



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica

Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica

**Estudio comparativo de mediciones puntuales
utilizando un medidor selectivo y un exposímetro de
radiaciones no ionizantes de radiofrecuencia en las
instalaciones de la UNMSM**

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico

AUTOR

Harold Christian CRUZ SALAS

ASESOR

Dr. Víctor Manuel CRUZ ORNETTA

Lima, Perú

2025



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Cruz, H. (2025). *Estudio comparativo de mediciones puntuales utilizando un medidor selectivo y un exposímetro de radiaciones no ionizantes de radiofrecuencia en las instalaciones de la UNMSM*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Harold Christian Cruz Salas
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	73644756
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Víctor Manuel Cruz Ornetta
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	08852493
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-4353-7751
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Celso Ysidro Gerónimo Huamán
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	09191500
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Luz Antuanet Adanaqué Infante
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	44553754
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Rubén Gino Martinez Varela
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	09270432
Datos de investigación	

Línea de investigación	C.0.2.8. Ingeniería y tecnologías del Medio Ambiente
Grupo de investigación	Radiaciones no ionizantes UNMSM
Agencia de financiamiento	Perú. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Vicerrectorado de Investigación y Posgrado. Programa de Promoción de Tesis de Pregrado. C19191164-PTPGRADO.
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: Cercado de Lima Latitud: -12.055119689109297 Longitud: -77.08708737696162
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2020 - 2025
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería eléctrica, Ingeniería electrónica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.01 Telecomunicaciones https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.05 Ciencias del medio ambiente https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.08



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú. Decana de América

FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y ELÉCTRICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N°002-EPIE-FIEE/2025

Los suscritos miembros del jurado, docentes permanentes de las Escuelas Profesionales de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, reunidos en la fecha 22 de agosto del 2025, como presidente de jurado el **Dr. CELSO YSIDRO GERÓNIMO HUAMÁN**, integrado por el miembro de jurado el **Mg. LUZ ANTUANET ADANAQUÉ INFANTE**, el miembro de jurado el **Mg. RUBÉN GINO MARTINEZ VARELA** y miembro asesor el **Dr. VICTOR MANUEL CRUZ ORNETTA**.

Después de escuchar la Sustentación Presencial de Tesis del Bachiller **HAROLD CHRISTIAN CRUZ SALAS** código N° 15190033, para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico sustentó la tesis titulada: **"ESTUDIO COMPARATIVO DE MEDICIONES PUNTUALES UTILIZANDO UN MEDIDOR SELECTIVO Y UN EXPOSÍMETRO DE RADIACIONES NO IONIZANTES DE RADIOFRECUENCIA EN LAS INSTALACIONES DE LA UNMSM"**.

El jurado examinador procedió a formular las preguntas reglamentarias y luego de una deliberación en privado, decidió otorgarle el calificativo de 14 (Catorce)

Ciudad Universitaria, 22 de agosto del 2025

Dr. CELSO YSIDRO GERÓNIMO HUAMÁN
Presidente Jurado

Mg. LUZ ANTUANET ADANAQUÉ INFANTE
Miembro Jurado

Mg. RUBÉN GINO MARTINEZ VARELA
Miembro Jurado

Dr. VICTOR MANUEL CRUZ ORNETTA
Miembro Asesor



Anexo 1

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, VÍCTOR MANUEL CRUZ ORNETTA en mi condición de asesor acreditado con el Dictamen de la UPG o de la EP N° 001-EPIE-2025-FIEE/UNMSM de la tesis/ monografía/ informe de investigación/ trabajo académico, cuyo título es "ESTUDIO COMPARATIVO DE MEDICIONES PUNTUALES UTILIZANDO UN MEDIDOR SELECTIVO Y UN EXPOSÍMETRO DE RADIACIONES NO IONIZANTES DE RADIOFRECUENCIA EN LAS INSTALACIONES DE LA UNMSM" presentado por el bachiller/ magíster/ egresado/ licenciado/ estudiante Harold Christian Cruz Salas para optar el grado* de/ título*/ especialidad en Ingeniería Electrónica, CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante la plataforma PIDS, el documento evaluado cuenta con el 15% de similitud, nivel PERMITIDO para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional.**

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del grado*/ título*/ especialidad* **de Ingeniero Electrónico.**

Lima, 22 de septiembre de 2025

Firma del Asesor

Nombres y Apellidos del asesor: Víctor Manuel Cruz Ornetta

DNI: 08852493

* Según corresponda: bachiller, magíster, doctor; título profesional o título de segunda especialidad

La vigencia del presente certificado corresponde a un período de noventa (90) días desde la fecha de su emisión; siempre que no haya observaciones en el texto durante el proceso de revisión por el jurado informante o surja alguna contingencia.

DEDICATORIA

A mi madre, que siempre estuvo a mi lado apoyándome, espero poder retribuirte, de ahora en adelante, no solo tu amor, sino también todo lo que has dado por mí y hacerte sentir orgullosa a cada paso que dé.

Al recuerdo de mi papá, quien siempre me alentó a ser ingeniero, aunque hoy no lo pueda abrazar físicamente, lo abrazo con el alma.

A mi hermano, por todo su apoyo durante todo este proceso, y por aportarme su conocimiento y guiarme siempre que lo necesité.

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mis agradecimientos a la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, a los docentes de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica por la formación profesional que recibí

A mi asesor Dr. Víctor Manuel Cruz Ornetta, por su constante asesoría en la elaboración de esta tesis.

A todas las personas que me apoyaron en la realización del trabajo

RESUMEN

Este estudio propone evaluar la precisión y consistencia de las mediciones de campos electromagnéticos de radiofrecuencia (CEM-RF) en entornos universitarios, comparando dos dispositivos diferentes: un exposímetro (EME SPY 201) y medidor de radiación selectivo (SRM-3006). Dado que la exposición a CEM-RF aumenta con la difusión de la comunicación inalámbrica, es crucial garantizar la exactitud de las mediciones para evaluar posibles riesgos de salud. La investigación se llevó a cabo en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM), donde los resultados muestran que las señales LTE Band 2 DL y LTE Band 5 DL tienen mejor correlación, obteniendo coeficientes de determinación de 0.93 y 0.91, respectivamente. Además, se analizó el efecto del tiempo de muestreo en la precisión del exposímetro, concluyendo que una configuración de muestreo de dos segundos ofrece resultados más alineados con el medidor selectivo. Adicionalmente, se calculó el factor de corrección para cada tipo de servicio medido. Los hallazgos subrayan la importancia de la metodología de muestreo en la medición de CEM-RF y sugieren mejoras en las prácticas de evaluación de exposición en entornos similares, contribuyendo al debate sobre la seguridad de la exposición a CEM-RF en la población general y en entornos educativos.

Palabras clave: Campos electromagnéticos, radiofrecuencia, correlación, mediciones puntuales selectivas, salud humana.

ABSTRACT

This study proposes to evaluate the accuracy and consistency of radiofrequency electromagnetic field (RF-EMF) measurements in university environments by comparing two different methodologies: a personal dosimeter (EME SPY 201) and selective spot measurements using a spectrum analyzer (SRM-3006). As RF-EMF exposure increases with the spread of wireless communication, it is crucial to ensure the accuracy of measurements to assess potential health risks, such as cancer or neurological diseases. The research was conducted at the National University of San Marcos (UNMSM), where the results show that LTE Band 2 DL and LTE Band 5 DL signals have better correlation, with determination coefficients of 0.948 and 0.911, respectively. Additionally, the effect of sampling time on the accuracy of the personal dosimeter was analyzed, concluding that a two-second sampling configuration offers results more aligned with spot measurements. The findings underscore the importance of the sampling methodology in RF-EMF measurement and suggest improvements in exposure assessment practices in similar environments, contributing to the debate on the safety of RF-EMF exposure in the general population and educational settings.

Keyword: Electromagnetic fields, radiofrequency, correlation, selective point measurements, human health.

TABLA DE CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN	1
1.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
•	<i>Determinación del problema</i>	3
•	<i>Formulación del problema</i>	4
1.2	OBJETIVOS	5
•	<i>Objetivo general</i>	5
•	<i>Objetivos específicos</i>	5
1.3	IMPORTANCIA Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	6
•	<i>Importancia</i>	6
•	<i>Alcance de la investigación</i>	6
1.4	LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	7
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	8
2.1	MARCO TEÓRICO	8
2.2	ANTECEDENTES DEL ESTUDIO	8
2.3	BASES TEÓRICAS	12
•	<i>Campos electromagnéticos</i>	12
•	<i>Espectro electromagnético</i>	14
•	<i>Tipos de radiaciones de campos electromagnéticos</i>	15
•	<i>Regiones de propagación</i>	16
•	<i>Regulación</i>	20
2.4	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	25
•	<i>Mediciones puntuales</i>	25
•	<i>Exposímetro</i>	25
•	<i>Medidor selectivo</i>	25
•	<i>Interferencia electromagnética (EMI)</i>	26
•	<i>Banda de frecuencia</i>	26
III.	HIPÓTESIS Y VARIABLES	27
3.1	HIPÓTESIS	27
•	<i>Hipótesis específica</i>	27
3.2	VARIABLES	27
•	<i>Variable independiente</i>	27
•	<i>Variable dependiente</i>	28
3.3	OPERACIÓN DE LAS VARIABLES	28
3.4	MATRIZ DE CONSISTENCIA	30
IV.	MATERIALES Y MÉTODOS	32
4.1	ÁREA DE ESTUDIO	32
4.2	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	32
4.3	POBLACIÓN Y MUESTRA	32
4.4	PROCEDIMIENTO, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	33
•	<i>Protocolo de medición</i>	33
•	<i>Procedimiento</i>	40
•	<i>Resultados</i>	43
4.5	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	55
•	<i>Depuración de datos</i>	55
•	<i>Análisis de normalidad, concordancia entre equipos y correlación</i>	76
V.	RESULTADOS	145
5.1	PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	145
•	<i>Relación en decibelios (dB)</i>	145
•	<i>Correlación</i>	145
•	<i>Servicios con correlación alta:</i>	146
•	<i>Servicios con correlación baja:</i>	147

•	<i>Factor de Corrección en las Mediciones</i>	149
•	<i>Tiempo de muestreo</i>	150
VI.	DISCUSIÓN	154
VII.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	155
VIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	160
	Anexo A: Hoja de especificaciones del Equipo EME	163
	Anexo B: Hoja de especificaciones del Equipo SRM 3006	165

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 FORMA DE ONDA DE UN CAMPO ELECTROMAGNÉTICO	13
FIGURA 2 EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO	15
FIGURA 3 REGIONES DEL CAMPO ELECTROMAGNÉTICO	19
FIGURA 4 PROMEDIO DE MEDICIONES DE CAMPO ELÉCTRICO EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE ELECTRÓNICA Y ELÉCTRICA.....	45
FIGURA 5 PROMEDIO DE MEDICIONES DE CAMPO ELÉCTRICO EN LA FACULTAD DE ODONTOLOGÍA	47
FIGURA 6 PROMEDIO DE MEDICIONES DE CAMPO ELÉCTRICO EN LA FACULTAD DE PSICOLOGÍA	48
FIGURA 7 PROMEDIO DE MEDICIONES DE CAMPO ELÉCTRICO EN LA FACULTAD DE EDUCACIÓN	49
FIGURA 8 MEDIDAS DE CAMPO ELÉCTRICO EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL	50
FIGURA 9 PROMEDIO DE MEDICIONES DE CAMPO ELÉCTRICO EN LA FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS	51
FIGURA 10 PROMEDIO DE MEDICIONES DE CAMPO ELÉCTRICO EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLOGÍA, MINAS, METALURGIA Y GEOGRÁFICA.....	53
FIGURA 11 PROMEDIO DE MEDICIONES DE CAMPO ELÉCTRICO EN LA FACULTAD DE LETRAS Y CIENCIAS HUMANAS	54
FIGURA 12 DIAGRAMA DE CAJA Y BIGOTES DEL SERVICIO FM	59
FIGURA 13 DIAGRAMA DE CAJA Y BIGOTES DEL SERVICIO TV – VHF.....	60
FIGURA 14 DIAGRAMA DE CAJA Y BIGOTES DEL SERVICIO LTE B12 (UL)	61
FIGURA 15 DIAGRAMA DE CAJA Y BIGOTES DEL SERVICIO LTE B12 (DL)	62
FIGURA 16 DIAGRAMA DE CAJA Y BIGOTES DEL SERVICIO LTE B13 (DL)	63
FIGURA 17 DIAGRAMA DE CAJA Y BIGOTES DEL SERVICIO LTE B13 (UL)	64
FIGURA 18 DIAGRAMA DE CAJA Y BIGOTES DEL SERVICIO LTE B5 (UL)	65
FIGURA 19 DIAGRAMA DE CAJA Y BIGOTES DEL SERVICIO LTE B5 (DL)	66
FIGURA 20 DIAGRAMA DE CAJA Y BIGOTES DEL SERVICIO LTE B4 (UL)	67
FIGURA 21 DIAGRAMA DE CAJA Y BIGOTES DEL SERVICIO LTE B2 (UL)	68
FIGURA 22 DIAGRAMA DE CAJA Y BIGOTES DEL SERVICIO LTE B2 (DL)	69
FIGURA 23 DIAGRAMA DE CAJA Y BIGOTES DEL SERVICIO LTE B4 (DL)	70
FIGURA 24 DIAGRAMA DE CAJA Y BIGOTES DEL SERVICIO LTE B40.....	71
FIGURA 25 DIAGRAMA DE CAJA Y BIGOTES DEL SERVICIO WI-FI 2G	72
FIGURA 26 DIAGRAMA DE CAJA Y BIGOTES DEL SERVICIO LTE B7 (DL)	73
FIGURA 27 LECTURAS OBTENIDAS DEL SERVICIO DE FM.....	76
FIGURA 28 GRÁFICO BLAND-ALTMAN PARA EL SERVICIO DE FM CON TIEMPO DE MUESTREO A 4 SEGUNDOS.....	78
FIGURA 29 GRÁFICO BLAND-ALTMAN PARA EL SERVICIO DE FM CON TIEMPO DE MUESTREO A 3 SEGUNDOS.....	78
FIGURA 30 GRÁFICO BLAND-ALTMAN PARA EL SERVICIO DE FM CON TIEMPO DE MUESTREO A 2 SEGUNDOS.....	79
FIGURA 31 LECTURAS OBTENIDAS DEL SERVICIO DE TV-VHF	81
FIGURA 32 GRÁFICO BLAND-ALTMAN PARA EL SERVICIO DE TV-VHF CON TIEMPO DE MUESTREO A 4 SEGUNDOS.....	83
FIGURA 33 LECTURAS OBTENIDAS DEL SERVICIO DE LTE B12(UL)	85
FIGURA 34 GRÁFICO DE BLAND-ALTMAN PARA EL SERVICIO DE LTE B12(UL) CON TIEMPO DE MUESTREO A 4 SEGUNDOS	87
FIGURA 35 GRÁFICO DE BLAND-ALTMAN PARA EL SERVICIO DE LTE B12(UL) CON TIEMPO DE MUESTREO A 3 SEGUNDOS	87
FIGURA 36 LECTURAS OBTENIDAS DEL SERVICIO DE LTE B12(DL)	89
FIGURA 37 GRÁFICO BLAND-ALTMAN PARA EL SERVICIO DE LTE B12(DL) CON TIEMPO DE MUESTREO A 4 SEGUNDOS..	91
FIGURA 38 GRÁFICO BLAND-ALTMAN PARA EL SERVICIO DE LTE B12(DL) CON TIEMPO DE MUESTREO A 3 SEGUNDOS..	92
FIGURA 39 LECTURAS OBTENIDAS DEL SERVICIO DE LTE B13(DL)	94
FIGURA 40 GRÁFICO BLAND-ALTMAN PARA EL SERVICIO DE LTE B13(DL) CON TIEMPO DE MUESTREO A 4 SEGUNDOS..	96
FIGURA 41 GRÁFICO BLAND-ALTMAN PARA EL SERVICIO DE LTE B13(DL) CON TIEMPO DE MUESTREO A 3 SEGUNDOS..	96
FIGURA 42 LECTURAS OBTENIDAS DEL SERVICIO DE LTE B13(UL)	98
FIGURA 43 GRÁFICO BLAND-ALTMAN PARA EL SERVICIO DE LTE B13 (UL) CON TIEMPO DE MUESTREO A 4 SEGUNDOS	100
FIGURA 44 GRÁFICO BLAND-ALTMAN PARA EL SERVICIO DE LTE B13 (UL) CON TIEMPO DE MUESTREO A 3 SEGUNDOS	101
FIGURA 45 LECTURAS OBTENIDAS DEL SERVICIO DE LTE B5(UL).....	103
FIGURA 46 GRÁFICO BLAND-ALTMAN PARA EL SERVICIO DE LTE B5(UL) CON TIEMPO DE MUESTREO A 4 SEGUNDOS .	105
FIGURA 47 GRÁFICO BLAND-ALTMAN PARA EL SERVICIO DE LTE B5(UL) CON TIEMPO DE MUESTREO A 3 SEGUNDOS .	105
FIGURA 48 LECTURAS OBTENIDAS DEL SERVICIO DE LTE B5(DL).....	107
FIGURA 49 GRÁFICO BLAND-ALTMAN PARA EL SERVICIO DE LTE B5(DL) CON TIEMPO DE MUESTREO A 4 SEGUNDOS .	109
FIGURA 50 GRÁFICO BLAND-ALTMAN PARA EL SERVICIO DE LTE B5(DL) CON TIEMPO DE MUESTREO A 3 SEGUNDOS .	110
FIGURA 51 GRÁFICO BLAND-ALTMAN PARA EL SERVICIO DE LTE B5(DL) CON TIEMPO DE MUESTREO A 2 SEGUNDOS .	110
FIGURA 52 LECTURAS OBTENIDAS DEL SERVICIO DE LTE B4(UL).....	112
FIGURA 53 GRÁFICO BLAND-ALTMAN PARA EL SERVICIO DE LTE B4(UL) CON TIEMPO DE MUESTREO A 4 SEGUNDOS	114
FIGURA 54 GRÁFICO BLAND-ALTMAN PARA EL SERVICIO DE LTE B4(UL) CON TIEMPO DE MUESTREO A 3 SEGUNDOS	115
FIGURA 55 LECTURAS OBTENIDAS DEL SERVICIO DE LTE B2(UL).....	117
FIGURA 56 GRÁFICO BLAND-ALTMAN PARA EL SERVICIO DE LTE B2(UL) CON TIEMPO DE MUESTREO A 4 SEGUNDOS	119
FIGURA 57 GRÁFICO BLAND-ALTMAN PARA EL SERVICIO DE LTE B2(UL) CON TIEMPO DE MUESTREO A 3 SEGUNDOS	119
FIGURA 58 LECTURAS OBTENIDAS DEL SERVICIO DE LTE B2(DL).....	121
FIGURA 59 GRÁFICO BLAND-ALTMAN PARA EL SERVICIO DE LTE B2(DL) CON TIEMPO DE MUESTREO A 4 SEGUNDOS	123
FIGURA 60 GRÁFICO BLAND-ALTMAN PARA EL SERVICIO DE LTE B2(DL) CON TIEMPO DE MUESTREO A 3 SEGUNDOS	124

FIGURA 61 GRÁFICO BLAND-ALTMAN PARA EL SERVICIO LTE B2(DL) CON TIEMPO DE MUESTREO A 2 SEGUNDOS	124
FIGURA 63 LECTURAS OBTENIDAS DEL SERVICIO LTE B4(DL).....	126
FIGURA 64 GRÁFICO BLAND-ALTMAN PARA EL SERVICIO LTE B4(DL) CON TIEMPO DE MUESTREO A 4 SEGUNDOS	128
FIGURA 65 GRÁFICO BLAND-ALTMAN PARA EL SERVICIO LTE B4(DL) CON TIEMPO DE MUESTREO A 3 SEGUNDOS	129
FIGURA 65 LECTURAS OBTENIDAS DEL SERVICIO Wi-Fi 2G.....	131
FIGURA 66 GRÁFICO BLAND-ALTMAN PARA EL SERVICIO Wi-Fi 2G CON TIEMPO DE MUESTREO A 3 SEGUNDOS	133
FIGURA 67 GRÁFICO BLAND-ALTMAN PARA EL SERVICIO Wi-Fi 2G CON TIEMPO DE MUESTREO A 2 SEGUNDOS	133
FIGURA 68 LECTURAS OBTENIDAS DEL SERVICIO LTE B7(DL).....	135
FIGURA 69 GRÁFICO BLAND-ALTMAN PARA EL SERVICIO DE LTE B7(DL) CON TIEMPO DE MUESTREO A 4 SEGUNDOS .	137
FIGURA 70 LECTURAS OBTENIDAS DEL SERVICIO DE LTE B40	139
FIGURA 71 GRÁFICO BLAND-ALTMAN PARA EL SERVICIO LTE B40 CON TIEMPO DE MUESTREO A 4 SEGUNDOS	141
FIGURA 72 RELACIÓN EN dB DE LOS EQUIPOS POR SERVICIO DE TELECOMUNICACIONES.	145
FIGURA 73 MEDIA DE RELACIÓN EN dB Y MEDIA DE COEFICIENTE DE CORRELACIÓN POR SERVICIO DE TELECOMUNICACIONES	148
FIGURA 75 MEDIA DE RELACIÓN EN dB Y MEDIA DE DIFERENCIA EN V/M POR SERVICIO DE TELECOMUNICACIONES.....	148
FIGURA 75 GRÁFICO DE RESIDUALES.....	151

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 NIVELES DE REFERENCIA PARA EXPOSICIÓN POBLACIONAL A CAMPOS ELÉCTRICOS Y MAGNÉTICOS	22
TABLA 2 NIVELES DE REFERENCIA PARA EXPOSICIÓN OCUPACIONAL A CAMPOS ELÉCTRICOS Y MAGNÉTICOS.....	22
TABLA 3 MATRIZ DE CONSISTENCIA	30
TABLA 4 TOTAL DE MEDICIONES REALIZADAS	44
TABLA 5 ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO DE LAS MEDICIONES EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y ELÉCTRICA	46
TABLA 6 ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO DE LAS MEDICIONES EN LA FACULTAD DE ODONTOLOGÍA	47
TABLA 7 ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO DE LAS MEDICIONES EN LA FACULTAD DE PSICOLOGÍA	48
TABLA 8 ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO DE LAS MEDICIONES EN LA FACULTAD DE EDUCACIÓN	49
TABLA 9 ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO DE LAS MEDICIONES EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL	50
TABLA 10 ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO DE LAS MEDICIONES EN LA FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS	52
TABLA 11 ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO DE LAS MEDICIONES EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLOGÍA, MINAS, METALURGIA Y GEOGRÁFICA.....	53
TABLA 12 ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO DE LAS MEDICIONES EN LA FACULTAD DE LETRAS Y CIENCIAS HUMANAS	55
TABLA 13 INCERTIDUMBRE DE LOS EQUIPOS	57
TABLA 14 RELACIÓN DE LAS MEDICIONES DE LOS EQUIPOS SRM 3006 Y EME Spy 201	74
TABLA 15 ORDENAMIENTO DEL PROMEDIO POR SERVICIOS EN dB	75
TABLA 16 PRUEBAS ESTADÍSTICAS PARA EL SERVICIO DE FM.....	77
TABLA 17 PRUEBAS DE CORRELACIÓN PARA EL SERVICIO DE FM	77
TABLA 18 FACTOR DE CORRECCIÓN FM	79
TABLA 19 PRUEBAS ESTADÍSTICAS CON LA CORRECCIÓN APLICADA PARA EL SERVICIO DE FM	80
TABLA 20 PRUEBAS ESTADÍSTICAS PARA EL SERVICIO DE TV-VHF	81
TABLA 21 PRUEBAS DE CORRELACIÓN PARA EL SERVICIO DE TV-VHF	81
TABLA 22 FACTOR DE CORRECCIÓN TV-VHF	83
TABLA 23 PRUEBAS ESTADÍSTICAS CON LA CORRECCIÓN APLICADA PARA EL SERVICIO DE FM	84
TABLA 24 PRUEBAS ESTADÍSTICAS PARA EL SERVICIO DE LTE B12(UL)	85
TABLA 25 PRUEBAS DE CORRELACIÓN PARA EL SERVICIO DE LTE B12(UL)	86
TABLA 26 FACTOR DE CORRECCIÓN LTE B12(UL)	88
TABLA 27 PRUEBAS ESTADÍSTICAS CON LA CORRECCIÓN APLICADA PARA EL SERVICIO DE LTE B12(UL)	88
TABLA 28 PRUEBAS ESTADÍSTICAS PARA EL SERVICIO DE LTE B12 (DL)	90
TABLA 29 PRUEBAS DE CORRELACIÓN PARA EL SERVICIO DE LTE B12 (DL)	90
TABLA 30 FACTOR DE CORRECCIÓN LTE B12(DL)	92
TABLA 31 PRUEBAS ESTADÍSTICAS CON LA CORRECCIÓN APLICADA PARA EL SERVICIO DE LTE B12(UL)	93
TABLA 32 PRUEBAS ESTADÍSTICAS PARA EL SERVICIO DE LTE B13(DL)	94
TABLA 33 PRUEBAS DE CORRELACIÓN PARA EL SERVICIO DE LTE B13(DL)	95
TABLA 34 FACTOR DE CORRECCIÓN LTE B13 (DL)	97
TABLA 35 PRUEBAS ESTADÍSTICAS CON LA CORRECCIÓN APLICADA PARA EL SERVICIO DE LTE B13(DL)	97
TABLA 36 PRUEBAS ESTADÍSTICAS PARA EL SERVICIO DE LTE B13 (UL)	99
TABLA 37 PRUEBAS DE CORRELACIÓN PARA EL SERVICIO DE LTE B13 (UL)	99
TABLA 38 FACTOR DE CORRECCIÓN LTE B13 (UL)	101
TABLA 39 PRUEBAS ESTADÍSTICAS CON LA CORRECCIÓN APLICADA PARA EL SERVICIO DE LTE B13 (UL)	102
TABLA 40 PRUEBAS ESTADÍSTICAS PARA EL SERVICIO DE LTE B5 (UL)	103
TABLA 41 PRUEBAS DE CORRELACIÓN PARA EL SERVICIO DE LTE B5 (UL)	104
TABLA 42 FACTOR DE CORRECCIÓN LTE B5(UL)	106
TABLA 43 PRUEBAS ESTADÍSTICAS CON LA CORRECCIÓN APLICADA PARA EL SERVICIO DE LTE B5(UL)	106
TABLA 44 PRUEBAS ESTADÍSTICAS PARA EL SERVICIO DE LTE B5 (DL)	108
TABLA 45 PRUEBAS DE CORRELACIÓN PARA EL SERVICIO DE LTE B5 (DL)	108
TABLA 46 FACTOR DE CORRECCIÓN LTE B5(DL)	111
TABLA 47 PRUEBAS ESTADÍSTICAS CON LA CORRECCIÓN APLICADA PARA EL SERVICIO DE LTE B5(DL)	111
TABLA 48 PRUEBAS ESTADÍSTICAS PARA EL SERVICIO DE LTE B4 (UL)	113
TABLA 49 PRUEBAS DE CORRELACIÓN PARA EL SERVICIO DE LTE B4 (UL)	113
TABLA 50 FACTOR DE CORRECCIÓN LTE B4(UL)	115
TABLA 51 PRUEBAS ESTADÍSTICAS CON LA CORRECCIÓN APLICADA PARA EL SERVICIO DE LTE B4(UL)	116
TABLA 52 PRUEBAS ESTADÍSTICAS PARA EL SERVICIO LTE B2 (UL)	117
TABLA 53 PRUEBAS DE CORRELACIÓN PARA EL SERVICIO LTE B2 (UL)	118
TABLA 54 FACTOR DE CORRECCIÓN LTE B2(UL)	120
TABLA 55 PRUEBAS ESTADÍSTICAS CON LA CORRECCIÓN APLICADA PARA EL SERVICIO DE LTE B2(UL)	120
TABLA 56 PRUEBAS ESTADÍSTICAS PARA EL SERVICIO LTE B2(DL)	122
TABLA 57 PRUEBAS DE CORRELACIÓN PARA EL SERVICIO LTE B2(DL)	122
TABLA 58 FACTOR DE CORRECCIÓN LTE B2(DL)	125
TABLA 59 PRUEBAS ESTADÍSTICAS CON LA CORRECCIÓN APLICADA PARA EL SERVICIO DE LTE B2(DL)	125
TABLA 60 PRUEBAS ESTADÍSTICAS PARA EL SERVICIO LTE B4 (DL)	127
TABLA 61 PRUEBAS DE CORRELACIÓN PARA EL SERVICIO LTE B4 (DL)	127
TABLA 62 FACTOR DE CORRECCIÓN LTE B4(DL)	129
TABLA 63 PRUEBAS ESTADÍSTICAS CON LA CORRECCIÓN APLICADA PARA EL SERVICIO DE LTE B4(DL)	130

TABLA 64 PRUEBAS ESTADÍSTICAS PARA EL SERVICIO <i>Wi-Fi 2G</i>	131
TABLA 65 PRUEBAS DE CORRELACIÓN PARA EL SERVICIO <i>Wi-Fi 2G</i>	131
TABLA 66 FACTOR DE CORRECCIÓN <i>Wi-Fi 2G</i>	134
TABLA 67 PRUEBAS ESTADÍSTICAS CON LA CORRECCIÓN APLICADA PARA EL SERVICIO DE <i>Wi-Fi 2G</i>	134
TABLA 68 PRUEBAS ESTADÍSTICAS PARA EL SERVICIO DE <i>LTE B7(DL)</i>	136
TABLA 69 PRUEBAS DE CORRELACIÓN PARA EL SERVICIO DE <i>LTE B7(DL)</i>	136
TABLA 70 FACTOR DE CORRECCIÓN <i>LTE B7(DL)</i>	137
TABLA 71 PRUEBAS ESTADÍSTICAS CON LA CORRECCIÓN APLICADA PARA EL SERVICIO DE <i>LTE B7(DL)</i>	138
TABLA 72 PRUEBAS ESTADÍSTICAS PARA EL SERVICIO DE <i>LTE B40</i>	139
TABLA 73 PRUEBAS DE CORRELACIÓN PARA EL SERVICIO DE <i>LTE B40</i>	139
TABLA 74 FACTOR DE CORRECCIÓN <i>LTE B40</i>	141
TABLA 75 PRUEBAS ESTADÍSTICAS CON LA CORRECCIÓN APLICADA PARA EL SERVICIO DE <i>LTE B40</i>	142
TABLA 76 PRUEBA DE <i>VARIANZA</i>	143
TABLA 77 COMPARACIÓN MÚLTIPLE DEL TIEMPO DE MUESTREO DEL <i>EME Spy201</i>	144
TABLA 78 CORRELACIÓN DE SERVICIOS	146
TABLA 79 PRUEBAS ESTADÍSTICAS CON LA CORRECCIÓN APLICADA	150
TABLA 80 PRUEBAS MULTIVARIANTES PARA EL EFECTO DEL TIEMPO DE MUESTREO SOBRE LAS MEDICIONES.	151
TABLA 81 PRUEBA DE EFECTOS INTRA-SUJETOS PARA EL FACTOR TIEMPO DE MUESTREO	152
TABLA 82 PRUEBA DE CONTRASTES INTRA-SUJETOS PARA IDENTIFICAR PATRONES EN LA RELACIÓN ENTRE TIEMPO DE MUESTREO Y MEDICIONES.	153

I. INTRODUCCIÓN

Con la introducción de la comunicación inalámbrica, la forma de vida de las personas ha experimentado una evolución constante. Las señales de radio emitidas por el Sistema Global de Comunicaciones Móviles (GSM), el Servicio General de Paquetes vía Radio (GPRS), el Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (UMTS), la Red Mejorada Digital Integrada (IDEN) y la Evolución a Largo Plazo (LTE) se superponen en hogares, escuelas, oficinas y otros espacios. Con el tiempo, la presencia de radiaciones de radiofrecuencia (CEM-RF) en el entorno cotidiano de la población se ha intensificado en las últimas décadas. Como resultado, ha surgido una creciente preocupación en la población acerca de los posibles riesgos para la salud asociados con esta exposición.

Durante la última década, numerosos estudios han investigado los efectos adversos de la exposición a CEM-RF en la salud. En 2011, el Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer, dependiente de la OMS, clasificó los campos electromagnéticos de radiofrecuencia como un agente *posiblemente carcinógeno en humanos* (OMS, 2011). No obstante, estudios epidemiológicos más recientes sobre la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia no han demostrado un riesgo significativo de otros tipos de cáncer en la región de la cabeza y el cuello (SCENIHR, 2015). A pesar de ello, Choi et al. (2020), en un estudio multinacional, reportaron evidencia estadísticamente significativa que vincula el uso de teléfonos móviles con un incremento en el riesgo de desarrollar tumores. Estos resultados destacan la necesidad de seguir investigando para determinar con mayor precisión los posibles riesgos para la salud asociados con la exposición a CEM-RF.

Históricamente primero se realizaron mediciones puntuales en ubicación fija y de corta duración por punto o mediciones puntuales de larga duración por punto

(monitoreo ambiental) y posteriormente se implementaron métodos dinámicos utilizando equipos diseñados para mediciones puntuales pero montados en vehículos para medir a lo largo de rutas específicas (mediciones dinámicas). Esta metodología evolucionó hacia el uso de medidores de exposición portátiles (PEM), permitiendo realizar mediciones personales en sitios fijos (mediciones puntuales) y durante recorridos (mediciones dinámicas y mediciones microambientales). A partir de estos enfoques, actualmente se emplean diversos métodos para la evaluación de la exposición a RF: mediciones puntuales, mediciones de monitoreo, mediciones microambientales, mediciones dinámicas y mediciones personales.

En el presente estudio se realizarán mediciones puntuales, uno de los métodos más ampliamente aplicados para la evaluación de la exposición a campos electromagnéticos de radio frecuencias (CEM-RF). Estas mediciones se realizaron en lugares previamente seleccionados y durante períodos de tiempo específicos, con dispositivos instalados en ubicaciones fijas. Para ello, se emplearon dos tipos de equipos: un medidor selectivo y un exposímetro (Tomitsch et al., 2010; Sagar et al., 2016).

Por un lado, los medidores selectivos —analizadores de espectros especializados en la medición y evaluación de radiaciones no ionizantes (RNI) de radio frecuencia— permiten realizar mediciones de alta precisión y exactitud en la detección de frecuencias o bandas específicas, gracias a su alta sensibilidad. Sin embargo, su tamaño, complejidad operativa y alto costo dificultan su transporte y encarecen las campañas de medición (Verloock et al., 2014; Ramírez-Vázquez et al., 2020a).

Por otro lado, los exposímetros personales han sido diseñados para facilitar la evaluación de la exposición en entornos cotidianos, permitiendo registrar de manera continua los niveles de CEM-RF a los que una persona está expuesta durante su

jornada habitual. Estos dispositivos se caracterizan por su portabilidad, menor costo y facilidad de uso, aspectos que los convierten en una herramienta eficiente. Ramírez-Vázquez et al. (2020) y Sagar et al. (2016) señalan que estos equipos son útiles para estudios de exposición personal. Sin embargo, su aplicación presenta ciertas limitaciones, dado que operan en bandas de frecuencia predefinidas y su sensibilidad es inferior en comparación con los medidores selectivos, lo que puede afectar la precisión de los resultados (Sagar et al., 2016).

En este contexto, el objetivo principal del presente estudio fue comparar las mediciones puntuales obtenidas mediante un medidor selectivo y un exposímetro de radiaciones no ionizantes de radiofrecuencia en las instalaciones de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM).

1.1 Planteamiento del Problema

El planteamiento del problema representa una fase muy importante de la investigación, dado que permite delimitar de manera precisa el fenómeno que se pretende abordar, también proporciona las bases para la formulación de los objetivos de investigación, orientado al desarrollo de la metodología.

- ***Determinación del problema***

Hoy en día, persiste la confusión en torno a la exposición a los campos electromagnéticos de radiofrecuencia (CEM-RF), ya que los resultados de los estudios realizados hasta la fecha no son concluyentes. Esta incertidumbre subraya la necesidad de continuar con investigaciones adicionales para comprender de manera más precisa los posibles riesgos para la salud asociados a dicha exposición.

En este contexto, es fundamental considerar que existen diferentes metodologías y equipos para medir estos campos, cada uno con sus propias ventajas y limitaciones. Los exposímetros, como el EME Spy 201, proporcionan una visión

general de la exposición de un ambiente a lo largo del tiempo. Sin embargo, su capacidad de medición se limita a bandas de frecuencia predefinidas y su precisión es menor en comparación con equipos más especializados. Por otro lado, los medidores selectivos, como el SRM-3006, ofrecen lecturas de alta precisión y permiten realizar un análisis detallado de la exposición en ubicaciones específicas, aunque su uso implica mayores costos y limitaciones en cuanto a portabilidad y operatividad.

Cada equipo tiene sus limitaciones técnicas inherentes. Por ejemplo, los exposímetros pueden no captar correctamente las variaciones rápidas de los campos electromagnéticos, mientras que los analizadores de espectro pueden no representar de manera efectiva la exposición promedio de una persona durante un período prolongado. La falta de un análisis comparativo detallado entre las mediciones obtenidas por estos dos tipos de equipos plantea la siguiente pregunta: ¿En qué medida las mediciones puntuales de CEM-RF realizadas con un exposímetro difieren de aquellas obtenidas mediante un equipo de medición selectiva como el SRM-3006, y cómo estas diferencias podrían influir en la evaluación y comprensión de la exposición real a CEM-RF?

Este problema se vuelve especialmente relevante cuando se considera la necesidad de desarrollar estándares y metodologías confiables para la medición de CEM-RF, que puedan informar de manera precisa sobre los riesgos potenciales para la salud pública y guiar la implementación de medidas de seguridad adecuadas. Las discrepancias en las mediciones dificultan la creación de directrices y políticas de salud pública efectivas, ya que los datos pueden no ser comparables entre estudios que utilizan diferentes equipos o metodologías.

- ***Formulación del problema***

¿Cómo se comparan las mediciones puntuales de campos electromagnéticos de radiofrecuencia realizadas con el analizador de espectros (SRM-3006) y el exposímetro (EME Spy 201) en relación con los resultados obtenidos, su aplicabilidad técnica y económica, en las instalaciones de la UNMSM?

1.2 Objetivos

- ***Objetivo general***

Evaluar y comparar las mediciones puntuales de campos electromagnéticos de radiofrecuencia obtenidas con el analizador de espectros (SRM-3006) y el exposímetro (EME Spy 201), a fin de determinar un factor de corrección que permita ajustar las mediciones del exposímetro y analizar su viabilidad técnica y económica, considerando aspectos relacionados con los costos, facilidad de uso, durabilidad, sensibilidad y aplicabilidad en las instalaciones de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

- ***Objetivos específicos***

- a) Evaluar y comparar las mediciones puntuales de campos electromagnéticos de radiofrecuencia realizadas con el analizador de espectros (SRM-3006) y el exposímetro (EME Spy 201), a fin de determinar un factor de corrección que permita ajustar los resultados obtenidos por el exposímetro en las instalaciones de la UNMSM.
- b) Analizar y comparar los costos asociados a la adquisición, operación y mantenimiento del analizador de espectro y exposímetro para determinar su viabilidad económica en contextos de mediciones de campos electromagnéticos.

- c) Examinar otros parámetros relevantes, como la facilidad de uso, durabilidad y sensibilidad de las mediciones, para comparar el rendimiento general del analizador y exposímetro.
- d) Evaluar la correlación entre las lecturas obtenidas con el analizador de espectros y exposímetro para identificar patrones y diferencias en las mediciones puntuales de campos electromagnéticos.

1.3 Importancia y alcance de la investigación

- ***Importancia***

El presente estudio comparó sistemáticamente las mediciones de CEM-RF obtenidas por un exposímetro (EME Spy 201) y un analizador de espectro (SRM-3006), proporcionando información sobre las diferencias y similitudes en los resultados generados por estos equipos. El estudio se desarrolló en las instalaciones de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM), contribuyendo así la evaluación de la exposición a los campos electromagnéticos de radiofrecuencia (CEM-RF) dentro de un contexto universitario. Considerando que la presencia de CEM-RF se reconoce como un asunto de interés para la salud pública, especialmente ante el aumento de fuentes de emisión provenientes de las tecnologías de comunicación, este análisis resulta crucial. Los hallazgos del estudio podrían influir en la implementación de políticas y medidas de protección más efectivas, destinadas a reducir los posibles riesgos asociados con la exposición prolongada a campos electromagnéticos.

- ***Alcance de la investigación***

- a) Estudiar las características de operación de los equipos de medición en la UNMSM.
- b) Definir los lugares donde se van a realizar las mediciones en gabinete.

- c) Realizar una prospección de los lugares, facultades y puntos donde se realizarán las mediciones, así como los servicios de telecomunicaciones a medir.
- d) Realizar el estudio de campo, obtención de lecturas de CEM del analizador de espectros (SRM-3006) y exposímetro (EME Spy 201).
- e) Realizar el análisis estadístico correlativo de las lecturas obtenidas.
- f) Llevar a cabo el análisis de los datos obtenidos con apoyo del software estadístico SPSS v.26.

1.4 Limitaciones de la investigación

Las limitaciones para este estudio son:

- a) El estudio se llevó a cabo en ocho facultades de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, todas ellas ubicadas en un mismo contexto geográfico, por lo que los resultados no son necesariamente generalizables a otras regiones o poblaciones.
- b) Para este estudio se empleó el exposímetro EME-SPY 201 el cual tiene este rango dinámico de 0.015 V/m - 6 V/m para los servicios Modulación de Frecuencia (FM), Televisión en Frecuencia Muy Alta (TV VHF), Wireless Fidelity 5G (Wi-Fi 5G) y 0.005 - 6 V/m para Televisión en Frecuencia Ultra Alta (TV-UHF), Long-Term Evolution Bands (LTE B), Wireless Fidelity 2G (Wi-Fi 2G), Industrial, Scientific, and Medical (ISM), Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT). Por lo tanto, las mediciones dentro de este rango son consideradas para el análisis.
- c) La sensibilidad de los equipos podría influir en la precisión de las lecturas. Además, la presencia de otras fuentes de radiación inesperadas podría generar interferencias y afectar la comparación de las mediciones.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Marco teórico

Este estudio presenta una comparación de mediciones de CEM-RF, con el propósito de analizar y evaluar las mediciones puntuales realizadas por el SRM-3006 y por exposímetro EME Spy 201. El objetivo principal es determinar si existen disparidades significativas en las muestras estudiadas.

El marco teórico abordará conceptos fundamentales de la teoría de campos electromagnéticos, sobre regulaciones existentes y factores influyentes. Lo que permitirá realizar un análisis que proporcione información relevante para el campo de estudio.

2.2 Antecedentes del estudio

Ramírez *et al.*, (2019) realizaron un estudio para caracterizar la exposición personal a campos electromagnéticos de radiofrecuencia (CEM-RF) ambiental en Albacete, España (166,000 habitantes), y evaluar el efecto de compartir los resultados del estudio sobre la percepción del riesgo de los participantes. Las mediciones se realizaron mediante el exposímetro Satimo EME SPY 140, que se programó para que realizar una medición cada 10 segundos durante un periodo de 24 horas. El estudio incluyó a 75 voluntarios expuestos a CEM-RF en 14 microambientes diferentes. Posteriormente, los voluntarios respondieron un cuestionario sobre su percepción del riesgo asociado a los CEM-RF. La exposición promedio registrada fue de 37,7 $\mu\text{W}/\text{m}^2$, con valores individuales oscilando entre 0.2 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ y 264.7 $\mu\text{W}/\text{m}^2$. La principal fuente que contribuyó a la exposición personal fue la banda de telecomunicaciones inalámbricas (DECT). Los resultados de la exposición personal a CEM-RF estuvo muy por debajo de los límites recomendados por ICNIRP y presentó una gran variedad

temporal. Además, compartir los resultados de la exposición con los participantes redujo su percepción de riesgo.

Hamiti *et al.*, (2018) realizaron un estudio en Kosovo empleando exposímetros personales EME Spy 200 durante un periodo de aproximadamente seis meses. El valor máximo registrado fue de 1.77 V/m para GSM+ LTE 900 y de 0.644 V/m para GSM+ LTE 1800. Los resultados indicaron que los niveles de exposición en Kosovo guardaban correspondencia con los observados en otros países europeos y que permanecían por debajo de los valores de referencia establecidos por la ICNIRP.

Thielens *et al.*, (2018) analizaron la repetibilidad y representatividad de las mediciones de CEM-RF en 15 microrregiones de Melbourne, Australia. Además, llevaron a cabo evaluaciones en distintas zonas del cuerpo y la cabeza mediante el uso de un exposímetro personal (ExpoM-RF). Los hallazgos mostraron que la intensidad de la exposición variaba en función del momento del día: por la mañana se detectaron los niveles más bajos en comparación con otros periodos. El promedio de exposición más alto (0.89 ± 1.07 V/m) se encontró en el centro comercial de Melbourne, mientras que los valores más bajos se registraron en áreas suburbanas e industriales como Werribee y Altona, con promedios de 0.09 ± 0.1 V/m y 0.05 ± 0.04 V/m respectivamente.

Sanjay S. *et al.*, (2018) buscaron cuantificar la exposición a CEM-RF aplicando un protocolo estandarizado de mediciones utilizando dispositivos portátiles con alta tasa de muestreo en diferentes microambientes de Suiza, Etiopía, Nepal, Sudáfrica, Australia, y los Estados Unidos de América. En Estados Unidos se utilizó un exposímetro (EME Spy 201), mientras que en el resto de los países se utilizó un medidor de exposición personal a radiofrecuencia (ExpoM-RF). Los equipos se colocaron a la altura de la cabeza (1.6 – 1.7 m). El estudio abarcó un total de 94

microambientes exteriores y 18 vehículos de transporte público. Las mediciones de exposiciones a CEM -RF recopiladas por el ExpoM-RF fueron efectuadas con una frecuencia de muestreo de 4 segundos, mientras que el EME Spy 201 tuvo una frecuencia de muestreo de 5 segundos. Las mediciones se realizaron durante el día entre las 9:00 a.m. y las 6:00 p.m., excepto Estados Unidos de América, donde las mediciones de exposición se realizaron durante la noche, entre las 7:00 p.m. y las 9 p.m. Los resultados indican que la exposición total a CEM-RF en todos los países están por debajo del límite establecido por ICNIRP.

Huang (2016), en su tesis, realizó una evaluación de una nueva metodología para caracterizar la exposición real de una población a campos electromagnéticos de radiofrecuencia (CEM-RF) en Francia y Serbia. Este nuevo método propone explorar las actividades de las personas para caracterizar la exposición de una población en un área geográfica específica, inducida por una red en su conjunto, incluidas estaciones base y equipos de comunicación inalámbrica, teniendo en cuenta diferentes tecnologías y diferentes usos. Los resultados revelaron que la distribución global de la exposición a campos electromagnéticos sigue la ley de valor extremo generalizado. Además, la exposición global a los campos electromagnéticos mostró una alta sensibilidad a la variabilidad en el uso de las tecnologías de la información (TIC) y datos de red. Después de investigar cómo varía el índice de exposición debido a la entrada aleatoria, se realizó un análisis de sensibilidad basado en la varianza con el propósito de simplificar la métrica del índice de exposición. Se encontró que la exposición a CEM en redes 3G está significativamente afectada por el intenso tráfico de uso, especialmente el tráfico de datos de enlace ascendente debido a la velocidad de carga limitada en redes 3G. Por lo tanto, Huang propuso una metodología simplificada basada en herramientas estadísticas avanzadas para evaluar el día a día de

la exposición global de los CEM de una población inducida por redes móvil de cuarta generación (LTE), teniendo en cuenta la variabilidad e incertidumbres relacionadas con el entorno de propagación, el uso, y los campos electromagnéticos de dispositivos inalámbricos personales y estaciones base. Los datos recopilados en Francia y Serbia mostraron una fuerte heterogeneidad en la exposición, tanto en el tiempo (con una distribución del tráfico muy variable) como el espacio (la exposición a las redes 3G en Francia fue dos veces más alto que en Serbia). Además, los resultados han resaltado la importancia de la densidad de potencia recibida (tanto en entornos interiores como exteriores) de las estaciones base eNB en la exposición media global inducida por una red macro LTE.

Bhatt *et al.*, (2016) en su estudio realizaron una evaluación de la exposición personal a varias fuentes de campos electromagnéticos de radiofrecuencia en diferentes microambientes en Australia y Bélgica. En total, se estudiaron 38 microambientes (19 en cada país), ubicados en zonas urbanas, suburbanas y rurales. Para las mediciones se utilizaron dos exposímetros personales de radiofrecuencias (ExpoM-RF), lo cuales se colocaron a la altura de la cintura, uno a la izquierda de la cadera y el otro a la derecha. Las mediciones se realizaron durante el día, entre las 9:00 a.m. hasta las 6:00 p.m., o en la noche, entre las 6:00 p.m. hasta las 11:00 p.m. En total se obtuvieron 600 muestras (300 en cada país). Como resultado demostraron que era factible utilizar dos exposímetros al mismo tiempo para estimar la exposición personal. En Australia, el índice de exposición más alto se encontró en el centro de la ciudad de Melbourne (4.33 V/m), mientras que en Bélgica fue en una estación de tranvía (1.95 V/m). Además, se observó que las exposiciones personales en los microambientes urbanos fueron más altas que las de las zonas rurales o suburbanas.

De manera similar, los niveles de exposición en microambientes exteriores fueron más altos que los de microambientes interiores.

Sagar *et al.*, (2016) elaboraron un protocolo de monitoreo para la medición de CEM-RF en áreas públicas., El equipo utilizado fue un medidor personal de exposición a RF (ExpoM-RF), este medidor de RF es capaz de cuantificar las exposiciones a CEM-RF en dieciséis bandas diferentes. El estudio se realizó en cincuenta y un micro ambientes de Suiza, donde se encontró un mayor índice de campos electromagnéticos de radiofrecuencia (CEM-RF) en áreas industriales (0.53 V/m) y centros urbanos (0.47 V/m), siendo las estaciones base la principal fuente de contribución a la exposición. Este estudio demostró que las mediciones microambientales, utilizando dispositivos portátiles, presentan una alta repetibilidad, lo que permite monitorear las tendencias temporales de las exposiciones a CEM-RF durante un periodo de tiempo extendido.

2.3 Bases teóricas

- ***Campos electromagnéticos***

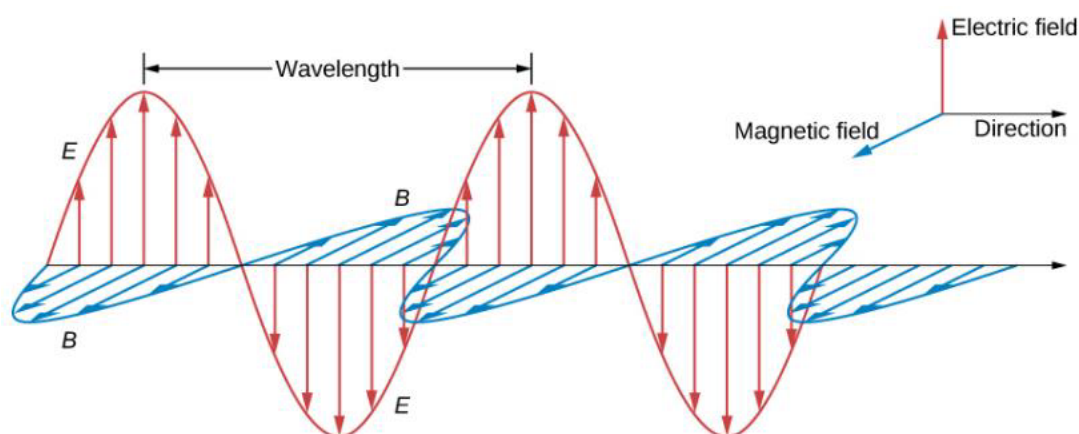
Los campos electromagnéticos constan de los componentes fundamentales: el campo eléctrico (E) y el campo magnético (H), que interactúan de manera constante entre sí. El primero surge de las variaciones de las cargas eléctricas, mientras que el segundo se genera a partir del movimiento de la corriente eléctrica.

La formulación teórica desarrollada por James Clerk Maxwell integró las leyes de Ampère, Gauss y Faraday, estableciendo las bases del electromagnetismo moderno. A partir de estas ecuaciones es posible describir múltiples propiedades de las ondas electromagnéticas, entre ellas, la velocidad de propagación en el vacío, que coincide con la de la luz ($c = 3 \times 10^8$ m/s).

Cuando la propagación ocurre a distancias que superan varias longitudes de onda, las ondas de campo eléctrico (E) y de campo magnético (H) se disponen en planos perpendiculares entre sí y, a la vez, perpendiculares a la dirección de propagación, tal como se representa en la Figura 1. Además, ambos campos guardan relación con la impedancia característica del espacio libre, cuyo valor es aproximadamente $\eta = 377$ ohmios.

Figura 1

Forma de onda de un campo electromagnético



Nota: Adaptado de "University Physics Volume 2" por Samuel J. Ling, Jeff Sanny y William Moebs, 2021, OpenStax. Disponible en commons.erau.edu

La Comisión Internacional de Protección de Radiación No Ionizante (ICNIRP, 1998) señala que los campos eléctricos y magnéticos se describen como vectores, ya que poseen magnitud y dirección. En el caso del campo magnético, este puede expresarse como densidad de flujo (B, en teslas) o como intensidad de campo (H, en amperios por metro), estando ambas magnitudes relacionadas mediante la ecuación $B = \mu H$ (p. 3).

Una de las principales magnitudes de los campos electromagnéticos (CEM) es la frecuencia caracterizada como la cantidad de movimiento que pasan por un punto en una unidad de Hertz (Hz).

