



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica
Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica

Exposición ocupacional a las radiaciones no ionizantes generados por equipos biomédicos de rehabilitación de diatermia de onda corta y terapia de pulsos magnéticos situación en Lima

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico

AUTOR

Alembert Eistein LINO ALVARADO

ASESOR

Víctor Manuel CRUZ ORNETTA

Lima, Perú

2019



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

Lino, A. (2019). *Exposición ocupacional a las radiaciones no ionizantes generados por equipos biomédicos de rehabilitación de diatermia de onda corta y terapia de pulsos magnéticos situación en Lima*. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Electrónico. Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica, Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

HOJA DE METADATOS COMPLEMENTARIOS

Código Orcid del asesor:
0000-0002-4353-7751

DNI del autor:
70128730

Grupo de investigación:
Grupo de investigación de las radiaciones no ionizantes.

Institución que financia parcial o totalmente la investigación:
Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Ubicación geográfica donde se desarrollo la investigación. Debe incluir localidades y
datas geográficas:

El trabajo fue realizado en los siguientes hospitales dentro de Lima metropolitana.

- Hospital Guillermo Almenara
Jirón García Naranjo 840, La Victoria 13, Perú
Coordenadas: 12°03'39.4"S 77°01'21.1"W

- Clínica Jesus del Norte
Av. Carlos Izaguirre 159, Independencia 15311, Perú
Coordenadas: 11°59'22.4"S 77°03'29.9"W

- Hospital de Emergencias de Villa el Salvador
200 Millas 14, Villa EL Salvador 15842, Perú
Coordenadas: 12°13'55.6"S 76°56'00.6"W

Año o rango de años que la investigación abarco:
2018-2019



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y ELÉCTRICA

ACTA DE SUSTENTACIÓN N° 002-VDAC-UMRAGT-FIEE/2019

TESIS N° 002-FIEE/2019 PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO

Los suscritos Miembros de Jurado, nombrados por la Dirección de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica de acuerdo a la Resolución Rectoral N° 03823-R-17, reunidos en la fecha bajo la Presidencia del Ing. Jean Carlos Malca Fernández e integrado por los Ingenieros: Ing. Alfredo Medina Calderón, Ing. Teófilo Matías Huablocho Pérez y el Dr. Víctor Manuel Cruz Ornetta (Miembro - Asesor)

Después de escuchar la Sustentación de Tesis del Bachiller **LINO ALVARADO, Alembert Eistein (12190018)**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico por la modalidad de Titulación Ordinaria, quien expuso su **TESIS: "EXPOSICIÓN OCUPACIONAL A LAS RADIACIONES NO IONIZANTES GENERADOS POR EQUIPOS BIOMÉDICOS DE REHABILITACIÓN DE DIATERMIA DE ONDA CORTA Y TERAPIA DE PULSOS MAGNÉTICOS SITUACIÓN EN LIMA"**.

Se acordó..... Aprobar por..... UNANIMIDAD

Con la Nota de..... Dieciocho (18)

Ciudad Universitaria, 02 de mayo del 2019

Ing. Jean Carlos Malca Fernández
Presidente de Jurado

Ing. Alfredo Medina Calderón
Miembro de Jurado

Ing. Teófilo Matías Huablocho Pérez
Miembro de Jurado

Dr. Víctor Manuel Cruz Ornetta
Miembro de Jurado-Asesor

Ing. Víctor Edmundo Alva Saldana
Director de la Escuela



Dr. Víctor Manuel Cruz Ornetta
Decano FIEE - UNMSM



Dedicatoria

A mi madre, el apoyo más bello.

A mi padre, con quien una plática es alcanzar la tranquilidad que busco en la vida.

A mis hermanos Güill, Al y Lhia, con quienes tengo una conexión de por vida.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, por brindarme una educación de calidad.
Esta es mi pequeña retribución.

A mi asesor, Dr. Victor Manuel Cruz Ornetta, por su guía durante el desarrollo de la investigación.

Al Ing. Marco Quispe por las sugerencias y esclarecimientos.

Al Mg. Javier Solis Lastra por información brindada.

Al Mg. Juan Carlos la Rosa por su motivación a seguir creciendo.

A los ingenieros: Eric Valentín Rojas, Gustavo Ingunza y Juan Carlos Palma por su apoyo con los accesos a los hospitales.

A Piero un hermano de toda la vida.

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

...And God made him die during the course of a hundred years and then He revived him and said: "How long have you been here?" "A day, or part of a day," he replied.

- The Koran, II 261

Resumen

El objetivo del presente trabajo es evaluar la exposición ocupacional producida por los campos electromagnéticos generados por equipos biomédicos de rehabilitación de diatermia de onda corta y terapia de pulsos magnéticos en algunos hospitales de Lima. En primera instancia se revisó la literatura existente sobre los niveles de radiaciones no ionizantes (RNI) generados durante el funcionamiento de estos equipos en ambientes hospitalarios. Además, en base a la normativa internacional se identificaron los niveles de referencia para exposición ocupacional a los campos eléctricos y magnéticos, los cuales indican los niveles máximos de RNI a los que un trabajador debe estar expuesto, estos son establecidos por la International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP).

La revisión de la información existente evidenció también que no existen protocolos para evaluar los niveles de radiaciones no ionizantes en la Unidad Productora de Servicios (UPSS) de Medicina de Terapia Física y Rehabilitación en los hospitales del Perú. En consecuencia, se desarrolló un protocolo de medición basado en las recomendaciones internacionales como: IEEE, ICNIRP y UIT.

Las jornadas de medición se realizaron en los hospitales: Guillermo Almenara Irigoyen, Jesús del Norte y Emergencias de Ventanilla. Se evaluaron in situ cinco cubículos de rehabilitación, tres de diatermia de onda corta y dos de terapia de pulsos magnéticos. En cada caso se aplicó el protocolo elaborado para luego contrastar los valores obtenidos con los niveles de referencia de la norma ICNIRP 1998, de este modo se evaluó si existe riesgo de sobreexposición a las RNI en cada emplazamiento. Así mismo, en base al protocolo y a la normativa, se identificó la Distancia de Seguridad (DS), el cual garantiza que el personal médico no se exponga a niveles mayores de RNI de los referenciados por ICNIRP dentro de los cubículos de terapia.

Así también, un mapa de las intensidades de campo eléctrico y magnético en dos dimensiones fue desarrollado para cada cubículo evaluado usando Matlab®, para brindar a la parte médica un mejor entendimiento de los niveles de campo que se generan durante el funcionamiento de los equipos biomédicos; además, el programa permitirá señalar la Distancia de Seguridad a la cual el personal asistencial deberá ubicarse durante el funcionamiento del equipo.

Los resultados obtenidos para los equipos de diatermia de onda corta evidenciaron que existe riesgo de exposición en los cubículos de terapia física, debido a que se registraron valores de hasta 262.865% del nivel de referencia ICNIRP para exposición ocupacional a campo eléctrico a un metro de distancia los aplicadores del equipo.

Para el caso de los equipos de terapia de pulsos magnéticos los resultados mostraron que no existe riesgo de sobreexposición a las radiaciones no ionizantes. Las mediciones realizadas tuvieron un valor máximo de 9.314 % del nivel de referencia ICNIRP para exposición ocupacional a campo magnético a medio metro de distancia del electrodo tipo bobina del equipo.

En conclusión, el trabajo de investigación evidenció que para los equipos de diatermia de onda corta existe el riesgo de sobre exposición, puesto que los niveles de campo eléctrico y magnético se encontraron por encima del nivel de referencia ocupacional ICNIRP. Mientras que para los equipos de terapia de pulsos magnéticos se probó que no existe ningún riesgo de sobre exposición.

Además, en base al trabajo realizado se evidencia la necesidad de realizar mediciones en los cubículos de terapia donde existen equipos de diatermia de onda corta para determinar las Distancias de Seguridad (DS) y validar la distribución física del mobiliario clínico (MC) respecto a los niveles de referencia ICNIRP.

Palabras claves: Radiación no ionizante, equipo biomédico, campo eléctrico, campo magnético, equipo de diatermia de onda corta y equipo de terapia de pulso magnético.

Abstract

The scope of this work is to evaluate the occupational exposure produced by the electromagnetic fields generated during the operation of biomedical rehabilitation equipment of short wave diathermy and magnetic pulse therapy in some hospitals in Lima. In the first instance, a thorough review of the literature on the levels of non-ionizing radiation (NIR) generated during the operation of these equipment in hospital environments was made. In addition, based on international regulations, the reference levels for occupational exposure to the electric and magnetic fields generated were identified.

The review of the existing information also showed that there are no protocols to evaluate the levels of non-ionizing radiation in the Service Producer Unit (UPSS) of Physical Therapy and Rehabilitation in the hospitals of Peru. As a result, a measurement protocol was developed based on international recommendations such as: IEEE, ICNIRP and ITU.

The measurements were carried out in the hospitals: Guillermo Almenara Irigoyen, Jesús del Norte and Emergencias de Ventanilla. Five rehabilitation cubicles, three short wave diathermy and two magnetic pulse therapy cubicles were evaluated in situ. In each case, the elaborated protocol was applied, then the obtained values were compared with the reference levels of the ICNIRP 1998 standard, in this way it was evaluated whether or not there is a risk of overexposure to the NIR in each site. Likewise, based on the protocol and regulations, the Safety Area (AS) was identified, which guarantees that medical personnel are not exposed to higher levels of RNI than those referenced by ICNIRP within the therapy cubicles.

Moreover, a map of the electric and magnetic field intensities in two dimensions was developed for each cubicle evaluated using Matlab®, to help the medical staff to understand better the field levels generated during the operation of the biomedical equipment; in addition, the program indicates the safety distance to which the assistance personnel should

be located during the operation of the equipment, for this the program will draw a circle in the intensity map.

The results obtained for the short wave diathermy equipment showed that there is a risk of over exposure in the therapy cubicles, because values of up to 549.489% of the ICNIRP reference level for occupational exposure to electric field were recorded at one meter of distance to the applicators.

In the case of magnetic pulse therapy equipment, the results showed that there is no risk of overexposure to non-ionizing radiation. The measurements had a maximum value of 9,314% of the ICNIRP reference level for occupational exposure to the magnetic field half a meter away from the equipment's coil-type electrode.

In conclusion, the research work showed that for short wave diathermy equipment there is a risk of overexposure, since the electric and magnetic field levels were found above the occupational reference level ICNIRP. While for the magnetic pulse therapy equipment it was proved that there is no risk of overexposure.

In addition, based on the done work, there is evidence of the need to perform measurements in the therapy cubicles where there are short wave diathermy equipment to determine the Safety Distances (DS) and validate the physical distribution of the clinical furniture (MC) with respect to the reference levels ICNIRP.

Keywords: Non-ionizing radiation, biomedical equipment, electric field, magnetic field, short wave diathermy equipment and magnetic pulse therapy equipment.

Tabla de Contenidos

Capítulo 1 Introducción	1
Planteamiento del problema.....	1
Justificación	5
Justificación teórica.	5
Justificación práctica.....	5
Objetivos	5
Objetivo general.....	5
Objetivos específicos.	6
Hipótesis	6
Variables.	6
Capítulo 2 Marco teórico	7
Antecedentes	7
Bases teóricas.....	9
Onda plana electromagnética.....	9
Interacción entre los campos eléctricos de baja frecuencia y el tejido biológico	11
Interacción entre los campos magnéticos de baja frecuencia y el tejido biológico	12
Radiación no ionizante.....	13
Espectro electromagnético	14
Regiones de propagación	14
Radiación generada por fuga	16
Efectos biológicos de los campos electromagnéticos	17
Instrumentos para medición de campos cercanos	18
Equipo biomédico	20

Equipo de Diatermia de Onda Corta.....	22
Equipos de Terapia de Pulsos Magnéticos	27
Directrices sobre la exposición a campos electromagnéticos	30
Internacional	30
Nacional	33
Capítulo 3 Metodología y protocolo de medición de las radiaciones no ionizantes.....	38
Norma ICNIRP para los límites de exposición.....	38
Exposición ocupacional y público general	38
Restricciones básicas	39
Niveles de referencia	40
Trabajadores con mayor riesgo.....	42
Determinación de la región del campo electromagnético.....	43
Protocolo de medición para los equipos biomédicos de rehabilitación	44
Selección y conformidad del Instrumento	45
Prospección técnica.....	47
Preparación del ambiente.....	48
Medición base	51
Simulación clínica.....	51
Procedimientos de medición y determinación de la Distancia de Seguridad	52
Sistema para la medición de campo eléctrico y magnético	57
NARDA NBM-550.....	57
Sondas.....	58
Interpolación espacial	61
Generación de los mapas de campo magnético y eléctrico.....	63
Limitaciones del estudio	71

Capítulo 4 Resultados	72
Sistematización de los resultados.....	72
Evaluación realizada en la Clínica Jesús del Norte	74
Cubículo de terapia 16	74
Evaluación realizada en el Hospital Nacional Guillermo Almenara Irigoyen.....	82
Cubículo adultos 01	82
Cubículo adultos 02	90
Evaluación realizada en el Hospital de Emergencias Villa El Salvador.....	98
Cubículo de terapia 01	98
Cubículo de terapia 02	107
Capítulo 5 Conclusiones	114
Conclusiones	114
Referencias bibliográficas.....	116
Apéndice A: Documentación técnica del sistema de medición	127
Apéndice B: Certificados de calibración	141
Apéndice C: Documentación técnica de los equipos biomédicos de rehabilitación.....	154
Apéndice D: Documentación de las jornadas de medición	161
Apéndice D.1: Documentación de las jornadas de medición clínica Jesús del Norte	161
Apéndice D.2: Documentación de las jornadas de medición Hospital Nacional Guillermo Almenara Irigoyen	163
Apéndice D.3: Documentación de las jornadas de medición Hospital de Emergencias Villa el Salvador	167

Lista de tablas

Tabla 1 Clasificación del espectro electromagnético.....	14
Tabla 2 Niveles de referencia para la exposición ocupacional a campos eléctricos y magnéticos variables en el tiempo (valores eficaces rms).....	32
Tabla 3 LMP de RNI en Telecomunicaciones para exposición ocupacional	34
Tabla 4 Estándares de calidad ambiental para radiaciones no ionizantes.....	35
Tabla 5 Niveles de referencia para exposición de población en áreas de uso público.	36
Tabla 6 Valores máximos de exposición a campos eléctricos y magnéticos a 60 Hz.	37
Tabla 7 Trabajadores con mayor riesgo frente a la exposición a EMF	43
Tabla 8 Criterios para la selección del instrumento.....	46
Tabla 9 Características físicas de la unidad de terapia física.....	47
Tabla 10 Características técnicas de los equipos biomédicos de rehabilitación.....	48
Tabla 11 Configuración del NBM para medir CE.....	53
Tabla 12 Configuración del NBM para medir CM.....	53
Tabla 13 Configuración del NBM para medir CE.....	53
Tabla 14 Configuración del NBM para medir CM.....	54
Tabla 15 Características del equipo NBN-550	58
Tabla 16 Listado de sondas compatibles con el equipo NBM-550	59
Tabla 17 Características técnicas de la sonda EHP-50F.....	60
Tabla 18 Características técnicas de la sonda EF 069	61
Tabla 19 Descripción de las matrices creadas en la primera rutina.....	65
Tabla 20 Dos primeras etapas de la segunda rutina.....	68
Tabla 21 Datos del equipo de diatermia de onda corta.....	76
Tabla 22 Configuración del equipo de diatermia de onda corta	77

Tabla 23 Datos del equipo de diatermia	84
Tabla 24 Configuración del equipo de diatermia.....	84
Tabla 25 Datos del equipo de terapia de diatermia.....	92
Tabla 26 Configuración del equipo de diatermia.....	92
Tabla 27 Datos del equipo de terapia de pulsos.....	100
Tabla 28 Configuración del equipo de terapia de pulsos	101
Tabla 27 Datos del equipo de terapia de pulsos.....	108
Tabla 28 Configuración del equipo de terapia de pulsos	109

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de los equipos biomédicos generadores de campo según su aplicación.	2
Figura 2. Campo eléctrico propagándose en dos materiales de diferente conductividad y permisividad dieléctrica.	11
Figura 3. Regiones de propagación: campo lejano, campo próximo radiante y campo próximo reactivo.....	15
Figura 4. Diagrama típico de una sonda de campo eléctrico	19
Figura 5. Diagrama típico de una sonda de campo magnético	20
Figura 6. Equipo de diatermia por onda corta.....	23
Figura 7. Diagrama que muestra la generación y aplicación de diatermia por ondas cortas. ..	24
Figura 8. Forma de onda constante, durante el tratamiento.	24
Figura 9. Forma de onda pulsante, programada durante tratamiento.	25
Figura 10. Aplicación de diatermia con aplicadores capacitivos por espacio libre.	26
Figura 11. Aplicación de diatermia con aplicadores capacitivos de tipo almohadilla.	26
Figura 12. Aplicación de diatermia con aplicadores de inducción por cable.	27
Figura 13. Aplicación de diatermia con aplicadores inductivos de tipo tambor.....	27
Figura 14. Diagrama de bloques de un equipo de PEMF.	28
Figura 15. Esquema de una bobina de Hlemholtz y su orientación como relación a los ejes OXYZ.	30
Figura 16. Efectos de las RNI en el cuerpo humano.....	40
Figura 17. Límites de referencia ICNIRP para exposición ocupacional a campo eléctrico. ...	41
Figura 18. Límites de referencia ICNIRP para exposición ocupacional a campo magnético.	42
Figura 19. División del cubículo de terapia en cuadrados de medio metro de lado, para determinar los puntos de medición.	49

Figura 20. Cubículo de terapia. Configuración típica para el empleo de un equipo de terapia de pulsos magnéticos. Las aspas rojas señalan el área crítica. Las aspas azules indican el área colindante.....	50
Figura 21. Cubículo de terapia. Configuración típica para el empleo de un equipo de onda corta. Las aspas rojas señalan el área crítica. Las aspas azules indican el área colindante.	51
Figura 22. Diagrama de flujo del protocolo de medición.	56
Figura 23. Equipo NBM 550.	57
Figura 24. Región E de radio L. Puntos M2, M3 y M6 contenidos en E. Los puntos M1, M4, M5 y M7 no son considerados para el cálculo de C.	63
Figura 25. Diagrama de flujo de la primera rutina de programación.....	64
Figura 26. Llenado de la matriz base en función a la posición espacial de cada medición.	65
Figura 27. Matriz I generada en base a una matriz base de 4 filas por cuatro columnas.....	66
Figura 28. Diagrama de flujo de la segunda rutina de programación.	67
Figura 29. En la parte superior se muestra el trazo de la circunferencia de radio L.	69
Figura 30. Rutina “generación del mapa”.....	70
Figura 31. Croquis de un cubículo de terapia.	73
Figura 32. Grafica de los niveles de intensidad medidos versus los niveles de referencia ICNIRP.	73
Figura 33. Grafica porcentual de los niveles de intensidad medidos versus los niveles de referencia ICNIRP.	74
Figura 34. Cubículo de terapia 16, Clínica Jesús del Norte.....	75
Figura 35. Croquis del cubículo de terapia 16.	76
Figura 36. Grafica de los niveles de intensidad medidos versus los niveles de referencia ICNIRP.	77

Figura 37. Grafica porcentual de los niveles de intensidad medidos versus los niveles de referencia ICNIRP.	78
Figura 38. Grafica de los niveles de intensidad medidos versus los niveles de referencia ICNIRP.	79
Figura 39. Grafica porcentual de los niveles de intensidad medidos versus los niveles de referencia ICNIRP.	80
Figura 40. Mapa de campo eléctrico del cubículo de terapia 16.	81
Figura 41. Mapa de campo magnético del cubículo de terapia 16.....	82
Figura 42. Cubículo de terapia adultos 1, hospital Almenara.....	83
Figura 43. Croquis del cubículo de terapia adultos 01.....	83
Figura 44. Grafica de los niveles de intensidad medidos versus los niveles de referencia ICNIRP.	85
Figura 45. Grafica porcentual de los niveles de intensidad medidos versus los niveles de referencia ICNIRP.	86
Figura 46. Grafica de los niveles de intensidad medidos versus los niveles de referencia ICNIRP.	87
Figura 47. Grafica porcentual de los niveles de intensidad medidos versus los niveles de referencia ICNIRP.	88
Figura 48. Mapa de campo eléctrico del cubículo adultos 01.....	89
Figura 49. Mapa de campo magnético del cubículo adultos 01.....	90
Figura 50. Cubículo de terapia adultos 02, hospital Almenara.....	91
Figura 51. Croquis del cubículo de terapia adultos 02.....	91
Figura 52. Grafica de los niveles de intensidad medidos versus los niveles de referencia ICNIRP.	93

Figura 53. Grafica porcentual de los niveles de intensidad medidos versus los niveles de referencia ICNIRP.	94
Figura 54. Grafica de los niveles de intensidad medidos versus los niveles de referencia ICNIRP.	95
Figura 55. Grafica porcentual de los niveles de intensidad medidos versus los niveles de referencia ICNIRP.	96
Figura 56. Mapa de campo eléctrico del cubículo adultos 02.....	97
Figura 57. Mapa de campo magnético del cubículo adultos 02.....	98
Figura 58. Cubículo de terapia 1, hospital de Emergencias de Ventanilla.	99
Figura 59. Croquis del cubículo de terapia 1.	100
Figura 60. Grafica de los niveles de intensidad medidos versus los niveles de referencia ICNIRP.	102
Figura 61. Grafica porcentual de los niveles de intensidad medidos versus los niveles de referencia ICNIRP.	103
Figura 62. Grafica de los niveles de intensidad medidos versus los niveles de referencia ICNIRP.	104
Figura 63. Grafica porcentual de los niveles de intensidad medidos versus los niveles de referencia ICNIRP.	105
Figura 64. Mapa de campo eléctrico del cubículo de terapia 01.	106
Figura 65. Mapa de campo magnético del cubículo de terapia 01.....	106
Figura 66. Cubículo de terapia 1, hospital de Emergencias de Ventanilla.	107
Figura 67. Croquis del cubículo de terapia 02.	108
Figura 68. Grafica de los niveles de intensidad medidos versus los niveles de referencia ICNIRP.	109

Figura 69. Grafica porcentual de los niveles de intensidad medidos versus los niveles de referencia ICNIRP.	110
Figura 70. Grafica de los niveles de intensidad medidos versus los niveles de referencia ICNIRP.	111
Figura 71. Grafica porcentual de los niveles de intensidad medidos versus los niveles de referencia ICNIRP.	112
Figura 72. Mapa de campo eléctrico del cubículo de terapia 02.	113
Figura 73. Mapa de campo magnético del cubículo de terapia 02.....	113

Capítulo 1

Introducción

Planteamiento del problema

La presencia de generadores de campos electromagnéticos se acrecentó en los últimos años dentro de las áreas militares, de telecomunicaciones, industriales y salud; estos generadores poseen diversas aplicaciones tecnológicas entre las cuales se tienen: equipos biomédicos, geolocalización, generación de energía, radares y control de procesos. Dentro de estas aplicaciones los generadores eléctricos y las líneas de alta tensión, necesarias para la transmisión energética, son una de las principales fuentes de emisión de campos electromagnéticos a nivel mundial.

El crecimiento de la infraestructura del sector salud en el Perú se incrementó en los últimos años. De acuerdo al Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) al año 2013 existían en el Perú: 511 hospitales, 15 institutos especializados, 2096 centros de salud y 7124 puestos de salud; además al 2013 existían 390 establecimientos de salud del seguro social. Asimismo, al 2012 el número de camas hospitalarias en todo el Perú era de 45922 (INEI, 2015).

En el Perú en el 2016 la Cámara de Comercio de Lima reportó que el sector salud en el Perú mueve al año US\$8.000 millones y presentó un crecimiento del 12% (Inga, 2013). Además, el Ministerio de Salud invirtió S/. 8,400 millones en el 2016 en infraestructura hospitalaria.

Las últimas dos décadas significaron la inserción de una gran cantidad de equipamiento biomédico a los hospitales en el Perú. A enero del 2016 el Seguro Social del Perú (EsSalud, 2016) adquirió un total de 468 equipos médicos según el registro de compras realizadas por el sector salud.

El crecimiento de la infraestructura del sector salud implica un aumento en el volumen del equipamiento biomédico que es usado en terapia, tratamiento y diagnóstico. En el caso de los equipos biomédicos usados en terapia, algunos son fuentes de emisión de campos electromagnéticos, los cuales pueden generar interferencia en el funcionamiento de otros equipos (Aniołczyk, Mamrot, y Politański, 2006) y también producen un impacto ambiental por la generación de radiaciones no ionizantes de campos electromagnéticos. Los efectos de las radiaciones no ionizantes sobre la salud aún son temas de investigación alrededor del mundo (Li, Chen, Ferber, Odouli, y Quesenberry, 2017).

Debido a la gran cantidad de equipamiento biomédico existente en los hospitales es necesario identificar qué equipos biomédicos son fuentes de radiación no ionizante y su localización en los hospitales, medir los niveles de radiaciones no ionizantes en los departamentos de medicina física y rehabilitación, en los departamentos de cirugía y departamentos de anestesiología, gas terapia y centro quirúrgico y en los departamentos de imágenes y terapia radiante.

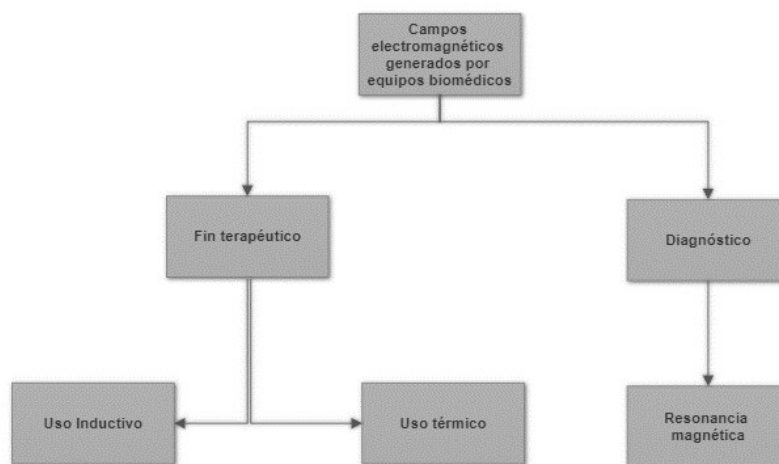


Figura 1. Clasificación de los equipos biomédicos generadores de campo según su aplicación.
Fuente: Kjell, Mild, & Lundström (2017)

El empleo de campos electromagnéticos para fines médicos presenta dos aplicaciones importantes: diagnóstico y terapia. El diagnóstico se refiere al proceso que implica un juicio deliberado al que es sometido un paciente para identificar la enfermedad que este padece (King, 1967). La terapia se entiende por el empleo de medios quirúrgicos, farmacológicos y clínicos para tratar una enfermedad (Instituto Superior de Ciencias Médicas de La Habana., 2002).

En cuanto al diagnóstico, la resonancia magnética permite la obtención de imágenes médicas de alta resolución para ello emplea campos electromagnéticos de altas intensidades. Aniołczyk et al. (2006) evaluaron los niveles de intensidad de campo magnético en 142 equipos de resonancia magnética; se encontraron niveles de campo de 450 mT que superaran en un cien por ciento los niveles señalados por la directiva 2013/35 EU.

Simulaciones computacionales de niveles de exposición a densidades de flujo magnético en modelos humanos para frecuencias de operación de 1 kHz, mostraron valores superiores al nivel de referencia de 6.25 uT para exposición poblacional dados por ICNIRP (EU, 2004).

Niveles de intensidad de campo eléctrico de hasta 91,7 V/m fueron medidos durante un procedimiento de resonancia practicado a un paciente anestesiado en el Hospital D. Estefanía en Lisboa (Daniel, 2015) superando el valor de acción de 28,56 V/m propuesto en la directiva 2013/35 EU.

A nivel terapéutico, campos electromagnéticos a baja frecuencia son usados para inducir corrientes en tejidos y altas frecuencias son aplicadas para producir calor. Por ejemplo, la inducción de corriente es usada en equipos de estimulación transcraneal, y la generación de calor es usada en diatermia terapéutica, como en diatermia por onda corta, diatermia por microondas y electrocirugía (Kjell, Mild, y Lundström, 2017).

Investigadores de la universidad de Orebro realizaron mediciones de los niveles de campo cercano en los cables de dos unidades de electrocirugía operando a la frecuencia de 0.5 MHz; la comparación de datos con las recomendación del ICNIRP, indicó que los niveles de referencia para campo eléctrico y magnético fueron excedidos (Liljestrand, Sandström, & Hansson Mild, 2003).

Shah y Farrow (2013) realizaron una revisión de publicaciones académicas sobre mediciones de radiofrecuencia en ambientes de fisioterapia llevados a cabo entre 1990 y junio del 2010. Basados en el análisis de los niveles de intensidades de campo electromagnético hallados, sugieren que, para garantizar la seguridad del fisioterapeuta, este debe mantenerse a una distancia de un metro y medio del equipo de diatermia.

La Comisión Europea sugiere la existencia de riesgo de sobreexposición para los trabajadores que operen equipos de diatermia de onda corta. Establece que se debe realizar si fuese necesario una evaluación de riesgo en hospitales donde se usen equipos de terapia de onda corta, debido a que existen reportes de niveles altos de radiaciones no ionizantes a dos metros de las unidades de diatermia para equipos operando con electrodos capacitivos y a dos metros para equipos con electrodos inductivos (E. Commission, 2015).

Los estudios mencionados anteriormente evidencian la existencia de niveles elevados de campo eléctrico y magnético alrededor de equipos de resonancia magnética, onda corta, microondas y diatermia quirúrgica; debido a ello surge la necesidad de realizar un análisis de los niveles de intensidad de campo eléctrico y magnético existentes dentro de las unidades que albergan mencionados equipos.

Por causa de la gran cantidad de equipamiento biomédico existente en los hospitales es necesario identificar qué equipos biomédicos son fuentes de radiación no ionizante para realizar mediciones y contrastarlas con las recomendaciones internacionales del ICNIRP, para poder recomendar áreas de seguridad (AS) para el personal médico.

El presente trabajo solo abarca los equipos de rehabilitación: terapia de pulsos magnéticos y diatermia de onda corta, debido a dos razones principales: el tiempo para la elaboración del proyecto y, el difícil acceso a las áreas de centro quirúrgico y diagnóstico por imágenes.

Justificación

Justificación teórica

Desde el punto de vista teórico esta investigación permitirá conocer el estado actual de la literatura con respecto a los niveles de campos electromagnéticos asociados a equipos biomédicos de rehabilitación de diatermia de onda corta y terapia de pulsos magnéticos, y la normativa existente sobre la exposición ocupacional a estos campos electromagnéticos.

Justificación práctica

Desde el punto de vista práctico este proyecto de investigación permitirá conocer los niveles de intensidad de campos electromagnéticos generados por los equipos biomédicos de rehabilitación de diatermia de onda corta y terapia de pulsos magnéticos; además, basados en las mediciones a realizarse, se identificará la Distancia de Seguridad a la cual el personal médico podrá ubicarse en caso existiese riesgo de exposición a niveles de radiaciones no ionizantes mayores a los niveles de referencia ICNIRP.

Es decir, esta investigación se justifica desde el punto de vista teórico y práctico.

Objetivos

Objetivo general

Evaluar la exposición ocupacional producida por los campos electromagnéticos generados por equipos biomédicos de rehabilitación de onda corta y terapia de pulsos en algunos hospitales de Lima.

Objetivos específicos

- Revisar el estado del arte sobre los niveles exposición ocupacional a campos electromagnéticos generados por equipos biomédicos de rehabilitación de onda corta y terapia de pulsos magnéticos.
- Evaluar el cumplimiento de los niveles de referencia ICNIRP para exposición ocupacional de los niveles de RNI generados por los equipos de diatermia de onda corta y terapia de pulsos magnéticos establecidos.
- Proponer una Distancia de Seguridad (DS) alrededor del equipo biomédico dentro de los ambientes hospitalarios, respecto a la exposición a las radiaciones no ionizantes.
- Desarrollar mapas de radiación en dos dimensiones que ilustren las distancias de seguridad en las proximidades de los equipos biomédicos.

Hipótesis

Bajo condiciones normales de operación de los equipos de diatermia de onda corta y terapia de pulsos magnéticos se generan niveles de intensidad de campo eléctrico y magnético en ciertas regiones dentro del cubículo de terapia que superan los niveles de referencia ICNIRP para exposición ocupacional.

Variables.

Variable independiente.

La operación de los equipos de diatermia de onda corta y terapia de pulsos magnéticos en condiciones normales.

Variable dependiente.

Niveles de intensidad de campo eléctrico y magnético generados por equipos de diatermia de onda corta y terapia de pulsos magnéticos.

Capítulo 2

Marco teórico

Antecedentes

Ozen, Comlekci, Cerezci, y Onural, (2003) llevaron a cabo un estudio sobre los niveles de campos de radiofrecuencia cercanos a los equipos de diatermia de onda corta, frecuencia de operación de 27 MHz, que evidenció que los valores de campo electromagnético y campo eléctrico a distancias de 1 metro de los cables de los electrodos exceden las recomendaciones brindadas por el ICNIRP (1998).

Aniołczyk et al. (2006) realizaron una evaluación de intensidades de campos electromagnéticos en equipos de electrocirugía con rangos de frecuencia de 330KHz, 440KHz y 1.76MHz; equipos de diatermia y equipos de resonancia magnética de 0.2 -1.5 T; el estudio se llevó acabo en el instituto Nofer de medicina ocupacional en Polonia. Los valores de intensidad de campo encontrados fueron comparados con los niveles máximos permisibles recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y Unión Europea (EU). Los resultados evidenciaron que el 18% de los equipos evaluados, presentó valores de campo electromagnéticos mayores a los recomendados por EU.

Un estudio de exposición ocupacional de campos electromagnéticos realizado a 11 equipos de microondas, 4 equipos de diatermia de onda corta y 15 equipos de terapia de pulsos magnéticos; fue conducido por Macca et al. (2007). Para los equipos de microondas, se encontró que a distancias mayores de 1 metro los niveles de intensidad de campo se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles. En cuanto a los equipos de diatermia de onda corta, se evidenció que en las proximidades de los equipos y dentro los cubículos los valores de intensidad de campo magnético superaban los 0.256 A/m. Para la terapia de pulsos magnéticos, no se encontraron valores que sobrepasen los límites de

exposición; sin embargo, el mapa de radiación mostró valores de densidad de campo magnético de 0.4 uT.

Otro estudio similar fue conducido por Stuchly, Repacholi, Lecuyer, y Mann (1982). Evaluaron intensidades de campo eléctrico y magnético en 7 equipos de diatermia, ubicando la sonda en la posición del operador; las mediciones fueron realizadas durante 11 tratamientos llevados a cabo para los cuales se usaron 5 diferentes tipos de sonda. En todos los casos no se superaron los límites máximos permisibles; sin embargo, a distancias de 0.5 metros alrededor de los cables los valores se encontraron por encima de los valores recomendados.

Delpizzo y Joyner (1987) señalaron efectos adversos en los ojos por exposición a EMF generados rangos de frecuencia entre 1GHz - 10 GHz y por los generados en diatermia por microondas. También indicaron efectos adversos sobre las gónadas, para una exposición a microondas de 2450 MHz y una densidad de potencia de 50mW/cm².

Tzima y Martin (1994) sometieron a evaluación equipos de diatermia quirúrgica y terapéutica. Los niveles de EMF más altos correspondieron a ondas continuas de 27 MHz en equipos de diatermia quirúrgica, estos valores sobrepasaron la normativa EU a distancias menores a 1 metro del cable de los electrodos; en los tratamientos con electrodos capacitivos se observó un cumplimiento de la directiva a distancias mayores a 0.20 metros; y para electrodos inductivos se cumplió la directiva a distancias de entre 0.5-0.8 metros.

Allen (1991) indicó que las mediciones de EMF producidos por equipos de diatermia de radio frecuencia a la altura de las rodillas, en ciertos casos supero la restricción de 20W/kg.

Schlesinger, Valdez, Miranda, Chiozza, y Miranda (2015) monitorearon los niveles de radiaciones no ionizantes en el instituto de cardiología “Juana Francisca Carbajal”. Los resultados indicaron un crecimiento continuo de los niveles de radiación dentro del entorno hospitalario, mas no superaron los niveles máximos recomendados por el ICNIRP.

Shah y Farrow (2007) llevaron a cabo un estudio sobre el uso seguro de equipos de diatermia; para ello se evaluaron 57 departamentos de fisioterapia cercanos a Londres. Se reportaron casos de interferencia electromagnética durante el funcionamiento de los equipos de diatermia de onda corta en 34.8% del total de departamentos. Se evidenció que el 52 % del total de cubículos de diatermia de onda corta pulsante y el 2.2 % de cubículos de diatermia de onda corta continua, contenían objetos metálicos como: calentadores, sillas, gabinetes, calentadores y radiadores; los cuales debido a su capacidad de reflejar las ondas EMF ocasionan un aumento en los valores de intensidad de campo medidos.

Martin, Mccallum, Strelley, y Heaton (1991) Midieron valores de intensidad de EMF por encima de las recomendación para exposición de cuerpo entero a distancias de 0.5 y 1 metro, alrededor de electrodos y cables para los equipos de diatermia de onda continua: Siemens Ultratherm 608, Siemens 708S y Megatherm Jnr mk 5, que operaban a 27 MHz.

En el Perú una evaluación en base a las recomendaciones de ICNIRP de los equipos de diatermia quirúrgica del hospital Daniel Alcides Carrión fue elaborado por Cruz Y Medina (2011). Para los equipos de diatermia quirúrgica, los valores a medio metro de distancia fueron de 0.54% del límite permisible para exposición ocupacional.

Luego de la revisar la literatura, evidenciamos que es una necesidad elaborar estudios más cuidadosos y detallados para determinar si los EMF generados por equipos biomédicos rehabilitación en ambientes hospitalarios pueden producir riesgo de sobre exposición.

Bases teóricas

Onda plana electromagnética

Características en el espacio libre.

En las condiciones de espacio libre, donde la conductividad dieléctrica y la densidad de corriente son cero ($\rho_v = J = 0$), las ecuaciones de Maxwell describen el movimiento de la onda plana, donde el campo eléctrico (\vec{E}) y campo magnético (\vec{H}) se encuentran en planos

perpendiculares de longitud infinita (Cheng, 1997 y Hayt, 2001). Las ecuaciones de Maxwell en el espacio libre se reducen a:

$$\nabla \times \vec{E} = -\mu_0 \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} \quad (1)$$

$$\nabla \times \vec{H} = \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (2)$$

$$\nabla \cdot \vec{E} = 0 \quad (3)$$

$$\nabla \cdot \vec{H} = 0 \quad (4)$$

Donde μ_0 y ϵ_0 son la permeabilidad y permitividad del espacio libre respectivamente.

Teniendo en cuenta que: $\nabla \times \nabla \times \vec{E} = \nabla (\nabla \cdot \vec{E}) - \nabla^2 \vec{E}$, se toma el rotacional a la primera ecuación y se usa la equivalencia de la tercera ecuación para obtener:

$$\nabla^2 \vec{E} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \quad (5)$$

De este modo se obtiene la ecuación de onda con la velocidad de la luz $c = 1/\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}$:

$$\nabla^2 \vec{E} = \left(\frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \right)^2 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \quad (6)$$

La longitud de onda atribuida a la onda electromagnética es presentada en la ecuación 7, donde c es la velocidad de la luz y ν viene a ser la frecuencia de la onda.

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \quad (7)$$

La potencia que es transportada por una onda plana viene representada por el promedio temporal del vector de Poynting (\vec{S}). Con este vector es posible conocer la dirección del flujo de la potencia instantánea para un momento dado.

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H} \quad \left(\frac{W}{m^2} \right) \quad (8)$$

De la solución de las ecuaciones de Maxwell para ondas planas, se tiene que la impedancia intrínseca es presentada en relación de \vec{E} y \vec{H} .

$$n_0 = \frac{\vec{E}}{\vec{H}} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 377 = 120\pi (\Omega) \quad (9)$$

Interacción entre los campos eléctricos de baja frecuencia y el tejido biológico

Dados dos materiales, como se ilustra en la Figura 5. *Diagrama típico de una sonda de campo magnético*, ambos de diferentes valores de conductividad (ρ) y permitividad dieléctrica (ϵ), por los cuales se propaga un campo eléctrico \vec{E} , el cual presenta variaciones en su magnitud al pasar de un medio a otro.

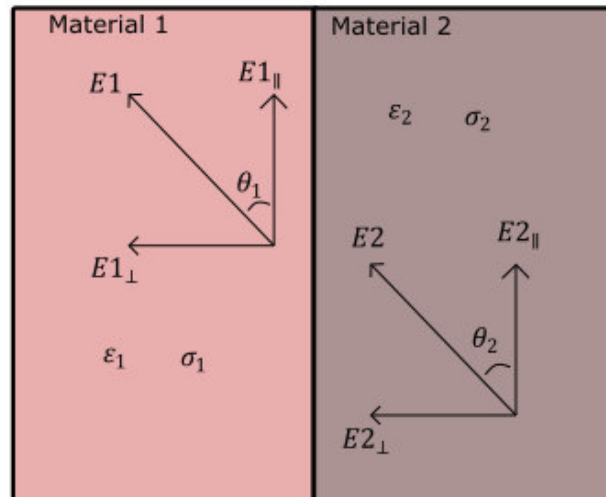


Figura 2. Campo eléctrico propagándose en dos materiales de diferente conductividad y permisividad dieléctrica.

Fuente: Barnes & Greenebaum (2007a)

Las componentes del campo eléctrico son representadas por $\vec{E1}_{\perp}$ y $\vec{E2}_{\perp}$, los cuales se relacionan bajo las ecuaciones 10 y 11, donde j es el numero complejo, ω es la frecuencia expresada en radianes y ρ_s es la densidad superficial de carga (Barnes y Greenebaum, 2007).

$$\sigma_1 \vec{E1}_{\perp} - \sigma_2 \vec{E2}_{\perp} = -j\omega\rho_s \quad (10)$$

$$\epsilon_1 \vec{E1}_{\perp} - \epsilon_2 \vec{E2}_{\perp} = \rho_s$$

(11)

Relacionando las ecuaciones anteriores se tiene que:

$$\vec{E1}_{\perp} = \frac{\sigma_2 + j\omega\epsilon_2}{\sigma_1 + j\omega\epsilon_1} \vec{E2}_{\perp} \quad (12)$$

Para el caso de interacción entre el tejido biológico (material 1) y los campos eléctricos propagándose en el espacio libre (material 2) se tiene que $\sigma_1 = 10^{-13} S/m$, $\sigma_2 = 10^1 S/m$, $\epsilon_1 = 10^{-11} F/m$ y $\epsilon_2 = 10^{-5} F/m$, asumiendo una frecuencia de 60 Hz, se obtiene que el componente perpendicular del campo eléctrico $\vec{E1}_{\perp}$ tiene el valor de $-j(2.5 \times 10^7) \vec{E2}_{\perp}$, y la relación entre las tangentes de los ángulos θ_1 y θ_2 viene dado por $\tan \theta_1 = 10^7 \times 2.5 \tan \theta_2$, donde $\theta_1 \approx 90^\circ$. Lo anteriormente expuesto muestra que el campo eléctrico en el aire es casi perpendicular a la superficie del tejido vivo.

Por lo tanto, conociendo el campo externo y los parámetros de permitividad y conductividad de los materiales es posible calcular el campo interno usando la ecuación 12 (Barnes y Greenebaum, 2007b).

Interacción entre los campos magnéticos de baja frecuencia y el tejido biológico

Debido a que la permeabilidad magnética (μ) de la mayoría de tejidos biológicos tiene casi el mismo valor que la permeabilidad magnética del espacio libre (μ_0), los campos magnéticos de bajas frecuencias no presentan variaciones entre uno y otro material. Estos campos pueden inducir corrientes de Eddy y variaciones de potencial en superficies conductivas (Barnes y Greenebaum, 2007a, 2007b). El voltaje inducido en la superficie conductiva viene dado por la integral cerrada de \vec{E} sobre la superficie conductiva cerrada, como se indica en la ecuación siguiente:

$$V = \oint \vec{E} \cdot d\vec{l} \quad (13)$$

La densidad de corriente inducida (J) viene dada por:

$$J = \sigma \vec{E} = \frac{\sigma \omega \vec{B} r}{2} \quad (14)$$

donde \vec{B} es la densidad de flujo magnético, σ es la conductividad y r es el radio de la superficie en metros.

