0.02/°C)

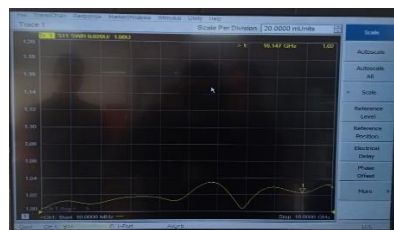


Figura 1.1, 1.2 & 1.3: Pantalla y Analizador de Redes Vectoriales, Agilent N5230C

b.- Potencia:

b1.- Medidor de Potencia:

Marca: Keysight Modelo: N1914A

Rango de Frecuencia: 9 [kHz] - 110 [GHz]

Rango de Potencia: 100 [pW] - 25 [W] (-70 a +44 [dBm])

Fecha calibración: marzo 2025

Próxima calibración: marzo 2026



Figura 2.1 & 2.2: Medidor de Potencia, Keysight N1914A

b2.- Sensor de Potencia:

Marca: Keysight Modelo: E9304A H18

Rango de Frecuencia: 9 [kHz] - 18 [GHz]

Rango de Potencia: 1 [nW] - 100[mW] (-60 a +20 [dBm])

Fecha calibración: marzo 2025

Próxima calibración: marzo 2026



Figura 3: Sensor de Potencia, Keysight E9304A H18

b3.- Sensor de Potencia:

Marca: Agilent Modelo: 8487D

Rango de Frecuencia: 50 [MHz] - 50 [GHz]

Rango de Potencia: 100 [pW] - 10 [μW] (-70 a -20 [dBm])

Fecha calibración: agosto 2024

Próxima calibración: agosto 2025



Figura 4: Sensor de Potencia, Agilent 8487D

c.- Frecuencia:

c1.- Contador de Frecuencia: (posee opción de alta estabilidad de su base de tiempo)

Marca: Agilent Modelo: 53152A

Rango de Frecuencia: 10 [Hz] - 46 [GHz]

Rango de Potencia: hasta +27 [dBm]

Fecha calibración: julio 2022

Próxima calibración: julio 2025



Figura 5.1 & 5.2: Contador de Frecuencia, Agilent 53152A

c2.- Generador de Frecuencia:

Marca: Agilent Modelo: E8257D

Rango de Frecuencia: 250 [kHz] - 40 [GHz]

Rango de Potencia: -13 a +25 [dBm]

Fecha calibración: noviembre 2024

Próxima calibración: septiembre 2025

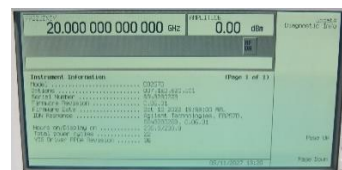


Figura 6.1 & 6.2: Generador de Frecuencia, Agilent E8257D

c3.- Analizador de Espectros:

Marca: Hewlett Packard (HP) Modelo: 8565E

Rango de Frecuencia: 30 [Hz] - 50 [GHz]

Rango de Potencia: hasta +30 [dBm]

Fecha calibración: octubre 2022

Próxima calibración: octubre 2025



Figura 7.1 & 7.2: Analizador de Espectros, Hewlett Packard (HP) 8565E

3.2.2.- Selección del Instrumento a calibrar en Laboratorio de Microondas y Antenas

Se efectúa un inventario de los instrumentos de RF en el Laboratorio de Microondas y Antenas, Facultad de Ingeniería, UdeC, con el fin de tener esta información disponible para seleccionar el instrumento más idóneo a ser calibrado (ver Tabla 3):

Tabla 3: Inventario Instrumental de RF en Laboratorio de Microondas y Antenas, UdeC

Listado Instrumental de Radio Frecuencia en Laboratorio									
Instrumento	Marca	Modelo	Varios	Frecuencia	Potencia	Resoluc.	Exactitud	Estado	Obs.
Generador de Señal RF	Agilent	N9310A	Timebase = 10 [MHz] VSWR < 1.6	9 [kHz] a 3 [GHz] Res = 0.1 [Hz]	-127 a +13 [dBm]	0.1 [dB]	< ±1 [dB]	Operativo	
Analizador de Espectro	Rohde & Schwarz	HMS3010	Timebase = 1 [GHz] VSWR < 1.5	100 [kHz] a 3 [GHz]	máx: +20 [dBm]	-3 [dB] -6 [dB]	± (Freq. • tol. ref.)	Operativo	
Generador de Señal RF	Hewlett Packard	8672A	Timebase = 10 [MHz] VSWR < 2.5	2 [GHz] a 18 [GHz]	-120 a +8 [dBm]	1 [dB]	0.75 [dB]	Operativo	Reparac.
Analizador de Espectro	Hewlett Packard	8569B	Timebase = 22 [GHz] VSWR < 2.0	100 [kHz] a 22 [GHz]	máx: +30 [dBm]	10 [dB]	≤ 1.5 [dB]	Operativo	Reparac.
Medidor y Sensor de Potencia	Agilent	N1913A E4412A	Timebase = 50 [MHz] VSWR = 1.05	10 [MHz] a 18 [GHz]	máx: +20 [dBm]	0.01 [dB]	absol: ±0.02 [dB] relat: ±0.04 [dB]	Operativo	
Analizador de Espectro HF	Aaronia AG	SPECTRAN HF-60105 v4	Portable	1 [MHz] a 9.4 [GHz]	+20[dBm] (opt.:+40[dBm])		+/- 1 [dB] (tipico)	Operativo	cal. 3 años
Antenas de Analiz. Espec.	Aaronia AG	HyperLOG 60100	VSWR < 2.5 (típico) Ganancia = 5 [dBi] (típico) Diseño = Log-periodical	680 [MHz] a 10 [GHz]				Operativo	cal. 3 años
Antenas de Analiz. Espec.	Aaronia AG	OmniLOG 90200	VSWR < 3:1 Diseño = Omnidireccional	700 [MHz] a 2.5 [GHz]				Operativo	cal. 3 años
Antenas de Analiz. Espec.	Aaronia AG	OmniLOG 30800	VSWR =3:1 Diseño = Omnidireccional	300 [MHz] a 8 [GHz]				Operativo	cal. 3 años

A partir del inventario del instrumental de RF elaborado en el Laboratorio de Microondas y Antenas, Facultad de Ingeniería, UdeC, en coordinación con el Profesor Guía se seleccionó el instrumento Analizador de Espectros Portátil, Aaronia AG, Spectran HF-60105 v4, para efectuar su calibración.

3.2.3.- Revisión y selección del Certificado de Calibración de los Analizadores de Espectros Portátiles, Aaronia AG, Spectran HF-60105 v4.

Los Certificados de Calibración que cuenta el Laboratorio de Microondas y Antenas (ver Tabla 4):

Tabla 4: Certificados de Calibración de los Spectran HF-60105 v4

Instrumento	Fabricante	Modelo	Número Serie	Número Certificado	Calibración antigua	Calibración nueva
Spectran v4 Handheld	Aaronia AG	HF-60105	60812	22-3419	18/02/2022	11/06/2025
Spectran v4 Handheld	Aaronia AG	HF-60105	60809	22-3416	16/02/2022	19/08/2025
Spectran v4 Handheld	Aaronia AG	HF-60105	57905	s/c	s/c	26/08/2025
Spectran v4 Handheld	Aaronia AG	HF-60105	57904	s/c	s/c	02/09/2025

s/c: sin certificado.

Estos instrumentos fueron calibrados en base al Patrón de referencia (ver Tabla 5):

Tabla 5: Instrumentos Patrón de referencia de Calibración en Aaronia AG

Ítem	Tipo	Nº Serie	Nº Certificado	Termino Calibración
Sensor Potencia Selectivo Frec. Sensor Potencia	Rohde & Schwarz (R&S) NRQ-6 R&S NRP-Z31	101828	20-950680-C	19/02/2022

1.- Sensor de Potencia Selectivo de Frecuencia:

- Fabricante = R&S, Modelo = NRQ-6
- Rango Frecuencia = 50 [MHz] - 6 [GHz].



2.- Sensor de Potencia:

- Fabricante = R&S, Modelo = NRP-Z31
- Rango Frecuencia = 10 [MHz] - 33 [GHz]
- Conector de Salida = sma (3.5 [mm])
- Resolución de Salida = 0.001 [dBm]
- Rango de Salida = -67 a +23 [dBm].



Además, se detalla el Certificado de Calibración emitido por Aaronia AG, para el Spectran HF-60105 v4, número de Serie = 60809, el instrumento fue calibrado el 16 de febrero del 2022, con número de Certificado = 22-3416 (ver Tabla 6).

Tabla 6: Datos de Calibración del Certificado N° 22-3416

Device Serial	SweepTime	Span	RBW	Attenuator	Frq-Offset	Power
60809	100 [ms]	10 [MHz]	3 [MHz]	0 [dB]	2 [MHz]	-20 [dBm]

Frequency [MHz]	Value [dBm]	Difference [dBm]	Powerlevel [dBm]
100	-19,8532	-0,1468	-20
200	-20,0117	0,0117	-20
300	-20,0252	0,0252	-20
400	-20,0011	0,0011	-20
500	-19,9985	-0,0015	-20
600	-20,0107	0,0107	-20
700	-20,0215	0,0215	-20
800	-20,0203	0,0207	-20
900	-19,9925	-0,0075	-20
1000	-20,0018	0,0018	-20

Frequency [MHz]	Value [dBm]	Difference [dBm]	Powerlevel [dBm]
1100	-19,9883	-0,0116634	-20
1200	-20,0044	0,00435066	-20
1300	-19,9933	-0,00673103	-20
1400	-20,0358	0,0357685	-20
1500	-19,9856	-0,0144348	-20
1600	-19,9989	-0,00108528	-20
1700	-20,0075	0,00748062	-20
1800	-20,0268	0,0268269	-20
1900	-19,9952	-0,00484848	-20
2000	-20,0511	0,0511074	-20

Frequency [MHz]	Value [dBm]	Difference [dBm]	Powerlevel [dBm]
2100	-20,0066	0,00660324	-20
2200	-20,011	0,0110455	-20
2300	-19,996	-0,00396347	-20
2400	-20,0013	0,00127602	-20
2500	-20,0259	0,025898	-20
2600	-20,0019	0,00193024	-20
2700	-19,995	-0,00496674	-20
2800	-20,004	0,0039959	-20
2900	-20,0023	0,00231743	-20
3000	-20,046	0,0460129	-20

Frequency [MHz]	Value [dBm]	Difference [dBm]	Powerlevel [dBm]
3100	-20,0058	0,00580788	-20
3200	-20,0083	0,00826645	-20
3300	-20,0048	0,00483894	-20
3400	-20,0118	0,0118256	-20
3500	-20,0037	0,00367165	-20
3600	-20,001	0,000995636	-20
3700	-20,0036	0,00358009	-20
3800	-20,0271	0,0270901	-20
3900	-20,0096	0,00964165	-20
4000	-19,989	-0,0110092	-20

Frequency [MHz]	Value [dBm]	Difference [dBm]	Powerlevel [dBm]
4100	-19,9933	-0,0067215	-20
4200	-20,0136	0,0135841	-20
4300	-20,0075	0,00749397	-20
4400	-20,0134	0,0134487	-20
4500	-20,0139	0,0138702	-20
4600	-20,0176	0,0175781	-20
4700	-20,005	0,00502586	-20
4800	-20,0054	0,00535583	-20
4900	-20,0138	0,0138474	-20
5000	-20,0042	0,00424957	-20

Frequency [MHz]	Value [dBm]	Difference [dBm]	Powerlevel [dBm]
5100	-20,0063	0,00634956	-20
5200	-19,9994	-0,000597	-20
5300	-20,0032	0,00322151	-20
5400	-20,0025	0,00246429	-20
5500	-20,0125	0,0125084	-20
5600	-20,0038	0,00380135	-20
5700	-19,9827	-0,0173397	-20
5800	-19,8742	-0,125799	-20
5900	-19,9943	-0,00569153	-20
6000	-19,9998	-0,000185013	-20

Frequency [MHz]	Value [dBm]	Difference [dBm]	Powerlevel [dBm]
6100	-20,0098	0,00976562	-20
6200	-19,9896	-0,0104465	-20
6300	-20,004	0,0039978	-20
6400	-20,0213	0,0212574	-20
6500	-20,0053	0,00529289	-20
6600	-20,0001	0,000133514	-20
6700	-20,0043	0,0043354	-20
6800	-20,0067	0,00668907	-20
6900	-19,9996	-0,000383377	-20
7000	-20,0087	0,00868988	-20

Frequency [MHz]	Value [dBm]	Difference [dBm]	Powerlevel [dBm]
7100	-19,9877	-0,0122967	-20
7200	-19,9841	-0,0159092	-20
7300	-20,0093	0,00925636	-20
7400	-20,0119	0,0118675	-20
7500	-19,9938	-0,00621414	-20
7600	-20,0014	0,00136566	-20
7700	-20,0161	0,0160694	-20
7800	-19,9868	-0,0131836	-20
7900	-20,0054	0,00538063	-20
8000	-20,0734	0,0733776	-20

Frequency [MHz]	Value [dBm]	Difference [dBm]	Powerlevel [dBm]
8100	-19,9972	-0,00284958	-20
8200	-20,0039	0,00387383	-20
8300	-19,9816	-0,0183945	-20
8400	-19,9891	-0,0109444	-20
8500	-20,0396	0,03965	-20
8600	-20,005	0,00495911	-20
8700	-19,9941	-0,00590324	-20

Frequency [MHz]	Value [dBm]	Difference [dBm]	Powerlevel [dBm]
8800	-20,0021	0,00213623	-20
8900	-20,0107	0,0106754	-20
9000	-20,0026	0,00262642	-20
9100	-20,0285	0,0284843	-20
9200	-19,9957	-0,0042572	-20
9300	-20,0007	0,000679016	-20
9395	-20,0058	0,00575829	-20

3.2.4.- Ejemplos de Budget de Calibración para el Cálculo de Desviación

Como punto de partida para el desarrollo del Budget de Calibración del Analizador de Espectros Portátil, Aaronia AG, Spectran HF-60105 v4, se efectúan ejercicios preliminares con el propósito de analizar la mecánica para obtener la desviación de un instrumento. Para ello, se utiliza un Digital Multimeter (DMM), Fluke 87V como instrumento UUT en las magnitudes de Voltaje Continuo (V_{DC}) y Corriente Continua (I_{DC}), calibrado con un Multi-Product Calibrator (MPC), Fluke 5522A como patrón de referencia.



Figura 8.1: Calibrador Multiproducto (MPC), Fluke 5522A (Patrón)

Detailed Specifications

DC Voltage

Range	Absolute Uncertainty, $t_{cal} \pm 5^{\circ}C$ $\pm$ (ppm of output $\pm \mu V$)		Stability 24 hours, $\pm 1^{\circ}C$ $\pm$ (ppm of output $\pm \mu V$)	Resolution μV	Max Burden ^[1]
	90 days	1 year			
0 to 329.9999 mV	15 + 1	20 + 1	3 + 1	0.1	65 Ω
0 to 3.299999 V	9 + 2	11 + 2	2 + 1.5	1	10 mA
0 to 32.99999 V	10 + 20	12 + 20	2 + 15	10	10 mA
30 to 329.9999 V	15 + 150	18 + 150	2.5 + 100	100	5 mA
100 to 1020.000 V	15 + 1500	18 + 1500	3 + 300	1000	5 mA
Auxiliary Output (dual output mode only) ^[2]					
0 to 329.9999 mV	300 + 350	400 + 350	30 + 100	1	5 mA
0.33 to 3.299999 V	300 + 350	400 + 350	30 + 100	10	5 mA
3.3 to 7 V	300 + 350	400 + 350	30 + 100	100	5 mA
TC Simulate and Measure in Linear 10 $\mu V/^{\circ}C$ and 1 mV/ $^{\circ}C$ modes ^[3]					
0 to 329.9999 mV	40 + 3	50 + 3	5 + 2	0.1	10 Ω

[1] Remote sensing is not provided. Output resistance is $< 5 m\Omega$ for outputs $> 0.33 V$. The AUX output has an output resistance of $< 1 \Omega$. TC simulation has an output impedance of $10 \Omega \pm 1 \Omega$.

[2] Two channels of dc voltage output are provided.

[3] TC simulating and measuring are not specified for operation in electromagnetic fields above 0.4 v/m.

DC Current

Range	Absolute Uncertainty, $t_{cal} \pm 5^{\circ}C$ $\pm$ (ppm of output $\pm \mu A$)		Resolution	Max Compliance Voltage V	Max Inductive Load mH
	90 days	1 year			
0 to 329.999 μA	120 + 0.02	150 + 0.02	1 nA	10	400
0 to 3.29999 mA	80 + 0.05	100 + 0.05	0.01 μA	10	
0 to 32.9999 mA	80 + 0.25	100 + 0.25	0.1 μA	7	
0 to 329.999 mA	80 + 2.5	100 + 2.5	1 μA	7	
0 to 1.09999 A	160 + 40	200 + 40	10 μA	6	
1.1 to 2.99999 A	300 + 40	380 + 40	10 μA	6	
0 to 10.9999 A (20 A Range)	380 + 500	500 + 500	100 μA	4	
11 to 20.5 A ^[1]	800 + 750 ^[2]	1000 + 750 ^[2]	100 μA	4	

[1] Duty Cycle: Currents $< 11 A$ may be provided continuously. For currents $> 11 A$, see Figure 1. The current may be provided Formula 60-T-1 minutes any 60 minute period where T is the temperature in $^{\circ}C$ (room temperature is about $23^{\circ}C$) and I is the output current in amperes. For example, 17 A, at $23^{\circ}C$ could be provided for 60-23-17 = 20 minutes each hour. When the 5522A is outputting currents between 5 and 11 amps for long periods, the internal self-heating reduces the duty cycle. Under those conditions, the allowable 'on' time indicated by the formula and Figure 1 is achieved only after the 5522A is outputting currents $< 5 A$ for the 'off' period first.