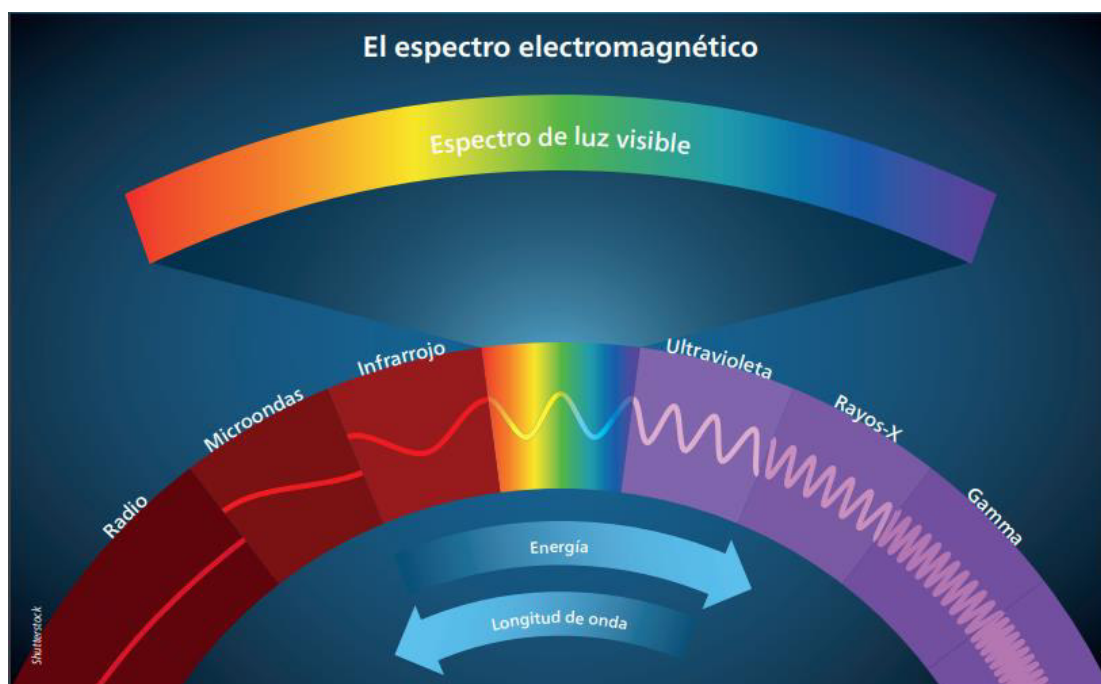
La frecuencia alude a la distancia que recorre una onda electromagnética en un tiempo equivalente a un periodo.

$$\lambda = c \cdot T = \frac{c}{f}$$

- ***Espectro electromagnético***

Hoy en día, la red eléctrica se utiliza a lo largo de todo el país para transportar electricidad, pero cualquier toma de corriente está asociada a la generación de campos electromagnéticos de baja frecuencia. Por otro parte, los diferentes tipos de onda de radio de mayor frecuencia se utilizan para transportar datos a través de antenas de radio, televisión y estaciones base de telefonía móvil.

La clasificación energética de las radiaciones electromagnéticas se define en función de su frecuencia o longitud de onda. La energía electromagnética se transmite en forma de ondas y cubre un extenso espectro, que va desde ondas de radio, con una longitud de onda muy larga, hasta los rayos gamma, que poseen longitudes de onda extremadamente cortas. El humano puede visualizar una pequeña parte de este espectro, conocido como luz visible.

Figura 2*El espectro electromagnético*

Nota. Adaptado de "Atribuir espectro para un mundo cambiante", por Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), 2015.

En la figura 2 se observa el espectro electromagnético el cual está distribuido como bandas de frecuencias: radiofrecuencias, microondas, radiación infrarroja, radiación visible, radiación ultravioleta, rayos-x y rayos gamma.

Según la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, 2024), la radiación puede entenderse como una forma de energía que se origina en átomos inestables sometidos a desintegración radiactiva o que también puede ser generada artificialmente por máquinas. Esta energía se propaga desde su fuente en forma de ondas electromagnéticas o como partículas cargadas, existiendo diferentes tipos de radiación que presentan propiedades y efectos diversos.

- ***Tipos de radiaciones de campos electromagnéticos***
- **Radiaciones ionizantes.** Este tipo de radiación corresponde a ondas electromagnéticas de muy alta frecuencia y con longitudes de onda reducidas, lo que

les confiere suficiente energía para ionizar átomos o moléculas y generar modificaciones químicas en los tejidos, incluyendo daño en el ADN. Dichos procesos incrementan el riesgo de formación de células anómalas con potencial tumoral. Entre sus principales fuentes se encuentran fenómenos naturales, como los rayos cósmicos, así como aplicaciones médicas, tales como radiografías y tomografías computarizadas.

- **Radiación No Ionizante (RNI).** Las RNI se caracterizan por abarcar frecuencias bajas y medias, lo que implica longitudes de onda extensas y una energía fotónica insuficiente para producir ionización de la materia. En términos de rango, pueden encontrarse desde 0 Hz hasta aproximadamente 3×10^{15} Hz, intervalo en el cual la energía del fotón (2×10^{-18} J o 12.4 eV) resulta comparable a la energía de enlace de los electrones en los átomos, por lo que por debajo de ese umbral no se produce ruptura de enlaces atómicos (Cruz, 2006, p. 36).

La exposición a radiaciones no ionizantes se cuantifica en vatios por metro cuadrado (W/m^2). Su interacción con los tejidos expuestos produce principalmente un efecto de calentamiento, asociado a la vibración de moléculas corporales. Estas radiaciones se utilizan de manera predominante en tecnologías de comunicación, como teléfonos móviles, redes Wi-Fi, sistemas de bluetooth, televisión, radiodifusión, estaciones base y diversos dispositivos electrónicos.

- ***Regiones de propagación***

Una fuente radiante emite ondas electromagnéticas, estas se propagan en el espacio libre, finalmente la energía es recibida por una antena receptora. La radiación y la recepción de la energía depende de los modelos de las antenas y de la distancia entre ellas.

- **Campo cercano.** Esta región, también denominada zona de Fresnel, corresponde al área que rodea inmediatamente a una antena. En este espacio, los

campos eléctricos y magnéticos no se comportan como una onda plana y, en consecuencia, no siempre son perpendiculares entre sí, pudiendo incluso estar desacoplados.

Según la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT, 2011), el campo cercano se divide en una zona reactiva —ubicada más próxima a la fuente emisora y caracterizada por contener la mayor parte de la energía almacenada— y una zona radiante, donde comienza a predominar la propagación de energía hacia el exterior. Además, se establece que esta región se manifiesta únicamente cuando la dimensión máxima de la antena resulta significativa en relación con la longitud de onda considerada (UIT, 2018).

- **Campo lejano.** Esta región corresponde al área en la cual la propagación electromagnética ya puede considerarse estable y se encuentra a una distancia considerable respecto al origen de la señal. La UIT lo describe como la zona donde la onda presenta un carácter prácticamente plano, con campos eléctricos y magnéticos en fase y amplitudes que mantienen una relación constante (UIT-R, 2005, p. 5).

En este campo las ondas electromagnéticas se estabilizan y adoptan un comportamiento más predecible, lo que facilita la medición precisa de la densidad de potencia y la intensidad de campo. Por estos beneficios que ofrece la medición en campo lejano, el estudio se realizó siguiendo las directrices de medición y la predicción numérica de campos electromagnéticos establecidos en la recomendación UIT-T K.61, la cual define el campo lejano como:

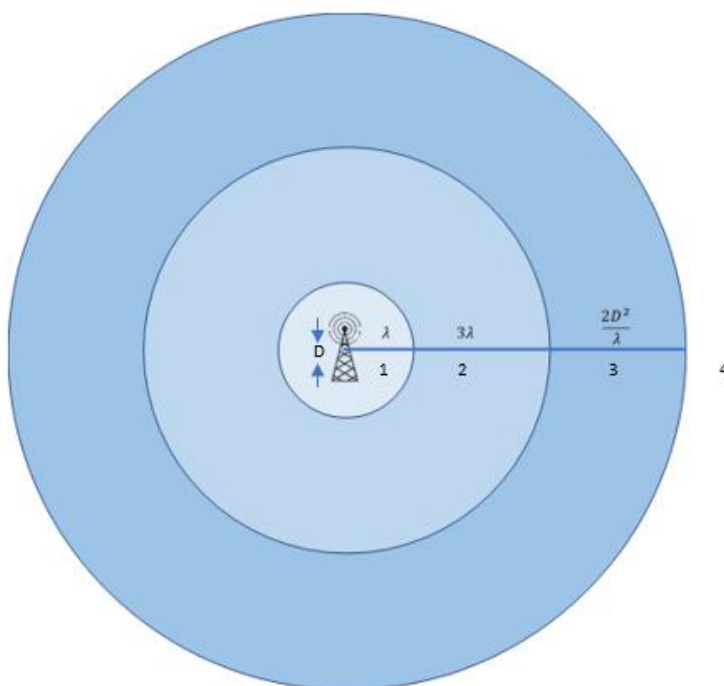
“La región del campo donde la distribución del campo angular es esencialmente independiente de la distancia desde la antena y la densidad de potencia radiada [W/m^2] es constante. El límite interno de la región de campo

lejano radiante se define por el valor mayor entre 3λ y $2D^2/\lambda$.” (UIT-T K.61, 2018, p. 6)

De acuerdo con este criterio, si el tamaño de la antena es superior a la longitud de onda considerada, el límite entre el campo cercano y lejano se fija en $2D^2/\lambda$. En este dominio, el modelo de onda plana resulta una aproximación válida: los vectores de los campos eléctrico (E) y magnético (H) son perpendiculares entre sí y, a la vez, ortogonales a la dirección de propagación.

Los campos E y H se encuentran en la misma fase, y la relación de amplitud $\frac{E}{H}$ es constante en el espacio. En el espacio libre, la relación de $Z_0 = \frac{E}{H} = 377$ ohmios se denomina impedancia característica del espacio libre.

La densidad de potencia una onda, definida como la cantidad de potencia por unidad de área en dirección perpendicular al eje de propagación, está relacionada a los campos eléctricos y magnéticos. Esta relación se describe mediante la siguiente expresión $S = E * H = \frac{E^2}{377} = H^2 * 377$, donde ‘S’ representa la densidad de potencia, ‘E’ el campo eléctrico y ‘H’ el campo magnético.

Figura 3*Regiones del campo electromagnético*

En la figura 3 se divide en 4 zonas las cuales son:

1: Campo reactivo: Es la región próxima a una antena, donde los componentes del E y H esta principalmente en fase con la fuente y la energía electromagnética no se propaga de manera significativa al espacio circulante. En esta región, la energía se almacena temporalmente y retorna a la fuente.

2: Campo reactivo radiante: En esta región, aunque la energía aún no se propaga completamente al espacio, comienza a exhibir características de radiación, es decir, las ondas electromagnéticas empiezan a separarse de la fuente, pero aún con un componente reactivo dominante.

3: Campo cercano radiante (Fresnel): En esta región las ondas electromagnéticas están en proceso de formarse y la radiación no es uniforme. Las interacciones entre los campos eléctricos y magnéticos aún dependen de la geometría de la fuente, y las ondas no se comportan como radiación completamente esférica.

4: Campo lejano radiante (Fraunhofer): En esta región la radiación electromagnética se ha estabilizado y las ondas se propagan de manera uniforme y esférica. En esta región, los componentes del campo eléctrico y magnético están perpendicular entre si y a la dirección, lo permite una transmisión eficiente de energía hacia el espacio.

- **Regulación**

La entidad internacional encargada de investigar los posibles riesgos asociados a diferentes formas de radiación no ionizante (RNI) es la Comisión Internacional para la Protección contra la Radiación No Ionizante (ICNIRP). Esta organización, en coordinación con la Organización Mundial de la Salud (OMS), ha establecido límites de exposición orientados a la protección de la salud pública frente a eventuales efectos negativos.

- **Directrices ICNIRP (1998).** Una de las directrices internacionales más relevantes fue publicada por la ICNIRP (1998), que demuestra los efectos que la exposición a corto plazo a campos de frecuencia elevada tiene sobre la salud. Esta publicación, titulada *Recomendaciones ICNIRP para Limitar la Exposición a Campos Eléctricos, Magnéticos y Electromagnéticos (hasta 300 GHz)*, que establece límites y pautas para proteger a la población de los posibles efectos adversos de dicha exposición (ICNIRP, 1998).

En 2010, ICNIRP publicó una actualización para frecuencias bajas con el título “*Recomendaciones para limitar la exposición a campos eléctricos y magnéticos variables en el tiempo (1 Hz - 100 kHz)*”. Como indica Cruz (2016): “Estas recomendaciones se basan en los efectos biológicos establecidos que implican efectos sobre la salud y han sido adoptadas como sus estándares nacionales por más de 124 países en todo el mundo [...]” (p.31).

Perú adoptó las recomendaciones ICNIRP para el rango de frecuencias de 1 Hz a 300 GHz. Estas recomendaciones se centran en el Límite Máximo Permitido, que establece el nivel máximo de exposición permitido para todos los servicios que operan dentro de este ancho de banda.

Actualmente, la ICNIRP sostiene que la evidencia disponible sobre posibles efectos en la salud asociados a exposiciones prolongadas a campos electromagnéticos (CEM) de baja frecuencia no resulta suficiente para justificar una reducción adicional de los límites de exposición establecidos.

De acuerdo con la ICNIRP, los valores de referencia se organizan en dos categorías principales: aquellos dirigidos a la población en general (tabla 1) y los establecidos para la exposición ocupacional (tabla 2), orientados a trabajadores que se encuentran expuestos durante sus actividades laborales. Esta diferenciación permite aplicar medidas de protección específicas según el grupo poblacional considerado.

En el caso de la población general, los límites consideran la presencia de individuos de todas las edades y condiciones de salud, quienes podrían estar expuestos de manera continua o sin conocimiento previo, por lo que se aplican factores de seguridad más conservadores. Específicamente, ICNIRP incorpora un margen de seguridad de hasta 50 veces por debajo del umbral de efectos adversos conocidos. En contraste, para la exposición ocupacional —dirigida a trabajadores capacitados y conscientes del riesgo— se aplica un factor de reducción menor, típicamente de 10 veces, ya que se presupone que estas personas están expuestas bajo condiciones controladas, con capacitación y monitoreo adecuados.

Esta estrategia de diferenciación permite garantizar un nivel de protección proporcional al grado de vulnerabilidad del grupo expuesto, asegurando que tanto en

contextos laborales como en entornos públicos los niveles de exposición permanezcan dentro de rangos considerados seguros por la evidencia científica internacional.

Tabla 1

Niveles de referencia para exposición poblacional a campos eléctricos y magnéticos

Rango de Frecuencias	Intensidad de campo Eléctrico	Intensidad de campo Magnético	Densidad de Flujo Magnético	Densidad de Potencia
(MHz)	(V/m)	magnético (A/m)	(μ T)	(W/m ²)
Hasta 1 Hz	-	3.2×10^4	4×10^4	-
1 – 8 Hz	10000	$3.2 \times 10^4/f^2$	$4 \times 10^4/f^2$	-
8 – 25 Hz	10000	$4000/f$	$5000/f$	-
0.025 – 0.8 kHz	$250/f$	$4/f$	$5/f$	-
0.8 – 3 kHz	$250/f$	5	6.25	-
3 – 150 kHz	87	5	6.25	-
0.15 – 1 MHz	87	$0.73/f$	$0.92/f$	-
1 – 10 MHz	$87/f^{0.5}$	$0.73/f$	$0.92/f$	-
10 – 400 MHz	28	0.073	0.092	2
400 – 2000 MHz	$1.375 \times f^{0.5}$	$0.0037 \times f^{0.5}$	$0.0046 \times f^{0.5}$	$f/200$
2 – 300 GHz	61	0.16	0.20	10

Nota: Tomada de International Commission On Non-Ionizing Radiation Protection (1998). Los límites de exposición establecidos se refieren a las medias temporales y espaciales de las magnitudes indicadas. Para frecuencias entre 100 kHz y 10 GHz, Seq, E2, H2, y B2, deben ser promediados sobre cualquier periodo de 6 minutos. Para frecuencias por encima de 10 GHz, Seq, E2, H2, y B2, deben ser promediados sobre cualquier periodo de 68 / f1,05 minutos (f en GHz).

Tabla 2

Niveles de referencia para exposición ocupacional a campos eléctricos y magnéticos

Rango de Frecuencias	Intensidad de campo Eléctrico	Intensidad de campo Magnético	Densidad de Flujo Magnético	Densidad de Potencia
(MHz)	(V/m)	magnético (A/m)	(μ T)	(W/m ²)
Hasta 1 Hz	-	1.63×10^5	2×10^5	-
1 – 8 Hz	20000	$1.63 \times 10^5/f^2$	$2 \times 10^5/f^2$	-
8 – 25 Hz	20000	$2 \times 10^4/f$	$2.5 \times 10^4/f$	-
0.025 – 0.82 kHz	$500/f$	$20/f$	$25/f$	-
0.82 – 65 kHz	610	24.4	30.7	-
0.065 – 1 MHz	610	$1.6/f$	$2/f$	-
1 – 10 MHz	$610/f$	$1.6/f$	$2/f$	-
10 – 400 MHz	61	0.16	0.2	10
400 – 2000 MHz	$3 \times f^{0.5}$	$0.008 \times f^{0.5}$	$0.01 \times f^{0.5}$	$f/40$
2 – 300 GHz	61	0.36	0.45	50

Nota: Tomada de International Commission On Non-Ionizing Radiation Protection (1998). El valor de la frecuencia “f” debe estar en las unidades que se indican en la columna de rango de frecuencias. Los límites de exposición establecidos se refieren a las medias temporales y espaciales de las magnitudes indicadas. Para frecuencias entre 100 kHz y 10 GHz, Seq, E2, H2, y B2, deben ser promediados sobre cualquier periodo de 6 minutos. Para frecuencias por encima de 10 GHz, Seq, E2, H2, y B2, deben ser promediados sobre cualquier periodo de 68 / f1,05 minutos (f en GHz).

- **Directrices ICNIRP 2020.** La normativa ICNIRP (2020) añadió las bandas de telefonía móvil mayores a 3.5GHz, por lo que se mantienen los límites máximos permisibles descritos por la normativa de ICNIRP 1998.

En diversos países del mundo se ha desarrollado un marco normativo robusto y actualizado para abordar la exposición a radiaciones no ionizantes (RNI), con énfasis en la protección de la salud pública frente a fuentes como estaciones base de telecomunicaciones. Esta normativa se basa en gran medida en los estándares propuestos por la Comisión Internacional de Protección contra Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP), la norma IEEE C95.1 y estándares técnicos como IEC/EN 62232, que definen no solo los límites de exposición, sino también protocolos detallados para la evaluación, medición y supervisión del cumplimiento.

En la Unión Europea, la Recomendación 1999/519/EC del Consejo establece los límites de exposición del público basados en ICNIRP 1998, mientras que la Directiva 2013/35/UE regula la exposición ocupacional. Estos marcos han sido adoptados en las legislaciones nacionales de casi todos los Estados miembros, integrándose con estándares técnicos como EN 62232 para las metodologías de medición en entornos reales. Asimismo, se exige la evaluación de impacto de emisiones antes de la instalación de estaciones radioeléctricas, el uso de simulaciones computacionales y mediciones in situ, así como la publicación de resultados para garantizar la transparencia.

En Estados Unidos, la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) adopta límites derivados del estándar IEEE C95.1, con guías técnicas complementarias como el OET Bulletin 65. Las evaluaciones combinan mediciones con modelos teóricos, y las normas contemplan criterios para zonas ocupacionales y exposición del público general. Las empresas deben demostrar cumplimiento previo a la puesta en servicio de

sus transmisores, y es común el uso de programas de seguridad RF, incluyendo monitores personales y señalización en zonas controladas.

Otros países como Australia, Canadá, Corea del Sur y Japón han adoptado los valores de ICNIRP o IEEE según el enfoque técnico predominante. Canadá, por ejemplo, aplica el Safety Code 6 (basado en IEEE), mientras que Australia sigue las recomendaciones de ARPANSA, que coinciden en gran medida con ICNIRP. Esta armonización internacional permite realizar estudios comparativos y compartir mejores prácticas regulatorias.

Si bien el panorama internacional ha avanzado hacia una mayor armonización técnica en materia de radiaciones no ionizantes, mediante la adopción de marcos como los propuestos por ICNIRP, IEEE o IEC, cada país ha adecuando estas referencias a su realidad normativa e institucional. En el caso del Perú, se ha optado por incorporar los lineamientos de ICNIRP dentro de su legislación sectorial, desarrollando una normativa nacional que, aunque inspirada en estos estándares globales, presenta características particulares en términos de alcance y aplicación.

- **Decreto Supremo N° 038-2003-MTC.** Publicado el 6 de julio de 2003, establece los *Límites Máximos Permisibles (LMP) de Radiaciones No Ionizantes en Telecomunicaciones*, siguiendo las recomendaciones de la ICNIRP para el rango de 9 kHz a 300 GHz (MTC, 2003). Dicho decreto define los valores de referencia y dispone las condiciones para su aplicación dentro del sector de telecomunicaciones en el país.
- **Resolución Ministerial N.º 613-2004-MTC/03.** Como norma técnica complementaria, publicada el 19 de agosto de 2004, aprueba los *Protocolos de Medición de Radiaciones No Ionizantes*, donde se especifican los criterios de promediación, metodologías y requisitos técnicos para verificar el cumplimiento de

los límites señalados en el D.S. 038-2003-MTC. Su finalidad es garantizar uniformidad y confiabilidad en las mediciones (MTC, 2004).

- **Decreto Supremo N° 010-2005-PCM.** Promulgado el 3 de febrero de 2005, incorpora los *Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Radiaciones No Ionizantes*. Estos valores normativos establecen los niveles máximos de intensidad de radiación permitidos con el propósito de proteger la salud de la población y prevenir posibles impactos en el medio ambiente (PCM, 2005).

2.4 Definición de términos

- ***Mediciones puntuales***

Se les denomina a las mediciones llevadas a cabo en ubicaciones específicas y en momentos específicos para analizar la intensidad de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia en esas áreas.

- ***Exposímetro***

Instrumento portátil empleado para cuantificar la exposición individual a campos electromagnéticos de radiofrecuencia durante un periodo determinado. Este equipo efectúa mediciones continuas de la intensidad del campo —expresada en voltios por metro (V/m) o vatios por metro cuadrado (W/m^2)— en intervalos de muestreo establecidos (por ejemplo, cada 2, 3 o 4 segundos), lo que posibilita evaluar la dosis acumulada de exposición de un sujeto en diversos ambientes.

- ***Medidor selectivo***

Un equipo empleado para evaluar y analizar las características específicas de un campo electromagnético de radiofrecuencia en cuanto a frecuencia, potencia, modulación, entre otros aspectos.

- ***Interferencia electromagnética (EMI)***

Se refiere a las perturbaciones no deseadas en las señales eléctricas o electrónicas. Estas son provocadas por la presencia de campos electromagnéticos externos que alteran las señales normales de los equipos. Las fuentes más comunes de EMI incluyen dispositivos de radiofrecuencia, como teléfonos móviles, transmisores de radio y sistemas inalámbricos. Las EMI pueden provocar mal funcionamiento, degradación del rendimiento de los equipos afectados.

- ***Banda de frecuencia***

Es un rango específico de frecuencias dentro del espectro electromagnético, empleado para categorizar y asignar diversos tipos de servicios de telecomunicaciones, tales como, 3G, 4G Wi-Fi, entre otros.

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1 Hipótesis

Las mediciones realizadas con el analizador de espectros (SRM-3006) y el exposímetro (EME Spy 201) permitirán determinar si existen diferencias significativas en los valores obtenidos para mediciones puntuales de campos electromagnéticos de radiofrecuencia.

- ***Hipótesis específica***

- a) Las mediciones realizadas con el exposímetro (EME Spy 201) difieren significativamente de las obtenidas con el analizador de espectros (SRM-3006), siendo necesario aplicar un factor de corrección para mejorar la concordancia entre ambos instrumentos.
- b) El exposímetro EME Spy 201 es más económico en términos de adquisición y operación que el SRM3006, pero con posibles compromisos en exactitud.
- c) El SRM3006 presenta una mayor durabilidad y sensibilidad en comparación con el exposímetro EME Spy 201, aunque el EME Spy 201 puede ser más fácil de usar.
- d) Existe una correlación significativa entre las lecturas obtenidas con el analizador de espectros (SRM-3006) y el exposímetro (EME Spy 201), aunque pueden existir diferencias específicas en función del servicio medido.

3.2 Variables

- ***Variable independiente***

La variable independiente para este estudio es el equipo que se utiliza para medir los campos electromagnéticos de radiofrecuencia, el analizador de espectros

(SRM-3006) y el exposímetro (EME Spy 201). Esto permite evaluarlos diferentes enfoques de medición, así como la relación de los resultados obtenidos, su aplicabilidad técnica y económica.

- **Variable dependiente**

Para este estudio la variable dependiente es el nivel de exposición a campos electromagnéticos a radiofrecuencia (CEM-RF) obtenidos por los equipos de mediciones. Los resultados de estas mediciones serán contrastados con los límites permisibles por la International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) y en caso sea necesario realizar regulaciones.

3.3 Operación de las variables

- **Variable independiente:** Tipo de dispositivo de medición.
 - Equipamiento utilizado para medir los campos electromagnéticos de radiofrecuencia en las instalaciones de la UNMSM.
 - Definición operacionalización: Se realizó mediante el uso de dos tipos de dispositivos, el analizador de espectro (SRM-3006) y Exposímetro (EME Spy 201).
- **Variable dependiente:** Mediciones de nivel de exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia.
- **Concordancia de las mediciones:**
 - Concordancia entre las mediciones obtenidas con el analizador de espectros SRM-3006 (considerado como equipo de referencia) y el exposímetro EME Spy 201.
 - La comparación se realizó mediante análisis estadísticos de correlación, cálculo del factor de corrección y gráficos de Bland-Altman,

permitiendo ajustar los valores registrados por el exposímetro y mejorar la concordancia con el equipo de referencia.

- **Costos:**

- Gastos asociados al uso de los equipos, que incluyen la adquisición, operación y mantenimiento de los dispositivos.
- Definición operacionalización: Se mide mediante un análisis de costos que considera la inversión inicial, los costos de mantenimiento y operación, expresados en unidades monetarias.

- **Durabilidad:**

- Tiempo de vida útil del equipo bajo condiciones normales de uso.
- Definición operacionalización: Se expresa en años de vida útil o en el número de ciclos de medición antes de requerir mantenimiento o reemplazo.

- **Correlación entre lecturas de los equipos:**

- Grado de relación lineal entre las lecturas de campo electromagnético obtenidas por el analizador de espectros (SRM-3066) y el exposímetro (EME Spy 201).
- Definición operacionalización: La correlación se medirá mediante el coeficiente de correlación de Pearson o similar, comparando las lecturas obtenidas por ambos equipos en diferentes puntos de las instalaciones de la UNMSM. Se considerará significativa si el valor p del coeficiente de correlación es menor a un nivel de significancia predeterminado ($p < 0,05$). El coeficiente de correlación se analizará en diferentes servicios de telecomunicaciones (ver la variable moderadora).

3.4 Matriz de consistencia

En la tabla 3 se presenta la matriz de consistencia

Tabla 3

Matriz de consistencia

Problema General	Objetivo General	Objetivos Específicos	Hipótesis	Variables	Métodos de Recolección de Datos
¿Cómo se comparan las mediciones puntuales de campos electromagnéticos de radiofrecuencia realizadas con el analizador de espectros (SRM-3006) y el exposímetro (EME Spy 201) en relación con los resultados obtenidos, su aplicabilidad técnica y económica, en las instalaciones de la UNMSM?	Evaluar y comparar las mediciones puntuales de campos electromagnéticos de radiofrecuencia obtenidas con el analizador de espectros (SRM-3006) y el exposímetro (EME Spy 201), a fin de determinar un factor de corrección que permita ajustar las mediciones del exposímetro y analizar su viabilidad técnica y económica, considerando aspectos relacionados con los costos, facilidad de uso, durabilidad, sensibilidad y aplicabilidad en las instalaciones de la UNMSM.	1. Evaluar y comparar las mediciones puntuales de campos electromagnéticos de radiofrecuencia realizadas con el analizador de espectros (SRM-3006) y el exposímetro (EME Spy 201), a fin de determinar un factor de corrección que permita ajustar los resultados obtenidos por el exposímetro en las instalaciones de la UNMSM.	H1: Las mediciones realizadas con el exposímetro (EME Spy 201) difieren significativamente de las obtenidas con el analizador de espectros (SRM-3006), siendo necesario aplicar un factor de corrección para mejorar la concordancia entre ambos instrumentos.	Variable independiente: Tipo de equipo de medición. Variable dependiente: Mediciones de nivel de exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia.	- Mediciones directas de los equipos en condiciones controladas. - Análisis de la correspondencia entre los valores obtenidos por ambos equipos mediante métodos estadísticos

Problema General	Objetivo General	Objetivos Específicos	Hipótesis	Variables	Métodos de Recolección de Datos
		2. Analizar y comparar los costos asociados a la adquisición, operación y mantenimiento del analizador de espectro y exposímetro para determinar su viabilidad económica en contextos de mediciones de campos electromagnéticos.	H2: El exposímetro EME Spy 201 es más económico en términos de adquisición y operación que el SRM3006, pero con posibles compromisos en exactitud.	Variable independiente: Tipo de equipo de medición. Variable dependiente: Costos asociados.	- Revisión de presupuestos e información de los proveedores.
		3. Examinar otros parámetros relevantes, como la facilidad de uso, durabilidad y sensibilidad de las mediciones, para comparar el rendimiento general del analizador y exposímetro.	H3: El SRM3006 presenta una mayor durabilidad y sensibilidad en comparación con el exposímetro EME Spy 201, aunque el EME Spy 201 puede ser más fácil de usar.	Variable independiente: Tipo de equipo de medición. Variable dependiente: Parámetros de durabilidad.	- Pruebas de durabilidad y rendimiento.
		4. Evaluar la correlación entre las lecturas obtenidas con el analizador de espectros y exposímetro para identificar patrones y diferencias en las mediciones puntuales de campos electromagnéticos.	H4: Existe una correlación significativa entre las lecturas obtenidas con el analizador de espectros (SRM-3006) y el exposímetro (EME Spy 201), aunque pueden existir diferencias específicas en función del servicio medido.	Variable independiente: Tipo de equipo de medición. Variable dependiente: Correlación de las mediciones.	- Análisis estadístico de datos. - Comparación de lecturas.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Área de estudio

Para este estudio, se escogió la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM) por su disponibilidad de recursos y relevancia de los ambientes con alta densidad poblacional. Las facultades escogidas fueron seleccionadas en base a su ubicación dentro de la universidad, lo que permitió una representación adecuada de los distintos entornos y niveles de exposición a campos electromagnéticos.

Las facultades seleccionadas fueron:

- Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica (FIEE).
- Facultad de Odontología (FO).
- Facultad de Psicología (FPSI).
- Facultad de Educación (FEDU).
- Facultad de Letras y Ciencias Humanas (FLCH).
- Facultad de Ingeniería Industrial (FII).
- Facultad de Ciencias Biológicas (FCB).
- Facultad de Ingeniería Geología, Minas, Metalurgia y Geográfica (FIGMMG).

4.2 Diseño de investigación

La investigación realizada tuvo un diseño de tipo comparativo, porque se enfocó en la determinación de la existencia de diferencias significativas entre las mediciones de campos electromagnéticos de radiofrecuencia obtenidas mediante un analizador selectivo y un exposímetro de campos electromagnéticos.

4.3 Población y muestra

La población objetivo del presente estudio fueron las ocho facultades de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. La muestra final consistió en 32 lecturas por facultad. Este tamaño de muestra se seleccionó siguiendo los principios del

Teorema del Límite Central y de la Desigualdad de Chebyshev. El Teorema del Límite Central establece que, con un número de muestras suficientemente grande (generalmente 30 o más), las medias muestrales tienden a distribuirse normalmente, independientemente de la distribución original de los datos. Por su parte, la Desigualdad de Chebyshev asegura que, independientemente de la distribución de los datos, un número suficiente de observaciones garantiza que la mayoría de los valores se encontrarán dentro de un rango específico en torno a la media.

Con 32 lecturas por facultad, se obtuvo una muestra suficientemente grande, lo que permitió que la mayor parte de los datos se concentrara de manera predecible en torno a la media.

4.4 Procedimiento, técnicas e instrumentos de recolección de información

El diseño del procedimiento se fundamentó en la Resolución Ministerial N°613-2004 MTC/03 en el cual “Aprueban las normas técnicas sobre Protocolos de Medición de Radiaciones no ionizantes”. Esta normativa permitió desarrollar un protocolo de medición con dispositivos especializados para la medición de campos electromagnéticos, lo que permitió la obtención de datos precisos y confiables que permitieron la comparación entre ambas muestras.

- ***Protocolo de medición***
- **Prospección de los lugares donde se realizará las mediciones.** Las mediciones se realizaron en diferentes ambientes denotados por entornos cotidianos típicos, tanto en áreas interiores y exteriores. Este enfoque permitió que el estudio abarcara una gama representativa de condiciones ambientales.

Prospección técnica del entorno físico:

- ♦ Ubicación.
- ♦ Características topológicas del medio.

- ♦ Zonas accesibles para el público en general.
- ♦ Descripción de los principales focos de emisión.
- **Determinación de la región de campo electromagnético.** Siguiendo la norma UIT-T K 61, se fundamentó en los conceptos de campo lejano y cercano para definir la región de campo electromagnético de la antena.

Primer paso: Se determinó la dimensión máxima (D) de la antena.

Segundo paso: Se calculó de la longitud de onda (λ). Teniendo en consideración la tabla de servicios con la que opera el exposímetro. Excluyendo el servicio 5G, el rango de trabajo considerado fue desde 88.5 MHz hasta 2,690 MHz, lo cual se observó durante la prospección.

En el caso de los servicios de telecomunicaciones se utilizó λ mínimo y para el caso del servicio de Wi-Fi se realizó un análisis independiente.

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Para los servicios de telecomunicaciones

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{2.69 \times 10^9 \text{ Hz}}$$

$$\lambda = 0.1115 \text{ m}$$

Y para Wi-Fi

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{2.4 \times 10^9 \text{ Hz}}$$

$$\lambda = 0.125 \text{ m}$$

Tercer paso: Con los datos del tamaño máximo y longitud de onda de la antena, se calculó la distancia límite entre el campo cercano y el campo lejano. El estándar UIT K-61 indica que, si hay un D mayor que la longitud de onda, la distancia entre el campo cercano y el campo lejano está limitado por la siguiente expresión:

$$r = \frac{2D^2}{\lambda}$$

Donde:

r : es la distancia de separación entre las regiones de campo cercano y lejano de la antena.

D : es la dimensión mayor de la antena.

Las torres cercanas a la universidad tienen una altura promedio aproximada de 23 metros, y están equipadas con antenas sectoriales cuyo diámetro oscila entre 0.36 y 0.70 metros.

$$r = \frac{2D^2}{\lambda}$$

$$r = \frac{2 \times (0.7\text{m})^2}{0.1115\text{ m}}$$

$$r = 8.7873\text{ m}$$

El valor obtenido de 8.7873 metros representa la distancia mínima de separación entre la región de campo cercano y la región de campo lejano, calculada considerando el mayor diámetro de antena observado (0.70 m) y la frecuencia más alta identificada en el entorno evaluado (2.69 GHz), correspondiente a una longitud de onda de 0.1115 metros. Este enfoque garantiza que cualquier antena con menor tamaño o frecuencia quedará dentro de la región de campo lejano a partir de esa distancia.

En caso del Wi-Fi, la dimensión máxima de la antena depende de la marca del punto de acceso (AP). En el estudio previo se encontró que la universidad utiliza las marcas Cisco, Ubiquiti y D-Link, cuyas antenas varían en tamaño de 170 a 294 mm. Por lo tanto, se consideró la dimensión máxima de 294 mm en las siguientes ecuaciones.

$$r = \frac{2D^2}{\lambda}$$

$$r = \frac{2 \times 294 \text{ mm}^2}{125 \text{ mm}}$$

$$r = 138.2 \text{ cm}$$

$$r = 1.382 \text{ m}$$

El valor de 1.382 metros se consideró como la distancia límite que separa el campo cercano del campo lejano para los puntos de acceso analizados.

Con base en las frecuencias de operación de los equipos utilizados —el exposímetro (EME-SPY 201) y el medidor selectivo (SRM-3006)—, las mediciones se realizaron dentro de la zona de campo lejano, lo que permitió descartar la influencia de perturbaciones de acoplamiento. Por ello, el estudio se centró únicamente en determinar la intensidad del campo eléctrico (expresada en V/m) y el coeficiente de exposición (%), entendido como el valor medido en relación con el límite máximo permisible establecido por la norma ICNIRP (1998).

- **Definición de los puntos de medición.** Se definieron los lugares donde se realizaron las mediciones, tanto en ambientes interiores como exteriores, siguiendo las observaciones que registraron durante la prospección realizada.

Para esta selección se tomó como referencia la Resolución Ministerial N.º 613-2004-MTC/03, la cual establece lineamientos técnicos sobre los protocolos de medición de radiaciones no ionizantes. Según dicha norma, las distancias respecto a la antena transmisora deben fijarse en 2, 10 y 20 metros en el plano horizontal, siempre que dichos puntos sean accesibles; en caso contrario, se realizarán medidas en puntos alternativos teniendo en cuenta la ubicación de mayor densidad de público general. Para estos puntos, se consideraron las coordenadas geográficas mediante el uso del GPS.

- **Selección de los instrumentos de medición.** Los instrumentos deben trabajar dentro del rango de frecuencia de los servicios de telecomunicaciones como

las bandas de frecuencias de comunicación móvil y la banda de frecuencias de radiodifusión, para poder comparar con los valores medidos de los equipos. Teniendo definido los servicios con mayor índice de emisión se escogieron dos equipos.

- **El medidor selectivo de radiaciones (SRM-3006).** El equipo tiene la capacidad de medir entornos de campo electromagnético desconocido, como aquellas áreas donde múltiples proveedores de servicios de telefonía móvil comparten una ubicación. La antena que utiliza contiene tres ejes, lo que permite realizar mediciones isotrópicas rápidas y simples, con determinación automática de los tres componentes espaciales del campo a medir. El SRM-3006 muestra tanto el nivel total de campo como las contribuciones individuales de cada servicio, ya sea en valor absoluto o como porcentaje de los límites permisibles.

Además, cada servicio se puede expandir en sus canales individuales y mostrar la contribución de cada canal a la emisión de campo general. Adicionalmente, el equipo incluye todas las funciones de un analizador de espectro. Una de las ventajas significativas de este equipo es su alta velocidad de medición en banda ancha con una resolución de banda (RBW) pequeña.

- **Exposímetro (EME Spy 201).** Es exposímetro diseñado especialmente para medir de forma selectiva los niveles de exposición personal a campos electromagnéticos de radiofrecuencia. Tiene la capacidad de registrar datos en múltiples bandas de frecuencia. simultáneamente.

El software de análisis "EME Spy", proporcionado con el exposímetro, permite configurar diversos parámetros de registro del ciclo de medición, como el intervalo de muestreo y las bandas de frecuencia de interés. Además, facilitó la recuperación y visualización de las mediciones registradas, presentándolas en forma de gráficos y tablas, lo que permitió realizar un análisis detallado. El software también ofreció la

opción de exportar los datos para su procesamiento, lo que resultó especialmente útil para profundizar en los resultados obtenidos.

- **Costos de adquisición.** El analizador de espectro SRM-3006 es un equipo especializado diseñado para realizar lecturas de campos electromagnéticos, lo cual justifica su costo elevado. El precio aproximado del SRM-3006 es de \$38,375 USD. En el caso del EME Spy 201, el precio estimado es de \$5,445 USD.
- **Costos de operación y mantenimiento.** Para la operación del SRM-3006 se requirió una capacitación especializada para asegurar su uso adecuado. Este equipo tiene una autonomía de 6 a 8 horas, dependiendo de las condiciones de uso. En cuanto al mantenimiento, este equipo requiere de una calibración periódica para mantener la precisión de las mediciones, la cual debe ser realizada por técnicos certificados, lo cual conlleva costos adicionales, este costo debe considerarse como parte de los gastos operativos en futuros usos.

En cuanto al EME Spy 201, su operación fue más sencilla y no requirió capacitación especializada. Este equipo tiene una autonomía aproximada de 15 horas. Su mantenimiento se realiza con menor frecuencia en comparación con el SRM-3006.

- **Características de rendimiento eléctrico.** Los equipos utilizados en esta investigación, el exposímetro (EME Spy 201) y el analizador de espectro (SRM-3006), presentaron varios aspectos técnicos que definieron su rendimiento eléctrico. A continuación, se detallan los más relevantes para el desarrollo de este estudio:

- **Rango de frecuencia.** El exposímetro EME-SPY 201 cubre un rango de frecuencias empleado en servicios de telecomunicaciones, incluyendo tanto las bandas de radiodifusión como las de comunicaciones móviles. Este dispositivo es capaz de registrar mediciones en 20 bandas distintas, en un intervalo comprendido entre 88.5 MHz y 5,850 MHz. De forma complementaria, el SRM-3006 utilizado en este estudio

opera dentro del mismo rango aplicado en telecomunicaciones, aunque ofrece mayor versatilidad en la selección de bandas de análisis. Para fines comparativos, en la presente investigación se empleó además una sonda triaxial (3-axis electric field probe), con capacidad de medición en frecuencias desde 27 MHz hasta 3 GHz.

- **Polarización.** En electromagnetismo, la polarización describe la orientación espacial de los campos eléctrico y magnético de una onda de radiofrecuencia. Para garantizar una medición adecuada, las antenas o sondas deben ser capaces de captar los diferentes componentes de polarización de la señal. En este estudio, la exactitud de las mediciones se favoreció mediante el uso de una sonda equipada con múltiples dipolos, lo que permite una respuesta más completa frente a los distintos modos de polarización presentes en el campo electromagnético.
- **Limitaciones de campo máximo.** El exposímetro EME-SPY 201 trabaja para los servicios de:

- ♦ FM, TV-VHF y WIFI 5G: entre 0.015 V/m y 6 V/m.
- ♦ TV-UHF, LTE Bands, Wi-Fi 2G, ISM y DECT: entre 0.005 V/m y 6 V/m.

Por su parte, el medidor selectivo SRM-3006, que utiliza la sonda 3-axis electric field probe de 27 MHz a 3 GHz, tiene una capacidad máxima de medir una intensidad de campo de hasta 435 V/m o 50 mW/cm².

- **Rango dinámico.** El exposímetro EME-SPY 201 trabaja con el siguiente rango dinámico:

- ♦ FM, TV-VHF y WIFI 5G: 5,985 V/m.
- ♦ TV-UHF, LTE Bands, Wi-Fi 2G, ISM y DECT: 5,995 V/m.

El medidor selectivo SRM-3006, que utiliza la sonda 3-axis electric field probe con un rango de frecuencia de 27 MHz a 3 GHz, cuenta con un rango dinámico de 0.2 mV/m a 200 V/m.

- **Cantidades y unidades.** Las mediciones se realizaron en la zona de campo lejano, limitándose a los componentes eléctrico y magnético, dado que las ondas presentaban una polarización vertical. En este estudio se registraron los valores de intensidad de campo eléctrico (V/m) y el coeficiente de exposición (%), entendido como la relación entre el valor medido y el límite máximo permisible definido por la norma ICNIRP (1998).
- **Premediación temporal.** Siguiendo las directrices de ICNIRP (1998), las mediciones se promediaron para intervalos de seis minutos en el rango de frecuencias comprendido entre 100 kHz y 10 GHz, tal como lo establecen los parámetros de referencia internacional.

Promediación espacial. No se empleó el promedio espacial, ya que se emplea únicamente cuando las mediciones se encuentran próximas al límite de exposición fijado por el Decreto Supremo N.º 038-2003-MTC y el campo electromagnético presenta condiciones homogéneas.

- **Procedimiento**

Se detalla el proceso que se llevó a cabo para la recolección de datos. Asimismo, se explica la configuración de los equipos utilizados, como el exposímetro EME Spy 201 y el analizador de espectro SRM-3006, ajustando parámetros como el intervalo de muestreo y las bandas de frecuencia de interés, con el fin de garantizar la fiabilidad de los datos obtenidos.

- **EME SPY 201.** El software de análisis "EME Spy", que se proporcionó con el exposímetro, ha permitido configurar los distintos parámetros de registro del ciclo de medición o tiempo de muestreo.
 - ♦ Dos segundos para un máximo de dos servicios.
 - ♦ Tres segundos para un máximo de diez servicios.

- ♦ Cuatro segundos para un máximo de quince servicios.
- ♦ Cinco segundos para un máximo de veinte servicios.

En el estudio de mediciones se comenzó con cuatro segundos de muestreo y luego se disminuyó para comprobar su influencia en los resultados.

- ***Cuatro segundos de muestreo.*** En este caso el exposímetro nos permite medir hasta quince servicios simultaneo, de entre todos se escogieron los siguientes:

- ♦ Modulación de Frecuencia (FM)
- ♦ Televisión en Frecuencia Muy Alta (TV VHF)
- ♦ Long-Term Evolution Band 12 Uplink (LTE B12(UL))
- ♦ Long-Term Evolution Band 12 Downlink (LTE B12(DL))
- ♦ Long-Term Evolution Band 13 Downlink (LTE B13(DL))
- ♦ Long-Term Evolution Band 13 Uplink (LTE B13(UL))
- ♦ Long-Term Evolution Band 5 Uplink (LTE B5(UL))
- ♦ Long-Term Evolution Band 5 Downlink (LTE B5(DL))
- ♦ Long-Term Evolution Band 4 Uplink (LTE B4(UL))
- ♦ Long-Term Evolution Band 2 Uplink (LTE B2(UL))
- ♦ Long-Term Evolution Band 2 Downlink (LTE B2(DL))
- ♦ Long-Term Evolution Band 4 Downlink (LTE B4(DL))
- ♦ Wireless Fidelity (WIFI 2G)
- ♦ Long-Term Evolution Band 7 Uplink (LTE B7(UL))
- ♦ Long-Term Evolution Band 5 Downlink (LTE B7(DL))

En esta configuración se midió en dos facultades (facultad de ingeniería electrónica y eléctrica y facultad de odontología) para poder medir un buen número de servicios y tener quince mediciones por minuto.

- **Tres y dos segundos de muestreo.** A medida que se disminuyó el tiempo de muestreo, también disminuyó la cantidad de servicios medidos. Por ello, en estos casos, primero se realizó un recorrido para determinar las bandas predominantes. Esta configuración se utilizó en tres facultades, cada una.
- **SMR 3006.** El equipo contó con un software que permitió la creación de tabla de servicios. Para garantizar la coherencia en las mediciones, se configuró el equipo analizador de espectro de modo que utilizara la misma tabla de servicios que el exposímetro. En esta tabla se encontraban 20 servicios, entre los que se incluían las bandas de comunicaciones móviles y la banda de radiodifusión.
- **Mediciones.** El primer paso consistió en la instalación de los equipos SRM-3006 y el exposímetro EME-SPY 201. Se colocó cada equipo en el punto de medición, en el caso del SRM-3006 se utilizó la sonda isotrópica de rango 27 MHz a 3 GHz. Ambos dispositivos fueron montados sobre trípodes no conductivo para evitar cualquier interferencia. Se realizaron las mediciones separando los equipos a una distancia de 5 metros, con el fin de minimizar posibles interferencias entre ellos. Cada medición se realizó en una promediación temporal, la cual está estableció por un período de 6 minutos para cada punto de medición. Corregido
- **Ambientes interiores.** Cada ambiente estuvo dividido en cuadrículas de 16 cm², y el punto de medición se ubicó en el centro de cada una de ellas. De este modo, se cubrió todo el ambiente y el área en la que las personas estuvieron expuestas a la radiación.
- **Ambientes exteriores.** Se seleccionaron las áreas habituales de alta densidad poblacional dentro de la facultad para realizar las mediciones. En ambos tipos de ambientes, la sonda de los equipos se ubicó a una altura de 1.7 metros sobre el

suelo, utilizando un trípode para garantizar la estabilidad y consistencia de las mediciones.

- ***Resultados***

Se siguió cada paso del protocolo mencionado anteriormente para la recolección de datos. Cada medición se realizó en la misma posición, tanto en ubicación como en altura, midiendo un equipo inmediatamente después del otro para evitar que la operación de un instrumento influyera sobre el otro.

A pesar de las consideraciones metodológicas, existen factores que pueden alterar la medición, tales como:

- ♦ La absorción y reflexión de objetos materiales, como árboles, edificios, etc.
- ♦ La interferencia electromagnética, que se produce cuando dos o más ondas electromagnéticas entran en conflicto.
- ♦ La humedad, que puede influir en la propagación de las ondas electromagnéticas.

Como se muestra en la tabla 4, el total de las lecturas obtenidas en el estudio de campo:

Tabla 4*Total de mediciones realizadas*

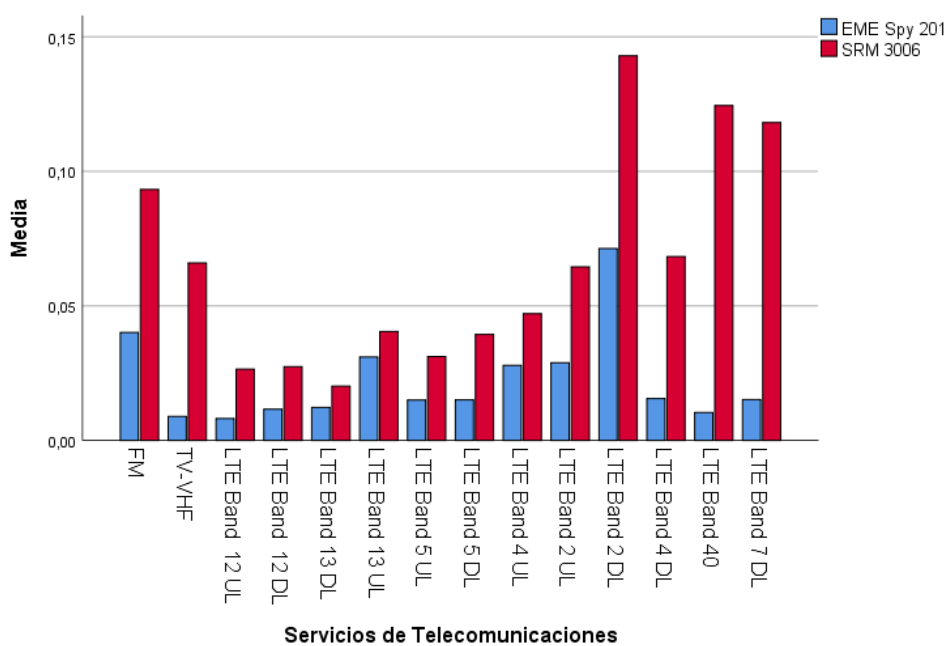
Servicios de Telecomunicaciones	Facultades								Total
	Ingeniería Electrónica y Eléctrica	Odontología	Psicología	Educación	Ciencias Biológicas	Ingeniería Industrial	Geología, Minas, Metalurgia y Geográfica	Letras y Humanidades	
FM	18	23	13	8	0	24	29	0	115
TV-VHF	32	32	0	0	0	0	0	0	64
LTE Band 12 UL	4	11	0	0	16	0	15	13	59
LTE Band 12 DL	17	23	1	0	25	0	15	20	101
LTE Band 13 DL	9	14	0	0	19	0	0	8	50
LTE Band 13 UL	32	27	0	0	24	0	0	32	115
LTE Band 5 UL	23	18	0	1	29	0	15	8	94
LTE Band 5 DL	30	31	13	0	24	1	31	32	162
LTE Band 4 UL	22	29	2	0	31	1	31	14	130
LTE Band 2 UL	26	28	0	8	30	1	25	23	141
LTE Band 2 DL	32	30	28	19	27	26	32	32	226
LTE Band 4 DL	21	30	6	4	20	0	31	32	144
LTE Band 40	21	21	0	0	0	0	0	0	42
WIFI 2G	0	0	0	24	0	2	30	0	56
LTE Band 7 UL	6	6	0	0	0	0	0	0	12
LTE Band 7 DL	29	23	0	0	0	0	0	0	52
Total	322	346	63	64	245	55	254	214	1563

A continuación, se exponen los resultados obtenidos en el estudio de campo, organizados por microambiente evaluado.

- **Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica (FIEE).** En esta facultad, se realizaron mediciones tanto en los ambientes exteriores como en un ambiente interior, específicamente en la biblioteca. Para el equipo EME Spy 201, se utilizó una configuración de muestreo de cuatro segundos. En la figura 4, se presentan el promedio de las mediciones obtenidas para cada servicio de telecomunicaciones evaluado.

Figura 4

Promedio de mediciones de campo eléctrico en la Facultad de Ingeniería de Electrónica y Eléctrica



A continuación, en la tabla 5, se presentan los datos obtenidos, incluyendo la media, así como los valores mínimos y máximos registrados en la Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica.