Radiación no ionizante

El 14 de diciembre de 1900 en una conferencia llevada en la Sociedad de Física de Berlín, Max Plank explicó su teoría de cuerpo negro. Durante su exposición él introdujo la famosa relación entre la frecuencia y la energía, ecuación que sería la base de la teoría cuántica, la cual viene dada por la relación: $E = h * \nu$, donde h es la constante de Plank y tiene un valor de $6,62 \times 10^{-34} \text{Ws}^2$, mientras que ν es la frecuencia en Hertz.

Por otro lado, la frecuencia es dependiente de la longitud de onda de acuerdo a la siguiente ecuación $\nu * \lambda = C$.

De acuerdo a la ecuación dada por Max Plank, existe una relación entre la energía y la frecuencia, debido a la cual la radiación electromagnética presenta diferentes efectos ligados a la variación de energía dependiente de la frecuencia. Para ionizar átomos, o sea cargarlos eléctricamente, en el tejido humano es necesaria una cantidad de energía aproximada a 30eV. Por ello, radiaciones a frecuencias superiores a 10^{16}Hz correspondientes a 30eV son denominadas ionizantes (Gruppen, 2010).

Las radiaciones no ionizantes son ondas electromagnéticas de baja y media frecuencia que a diferencia de las ionizantes su energía es mucho menor ($<30\text{eV}$). Dicha cantidad de energía no presenta el nivel suficiente para que se pueda realizar el proceso de ionización. (Cruz Victor, 2016, p.6).

Según WHO, radiación no ionizante es un término dado a la radiación en las bandas de baja y media frecuencia en el espectro electromagnético, que contiene energía insuficiente

para causar ionización de átomos. La definición enmarca a los campos eléctricos y magnéticos, ondas de radio, micro ondas, infrarrojo, ultravioleta y luz visible (WHO, 2015).

Espectro electromagnético

Las ondas electromagnéticas radiadas al espacio libre están comprendidas en el espectro electromagnético. Estas ondas presentan oscilaciones a bajas y altas frecuencias (Frenzel, 2003). En la tabla 1 se presenta una clasificación del espectro electromagnético, en función a la longitud de onda asociada a cada nivel de energía.

Tabla 1
Clasificación del espectro electromagnético.

Clasificación	Frecuencia ν [s^{-1}]	Longitud de onda λ [m]	Energía [eV]
Corriente alterna	≈ 50	$\approx 6 \times 10^6$	$\approx 2 \times 10^{-13}$
Onda larga	$\approx 6 \times 10^4$	≈ 5000	$\approx 2,5 \times 10^{-10}$
Onda corta	$\approx 3 \times 10^6$	≈ 100	$\approx 1 \times 10^{-8}$
UHF	$\approx 10^8$	≈ 3	$\approx 4 \times 10^{-7}$
Comunicación móvil	$\approx 3 \times 10^9$	$\approx 0,10$	$\approx 1 \times 10^{-5}$
Microondas	$\approx 6 \times 10^9$	$\approx 0,05$	$\approx 2 \times 10^{-5}$
Radar	$\approx 3 \times 10^{10}$	$\approx 0,01$	$\approx 1 \times 10^{-4}$
Infrarrojo	$\approx 10^{12}$	$\approx 3 \times 10^{-4}$	$\approx 4 \times 10^{-3}$
Luz visible	$\approx 6 \times 10^{14}$	$\approx 5 \times 10^{-7}$	≈ 3
UV	$\approx 1,5 \times 10^{15}$	$\approx 2 \times 10^{-7}$	≈ 6
Rayos X	$\approx 2 \times 10^{17}$	$\approx 1 \times 10^{-9}$	$\approx 10^3$
Rayos γ	$\approx 2 \times 10^{20}$	$\approx 1 \times 10^{-12}$	$\approx 10^6$

Nota: Tomado de Grupen (2010)

Regiones de propagación

Las regiones alrededor de una antena se dividen en tres regiones principales. La región próxima a la antena es conocida como campo próximo reactivo o campo cercano reactivo, la región contigua es llamada campo próximo radiante o campo cercano radiante y la región más alejada es la región de campo lejano (Kraus y Marhefka, 2002).

La región de campo próximo reactivo está comprendida por la zona de campo cercana alrededor de la antena. Esta región está delimitada por un radio dado por $R < 0.62 \sqrt{\frac{D^2}{\lambda}}$ con centro en la superficie de la antena, donde D es la máxima longitud de la antena y λ es la longitud de onda. Para el caso de una antena de dimensiones muy pequeñas el radio R viene dado por $R < \frac{\lambda}{2\pi}$ (Balanis, 2010).

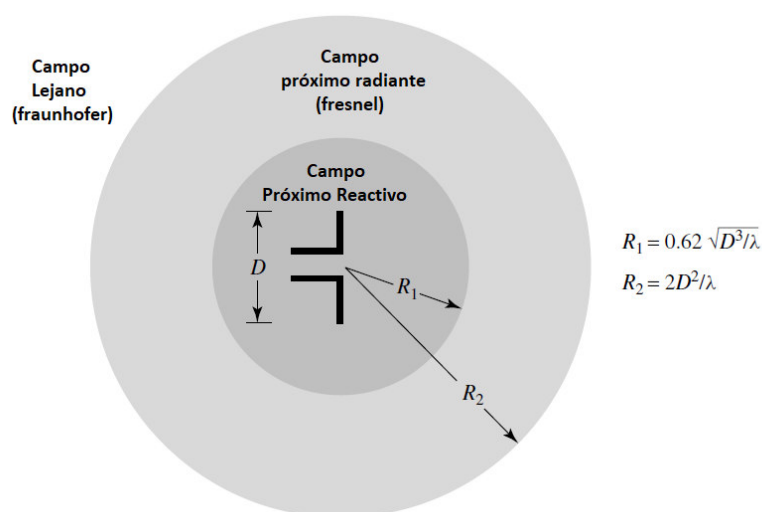


Figura 3. Regiones de propagación: campo lejano, campo próximo radiante y campo próximo reactivo.

Fuente: Balanis (2010)

El campo próximo radiante, también llamado zona de Fresnel en analogía a la terminología óptica, se encuentra entre el campo próximo reactivo y el campo lejano, en esta región predominan campos radiantes. Para el caso en el que la dimensión máxima de la antena sea mucho menor que la longitud de onda, esta región probablemente no exista. Esta región tiene como límite interior $R \geq 0.62 \sqrt{\frac{D^2}{\lambda}}$ y está delimitada exteriormente por $R < \frac{2D^2}{\lambda}$,

para ello debe cumplirse que la longitud máxima de la antena debe ser mayor que la longitud de onda $D > \lambda$ (Balanis, 2010).

En la región de campo lejano o región de Fraunhofer la distribución angular de campo es independiente de la distancia a la antena. En el caso de que la antena presente una longitud máxima mayor a la longitud de onda ($D > \lambda$), la región de campo lejano es usualmente tomado a distancias mayores a $\frac{2D^2}{\lambda}$ desde el centro de la antena. Otra aproximación usada de manera extensiva para calcular el inicio de la región de campo lejano es la de considerar 10λ (Ferrara, Gennarelli, y Guerriero, 2015). Cuando la antena está orientada al infinito la región de campo lejano es conocida como región de Fraunhofer. En esta región los componentes del campo son transversales (Balanis, 2010; Kraus y Marhefka, 2002).

Radiación generada por fuga

La radiación generada por fuga puede ser emitidas por diferentes partes del equipo durante su funcionamiento, aberturas en el chasis, cables expuestos, guías de onda o electrodos. En una primera instancia es difícil definir la fuente o fuentes de emisión. La radiación generada puede ser emitida de manera accidental o intencional, sucediendo dentro de la región de campo cercano (IEEE, y IEEE-SA Standards Board., 2002).

Los equipos de diatermia de onda corta y terapia de pulsos, evaluados en este proyecto, presentan partes dentro de su estructura que pueden funcionar como antenas; no es objetivo del presente trabajo determinar o caracterizar estas estructuras, debido a que el análisis envuelve un alto grado de complejidad.

Los trabajadores laborando en las inmediaciones de estos equipos corren el riesgo de exposición a niveles intensos de campos magnéticos y eléctricos. Para la medición de la radiación generada por fuga es adecuado usar detectores isotrópicos (IEEE et al., 2002).

Efectos biológicos de los campos electromagnéticos

Una primera opinión sobre los riesgos de exposición a los campos electromagnéticos en la salud fue dada por ICNIRP en sus Recomendaciones de 1998 (ICNIRP, 1998).

El Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR) publicó en el año 2006 el documento “Possible effects of electromagnetic fields (EMF) on Human Health”. A mediados del 2013, basándose en las investigaciones realizadas hasta aquellos años, SCENIHR presentó el documento “Potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF).

En el año 2002, los campos magnéticos de baja frecuencia (ELF) fueron clasificados como posibles poseedores de efectos carcinogénicos (grupo 2B) para seres humanos por el Centro Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC), órgano intergubernamental de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Desde el año 2012 los campos electromagnéticos de radiofrecuencia también entrarían dentro de esa clasificación (grupo 2B).

Diversos estudios sobre los efectos biológicos de los campos electromagnéticos vienen siendo realizados. Yakymenko et al. (2016) realizó un estudio sistemático de cien estudios sobre los efectos oxidativos en células vivas producidos por radiofrecuencia de baja intensidad, el resultado arrojó que el noventa y tres por ciento de los estudios confirman que los campos electromagnéticos (EMF) de radiofrecuencia producen efectos sobre sistemas biológicos.

En 2016, un estudio in vivo titulado “Exposición ocupacional a las radiaciones no ionizantes generados por equipos biomédicos de rehabilitación situación en Lima” por Víctor Cruz indicó que la concentración y movilidad espermática en un grupo de ratones expuestos a campos electromagnéticos de baja frecuencia (ELF) de 100 μ T a 60 Hz se vio reducida (Cruz Víctor, 2016).

Un estudio reciente conducido Premysla Soledk, encontró que la exposición a campos electromagnéticos de baja frecuencia podrían perjudicar la fertilidad masculina debido a la inducción de la apoptosis celular mediante la intervención de las proteínas p53/p21 en el ciclo celular (Solek, Majchrowicz, Bloniarz, Krotoszynska, y Kozirowski, 2017).

Instrumentos para medición de campos cercanos

La medición de campos electromagnéticos en la región próxima van siendo realizadas usando sondas electro-ópticas o sondas electromagnéticas (Sivaraman, 2018). El presente trabajo se enfocará en describir las sondas electromagnéticas, debido a que serán empleadas por su bajo costo y uso extensivo. Estas sondas básicamente están conformadas por cinco partes: dipolo corto para la medición de la componente de campo eléctrico al eje del dipolo o una antena lazo para la medición de la componente de campo magnético paralela al eje del lazo, un detector no lineal como un diodo, una etapa de filtrado, una línea de transmisión y finalmente un instrumento de monitorización (Bassen y Smith, 1983; Greene, 1975).

Sondas para la medición de campo eléctrico.

La Figura 4 ilustra la configuración típica de una sonda de campo eléctrico, la cual presenta: una antena dipolo, un detector no lineal, un filtro pasa bajo, una línea de transmisión y un instrumento de monitorización.

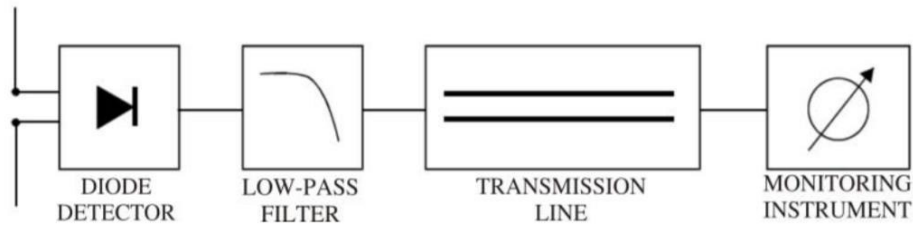


Figura 4.
Diagrama típico de una sonda de campo eléctrico
Fuente: Rožić & Begušić (2011)

Para la medición de campo eléctrico (E) se emplea dipolos cortos con una carga de alta impedancia como, por ejemplo: diodos o transistores de efecto de campo (FET). Una amplia respuesta en frecuencia es obtenida usando cargas capacitivas (Kanda, 1993).

La medición inicia cuando el campo eléctrico paralelo al eje del dipolo induce voltaje en función a la siguiente ecuación: $V_i = E * L_e$. Donde L_e es la longitud efectiva del dipolo, E es la componente del campo eléctrico y V_i es el voltaje inducido. Posteriormente el Voltaje V_p el cual es proporcional a V_i es rectificado por el diodo. Luego V_p ingresa al filtro pasa bajo, el cual evita que voltajes a altas frecuencias lleguen a la línea de transmisión y generen errores en la medición. Luego V_p es transmitido hacia el instrumento de medición, con ello es posible establecer la relación entre los niveles de voltaje medido y la componente de campo eléctrica paralela al eje de la antena dipolo (Greene, 1975; Rožić et al., 2011).

Sondas para la medición de campo magnético.

Una sonda de campo magnético típico tiene cinco partes básicas: un lazo como elemento de detección, un elemento no lineal, un filtro pasa bajo, una línea de transmisión y un instrumento para la monitorización. En la fFigura 5 se presenta la configuración de una sonda.

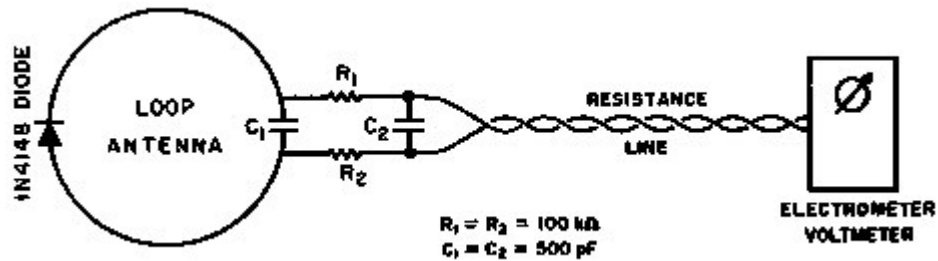


Figura 5. Diagrama típico de una sonda de campo magnético
Fuente: Greene (1975)

En cuanto a la medición de campo magnético, normalmente se emplea un lazo que actúa como carga resistiva para lograr respuesta en banda ancha. La carga resistiva es obtenida por dos medios. El primer método es agregando una carga resistiva en el terminal del lazo. El otro método es distribuyendo carga a lo largo de todo el lazo (Kanda, 1993).

La medición inicia cuando un voltaje V_l es inducido en las terminales de la antena lazo de acuerdo a la ley de Faraday, por ello existe una relación entre el tamaño del lazo y V_l . Para fines prácticos el valor de V_l vendrá dado por $V_l = 0.2 * \pi * f * d^2 * H$. Donde f es la frecuencia del campo H y d es el diámetro de la antena lazo. A continuación, el V_l es rectificado por el diodo, obteniendo así el voltaje V_r el cual es proporcional a V_l . Posteriormente V_r es transmitido hasta el instrumento de monitorización.

Equipo biomédico

El impacto de la tecnología en las diversas áreas del conocimiento viene siendo trascendental debido a los cambios que ha generado. Es necesario enfatizar el impacto que se ha suscitado en el campo de la salud a raíz de la aplicación de la tecnología en la rehabilitación, prevención, tratamiento y diagnóstico de enfermedades; con todo ello, nueva terminología fue introducida.

En este marco, la OMS introdujo diversas definiciones para referirse a las nuevas tecnologías aplicadas a la salud; así introdujo la definición de dispositivo médico. En base a

esta definición los órganos de control de salud alrededor del mundo han definido a la tecnología aplicada a la salud. Líneas abajo se citan algunas definiciones.

La legislación peruana introdujo la definición de equipo biomédico en la ley N°29459 para referirse a este como “dispositivo médico operacional y funcional que reúne sistemas y subsistemas eléctricos, electrónicos e hidráulicos y/o híbridos, que para uso requieren una fuente de energía; incluidos los programas informáticos que intervengan en su buen funcionamiento” (Perú, 2009, p.2).

En el contexto sudamericano existen definiciones más precisas para referirse a los equipos biomédicos. El Centro Nacional de Excelencia Tecnológica en Salud (CENETEC) (2016) define al equipo médico como:

Dispositivo que se utiliza para propósitos específicos de prevención, diagnóstico, tratamiento o rehabilitación de una enfermedad o lesión; puede ser utilizado solo o en combinación con algún accesorio, consumible, u otro equipo médico. Requieren, mantenimiento, calibración, reparación, capacitación al usuario y retirada del servicio; actividades usualmente gestionadas por ingenieros biomédicos (p.48).

Mientras que el Instituto Nacional de Vigilancia del Medicamento (INVIMA) (2013) define al dispositivo médico como:

Son cualquier instrumento, aparato, máquina, software, equipo biomédico u otro artículo similar o relacionado, utilizado solo o en combinación, incluyendo sus componentes, partes, accesorios y programas informáticos que intervengan en su correcta aplicación, destinado por el fabricante para el uso en seres humanos en los siguientes casos: Diagnóstico, prevención, supervisión, tratamiento (p.13).

En el presente trabajo se adopta como definición de equipo biomédico el planteado por la OMS (2012), debido a su uso extensivo por la mayoría de países alrededor del mundo, esta definición viene a ser la siguiente:

Dispositivo médico que exige calibración, mantenimiento, reparación, capacitación del usuario y desmantelamiento, actividades que por lo general están a cargo de ingenieros clínicos. Los equipos médicos se usan con un fin determinado de diagnóstico y tratamiento de enfermedades o de rehabilitación después de una enfermedad o lesión; se los puede usar individualmente, con cualquier accesorio o consumible o con otro equipo médico. El término “equipo médico” excluye los implantes y los dispositivos médicos desechables o de un solo uso (p.6).

Equipo de Diatermia de Onda Corta

La finalidad de la Diatermia de Onda Corta es aplicar energía electromagnética para generar calor en los tejidos del cuerpo. De acuerdo con ECRI Institute (2011) el equipo tiene tres partes principales: el generador de alta frecuencia, un amplificador de potencia y los electrodos o aplicadores. Un oscilador genera corriente en alta frecuencia además presenta un temporizador que controla el tiempo de aplicación. El amplificador de potencia amplifica el nivel de corriente. Los electrodos entregan la energía electromagnética al paciente durante el tratamiento. La frecuencia de operación del equipo es de 27.12 MHz, con una longitud de onda de 11.062 m. La Figura 6 muestra un equipo de diatermia por ondas cortas con aplicadores capacitivos.



Figura 6. Equipo de diatermia por onda corta.
Fuente: ECRI Institute (2011)

La Figura 7 presenta el diagrama de bloques de un equipo de diatermia por ondas cortas. Es posible identificar los módulos principales: Generador de alta frecuencia, amplificador y electrodos.

La energía es distribuida por el módulo de red de alimentación, el cual energiza los módulos de generación de alta frecuencia y amplificación. La forma de onda generada es entregada al módulo de amplificación y, luego de la sintonización será transferida al paciente.

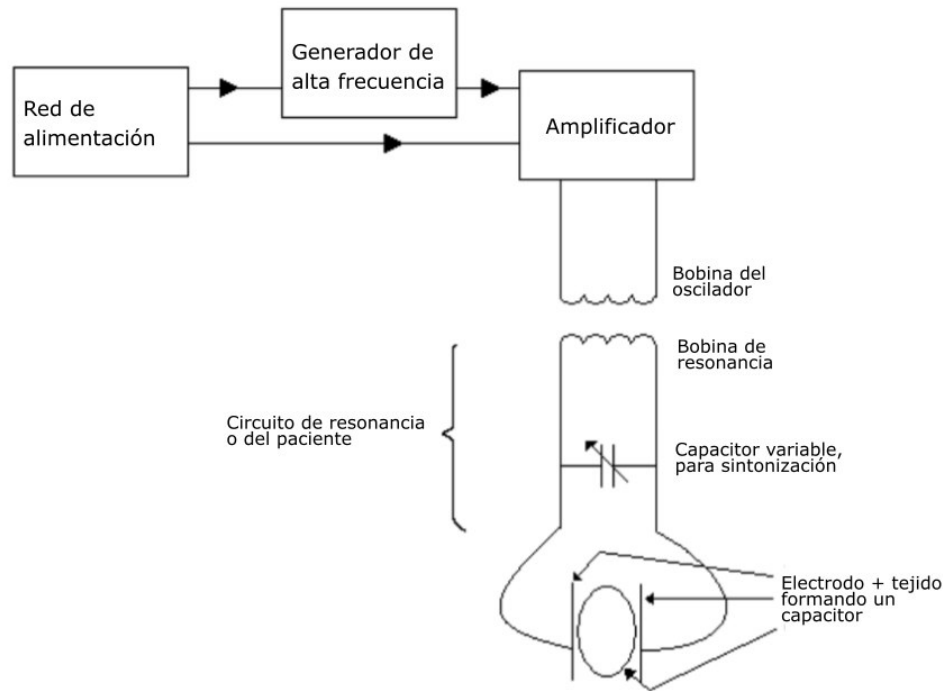


Figura 7. Diagrama que muestra la generación y aplicación de diatermia por ondas cortas.
Fuente: Kitchen (2003)

Estos equipos son diseñados para emitir una salida constante, pulsante o la emisión de ambas modalidades a la misma vez. La figura 8 muestra el tipo de onda usada para obtener una salida pulsante y, la figura 9 ilustra la forma de onda usada para obtener salida pulsante. La entrega de una energía constante permite el calentamiento profundo del tejido; mientras que, la energía pulsante brinda un calentamiento menor debido al corte en el suministro de energía entre pulsos (Goats, 1989).

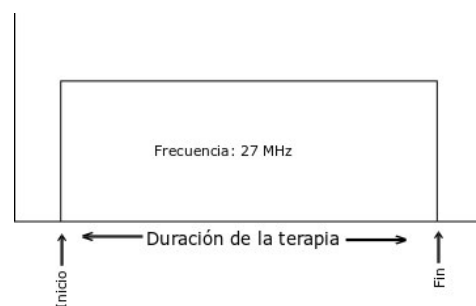


Figura 8. Forma de onda constante, durante el tratamiento.
Fuente: Elaboración propia.

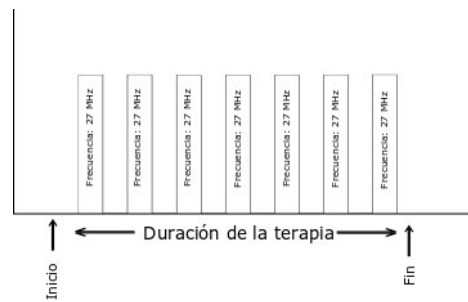


Figura 9. Forma de onda pulsante, programada durante tratamiento.
Fuente: Elaboración propia.

Existen dos tipos de electrodos para la aplicación de Diatermia de Onda Corta: capacitivos e inductivos. Los electrodos capacitivos se usan para el calentamiento capacitivo, con ello el cuerpo y los aplicadores forman un capacitor. Mediante aplicadores inductivos se producen corrientes eléctricas de alta frecuencia en los tejidos por medio de inducción.

Las aplicaciones clínicas son: tratamiento muscular y terapia de dolor en pacientes con osteoartritis (Laufer y Dar, 2012), tratamiento de espasmos musculares, regeneración nerviosa y tratamiento post operatorio del dolor.

Capacitivo.

El uso de electrodos del tipo capacitivo implica que el paciente sea parte del circuito eléctrico, para ello una corriente de alta frecuencia es aplicada a dos aplicadores situados entre el área de tratamiento. Existen cuatro tipos de aplicadores capacitivos: por espacio libre, almohadilla, cadena e internos. El campo eléctrico generado entre los aplicadores hace que las moléculas de agua comiencen a alinearse al campo, en el proceso las colisiones entre moléculas llevan a un incremento en la temperatura de la zona de terapia (FDA, 2014; Institute, 2011a). Se evidencia que el calor generado depende de la intensidad de campo eléctrico aplicado. Los electrodos están constituidos por platos conductivos, envueltos en

contenedores no conductivos y, sujetos por brazos articulares para facilitar su posicionamiento como se muestra en las figuras 10 y 11.

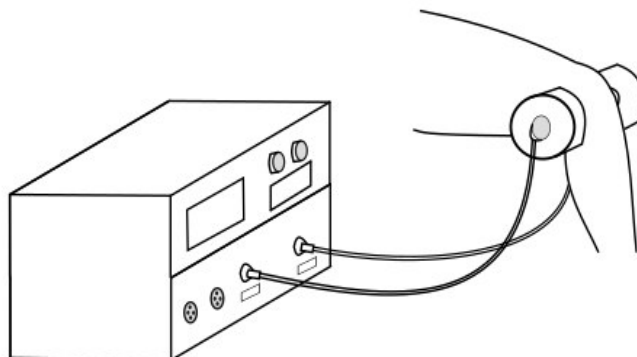


Figura 10. Aplicación de diatermia con aplicadores capacitivos por espacio libre.
Fuente: Cruz y Lino (en prensa)

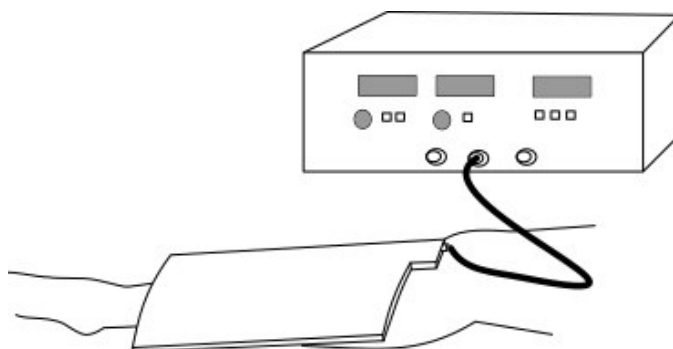


Figura 11. Aplicación de diatermia con aplicadores capacitivos de tipo almohadilla.
Fuente: Cruz y Lino (en prensa)

Inductivo.

El campo magnético es generado por la circulación de corriente de alta frecuencia en un bobinado enrollado, el cual se encuentra aislado o contenido en un aplicador. El campo magnético induce múltiples corrientes de Eddy en el área de tratamiento, lo cual deriva en un incremento de temperatura. Los aplicadores inductivos pueden ser de tipo: espiras aisladas, tambor o diploides. Normalmente estos aplicadores cuentan con brazos articulados para su

empleo (Institute, 2011a). Las figuras 12 y 13 ilustran electrodos del tipo inductivo usados en terapia física.

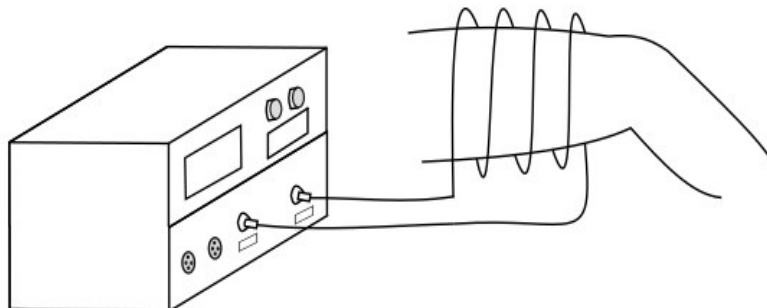


Figura 12. Aplicación de diatermia con aplicadores de inducción por cable.
Fuente: Cruz y Lino (en prensa)

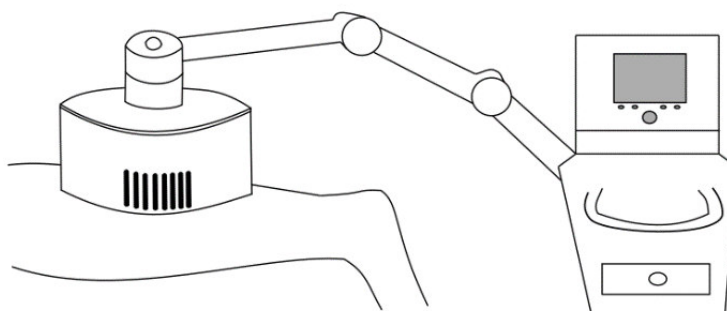


Figura 13. Aplicación de diatermia con aplicadores inductivos de tipo tambor.
Fuente: Cruz y Lino (en prensa)

Equipos de Terapia de Pulsos Magnéticos

La terapia de pulsos magnéticos es un procedimiento no invasivo que se cimienta en los efectos terapéuticos generados por la interacción entre el los tejidos del cuerpo humano y el campo magnético. El equipo de Terapia de pulsos es un dispositivo que genera corrientes pulsantes para alimentar bobinas con la finalidad de generar campos electromagnéticos pulsantes (PEFM); este equipo presenta tres partes principales en su diseño: generador,

amplificador de potencia y electrodos los cuales son boninas o solenoides (Gil Alfararo, 2011).

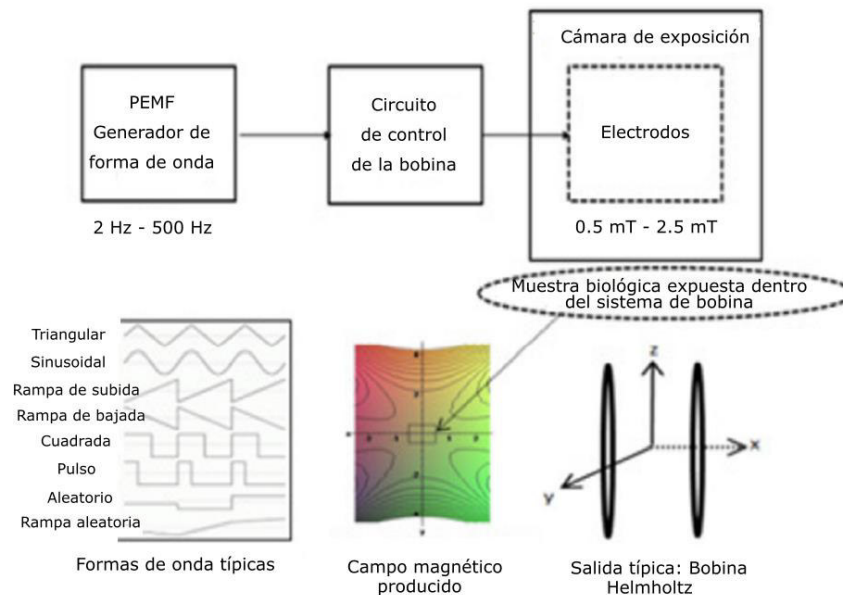


Figura 14. Diagrama de bloques de un equipo de PEMF: tres módulos principales del sistema, formas de onda típicas, terminal de salida del dispositivo y una simulación del campo magnético producido en las bobinas de salida.

Fuente: Ahmed (2013)

Generador de forma de onda.

Los generadores son módulos electrónicos que generan formas de onda a longitudes específicas para la conexión de electrodos. Para la obtención de campos magnéticos pulsantes, es necesario que la forma de onda sea periódica, debido a ella el generador de onda típicamente genera ondas con frecuencias desde 10 Hz hasta 1000 Hz (Gil Alfararo, 2011). Las ondas generadas pueden ser triangulares, sinusoidales, rampa de subida, rampa de bajada, cuadrada, pulso, aleatorio y de rampa aleatoria. En ciertos equipos es posible configurar el número de pulsos, la longitud de cada pulso, así como también el tiempo de pausa entre pulsos.

Amplificador de potencia.

Antes de que la señal generada pase por los electrodos es ingresada al módulo de amplificación. Para amplificar la corriente pulsátil, que alimenta a los electrodos o bobinas, este módulo cuenta con convertidores de voltaje a corriente y, amplificadores de corriente. El circuito que controla la corriente que será entregada a las bobinas es un circuito de conmutación de estado sólido, el cual emplea elementos de estado sólido como transistores, diodos, etc. Generalmente se emplean transistores bipolares o transistores de efecto de campo. Normalmente cada par de bobina o ejes es controlado independientemente por medio de fuentes dedicadas. El circuito conmutador realiza la conmutación de la fuente de energía para obtener una corriente eléctrica periódica que alimente a los electrodos. La frecuencia es asignada en la configuración realizada al módulo generador de forma de onda. Una ventaja de este tipo de diseño es que permite complementar el vector de campo magnético generado entre pares de bobinas con la finalidad de uniformizar el campo generado (Ahmed, 2013).

Electrodos.

La corriente periódica generada y amplificada es dirigida a los electrodos o bobinas para producir los campos electromagnéticos pulsantes (PEMF), dependiendo de la frecuencia de la onda generada una magnitud específica de densidad de flujo magnético será producida.

Debido a que es necesario producir campos magnéticos uniformes a baja intensidad, sobre un volumen relativamente grande, se usan electrodos que están compuestos por dos pares de bobinas de Helmholtz. Estas consisten en dos bobinas idénticas de N espiras y, la separación entre ambas bobinas es igual al radio que presentan en común (Robert, 2003).

El campo magnético generado por la bobina representada en la Figura 15 viene representado por la siguiente ecuación. En la cual, B = densidad de flujo magnético (T), N = número de vueltas de las espiras, R = radio de la bobina (m), I = corriente circulante en la bobina (A) y μ_0 = constante de permeabilidad.

$$B = \frac{2\mu_0 N I R^2}{2(Z^2 + R^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (15)$$

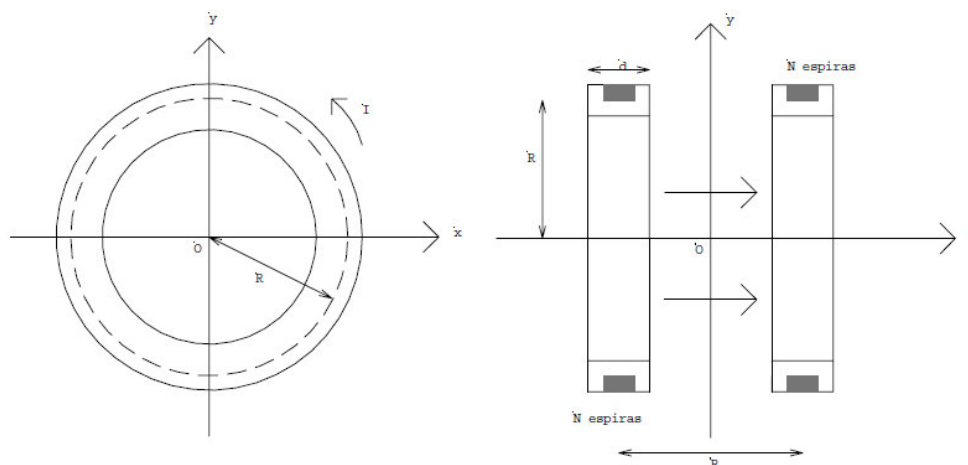


Figura 15. Esquema de una bobina de Helmholtz y su orientación como relación a los ejes OXYZ.

Fuente: Robert (2003)

Directrices sobre la exposición a campos electromagnéticos

Internacional

ICNIRP.

En mayo de 1992, la International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) fue creada como sucesor del International Non-ionizing Radiation Committee (INIRC) dependencia del International Radiation Protection Association (IRPA). Las funciones del ICNIRP son: investigar los peligros asociados a la exposición a las radiaciones no ionizantes (RNI), desarrollar recomendaciones internacionales sobre los límites de exposición a las RNI y tratar con todos los aspectos concernientes a la protección de RNI.

En 1998, ICNIRP publicó la directriz para limitar la exposición a campos eléctrico, magnético y electromagnético variantes en el tiempo (hasta 300 GHz).

De acuerdo al ICNIRP (1998), las recomendaciones sobre los límites de exposición se basan en:

Una revisión profunda de la literatura científica. El criterio aplicado en la revisión fue diseñado para evaluar la credibilidad de los reportes encontrados; solo efectos demostrados fueron usados como bases para proponer restricciones de exposición. La inducción de cáncer por exposición prolongada a EMF no fue considerada, en cambio se basó en efectos de carácter inmediato como estimulación de nervios y músculos periféricos, choques y quemaduras por contacto con objetos conductores y elevación de la temperatura del tejido por absorción de energía durante la exposición (p.496).

Una directriz sobre la exposición a campos magnéticos estáticos fue presentada por ICNIRP en 2009. En esta se presentan recomendaciones para exposición ocupacional y poblacional.

Ya en 2010, ICNIRP publicó la directriz para limitar la exposición a campos eléctricos y magnéticos variables en el tiempo (1HZ – 100 KHZ), la cual reemplaza el apartado sobre exposición a EMF de baja frecuencia de la directriz publicada en 1998.

El objetivo de ICNIRP (2010) es:

Establecer recomendaciones para limitar la exposición a campos eléctricos y electromagnéticos (EMF) que provean protección contra efectos adversos. Estudios de efectos directos e indirectos fueron analizados. Efectos directos resultan de la interacción del campo con el cuerpo; efectos indirectos involucran interacción con objetos conductivos donde el potencial eléctrico de los objetos es diferente al del cuerpo (p.818).

Anguera (2012) señaló que las directrices ICNIRP sirven como referencia a más de 30 países alrededor del mundo para normar la exposición a EMF. Dentro de estos se encuentra el Perú, el cual adoptó los límites máximos permisibles para el rango de 9 KHZ a 300 GHZ.

Tabla 2

Niveles de referencia para la exposición ocupacional a campos eléctricos y magnéticos variables en el tiempo (valores eficaces rms).

Rango de frecuencia	Intensidad de campo eléctrico (V/m)	Intensidad de campo magnético (A/m)	Densidad de flujo magnético (μT)	Densidad de potencia (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	137	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 , E^2 , H^2 , y B^2 , deben ser promediados sobre cualquier periodo de 6 minutos. Para frecuencias por encima de 10 GHz, Seq , E^2 , H^2 , y B^2 , deben ser promediados sobre cualquier periodo de $68 / f^{1.05}$ minutos (f en GHz).

IEEE C95.1.

En 1959, the United States Department of Navy y IEEE iniciaron el proyecto United States American Standards Institute (USASI) C95. El 9 de noviembre de 1966 se aprobó el standard ANSI C95.1-1966, el cual comprendió el rango de 10 MHz a 100 GHz y se basó en modelos térmicos simples. Una revisión del standard fue publicada en 1974 (Mason, Murphy, y Petersen, 2001).

Ya en 1982 el standard ANSI C95.1-1982 fue presentado. Mencionado estándar comprendió las frecuencias de 100 kHz a 6 GHz, por primera vez se empleó la dosimetría para la obtención de límites basados en la tasa de absorción específica (SAR). Debido a la

dependencia del SAR con la frecuencia, los límites también eran dependientes de la frecuencia (Osepchuk y Petersen, 2003).

Desde el año 1988, el comité C95 pasó a ser IEEE SCC-28. Trece años pasarían hasta que el standard C95.1-1991 fuera aprobado, el cual fue elaborado para la prevención de efectos producidos por campos electromagnéticos en el rango de 3 kHz a 300 GHz (Mason et al., n.d.).

IEEE SCC 28 y SCC 34 pasaron a ser comités técnicos de la IEEE SC 39, llamándose International Committee on Electromagnetic Safety (ICES).

El alcance de ICES (2006) es:

Desarrollar de estándares para el uso seguro de energía electromagnética en el rango de 0 Hz a 300 GHz en relación con los potenciales peligros de la exposición del hombre, materiales volátiles, y dispositivos explosivos a mencionados niveles de energía. No se incluye radiación infrarroja, visible, ultravioleta o ionizante. El comité coordinará con otros comités, cuyos alcances sean relacionados.

A la fecha de publicación del presente proyecto, ICES tiene publicado tres recomendaciones, las cuales abarcan el espectro radioeléctrico usado por el hombre. Para medición de campos eléctricos y magnéticos casi estáticos se publicó el IEEE Std 1460™-1996 (IEEE Std 1460-1996, 1997). En cuanto a los niveles de seguridad para exposición a campos electromagnéticos de baja frecuencia de 0 a 3kHz se presentó IEEE Std C95.6™-2002 (IEEE Std, 2002). Para el rango comprendido entre 3 kHz y 300 GHz se elaboró el IEEE Std C95.1™-2005 (IEEE Std, 2006).

Nacional

Decreto Supremo N° 038-2003-PCM.

Esta norma estableció los Límites Máximos Permisibles (LMP) de Radiaciones No Ionizantes (RNI) para emisiones de campos electromagnéticos generadas por los servicios de

telecomunicaciones, comprendidos entre 9 kHz y 300 GHz. Los LPM se dieron para: exposición poblacional y ocupacional, estos se tomaron de la recomendación ICNIRP 1998, los valores para exposición ocupacional se muestran en la tabla 3.

La finalidad de la norma es monitorear, controlar y regular el cumplimiento de los LMP que establece la norma, dentro del territorio nacional. También se indica que los titulares de concesión o autorización vigentes deberán asegurar que sus estaciones no emitan radiaciones electromagnéticas que excedan los límites máximos permisibles.

Tabla 3

LMP de RNI en Telecomunicaciones para exposición ocupacional.

Rango de frecuencias	Intensidad de campo eléctrico (V/m) (rms)	Intensidad de campo magnético (A/m) (rms)	Densidad de potencia (W/m ²) (rms)
9 – 65 kHz	610	24.4	-
0.065 – 1 MHz	610	1.6/f	-
1 – 10 MHz	610/f	1.6/f	-
10 – 400 MHz	61	0.16	10
400 – 2000 MHz	3 x f ^{0.5}	0.008 x f ^{0.5}	f/40
2 – 300 GHz	137	0.36	50

Nota: Tomada de Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2003). 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 las frecuencias entre 100 KHz y 10 GHz el período de tiempo a ser utilizado para el cálculo es de 6 minutos. Para las frecuencias superiores a 10 GHz, el período de tiempo a ser utilizado para el cálculo es de 68/f^{0.5} minutos. (f en GHz).

Decreto Supremo N° 010-2005-PCM.

Por medio del Decreto Supremo N° 010-2005-PCM, el gobierno peruano aprobó los estándares de calidad ambiental (ECAs) para radiaciones no ionizantes (RNI). Este tuvo por finalidad prevenir y planificar el control de las radiaciones no ionizantes para evitar los riesgos a la salud generados por exposición a campos electromagnéticos, todo ello con la finalidad de lograr un desarrollo sostenible. Además, se indica al Consejo Nacional del Ambiente (CONAM) es el organismo regulador de la evaluación y cumplimiento de los estándares de calidad ambiental dentro del territorio nacional.

En la tabla, se señalan los estándares de calidad ambiental del Decreto Supremo.

Tabla 4

Estándares de calidad ambiental para radiaciones no ionizantes.

Rango de Frecuencias (f)	Intensidad de Campo Eléctrico (E) (V/m)	Intensidad de Campo Magnético (H) (A/m)	Densidad de Flujo Magnético (B) (μ T)	Densidad de Potencia (Seq) (W/m ²)	Principales aplicaciones (no restrictiva)
Hasta 1 Hz	-	$3,2 \times 10^4$	4×10^4	-	Líneas de energía para trenes eléctricos, resonancia magnética.
1 – 8 Hz	10000	$3,2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^4 / f^2$	-	
8 – 25 Hz	10000	$4000 / f$	$5000 / f$	-	Líneas de energía para trenes eléctricos.
0,025 – 0,8 kHz	$250 / f$	$4 / f$	$5 / f$	-	Redes de energía eléctrica, líneas de energía para trenes, monitoreo de video.
0,8 – 3 kHz	$250 / f$	5	6,25	-	Monitoreo de video.
3 – 150 kHz	87	5	6,25	-	Monitoreo de video.
0,15 – 1 MHz	87	$0,73 / f$	$0,92 / f$	-	Radio AM
1 – 10 MHz	$87 / f^{0,5}$	$0,73 / f$	$0,92 / f$	-	Radio AM, diatermia
10 – 400 MHz	28	0,073	0,092	2	Radio FM, TV VHF, Sistemas móviles y de radionavegación aeronáutica, teléfonos inalámbricos, resonancia magnética, diatermia.
400 – 2000 MHz	$1,375 \times f^{0,5}$	$0,0037 \times f^{0,5}$	$0,0046 \times f^{0,5}$	$f / 200$	TV UFH, telefonía celular, servicio móvil satelital, teléfonos inalámbricos, sistemas de comunicación personal.
2 – 300 GHz	61	0,16	0,20	10	Redes de telefonía inalámbrica, comunicaciones por microondas y vía satélite, radares, hornos microondas.

Nota: Tomada de Presidencia de Consejo de Ministros (2005) 1. f está en la frecuencia que se indica en la columna de Rango de Frecuencias. 2. Para frecuencias entre 100 kHz y 10 GHz, Seq, E², H², y B², deben ser promediados sobre cualquier periodo de 6 minutos. 3. Para frecuencias por encima de 10 GHz, Seq, E², H², y B², deben ser promediados sobre cualquier periodo de $68 / f^{1,05}$ minutos (f en GHz).