[2] Floor specification is 1500 μA within 30 seconds of selecting operate. For operating times > 30 seconds, the floor specification is 750 μA .

Figura 8.2 & 8.3: Especificaciones del MPC, Fluke 5522A (Patrón)



Figura 9.1: Multímetro Digital (DMM), Fluke 87V (UUT)

Specifications

Function	Range	Resolution	Accuracy*
$\overline{V}$	4.000V 40.00 V 400.0 V 1000 V	0.001V 0.01 V 0.1 V 1 V	$\pm(0.1\% + 1)$ $\pm(0.1\% + 1)$ $\pm(0.1\% + 1)$ $\pm(0.1\% + 1)$
$\overline{mV}$	400.0 mV	0.1 mV	$\pm(0.1\% + 1)$
Ω	400.0 Ω 4.000 k Ω 40.00 k Ω 400.0 k Ω 4.000 M Ω 40.00 M Ω 40.00 nS	0.1 Ω 0.001 k Ω 0.01 k Ω 0.1 k Ω 0.001 M Ω 0.01 M Ω 0.01 nS	$\pm(0.2\% + 2)^{**}$ $\pm(0.2\% + 1)$ $\pm(0.2\% + 1)$ $\pm(0.6\% + 1)$ $\pm(0.6\% + 1)$ $\pm(1\% + 3)$ $\pm(1\% + 10)$

Function	Range	Resolution	Accuracy	Burden Voltage (typical)
$\sim \uparrow$ μA (45 Hz to 2 kHz)	400.0 μA 4000 μA	0.1 μA 1 μA	$\pm(1.0\% + 2)$ $\pm(1.0\% + 2)$	100 $\mu V/\mu A$ 100 $\mu V/\mu A$
$\overline{\mu A}$	400.0 μA 4000 μA	0.1 μA 1 μA	$\pm(0.2\% + 3)$ $\pm(0.2\% + 2)$	100 $\mu V/\mu A$ 100 $\mu V/\mu A$

Function	Range	Resolution	Accuracy*	Burden Voltage (typical)
mA $\uparrow$ A $\sim$ (45 Hz to 2 kHz)	40.00 mA 400.0 mA 4000 mA 10.00A $\uparrow\uparrow$	0.01 mA 0.1 mA 1 mA 0.01A	$\pm(1.0\% + 2)$ $\pm(1.0\% + 2)$ $\pm(1.0\% + 2)$ $\pm(1.0\% + 2)$	1.8 mV/mA 1.8 mV/mA 0.03 V/A 0.03 V/A
mA A $\overline{}$	40.00 mA 400.0 mA 4000 mA 10.00 A $\uparrow\uparrow$	0.01 mA 0.1 mA 1 mA 0.01A	$\pm(0.2\% + 2)$ $\pm(0.2\% + 2)$ $\pm(0.2\% + 2)$ $\pm(0.2\% + 2)$	1.8 mV/mA 1.8 mV/mA 0.03 V/A 0.03 V/A

Figura 9.2, 9.3 & 9.4: Especificaciones del DMM, Fluke 87V (UUT)

Tabla 7: Budget de Calibración para Desviación V_{DC} en DMM, Fluke 87V

Desviación Fluke 87V en Vdc							
Calibrador Fluke 5522A			Fluke 87V			Desviación Fluke 87V	
Rango [V]	Resolución [V]	Valor Nominal [V]	Rango [V]	Resolución [V]	Valor Medido [V]	Voltaje [V]	Porcentaje [%]
0 - 0,3299999	1E-07	100,0000E-03	0,4000	1E-04	99,9E-03	-100E-06	-0,10
0 - 3,299999	1E-06	400,000E-03	0,4000	1E-04	399,7E-03	-300E-06	-0,08
0 - 3,299999	1E-06	1,000000	4,000	1E-03	1,001	0,001	0,10
0 - 32,99999	1E-05	4,00000	4,000	1E-03	4,002	0,002	0,05
0 - 32,99999	1E-05	10,00000	40,00	1E-02	10,01	0,01	0,10
30 - 329,9999	1E-04	40,0000	40,00	1E-02	39,99	-0,01	-0,02
30 - 329,9999	1E-04	100,0000	400,0	1E-01	99,9	-0,1	-0,10
100 - 1020,000	1E-03	400,000	400,0	1E-01	400,2	0,2	0,05
100 - 1020,000	1E-03	700,000	1000	1	700	0	0,00
100 - 1020,000	1E-03	900,000	1000	1	900	0	0,00

- Los valores del patrón de referencia, MPC, Fluke 5522A (rango y resolución), fueron obtenidos desde las especificaciones del instrumento. (ver Figura 8.2)
- Los valores del instrumento UUT, DMM, Fluke 87V (rango y resolución), fueron obtenidos desde las especificaciones del instrumento. (ver Figura 9.2)
- Para el Cálculo de la Desviación se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Desviación Absoluta (Error)} = \text{Valor Medido (Fluke 87V)} - \text{Valor Nominal (Fluke 5522A)} \quad (1)$$

Una vez, que se tiene la desviación para cada punto medido del instrumento UUT, se compara este valor con las Especificaciones del Fabricante. El valor de desviación obtenido del UUT debe ser menor que el valor de especificaciones del fabricante.

Tabla 8.1 & 8.2: Desviación V_{DC} y Especificaciones Técnicas (Espec. Téc.) del DMM, Fluke 87V

Desviación Fluke 87V		Especificaciones Técnicas Fluke 87V			
Voltaje [V]	Porcentaje [%]	reading [%]	digits [V]	Incertidumbre	
				[V]	[%]
-100E-06	-0,10	0,1	1	0,0002	0,20
-300E-06	-0,08	0,1	1	0,0005	0,12
0,001	0,10	0,1	1	0,002	0,20
0,002	0,05	0,1	1	0,005	0,13
0,01	0,10	0,1	1	0,02	0,20
-0,01	-0,02	0,1	1	0,05	0,12
-0,1	-0,10	0,1	1	0,2	0,20
0,2	0,05	0,1	1	0,5	0,13
0	0,00	0,1	1	1,7	0,24
0	0,00	0,1	1	1,9	0,21

Para las Especificaciones del Fabricante, se utilizan los siguientes valores extraídos desde la columna Accuracy de Specifications (ver Figura 9.2):

$$\pm (0.1\% + 1)$$

$$\pm (\% \text{ reading} + \text{number of least significant digit}) = \pm (\% \text{ valor medido} + \text{resolución}) \quad (9)$$

Desarrollo de cálculo de Desviación Absoluta [V] y Desviación Relativa [%]:

$$[(0.1 \bullet 99.9 \bullet 10^{-03} \text{ [V]})/100] + (1 \bullet 1 \bullet 10^{-04} \text{ [V]}) = 0.00019 \text{ [V]} \approx 0.0002 \text{ [V]}$$

$$(0.0002 \text{ [V]} / 100 \bullet 10^{-03} \text{ [V]}) \bullet 100\% = 0.20\%$$

En este caso particular, se observa en Tablas 8.1 y 8.2, que el valor de desviación del DMM, Fluke 87V (V_{DC}) expresado en porcentaje (este valor se considera en valor absoluto), es siempre menor que las Especificaciones Técnicas (Espec. Téc.) de Incertidumbre del DMM, Fluke 87V (V_{DC}) expresado en porcentaje, por lo tanto, en cuanto a desviación, el instrumento cumple con lo que especifica el fabricante.

Para este Budget de Calibración de I_{DC} , se utiliza el mismo procedimiento anterior, primero se calcula la desviación y se compara con el valor de las Especificaciones del Fabricante.

Tabla 9: Budget de Calibración para Desviación I_{DC} en DMM, Fluke 87V

Desviación Fluke 87V en I_{DC}							
Calibrador Fluke 5522A			Fluke 87V			Desviación Fluke 87V	
Rango [A]	Resolución [A]	Valor Nominal [A]	Rango [A]	Resolución [A]	Valor Medido [A]	Corriente [A]	Porcentaje [%]
0 - 329,999E-06	1E-09	50,000E-06	400,0E-06	1E-07	49,9E-06	-100E-09	-0,20
0 - 3,29999E-03	1E-08	500,00E-06	4,000E-03	1E-06	499E-06	-1E-06	-0,20
0 - 3,29999E-03	1E-08	1,00000E-03	4,000E-03	1E-06	1,001E-03	1E-06	0,10
0 - 32,9999E-03	1E-07	5,0000E-03	40,00E-03	1E-05	5,01E-03	10E-06	0,20
0 - 329,999E-03	1E-06	50,000E-03	400,0E-03	1E-04	49,8E-03	-200E-06	-0,40
0 - 1,09999	1E-05	500,00E-03	4,000	1E-03	499E-03	-1E-03	-0,20
0 - 10,9999	1E-04	5,0000	10,00	1E-02	4,99	-0,01	-0,20
0 - 10,9999	1E-04	9,0000	10,00	1E-02	8,99	-0,01	-0,11

Tabla 10.1 & 10.2: Desviación I_{DC} y Espec. Téc. del DMM, Fluke 87V

Desviación Fluke 87V		Especificaciones Técnicas Fluke 87V			
Corriente [A]	Porcentaje [%]	reading [%]	digits [A]	Incertidumbre	
				[A]	[%]
-100E-09	-0,20	0,2	3	4,00E-07	0,80
-1E-06	-0,20	0,2	2	3,00E-06	0,60
1E-06	0,10	0,2	2	4,00E-06	0,40
10E-06	0,20	0,2	2	3,00E-05	0,60
-200E-06	-0,40	0,2	2	3,00E-04	0,60
-1E-03	-0,20	0,2	2	3,00E-03	0,60
-0,01	-0,20	0,2	2	3,00E-02	0,60
-0,01	-0,11	0,2	2	3,80E-02	0,42

Al igual que en el caso anterior (ver Figuras 8.3, 9.3 & 9.4), se observa en Tablas 10.1 y 10.2, que el valor de desviación del DMM, Fluke 87V (I_{DC}) en porcentaje, es siempre menor que las Espec. Téc. de Incertidumbre del DMM, Fluke 87V (I_{DC}) en porcentaje, por lo tanto, en cuanto a desviación, el instrumento cumple con lo que especifica el fabricante.

3.2.5.- Estimación de la Incertidumbre

3.2.5.1.- Estudio Teórico de Cálculo de Incertidumbre

A continuación, se describe cómo hacer para estimar la incertidumbre de medición basado en la GUM.

- Modelos de Medición

a.- Modelo Físico

El modelo físico pretende estudiar el proceso de la medición de manera exacta y completa. Un modelo físico de la medición consiste en el conjunto de suposiciones sobre el propio mensurando y las variables relevantes para la medición. Estas suposiciones usualmente incluyen los siguientes puntos:

- Relaciones fenomenológicas entre variables.
- Consideraciones sobre el fenómeno como conservación de cantidades, comportamiento temporal, comportamiento espacial, simetrías.

b.- Modelo Matemático

El modelo físico se representa por un modelo descrito con lenguaje matemático, este modelo matemático supone aproximaciones originadas por la representación imperfecta o limitada de las relaciones entre las variables involucradas.

Considerando a la medición como un proceso, se identifican magnitudes de entrada denotadas por el conjunto $\{X_i\}$ expresión en la cual el índice i toma valores entre 1 y el número de magnitudes de entrada N .

La relación entre las magnitudes de entrada y la magnitud de salida, el mensurando Y , se representa como una función:

$$Y = f(\{X_i\}) = f(X_1, X_2, \dots, X_N) \quad (4)$$

Se denota con x_i al mejor estimado de las magnitudes de entrada X_i . El mejor estimado del valor del mensurando y es el resultado de calcular el valor de la función f evaluada en el mejor estimado de cada magnitud de entrada,

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_N) \quad (5)$$

Casos de Modelos Matemáticos

Para la gran mayoría de las mediciones eléctricas se usa el método directo, al cual se puede asociar dos tipos de modelos, dependiendo de la UUT:

- Modelo Medición.
- Modelo Generación.

En esta MDT, se estudia únicamente el modelo de Medición, aplicado al Spectran HF-60105 v4.

b1.- Modelo Medición

En este tipo de modelo se utiliza el siguiente esquema:

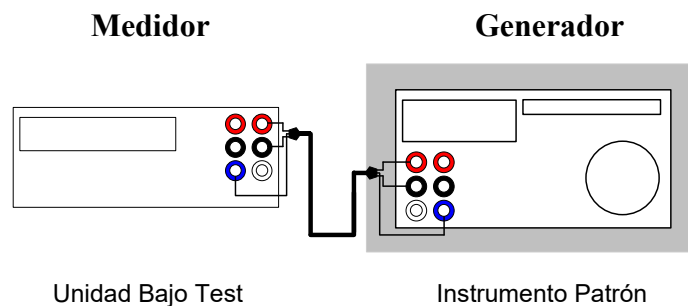


Figura 10: Esquema para Modelo de Medición

En este caso, el patrón corresponde al instrumento que entrega un valor de referencia a la UUT. (Este valor de referencia puede ser de voltaje DC/AC, corriente DC/AC, resistencia o potencia; solo debe cumplirse la condición de que un instrumento patrón proporcione un valor de referencia a la UUT).

Para este tipo de mediciones lo que se busca obtener es el error de medición de la indicación en la UUT con respecto al valor de referencia entregado por el patrón.

De lo anterior se deduce que el modelo matemático aplicado se expresa:

$$Error_{Medición} = Valor_{Medido} - Valor_{Patrón} \quad (1)$$

Asociado a la Unidad Bajo Test Asociado al Patrón de Medición

donde:

Error_{Medición}: Corresponde a la desviación del medidor con respecto al patrón de referencia.

Valor_{Medido}: Corresponde al valor entregado por el instrumento UUT.

Valor_{Patrón}: Corresponde al valor del patrón de referencia.

- Fuentes de Incertidumbre

La incertidumbre del resultado de una medición refleja la falta de conocimiento completo del valor del mensurando. Se requeriría una cantidad infinita de información para obtener un conocimiento completo. Fenómenos que contribuyen a la incertidumbre y así al hecho que el resultado de una medición no puede ser caracterizado por un valor único, son llamados Fuentes de Incertidumbre.

En la práctica hay muchas posibles fuentes de incertidumbre que provienen de los diversos factores involucrados en la medición, algunas fuentes de incertidumbre más típicas son:

- Los resultados de la calibración del instrumento.
- La incertidumbre del patrón de referencia.
- La repetibilidad de las lecturas y la reproducibilidad de las mediciones.
- Características intrínsecas del instrumento de medición, como resolución, histéresis, deriva, drift, etc.
- Variaciones de las condiciones ambientales o de las magnitudes de influencia.
- La definición del propio mensurando.
- El modelo físico y matemático particular de la medición.

No deben descartarse ninguna de las posibles fuentes de incertidumbre sólo por la suposición de que es poco significativa sin una cuantificación previa de su contribución en la incertidumbre final.

En el caso del modelo de medición se pueden considerar, por ejemplo:

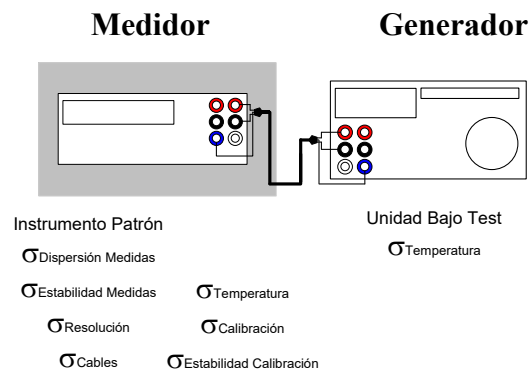


Figura 11: Esquema para Fuentes de Incertidumbre

Tabla 11: Fuentes de Incertidumbre Típicas

Incertidumbre Equipo	Incertidumbre Sistemas		Fuentes de Incertidumbre Individuales
Capacidad de Medición del Usuario	Capacidad de Medición del Laboratorio	Patrón	Trazabilidad (certificado(s))
			Verificaciones (transporte)
			Correcciones (modelo)
			Deriva (tiempo)
			Estabilidad
		Laboratorio	Método (exactitud)
			Método Repetibilidad y Reproducibilidad (R&R)
			Condiciones de operación (ambientales, montaje, conexión, configuración)
			Personal (competencia)
	Equipo		Resolución
			Movilidad (sensibilidad)
			Repetibilidad
			Reproducibilidad (cero, histéresis, montaje, conexiones, configuración)

Incertidumbre Tipo A y Tipo B

Conocidas las fuentes de incertidumbre estas se deben calcular y estimar. Estas fuentes se pueden agrupar en dos tipos de incertidumbre:

a.- Incertidumbre Estándar Tipo A

Es la incertidumbre de una magnitud de entrada X_i obtenida a partir de observaciones repetidas bajo condiciones de repetibilidad, esta se estima con base en la dispersión de los resultados individuales. Si X_i se determina por n mediciones independientes, resultando en valores $q_1, q_2, \dots, q_n$ el mejor valor estimado x_i para el valor de X_i es la media aritmética o el promedio de los resultados individuales:

$$x_i = \bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n q_j \quad (10)$$

La dispersión de los resultados de la medición $q_1, q_2, \dots, q_n$ para la magnitud de entrada X_i se expresa por su **Desviación Estándar** experimental:

$$s(q) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (q_j - \bar{q})^2}{(n-1)}} \quad (3)$$

La Incertidumbre Estándar $u(x_i)$ de X_i se obtiene finalmente mediante el cálculo de la Desviación Estándar experimental dividido por la raíz del número de muestras:

$$u(x_i) = s(\bar{q}) = \frac{s(q)}{\sqrt{n}} \quad (11)$$

por tanto, la Incertidumbre Estándar de X_i es la varianza de la muestra:

$$u(x_i) = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (q_k - \bar{q})^2} \quad (12)$$

Para una medición que se realiza por un método bien caracterizado y bajo condiciones controladas, es razonable suponer que la distribución (dispersión) de los q_j no cambia, o sea se mantiene prácticamente igual para mediciones realizadas en diferentes instantes.

b.- Incertidumbre Tipo B

Las fuentes para la Incertidumbre Tipo B son cuantificadas usando información externa y de la ponderación exclusiva de la experiencia acumulada. Estas pueden ser:

- Certificados de Calibración.
- Manuales del instrumento de medición, especificaciones del instrumento.
- Valores de mediciones anteriores.
- Comportamiento sobre las características o el comportamiento del sistema de medición.