Tabla 5

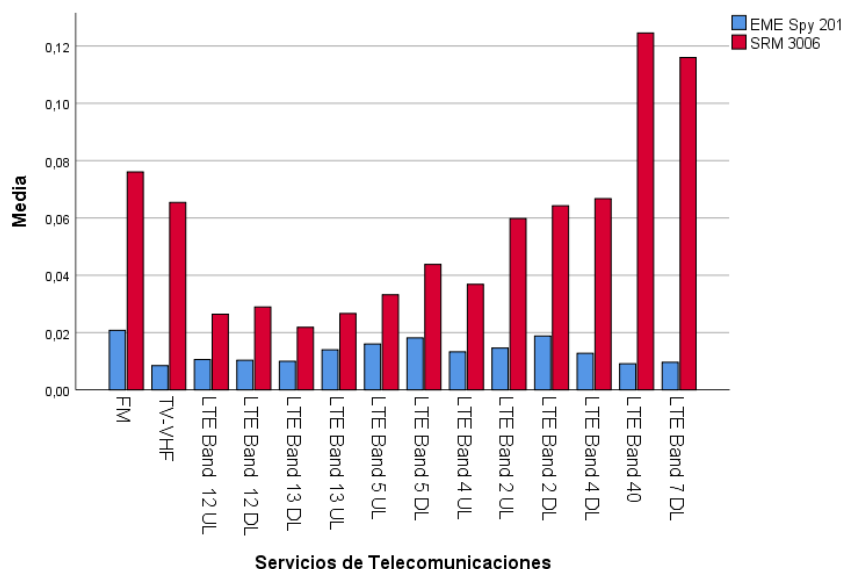
Estadístico descriptivo de las mediciones en la Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica

		SRM 3006			EME Spy 201		
		Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo
Servicios de Telecomunicaciones	FM	.09329	.15380	.07001	.0401074	.0895556	.0120000
	TV-VHF	.06597	.07735	.06399	.0089179	.0183298	.0065000
	LTE Band 12 UL	.02651	.02688	.02624	.0081429	.0095714	.0060000
	LTE Band 12 DL	.02739	.03215	.02614	.0116040	.0190000	.0060000
	LTE Band 13 DL	.02021	.02078	.01959	.0122630	.0227000	.0060000
	LTE Band 13 UL	.04050	.07984	.01972	.0310355	.0771513	.0063333
	LTE Band 5 UL	.03122	.03792	.02969	.0150291	.0504000	.0060000
	LTE Band 5 DL	.03941	.06869	.03038	.0150679	.0532577	.0061452
	LTE Band 4 UL	.04709	.12080	.03408	.0279041	.1659000	.0060000
	LTE Band 2 UL	.06453	.16560	.04979	.0289047	.1676667	.0062857
	LTE Band 2 DL	.14294	.50630	.05811	.0713211	.2556382	.0124952
	LTE Band 4 DL	.06832	.08535	.06336	.0155830	.0675474	.0060000
	LTE Band 40	.12443	.12920	.12190	.0104233	.0230000	.0060000
	LTE Band 7 UL	.11460	.11640	.11280	.0118583	.0282000	.0060000
	LTE Band 7 DL	.11810	.12520	.11430	.0151938	.0324570	.0060000

- **Facultad de Odontología (FO).** En esta facultad, se realizaron mediciones en los ambientes exteriores. Para el equipo EME Spy 201, se utilizó la configuración de muestreo de cuatro segundos. En la figura 5, se presentan los promedios de las mediciones obtenidas para cada servicio de telecomunicaciones evaluado.

Figura 5

Promedio de mediciones de campo eléctrico en la Facultad de Odontología



A continuación, en la tabla 6, se presentan los datos obtenidos, incluyendo la media, así como los valores mínimos y máximos registrados en la Facultad Odontología.

Tabla 6

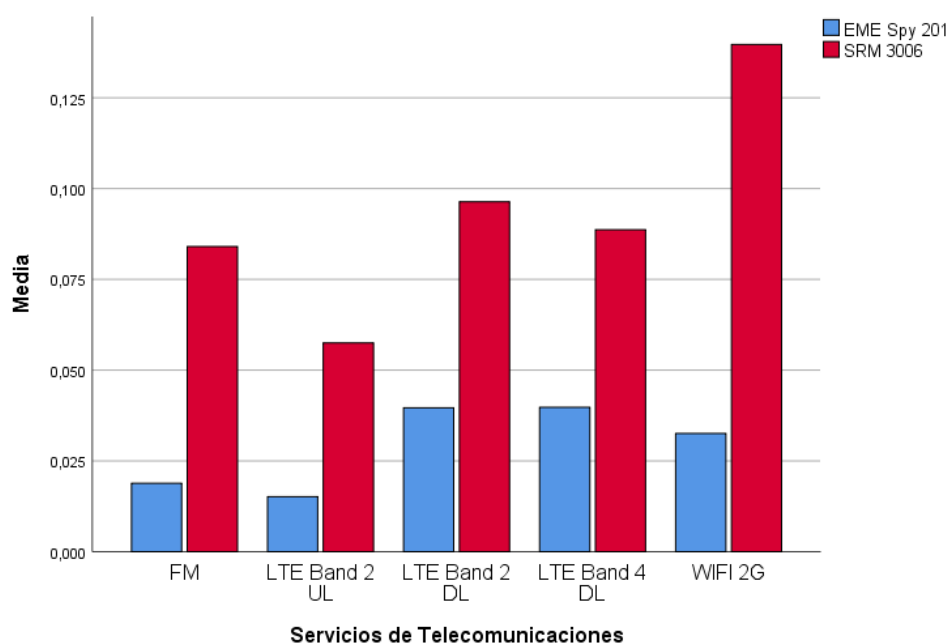
Estadístico descriptivo de las mediciones en la Facultad de Odontología

		SRM 3006			EME Spy 201		
		Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo
Servicios de Telecomunicaciones	FM	.07607	.09314	.06991	.0207722	.0452406	.0110000
	TV-VHF	.06542	.06689	.06317	.0084606	.0206406	.0061667
	LTE Band 12 UL	.02641	.02692	.02573	.0106022	.0223571	.0060000
	LTE Band 12 DL	.02892	.05109	.02584	.0103369	.0259899	.0060000
	LTE Band 13 DL	.02185	.04150	.01849	.0099975	.0211647	.0060000
	LTE Band 13 UL	.02666	.07276	.01940	.0139990	.0404112	.0070412
	LTE Band 5 UL	.03319	.05394	.02985	.0160286	.0625385	.0065000
	LTE Band 5 DL	.04376	.12520	.03083	.0181497	.0590397	.0066099
	LTE Band 4 UL	.03684	.06028	.03363	.0132506	.0294571	.0060000
	LTE Band 2 UL	.05978	.12690	.04823	.0146156	.0471287	.0065000
	LTE Band 2 DL	.06422	.08297	.05623	.0188052	.0423600	.0062632
	LTE Band 4 DL	.06674	.08878	.06271	.0127548	.0495200	.0060000
	LTE Band 40	.12453	.12660	.12170	.0091243	.0188649	.0060000
	LTE Band 7 UL	.11272	.11600	.10950	.0110755	.0229533	.0070000
	LTE Band 7 DL	.11595	.11850	.11260	.0096325	.0198692	.0060800

- **Facultad de Psicología (FPSI).** En esta facultad, se realizaron mediciones en los ambientes exteriores. Para el equipo EME Spy 201, se utilizó una configuración de muestreo de dos segundos. En la figura 6, se presentan el promedio de las mediciones obtenidas por cada servicio de telecomunicaciones evaluado.

Figura 6

Promedio de mediciones de campo eléctrico en la Facultad de Psicología



A continuación, en la tabla 7, se presentan los datos obtenidos, incluyendo la media, así como los valores mínimos y máximos registrados en la Facultad de Psicología.

Tabla 7

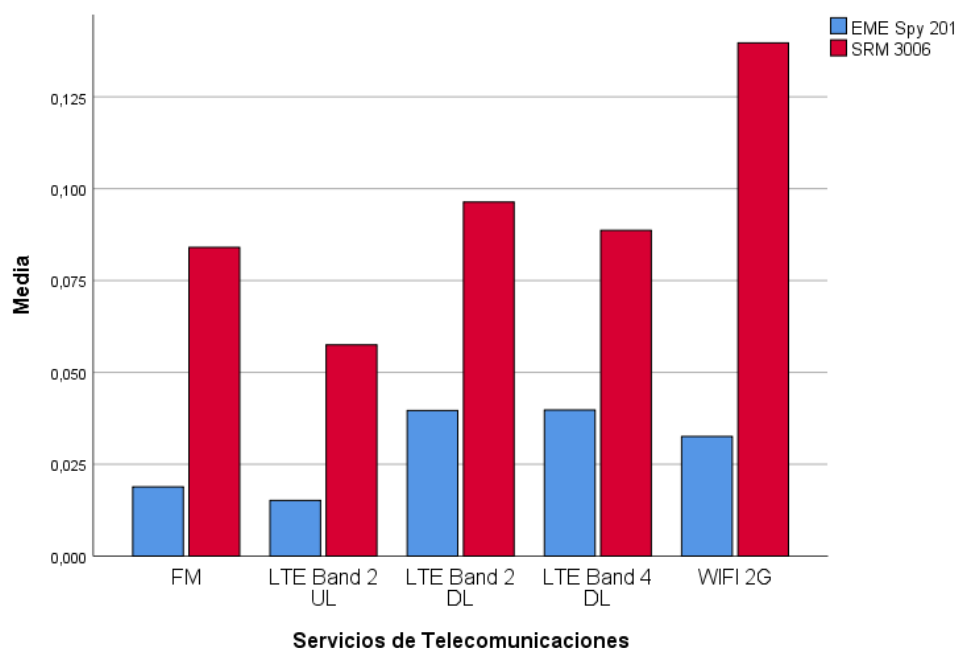
Estadístico descriptivo de las mediciones en la Facultad de Psicología

		SRM 3006			EME Spy 201		
		Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo
Servicios de Telecomunicaciones	FM	.09951	.20590	.07481	.0400838	.0965876	.0132737
	LTE Band 5 DL	.05390	.09314	.03973	.0272185	.0558578	.0126784
	LTE Band 4 UL	.05293	.06234	.04351	.0159402	.0212500	.0106304
	LTE Band 2 DL	.11466	.32230	.07092	.0694847	.1434186	.0300931
	LTE Band 4 DL	.09916	.23050	.06632	.0309203	.0519851	.0128398

- **Facultad de Educación (FEDU).** En esta facultad, se realizaron mediciones en los ambientes exteriores. Para el equipo EME Spy 201, se utilizó una configuración de muestreo de dos segundos. En la figura 7, se presentan el promedio de las mediciones obtenidas para cada servicio de telecomunicaciones evaluado.

Figura 7

Promedio de mediciones de campo eléctrico en la Facultad de Educación



A continuación, en la tabla 8, se presentan los datos obtenidos, incluyendo la media, así como los valores mínimos y máximos registrados en la Facultad de Educación.

Tabla 8

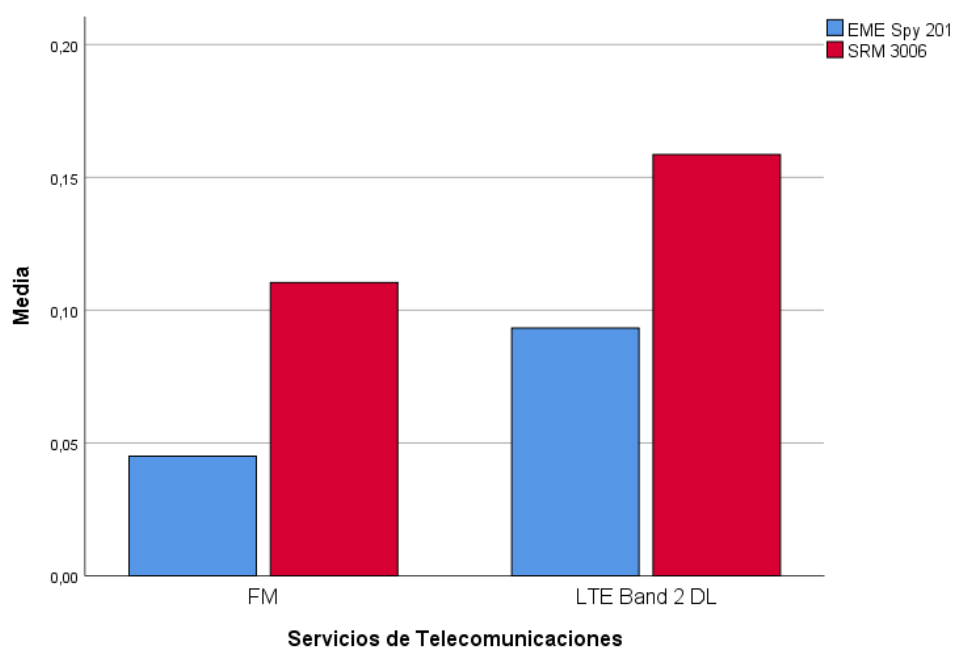
Estadístico descriptivo de las mediciones en la Facultad de Educación

		SRM 3006			EME Spy 201		
		Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo
Servicios de Telecomunicaciones	FM	.08404	.11770	.07463	.0188605	.0300929	.0114337
	LTE Band 2 UL	.05750	.06418	.05234	.0151415	.0293136	.0082378
	LTE Band 2 DL	.09633	.23030	.05808	.0396477	.0920074	.0105992
	LTE Band 4 DL	.08867	.10570	.07150	.0397521	.0670483	.0252171
	WIFI 2G	.13968	.17680	.12640	.0325600	.1047477	.0085556

- **Facultad de Ingeniería Industrial (FII).** En esta facultad, se realizaron mediciones en los ambientes exteriores. Para el equipo EME Spy 201, se utilizó una configuración de muestreo de dos segundos. En la figura 8, se presentan el promedio de las mediciones obtenidas para cada servicio de telecomunicaciones evaluado.

Figura 8

Medidas de campo eléctrico en la Facultad de Ingeniería Industrial



A continuación, en la tabla 9, se presentan los datos obtenidos, incluyendo la media, así como los valores mínimos y máximos registrados en la Facultad Ingeniería Industrial.

Tabla 9

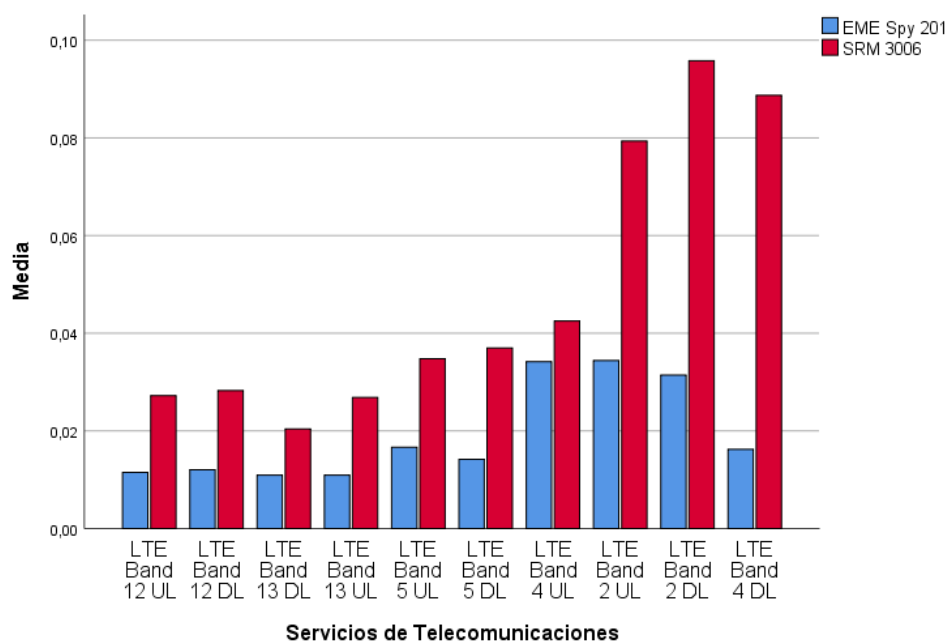
Estadístico descriptivo de las mediciones en la Facultad de Ingeniería Industrial

		SRM 3006			EME Spy 201		
		Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo
Servicios de Telecomunicaciones	FM	.11041	.20980	.07045	.0450306	.1074444	.0111053
	LTE Band 2 DL	.15856	.39840	.05762	.0932951	.2619416	.0102202

- **Facultad de Ciencias Biológicas (FCB).** En esta facultad, se realizaron mediciones en los ambientes exteriores. Para el equipo EME Spy 201, se utilizó una configuración de muestreo de tres segundos. En la figura 9, se presenta el promedio de las mediciones obtenidas para cada servicio de telecomunicaciones evaluado.

Figura 9

Promedio de mediciones de campo eléctrico en la Facultad de Ciencias Biológicas



A continuación, en la tabla 10, se presentan los datos obtenidos, incluyendo la media, así como los valores mínimos y máximos registrados en la Facultad de Ciencias Biológicas.

Tabla 10

Estadístico descriptivo de las mediciones en la Facultad de Ciencias Biológicas

		SRM 3006			EME Spy 201		
		Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo
Servicios de Telecomunicaciones	LTE Band 12 UL	.02722	.02817	.02584	.0115060	.0280000	.0060000
	LTE Band 12 DL	.02827	.04476	.02555	.0120247	.0362963	.0060000
	LTE Band 13 DL	.02038	.02503	.01877	.0109189	.0260000	.0060000
	LTE Band 13 UL	.02684	.06236	.01891	.0109264	.0302847	.0065000
	LTE Band 5 UL	.03477	.06234	.02910	.0166659	.1050476	.0067556
	LTE Band 5 DL	.03697	.08327	.02880	.0141742	.0442917	.0060000
	LTE Band 4 UL	.04249	.10430	.03408	.0341714	.1357615	.0066667
	LTE Band 2 UL	.07935	.26890	.04871	.0344073	.1666800	.0060000
	LTE Band 2 DL	.09581	.40270	.05591	.0314309	.1308333	.0060600
	LTE Band 4 DL	.08872	.35560	.06341	.0162297	.0658125	.0060000

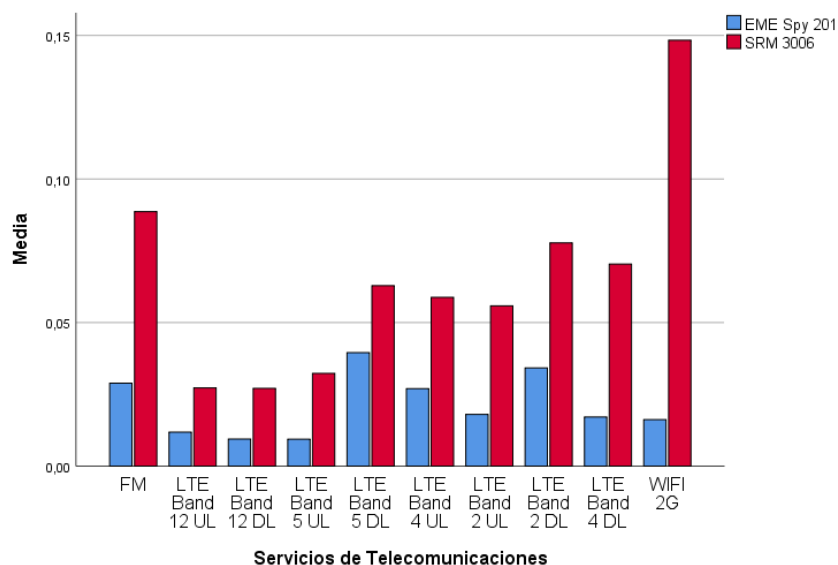
- **Facultad de Ingeniería Geología, Minas, Metalurgia y Geográfica**

(FIGMMG). En esta facultad, se realizaron mediciones en los ambientes exteriores.

Para el equipo EME Spy 201, se utilizó una configuración de muestreo de tres segundos. En la figura 10, se presentan el promedio de las mediciones obtenidas para cada servicio de telecomunicaciones evaluado.

Figura 10

Promedio de mediciones de campo eléctrico en la Facultad de Ingeniería Geología, Minas, Metalurgia y Geográfica



A continuación, en la tabla 11, se presentan los datos obtenidos, incluyendo la media, así como los valores mínimos y máximos registrados en la Facultad de Ingeniería Geología, Minas, Metalurgia y Geográfica.

Tabla 11

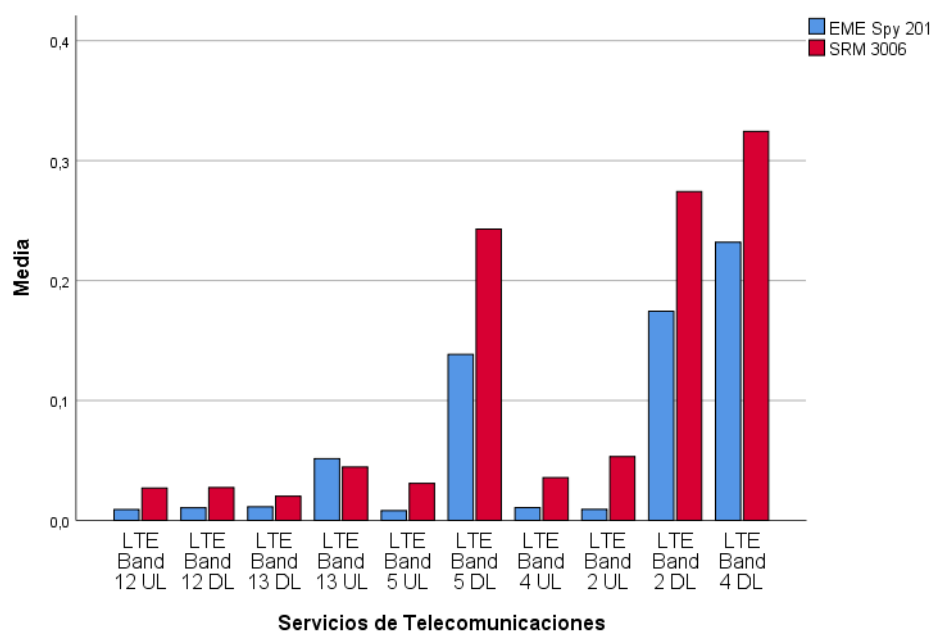
Estadístico descriptivo de las mediciones en la Facultad de Ingeniería Geología, Minas, Metalurgia y Geográfica

		SRM 3006			EME Spy 201		
		Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo
Servicios de Telecomunicaciones	FM	.08862	.15530	.07098	.0288825	.0778595	.0110000
	LTE Band 12 UL	.02722	.02871	.02558	.0118337	.0510000	.0060000
	LTE Band 12 DL	.02709	.02838	.02564	.0094509	.0148387	.0065000
	LTE Band 5 UL	.03232	.04780	.02931	.0093578	.0215111	.0060000
	LTE Band 5 DL	.06284	.18870	.03140	.0395479	.2142479	.0068571
	LTE Band 4 UL	.05876	.13200	.03495	.0269823	.0838472	.0060000
	LTE Band 2 UL	.05583	.10800	.04819	.0179924	.0588627	.0060000
	LTE Band 2 DL	.07774	.18840	.05670	.0341955	.0825041	.0086260
	LTE Band 4 DL	.07036	.08861	.06315	.0171054	.0436090	.0062500
	WIFI 2G	.14833	.61220	.11810	.0162118	.1372481	.0060000

- **Facultad de Letras y Ciencias Humanas (FLCH).** En esta facultad, se realizaron mediciones en los ambientes exteriores. Para el EME Spy 201, se utilizó una configuración de muestreo de tres segundos. En la figura 11, se presentó el promedio de las mediciones obtenidas para cada servicio de telecomunicaciones evaluado.

Figura 11

Promedio de mediciones de campo eléctrico en la Facultad de Letras y Ciencias Humanas



A continuación, en la tabla 12, se presentan los datos obtenidos, incluyendo la media, así como los valores mínimos y máximos registrados en la Facultad Letras y Humanidades.

Tabla 12

Estadístico descriptivo de las mediciones en la Facultad de Letras y Ciencias

Humanas

		SRM 3006			EME Spy 201		
		Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo
Servicios de Telecomunicaciones	LTE Band 12 UL	.02696	.02780	.02602	.0090705	.0176667	.0060000
	LTE Band 12 DL	.02744	.03610	.02576	.0106281	.0200000	.0063333
	LTE Band 13 DL	.02013	.02062	.01974	.0113866	.0420000	.0060000
	LTE Band 13 UL	.04458	.14780	.01994	.0515502	.2462017	.0064000
	LTE Band 5 UL	.03086	.03146	.02957	.0081784	.0146250	.0060000
	LTE Band 5 DL	.24293	.87220	.03357	.1384638	.7399160	.0181833
	LTE Band 4 UL	.03567	.04249	.03376	.0107316	.0230000	.0067500
	LTE Band 2 UL	.05319	.08115	.04888	.0091938	.0174545	.0060000
	LTE Band 2 DL	.27413	.74400	.06838	.1744238	.5950917	.0291333
	LTE Band 4 DL	.32432	1.15800	.07211	.2319389	.9868151	.0294500

4.5 Análisis estadístico

Los análisis estadísticos que se empleó en este estudio tuvieron como objetivo evaluar las diferencias entre las mediciones realizadas por los equipos EME Spy 201 y el SRM-3006. Los procedimientos incluyeron:

- ♦ Prueba de Normalidad.
- ♦ Prueba de Correlación.
- ♦ Prueba ANOVA (uno o más factores).

Previo al análisis de datos, se realizó una depuración de estos, lo que implicó revisar y validar la información recopilada para identificar posibles valores atípicos que puedan afectar la interpretación de los resultados.

- **Depuración de datos**
- **Incertidumbre de medición.** Existen varias fuentes de incertidumbre asociadas al método utilizado para medir campos electromagnéticos (CEM).

- **Factores eléctricos.** Estos factores se obtuvieron a partir de la calibración de cada instrumento. El EME Spy 201 presentó una incertidumbre de calibración de ± 1.5 dB y una incertidumbre de medición que varió según el rango de frecuencia. Por otro lado, el SRM-3006 tuvo una incertidumbre de calibración inferior a 1.5 dB, y su incertidumbre de medición también dependió del rango de frecuencia. Cabe aclarar que este último equipo no contaba con una calibración actualizada; sin embargo, el SRM-3006 fue diseñado para proporcionar mediciones altamente precisas.
- **Factores externos.** Estos factores son complicados de cuantificar, ya que durante las mediciones la sonda fue colocada en un trípode y, en algunos casos manipulada manualmente. Esto pudo haber provocado un acoplamiento potencialmente significativo entre la antena y el cuerpo del operador, así como con estructuras cercanas.

Con base en estos criterios, se formuló la tabla 13, donde se detalla la incertidumbre correspondiente a cada equipo.

Tabla 13*Incertidumbre de los equipos*

Servicios	SRM 3006				EME Spy 201			
	Calibración	Factores eléctricos	Factores externos	Total	Calibración	Factores eléctricos	Factores externos	Total
FM	±3.5	2.4 / -3.4	±3	8.9/-9.9	±1.5	±1.5	±3	±6
TV-VHF	±3.5	2.4 / -3.4	±3	8.9/-9.9	±1.5	±1.3	±3	±5.8
LTE Band 12 UL	±3.5	2.4 / -3.4	±3	8.9/-9.9	±1.5	±1.3	±3	±5.8
LTE Band 12 DL	±3.5	2.4 / -3.4	±3	8.9/-9.9	±1.5	±1.3	±3	±5.8
LTE Band 13 DL	±3.5	2.4 / -3.4	±3	8.9/-9.9	±1.5	±1.5	±3	±6
LTE Band 13 UL	±3.5	2.4 / -3.4	±3	8.9/-9.9	±1.5	±1.4	±3	±5.9
LTE Band 5 UL	±3.5	2.4 / -3.4	±3	8.9/-9.9	±1.5	±0.8	±3	±5.3
LTE Band 5 DL	±3.5	2.4 / -3.4	±3	8.9/-9.9	±1.5	±0.8	±3	±5.3
LTE Band 4 UL	±3.5	1.8 / -2.3	±3	8.3/-8.8	±1.5	±1.8	±3	±6.3
LTE Band 2 UL	±3.5	1.8 / -2.3	±3	8.3/-8.8	±1.5	±1.4	±3	±5.9
LTE Band 2 DL	±3.5	1.8 / -2.3	±3	8.3/-8.8	±1.5	±1.1	±3	±5.6
LTE Band 4 DL	±3.5	1.8 / -2.3	±3	8.3/-8.8	±1.5	±1.2	±3	±5.7
LTE Band 40	±3.5	1.9 / -2.4	±3	8.4/-8.9	±1.5	±1.4	±3	±5.9
WIFI 2G	±3.5	1.9 / -2.4	±3	8.4/-8.9	±1.5	±1.4	±3	±5.9
LTE Band 7 UL	±3.5	1.9 / -2.4	±3	8.4/-8.9	±1.5	±1.3	±3	±5.8
LTE Band 7 DL	±3.5	1.9 / -2.4	±3	8.4/-8.9	±1.5	±1.4	±3	±5.9

Nota: En el momento de las mediciones el equipo SRM-3006 no contaba con un certificado de calibración certificado por lo que se le agrego 2 Decibelio (dB) como margen de error.

- **Valores extremos.** Una vez recopilados los datos, se realizó un diagrama de cajas y bigotes con el objetivo de identificar y eliminar los valores extremos. Las mediciones se recopilaron en un entorno de campo lejano, donde se espera que las ondas electromagnéticas alcancen un estado de estabilización, lo que permitió obtener lecturas similares. Con base a este supuesto, se planteó la siguiente hipótesis nula:

$$Y = \log_{10} \left(\frac{X_D}{X_A} \right) = 0$$

Donde:

- ♦ X_D : Es la lectura obtenida por el exposímetro EME Spy 210.
- ♦ X_A : Es la lectura obtenida por el analizador de espectro SRM-3006.

La interpretación de los resultados es la siguiente:

- ♦ Si $Y=0$: Las mediciones son iguales.
- ♦ Si $Y>0$: El exposímetro mide valores más altos que el analizador de espectro.
- ♦ Si $Y<0$: El exposímetro mide valores más bajos que el analizador de espectro.

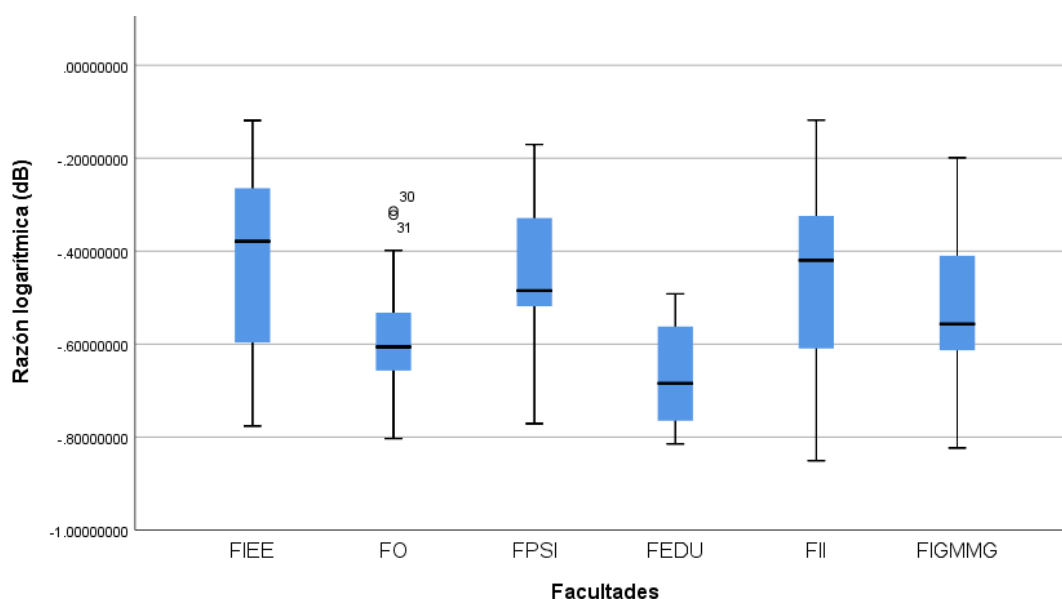
Se escogió utilizar la razón geométrica debido a que los campos electromagnéticos de radiofrecuencia (CEM-RF) a menudo presentan variabilidad proporcional al valor medido. Al aplicar el logaritmo del cociente, se estabiliza la varianza a lo largo del rango de mediciones, mientras que el uso de la base 10 facilita tanto la interpretación de los resultados como su comparación con otros estudios similares. Como el estudio se realizó en microambientes, específicamente en facultades de la Universidad de Nacional Mayor de San Marcos, realizar un análisis general sin tener en cuenta la independencia de estos microambientes podría conducir a errores en los resultados. Por ello, se decidió realizar un análisis más detallado, analizando los datos por facultad para hallar los valores atípicos.

- **Modulación de Frecuencia (FM).** Se realizó un análisis mediante diagramas de caja y bigotes con el propósito de hallar los valores atípicos,

separándolos por microambientes. Esta metodología permitió una comprensión más precisa y detallada del comportamiento del servicio analizado. Como se presentó en la figura 12, los valores que se encontraban fuera de los límites de los gráficos fueron interpretados como posibles lecturas erróneas. Estos valores atípicos pudieron atribuirse a la incertidumbre eléctrica previamente comentada.

Figura 12

Diagrama de caja y bigotes del servicio FM

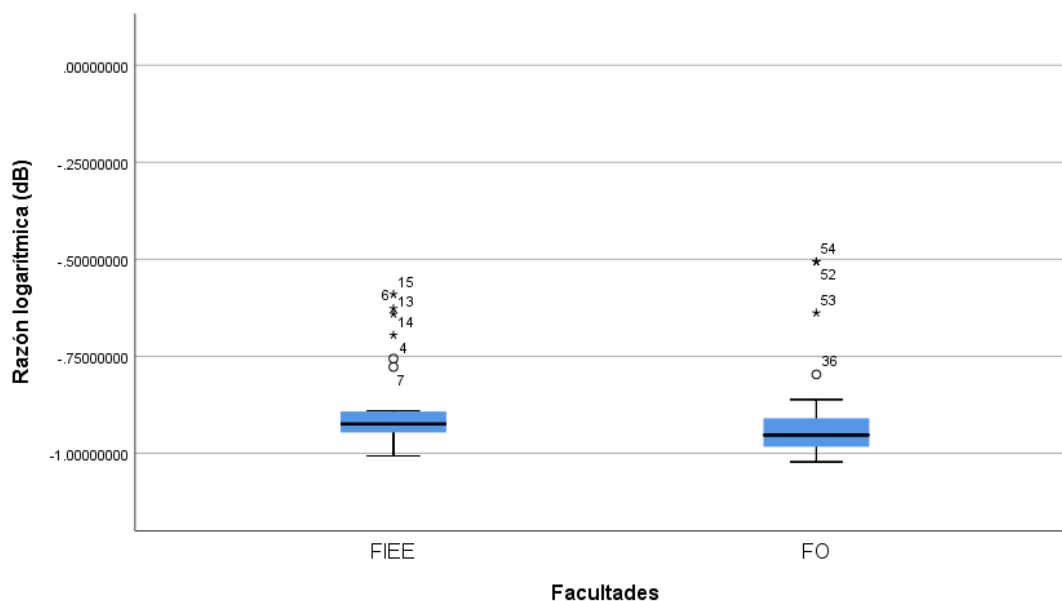


Nota. El gráfico presenta los acrónimos de las facultades: FIEE se refiere a la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, FO a la Facultad de Odontología, FPSI a la Facultad de Psicología, FEDU a la Facultad de Educación, FII a la Facultad de Ingeniería Industrial, y FIGMMG a la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica.

- **Televisión en Frecuencia Muy Alta (TV VHF).** Se realizó un análisis mediante diagramas de caja y bigotes con el propósito de hallar los valores atípicos, separándolos por microambientes. Esta metodología permitió una comprensión más precisa y detallada del comportamiento del servicio analizado. Como se presentó en la figura 13, los valores que se encontraban fuera de los límites de los gráficos fueron interpretados como posibles lecturas erróneas. Estos valores atípicos pudieron atribuirse a la incertidumbre eléctrica previamente comentada.

Figura 13

Diagrama de caja y bigotes del servicio TV – VHF

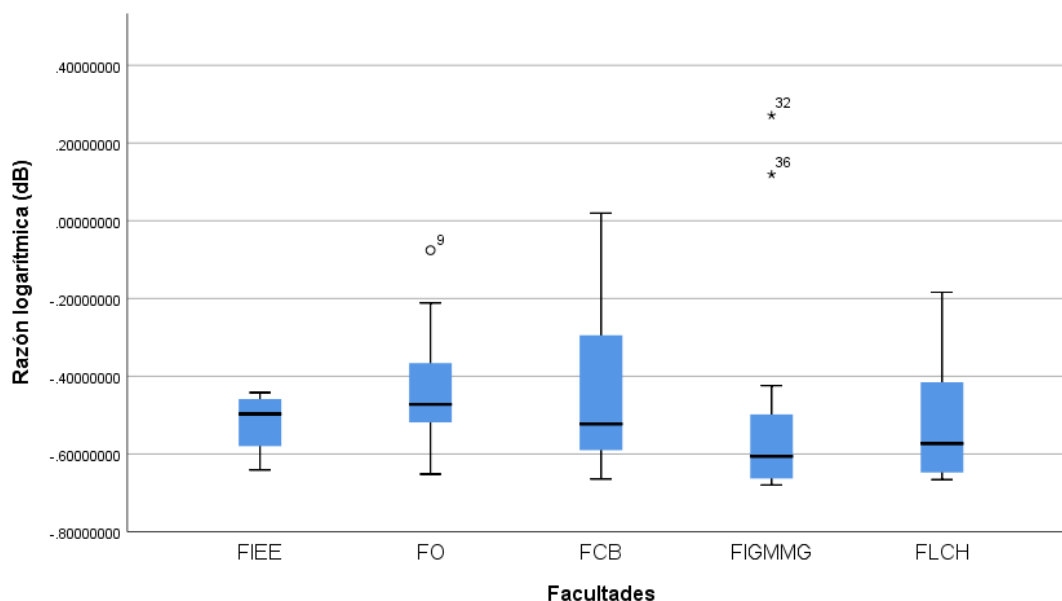


Nota. El gráfico presenta los acrónimos de las facultades: FIEE se refiere a la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, FO a la Facultad de Odontología,

- **Long-Term Evolution Band 12 Uplink (LTE B12(UL)).** Se realizó un análisis mediante diagramas de caja y bigotes con el propósito de hallar los valores atípicos, separándolos por microambientes. Esta metodología permitió una comprensión más precisa y detallada del comportamiento del servicio analizado. Como se presentó en la figura 14, los valores que se encontraban fuera de los límites de los gráficos fueron interpretados como posibles lecturas erróneas. Estos valores atípicos pudieron atribuirse a la incertidumbre eléctrica previamente comentada.

Figura 14

Diagrama de caja y bigotes del servicio LTE B12 (UL)

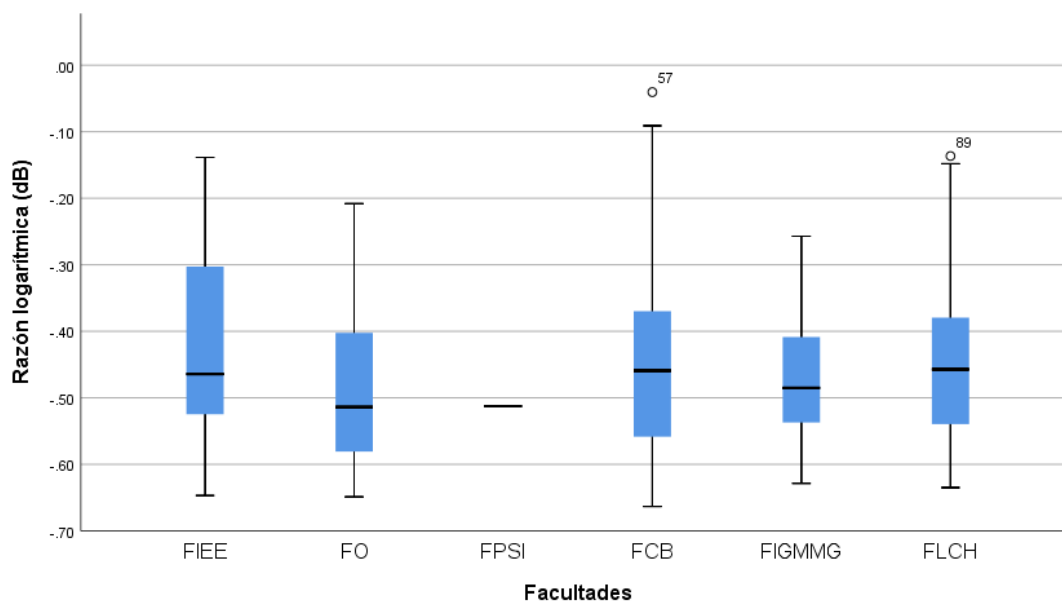


Nota. El gráfico presenta los acrónimos de las facultades: FIEE se refiere a la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, FO a la Facultad de Odontología, FCB a la Facultad de Ciencias Biológicas, FIGMMG a la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica y FLCH a la Facultad de Letras y Ciencias Humanas.

- **Long-Term Evolution Band 12 Downlink (LTE B12(DL)).** Se realizó un análisis mediante diagramas de caja y bigotes con el propósito de hallar los valores atípicos, separándolos por microambientes. Esta metodología permitió una comprensión más precisa y detallada del comportamiento del servicio analizado. Como se presentó en la figura 15, los valores que se encontraban fuera de los límites de los gráficos fueron interpretados como posibles lecturas erróneas. Estos valores atípicos pudieron atribuirse a la incertidumbre eléctrica previamente comentada.

Figura 15

Diagrama de caja y bigotes del servicio LTE B12 (DL)

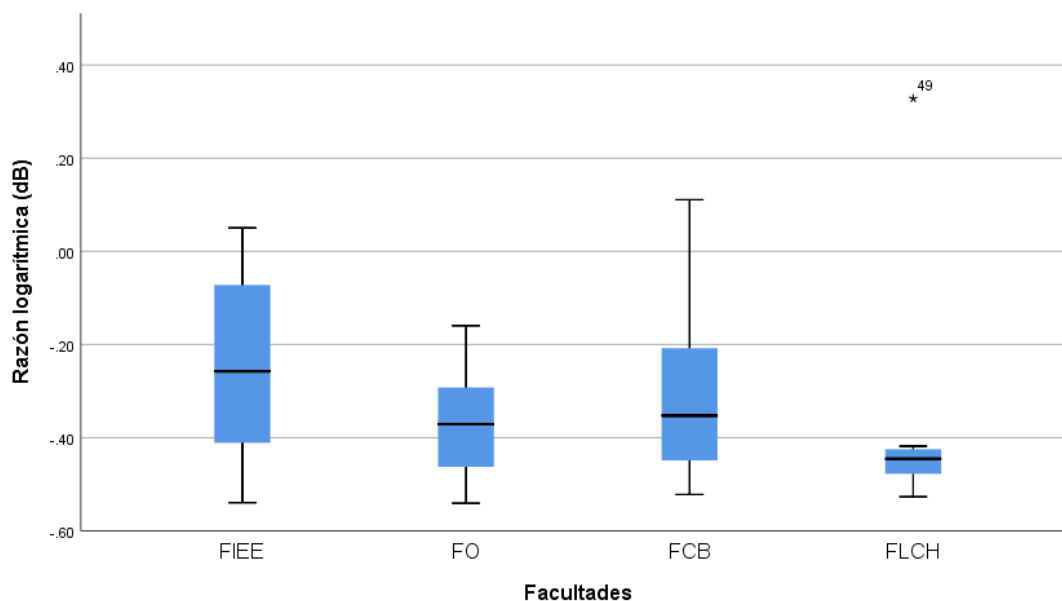


Nota. El gráfico presenta los acrónimos de las facultades: FIEE se refiere a la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, FO a la Facultad de Odontología, FPSI a la Facultad de Psicología, FCB a la Facultad de Ciencias Biológicas, FIGMMG a la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica y FLCH a la Facultad de Letras y Ciencias Humanas.

- Long-Term Evolution Band 13 Downlink (LTE B13(DL)).** Se realizó un análisis mediante diagramas de caja y bigotes para hallar los valores atípicos, separándolos por microambientes. Esta metodología permitió una comprensión más precisa y detallada del comportamiento del servicio analizado. Como se presentó en la figura 16, los valores que encontraban fuera de los límites de los gráficos fueron interpretados como posibles lecturas erróneas. Estos valores atípicos pudieron atribuirse a la incertidumbre eléctrica previamente comentada.

Figura 16

Diagrama de caja y bigotes del servicio LTE B13 (DL)

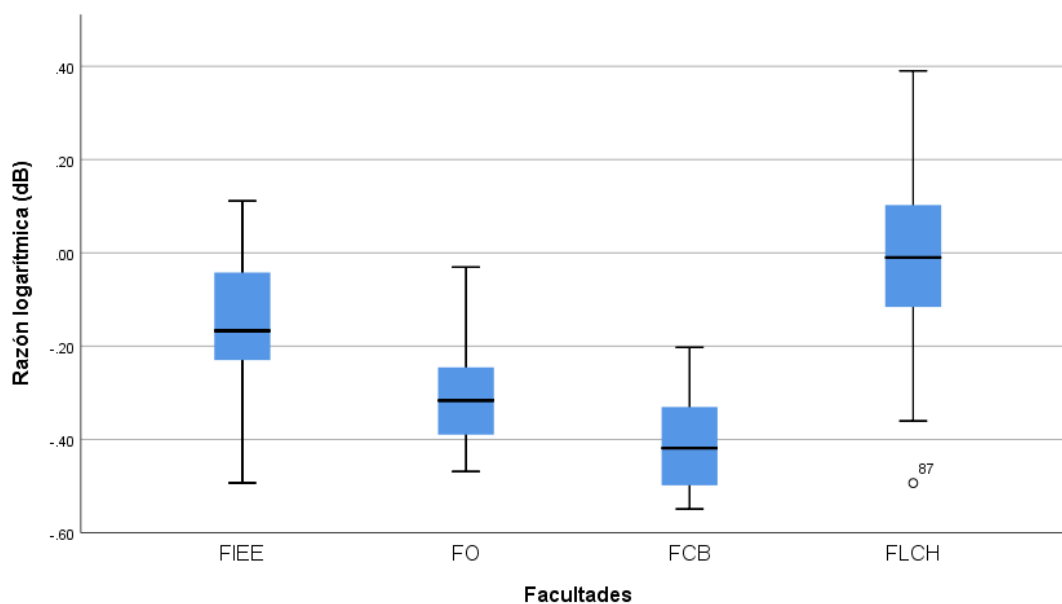


Nota. El gráfico presenta los acrónimos de las facultades: FIEE se refiere a la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, FO a la Facultad de Odontología, FCB a la Facultad de Ciencias Biológicas y FLCH a la Facultad de Letras y Ciencias Humanas.

- **Long-Term Evolution Band 13 Uplink (LTE B13(UL)).** Se realizó un análisis mediante diagramas de caja y bigotes con el propósito de hallar los valores atípicos, separándolos por microambientes. Esta metodología permitió una comprensión más precisa y detallada del comportamiento del servicio analizado. Como se presenta en la figura 17, los valores que se encontraban fuera de los límites de los gráficos fueron interpretados como posibles lecturas erróneas. Estos valores atípicos pudieron atribuirse a la incertidumbre eléctrica previamente comentada.

Figura 17

Diagrama de caja y bigotes del servicio LTE B13 (UL)

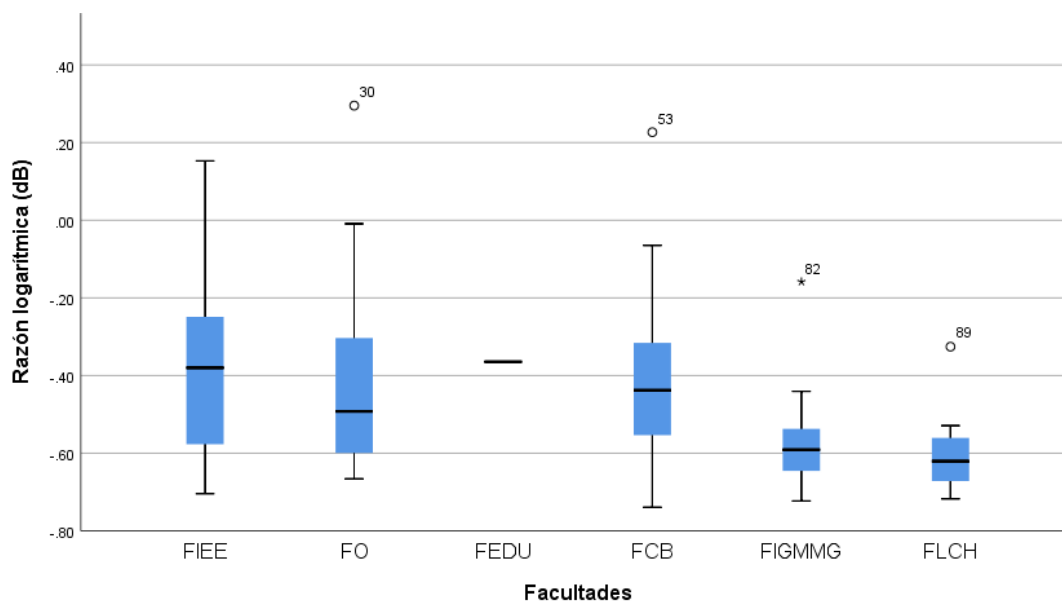


Nota. El gráfico presenta los acrónimos de las facultades: FIEE se refiere a la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, FO a la Facultad de Odontología, FCB a la Facultad de Ciencias Biológicas y FLCH a la Facultad de Letras y Ciencias Humanas.

- **Long-Term Evolution Band 5 Uplink (LTE B5(UL)).** Se realizó un análisis mediante diagramas de caja y bigotes con el propósito de hallar los valores atípicos, separándolos por microambientes. Esta metodología permitió una comprensión más precisa y detallada del comportamiento del servicio analizado. Como se presentó en la figura 18, los valores que se encontraban fuera de los límites de los gráficos fueron interpretados como posibles lecturas erróneas. Estos valores atípicos pudieron atribuirse a la incertidumbre eléctrica previamente comentada.

Figura 18

Diagrama de caja y bigotes del servicio LTE B5 (UL)

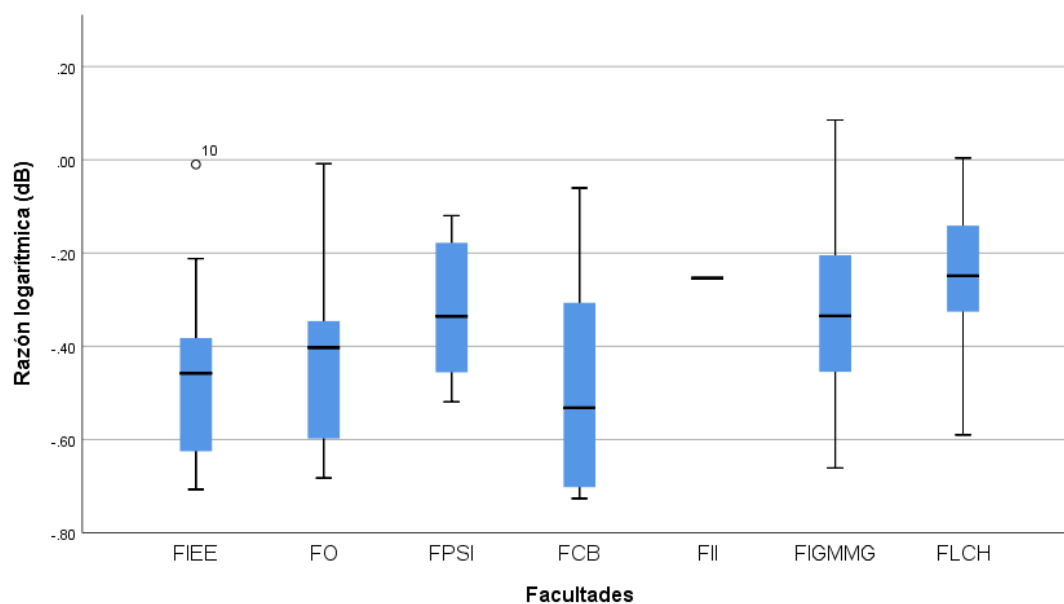


Nota. El gráfico presenta los acrónimos de las facultades: FIEE se refiere a la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, FO a la Facultad de Odontología, FEDU a la Facultad de Educación, FCB a la Facultad de Ciencias Biológicas, FIGMMG a la Facultad de Ingeniería Geología, Minas, Metalurgia y Geográfica y FLCH a la Facultad de Letras y Ciencias Humanas.

- **Long-Term Evolution Band 5 Downlink (LTE B5(DL)).** Se realizó un análisis mediante diagramas de caja y bigotes con el propósito de hallar los valores atípicos, separándolos por microambientes. Esta metodología permitió una comprensión más precisa y detallada del comportamiento del servicio analizado. Como se presentó en la figura 19, los valores que se encontraban fuera de los límites de los gráficos fueron interpretados como posibles lecturas erróneas. Estos valores atípicos pudieron atribuirse a la incertidumbre eléctrica previamente comentada.

Figura 19

Diagrama de caja y bigotes del servicio LTE B5 (DL)

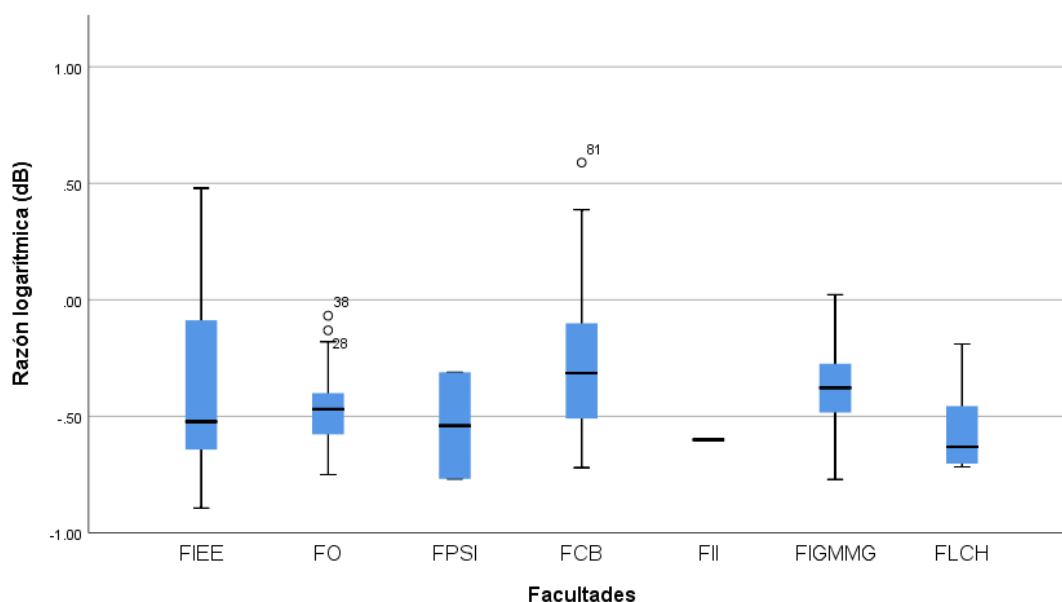


Nota. El gráfico presenta los acrónimos de las facultades: FIEE se refiere a la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, FO a la Facultad de Odontología, FPSI a Facultad de Psicología, FCB a la Facultad de Ciencias Biológicas, FII a la Facultad de Ingeniería Industrial, FIGMMG a la Facultad de Ingeniería Geología, Minas, Metalurgia y Geográfica y FLCH a la Facultad de Letras y Ciencias Humanas.