Resolución Ministerial N° 120-2005-MTC/03.

Mediante esta Resolución Ministerial se aprueba la norma técnica sobre las Restricciones Radioeléctricas en Áreas de Uso Público. Con ella se establecen restricciones para los niveles de intensidad de campo eléctrico y densidad de potencia por la operación de estaciones radioeléctricas de los servicios de telecomunicaciones en áreas de uso público, colegios (de Educación Inicial, Primaria y Secundaria) y Hospitales, Centros de Salud y Clínicas.

La norma tiene carácter obligatorio para el estado y las personas naturales y jurídicas, nacionales y extranjeras que instalen y operen estaciones radioeléctricas utilizando el espectro radioeléctrico y cuyas emisiones se encuentren comprendidas entre las frecuencias de 9 kHz a 300 GHz.

Tabla 5

Niveles de referencia para exposición de población en áreas de uso público.

Rango de frecuencias	Intensidad de campo Eléctrico (V/m)	Densidad de Potencia (W/m²)
9 – 15 kHz	61,5	-
0,15 – 1 MHz	61,5	-
1 – 10 MHz	$61,5 / f^{0.5}$	-
10 – 400 MHz	20	1
400 – 2000 MHz	$0,972 \times f^{0.5}$	$f / 400$
2 – 300 GHz	43,1	5

Nota: Tomado de Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2005). Se podrá utilizar cualquiera de las magnitudes expresadas en el cuadro: Intensidad de campo eléctrico o densidad de potencia por rango de frecuencias.

Código Nacional de Electricidad – Utilización.

El 30 de enero de 2006 se aprobó el Código Nacional de Electricidad – Utilización, el cual forma parte del Código Nacional Electricidad junto al Código Nacional de Electricidad – Suministro.

En este acápite del Código Nacional de Electricidad se establecen los valores máximos de intensidad de campo eléctrico y densidad de flujo magnético para la frecuencia de 60 Hz. Estos niveles se adoptaron de las recomendaciones ICNIRP para exposición ocupacional y poblacional.

Tabla 6

Valores máximos de exposición a campos eléctricos y magnéticos a 60 Hz.

Tipo de exposición	Intensidad de campo Eléctrico (V/m)	Densidad de Flujo Magnético (μT)
Poblacional	4,2	83,3
Ocupacional	8,3	416,7

Nota: Tomado de Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2006). La medición de estos valores se debe realizar a un metro de altura sobre el nivel del piso, en sentido transversal al eje de la línea hasta el límite de la zona de servidumbre.

Capítulo 3

Metodología y protocolo de medición de las radiaciones no ionizantes

En este capítulo se detalla el método de medición elaborado para realizar las mediciones en los hospitales. Así también se presenta y discute la documentación del sistema de medición de campo eléctrico y magnético empleados en la parte experimental. Finalmente se describen las rutinas de programación elaboradas para la generación de los mapas de campo eléctrico y magnético de los cubículos de rehabilitación.

Norma ICNIRP para los límites de exposición

Basados en la revisión bibliográfica realizada se identificaron los niveles de referencia ICNIRP para la exposición a las radiaciones no ionizantes generados por equipos de diatermia de onda corta y terapia de pulsos.

Exposición ocupacional y público general

La exposición ocupacional ocurre cuando una población adulta es expuesta a campos eléctricos y magnéticos de manera informada, en estos casos las personas reciben entrenamiento para evitar riesgos de sobreexposición. Este viene a ser el tipo de exposición abordada en el presente trabajo de investigación, debido a que el personal médico labora en la UPSS de rehabilitación, donde existen equipos biomédicos que emplean campos electromagnéticos para fines terapéuticos. Por otro lado, la exposición para público general contempla al resto de personas de diferentes edades que en su mayoría no es consciente de estar expuesta a las RNI, por ello los niveles de público general tienen valores más restrictivos.

Restricciones básicas

Las restricciones básicas son establecidas por los efectos de riesgo biológico inmediato generados por exposición a radiaciones no ionizantes. De acuerdo con el ICNIRP (1998) las restricciones vienen determinados por la frecuencia de la fuente:

Entre 1 Hz y 10 MHz, las restricciones básicas son establecidas en valores de densidad de corriente para prevenir efectos en las funciones del sistema nervioso. Para los valores entre 100 kHz y 10 GHz, la restricción viene dada por el Índice de Absorción Específica (SAR), que es una medida de potencia con la cual un campo electromagnético es absorbido por un área de tejido, para evitar calentamiento en el cuerpo o calentamiento excesivo en tejidos; en el tramo de 100 kHz a 10 MHz las restricciones se presentan tanto en densidad de corriente como en SAR. Finalmente, entre 10 GHz a 300 GHz, las restricciones son establecidas en términos de densidad de corriente para evitar calentamiento excesivo en el tejido cercano a la superficie del cuerpo (p.508).

La Figura 16 ilustra la relación entre la frecuencia y los efectos térmicos, es posible distinguir que entre 100 kHz y 10 MHz se presentan efectos tanto térmicos como de efectos en el sistema nervioso.

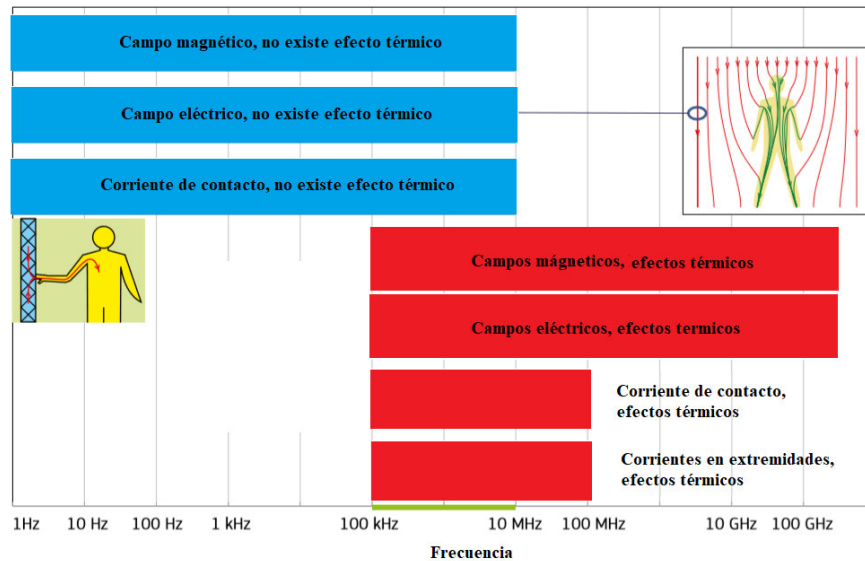


Figura 16. Efectos de las RNI en el cuerpo humano.
Fuente: European Commission (2014)

Niveles de referencia

Los niveles de referencia son establecidos basados en un modelamiento matemático de las restricciones básicas y de extrapolar resultados obtenidos en laboratorio, por ello tiene una variación respecto a los valores de frecuencia. Estos valores son establecidos para poder contrastarlos con magnitudes físicas medidas (densidad de potencia, campo magnético y campo eléctrico). Con la finalidad de brindar una máxima protección frente a la exposición a las radiaciones no ionizantes, los niveles de referencia se fijan para el caso de mayor acoplamiento entre el campo y el ser humano (ICNIRP, 1998).

De acuerdo con la revisión bibliográfica, el equipo de diatermia por onda corta opera a una frecuencia fija de 27.12 MHz; mientras que la frecuencia de trabajo en el equipo de terapia de pulsos oscila entre 10 Hz y 0.5 kHz. Identificando las frecuencias de trabajo es posible determinar los niveles de referencia para cada caso de exposición.

En base a la tabla 2 donde se especifican los límites de referencia para exposición ocupacional ICNIRP, se tiene que para el caso de los equipos de diatermia de onda corta (27.12 MHz) tenemos el nivel de referencia de 61 V/m para exposición ocupacional a campo

eléctrico, esto se corrobora en la Figura 17. Del mismo modo para el equipo de terapia de pulsos (200 Hz) se indica un nivel de referencia de 2500 V/m.

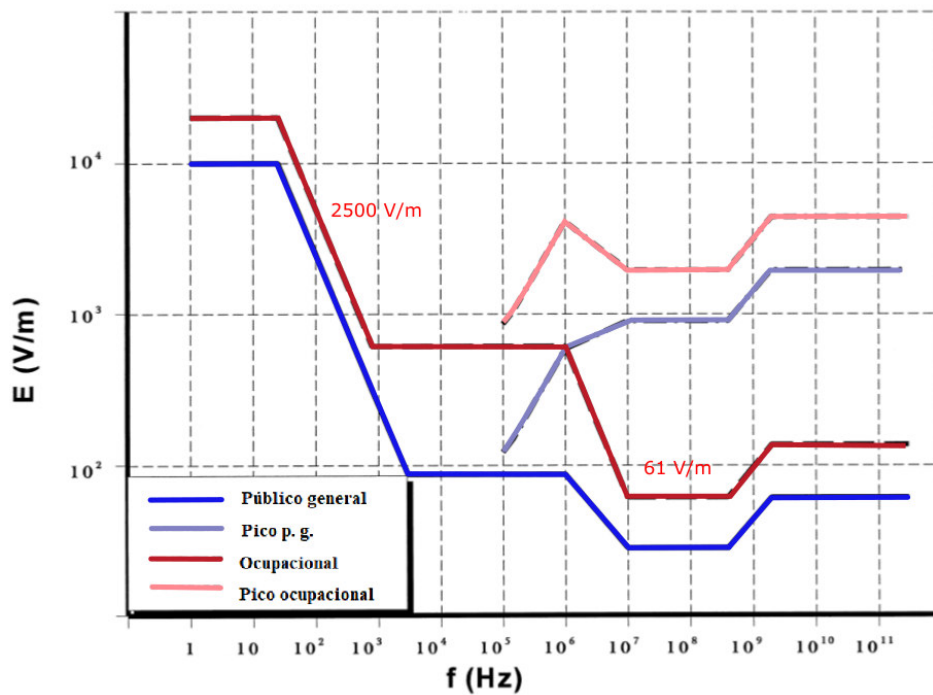


Figura 17. Límites de referencia ICNIRP para exposición ocupacional a campo eléctrico. Fuente: Ziegelberger (2009)

En la Figura 18 se observan los niveles de referencia para exposición ocupacional a campos magnéticos. De acuerdo a la imagen y a la tabla 2 para el equipo de diatermia de onda corta (27 MHz) se tiene un valor de $0.2 \mu\text{T}$; mientras que para el equipo de terapia de pulsos (200 Hz) operando a una frecuencia fija se muestra el valor de $125 \mu\text{T}$.

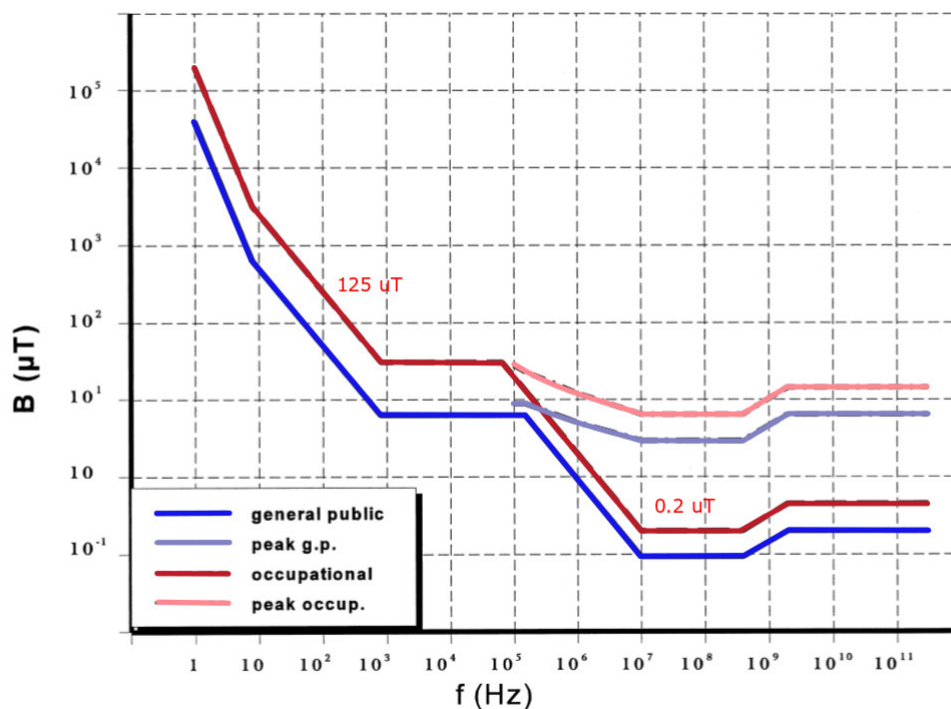


Figura 18. Límites de referencia ICNIRP para exposición ocupacional a campo magnético.
Fuente: Ziegelberger (2009)

Trabajadores con mayor riesgo

Existen grupos de trabajadores que tienen mayor riesgo frente a la exposición a campos electromagnéticos. En estos casos los empleadores deben realizar evaluaciones de riesgo debido a que en casos particulares ni el cumplimiento con los límites de referencia garantiza una adecuada protección (European Commission, 2014). En la tabla 7 se presenta la clasificación de los trabajadores con mayor riesgo frente a la exposición a EMF dada por la Comisión europea.

Tabla 7
Trabajadores con mayor riesgo frente a la exposición a EMF.

Trabajadores con mayor riesgo	Ejemplo
Trabajadores con dispositivos médicos activos implantados (AIMD)	Marcapasos, desfibriladores cardiacos, bombas de infusión implantadas, encoders retinales, neuorestimuladores, implantes cerebrales.
Trabajadores con dispositivos médicos metálicos pasivos implantados.	Rodillas artificiales, tornillos, clips quirúrgicos, clips de aneurisma, válvulas en el corazón, implantes anticonceptivos.
Trabajadores conectados a dispositivos médicos externos	Bombas de infusión externas, ventiladores de soporte de vida.
Trabajadoras embarazadas	

Fuente: European Commission (2014)

Determinación de la región del campo electromagnético

Para los equipos sometidos a evaluación en el proyecto de tesis, las mediciones se realizarán en la región de campo cercano del equipo, de acuerdo al análisis realizado a continuación. Para el equipo de diatermia de onda corta, de frecuencia de operación 27 Mhz, basados en la ecuación de la longitud de onda de la onda generada por el equipo es de $\lambda = 11,06$ m; usando la aproximación de 10λ para la región de campo lejano, este es aproximadamente 110,06 m (Ferrara, Gennarelli, y Guerriero, 2015). En el caso del equipo de terapia de pulsos, cuya frecuencia se encuentra en el orden de los Hz, los valores de longitud de onda se miden en miles de kilómetros.

De acuerdo a la Norma Técnica de Salud N°119 MINSA/DGIEM-V01 de infraestructura y equipamientos de los establecimientos de salud del tercer nivel de atención del Ministerio de Salud, el área mínima para la sala de fisioterapia en la UPSS de Medicina de Rehabilitación es de 24 metros cuadrados; conteniendo como mínimo tres cubículos de 6 metros cuadrados (MINSA, 2015). El mismo dimensionamiento de área es aplicado para los cubículos de fisioterapia en los hospitales de segundo nivel de atención de acuerdo a la Norma Técnica de Salud N°110 MINSA/DGIEM-V01 de infraestructura y equipamientos de

los establecimientos de salud del segundo nivel de atención del Ministerio de Salud (MINSA, 2014).

Por lo expuesto es adecuado señalar que todas las longitudes de onda son mayores que cualquier longitud de un cubículo de rehabilitación, con ello se puede afirmar que las mediciones se realizaran en la región de campo cercano. Lo anterior implica que las mediciones de campo eléctrico y magnético se realizaran de manera independiente.

Protocolo de medición para los equipos biomédicos de rehabilitación

Para la elaboración del protocolo de medición se realizó una amplia revisión de la bibliografía existente, se tomaron como principales referencias las recomendaciones dadas en ICNIRP 1998, UIT T-K.83 e IEEE C.95.

El protocolo de medición permite realizar mediciones de RNI en toda el área evaluada para finalmente comparar los resultados obtenidos con los niveles de referencia establecidos en la norma ICNIRP. Además, en base a las mediciones se identifica la Distancia de Seguridad (DS), la cual se define como la distancia mínima que garantiza la no exposición a niveles de campo eléctrico y magnético que se encuentren por encima de la norma ICNIRP. La Distancia de Seguridad es medido de metros y tiene como centro el punto de medición del área ocupada por el equipo que presente el mayor nivel de campo.

El protocolo es aplicado para campo eléctrico y magnético de manera separada. La aplicación del protocolo generará dos valores de Distancias de seguridad, una para campo eléctrico y otra para campo magnético; la DS se establecerá como el de mayor valor entre estas dos, para así asegurar protección ante ambos tipos de campo.

El protocolo consta de 6 partes importantes que se detallan líneas abajo. La Figura 22 presenta el diagrama de flujo del protocolo de medición, en esta se señalan los pasos más relevantes durante el proceso de medición.

Selección y conformidad del Instrumento

Para la evaluación es necesario el empleo del instrumento adecuado en concordancia con la naturaleza de los campos electromagnéticos a ser medidos. En la tabla N°8 se listan los requerimientos generales para la selección del instrumento a usarse en el presente proyecto. El ancho de banda del instrumento debe comprender las frecuencias producidas por los equipos biomédicos. Otro requerimiento importante es la capacidad del instrumento de realizar mediciones en campo cercano, debido a que todas las mediciones se realizarán en esta región. Ya que el cuerpo humano puede alterar la medición de campo eléctrico, es mandatorio el uso de soportes no conductivos para montar el instrumento de medición, así también se precisa que el equipo cuente con un sistema de control y transferencia de datos vía fibra óptica para reducir cualquier perturbación. Además, el soporte debe contar con un nivel o sistema para verificar la planicidad del piso. Debido a que la naturaleza de los campos electromagnéticos generados por el funcionamiento de los equipos biomédicos bajo evaluación es desconocida, la sonda de medición debe ser isotrópica para poder medir con los campos en los tres ejes.

Para la conformidad del instrumento se revisará el estado del instrumento de medición. Inspección física del instrumento y accesorios. Revisión del certificado de calibración y trazabilidad. El certificado de calibración del equipo y la sonda de campo electromagnético a usarse se encuentran en el Apéndice B. Finalmente, se ejecutará el autotest antes de iniciar las mediciones.

Tabla 8
Crterios para la seleccin del instrumento.

Características del instrumento de medición	Requerimientos del instrumento
Ancho de banda	El instrumento debe ser capaz de medir en un amplio intervalo de frecuencias. Debe contar con sondas de baja y alta frecuencia.
Rango	El rango dinámico de operación del instrumento debe comprender un 10% a 300% del valor máximo de exposición.
Polarización	El instrumento debe contar con sondas isotrópicas para la medición de las intensidades de campo en cualquier tipo de polarización.
Variación temporal	Programa pre configurado.
Variación espacial	Programa pre configurado.
Portabilidad	Debido a que las mediciones se realizarán en ambientes pequeños y por largos periodos de tiempo, el instrumento debe ser de fácil transporte y contar con una batería de larga duración.

Nota: Elaboración propia.

En cuanto al instrumento a emplearse en el presente proyecto, se tuvo en consideración que las mediciones serán tanto de intensidad de campo eléctrico como de campo magnético de equipos biomédicos que presentan rangos de frecuencias de operación desde 1 Hz hasta 27 MHz por tanto el rango de frecuencias quedó comprendido entre 1 Hz a 1 GHz.

Debido a ello se eligió el analizador de campos electromagnéticos NBM 550 con un rango de 100 kHz hasta 6 GHz, y también utilizando la sonda isotrópica EHP 50F para el rango de frecuencias de 1 Hz a 400KHz.

El equipo que se empleó en el trabajo de investigación es propiedad de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. A la presentación del trabajo el equipo cuenta con un certificado de calibración válido hasta el febrero del 2020, de igual forma para las dos sondas a emplearse.

Prospección técnica

En la etapa de prospección técnica, se realiza una identificación, evaluación, y registro de los factores del entorno físico y factores del entorno radioeléctrico dentro de las UPSS de Terapia Física y Rehabilitación (Perú, 2004).

El primer nivel de evaluación será el realizado al entorno físico de la Unidad de Terapia Física y Rehabilitación. Para ello se revisarán puntos específicos (véase las tablas 9 y 10), con los cuales se busca obtener una comprensión adecuada del ambiente de medición. La información será obtenida de los planos estructurales de las Unidad Productora de Servicios (UPSS) de Terapia Física y Rehabilitación y constatada con una inspección in situ del lugar de medición.

Tabla 9

Características físicas de la unidad de terapia física.

Características físicas de la UPSS de Terapia Física	
Dimensiones del área de terapia física	Para consideraciones durante la medición.
Número de cubículos	Cantidad de cubículos existentes dentro de la sala de terapia física.
Separación entre cubículos	Determinar las estructuras o materiales que conforman la separación entre cada cubículo dentro del área de rehabilitación.
Zonas de trabajo para el personal médico	Identificar las áreas de trabajo del personal médico ubicadas en las inmediaciones de los cubículos de terapia.
Mobiliario clínico	Identificar el mobiliario clínico existente dentro de cada cubículo.
Áreas contiguas a la sala de terapia	Es importante revisar las áreas que se encuentran en los alrededores del área de terapia física, con la finalidad de identificar posibles lugares de exposición.

Nota: Elaboración propia.

Por último, se evaluará el entorno radioeléctrico. Para ello se determinarán todas las fuentes generadoras de campos electromagnéticos. En primera instancia, se identificarán todos los equipos biomédicos generadores de campos electromagnéticos existentes en la

UPSS de Terapia Física y Rehabilitación, para ello se usará la lista de bienes patrimoniales. Se determinarán las características técnicas de los equipos biomédicos de acuerdo a lo señalado en la tabla 10.

Finalmente, se identificarán posibles fuentes de campos electromagnéticos localizados en las inmediaciones del área de terapia física.

Tabla 10

Características técnicas de los equipos biomédicos de rehabilitación.

Características técnicas de los equipos biomédicos a ser evaluados	Requerimientos del instrumento
Dimensiones	Para consideraciones durante la medición.
Frecuencia de trabajo	Es importante identificar la frecuencia con la cual son generadas las señales.
Modos de terapia	Con ello se busca identificar las características de las ondas generadas durante cada modo de operación.
Polarización	Polarización linear, circular, elíptica u horizontal.
Potencia de salida	Identificar los niveles de potencia entregados durante la terapia.
Electrodos	Identificar los tipos de electrodos.
Antigüedad	Antigüedad en años del equipo.
Ultima fecha de mantenimiento	Identificar la fecha en la cual se realizó el último mantenimiento preventivo o correctivo al equipo.

Nota: Elaboración propia.

Los datos registrados en la etapa de prospección técnica se registran en el formato del Apéndice D para cada cubículo de terapia evaluado.

Preparación del ambiente

En base al plano arquitectónico del área de rehabilitación, a la identificación de los equipos a evaluar y a la inspección realizada a la unidad, se realizará la segmentación de los cubículos de terapia en cuadrados de medio metro de lado (Figura 19). Para así ubicar los puntos de medición en el centro de cada cuadrado. El área segmentada está constituida por tres partes. La primera, viene a ser el área ocupada por el equipo biomédico. La segunda, el área crítica. Finalmente, el área colindante. En las siguientes líneas estas áreas son definidas.

Las figuras 20 y 21 muestran dos segmentaciones realizadas a cubículos de rehabilitación; en la Figura 20, el cubículo cuenta con un equipo de terapia de pulsos magnéticos; la Figura 21, presenta un equipo de onda corta en el cubículo.

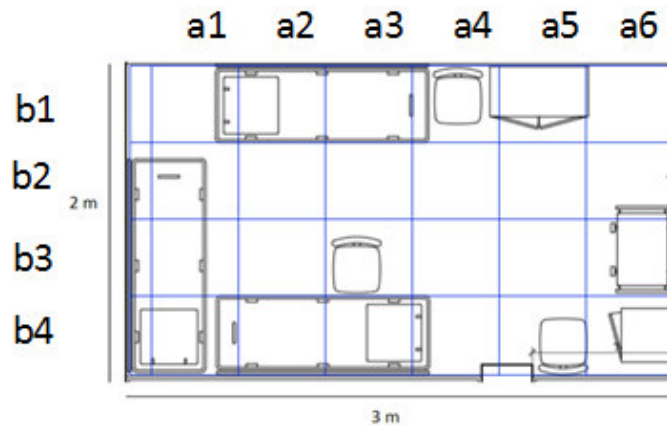


Figura 19. División del cubículo de terapia en cuadrados de medio metro de lado, para determinar los puntos de medición.

Fuente: Elaboración propia.

Área ocupada por el equipo.

Como su nombre señala esta área se encuentra definida por los cuadrados en los cuales están contenidos las partes del equipo (cuerpo, conectores y aplicadores). En las figuras 20 y 21 se indican los puntos de medición de esta área usando aspas de color negro.

Área crítica.

En base a la segmentación, el área crítica está delimitada por los cuadrados que colindan con el área ocupada por el equipo biomédico. En las figuras 20 y 21, las aspas rojas son los puntos de medición dentro área crítica.

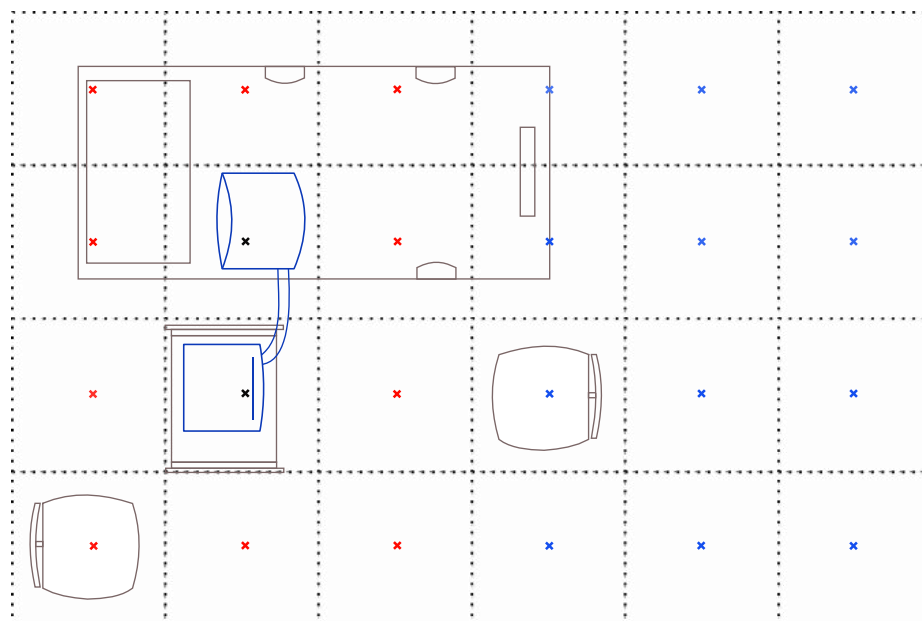


Figura 20. Cubículo de terapia. Configuración típica para el empleo de un equipo de terapia de pulsos magnéticos. Las aspas rojas señalan el área crítica. Las aspas azules indican el área colindante.

Fuente: Elaboración propia.

Área colindante.

Otra área definida para la medición es el área colindante, la cual está comprendida por el área del cubículo que no forma parte del área crítica ni del área ocupada por el equipo. En las figuras 20 y 21, los puntos de medición del área colindante se muestran en aspas azules.

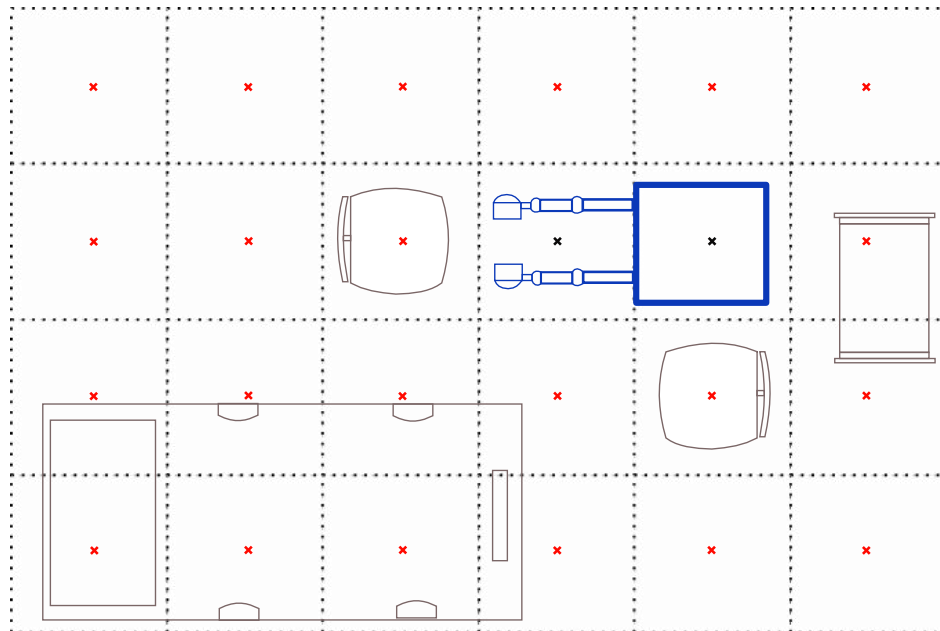


Figura 21. Cubículo de terapia. Configuración típica para el empleo de un equipo de onda corta. Las aspas rojas señalan el área crítica. Las aspas azules indican el área colindante.
Fuente: Elaboración propia.

Medición base

Con la finalidad de identificar posibles fuentes de interferencia que pudiesen alterar las mediciones realizadas dentro de los cubículos de terapia, se realizará una primera medición. Esta se llevará a cabo en el centro del cubículo de terapia con todos los equipos apagados y desconectados de la red eléctrica; el tiempo empleado para la medición será de 6 minutos; se realizará una verificación de los niveles campo electromagnético desde 0 Hz hasta 30 GHz.

Con los resultados obtenidos se podrá identificar posibles fuentes de interferencia en base a los niveles de intensidad de campo medidos.

Simulación clínica

Luego de haber descartado la existencia de fuentes de interferencia y caracterizar el ambiente electromagnético, se establece el campo electromagnético a medir. Para ello se enciende el equipo a ser evaluado; posteriormente se configuran los valores de programación típica, con ello se asegura la generación de campos electromagnéticos de valores típicos.

Finalmente, se realizarán las mediciones de campo eléctrico y magnético basado en la sectorización realizada (Figura 19).

Procedimientos de medición y determinación de la Distancia de Seguridad

El procedimiento se realiza de manera independiente para campo eléctrico y magnético, para hallar una Distancia de Seguridad para cada caso.

1. Verificación de la operatividad del instrumento de medición mediante la ejecución del AUTOTEST.
(1 minuto)
2. La sonda de medición de campo eléctrico o magnético se coloca sobre el trípode no conductor. La distancia del centro de la sonda al piso debe ser de un metro y medio (1,5m).
(1 minuto)
3. Se realiza la conexión del instrumento de medición a la sonda a través del cable óptico.
(1 minuto)
4. Configuración del equipo Narda NBM-550.
(2 minutos)

La configuración del instrumento de medición para medir el campo eléctrico y magnético de los equipos de onda corta, se detallan en las tablas 11 y 12 respectivamente.

Tabla 11
Configuración del NBM para medir CE.

Parámetro	Configuración
Tiempo de promediación	6 minutos
Pantalla	XYZ
Frecuencia	27.120 MHz
Tipo de resultado	Promedio
Unidad	V/m
Límite de alarma	2.25 kV/m
Sonda	Campo E
Auto zero	6 minutos

Nota: Elaboración propia.

Tabla 12
Configuración del NBM para medir CM.

Parámetro	Configuración
Tiempo de promediación	6 minutos
Pantalla	XYZ
Frecuencia	27.120 MHz
Tipo de resultado	Promedio
Unidad	A/m
Límite de alarma	5.60 A/m
Sonda	Campo H
Auto zero	6 minutos

Nota: Elaboración propia.

La configuración del instrumento de medición para medir el campo eléctrico y magnético de los equipos de terapia de pulsos magnéticos, se detallan en las tablas 13 y 14 respectivamente.

Tabla 13
Configuración del NBM para medir CE.

Parámetro	Configuración
Pantalla	XYZ
Frecuencia final (span)	200 Hz
Frecuencia inicial	2.4 Hz
Tipo de resultado	Promedio
Unidad	kV/m
Sonda	Campo H
Número de promediado	16
Límite de alarma	10 uT

Nota: Elaboración propia.

Tabla 14
Configuración del NBM para medir CM.

Parámetro	Configuración
Pantalla	XYZ
Frecuencia final (span)	200 Hz
Frecuencia inicial	2.4 Hz
Tipo de resultado	Promedio
Unidad	Tesla
Sonda	Campo E
Número de promediado	16
Límite de alarma	100 V/m

Nota: Elaboración propia.

5. Selección de los puntos de medición correspondientes al área ocupada por el equipo.
 (1 minuto)
6. La sonda que se encuentra montada en el trípode se coloca en cualquiera de los puntos del área evaluada.
 (1 minuto)
7. Se verifica que la sonda se encuentre en una superficie plana usando el nivel tipo ojo de buey del trípode.
 (1 minuto)
8. Para reducir las perturbaciones durante la medición, el operador se debe ubicar a una distancia de metro y medio (1,5m) de la sonda, además de no interponerse entre el equipo biomédico medido y la sonda.
 (1 minuto)
9. El equipo biomédico es puesto en funcionamiento de acuerdo a la configuración definida en la etapa de simulación clínica.
 (2 minutos)

10. La medición es realizada en el punto de seleccionado de acuerdo al tiempo de promediación configurado.

Onda corta (6 minutos)

Terapia de pulsos (1 minuto)

11. Se guardan las mediciones en la memoria del equipo y se identifica la posición de la medición en el croquis del área.

(1 minuto)

12. Se miden los demás puntos del área evaluada respetando un sentido horario o antihorario. Para ello se siguen los pasos 6, 7, 8, 9, 10 y 11 para cada punto de medición, hasta terminar de medir el área seleccionada.

13. Se continúa la medición en el área crítica respetando un sentido horario o antihorario fijo, hasta evaluar todos los puntos del área crítica. Por ello se repiten los pasos 6, 7, 8, 9, 10 y 11 para cada punto de medición.

14. Se evalúa todos los puntos del área colindante de acuerdo a lo indicado en los pasos 6, 7, 8, 9, 10 y 11.

Consideraciones para dimensionar la Distancia de Seguridad (DS)

- Si no existen niveles de intensidad de campo medidos en toda el área que superen lo recomendado por la norma ICNIRP, no es necesario establecer una Distancia de Seguridad.
- Si existe por lo menos un valor medido en el área crítica y colindante que supere el nivel de referencia ICNIRP, no se recomienda el ingreso al área durante el funcionamiento del equipo biomédico.
- Si existen niveles de intensidad de campo que superen los niveles de referencia ICNIRP solo en el área ocupada por el equipo, la Distancia de Seguridad tomará el valor de medio metro.

- En el caso de que todos los valores medidos en el área colindante sean menores a los niveles de referencia indicados y además existan niveles de campo mayores a lo señalado por ICNIRP en el área crítica, la Distancia de Seguridad será igual a un metro.

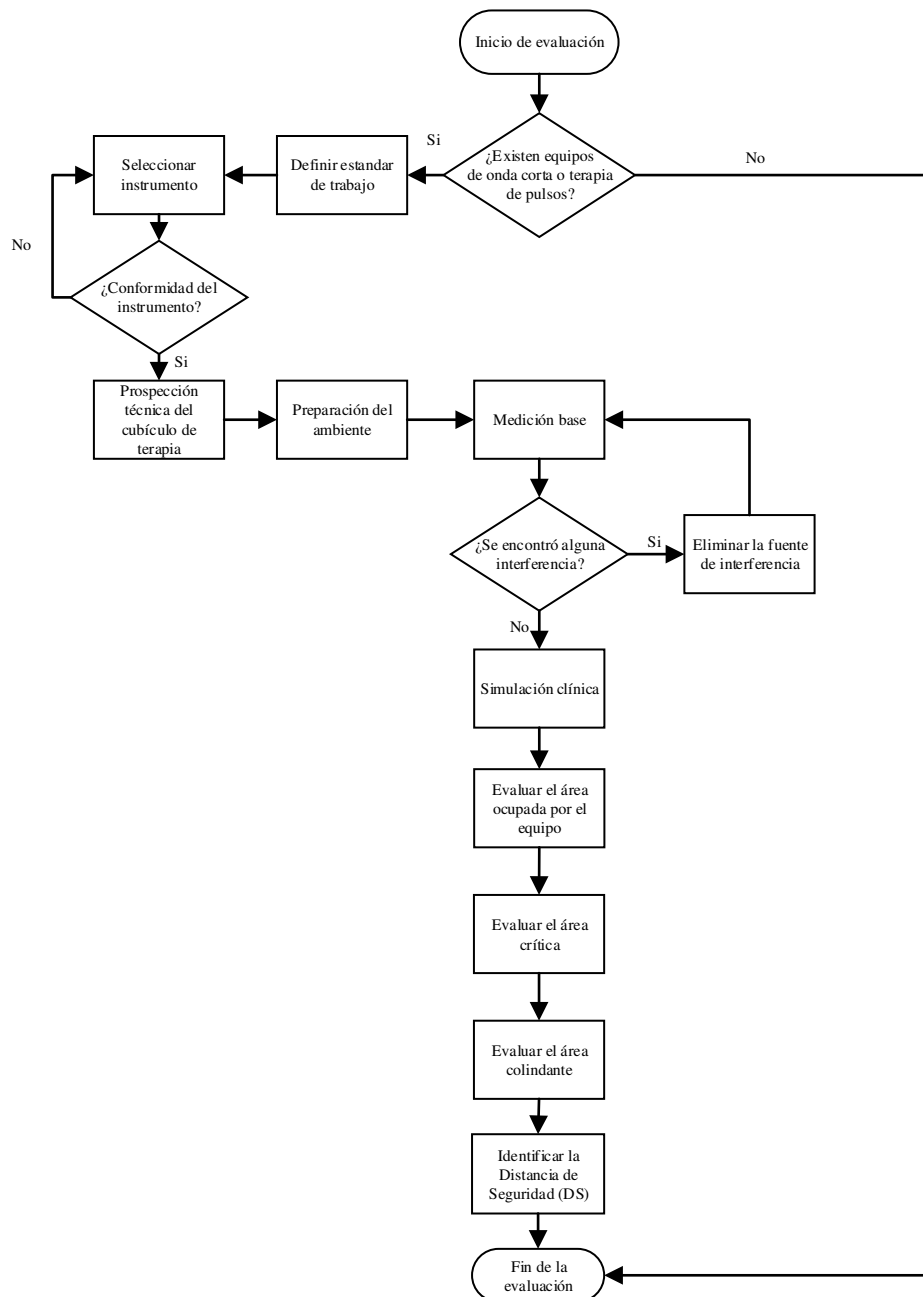


Figura 22. Diagrama de flujo del protocolo de medición.
Fuente: Elaboración propia.

Sistema para la medición de campo eléctrico y magnético

Las mediciones de campo eléctrico y magnético se realizaron empleando el equipo de nivel de exposición NBM-550 de la marca NARDA. Mencionado equipo permite la medición de cada campo de manera independiente, requisito indispensable debido a que las emisiones se encuentran en el campo cercano de radiación. Además, la amplia cobertura del espectro, basado en el cambio de sondas, lo hace adecuado para la presente investigación.

NARDA NBM-550

De acuerdo al fabricante NARDA (2013), el medidor de campo de banda ancha NBM-550 es un instrumento de medición de radiaciones no ionizantes omnidireccional, con un rango de trabajo desde 100 kHz hasta 600 GHz. Debido a la precisión del equipo, permite establecer zonas de trabajo seguras donde exista la posibilidad de presencia de campos eléctricos o magnéticos (NARDA, 2015a).



*Figura 23. Equipo NBM 550.
Fuente: NARDA (2015a)*

Las aplicaciones del equipo son: medición espectral de campos de baja frecuencia emitidos por equipos industriales o cables eléctricos de alto poder, también demostrar compatibilidad electromagnética de dispositivos y equipos, medir campos electromagnéticos

de broadcasting y radares, establecer zonas de seguridad y medir equipos biomédicos que generen alta frecuencia.

Tabla 15
Características del equipo NBM-550.

Funciones de medición	Detalle
Unidades	mW/cm ² , W/m ² , V/m, A/m, % (del estandar)
Rango de visualización	.0001 a 9999, 4 dígitos, variable o triadas fijas pueden ser seleccionadas Triadas variables 0.01 V/m a 100.0 kV/m 0.01 mA/m to 265.3 A/m 0.001 mW/m ² to 26.53 MW/m ² 0.1 nW/cm ² to 2.653 kW/cm ² 0.0001 % to 9999 % Triadas fijas 0.01 to 9999 V/m 0.0001 to 265.3 A/m 0.0001 to 9999 W/m ² 0.0001 to 9999 mW/cm ² 0.0001 to 9999 %
Tipo de resultado (RMS, Isotrópico)	Actual, Máximo, Mínimo, Promedio, Valor máximo dentro del promedio
Tipo de resultado (RMS, modo X-Y-Z)	Actual X, Actual Y, Actual Z (requiere una sonda con ejes separados)
Promediación temporal	Tiempo de promediación seleccionable, 4 s hasta 30 min (2 pasos)
Promediación temporal	Discreto o continuo
Promediación espacial para posiciones múltiples	Promediación de hasta 24 resultados de promediación espacial
Corrección de frecuencia	1 kHz hasta 100 GHz u OFF (ingreso de frecuencia, interpolación entre puntos de calibración)

Nota: Tomado de NARDA (2015a)

Sondas

El catálogo de sondas existente es amplio, como se muestra en la Tabla 16. Las sondas se diferencian de acuerdo al rango de frecuencias de medición, el tipo de campo a medir, el tipo de sensor y el rango de medición. Cada sonda es conectada al equipo NBM usando un conector óptico para evitar la interferencia electromagnética generada durante las mediciones.

Tabla 16
Listado de sondas compatibles con el equipo NBM-550.

Rango de Frecuencias (f)	Intensidad de Campo Eléctrico (E) (V/m)	Rango de medición	Tipo de sensor	Sonda
1 Hz – 400 kHz	E, H	Campo eléctrico 0.0001 hasta 100 kV/m Campo magnético 0.0001 hasta 10 mT		EHP 50F
300 kHz - 30 MHz	H	0.012 - 16 A/m	Bobina con diodos	HF 3061
27 MHz - 1 GHz	H	0.018 - 16 A/m	Bobina con diodos	HF 0191
100 kHz - 3 GHz	E	0.2 - 320 V/m	Dipolos con diodos	EF 0391
100 kHz - 6 GHz	E	0.38 - 650 V/m	Dipolo con diodos	EF 0691
3 MHz - 18 GHz	E	0.8 - 1000 V/m	Dipolo con diodos	EF 1891
40 MHz - 40 GHz	E	0.7 - 400 V/m	Dipolo con diodos	EF 4091
300 MHz - 50 GHz	E	8 - 614 V/m	Dipolo con termocuplas	EF 5091
100 MHz - 60 GHz	E	0.7 - 400 V/m	Dipolo con diodos	EF 6092
100 MHz - 90 GHz	E	0.7 (2) - 400 V/m	Dipolo con diodos	EF 9091
300 kHz - 50 GHz	E	approx. 0.5 - 600% del estandar	Dipolo con diodos y termocuplas	EA/EB/EC/ED 5091

Nota: Tomado de NARDA (2015b)

EHP-50F.

Para la medición de los equipos de terapia de pulsos magnéticos se empleará la sonda EHP-50F. La cual permite la medición simultánea selectiva y de banda ancha en tres ejes. El rango de trabajo en frecuencia es desde 1 Hz hasta 400 kHz, permitiendo medir campo

eléctrico y magnético. La tabla 17 muestra las características técnicas de la sonda (NARDA, 2016b).

Tabla 17
Características técnicas de la sonda EHP-50F.