En el caso analizado:

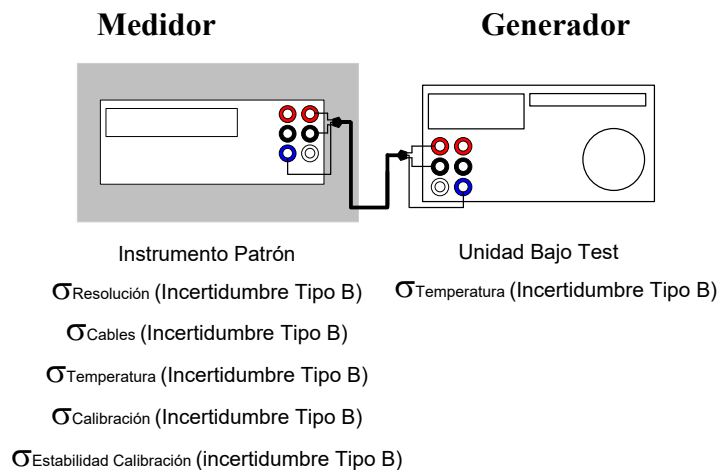


Figura 12: Esquema de Análisis Incertidumbre Tipo B

Distribuciones de Probabilidad

Una vez reconocida la fuente de la Incertidumbre Tipo B se debe asociar una distribución estadística a esta. Las distribuciones más usadas en el cálculo o estimación de la Incertidumbre Tipo B son las que se muestran en la Tabla 12:

Tabla 12: Distribuciones de Probabilidad

Distribución	Incertidumbre Asociada	Descripción
Normal	$u(x_i) = \frac{U}{k}$	Cuando se dispone de valores de una Incertidumbre Expandida U , como los representados por ejemplo en certificados, se divide U entre el Factor de Cobertura k , obtenido ya sea directamente o a partir de un Nivel de Confianza dado.
Rectangular	$u(x_i) = \frac{a}{\sqrt{3}}$	En este tipo de distribución cada valor en el intervalo dado tiene la misma probabilidad, o sea la función de densidad de probabilidad es constante en este intervalo.
Triangular	$u(x_i) = \frac{a}{\sqrt{6}}$	Si además del conocimiento de los límites superior hay evidencia de que la probabilidad es más alta para valores en el centro del intervalo y se reduce hacia los límites, puede ser más adecuado basar la estimación de la incertidumbre en una distribución triangular.

Propagación de la Incertidumbre

Para el caso de las magnitudes de entrada no correlacionadas, la Incertidumbre Combinada $u_c(y)$ se calcula por la suma geométrica de las contribuciones particulares multiplicadas por el Coeficiente de Sensibilidad c_i el cual indica el peso de la incertidumbre particular en la incertidumbre final. Por tanto, la expresión para la **Incertidumbre Combinada $u_c(y)$** está dada por la ecuación de propagación de errores o propagación de incertidumbres:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N [c_i \cdot u(x_i)]^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left[\frac{\partial f}{\partial x_i} \cdot u(x_i) \right]^2} \quad (6)$$

Incertidumbre Expandida

La incertidumbre estándar u_c representa un intervalo centrado en el mejor estimado del mensurando que contiene el valor verdadero con una probabilidad de 68% aproximadamente. Generalmente se desea una probabilidad mayor, lo que se obtiene expandiendo el intervalo de incertidumbre por un Factor k , llamado Factor de Cobertura. El resultado es conocido como **Incertidumbre Expandida U** :

$$U = k \cdot u_c \quad (7)$$

El diagrama de la Figura 13 ilustra la diferencia entre Incertidumbre Combinada u_c e Incertidumbre Expandida U :

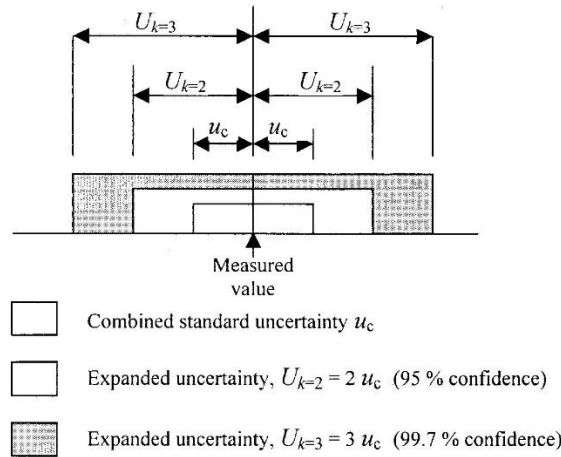


Figura 13: Diferencia entre Incertidumbre Combinada e Incertidumbre Expandida

a.- Elección Factor de Cobertura

Para elegir adecuadamente el Factor de Cobertura k deseado, en primer lugar, se debe definir el Nivel de Confianza con que se entregarán los resultados. En la gran mayoría de los casos el Nivel de Confianza reportado para todas las calibraciones es de un valor aproximado a 95%, valor que en realidad corresponde a un valor de 95.45%.

Una vez definido el Nivel de Confianza con el cual se realizará el cálculo de los Grados Efectivos de Libertad V_{eff} asociados a la Incertidumbre Combinada u_c , esto se obtiene por medio de la **fórmula de Welch-Satterhwaite**:

$$V_{eff} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^n \frac{u_i^4(\delta_i)}{V\delta_i}} \quad (8)$$

Para la obtención de los diferentes grados de libertad $V\delta_i$ asociados a cada una de las incertidumbres involucradas se deberá seguir el siguiente protocolo:

- Incertidumbres Tipo A: Los grados de libertad $V\delta_i$ asociados a este tipo de incertidumbres es el valor dado por las $(n - 1)$ lecturas.
- Incertidumbres Tipo B: En este caso se asocia un valor alto a los grados de libertad $V\delta_i$, Ej.: $100 \cdot 10^{+06}$ o ∞ .

Con el valor calculado de los Grados Efectivos de Libertad V_{eff} y el intervalo de confianza escogido se debe obtener el valor del Factor de Cobertura k (ver Tabla 13):

Tabla 13: Grados de Libertad v/s Nivel de Confianza

Grados de Libertad	Nivel de Confianza					
	68.27%	90%	95%	95.45%	99%	99.73%
1	1,84	6,31	12,71	13,97	63,66	235,80
2	1,32	2,92	4,30	4,53	9,92	19,21
3	1,20	2,35	3,18	3,31	5,84	9,22
4	1,14	2,13	2,78	2,87	4,60	6,62
5	1,11	2,02	2,57	2,65	4,03	5,51
6	1,09	1,94	2,45	2,52	3,71	4,90
7	1,08	1,89	2,36	2,43	3,50	4,53
...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...
40	1,01	1,68	2,02	2,06	2,70	3,20
45	1,01	1,68	2,01	2,06	2,69	3,18
50	1,01	1,68	2,01	2,05	2,68	3,16
100	1,005	1,660	1,984	2,025	2,626	3,077
∞	1,00	1,645	1,960	2,00	2,576	3,00

b.- Presentación de la Incertidumbre

Al hacer el cálculo de la incertidumbre esta se puede trabajar en forma absoluta o bien en forma relativa, por tanto, su presentación también se puede hacer en forma absoluta o en forma relativa. A nivel general se estila expresar la incertidumbre de la medición en forma relativa.

Ej. Incertidumbre Absoluta: 10 [μ V]

Ej. Incertidumbre Relativa: 0.01%, 100 [ppm] o 100 [μ V/V].

3.2.6.- Especificaciones Instrumental requerido calibrar Analizador de Espectros Portátil, Aaronia AG, Spectran HF-60105 v4



Agilent N1913A and N1914A EPM Series Power Meters

Consistent results and greater capability

Data Sheet



As signals become more complex, it becomes more difficult to make fast, accurate power measurements. For years, you've depended on Agilent's EPM Series power meters. Today, the Agilent N1913A and N1914A EPM power meters are versatile, user-friendly replacements for the E4413B/13B EPM Series. Best of all, you get these extras for about the same price as the EPM Series. Get consistent results and greater capability—with the new EPM power meters.

Essential specifications

- Frequency range: 9 kHz to 110 GHz
- Power range: -70 dBm to +44 dBm (100 pW to 25 W, depending on the attached power sensor)
- Measurement speed: Up to 400 readings/sec with E-Series sensors
- Absolute accuracy: ±0.02 dB logarithmic, ±0.5% linear
- Relative accuracy: ±0.04 dB logarithmic, ±1% linear

Do more with new-generation EPM power meters

- Get up to four channels™ to speed and simplify RF average power measurements
- Measure faster with improved measurement speed of 400 readings/sec with the Agilent E-Series sensors
- View test results more easily with the industry's first color LCD readout in an average power meter
- Go beyond GPIB with USB and LAN/LXI C interfaces
- Automate frequency/power sweep measurements with the optional external trigger in/out feature
- Confirm battery power with a single button push™—and get extra operating time with the optional spare battery
- Easily replace existing 436A, 437B and 438A meters with optional 43x code compatibility™
- Enhance manufacturing test by connecting a large external monitor with the unique VGA output option

N1913A/14A EPM Series Power Meters Performance Characteristics

Compatible power sensors	Keysight 8480 Series Keysight E3030 E-Series Keysight E4410 E-Series Keysight N8480 Series Keysight U2000 Series
Display resolution	Selectable resolution of: 1.0, 0.1, 0.01 and 0.001 dB in logarithmic mode, or 1, 2, 3 and 4 significant digits in linear mode
Default resolution	0.01 dB in logarithmic mode or three digits in linear mode
Accuracy	
Absolute accuracy	± 0.02 dB (Logarithmic) or ± 0.5% (Linear). Please add the corresponding power sensor linearity percentage from Tables 6, 9 and 10 (for the E-Series sensors), Table 14 (for the 8480 series sensors) and Table 16 (for N8480 sensors) to assess the overall system accuracy.

Figura 14.1 & 14.2: Data Sheet Medidor de Potencia, Agilent N1913A



Table 1 E4412A and E4413A Specifications

	Limit	Comments
Frequency Range	E4412A: 10 MHz to 18 GHz E4413A: 50 MHz to 26.5 GHz	
Power Range	-70 dBm to +20 dBm (100 pW to 100 mW)	
Impedance	50 ohm	nominal
Connector Type	E4412A: Type-N (male) E4413A: 3.5 mm (male)	
Maximum Standing Wave Ratio (SWR) and Reflection Coefficient (Rho)	SWR Rho	Return Loss (dB)
E4412A		
10 MHz to <30 MHz	1.22 0.099	20.08
30 MHz to <2 GHz	1.15 0.078	23.13
2 GHz to <6 GHz	1.17 0.078	22.12
6 GHz to <11 GHz	1.28 0.091	20.82
11 GHz to <18 GHz	1.27 0.119	18.42
E4413A		
50 MHz to <100 MHz	1.21 0.095	20.45
100 MHz to <8 GHz	1.19 0.087	21.23
8 GHz to <18 GHz	1.21 0.095	20.45
18 GHz to 26.5 GHz	1.26 0.115	18.79
Maximum Power	200 mW peak (+23 dBm) 200 mW average (+23 dBm)	
AC Coupled Input	max: 20 VDC	
Zero Set	±50 pW	

E-Series CW Power Sensor Specifications

Widest dynamic range: 100 pW to 100 mW (-70 dBm to +20 dBm)

Table 4. E4410 Series max SWR specification

Model	Maximum SWR	Maximum power	Connector type
E4412A	10 MHz to 18 GHz	*10 MHz to < 30 MHz: 1.22 30 MHz to < 2 GHz: 1.15 2 GHz to < 6 GHz: 1.17 6 GHz to < 11 GHz: 1.2 11 GHz to < 18 GHz: 1.27	200 mW (+23 dBm) Type-N (m)

Table 5a. E4412A calibration factor uncertainty at 1 mW (0 dBm)

Frequency	Uncertainty*(%)
10 MHz	1.8
30 MHz	1.8
50 MHz	Reference
100 MHz	1.8
1.0 GHz	1.8
2.0 GHz	2.4
4.0 GHz	2.4
6.0 GHz	2.4
8.0 GHz	2.4
10.0 GHz	2.4
11.0 GHz	2.4
12.0 GHz	2.4
14.0 GHz	2.4
16.0 GHz	2.6
18.0 GHz	2.6

Conversión a dB y combinación con el medidor

Convención usada: convertimos la incertidumbre porcentual en una incertidumbre en dB mediante $\Delta_{\text{sensor}}(\text{dB}) = 10 \log_{10}(1 + u)$ donde u es la fracción (ej. 1.8% → 0.018).

Luego combinamos la incertidumbre del sensor con la del medidor (±0.02 dB) por root-sum-square (RSS) — asumiendo componentes independientes— para dar una estimación razonable del error total (dB).

Cálculos (valores finales redondeados):

- A 100 MHz (CF = 1.8%)
 - incertidumbre sensor ≈ 0.0775 dB
 - medidor = 0.02 dB
 - incertidumbre combinada (RSS) ≈ 0.080 dB

Figura 15.1, 15.2, 15.3 & 15.4: Data Sheet Sensor de Potencia, Agilent E4412A

Con este Medidor de Potencia y Sensor de Potencia, se efectúa la medición del valor de salida desde el Analizador de Espectros Portátil, Aaronia AG, Spectran HF-60105 v4.



Specifications

Supplemental Information

Frequency

Range:	9 kHz to 3.0 GHz	
Resolution:	0.1 Hz	
Switching speed:	< 10 ms	within 0.1 ppm of final frequency

Internal Reference Oscillator

Stability:	< ±1ppm/year	Aging
	< ±1ppm	Temperature over 0 to 45 °C

Timebase Reference Output

Frequency:	10 MHz
Amplitude:	> 0.35 Vrms level into 50 Ω
Connector:	BNC female

External Reference Input

Range:	2 MHz, 5 MHz, 10 MHz
Amplitude:	0.5 ~ 2 Vrms
Connector and impedance:	50 Ω; BNC female

Output

Power:	-127 to +13 dBm	+20 dBm settable
Resolution:	0.1 dB	
Accuracy:	< ±1dB	Fc ≥ 100 kHz, -120 ≤ Level ≤ +13dBm, 20 to 30 °C
Switching speed:	< 10 ms	< 0.3 dB deviation
VSWR (typical) :	< 1.6	1.5 MHz ≤ Fc < 2.5 GHz
	< 1.8	2.5 GHz ≤ Fc ≤ 3 GHz
Output connector and impedance:	N-type; 50 Ω nominal	

Reversal Power Protection

DC voltage:	30 V	
RF power:	+36 dBm	1 minute; the warning for reversed power protection is nominally at +25 dBm

Figura 16.1 & 16.2: Data Sheet Generador de RF, Agilent N9310A (9[kHz] - 3000 [MHz])



374

SIGNAL GENERATORS

Synthesized Signal Generators

Models 8672A and 8672S

- 2 to 18 GHz frequency range
- Low spurious and phase noise
- Metered AM/FM

- 10 MHz-18 GHz frequency range
- Internal pulse modulator
- HP-IB programmability



HP 8672A



HP 8672S



HP 8672A and 8672S Synthesized Signal Generators

The HP 8672A Synthesized Signal Generator delivers precise microwave signals over the 2.0 to 18.0 GHz frequency range. It features calibrated and leveled output power, AM/FM modulation capability, and full HP-IB programmability.

The HP 8672A delivers exceptionally flat power across the full frequency range. For receiver sensitivity measurements, power is internally (or externally) leveled and calibrated to -120 dBm.

The HP 8672S consists of an HP 8672A and an HP 86720A frequency extension unit. This unit uses a heterodyne technique to extend the frequency coverage down to 10 MHz. It also adds pulse modulation capability over the entire 10 MHz to 18.0 GHz frequency range. Calibrated output level in this mode is available up to 2 GHz, while >80 dB ON/OFF ratio is available across the entire 18 GHz frequency range.

Specifications for the HP 8672S are identical to those of a standard HP 8672A for the 2 to 18 GHz frequency range with the exception of 1 dB less maximum output power and no AM modulation below 2 GHz.

Existing HP 8672A Signal Generators can be retrofitted to the HP 8672S configuration by ordering the HP 86720A Frequency Extension Unit and an HP 11731A or 11732A Frequency Extension Retrofit Kit.

Modulation Characteristics

Amplitude Modulation: same as HP 8673B/C/D (2-18 GHz)

Frequency Modulation: same as HP 8673B/C/D

Pulse Modulation: HP 8672S only

>80 dB ON/OFF ratio; <15 ns rise/fall times; peak pulsed power within 1.0 dB of level selected in CW mode for 0.01-2 GHz, uncalibrated for 2.0-18.0 GHz.

General

Programming: all functions HP-IB programmable except line switches and meter mode.

Interface functions: SH1, AH1, T6, TE0, L4, LE0, SR1, RL0, PP2, DC1, DT0, C0, E1.

Operating temperature range: 0 to +55°C.

Power: 100, 120, 220, 240V, +5%, -10%, 48-66 Hz; 400 VA max.

Weight: HP 8672A: net 27 kg (60 lb); shipping 32.5 kg (72 lb).