- **Long-Term Evolution Band 4 Uplink (LTE B4(UL)).** Se realizó el análisis mediante diagramas de caja y bigotes con el propósito de hallar los valores atípicos, separándolos por microambientes. Esta metodología permitió una comprensión más precisa y detallada del comportamiento del servicio analizado. Como se presentó en la figura 20, los valores que se encontraban fuera de los límites de los gráficos fueron interpretados como posibles lecturas erróneas. Estos valores atípicos pudieron atribuirse a la incertidumbre eléctrica previamente comentada.

Figura 20

Diagrama de caja y bigotes del servicio LTE B4 (UL)

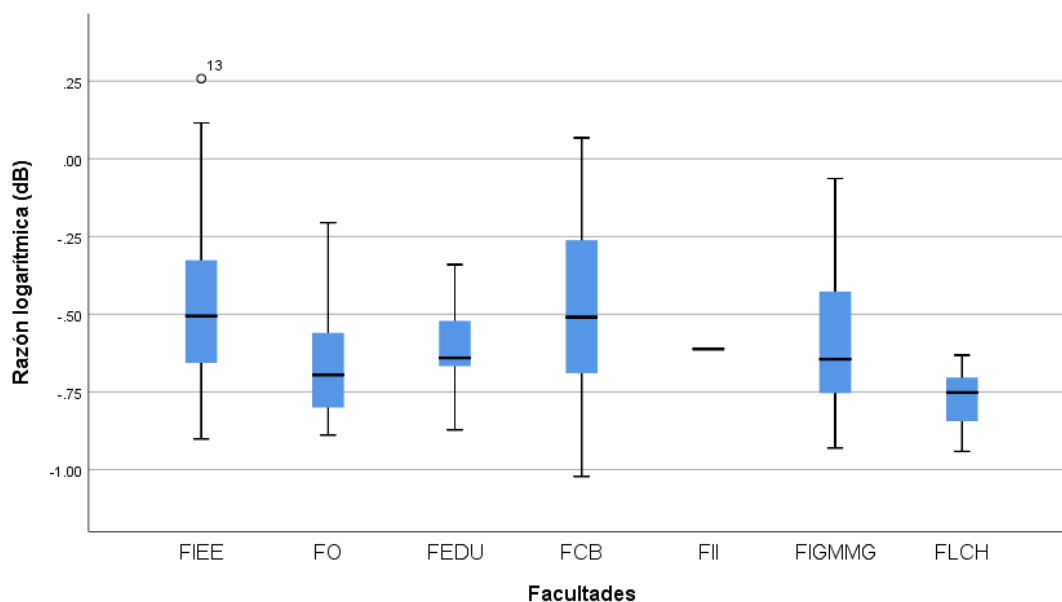


Nota. El gráfico presenta los acrónimos de las facultades: FIEE se refiere a la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, FO a la Facultad de Odontología, FPSI a Facultad de Psicología, FCB a la Facultad de Ciencias Biológicas, FII a la Facultad de Ingeniería Industrial, FIGMMG a la Facultad de Ingeniería Geología, Minas, Metalurgia y Geográfica y FLCH a la Facultad de Letras y Ciencias Humanas.

- **Long-Term Evolution Band 2 Uplink (LTE B2(UL)).** Se realizó un análisis mediante diagramas de caja y bigotes con el propósito de hallar los valores atípicos, separándolos por microambientes. Esta metodología permitió una comprensión más precisa y detallada del comportamiento del servicio analizado. Como se presentó en la figura 21, los valores que se encontraban fuera de los límites de los gráficos fueron interpretados como posibles lecturas erróneas. Estos valores atípicos pudieron atribuirse a la incertidumbre eléctrica previamente comentada.

Figura 21

Diagrama de caja y bigotes del servicio LTE B2 (UL)

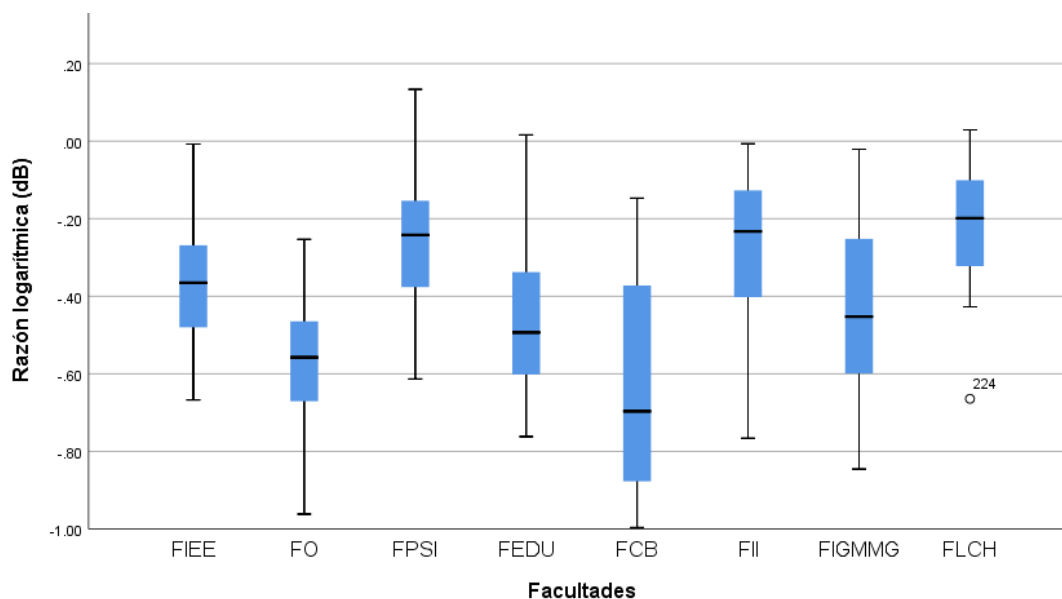


Nota. El gráfico presenta los acrónimos de las facultades: FIEE se refiere a la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, FO a la Facultad de Odontología, FEDU a Facultad de Educación, FCB a la Facultad de Ciencias Biológicas, FII a la Facultad de Ingeniería Industrial, FIGMMG a la Facultad de Ingeniería Geología, Minas, Metalurgia y Geográfica y FLCH a la Facultad de Letras y Ciencias Humanas.

- **Long-Term Evolution Band 2 Downlink (LTE B2(DL)).** Se realizó un análisis mediante diagramas de caja y bigotes con el propósito de hallar los valores atípicos, separándolos por microambientes. Esta metodología permitió una comprensión más precisa y detallada del comportamiento del servicio analizado. Como se presentó en la figura 22, los valores que se encontraban fuera de los límites de los gráficos fueron interpretados como posibles lecturas erróneas. Estos valores atípicos pudieron atribuirse a la incertidumbre eléctrica previamente comentada.

Figura 22

Diagrama de caja y bigotes del servicio LTE B2 (DL)

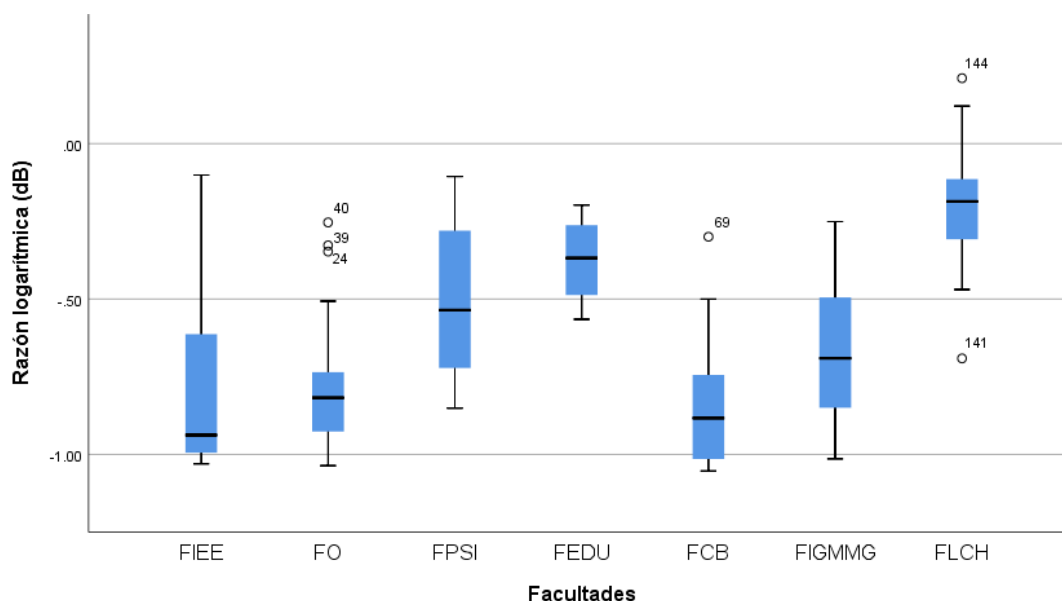


Nota. El gráfico presenta los acrónimos de las facultades: FIEE se refiere a la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, FO a la Facultad de Odontología, FPSI a la Facultad de Psicología, FEDU a Facultad de Educación, FCB a la Facultad de Ciencias Biológicas, FII a la Facultad de Ingeniería Industrial, FIGMMG a la Facultad de Ingeniería Geología, Minas, Metalurgia y Geográfica y FLCH a la Facultad de Letras y Ciencias Humanas.

- **Long-Term Evolution Band 4 Downlink (LTE B4(DL)).** Se realizó un análisis mediante diagramas de caja y bigotes con el propósito de hallar los valores atípicos, separándolos por microambientes. Esta metodología permitió una comprensión más precisa y detallada del comportamiento del servicio analizado. Como se presentó en la figura 23, los valores que se encontraban fuera de los límites de los gráficos fueron interpretados como posibles lecturas erróneas. Estos valores atípicos pudieron atribuirse a la incertidumbre eléctrica previamente comentada.

Figura 23

Diagrama de caja y bigotes del servicio LTE B4 (DL)

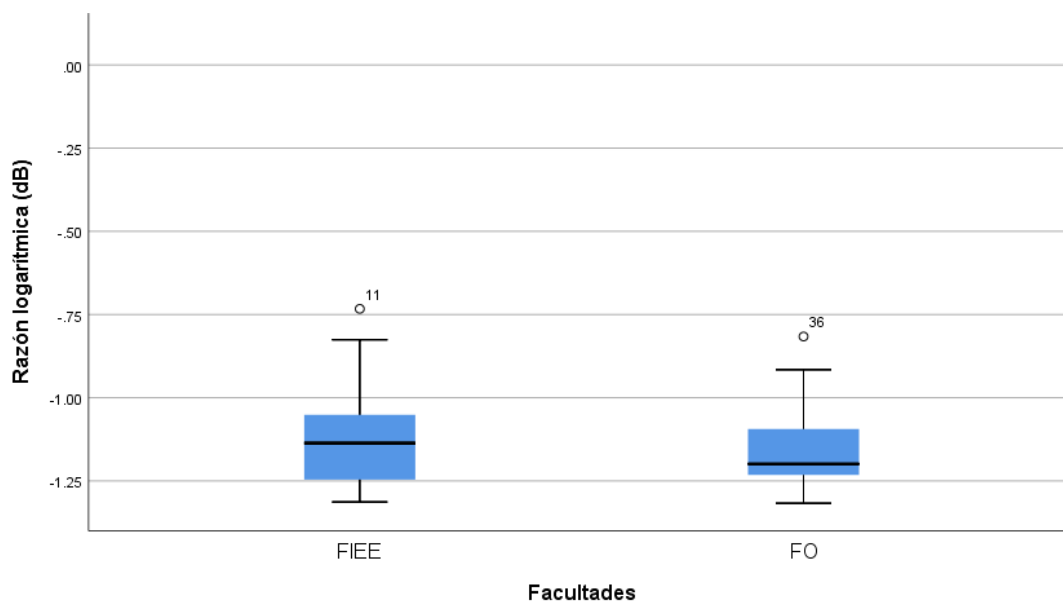


Nota. El gráfico presenta los acrónimos de las facultades: FIEE se refiere a la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, FO a la Facultad de Odontología, FPSI a la Facultad de Psicología, FEDU a Facultad de Educación, FCB a la Facultad de Ciencias Biológicas, FIGMMG a la Facultad de Ingeniería Geología, Minas, Metalurgia y Geográfica y FLCH a la Facultad de Letras y Ciencias Humanas.

- **Long-Term Evolution Band 40 (LTE B40).** Se realizó un análisis mediante diagramas de caja y bigotes con el propósito de hallar los valores atípicos, separándolos por microambientes. Esta metodología permitió una comprensión más precisa y detallada del comportamiento del servicio analizado. Como se presentó en la figura 24, los valores que se encontraban fuera de los límites de los gráficos fueron interpretados como posibles lecturas erróneas. Estos valores atípicos pudieron atribuirse a la incertidumbre eléctrica previamente comentada.

Figura 24

Diagrama de caja y bigotes del servicio LTE B40

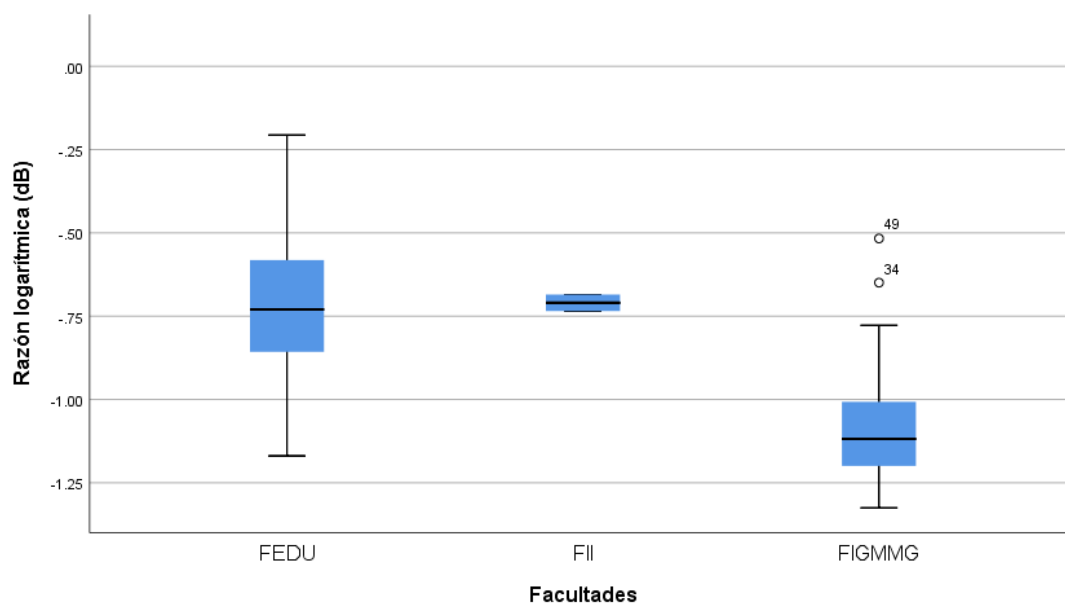


Nota. El gráfico presenta los acrónimos de las facultades: FIEE se refiere a la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica y FO a la Facultad de Odontología.

- **Wireless Fidelity 2G (WI-FI 2G).** Se realizó un análisis mediante diagramas de caja y bigotes con el propósito de hallar los valores atípicos, separándolos por microambientes. Esta metodología permitió una comprensión más precisa y detallada del comportamiento del servicio analizado. Como se presentó en la figura 25, los valores que se encontraban fuera de los límites de los gráficos fueron interpretados como posibles lecturas erróneas. Estos valores atípicos pudieron atribuirse a la incertidumbre eléctrica previamente comentada.

Figura 25

Diagrama de caja y bigotes del servicio WI-FI 2G

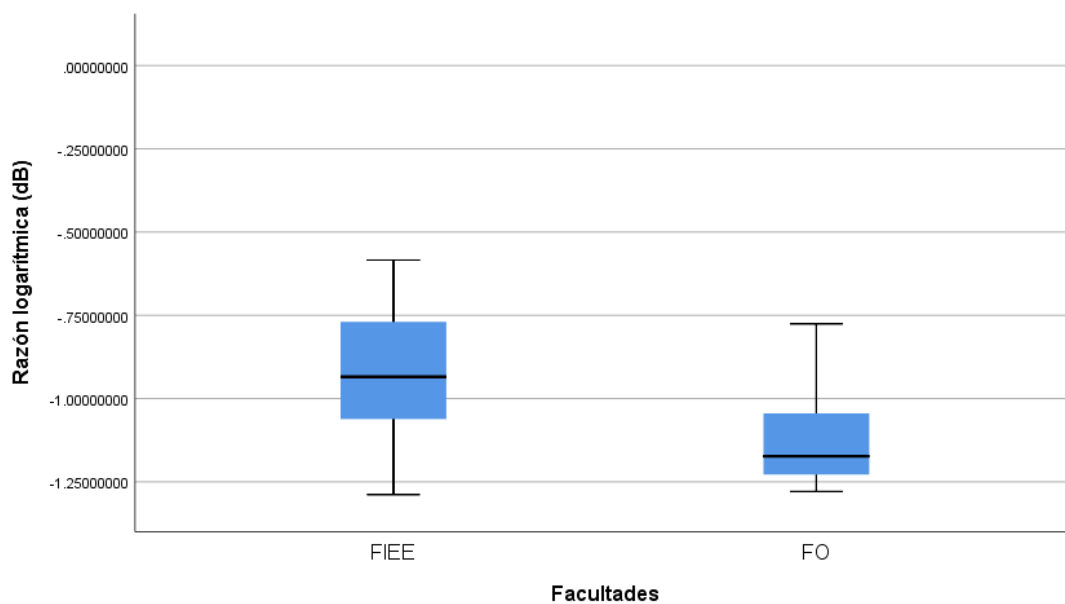


Nota. El gráfico presenta los acrónimos de las facultades: FEDU a Facultad de Educación, FII a la Facultad de Ingeniería Industrial y FIGMMG a la Facultad de Ingeniería Geología, Minas, Metalurgia y Geográfica.

- **Long-Term Evolution Band 7 Downlink (LTE B7(DL)).** Se realizó un análisis mediante diagramas de caja y bigotes con el propósito de hallar los valores atípicos, separándolos por microambientes. Esta metodología permitió una comprensión más precisa y detallada del comportamiento del servicio analizado. Como se presentó en la figura 26, los valores que se encontraban fuera de los límites de los gráficos fueron interpretados como posibles lecturas erróneas. Estos valores atípicos pudieron atribuirse a la incertidumbre eléctrica previamente comentada.

Figura 26

Diagrama de caja y bigotes del servicio LTE B7 (DL)



Nota. El gráfico presenta los acrónimos de las facultades: FIEE se refiere a la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica y FO a la Facultad de Odontología,

- **Long-Term Evolution Band 7 Uplink (LTE B7(UL)).** Dado que la cantidad de muestras recolectadas de este servicio fue insuficiente, no fueron consideradas en el análisis.

- **Relación en decibelio (dB).** En resumen, la tabla 14 presenta los valores promedio de la razón en dB por servicio y por facultad.

Tabla 14

Relación de las mediciones de los equipos SRM 3006 y EME Spy 201

		<i>Facultades</i>							
		<i>FIEE</i>	<i>FO</i>	<i>FCB</i>	<i>FIGMMG</i>	<i>FLCH</i>	<i>FPSI</i>	<i>FEDU</i>	<i>FII</i>
		<i>Cuatro segundos de muestreo</i>		<i>Tres segundos de muestreo</i>		<i>Dos segundos de muestreo</i>			
<i>Servicios de Telecomunicaciones</i>	<i>FM</i>	-8.59	-12.34	.	-10.76	.	-8.84	-13.32	-8.98
	<i>TV-VHF</i>	-18.53	-19.09	.	.	.	.	.	.
	<i>LTE B12(UL)</i>	-10.38	-9.30	-8.60	-12.03	-10.16	.	.	.
	<i>LTE B12(DL)</i>	-8.05	-9.61	-8.68	-9.41	-9.16	-10.25	.	.
	<i>LTE B13(DL)</i>	-5.15	-7.21	-6.17	.	-9.21	.	.	.
	<i>LTE B13(UL)</i>	-3.03	-6.05	-8.04	.	.10	.	.	.
	<i>LTE B5 UL)</i>	-7.84	-9.02	-8.09	-11.93	-12.64	.	-7.30	.
	<i>LTE B5(DL)</i>	-9.98	-8.74	-9.77	-6.41	-4.96	-6.56	.	-5.08
	<i>LTE B4(UL)</i>	-7.77	-10.05	-5.84	-7.62	-11.15	-10.79	.	-12.01
	<i>LTE B2(UL)</i>	-10.61	-13.38	-9.83	-11.58	-15.49	.	-12.18	-12.24
	<i>LTE B2(DL)</i>	-7.42	-11.65	-12.54	-8.60	-4.05	-4.81	-8.97	-5.74
	<i>LTE B4(DL)</i>	-15.79	-16.86	-17.23	-13.62	-4.18	-10.10	-7.49	.
	<i>LTE B40</i>	-22.57	-23.50	.	.	.	.	.	.
	<i>WI-FI 2G</i>	.	.	.	-22.05	.	.	-14.51	-14.20
	<i>LTE B7(DL)</i>	-18.59	-22.24	.	.	.	.	.	.

Nota. El gráfico presenta los acrónimos de las facultades: FIEE se refiere a la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, FO a la Facultad de Odontología, FPSI a la Facultad de Psicología, FEDU a Facultad de Educación, FCB a la Facultad de Ciencias Biológicas, FII a la Facultad de Ingeniería Industrial, FIGMMG a la Facultad de Ingeniería Geología, Minas, Metalurgia y Geográfica y FLCH a la Facultad de Letras y Ciencias Humanas.

A partir de estos resultados, se concluye que el exposímetro registró valores más bajos que el analizador de espectro, dado que la hipótesis nula es menor que cero.

Además, se identificaron los servicios que presentaron menor promedio. En la tabla 15, se presentó la relación de los resultados, ordenados de menor a mayor. Asimismo, en la tabla 15 se mostró la relación entre los equipos y la incertidumbre acumulada, donde se observó que 11 servicios se encontraron dentro del margen de error y 4 estuvieron fuera de los límites permitidos. Para estos últimos, se realizó un análisis adicional.

Tabla 15

Ordenamiento del promedio por servicios en dB

Frecuencia (MHz)	Servicio	Relación en dB	Incertidumbre acumulada
88-108	FM	-10.26	16.9 / -17.9
470-644	TV-VHF	-18.82	16.7 / -17.7
698-716	LTE B12 (UL)	-10.01	16.7 / -17.7
728-746	LTE B12 (DL)	-9.00	16.7 / -17.7
746-756	LTE B13 (DL)	-6.71	16.9 / -17.9
777-787	LTE B13 (UL)	-3.95	16.8 / -17.8
824-849	LTE B5 (UL)	-9.13	16.2 / -17.2
869-894	LTE B5 (DL)	-7.72	16.2 / -17.2
1710-1755	LTE B4 (UL)	-8.22	16.6 / -17.1
1850-1910	LTE B2 (UL)	-12.08	16.2 / -16.7
1930-1990	LTE B2 (DL)	-7.90	15.9 / -16.4
2110-2155	LTE B4 (DL)	-12.76	16.0 / -16.5
2300-2400	LTE B40	-23.03	16.3 / -16.8
2400-2483.5	Wi-Fi 2G	-17.92	16.3 / -16.8
2620-2690	LTE B7 (DL)	-20.20	16.3 / -16.8

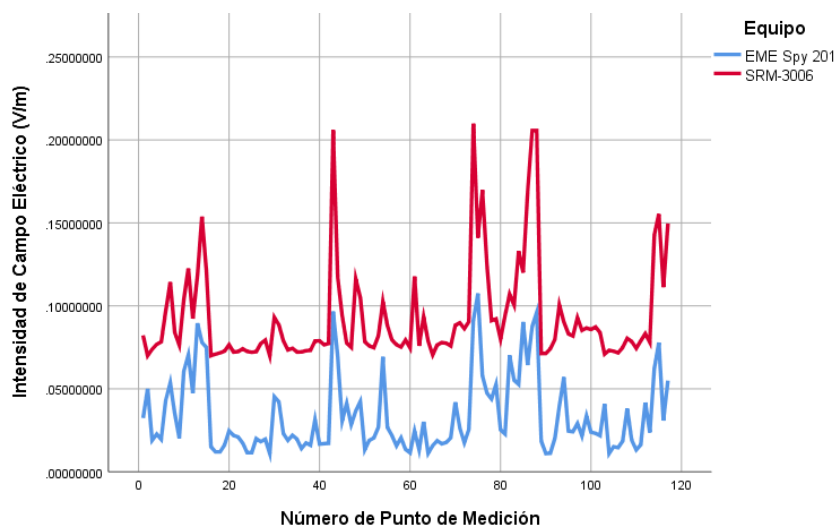
- **Análisis de normalidad, concordancia entre equipos y correlación**

Con el objetivo de evaluar las mediciones obtenidas, se llevó a cabo un análisis estadístico exhaustivo. Se incluyeron pruebas de normalidad para determinar la distribución de las diferencias entre las mediciones, la correlación para medir la fuerza y dirección de la relación entre los equipos, y finalmente, pruebas de concordancia, como el método de Bland-Altman o la prueba de Wilcoxon, según correspondiera.

- **Servicio de Modulación de Frecuencia (FM).** En la figura 27, se presentan los valores obtenidos de las mediciones de radiaciones no ionizantes, realizadas por los equipos EME Spy 201 y SRM-3006, expresados en unidades de V/m.

Figura 27

Lecturas obtenidas del Servicio de FM



El análisis comenzó con la realización de pruebas de normalidad, agrupando los datos por facultad. Los resultados de estas pruebas se presentan en las tablas 16 y 17, en las cuales también se incluyen la prueba de concordancia entre equipos y la correlación.

Tabla 16*Pruebas estadísticas para el servicio de FM*

Facultad	Tiempo de muestreo	Shapiro-Wilk (W)	p-valor	Prueba de concordancia	Estadístico	p-valor
FIEE, FO	4	0.939	0.032	Wilcoxon	-5.511	0
FIGMMG	3	0.965	0.436	t-student	-16.988	0
FPSI, FEDU y FII	2	0.983	0.71	t-student	-17.432	0

Nota. El gráfico presenta los acrónimos de las facultades: FIEE se refiere a la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, FO a la Facultad de Odontología, FIGMMG a la Facultad de Ingeniería Geología, Minas, Metalurgia y Geográfica, FPSI a la Facultad de Psicología, FEDU a Facultad de Educación y FII a la Facultad de Ingeniería Industrial,

Tabla 17*Pruebas de correlación para el servicio de FM*

Facultad	Tiempo de muestreo	Tipo de correlación	Correlación	p-valor
FIEE, FO	4	Pearson	0.725	0
FIGMMG	3	Spearman	0.768	0
FPSI, FEDU, FII	2	Spearman	0.825	0

Nota. Consulte la Tabla 16 para las definiciones de los acrónimos.

El resultado de la prueba de normalidad Shapiro-Wilk indicó que los datos en todas las facultades, con excepción de la FIEE y FO, siguieron una distribución normal ($P > 0.05$). A partir de esos resultados, se realizaron pruebas de concordancia entre equipos utilizando la prueba t-student o Wilcoxon, según correspondiera. Estas pruebas indicaron que existieron diferencias significativas en las lecturas; sin embargo, se observó que todas las facultades presentaron una correlación positiva fuerte ($P < 0.05$), lo que indicó que las lecturas de los equipos tenían a variar de manera similar.

Con base en estos resultados, se optó por elaborar gráficos de Bland-Altman para evaluar e interpretar el sesgo sistemático de las lecturas de los equipos. En las figuras 28, 29 y 30 se presentaron los gráficos de Bland-Altman para las lecturas de tiempo de muestreo de cuatro, tres y dos segundos, respectivamente, donde se

visualizó que las diferencias eran predominantemente negativas. Esto indicó que el exposímetro EME SPy201 midió sistemáticamente menos que el SRM-3006. Además, se observará una tendencia ascendente, lo que sugiere que, a medida que aumentaba la intensidad del campo electromagnético, mayor era la diferencia entre el exposímetro EME SPy201 y el SRM-3006. Esto sugirió que el sesgo entre los equipos no era constante y aumentaba con niveles más altos de exposición.

Figura 28

Gráfico Bland-Altman para el servicio de FM con tiempo de muestreo a 4 segundos

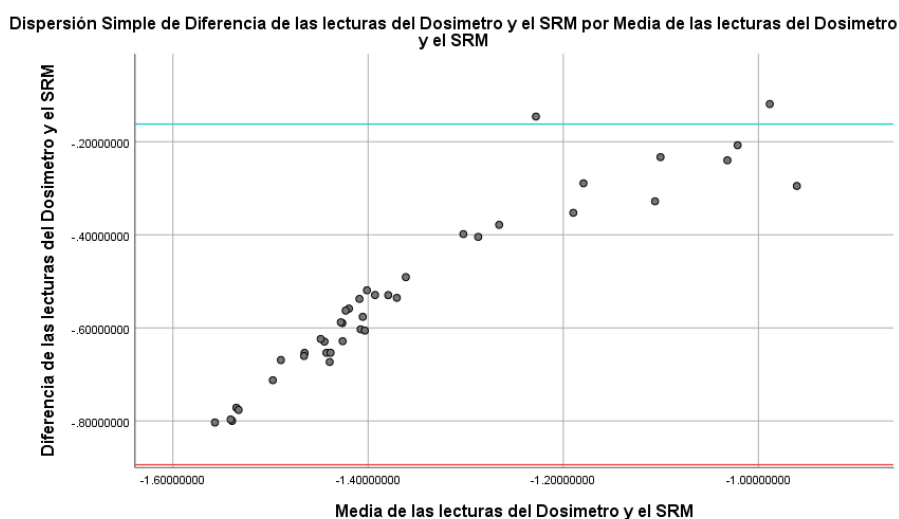


Figura 29

Gráfico Bland-Altman para el servicio de FM con tiempo de muestreo a 3 segundos

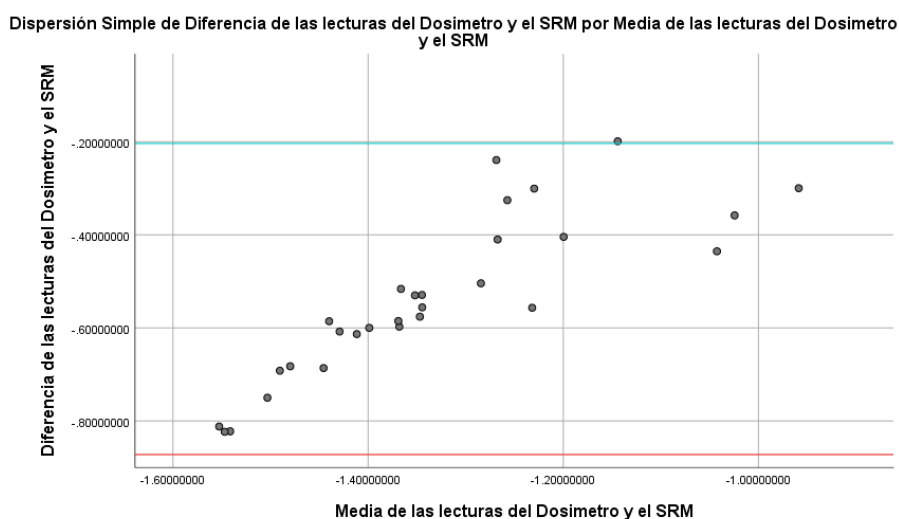
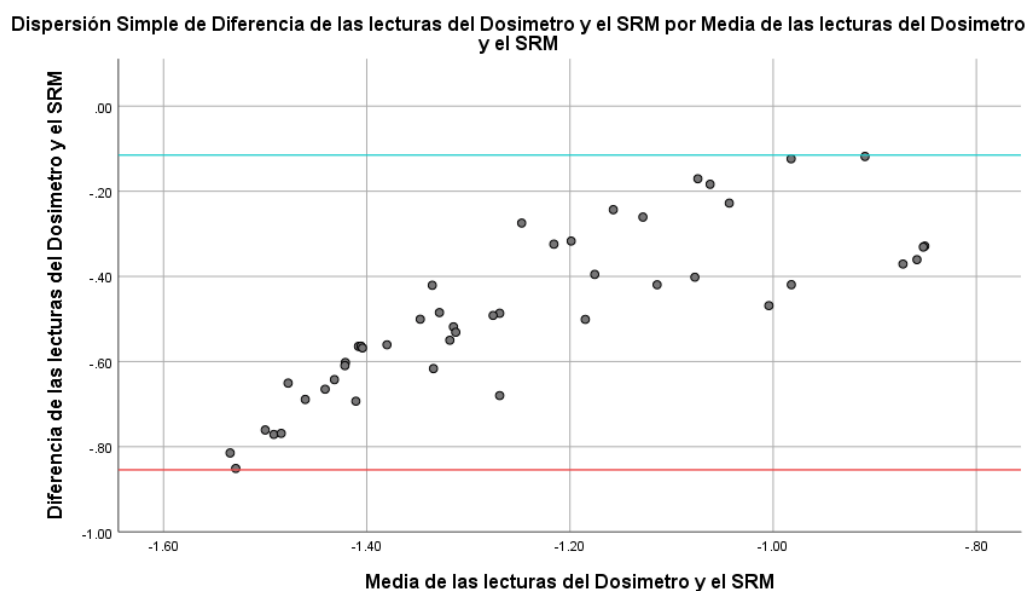


Figura 30

Gráfico Bland-Altman para el servicio de FM con tiempo de muestreo a 2 segundos



Por ello, se aplicó el siguiente conjunto de factores de corrección:

Tabla 18

Factor de corrección FM

Configuración EME Spy201	Factor de corrección
Periodo de muestreo: 2s	0.3276
Periodo de muestreo: 3s	0.2898
Periodo de muestreo: 4s	0.2964

Aplicando estos factores, se ajustaron las mediciones registradas por el exposímetro, a fin de reducir el sesgo sistemático identificado con respecto al equipo de referencia (SRM-3006). Posteriormente, se recalcularon las pruebas de normalidad y de concordancia para los valores corregidos, con el propósito de validar la efectividad del ajuste.

La tabla 19 presenta los resultados obtenidos tras la corrección. Se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad y dependiendo de los resultados,

se seleccionó la prueba de concordancia adecuada: t de Student para muestras emparejadas cuando se confirmó la normalidad, y Wilcoxon en caso contrario.

Tabla 19

Pruebas estadísticas con la corrección aplicada para el servicio de FM

Facultad	Tiempo de muestreo	Shapiro-Wilk (W)	p-valor	Prueba de concordancia	Estadístico	p-valor
FIEE, FO	4	0.939	0.032	Wilcoxon	-0.430	0.667
FIGMMG	3	0.965	0.436	t-student	0	1
FPSI, FEDU y FII	2	0.983	0.71	t-student	0	1

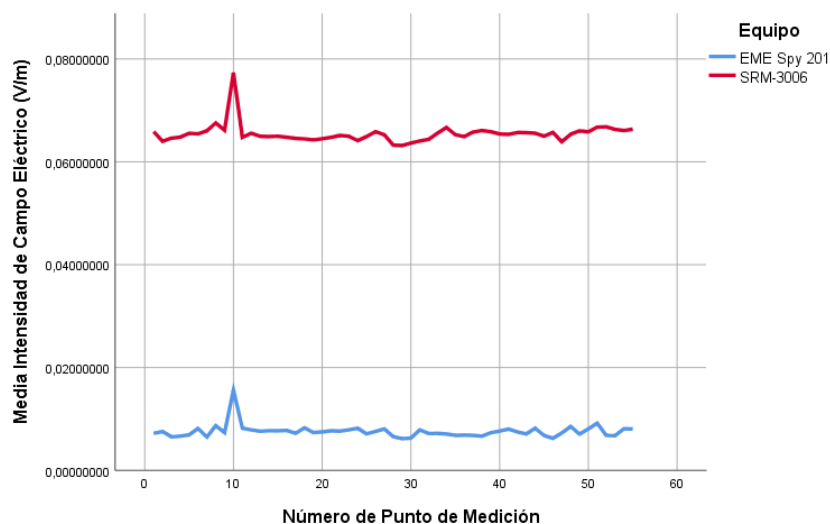
Nota. El gráfico presenta los acrónimos de las facultades: FIEE se refiere a la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, FO a la Facultad de Odontología, FIGMMG a la Facultad de Ingeniería Geología, Minas, Metalurgia y Geográfica, FPSI a la Facultad de Psicología, FEDU a Facultad de Educación y FII a la Facultad de Ingeniería Industrial,

Los resultados muestran que, una vez aplicada la corrección, las diferencias entre las mediciones corregidas del exposímetro y las del equipo de referencia (SRM-3006) no son estadísticamente significativas, lo cual respalda la validez de los factores aplicados. Asimismo, la adecuación de la prueba estadística según la distribución de los datos permite concluir que el proceso de ajuste mejora sustancialmente la concordancia entre los dispositivos comparados, manteniendo consistencia con los criterios metodológicos aceptados en estudios de validación instrumental.

- **Servicio de Televisión en Frecuencia Muy Alta (TV VHF).** En la figura 31, se presentan los valores obtenidos de las mediciones de radiaciones no ionizantes, realizadas por los equipos EME Spy 201 y SRM-3006, expresados en unidades de V/m.

Figura 31

Lecturas obtenidas del Servicio de TV-VHF



El análisis comenzó con la realización de pruebas de normalidad, agrupando los datos por facultad. Los resultados de estas pruebas se presentan en las tablas 20 y 21, en las cuales también se incluyen la prueba de concordancia entre equipos y la correlación.

Tabla 20

Pruebas estadísticas para el servicio de TV-VHF

Facultad	Tiempo de muestreo	Shapiro-Wilk (W)	p-valor	Prueba de concordancia	Estadístico	p-valor
FIEE y FO	4	0.979	0.454	t-student	-183.293	0

Nota. El gráfico presenta los acrónimos de las facultades: FIEE se refiere a la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica y FO a la Facultad de Odontología.

Tabla 21

Pruebas de correlación para el servicio de TV-VHF

Facultad	Tiempo de muestreo	Tipo de correlación	Correlación	p-valor
FIEE y FO	4	Pearson	0.236	0.086

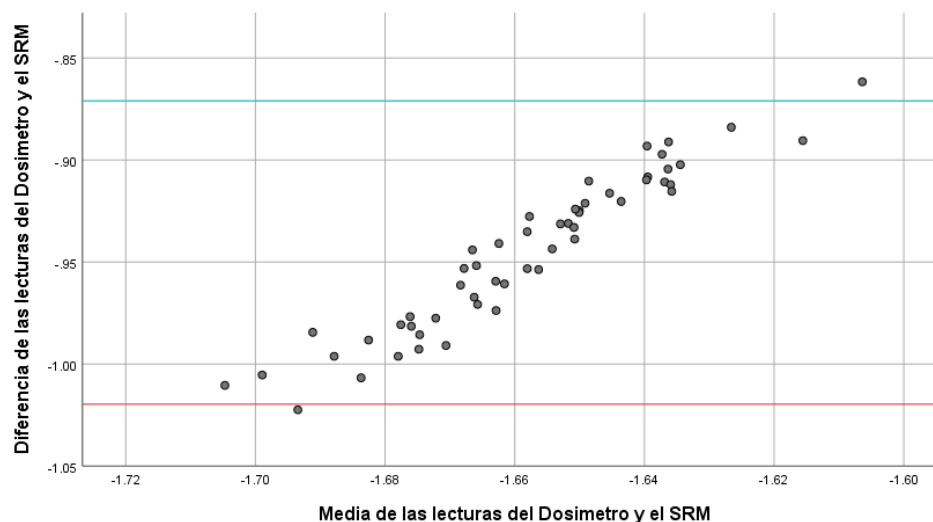
Nota. Consulte la Tabla 20 para las definiciones de los acrónimos.

El resultado de la prueba de normalidad Shapiro-Wilk indicó que los datos en la FIEE y FO, siguieron una distribución normal ($P > 0.05$). A partir de esos resultados, se realizaron pruebas de concordancia entre equipos utilizando la prueba t-student. Esta prueba indicó que existieron diferencias significativas en las lecturas; sin embargo, se observó que presentaron una correlación positiva débil ($P < 0.05$), lo que indicó que no se puede afirmar que existió una relación lineal significativa entre las mediciones de ambos equipos para este servicio.

Con base en estos resultados, se optó por elaborar gráficos de Bland-Altman para evaluar e interpretar el sesgo sistemático de las lecturas de los equipos. En la figura 32 se presentó el gráfico de Bland-Altman para la lectura de tiempo de muestreo de cuatro segundos, donde se visualizó que las diferencias eran predominantemente negativas. Esto indicó que el exposímetro EME SPy201 midió sistemáticamente menos que el SRM-3006. Además, se observará una tendencia ascendente, lo que sugiere que, a medida que aumentaba la intensidad del campo electromagnético, mayor era la diferencia entre el exposímetro EME SPy201 y el SRM-3006. Esto sugirió que el sesgo entre los equipos no era constante y aumentaba con niveles más altos de exposición.

Figura 32

Gráfico Bland-Altman para el servicio de TV-VHF con tiempo de muestreo a 4 segundos



Por ello, se aplicó el siguiente conjunto de factores de corrección:

Tabla 22

Factor de corrección TV-VHF

Configuración EME Spy201	Factor de corrección
Periodo de muestreo: 4s	0.1146

Aplicando el factor, se ajustaron las mediciones registradas por el exposímetro, a fin de reducir el sesgo sistemático identificado con respecto al equipo de referencia (SRM-3006). Posteriormente, se recalculó la prueba de normalidad y de concordancia para los valores corregidos, con el propósito de validar la efectividad del ajuste.

La tabla 23 presenta el resultado obtenido tras la corrección. Se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad y se realizó la prueba de concordancia adecuada: Wilcoxon tras comprobar la no normalidad,

Tabla 23

Pruebas estadísticas con la corrección aplicada para el servicio de FM

Facultad	Tiempo de muestreo	Shapiro-Wilk (W)	p-valor	Prueba de concordancia	Estadístico	p-valor
FIEE y FO	4	0.849	0	Wilcoxon	-0.570	0.569

Nota. El gráfico presenta los acrónimos de las facultades: FIEE se refiere a la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica y FO a la Facultad de Odontología.

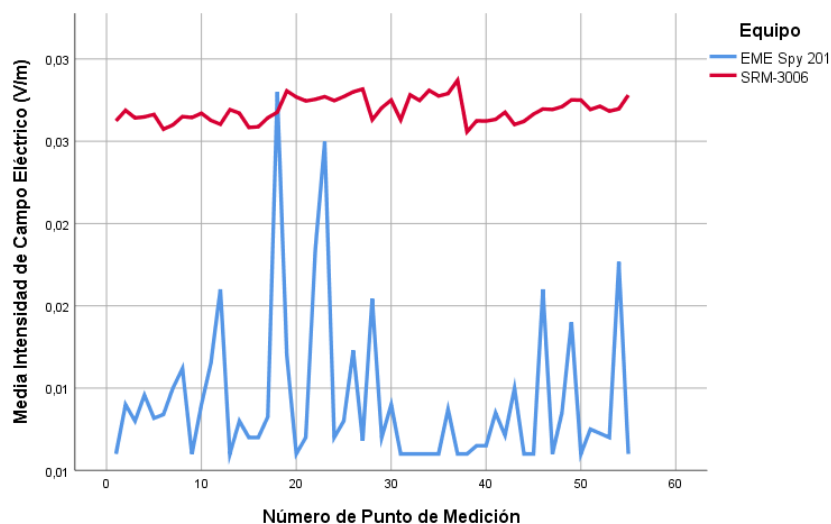
Los resultados muestran que, una vez aplicada la corrección, las diferencias entre las mediciones corregidas del exposímetro y las del equipo de referencia (SRM-3006) no son estadísticamente significativas, lo cual respalda la validez del factor aplicado. Asimismo, la adecuación de la prueba estadística según la distribución de los datos permite concluir que el proceso de ajuste mejora sustancialmente la concordancia entre los dispositivos comparados, manteniendo consistencia con los criterios metodológicos aceptados en estudios de validación instrumental.

- **Servicio de Long-Term Evolution Band 12 Uplink (LTE B12(UL)).**

En la figura 33, se presentan los valores obtenidos de las mediciones de radiaciones no ionizantes, realizadas por los equipos EME Spy 201 y SRM-3006, expresados en unidades de V/m.

Figura 33

Lecturas obtenidas del Servicio de LTE B12(UL)



El análisis comenzó con la realización de pruebas de normalidad, agrupando los datos por facultad. Los resultados de estas pruebas se presentan en las tablas 24 y 25, en las cuales también se incluyen la prueba de concordancia entre equipos y la correlación.

Tabla 24

Pruebas estadísticas para el servicio de LTE B12(UL)

Facultad	Tiempo de muestreo	Shapiro-Wilk (W)	p-valor	Prueba de concordancia	Estadístico	p-valor
FIEE, FO	4	0.942	0.447	t-student	-183.242	0
FCB, FLCH FIGMMG,	3	0.810	0	Wilcoxon	-5.566	0

Nota. El gráfico presenta los acrónimos de las facultades: FIEE se refiere a la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, FO a la Facultad de Odontología, FCB a la Facultad de Ciencias Biológicas, FLCH a la Facultad de Letras y Ciencias Humanas y FIGMMG a la Facultad de Ingeniería Geología, Minas, Metalurgia y Geográfica.

Tabla 25*Pruebas de correlación para el servicio de LTE B12(UL)*

Facultad	Tiempo de muestreo	Tipo de correlación	Correlación	p-valor
FIEE, FO	4	Pearson	-0.347	0.224
FCB, FLCH FIGMMG,	3	Spearman	0.002	0.992

Nota. Consulte la Tabla 24 para las definiciones de los acrónimos.

El resultado de la prueba de normalidad Shapiro-Wilk indicó que en la FIEE y FO, siguieron una distribución normal ($P > 0.05$), excepto la FCB, FLCH y FIGMMG. A partir de esos resultados, se realizaron pruebas de concordancia entre equipos utilizando la prueba t-student o Wilcoxon, según correspondiera. Estas pruebas indicaron que existieron diferencias significativas en las lecturas. Además, se observó que en este servicio la correlación fue débil o nula.

Con base en estos resultados, se optó por elaborar gráficos de Bland-Altman para evaluar e interpretar el sesgo sistemático de las lecturas de los equipos. En las figuras 34 y 35 se presentaron los gráficos de Bland-Altman para las lecturas de tiempo de muestreo de cuatro y tres segundos, respectivamente, donde se visualizó que las diferencias eran predominantemente negativas. Esto indicó que el exposímetro EME SPy201 midió sistemáticamente menos que el SRM-3006. Además, se observará una tendencia ascendente, lo que sugiere que, a medida que aumentaba la intensidad del campo electromagnético, mayor era la diferencia entre el exposímetro EME SPy201 y el SRM-3006. Esto sugirió que el sesgo entre los equipos no era constante y aumentaba con niveles más altos de exposición.

Figura 34

Gráfico de Bland-Altman para el servicio de LTE B12(UL) con tiempo de muestreo a 4 segundos

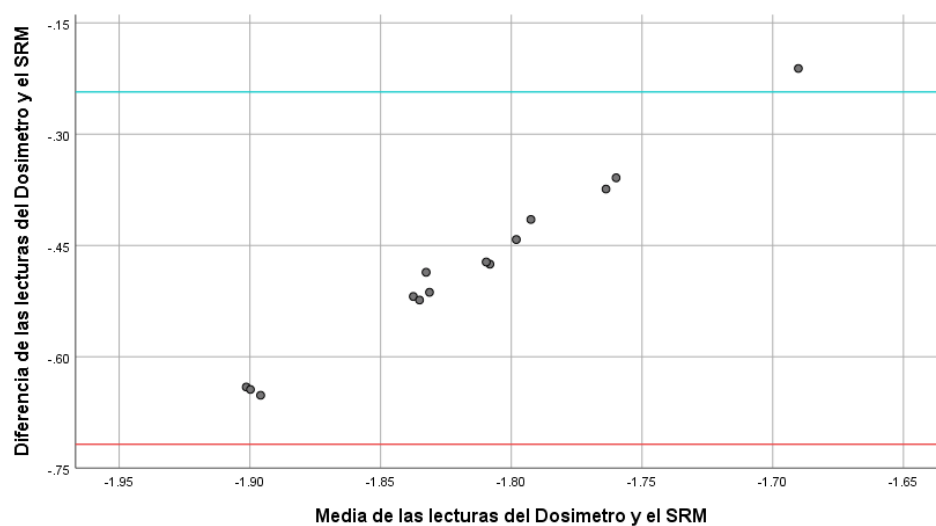
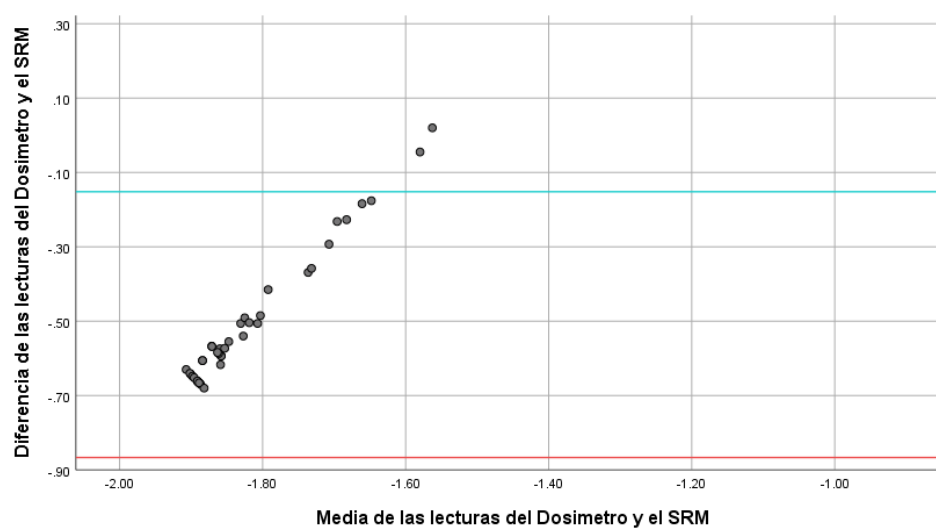
**Figura 35**

Gráfico de Bland-Altman para el servicio de LTE B12(UL) con tiempo de muestreo a 3 segundos



Por ello, se aplicó el siguiente conjunto de factores de corrección:

Tabla 26*Factor de corrección LTE B12(UL)*

Configuración EME Spy201	Factor de corrección
Periodo de muestreo: 3s	0.3096
Periodo de muestreo: 4s	0.3307

Aplicando estos factores, se ajustaron las mediciones registradas por el exposímetro, a fin de reducir el sesgo sistemático identificado con respecto al equipo de referencia (SRM-3006). Posteriormente, se recalcularon las pruebas de normalidad y de concordancia para los valores corregidos, con el propósito de validar la efectividad del ajuste.

La tabla 27 presenta los resultados obtenidos tras la corrección. Se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad y dependiendo de los resultados, se seleccionó la prueba de concordancia adecuada: t de Student para muestras emparejadas cuando se confirmó la normalidad, y Wilcoxon en caso contrario.

Tabla 27*Pruebas estadísticas con la corrección aplicada para el servicio de LTE B12(UL)*

Facultad	Tiempo de muestreo	Shapiro-Wilk (W)	p-valor	Prueba de concordancia	Estadístico	P-valor
FIEE, FO	4	0.942	0.447	t-student	0	1
FCB, FLCH FIGMMG,	3	0.810	0.000	Wilcoxon	-1.082	0.279

Nota. El gráfico presenta los acrónimos de las facultades: FIEE se refiere a la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, FO a la Facultad de Odontología, FCB a la Facultad de Ciencias Biológicas, FLCH a la Facultad de Letras y Ciencias Humanas y FIGMMG a la Facultad de Ingeniería Geología, Minas, Metalurgia y Geográfica.

Los resultados muestran que, una vez aplicada la corrección, las diferencias entre las mediciones corregidas del exposímetro y las del equipo de referencia (SRM-

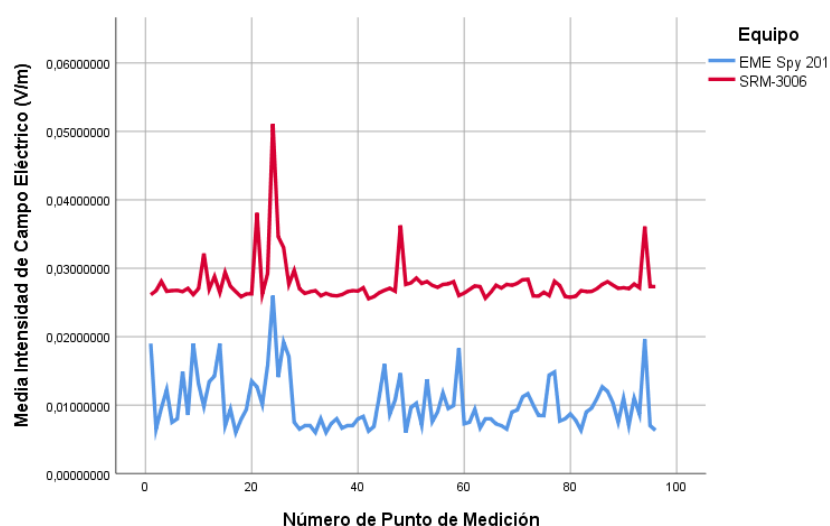
3006) no son estadísticamente significativas, lo cual respalda la validez de los factores aplicados. Asimismo, la adecuación de la prueba estadística según la distribución de los datos permite concluir que el proceso de ajuste mejora sustancialmente la concordancia entre los dispositivos comparados, manteniendo consistencia con los criterios metodológicos aceptados en estudios de validación instrumental.