Specifications	
Reading range	0,2 – 200 V/m
Overload	600 V/m
Dynamic range	> 60 dB
Linearity	± 0,5 dB (0,5 to 100 V/m) @ 50 MHz
Resolution	0,01 V/m
Sensitivity	0,2 V/m
Flatness @ 20V/m	3 MHz – 200 MHz +/- 0,8 dB
	0,15 MHz – 3 GHz +/- 1,15 dB
Anisotropy @ 6V/m	0,1 MHz – 6 GHz +/- 2 dB
	± 0,8 dB @ 50 MHz (typical 0,6 dB)
Rejection of magnetic field	> 20dB
Temperature error	0,1 dB/°C
A/D conversión	On board
Calibration factors	On board E2 prom
Temperature sensor	On board
Dimensions	Length 450mm, diameter 55mm
Weight	180g

Nota: Tomado de NARDA (2016b)

EF 0691.

Para la medición de los equipos de diatermia de onda corta, los cuales operan a 27 MHz, se usará la sonda EF 069, la cual permite medir campos eléctricos desde 100 kHz hasta 6 GHz con una sensibilidad de 0,38 V/m. La sonda está compuesta por tres arreglos de dipolos dispuestos ortogonalmente usando diodos como detectores. Los componentes espaciales son evaluados individualmente a la salida de la sonda y, el módulo NBM realiza

los cálculos de los valores de campo. La sonda cumple los requerimientos de normas como: EN 50492 e IEC 62232 (NARDA, 2016).

Tabla 18

Características técnicas de la sonda EF 069.

Specifications	
Rango de frecuencia	100 kHz hasta 6 GHz
Rango de medición	0.38 hasta 650 V/m (CW) 0.38 hasta 22 V/m (RMS)
Rango dinámico	65 dB
CW nivel de daño	1000 V/m
Pico de daño máximo	10 kV/m
Tipo	Sistema basado en diodos
Incertidumbre de la respuesta isotrópica	± 1 dB (0.1 MHz to 5 GHz) ± 1.2 dB (> 5 GHz)
Incertidumbre de respuesta a la temperatura	+0.2/ -1 dB (0 °C to 50 °C, related to 23 °C)
Intervalo de calibración recomendado	24 meses
Temperatura	En operación: 0 °C to +50 °C Almacenamiento: -40 °C to +70 °C
Dimensiones	318 mm x 66 mm
Peso	90g

Nota: Tomado de NARDA (2016a)

Interpolación espacial

El número de mediciones realizados a un cubículo de rehabilitación no brinda la cantidad adecuada de información para la generación de un mapa que permita visualizar los cambios en niveles de intensidad de campo dentro del cubículo en función del área, debido a esto se optó por usar el método de interpolación espacial. Usando este método es posible estimar los valores de las áreas no medidas para así obtener un mayor número de valores que permitan representar la información en un mapa.

Los métodos de interpolación espacial existentes son diversos y exigen el cumplimiento de ciertos criterios de selección tales como el tipo de información base, el nivel de precisión requerido, el tiempo y la capacidad de procesamiento (Azpurua y Ramos, 2010).

Debido a que en el presente trabajo los campos eléctricos y magnéticos son medidos en la región de campo cercano, la información adquirida presenta gran variabilidad para su correcta aproximación, además de múltiples parámetros para el cálculo como el tipo de polarización, ganancia, eficiencia de radiación, etc. Por estas razones no se contó con criterios de interpolación específicos.

Durante el desarrollo se optó por seleccionar la interpolación espacial dependiente de la distancia debido a que permite visualizar la información limitando los valores máximos y mínimos a los medidos.

Interpolación espacial dependiente de la distancia

En el presente trabajo, empleamos una variación del método de interpolación espacial, para ello definimos $f(x)$ como la función de interpolación en la región G donde $f(x, y) : x, y \rightarrow m \in \mathbb{R} \wedge x, y \in G$. Así también se define la región Y como todos los puntos contenidos en la circunferencia de radio L con centro en el punto de evaluación (x_k, y_k) , osea todo punto contenido en $(x - x_k)^2 - (y - y_k)^2 \leq (L)^2$. Solo los puntos existentes o valores medidos distintos de cero que se encuentran dentro de la región Y , así como sus distancias con respecto al punto de evaluación contribuirán al cálculo del punto evaluado. Para hallar los valores de campo eléctrico, $f(x, y)$ se define como:

$$f(x, y) = \sum_{k=0}^n \frac{E(x_k, y_k) * (L - d)}{r} \quad (16)$$

y para el cálculo del campo magnético tenemos:

$$f(x, y) = \sum_{k=0}^n \frac{H(x_k, y_k) * (L - d)}{r} \quad (17)$$

donde L es igual al radio de la región Y , r es el factor de ajuste, $H(x_k, y_k)$ es el valor de campo magnético contribuyente, el valor del campo eléctrico contribuyente viene dado por $E(x_k, y_k)$ y d es la distancia euclidiana del punto evaluado al valor de campo contribuyente.

Por ejemplo, en la figura 24 se nos muestra el punto C, el cual será evaluado para el cálculo de su valor correspondiente en función a la promediación espacial. En rojo se ilustra la región E que contiene solo los puntos M1, M2 y M3 con sus distancias d_1 , d_2 y d_3 respectivamente, los valores correspondientes a estos puntos así como las distancias serán usados para hallar el valor de C en función de la ecuación X.

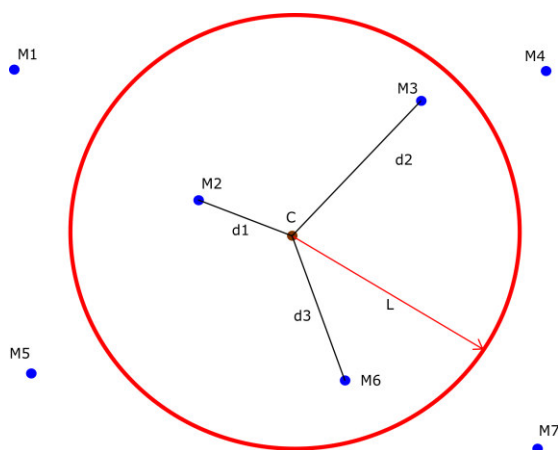


Figura 24. Región E de radio L . Puntos M2, M3 y M6 contenidos en E. Los puntos M1, M4, M5 y M7 no son considerados para el cálculo de C.
Fuente: Elaboración propia.

Generación de los mapas de campo magnético y eléctrico

Para la elaboración de los mapas de intensidad de campo y magnético se procesaron los datos usando un conjunto de algoritmos hechos en Matlab®. El procesamiento se dividió en tres rutinas de programación. La primera viene a ser la preparación de los valores medidos, luego se tiene la etapa de interpolación.

Preparación de los valores medidos

En esta primera rutina se ingresan y organizan los datos de entrada, las variables y los vectores fijos. Posteriormente estos serán procesados en la rutina de generación de imágenes.

En la Figura 25 se presenta el flujograma de esta primera rutina de programación.

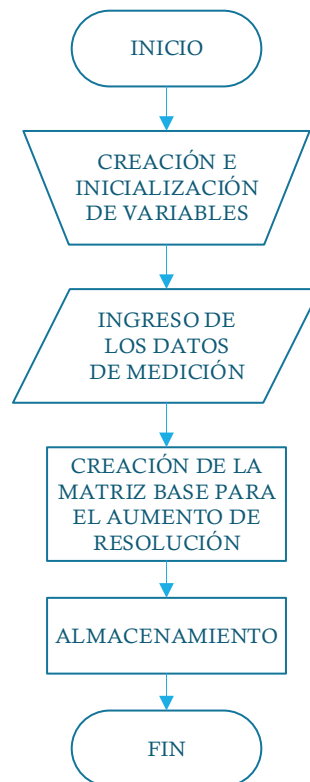


Figura 25. Diagrama de flujo de la primera rutina de programación.
Fuente: Elaboración propia.

En la etapa de creación de las variables se define el tamaño de la matriz base con respecto a la división espacial realizada a los cubículos de rehabilitación de acuerdo al protocolo de medición, en la Figura 26 este paso es ejemplificado.

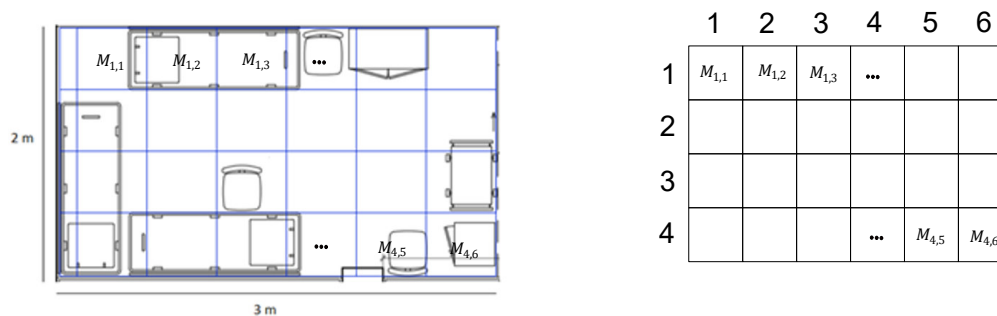


Figura 26. Llenado de la matriz base en función a la posición espacial de cada medición.
Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente los valores de medición son ingresados a la matriz base, relacionando su posición espacial con su posición en la matriz base. En la Figura 26 se aprecia que el valor medido es ingresado a la fila m columna n de la matriz base ($M_{m,n}$).

Tabla 19

Descripción de las matrices creadas en la primera rutina.

Nombre	Representación	Descripción
Matriz base	$M_{m,n}$	Matriz M con m filas y n columnas donde $m, n \in \mathbb{N} - \{0\}$
Matriz a ser interpolada	$I_{x,z}$	<p>Matriz I con x filas y z columnas donde:</p> $x = 1 + 100 * n$ $z = 1 + 100 * m$ $x, z \in \mathbb{N} - \{0\}$ <p>Si $i, j \in \mathbb{N} - \{0\}$, los valores de I son definidos de la siguiente manera:</p> <p>PARA $i := 1$ a m, paso = 1 PARA $j := 1$ a n, paso = 1 Hacer $I_{100i-49,100j-49} = M_{i,j}$ Fin PARA Fin PARA</p> <p>Los demás valores de I son llenados con el valor de cero.</p>

Nota: Tomado de NARDA (2016a)

El paso siguiente consiste en la creación de la matriz a ser interpolada durante la ejecución de la segunda rutina. En la tabla 19 se describen las características de la matriz I, siendo esta básicamente una matriz de ceros a excepción de las posiciones llenadas con los valores de la matriz base ($M_{m,n}$). La Figura 27 ejemplifica la matriz I generada en base a una matriz de mediciones de 4 filas por 6 columnas. Al final de esta etapa los datos son almacenados para ser operados en la siguiente rutina.

	1	...	51	...	151	...	251	...	351	...	451	...	551	...	601
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
⋮	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
51	0	0	M _{1,1}	0	M _{1,2}	0	M _{1,3}	0	M _{1,4}	0	M _{1,5}	0	M _{1,6}	0	0
⋮	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
151	0	0	M _{2,1}	0	M _{2,2}	0	M _{2,3}	0	M _{2,4}	0	M _{2,5}	0	M _{2,6}	0	0
⋮	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
251	0	0	M _{3,1}	0	M _{3,2}	0	M _{3,3}	0	M _{3,4}	0	M _{3,5}	0	M _{3,6}	0	0
⋮	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
351	0	0	M _{4,1}	0	M _{4,2}	0	M _{4,3}	0	M _{4,4}	0	M _{4,5}	0	M _{4,6}	0	0
⋮	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
401	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 27. Matriz I generada en base a una matriz base de 4 filas por cuatro columnas.
Fuente: Elaboración propia.

Interpolación

Este proceso tiene por finalidad interpolar los valores de la matriz I a partir de los valores adquiridos durante el protocolo de medición, los cuales se encuentran en la matriz base ($M_{m,n}$).

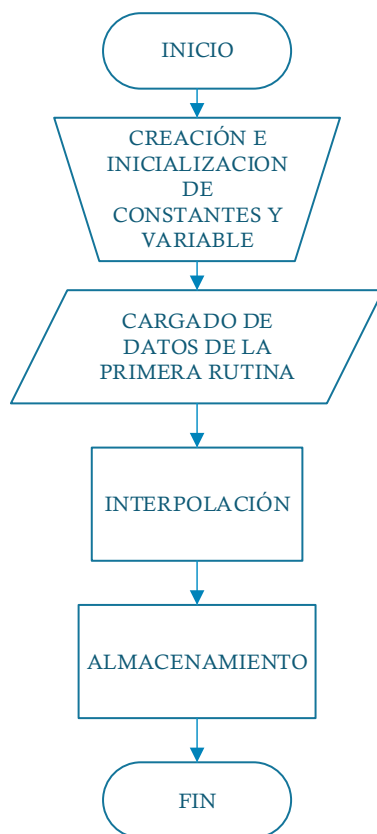


Figura 28. Diagrama de flujo de la segunda rutina de programación.
Fuente: Elaboración propia.

La Figura 28 esquematiza esta rutina de programación. La cual inicia con la creación e inicialización de las constantes, vectores, matrices y variables a usarse durante la etapa de interpolación. Posteriormente la matriz I es cargada de la rutina anterior. En la tabla 20 se detallan los pasos realizados en las dos primeras etapas de la rutina. A continuación, la etapa de interpolación es iniciada. Al terminar la matriz I contiene todos los nuevos valores interpolados, posteriormente se generan las imágenes de campo eléctrico o magnético.

Tabla 20
Dos primeras etapas de la segunda rutina.

Etapas	Descripción
Creación e inicialización	Crear constante $L=101$ Crear variable k y escribir $k=1$ Crear vectores $D=V=$ zeros (1,10) Crear $C_{x,z}$ con x filas y z columnas donde $x, z \in \mathbb{N} - \{0\}$, esta matriz es igual a la matriz I .
Cargar archivos primera rutina	Data = archivo PrimeraRutina

Nota: Tomado de NARDA (2016a)

La etapa de interpolación inicia con un recorrido ascendente a través de todos los elementos de la matriz C , la cual es idéntica a la matriz I , con la finalidad de ubicar la posición de cada valor igual a cero ($C_{i,j} = 0$). Al hallarse un elemento igual a cero llamémoslo $C_{f,g}$, se inicia el cálculo de su valor en función a la ecuación a las ecuaciones 16 o 17 según corresponda. Para ello se identifican los valores distintos de cero que se encuentren a una distancia euclidiana menor o igual a L teniendo como centro la posición (f, g) del valor a calcular, cada valor identificado es almacenado en el vector $V(k)$. Además, se identifican las distancias euclidianas de estos elementos a la posición (f, g) del elemento evaluado, para ser almacenadas en $D(k)$. Tanto $V(k)$ como $D(k)$ son usados para determinar el nuevo valor de $C_{f,g}$, al finalizar el cálculo del nuevo valor este es insertado en la posición (f, g) de la matriz I . Acto seguido todos los vectores y constantes son reinicializados para continuar con el recorrido en busca del siguiente elemento igual a cero, todo esto continúa hasta haber recorrido la matriz C por completo.

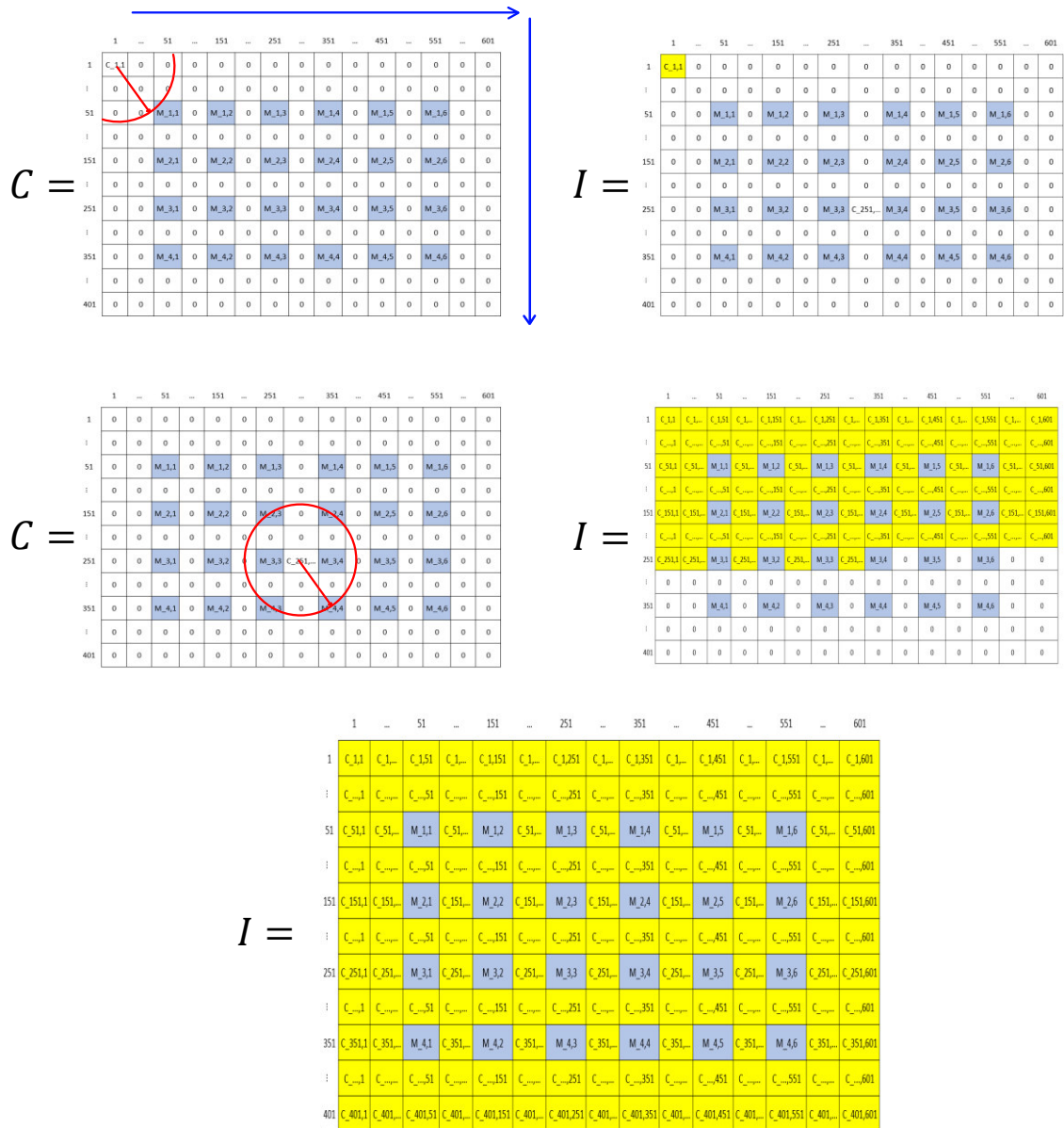


Figura 29. En la parte superior se muestra el trazo de la circunferencia de radio L para identificar los valores que contribuyen en el cálculo del valor de $C_{1,1}$. La parte intermedia de la imagen ilustra el sentido de llenado de la matriz I con los nuevos valores calculados. La parte baja presenta la matriz I, donde las casillas en azul son las mediciones realizadas y las casillas amarillas los valores interpolados.

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 29 muestra la ejecución del algoritmo en una matriz $I_{401,601}$ la cual contiene 24 elementos medidos, los cuales se encuentran representados en azul. En la parte superior de la imagen se ilustra la identificación del elemento $C_{1,1}$ como el primer elemento a ser evaluado, para la detección de los valores que contribuyen en el cálculo del nuevo valor de

$C_{1,1}$ se traza la circunferencia de radio L con la cual se encuentra al valor medido $M_{1,1}$, finalmente el nuevo valor calculado $C_{1,1}$ representado en amarillo es insertado en la posición $(1,1)$ de la matriz I . Luego se observa que el algoritmo continúa en el sentido de las flechas azules. En la parte intermedia de la imagen se muestra que la matriz I tiene insertados los nuevos valores interpolados en función a la identificación de los elementos de la matriz C con valores iguales a cero. En la parte baja de la imagen se presentan la matriz I la cual contiene los valores medidos en azul y todos los valores interpolados en amarillo, esta es obtenida luego de que se recorren todos los elementos de la matriz C . Luego, la matriz I es almacenada.

Para la representación visual usamos la función `ImageSC` en la matriz I , esta función escala los valores de la matriz a un determinado mapa de colores, para finalmente mostrarlos en pantalla. Cada elemento de la imagen generada o también llamada pixel es la representación de cada elemento de la matriz I .

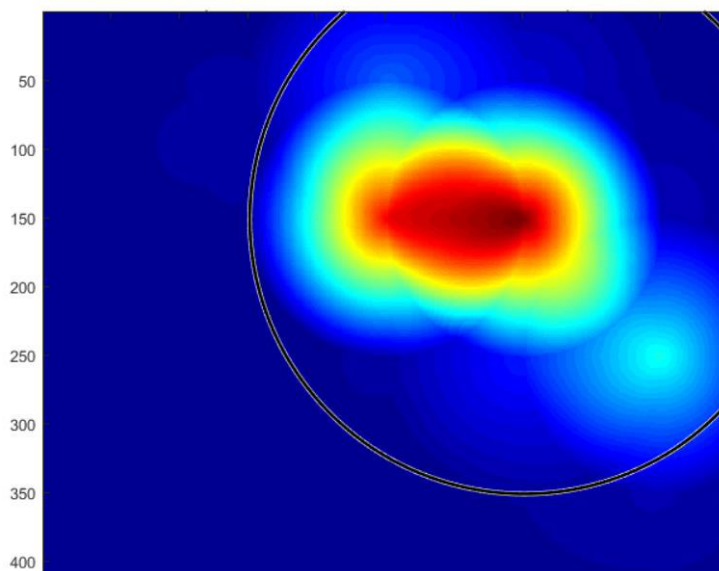


Figura 30. Rutina “generación del mapa”
Fuente: Elaboración propia.

Limitaciones del estudio

La gran limitación durante el desarrollo del estudio fue la obtención del acceso a los centros hospitalarios. En total se realizaron tramites de acceso en ocho hospitales de Lima y Callao; sin embargo, solo se pudo realizar las jornadas de mediciones en tres hospitales; los problemas presentados fueron: inexistencia del proceso para realizar investigaciones de ingeniería en hospitales por parte del personal administrativo y de capacitación, ciertos hospitales no permiten la realización de proyectos de investigación a menos que el tesista tenga algún tipo de vínculo laboral con la institución y, el desconocimiento del área de docencia y seguridad en el trabajo en ciertos hospitales sobre el riesgo electromagnético presente en el uso de algunos equipos biomédicos.

Una segunda limitación fue la de contar con el correcto funcionamiento de los equipos biomédicos para la ejecución de las mediciones. En el Hospital Negreiros las mediciones se vieron truncadas debido a que los dos equipos de diatermia de onda corta de la institución fueron dados de baja debido a que presentaron diversas fallas.

La limitación final se presentó en la interpolación de los valores de campo eléctrico y magnético para la generación de los mapas. Como se revisó en apartados anteriores la caracterización de la fuente es complicada debido a la gran cantidad de variables presentes (polarización, tamaño de antena, numero de fuentes, reflexión, etc.) y al grado de complejidad matemática. Un modelo de interpolación preciso va más allá del objetivo de la tesis; no obstante, es un tema para futuras investigaciones.

Capítulo 4

Resultados

Las evaluaciones de radiaciones no ionizantes conducidas en tres hospitales proporcionaron una cantidad de ochenta y cinco (85) puntos evaluados, con un total de ciento setenta mediciones (170). En el presente capítulo se sistematiza y procesa la información para poder realizar un análisis de toda la data numérica recolectada. En el Apéndice D se presentan todos los valores medidos.

En la primera parte se presenta una descripción y representación física de los cubículos de terapia medidos, luego se ilustran gráficamente los niveles de campo eléctrico y magnético obtenidos contrastándolos con los límites máximos permisibles, también se incluye el mapa de campo realizado en Matlab® y finalmente en base al protocolo de medición se establece la Distancia de Seguridad (DS)

Sistematización de los resultados

En las mediciones realizadas no existe relación entre los valores medidos de campo magnético y eléctrico, debido a que las mediciones se realizan en el campo cercano. Por ello los datos se presentan de manera separada para cada tipo de campo medido.

El entorno físico es presentado mediante un croquis (Figura 31) donde cada división representa un cuadrado de medio metro de lado. Las columnas son numeradas en orden creciente de izquierda a derecha mientras que a cada fila se asigna una letra en orden alfabético, con ello es posible identificar cada punto de medición por el par ordenado (fila, columna), en el croquis cada punto de medición es mostrado en color amarillo. En azul se ilustran los equipos biomédicos de rehabilitación. El mobiliario clínico es mostrado en jade.

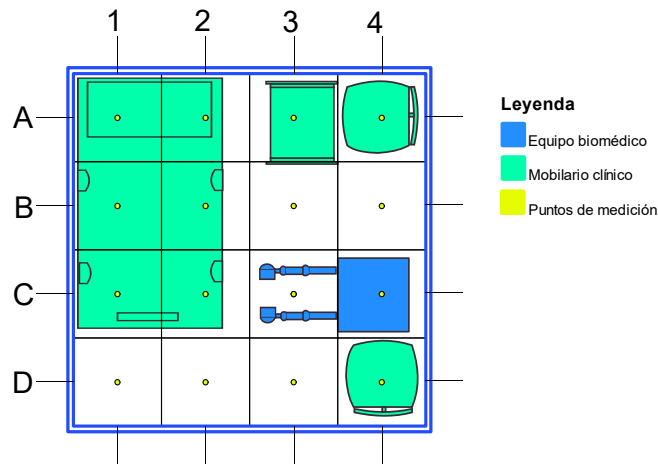


Figura 31. Croquis de un cubículo de terapia.
Fuente: Elaboración propia.

Las características técnicas del equipo medido son indicadas: marca, modelo, serie y la fecha de su último mantenimiento. Del mismo modo se indica la configuración de los parámetros del equipo.

Los datos obtenidos en las mediciones son presentados de forma gráfica (Figura 32), en azul se indica el nivel de intensidad medido en cada punto, en rojo se indica el límite máximo permisible.

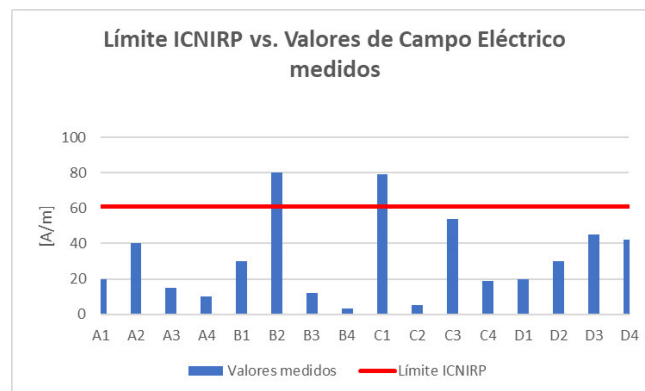


Figura 32. Grafica de los niveles de intensidad medidos versus los niveles de referencia ICNIRP.
Fuente: Elaboración propia.

La Figura 33 ilustra una comparación porcentual de los valores medidos con la norma del ICNIRP, donde el cien por ciento representa el límite máximo permisible. Los valores inferiores al límite se muestran en azul mientras que los valores por encima de la norma se ponen en rojo.

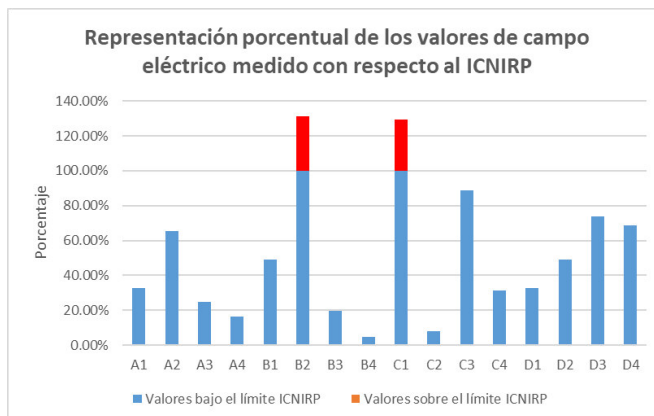


Figura 33. Grafica porcentual de los niveles de intensidad medidos versus los niveles de referencia ICNIRP.

Fuente: Elaboración propia.

Evaluación realizada en la Clínica Jesús del Norte

Cubículo de terapia 16

Las mediciones fueron conducidas en las instalaciones de la clínica Jesús del Norte (Lima) en el área de Terapia Física, cubículo de terapia número de dieciséis (16), con dimensiones de 2,5m x 2m. La Figura 34 es una fotografía tomada al cubículo de terapia, en ella se observa la disposición del equipamiento. En el croquis (Figura 35) se ilustra la distribución del mobiliario clínico (MC) y equipamiento biomédico (EB) del área. La disposición corresponde a una configuración clínica típica para la terapia de musculares y del dolor.

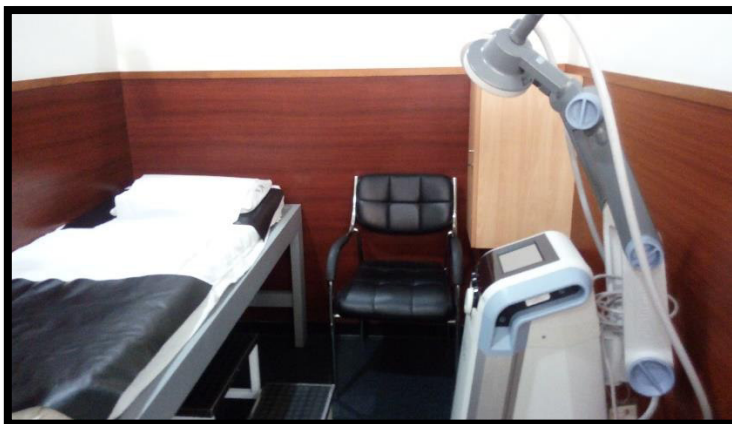


Figura 34. Cubículo de terapia 16, Clínica Jesús del Norte.
Fuente: Elaboración propia.

El ambiente evaluado se dividió en veinte puntos de medición como se muestra en la Figura 35, ubicados en los centros de los cuadrados divisorios de medio metro de lado. Tanto para campo eléctrico como magnético todos los puntos fueron evaluado. El área ocupada por el equipo contiene únicamente los pares B3 y B4; el área crítica está conformada por los pares: A2, A3, A4, A5, B2, B5, C2, C3, C4 y C5; y el área colindante está constituida por los pares: A1, B1, C1, D1, D2, D3, D4 y D5.

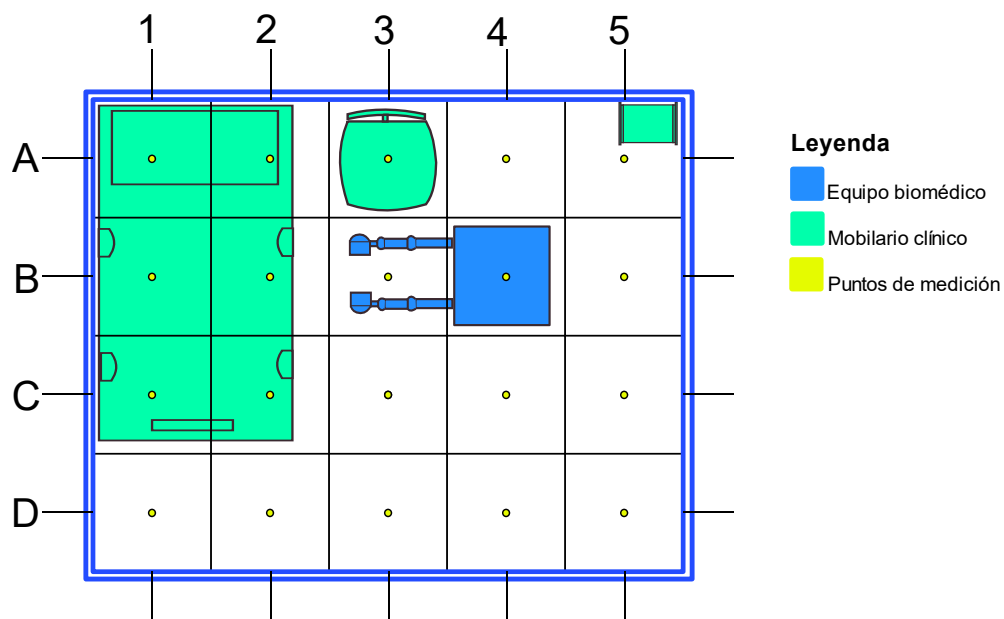


Figura 35. Croquis del cubículo de terapia 16.
Fuente: Elaboración propia.

El equipo biomédico presente en el área de terapia fue un equipo de diatermia por onda corta de la marca BTL, con capacidad para trabajar con aplicadores inductivos o capacitivos y una salida máxima de cuatrocientos watts (200 W). En la tabla 21 se especifica algunas características generales del equipo. La documentación técnica se encuentra en el Apéndice C.

Tabla 21

Datos del equipo de diatermia de onda corta.

Tipo	Equipo de terapia por onda corta
Marca	BTL
Modelo	BTL 6000
Último mantenimiento	12/12/2018

Nota: Elaboración propia

En la tabla 22 se detallan los parámetros configurados en la unidad de diatermia para la realización de las mediciones. Esta información también es detallada en el Apéndice D.1.

Tabla 22
Configuración del equipo de diatermia de onda corta.

Parámetros	Configuración
Terapia	Un canal
Parámetros de terapia	Continuo
Aplicador	Capacitivo
Tiempo	20 minutos
Frecuencia	27.2 MHz
Potencia	100 W

Nota: Elaboración propia

Resultados medición de campo eléctrico.

Los niveles de campo eléctrico medidos son ilustrados en la Figura 36. Como se muestra en la figura, el valor máximo registrado fue de 163.385 V/m en el área contigua a los aplicadores capacitivos del equipo (punto B4); mientras que el mínimo valor registrado fue de 0.558 V/m (punto D1).

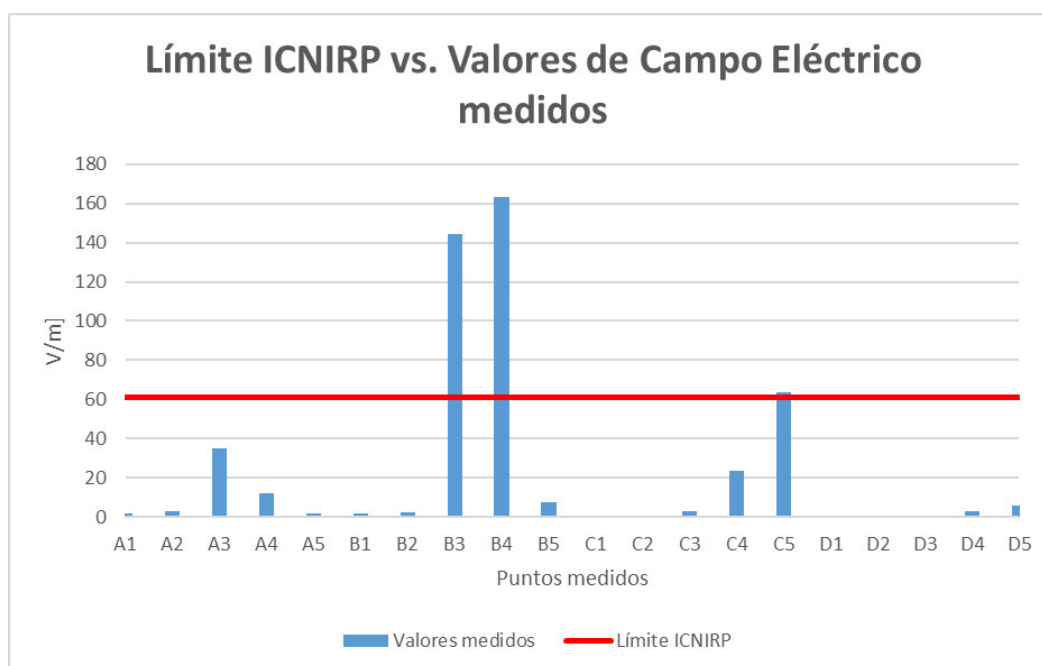


Figura 36. Gráfica de los niveles de intensidad medidos versus los niveles de referencia ICNIRP.

Fuente: Elaboración propia.

De las veinte (20) mediciones realizadas en función al mapeamiento del cubículo de terapia se hallaron solo tres (3) puntos (B3, B4 y C5) con valores por encima del nivel de

referencia para exposición ocupacional a campos eléctricos estipulado por el ICNIRP (61 V/m).

En la Figura 37 se presentan los valores porcentuales de las mediciones realizadas en función los límites de referencia ICNIRP, donde 100% representa el valor del límite. A medio metro de distancia de los aplicadores del equipo (punto C5) se encontró el valor de 104.366% del nivel de referencia ICNIRP.

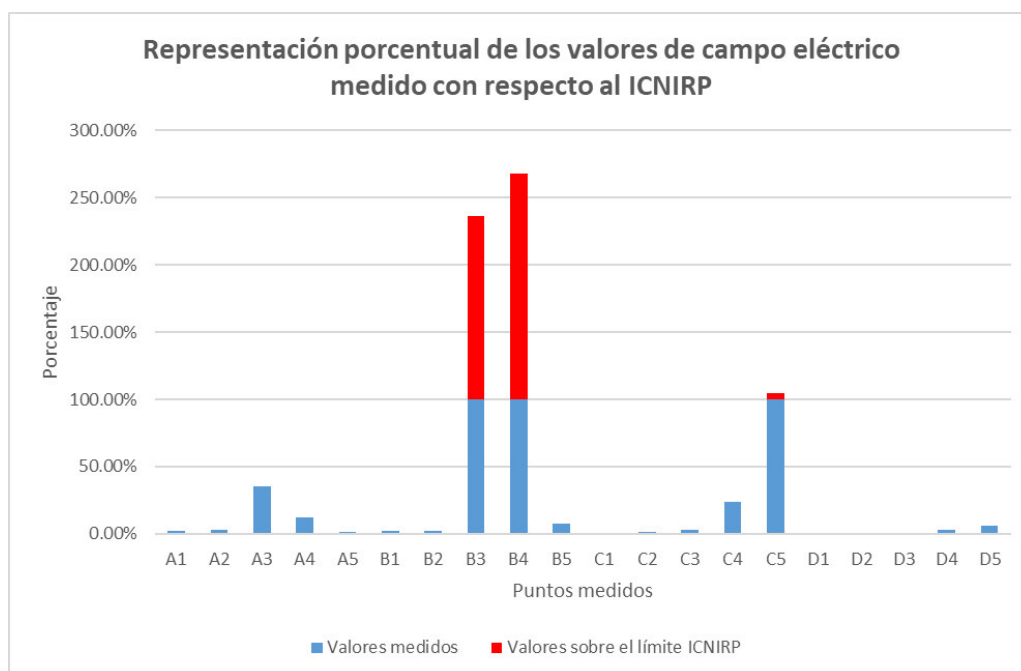


Figura 37. Grafica porcentual de los niveles de intensidad medidos versus los niveles de referencia ICNIRP.

Fuente: Elaboración propia.

Resultados medición de campo magnético.

Los niveles de campo magnético medidos son representados en la Figura 38. Se registró el valor máximo de 0.054 A/m en el área próxima a los aplicadores capacitivos del equipo (punto B3) y el mínimo valor medido fue de 0.017 A/m (punto D5).

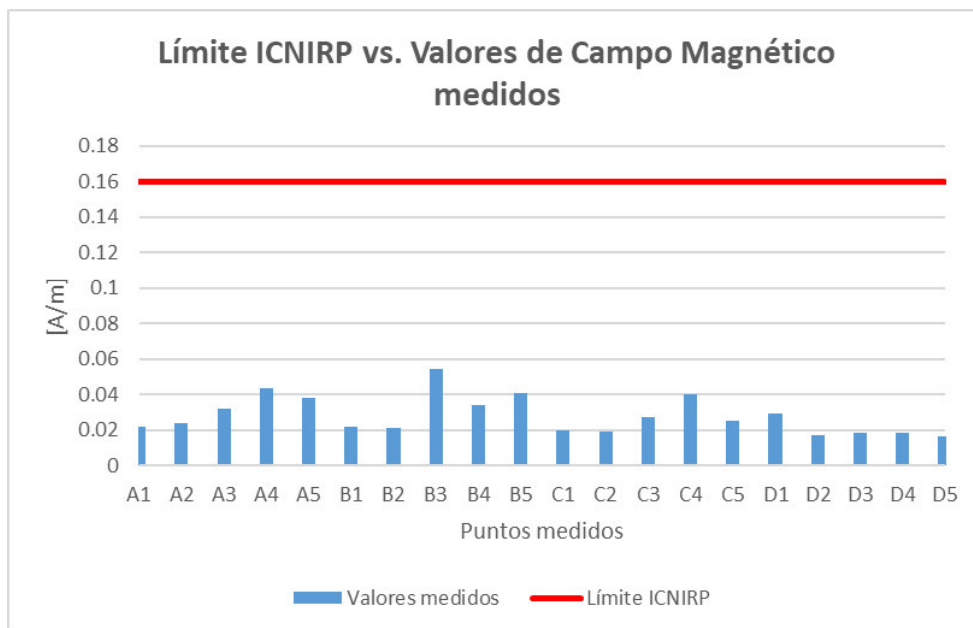


Figura 38. Grafica de los niveles de intensidad medidos versus los niveles de referencia ICNIRP.

Fuente: Elaboración propia.

Para el caso de las mediciones de las mediciones realizadas para campo magnético no se encontraron valores por encima del nivel de referencia para exposición ocupacional a campo magnético estipulado por el ICNIRP (0.16 A/m). En la Figura 39 se presentan los valores porcentuales de las mediciones realizadas en función los límites de referencia ICNIRP, donde 100% representa el valor del nivel de referencia. A medio metro de distancia de los aplicadores del equipo se obtuvo el valor máximo de 24.875% del nivel de referencia, a distancias de un metro se tuvo el valor máximo de 25.438% del límite ICNIRP.

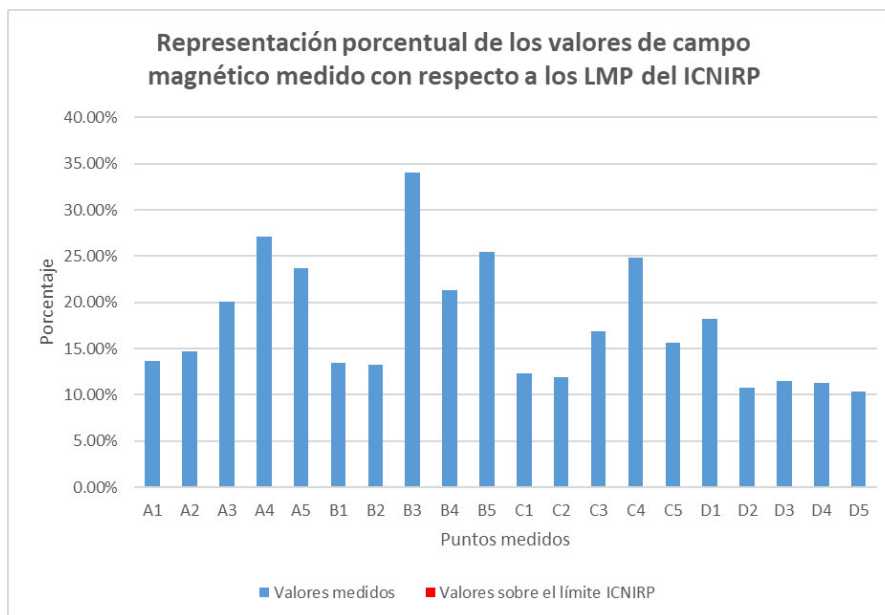


Figura 39. Grafica porcentual de los niveles de intensidad medidos versus los niveles de referencia ICNIRP.
Fuente: Elaboración propia.

Distancia de Seguridad para el cubículo de terapia 16.

De las mediciones de campo eléctrico realizadas al área crítica, solo un punto evaluado superó el límite de referencia ICNIRP para exposición ocupacional a campo eléctrico, el valor fue de 63.663 V/m (punto C5); por otra parte, ningún punto medido en el área colindante sobrepasó los niveles de referencia ICNIRP.

Con respecto a las mediciones de campo magnético, ningún punto medido en el cubículo de terapia estuvo por encima de los niveles de referencia ICNIRP.

Por lo anteriormente expuesto y en base al protocolo de medición se determina que la Distancia de Seguridad alrededor del equipo de diatermia de onda corta es de un metro y tiene como centro el punto 4B.