HP 8672S: net 39.5 kg (87 lb); shipping 43.6 kg (96 lb).

Size: HP 8672A: 133 mm × 425 mm × 603 mm (5.25" × 16.75" × 23.75") H × W × D
HP 8672S: 222 mm × 425 mm × 620 mm (8.8" × 16.8" × 24.4") H × W × D

HP 8672A and 8672S Specifications

Frequency Characteristics

Frequency range: HP 8672A: 2.0-18.0 GHz (18.6 GHz overrange)

HP 8672S: 0.01-18.0 GHz (18.6 GHz overrange)

Frequency bands and resolution:

Band 0: 0.01 - 2.0 GHz 1 kHz

Band 1: 2.0 - 6.2 GHz 1 kHz

Band 2: 6.2 - 12.4 GHz 2 kHz

Band 3: 12.4 - 18.0 GHz 3 kHz

Time base: internal 10 MHz (<5 × 10⁻¹⁰/day aging rate) or external 5 or 10 MHz.

Frequency switching time: <20 ms to be within specified resolution, all bands.

Spectral Purity

Single-sideband phase noise: same as HP 8673B/C/D

Harmonics (up to maximum frequency, output level meter readings <0 dB on 0 dBm range and below): <-25 dBc.

Sub-harmonics and multiples thereof: <-25 dBc, Bands 1-3.

Spurious (CW and AM modes): Same as HP 8673B/C/D

Output Characteristics

Output level (+15°C to +35°C): HP 8672A: +8 to -120 dBm

HP 8672S: +13 dBm to -120 dBm, 0.01-2.0 GHz; +2 dBm to -120 dBm, 2.0-18.0 GHz

Flatness (0 dBm range, +15°C to +35°C):

HP 8672A: same as HP 8673B/C/D

HP 8672S: same as HP 8672A degraded by ±0.25 dB

Remote programming output level resolution: 1.0 dB.

Source impedance: 50 ohms nominal.

Ordering Information

HP 8672A Synthesized Signal Generator \$39,000

Option 001: Delete RF output attenuator less \$600

Option 002: Delete reference oscillator less \$550

Option 003: Operation at 50/60/400 Hz line add \$250

Option 004: Rear panel RF output add \$75

Option 005: Rear panel RF output without RF attenuator less \$525

Option 006: Chassis slide kit add \$45

Option 907: Front panel handle kit add \$55

Option 908: Rack mounting flange kit add \$33

Option 909: Front panel handle plus rack mounting flange kit add \$80

Option 910: Extra operating and service manual add \$60

HP 8672S Synthesized Signal Generator \$55,000

Options 001 and 002: same as HP 8672A

Option 004: Rear panel RF output add \$150

Option 005: Rear panel RF output w/o RF attenuator less \$450

Option 006: Chassis slide kit add \$80

Option 008: Delete internal pulse modulator less \$1,100

Option 010: Delete pulse modulator and step attenuator less \$1,700

Option 908: Rack flange kit add \$55

Option 913: Rack flanges for standard front panel handles add \$45

Option 910: Extra operating and service manuals add \$80

HP 86720A Frequency Extension Unit \$17,000

HP 11731A Frequency Extension Retrofit Kit \$1,000

HP 11732A Frequency Extension Retrofit Kit No Charge

HP 11712A Support Kit \$800

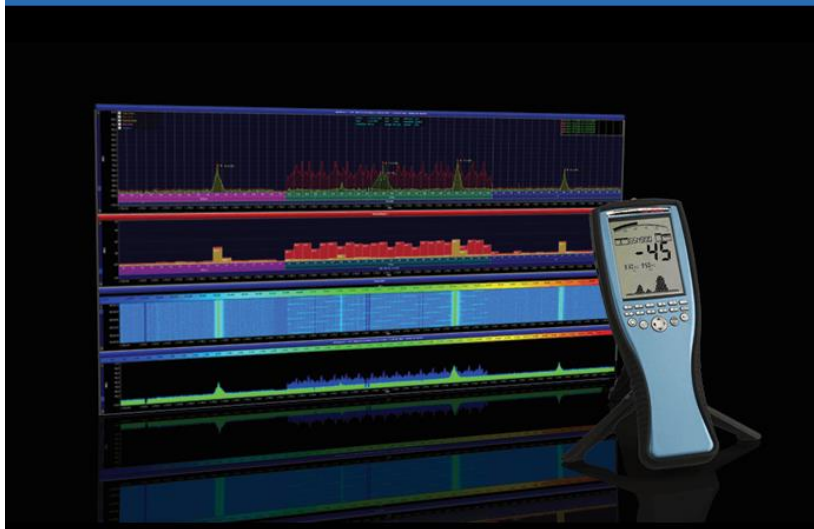
Figura 17.1 & 17.2: Data Sheet Generador de RF,
Hewlett Packard (HP) 8672A (2000[MHz] - 18000 [MHz])

Con estos dos Generadores de RF, se efectúa un barrido de frecuencia desde 100 [MHz] a 9395 [MHz] variando en 100 [MHz], la potencia de salida desde ambos generadores es de -20 [dBm].

AARONIA SPECTRAN V4 HANDHELD

1 MHz to 9,4 GHz

Portable Spectrum Analyser with world record in sensitivity (DANL)



5.1. Datos técnicos

	HF-6060 V4	HF-6080 V4	HF-60100 V4
Rango de frecuencias	10MHz – 6 GHz	10MHz – 8 GHz	1MHz – 9,4 GHz
DANL *	-135dBm (1Hz)	-145dBm (1Hz)	-155dBm (1Hz)
DANL * con preamplificador	-150dBm (1Hz)	-160dBm (1Hz)	-170dBm (1Hz)
Nivel pico max: Entrada máxima	+10dBm	+10dBm	+20dBm (opc. + 40dBm)
Tiempo de muestreo más rápido	10mS	10mS	5mS
Filtros de resolución (RBW)	De 3kHz hasta 50 MHz	De 1kHz hasta 50MHz	200Hz (sólo con la Opción 002) hasta 50 MHz
Unidades	dBm, dBµV, V/m, A/m, W/m² (dBµV/m, W/cm² etc. via el software PC)	dBm, dBµV, V/m, A/m, W/m² (dBµV/m, W/cm² etc. via el software PC)	dBm, dBµV, V/m, A/m, W/m² (dBµV/m, W/cm² etc. via software de PC)
Filtros EMC	-	-	200Hz, 9kHz, 120kHz, 200 kHz, 1.5MHz, 5MHz
Detectores	RMS, Min/Max	RMS, Min/Max	RMS, Min/Max
Demodulación	AM, FM	AM, FM, PM	AM, FM, PM, GSM
Entrada	Entrada SMA (f) de 50 ohmios	Entrada SMA (f) de 50 ohmios	Entrada SMA (f) de 50 ohmios
Exactitud	+/- 2dB	+/- 2dB	+/- 1dB
Interfaz	USB 2.0/1.1	USB 2.0/1.1	USB 2.0/1.1
Peso	Aprox. 430 g	Aprox. 430 g	Aprox. 430 g
Dispositivo de base			

Specifications

World record in sensitivity!

SPECTRAN® HF-60100 V4

- ◆ Up to 100x faster SampleTime as Rev.3
- ◆ Up to 80 dB higher sensitivity as Rev.3
- ◆ 14 Bit Dual-ADC
- ◆ DDC Hardware-Filter
- ◆ 150 MIPS DSP (CPU)
- ◆ Frequency range: 1 MHz (9 kHz with Option 900) to 9,4 GHz
- ◆ Max measurement range: -155 dBm (1 Hz)
- ◆ Max measurement range w. PreAmps: -170 dBm(1 Hz)
- ◆ AbsMax Level: +20 dBm
- ◆ AbsMax Level: +40 dBm(Option)³
- ◆ Lowest possible SampleTime: 1 ms
- ◆ Typ. accuracy: +/- 1 dB**
- ◆ Dimensions (L/W/D): (260 x 86 x 23) mm
- ◆ Weight: 420g

Figura 18.1, 18.2 & 18.3: Data Sheet Analizador de Espectros Portátil,
Aaronia AG, Spectran HF-60105 v4

Los set-up de medición son los siguientes:

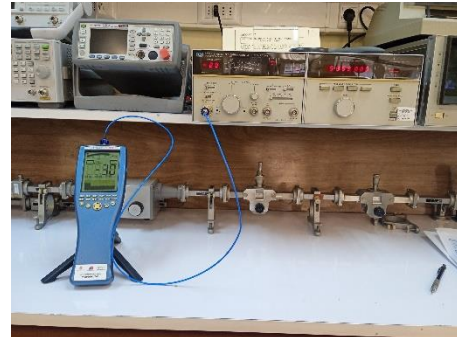
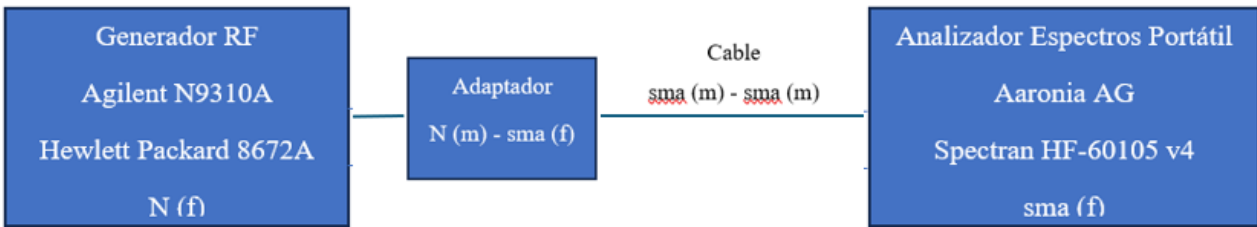


Figura 19.1 & 19.2: Primer set-up de medición

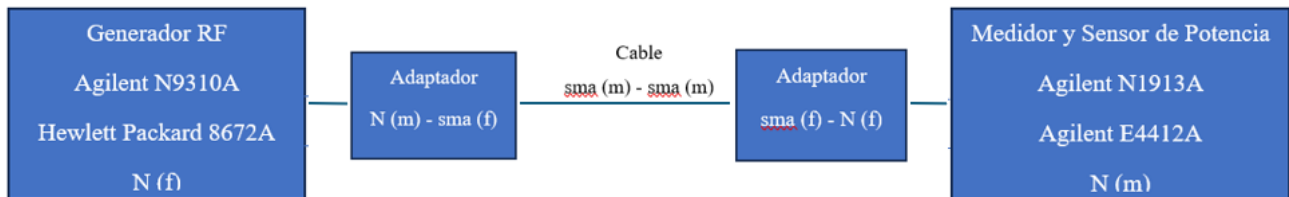


Figura 20.1 & 20.2: Segundo set-up de medición

Mediciones efectuadas con los siguientes instrumentos y accesorios:

- 1.- Generadores de RF, Agilent N9310A & HP 8672A (Connector In: Type N (f))
- 2.- Adaptador, conector tipo N (m) - sma (f)
- 3.- Cable sma (m) - sma (m)
- 4.- Analizador de Espectros Portátil, Aaronia AG, Spectran HF-60105 v4 (Connector In: Type sma (f))
- 5.- Adaptador, conector tipo N (f) - sma (f)
- 6.- Medidor de Potencia, Agilent N1913A
- 7.- Sensor de Potencia, Agilent E4412A (Connector In: Type N (m)).



3.2.7.- Ejemplo de Budget de Calibración con el Cálculo de Desviación e Incertidumbre

a.- Cálculo de Desviación e Incertidumbre V_{AC} a 50 [Hz] en DMM, Fluke 87V

En este punto, se efectúa la Calibración de un DMM, Fluke 87V como instrumento UUT, del cual se obtendrán la Desviación e Incertidumbre. El DMM, Fluke 87V se calibra en Voltaje Alterno (V_{AC}) en todos sus rangos, seleccionando dos puntos por cada rango. La frecuencia utilizada corresponde a 50 [Hz], empleando la salida normal del MPC, Fluke 5520A como patrón de referencia.



1-17. AC Voltage (Sine Wave) Specifications

NORMAL (Normal Output)						
Range	Frequency	Absolute Uncertainty, local $\pm 5^{\circ}\text{C}$ $\pm$ (ppm of output + μV)		Resolution	Max Burden	Max Distortion and Noise 10 Hz to 5 MHz Bandwidth $\pm$ (% output + floor)
		90 days	1 year			
1.0 mV to 32.999 mV	10 Hz to 45 Hz	600 + 6	800 + 6	1 μV	50 Ω	0.15 + 90 μV
	45 Hz to 10 kHz	120 + 6	150 + 6			0.035 + 90 μV
	10 kHz to 20 kHz	160 + 6	200 + 6			0.06 + 90 μV
	20 kHz to 50 kHz	800 + 6	1000 + 6			0.15 + 90 μV
	50 kHz to 100 kHz	3000 + 12	3500 + 12			0.25 + 90 μV
	100 kHz to 500 kHz	6000 + 50	8000 + 50			0.3 + 90 μV [1]
33 mV to 329.999 mV	10 Hz to 45 Hz	250 + 8	300 + 8	1 μV	50 Ω	0.15 + 90 μV
	45 Hz to 10 kHz	140 + 8	145 + 8			0.035 + 90 μV
	10 kHz to 20 kHz	160 + 8	160 + 8			0.06 + 90 μV
	20 kHz to 50 kHz	300 + 8	350 + 8			0.15 + 90 μV
	50 kHz to 100 kHz	600 + 32	800 + 32			0.20 + 90 μV
	100 kHz to 500 kHz	1600 + 70	2000 + 70			0.20 + 90 μV [1]
0.33 V to 3.29999 V	10 Hz to 45 Hz	250 + 50	300 + 50	10 μV	10 mA	0.15 + 200 μV
	45 Hz to 10 kHz	140 + 60	150 + 60			0.035 + 200 μV
	10 kHz to 20 kHz	160 + 60	190 + 60			0.06 + 200 μV
	20 kHz to 50 kHz	250 + 50	300 + 50			0.15 + 200 μV
	50 kHz to 100 kHz	550 + 125	700 + 125			0.20 + 200 μV
	100 kHz to 500 kHz	2000 + 600	2400 + 600			0.20 + 200 μV [1]
3.3 V to 32.9999 V	10 Hz to 45 Hz	250 + 650	300 + 650	100 μV	10 mA	0.15 + 2 mV
	45 Hz to 10 kHz	125 + 600	150 + 600			0.035 + 2 mV
	10 kHz to 20 kHz	220 + 600	240 + 600			0.08 + 2 mV
	20 kHz to 50 kHz	300 + 600	350 + 600			0.2 + 2 mV
	50 kHz to 100 kHz	750 + 1600	900 + 1600			0.5 + 2 mV
33 V to 329.999 V	45 Hz to 1 kHz	150 + 2000	190 + 2000	1 mV	5 mA, except 20 mA for 45 Hz to 65 Hz	0.15 + 10 mV
	1 kHz to 10 kHz	160 + 6000	200 + 6000			0.05 + 10 mV
	10 kHz to 20 kHz	220 + 6000	250 + 6000			0.6 + 10 mV
	20 kHz to 50 kHz	240 + 6000	300 + 6000			0.9 + 10 mV
	50 kHz to 100 kHz	1600 + 5000	2000 + 5000			1.0 + 10 mV
330 V to 1020 V	45 Hz to 1 kHz	250 + 10000	300 + 10000	10 mV	2 mA, except 6 mA for 45 Hz to 65 Hz	0.15 + 30 mV
	1 kHz to 5 kHz	200 + 10000	250 + 10000			0.07 + 30 mV
	5 kHz to 10 kHz	250 + 10000	300 + 10000			0.07 + 30 mV

Figura 21.1 & 21.2: MPC, Fluke 5520A (Patrón) y Especificaciones



Specifications

Function	Range	Resolution	Accuracy*			
			50 Hz - 60 Hz	45 Hz - 1 kHz	1 kHz - 5 kHz	5 kHz - 20 kHz**
$\sim$ V $\uparrow$	400.0 mV	0.1 mV	$\pm(0.7\% + 4)$	$\pm(1.0\% + 4)$	$\pm(2.0\% + 4)$	$\pm(2.0\% + 20)$
	4.000V	0.001V	$\pm(0.7\% + 2)$	$\pm(1.0\% + 4)$	$\pm(2.0\% + 4)$	$\pm(2.0\% + 20)$
	40.00V	0.01V	$\pm(0.7\% + 2)$	$\pm(1.0\% + 4)$	$\pm(2.0\% + 4)$	$\pm(2.0\% + 20)$
	400.0V	0.1V	$\pm(0.7\% + 2)$	$\pm(1.0\% + 4)$	$\pm(2.0\% + 4)\dagger$	unspecified
	1000V	1V	$\pm(0.7\% + 2)$	$\pm(1.0\% + 4)**$	unspecified	unspecified

* Accuracy is given as $\pm(\% \text{ of reading}) + [\text{number}] + [\text{number of least significant digits}]$ at 18°C to 28°C , with relative humidity up to 90%, for a period of one year after calibration. In the 4 1/2-digit mode, multiply the number of least significant digits (counts) by 10. AC conversions are ac-coupled, true rms responding, calibrated to the rms value of a sine wave input, and valid from 5% to 100% of range. AC crest factor can be up to 3 at full scale, 6 at half scale. For non-sinusoidal wave forms add $(-2\% \text{ Rdg} + 2\% \text{ Fs})$ typical, for a crest factor up to 3.

** Below 10% of range, add 16 counts.

*** Below 10% of range, add 6 digits.

$\dagger$ The Fluke 87 is a True-RMS responding meter. The meter will display a reading (typically <25 digits) when the input leads are shorted together in the AC functions which is caused by internal amplifier noise. The accuracy on the Fluke 87 is not significantly affected by this internal offset when measuring inputs that are within 5% to 100% of the selected range. When the RMS value of the two values (5% of range and internal offset) is calculated, the effect is minimal as shown in the following example where $20.0 = 5\%$ of 400 mV range, and 2.5 is the internal offset.
 $\text{RMS} = \text{SQRT}[(20.0)^2 + (2.5)^2] = 20.16$
 If you use the REL function to zero the display when using the AC functions, a constant error that is equal to the internal offset will result.