- **Servicio de Long-Term Evolution Band 12 Downlink (LTE B12(DL)).**

En la figura 36, se presentaron los valores obtenidos de las mediciones de radiaciones no ionizantes, realizadas por los equipos EME Spy 201 y SRM-3006, expresados en unidades de V/m.

Figura 36

Lecturas obtenidas del Servicio de LTE B12(DL)



El análisis comenzó con la realización de pruebas de normalidad, agrupando los datos por facultad. Los resultados de estas pruebas se presentan en las tablas 28 y 29, en las cuales también se incluyen la prueba de concordancia entre equipos y la correlación.

Tabla 28*Pruebas estadísticas para el servicio de LTE B12 (DL)*

Facultad	Tiempo de muestreo	Shapiro-Wilk (W)	p-valor	Prueba de concordancia	Estadístico	p-valor
FIEE y FO	4	0.912	0.004	Wilcoxon	-5.511	0
FCB, FLCH y FIGMMG	3	0.959	0.159	t-student	-30.731	0

Nota. El gráfico presenta los acrónimos de las facultades: FIEE se refiere a la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, FO a la Facultad de Odontología, FCB a la Facultad de Ciencias Biológicas, FLCH a la Facultad de Letras y Ciencias Humanas y FIGMMG a la Facultad de Ingeniería Geología, Minas, Metalurgia y Geográfica.

Tabla 29*Pruebas de correlación para el servicio de LTE B12 (DL)*

Facultad	Tiempo de muestreo	Tipo de correlación	Correlación	p-valor
FIEE y FO	4	Spearman	0.266	0.097
FCB, FLCH y FIGMMG	3	Pearson	0.443	0.001

Nota. Consulte la Tabla 28 para las definiciones de los acrónimos.

El resultado de la prueba de normalidad Shapiro-Wilk indicó que los datos en todas las facultades, con excepción de la FIEE y FO, siguieron una distribución normal ($P > 0.05$). A partir de esos resultados, se realizaron pruebas de concordancia entre equipos utilizando la prueba t-student o Wilcoxon, según correspondiera. Estas pruebas indicaron que existieron diferencias significativas en las lecturas; sin embargo, se observó que para la FIEE y FO no hubo una correlación significativa. En cambio, en las demás facultades se presentó una correlación significativa, lo que indicó que las lecturas de los equipos tendían a variar de manera similar.

Con base en estos resultados, se optó por elaborar gráficos de Bland-Altman para evaluar e interpretar el sesgo sistemático de las lecturas de los equipos. En las

figuras 37 y 38 se presentaron los gráficos de Bland-Altman para las lecturas de tiempo de muestreo de cuatro y tres segundos, respectivamente, donde se visualizó que las diferencias eran predominantemente negativas. Esto indicó que el exposímetro EME SPy201 midió sistemáticamente menos que el SRM-3006. Además, se observará una tendencia ascendente, lo que sugiere que, a medida que aumentaba la intensidad del campo electromagnético, mayor era la diferencia entre el exposímetro EME SPy201 y el SRM-3006. Esto sugirió que el sesgo entre los equipos no era constante y aumentaba con niveles más altos de exposición.

Figura 37

Gráfico Bland-Altman para el servicio de LTE B12(DL) con tiempo de muestreo a 4 segundos

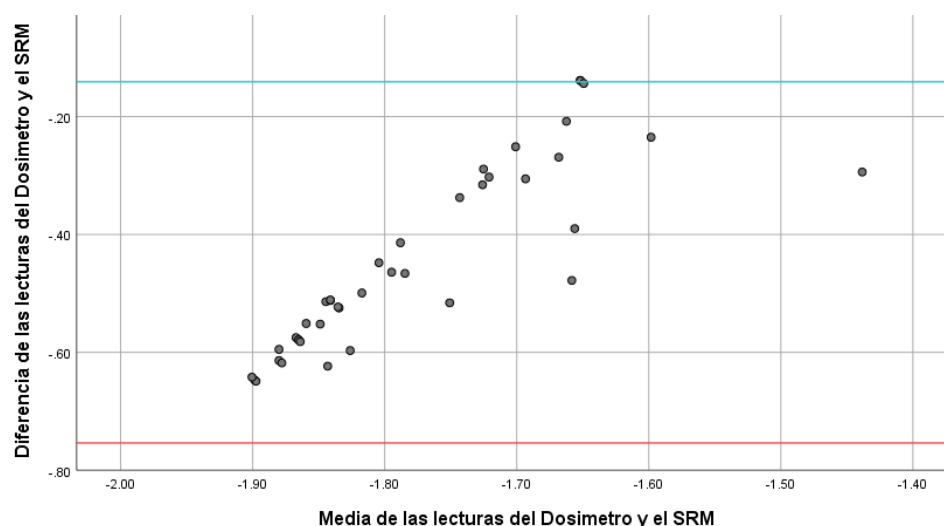
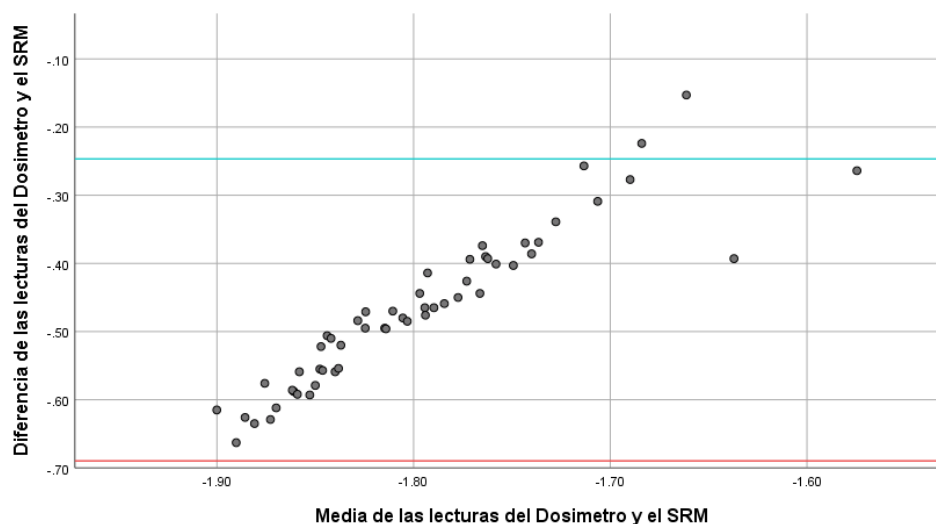


Figura 38

Gráfico Bland-Altman para el servicio de LTE B12(DL) con tiempo de muestreo a 3 segundos



Por ello, se aplicó el siguiente conjunto de factores de corrección:

Tabla 30

Factor de corrección LTE B12(DL)

Configuración EME Spy201	Factor de corrección
Periodo de muestreo: 3s	0.3402
Periodo de muestreo: 4s	0.357

Aplicando estos factores, se ajustaron las mediciones registradas por el exposímetro, a fin de reducir el sesgo sistemático identificado con respecto al equipo de referencia (SRM-3006). Posteriormente, se recalcularon las pruebas de normalidad y de concordancia para los valores corregidos, con el propósito de validar la efectividad del ajuste.

La tabla 31 presenta los resultados obtenidos tras la corrección. Se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad y dependiendo de los resultados,

se seleccionó la prueba de concordancia adecuada: t de Student para muestras emparejadas cuando se confirmó la normalidad, y Wilcoxon en caso contrario.

Tabla 31

Pruebas estadísticas con la corrección aplicada para el servicio de LTE B12(UL)

Facultad	Tiempo de muestreo	Shapiro-Wilk (W)	p-valor	Prueba de concordancia	Estadístico	p-valor
FIEE y FO	4	0.912	0.004	Wilcoxon	-1.161	0.872
FCB, FLCH y FIGMMG	3	0.959	0.159	t-student	0	1

Nota. El gráfico presenta los acrónimos de las facultades: FIEE se refiere a la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, FO a la Facultad de Odontología, FCB a la Facultad de Ciencias Biológicas, FLCH a la Facultad de Letras y Ciencias Humanas y FIGMMG a la Facultad de Ingeniería Geología, Minas, Metalurgia y Geográfica.

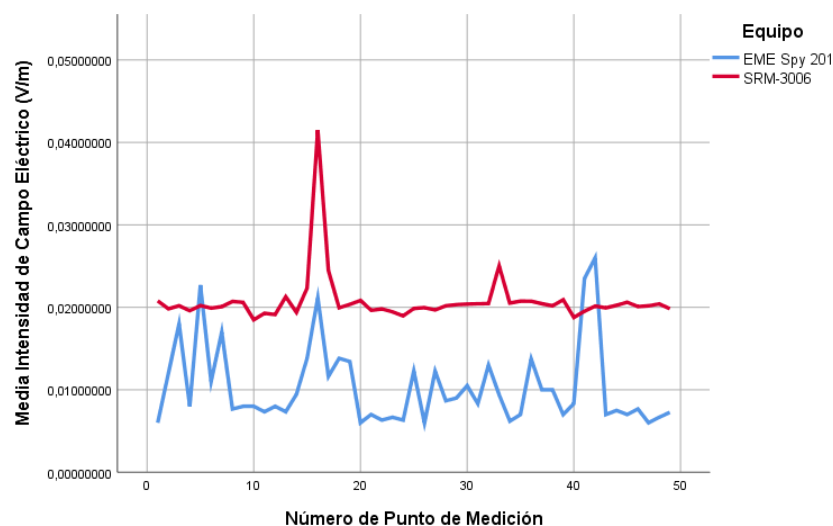
Los resultados muestran que, una vez aplicada la corrección, las diferencias entre las mediciones corregidas del exposímetro y las del equipo de referencia (SRM-3006) no son estadísticamente significativas, lo cual respalda la validez de los factores aplicados. Asimismo, la adecuación de la prueba estadística según la distribución de los datos permite concluir que el proceso de ajuste mejora sustancialmente la concordancia entre los dispositivos comparados, manteniendo consistencia con los criterios metodológicos aceptados en estudios de validación instrumental.

- **Servicio de Long-Term Evolution Band 13 Downlink (LTE B13(DL)).**

En la figura 39, se presentaron los valores obtenidos de las mediciones de radiaciones no ionizantes, realizadas por los equipos EME Spy 201 y SRM-3006, expresados en unidades de V/m.

Figura 39

Lecturas obtenidas del Servicio de LTE B13(DL)



El análisis comenzó con la realización de pruebas de normalidad, agrupando los datos por facultad. Los resultados de estas pruebas se presentan en las tablas 32 y 33, en las cuales también se incluyen la prueba de concordancia entre equipos y la correlación.

Tabla 32

Pruebas estadísticas para el servicio de LTE B13(DL)

Facultad	Tiempo de muestreo	Shapiro-Wilk (W)	p-valor	Prueba de concordancia	Estadístico	p-valor
FIEE y FO	4	0.947	0.258	t-student	-9.542	0
FCB y FLCH	3	0.913	0.04	Wilcoxon	-4.286	0

Nota. El gráfico presenta los acrónimos de las facultades: FIEE se refiere a la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, FO a la Facultad de Odontología, FCB a la Facultad de Ciencias Biológicas, y FLCH a la Facultad de Letras y Ciencias Humanas.

Tabla 33*Pruebas de correlación para el servicio de LTE B13(DL)*

Facultad	Tiempo de muestreo	Tipo de correlación	Correlación	p-valor
FIEE y FO	4	Pearson	0.432	0.04
FCB y FLCH	3	Spearman	0.068	0.75

Nota. Consulte la Tabla 24 para las definiciones de los acrónimos.

El resultado de la prueba de normalidad Shapiro-Wilk indicó que los datos en la FIEE y FO seguían una distribución normal ($P > 0.05$), a diferencia de la FCB y FLCH. A partir de estos resultados, se realizaron pruebas de concordancia entre equipos utilizando la prueba t-student o Wilcoxon, según correspondiera. Estas pruebas indicaron que existían diferencias significativas en las lecturas; sin embargo, se observó que la FIEE y FO presentaban una correlación significativa ($P < 0.05$), a diferencia de la FCB y FLCH.

Con base en estos resultados, se optó por elaborar gráficos de Bland-Altman para evaluar e interpretar el sesgo sistemático de las lecturas de los equipos. En las figuras 40 y 41 se presentaron los gráficos de Bland-Altman para las lecturas de tiempo de muestreo de cuatro y tres segundos, respectivamente, donde se visualizó que las diferencias fueron predominantemente negativas. Esto indicó que el exposímetro EME Spy 201 midió sistemáticamente menos que el SRM-3006. Además, se observó una tendencia ascendente, lo que sugirió que, a medida que aumentaba la intensidad del campo electromagnético, mayor era la diferencia entre el exposímetro EME Spy 201 y el SRM-3006. Esto sugirió que el sesgo entre los equipos no era constante y aumentaba con niveles más altos de exposición.

Figura 40

Gráfico Bland-Altman para el servicio de LTE B13(DL) con tiempo de muestreo a 4 segundos

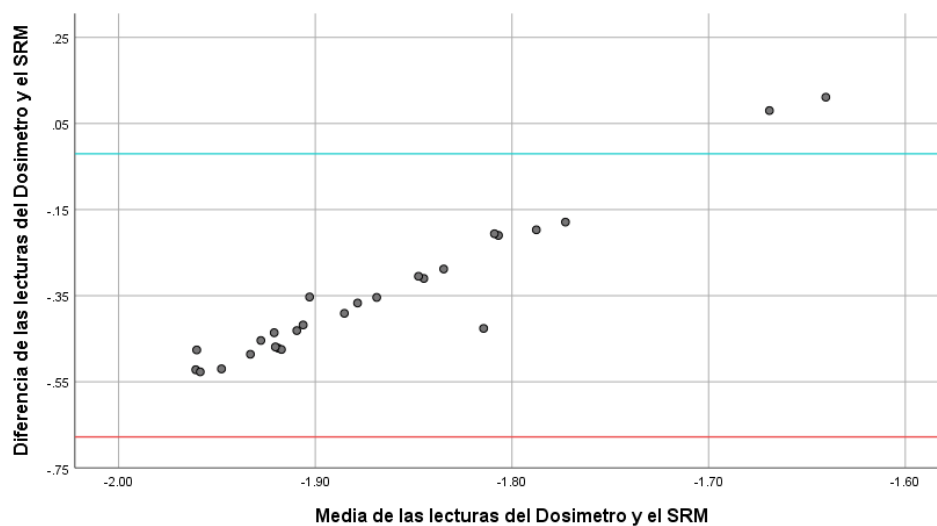
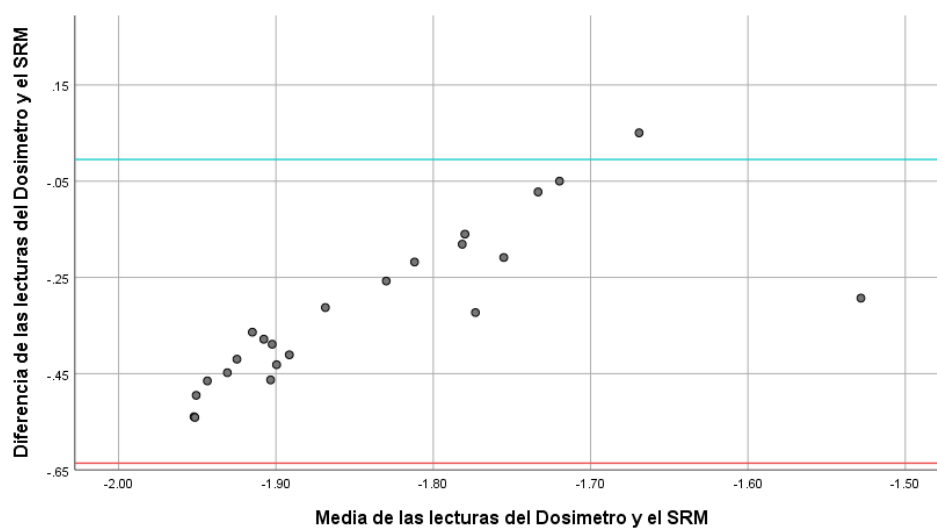
**Figura 41**

Gráfico Bland-Altman para el servicio de LTE B13(DL) con tiempo de muestreo a 3 segundos



Por ello, se aplicó el siguiente conjunto de factores de corrección:

Tabla 34*Factor de corrección LTE B13 (DL)*

Configuración EME Spy201	Factor de corrección
Periodo de muestreo: 3s	0.4474
Periodo de muestreo: 4s	0.4782

Aplicando estos factores, se ajustaron las mediciones registradas por el exposímetro, a fin de reducir el sesgo sistemático identificado con respecto al equipo de referencia (SRM-3006). Posteriormente, se recalcularon las pruebas de normalidad y de concordancia para los valores corregidos, con el propósito de validar la efectividad del ajuste.

La tabla 35 presenta los resultados obtenidos tras la corrección. Se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad y dependiendo de los resultados, se seleccionó la prueba de concordancia adecuada: t de Student para muestras emparejadas cuando se confirmó la normalidad, y Wilcoxon en caso contrario.

Tabla 35*Pruebas estadísticas con la corrección aplicada para el servicio de LTE B13(DL)*

Facultad	Tiempo de muestreo	Shapiro-Wilk (W)	p-valor	Prueba de concordancia	Estadístico	p-valor
FIEE y FO	4	0.947	0.258	t-student	0	1
FCB, FLCH y FIGMMG	3	0.843	0.001	Wilcoxon	-0.749	0.454

Nota. El gráfico presenta los acrónimos de las facultades: FIEE se refiere a la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, FO a la Facultad de Odontología, FCB a la Facultad de Ciencias Biológicas, FLCH a la Facultad de Letras y Ciencias Humanas y FIGMMG a la Facultad de Ingeniería Geología, Minas, Metalurgia y Geográfica.

Los resultados muestran que, una vez aplicada la corrección, las diferencias entre las mediciones corregidas del exposímetro y las del equipo de referencia (SRM-

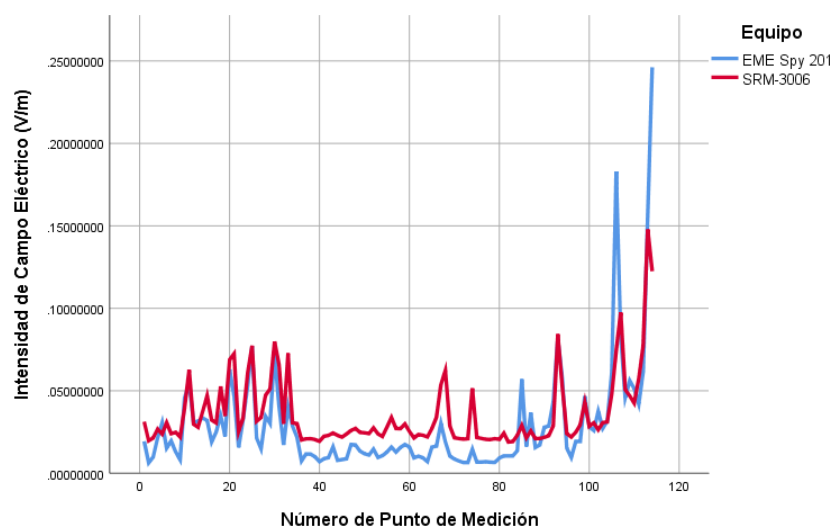
3006) no son estadísticamente significativas, lo cual respalda la validez de los factores aplicados. Asimismo, la adecuación de la prueba estadística según la distribución de los datos permite concluir que el proceso de ajuste mejora sustancialmente la concordancia entre los dispositivos comparados, manteniendo consistencia con los criterios metodológicos aceptados en estudios de validación instrumental.

- **Servicio de Long-Term Evolution Band 13 Uplink (LTE B13(UL)).**

En la figura 42, se presentaron los valores obtenidos de las mediciones de radiaciones no ionizantes, realizadas por los equipos EME Spy 201 y SRM-3006, expresados en unidades de V/m.

Figura 42

Lecturas obtenidas del Servicio de LTE B13(UL)



El análisis comenzó con la realización de pruebas de normalidad, agrupando los datos por facultad. Los resultados de estas pruebas se presentan en las tablas 36 y 37, en las cuales también se incluyen la prueba de concordancia entre equipos y la correlación.

Tabla 36*Pruebas estadísticas para el servicio de LTE B13 (UL)*

Facultad	Tiempo de muestreo	Shapiro-Wilk (W)	p-valor	Prueba de concordancia	Estadístico	p-valor
FIEE y FO	4	0.979	0.41	t-student	-11.502	0
FCB y FLCH	3	0.957	0.046	Wilcoxon	-4.231	0

Nota. El gráfico presenta los acrónimos de las facultades: FIEE se refiere a la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, FO a la Facultad de Odontología, FCB a la Facultad de Ciencias Biológicas y FLCH a la Facultad de Letras y Ciencias Humanas.

Tabla 37*Pruebas de correlación para el servicio de LTE B13 (UL)*

Facultad	Tiempo de muestreo	Tipo de correlación	Correlación	p-valor
FIEE y FO	4	Pearson	0.889	0
FCB y FLCH	3	Spearman	0.834	0

Nota. Consulte la Tabla 26 para las definiciones de los acrónimos.

El resultado de la prueba de normalidad Shapiro-Wilk indicó que los datos en la FIEE y FO seguían una distribución normal ($P > 0.05$), a diferencia de la FCB y FLCH. A partir de estos resultados, se realizaron pruebas de concordancia entre equipos utilizando la prueba t-student o Wilcoxon, según correspondiera. Estas pruebas indicaron que existían diferencias significativas en las lecturas; sin embargo, se observó que todas las facultades presentaban una correlación positiva fuerte y significativa ($P < 0.05$), lo que indicó que las lecturas de los equipos tendían a variar de manera similar.

Con base en estos resultados, se optó por elaborar gráficos de Bland-Altman para evaluar e interpretar el sesgo sistemático de las lecturas de los equipos. En las figuras 43 y 44 se presentaron los gráficos de Bland-Altman para las lecturas de tiempo

de muestreo de cuatro y tres segundos, respectivamente, donde se visualizó que las diferencias eran predominantemente negativas. Esto indicó que el exposímetro EME SPy201 midió sistemáticamente menos que el SRM-3006. Además, se observará una tendencia ascendente, lo que sugiere que, a medida que aumentaba la intensidad del campo electromagnético, mayor era la diferencia entre el exposímetro EME SPy201 y el SRM-3006. Esto sugirió que el sesgo entre los equipos no era constante y aumentaba con niveles más altos de exposición.

Figura 43

Gráfico Bland-Altman para el servicio de LTE B13 (UL) con tiempo de muestreo a 4 segundos

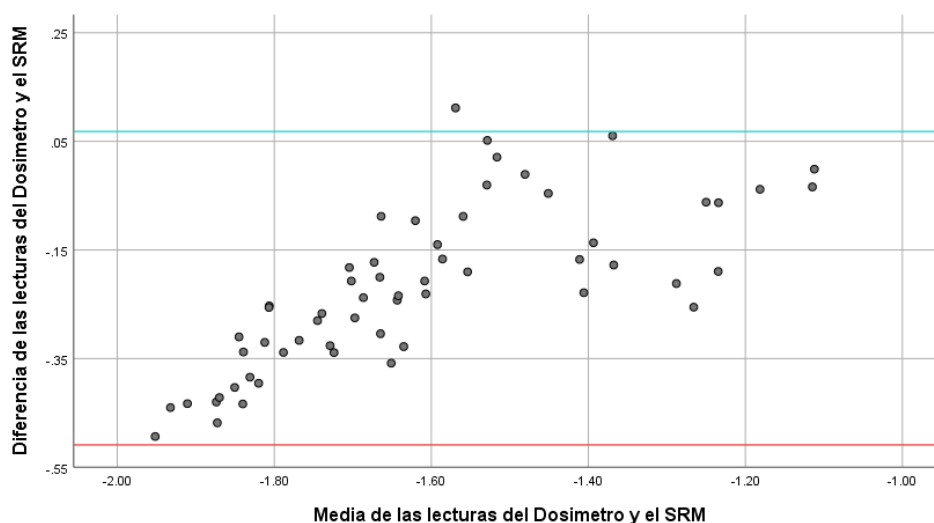
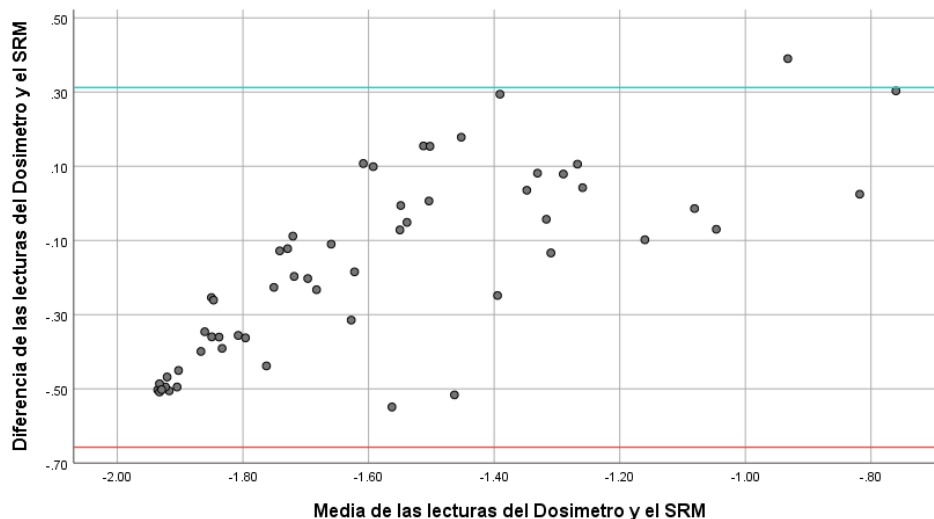


Figura 44

Gráfico Bland-Altman para el servicio de LTE B13 (UL) con tiempo de muestreo a 3 segundos



Por ello, se aplicó el siguiente conjunto de factores de corrección:

Tabla 38

Factor de corrección LTE B13 (UL)

Configuración EME Spy201	Factor de corrección
Periodo de muestreo: 3s	0.672
Periodo de muestreo: 4s	0.6019

Aplicando estos factores, se ajustaron las mediciones registradas por el exposímetro, a fin de reducir el sesgo sistemático identificado con respecto al equipo de referencia (SRM-3006). Posteriormente, se recalcularon las pruebas de normalidad y de concordancia para los valores corregidos, con el propósito de validar la efectividad del ajuste.

La tabla 39 presenta los resultados obtenidos tras la corrección. Se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad y se seleccionó la prueba de

concordancia t de Student para muestras emparejadas cuando se confirmó la normalidad.

Tabla 39

Pruebas estadísticas con la corrección aplicada para el servicio de LTE B13 (UL)

Facultad	Tiempo de muestreo	Shapiro-Wilk (W)	p-valor	Prueba de concordancia	Estadístico	p-valor
FIEE y FO	4	0.979	0.408	t-student	0	1
FCB y FLCH	3	0.957	0.046	t-student	0	1

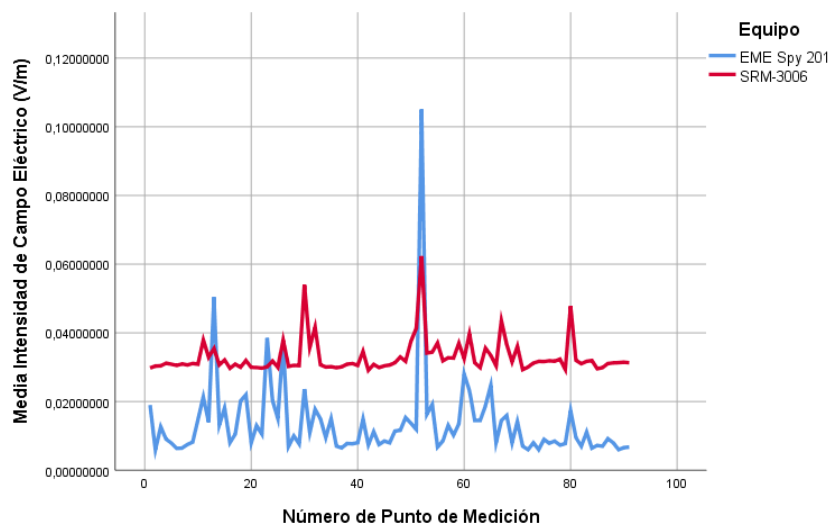
Nota. El gráfico presenta los acrónimos de las facultades: FIEE se refiere a la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, FO a la Facultad de Odontología, FCB a la Facultad de Ciencias Biológicas y FLCH a la Facultad de Letras y Ciencias Humanas.

Los resultados obtenidos tras la aplicación del factor de corrección evidencian que las diferencias entre las mediciones corregidas del exposímetro y las registradas por el equipo de referencia (SRM-3006) no presentan significancia estadística, de acuerdo con la prueba t de Student para muestras emparejadas. Este hallazgo respalda la validez del procedimiento de ajuste aplicado y confirma que la corrección contribuye a mejorar la concordancia entre ambos instrumentos de medición. La elección de esta prueba, adecuada para datos que cumplen con el supuesto de normalidad, garantiza la solidez del análisis estadístico y refuerza la coherencia metodológica del estudio dentro del marco de validación de instrumentos de medición en radiaciones no ionizantes.

- **Servicio de Long-Term Evolution Band 5 Uplink (LTE B5(UL)).** En la figura 45, se presentaron los valores obtenidos de las mediciones de radiaciones no ionizantes, realizadas por los equipos EME Spy 201 y SRM-3006, expresados en unidades de V /m.

Figura 45

Lecturas obtenidas del Servicio de LTE B5(UL)



El análisis comenzó con la realización de pruebas de normalidad, agrupando los datos por facultad. Los resultados de estas pruebas se presentan en las tablas 40 y 41, en las cuales también se incluyen la prueba de concordancia entre equipos y la correlación.

Tabla 40

Pruebas estadísticas para el servicio de LTE B5 (UL)

Facultad	Tiempo de muestreo	Shapiro-Wilk (W)	p-valor	Prueba de concordancia	Estadístico	p-valor
FIEE y FO	4	0.924	0.01	Wilcoxon	-5.444	0
FCB, FLCH y FIGMMG	3	0.994	0	Wilcoxon	-6.093	0

Nota. El gráfico presenta los acrónimos de las facultades: FIEE se refiere a la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, FO a la Facultad de Odontología, FCB a la Facultad de Ciencias Biológicas, FIGMMG a la Facultad de Ingeniería Geología, Minas, Metalurgia y Geográfica y FLCH a la Facultad de Letras y Ciencias Humanas.

Tabla 41*Pruebas de correlación para el servicio de LTE B5 (UL)*

Facultad	Tiempo de muestreo	Tipo de correlación	Correlación	p-valor
FIEE y FO	4	Spearman	0.347	0.028
FCB, FLCH y FIGMMG	3	Spearman	0.574	0

Nota. Consulte la Tabla 40 para las definiciones de los acrónimos.

El resultado de la prueba de normalidad Shapiro-Wilk indica que los datos en todas las facultades no siguen una distribución normal ($P > 0.05$). A partir de estos resultados, se realizaron prueba de concordancia entre equipos utilizando la prueba Wilcoxon. Estas pruebas indicaron existen diferencias significativas en las lecturas, sin embargo, se observa que la FIEE y FO tiene correlación positiva baja, en cambio las demás tienen correlación positiva moderada, lo que indica que las lecturas de los equipos tienden a variar de manera similar.

Con base en estos resultados, se optó por elaborar gráficos de Bland-Altman para evaluar e interpretar el sesgo sistemático de las lecturas de los equipos. En las figuras 46 y 47 se presentaron los gráficos de Bland-Altman para las lecturas de tiempo de muestreo de cuatro y tres segundos, respectivamente, donde se visualizó que las diferencias fueron predominantemente negativas. Esto indicó que el exposímetro EME SPy201 midió sistemáticamente menos que el SRM-3006. Además, se observó una tendencia ascendente, lo que sugirió que, a medida que aumentaba la intensidad del campo electromagnético, mayor era la diferencia entre el exposímetro EME SPy201 y el SRM-3006. Esto sugirió que el sesgo entre los equipos no era constante y aumentaba con niveles más altos de exposición.

Figura 46

Gráfico Bland-Altman para el servicio de LTE B5(UL) con tiempo de muestreo a 4 segundos

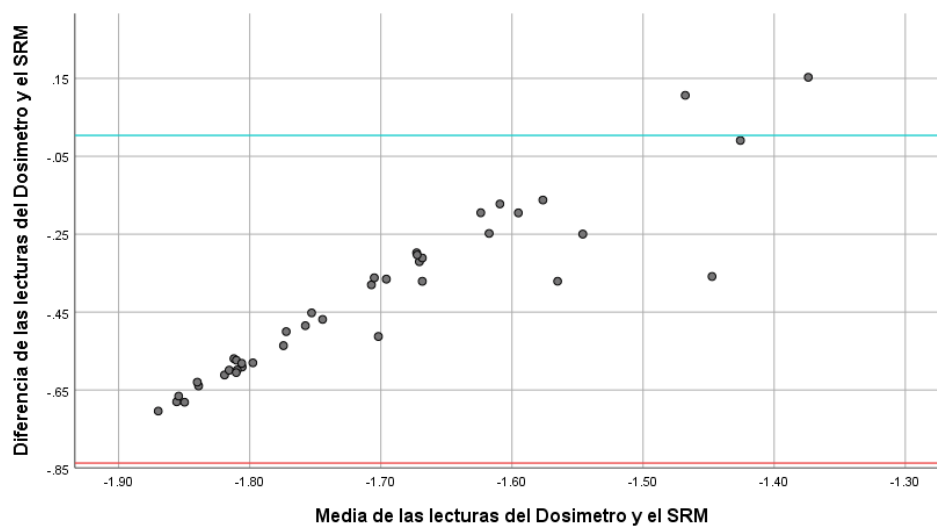
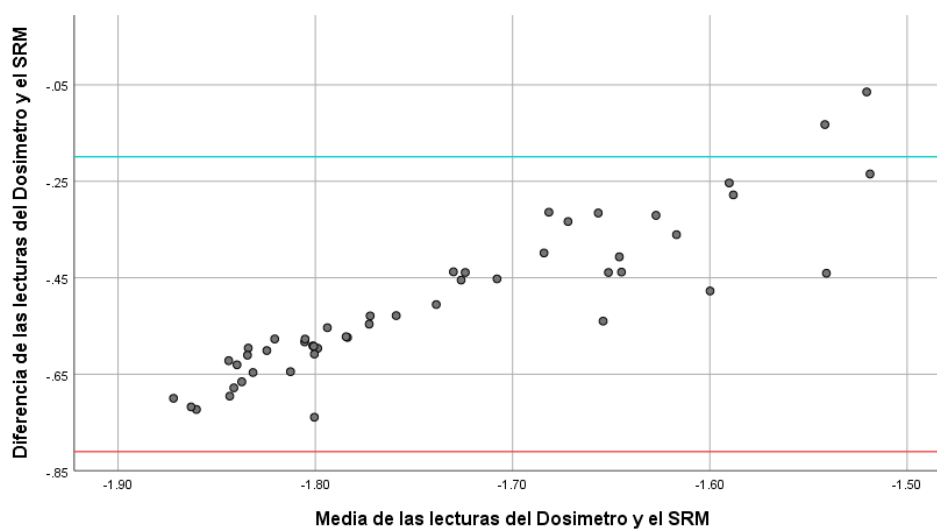
**Figura 47**

Gráfico Bland-Altman para el servicio de LTE B5(UL) con tiempo de muestreo a 3 segundos



Por ello, se aplicó el siguiente conjunto de factores de corrección:

Tabla 42*Factor de corrección LTE B5(UL)*

Configuración EME Spy201	Factor de corrección
Periodo de muestreo: 3s	0.3235
Periodo de muestreo: 4s	0.3828

Aplicando estos factores, se ajustaron las mediciones registradas por el exposímetro, a fin de reducir el sesgo sistemático identificado con respecto al equipo de referencia (SRM-3006). Posteriormente, se recalcularon las pruebas de normalidad y de concordancia para los valores corregidos, con el propósito de validar la efectividad del ajuste.

La tabla 43 presenta los resultados obtenidos tras la corrección. Se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad y la prueba de concordancia Wilcoxon cuando se confirmó la no normalidad.

Tabla 43*Pruebas estadísticas con la corrección aplicada para el servicio de LTE B5(UL)*

Facultad	Tiempo de muestreo	Shapiro-Wilk (W)	p-valor	Prueba de concordancia	Estadístico	p-valor
FIEE y FO	4	0.924	0.01	Wilcoxon	-0.656	0.572
FCB, FLCH y FIGMMG	3	0.889	0	Wilcoxon	-0.874	0.382

Nota. El gráfico presenta los acrónimos de las facultades: FIEE se refiere a la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, FO a la Facultad de Odontología, FCB a la Facultad de Ciencias Biológicas, FIGMMG a la Facultad de Ingeniería Geología, Minas, Metalurgia y Geográfica y FLCH a la Facultad de Letras y Ciencias Humanas.

Los resultados obtenidos tras la aplicación del factor de corrección muestran que las diferencias entre las mediciones corregidas del exposímetro y las del equipo de referencia (SRM-3006) no son estadísticamente significativas, según la prueba de

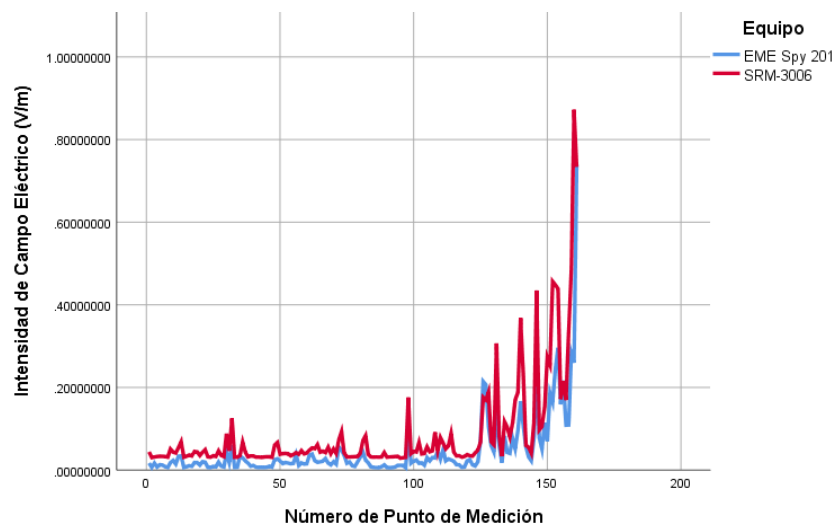
Wilcoxon para muestras relacionadas. Este resultado refuerza la validez del procedimiento de corrección implementado, al evidenciar una mejora en la concordancia entre ambos dispositivos de medición. El uso de esta prueba no paramétrica, adecuada cuando los datos no cumplen con el supuesto de normalidad, permite sostener que el ajuste realizado mantiene coherencia metodológica y fortalece la fiabilidad de los resultados dentro del contexto de estudios comparativos en radiaciones no ionizantes.

- **Servicio de Long-Term Evolution Band 5 Downlink (LTE B5(DL)).**

En la figura 48, se presentaron los valores obtenidos de las mediciones de radiaciones no ionizantes, realizadas por los equipos EME Spy 201 y SRM-3006, expresados en unidades de V/m.

Figura 48

Lecturas obtenidas del Servicio de LTE B5(DL)



El análisis comenzó con la realización de pruebas de normalidad, agrupando los datos por facultad. Los resultados de estas pruebas se presentan en las tablas 44 y 45, en las cuales también se incluyen la prueba de concordancia entre equipos y la correlación.

Tabla 44*Pruebas estadísticas para el servicio de LTE B5 (DL)*

Facultad	Tiempo de muestreo	Shapiro-Wilk (W)	p-valor	Prueba de concordancia	Estadístico	p-valor
FIEE y FO	4	0.941	0.006	Wilcoxon	-6.736	0
FCB, FLCH y FIGMMG	3	0.975	0.85	t-student	-14.858	0
FPSI y FII	2	0.922	0.238	t-student	-8.366	0

Nota. El gráfico presenta los acrónimos de las facultades: FIEE se refiere a la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, FO a la Facultad de Odontología, FCB a la Facultad de Ciencias Biológicas, FLCH a la Facultad de Letras y Ciencias Humanas, FIGMMG a la Facultad de Ingeniería Geología, Minas, Metalurgia y Geográfica, FII a la Facultad de Ingeniería Industrial y FPSI a la Facultad de Psicología,

Tabla 45*Pruebas de correlación para el servicio de LTE B5 (DL)*

Facultad	Tiempo de muestreo	Tipo de correlación	Correlación	p-valor
FIEE y FO	4	Spearman	0.876	0
FCB, FLCH y FIGMMG	3	Pearson	0.918	0
FPSI y FII	2	Pearson	0.828	0

Nota. Consulte la Tabla 30 para las definiciones de los acrónimos.

El resultado de la prueba de normalidad Shapiro-Wilk indicó que los datos en todas las facultades, con excepción de la FIEE y FO, seguían una distribución normal ($P > 0.05$). A partir de estos resultados, se realizaron pruebas de concordancia entre equipos utilizando la prueba de Wilcoxon o t-student, según correspondiera. Estas pruebas indicaron que existían diferencias significativas en las lecturas; sin embargo, se observó que todas las facultades presentaban una correlación fuerte y significativa, lo que indicaba que las lecturas de los equipos tendían a variar de manera similar.

Con base en estos resultados, se optó por elaborar gráficos de Bland-Altman para evaluar e interpretar el sesgo sistemático de las lecturas de los equipos. En las figuras 49, 50 y 51 se presentaron los gráficos de Bland-Altman para las lecturas de tiempo de muestreo de cuatro, tres y dos segundos, respectivamente, donde se visualizó que las diferencias eran predominantemente negativas. Esto indicó que el exposímetro EME SPy201 midió sistemáticamente menos que el SRM-3006. Además, se observará una tendencia ascendente, lo que sugiere que, a medida que aumentaba la intensidad del campo electromagnético, mayor era la diferencia entre el exposímetro EME SPy201 y el SRM-3006. Esto sugirió que el sesgo entre los equipos no era constante y aumentaba con niveles más altos de exposición.

Figura 49

Gráfico Bland-Altman para el servicio de LTE B5(DL) con tiempo de muestreo a 4 segundos

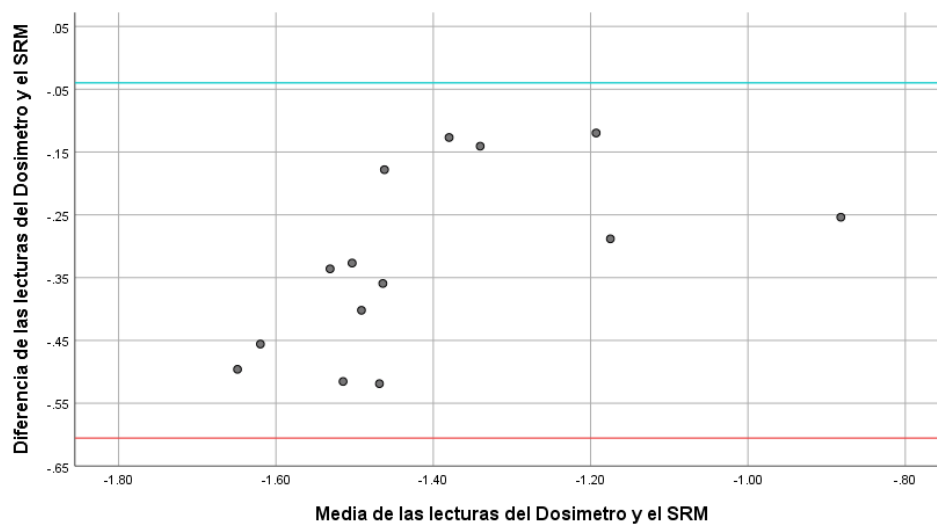


Figura 50

Gráfico Bland-Altman para el servicio de LTE B5(DL) con tiempo de muestreo a 3 segundos

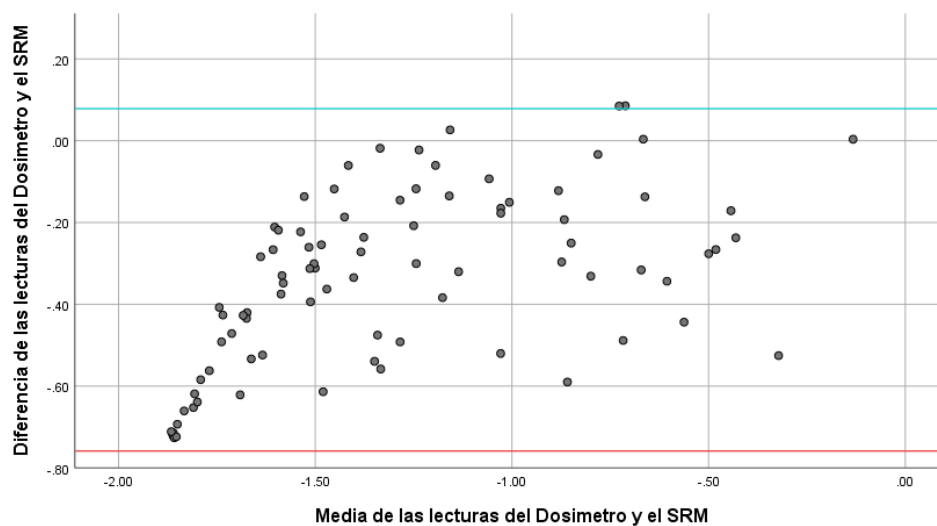
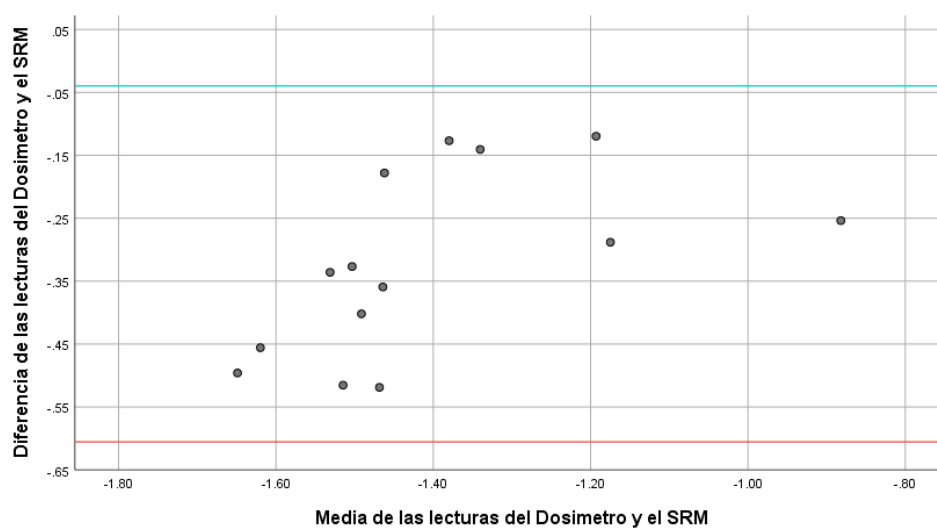
**Figura 51**

Gráfico Bland-Altman para el servicio de LTE B5(DL) con tiempo de muestreo a 2 segundos



Por ello, se aplicó el siguiente conjunto de factores de corrección:

Tabla 46*Factor de corrección LTE B5(DL)*

Configuración EME Spy201	Factor de corrección
Periodo de muestreo: 2s	0.4757
Periodo de muestreo: 3s	0.4569
Periodo de muestreo: 4s	0.3411

Aplicando estos factores, se ajustaron las mediciones registradas por el exposímetro, a fin de reducir el sesgo sistemático identificado con respecto al equipo de referencia (SRM-3006). Posteriormente, se recalcularon las pruebas de normalidad y de concordancia para los valores corregidos, con el propósito de validar la efectividad del ajuste.

La tabla 47 presenta los resultados obtenidos tras la corrección. Se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad y dependiendo de los resultados, se seleccionó la prueba de concordancia adecuada: t de Student para muestras emparejadas cuando se confirmó la normalidad, y Wilcoxon en caso contrario.

Tabla 47*Pruebas estadísticas con la corrección aplicada para el servicio de LTE B5(DL)*

Facultad	Tiempo de muestreo	Shapiro-Wilk (W)	p-valor	Prueba de concordancia	Estadístico	p-valor
FIEE y FO	4	0.941	0.006	Wilcoxon	-0.390	0.696
FCB, FLCH y FIGMMG	3	0.975	0.85	t-student	0	1
FPSI y FII	2	0.922	0.238	t-student	0	1

Nota. El gráfico presenta los acrónimos de las facultades: FIEE se refiere a la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, FO a la Facultad de Odontología, FCB a la Facultad de Ciencias Biológicas, FLCH a la Facultad de Letras y Ciencias Humanas, FIGMMG a la Facultad de Ingeniería Geología,

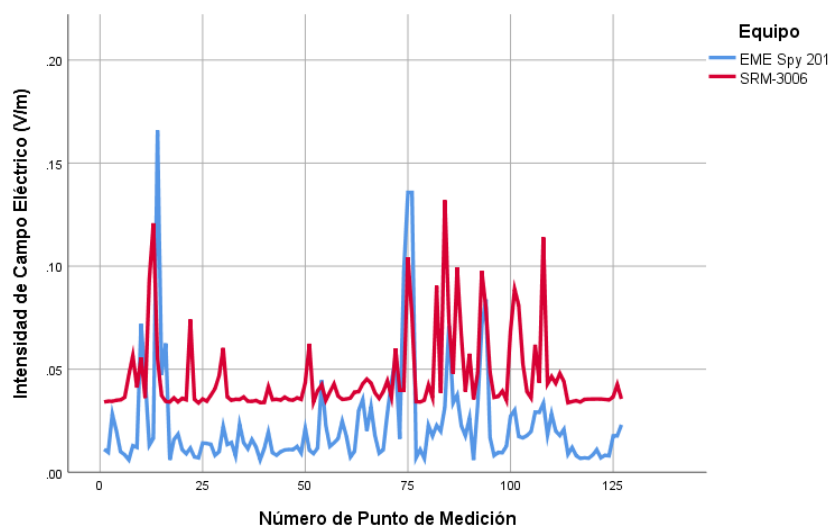
Minas, Metalurgia y Geográfica, FII a la Facultad de Ingeniería Industrial y FPSI a la Facultad de Psicología,

Los resultados muestran que, una vez aplicada la corrección, las diferencias entre las mediciones corregidas del exposímetro y las del equipo de referencia (SRM-3006) no son estadísticamente significativas, lo cual respalda la validez de los factores aplicados. Asimismo, la adecuación de la prueba estadística según la distribución de los datos permite concluir que el proceso de ajuste mejora sustancialmente la concordancia entre los dispositivos comparados, manteniendo consistencia con los criterios metodológicos aceptados en estudios de validación instrumental.

- **Servicio de Long-Term Evolution Band 4 Uplink (LTE B4(UL)).** En la figura 52, se presentaron los valores obtenidos de las mediciones de radiaciones no ionizantes, realizadas por los equipos EME Spy 201 y SRM-3006, expresados en unidades de V/m.

Figura 52

Lecturas obtenidas del Servicio de LTE B4(UL)



El análisis comenzó con la realización de pruebas de normalidad, agrupando los datos por facultad. Los resultados de estas pruebas se presentan en las tablas 48 y

49, en las cuales también se incluyen la prueba de concordancia entre equipos y la correlación.

Tabla 48

Pruebas estadísticas para el servicio de LTE B4 (UL)

Facultad	Tiempo de muestreo	Shapiro-Wilk (W)	p-valor	Prueba de concordancia	Estadístico	p-valor
FIEE y FO	4	0.899	0.001	Wilcoxon	-5.715	0
FCB, FLCH y FIGMMG	3	0.958	0.014	Wilcoxon	-7.139	0

Nota. El gráfico presenta los acrónimos de las facultades: FIEE se refiere a la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, FO a la Facultad de Odontología, FCB a la Facultad de Ciencias Biológicas, FIGMMG a la Facultad de Ingeniería Geología, Minas, Metalurgia y Geográfica y FLCH a la Facultad de Letras y Ciencias Humanas.

Tabla 49

Pruebas de correlación para el servicio de LTE B4 (UL)

Facultad	Tiempo de muestreo	Tipo de correlación	Correlación	p-valor
FIEE y FO	4	Spearman	0.22	0.129
FCB, FLCH y FIGMMG	3	Spearman	0.741	0

Nota. Consulte la Tabla 48 para las definiciones de los acrónimos.

El resultado de la prueba de normalidad Shapiro-Wilk indicó que los datos en todas las facultades no seguían una distribución normal ($P > 0.05$). A partir de estos resultados, se realizaron pruebas de concordancia entre equipos utilizando la prueba de Wilcoxon. Estas pruebas indicaron que existían diferencias significativas en las lecturas; sin embargo, se observó que la FCB, FLCH y FIGMMG presentaban una correlación positiva fuerte ($P < 0.05$), lo que indicaba que las lecturas de los equipos tendían a variar de manera similar.

Con base en estos resultados, se optó por elaborar gráficos de Bland-Altman para evaluar e interpretar el sesgo sistemático de las lecturas de los equipos. En las figuras 53 y 54 se presentaron los gráficos de Bland-Altman para las lecturas de tiempo de muestreo de cuatro y tres segundos, respectivamente, donde se visualizó que las diferencias eran predominantemente negativas. Esto indicó que el exposímetro EME SPy201 midió sistemáticamente menos que el SRM-3006. Además, se observará una tendencia ascendente, lo que sugiere que, a medida que aumentaba la intensidad del campo electromagnético, mayor era la diferencia entre el exposímetro EME SPy201 y el SRM-3006. Esto sugirió que el sesgo entre los equipos no era constante y aumentaba con niveles más altos de exposición.