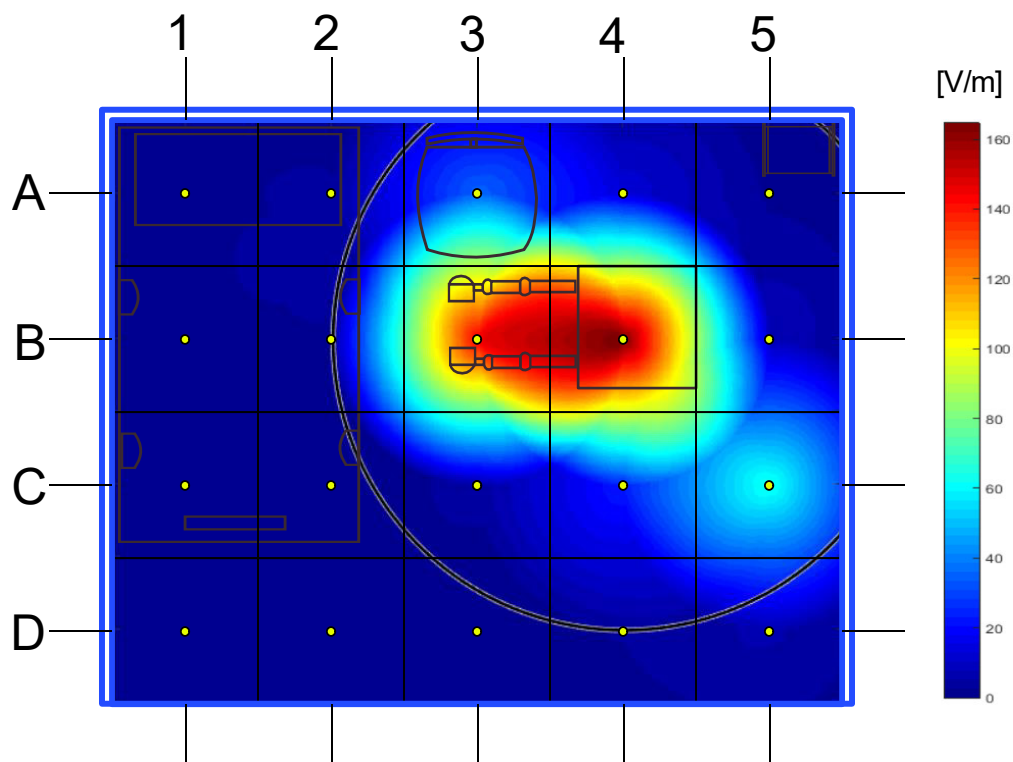


Figura 40. Mapa de campo eléctrico del cubículo de terapia 16.
Fuente: Elaboración propia.

La Figura 40 ilustra el mapa de intensidad de campo eléctrico generado a partir de las mediciones. En base al gráfico es posible decir que solamente la zona conformada D1 es adecuada para la ubicación de una silla. Por otro lado, la Figura 41 presenta el mapa de intensidad de campo magnético, donde se aprecia que todos los puntos medidos en el cubículo tienen niveles que no superan el nivel de referencia recomendado por la norma ICNIRP.

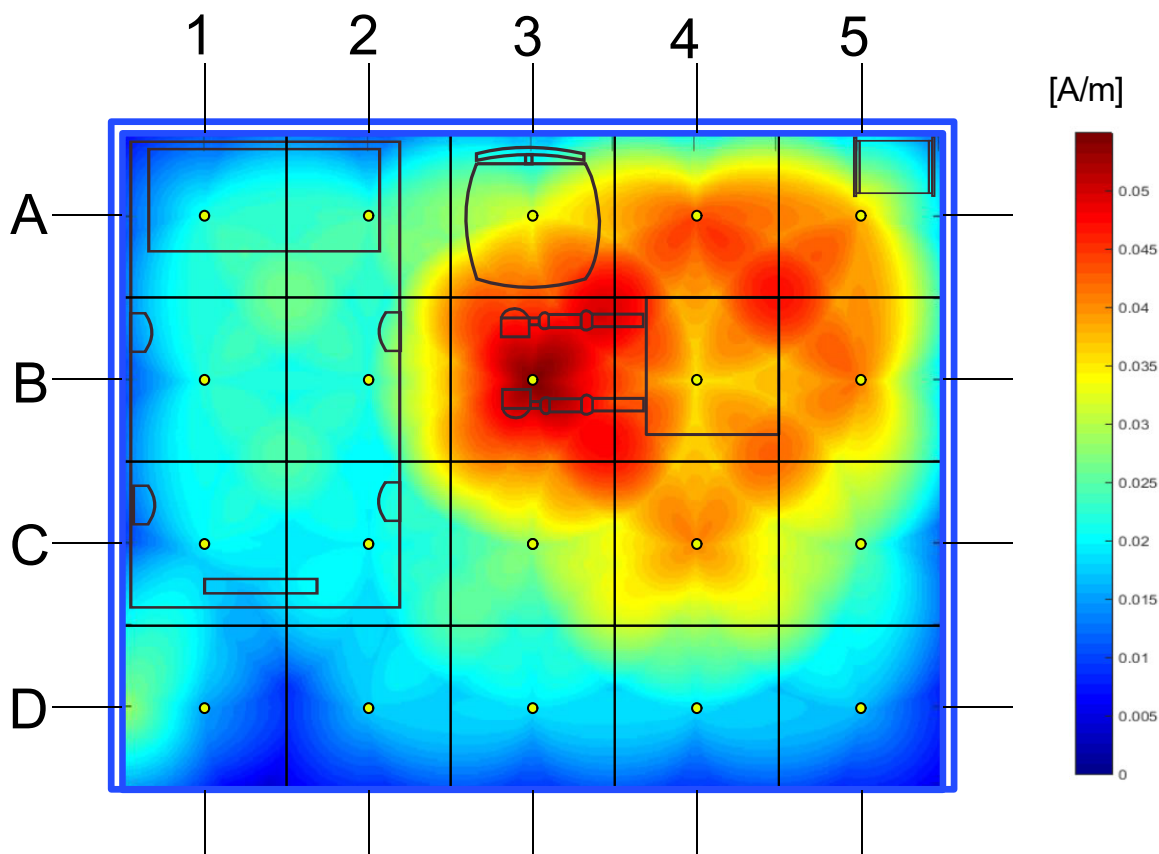


Figura 41. Mapa de campo magnético del cubículo de terapia 16.
Fuente: Elaboración propia.

Evaluación realizada en el Hospital Nacional Guillermo Almenara Irigoyen

La jornada de medición se llevó a cabo en la Unidad Productora de Servicios (UPSS) Medicina de Rehabilitación del Hospital Nacional Guillermo Almenara Irigoyen. Durante la jornada de medición se evaluaron dos cubículos de terapia de adultos.

Cubículo adultos 01

En este cubículo se realizan tratamientos para pacientes adultos usando un equipo de onda corta, el área del cubículo tiene por dimensiones aproximadas 2 m x 2 m. La Figura 42 es una ilustración fotográfica del cubículo. Es posible observar que el área de trabajo del personal médico se encuentra dentro del cubículo de terapia, el cual está conformado por una mesa de trabajo y una silla.



Figura 42. Cubículo de terapia adultos 1, hospital Almenara.
Fuente: Elaboración propia.

En el croquis del cubículo de terapia (Figura 43) se señalan en amarillo dieciséis (16) puntos de medición. Es importante indicar que los puntos C1, C2, D1 y D2 forman parte del área de trabajo del personal médico. El área ocupada por el equipo contiene los puntos B1 y B2; el área crítica se encuentra definida por A1, A2, A3, B3, C1, C2 y C3; por otro lado, el área colindante se encuentra conformado por A4, B4, C4, D1, D2, D3 y D4.

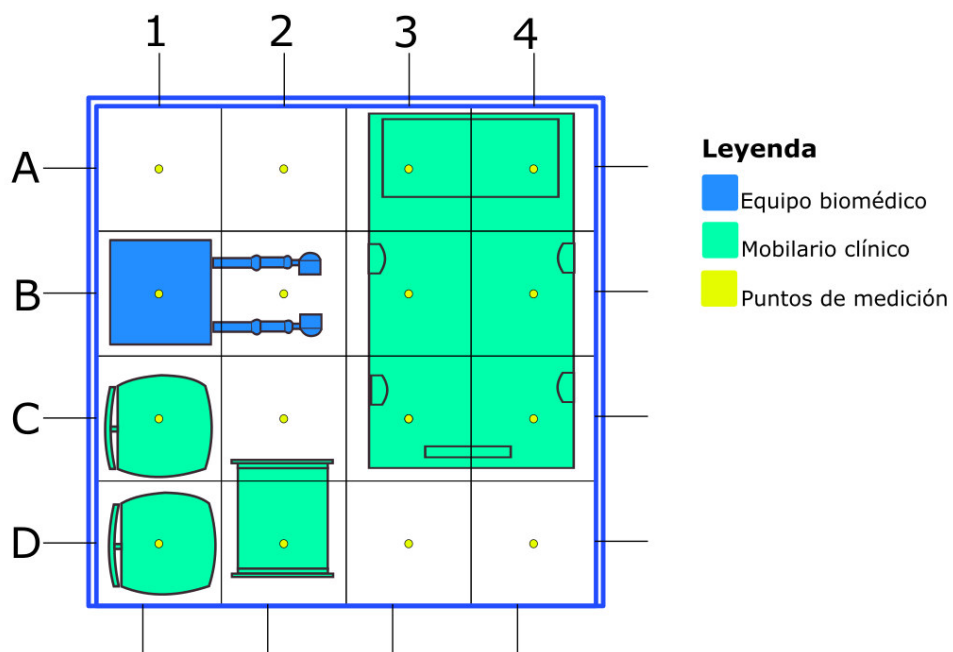


Figura 43. Croquis del cubículo de terapia adultos 01.
Fuente: Elaboración propia.

El equipo de onda corta existente en el cubículo tiene una potencia de trabajo de cuatrocientos watts (400 W) en modo continuo y alcanza picos de mil watts (1000 W) en modo pulsante, en la UPSS solo se usan aplicadores capacitivos. En la tabla 23 se especifica los datos del equipo de diatermia. La documentación técnica del equipo se encuentra en el Apéndice C.

Tabla 23
Datos del equipo de diatermia.

Información	Detalle
Marca	Curaplus
Modelo	Curaplus 970
Serie	2981
Último mantenimiento	24/09/2018

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 24 se detallan los parámetros configurados en la unidad de diatermia para la realización de la simulación clínica. Esta configuración de los parámetros es la de mayor uso por parte del personal médico. Esta información también es detallada en el Apéndice D.2.

Tabla 24
Configuración del equipo de diatermia.

Parámetros	Configuración
Terapia	Un canal
Modo de terapia	Continuo
Aplicador	Capacitivo
Tiempo	20 minutos
Frecuencia de repetición de pulsos	200 Hz
Control de intensidad	Posición 8

Nota: Elaboración propia.

Resultados medición de campo eléctrico.

Los niveles de campo eléctrico medidos son presentados en la Figura 44. Se registró el valor máximo de 1016.372 V/m en el área próxima a los aplicadores capacitivos del equipo

(punto B2), mientras que el mínimo valor medido fue de 20.745 V/m (D1). Dentro del área de trabajo del personal médico se registró el valor máximo de 351.143 V/m (punto C2).

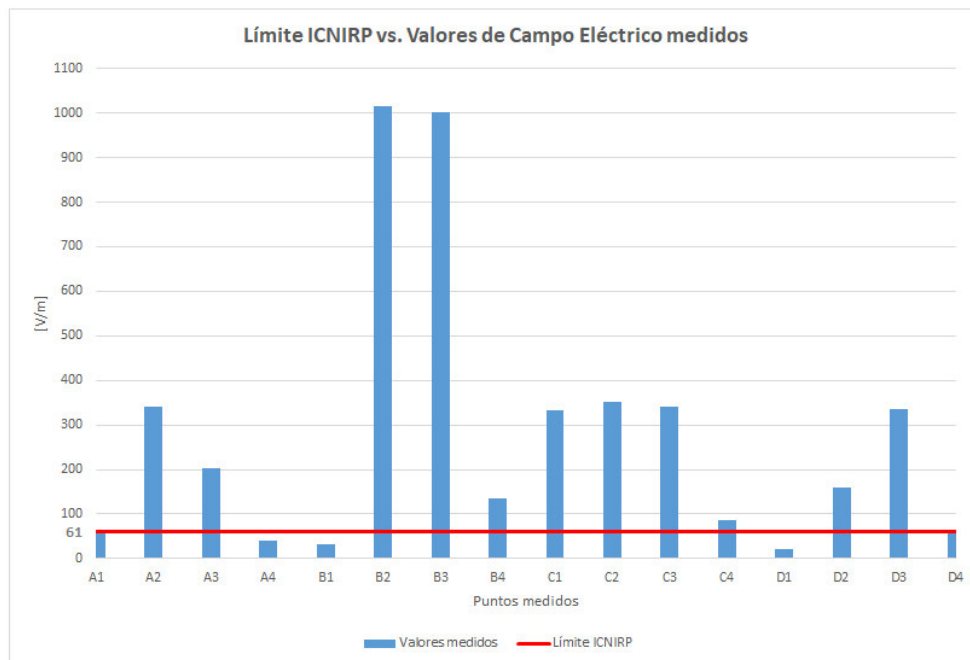


Figura 44. Grafica de los niveles de intensidad medidos versus los niveles de referencia ICNIRP.

Fuente: Elaboración propia.

Del total de mediciones realizadas en función a la mapeamiento del cubículo de terapia se identificaron doce puntos con valores por encima del nivel de referencia estipulado por el ICNIRP (61 V/m). En la Figura 45 se presentan los valores porcentuales de las mediciones realizadas en función los límites de referencia ICNIRP, donde 100% representa el valor del límite. A medio metro de distancia de los aplicadores del equipo se obtuvo el valor de 1643% el nivel de referencia, a distancias de un metro se tuvo el valor de 262.865% (punto D2) del límite ICNIRP.

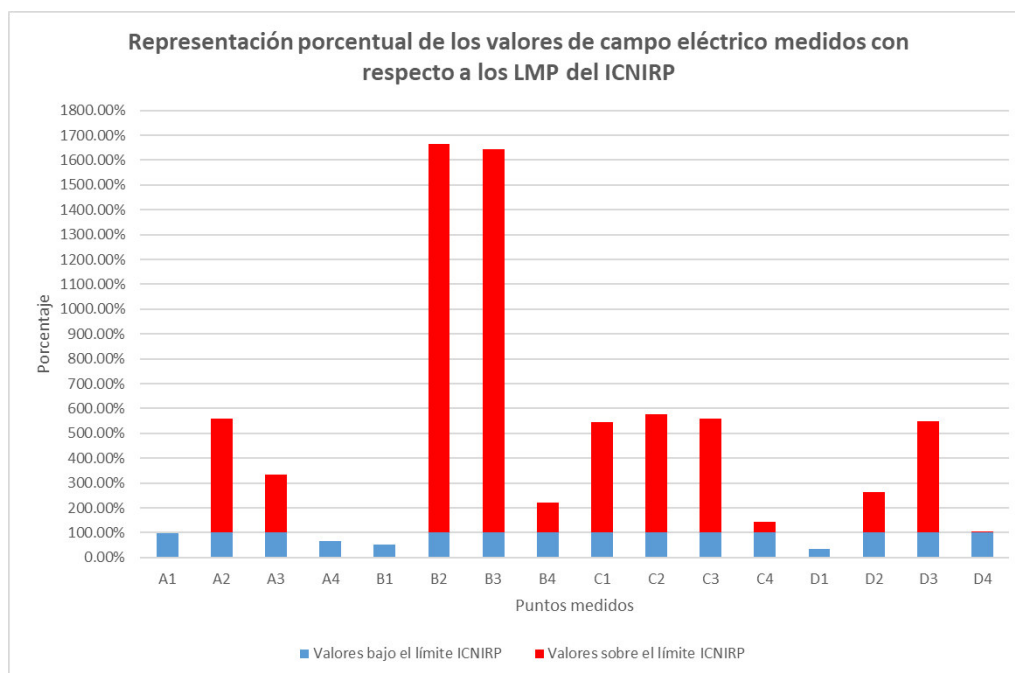


Figura 45. Grafica porcentual de los niveles de intensidad medidos versus los niveles de referencia ICNIRP.

Fuente: Elaboración propia.

Resultados medición de campo magnético.

Los niveles de campo magnético medidos son ilustrados en la Figura 46. Se registró el valor máximo de 2.813 A/m en el área próxima a los aplicadores capacitivos del equipo (punto B2), mientras que el mínimo valor medido fue de 0.002 A/m (Punto C3). En el área de trabajo del personal médico se registró el valor máximo de 0.823 A/m (punto C2).

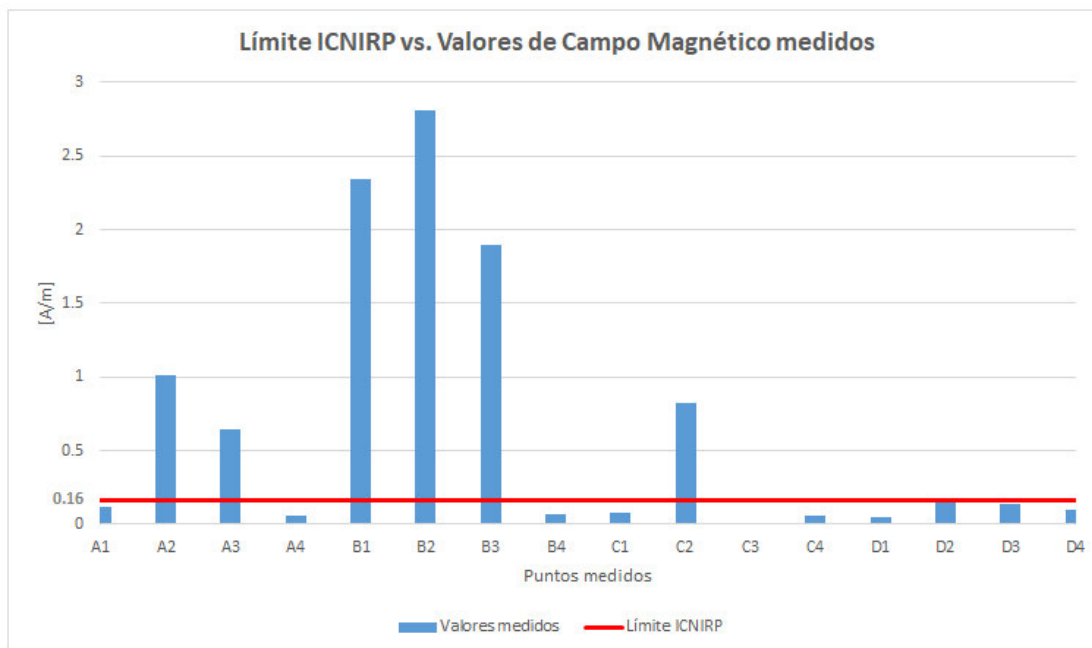


Figura 46. Grafica de los niveles de intensidad medidos versus los niveles de referencia ICNIRP.

Fuente: Elaboración propia.

Del total de mediciones realizadas en función a la mapeamiento del cubículo de terapia se identificaron seis puntos con valores por encima del nivel de referencia para exposición ocupacional a campo magnético estipulado por el ICNIRP (0.16 A/m). En la Figura 47 se presentan los valores porcentuales de las mediciones realizadas en función los límites de referencia ICNIRP, donde 100% representa el valor del nivel de referencia. A medio metro de distancia de los aplicadores del equipo se obtuvo el valor de 1187.902% el nivel de referencia, a distancias de un metro se tuvo el valor de 98.594% del límite ICNIRP.

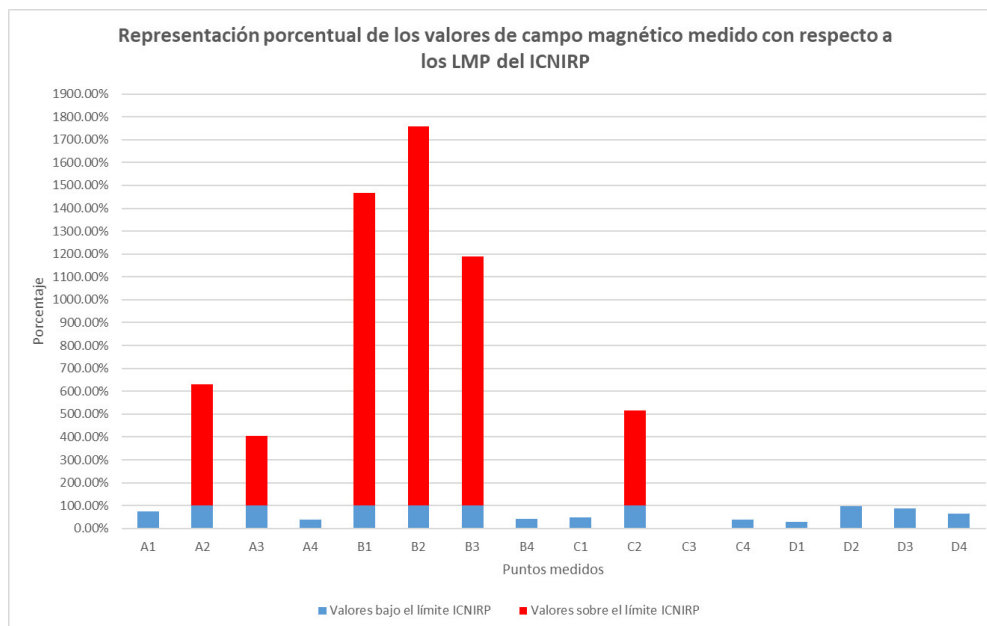


Figura 47. Grafica porcentual de los niveles de intensidad medidos versus los niveles de referencia ICNIRP.

Fuente: Elaboración propia.

Distancia de Seguridad para el cubículo adultos 01.

De las mediciones de campo eléctrico dentro del área crítica, seis puntos presentaron valores por encima del nivel de referencia, a una distancia de medio metro de los aplicadores se obtuvieron valores de campo eléctrico de hasta 1002.818 V/m (punto B3); además, cinco puntos medidos en el área colindante sobrepasaron los niveles de referencia ICNIRP.

Con respecto a las mediciones de campo magnético dentro del área crítica, cuatro puntos presentaron valores por encima del nivel de referencia, a medio metro de los aplicadores se obtuvo el valor de 1.901 A/m (B3); por otro lado, en el área colindante todos los puntos medidos no sobrepasaron los niveles de referencia ICNIRP.

Por lo anteriormente expuesto y en base al protocolo de medición se sugiere que ningún miembro del personal médico no ingrese al cubículo de terapia durante el funcionamiento del equipo de diatermia de onda corta.

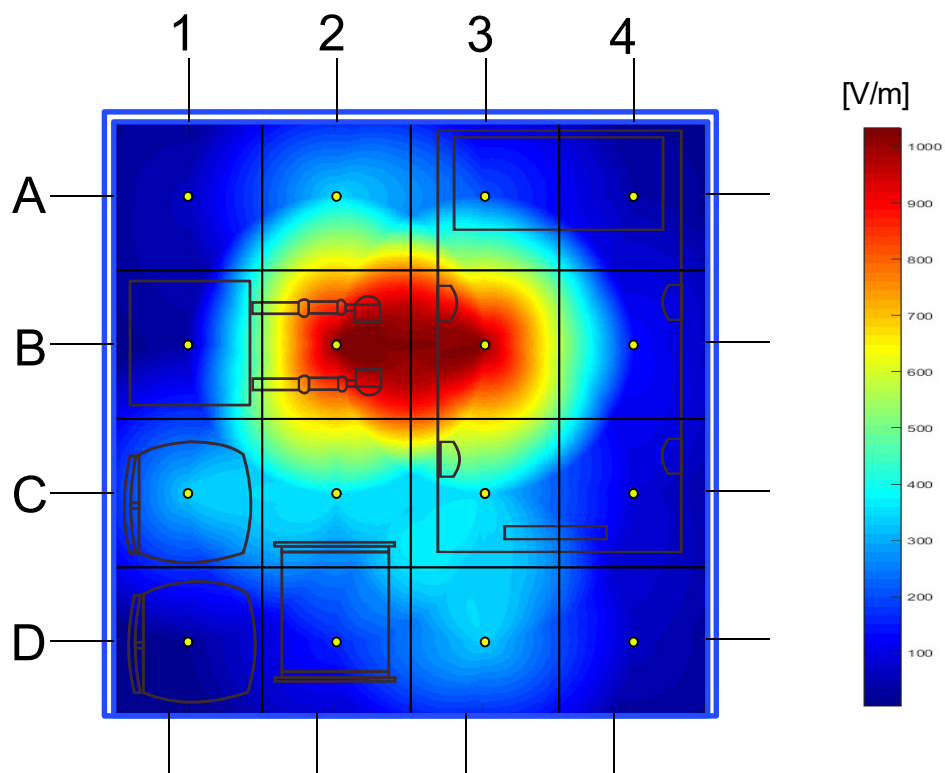


Figura 48. Mapa de campo eléctrico del cubículo adultos 01.
Fuente: Elaboración propia.

La Figura 48 ilustra el mapa de intensidad de campo generado a partir de las mediciones; en este es posible identificar de manera visual que el área de trabajo del personal clínico tiene tres puntos donde las mediciones presentan valores por encima de la norma ICNIRP. Del mismo modo, en la Figura 49 se muestra el mapa de intensidad de campo magnético, donde se aprecia que los puntos C1 y C2 del área de trabajo del personal médico presentan niveles que superan los recomendados por la norma ICNIRP.

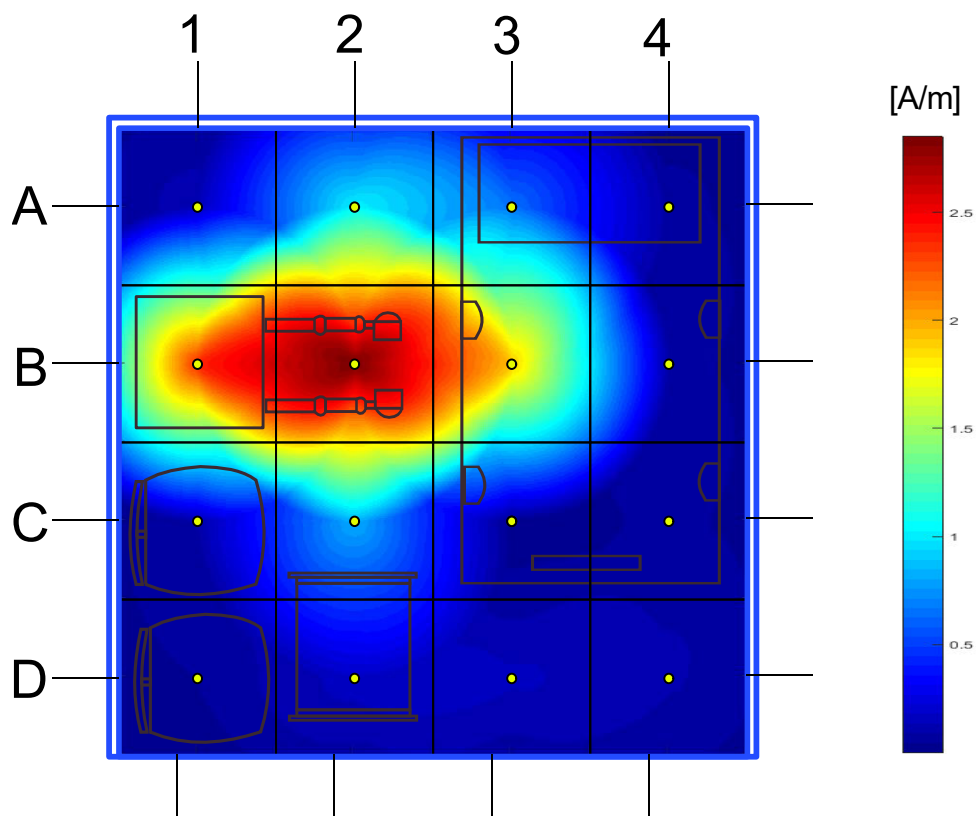


Figura 49. Mapa de campo magnético del cubículo adultos 01.
Fuente: Elaboración propia.

Cubículo adultos 02

Al igual que en el primer área evaluada, este cubículo tiene por finalidad realizar terapias para pacientes adultos usando un equipo de onda corta, el área del cubículo tiene por dimensiones aproximadas 2 m x 2 m. La Figura 50 ilustra fotográficamente el cubículo de terapia. En este caso no existe un área de trabajo para el personal de terapia física dentro de este cubículo.



Figura 50. Cubículo de terapia adultos 02, hospital Almenara.
Fuente: Elaboración propia.

En el croquis del cubículo de terapia (Figura 51) muestra en amarillo dieciséis (16) puntos de medición. De acuerdo al protocolo de medición se tiene que el área ocupada por el equipo esta constituida por los puntos B3 y B4; el área crítica está conformada por los pares: A2, A3, A4, B2, C2, C3 y C4. Y el área colindante por los pares: A1, B1, C1, D1, D2, D3, D4.

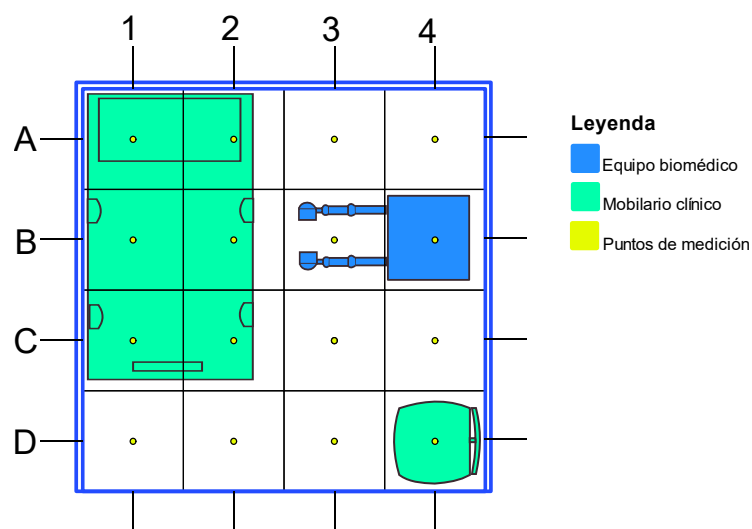


Figura 51. Croquis del cubículo de terapia adultos 02.
Fuente: Elaboración propia.

El equipo de onda corta de este cubículo es del mismo modelo que el de la primera área, por ello tienen características técnicas idénticas como se indica en la tabla 25. La documentación técnica del equipo se encuentra en el Apéndice C.

Tabla 25
Datos del equipo de terapia de diatermia.

Información	Detalle
Marca	Curaplus
Modelo	Curaplus 970
Serie	29829
Último mantenimiento	24/09/2018

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 26 se detallan los parámetros configurados en la unidad de diatermia para la realización de la simulación clínica. Estos parámetros fueron proporcionados por el personal médico, siendo indicados como la configuración típica de trabajo. Esta información también es detallada en el Apéndice D.2.

Tabla 26
Configuración del equipo de diatermia.

Parámetros	Configuración
Terapia	Un canal
Modo de terapia	Continuo
Aplicador	Capacitivo
Tiempo	20 minutos
Frecuencia de repetición de pulsos	200 Hz
Control de intensidad	Posición 2

Nota: Elaboración propia.

Resultados medición de campo eléctrico.

Los niveles de campo eléctrico medidos son presentados en la Figura 52. Se registró el valor máximo de 1082.47 V/m en el área próxima a los aplicadores capacitivos del equipo (punto B3), mientras que el mínimo valor medido fue de 4.846 V/m (D1).

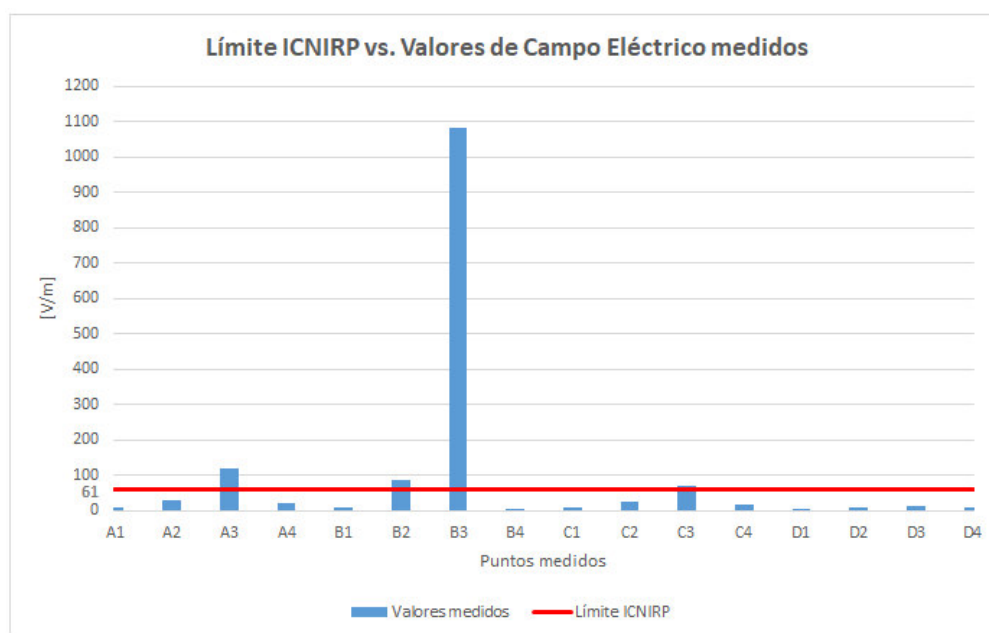


Figura 52. Grafica de los niveles de intensidad medidos versus los niveles de referencia ICNIRP.

Fuente: Elaboración propia.

Del total de dieciséis mediciones (16) realizadas en base al mapeamiento del cubículo de terapia, se identificaron cuatro puntos con valores por encima del nivel de referencia (61 V/m) estipulado por el ICNIRP.

En la figura 53 se presentan los valores porcentuales de las mediciones realizadas en función los límites de referencia ICNIRP, donde 100% representa el valor del límite. A medio metro de distancia de los aplicadores del equipo se obtuvo valores de hasta 194.323% (punto A3) el nivel de referencia.

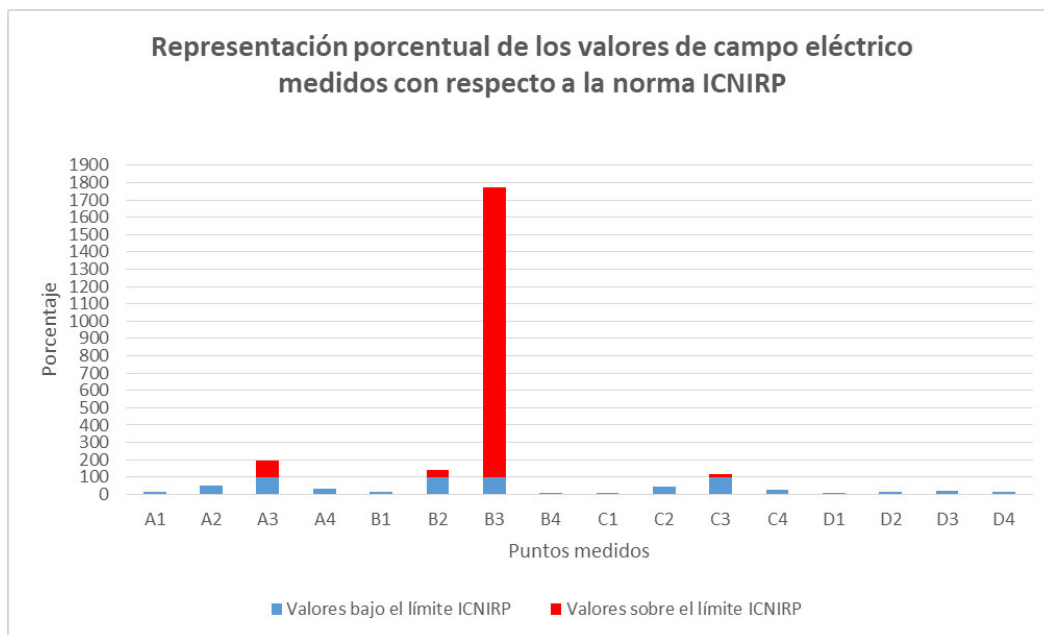


Figura 53. Grafica porcentual de los niveles de intensidad medidos versus los niveles de referencia ICNIRP.

Fuente: Elaboración propia.

Resultados medición de campo magnético.

Los niveles de campo magnético medidos son ilustrados en la Figura 54. El valor máximo registrado fue de 2.727 A/m en el área próxima a los aplicadores capacitivos del equipo (punto B3), mientras que el mínimo valor medido fue de 0.046 A/m (punto D4).

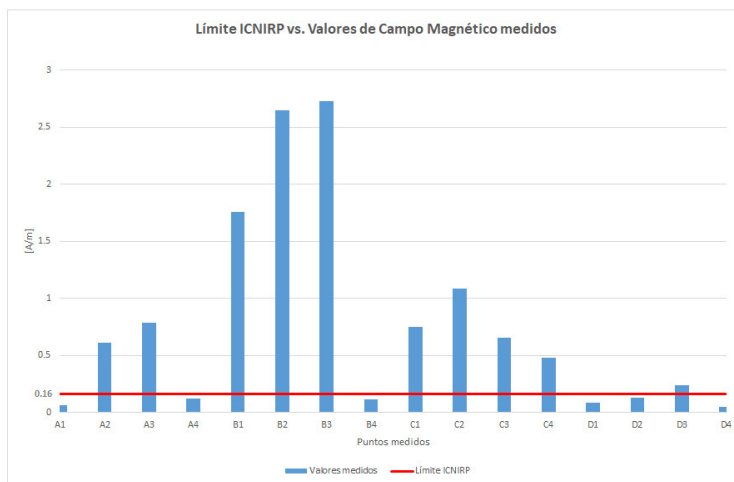


Figura 54. Grafica de los niveles de intensidad medidos versus los niveles de referencia ICNIRP.

Fuente: Elaboración propia.

Se identificaron diez (10) puntos con valores por encima del nivel de referencia para exposición ocupacional a campo magnético estipulado por el ICNIRP (0.16 A/m).

En la figura 55 se presentan los valores porcentuales de las mediciones realizadas en función los límites de referencia ICNIRP, donde 100% representa el valor del nivel de referencia. A medio metro de distancia de los aplicadores del equipo se obtuvieron valores de hasta 1656.444% (punto B2) el nivel de referencia, a distancias de un metro se tuvo el valor de 929.538% (punto B1) del límite ICNIRP.

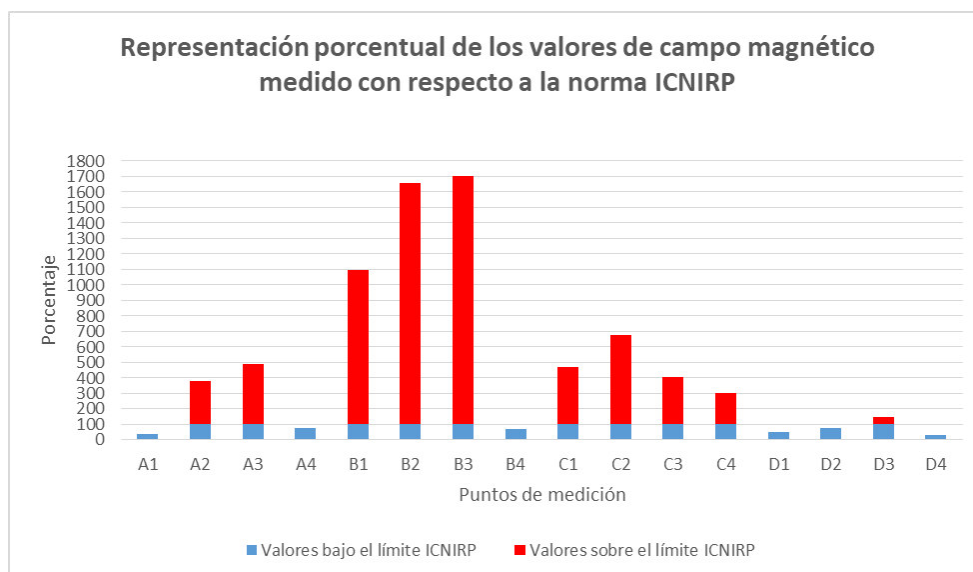


Figura 55. Grafica porcentual de los niveles de intensidad medidos versus los niveles de referencia ICNIRP.

Fuente: Elaboración propia.

Distancia de seguridad para el cubículo adultos 02.

De todas las mediciones de campo eléctrico realizadas dentro del área crítica, tres puntos sobrepasaron el nivel de referencia, a una distancia de medio metro de los aplicadores se encontraron valores de campo eléctrico de hasta 118.537 V/m (A3); en cambio, ningún punto del área colindante sobrepasó los niveles de referencia ICNIRP.

Con respecto a las mediciones de campo magnético dentro del área crítica, seis puntos presentaron valores por encima del nivel de referencia, a medio metro de los aplicadores se obtuvo el valor de 2.650 A/m; por otro lado, en el área colindante los puntos B1, C1 y D2 sobrepasaron los niveles de referencia ICNIRP con valores de 1.487, 0.749 y 0.236 A/m respectivamente.

Por lo anteriormente expuesto y en base al protocolo de medición se recomienda que ningún miembro del personal médico ingrese al cubículo de terapia mientras que el equipo de diatermia de onda corta se encuentre en funcionamiento.

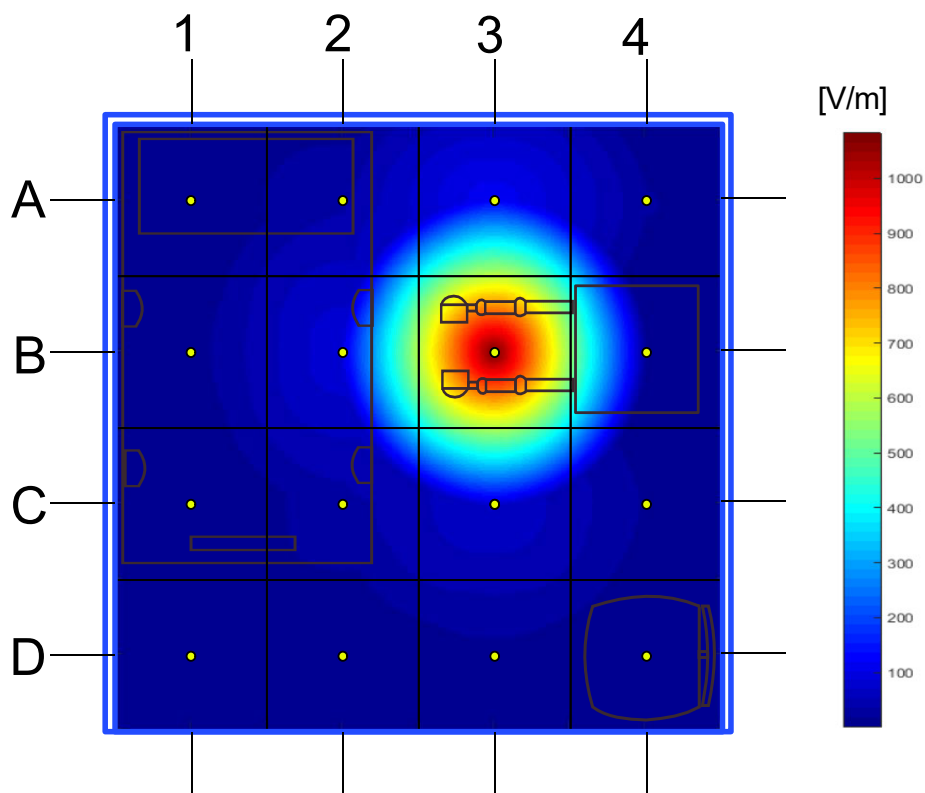


Figura 56. Mapa de campo eléctrico del cubículo adultos 02.
Fuente: Elaboración propia.

La Figura 56 ilustra el mapa de intensidad de campo eléctrico generado a partir de las mediciones realizadas al cubículo de terapia; en este es posible identificar de manera visual que la mayor intensidad se registra en el punto de medición más cercano a los aplicadores (punto B3). Del mismo modo, en la Figura 57 se ilustra el mapa de intensidad de campo magnético, donde se observa que la región próxima a los aplicadores capacitivos del equipo de diatermia presentan los niveles de campo de mayor intensidad (puntos B2 y B3).