$\dagger$ Frequency range: 1 kHz to 2.5 kHz.

Figura 22.1 & 22.2: DMM, Fluke 87V (UUT) y Especificaciones para Voltaje

a1.- Budget de Calibración para Cálculo de Desviación V_{AC} en DMM, Fluke 87V

Tabla 14: Budget de Calibración para calcular Desviación V_{AC} en DMM, Fluke 87V

Desviación Fluke 87V en Vac							
Calibrador Fluke 5520A (Patrón)			Fluke 87V (UUT)			Desviación Fluke 87V	
Rango [V]	Resolución [V]	Valor Nominal [V]	Rango [V]	Resolución [V]	Valor Medido [V]	Voltaje [V]	Porcentaje [%]
0,033 - 0,329999	1E-06	100,000E-03	400,0E-03	1E-04	100,1E-03	100E-06	0,10
0,33 - 3,29999	1E-05	400,00E-03	400,0E-03	1E-04	398,0E-03	-2,0E-03	-0,50
0,33 - 3,29999	1E-05	1,00000	4,000	1E-03	1,002	0,002	0,20
3,3 - 32,9999	1E-04	4,0000	4,000	1E-03	3,988	-0,012	-0,30
3,3 - 32,9999	1E-04	10,0000	40,00	1E-02	10,02	0,02	0,20
33 - 329,999	1E-03	40,000	40,00	1E-02	39,87	-0,13	-0,33
33 - 329,999	1E-03	100,000	400,0	1E-01	100,2	0,2	0,20
330 - 1020	1E-02	400,00	400,0	1E-01	398,6	-1,4	-0,35
330 - 1020	1E-02	700,00	1000	1	702	2	0,29
330 - 1020	1E-02	900,00	1000	1	902	2	0,22

- Los valores del patrón de referencia, MPC, Fluke 5520A (rango y resolución), fueron obtenidos desde las especificaciones del instrumento (ver Figura 21.2).
- Los valores del instrumento UUT, DMM, Fluke 87V (rango y resolución), fueron obtenidos desde las especificaciones del instrumento (ver Figura 22.2).
- Para el Cálculo de la Desviación se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Desviación Absoluta (Error)} = \text{Valor Medido (Fluke 87V)} - \text{Valor Nominal (Fluke 5520A)} \quad (1)$$

a2.- Budget de Calibración para Cálculo de Incertidumbre V_{AC} en DMM, Fluke 87V

Tabla 15: Componentes de Incertidumbre Tipo A y Tipo B

Componentes de Incertidumbre								
Dispersión Mediciones	Número de mediciones	Contrib. Mediciones <i>u</i> (σ Desviación Estándar)	Resolución Fluke 87V	Contrib. Res.	Datos Calibración Calibrador Fluke 5520A			Contrib. Patrón Fluke 5520A
					Especificaciones Técnicas 1 año			
[V]		[Desviación Estándar]	[V]	[V]	[ppm]	[μ V]	[V]	[V]
0.00E+00	2	0.00E+00	1E-04	2.89E-05	145	8	2.25E-05	1.30E-05
0.00E+00	2	0.00E+00	1E-04	2.89E-05	150	60	1.20E-04	6.91E-05
0.00E+00	2	0.00E+00	1E-03	2.89E-04	150	60	2.10E-04	1.21E-04
0.00E+00	2	0.00E+00	1E-03	2.89E-04	150	600	1.20E-03	6.92E-04
0.00E+00	2	0.00E+00	1E-02	2.89E-03	150	600	2.10E-03	1.21E-03
0.00E+00	2	0.00E+00	1E-02	2.89E-03	190	2000	9.58E-03	5.53E-03
0.00E+00	2	0.00E+00	1E-01	2.89E-02	190	2000	2.10E-02	1.21E-02
0.00E+00	2	0.00E+00	1E-01	2.89E-02	300	10000	1.30E-01	7.48E-02
0.00E+00	2	0.00E+00	1	2.89E-01	300	10000	2.21E-01	1.27E-01
0.00E+00	2	0.00E+00	1	2.89E-01	300	10000	2.81E-01	1.62E-01

Tabla 16: Coeficientes de Sensibilidad y Cálculo de Incertidumbre Combinada u_c

Cálculo Incertidumbre						
Coeficiente de sensibilidad C_1	Coeficiente de sensibilidad C_2	$C_1 U$ (σ Desviación Estándar) [V]	$C_1 U$ (σ Res.) [V]	$C_2 U$ (σ Valor Cal. Fluke 5520A) [V]	Valor incertidumbre ($k=1$) — u_c [V]	Valor incertidumbre relativa ($k=1$) — u_r [V/V]
1	1	0,00E+00	2,89E-05	1,30E-05	3,17E-05	3,16E-04
1	1	0,00E+00	2,89E-05	6,91E-05	7,49E-05	1,88E-04
1	1	0,00E+00	2,89E-04	1,21E-04	3,13E-04	3,13E-04
1	1	0,00E+00	2,89E-04	6,92E-04	7,50E-04	1,88E-04
1	1	0,00E+00	2,89E-03	1,21E-03	3,13E-03	3,13E-04
1	1	0,00E+00	2,89E-03	5,53E-03	6,24E-03	1,56E-04
1	1	0,00E+00	2,89E-02	1,21E-02	3,13E-02	3,13E-04
1	1	0,00E+00	2,89E-02	7,48E-02	8,02E-02	2,01E-04
1	1	0,00E+00	2,89E-01	1,27E-01	3,16E-01	4,49E-04
1	1	0,00E+00	2,89E-01	1,62E-01	3,31E-01	3,67E-04

Tabla 17: Grados Efectivos de Libertad V_{eff} asociados a las Incertidumbres, Cálculo de Incertidumbre Expandida U con fórmula de Welch-Satterhwaite, Factor de Cobertura k y Nivel de Confianza

Grados efectivos de libertad en la medición de Vac									
Valores Efectivos Estimado	Valores Efectivos Estimado	Valores Efectivos Estimado	Cálculo automático	Datos del Anexo G de la GUM para un nivel de confianza de ~ 95 %	Valor incertidumbre final		Valor incertidumbre final		
U (σ Desviación Estándar)	U (σ_{res})	U (σ Valor Cal. Fluke 5522A)	V_{eff}	k	U		U		
					[V]		Valor Final	a declarar	
1	1,00E+08	1,00E+08	1,39E+08	2,0	6,33E-05	0,06 mV	0,063 %	0,07 %	
1	1,00E+08	1,00E+08	1,34E+08	2,0	1,50E-04	0,15 mV	0,038 %	0,04 %	
1	1,00E+08	1,00E+08	1,34E+08	2,0	6,26E-04	0,63 mV	0,063 %	0,07 %	
1	1,00E+08	1,00E+08	1,34E+08	2,0	1,50E-03	1,50 mV	0,038 %	0,04 %	
1	1,00E+08	1,00E+08	1,34E+08	2,0	6,26E-03	6,26 mV	0,063 %	0,07 %	
1	1,00E+08	1,00E+08	1,51E+08	2,0	1,25E-02	12,47 mV	0,031 %	0,04 %	
1	1,00E+08	1,00E+08	1,34E+08	2,0	6,26E-02	62,64 mV	0,063 %	0,07 %	
1	1,00E+08	1,00E+08	1,29E+08	2,0	1,60E-01	160,38 mV	0,040 %	0,05 %	
1	1,00E+08	1,00E+08	1,38E+08	2,0	6,31E-01	0,63 V	0,090 %	0,09 %	
1	1,00E+08	1,00E+08	1,57E+08	2,0	6,62E-01	0,66 V	0,073 %	0,08 %	

Tabla 18: Comparación de Espec. Téc. del Fabricante vs Desviación $\pm$ Incertidumbre (Espec. Téc. extraídas desde Figura 22.2 para DMM, Fluke 87V en V_{AC})

Especificaciones Técnicas Multímetro Digital Fluke 87V			Datos de Desviación e Incertidumbre Calculadas Multímetro Digital Fluke 87V						Cálculos		
lectura	digitos	Incertidumbre	Desviación		Incertidumbre				(Valor Calibración + U) / Espec <1	(Valor Calibración - U) / Espec <1	U/Espec. < 1
[%]		[V] [%]	[V] [%]		[V] [%]						
0,7	4	0,0011 1,10	0,0001 0,10	0,0001 0,10	0,0001 0,06			0,15	0,03	0,06	
0,7	4	0,0032 0,80	-0,0020 -0,50	0,0001 0,04				0,58	0,68	0,05	
0,7	2	0,009 0,90	0,002 0,20	0,001 0,06				0,30	0,14	0,07	
0,7	2	0,030 0,75	-0,012 -0,30	0,001 0,04				0,35	0,45	0,05	
0,7	2	0,09 0,90	0,02 0,20	0,01 0,06				0,30	0,14	0,07	
0,7	2	0,30 0,75	-0,13 -0,33	0,01 0,03				0,38	0,49	0,04	
0,7	2	0,9 0,90	0,2 0,20	0,06 0,06				0,30	0,14	0,07	
0,7	2	3,0 0,75	-1,4 -0,35	0,16 0,04				0,40	0,54	0,05	
0,7	2	7 0,99	2 0,29	1 0,09				0,38	0,20	0,09	
0,7	2	8 0,92	2 0,22	1 0,07				0,33	0,15	0,08	

Tabla 19: Presentación Certificado V_{AC} en DMM, Fluke 87V

Datos de Presentación en Certificado Vac				
Nominal Value	Reading Fluke 87 V	Absolute Deviation	Relative Deviation	Uncertainty
Valor Nominal	Lectura Fluke 87 V	Desviación Absoluta	Desviación Relativa	Incertidumbre
100,0 mV	100,1 mV	0,1 mV	0,10 %	0,07 %
400,0 mV	398,0 mV	-2,0 mV	-0,50 %	0,04 %
1,000 V	1,002 V	0,002 V	0,20 %	0,07 %
4,000 V	3,988 V	-0,012 V	-0,30 %	0,04 %
10,00 V	10,02 V	0,02 V	0,20 %	0,07 %
40,00 V	39,87 V	-0,13 V	-0,33 %	0,04 %
100,0 V	100,2 V	0,2 V	0,20 %	0,07 %
400,0 V	398,6 V	-1,4 V	-0,35 %	0,05 %
700 V	702 V	2 V	0,29 %	0,09 %
900 V	902 V	2 V	0,22 %	0,08 %

4 Resultados

4.1 Budget de Calibración Analizador de Espectros Portátil, Aaronia AG, Spectran HF-60105 v4, Serie = 60812

a.- Calibración de un Instrumento de Radio Frecuencia

- De los cuatro Analizadores de Espectros Portátiles, Aaronia AG, Spectran HF-60105 v4, solo se presenta el desarrollo completo del Budget de Calibración del Spectran HF-60105 v4, Serie = 60812.
- Para efectuar la calibración de un instrumento se calcula su Desviación e Incertidumbre:

$$\text{Calibración Spectran HF-60105 v4} = \text{Desviación} \pm \text{Incertidumbre} \quad (13)$$

- El instrumento se encuentra calibrado, si el valor de calibración obtenido anteriormente es **menor** que las Espec. Téc. del Fabricante (Accuracy):

$$\text{Calibración Spectran HF-60105 v4} < \text{Espec. Téc. Fabricante Spectran HF-60105 v4} \quad (14)$$

b.- Cálculo de Desviación o Error del Aaronia AG, Spectran HF-60105 v4, Serie = 60812

- Para este cálculo se emplea un Generador de RF, Agilent N9310A (100 [MHz] - 3000 [MHz]) y un Generador de RF, HP 8672A (3100 [MHz] - 9395 [MHz]).
- La potencia de entrada (In) se mide con el Medidor de Potencia, Agilent N1913A más el Sensor de Potencia, Agilent E4412A:

$$\text{Desviación Absoluta Spectran HF-60105 v4} = \text{Valor Potencia UUT} - \text{Valor Potencia Patrón} \quad (1)$$

Tabla 20: Extracto en Excel para Cálculo de Desviación entre 100 y 2000 [MHz]

Generador de Señales RF Agilent N9310A & Hewlett Packard 8672A			Portable Spectrum Analyzer Aaronia AG Spectran HF-60105 v4 (UUT)		Medidor y Sensor de Potencia Agilent N1913A & Agilent E4412A (Patrón)		Cálculo Automático Desviación Spect HF-60105 v4
Potencia [dBm]	Frecuencia [MHz]	Resolución [dBm]	Potencia [dBm]	Resolución [dBm]	Potencia [dBm]	Resolución [dBm]	Potencia [dBm]
-20	100	0.1	-20.00	1	-20.30	0.01	0.30
-20	200	0.1	-21.00	1	-21.28	0.01	0.28
-20	300	0.1	-20.00	1	-20.30	0.01	0.30
-20	400	0.1	-21.00	1	-21.22	0.01	0.22
-20	500	0.1	-20.00	1	-20.28	0.01	0.28
-20	600	0.1	-20.00	1	-20.20	0.01	0.20
-20	700	0.1	-21.00	1	-21.25	0.01	0.25
-20	800	0.1	-20.00	1	-20.35	0.01	0.35
-20	900	0.1	-20.00	1	-20.36	0.01	0.36
-20	1000	0.1	-21.00	1	-21.30	0.01	0.30
-20	1100	0.1	-21.00	1	-21.20	0.01	0.20
-20	1200	0.1	-20.00	1	-19.90	0.01	-0.10
-20	1300	0.1	-21.00	1	-21.20	0.01	0.20
-20	1400	0.1	-21.00	1	-21.30	0.01	0.30
-20	1500	0.1	-20.00	1	-20.35	0.01	0.35
-20	1600	0.1	-21.00	1	-21.36	0.01	0.36
-20	1700	0.1	-21.00	1	-21.30	0.01	0.30
-20	1800	0.1	-20.00	1	-19.83	0.01	-0.17
-20	1900	0.1	-21.00	1	-21.30	0.01	0.30
-20	2000	0.1	-21.00	1	-21.25	0.01	0.25

c.- Cálculo de Incertidumbre del Spectran HF-60105 v4, Serie = 60812

c1.- Componentes de Incertidumbre Tipo A, Tipo B y Coeficientes de Sensibilidad:

- Para el cálculo de las incertidumbres se aplican las siguientes ecuaciones:

$$u(\delta_{\text{Desviación Estándar}}) = \delta_{\text{Desviación Estándar}} / \sqrt{n}, \text{ donde } n = \text{número de lecturas.} \quad (15)$$

$$u(\delta_{\text{Res}}) = \delta_{\text{Res}} / \sqrt{12}, \text{ (Distribución Rectangular para Instrumentos Digitales).} \quad (16)$$

$$u(x_i) = a / \sqrt{3}. \text{ (Espec. Téc. de instrumentos).} \quad (17)$$

- Las incertidumbres en esta calibración son las siguientes:

Incertidumbre Tipo A: Desviación Estándar UUT (Aaronia AG, Spectran HF-60105 v4).

Incertidumbre Tipo B: Resolución UUT, Resolución Patrón (Agilent N1913A & E4412A) y Espec. Téc. del Patrón.