Figura 53

Gráfico Bland-Altman para el servicio LTE B4(UL) con tiempo de muestreo a 4 segundos

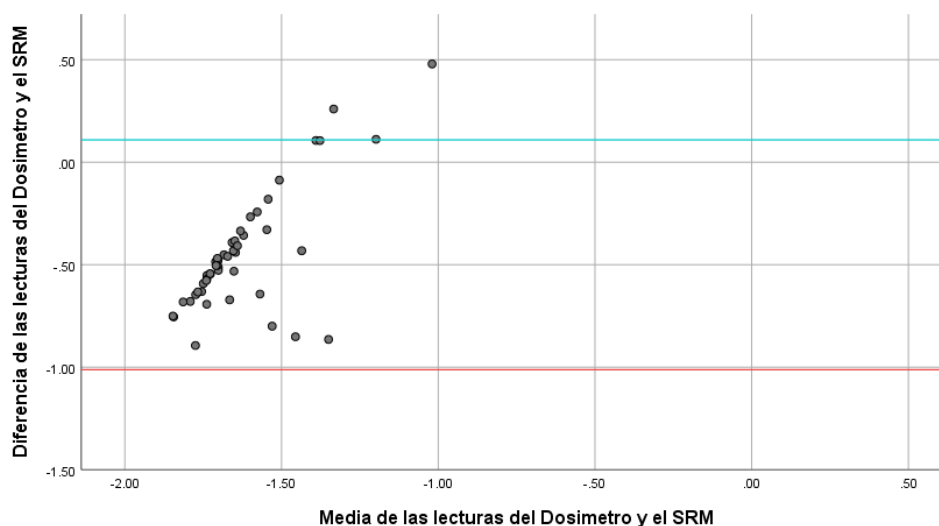
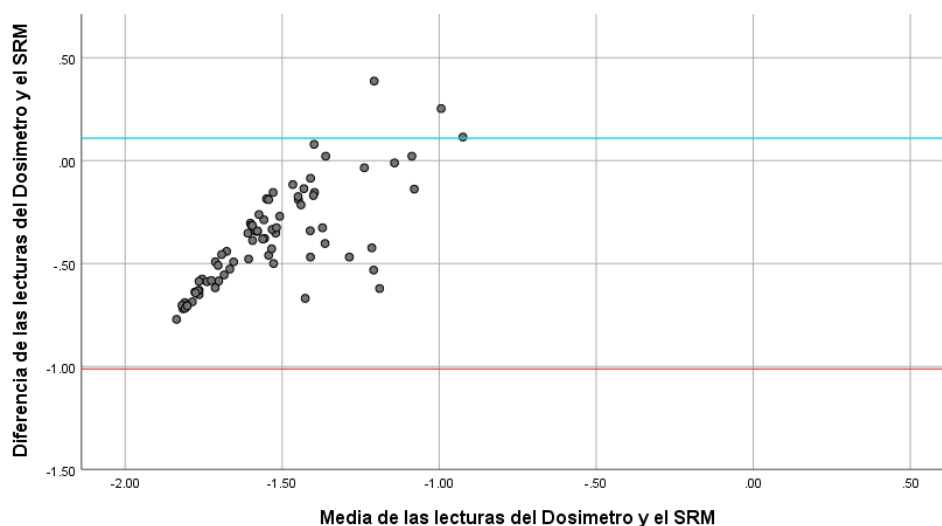


Figura 54

Gráfico Bland-Altman para el servicio LTE B4(UL) con tiempo de muestreo a 3 segundos



Por ello, se aplicó el siguiente conjunto de factores de corrección:

Tabla 50

Factor de corrección LTE B4(UL)

Configuración EME Spy201	Factor de corrección
Periodo de muestreo: 3s	0.4184
Periodo de muestreo: 4s	0.3536

Aplicando estos factores, se ajustaron las mediciones registradas por el exposímetro, a fin de reducir el sesgo sistemático identificado con respecto al equipo de referencia (SRM-3006). Posteriormente, se recalcularon las pruebas de normalidad y de concordancia para los valores corregidos, con el propósito de validar la efectividad del ajuste.

La tabla 51 presenta los resultados obtenidos tras la corrección. Se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad y la prueba de concordancia Wilcoxon cuando se confirmó la no normalidad.

Tabla 51

Pruebas estadísticas con la corrección aplicada para el servicio de LTE B4(UL)

Facultad	Tiempo de muestreo	Shapiro-Wilk (W)	p-valor	Prueba de concordancia	Estadístico	p-valor
FIEE y FO	4	0.899	0.001	Wilcoxon	-1.109	0.267
FCB, FLCH y FIGMMG	3	0.958	0.014	Wilcoxon	-0.528	0.597

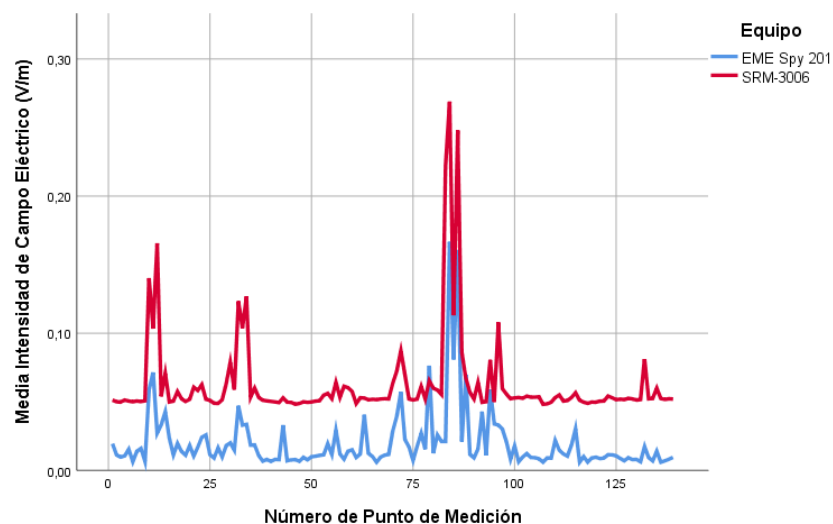
Nota. El gráfico presenta los acrónimos de las facultades: FIEE se refiere a la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, FO a la Facultad de Odontología, FCB a la Facultad de Ciencias Biológicas, FIGMMG a la Facultad de Ingeniería Geología, Minas, Metalurgia y Geográfica y FLCH a la Facultad de Letras y Ciencias Humanas.

Los resultados obtenidos tras la aplicación del factor de corrección muestran que las diferencias entre las mediciones corregidas del exposímetro y las del equipo de referencia (SRM-3006) no son estadísticamente significativas, según la prueba de Wilcoxon para muestras relacionadas. Este resultado refuerza la validez del procedimiento de corrección implementado, al evidenciar una mejora en la concordancia entre ambos dispositivos de medición. El uso de esta prueba no paramétrica, adecuada cuando los datos no cumplen con el supuesto de normalidad, permite sostener que el ajuste realizado mantiene coherencia metodológica y fortalece la fiabilidad de los resultados dentro del contexto de estudios comparativos en radiaciones no ionizantes.

- **Servicios Long-Term Evolution Band 2 Uplink (LTE B2(UL)).** En la figura 55, se presentaron los valores obtenidos de las mediciones de radiaciones no ionizantes, realizadas por los equipos EME Spy 201 y SRM-3006, expresados en unidades de V/m.

Figura 55

Lecturas obtenidas del Servicio LTE B2(UL)



El análisis comenzó con la realización de pruebas de normalidad, agrupando los datos por facultad. Los resultados de estas pruebas se presentan en las tablas 52 y 53, en las cuales también se incluyen la prueba de concordancia entre equipos y la correlación.

Tabla 52

Pruebas estadísticas para el servicio LTE B2 (UL)

Facultad	Tiempo de muestreo	Shapiro-Wilk (W)	p-valor	Prueba de concordancia	Estadístico	p-valor
FIEE y FO	4	0.958	0.067	t-student	-22.269	0
FCB, FLCH y FIGMMG	3	0.925	0	Wilcoxon	-7.653	0

Nota. El gráfico presenta los acrónimos de las facultades: FIEE se refiere a la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, FO a la Facultad de Odontología, FCB a la Facultad de Ciencias Biológicas, FIGMMG a la Facultad de Ingeniería Geología, Minas, Metalurgia y Geográfica y FLCH a la Facultad de Letras y Ciencias Humanas.

Tabla 53*Pruebas de correlación para el servicio LTE B2 (UL)*

Facultad	Tiempo de muestreo	Tipo de correlación	Correlación	p-valor
FIEE y FO	4	Pearson	0.712	0
FCB, FLCH y FIGMMG	3	Spearman	0.644	0

Nota. Consulte la Tabla 34 para las definiciones de los acrónimos.

El resultado de la prueba de normalidad Shapiro-Wilk indicó que los datos en la FIEE y FO seguían una distribución normal, mientras que, en la FCB, FLCH y FIGMMG no lo hacían. A partir de estos resultados, se realizaron pruebas de concordancia entre equipos utilizando la prueba t-student o Wilcoxon, según correspondiera. Estas pruebas indicaron que existían diferencias significativas en las lecturas; sin embargo, se observó que todas las facultades presentaban una correlación positiva fuerte ($P < 0.05$), lo que indicaba que las lecturas de los equipos tendían a variar de manera similar.

Con base en estos resultados, se optó por elaborar gráficos de Bland-Altman para evaluar e interpretar el sesgo sistemático de las lecturas de los equipos. En las figuras 56 y 57 se presentaron los gráficos de Bland-Altman para las lecturas de tiempo de muestreo de cuatro y tres segundos, respectivamente, donde se visualizó que las diferencias eran predominantemente negativas. Esto indicó que el exposímetro EME SPy201 midió sistemáticamente menos que el SRM-3006. Además, se observará una tendencia ascendente, lo que sugiere que, a medida que aumentaba la intensidad del campo electromagnético, mayor era la diferencia entre el exposímetro EME SPy201 y el SRM-3006. Esto sugirió que el sesgo entre los equipos no era constante y aumentaba con niveles más altos de exposición.

Figura 56

Gráfico Bland-Altman para el servicio LTE B2(UL) con tiempo de muestreo a 4 segundos

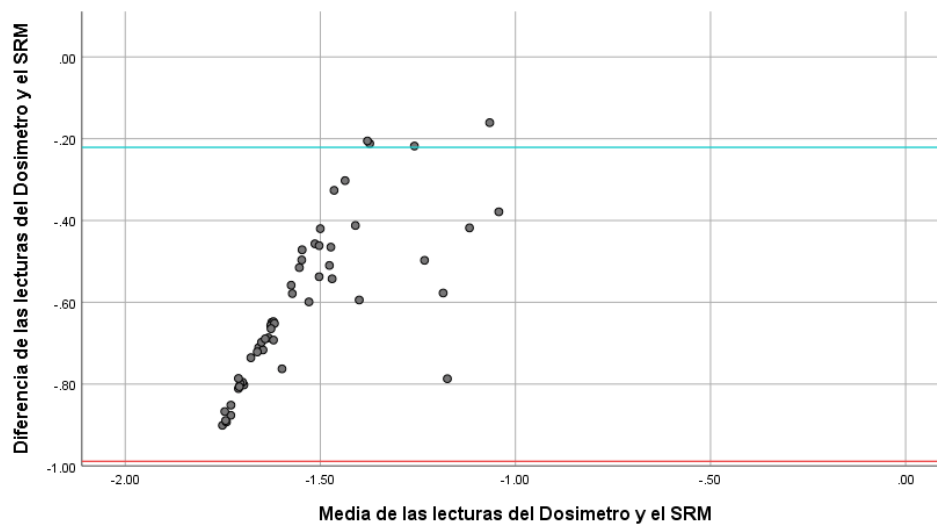
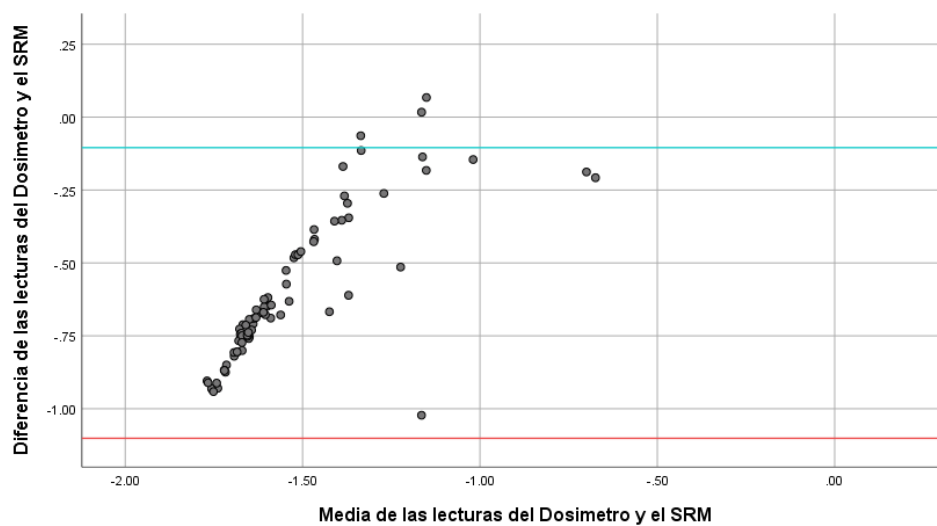
**Figura 57**

Gráfico Bland-Altman para el servicio LTE B2(UL) con tiempo de muestreo a 3 segundos



Por ello, se aplicó el siguiente conjunto de factores de corrección:

Tabla 54*Factor de corrección LTE B2(UL)*

Configuración EME Spy201	Factor de corrección
Periodo de muestreo: 3s	0.2494
Periodo de muestreo: 4s	0.2483

Aplicando estos factores, se ajustaron las mediciones registradas por el exposímetro, a fin de reducir el sesgo sistemático identificado con respecto al equipo de referencia (SRM-3006). Posteriormente, se recalcularon las pruebas de normalidad y de concordancia para los valores corregidos, con el propósito de validar la efectividad del ajuste.

La tabla 55 presenta los resultados obtenidos tras la corrección. Se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad y la prueba de concordancia Wilcoxon cuando se confirmó la no normalidad.

Tabla 55*Pruebas estadísticas con la corrección aplicada para el servicio de LTE B2(UL)*

Facultad	Tiempo de muestreo	Shapiro-Wilk (W)	p-valor	Prueba de concordancia	Estadístico	p-valor
FIEE y FO	4	0.958	0.067	Wilcoxon	-0.301	0.764
FCB, FLCH y FIGMMG	3	0.924	0.000	Wilcoxon	-0.7	0.484

Nota. El gráfico presenta los acrónimos de las facultades: FIEE se refiere a la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, FO a la Facultad de Odontología, FCB a la Facultad de Ciencias Biológicas, FIGMMG a la Facultad de Ingeniería Geología, Minas, Metalurgia y Geográfica y FLCH a la Facultad de Letras y Ciencias Humanas.

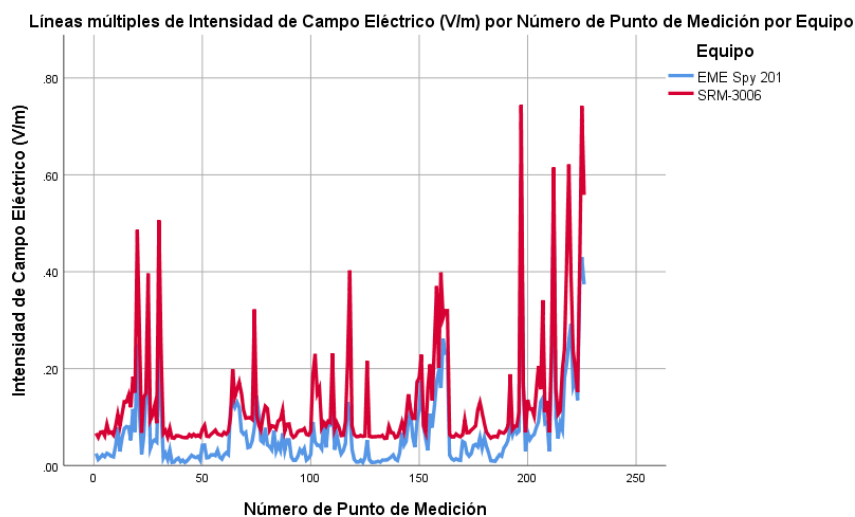
Los resultados obtenidos tras la aplicación del factor de corrección muestran que las diferencias entre las mediciones corregidas del exposímetro y las del equipo de referencia (SRM-3006) no son estadísticamente significativas, según la prueba de

Wilcoxon para muestras relacionadas. Este resultado refuerza la validez del procedimiento de corrección implementado, al evidenciar una mejora en la concordancia entre ambos dispositivos de medición. El uso de esta prueba no paramétrica, adecuada cuando los datos no cumplen con el supuesto de normalidad, permite sostener que el ajuste realizado mantiene coherencia metodológica y fortalece la fiabilidad de los resultados dentro del contexto de estudios comparativos en radiaciones no ionizantes.

- **Servicio Long-Term Evolution Band 2 Downlink (LTE B2(DL)).** En la figura 58, se presentaron los valores obtenidos de las mediciones de radiaciones no ionizantes, realizadas por los equipos EME Spy 201 y SRM-3006, expresados en unidades de V/m.

Figura 58

Lecturas obtenidas del Servicio LTE B2(DL)



El análisis comenzó realizando pruebas de normalidad agrupándolos por facultad. El resultado de estas pruebas se presenta en la tabla 56 y 57, en la cual también se agrega la prueba de concordancia entre equipos y la correlación.

Tabla 56*Pruebas estadísticas para el servicio LTE B2(DL)*

Facultad	Tiempo de muestreo	Shapiro-Wilk (W)	p-valor	Prueba de concordancia	Estadístico	p-valor
FIEE y FO	4	0.98	0.41	t-student	-18.77	0
FCB, FLCH y FIGMMG	3	0.943	0.001	Wilcoxon	-8.23	0
FPSI, FEDU y FII	2	0.979	0.242	t-student	-12.087	0

Nota. El gráfico presenta los acrónimos de las facultades: FIEE se refiere a la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, FO a la Facultad de Odontología, FPSI a la Facultad de Psicología, FEDU a Facultad de Educación, FII a la Facultad de Ingeniería Industrial, FCB a la Facultad de Ciencias Biológicas, FIGMMG a la Facultad de Ingeniería Geología, Minas, Metalurgia y Geográfica y FLCH a la Facultad de Letras y Ciencias Humanas.

Tabla 57*Pruebas de correlación para el servicio LTE B2(DL)*

Facultad	Tiempo de muestreo	Tipo de correlación	Correlación	p-valor
FIEE y FO	4	Pearson	0.918	0
FCB, FLCH y FIGMMG	3	Spearman	0.94	0
FPSI, FEDU y FII	2	Pearson	0.778	0.287

Nota. Consulte la Tabla 56 para las definiciones de los acrónimos.

El resultado de la prueba de normalidad Shapiro-Wilk indicó que los datos en todas las facultades, con excepción de la FCB, FLCH y FIGMMG, seguían una distribución normal ($P > 0.05$). A partir de estos resultados, se realizaron pruebas de concordancia entre equipos utilizando la prueba t-student o Wilcoxon, según correspondiera. Estas pruebas indicaron que existían diferencias significativas en las lecturas; sin embargo, se observó que todas las facultades presentaban una correlación

positiva fuerte ($P < 0.05$), lo que indicaba que las lecturas de los equipos tendían a variar de manera similar.

Con base en estos resultados, se optó por elaborar gráficos de Bland-Altman para evaluar e interpretar el sesgo sistemático de las lecturas de los equipos. En las figuras 59, 60 y 61 se presentaron los gráficos de Bland-Altman para las lecturas de tiempo de muestreo de cuatro, tres y dos segundos, respectivamente, donde se visualizó que las diferencias eran predominantemente negativas. Esto indicó que el exposímetro EME SPy201 midió sistemáticamente menos que el SRM-3006. Además, se observará una tendencia ascendente, lo que sugiere que, a medida que aumentaba la intensidad del campo electromagnético, mayor era la diferencia entre el exposímetro EME SPy201 y el SRM-3006. Esto sugirió que el sesgo entre los equipos no era constante y aumentaba con niveles más altos de exposición.

Figura 59

Gráfico Bland-Altman para el servicio LTE B2(DL) con tiempo de muestreo a 4 segundos

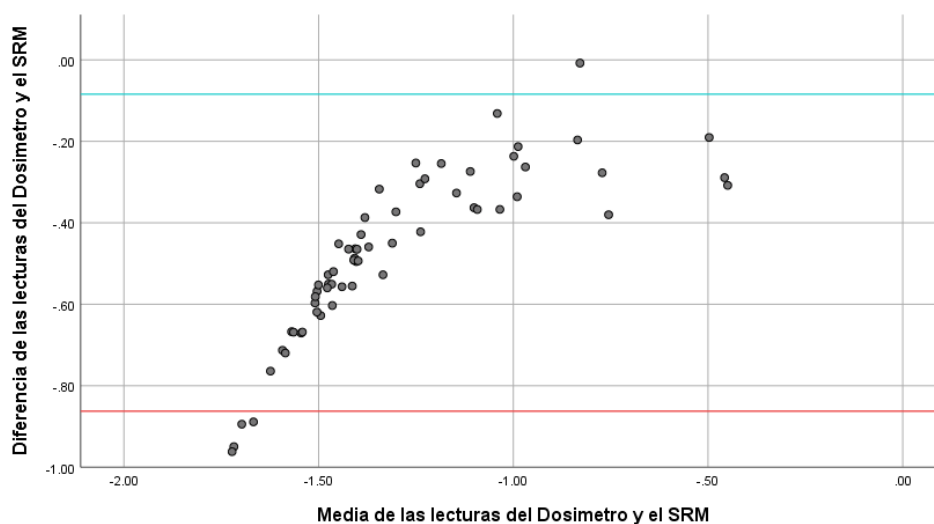


Figura 60

Gráfico Bland-Altman para el servicio LTE B2(DL) con tiempo de muestreo a 3 segundos

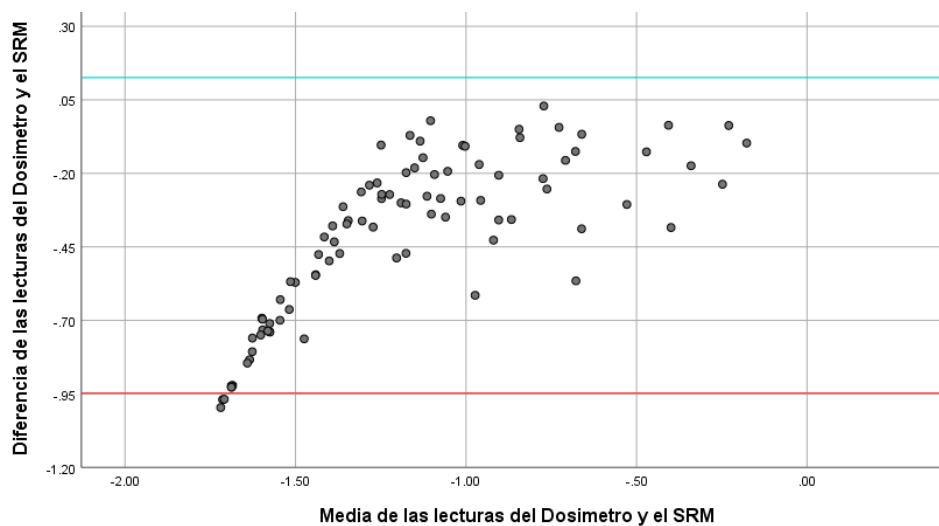
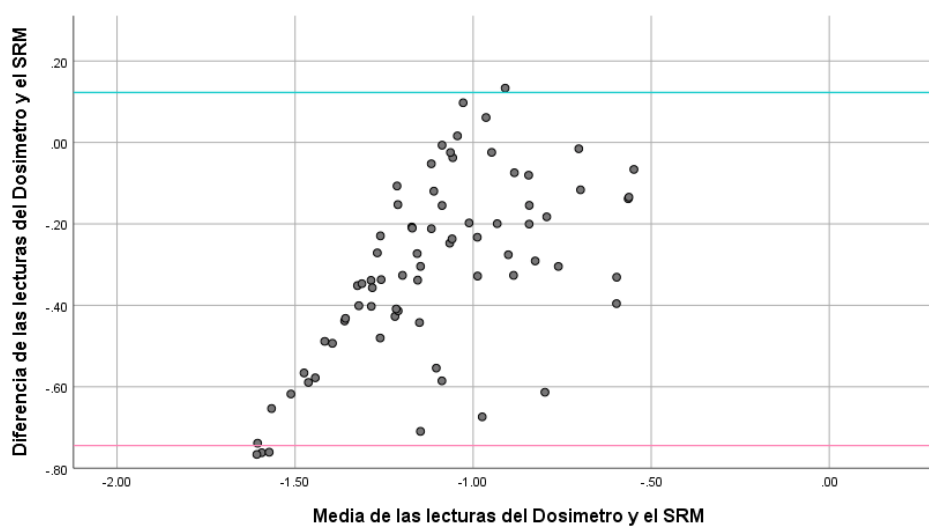
**Figura 61**

Gráfico Bland-Altman para el servicio LTE B2(DL) con tiempo de muestreo a 2 segundos



Por ello, se aplicó el siguiente conjunto de factores de corrección:

Tabla 58*Factor de corrección LTE B2(DL)*

Configuración EME Spy201	Factor de corrección
Periodo de muestreo: 2s	0.4889
Periodo de muestreo: 3s	0.3884
Periodo de muestreo: 4s	0.3363

Aplicando estos factores, se ajustaron las mediciones registradas por el exposímetro, a fin de reducir el sesgo sistemático identificado con respecto al equipo de referencia (SRM-3006). Posteriormente, se recalcularon las pruebas de normalidad y de concordancia para los valores corregidos, con el propósito de validar la efectividad del ajuste.

La tabla 59 presenta los resultados obtenidos tras la corrección. Se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad y dependiendo de los resultados, se seleccionó la prueba de concordancia adecuada: t de Student para muestras emparejadas cuando se confirmó la normalidad, y Wilcoxon en caso contrario.

Tabla 59*Pruebas estadísticas con la corrección aplicada para el servicio de LTE B2(DL)*

Facultad	Tiempo de muestreo	Shapiro-Wilk (W)	p-valor	Prueba de concordancia	Estadístico	p-valor
FIEE y FO	4	0.980	0.408	t-student	0	1
FCB, FLCH y FIGMMG	3	0.943	0.001	Wilcoxon	-0.368	0.713
FPSI, FEDU y FII	2	0.979	0.242	t-student	0	1

Nota. El gráfico presenta los acrónimos de las facultades: FIEE se refiere a la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, FO a la Facultad de Odontología, FPSI a la Facultad de Psicología, FEDU a Facultad de Educación, FII a la Facultad de Ingeniería Industrial, FCB a la Facultad de Ciencias

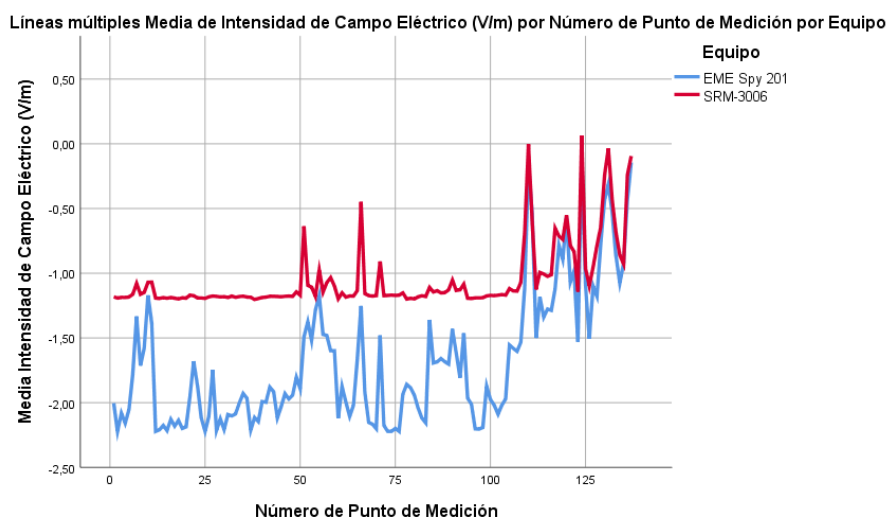
Biológicas, FIGMMG a la Facultad de Ingeniería Geología, Minas, Metalurgia y Geográfica y FLCH a la Facultad de Letras y Ciencias Humanas.

Los resultados muestran que, una vez aplicada la corrección, las diferencias entre las mediciones corregidas del exposímetro y las del equipo de referencia (SRM-3006) no son estadísticamente significativas, lo cual respalda la validez de los factores aplicados. Asimismo, la adecuación de la prueba estadística según la distribución de los datos permite concluir que el proceso de ajuste mejora sustancialmente la concordancia entre los dispositivos comparados, manteniendo consistencia con los criterios metodológicos aceptados en estudios de validación instrumental.

- **Servicio Long-Term Evolution Band 4 Downlink (LTE B4(DL)).** En la figura 62, se presentaron los valores obtenidos de las mediciones de radiaciones no ionizantes, realizadas por los equipos EME Spy 201 y SRM-3006, expresados en unidades de V/m.

Figura 62

Lecturas obtenidas del Servicio LTE B4(DL)



El análisis comenzó con la realización de pruebas de normalidad, agrupando los datos por facultad. Los resultados de estas pruebas se presentan en las tablas 38 y

39, en las cuales también se incluyen la prueba de concordancia entre equipos y la correlación.

Tabla 60

Pruebas estadísticas para el servicio LTE B4 (DL)

Facultad	Tiempo de muestreo	Shapiro-Wilk (W)	p-valor	Prueba de concordancia	Estadístico	p-valor
FIEE y FO	4	0.842	0	Wilcoxon	-6.031	0
FCB, FLCH y FIGMMG	3	0.944	0.002	Wilcoxon	-7.697	0

Nota. El gráfico presenta los acrónimos de las facultades: FIEE se refiere a la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, FO a la Facultad de Odontología, FCB a la Facultad de Ciencias Biológicas, FIGMMG a la Facultad de Ingeniería Geología, Minas, Metalurgia y Geográfica y FLCH a la Facultad de Letras y Ciencias Humanas.

Tabla 61

Pruebas de correlación para el servicio LTE B4 (DL)

Facultad	Tiempo de muestreo	Tipo de correlación	Correlación	p-valor
FIEE y FO	4	Spearman	0.762	0
FCB, FLCH y FIGMMG	3	Spearman	0.914	0

Nota. Consulte la Tabla 38 para las definiciones de los acrónimos.

El resultado de la prueba de normalidad Shapiro-Wilk indicó que los datos en todas las facultades no seguían una distribución normal ($P > 0.05$). A partir de estos resultados, se realizaron pruebas de concordancia entre equipos utilizando la prueba de Wilcoxon. Esta prueba indicó que existían diferencias significativas en las lecturas; sin embargo, se observó que todas las facultades presentaban una correlación positiva fuerte ($P < 0.05$), lo que indicaba que las lecturas de los equipos tendían a variar de manera similar.

Con base en estos resultados, se optó por elaborar gráficos de Bland-Altman para evaluar e interpretar el sesgo sistemático de las lecturas de los equipos. En las figuras 63 y 64 se presentaron los gráficos de Bland-Altman para las lecturas de tiempo de muestreo de cuatro y tres segundos, respectivamente, donde se visualizó que las diferencias fueron predominantemente negativas. Esto indicó que el exposímetro EME Spy201 midió sistemáticamente menos que el SRM-3006. Además, se observó una tendencia ascendente, lo que sugirió que, a medida que aumentaba la intensidad del campo electromagnético, mayor era la diferencia entre el exposímetro EME Spy201 y el SRM-3006. Esto indicó que el sesgo entre los equipos no fue constante y aumentó con niveles más altos de exposición.

Figura 63

Gráfico Bland-Altman para el servicio LTE B4(DL) con tiempo de muestreo a 4 segundos

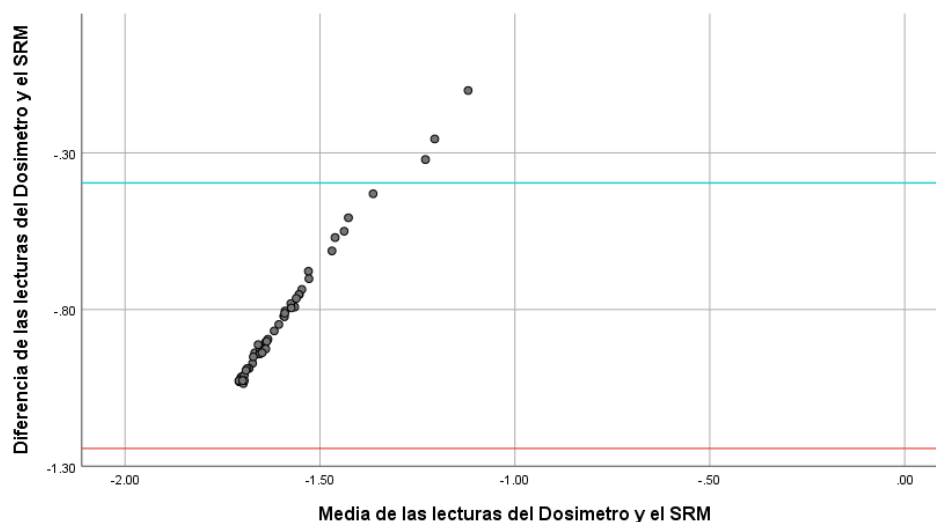
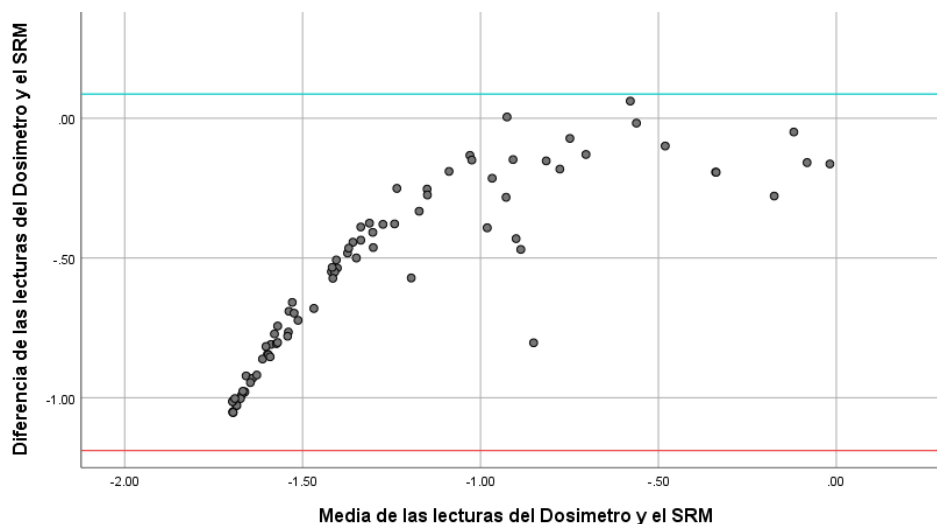


Figura 64

Gráfico Bland-Altman para el servicio LTE B4(DL) con tiempo de muestreo a 3 segundos



Por ello, se aplicó el siguiente conjunto de factores de corrección:

Tabla 62

Factor de corrección LTE B4(DL)

Configuración EME Spy201	Factor de corrección
Periodo de muestreo: 3s	0.2811
Periodo de muestreo: 4s	0.1515

Aplicando estos factores, se ajustaron las mediciones registradas por el exposímetro, a fin de reducir el sesgo sistemático identificado con respecto al equipo de referencia (SRM-3006). Posteriormente, se recalcularon las pruebas de normalidad y de concordancia para los valores corregidos, con el propósito de validar la efectividad del ajuste.

La tabla 63 presenta los resultados obtenidos tras la corrección. Se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad y la prueba de concordancia Wilcoxon cuando se confirmó la no normalidad.

Tabla 63*Pruebas estadísticas con la corrección aplicada para el servicio de LTE B4(DL)*

Facultad	Tiempo de muestreo	Shapiro-Wilk (W)	p-valor	Prueba de concordancia	Estadístico	P-valor
FIEE y FO	4	0.842	0.000	Wilcoxon	-1.190	0.234
FCB, FLCH y FIGMMG	3	0.944	0.002	Wilcoxon	-0.059	0.953

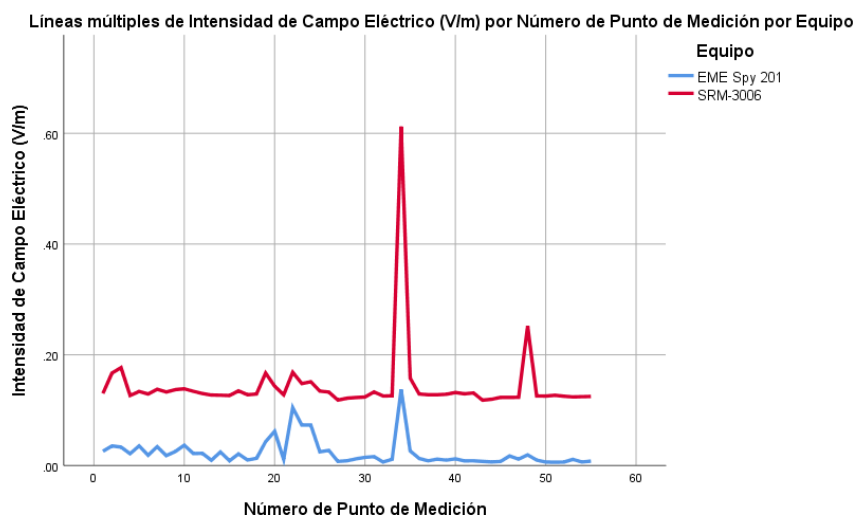
Nota. El gráfico presenta los acrónimos de las facultades: FIEE se refiere a la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, FO a la Facultad de Odontología, FCB a la Facultad de Ciencias Biológicas, FIGMMG a la Facultad de Ingeniería Geología, Minas, Metalurgia y Geográfica y FLCH a la Facultad de Letras y Ciencias Humanas.

Los resultados obtenidos tras la aplicación del factor de corrección muestran que las diferencias entre las mediciones corregidas del exposímetro y las del equipo de referencia (SRM-3006) no son estadísticamente significativas, según la prueba de Wilcoxon para muestras relacionadas. Este resultado refuerza la validez del procedimiento de corrección implementado, al evidenciar una mejora en la concordancia entre ambos dispositivos de medición. El uso de esta prueba no paramétrica, adecuada cuando los datos no cumplen con el supuesto de normalidad, permite sostener que el ajuste realizado mantiene coherencia metodológica y fortalece la fiabilidad de los resultados dentro del contexto de estudios comparativos en radiaciones no ionizantes.

- **Servicio Wireless Fidelity (Wi-Fi 2G).** En la figura 65, se presentaron los valores obtenidos de las mediciones de radiaciones no ionizantes, realizadas por los equipos EME Spy 201 y SRM-3006, expresados en unidades de V/m.

Figura 65

Lecturas obtenidas del Servicio Wi-Fi 2G



El análisis comenzó con la realización de pruebas de normalidad, agrupando los datos por facultad. Los resultados de estas pruebas se presentan en las tablas 64 y 65, en las cuales también se incluyen la prueba de concordancia entre equipos y la correlación.

Tabla 64

Pruebas estadísticas para el servicio Wi-Fi 2G

Facultad	Tiempo de muestreo	Shapiro-Wilk (W)	p-valor	Prueba de concordancia	Estadístico	p-valor
FIGMMG	3	0.981	0.878	T student	-49.292	0
FEDU y FII	2	0.956	0.323	T student	-14.746	0

Nota. El gráfico presenta los acrónimos de las facultades: FEDU a Facultad de Educación, FII a la Facultad de Ingeniería Industrial y FIGMMG a la Facultad de Ingeniería Geología, Minas, Metalurgia y Geográfica.

Tabla 65

Pruebas de correlación para el servicio Wi-Fi 2G

Facultad	Tiempo de muestreo	Tipo de correlación	Correlación	p-valor
FIGMMG	3	Pearson	0.466	0.013
FEDU y FII	2	Pearson	0.702	0

Nota. Consulte la Tabla 64 para las definiciones de los acrónimos.

El resultado de la prueba de normalidad Shapiro-Wilk indicó que los datos en todas las facultades seguían una distribución normal ($P > 0.05$). A partir de estos resultados, se realizaron pruebas de concordancia entre equipos utilizando la prueba t-student. Estas pruebas indicaron que existían diferencias significativas en las lecturas; sin embargo, se observó que todas las facultades presentaban una correlación positiva fuerte ($P < 0.05$), lo que indicaba que las lecturas de los equipos tendían a variar de manera similar.

Con base en estos resultados, se optó por elaborar gráficos de Bland-Altman para evaluar e interpretar el sesgo sistemático de las lecturas de los equipos. En las figuras 66 y 67 se presentaron los gráficos de Bland-Altman para las lecturas de tiempo de muestreo de tres y dos segundos, respectivamente, donde se visualizó que las diferencias fueron predominantemente negativas. Esto indicó que el exposímetro EME Spy201 midió sistemáticamente menos que el SRM-3006. Además, se observó una tendencia ascendente, lo que sugirió que, a medida que aumentaba la intensidad del campo electromagnético, mayor era la diferencia entre el exposímetro EME Spy201 y el SRM-3006. Esto indicó que el sesgo entre los equipos no fue constante y aumentó con niveles más altos de exposición.

Figura 66

Gráfico Bland-Altman para el servicio Wi-Fi 2G con tiempo de muestreo a 3 segundos

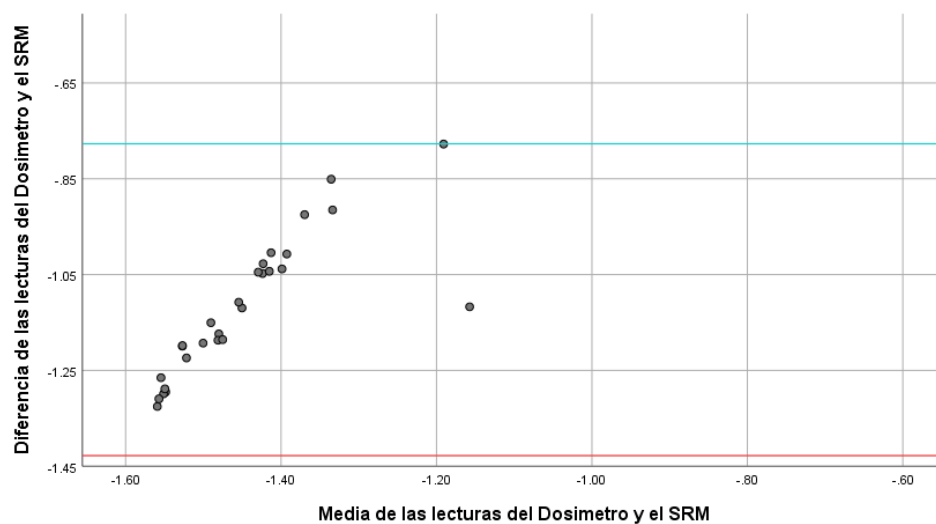
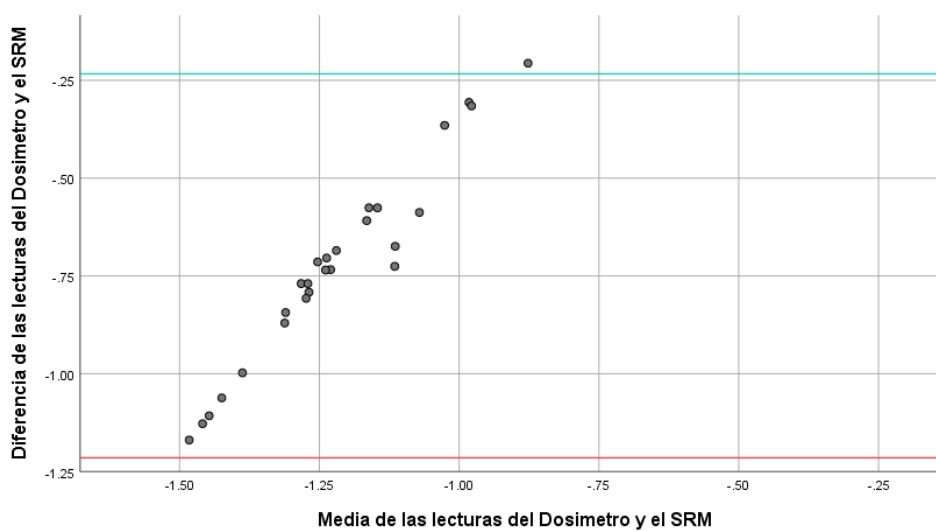
**Figura 67**

Gráfico Bland-Altman para el servicio Wi-Fi 2G con tiempo de muestreo a 2 segundos



Por ello, se aplicó el siguiente conjunto de factores de corrección:

Tabla 66*Factor de corrección Wi-Fi 2G*

Configuración EME Spy201	Factor de corrección
Periodo de muestreo: 3s	0.1887
Periodo de muestreo: 4s	0.079

Aplicando estos factores, se ajustaron las mediciones registradas por el exposímetro, a fin de reducir el sesgo sistemático identificado con respecto al equipo de referencia (SRM-3006). Posteriormente, se recalcularon las pruebas de normalidad y de concordancia para los valores corregidos, con el propósito de validar la efectividad del ajuste.

La tabla 67 presenta los resultados obtenidos tras la corrección. Se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad y la prueba de concordancia Wilcoxon cuando se confirmó la no normalidad.

Tabla 67*Pruebas estadísticas con la corrección aplicada para el servicio de Wi-Fi 2G*

Facultad	Tiempo de muestreo	Shapiro-Wilk (W)	p-valor	Prueba de concordancia	Estadístico	p-valor
FIGMMG	3	0.935	0.075	T student	0	1
FEDU y FII	2	0.956	0.323	T student	0	1

Nota. El gráfico presenta los acrónimos de las facultades: FEDU a Facultad de Educación, FII a la Facultad de Ingeniería Industrial y FIGMMG a la Facultad de Ingeniería Geología, Minas, Metalurgia y Geográfica.

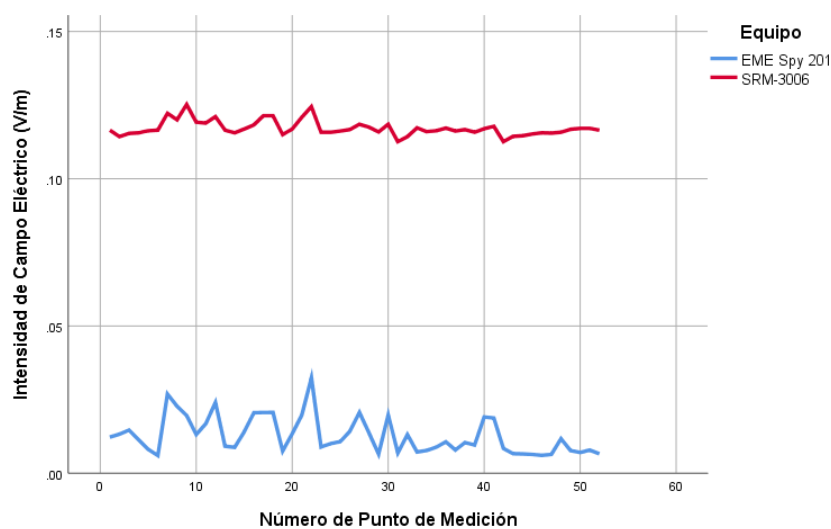
Los resultados obtenidos tras la aplicación del factor de corrección muestran que las diferencias entre las mediciones corregidas del exposímetro y las del equipo de referencia (SRM-3006) no son estadísticamente significativas, según la prueba de Wilcoxon para muestras relacionadas. Este resultado refuerza la validez del procedimiento de corrección implementado, al evidenciar una mejora en la

concordancia entre ambos dispositivos de medición. El uso de esta prueba no paramétrica, adecuada cuando los datos no cumplen con el supuesto de normalidad, permite sostener que el ajuste realizado mantiene coherencia metodológica y fortalece la fiabilidad de los resultados dentro del contexto de estudios comparativos en radiaciones no ionizantes.

- **Servicio Long-Term Evolution Band 7 Downlink (LTE B7(DL)).** En la figura 68, se presentaron los valores obtenidos de las mediciones de radiaciones no ionizantes, realizadas por los equipos EME Spy 201 y SRM-3006, expresados en unidades de V/m.

Figura 68

Lecturas obtenidas del Servicio LTE B7(DL)



El análisis comenzó con la realización de pruebas de normalidad, agrupando los datos por facultad. Los resultados de estas pruebas se presentan en las tablas 68 y 69, en las cuales también se incluyen la prueba de concordancia entre equipos y la correlación.

Tabla 68*Pruebas estadísticas para el servicio de LTE B7(DL)*

Facultad	Tiempo de muestreo	Shapiro-Wilk (W)	p-valor	Prueba de concordancia	Estadístico	p-valor
FIEE y FO	4	0.942	0.14	T student	-37.833	0

Nota. El gráfico presenta los acrónimos de las facultades: FIEE se refiere a la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, FO a la Facultad de Odontología,

Tabla 69*Pruebas de correlación para el servicio de LTE B7(DL)*

Facultad	Tiempo de muestreo	Tipo de correlación	Correlación	p-valor
FIEE y FO	4	Spearman	0.747	0

Nota. Consulte la Tabla 42 para las definiciones de los acrónimos.

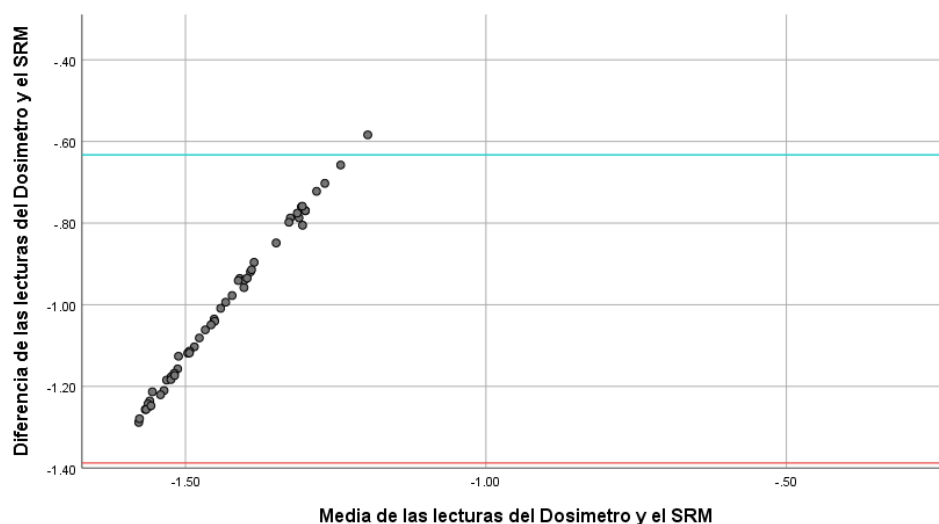
El resultado de la prueba de normalidad Shapiro-Wilk indicó que los datos de las facultades de la FIEE y FO seguían una distribución normal ($P > 0.05$). A partir de estos resultados, se realizaron pruebas de concordancia entre equipos utilizando la prueba t-student. Esta prueba indicó que existían diferencias significativas en las lecturas; sin embargo, se observó que las facultades presentaban una correlación positiva fuerte ($P < 0.05$), lo que indicaba que las lecturas de los equipos tendían a variar de manera similar.

Con base en estos resultados, se optó por elaborar gráficos de Bland-Altman para evaluar e interpretar el sesgo sistemático de las lecturas de los equipos. En la figura 69, se presentó el gráfico de Bland-Altman para las lecturas de tiempo de muestreo de cuatro segundos, donde se visualizó que las diferencias fueron predominantemente negativas. Esto indicó que el exposímetro EME Spy201 midió sistemáticamente menos que el SRM-3006. Además, se observó una tendencia ascendente, lo que sugirió que, a medida que aumentaba la intensidad del campo

electromagnético, mayor era la diferencia entre el exposímetro EME Spy201 y el SRM-3006. Asimismo, se observó una tendencia lineal clara, lo que indicó que la diferencia entre los dos dispositivos cambió de manera predecible a medida que aumentaba la media de las mediciones.

Figura 69

Gráfico Bland-Altman para el servicio de LTE B7(DL) con tiempo de muestreo a 4 segundos



Por ello, se aplicó el siguiente conjunto de factores de corrección:

Tabla 70

Factor de corrección LTE B7(DL)

Configuración EME Spy201	Factor de corrección
Periodo de muestreo: 4s	0.079

Aplicando estos factores, se ajustaron las mediciones registradas por el exposímetro, a fin de reducir el sesgo sistemático identificado con respecto al equipo de referencia (SRM-3006). Posteriormente, se recalcularon las pruebas de normalidad y de concordancia para los valores corregidos, con el propósito de validar la efectividad del ajuste.

La tabla 71 presenta los resultados obtenidos tras la corrección. Se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad y se seleccionó la prueba de concordancia t de Student para muestras emparejadas cuando se confirmó la normalidad.