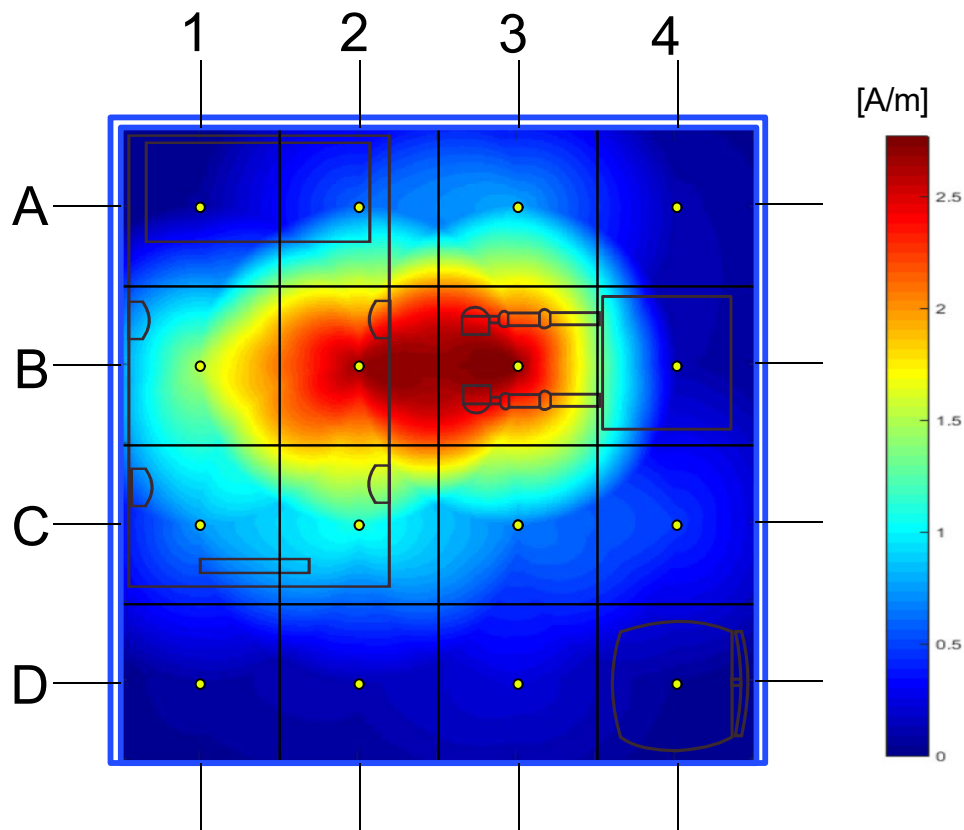


Figura 57. Mapa de campo magnético del cubículo adultos 02.
Fuente: Elaboración propia.

Evaluación realizada en el Hospital de Emergencias Villa El Salvador

Las mediciones realizadas fueron conducidas en la unidad de terapia física del Hospital de Emergencias de Villa el Salvador. En esta jornada se evaluaron dos cubículos de rehabilitación.

Cubículo de terapia 01

El cubículo 01 de terapia tiene dimensiones de 3 m x 1,5 m, esta forma parte del ambiente de terapia ocupacional adulta que tiene un área aproximada de 60 m². En la Figura 58 se ilustra fotográficamente el cubículo, se puede apreciar la presencia del equipo de terapia de pulsos y mobiliario clínico.



Figura 58. Cubículo de terapia 1, hospital de Emergencias de Ventanilla.
Fuente: Elaboración propia.

La Figura 59 muestra el croquis del cubículo de terapia, en amarillo se indican dieciocho (18) puntos de medición. El área ocupada por el equipo está compuesta por los puntos B2, C2 y D2; el área colindante está conformada por los puntos: F1, F2 y F3; y el área crítica viene definida por los demás puntos no citados.

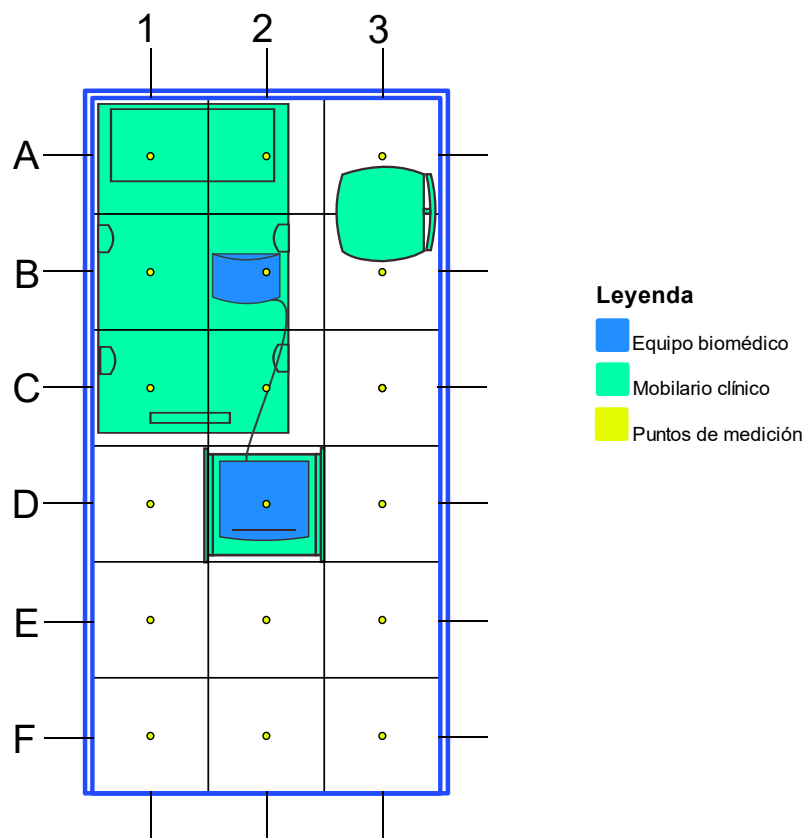


Figura 59. Croquis del cubículo de terapia 1.
Fuente: Elaboración propia.

El equipo de terapia de pulsos magnéticos tiene una potencia de trabajo de 420 VA, en la UPSS solo se usan aplicadores del tipo bobina. En la tabla 27 se especifica algunas características generales del equipo. La documentación técnica del equipo se encuentra en el Apéndice C.

Tabla 27
Datos del equipo de terapia de pulsos.

Información	Detalle
Marca	Magnetherp
Modelo	Magnetherp 440
Serie	568601180200
Último mantenimiento	14/08/2018

Nota: Elaboración propia

En la tabla 28 se señalan los parámetros configurados en el equipo de terapia de pulsos para realizar el paso de simulación clínica. Los parámetros fueron brindados por el personal médico, esta es la configuración usada normalmente en el equipo. Esta información también es detallada en el Apéndice D.3.

Tabla 28
Configuración del equipo de terapia de pulsos.

Parámetros	Configuración
Terapia	Un canal
Modo de terapia	Pulsante
Aplicador	Bobina
Tiempo	10 minutos
Frecuencia	60 Hz
Control de intensidad	20 mT

Nota: Elaboración propia

Resultados medición de campo eléctrico.

La Figura 60 ilustra los niveles de campo eléctrico medidos. El valor máximo medido fue de 17.743 V/m en el punto E3; mientras que, el mínimo valor medido fue de 3.452 V/m en el punto A1.

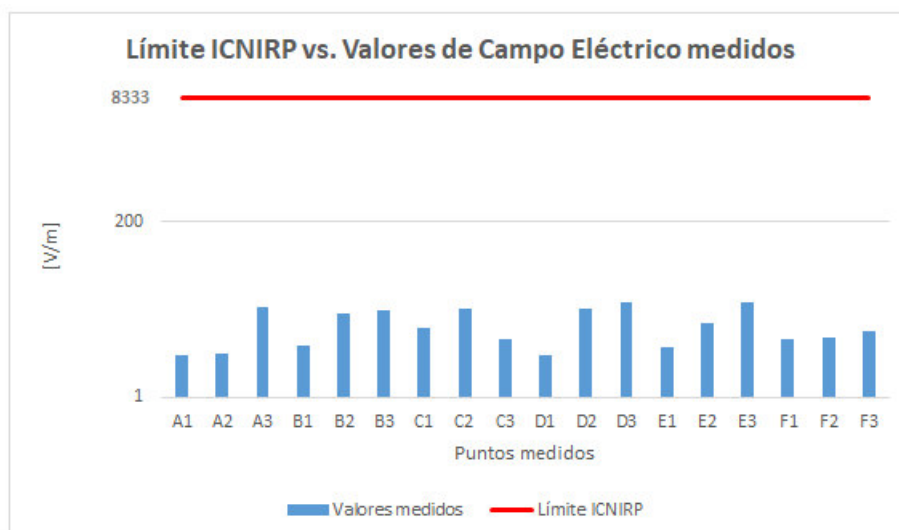


Figura 60. Grafica de los niveles de intensidad medidos versus los niveles de referencia ICNIRP.

Fuente: Elaboración propia.

Las mediciones realizadas en base al mapeamiento del cubículo de terapia mostraron que no existen niveles por encima del nivel de referencia para exposición ocupacional a campos eléctricos señalado por el ICNIRP (8333.334 V/m). En la Figura 61 se presentan los valores porcentuales de las mediciones realizadas en función a la norma ICNIRP, donde 100% representa el valor del límite. Todos los valores medidos no superaron el 0.2129% del valor de referencia ICNIRP.

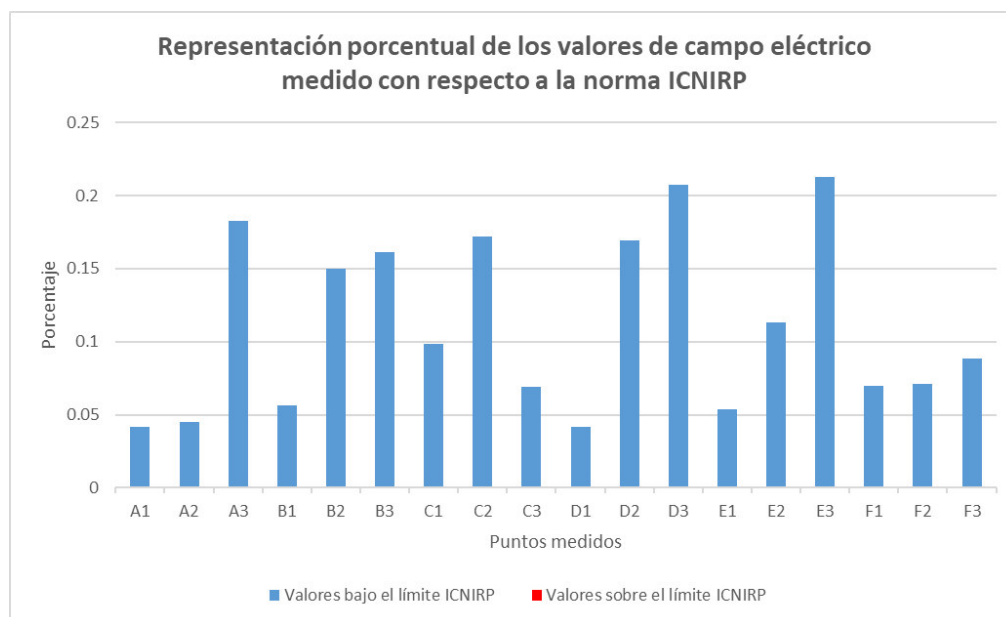


Figura 61. Grafica porcentual de los niveles de intensidad medidos versus los niveles de referencia ICNIRP.

Fuente: Elaboración propia.

Resultados medición de campo magnético.

La Figura 62 ilustra los niveles de campo magnético medidos. El valor máximo medido fue de 111 μT en el punto B2; mientras que el mínimo valor medido fue de 0.017 μT en el punto F1.

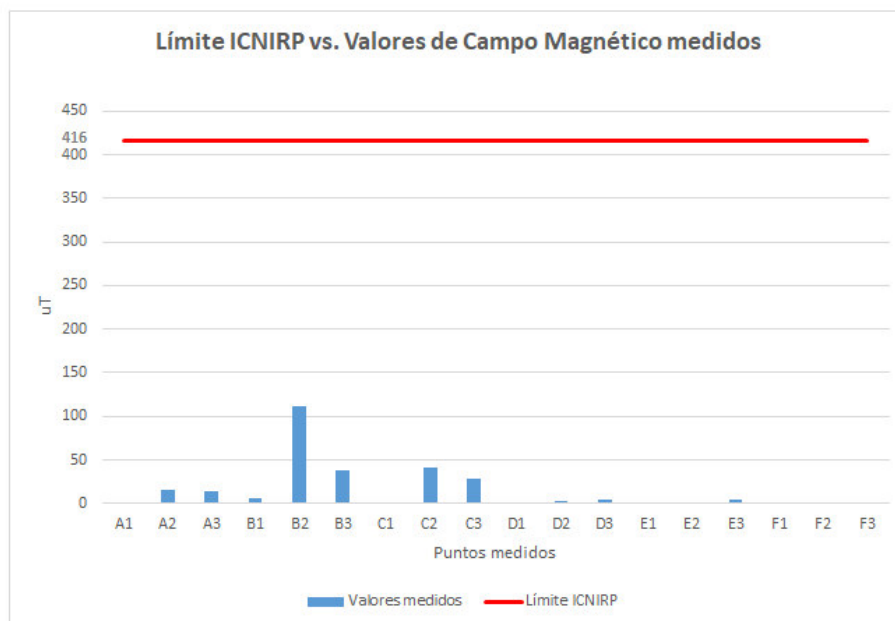


Figura 62. Grafica de los niveles de intensidad medidos versus los niveles de referencia ICNIRP.

Fuente: Elaboración propia.

Las mediciones hechas en función al mapeamiento del cubículo de terapia evidenciaron que no existen niveles por encima del nivel de referencia para exposición ocupacional a campos magnéticos señalado por el ICNIRP (416.667 μT). En la Figura 63 se presentan los valores porcentuales de las mediciones realizadas en función a la norma ICNIRP, donde 100% representa el valor del límite. Todos los valores medidos no superaron el 26.640% del valor ICNIRP.

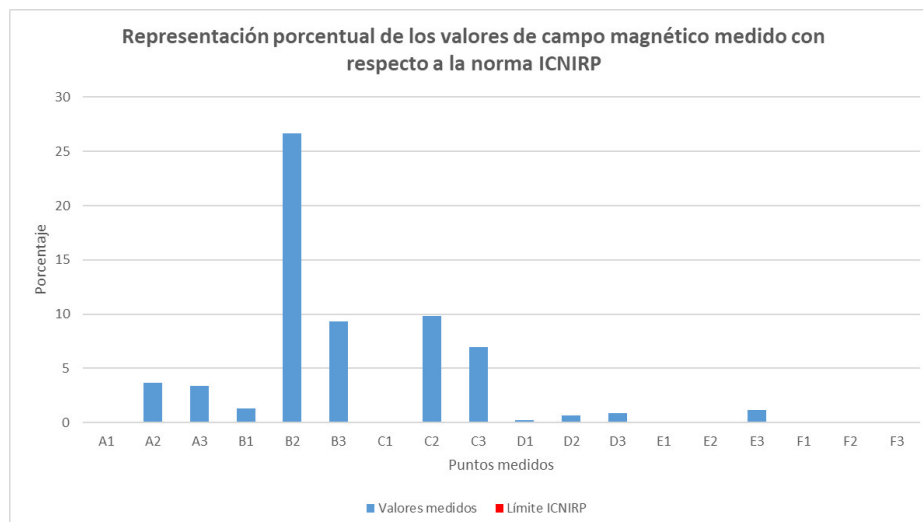


Figura 63. Grafica porcentual de los niveles de intensidad medidos versus los niveles de referencia ICNIRP.
Fuente: Elaboración propia.

Distancia de Seguridad para el cubículo de terapia 01.

Para campo eléctrico ninguna medición realizada supero el nivel de referencia ICNIRP. En el área crítica, a una distancia de medio metro de los aplicadores, se tuvo el valor máximo de campo eléctrico de 17.743 V/m.

Con respecto a las mediciones de campo magnético no se obtuvo valores por encima del nivel de referencia dentro del área crítica, a medio metro de los aplicadores se obtuvo el valor máximo de 38.81 μ T.

De acuerdo al protocolo no es necesario definir una Distancia de Seguridad (DS) para este ambiente.

La Figura 64 representa el mapa de campo eléctrico para el cubículo de terapia, mientras que la Figura 65 ilustra el mapa de campo magnético. Visualmente es posible notar que para campo eléctrico existe una distribución casi uniforme del campo en el área del equipo; por otro lado, para campo magnético existe una concentración mayor en el aplicador del tipo bobina.

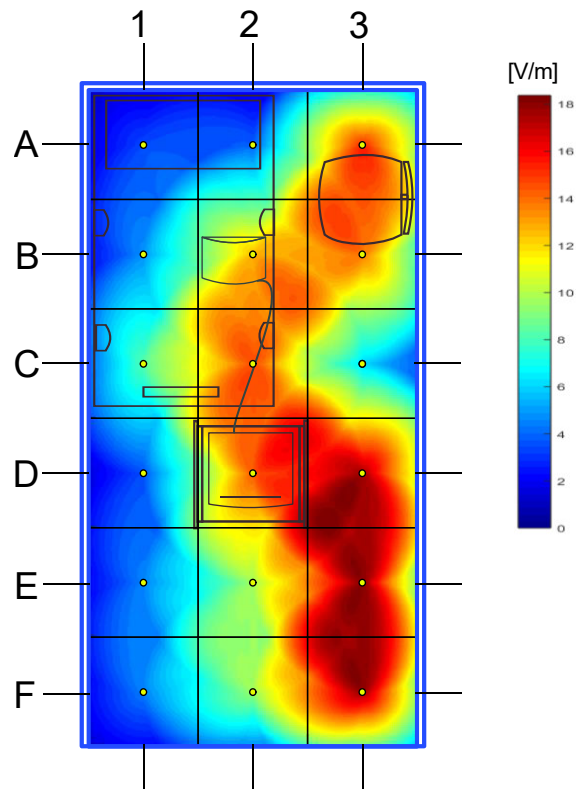


Figura 64. Mapa de campo eléctrico del cubículo de terapia 01.
Fuente: Elaboración propia.

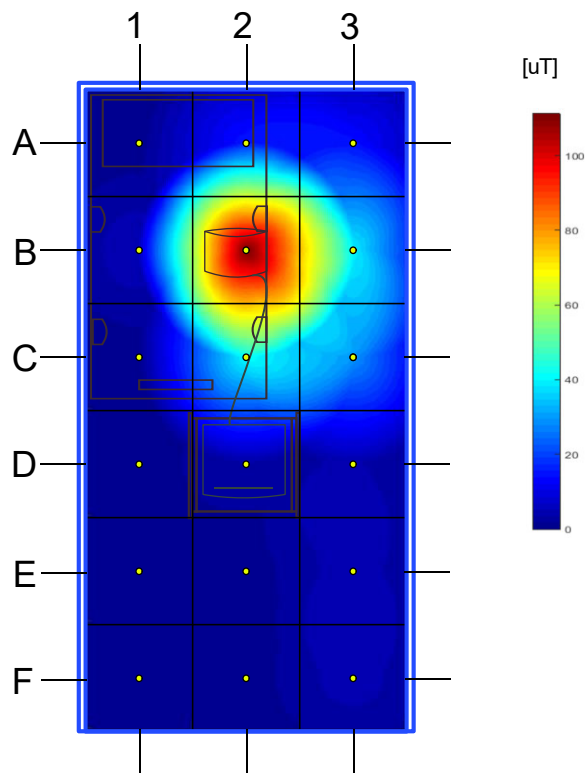


Figura 65. Mapa de campo magnético del cubículo de terapia 01.
Fuente: Elaboración propia.

Cubículo de terapia 02

El cubículo 02 de magnetoterapia tiene por dimensiones aproximadas 2,5 m x 1,5 m.

La Figura 66 es una ilustración fotográfica tomada al cubículo de terapia, en ella se observa la disposición del equipamiento.

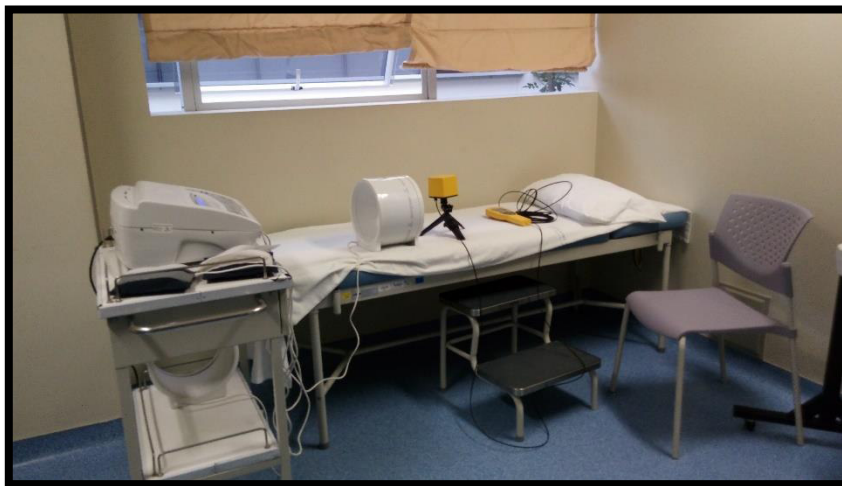


Figura 66. Cubículo de terapia 1, hospital de Emergencias de Ventanilla.
Fuente: Elaboración propia.

En el croquis (Figura 67) se ilustra la distribución del mobiliario clínico (MC) y equipamiento biomédico (EB) del área. La disposición corresponde a una configuración clínica típica para la terapia del dolor en pacientes adultos.

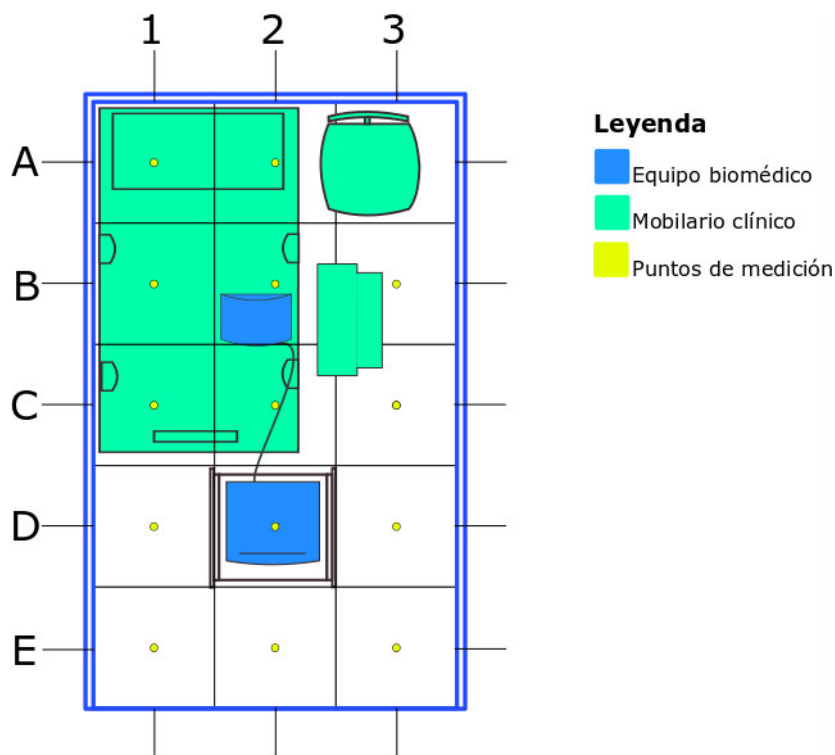


Figura 67. Croquis del cubículo de terapia 02.
Fuente: Elaboración propia.

Algunas características generales del equipo de terapia de pulsos magnéticos se presentan en la tabla 27, el equipo tiene una potencia de trabajo de 420 VA, y usa aplicadores del tipo bobina. Esta información también es detallada en el Apéndice D.3.

Tabla 29
Datos del equipo de terapia de pulsos.

Información	Detalle
Marca	Magnetherp
Modelo	Magnetherp 440
Serie	5686111709
Último mantenimiento	14/08/2018

Nota: Elaboración propia

En la tabla 28 se indican los parámetros configurados en el equipo de terapia de pulsos para realizar el paso de simulación clínica. Los parámetros fueron brindados por el personal médico, esta es la configuración usada normalmente en este cubículo. Mencionados valores aseguran la reproducibilidad del experimento

Tabla 30
Configuración del equipo de terapia de pulsos.

Parámetros	Configuración
Terapia	Un canal
Modo de terapia	Pulsante
Aplicador	Bobina
Tiempo	10 minutos
Frecuencia	50 Hz
Control de intensidad	20 mT

Nota: Elaboración propia

Resultados medición de campo eléctrico.

En la Figura 68 se muestran los niveles de campo eléctrico medidos. El valor máximo medido fue de 39.459 V/m en el punto D3; por otro lado, el mínimo valor medido fue de 4.433 V/m en el punto A3.

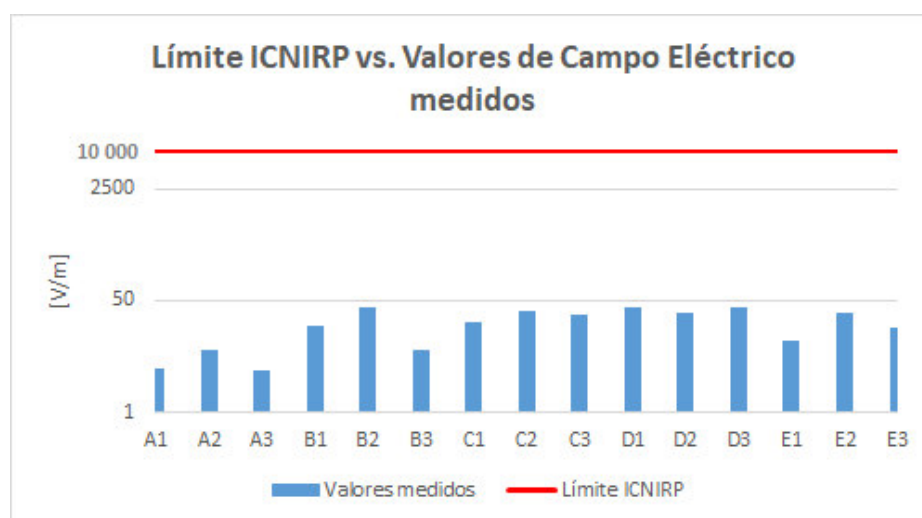


Figura 68. Grafica de los niveles de intensidad medidos versus los niveles de referencia ICNIRP.

Fuente: Elaboración propia.

Todas las mediciones realizadas al cubículo de terapia evidenciaron que no existe riesgo de sobreexposición ocupacional a las RNI. En la Figura 69 se ilustran los valores porcentuales de las mediciones realizadas en función a la norma ICNIRP, donde 100%

representa el valor del límite. Todos los valores medidos no superan el 0.396% del valor ICNIRP.

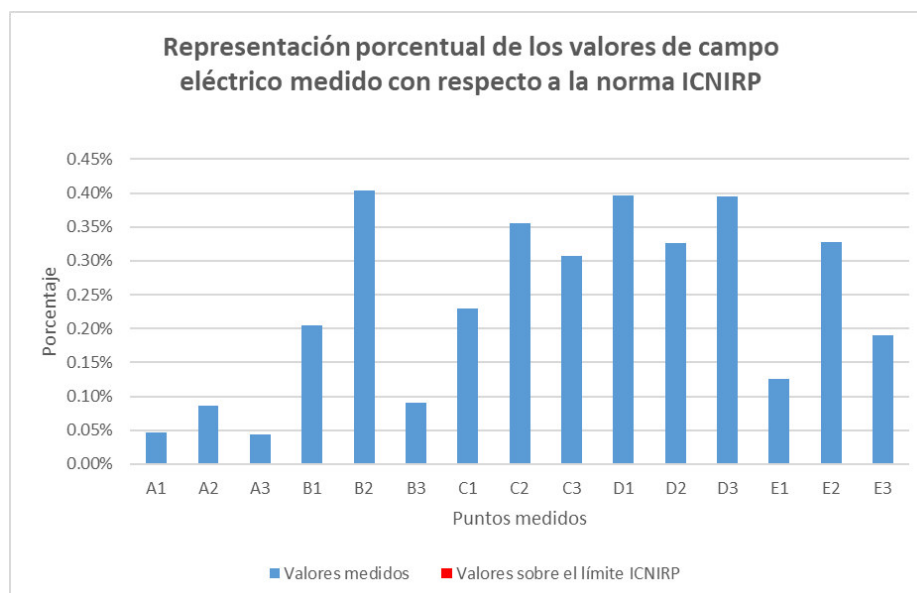


Figura 69. Grafica porcentual de los niveles de intensidad medidos versus los niveles de referencia ICNIRP.

Fuente: Elaboración propia.

Resultados medición de campo magnético.

Los niveles de campo magnético medidos son presentados en la Figura 70. Se registró el valor máximo de 20.713 μT en el área próxima al aplicador inductivo del equipo (punto C2), mientras que el mínimo valor medido fue de 0.92 μT (punto E3).

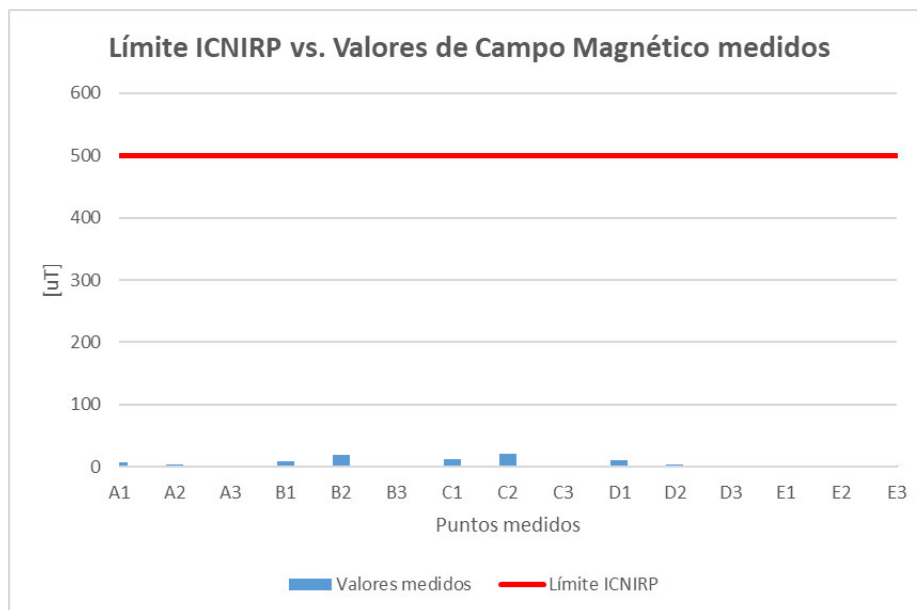


Figura 70. Grafica de los niveles de intensidad medidos versus los niveles de referencia ICNIRP.

Fuente: Elaboración propia.

Las mediciones realizadas en el cubículo de terapia 02 mostraron que no existen valores de campo magnético por encima del nivel de referencia señalado por el ICNIRP (416.667 μT). En la Figura 71 se presentan los valores porcentuales de las mediciones realizadas en función a la norma ICNIRP, donde 100% representa el valor del límite. Todos los valores medidos no superan el 4.143 % del valor ICNIRP.

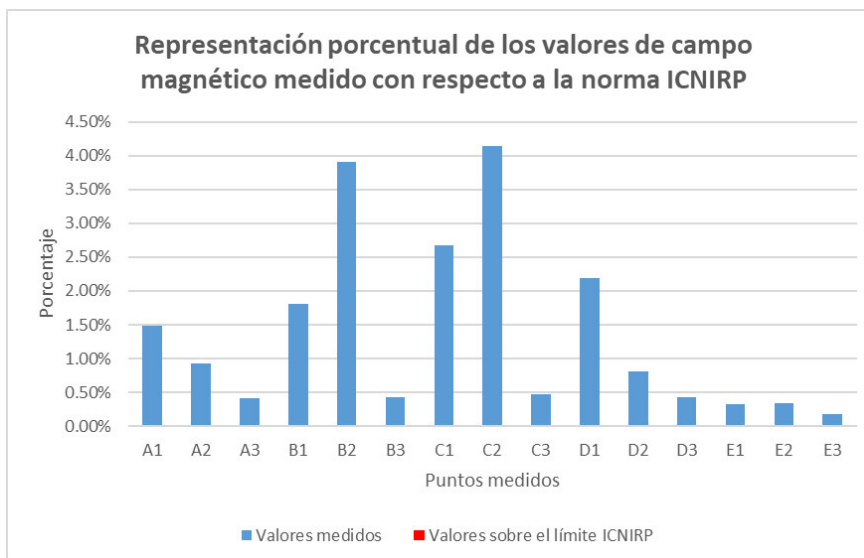


Figura 71. Grafica porcentual de los niveles de intensidad medidos versus los niveles de referencia ICNIRP.

Fuente: Elaboración propia.

Distancia de Seguridad para el cubículo de terapia 02.

Para campo eléctrico ninguna medición realizada supero el nivel de referencia ICNIRP. En el área crítica, a una distancia de medio metro de la bobina, se tuvo el valor máximo de campo eléctrico de 20.531 V/m.

Con respecto a las mediciones de campo magnético no se obtuvieron valores medidos superiores al nivel de referencia ICNIRP, dentro del área crítica a medio metro de distancia de la bobina se obtuvo el valor máximo de 9.028 μ T.

De acuerdo al protocolo no es necesario definir una Distancia de Seguridad (DS) para este ambiente.

La Figura 72 ilustra el mapa de campo eléctrico para el cubículo de terapia, mientras que la Figura 73 grafica el mapa de campo magnético. De forma visual en el mapa de campo eléctrico es posible observar que existe niveles similares alrededor de la fuente del equipo y el aplicador del tipo bobina; mientras que, en el mapa de campo magnético se puede apreciar que, al igual que en el primer cubículo, existe una distribución uniforme del campo en el área de la bobina y el cable conductor.

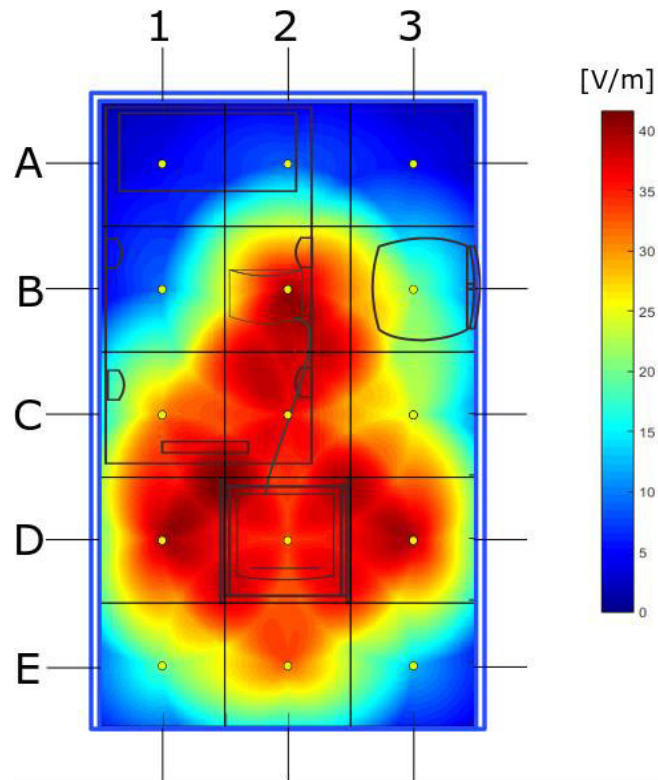


Figura 72. Mapa de campo eléctrico del cubículo de terapia 02.
Fuente: Elaboración propia.

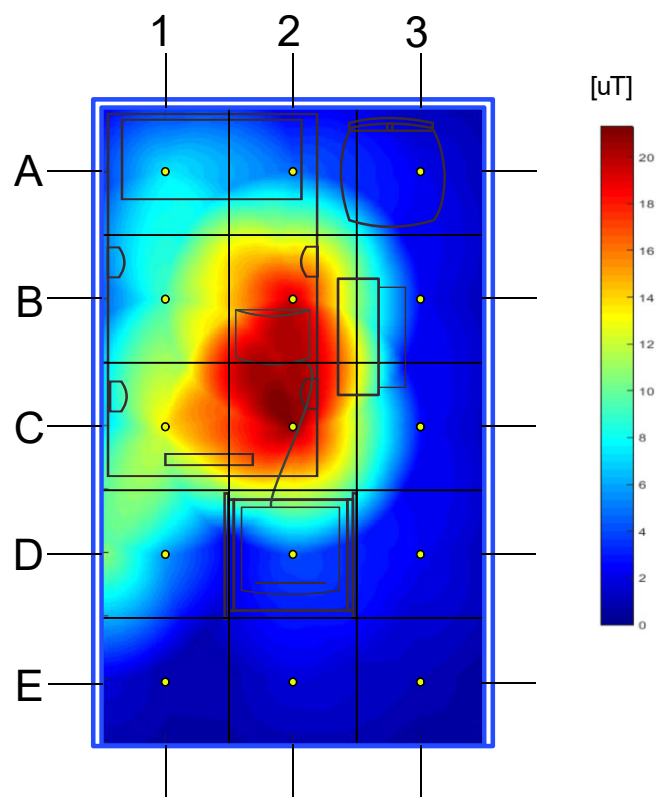


Figura 73. Mapa de campo magnético del cubículo de terapia 02.
Fuente: Elaboración propia.

Capítulo 5

Conclusiones

Conclusiones

Las mediciones de campo eléctrico de los equipos de diatermia de onda corta indicaron valores de hasta 262.865% y 1643.96% del nivel de referencia a distancias de un metro y medio metro del equipo respectivamente; mientras que, para campo magnético los valores medidos a un metro de distancia fueron de hasta 929.538% del nivel de referencia y a medio metro se tuvo niveles de hasta 1656.444% del nivel de referencia. En base a estos resultados obtenidos para exposición ocupacional a las radiaciones no ionizantes generadas por los equipos de diatermia de onda corta dentro de los cubículos de terapia, se puede afirmar que existe riesgo comprobado de exposición a niveles de campo eléctrico y magnético mayores a los niveles de referencia recomendados por ICNIRP para equipos de características técnicas similares a los evaluados en este trabajo.

En base al protocolo de medición y a las mediciones realizadas a los equipos de onda corta se evidenció que para los equipos de modelo Curaplus 970 (potencia mayor a 400 W) no es posible establecer Distancias de Seguridad (DS) dentro del cubículo de terapia; mientras que, para el equipo BTL 6000 (potencia de 100 W) se determinó una Distancia de Seguridad de medio metro. Además, fue posible notar en base a las mediciones que los niveles de intensidad de campo eléctrico y magnético dependen de las características de cada cubículo evaluado: localización, distribución del mobiliario clínico, material de las paredes existentes, configuración, reflexión en objetos metálicos y estado del equipo biomédico.

Con respecto a las mediciones de campo eléctrico realizadas a los equipos de terapia de pulsos magnéticos se midieron valores a un metro de distancia de hasta 0.326% del nivel de referencia; por otro lado, las mediciones de campo magnético indicaron a un metro de distancia niveles de hasta 0.808% del nivel de referencia. De acuerdo al análisis realizado a

las mediciones de radiaciones no ionizantes generadas por equipos de terapia de pulsos magnéticos, se concluye que para equipos de características técnicas similares a los evaluados no existe riesgo de exposición a niveles de campo eléctrico y magnético mayores a los establecidos por la norma ICNIRP para exposición ocupacional.

Basados en el protocolo de medición, elaborado en la investigación, se identificó que no es necesario establecer la Distancia de Seguridad (DS) alrededor de los equipos de terapia de pulsos magnéticos que presenten características técnicas similares a los evaluados en esta investigación. Aunque inferiores al nivel de referencia ICNIRP, los niveles de intensidad de campo medidos dependen de las características de cada cubículo evaluado: localización, distribución del mobiliario clínico, material de las paredes existentes, reflexión en objetos metálicos y la configuración del equipo.

Cuando se instalen o realicen mantenimientos correctivos a equipos de diatermia de onda corta, se recomienda realizar mediciones en los cubículos de terapia para determinar o verificar la Distancia de Seguridad (DS), validando de este modo la distribución física del mobiliario clínico y el equipo biomédico respecto a los niveles de referencia ICNIRP.

Referencias bibliográficas

- Ahmed, I. (2013). High efficacy extremely low frequency (ELF) pulsed electromagnetic field (PEMF) device for wound healing promotion. Retrieved from <https://researchbank.rmit.edu.au/view/rmit:160679>
- Allen, S. G. (1991). Radiofrequency field measurements and hazard assessment. *Journal of Radiological Protection*, 11(1), 49–62. <https://doi.org/10.1088/0952-4746/11/1/005>
- Anguera, M. das G. (2012). *Exposição à radiação não-ionizante emitida por equipamentos terapêuticos de micro-ondas e morbidade referida em fisioterapeutas*. Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da Universidade de São Paulo, São Paulo. <https://doi.org/10.11606/T.5.2012.tde-14012013-115721>
- Aniołczyk, H., Mamrot, P., & Politański, P. (2006). TA10-Non Ionizing Radiations EVALUATION OF EMF EXPOSURE FROM MEDICAL ELECTRICAL EQUIPMENT. Retrieved from http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/39/016/39016906.pdf?r=1
- Azpurua, M. A., & Ramos, K. Dos. (2010). A COMPARISON OF SPATIAL INTERPOLATION METHODS FOR ESTIMATION OF AVERAGE ELECTROMAGNETIC FIELD MAGNITUDE. *Progress In Electromagnetics Research M*, 14, 135–145. <https://doi.org/10.2528/PIERM10083103>
- Balanis, C. A. (2010). *Antenna theory : analysis and design*.
- Barnes, F. S., & Greenebaum, B. (2007a). *Handbook of biological effects of electromagnetic fields. Bioengineering and biophysical aspects of electromagnetic fields*. CRC/Taylor &

Francis. Retrieved from

https://books.google.com.pe/books/about/Bioengineering_and_Biophysical_Aspects_o.html?id=kBPSmCMv5QUC&redir_esc=y

Barnes, F. S., & Greenebaum, B. (2007b). *Handbook of biological effects of electromagnetic fields*. CRC Press. Retrieved from

https://books.google.com.pe/books/about/Handbook_of_Biological_Effects_of_Electr.html?id=51efAQAAAJ&redir_esc=y

Bassen, H., & Smith, G. (1983). Electric field probes--A review. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 31(5), 710–718.

<https://doi.org/10.1109/TAP.1983.1143126>

CENETEC. (2016). *Glosario de Gestión de Equipo Médico*. (L. S. A. T. Becerra, Ed.) (Primera ed). México, Ciudad de México: CENETEC. Retrieved from

http://www.cenetec.salud.gob.mx/descargas/equipoMedico/IB_Publicacion_Glosario_8_27Jun16.pdf

Cheng, D. K. (David K., Morales Peake, E., & Sebastián Franco, J. L. (1997). *Fundamentos de electromagnetismo para ingeniería*. Pearson Educación. Retrieved from

<https://books.google.com.pe/books?id=8aipFzSCKnkC&printsec=frontcover&dq=teoria+electromagnetica+william+hayt+septima+edicion&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwik3tzAwMbgAhVjvFkKHQvzA0QQ6AEIQDAD#v=onepage&q&f=false>

Commission, E. (2015). *Non-Binding Guide to Good Practice for Implementing Directive 2013/35/EU. Volume 2. Study cases*. Luxembourg. <https://doi.org/210.2767/97726>

Cruz Victor, Medina Alfredo, A. P. (2011). Evaluación de las Radiaciones No Ionizantes de

Equipos Biomédicos en la ciudad de Lima. *FIEE UNMSM*, 24, 4–8.

Cruz Victor. (2016). *Efectos de la exposición crónica a campos magnéticos de niveles existentes en la ciudad de Lima sobre la salud reproductiva de ratones machos*”.

Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Cruz Victor, & Alembert, L. (n.d.). Protocolo de medición de radiaciones no ionizantes generadas por equipos biomedicos de rehabilitación. *Revista de Ingenieri Electronica y Electrica UNMSM*.

Daniel, J. (2015). *INSTITUTO POLITÉCNICO DE LISBOA ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA DA SAÚDE DE LISBOA EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL A CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS EM RESSONÂNCIA MAGNÉTICA*. INSTITUTO POLITÉCNICO DE LISBOA. Retrieved from [https://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/4861/1/Exposição ocupacional a campos electromagnéticos em RM.pdf](https://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/4861/1/Exposição%20ocupacional%20a%20campos%20electromagnéticos%20em%20RM.pdf)

Delpizzo, V., & Joyner, K. H. (1987). On the safe use of microwave and shortwave diathermy units. *The Australian Journal of Physiotherapy*, 33(3), 152–162.