- Para los **Coeficientes de Sensibilidad** se obtienen valores de 1 y -1, los cuales se deducen aplicando la ecuación de propagación de errores y resolviendo las derivadas parciales:

$$\text{Desviación Absoluta}_{UUT} = \text{Valor Medido}_{\text{Potencia UUT}} - \text{Valor}_{\text{Potencia Patrón}} \quad (1)$$

$$u^2(\sigma_{\text{Desv. Abs. UUT}}) = [(\partial \text{Desv. Abs. UUT} / \partial \text{Valor Medido}_{\text{Potencia UUT}})^2 \bullet u^2(\sigma_{\text{Valor Medido}_{\text{Potencia UUT}}})] + [(\partial \text{Desv. Abs. UUT} / \partial \text{Valor}_{\text{Potencia Patrón}})^2 \bullet u^2(\sigma_{\text{Valor}_{\text{Potencia Patrón}}})] \quad (18)$$

$$c_1 = (\partial \text{Desviación Absoluta}_{UUT} / \partial \text{Valor Medido}_{\text{Potencia UUT}}) = 1 \quad (19)$$

$$c_2 = (\partial \text{Desviación Absoluta}_{UUT} / \partial \text{Valor}_{\text{Potencia Patrón}}) = -1 \quad (20)$$

$$u^2(\delta_{\text{Desviación Absoluta UUT}}) = u^2(\delta_{\text{Valor Medido}_{\text{Potencia UUT}}}) + u^2(\delta_{\text{Valor}_{\text{Potencia Patrón}}}) \quad (21)$$

De tal forma que esta se puede expresar como:

$$u^2(\delta_{\text{Desviación UUT}}) = u^2(\delta_{\text{Desv Est. UUT}}) + u^2(\delta_{\text{Res UUT}}) + u^2(\delta_{\text{Res Patrón}}) + u^2(\delta_{\text{Espec. Téc. Patrón}}) \quad (22)$$

Tabla 21: Extracto en Excel para Cálculo de Incertidumbre Tipo A entre 100 y 2000 [MHz]

			Incertidumbre Tipo A (Desviación Estándar UUT)					
Generador de Señales RF Agilent N5315A & Hewlett Packard 8672A			Dispersión de las mediciones Spect HF-60105 v4	Número de Mediciones Spect HF-60105 v4	$\delta_{\text{z Spect HF-60105 v4}}$	Coef. Sens.	$\delta_{\text{z Spect HF-60105 v4}} \bullet C_1$	$\delta_{\text{z Spect HF-60105 v4}} \bullet C_2$
Potencia [dBm]	Frecuencia [MHz]	Resolución [dBm]			[dBm]	$u(\delta_{\text{z}})$	C_1	[dBm]
-20	100	0,1	0,00	5	0,000	1	0,00E+00	0,000
-20	200	0,1	0,00	5	0,000	1	0,00E+00	0,000
-20	300	0,1	0,00	5	0,000	1	0,00E+00	0,000
-20	400	0,1	0,00	5	0,000	1	0,00E+00	0,000
-20	500	0,1	0,00	5	0,000	1	0,00E+00	0,000
-20	600	0,1	0,00	5	0,000	1	0,00E+00	0,000
-20	700	0,1	0,00	5	0,000	1	0,00E+00	0,000
-20	800	0,1	0,00	5	0,000	1	0,00E+00	0,000
-20	900	0,1	0,00	5	0,000	1	0,00E+00	0,000
-20	1000	0,1	0,00	5	0,000	1	0,00E+00	0,000
-20	1100	0,1	0,00	5	0,000	1	0,00E+00	0,000
-20	1200	0,1	0,00	5	0,000	1	0,00E+00	0,000
-20	1300	0,1	0,00	5	0,000	1	0,00E+00	0,000
-20	1400	0,1	0,00	5	0,000	1	0,00E+00	0,000
-20	1500	0,1	0,00	5	0,000	1	0,00E+00	0,000
-20	1600	0,1	0,00	5	0,000	1	0,00E+00	0,000
-20	1700	0,1	0,00	5	0,000	1	0,00E+00	0,000
-20	1800	0,1	0,00	5	0,000	1	0,00E+00	0,000
-20	1900	0,1	0,00	5	0,000	1	0,00E+00	0,000
-20	2000	0,1	0,00	5	0,000	1	0,00E+00	0,000

Tabla 22: Extracto en Excel para Cálculo de Incertidumbre Tipo B entre 100 y 2000 [MHz]

Incertidumbre Tipo B (Resolución UUT, Resolución Patrón y Calibración o Especificaciones Técnicas Patrón)														
Resolución	δ_{Res} Spec HF-40105 v4	Coef. Sens.	δ_{Res} Spec HF-40105 v4 • C ₂	δ_{Res} Spec HF-40105 v4 • C ₂	Resolución Agilent N1913A • Agilent E4412A	δ_{Res} Agil. N1913A	Coef. Sens.	δ_{Res} Agil. N1913A • C ₂	δ_{Res} Agil. N1913A • C ₂	$\delta_{Esp. Tec. Agilent E4412A}$	Coef. Sens.	$\delta_{Esp. Tec. Agil. E4412A} \bullet C_2$	$\delta_{Esp. Tec. Agil. E4412A} \bullet C_2$	
[dBm]	u (δ_{Res})	C ₂	u (δ_{Res}) [dBm]	u (δ_{Res}) [%]	[dBm]	u (δ_{Res})	C ₂	u (δ_{Res}) [dBm]	u (δ_{Res}) [%]	u ($\delta_{Exp. Tec.}$)	C ₂	u ($\delta_{Exp. Tec.}$) [dBm]	u ($\delta_{Exp. Tec.}$) [%]	
1	2.89E-01	1	2.89E-01	-1.443	0,01	2.89E-03	1	2.89E-03	-0.014	0,08	1	4.62E-02	-0.228	
1	2.89E-01	1	2.89E-01	-1.375	0,01	2.89E-03	1	2.89E-03	-0.014	0,08	1	4.62E-02	-0.217	
1	2.89E-01	1	2.89E-01	-1.443	0,01	2.89E-03	1	2.89E-03	-0.014	0,08	1	4.62E-02	-0.228	
1	2.89E-01	1	2.89E-01	-1.375	0,01	2.89E-03	1	2.89E-03	-0.014	0,08	1	4.62E-02	-0.218	
1	2.89E-01	1	2.89E-01	-1.443	0,01	2.89E-03	1	2.89E-03	-0.014	0,08	1	4.62E-02	-0.228	
1	2.89E-01	1	2.89E-01	-1.443	0,01	2.89E-03	1	2.89E-03	-0.014	0,08	1	4.62E-02	-0.229	
1	2.89E-01	1	2.89E-01	-1.375	0,01	2.89E-03	1	2.89E-03	-0.014	0,08	1	4.62E-02	-0.217	
1	2.89E-01	1	2.89E-01	-1.443	0,01	2.89E-03	1	2.89E-03	-0.014	0,08	1	4.62E-02	-0.227	
1	2.89E-01	1	2.89E-01	-1.443	0,01	2.89E-03	1	2.89E-03	-0.014	0,08	1	4.62E-02	-0.227	
1	2.89E-01	1	2.89E-01	-1.375	0,01	2.89E-03	1	2.89E-03	-0.014	0,08	1	4.62E-02	-0.217	
1	2.89E-01	1	2.89E-01	-1.375	0,01	2.89E-03	1	2.89E-03	-0.014	0,08	1	4.62E-02	-0.218	
1	2.89E-01	1	2.89E-01	-1.443	0,01	2.89E-03	1	2.89E-03	-0.015	0,08	1	4.62E-02	-0.232	
1	2.89E-01	1	2.89E-01	-1.375	0,01	2.89E-03	1	2.89E-03	-0.014	0,08	1	4.62E-02	-0.218	
1	2.89E-01	1	2.89E-01	-1.375	0,01	2.89E-03	1	2.89E-03	-0.014	0,08	1	4.62E-02	-0.217	
1	2.89E-01	1	2.89E-01	-1.443	0,01	2.89E-03	1	2.89E-03	-0.014	0,08	1	4.62E-02	-0.227	
1	2.89E-01	1	2.89E-01	-1.375	0,01	2.89E-03	1	2.89E-03	-0.014	0,08	1	4.62E-02	-0.216	
1	2.89E-01	1	2.89E-01	-1.375	0,01	2.89E-03	1	2.89E-03	-0.014	0,08	1	4.62E-02	-0.217	
1	2.89E-01	1	2.89E-01	-1.443	0,01	2.89E-03	1	2.89E-03	-0.015	0,08	1	4.62E-02	-0.233	
1	2.89E-01	1	2.89E-01	-1.375	0,01	2.89E-03	1	2.89E-03	-0.014	0,08	1	4.62E-02	-0.217	
1	2.89E-01	1	2.89E-01	-1.375	0,01	2.89E-03	1	2.89E-03	-0.014	0,08	1	4.62E-02	-0.217	

c2.- Para el cálculo de la **Incertidumbre Combinada** u_c se utiliza la siguiente ecuación:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N [c_i \cdot u(x_i)]^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left[\frac{\partial f}{\partial x_i} \cdot u(x_i) \right]^2} \quad (6)$$

En este caso,

$$u_c(\delta_{Desv. Spect.}) = \sqrt{u^2(\delta_{Desv. Est. Spect.}) + u^2(\delta_{Res Spect.}) + u^2(\delta_{Res Agil.}) + u^2(\delta_{Espec. Téc. Agil.})} \quad (23)$$

Tabla 23.1: Extracto en Excel para Cálculo de Incertidumbre Combinada u_c en [dBm]

Frecuencia [MHz]	δ_x Spect. HF-60105 • C ₁ u (δ_x) [dBm]	δ_{Res} Spect. HF-60105 • C ₂ u (δ_{Res}) [dBm]	δ_{Res} Agil. N1913A • C ₂ u (δ_{Res}) [dBm]	$\delta_{Esp. Tec. Agil. E4412A}$ • C ₂ u ($\delta_{Esp. Tec.}$) [dBm]	Incertidumbre Combinada u_c [dBm]
100	0,00E+00	2,89E-01	2,89E-03	4,62E-02	0,292
200	0,00E+00	2,89E-01	2,89E-03	4,62E-02	0,292
300	0,00E+00	2,89E-01	2,89E-03	4,62E-02	0,292
400	0,00E+00	2,89E-01	2,89E-03	4,62E-02	0,292
500	0,00E+00	2,89E-01	2,89E-03	4,62E-02	0,292
600	0,00E+00	2,89E-01	2,89E-03	4,62E-02	0,292
700	0,00E+00	2,89E-01	2,89E-03	4,62E-02	0,292
800	0,00E+00	2,89E-01	2,89E-03	4,62E-02	0,292
900	0,00E+00	2,89E-01	2,89E-03	4,62E-02	0,292
1000	0,00E+00	2,89E-01	2,89E-03	4,62E-02	0,292
1100	0,00E+00	2,89E-01	2,89E-03	4,62E-02	0,292
1200	0,00E+00	2,89E-01	2,89E-03	4,62E-02	0,292
1300	0,00E+00	2,89E-01	2,89E-03	4,62E-02	0,292
1400	0,00E+00	2,89E-01	2,89E-03	4,62E-02	0,292
1500	0,00E+00	2,89E-01	2,89E-03	4,62E-02	0,292
1600	0,00E+00	2,89E-01	2,89E-03	4,62E-02	0,292
1700	0,00E+00	2,89E-01	2,89E-03	4,62E-02	0,292
1800	0,00E+00	2,89E-01	2,89E-03	4,62E-02	0,292
1900	0,00E+00	2,89E-01	2,89E-03	4,62E-02	0,292
2000	0,00E+00	2,89E-01	2,89E-03	4,62E-02	0,292

Tabla 23.2: Extracto en Excel para Cálculo de Incertidumbre Combinada u_c en [%]

Frecuencia [MHz]	δ_x Spect. HF-60105 • C_1 $u(\delta_x)$ [%]	δ_{Res} Spect. HF-60105 • C_2 $u(\delta_{Res})$ [%]	δ_{Res} Agil. N1913A • C_2 $u(\delta_{Res})$ [%]	$\delta_{Esp. Tcc. Agil. E4412A}$ • C_2 $u(\delta_{Esp. Tcc.})$ [%]	Incertidumbre Combinada u_c [%]
100	0,000	-1,443	-0,014	-0,228	1,461
200	0,000	-1,375	-0,014	-0,217	1,392
300	0,000	-1,443	-0,014	-0,228	1,461
400	0,000	-1,375	-0,014	-0,218	1,392
500	0,000	-1,443	-0,014	-0,228	1,461
600	0,000	-1,443	-0,014	-0,229	1,461
700	0,000	-1,375	-0,014	-0,217	1,392
800	0,000	-1,443	-0,014	-0,227	1,461
900	0,000	-1,443	-0,014	-0,227	1,461
1000	0,000	-1,375	-0,014	-0,217	1,392
1100	0,000	-1,375	-0,014	-0,218	1,392
1200	0,000	-1,443	-0,015	-0,232	1,462
1300	0,000	-1,375	-0,014	-0,218	1,392
1400	0,000	-1,375	-0,014	-0,217	1,392
1500	0,000	-1,443	-0,014	-0,227	1,461
1600	0,000	-1,375	-0,014	-0,216	1,392
1700	0,000	-1,375	-0,014	-0,217	1,392
1800	0,000	-1,443	-0,015	-0,233	1,462
1900	0,000	-1,375	-0,014	-0,217	1,392
2000	0,000	-1,375	-0,014	-0,217	1,392

c3.- Componentes de Factor de Cobertura k , Nivel de Confianza, Grados (Valores) Efectivos de Libertad V_{eff} asociados a las incertidumbres y Cálculo de Incertidumbre Expandida U :

- Para seleccionar adecuadamente el Factor de Cobertura k deseado, en primer lugar, se debe definir el Nivel de Confianza con el que se entregarán los resultados. En la gran mayoría de los casos, se reporta un **Nivel de Confianza** aproximado a 95%, valor que en realidad corresponde a un **95.45%**.
- Una vez definido el Nivel de Confianza con el que se realiza el cálculo, se determinan los **Grados Efectivos de Libertad** V_{eff} asociados a la Incertidumbre Combinada u_c , se obtienen mediante la fórmula de **Welch-Satterhwaite**, (previamente se escoge el Nivel de Confianza = 95.45%):

$$V_{eff} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^n \frac{u_i^4(\delta_i)}{V\delta_i}} \quad (8)$$

Para la obtención de los diferentes **grados de libertad** $V\delta_i$ asociados a cada una de las incertidumbres involucradas se deberá seguir el siguiente protocolo:

- **Incertidumbre Tipo A:** Los grados de libertad $V\delta_i$ asociados a este tipo de incertidumbres es el valor dado por las $(n - 1)$ lecturas ($\delta_{x \text{ Spect HF-60105 v4}}$).
- **Incertidumbre Tipo B:** En este caso se asocia un valor alto a los grados de libertad $V\delta_i$,
Ej.: $100 \bullet 10^{+06}$ o ∞ . ($\delta_{\text{Res Spect HF-60105 v4}}$, $\delta_{\text{Res Agil. N1913A + E4412A}}$ y $\delta_{\text{Espec. Téc. Agil. E4412A}}$).

Con el valor calculado de los Grados Efectivos de Libertad V_{eff} y el Nivel de Confianza seleccionado, se determina el **Factor de Cobertura** k (ver Tabla 24):

Tabla 24: Grados de Libertad v/s Nivel de Confianza Final

Grados de Libertad	Nivel de Confianza					
	68.27%	90%	95%	95.45%	99%	99.73%
1	1,84	6,31	12,71	13,97	63,66	235,80
2	1,32	2,92	4,30	4,53	9,92	19,21
3	1,20	2,35	3,18	3,31	5,84	9,22
4	1,14	2,13	2,78	2,87	4,60	6,62
5	1,11	2,02	2,57	2,65	4,03	5,51
6	1,09	1,94	2,45	2,52	3,71	4,90
7	1,08	1,89	2,36	2,43	3,50	4,53
...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...
40	1,01	1,68	2,02	2,06	2,70	3,20
45	1,01	1,68	2,01	2,06	2,69	3,18
50	1,01	1,68	2,01	2,05	2,68	3,16
100	1,005	1,660	1,984	2,025	2,626	3,077
∞	1,00	1,645	1,960	2,00	2,576	3,00

Finalmente, se obtiene el valor de **Incertidumbre Expandida** U :

$$U = k \bullet u_c \quad (7)$$

, con $k = 2$ y Nivel de Confianza = 95.45%.

Tabla 25: Extracto en Excel para Cálculo de Incertidumbre Expandida U

Val. Efec. Estim.	Val. Efec. Estim.	Val. Efec. Estim.	Val. Efec. Estim.	Cálculo	k --- Datos del Anexo G de la GUM para un nivel de confianza de ~ 95 %	S _{spectrum} HF-60105 v4	
						U (k = 2)	
						[dBm]	[%]
<i>S_x</i> Spect HF-60105 v4	<i>S_{Res}</i> Spect HF-60105 v4	<i>S_{Res}</i> Agil. N°1913A --- E4412A	<i>S_{Exp.}</i> Téc. Agil. E4412A	V _{eff}			
4	1.00E+08	1.00E+08	1.00E+08	1.05E+08	2.00	0.58	2.92
4	1.00E+08	1.00E+08	1.00E+08	1.05E+08	2.00	0.58	2.78
4	1.00E+08	1.00E+08	1.00E+08	1.05E+08	2.00	0.58	2.92
4	1.00E+08	1.00E+08	1.00E+08	1.05E+08	2.00	0.58	2.78
4	1.00E+08	1.00E+08	1.00E+08	1.05E+08	2.00	0.58	2.92
4	1.00E+08	1.00E+08	1.00E+08	1.05E+08	2.00	0.58	2.92
4	1.00E+08	1.00E+08	1.00E+08	1.05E+08	2.00	0.58	2.78
4	1.00E+08	1.00E+08	1.00E+08	1.05E+08	2.00	0.58	2.92
4	1.00E+08	1.00E+08	1.00E+08	1.05E+08	2.00	0.58	2.92
4	1.00E+08	1.00E+08	1.00E+08	1.05E+08	2.00	0.58	2.78
4	1.00E+08	1.00E+08	1.00E+08	1.05E+08	2.00	0.58	2.92
4	1.00E+08	1.00E+08	1.00E+08	1.05E+08	2.00	0.58	2.78
4	1.00E+08	1.00E+08	1.00E+08	1.05E+08	2.00	0.58	2.92
4	1.00E+08	1.00E+08	1.00E+08	1.05E+08	2.00	0.58	2.78
4	1.00E+08	1.00E+08	1.00E+08	1.05E+08	2.00	0.58	2.92
4	1.00E+08	1.00E+08	1.00E+08	1.05E+08	2.00	0.58	2.78
4	1.00E+08	1.00E+08	1.00E+08	1.05E+08	2.00	0.58	2.92
4	1.00E+08	1.00E+08	1.00E+08	1.05E+08	2.00	0.58	2.78
4	1.00E+08	1.00E+08	1.00E+08	1.05E+08	2.00	0.58	2.92
4	1.00E+08	1.00E+08	1.00E+08	1.05E+08	2.00	0.58	2.78
4	1.00E+08	1.00E+08	1.00E+08	1.05E+08	2.00	0.58	2.92
4	1.00E+08	1.00E+08	1.00E+08	1.05E+08	2.00	0.58	2.78
4	1.00E+08	1.00E+08	1.00E+08	1.05E+08	2.00	0.58	2.92
4	1.00E+08	1.00E+08	1.00E+08	1.05E+08	2.00	0.58	2.78
4	1.00E+08	1.00E+08	1.00E+08	1.05E+08	2.00	0.58	2.92
4	1.00E+08	1.00E+08	1.00E+08	1.05E+08	2.00	0.58	2.78
4	1.00E+08	1.00E+08	1.00E+08	1.05E+08	2.00	0.58	2.92
4	1.00E+08	1.00E+08	1.00E+08	1.05E+08	2.00	0.58	2.78
4	1.00E+08	1.00E+08	1.00E+08	1.05E+08	2.00	0.58	2.92
4	1.00E+08	1.00E+08	1.00E+08	1.05E+08	2.00	0.58	2.78
4	1.00E+08	1.00E+08	1.00E+08	1.05E+08	2.00	0.58	2.92
4	1.00E+08	1.00E+08	1.00E+08	1.05E+08	2.00	0.58	2.78
4	1.00E+08	1.00E+08	1.00E+08	1.05E+08	2.00	0.58	2.92
4	1.00E+08	1.00E+08	1.00E+08	1.05E+08	2.00	0.58	2.78
4	1.00E+08	1.00E+08	1.00E+08	1.05E+08	2.00	0.58	2.92
4	1.00E+08	1.00E+08	1.00E+08	1.05E+08	2.00	0.58	2.78
4	1.00E+08	1.00E+08	1.00E+08	1.05E+08	2.00	0.58	2.92
4	1.00E+08	1.00E+08	1.00E+08	1.05E+08	2.00	0.58	2.78
4	1.00E+08	1.00E+08	1.00E+08	1.05E+08	2.00	0.58	2.92
4	1.00E+08	1.00E+08	1.00E+08	1.05E+08	2.00	0.58	2.78
4	1.00E+08	1.00E+08	1.00E+08	1.05E+08	2.00	0.58	2.92
4	1.00E+08	1.00E+08	1.00E+08	1.05E+08	2.00	0.58	2