Tabla 71

Pruebas estadísticas con la corrección aplicada para el servicio de LTE B7(DL)

Facultad	Tiempo de muestreo	Shapiro-Wilk (W)	p-valor	Prueba de concordancia	Estadístico	p-valor
FIEE y FO	4	0.942	0.14	T student	0	1

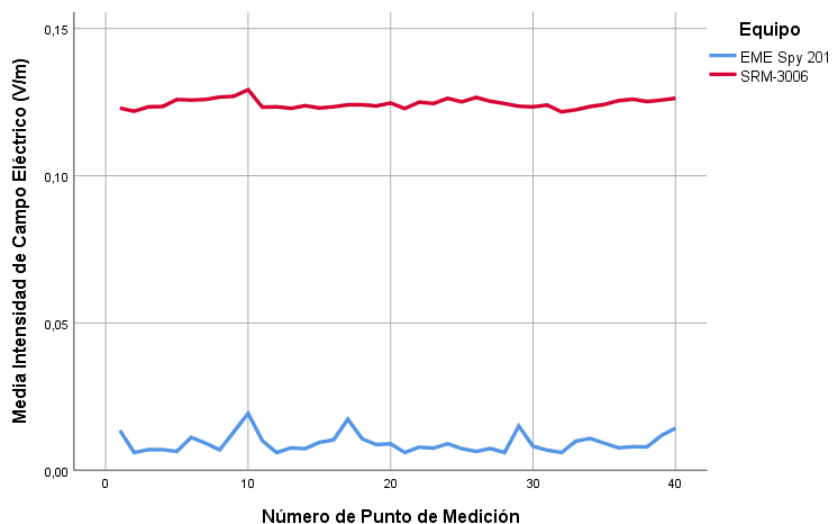
Nota. El gráfico presenta los acrónimos de las facultades: FIEE se refiere a la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, FO a la Facultad de Odontología,

Los resultados obtenidos tras la aplicación del factor de corrección evidencian que las diferencias entre las mediciones corregidas del exposímetro y las registradas por el equipo de referencia (SRM-3006) no presentan significancia estadística, de acuerdo con la prueba t de Student para muestras emparejadas. Este hallazgo respalda la validez del procedimiento de ajuste aplicado y confirma que la corrección contribuye a mejorar la concordancia entre ambos instrumentos de medición. La elección de esta prueba, adecuada para datos que cumplen con el supuesto de normalidad, garantiza la solidez del análisis estadístico y refuerza la coherencia metodológica del estudio dentro del marco de validación de instrumentos de medición en radiaciones no ionizantes.

- **Servicio de Long-Term Evolution Band 40 (LTE B40).** En la figura 70, se presentaron los valores obtenidos de las mediciones de radiaciones no ionizantes, realizadas por los equipos EME Spy 201 y SRM-3006, expresados en unidades de V/m.

Figura 70

Lecturas obtenidas del Servicio de LTE B40



El análisis comenzó con la realización de pruebas de normalidad, agrupando los datos por facultad. Los resultados de estas pruebas se presentan en las tablas 72 y 73, en las cuales también se incluyen la prueba de concordancia entre equipos y la correlación.

Tabla 72

Pruebas estadísticas para el servicio de LTE B40

Facultad	Tiempo de muestreo	Shapiro-Wilk (W)	p-valor	Prueba de concordancia	Estadístico	p-valor
FIEE y FO	4	0.93	0.016	Wilcoxon	-5.511	0

Nota. El gráfico presenta los acrónimos de las facultades: FIEE se refiere a la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica y FO a la Facultad de Odontología.

Tabla 73

Pruebas de correlación para el servicio de LTE B40

Facultad	Tiempo de muestreo	Tipo de correlación	Correlación	p-valor
FIEE y FO	4	Spearman	0.198	0.22

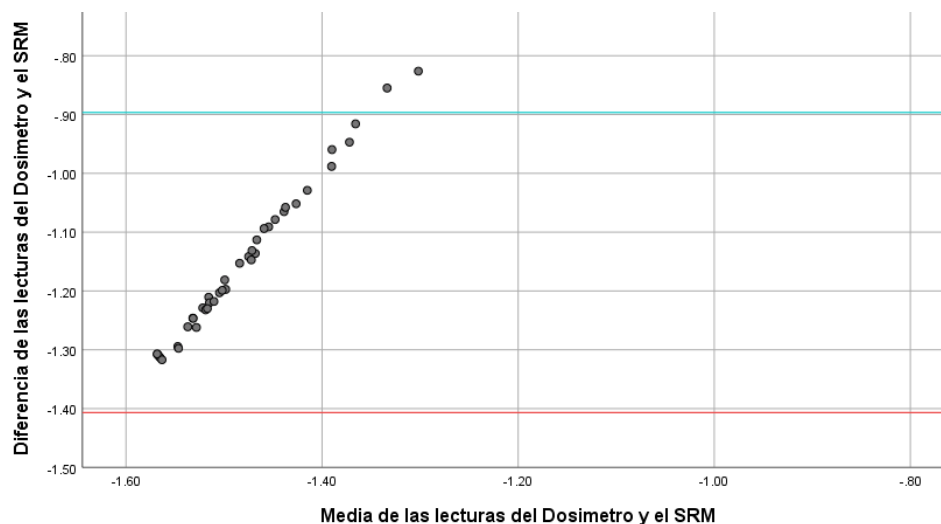
Nota. Consulte la Tabla 44 para las definiciones de los acrónimos.

El resultado de la prueba de normalidad Shapiro-Wilk indicó que los datos en las facultades de la FIEE y FO no seguían una distribución normal ($P > 0.05$). A partir de estos resultados, se realizaron pruebas de concordancia entre equipos utilizando la prueba de Wilcoxon. Estas pruebas indicaron que existían diferencias significativas en las lecturas; sin embargo, se observó que todas las facultades presentaban una correlación positiva fuerte ($P < 0.05$), lo que indicaba que las lecturas de los equipos tendían a variar de manera similar.

Con base en estos resultados, se optó por elaborar gráficos de Bland-Altman para evaluar e interpretar el sesgo sistemático de las lecturas de los equipos. En la figura 71, se presentó el gráfico de Bland-Altman para las lecturas de tiempo de muestreo de cuatro segundos, donde se visualizó que las diferencias fueron predominantemente negativas. Esto indicó que el exposímetro EME Spy201 midió sistemáticamente menos que el SRM-3006. Además, se observó una tendencia ascendente, lo que sugirió que, a medida que aumentaba la intensidad del campo electromagnético, mayor era la diferencia entre el exposímetro EME Spy201 y el SRM-3006. Asimismo, se observó una tendencia lineal clara, lo que indicó que la diferencia entre los dos dispositivos cambió de manera predecible a medida que aumentaba la media de las mediciones.

Figura 71

Gráfico Bland-Altman para el servicio LTE B40 con tiempo de muestreo a 4 segundos



Por ello, se aplicó el siguiente conjunto de factores de corrección:

Tabla 74

Factor de corrección LTE B40

Configuración EME Spy201	Factor de corrección
Periodo de muestreo: 4s	0.0705

Aplicando estos factores, se ajustaron las mediciones registradas por el exposímetro, a fin de reducir el sesgo sistemático identificado con respecto al equipo de referencia (SRM-3006). Posteriormente, se recalcularon las pruebas de normalidad y de concordancia para los valores corregidos, con el propósito de validar la efectividad del ajuste.

La tabla 75 presenta los resultados obtenidos tras la corrección. Se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad y se seleccionó la prueba de concordancia t de Student para muestras emparejadas cuando se confirmó la normalidad.

Tabla 75*Pruebas estadísticas con la corrección aplicada para el servicio de LTE B40*

Facultad	Tiempo de muestreo	Shapiro-Wilk (W)	p-valor	Prueba de concordancia	Estadístico	p-valor
FIEE y FO	4	0.930	0.016	Wilcoxon	0.444	0.657

Nota. El gráfico presenta los acrónimos de las facultades: FIEE se refiere a la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, FO a la Facultad de Odontología,

Los resultados obtenidos tras la aplicación del factor de corrección evidencian que las diferencias entre las mediciones corregidas del exposímetro y las registradas por el equipo de referencia (SRM-3006) no presentan significancia estadística, de acuerdo con la prueba t de Student para muestras emparejadas. Este hallazgo respalda la validez del procedimiento de ajuste aplicado y confirma que la corrección contribuye a mejorar la concordancia entre ambos instrumentos de medición. La elección de esta prueba, adecuada para datos que cumplen con el supuesto de normalidad, garantiza la solidez del análisis estadístico y refuerza la coherencia metodológica del estudio dentro del marco de validación de instrumentos de medición en radiaciones no ionizantes.

- **Análisis de tiempo de muestreo.** El equipo EME Spy 201 contó con la capacidad de ajustar el tiempo de muestreo entre 2, 3, 4 y 5 segundos. En este estudio, se evaluó la influencia de este parámetro, así como el tipo de servicios de telecomunicaciones, sobre los resultados obtenidos. Para ello, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de dos factores, con el objetivo de determinar si estas variables afectaron significativamente las mediciones realizadas, como se presentó en la tabla 46. Además, se buscó identificar posibles interacciones entre el tiempo de muestreo y el tipo de servicio, con el propósito de comprender mejor cómo estos factores influyeron conjuntamente en la precisión de las lecturas. Los resultados obtenidos

permitieron establecer recomendaciones para optimizar el uso del equipo en diferentes entornos de mediciones.

Tabla 76

Prueba de varianza

Pruebas de efectos inter-sujetos								
Variable dependiente: Razón logarítmica								
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.	Eta parcial al cuadrado	Parámetro sin centralidad	Potencia observada ^b
Modelo	82,14 ^a	35,00	2,35	52,25	,00	,55	1828,65	1,00
corregido								
Intersección	83,01	1,00	83,01	1848,04	,00	,55	1848,04	1,00
Servicio	63,89	15,00	4,26	94,81	,00	,49	1422,22	1,00
Muestreo	,26	2,00	,13	2,88	,06	,00	5,76	,56
Servicio *	4,10	18,00	,23	5,07	,00	,06	91,33	1,00
Muestreo								
Error	66,84	1488,00	,04					
Total	569,01	1524,00						
Total	148,98	1523,00						
corregido								

a. R al cuadrado = ,551 (R al cuadrado ajustada = ,541)

b. Se ha calculado utilizando alpha = .05

En la tabla 76 se muestra que tanto la variable de tiempo de muestreo y el tipo de servicio tienen un efecto significativo sobre la relación en dB, pero también la interacción de ambas variables, es decir, el tiempo de muestreo y tipo de servicio, también tienen un impacto notable. Esto implica que, al reducir el tiempo de muestreo, el EME Spy 201 puede recopilar un mayor número de mediciones, lo cual contribuye a una mayor precisión al evaluar una señal. Asimismo, factores como la tecnología utilizada en la señal influye en las lecturas del instrumento.

Se realizó una comparación múltiple de los tiempos de muestreo, como se observa en la tabla 77, donde se evidencia que no hay una diferencia significativa entre las mediciones del EME Spy201 entre los tiempos de muestreo de dos y tres segundos, a diferencia del tiempo de muestreo de cuatro segundos, que presenta una diferencia entre los grupos.

Tabla 77*Comparación múltiple del tiempo de muestreo del EME Spy201*

Comparaciones múltiples						
Variable dependiente: EME Spy201						
Bonferroni						
(I) Tiempo de muestreo	(J) Tiempo de muestreo	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
EME Spy 201 - 2 segundos	EME Spy 201 - 3 segundos	,007811	,005029	,361760	-,004241	,019863
	EME Spy 201 - 4 segundos	,030971	,005068	,000000	,018825	,043117
EME Spy 201 - 3 segundos	EME Spy 201 - 2 segundos	-,007811	,005029	,361760	-,019863	,004241
	EME Spy 201 - 4 segundos	,023160	,003316	,000000	,015214	,031107
EME Spy 201 - 4 segundos	EME Spy 201 - 2 segundos	-,030971	,005068	,000000	-,043117	-,018825
	EME Spy 201 - 3 segundos	-,023160	,003316	,000000	-,031107	-,015214

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

V. RESULTADOS

5.1 Presentación y análisis de los resultados

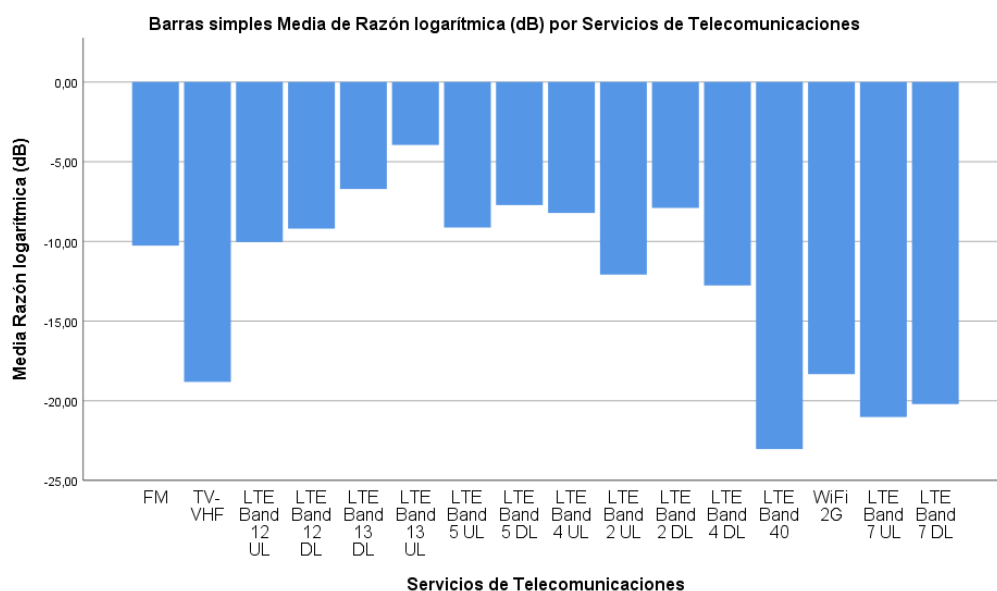
- **Relación en decibelios (dB)**

Sobre la relación en dB, los servicios que se encuentran sobre el límite de incertidumbre son los servicios de LTE Band 40, LTE Band 7 DL, TV-VHF y WIFI, los dos primeros con más de 20 dB como se mostraron en la figura 72, siendo estos los servicios no recomendados para el uso del equipo EME Spy 201.

Para los servicios TV -VHF y WIFI 2G, si bien se encuentran por encima del límite por aproximadamente 1 dB, este último, WIFI 2G, presenta un factor de correlación de 0.781.

Figura 72

Relación en dB de los equipos por servicio de telecomunicaciones.



Los demás servicios, incluyendo LTE Band 4 DL, LTE Band 2 UL, FM, LTE Band 5 UL, LTE Band 12 UL, LTE Band 12 DL, LTE Band 4 UL, LTE Band 2 DL, LTE Band 5 DL, LTE Band 13 DL, y LTE Band 13 UL, se encuentran dentro del rango de incertidumbre. Esto indica que las mediciones realizadas en estos servicios presentan resultados comparables.

- **Correlación**

Se realizó un análisis de correlación con el objetivo de evaluar la asociación entre los datos de los diferentes servicios, así como entre los diferentes tiempos de muestreo.

Tabla 78

Correlación de servicios

Servicios de Telecomunicaciones	Rango de Frecuencia	Coeficiente de correlación/R ²			
		4 segundos	3 segundos	2 segundos	Total
FM	88 - 108 MHz	0.725/0.744	0.768/0.59	0.825/0.68	0.847/0.717
TV-UHF	174 – 216 MHz	0.236/0.056			0.236/0.056
LTE Band 12 UL	698 - 716 MHz	0.347/0.121	0.003/0.003		0.051/0.0003
LTE Band 12 DL	728 - 746 MHz	0.266/0.224	0.443/0.196		0.294/0.215
LTE Band 13 DL	746 - 756 MHz	0.432/0.187	0.058/0.006		0.033/0.088
LTE Band 13 UL	777 - 787 MHz	0.885/0.79	0.834/0.7		0.846/0.727
LTE Band 5 UL	824 - 849 MHz	0.347/0.213	0.599/0.54		0.464/0.348
LTE Band 5 DL	869 - 894 MHz	0.876/0.684	0.918/0.843	0.828/0.686	0.914/0.836
LTE Band 4 UL	1.71 - 1.755 GHz	0.22/0.044	0.741/0.439		0.574/0.271
LTE Band 2 UL	1.85 - 1.91 GHz	0.712/0.507	0.644/0.480	0.399/0.159	0.656/0.482
LTE Band 2 DL	1.93 - 1.99 GHz	0.918/0.843	0.94/0.79	0.778/0.603	0.928/0.758
LTE Band 4 DL	2.11 - 2.155 GHz	0.762/0.772	0.914/0.819		0.836/0.803
WI-FI 2G	2.4 - 2.483 GHz		0.466/0.217	0.702/0.492	0.781/0.333
LTE Band 7 DL	2.62 – 2.69 GHz	0.747/0.557			0.747/0.557
LTE Band 40	2.30 – 2.40 GHz	0.198/0.097			0.198/0.097

En la tabla 78 se presenta una lista de los servicios junto con el índice de correlación obtenido. A continuación, se explicarán solo los servicios que están dentro del límite de incertidumbre.

- **Servicios con correlación alta:**

Correlación Fuerte ($R > 0.8$): LTE Band 2 DL, LTE Band 5 DL, FM, LTE Band 13 UL, LTE Band 4 DL. Estos servicios muestran una correlación fuerte, lo que indica una alta consistencia entre las mediciones en distintos tiempos de muestreo. El alto coeficiente de determinación (R^2) en estos casos sugiere que la variabilidad en las mediciones puede explicarse en gran medida por el modelo de regresión.

Correlación significativa ($0.6 < R \leq 0.8$): Wi-Fi 2G, LTE Band 7 DL y LTE Band 2

UL: Estos servicios presentan una correlación significativa. Esto indica que presenta una buena relación entre las mediciones. El coeficiente R^2 es alto, lo que indica que los datos se ajustan bien a la línea de regresión, reflejando una consistencia razonable en las mediciones.

Correlación moderada ($0.4 < R \leq 0.6$): LTE Band 4 (UL) y LTE Band 5 (UL): Los servicios en esta categoría muestran una correlación moderada. Aunque las mediciones no son tan consistentes como en los grupos con correlaciones más altas, el coeficiente R^2 sugiere que aún hay cierta predictibilidad y alineación con la línea de regresión.

Estos diez servicios tienen altos índices de correlación y, a su vez, un alto coeficiente de determinación (R^2), lo que indica qué tan cercanos están los datos de la línea de regresión, reflejando una consistencia sólida en las mediciones.

- ***Servicios con correlación baja:***

Correlación débil ($0.2 < R \leq 0.4$): LTE Band 12 DL y TV-UHF: Estos servicios tienen una correlación débil, lo que indica que las mediciones no son consistentes a través de los tiempos de muestreo.

Correlación nula ($R \leq 0.2$): LTE Band 40, LTE Band 12 UL y LTE Band 13 DL: Estos servicios muestran una correlación nula, sugiriendo que no hay relación significativa entre las mediciones tomadas en diferentes tiempos de muestreo.

Como se muestra en la Figura 73, se observa que ocho de los servicios analizados presentan una razón de 10 dB. Aunque los niveles de correlación son bajos para algunos de estos servicios, se llevó a cabo una revisión para determinar la diferencia en V/m (voltios por metro) con el fin de evaluar el impacto de la baja correlación en la medición de los campos electromagnéticos. Este análisis permite identificar la posible variabilidad en los resultados

debido a estas diferencias y resaltar la importancia de interpretar correctamente tanto los valores de relación en dB como los coeficientes de correlación.

Figura 73

Media de relación en dB y media de coeficiente de correlación por servicio de telecomunicaciones

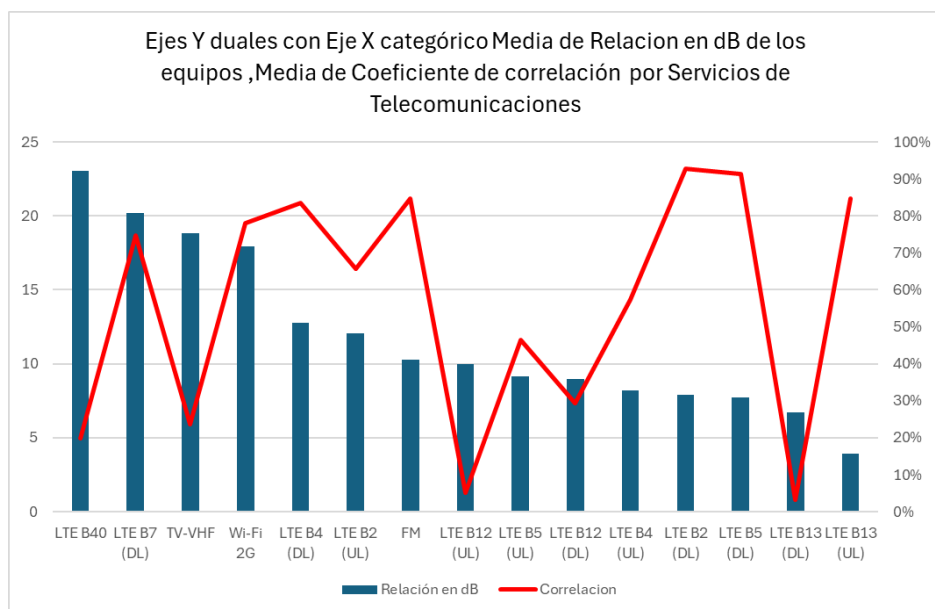
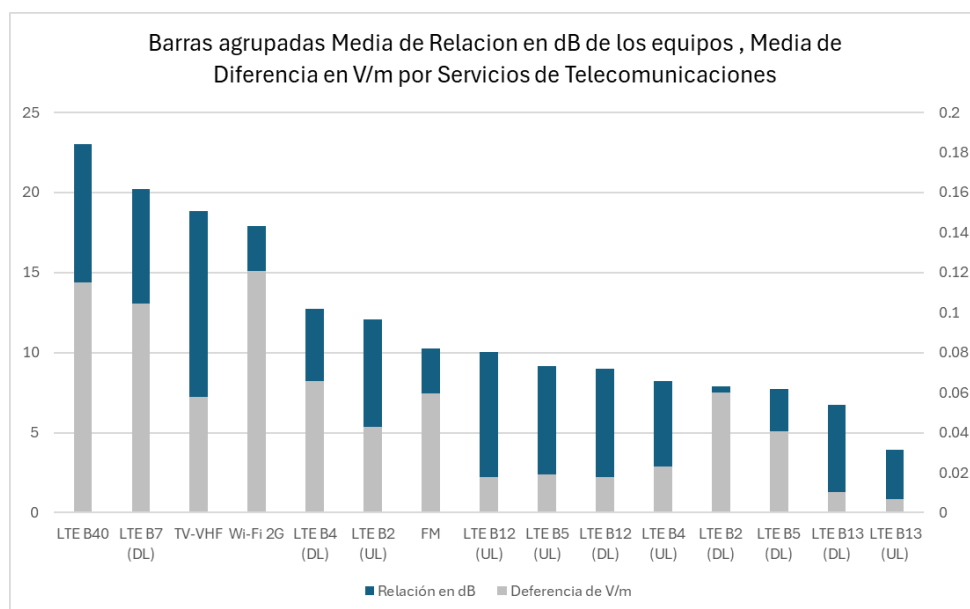


Figura 74

Media de relación en dB y media de diferencia en V/m por servicio de telecomunicaciones



Como se observa en la Figura 74, la diferencia en V/m entre los equipos para los servicios LTE Band 12 (UL), LTE Band 5 (UL), LTE Band 12 (DL), LTE Band 13 (DL) y LTE Band 13 (UL) es de aproximadamente 0.02 V/m, lo cual indica que las mediciones para estos servicios son similares y presentan una baja variabilidad. En contraste, los servicios LTE Band 40, LTE Band 7 (DL) y Wi-Fi 2G presentan una diferencia de aproximadamente 0.12 V/m, lo que refleja una variabilidad significativa en las mediciones.

- ***Factor de Corrección en las Mediciones***

Durante el análisis comparativo entre las lecturas obtenidas con el exposímetro EME Spy 201 y el equipo de referencia SRM-3006, se identificó un sesgo sistemático en la mayoría de los servicios de telecomunicaciones evaluados. Este sesgo, evidenciado mediante el análisis Bland-Altman en escala logarítmica, justificó la implementación de un factor de corrección multiplicativo para ajustar las mediciones registradas por el exposímetro.

El factor de corrección se determinó como la media logarítmica de las diferencias entre ambos equipos, transformada exponencialmente (base 10), lo que permitió corregir las mediciones del EME Spy 201 sin modificar las propiedades estadísticas subyacentes. Posteriormente, se aplicó una nueva prueba t de Student o Wilcoxon para muestras relacionadas sobre los valores corregidos, con el fin de validar estadísticamente la eficacia del ajuste.

En todos los casos analizados, el uso del factor de corrección redujo significativamente el sesgo entre equipos, mejorando la concordancia estadística. Este procedimiento permitió evaluar la viabilidad del uso del exposímetro en estudios de exposición, especialmente en contextos donde el SRM-3006 no sea operativamente viable por costos o portabilidad.

Tabla 79

Pruebas estadísticas con la corrección aplicada

Servicio	Periodo de muestreo	Factor de corrección	Prueba de Normalidad (W, p)	T-Student (t, p) / Wilcoxon (t, p)
FM	4	0.296	(0.983, 0.71)	(0, 0.667)
FM	3	0.290	(0.965, 0.436)	(0, 1)
FM	2	0.328	(0.939, 0.032)	(-0.43, 1)
TV-UHF	4	0.115	(0.849, 0)	(-0.57, 0.569)
LTE B12 (UL)	4	0.331	(0.912, 0.004)	(-1.161, 0.872)
LTE B12 (UL)	3	0.310	(0.959, 0.159)	(0, 1)
LTE B12 (DL)	4	0.357	(0.959, 0.159)	(0, 0.872)
LTE B12 (DL)	3	0.340	(0.912, 0.004)	(-1.161, 1)
LTE B13 (DL)	4	0.478	(0.947, 0.258)	(0, 1)
LTE B13 (DL)	3	0.447	(0.843, 0.001)	(-0.749, 0.454)
LTE B13 (UL)	4	0.602	(0.979, 0.408)	(0, 1)
LTE B13 (UL)	3	0.672	(0.957, 0.046)	(0, 1)
LTE B5 (UL)	4	0.383	(0.924, 0.01)	(-0.656, 0.572)
LTE B5 (UL)	3	0.324	(0.889, 0)	(-0.874, 0.382)
LTE B5 (DL)	4	0.341	(0.941, 0.006)	(-0.39, 0.696)
LTE B5 (DL)	3	0.457	(0.975, 0.85)	(0, 1)
LTE B5 (DL)	2	0.476	(0.922, 0.238)	(0, 1)
LTE B4 (UL)	4	0.354	(0.899, 0.001)	(-1.109, 0.267)
LTE B4 (UL)	3	0.418	(0.958, 0.014)	(-0.528, 0.597)
LTE B2 (UL)	4	0.248	(0.958, 0.067)	(-0.301, 0.764)
LTE B2 (UL)	3	0.249	(0.924, 0)	(-0.7, 0.484)
LTE B2 (DL)	4	0.336	(0.98, 0.408)	(0, 1)
LTE B2 (DL)	3	0.388	(0.943, 0.001)	(-0.368, 0.713)
LTE B2 (DL)	2	0.489	(0.979, 0.242)	(0, 1)
LTE B4 (DL)	4	0.152	(0.842, 0)	(-1.19, 0.234)
LTE B4 (DL)	3	0.281	(0.944, 0.002)	(-0.059, 0.953)
LTE B40	4	0.071	(0.93, 0.016)	(0.444, 0.657)
WIFI 2G	3	0.079	(0.935, 0.075)	(0, 1)
WIFI 2G	2	0.189	(0.956, 0.323)	(0, 1)
LTE B7 (DL)	4	0.098	(0.942, 0.14)	(0, 1)

- Tiempo de muestreo**

Los resultados del análisis ANOVA de medidas repetidas evidencian que la variable correspondiente al tiempo de muestreo ejerce un efecto significativo sobre las mediciones registradas por los equipos, como se presenta en la tabla 80.

Tabla 80

Pruebas multivariantes para el efecto del tiempo de muestreo sobre las mediciones.

		Pruebas multivariante ^a				
Efecto		Valor	F	gl de hipótesis	gl de error	Sig.
Muestreo	Traza de Pillai	,023	11,283 ^b	1,000	471,000	,001
	Lambda de Wilks	,977	11,283 ^b	1,000	471,000	,001
	Traza de Hotelling	,024	11,283 ^b	1,000	471,000	,001
	Raíz mayor de Roy	,024	11,283 ^b	1,000	471,000	,001

a. Diseño: Intersección

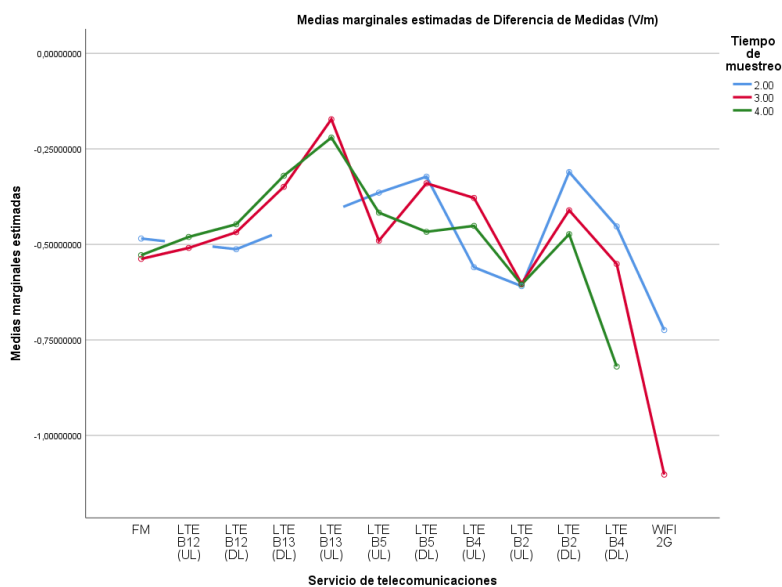
Diseño intra-sujetos: Muestreo

b. Estadístico exacto

En la Figura 75 se presenta la diferencia de intensidad de campo eléctrico (V/m) entre las mediciones realizadas por los equipos, permitiendo visualizar el comportamiento de las líneas según los diferentes servicios de telecomunicaciones evaluados. Se aprecia que la influencia del tiempo de muestreo no es uniforme para todos los servicios. Particularmente, los servicios LTE B4 (DL) y Wi-Fi 2G presentan mayores diferencias,

Figura 75

Gráfico de residuales



Nota. El gráfico muestra la variación en la diferencia de intensidades de campo eléctrico entre equipos de medición, de acuerdo con los tiempos de muestreo configurados (2 s, 3 s y 4 s) y los distintos servicios de telecomunicaciones evaluados.

Con el propósito de profundizar en estos resultados, se realizaron comparaciones adicionales entre los niveles del factor tiempo de muestreo, como se presenta en la tabla 81. Este análisis permitió identificar de forma puntual las combinaciones que presentan diferencias estadísticamente significativas

Tabla 81

Prueba de efectos intra-sujetos para el factor tiempo de muestreo.

Origen		Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Muestreo	Esfericidad asumida	,013	1	,013	11,283	,001
	Greenhouse-Geisser	,013	1,000	,013	11,283	,001
	Huynh-Feldt	,013	1,000	,013	11,283	,001
	Límite inferior	,013	1,000	,013	11,283	,001
Error (Muestreo)	Esfericidad asumida	,532	471	,001		
	Greenhouse-Geisser	,532	471,000	,001		
	Huynh-Feldt	,532	471,000	,001		
	Límite inferior	,532	471,000	,001		

Nota. La prueba confirma diferencias significativas en las mediciones entre los periodos de muestreo de 3 s y 4 s ($p < 0.05$).

De este modo, el análisis específico de los periodos de 3 y 4 segundos confirmó la existencia de diferencias significativas en las mediciones ($p = 0.001$), lo que resalta la importancia de considerar cuidadosamente la configuración del tiempo de muestreo en los estudios de exposición, dado que dicho parámetro puede afectar de forma relevante la magnitud de las mediciones obtenidas.

Adicionalmente, se realizó un análisis de contrastes intra-sujetos para evaluar la existencia de patrones en la relación entre el tiempo de muestreo y las mediciones. Tal como se muestra en la Tabla 82, se identificó un patrón lineal estadísticamente significativo ($p = 0.001$),

lo que sugiere que la variación en las mediciones sigue una tendencia sistemática al modificar este parámetro.

Tabla 82

Prueba de contrastes intra-sujetos para identificar patrones en la relación entre tiempo de muestreo y mediciones.

Origen	Muestreo	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Muestreo	Lineal	,013	1	,013	11,283	,001
Error (Muestreo)	Lineal	,532	471	,001		

VI. DISCUSIÓN

El estudio tiene como objetivo evaluar la comparabilidad de las mediciones de campos electromagnéticos de radiofrecuencia realizada por dos equipos diferentes: el SRM 3006 y el EME Spy 201. Los resultados obtenidos aportan información sobre la precisión y consistencia de las mediciones realizadas por cada equipo, además de las posibles diferencias entre ellos.

Los resultados obtenidos de ambos equipos evidencian una correlación significativa en los servicios de LTE Band 2 (DL), LTE Band 5 (DL), LTE Band 13 (UL), FM y LTE Band 4 (DL), mostrando un alto coeficiente de determinación. Estos hallazgos sugieren que ambos equipos utilizados proporcionan resultados similares en dichos servicios.

Sin embargo, se observaron diferencias significativas al comparar los servicios de frecuencias mayores a 2.483 GHz, donde el SRM-3006 registró niveles más altos de exposición. Este comportamiento sugiere que el SRM-3006 presentan una mayor sensibilidad que el EME Spy 201.

Es importante aclarar que este estudio presenta ciertas limitaciones. En primer lugar, la comparación se realizó en un entorno controlado, sin considerar todas las posibilidades fuentes de interferencias que podrían encontrarse en condiciones reales.

A pesar de las limitaciones, los resultados del estudio brindan una perspectiva general sobre la comparabilidad de las mediciones de campos electromagnéticos de radiofrecuencia (CEM-RF) entre los equipos SRM 3006 y EME Spy 201. Estos resultados pueden resultar útiles para futuras investigaciones que requieran el uso de estos equipos.

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este trabajo se relacionaron las mediciones obtenidas con un exposímetro con las mediciones puntuales selectivas. El principal propósito de establecer esta relación fue explorar alternativas para el estudio de radiaciones no ionizantes, dado que en la actualidad persiste la incertidumbre acerca de los efectos potenciales relacionados en la salud humana. La comparación de las mediciones se vio facilitada por el uso del SRM 3006, equipo que tiene una alta sensibilidad, permitió obtener resultados más próximos al valor real. Sin embargo, uno de los mayores retos fue la sensibilidad del equipo EME Spy 201, ya que, en algunos lugares de las instalaciones de la UNMSM, las mediciones obtenidas para ciertos servicios se encontraban por debajo del umbral inferior del equipo, lo cual limitó la capacidad de capturar algunos valores. A pesar de esta limitación, la comparación entre las mediciones obtenidas por ambos equipos presentó un paso importante en la búsqueda de metodologías complementarias para la evaluación las radiaciones no ionizantes y sus posibles efectos sobre la salud humana.

Esta investigación es la primera en el Perú en comparar las mediciones de un exposímetro y un medidor selectivo, lo cual constituye un gran aporte para el estudio de radiaciones no ionizantes y contribuye al incremento del número de estudios para responder a las incertidumbres sobre las exposiciones a campos electromagnéticos. Se propuso un protocolo adecuado para la realización de las mediciones, basándose en la Resolución Ministerial N° 613-2004 MTC/03, que adaptará el protocolo de las mediciones puntuales para la comparación de las mediciones de un exposímetro y un medidor selectivo.

El total de mediciones obtenidas en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM) fueron de 1563 por cada equipo, los valores promedio máximos obtenidos para el equipo SRM 3006 se encontraron en los servicios Wireless Fidelity 2G (Wi-Fi 2G) con 0.144

V/m, Long-Term Evolution Band 2 Downlink (LTE B2 (DL)) con 0.129 V/m y Long-Term Evolution Band 40 (LTE B40) con 0.125V/m y para el quipo EME Spy 201 en los servicios Long-Term Evolution Band 2 Downlink (LTE B2 (DL)) con 0.069 V/m, Long-Term Evolution Band 4 Downlink (LTE B4 (DL)) con 0.59 V/m y Long-Term Evolution Band 5 Downlink (LTE B5 (DL)) con 0.046 V/m. Los valores máximos obtenidos se encuentran por debajo de los límites permisibles según la norma ICNIRP 98, por lo que se concluye que las radiaciones no ionizantes de los servicios de Modulación de Frecuencia (FM), Televisión en Frecuencia Muy Alta (TV VHF), Long-Term Evolution 2G, Long-Term Evolution 3G, Long-Term Evolution 4G y los sistemas Wireless Fidelity 2G en las ocho facultades de la UNMSM no tienen efectos contra la salud de los estudiantes.

Se estudió la relación en dB de las mediciones con el objetivo de comprender la relación entre las medidas obtenidas por ambos equipos y poder compararlos con la incertidumbre. Los resultados mostraron que las mediciones del equipo EME Spy 201 son consistentes con las mediciones del equipo de SRM 3006 para 11 servicios, FM, LTE Band 12 UL, LTE Band 12 DL, LTE Band 13 DL, LTE Band 13 UL, LTE Band 5 UL, LTE Band 5 DL, LTE Band 4 UL, LTE Band 2 UL, LTE Band 2 DL y LTE Band 4 DL, los servicios con mejores resultados en promedio fueron: LTE Band 13 UL con -3.95 dB y LTE Band 13 DL con -6.71 dB, también se observó para los servicios Wi-Fi 2G y LTE B7 (DL) que se encuentran fuera del límite de incertidumbre, pero presentan alto índice de relación 0.78 y 0.75 respectivamente.

El SRM-3006 tiene un costo de adquisición considerablemente mayor en comparación con el EME Spy 201, debido a su capacidad avanzada para realizar mediciones precisas de campos electromagnéticos y a la tecnología empleada. Además, los costos operativos y de mantenimiento del SRM-3006 también son más elevados, ya que requiere personal capacitado y calibraciones periódicas para garantizar la exactitud de las mediciones. En contraste, el EME

Spy 201 resulta ser una opción más económica, tanto en adquisición como en operación y mantenimiento, pero con limitación en cuanto a la precisión.

En términos de durabilidad, el SRM-3006 presenta una estructura robusta diseñada para soportar condiciones de uso intensivo en entornos profesionales, lo cual le confiere una larga vida útil y justifica en parte su costo elevado. Sin embargo, la complejidad del equipo también implica la necesidad de un mantenimiento especializado y regular. Por otro lado, el EME Spy 201, al ser un dispositivo más simple y portátil, está diseñado para un uso más cotidiano y con menos requerimientos de mantenimiento. Aunque su durabilidad puede ser inferior comparada con el SRM-3006, su facilidad de manejo y menor necesidad de mantenimiento lo hacen una alternativa viable para aplicaciones menos rigurosas.

Se aplicó el análisis de correlación con el objetivo de evaluar la tendencia en los datos de ambos equipos. Los resultados mostraron que los servicios con mayor índice de correlación son: LTE Band 2 DL con 0.93 y un coeficiente de determinación de 0.758, LTE Band 5 DL con 0.91 y un coeficiente de determinación de 0.836, lo cual indicó que las mediciones de ambos equipos están asociadas en diferentes niveles de intensidad. Además, se observó que, a pesar de obtener una correlación nula en los servicios LTE Band 13 DL y LTE Band 12 UL, la diferencia promedio en V/m entre los equipos es de 0.018 y 0.01 respectivamente.

Los resultados obtenidos tras la aplicación del factor de corrección evidencian una mejora significativa en la concordancia entre el exposímetro EME Spy 201 y el equipo de referencia SRM-3006. Esta corrección no solo reduce el sesgo sistemático detectado en las mediciones iniciales, sino que además fortalece la validez de las inferencias estadísticas posteriores. La implementación de este ajuste permite ampliar la utilidad del exposímetro en estudios de exposición a campos electromagnéticos, especialmente en entornos donde la portabilidad y el monitoreo continuo son requerimientos clave.

El análisis de medidas repetidas permitió evidenciar que la configuración del tiempo de muestreo influye de manera significativa en las mediciones de exposición a campos electromagnéticos, con un nivel de significancia estadística de $p = 0.001$. Este resultado confirma que las diferencias observadas no son producto del azar, sino que están directamente relacionadas con la variación de este parámetro.

De forma específica, se identificaron diferencias significativas entre los periodos de muestreo de 3 segundos y 4 segundos, lo que pone en evidencia la necesidad de estandarizar esta configuración en estudios de evaluación de exposición, a fin de garantizar la comparabilidad de los resultados.

Asimismo, el análisis de contrastes intra-sujetos reveló un patrón lineal estadísticamente significativo ($p = 0.001$), lo que indica que la variación en las mediciones sigue una tendencia sistemática conforme se modifica el tiempo de muestreo. Al disminuir esta variable, el equipo puede recopilar más mediciones, lo cual permitió una mejor lectura de la señal.

El análisis de costos realizado en este estudio permitió comparar de forma integral la viabilidad económica de utilizar el analizador de espectro SRM-3006 y el exposímetro EME Spy 201 para la evaluación de campos electromagnéticos de radiofrecuencia. Los resultados evidencian que, si bien el SRM-3006 ofrece mayores niveles de precisión y robustez, su costo de adquisición y mantenimiento es considerablemente elevado, alcanzando aproximadamente \$38,375 USD, además de requerir personal especializado para su operación y calibraciones periódicas. En contraste, el EME Spy 201 representa una alternativa más económica, con un costo estimado de \$5,445 USD, menores gastos operativos y facilidad de uso, aunque presenta limitaciones en cuanto a sensibilidad y precisión.

No obstante, a pesar de las diferencias observadas en las mediciones, el EME Spy 201 mostró una alta correlación con el SRM-3006 en determinados servicios, lo que sugiere que,

con la aplicación del factor de corrección obtenido, es posible mejorar la concordancia entre los resultados de ambos equipos. Esto permite considerar al exposímetro como una opción viable para estudios exploratorios y monitoreos de exposición en entornos cotidianos, especialmente cuando se requiere portabilidad y eficiencia en los recursos. Sin embargo, para estudios que demanden alta precisión y niveles de exactitud más rigurosos, la utilización de equipos especializados sigue siendo la alternativa más adecuada.

Se recomienda realizar un análisis previo para identificar los valores atípicos en las mediciones. En este estudio, se utilizó un diagrama de cajas y bigotes para localizar los valores atípicos, analizando cada microambiente de forma independiente, ya que los niveles de exposición variaron según el microambiente. Al tratar los microambientes de manera independiente, se considera que cualquier perturbación que pudiera afectar una medición y ser detectada por ambos equipos se identificaría durante el análisis previo, lo cual contribuiría a mejorar la calidad y precisión de los resultados obtenidos.

Se debe considerar el entorno de aplicación al interpretar los resultados, ya que estos pueden variar según el contexto específico en el que se realicen las mediciones. Por lo tanto, se recomienda realizar mediciones adicionales para fortalecer la confiabilidad y validez de los resultados obtenidos.

Para obtener una visión más completa de las diferencias entre ambos equipos, es necesario realizar estudios complementarios, como la comparación de su desempeño en distintos rangos de frecuencias, entre otros. Estos estudios adicionales permitirían una evaluación más detallada de la precisión y el comportamiento de cada equipo bajo diferentes condiciones de operación.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- [ICNIRP], C. I. (1998). Recomendaciones para limitar la exposición a campos eléctricos, magnéticos electromagnéticos variables en el tiempo (hasta 300 GHz). *Health Phys*, 494-522.
- [ICNIRP], C. I. (2003). Exposure to static and low frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences (0 -100 kHz). *ICNIRP*.
- [ICNIRP], C. I. (2010). Recomendaciones para limitar la exposición a campos eléctricos, magnéticos variables en el tiempo (1 Hz- 100 kHz). *Health Phys*, 818-836.
- Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. (2024). *Información básica sobre la radiación*. Obtenido de [EPA]: <https://espanol.epa.gov/espanol/informacion-basica-sobre-la-radiacion>
- Arno Thielens,, Matthias Van den Bossche, Christopher Brzozek, Chhavi Raj Bhatt,Michael J. Abramson, Geza Benke, Luc Martens, Wout Joseph. (2018). Representativeness and repeatability of microenvironmental personal and head exposures to radio-frequency electromagnetic fields. *Environmental Research*, 81-96.
- Biruk Ashenafi Mulugeta, Shanshan Wang, Wassim Ben Chikha, Jiang Liu, Christophe Roblin. (2023). Statistical Characterization and Modeling of Indoor RF-EMF Down-Link Exposure. *Sensors*, 23(7), 3583. doi:10.3390/s23073583
- Chhavi Raj Bhatt, Arno Thielens, Baki Billah, Mary Redmayne, Michael J.Abramson, Malcolm R.Sim, Roel Vermeulen, Luc Martens, WoutJoseph, Geza Benke. (2016). Assessment ofpersonalexposurefromradiofrequency-electromagnetic fields inAustraliaandBelgiumusingon-body calibratedexposimeters. *EnvironmentalResearch*, 547-563.
- Cruz Ornetta, V., et al. (2016). Evaluación de radiaciones no ionizantes de la red Wi-Fi en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. *Theorēma (Lima, Segunda época, En línea)*, (3), 119–132. <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/Theo/article/view/11982>
- Enver Hamit, Mimoza Ibrani, Luan Ahma, Shpresa Dragusha and Rreze Halili. (2018). Comparative analysis of personal exposure levels induced by long-term evolution 1800 Re-farming and other RF sources in an urban environment. *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, 12(7), 859. doi:10.1049/iet-map.2017.0859
- Günter Vermeeren, Ioannis Markakis, Francis Goeminne, Theodoros Samaras,Luc Martens, Wout Joseph. (2013). Spatial and temporal RF electromagnetic field exposure of children and adults in indoor micro environments in Belgium and Greece. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, 254-263.
- ITU. (13 de Enero de 2018). *K.61 : Guidance on measurement and numerical prediction of electromagnetic fields for compliance with human exposure limits for telecommunication installations*. Obtenido de ITU: <https://www.itu.int/rec/T-REC-K.61-201801-I>
- MINAM, M. d. (6 de junio de 2014). *server www.minam.gob.pe*. Obtenido de <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/Evaluaci%c3%b3n-de-Radiaciones-No-Ionizantes-producidas-por-los-Servicios-de-Telecomunicaciones.compressed.pdf>
- MTC, M. d. (6 de julio de 2003). Obtenido de Decreto Supremo N.º038-2003-MTC,;: <https://www.gob.pe/institucion/mtc/normas-legales/308749-038-2003-mtc>

- MTC, M. d. (2004, 19 de agosto). *Resolución Ministerial N.º 613-2004-MTC/03: Aprueban norma técnica sobre protocolos de medición de radiaciones no ionizantes*. Diario Oficial El Peruano. <https://www.gob.pe/institucion/mtc/normas-legales/139421-rm-n-613-2004-mtc-03>
- Ornetta, V. C. (2005). *La Telefonía Móvil y su Salud*. Perú: INICTEL.
- PCM, P. d. (3 de febrero de 2005). *DECRETO SUPREMO N° 010-2005-PCM*. Obtenido de <https://sinia.minam.gob.pe/normas/estandares-nacionales-calidad-ambiental-radiaciones-no-ionizantes>
- Ramirez-Vazquez, R., Escobar, I., Thielens, A., & Arribas, E. (2020). Measurements and analysis of personal exposure to radiofrequency electromagnetic fields at outdoor and indoor school buildings: A case study at a Spanish school. *IEEE Access*, 8, 195692–195702. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3033800>
- Ramirez-Vazquez, R., et al. (2020). Georeferencing of personal exposure to radiofrequency electromagnetic fields from Wi-Fi in a university area. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(6), 1898. <https://doi.org/10.3390/ijerph17061898>
- Raquel Ramirez-Vazquez, Jesus Gonzalez-Rubio, Enrique Arribas, Alberto Najera. (2019). Characterisation of personal exposure to environmental radiofrequency electromagnetic fields in Albacete (Spain) and assessment of risk perception. *Environmental Research*, 109-116.
- Sagar, S., Struchen, B., Finta, V., Eeftens, M., & Rösli, M. (2016). Use of portable exposimeters to monitor radiofrequency electromagnetic field exposure in the everyday environment. *Environmental Research*, 150, 289–298. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.06.020>
- Sanjay Sagar, Benjamin Struchen, Viktoria Finta, Marloes Eeftens, Martin Rösli. (2016). Use of portable exposimeters to monitor radio frequency electromagnetic field exposure in the everyday environment. *Environmental Research*, 289-298.
- Sanjay Sagar, Seid M. Adem, Benjamin Struchen, Sarah P. Loughran, Michael E. Brunjes, Lisa Arangua, Mohamed Aqiel Dalvie, Rodney J. Croft, Michael Jerrett, Joel M. Moskowitz, Tony Kuo, Martin Rösli. (2018). Comparison of radiofrequency electromagnetic field exposure levels in different everyday microenvironments in an international context. *Environment International*, 297-306.
- Tomitsch, J., Dechant, E., & Frank, W. (2010). Survey of electromagnetic field exposure in bedrooms of residences in lower Austria. *Bioelectromagnetics*, 31(3), 200–208. <https://doi.org/10.1002/bem.20548>
- UIT. (17 de 02 de 2022). *Recommendation ITU-T K.83*. Obtenido de UIT: <https://www.itu.int/rec/T-REC-K.83-202201-I/es>
- UIT, U. I. (2015). Atribuir espectro para un mundo en cambio. *Actualidades de la UIT*, 1-48.
- UIT, U. I. (16 de 05 de 2020). *ITU EMF Guide*. Obtenido de <https://www.itu.int/net4/mob/ituemf/emfguide.html>
- UIT-R. (02 de 02 de 2005). *UIT*. Obtenido de https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/bs/R-REC-BS.1698-0-200502-I!!PDF-S.pdf
- Verloock, L., Joseph, W., Goeminne, F., Martens, L., Verlaek, M., & Constandt, K. (2014). Temporal 24-hour assessment of radio frequency exposure in schools and homes. *Measurement*, 56, 50–57. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2014.06.012>
- Yoon-Jung Choi, Joel M. Moskowitz, Seung-Kwon Myung, Yi-Ryoung Lee and Yun-Chul Hong. (2020). Cellular Phone Use and Risk of Tumors: Systematic Review and Meta-

Analysis. *Journal of Environmental and Public Health*, 17(21), 8079.
doi:10.3390/ijerph17218079

Anexo A: Hoja de especificaciones del Equipo EME

EME Spy 201

A PPM to continuously measure human exposure to EMF on predefined frequency bands



Now available in the US!

+

- Independent measurement on Uplink and Downlink for cellular network bands
- Real time monitoring on PC (USB) or Smartphone (Bluetooth)
- EME Spy Android Application

Watch a success story of EME Spy 140



Main features

User profile

- Municipalities, governmental agencies, regulatory bodies, research laboratories, universities, broadcasters, PMR, and mobile phone operators

Measurement capabilities

- Continuous monitoring of personal exposure to electromagnetic fields and identification of the contributors

Frequency bands

- 20 selected frequency bands from 88 MHz – 5850 MHz

Safety recommendations

- Measurements can be compared with the reference levels advised by ICNIRP

Real time visualization kit (optional)

- The field level for each frequency band is displayed as it is measured
- Exports data to the EME Spy Analysis software for post processing and backup

Product Configuration

Equipment

- EME Spy analysis software
- User manual
- USB cable
- 4 rechargeable batteries
- Battery charger
- Case
- Real time visualisation kit

Services

- Initial calibration
- Calibration report
- Installation
- Training
- Additional calibration
- Extended warranty

■ Included □ Optional

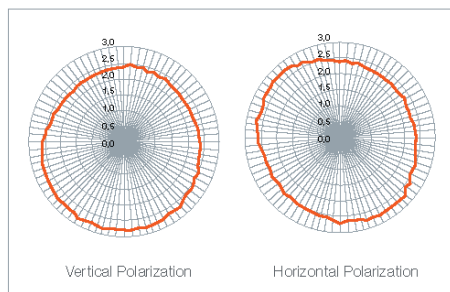
TECHNICAL CHARACTERISTICS

FREQUENCY RANGES

	Frequency MIN (MHz)	Frequency MAX (MHz)
FM	88	108
TV-VHF	174	216
TV-UHF	470	644
LTE Band 12 UL	698	716
LTE Band 12 DL	728	746
LTE Band 13 DL	746	756
LTE Band 13 UL	777	787
LTE Band 5 UL	824	849
LTE Band 5 DL	869	894
ISM / Smart meters	902	928
LTE Band 4 UL	1710	1755
LTE Band 2 UL	1850	1910
DECT 6.0	1920	1930
LTE Band 2 DL	1930	1990
LTE Band 4 DL	2110	2155
LTE Band 40	2300	2400
WiFi 2G	2400	2483
LTE Band 7 UL	2500	2570
LTE Band 7 DL	2620	2690
WiFi 5G	5150	5850



Differentiating uplink⁽¹⁾ and downlink⁽²⁾ is not only useful to assess the contribution of each transmitter, but also to avoid discrepancy in the results by phones emitting close to the dosimeter.