[https://doi.org/10.1016/S0004-9514\(14\)60592-4](https://doi.org/10.1016/S0004-9514(14)60592-4)

EsSalud. (2016). Reequipando nuestros hospitales. *EnConfianza*, 30, 12. Retrieved from

http://www.essalud.gob.pe/transparencia/pdf/En_Confianza_30.pdf

European Commission. (2014). *Non-Binding Guide to Good Practice for Implementing Directive 2013/35/EU. Volume 1. Health protection - collection*. Luxembourg.

<https://doi.org/10.2767/961464>

FDA. (2014). Inspection Guides - Diathermy. Retrieved January 10, 2019, from

<https://www.fda.gov/iceci/inspections/inspectionguides/ucm071626.htm>

- Ferrara, F., Gennarelli, C., & Guerriero, R. (2015). Near-Field Antenna Measurement Techniques. In *Handbook of Antenna Technologies* (pp. 1–49). Singapore: Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-4560-75-7_117-1
- Frenzel, L. (2003). *Sistemas electrónicos de comunicaciones* (Tercera). Mexico: Alfaomega.
- Gil Alfararo, G. (2011). *Equipo de magnetoterapia con control de pulsos*. Universidad de Zaragoza.
- Goats, G. C. (1989). Continuous short-wave (radio-frequency) diathermy. *British Journal of Sports Medicine*, 23(2), 123–127. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2691003>
- Greene, F. (1975). Development of electric and magnetic Near-Field Probes. Colorado: U. S. Department of Commerce. Retrieved from <https://www.gpo.gov/fdsys/pkg/GOVPUB-C13-eb5d917ff1fcb814f2d1e4256d6e844a/pdf/GOVPUB-C13-eb5d917ff1fcb814f2d1e4256d6e844a.pdf>
- Gruppen, C. (2010). *Introduction to Radiation Protection*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-02586-0>
- Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz TO 100 kHz). (2010). *Health Physics*. <https://doi.org/10.1097/HP.0b013e3181f06c86>
- GUIDELINES ON LIMITS OF EXPOSURE TO STATIC MAGNETIC FIELDS. (2009). *Health Physics*, 96(4), 504–514. <https://doi.org/10.1097/01.HP.0000343164.27920.4a>
- Hayt, W. H., Buck, J. A., Aragón Zavala, A., & Olivares Alonso, O. (n.d.). *Teoría electromagnética*. Retrieved from <https://books.google.com.pe/books?id=FAteAQAAAJ&dq=teoria+electromagnetica+>

william&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiZ-9ruwMbgAhXjxlkKHZQHA0YQ6AEIKzAB

ICNIRP GUIDELINES. (1998).

ICNIRP statement on the “guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (UP to 300 GHz).” (1998). *Health Physics*.

<https://doi.org/10.1097/HP.0b013e3181aff9db>

IEEE International Committee on Electromagnetic Safety., Institute of Electrical and Electronics Engineers., & IEEE-SA Standards Board. (2006). *IEEE standard for safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 3kHz to 300 GHz*. Institute of Electrical and Electronics Engineers. Retrieved from <https://ieeexplore.ieee.org/document/1626482/>

IEEE International Committee on Electromagnetic Safety on Non-Ionizing Radiation., Institute of Electrical and Electronics Engineers., & IEEE-SA Standards Board. (2002). *IEEE standard for safety levels with respect to human exposure to electromagnetic fields, 0-3kHz*. Institute of Electrical and Electronics Engineers.

IEEE Std 1460-1996. (1997).

INEI. (2015). Número de camas hospitalarias según departamentoo Title.

Inga Claudia. (2013). CCL: El sector salud mueve US\$8.000 millones anuales en el país | Peru | Economía | El Comercio Peru. Retrieved July 24, 2018, from <http://archivo.elcomercio.pe/economia/peru/ccl-sector-salud-mueve-us8000-millones-anuales-pais-noticia-1632027>

Institute, E. (2011a). *Diathermy Units, Microwave; Shortwave. Health care product comparison system*. Pennsylvania.

- Institute, E. (2011b). *Healthcare Product Comparison System: Diathermy Units, Microwave; Shortwave*.
- Instituto Superior de Ciencias Médicas de La Habana., J. (2002). *Revista habanera de ciencias médicas. Revista Habanera de Ciencias Médicas* (Vol. 7). Instituto Superior de Ciencias Médicas de La Habana. Retrieved from http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1729-519X2008000400009
- INVIMA. (2013). *ABC de Dispositivos Médicos*. (INVIMA, Ed.) (Primera Ed). Bogotá D. C., Colombia: INVIMA. Retrieved from [https://www.invima.gov.co/images/pdf/tecnovigilancia/ABC Dispositivos Medicos INVIMA.pdf](https://www.invima.gov.co/images/pdf/tecnovigilancia/ABC%20Dispositivos%20Medicos%20INVIMA.pdf)
- Kanda, M. (1993). Standard probes for electromagnetic field measurements. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 41(10), 1349–1364. <https://doi.org/10.1109/8.247775>
- King, L. S. (1967). What Is a Diagnosis? *JAMA: The Journal of the American Medical Association*, 202(8), 714. <https://doi.org/10.1001/jama.1967.03130210088015>
- Kitchen, S. (2003). *Electroterapia Práctica basada en evidencia*. (S. Bazin, Ed.) (11th ed.). São Paulo.
- Kjell, J. W., Mild, H., & Lundström, R. (2017). *Swedish Health Care*. Umeå, Sweden. Retrieved from www.stralsakerhetsmyndigheten.se
- Kraus, J. D., & Marhefka, R. J. (2002). *Antennas for all applications*. McGraw-Hill. Retrieved from <https://books.google.com.pe/books?id=NRxTAAAAMAAJ&q=antennas+for+all+applicati>

ons+kraus+second&dq=antennas+for+all+applications+kraus+second&hl=pt-PT&sa=X&ved=0ahUKEwi9yZDPmqDdAhWUKH0KHSqgB9oQ6AEIKzAA

Laufer, Y., & Dar, G. (2012). Effectiveness of thermal and athermal short-wave diathermy for the management of knee osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis.

Osteoarthritis and Cartilage, 20(9), 957–966.

<https://doi.org/10.1016/J.JOCA.2012.05.005>

Li, D.-K., Chen, H., Ferber, J. R., Odouli, R., & Quesenberry, C. (n.d.). Exposure to Magnetic Field Non-Ionizing Radiation and the Risk of Miscarriage: A Prospective Cohort Study

OPEN. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-16623-8>

Liljestrand, B., Sandström, M., & Hansson Mild, K. (2003). RF Exposure During Use of Electrosurgical Units. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 22(2–3), 127–132.

<https://doi.org/10.1081/JBC-120024622>

Macca, I., Scapellato, M. L., Carrieri, M., Pasqua di Bisceglie, A., Saia, B., & Bartolucci, G. B. (2007). Occupational exposure to electromagnetic fields in physiotherapy departments.

Radiation Protection Dosimetry, 128(2), 180–190. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncm309>

Martin, C. J., McCallum, H. M., Strelley, S., & Heaton, B. (1991). Electromagnetic Fields from Therapeutic Diathermy Equipment: A review of hazards and precautions.

Physiotherapy, 77(1), 3–7. [https://doi.org/10.1016/S0031-9406\(10\)61660-4](https://doi.org/10.1016/S0031-9406(10)61660-4)

Mason, P. A., Murphy, M. R., & Petersen, R. C. (n.d.). *IEEE EMF HEALTH & SAFETY STANDARDS*. Retrieved from <http://grouper.ieee.org/groups/scc28/>

MINSA. (2014). *NTS N°110*. Lima.

MINSA. (2015). *NTS N°119*. Lima.

NARDA. (2015a). NBM-550. Retrieved from <https://www.narda-sts.com/en/wideband-emf/nbm-520/>

NARDA. (2015b). NBM probes. Retrieved from <https://www.narda-sts.com/en/wideband-emf/nbm-520/>

NARDA. (2016a). EF0691. Retrieved from <https://www.narda-sts.com/en/wideband-emf/nbm-520/>

NARDA. (2016b). EHP-50F. Retrieved from <https://www.narda-sts.com/en/wideband-emf/nbm-520/>

OMS. (2012). *Introducción al programa de mantenimiento de equipos médicos*. (OMS, Ed.) (Primera Ed). Ginebra, Suiza: OMS. Retrieved from <http://apps.who.int/medicinedocs/documents/s21566es/s21566es.pdf>

Osepchuk, J. M., & Petersen, R. C. (2003). Historical review of RF exposure standards and the International Committee on Electromagnetic Safety (ICES). *Bioelectromagnetics*, 24(S6), S7–S16. <https://doi.org/10.1002/bem.10150>

Ozen, U., Comlekci, S., Cerezci, O., & Onural, A. U. (2003). Evaluation of non-ionizing radiation around the shortwave diathermy devices. In *2003 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, 2003. EMC '03*. (p. 824–827 Vol.2). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICSMC2.2003.1429034>

Perú. (2004). Resolución Ministerial N°613-2004 MTC/03. *El Peruano*, (19 de Agosto, 2004), 274822–274829. Retrieved from https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=3646

Perú. (2009). Ley N° 29459, de los productos farmacéuticos, dispositivos médicos y productos sanitarios. *El Peruano*, (26 de noviembre), 406565–406576. Retrieved from

<http://www.digemid.minsa.gob.pe/Main.asp?Seccion=760>

Robert, R. (2003). *Bobina de Helmholtz (The Helmholtz coil)*. *Revista Brasileira de Ensino de Física* (Vol. 25). Retrieved from http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v25_40.pdf

Rožić, N., Begušić, D., IEEE Communications Society., & Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2011). *SoftCOM 2011 : International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks : Split - Hvar - Dubrovnik, Croatia : September 15-17, 2011*. SoftCOM. Retrieved from <https://ieeexplore.ieee.org/document/6064372>

Schlesinger, P. L., Valdez, A. D., Miranda, C. A., Chiozza, J. A., & Miranda, C. V. (2015). Non-ionizing Radiation measurements in hospital environments. In *2015 XVI Workshop on Information Processing and Control (RPIC)* (pp. 1–6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/RPIC.2015.7497059>

Shah, S. G. S., & Farrow, A. (2007). Investigation of practices and procedures in the use of therapeutic diathermy: a study from the physiotherapists' health and safety perspective. *Physiotherapy Research International : The Journal for Researchers and Clinicians in Physical Therapy*, *12*(4), 228–241. <https://doi.org/10.1002/pri.382>

Shah, S. G. S., & Farrow, A. (2013). Assessment of Physiotherapists' Occupational Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields from Shortwave and Microwave Diathermy Devices: A Literature Review. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, *10*(6), 312–327. <https://doi.org/10.1080/15459624.2013.782203>

Sivaraman, N. (2018). *Design of magnetic probes for near field measurements and the development of algorithms for the prediction of EMC*. Université Grenoble Alpes.

Retrieved from <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01757038>

Solek, P., Majchrowicz, L., Bloniarz, D., Krotoszynska, E., & Kozirowski, M. (2017). Pulsed or continuous electromagnetic field induce p53/p21-mediated apoptotic signaling pathway in mouse spermatogenic cells in vitro and thus may affect male fertility.

Toxicology, 382, 84–92. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2017.03.015>

Stuchly, M. A., Repacholi, M. H., Lecuyer, D. W., & Mann, R. D. (1982). Exposure to the operator and patient during short wave diathermy treatments. *Health Physics*, 42(3), 341–366. <https://doi.org/10.1097/00004032-198203000-00008>

Tzima, E., & Martin, C. J. (1994). An evaluation of safe practices to restrict exposure to electric and magnetic fields from therapeutic and surgical diathermy equipment.

Physiological Measurement, 15(2), 201–216. <https://doi.org/10.1088/0967-3334/15/2/008>

WHO. (2015). WHO | Radiation, Non-ionizing. Retrieved July 20, 2018, from

http://www.who.int/topics/radiation_non_ionizing/en/

Yakymenko, I., Tsybulin, O., Sidorik, E., Henshel, D., Kyrylenko, O., & Kyrylenko, S. (2016).

Oxidative mechanisms of biological activity of low-intensity radiofrequency radiation.

Electromagnetic Biology and Medicine, 35(2), 186–202.

<https://doi.org/10.3109/15368378.2015.1043557>

Ziegelberger, G. (2009). ICNIRP statement on the “guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (UP to 300 GHz).” *Health Physics*.

<https://doi.org/10.1097/HP.0b013e3181aff9db>

Apéndice A: Documentación técnica del sistema de medición

www.narda-sts.com

NARDA BROADBAND FIELD METER

NBM-550



Measuring electric and magnetic fields

ranging from low frequency to microwaves

- ▲ Non-directional measurement using isotropic probes for applications in the frequency range 1 Hz to 90 GHz
- ▲ Large, graphic display for easy-to-read results
- ▲ Intelligent probe interface with automatic detection of probe parameters for simple operation
- ▲ Memory for up to 5000 measurement results
- ▲ Automatic storage of position data with GPS interface and plug-in GPS receiver (accessory)
- ▲ Voice recording for comments



OPTIONAL

- ▲ Probe for spectral measurements and Weighted Peak from 1 Hz to 400 kHz



Narda Broadband Field Meter NBM-550

DESCRIPTION

The Narda Broadband Field Meter NBM-550 is part of the NBM-500 device family. It makes extremely accurate measurements of non-ionizing radiation. Equipped with probes for measuring electric and magnetic field strengths, it covers all frequencies from just a few Hz as found in industrial applications through to long wave and on up to microwave radiation. Flat frequency response probes ("flat probes"), as well as so-called shaped probes that evaluate the field strength on the basis of a human safety standard are available. A probe with built-in FFT analysis enables spectral measurements in the low frequency range. These probes are calibrated separately from the field meter, and include a non-volatile memory that contains the probe parameters and calibration data. They can therefore be used with any device in the NBM-500 family without losing any of the calibration accuracy.

APPLICATIONS

The NBM-550 is used to make precision measurements to establish human safety, particularly in workplace environments where high electric or magnetic field strengths are likely to occur. Some examples are:

- Measuring field strengths to comply with general safety regulations, such as the EMF Directive 2013/35/EU
- Establishing safe zones
- Measuring and monitoring field strengths around broadcasting and radar equipment
- Measuring field strengths of cell phone transmitters and satellite communications systems to demonstrate compliance with human safety standard limit values
- Measuring field strengths in the industrial environment, such as plastics welding equipment, RF heating, tempering, and drying equipment
- Measurements for protecting users of diathermy equipment and other medical devices that generate high-frequency radiation
- Measuring field strength in TEM cells and absorber chambers to demonstrate electromagnetic compatibility (EMC)
- Spectral measurements on LF fields emanating from industrial equipment or overhead power cables



Robust yet light and easy to carry, designed for simple, one-hand operation

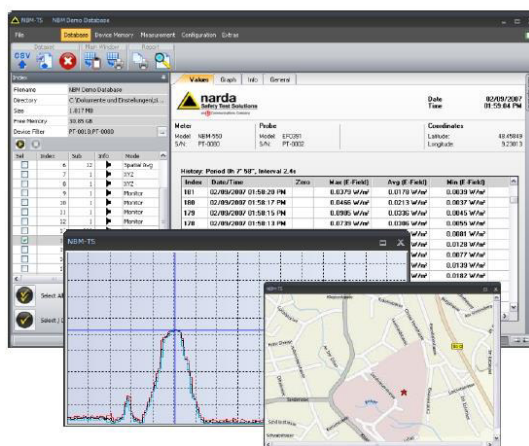


Changing the probe is quick and easy, with no need to reconfigure the device

PC SOFTWARE

The comprehensive, easy to use "NBM-TS" PC software (included) provides the following functions:

- Result transfer to a PC
- Result database management
- Result evaluations
- Device configuration management
- Firmware update control
- Remote controlled measurements



STANDARDS

Safety limits are already stored in the NBM-550 for a variety of standards. In addition, users can also create their own standards. This allows direct display of results for flat probes in % of limit value at a known frequency of the field under test.

Safety Standard	Region	Safety Standard	Region
2013/35/EU Limbs	European Union	ICNIRP 1998 Occupational	International
2013/35/EU High ALs	European Union	ICNIRP 1998 General Pub	International
2013/35/EU Low ALs	European Union	ICNIRP 2010 Occupational	International
BGV B11 2h/d	Germany	ICNIRP 2010 General Pub	International
BGV B11 Area 1	Germany	IEEE C95.1 Upper Tier	International
BGV B11 Area 2	Germany	IEEE C95.1 General Pub	International
FCC 1997 Occupational	USA	Safety Code 6 1999 RF Work	Canada
FCC 1997 General Pop	USA	Safety Code 6 1999 Gen Pub	Canada
GB8702-2014	China	Safety Code 6 2015 Controlled	Canada
		Safety Code 6 2015 Uncontrld	Canada

APPLICATIONS - HIGH FREQUENCY PROBES

Frequency range	300 kHz to 30 MHz	27 MHz to 1 GHz	100 kHz to 3 GHz	100 kHz to 6 GHz	3 MHz to 18 GHz	40 MHz to 40 GHz	300 MHz to 50 GHz	100 MHz to 60 GHz	100 MHz to 90 GHz	300 kHz* to 50 GHz
Field type	H	H	E	E	E	E	E	E	E	E Shaped
Probe designation	HF3061	HF0191	EF0391 EF0392	EF0691	EF1891	EF4091	EF5091 EF5092	EF6092	EF9091	EA ... ED5091
Mobile radio / telecommunications	●	●	●	●	●					●
Radio / TV broadcasting	●	●	●	●	●					●
Satellite communications					●	●	●			○
Radar					○	○	●	○	●	○
Industry: Heating and tempering	●		●	●						
Industry: Plastics welding	●		●	●						
Industry: Semiconductor production	○		●	●						
Medicine: Diathermy, hyperthermy			●	●						○
Leak detection					●	●	●	●	●	○
General public safety	●	○	●	●	●	●	○	●	●	○
Health and safety at work	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

*) EB5091: 3 MHz – 50 GHz ● more important ○ variable importance

SPECIFICATIONS

NBM-550													
DISPLAY													
Display type	Transflective LCD, monochrome												
Display size	10 cm (4"), 240 x 320 dots												
Backlight	White LEDs, selectable illumination time (OFF, 5s, 10s, 30s, 60s, PERMANENT)												
Refresh rate	200 ms for bar graph and graphics, 400 ms for numerical results												
Operating languages	English, French, German, Italian, Spanish, Simplified Chinese, Turkish, Russian												
MEASUREMENT FUNCTIONS (with high frequency probes)													
Result units	mW/cm ² , W/m ² , V/m, A/m, % (of standard)												
Display range	.0001 to 9999, 4 digits, variable or fixed triads can be selected <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">Variable triads</td> <td style="width: 50%;">Fixed triads</td> </tr> <tr> <td>0.01 V/m to 100.0 kV/m</td> <td>0.01 to 9999 V/m</td> </tr> <tr> <td>0.01 mA/m to 265.3 A/m</td> <td>0.0001 to 265.3 A/m</td> </tr> <tr> <td>0.001 mW/m² to 26.53 MW/m²</td> <td>0.0001 to 9999 W/m²</td> </tr> <tr> <td>0.1 nW/cm² to 2.653 kW/cm²</td> <td>0.0001 to 9999 mW/cm²</td> </tr> <tr> <td>0.0001 % to 9999 %</td> <td>0.0001 to 9999 %</td> </tr> </table>	Variable triads	Fixed triads	0.01 V/m to 100.0 kV/m	0.01 to 9999 V/m	0.01 mA/m to 265.3 A/m	0.0001 to 265.3 A/m	0.001 mW/m ² to 26.53 MW/m ²	0.0001 to 9999 W/m ²	0.1 nW/cm ² to 2.653 kW/cm ²	0.0001 to 9999 mW/cm ²	0.0001 % to 9999 %	0.0001 to 9999 %
Variable triads	Fixed triads												
0.01 V/m to 100.0 kV/m	0.01 to 9999 V/m												
0.01 mA/m to 265.3 A/m	0.0001 to 265.3 A/m												
0.001 mW/m ² to 26.53 MW/m ²	0.0001 to 9999 W/m ²												
0.1 nW/cm ² to 2.653 kW/cm ²	0.0001 to 9999 mW/cm ²												
0.0001 % to 9999 %	0.0001 to 9999 %												
Result types (RMS, isotropic)	Actual, Maximum, Minimum, Average, Average Maximum												
Result types (RMS, X-Y-Z mode)	Actual X, Actual Y, Actual Z (requires a probe with separate axes)												
Time averaging	Selectable averaging time, 4 s to 30 min (2 s steps)												
Spatial averaging	Discrete or continuously												
Multi-position spatial averaging	Averages up to 24 spatially averaged results, each position and total is stored												
History Mode	Graphical display of Actual RMS results versus time (span of 2 minutes to 8 hours)												
Correction frequency	1 kHz to 100 GHz or OFF (direct frequency entry, interpolation between calibration points)												
Hot Spot Search	Audible indication of increasing and decreasing field strength (result type Act or Max)												
Alarm function	2 kHz audible signal (4 Hz repetition), adjustable threshold												
Timer Logging	Start time pre-selection: up to 24 h or immediate start Logging duration: up to 100 h Logging interval: 1s to 6 min (in 11 steps)												
RESULT MEMORY													
Physical memory	12 MB non-volatile flash memory for measurement results and voice comments												
Storage capacity	Up to 5000 results (including instrument settings, time stamp and GPS data when available)												
INTERFACES													
Remote control	Via USB or optical RS-232 interface (selectable)												
- USB	Serial, full duplex, 460800 baud (virtual COM port), multi-pin connector												
- Optical interface	Serial, full duplex, 115200 baud, no parity, 1 start and 1 stop bit												
Earphone	3.5 mm TRS, ≥ 16 ohms (mono), see accessories												
External trigger (for result storage)	Uses the multi-pin connector. Interface cable with BNC connector available as accessory Triggers when contacts short-circuited												
External GPS receiver	Uses the multi-pin connector; GPS receiver with interface cable available as accessory												
Probe interface	Plug-and-play auto detection, compatible with all NBM series probes RMS integration time for measuring input approx. 270 ms Measurement sampling rate 5 Hz (5/ 50/ 60 Hz for remote operation)												

OTHER FUNCTIONS	
Conditional Logging	
Logging conditions	Selectable: - On upper threshold: Results stored when measurements exceed the adjustable threshold - Out of gap: Results stored when measurements are above the upper threshold or below the lower threshold
Logging range	Selectable: - Store all (as long as the condition is true), sampling rate 5 Hz - Store first and last event (when the condition was true)
Voice Recorder	
Microphone	Built in microphone located at the top of the instrument near the Narda logo
Recording level	Fixed level, VU meter for level monitoring displayed when recording
Recording length	30 s max. length per voice comment, 1 voice comment stored with relevant result
Recording format	8-bit PCM mono, stored as WAV file (approx. 240 kbyte per 30 s)
Output	External earphone (adjustable output level) or via NBM-TS PC software
GPS Position Logging	
Receiver type	With attached GPS receiver (GPS Kit available as accessory) GPS Standard Positioning Service and Differential GPS (DGPS) capability using real-time WAAS/EGNOS correction
Displayed position data	Latitude (Lat) and longitude (Long), selectable units: DMS (degrees, minutes, seconds)/ MinDec (decimal minutes)/ DegDec (decimal degrees)
Geodetic system	WGS84/ NAD83
Position accuracy	< 3 m (Differential GPS), <15 m (Standard GPS), high precision mode indicated on the NBM-550. Accuracy specified for 95 % probability
Update rate	1 s
Receiver size/ weight	61 mm diameter x 19.5 mm high / 62 g (approx. 100 g with mounting plate)
Receiver mounting	Uses the tripod thread on underside of device, mounting plate included
GENERAL SPECIFICATIONS	
Recommended calibration interval	24 months (basic unit only, probes are specified separately)
Battery	NiMH rechargeable batteries, 4 x AA size (Mignon), 2700 mAh, included
Operation time	20 hours (backlight off, no GPS) 12 hours (permanent backlight, no GPS) 10 hours (GPS receiver connected, no backlight)
Charging time	2 hours
Battery level display	100%, 80%, 60%, 40%, 20%, 10%, low level (< 5%)
Temperature range	Operating -10 °C to +50 °C Non-operating (transport) -30 °C to +70 °C
Humidity	5 to 95%, non condensing ≤29 g/m³ absolute humidity (IEC 60721-3-2 class 7K2)
Size (h x w x d)	45 x 98 x 280 mm (without probe and GPS receiver)
Weight	550 g (without probe and GPS receiver).
Accessories (included)	Hard case, power supply, rechargeable batteries, shoulder strap, tripod (bench top), NBM-TS software, operating manual, certificate of calibration, USB cable interface
Country of origin	Germany

www.narda-sts.com



This product is protected by the following patents:

China Design Patent ZL 2006 3 0303322.X
 China Design Patent ZL 2006 3 0190679.1
 European Design Patent 000594254-001
 European Design Patent 000597836-0001
 U.S. Design Patent No. US D570.235 S

U.S. Patent No. 5,877,619
 German Patent DE19536948A1

ORDERING INFORMATION

NBM-550	Part Number (P/N)
NBM-550 Set 1, Narda Broadband Field Meter - Probes are not included - Set includes: - NBM-550 Basic Unit (2401/01B) - Hard case for NBM-550 Series, holds meter and up to 5 probes (2400/90.06) - Power Supply 9VDC, 100V-240VAC (2259/92.06) - Battery, Rechargeable AA-Size, NiMH (4 pcs. 1001-0000-471) - Shoulder Strap, 1m (2244/90.49) - Tripod, bench top, 0.16m (2244/90.32) - Cable, USB Interface for NBM-550, 2 m (2400/90.05) - Software, NBM-TS, PC Transfer (2400/93.01) - Operating Manual NBM-550 - Calibration Certificate	2400/101B
NBM-550 Set 13, 1Hz-6GHz with EHP-50F, NBM-550, EF0691 Set includes: - all parts from NBM-550 Set 1 (2400/101B) - all parts from EHP-50F E&H Field Analyzer Set, 1Hz-400kHz (2404/103) - Probe EF 0691, E-Field, 100kHz-6GHz (2402/14B) - Tripod, Non-Conductive, 1.65m, with Carrying Bag (2244/90.31)	2400/113
NBM-550 Set 15, 1Hz-3GHz with EHP-50F, NBM-550, EF0391 Set includes: - all parts from NBM-550 Set 1 (2400/101B) - all parts from EHP-50F E&H Field Analyzer Set, 1Hz-400kHz (2404/103) - Probe EF 0391, E-Field, 100kHz-3GHz (2402/01B) - Tripod, Non-Conductive, 1.65m, with Carrying Bag (2244/90.31)	2400/115
GPS Kit	See Accessories
HIGH FREQUENCY PROBES *	
Probe HF 3061, H-Field, for NBM, 300kHz-30MHz	2402/05B
Probe HF 0191, H-Field, for NBM, 27MHz-1GHz	2402/06B
Probe EF 0391, E-Field, for NBM, 100kHz-3GHz	2402/01B
Probe EF 0392, E-Field, HiPow, for NBM, 100kHz-3GHz	2402/12B
Probe EF 0691, E-Field, for NBM, 100kHz-6GHz	2402/14B
Probe EF 1891, E-Field, for NBM, 3MHz-18GHz	2402/02B
Probe EF 4091, E-Field, for NBM, 40MHz-40GHz	2402/19B
Probe EF 5091, E-Field, for NBM, 300MHz-50GHz, Thermo.	2402/03B
Probe EF 5092, E-Field, HiPow, for NBM, 300MHz-50GHz, Thermo.	2402/11B
Probe EF 6092, E-Field, for NBM, 100MHz-60GHz	2402/17B
Probe EF 9091, E-Field, for NBM, 100MHz-90GHz	2402/18B
Probe EA 5091, FCC Shaped, for NBM, 300kHz-50GHz, E-Field	2402/07B
Probe EB 5091, IEEE Shaped, for NBM, 3MHz-50GHz, E-Field	2402/08B
Probe ED 5091, ICNIRP Shaped, for NBM, 300kHz-50GHz, E-Field	2402/10B

* See separate data sheets for probe specifications

LOW FREQUENCY PROBE *	
EHP-50F E&H Field Analyzer Set, 1Hz-400kHz, for NBM-550	
Set Includes:	
- EHP-50F Basic Unit (2404/03)	
- AC/DC Battery Charger, for EHP-50 (2259/92.08)	
- Cable, FO Duplex, RP-02, 10m (2260/91.07)	
- Optical Bridge Connector RP-02 (2260/91.08)	2404/103
- EHP-TS PC Software (2404/93.01)	
- O/E Converter USB, RP-02/USB (2260/90.07)	
- Tripod Extension, 0.50m, Non-Conductive (2244/90.45)	
- Foam Inserts for EHP-50, for Hardcase 2400/90.06 (2404/90.01)	
ACCESSORIES	
GPS Kit for NBM-550, Receiver and Mounting Set	2400/90.10
Earphone, 3.5mm Plug	2400/90.03
Test-Generator 27 MHz	2244/90.38
Tripod, Non-Conductive, 1.65m, with Carrying Bag	2244/90.31
Tripod Extension, 0.50m, Non-Conductive (for 2244/90.31)	2244/90.45
Handle, Non-Conductive, 0.42m	2250/92.02
Carrying Strap Hardcase, for SRM/NBM-500	3001/90.04
Cable, Coaxial Multi-pin/ BNC, for NBM-550, Ext. Trigger, 2m	2400/90.04
Cable, FO Duplex (1000 µm) RP-02, 2 m	2260/91.02
Cable, FO Duplex (1000 µm) RP-02, 5 m	2260/91.09
Cable, FO Duplex (1000 µm) RP-02, 10 m	2260/91.07
Cable, FO Duplex (1000 µm) RP-02, 20 m	2260/91.03
Cable, FO Duplex (1000 µm) RP-02, 50 m	2260/91.04
Cable, FO Duplex, F-SMA to RP-02, 0.3 m	2260/91.01
O/E Converter RS232, RP-02/DB9	2260/90.06
O/E Converter USB, RP-02/USB	2260/90.07
Cable, Adapter USB 2.0 - RS232, 0.8 m	2260/90.53
Shielding Pouch for NBM-550	2401/90.02

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.

www.narda-sts.com



ELECTRIC AND MAGNETIC FIELD ANALYZER

EHP-50F



Selective and broadband low frequency field analysis

- ▲ Precise measurement of electric and magnetic fields with just one device
- ▲ Wide frequency range from 1 Hz to 400 kHz with high measurement dynamic range
- ▲ FFT method for selective and wideband measurement in all 3 spatial directions
- ▲ Weighted Peak measurements in accordance with *ICNIRP 2010*, *ICNIRP 1998* and *EMF Directive 2013/35/EU*
- ▲ Time domain measurement method for exact capture of complex signal shapes
- ▲ Optical interface for remote control and result display avoids distortion of the field under test
- ▲ Autonomous measurement operation for up to 24 hours with built in data logger
- ▲ Control and display using a PC or the NBM-550 Broadband Field Meter



SPECIFICATIONS

EHP-50F				
Measurement principle	<ul style="list-style-type: none"> Fast Fourier Transformation for frequency domain measurements (1024 point FFT) Shaped Time Domain STD with peak detector for Weighted Peak 			
Field sensors	<ul style="list-style-type: none"> Orthogonally arranged coils for the magnetic field (sensor area 35 cm²) Orthogonally arranged plate electrodes for the electric field (sensor area 50 cm²) 			
FEATURES AND FUNCTIONS				
EHP-50F Control	NBM-550	PC software EHP50-TS	Stand-alone mode without display	
Measurement functions	Spectrum analysis with marker evaluation	Spectrum, isotropic Standard, isotropic (spectrum related to a standard, displayed in percent)	Spectrum, isotropic and X,Y,Z Standard, isotropic and X,Y,Z (spectrum related to a standard, displayed in percent) Spectrogram	-
	Highest Peak (highest spectral line)	Isotropic and X,Y,Z		Isotropic; max. 6 Hz ... 100 kHz (Span 0.5/1/2/10/100 kHz)
	Wideband	Isotropic or X,Y,Z with graph over time		-
	Weighted Peak	EMF Directive 2013/35/EU, Limbs Action Levels EMF Directive 2013/35/EU, High Action Levels EMF Directive 2013/35/EU, Low Action Levels ICNIRP 2010 Occupational ICNIRP 2010 General Public ICNIRP 1998 Occupational ICNIRP 1998 General Public		-
Weighted Peak according IEC 61786-2 (time domain), selectable standards	GB8702 General Public BGV B11 Area 2h/d BGV B11 Area 2 BGV B11 Area 1		-	
Additionally selectable standards to be displayed as a limit trace or as a standard related spectrum (more standards can be added by the user)	Safety Code 6 1999 RF Work Safety Code 6 1999 Gen Pub	IEC C95 6-2002 Gen. Public IEC C95 6-2002 Occupation	-	
Data logging with Auto Save	Spectrum	-	As a spectrogram or as separate text files for each spectrum	-
	Highest Peak or Wideband	Programmable timer Storage interval 1 s to 6 min Battery life > 9 h	-	Storage interval 30/ 60 s Battery life 24 h
PC software	"NBM-TS" Evaluation, report and export	"EHP50-TS" Measurement, evaluation and save to file	"EHP50 Logger" Configuration, read-out and save to file	
Result type/ acquisition	Spectrum analysis and Standard	Actual value (sample) Average Max Hold		-
	Highest Peak or Wideband	200 values, rolling memory, time span 100 s to 2000 s		Actual value (sample) RMS/linear/median averaging
	Weighted Peak (graph over time)	100 values, rolling memory, time span 100 s to 1000 s	-	-
Averaging method	Moving RMS average over 4/8/16 or 32 values	Moving RMS average over 30 s to 30 min	RMS, linear and median over all values	
AUX signal input	Single channel input for analyzing electrical signals ranging from 30 nV to 1 V. The measurement must be controlled by the PC software EHP50-TS. Coaxial jack type MMCX, input impedance 1 kΩ			
Data interface	Measurement control using the NBM-550 display unit or the PC software Optical POF interface, duplex 2 x 1000 μm RP-02, 38400 Baud, up to 40 m length Note: user specific remote operation is not supported			

FREQUENCY					
	Range (SPAN)	Fstart	Fstop	Resolution	Bandwidth RBW
All measurement functions except Weighted Peak	400 kHz ^{a)}	4800 Hz	400 kHz	976.56 Hz	3600 Hz
	100 kHz	1200 Hz	100 kHz	244.14 Hz	900 Hz
	10 kHz	120 Hz	10 kHz	24.414 Hz	90 Hz
	2 kHz	24 Hz	2 kHz	4.8828 Hz	18 Hz
	1 kHz	12 Hz	1 kHz	2.4414 Hz	9 Hz
	500 Hz	6 Hz	500 Hz	1.2207 Hz	4.5 Hz
	200 Hz ^{a)}	2.4 Hz	200 Hz	0.48828 Hz	1.8 Hz
	100 Hz ^{a)}	1 Hz	100 Hz	0.24414 Hz	0.9 Hz
Weighted Peak mode		1 Hz to 400 kHz			
LEVEL ^{b)}		Electric Field	Magnetic Field		
Level range (manual selection)	Low Range	5 mV/m to 1 kV/m	0.3 nT to 100 µT		
	High Range	500 mV/m to 100 kV/m	30 nT to 10 mT		
Overload limit		200 kV/m	20 mT		
Dynamic range		106 dB	110 dB		
Display resolution (NBM-550)	Low Range	4 digits, ≥ 1 mV/m	4 digits, ≥ 0.1 nT		
	High Range	4 digits, ≥ 0.1 V/m	4 digits, ≥ 0.1 µT		
DANL displayed average noise level (f ≥ 50 Hz and SPAN ≤ 1 kHz)		5 mV/m (isotropic) 3 mV/m (single axis)	0.3 nT (isotropic) 0.2 nT (single axis)		
E/H field immunity		< 10 V/m @ 1 mT (H field)	< 0.2 µT @ 20 kV/m (E field)		
UNCERTAINTY ^{b)}		Electric Field	Magnetic Field		
Expanded measurement uncertainty ^{c)}		±9 % (typ. ±5 %) @ 40 Hz to 100 kHz, ≥ 1 V/m	±5.6 % (typ. ±3 %) @ 40 Hz to 100 kHz, ≥ 200 nT		
Flatness @ 100 V/m, 2 µT	5 Hz to 40 Hz	±0.35 dB (5 Hz to 400 kHz)	±0.7 dB		
	40 Hz to 100 kHz		±0.35 dB		
	100 kHz to 400 kHz		±0.7 dB		
Linearity (referred to 100 V/m, 2 µT)		±0.2 dB (1 V/m to 1 kV/m)	±0.2 dB (200 nT to 10 mT)		
Isotropic response		±0.54 dB typ.	±0.12 dB typ.		
Temperature deviation (typ. at 55 Hz) (referred to 23 °C, 50 % relative humidity)		-0.004 dB/°C (-20 °C to 55 °C)	-0.008 dB/°C (-20 °C to 23 °C) +0.013 dB/°C (23 °C to 55 °C)		
Humidity deviation (typ. at 55 Hz) (referred to 23 °C, 50 % relative humidity)		+0.011 dB/% (10 % - 50 % humidity) +0.022 dB/% (50 % - 90 % humidity)	-0.007 dB/% (10 % - 50 % humidity) +0.01 dB/% (50 % - 90 % humidity)		
GENERAL SPECIFICATIONS					
Recommended calibration interval		24 months (calibration data stored in the internal EEPROM)			
Tripod support		Threaded insert UNC ¼"			
Internal battery		Li-Ion, rechargeable, 3.7 V / 5.4 Ah			
Operating time		> 9 hours 24 hours in stand-alone mode			
Recharging time		< 6 hours			
External supply		10 to 15 VDC, 500 mA (barrel connector 3.5/1.35 mm positive pole inside)			
Temperature	Operation	-20 °C to +55 °C			
	Storage	-30 °C to +75 °C			
	Charging	0 °C to +40 °C			
Humidity (operation)		0 to 95 % relative humidity, non-condensing			
Dimensions (H x W x D)		109 mm x 92 mm x 92 mm (without tripod)			
Weight		550 g (without tripod)			
Country of origin		Italy			

a) Not available for Stand-alone operation

b) Unless otherwise stated, these specifications apply for an ambient temperature of 23 °C and a relative humidity of 50 %

c) Uncertainty includes flatness, linearity and isotropic deviations for a continuous wave signal (CW) and a confidence level of 95 %

ORDERING INFORMATION

EHP-50F	Part number
Option for NBM-550	
EHP-50F E&H Field Analyzer Set, 1Hz-400kHz, for NBM-550 Set includes: - EHP-50F Basic unit - EHP-TS PC Software (Manual on CD) - Tripod Extension, 0.50m - AC/DC Battery Charger - Certificate of calibration	- O/E Converter USB, RP-02/USB - Optical Bridge Connector RP-02 - Cable, FO Duplex, RP-02, 10m - Foam inserts for EHP-50 (to fit into NBM case) 2404/103
Stand-alone / PC version	
EHP-50F E&H Field Analyzer Set, 1Hz-400kHz, Stand-alone/PC use Set includes: - EHP-50F Basic unit - EHP-TS PC Software - Tripod Extension, 0.50m - Mini Tripod, Benchtop - AC/DC Battery Charger - Certificate of calibration	- O/E Converter USB, RP-02/USB - Optical Bridge Connector RP-02 - Cable, FO Duplex, RP-02, 10m - Soft carrying case - User manual EHP-50 (printed) 2404/104
Complete set with NBM-550	
NBM-500 Set 13, 1Hz-6GHz, with EHP-50F, NBM-550, EF0691 Set includes: - NBM-550 Basic Unit - Hardcase NBM Series, 5 Probes - Power Supply 9VDC, 100V-240VAC - Battery, Rechargeable, NiMH - Shoulder Strap, 1m - Tripod, Benchtop, 0.16m - Cable, USB Interface - Software, NBM-TS - Operating Manual NBM-550 - Probe EF 0691, E-Field	- EHP-50F Basic Unit - Foam Inserts for EHP-50 (to fit into NBM case) - EHP-TS PC Software - Tripod Extension, 0.50m - AC/DC Battery Charger - O/E Converter USB, RP-02/USB - Cable, FO Duplex, RP-02, 10m - Optical Bridge Connector RP-02 - Tripod, Non-Conductive, 1.65m - Certificates of calibration 2400/113
Optional accessories	
Tripod, Non-Conductive, 1.65m with Carrying Bag	2244/90.31
O/E Converter RS232, RP-02/DB9	2260/90.06
Cable, FO Duplex, RP-02, 2m	2260/91.02
Cable, FO Duplex, RP-02, 20m	2260/91.03

Narda Safety Test Solutions GmbH
 Sandwiesenstrasse 7
 72793 Pfullingen, Germany
 Phone: +49 7121 9732 0
 Fax: +49 7121 9732 790
 E-Mail: support.narda-de@L-3com.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
 E-Mail: nardasts@L-3com.com
 www.narda-sts.us

Narda Safety Test Solutions Srl
 Via Leonardo da Vinci, 21/23
 20090 Segrate (Milano) - Italy
 Phone: +39 02 2699871
 Fax: +39 02 26998700
 E-Mail: nardait.support@L-3com.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.

www.narda-sts.com



E-FIELD PROBE

EF0691

Measuring electric fields from 100 kHz to 6 GHz

using instruments in the NBM-500 family

- ▲ **Field exposure from broadcasting, telecoms and industrial equipment**
- ▲ **Measurements on base stations (EN 50492 and IEC 62232)**
- ▲ **Isotropic (non-directional) measurement**
- ▲ **65 dB dynamic without changing range**
- ▲ **High sensitivity starting at 0.38 V/m**

The probe contains three orthogonally arranged dipoles with detector diodes. The three voltages, corresponding to the spatial components, are available individually at the probe output. The NBM basic unit calculates the resulting isotropic field strength.

APPLICATIONS

The probe detects electric fields from 100 kHz to 6 GHz, covering the fields that occur in broadcasting, telecoms, and industry. The high sensitivity of 0.38 V/m and wide frequency range make it ideal for new WLAN applications. In the frequency range of mobile phone base stations the probe exceeds the requirements of the latest basic standard EN 50492 and IEC 62232.

PROPERTIES

The probe is designed with mechanical and electrical properties ideal for field use. The probe head is made of foam material to provide effective protection for the sensors, while having excellent RF characteristics.

CALIBRATION

The probe is calibrated at several frequencies. The correction values are stored in an EPROM in the probe and are automatically taken into account by the NBM instrument. Calibrated accuracy is thus obtained regardless of the combination of probe and instrument.