**Tabla 26: Extracto en Excel para Comparación de Espec. Téc. del Fabricante
vs Desviación $\pm$ Incertidumbre**

Generador de Señales RF Agilent N3310A & Hewlett Packard 8672A		Especificaciones Técnicas		Especificaciones Técnicas Calculadas				Cálculos [dBm]			Cálculos [%]			
		Analiz. Espectros Spectran HF-60105 v4		Analiz. Espectros Spectran HF-60105 v4										
		Potencia	Frecuencia	Incertidumbre		Desviación	Incertidumbre	Desviación	Incertidumbre	(Valor Calibración + U) / Espec <1	(Valor Calibración - U) / Espec <1	U/Espec. < 1	(Valor Calibración + U) / Espec <1	(Valor Calibración - U) / Espec <1
[dBm]	[MHz]	[dBm]	[%]	[dBm]	[dBm]	[%]	[%]							
-20	100	1.0	-5	0.30	0.58	-1.48	2.92	0.88	0.28	0.58	0.29	0.89	0.59	
-20	200	1.0	-5	0.28	0.58	-1.32	2.78	0.86	0.30	0.58	0.31	0.87	0.59	
-20	300	1.0	-5	0.30	0.58	-1.48	2.92	0.88	0.28	0.58	0.29	0.89	0.59	
-20	400	1.0	-5	0.22	0.58	-1.94	2.78	0.80	0.36	0.58	0.37	0.81	0.59	
-20	500	1.0	-5	0.28	0.58	-1.38	2.92	0.86	0.30	0.58	0.31	0.87	0.59	
-20	600	1.0	-5	0.20	0.58	-0.99	2.92	0.78	0.38	0.58	0.39	0.79	0.59	
-20	700	1.0	-5	0.25	0.58	-1.18	2.78	0.83	0.33	0.58	0.34	0.84	0.59	
-20	800	1.0	-5	0.35	0.58	-1.72	2.92	0.93	0.23	0.58	0.24	0.94	0.59	
-20	900	1.0	-5	0.36	0.58	-1.77	2.92	0.94	0.22	0.58	0.23	0.95	0.59	
-20	1000	1.0	-5	0.30	0.58	-1.41	2.78	0.88	0.28	0.58	0.29	0.89	0.59	
-20	1100	1.0	-5	0.20	0.58	-0.94	2.78	0.78	0.38	0.58	0.39	0.79	0.59	
-20	1200	1.0	-5	-0.10	0.58	0.50	2.92	0.48	0.68	0.58	0.68	0.48	0.58	
-20	1300	1.0	-5	0.20	0.58	-0.94	2.78	0.78	0.38	0.58	0.39	0.79	0.59	
-20	1400	1.0	-5	0.30	0.58	-1.41	2.78	0.88	0.28	0.58	0.29	0.89	0.59	
-20	1500	1.0	-5	0.35	0.58	-1.72	2.92	0.93	0.23	0.58	0.24	0.94	0.59	
-20	1600	1.0	-5	0.36	0.58	-1.69	2.78	0.94	0.22	0.58	0.23	0.95	0.59	
-20	1700	1.0	-5	0.30	0.58	-1.42	2.78	0.89	0.28	0.58	0.29	0.89	0.59	
-20	1800	1.0	-5	-0.17	0.58	0.86	2.92	0.41	0.75	0.58	0.75	0.41	0.58	
-20	1900	1.0	-5	0.30	0.58	-1.41	2.78	0.88	0.28	0.58	0.29	0.89	0.59	
-20	2000	1.0	-5	0.25	0.58	-1.18	2.78	0.83	0.33	0.58	0.34	0.84	0.59	

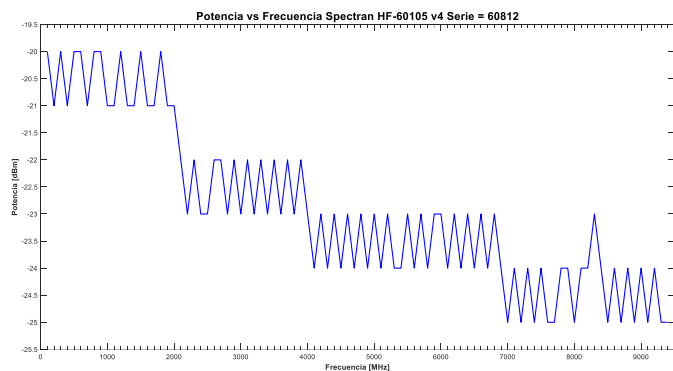
**Tabla 27: Espec. Téc. del Fabricante del Analizador de Espectros Portátil,
Aaronia AG, Spectran HF-60105 v4**

5.1. Datos técnicos

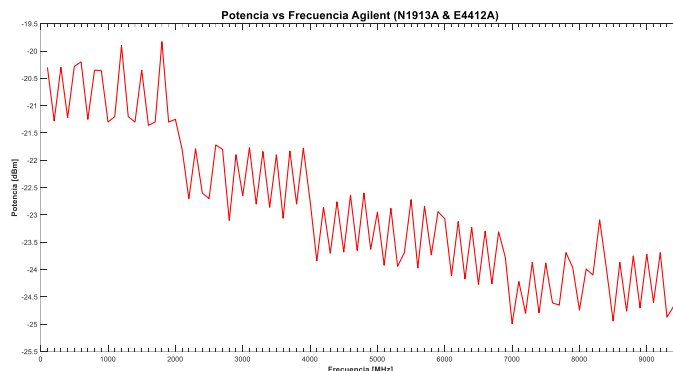
	HF-6060 V4	HF-6080 V4	HF-60100 V4
Rango de frecuencias	10MHz – 6 GHz	10MHz – 8 GHz	1MHz – 9,4 GHz
DANL*	-135dBm (1Hz)	-145dBm (1Hz)	-155dBm (1Hz)
DANL * con preamplificador	-150dBm (1Hz)	-160dBm (1Hz)	-170dBm (1Hz)
Nivel pico max: Entrada máxima	+10dBm	+10dBm	+20dBm (opc.+ 40dBm)
Tiempo de muestreo más rápido	10mS	10mS	5mS
Filtros de resolución (RBW)	De 3kHz hasta 50 MHz	De 1kHz hasta 50MHz	200Hz (sólo con la Opción 002) hasta 50 MHz
Unidades	dBm, dBµV, V/m, A/m, W/m² (dBµV/m, W/cm² etc. via el software PC)	dBm, dBµV, V/m, A/m, W/m² (dBµV/m, W/cm² etc. via el software PC)	dBm, dBµV, V/m, A/m, W/m² (dBµV/m, W/cm² etc. via software de PC)
Filtros EMC	-	-	200Hz, 9kHz, 120kHz, 200 kHz, 1,5MHz, 5MHz
Detectores	RMS, Min/Max	RMS, Min/Max	RMS, Min/Max
Demodulación	AM, FM	AM, FM, PM	AM, FM, PM, GSM
Entrada	Entrada SMA (f) de 50 ohmios	Entrada SMA (f) de 50 ohmios	Entrada SMA (f) de 50 ohmios
Exactitud	+/- 2dB	+/- 2dB	+/- 1dB
Interfaz	USB 2.0/1.1	USB 2.0/1.1	USB 2.0/1.1
Peso Dispositivo de base	Aprox. 430 g	Aprox. 430 g	Aprox. 430 g

- Accuracy (Exactitud) HF-60100 v4 = ± 1 [dB].

d.- Gráfico de Potencia de Entrada (In) vs Frecuencia en Spectran HF-60105 v4, Serie = 60812 y Agilent (N1913A & E4412A)



**Figura 23.1: Potencia In vs Frecuencia
Spectran HF-60105 v4, Serie = 60812**



**Figura 23.2: Potencia In vs Frecuencia
Agilent (N1913A & E4412A)**

e.- Gráficos Potencias In vs Frecuencia y Calibración vs Frecuencia Spectran HF-60105 v4

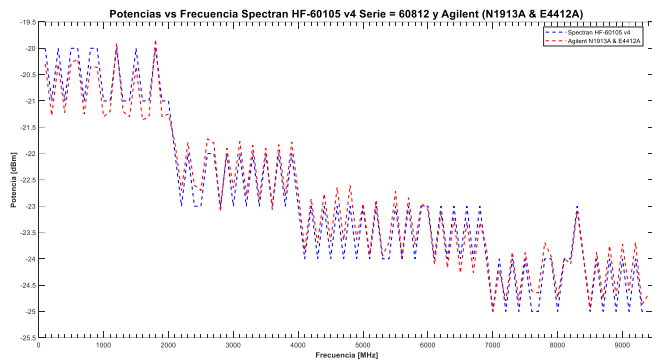


Figura 24.1: Potencias In vs Frecuencia Spectran 60812

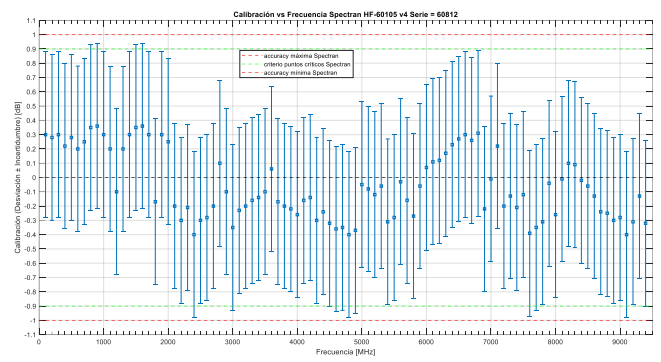


Figura 24.2: Calibración vs Frecuencia Spectran 60812

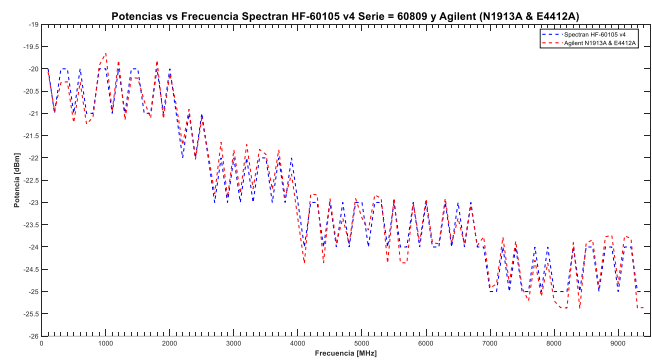


Figura 25.1: Potencias In vs Frecuencia Spectran 60809

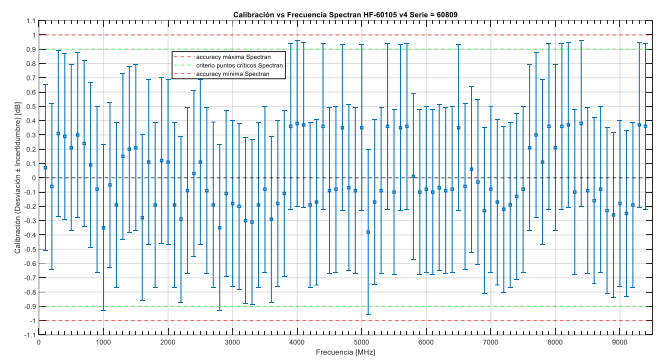


Figura 25.2: Calibración vs Frecuencia Spectran 60809

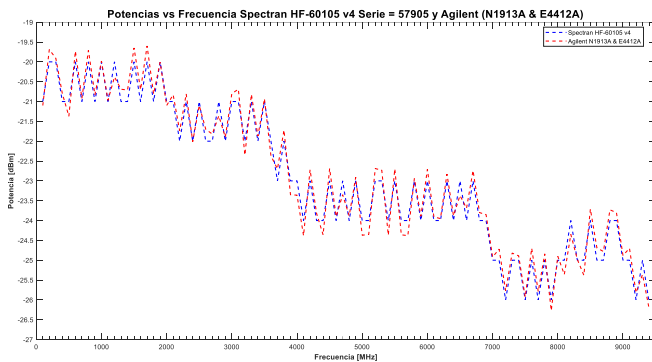


Figura 26.1: Potencias In vs Frecuencia Spectran 57905

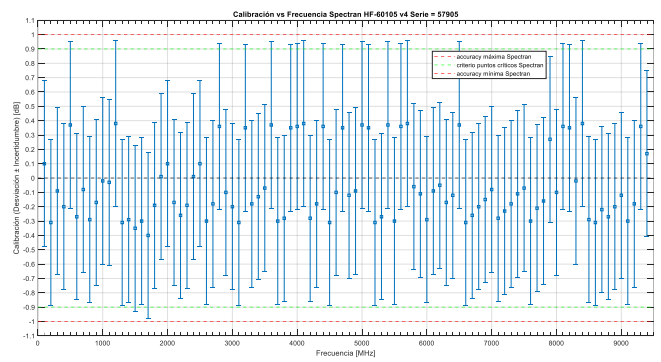


Figura 26.2: Calibración vs Frecuencia Spectran 57905

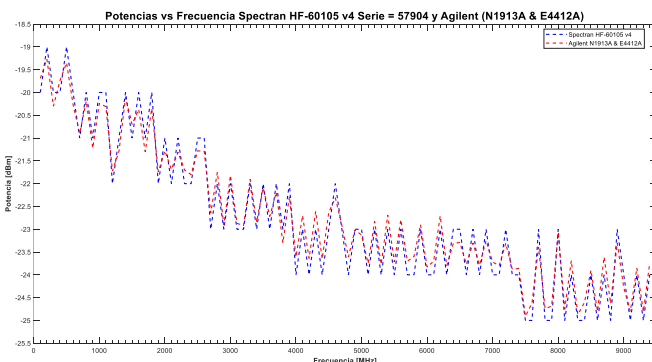


Figura 27.1: Potencias In vs Frecuencia Spectran 57904

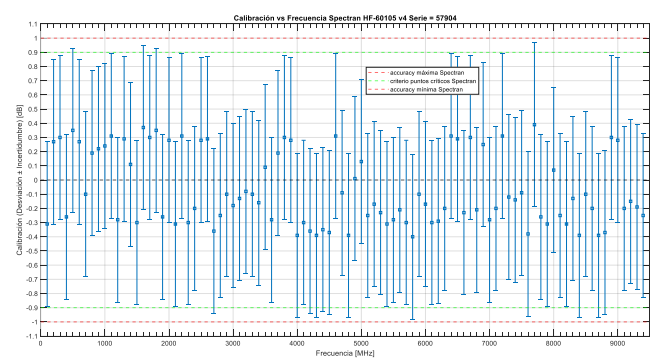


Figura 27.2: Calibración vs Frecuencia Spectran 57904

f.- Puntos Críticos de Analizadores de Espectros Portátiles, Aaronia AG, Spectran HF-60105 v4

Tabla 28: Puntos Críticos de Analizadores de Espectros Portátiles, Aaronia AG, Spectran HF-60105 v4

Se asume el siguiente criterio; se consideran puntos críticos de calibración a los valores que estén en el siguiente intervalo (± 0.9 [dB] $< x < \pm 1.0$ [dB]) de los Analizadores de Espectros Portátiles, Aaronia AG, Spectran HF-60105 v4.

Puntos Críticos de Spectran HF-60105 V4				
Serie	60812	60809	57905	57904
Frecuencia [MHz]	800	1000	500	500
	900	2800	1200	1600
	1500	3900	1500	1800
	1600	4000	1700	2700
	2400	4100	2800	4000
	3000	4400	3200	4200
	4600	4700	3600	4300
	4700	5000	3900	4400
	4800	5100	4000	4500
	4900	5400	4100	4800
	7600	5600	4400	5800
	7700	5700	4700	7600
	9100	6500	5000	7700
		7900	5100	8400
		8100	5400	8700
		8200	5600	8800
		8400	5700	
		9300	6500	
		9395	8100	
			8200	
			8400	
			9300	
Puntos Críticos entre $\pm 0.9 < X < \pm 1.00$	13	19	22	16
	Este punto crítico se repite en dos Spectran			
	Este punto crítico se repite en tres Spectran			

g.- Certificado de Calibración del Analizador de Espectros Portátil, Aaronia AG, Spectran HF-60105 v4, Serie = 60812

Instrumento = Portable Spectrums Analyzer
 Fabricante = Aaronia AG
 Modelo = Spectran HF-60105 v4
 Serie = 60812
 Fecha Calibración = 11/06/2025
 Patrón Calibración = Agilent N1913A, Power Meter
 Agilent E4412A, Power Sensor

Certificado de Calibración

Propiedad = Laboratorio de Microondas y Antenas
 Ingeniería Civil en Telecomunicaciones
 Facultad de Ingeniería
 Universidad de Concepción



Objeto de la Calibración

Fue calibrado el Aaronia AG, Spectran HF-60105 v4, Portable Spectrums Analyzer, número de serie 60812, en puntos de Frecuencia.