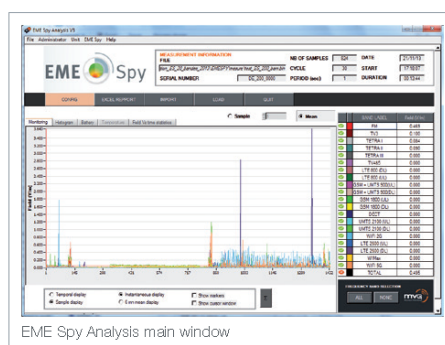
PROBE CHARACTERISTICS

Probe	Tri-axial E-field probe 80 MHz – 6 GHz
Sensitivity	- FM, TV-VHF, WiFi 5G = 0.015 V/m - TV-UHF, LTE Bands, WiFi 2G, ISM Smart meters, DECT = 0.005 V/m
Dynamic	61.6 dB (up to 6 V/m)

(1) Uplink: Sending of information from the mobile station to the BTS
(2) Downlink: Sending of information from the BTS to the mobile station

MEASUREMENT CONFIGURATION

Number of data points	80,000 max
Logging intervals	- From 1 to 2 bands: 2 – 255s - From 3 to 10 bands: 3 – 255s - From 11 to 15 bands: 4 – 255s - From 16 to 20 bands: 5 – 255s



OPERATING CONDITIONS

Temperature,	-10 to 50°C,
humidity	85% of humidity
Battery life*	Recording mode: > 15 hours with a recording period of 10 sec > 6 hours with a recording period of 5 sec Bluetooth mode: > 10 hours with a measurement period of 7 sec

* 2 rechargeable batteries

MECHANICAL CHARACTERISTICS

Dimensions	168.5 x 79 x 49.7 mm (H x L x W)
Weight	455 g
Protection	IP 55

HARDWARE REQUIREMENTS

Processor	PC Pentium 500 MHz
Cable link	USB Port
Operating system	XP / WIN7 / WIN8
Free space on hard disc	200 MB

Anexo B: Hoja de especificaciones del Equipo SRM 3006

www.narda-sts.com



Selective Radiation Meter

SRM-3006

Selective measurement of high frequency electro-magnetic fields



Complete, easy to use test system, consisting of a base unit and measuring antennas, for non-directional detection of fields and their sources in the frequency range from 9 kHz to 6 GHz

- ▲ Measurements conforming to ICNIRP and national standards with results displayed directly in terms of the permitted limit value
- ▲ Fast, reliable results using predefined measurement routines, setups, and automatic settings
- ▲ Extrapolation to maximum exposure levels and evaluating pilot signal information with LTE - FDD/TDD and UMTS operating modes
- ▲ Scope mode for short term analysis of pulsed signals and long term recording of variable exposure levels
- ▲ Editable tables for automatic correlation of results with telecommunications services (e.g. broadcasting, GSM, WiMAX)
- ▲ Individual preparation of field campaigns with subsequent evaluation and handling of large quantities of measurement data
- ▲ Suitable for outdoor use: Radiation protected, robust, splash-proof, ergonomically designed; uses exchangeable rechargeable batteries; equipped with integrated GPS and voice recorder



THE SRM AND ITS APPLICATIONS

The Selective Radiation Meter SRM is a compact, frequency-selective measuring system for safety analysis and environmental measurements of high-frequency electromagnetic fields. It covers broadcasting, mobile telephony, and industrial frequencies from the lowest long-wave range up to the latest wireless applications and evaluates the field exposure level in accordance with international or national standards.

Where the field environment is unknown – in offices, factory buildings, public places, or private homes – the SRM provides authorities and measurement service providers with a rapid overview of the field sources that are relevant to human safety.

Where the field situation is known, such as at so-called "shared sites", where several service providers share a common antenna site, the SRM shows the overall field exposure level as well as the proportions due to each service as an absolute value or as a percentage of the permitted limit value.

Users can resolve services down to individual channel accuracy and measure their contribution to the field emission with the SRM. It is also possible to integrate over the entire frequency range of the service and display the absolute result or the value relative to the permitted limit.



OPERATION AND USE

All functions and parameters can be set directly on the SRM basic unit via menus and the numerical keypad, softkeys, or the rotary control. As well as this, the SRM also provides facilities for saving and recalling measurement settings (setups) and entire measurement sequences (routines). The PC software included with the device, "SRM-3006 Tools", includes editable tables for antennas and cables from other manufacturers, user-defined evaluation curves, and lists of services and operators.



OPERATING MODES

The SRM is designed for everyday use and has operating modes tailored to the main areas of application: Safety Evaluation, Spectrum Analysis, Level Recorder, Scope, UMTS and LTE. Details about these operating modes and other functions are given in the Specifications.

ANTENNAS

Narda offers a broad range of three-axis and single-axis measuring antennas for electric fields (E-fields) and magnetic fields (H-fields). The three-axis antennas are advantageous in practice because they give isotropic (i.e. non-directional) results automatically.



DEFINITIONS AND CONDITIONS

Conditions

Unless otherwise noted, specifications apply after 30 minutes warm-up time within the specified environmental conditions. The product is within the recommended calibration cycle.

Specifications with limits

These describe product performance for the given parameter covered by warranty. Specifications with limits (marked as $<$, $\leq$, $>$, $\geq$, $\pm$, max., min.) apply under the given conditions for the product and are tested during production taking measurement uncertainty into account.

Specifications without limits

These describe product performance for the given parameter covered by warranty. Specifications without limits represent values with negligible deviations which are ensured by design (e.g. dimensions or resolution of a setting parameter).

Typical values (typ.)

These characterize product performance for the given parameter that is not covered by warranty. When stated as a range or as a limit (marked as $<$, $\leq$, $>$, $\geq$, $\pm$, max., min.), they represent the performance met by approximately 80 % of the instruments. Otherwise, they represent the mean value. The measurement uncertainty is not taken into account.

Nominal values (nom.)

These characterize expected product performance for the given parameter that is not covered by warranty. Nominal values are verified during product development but are not tested during production.

Uncertainties

These characterize an interval for a given measurand estimated to have a level of confidence of approximately 95 percent. Uncertainty is stated as the standard uncertainty multiplied by the coverage factor $k=2$ based on the normal distribution. The evaluation has been carried out in accordance with the rules of the "Guide of the Expression of Uncertainty in Measurement" (GUM).

SPECIFICATIONS ● BASIC UNIT

Basic Unit SRM-3006				
MODES				
Operating modes	Measurements vs. frequency	● Spectrum Analysis ● Safety Evaluation		
	Measurements vs. time (Zero Span)	● Level Recorder ● Scope (Option)		
	Measurements on mobile networks	● UMTS P-CPICH Demodulation (Option) ● LTE (for FDD networks) (Option) ● LTE (for TDD networks) (Option)		
RF DATA ^{a)}				
Frequency	Frequency range	9 kHz to 6 GHz		
	Resolution bandwidth (RBW)	See specifications for each mode		
	Phase noise (SSB)	< -100 dBc/Hz (@ 300 kHz carrier offset)	verified at (57.5 / 2140.5 / 4500.5) MHz	
	Reference frequency	Initial deviation < 1 ppm Aging < 1 ppm/year, < 5 ppm over 15 years Thermal drift < 1.5 ppm (-10 °C to +50 °C)		
	Display range	From Displayed Average Noise Level (DANL) to +20 dBm		
	Measurement range (MR)	-30 dBm to +20 dBm in steps of 1 dB		
Amplitude	RF Input attenuation	0 to 50 dB in steps of 1 dB (coupled with measurement range MR)		
	Measurement range setting	Set individually from a list or using the "MR Search" function for determining the optimum measurement range at a given time		
	Level uncertainty	≤ 1.2 dB (15 °C to 30 °C) valid for Spectrum Analysis and Safety Evaluation modes		
	Displayed Average Noise Level (DANL)	f ≤ 30 MHz: < -160 dBm/Hz (noise figure < 14 dB) f ≤ 2 GHz: < -156 dBm/Hz (noise figure < 18 dB) f ≤ 4 GHz: < -155 dBm/Hz (noise figure < 19 dB) f ≤ 6 GHz: < -150 dBm/Hz (noise figure < 24 dB)	MR = -30 dBm (RF input attenuation = 0 dB)	
	3 rd order intermodulation	< -60 dBc for two single tones with a level of 6 dB below MR, spaced by 1 MHz or more		
	Spurious responses (input related)	< -60 dBc or MR-60 dB (whichever is worse) and a carrier offset of 1 MHz or more		
	Spurious responses (residual)	< -90 dBm (MR = -30 dBm, RF input attenuation = 0 dB) For (294 to 306) MHz and (4534 to 4586) MHz limited to < -85 dBm		
	Type	N-Connector, 50 Ω, female		
	RF input	Maximum RF power level	+27 dBm (destruction limit)	
		Maximum DC voltage	±50 V	
Return loss		> 12 dB (typ.), f ≤ 4.5 GHz > 10 dB (typ.), f > 4.5 GHz	MR ≥ -28 dBm (RF input attenuation ≥ 2 dB)	

a) RF data apply in the temperature range of 20°C to 26°C and a relative humidity between 25 % and 75 %.

MODE SPECTRUM ANALYSIS	
Measurement principle	Spectrum analysis
Resolution bandwidth RBW, (-3 dB nominal)	10 Hz to 20 MHz (in steps of 1, 2, 3, 5, 10, 20, ...)
Video bandwidth VBW	Off, 0.2 Hz to 2 MHz (in steps of 1, 2, 3, 5, 10, 20, ... coupled with selected RBW)
Filter	Gaussian
Type	3.8 typical
Shape factor (-60 dB/-3 dB)	Individually selectable traces for:
Result types	Act: Displays instantaneous (actual) spectrum Max: Maximum hold function Avg: Average over a selectable number of spectra (4 to 256) or a selectable time period of 1 to 30 minutes Max Avg: Maximum hold function after averaging Min: Minimum hold function Min Avg: Minimum hold function after averaging Standard: Display of the selected safety standard SAVG: Spatial Averaging; Types: „continuous“ or „discrete“
Marker functions	Highest peak, next peak right, next peak left, next higher peak, next lower peak Information provided by Marker: frequency, level, service name according to the selected service table. Delta marker to measure difference in level and frequency of the same trace or to display the difference between two different traces e.g. average and maximum at the same frequency.
Evaluation functions	Peak table (list of up to 50 highest peaks) Integration over a user-specified frequency range (channel power)
Axis	X, Y, Z axis selection for single-axis measurements using a Narda Three-Axis Antenna or selection of isotropic measurements
Display functions	Y-scale range: 20, 40, 60, 80, 100 or 120 dB Y-scale reference: MR-100 dB to MR+20 dB (-130 dBm to +40 dBm) Screen arrangement: help line, status lines on/off
Zoom	Zoom Min: Sets the lower frequency limit of the zoom window Zoom Max: Sets the upper frequency limit of the zoom window Zoom Cent: Moves the zoom window along the frequency axis Zoom Span: Changes the scale of the zoom window Execute Zoom: Sets the zoom window limits to the selected frequency values
Extras (transfer of parameters)	"Go to: mode" changes the operating mode with automatic parameter transfer for Fcent and Fspan. "Select Service" allows easy frequency settings by means of predefined service tables

MODE SAFETY EVALUATION	
Measurement principle	Spectrum analysis, followed by integration over user-defined frequency bands ("services")
Number of services	1 to 500, predefined by service tables on the instrument or created by PC software SRM-3006 Tools
Name of services	User definable, maximum 15 characters set by PC software SRM-3006 Tools
Channel bandwidth of a service (CBW)	Individually selectable for each channel, from 40 Hz to 6 GHz
Resolution bandwidth RBW, (-3 dB nominal)	Available bandwidths as for Spectrum Analysis mode. The following condition applies: $RBW \leq CBW_{(narrowest\ service)} / 4$ Automatic: RBW setting depending on of the narrowest service Manual: can be set in the range of available RBWs Individual: separately defined for each individual service by PC software SRM-3006 Tools ("Others" needs to be switched off)
Detection	Root mean square value (RMS), integration time = 1 / RBW
Filter	See Spectrum Analysis mode
Result types	See Spectrum Analysis mode
Marker functions for bar graph view	Highest peak, next peak right, next peak left, next higher peak, next lower peak Information provided by Marker: frequency, level, service name according to the selected service table. Delta marker to measure difference in level and frequency of the same trace or to display the difference between two different traces (Result Types) at the same frequency.
Evaluation function	Distribution (percentage contribution of each service)
Axis	X, Y, Z axis selection for single-axis measurements using a Narda Three-Axis Antenna or selection of isotropic measurements
Display functions	Table view showing service names, the corresponding frequency bands, field strength per result type and RBW (when set to individual) Screen arrangement: help line, status lines on/off Sort function according to various criteria Bar graph of services showing contribution of the selected Result Types
Noise threshold	Displays results only if they are above the typical noise floor when activated. The threshold is selectable (0, 3, 6, 10, 15, or 20 dB relative to the typical DANL). Measurement values below the threshold are shown as the absolute threshold value marked with "<" (less than threshold)
Others On/Off	Others On: field strength in the frequency gaps between the specified services is measured Others Off: field strength in the frequency gaps between the specified services is ignored
Extras (transfer of parameters)	"Go to: mode" changes the operating mode with automatic parameter transfer for Fcent and Fspan. „Select Service Table" allows switching between predefined service tables

MODE UMTS P-CPICH DEMODULATION (OPTION)	
Measurement principle	Demodulation of the P-CPICH (Primary Common Pilot Channel) as the basis for automatic assignment of measured field strength values to the individual UMTS radio cells
UMTS channel selection	By entering the center frequency (Fcent)
Frequency setting resolution	100 kHz (for Fcent frequency entry)
Resolution bandwidth RBW, (-3 dB nominal)	3.84 MHz (fixed)
Detection	Root mean square value (RMS), integration time = 10 ms
Filter	Type
	Roll-off factor
Demodulation algorithms	
P-CPICH decoding dynamic typically -20 dB according EN50492 / IEC 62232	
Individually selectable for:	
Result types	Act: Displays instantaneous (actual) channel power
	Max: Maximum hold function
	Avg: Average over a selectable number of measurements (4 to 256) or a selectable time period of 1 to 30 minutes
	Max Avg: Maximum hold function after averaging
	Min: Minimum hold function
	Min Avg: Minimum hold function after averaging
Standard: Display of the selected safety standard	
Evaluation functions	Extrapolation factor adjustable from 1 to 100 in steps of 0.001 Ratio Pilot/Analog in dB
Axis	X, Y, Z axis selection for single-axis measurements using a Narda Three-Axis Antenna or selection of isotropic measurements
Results display	Up to 16 scrambling codes simultaneously
	Displayed items
	Selection of individual scrambling codes
	Channel power for the selected Result Types
	Number of measurement runs since last reset
Table layout	Table format: Index, Scrambling Code, selected result types
	Total: Total power of all listed scrambling codes
	Analog: Analog measurement result for the selected UMTS frequency channel (no extrapolation)
Noise threshold	In case of "Analog" results: values are displayed only if they are above the typical noise floor when activated. The threshold is selectable (0, 3, 6, 10, 15, or 20 dB relative to the typical DANL). Measurement values below the threshold are shown as the absolute threshold value marked with "<" (less than threshold)
Extras (transfer of parameters)	
"Go to: mode" changes the operating mode with automatic parameter transfer for Fcent and RBW.	
"Select Service" allows easy frequency settings by means of predefined service tables	

MODE LTE (for FDD networks) (OPTION)								
Measurement principle		Power level measurement of the cell specific and traffic independent signals PSS (Primary Sync Signal), SSS (Secondary Sync Signal) and RS (Reference Signal) of LTE cells.						
LTE channel selection		By entering the center frequency (Fcent)						
Frequency setting resolution		100 kHz (for Fcent frequency entry)						
Can be set to the following values:								
Channel bandwidth CBW, (-6 dB nom.)		No. of subcarriers	72	180	300	600	900	1200
		TBW (MHz)	1.08	2.7	4.5	9.0	13.5	18
		CBW (MHz)	1.4	3	5	10	15	20
Transmit Bandwidth (TBW) is the occupied bandwidth of all subcarriers								
Detection		Root mean square value (RMS), integration time = 10 ms (5 ms at CBW 15 MHz, 20 MHz)						
Filter	Type	Steep cut-off channel filter (app. Raised-Cosine)						
	Roll-off factor	$\alpha = 1 - (TBW/CBW)$						
Cell specific signals (Signal)		Individually selectable for: PSS (Primary Sync Signal) SSS (Secondary Sync Signal) RS Avg (Reference Signal Average) RS Sum (Reference Signal Sum) RS Max (Reference Signal Maximum) RS 0 (Reference Signal antenna 0) RS 1 (Reference Signal antenna 1) RS 2 (Reference Signal antenna 2) RS 3 (Reference Signal antenna 3)						
(Display of the average power level per Resource Element out of all elements of the considered signal)								
Result types (applicable to all cell specific signals)		Individually selectable for: Act: Displays the instantaneous (actual) value Max: Maximum hold function Avg: Average over a selectable number of measurements (4 to 256) or a selectable time period of 1 to 30 minutes Max Avg: Maximum hold function after averaging Min: Minimum hold function Min Avg: Minimum hold function after averaging Standard: Display of the selected safety standard						
Axis		X, Y, Z axis selection for single-axis measurements using a Narda Three-Axis Antenna or selection of isotropic measurements						
Extrapolation function		Extrapolation factor adjustable from 1 to 10000 in steps of 0.001						
Results display		Selection of individual Cell ID's						
		Number of measurement runs since last reset						
		Up to 16 Cell ID's simultaneously						
Table layout		Table format: Index, Cell ID, No. Ant. (number of antennas), selected signals shown for each selected result type (up to 54 columns + Standard)						
		Total: Total power of all listed Cell ID's						
Setting parameters		Analog: Analog measurement result for the selected LTE frequency channel (no extrapolation)						
		Synchronization (Cell Sync): Sync/ No Sync Cyclic Prefix Length (CP Length): Normal/Extended						
Noise threshold		In case of "Analog" results: values are displayed only if they are above the typical noise floor when activated. The threshold is selectable (0, 3, 6, 10, 15, or 20 dB relative to the typical DANL). Measurement values below the threshold are shown as the absolute threshold value marked with "<" (less than threshold)						
Extras (transfer of parameters)		"Go to: mode" changes the operating mode with automatic parameter transfer for Fcent and CBW. "Select Service" allows easy frequency settings by means of predefined service tables						

MODE LTE (for TDD networks) (OPTION)								
Measurement principle		Power level measurement of the cell specific and traffic independent signals PSS (Primary Sync Signal), SSS (Secondary Sync Signal) and RS (Reference Signal) of LTE cells.						
LTE channel selection		By entering the center frequency (Fcent)						
Frequency setting resolution		100 kHz (for Fcent frequency entry)						
Uplink-downlink configuration (3GPP TS 36.211)		Seven uplink-downlink (0-6) configurations according to the standard 3GPP TS 36.211 are supported. To obtain a reliable result the instrument should be adapted to the uplink-downlink configuration of the base station.						
Channel bandwidth CBW, (-6 dB nom.)		Can be set to the following values:						
		No. of subcarriers	72	180	300	600	900	1200
		TBW (MHz)	1.08	2.7	4.5	9.0	13.5	18
		CBW (MHz)	1.4	3	5	10	15	20
		Transmit Bandwidth (TBW) is the occupied bandwidth of all subcarriers						
Detection		Root mean square value (RMS), integration time = 10 ms (5 ms at CBW 15 MHz, 20 MHz)						
Filter	Type	Steep cut-off channel filter (app. Raised-Cosine)						
	Roll-off factor	$\alpha = 1 - (TBW/CBW)$						
Cell specific signals (Signal)		Individually selectable for: PSS (Primary Sync Signal) SSS (Secondary Sync Signal) RS Avg (Reference Signal Average) RS Sum (Reference Signal Sum) RS Max (Reference Signal Maximum) RS 0 (Reference Signal antenna 0) RS 1 (Reference Signal antenna 1) RS 2 (Reference Signal antenna 2) RS 3 (Reference Signal antenna 3)						
(Display of the average power level per Resource Element out of all elements of the considered signal)								
Result types (applicable to all cell specific signals)		Individually selectable for: Act: Displays the instantaneous (actual) value Max: Maximum hold function Avg: Average over a selectable number of measurements (4 to 256) or a selectable time period of 1 to 30 minutes Max Avg: Maximum hold function after averaging Min: Minimum hold function Min Avg: Minimum hold function after averaging Standard: Display of the selected safety standard						
Axis		X, Y, Z axis selection for single-axis measurements using a Narda Three-Axis Antenna or selection of isotropic measurements						
Extrapolation function		Extrapolation factor adjustable from 1 to 10000 in steps of 0.001						
Results display		Selection of individual Cell ID's						
		Number of measurement runs since last reset						
		Up to 16 Cell ID's simultaneously						
		Table format: Index, Cell ID, No. Ant. (number of antennas), selected signals shown for each selected result type (up to 54 columns + Standard)						
Table layout		Total: Total power of all listed Cell ID's						
		Analog: Analog measurement result for the selected LTE frequency channel (no extrapolation)						
Setting parameters		Synchronization (Cell Sync): Sync/ No Sync Cyclic Prefix Length (CP Length): Normal/Extended						
Noise threshold		In case of "Analog" results: values are displayed only if they are above the typical noise floor when activated. The threshold is selectable (0, 3, 6, 10, 15, or 20 dB relative to the typical DANL). Measurement values below the threshold are shown as the absolute threshold value marked with "<" (less than threshold)						
Extras (transfer of parameters)		"Go to: mode" changes the operating mode with automatic parameter transfer for Fcent and CBW. "Select Service" allows easy frequency settings by means of predefined service tables						

LEVEL RECORDER MODE		
Measurement principle		Selective level measurement at a fixed frequency setting (Zero Span)
Detection		Peak (holding time 480 ms)
Filter	Type	Root mean square value (RMS), RMS average time adjustable from 480 ms up to 30 min
	Roll-off factor	Steep cut-off channel filter (app. raised cosine)
		$\alpha = 0.16$
Resolution bandwidth RBW (-6 dB nominal)		100 Hz to 32 MHz (in steps of 100, 125, 160, 200, 250, 320, 400, 500, 640, 800, 1000, ..., 10 MHz, 13.333 MHz, 16 MHz, 20 MHz, 26.666 MHz, 32 MHz)
Video bandwidth (VBW)		Off, 0.01 Hz to 32 MHz (depending on the selected RBW)
Result Type		Peak ACT: Displays the actual peak value Peak MAX: Max hold function for peak values RMS ACT: Averaging over a defined time period (0.48 seconds to 30 min) RMS MAX: Max hold function for RMS values SAVG: Spatial Averaging: Types: „continuous“ or „discrete“
Axis		X, Y, Z axis selection for single-axis measurements using a Narda Three-Axis Antenna or selection of isotropic measurements
Noise threshold		Displays results only if they are above the typical noise floor when activated. The threshold is selectable (0, 3, 6, 10, 15, or 20 dB relative to the typical DANL). Measurement values below the threshold are shown as the absolute threshold value marked with "<" (less than threshold). Only applies to the numerical result display (Value)
Extras (transfer of parameters)		"Go to: mode" changes the operating mode with automatic parameter transfer for Fcent and RBW. "Select Service" allows easy frequency settings by means of predefined service tables
SCOPE MODE (OPTION)		
Measurement principle		Selective level measurement at a fixed frequency setting (Zero Span)
Filter	Type	Steep cut-off channel filter (app. raised cosine)
	Roll-off factor	$\alpha = 0.16$
Sweep Time		500 ns to 24 h (Time Span)
Time Resolution		31.25 ns up to 90 min
Resolution bandwidth RBW (-6 dB nominal)		100 Hz to 32 MHz (see Level Recorder Mode)
Video bandwidth (VBW)		Off, 0.01 Hz to 32 MHz (depending on the selected RBW)
Result Type	Magnitude Actual (high resolution)	ACT: Displays the instantaneous (actual) value. (time resolution = 1/RBW) Standard: Displays the limit of the selected safety standard Magnitude Condensed allows to display the results over a long time period
	Magnitude Condensed (long observation)	MAX: Maximum value within the time resolution interval (corresponds to peak detector). AVG: Average value within the time resolution interval (corresponds to RMS detector). MIN: Minimum value within the time resolution interval. Standard: Displays the limit of the selected safety standard.
Marker function		Delta marker, Marker, highest peak, next peak right, next peak left, next highest peak, next lowest peak
Evaluation functions		Duty cycle (ratio of average power to maximum power)
Triggering		Programmable Trigger Delay, Trigger Edge and Trigger Level
Trigger Mode	Free Run	Time signal runs continuously.
	Single	Single triggering as soon as the selected conditions apply for Trigger Level, Trigger Delay, and Trigger Edge
	Multiple	Same as for Single but with multiple subsequent triggering
	Manual Start	Time signals displayed instant by a button.
	Time Controlled	Time signals runs instant by date and time.
Axis		X, Y, Z axis selection for single-axis measurements using a Narda Three-Axis Antenna or selection of isotropic measurements
Extras (transfer of parameters)		"Go to: mode" changes the operating mode with automatic parameter transfer for Fcent and RBW. "Select Service" allows easy frequency settings by means of predefined service tables

MEASUREMENT FUNCTIONS	
Detection of Narda measurement antennas	Automatic consideration of antenna parameters after antenna is plugged in: antenna type, serial number, calibration date and antenna factors (see below). Automatic frequency range adjustment according to the connected antenna
Antenna factors	Used to display measurement results in field strength units Stored in all Narda antennas during calibration Antenna factor lists for antennas from other manufacturers can be created and transferred to the instrument using the PC software SRM-3006 Tools/TS
Detection of Narda Cables	Automatic consideration of cable parameters after cable is plugged in: Cable type, serial number, calibration date and loss factors (see below) Automatic frequency range adjustment according to the connected cable
Cable loss factors	Used for frequency response compensation of the power level display Stored in all Narda cables during calibration Cable loss lists for cables from other manufacturers can be created and transferred to the instrument using the PC software SRM-3006 Tools/TS
Units	With antenna: % (of the standard), V/m, A/m, W/m², mW/cm², dBV/m, dBmV/m, dBA/m, dBµV/m, dBm, dBV, dBmV, dBµV Without antenna: dBm, dBV, dBmV, dBµV
Isotropic Measurements	Automatic switching of the antenna axes when using one of Narda's three-axis measurement antennas followed by computation of the isotropic result. Support for sequential measurements using single-axis antennas with subsequent computation of the isotropic result. Both results are directly displayed as a spectrum curve or as numerical values
Weighted Display	In % of standard for human safety standards like ICNIRP, IEEE, FCC etc. New lists of exposure limits can be created and transferred to the instrument using the PC software SRM-3006 Tools/TS
Correlation of results with telecom services	Service Tables specify the used frequency band, the name and the required resolution bandwidth (RBW) of up to 500 individual services in a single list. Thus measurement results can be easily assigned to a service even without the knowledge of the frequency (marker functions, peak table evaluation function, Safety Evaluation mode). Service Tables can be created either directly on the instrument or conveniently created and transferred to the instrument using the PC software SRM-3006 Tools/TS
Setups	Complete device configurations provide fast switching between different measurement tasks. Saved setups can be downloaded to a PC for archiving and uploaded back to the instrument using the PC software SRM-3006 Tools/TS
Measurement Routines	Automated sequences of setups (created using the PC software SRM-3006 Tools/TS)
Results Memory	Memory modes
	Result stored as: Spectrum in Spectrum Analysis mode (SPECTRUM), Table in Safety Evaluation mode (SAFETY), Values in UMTS P-CPICH Demodulation mode (UMTS) as well as for LTE mode (LTE FDD and LTE TDD) Values for Level Recorder (LEVEL) and Scope (SCOPE)
	Conditional Storing
	Conditional storing of results exceeding a specified threshold value (in all operating modes except "Scope") with individual storage rates and reset function
Memory capacity	Time Controlled Storing
	Long term monitoring up to 99 hours (in all operating modes except "Scope"). Settings for: start date, start time, duration and time interval (6 s to 60 min)
Hold	128 MB (up to 8000 spectra, 4000 screenshots)
Operating language	Button that "Freezes" the display; the measurement continues in the background. Selectable: English (Default), French, Spanish, Turkish, Simplified Chinese

GENERAL SPECIFICATIONS

Operating temperature range		-10 °C to +50 °C during normal operation with batteries 0 °C to +40 °C with external power supply
Compliance	Climatic	Storage 1K3 (IEC 60721-3) extended to -10 °C to +50 °C
		Transport 2K4 (IEC 60721-3) restricted -30 °C to +70° C due to display
		Operating 7K2 (IEC 60721-3) extended to -10 °C to +50 °C
	Mechanical	Storage 1M3 (IEC 60721-3)
		Transport 2M3 (IEC 60721-3)
		Operating 7M3 (IEC 60721-3)
	Ingress protection IP 52 (with antenna attached and interface protector closed)	
	EMC	European Union Complies with EMC Directive 2014/30/EU and EN 61326 -1: 2013
		Immunity EN: 61000-4-2, 61000-4-3, 61000-4-4, 61000-4-5, 61000-4-6, 61000-4-8, 61000-4-11
		Emissions EN: 61000-3-2, 61000-3-3, EN 55011 (CISPR 11) Class B
	Safety	Complies with European Low Voltage Directive 2014/35/EU and EN 61010-1: 2010
RF Immunity		200 V/m
Air humidity (operating range)		< 29 g/m³ (< 93 % RH at +30 °C), non-condensing
Weight		2.8 kg / 6.2 lbs (basic unit including battery)
Dimensions (H x W x D)		213 mm x 297 mm x 77 mm (8.4" x 11.7" x 3.0")
Display	Type	Color display TFT-LCD with backlight, for indoor and outdoor use
	Size, resolution	7 inch (152 mm x 91 mm), 800 x 480 pixels
Interface		USB mini B (USB 2.0)
		Optical RS 232 (Baud rate 115 200)
		Earphone 3.5 mm TRS
Power supply	Battery	Lithium-Ion rechargeable battery pack operating time: 2.5 hours (nominal) charging time: 4.5 hours (nominal)
		Input: 9 to 15 V _{DC}
	External power supply	Adapter 100-240 V _{AC} / 12 V _{DC} , 2.5 A (plug DIN 45323)
Recommended calibration interval		24 months
Country of origin		Germany

SPECIFICATIONS ● ISOTROPIC ANTENNAS

Three-axis antenna (E-Field) 3501/03			
Frequency range	27 MHz to 3 GHz The correction factors determined individually during calibration are stored in an EEPROM and are applied automatically when used in conjunction with the SRM basic unit.		
Antenna type	E-field		
Sensor type	Three-axis design with scanned axes		
Dynamic range ^{a)}	0.2 mV/m to 200 V/m (typ.)		
Maximum field strength (destruction limit)	435 V/m or 50 mW/cm² (nom.)		
Displayed Average Noise Level (DANL) in conjunction with the SRM basic unit	Frequency range	Single-axis measurement with isotropic antenna	Isotropic measurement
	900 MHz (RBW = 1 kHz)	25 µV/m (typ.)	40 µV/m (typ.)
	2.1 GHz (RBW = 1 kHz)	40 µV/m (typ.)	70 µV/m (typ.)
Measurement range limit (for single CW signal)	300 V/m (typ.) 1000 V/m (typ.) for f ≤ 110 MHz		
RF connector	N-Connector, 50 Ω, male		
MEASUREMENT UNCERTAINTY			
Expanded measurement uncertainty ^{b)} (in conjunction with SRM basic unit and 1.5 m RF cable)	Frequency range	Single-axis measurement with isotropic antenna	Isotropic measurement
	27 – 85 MHz	+2.4 / -3.3 dB	+3.2 / -4.7 dB
	> 85–900 MHz	+2.4 / -3.4 dB	+2.5 / -3.6 dB
	> 900–1400 MHz	+2.3 / -3.1 dB	+2.5 / -3.4 dB
	> 1400–1600 MHz	+2.3 / -3.1 dB	+2.6 / -3.8 dB
	> 1600–1800 MHz	+1.8 / -2.3 dB	+2.2 / -3.0 dB
	> 1800–2200 MHz	+1.8 / -2.3 dB	+2.4 / -3.3 dB
	> 2200–2700 MHz	+1.9 / -2.4 dB	+2.7 / -3.8 dB
	> 2700–3000 MHz	+1.9 / -2.4 dB	+3.3 / -5.3 dB
GENERAL SPECIFICATIONS			
Operating temperature range	-10 °C to +50 °C (same as SRM basic unit)		
Climatic	Storage	1K3 (IEC 60721-3) extended to -10 °C to +50 °C	
	Transport	2K4 (IEC 60721-3) -40 °C to +70 °C	
	Operating	7K2 (IEC 60721-3) extended to -10 °C to +50 °C	
Mechanical	Storage	1M3 (IEC 60721-3)	
	Transport	2M3 (IEC 60721-3)	
	Operating	7M3 (IEC 60721-3)	
Compliance	Ingress protection IP 52 (antenna connected)		
EMC	European Union	Complies with EMC Directive 2014/30/EU and EN 61326 -1: 2013	
	Immunity	EN: 61000-4-2, 61000-4-3, 61000-4-4, 61000-4-5, 61000-4-6, 61000-4-8, 61000-4-11	
	Emissions	EN: 61000-3-2, 61000-3-3, EN 55011 (CISPR 11) Class B	
Safety	Complies with European Low Voltage Directive 2014/35/EU and EN 61010-1: 2010		
Air humidity (operating range)	< 29 g/m³ (< 93 % RH at +30 °C), non-condensing		
Weight	450 g		
Dimensions	450 mm length; 120 mm antenna head diameter		
Calibration	20 reference points: (26; 45; 75; 100; 200; 300; 433; 600; 750; 900) MHz (1; 1.2; 1.4; 1.6; 1.8; 2; 2.2; 2.45; 2.7; 3) GHz The SRM basic unit applies linear interpolation between reference points		
Recommended calibration interval	24 months		
Country of origin	Germany		

a) For a signal to noise ratio of 10 dB (RBW = 1 kHz), 800 MHz to 1.8 GHz

b) Valid for the temperature range +15 °C to +30 °C, according to the definition on page 3

Three-axis antenna (E-Field) 3502/01				
Frequency range	420 MHz to 6 GHz The correction factors determined individually during calibration are stored in an EEPROM and are applied automatically when used in conjunction with the SRM basic unit.			
Antenna type	E-field			
Sensor type	Three-axis design with scanned axes			
Dynamic range ³⁾	0.14 mV/m to 160 V/m (typ.)			
Maximum field strength (destruction limit)	435 V/m or 50 mW/cm ² (nom.)			
Displayed Average Noise Level (DANL) in conjunction with the SRM basic unit	Frequency range	Single-axis measurement with isotropic antenna	Isotropic measurement	
	900 MHz (RBW = 1 kHz)	33 µV/m (typ.)	60 µV/m (typ.)	
	2.1 GHz (RBW = 1 kHz)	25 µV/m (typ.)	43 µV/m (typ.)	
Measurement range limit (for single CW signal)	200 V/m (typ.)			
RF connector	N-Connector, 50 Ω, male			
MEASUREMENT UNCERTAINTY				
Expanded measurement uncertainty ³⁾ (in conjunction with SRM basic unit and 1.5 m RF cable)	Frequency range	Single-axis measurement with isotropic antenna	Isotropic measurement	
	420-750 MHz	+2.1 / -2.9 dB	+2.6 / -3.8 dB	
	> 750-1800 MHz	+2.1 / -2.8 dB	+2.3 / -3.1 dB	
	> 1800-4000 MHz	+1.7 / -2.2 dB	+2.0 / -2.6 dB	
	> 4000-4500 MHz	+1.8 / -2.3 dB	+2.2 / -3.0 dB	
	> 4500-5000 MHz	+1.9 / -2.5 dB	+2.5 / -3.5 dB	
	> 5000-6000 MHz	+1.9 / -2.5 dB	+3.1 / -4.9 dB	
GENERAL SPECIFICATIONS				
Operating temperature range		-10 °C to +50 °C (same as SRM basic unit)		
Compliance	Climatic	Storage	1K3 (IEC 60721-3) extended to -10 °C to +50 °C	
		Transport	2K4 (IEC 60721-3) -40 °C to +70 °C	
		Operating	7K2 (IEC 60721-3) extended to -10 °C to +50 °C	
	Mechanical	Storage	1M3 (IEC 60721-3)	
		Transport	2M3 (IEC 60721-3)	
		Operating	7M3 (IEC 60721-3)	
	Ingress protection		IP 52 (antenna connected)	
	EMC	European Union	Complies with EMC Directive 2014/30/EU and EN 61326 -1: 2013	
		Immunity	EN: 61000-4-2, 61000-4-3, 61000-4-4, 61000-4-5, 61000-4-6, 61000-4-8, 61000-4-11	
		Emissions	EN: 61000-3-2, 61000-3-3, EN 55011 (CISPR 11) Class B	
	Safety	Complies with European Low Voltage Directive 2014/35/EU and EN 61010-1: 2010		
Air humidity (operating range)		< 29 g/m ³ (< 93 % RH at +30 °C), non-condensing		
Weight		400 g		
Dimensions		450 mm length; 120 mm antenna head diameter		
Calibration		21 reference points: 420 MHz, 600 MHz, 750 MHz; 900 MHz (1; 1.2; 1.4; 1.6; 1.8; 2; 2.2; 2.45; 2.7; 3; 3.5; 4; 4.5; 5; 5.5; 5.8; 6) GHz The SRM basic unit applies linear interpolation between reference points.		
Recommended calibration interval		24 months		
Country of origin		Germany		

a) For a signal to noise ratio of 10 dB (RBW = 1 kHz); 1.8 to 2.2 GHz

b) Valid for the temperature range +15 °C to +30 °C, according to the definition on page 3

Three-axis antenna (H-Field) 3581/02			
Frequency range	9 kHz to 250 MHz The correction factors determined individually during calibration are stored in an EEPROM and are applied automatically when used in conjunction with the SRM basic unit.		
Antenna type	H-Field		
Sensor type	Triaxial active magnetic loop design with scanned axes		
Dynamic range ^{a)}	2.5 µA/m to 560 mA/m (typ.)		
Maximum field strength (destruction limit)	250 A/m / f [MHz] (nom.)		
Displayed Average Noise Level (DANL) in conjunction with the SRM basic unit	Frequency range	Single-axis measurement with isotropic antenna	Isotropic measurement
	> 1 MHz (RBW = 1 kHz)	0.5 µA/m (typ.)	0.85 µA/m (typ.)
RF connector ^c	N-Connector, 50 Ω, male		
Measurement uncertainty			
Expanded measurement uncertainty ^{a)} (in conjunction with SRM basic unit and 1.5 m RF cable)	Frequency range	Single-axis measurement with isotropic antenna	Isotropic measurement
	0.009 - 60 MHz	±2.2 dB	±2.5 dB
	> 60 - 250 MHz	±2.3 dB	±3.3 dB
GENERAL SPECIFICATIONS			
Operating temperature range	-10 °C to +50 °C (same as SRM basic unit)		
Compliance	Climatic	Storage	1K3 (IEC 60721-3) extended to -10 °C to +50 °C
		Transport	2K4 (IEC 60721-3) -40 °C to +70 °C
	Mechanical	Operating	7K2 (IEC 60721-3) extended to -10 °C to +50 °C
		Storage	1M3 (IEC 60721-3)
		Transport	2M3 (IEC 60721-3)
		Operating	7M3 (IEC 60721-3)
Ingress protection	IP 52 (antenna connected)		
EMC	European Union	Complies with EMC Directive 2014/30/EU and EN 61326-1: 2013	
	Immunity	EN: 61000-4-2, 61000-4-3, 61000-4-4, 61000-4-5, 61000-4-6, 61000-4-8, 61000-4-11	
	Emissions	EN: 61000-3-2, 61000-3-3, EN 55011 (CISPR 11) Class B	
Safety	Complies with European Low Voltage Directive 2014/35/EU and EN 61010-1: 2010		
Air humidity (operating range)	< 29 g/m³ (< 93 % RH at +30 °C), non-condensing		
Weight	470 g		
Dimensions	450 mm length; 120 mm antenna head diameter		
Calibration	178 reference points The SRM basic unit applies linear interpolation between reference points.		
Recommended calibration interval	24 months		
Country of origin	Germany		

a) For a signal to noise ratio of 10 dB (RBW = 1 kHz), 3 MHz to 250 MHz

b) Valid for the temperature range +15 °C to +30 °C, according to the definition on page 3

SPECIFICATIONS ● SINGLE-AXIS ANTENNAS

Single-axis antenna (E-field) 3531 / 01		
Frequency range	27 MHz to 3 GHz The correction factors determined individually during calibration are stored in an EEPROM and are applied automatically when used in conjunction with the SRM basic unit.	
Antenna type	E-Field	
Sensor type	Single-axis passive wide band dipole	
Dynamic range ^{a)}	60 µV/m to 80 V/m (typ.)	
Maximum field strength (destruction limit)	> 300 V/m or 25 mW/cm ² (nom.)	
Displayed Average Noise Level (DANL) in conjunction with the SRM basic unit	20 µV/m (typ.) from 100 MHz to 2.2 GHz with RBW = 1 kHz	
Measurement range limit (for single CW signal)	160 V/m (typ.)	
RF connector	N-Connector, 50 Ω, male	
UNCERTAINTY		
Expanded measurement uncertainty ^{b)} (in conjunction with SRM basic unit and 1.5 m RF cable)	Frequency range	Single-axis measurement
	26 - 300 MHz	±2.1 dB
	> 300 - 433 MHz	±2.4 dB
	> 433 - 1600 MHz	±2.2 dB
	> 1600 - 3000 MHz	±1.9 dB
GENERAL SPECIFICATIONS		
Operating temperature range	-10 °C to 50 °C (same as SRM basic unit)	
Climatic	Storage	1K3 (IEC 60721-3) extended to -10 °C to +50 °C
	Transport	2K4 (IEC 60721-3) -40 °C to +70 °C
	Operating	7K2 (IEC 60721-3) extended to -10 °C to +50 °C
Mechanical	Storage	1M3 (IEC 60721-3)
	Transport	2M3 (IEC 60721-3)
	Operating	7M3 (IEC 60721-3)
Compliance	Ingress protection	IP 52 (antenna connected)
	European Union	Complies with EMC Directive 2014/30/EU and EN 61326 -1: 2013
	EMC Immunity	EN: 61000-4-2, 61000-4-3, 61000-4-4, 61000-4-5, 61000-4-6, 61000-4-8, 61000-4-11
	Emissions	EN: 61000-3-2, 61000-3-3, EN 55011 (CISPR 11) Class B
	Safety	Complies with European Low Voltage Directive 2014/35/EU and EN 61010-1: 2010
Air humidity (operating range)	< 29 g/m ³ (< 93 % RH at +30 °C), non-condensing	
Weight	450 g	
Dimensions	460 mm length; 135 mm x 90 mm antenna head dimensions	
Calibration	24 reference points (26, 30, 40, 50, 60, 75, 100, 200, 300, 433, 600, 750, 900) MHz (1, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2, 2.2, 2.45, 2.6, 2.8, 3) GHz The SRM applies linear interpolation between reference points.	
	Recommended calibration interval	24 months
	Country of origin	Germany

a) For a signal to noise ratio of 10 dB (RBW = 1 kHz); 100 MHz to 2.2 GHz

b) Valid for the temperature range +15 °C to +30 °C, according to the definition on page 3

Single-axis antenna (E-field) 3531/04			
Frequency range	9 kHz to 300 MHz The correction factors determined individually during calibration are stored in an EEPROM and are applied automatically when used in conjunction with the SRM basic unit.		
Antenna type	E-field		
Sensor type	Single-axis active broadband dipole		
Dynamic range ^{a)}	50 µV/m to 16 V/m (typ.) for 300 kHz to 10 MHz 50 µV/m to 36 V/m (typ.) for > 10 MHz to 300 MHz		
Maximum field strength (destruction limit)	> 1000 V/m (nom.)		
Displayed Average Noise Level (DANL) in conjunction with the SRM basic unit	20 µV/m (typ.) for each frequency > 1 MHz with RBW = 1 kHz		
Measurement range limit (for single CW signal)	50 V/m (typ.)		
RF connector	N-Connector, 50 Ω, male		
UNCERTAINTY			
Expanded measurement uncertainty ^{b)} (in conjunction with SRM basic unit and 1.5 m cable)	Frequency range	Single-axis measurement	
	0.009 - 300 MHz	±2.0 dB	
GENERAL SPECIFICATIONS			
Operating temperature range	-10 °C to 50 °C (same as SRM basic unit)		
Compliance	Climatic	Storage	1K3 (IEC 60721-3) extended to -10 °C to +50 °C
		Transport	2K4 (IEC 60721-3) -40 °C to +70 °C
		Operating	7K2 (IEC 60721-3) extended to -10 °C to +50 °C
	Mechanical	Storage	1M3 (IEC 60721-3)
		Transport	2M3 (IEC 60721-3)
		Operating	7M3 (IEC 60721-3)
Ingress protection	IP 52 (antenna connected)		
EMC	European Union	Complies with EMC Directive 2014/30/EU and EN 61326 -1: 2013	
	Immunity	EN: 61000-4-2, 61000-4-3, 61000-4-4, 61000-4-5, 61000-4-6, 61000-4-8, 61000-4-11	
	Emissions	EN: 61000-3-2, 61000-3-3, EN 55011 (CISPR 11) Class B	
Safety	Complies with European Low Voltage Directive 2014/35/EU and EN 61010-1: 2010		
Air humidity (operating range)	< 29 g/m³ (< 93 % RH at +30 °C), non-condensing		
Weight	550 g		
Dimensions	460 mm length; 135 mm x 90 mm antenna head dimension		
Calibration	183 reference points The SRM applies linear interpolation between reference points.		
Recommended calibration interval	24 months		
Country of origin	Germany		

a) For a signal to noise ratio of 10 dB (RBW = 1 kHz)

b) Valid for the temperature range +15 °C to +30 °C, according to the definition on page 3

Single-axis antenna (H-field) 3551/02			
Frequency range	9 kHz to 300 MHz The correction factors determined individually during calibration are stored in an EEPROM and are applied automatically when used in conjunction with the SRM basic unit.		
Antenna type	H-field		
Sensor type	Single-axis active magnetic loop		
Dynamic range ^{a)}	0.4 µA/m to 71 mA/m (typ.)		
Maximum field strength (destruction limit)	> 2.65 A/m above 1 MHz (nom.)		
Displayed Average Noise Level (DANL) in conjunction with the SRM basic unit	0.12 µA/m (typ.) for each frequency > 10 MHz with RBW = 1 kHz		
Measurement range limit (for single CW signal)	100 mA/m (typ.)		
RF connector	N-Connector, 50 Ω, male		
UNCERTAINTY			
Expanded measurement uncertainty ^{a)} (in conjunction with SRM basic unit and 1.5 m cable)	Frequency range	Single-axis measurement	
	0.009 - 1 MHz	±2.0 dB	
	> 1 - 300 MHz	±1.8 dB	
GENERAL SPECIFICATION			
Operating temperature range	-10 °C to 50 °C (same as SRM basic unit)		
Compliance	Climatic	Storage	1K3 (IEC 60721-3) extended to -10 °C to +50 °C
		Transport	2K4 (IEC 60721-3) -40 °C to +70 °C
		Operating	7K2 (IEC 60721-3) extended to -10 °C to +50 °C
	Mechanical	Storage	1M3 (IEC 60721-3)
		Transport	2M3 (IEC 60721-3)
		Operating	7M3 (IEC 60721-3)
	Ingress protection	IP 52 (antenna connected)	
	EMC	European Union	Complies with EMC Directive 2014/30/EU and EN 61326 -1: 2013
		Immunity	EN: 61000-4-2, 61000-4-3, 61000-4-4, 61000-4-5, 61000-4-6, 61000-4-8, 61000-4-11
		Emissions	EN: 61000-3-2, 61000-3-3, EN 55011 (CISPR 11) Class B
	Safety	Complies with European Low Voltage Directive 2014/35/EU and EN 61010-1: 2010	
Air humidity (operating range)	< 29 g/m ³ (< 93 % RH at +30 °C), non-condensing		
Weight	450 g		
Dimensions	460 mm length; 43 mm x 100 mm antenna head dimension		
Calibration	183 reference points The SRM interpolates between reference points		
Recommended calibration interval	24 months		
Country of origin	Germany		

a) For a signal to noise ratio of 10 dB (RBW = 1 kHz), for frequencies > 10 MHz

b) Valid for the temperature range +15 °C to +30 °C, according to the definition on page 3

ORDERING INFORMATION • INSTRUMENT SETS

SRM – Set Overview	Part Number	
SRM-3006, Selective Radiation Meter, Set 1/2, Basic Unit, no Antenna Set includes: - Selective Radiation Meter, Basic Unit, SRM-3006 - RF-Cable SRM, 9kHz-6GHz, N 50 Ohm, 1.5m (3602/01) - Carrying Strap for SRM (Basic Unit) (3001/90.02) - Holding Strap for SRM-3006 Basic Unit (3001/90.12) - Operating Manual SRM-3006, English - Power Supply 12VDC, 100V-240VAC, all Plugs (2259/92.04) - Software, SRM-3006 Tools (3006/93.01) - Cable, USB 2.0, Master/Slave - A/B mini (2260/90.55)	Set with Hardcase	3006/101
	Set with Softcase	3006/102
SRM-3006, Selective Radiation Meter, Set 3/4, Basic Unit plus one Isotropic Antenna (420MHz-6GHz) Set includes: - Selective Radiation Meter, Basic Unit, SRM-3006 - Antenna, Three-Axis, E-Field, 420 MHz-6GHz (3502/01) - RF-Cable SRM, 9kHz-6GHz, N 50 Ohm, 1.5m (3602/01) - Carrying Strap for SRM (Basic Unit) (3001/90.02) - Holding Strap for SRM-3006 Basic Unit (3001/90.12) - Operating Manual SRM-3006, English - Power Supply 12VDC, 100V-240VAC, all Plugs (2259/92.04) - Software, SRM-3006 Tools (3006/93.01) - Cable, USB 2.0, Master/Slave - A/B mini (2260/90.55)	Set with Hardcase	3006/103
	Set with Softcase	3006/104
SRM-3006, Selective Radiation Meter, Set 5/6, Basic Unit plus two Isotropic Antennas Set includes: - Selective Radiation Meter, Basic Unit, SRM-3006 - Antenna, Three-Axis, E-Field, 420 MHz-6GHz (3502/01) - Antenna, Three-Axis, E-Field, 27 MHz-3GHz (3501/03) - RF-Cable SRM, 9kHz-6GHz, N 50 Ohm, 1.5m (3602/01) - Carrying Strap for SRM (Basic Unit) (3001/90.02) - Holding Strap for SRM-3006 Basic Unit (3001/90.12) - Operating Manual SRM-3006, English - Power Supply 12VDC, 100V-240VAC, all Plugs (2259/92.04) - Software, SRM-3006 Tools (3006/93.01) - Cable, USB 2.0, Master/Slave - A/B mini (2260/90.55)	Set with Hardcase	3006/105
	Set with Softcase	3006/106
SRM-3006, Selective Radiation Meter, Set 7/8, Basic Unit plus one Isotropic Antenna (27MHz-3GHz) Set includes: - Selective Radiation Meter, Basic Unit, SRM-3006 - Antenna, Three-Axis, E-Field, 27MHz-3GHz (3501/03) - RF-Cable SRM, 9kHz-6GHz, N 50 Ohm, 1.5m (3602/01) - Carrying Strap for SRM (Basic Unit) (3001/90.02) - Holding Strap for SRM-3006 Basic Unit (3001/90.12) - Operating Manual SRM-3006, English - Power Supply 12VDC, 100V-240VAC, all Plugs (2259/92.04) - Software, SRM-3006 Tools (3006/93.01) - Cable, USB 2.0, Master/Slave - A/B mini (2260/90.55)	Set with Hardcase	3006/107
	Set with Softcase	3006/108

ORDERING INFORMATION

Your local Narda representative will inform you of all possible options as well as the current ordering information and will be pleased to provide you with advice.

ANTENNAS	
Antenna, Three-Axis, E-Field, 27 MHz - 3 GHz	3501/03
Antenna, Three-Axis, E-Field, 420 MHz - 6 GHz	3502/01
Antenna, Three-Axis, H-Field, 9 kHz - 250 MHz	3581/02
Antenna, Single-Axis, E-Field, 27 MHz - 3 GHz	3531/01
Antenna, Single-Axis, E-Field, 9 kHz - 300 MHz	3531/04
Antenna, Single-Axis, H-Field, 9 kHz - 300 MHz	3551/02
OPTIONS	
Option, UMTS P-CPICH Demodulation	3701/04
Option, Scope	3701/05
Option, LTE (for FDD networks)	3701/06
Option, LTE (for TDD networks)	3701/07
SOFTWARE	
Software, SRM-3006 Tools, Configuration SW (included in all sets)	-
Software, SRM-3006 TS, PC Evaluation and Remote	3006/93.10
ACCESSORIES	
Antenna Holder for Uniaxial/Triaxial Antenna	3501/90.01
Antenna Holder for Triaxial Antenna	3501/90.02
RF-Cable, 9 kHz – 6 GHz, N 50 ohm, 5m	3602/02
Tripod, Non-Conductive, 1.65 m with carrying bag	2244/90.31
Tripod Extension, 0.50m, Non-Conductive	2244/90.45
Battery Pack, Rechargeable, 7V2 / 6200 mAh (one is included in each SRM Basic Unit)	3001/90.15
Charger Set for Battery Pack, External	3001/90.07
Power Supply DC Vehicle Adapter	2260/90.56
Hardcase for SRM	3001/90.03
Carrying Strap for Hardcase (included in all sets with hardcase)	3001/90.04
Softcase for SRM	3001/90.05
Protective Soft Carrying Bag for SRM-3006 Basic Unit	3001/90.13
N-Connector Saver for SRM	3001/90.14
O/E Converter USB, RP-02/USB	2260/90.07
Cable, FO Duplex, F-SMA to RP-02, 0.3m	2260/91.01
Cable, FO Duplex, RP-02, 2m	2260/91.02
Cable, FO Duplex, RP-02, 5m	2260/91.09
Cable, FO Duplex, RP-02, 10m	2260/91.07
Cable, FO Duplex, RP-02, 20m	2260/91.03
Cable, FO Duplex, RP-02, 50m	2260/91.04
Earphone, 3.5mm Plug	2400/90.03
Operating Manual SRM-3006, German (select for free instead of English)	3006/98.01

Narda Safety Test Solutions GmbH
 Sandwiesenstraße 7
 72793 Pfullingen, Germany
 Tel. +49 7121 97 32 0
 Fax +49 7121 97 32 790
 support.narda-de@L3T.com
 www.narda-sts.com

Narda Safety Test Solutions
 435 Moreland Road
 Hauppauge, NY 11788, USA
 Phone +1 631 231-1700
 Fax +1 631 231-1711
 NardaSTS@L3T.com
 www.narda-sts.us

Narda Safety Test Solutions Srl
 Via Leonardo da Vinci, 21/23
 20090 Segrate (Milano), Italy
 Phone +39 02 26 998 71
 Fax +39 02 26 998 700
 nardait.support@L3T.com
 www.narda-sts.it

© Names and Logo are registered trademarks of Narda Safety Test Solutions GmbH and L3 Communications Holdings, Inc. – Trade names are trademarks of the owners.