Método de Calibración

Para calibrar el Aaronia AG, Spectran HF-60105 v4, Portable Spectrums Analyzer, número de serie 60812, se utilizó el Agilent N1913A, Power Meter con el Agilent E4412A, Power Sensor como patrón de referencia. Se inyectaron frecuencias desde los 100 [MHz] hasta los 3000 [MHz] con el Generador de Radio Frecuencia, Agilent N9310A y frecuencias desde los 3100 [MHz] hasta los 9395 [MHz] con el Generador de Radio Frecuencia, Hewlett Packard 8672A. Debido a la repetibilidad del instrumento solo se tomaron 5 medidas por cada punto de medición.

El modelo matemático utilizado en el proceso de calibración fue el siguiente:

$$\text{Desviación Absoluta} = \text{Valor Potencia UUT} - \text{Valor Potencia Patrón}$$

donde:

Desviación Absoluta: Desviación Spectran HF-60105 v4, con respecto al valor patrón.
 Valor Potencia UUT: Valor (lectura) del Spectran HF-60105 v4.
 Valor Potencia Patrón: Valor (lectura) del Agilent N1913A & Agilent E4412A.

La fórmula matemática para la desviación relativa es:

$$\text{Desviación Relativa} = \frac{\text{Valor Potencia UUT} - \text{Valor Potencia Patrón}}{\text{Valor potencia Patrón}}$$

donde:

Desviación Relativa: Error del Aaronia AG, Spectran HF-60105 v4, Portable Spectrums Analyzer, expresado en porcentaje.

Condiciones Ambientales

Esta calibración fue realizada en un ambiente de temperatura de $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ y humedad relativa entre $30\% < \text{HR} < 60\%$

Resultados

Para cada una de las tablas de resultados se informa la desviación que posee el instrumento frente al valor de calibración del patrón de trabajo.

Referirse a las tablas de resultados que se encuentran en las páginas 4 a 7.

Incertidumbre

La incertidumbre entregada es la incertidumbre expandida obtenida al multiplicar la incertidumbre estándar por un factor de cobertura $k=2$. Esta ha sido determinada de acuerdo con lo expresado en la "Guide for the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM)" and "Expression of Uncertainty of Measurements in Calibration, EA-4/02". El valor de la incertidumbre es entregado con un nivel de confianza aproximado de un 95%.

Patrones usados

El instrumental usado para la calibración del **Aarona AG Spectran HF-60105 v4, Portable Spectrums Analyzer**, número de serie 60812, consta del patrón descrito a continuación:

Descripción	Modelo	Fabricante	Número de serie
Potencia Meter	N1913A	Agilent	MY54408032
Potencia Sensor	E4412A	Agilent	MY54370002

Generador Señales RF Agilent N9310A		Aarona AG Spectran HF-60105 v4 Portable Spect. Analyzer			
Potencia [dBm]	Frecuencia [MHz]	Desviación Absoluta [dBm]	Desviación Relativa [%]	Incertidumbre Absoluta [dBm]	Incertidumbre Relativa [%]
-20	100	0,30	-1,5	0,58	2,9
-20	200	0,28	-1,3	0,58	2,8
-20	300	0,30	-1,5	0,58	2,9
-20	400	0,22	-1,0	0,58	2,8
-20	500	0,28	-1,4	0,58	2,9
-20	600	0,20	-0,99	0,58	2,9
-20	700	0,25	-1,2	0,58	2,8
-20	800	0,35	-1,7	0,58	2,9
-20	900	0,36	-1,8	0,58	2,9
-20	1000	0,30	-1,4	0,58	2,8
-20	1100	0,20	-0,94	0,58	2,8
-20	1200	-0,10	0,50	0,58	2,9
-20	1300	0,20	-0,94	0,58	2,8
-20	1400	0,30	-1,4	0,58	2,8
-20	1500	0,35	-1,7	0,58	2,9

Generador Señales RF Hewlett Packard 8672A		Aarona AG Spectran HF-60105 v4 Portable Spect. Analyzer			
Potencia [dBm]	Frecuencia [MHz]	Desviación Absoluta [dBm]	Desviación Relativa [%]	Incertidumbre Absoluta [dBm]	Incertidumbre Relativa [%]
-20	4100	-0,16	0,67	0,58	2,4
-20	4200	-0,14	0,61	0,58	2,5
-20	4300	-0,30	1,3	0,58	2,4
-20	4400	-0,24	1,1	0,58	2,5
-20	4500	-0,32	1,4	0,58	2,4
-20	4600	-0,36	1,6	0,58	2,5
-20	4700	-0,35	1,5	0,58	2,4
-20	4800	-0,40	1,8	0,58	2,5
-20	4900	-0,37	1,6	0,58	2,4
-20	5000	-0,05	0,22	0,58	2,5
-20	5100	-0,08	0,33	0,58	2,4
-20	5200	-0,12	0,52	0,58	2,5
-20	5300	-0,06	0,25	0,58	2,4
-20	5400	-0,31	1,3	0,58	2,4
-20	5500	-0,28	1,2	0,58	2,5
-20	5600	-0,03	0,13	0,58	2,4
-20	5700	-0,16	0,68	0,58	2,5
-20	5800	-0,27	1,1	0,58	2,4
-20	5900	-0,06	0,24	0,58	2,5
-20	6000	0,07	-0,30	0,58	2,5

-20	6100	0,11	-0,46	0,58	2,4
-20	6200	0,12	-0,52	0,58	2,5
-20	6300	0,17	-0,70	0,58	2,4
-20	6400	0,23	-0,99	0,58	2,5
-20	6500	0,27	-1,1	0,58	2,4
-20	6600	0,30	-1,3	0,58	2,5
-20	6700	0,26	-1,1	0,58	2,4
-20	6800	0,31	-1,3	0,58	2,5
-20	6900	-0,22	0,93	0,58	2,4
-20	7000	-0,01	0,04	0,58	2,3
-20	7100	0,22	-0,91	0,58	2,4
-20	7200	-0,20	0,81	0,58	2,3
-20	7300	-0,13	0,54	0,58	2,4
-20	7400	-0,21	0,85	0,58	2,3
-20	7500	-0,12	0,50	0,58	2,4

Generador Señales RF Agilent N9310A		Aarona AG Spectran HF-60105 v4 Portable Spect. Analyzer			
Potencia [dBm]	Frecuencia [MHz]	Desviación Absoluta [dBm]	Desviación Relativa [%]	Incertidumbre Absoluta [dBm]	Incertidumbre Relativa [%]
-20	1600	0,36	-1,7	0,58	2,8
-20	1700	0,30	-1,4	0,58	2,8
-20	1800	-0,17	0,86	0,58	2,9
-20	1900	0,30	-1,4	0,58	2,8
-20	2000	0,25	-1,2	0,58	2,8
-20	2100	-0,20	0,92	0,58	2,7
-20	2200	-0,30	1,3	0,58	2,5
-20	2300	-0,21	0,96	0,58	2,7
-20	2400	-0,40	1,8	0,58	2,5
-20	2500	-0,30	1,3	0,58	2,5
-20	2600	-0,28	1,3	0,58	2,7
-20	2700	-0,20	0,92	0,58	2,7
-20	2800	0,10	-0,43	0,58	2,5
-20	2900	-0,10	0,46	0,58	2,7
-20	3000	-0,35	1,5	0,58	2,5

Generador Señales RF Hewlett Packard 8672A		Aarona AG Spectran HF-60105 v4 Portable Spect. Analyzer			
Potencia [dBm]	Frecuencia [MHz]	Desviación Absoluta [dBm]	Desviación Relativa [%]	Incertidumbre Absoluta [dBm]	Incertidumbre Relativa [%]
-20	3100	-0,23	1,1	0,58	2,7
-20	3200	-0,20	0,88	0,58	2,5
-20	3300	-0,16	0,73	0,58	2,7
-20	3400	-0,14	0,61	0,58	2,5
-20	3500	-0,10	0,46	0,58	2,7
-20	3600	0,06	-0,25	0,58	2,5
-20	3700	-0,17	0,78	0,58	2,7
-20	3800	-0,20	0,88	0,58	2,5
-20	3900	-0,22	1,0	0,58	2,7
-20	4000	-0,26	1,1	0,58	2,5

Generador Señales RF Hewlett Packard 8672A		Aarona AG Spectran HF-60105 v4 Portable Spect. Analyzer			
Potencia [dBm]	Frecuencia [MHz]	Desviación Absoluta [dBm]	Desviación Relativa [%]	Incertidumbre Absoluta [dBm]	Incertidumbre Relativa [%]
-20	7600	-0,39	1,6	0,58	2,3
-20	7700	-0,35	1,4	0,58	2,3
-20	7800	-0,31	1,3	0,58	2,4
-20	7900	-0,04	0,15	0,58	2,4
-20	8000	-0,26	1,0	0,58	2,3
-20	8100	-0,01	0,04	0,58	2,4
-20	8200	0,10	-0,41	0,58	2,4
-20	8300	0,09	-0,39	0,58	2,5
-20	8400	-0,02	0,08	0,58	2,4
-20	8500	-0,06	0,24	0,58	2,3
-20	8600	-0,13	0,54	0,58	2,4
-20	8700	-0,24	0,97	0,58	2,3
-20	8800	-0,25	1,1	0,58	2,4
-20	8900	-0,30	1,2	0,58	2,3
-20	9000	-0,28	1,2	0,58	2,4
-20	9100	-0,40	1,6	0,58	2,3
-20	9200	-0,31	1,3	0,58	2,4
-20	9300	-0,13	0,52	0,58	2,3
-20	9396	-0,32	1,3	0,58	2,3

4.2 Discusión de Resultados

- A partir de las mediciones efectuadas sobre los Analizadores de Espectros Portátiles, Aaronia AG, Spectran HF-60105 v4, se determinó que los cuatro equipos calibrados presentan una Desviación $\pm$ Incertidumbre menor que el error máximo permitido por las Especificaciones del Fabricante, cumpliendo por tanto con los criterios de aceptación establecidos.
- Los resultados evidencian que los instrumentos calibrados ofrecen mediciones exactas, trazables y confiables, dentro de las tolerancias técnicas definidas. La metodología aplicada “basada en la comparación directa con patrones certificados y en la aplicación rigurosa de la GUM” permite cuantificar de forma exacta las incertidumbres tipo A y tipo B, así como la Incertidumbre Expandida U con un Nivel de Confianza del 95.45%.
- Se verifica que la propagación de incertidumbre, el uso de factores de cobertura adecuados y la aplicación de la fórmula de Welch-Satterthwaite garantiza la validez estadística de los resultados. En consecuencia, el procedimiento implementado demuestra ser efectivo y reproducible para entornos de calibración de laboratorio, cumpliendo con los principios de la NCh-ISO/IEC 17025:2017.
- Los gráficos de potencia de entrada y calibración en función de la frecuencia mostraron una alta consistencia entre las mediciones experimentales y los valores teóricos, confirmando la estabilidad del sistema de medición y la confiabilidad del set-up utilizado.
- En síntesis, los resultados obtenidos respaldan la aplicabilidad del procedimiento propuesto, validando su uso en procesos de control y mantenimiento de equipos de RF. Se concluye que el modelo desarrollado puede aplicarse a otros instrumentos y rangos de frecuencia, fortaleciendo la capacidad institucional para realizar calibraciones internas y fomentando la autonomía técnica en el ámbito metrológico de RF.

5 Conclusiones

5.1 Resumen

Esta MDT permite la implementación y validación de un procedimiento técnico y normativo para la calibración de instrumentos de medición en RF, centrado en el cumplimiento de la NCh-ISO/IEC 17025:2017 y en la aplicación de criterios metrológicos sólidos. Se abordaron los fundamentos técnicos de la calibración en RF, el análisis de incertidumbre de medición y la trazabilidad metrológica, integrando guías internacionales y normativas nacionales.

La metodología aplicada considera un diagnóstico inicial del equipamiento disponible, la revisión bibliográfica y normativa, el procedimiento detallado de calibración y una implementación piloto en un entorno real. Se evidenciaron mejoras significativas en la confiabilidad y validez de las mediciones, así como en la estructura documental y operativa para futuras calibraciones. Se sientan las bases para avanzar en la calibración instrumental ya sea en RF u otras áreas, y de este modo lograr mediciones más confiables.

5.2 Conclusiones

- La calibración en RF requiere un enfoque riguroso y especializado, debido a la sensibilidad de los equipos y la complejidad técnica de las mediciones en este rango de frecuencias.
- La aplicación de la NCh-ISO/IEC 17025:2017 permite establecer procedimientos estandarizados que aumentan la confiabilidad y trazabilidad de los resultados, alineando las prácticas locales con estándares internacionales.
- La cuantificación de la incertidumbre, conforme a la GUM, es un elemento indispensable para evaluar la validez de los procesos de calibración en RF.
- El procedimiento que se implementó y validó, demuestra ser aplicable a entornos laborales reales, mejorando la calidad de los procesos de mantenimiento y control técnico de instrumentos electrónicos.
- Sin embargo, es necesario continuar fortaleciendo el sistema de calibración instrumental en los distintos laboratorios de la Facultad de Ingeniería.

5.3 Trabajo Futuro

- Se propone extender la implementación del procedimiento a una mayor cantidad de instrumentos y frecuencias, para validar su robustez y versatilidad en diferentes contextos operativos.
- Se recomienda la adquisición de instrumental con mayor exactitud respecto del disponible actualmente, tanto para Generadores de RF, Medidores de Potencia, etc., a fin de efectuar la calibración instrumental de RF, sin tener que recurrir a laboratorios externos a la UdeC.
- Se recomienda desarrollar una plataforma digital o software específico que facilite los cálculos de incertidumbre, el registro de datos y la generación automática de certificados de calibración.
- En etapas posteriores, se sugiere la búsqueda de la acreditación formal del procedimiento ante organismos reconocidos, lo que permitiría su adopción como estándar institucional y su utilización en procesos de auditoría y control externo.
- Finalmente, se plantea como línea futura la capacitación continua del personal técnico en metrología de RF, con el fin de mantener actualizado el conocimiento y asegurar la sostenibilidad del sistema de calibración implementado.
- Se recomienda la adquisición del siguiente equipamiento, con el fin de optimizar la calibración de los Analizadores de Espectros Portátiles, Aaronia AG, Spectran HF-60105 v4:

1.- Generador de Señales: (U\$ 29,454.00)

- Fabricante = R&S
- Modelo = SMB100B
- Rango de Frecuencia = 8 [kHz] - 12.75 [GHz]
- Conector de Salida = sma
- Resolución de Salida = 0.001 [Hz], 0.001 [dBm]
- Rango de Salida = -120 a +15 [dBm].



2.- Medidor de Potencia: (U\$ 5,252.00)

- Fabricante = R&S
- Modelo = NRX.



3.- Sensor de Potencia: (U\$ 5,384.00)

- Fabricante = R&S
- Modelo = NRP33T
- Rango de Frecuencia = 10 [MHz] - 33 [GHz]
- Conector de Salida = sma (3.5 [mm])
- Resolución de Salida = 0.001 [dBm]
- Rango de Salida = -35 a +20 [dBm].



Bibliografía

- [1] INN. NCh-ISO 17025:2001: Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración. 2001. https://www.academia.edu/30749765/NCh_ISO_17025_2001. Accedido el 20 marzo 2025.
- [2] Sistema de Gestión de Calidad de Laboratorios SGC-Lab. "Guía ISO 17025:2017: ¿Qué es la norma ISO/IEC 17025?" SGC-Lab, <https://sgc-lab.com/landing-guia-iso-17025/>. Accedido el 20 marzo 2025.
- [3] Instituto Nacional de Salud. "Estrategias para definir el plan de confirmación metrológica." <https://www.ins.gov.co/BibliotecaDigital/estrategias-para-definir-el-plan-de-confirmaci%C3%B3n-metrol%C3%B3gica.pdf>. Accedido el 24 marzo 2025.
- [4] Centro Español de Metrología. "Guía para la expresión de la incertidumbre de medida (GUM)." 2010, <https://www.cem.es/sites/default/files/gum20digital1202010.pdf>. Accedido el 24 marzo 2025.
- [5] INN. INN.cl. <https://www.inn.cl/>. Accedido el 25 marzo 2025.
- [6] Servicio Nacional de Aduanas. "Rol del Servicio." Aduana.cl, <https://www.aduana.cl/rol-del-servicio/aduana/2007-02-26/093542.html>. Accedido el 26 marzo 2025.
- [7] Rodrigo Lagos, Daniela Muñoz y Jaime Pereira. "Caracterización clínica y epidemiológica de pacientes adultos hospitalizados por influenza en el Hospital Clínico de la Universidad de Chile, durante la temporada 2014." Revista chilena de infectología, vol. 35, no. 6, 2018, pp. 680–685. https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0716-10182018000600680&script=sci_arttext. Accedido el 27 marzo 2025.
- [8] Antonio Figueroa y Ricardo Ho. "Modelo de evaluación de competencias laborales para pequeñas empresas del sector metalmeccánico." Información tecnológica, vol. 19, no. 3, 2008, pp. 65–76. https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642008000300015&script=sci_arttext. Accedido el 27 marzo 2025.
- [9] Celestino Meneses. "Metrología y calibración en nuestras vidas." ElectroIndustria, <https://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=2743&ni=metrologia-y-calibracion-en-nuestras-vidas>. Accedido el 4 abril 2025.
- [10] Equipo de Prensa Revista ElectroIndustria. "Metrología y calibración en la industria." ElectroIndustria, <https://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=2756&ni=metrologia-y-calibracion-en-la-industria>. Accedido el 4 abril 2025.