SPECIFICATIONS ^a

Probe EF0691	Electric (E-)Field	
Frequency range ^(b)	100 kHz to 6 GHz	
Type of frequency response	Flat	
Measurement range	0.38 to 650 V/m (CW) 0.38 to 22 V/m (True RMS)	38 nW/cm ² to 112 mW/cm ² (CW) 38 nW/cm ² to 0.13 mW/cm ² (True RMS)
Dynamic range	65 dB	
CW damage level	1000 V/m	265 mW/cm ²
Peak damage level ^(c)	10 kV/m	26 W/cm ²
Sensor type	Diode based system	
Directivity	Isotropic (Tri-axial)	
Readout mode / spatial assessment	3 separate axes	
UNCERTAINTY		
Flatness of frequency response ^(d) Calibration uncertainty not included	+1.0/-1.5 dB (0.3 MHz to 1 MHz) ±1.0 dB (1 MHz to 1 GHz) ±1.5 dB (1 GHz to 4 GHz) -1.8 dB typ. @ 5 GHz	
Calibration uncertainty ^(e) @ 0.2 mW/cm ² (27.5 V/m)	0.8 dB (≤ 300 MHz) 1.5 dB (300 MHz to 1.2 GHz) 1.3 dB (≥ 1.2 GHz)	
Linearity Referred to 0.2 mW/cm ² (27.5 V/m)	±0.5 dB (2.2 to 316 V/m)	±0.5 dB (0.0013 to 26.5 mW/cm ²)
Isotropic response ^(f)	±1 dB (0.1 MHz to 5 GHz) ±1.2 dB (> 5 GHz)	
Temperature response	+0.2/ -1 dB (0 °C to 50 °C, related to 23 °C)	
GENERAL SPECIFICATIONS		
Factory calibration frequencies	0.1/ 0.2/ 0.3/ 1/ 3/ 10/ 27.12 MHz 0.1/ 0.2/ 0.3/ 0.5/ 0.75/ 1/ 1.8/ 2.45/ 2.7/ 3/ 4/ 6 GHz	
Recommended calibration interval	24 months	
Temperature range	Operating 0 °C to +50 °C Non-operating (transport) -40 °C to +70 °C	
Humidity	5 to 95 % RH @ ≤25 °C	≤23 g/m ³ absolute humidity
Size	318 mm x 66 mm Ø	
Weight	90 g	
Compatibility	NBM-500 series meters	
Country of origin	Germany	

(a) Unless otherwise noted specifications apply at reference condition: device in far-field of source, ambient temperature 23±3 °C, relative air humidity 25% to 75%, sinusoidal signal
 (b) Cutoff frequency at -3 dB (typ.). The specifications apply to all probes with a serial number beginning with "B" or a subsequent letter

(c) Pulse length 1µsec, duty cycle 1:100

(d) Frequency response can be compensated for by the use of correction factors stored in the probe memory

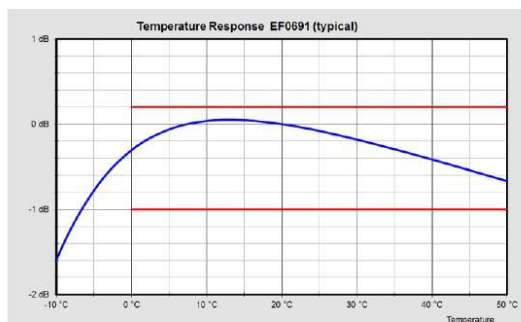
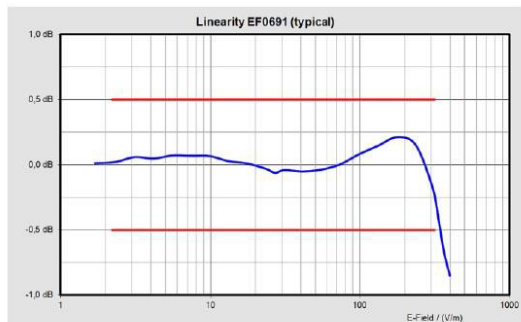
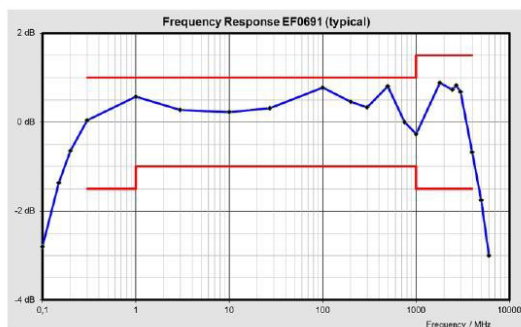
(e) Expanded measurement uncertainty. Accuracy of the fields generated to calibrate the probes

(f) Uncertainty due to varying polarization (verified by type approval test for meter with probe). Ellipse ratio included and calibrated for each probe.

ORDERING INFORMATION

	Part number
Probe EF0691, E-Field, for NBM, 100kHz-6GHz	2402/14B
Probe EF0691, E-Field, ACC - with accredited (DAkKS) calibration, basic unit required	2402/14B/ACC

CHARACTERISTICS



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@L-3com.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@L-3COM.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@L-3com.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.

Apéndice B: Certificados de calibración

Narda Safety Test Solutions GmbH
 Sandwiesenstrasse 7 - 72793 Pfullingen - Germany
 Phone: +49 7121 9732 0 - Fax: +49 7121 9732 790




Calibration Certificate

Narda Safety Test Solutions hereby certifies that the object referenced to this certificate has been calibrated by qualified personnel using Narda's approved procedures. The calibration was carried out in accordance with a certified quality management system which conformed to ISO 9001.

OBJECT	Broadband Field Meter NBM-550
MANUFACTURER	Narda Safety Test Solutions GmbH
PART NUMBER (P/N)	2401/01B
SERIAL NUMBER (S/N)	H-0396
CUSTOMER	
CALIBRATION DATE (YYYY-MM-DD)	2018-01-31
RESULT ASSESSMENT	within specifications
AMBIENT CONDITIONS	Temperature: (23 ± 3) °C Relative humidity: (20 to 60) %
CALIBRATION PROCEDURE	2401-8700-00A

ISSUE DATE: 2018-01-31
(YYYY-MM-DD)


 CALIBRATED BY
 Ludwig


 AUTHORIZED SIGNATORY

MANAGEMENT
SYSTEM



This calibration certificate may not be reproduced other than in full except with the permission of the issuing laboratory. Calibration certificates without signature are not valid.

Certified by DQS according
to ISO 9001:2008
(Reg.-No. 099379 QM08)

Narda Safety Test Solutions GmbH
 Sandwiesenstrasse 7 - 72793 Pfullingen - Germany
 Phone: +49 7121 9732 0 - Fax: +49 7121 9732 790



Method of Measurement

The device under test (DUT) represents a three-channel voltage meter offering high accuracy and high resolution. The DUT is calibrated by applying a known DC voltage to each of the inputs.

Uncertainty of Measurement

The measurement uncertainty stated in this document is the expanded uncertainty with a coverage factor of 2 (corresponding, in the case of normal distribution, to a confidence probability of 95 %).

The uncertainty analysis for this calibration was done in accordance with the ISO/TAG-Guide (Guide to the expression of uncertainty in measurement). The measurement uncertainties are derived from contributions from the measurement of power, reflection, attenuation and frequency, mismatch, stability of instrumentation and repeatability of handling.

This statement of uncertainty applies to the measured values only and does not include effects like temperature response and long term stability of the calibrated device.

Traceability of Measuring Equipment

The calibration results are traceable to SI-units according to ISO/IEC 17025. Physical units, which are not included in the list of accredited measured quantities such as field strength or power density, are traced to the basic units via approved measurement and computational methods.

The equipment used for this calibration is traceable to the reference listed below and the traceability is guaranteed by ISO 9001 Narda internal procedure.

Reference- / Working- Standard	Manufacturer	Model	Serial Number	Certificate Number	Cal Due Date	Trace
Digital Multimeter	Agilent	34401A	MY47052911	1-8659117607-1	2019-02	UKAS 0147

Narda Safety Test Solutions GmbH
Sandwiesenstrasse 7 - 72793 Pfullingen - Germany
Phone: +49 7121 9732 0 - Fax: +49 7121 9732 790



Results

Voltage display uncertainty

Channel	Input voltage applied	Specified voltage display	Meas. Uncertainty	Meas. voltage display
X	2.400 V	(2.376±0.024) V	±0.007 V	2.370 V
Y	2.400 V	(2.376±0.024) V	±0.007 V	2.370 V
Z	2.400 V	(2.376±0.024) V	±0.007 V	2.370 V

Note: Because of an internal voltage divider the nominal indication is 2.376 V.



Narda Safety Test Solutions S.r.l.
 Sales & Support: Via Leonardo da Vinci 21/23
 20090 Segrate (MI)
 Tel.: +39 02 2699871 Fax: +39 02 26998700
 Manufacturing Plant: Via Benessea, 29/B
 17035 Cisano sul Neva (SV)
 Tel.: +39 0182 58641 Fax: +39 02 586400

CERTIFICATE OF CALIBRATION
 Certificato di taratura

Number 70700
Numero

Item <i>Oggetto</i>	Electric and Magnetic field Probe - Analyzer
Manufacturer <i>Costruttore</i>	Narda S.T.S. / PMM
Model <i>Modello</i>	EHP50F
Serial number <i>Matricola</i>	100WY70700
Calibration procedure <i>Procedura di taratura</i>	Internal procedure PTP 09-31
Date(s) of measurements <i>Data(e) delle misure</i>	11.01.2018
Result of calibration <i>Risultato della taratura</i>	Measurements results within specifications

This calibration certificate documents the traceability to national/international standards, which realise the physical units of measurements according to the International System of Units (SI). Verification of traceability is guaranteed by mentioning used equipment included in the measurement chain. This equipment includes reference standard directly traceable to (inter)national standard (accuracy rating A) and working standard calibrated by the calibration laboratory of Narda Safety Test Solutions (accuracy rating B) by means of reference standard A or by other calibration laboratory.

The measurement uncertainties stated in this document are estimated at the level of twice the standard deviation (corresponding, in the case of normal distribution, to a confidence level of about 95%). The uncertainties are calculated in conformity to the ISO Guide (Guide to the expression of uncertainty in measurement). The metrological confirmation system for the measuring equipment used is in compliance with ISO 10012-1. The applied quality system is certified to UNI EN ISO 9001.

Questo certificato di taratura documenta la tracciabilità a campioni primari nazionali o internazionali i quali realizzano la riferibilità alle unità fisiche del Sistema Internazionale delle Unità (SI). La verifica della tracciabilità è garantita elencando gli strumenti presenti nella catena di misura. La catena di riferibilità metrologica fa riferimento a campioni di prima linea direttamente riferiti a standard (inter)nazionali (classe A), di seconda linea, tarati nel laboratorio metrologico della Narda Safety Test Solutions con riferibilità ai campioni di prima linea oppure tarati da Enti esterni accreditati (classe B). Le incertezze di misura dichiarate in questo documento sono espresse come due volte lo scarto tipo (corrispondente, nel caso di distribuzione normale, a un livello di confidenza di circa 95%). Le incertezze di misura sono calcolate in riferimento alla guida ISO. La conferma metrologica della strumentazione usata è conforme alla ISO 10012-1. Il sistema di qualità è certificato ISO 9001.

**COMPANY WITH QUALITY MANAGEMENT
 SYSTEM CERTIFIED BY DNV
 = ISO 9001:2008 =**

Date of issue
Data di emissione

17.01.2018

Measure operator
Operatore misure

F. Ferrari

Person responsible
Responsabile

G. Basso

This calibration certificate may not be reproduced other than in full. Calibration certificate without signature are not valid. The user is recommended to have the object recalibrated at appropriate intervals.
 La riproduzione del presente documento è ammessa in copia conforme integrale. Il certificato non è valido in assenza di firma. All'utente dello strumento è raccomandata la ricalibrazione nell'appropriato intervallo di tempo.

The calibration was carried out at an ambient temperature of (23 ± 3)°C and at a relative humidity of (50 +10/-20)%.

Calibration method

The magnetic calibration was set up with the probe in a region of uniform magnetic field at the centre of a calibrated Helmholtz coil system. The magnetic flux density is calculated from the current flowing in the coil. The current waveform was sinusoidal. The current in the Helmholtz coil system was adjusted to produce a series of indicated magnetic flux densities on the instrument at various frequencies. The calibration procedure agrees with the indication of IEC 61786 "Measurement of low frequency magnetic and electric fields with regard to exposure of human beings- Special requirements for instruments" The instrument readings were recorded and the actual values of magnetic flux density were calculated from the measured currents. The magnetic correction factor (CF) is defined as rapport between actual and indicated magnetic flux density.

$$CF = \frac{Bo}{Bmis}$$

where Bo is the applied magnetic flux density and Bmis is the indicated magnetic flux density

For the electric calibration the probe is positioned inside a big TEM cell (section 1.8x1.8 mete For each measurement, the input voltage was adjusted so that the field strength was set to a specified reading on the monitor.

The actual field strength, at the plane of reference of the probe was then determined and the correction factor calculated using the following definition.

$$CF = \frac{Eo}{Emis}$$

where Eo is the applied field strength and Emis is the indicated field strength

The correction factor data are permanently stored in the internal EEPROM.

Calibration equipment and traceability

ID Number	Description	Manufacturer	Model	Trace
PMM 391	Digital multimeter	Agilent	34401A	/UKAS
CMR 169	Electric and Magnetic ref. Probe	Narda	EHP50C-REF	/INRIM
CMR 090	Standard resistor	Narda	PMM BSD250	/NPL
CMR 095	Current Trasformer	Frer	AP10-1TAC010	/INRIM
CMR 001	TEM Cell	Narda	1818	/Narda
CMR 020	Helmholtz coil	Narda	HCSS001	/Narda

Uncertainty of measurements

The statement of uncertainty (see first page) does not make any implication or include any estimation as to the long term stability of the calibrated monitor. The relative expanded uncertainty result are given below

E field	3% at 50 Hz 5.3% other frequencies
H field	2% at 50 Hz with 100µT range 3.5% at 50 Hz with 10mT range 3% other frequencies

Results

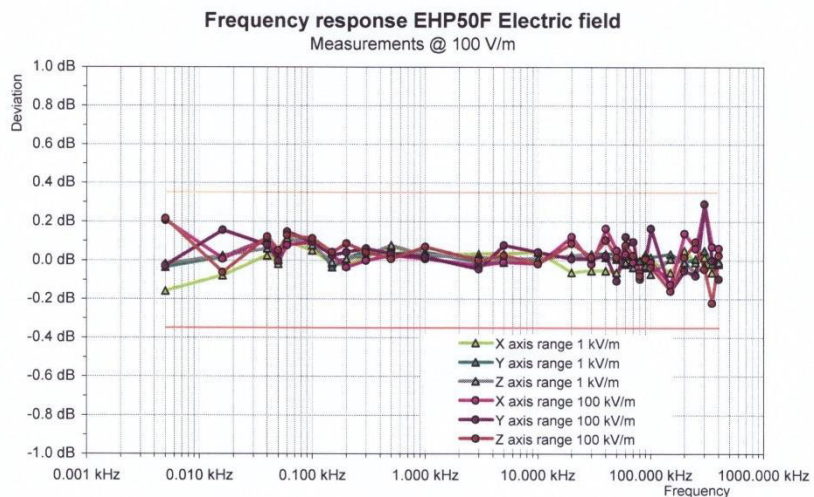
The results of measurements in the following pages were obtained after calibration data storing and indicates the residual of the reciprocal CF.

The results given on the tables were obtained with the axis aligned at the electric vector for electric measurements and with axis concatenated at the magnetic flux density for magnetic mesurements

The shown limits of the EHP50F specification in the diagrams are in orange.

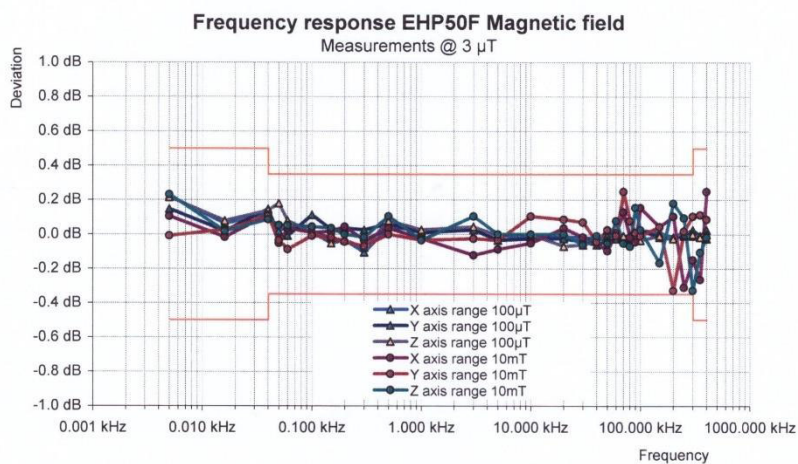
Electric field Frequency response for each axis at nominal field of 100 V/m.
The instrument was set as electric field measure with 100 Hz span up to the frequency of 100 Hz, 200 Hz span up to the frequency of 200 Hz, 500 Hz span up to the frequency of 500 Hz, 1 kHz up to 1000 Hz, 10 kHz up to 10 kHz, 100 kHz up to 100 kHz and span 400 kHz for frequency over 100 kHz.

Freq. (kHz)	Deviation with 1kV/m range			Deviation with 100 kV/m range		
	X axis	Y axis	Z axis	X axis	Y axis	Z axis
	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
0.005	-0.16	-0.03	-0.02	0.21	-0.03	0.21
0.016	-0.08	0.02	0.03	0.01	0.15	-0.06
0.04	0.03	0.11	0.06	0.11	0.08	0.12
0.05	-0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.05
0.06	0.10	0.10	0.11	0.08	0.15	0.13
0.10	0.05	0.10	0.08	0.10	0.10	0.11
0.15	-0.02	-0.03	-0.01	0.03	0.03	0.04
0.20	-0.03	0.01	0.01	-0.03	0.04	0.09
0.30	0.02	0.05	0.03	0.00	0.06	0.04
0.50	0.07	0.03	0.08	0.03	0.03	0.01
1.0	0.03	0.04	0.03	0.01	0.02	0.07
3.0	0.03	-0.01	0.02	-0.03	-0.04	0.00
5.0	0.03	-0.01	0.01	-0.01	0.08	0.03
10.0	0.04	0.01	0.01	-0.02	0.04	-0.02
20.0	-0.06	0.03	0.03	0.12	0.01	0.09
30.0	-0.05	0.03	0.03	-0.02	0.01	0.02
40.0	-0.05	0.03	0.02	0.16	0.03	0.10
50.0	-0.06	0.03	0.01	0.05	-0.10	0.02
60.0	-0.02	0.03	-0.01	0.03	0.12	0.08
70.0	0.03	0.02	-0.03	-0.01	0.10	0.03
80.0	0.00	0.00	-0.06	-0.06	-0.10	-0.08
90.0	-0.03	-0.03	0.03	0.02	0.01	0.01
100.0	0.00	0.02	-0.07	-0.01	0.16	-0.03
150.0	-0.06	0.03	0.01	-0.12	-0.16	-0.16
200.0	0.05	-0.01	-0.01	0.14	-0.05	0.02
250.0	-0.01	0.01	-0.06	0.06	-0.08	0.10
300.0	0.02	0.05	-0.03	0.29	0.29	-0.04
350.0	-0.06	-0.02	0.01	0.07	0.00	-0.22
400.0	-0.02	0.00	-0.01	0.06	-0.10	0.03



Magnetic Field Frequency response for each axis at nominal magnetic flux density of 3µT.
The instrument was set as magnetic field measure with 100 Hz span up to the frequency of 100 Hz, 200 Hz span up to the frequency of 200 Hz, 500 Hz span up to the frequency of 500 Hz, 1 kHz up to 1000 Hz, 10 kHz up to 10 kHz, 100 kHz up to 100 kHz and span for frequency over 100 kHz

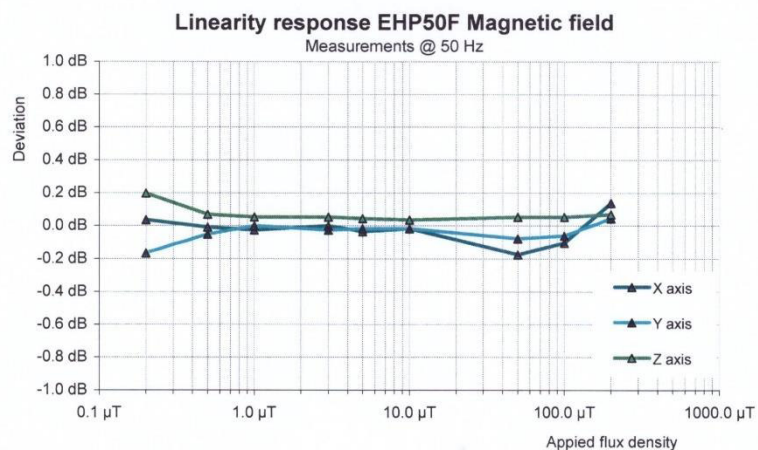
Freq. (kHz)	Deviation with 100µT range			Deviation with 10mT range		
	X axis	Y axis	Z axis	X axis	Y axis	Z axis
	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
0.005	0.22	0.15	0.21	0.10	-0.01	0.23
0.016	0.06	0.02	0.08	-0.02	0.03	0.02
0.04	0.12	0.15	0.14	0.11	0.10	0.09
0.05	0.02	-0.02	0.18	-0.05	-0.03	0.05
0.06	0.04	-0.01	0.08	0.03	-0.09	0.05
0.10	0.02	0.11	0.01	0.01	-0.01	0.04
0.15	-0.03	0.03	-0.05	0.02	-0.02	0.03
0.20	-0.03	0.03	-0.03	0.04	-0.04	0.00
0.30	-0.10	0.03	-0.08	-0.03	-0.07	-0.02
0.50	0.04	0.06	0.08	0.03	0.00	0.10
1.0	0.02	0.01	0.03	-0.03	-0.03	-0.03
3.0	0.04	0.03	0.04	-0.12	-0.03	0.10
5.0	-0.01	-0.03	-0.01	-0.09	-0.03	0.00
10.0	-0.02	-0.03	0.00	-0.05	0.10	0.00
20.0	-0.02	-0.03	-0.07	0.03	0.09	0.00
30.0	-0.02	-0.04	-0.06	-0.02	0.07	-0.06
40.0	-0.03	-0.06	-0.03	-0.05	-0.04	-0.01
50.0	-0.01	-0.03	0.03	-0.10	0.03	-0.05
60.0	-0.02	-0.03	0.01	0.01	-0.01	0.08
70.0	-0.02	-0.01	-0.01	0.13	0.25	-0.05
80.0	-0.03	-0.02	-0.01	-0.02	0.08	-0.07
90.0	-0.03	-0.03	-0.02	-0.04	0.01	0.15
100.0	0.03	0.03	-0.03	0.15	-0.01	0.03
150.0	0.01	-0.02	-0.01	0.04	0.04	-0.17
200.0	-0.02	-0.03	-0.03	0.10	-0.33	0.18
250.0	-0.01	0.00	0.03	-0.31	0.02	0.10
300.0	-0.01	0.03	0.00	-0.15	0.10	-0.33
350.0	-0.02	-0.01	-0.02	-0.26	0.11	-0.10
400.0	-0.03	0.03	0.00	0.25	0.09	-0.02



Magnetic Field Linearity response for each axis at applied frequency of 50 Hz and magnetic flux density below
 The instrument was set with 100 Hz span.

Applied flux density (μT)	Deviation		
	X axis (dB)	Y axis (dB)	Z axis (dB)
0.2	0.03	-0.17	0.20
0.5	-0.01	-0.05	0.07
1.0	-0.03	0.00	0.05
3.0	0.00	-0.03	0.05
5.0	-0.03	-0.02	0.04
10	-0.02	-0.02	0.03
50	-0.18	-0.08	0.05
100	-0.10	-0.06	0.05
200	0.14	0.04	0.07

X axis linearity 0.16 dB
 Y axis linearity 0.10 dB
 Z axis linearity 0.08 dB



Narda Safety Test Solutions GmbH
 Sandwiesenstrasse 7 - 72793 Pfullingen - Germany
 Phone: +49 7121 9732 0 - Fax: +49 7121 9732 790




Calibration Certificate

Narda Safety Test Solutions GmbH hereby certifies that the referenced equipment has been calibrated by qualified personnel to Narda's approved procedures. The calibration was carried out within a certified quality management system conforming to ISO 9001.

OBJECT	Probe EF 0691, E-Field
MANUFACTURER	Narda Safety Test Solutions
PART NUMBER (P/N)	2402/14B
SERIAL NUMBER (S/N)	H-0548
CUSTOMER	
CALIBRATION DATE (YYYY-MM-DD)	2018-01-23
AMBIENT CONDITIONS	Temperature: (23 ± 3) °C Relative humidity: (20 to 60) %
CALIBRATION PROCEDURE	2402-8714-00A

ISSUE DATE: 2018-01-23
(YYYY-MM-DD)


 CALIBRATED BY
 M. Wittig


 AUTHORIZED SIGNATORY

MANAGEMENT SYSTEM



This calibration certificate may not be reproduced other than in full except with the permission of the issuing laboratory. Calibration certificates without signature are not valid.

Certified by DQS according to
 ISO 9001:2008
 (Reg.-No. 099379 QM08)

240214B-H0548-20180123-08610

PAGE 1 OF 5

Narda Safety Test Solutions GmbH
 Sandwiesenstrasse 7 - 72793 Pfullingen - Germany
 Phone: +49 7121 9732 0 - Fax: +49 7121 9732 790



METHOD OF MEASUREMENT

FREQUENCY RESPONSE / ISOTROPY

The calibration of the object was performed in the frequency domain using an unmodulated (CW) signal. The measurement involves the generation of a linearly polarized electromagnetic field, approximating to a plane wave, into which the object was placed.

The probe was aligned for maximum interception of the field, i.e. the handle of the probe was oriented in the otho-angle position (54.7° to the vertical E-field vector).

For each frequency the object was rotated about the axis of the handle while recording the readings continuously. After a full revolution of 360° was made the results are calculated from the recorded values.

$$E_{disp} = \sqrt{E_{min} \cdot E_{max}}$$

$$A = 20 \log_{10} \left(\frac{E_{max}}{\sqrt{E_{max} \cdot E_{min}}} \right) \text{dB}$$

The correction factor CF may be applied to compensate the systematic error due to frequency response.

$$CF = E_{cal} / E_{disp}$$

FIELD GENERATION

SETUP A (up to 18 GHz)

Calibration using a transfer standard. The probe is positioned with the boresight of a linearly polarized standard gain horn antennae. The field strength is set to a known value based on the power meter reading P_{cal} in reference to a calibrated sensor (E_{ref}, P_{ref}).

$$E_{cal} = E_{ref} \sqrt{P_{cal} / P_{ref}}$$

SETUP B (200 MHz to 1800 MHz)

Calibration using a transfer standard. The probe is mounted in front of a double balanced ridge horn antenna. The field strength is set to a known value based on the power meter reading P_{cal} in reference to a calibrated sensor (E_{ref}, P_{ref}).

$$E_{cal} = E_{ref} \sqrt{P_{cal} / P_{ref}}$$

SETUP C (up to 300 MHz)

Calibration using calculated field strength. A Crawford TEM cell is used to generate the known field strength E. The field strength is derived from TEM cell's septum height b, impedance Z₀ and from the output power of the cell. The output power measurement includes the power meter's corrected indication P_{cal} and a fixed attenuation D.

$$E_{cal} = \frac{\sqrt{P_{cal} \cdot D \cdot Z_0}}{b}$$

Narda Safety Test Solutions GmbH
 Sandwiesenstrasse 7 - 72793 Pfullingen - Germany
 Phone: +49 7121 9732 0 - Fax: +49 7121 9732 790



UNCERTAINTY

The measurement uncertainty stated in this document is the expanded uncertainty with a coverage factor of 1.96 (corresponding, in the case of normal distribution, to a confidence probability of 95%).

This statement of uncertainty applies to the measured values only and does not make any implementation or include any estimation as to the long-term stability of the calibrated device.

METROLOGICAL TRACEABILITY

The calibration results are traceable to SI-units according to ISO/IEC 17025. Physical units, which are not included in the list of accredited measured quantities such as field strength or power density, are traced to the basic units via approved measurement and computational methods.

The equipment used for this calibration is traceable to the standards listed below.

Reference- / Working- Standard	Manufacturer	Model	Serial- Number	Certificate- Number	CalDate	CalDue Date	Trace
SETUP A (up to 18 GHz)							
E-Field Reference Probe	Narda	EF1891	A-0093	2016100410-1	2016-11	2018-11	UKAS 0478
SETUP B							
E-Field Reference Probe	Narda	EF1891	A-0093	2016100410-1	2016-11	2018-11	UKAS 0478
SETUP C							
Calliper	Mauser	0-150mm	D/07 22206	14104159 D-K-15181-01-00	2014-02	#	DAkKS
Attenuator	Weinschel	49-20-33/44-10	KH-966/BS5534	429342 D-K-15012-01-00	2017-06	2020-06	DAkKS
Power Sensor	Rohde&Schwarz	NRV-Z51	100909	430968 D-K-15195-01-00	2017-07	2019-07	DAkKS
RF-Millivoltmeter	Rohde&Schwarz	URV55	100305	430966 D-K-15195-01-00	2017-07	2019-07	DAkKS

reference standard; not used for routine calibration

Narda Safety Test Solutions GmbH
 Sandwiesenstrasse 7 - 72793 Pfullingen - Germany
 Phone: +49 7121 9732 0 - Fax: +49 7121 9732 790



RESULTS

FREQUENCY RESPONSE / ANISOTROPY

These results describe the uncorrected frequency response of the object

Frequency MHz	<i>E.cal</i> V/m	<i>E.disp</i> V/m	<i>CF</i>	<i>U</i> dB	<i>A</i> dB
0.10	27.28	18.06	1.51	0.60	0.21
0.15	27.40	21.18	1.29	0.60	0.21
0.20	27.47	22.90	1.20	0.60	0.17
0.30	27.46	24.64	1.11	0.60	0.15
1.00	27.45	26.62	1.03	0.60	0.08
3.00	27.26	25.75	1.06	0.60	0.06
10.00	27.26	25.82	1.06	0.60	0.06
27.12	27.26	26.14	1.04	0.60	0.06
100.00	27.24	27.55	0.99	0.80	0.06
200.00	27.48	27.06	1.02	0.80	0.07
300.00	27.26	26.08	1.05	0.80	0.06
500.00	27.39	28.98	0.95	1.40	0.09
750.00	27.37	25.71	1.06	1.40	0.04
1000.00	27.39	26.22	1.04	1.50	0.05
1800.00	27.56	28.22	0.98	1.20	0.22
2450.00	27.68	29.81	0.93	1.20	0.14
2700.00	27.67	28.79	0.96	1.20	0.15
3000.00	27.46	28.86	0.95	1.20	0.43
4000.00	27.47	25.50	1.08	1.20	0.61
5000.00	27.45	22.22	1.24	1.20	0.57
6000.00	27.46	20.01	1.37	1.20	0.91

The correction factor *CF* is stored in the memory chip.
 If the probe is connected to a NBM-550 Field Meter the correction may be enabled (Apply Correction
 Frequency = ON)

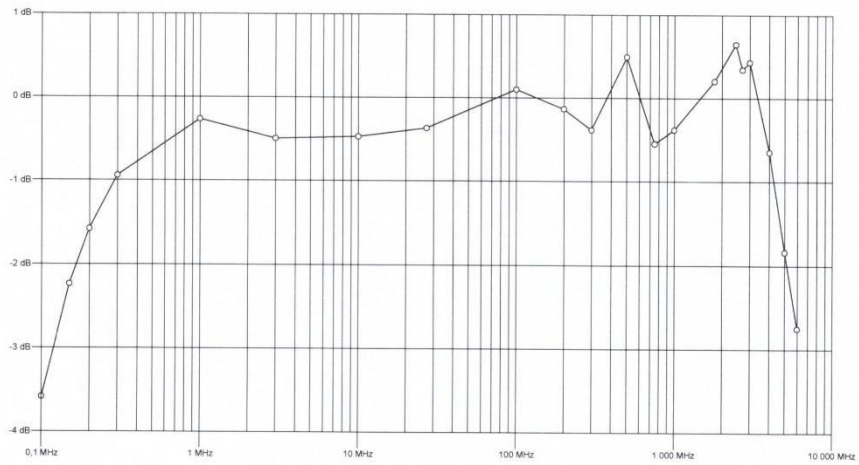
Gain factor (informative)
 k0: 0.948

Narda Safety Test Solutions GmbH
 Sandwiesenstrasse 7 - 72793 Pfullingen - Germany
 Phone: +49 7121 9732 0 - Fax: +49 7121 9732 790

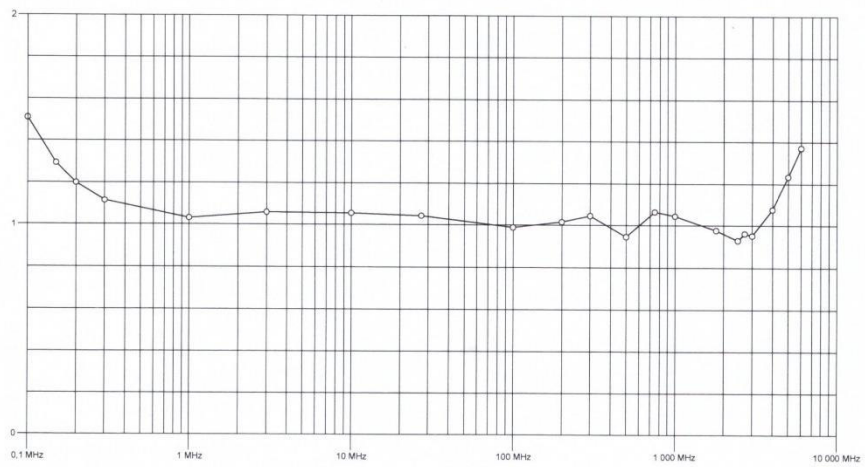


These results describe the uncorrected frequency response of the object
 (with NBM-550: Apply Frequency Correction OFF)

Frequency Response



Correction Factor



Apéndice C: Documentación técnica de los equipos biomédicos de rehabilitación

ENRAF-NONIUS


CURAPULS 970

UNIT FOR CONTINUOUS AND PULSED SHORTWAVE THERAPY



CONTINUOUS AND PULSED OUTPUT

The continuously adjustable intensity and the output of 400 Watt provide optimum application possibilities. Continuous shortwave therapy increases the circulation and stimulates the metabolism. The pulsed peak power can be set to a maximum of 1000 Watts. The related average power is, however, much lower. Biological processes, which should not be heat-treated, can therefore be treated a-thermally.

THE ELECTRODES

An electrical field can be created with the disc electrodes or the rubber electrodes, depending on the shape and size of the body part to be treated. A choice can be made from a wide range of capacitive electrodes. A magnetic field can be created with the Circuplode or with the Flexiplode. The treatment planes of the Flexiplode can be adjusted to fit the body part.

STRIKING EFFECTS

Besides the well known effects of heat therapy with continuous radiation, the unit's pulsed mode will stimulate wound healing, oedema and haematoma absorption, pain reduction and stimulation of the peripheral circulation.

EASY TO MOVE

Four large wheels make the Curapuls 970 easy to move within your practice. Two wheels can be locked to immobilise the unit.

- Continuous and pulsed output
- Conveniently arranged display
- Wide range of electrodes
- Four large castors
- Adjustable electrode arms

CONTINUOUS AND PULSED SHORTWAVE THERAPY

Apart from the therapeutic effect of pulsed shortwave therapy, as described with the Curapuls 670, continuous shortwave therapy can also be applied with the the Curapuls 970, the real diathermy. By using the different methods of placing the electrodes (transverse, longitudinal or co-planary), or by using different sized electrodes, a thermal effect can be obtained in selected parts of the body. As the continuous output also has a stronger effect in the surface layers, the patient will also experience a strong thermal effect.

31-10-2012 - Enraf-Nonius Electro
WWW.ENRAF-NONIUS.COM

ENRAF-NONIUS

CURAPULS 970



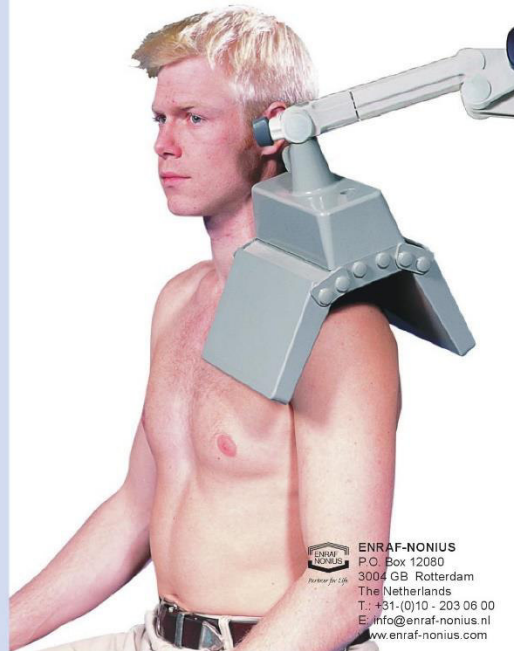
Partner for Life

1419942 CURAPULS 970**STANDARD ACCESSORIES**

1419751	Operating manual Curapuls 970
3441306	Neon checklight for Curapuls 970
1462531	Disc (Schliephake) electrode Ø 130 mm for Curapuls 970, 2x
1462414	Cable clamp for Curapuls 970, 2x
1462416	Electrode cable for Curapuls 970, 2x
1462540	Electrode arm white, for Curapuls, 2x

TECHNICAL SPECIFICATIONS

Generator frequency:	27.12 MHz, $\pm 0.6\%$
Output power:	continuous HF max. 400 W, pulsed HF max. 1000 W (peak)
Pulse duration:	ca. 400 μ s
Pulse repetition frequency:	15-200 Hz adjustable in 10 steps
Mains supply:	230-240 V / 50 Hz
Mains voltage variation:	approx. $\pm 10\%$
Current consumption:	approx. 6 A (at 230 V)
Dimensions (wxdxh, without arms):	56x43x92.5 cm
Length electrode arms:	93 cm
Weight:	ca. 80 kg



ENRAF-NONIUS
P.O. Box 12080
3004 GB Rotterdam
The Netherlands
T.: +31-(0)10 - 203 06 00
E: info@enraf-nonius.nl
www.enraf-nonius.com

WWW.ENRAF-NONIUS.COM

ACCESSORIES CURAPULS 970



OPTIONAL ACCESSORIES

1462540	Electrode arm white, for Curapuls
1462416	Electrode cable for Curapuls 970
1462443	Adapter for Circuplode Ø 140 mm 1462453
1462453	Circuplode Ø 140 mm
3441301	Flexible rubber electrode 12x12 cm
3441300	Flexible rubber electrode 9,5x10 cm
3441302	Flexible rubber electrode 15x25 cm
3441356	Felt spacer 10,5x15 cm, for flexible electrode 9,5x10 cm (3441300)
3441347	Felt spacer 13x17 cm, for flexible electrode 12x12 cm (3441301)
3441346	Felt spacer 16x30 cm, for flexible electrode 15x25 cm (3441302)
1462531	Disc (Schliephake) electrode Ø 130 mm
1462533	Disc (Schliephake) electrode Ø 42 mm
1462532	Disc (Schliephake) electrode Ø 85 mm
1462423	Flexiplode for Curapuls 970
3441306	Neon checklight for Curapuls 970
1462461	Indicator for Circuplode 1462453
1462414	Cable clamp for Curapuls 970, 2x
1462417	Two-way plug, for multi-electrode technique, for Curapuls 970
1480803	Earth potential-equalization cable 5 m



FLEXIPLODE & CIRCUPLODE

Induction electrodes are particularly well-suited for the treatment of deeper-lying tissues. The adjustable treatment planes of the Flexiplode ensure optimum adaptation to the body surface. The large surface totalling 412x225 mm enables treatment of larger body parts in one application.



FURNITURE FOR SHORTWAVE AND MICROWAVE

Special for treatment with shortwave and microwave equipment we offer various furniture, that is completely free of metal. The generated field of the equipment will not be affected and there won't occur any heat concentrated areas.



3441337	Treatment chair, clear lacquered wood
3441401	Treatment couch, clear lacquered wood, 190x60x75 cm
3441338	Footrest, clear lacquered wood



BTL-6000 Shortwave 400

- State-of-art device for high-frequency heat therapy
- Intuitive operation via the touch screen
- Pre-set therapy protocols
- Encyclopaedia with applicator placement images
- Fully adjustable six jointed arms enable comfortable treatment from achillodynia to migraine
- A wide range of applicators assures maximum therapeutic effects

Ordering no:
P6000.310v100



main features

- Capacitive and inductive applicators
- One channel capacitive field
- One or two channels inductive field
- Continuous and pulsed mode (thermal + a-thermal treatment)
- Easy applicator swapping
- Advance automatic tuning system and patient safety-switch ensure maximal power & safety
- Power up to 400W for optimal application possibilities (200W continual)

technical parameters

Model	BTL-6000 SHORTWAVE 400	BTL-6000 SHORTWAVE 200
Ordering number		
Display	Colour 5.7" touch-screen	Colour 5.7" touch-screen
Inductive / Capacitive	1 or 2 channels inductive 1 channel capacitive	1 or 2 channels inductive
Power	400W Pulse 200W Continuous	200W Pulse 100W Continuous
Preset Protocols	BTL encyclopaedia 62 indications	BTL encyclopaedia 62 indications
User Programmes	100 user-defined programmes	100 user-defined programmes
Pulse Frequency	50 - 1500Hz	50 - 1500Hz
Pulse Length	50 - 2000µs	50 - 2000µs

MEDITEA 

MAGNETHERP® 440

Equipo de Magnetoterapia





ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Especificaciones Técnicas Generales		
Tipo de Protección frente a descargas eléctricas	Clase I	
Grado de protección frente a descargas eléctricas	Tipo BF	
Protección contra ingreso de agua	Sin protección, IPX0	
Método de esterilización	No requiere	
Modo de funcionamiento	Continuo	
Tensión de alimentación	220 V~ Alterna monofásica senoidal	
Frecuencia de alimentación	50 Hz	
Potencia de entrada máxima	420 VA	
Fusibles de Línea	T4AL / 250 V~ (x 2)	
Dimensiones	37x20x44 cm	
Peso	14 kgr	
Clasificación según Disposición ANMAT N°2318/02	Clase II	
Clasificación según MDD93/42	Clase IIa	
Versión de Software	v1	
Especificaciones Técnicas de Salida		
Máxima densidad de flujo magnético	50 mT (500 g) ± 20 % cada bobina	
Frecuencia	1 a 10 Hz en pasos de 1 Hz 10 a 70 Hz en pasos de 10 Hz Barrido de 1 a 10 Hz Barrido de 10 a 100 Hz	
Especificación técnica de la Bobina Plana P 190		
Dimensiones	Diámetro: 13,5 cm – Altura: 2,5cm	
Peso	1 kgr	
Especificación técnica de la Campo Envoltante C 140		
Dimensiones	Diámetro: 23,5 cm – Largo: 19 cm	
Peso	4,2 kgr	
Condiciones Medio Ambientales		
	Transporte y almacenaje	Uso
Temperatura Ambiental	-5° a +50 °C	10° a 40 °C
Humedad relativa	20 a 90 %	20 a 90 %
Presión Atmosférica	600 a 1060 hPa	600 a 1060 hPa
Equipo no adecuado para usarse en presencia de mezcla anestésica inflamable con aire, con oxígeno, o con óxido nítrico.		



DESCRIPCIÓN TÉCNICA

El equipo **Magnetherp 440®** le ofrece al profesional una amplia gama de opciones en los programas y en la combinación que se puede hacer con ellos. Además posee programas configurados por afección.

Programas configurables por el profesional

Son 12 programas con distintos tipos de forma de onda emitida, y que pueden ser combinados de a tres dentro de una sesión. Los parámetros que se pueden configurarse son:

- Frecuencias fijas seleccionables: 1 a 10 Hz en pasos de 1 Hz, y 10 a 70 Hz en pasos de 10 Hz
- Frecuencias variables: Barrido de 1 a 10 Hz o 10 Hz a 100Hz
- Densidad de flujo magnético: Nivel de salida máximo 50 mT (500 g)
- Temporizador: Tiempo de programas de 5 a 60 minutos en pasos de 5 minutos. El tiempo total de sesión siempre es de 60 minutos (si combina 3 programas que sume más de 60 minutos de sesión, los dos últimos programas se ejecutarán con sus tiempos elegidos, y el primer programa se ejecutará solo el tiempo que reste para completar el máximo de 60 minutos).

Programas configurados por afección

Son 12 programas que combinan configuraciones particulares de los programas anteriores para facilitar la terapia, según las siguientes afecciones:

- Retardo de cicatrización
- Ulceras crónicas
- Pseudoartrosis
- Enfermedades degenerativas del aparato locomotor
- Artrosis
- Fracturas recientes
- Procesos inflamatorios infecciosos
- Osteomielitis
- Sinusitis
- Reumatismo inflamatorio
- Artrosis reumatoidea
- Osteoartritis
- Lesiones nerviosas periféricas
- Isquemias
- Angiopatía diabética
- Procesos inflamatorios agudos postraumáticos
- Esguinces

Alimentación eléctrica del equipo

El equipo **MAGNETHERP® 440** está preparado para ser alimentado con una tensión nominal de 220 V~ alterna senoidal monofásica, con una tolerancia de ± 10 %. La frecuencia nominal de la red deberá ser de 50 Hz. No obstante, a pedido expreso puede prepararse al equipo apto para funcionar con instalaciones eléctricas de tensión nominal 110 V~ y frecuencia 60 Hz.



Asegúrese que la instalación eléctrica a la cual el equipo vaya a ser conectado cuente necesariamente con una **puesta a tierra adecuada**. Si esto no fuera así, se recomienda dar parte a un electricista matriculado para realizar la instalación de la puesta a tierra antes mencionada. Recomendamos no dejar de lado este aspecto puesto que la presencia de una puesta a tierra en la instalación contribuye a una operación segura del equipo.


Notar también que el cable de alimentación del equipo posee en uno de sus extremos una etiqueta que indica que, al tratarse de un **Equipo Clase I**, no se debe eliminar la espiga de tierra de la ficha de alimentación colocando por ejemplo un adaptador de 3 a 2 espigas.

El consumo de potencia máximo realizado por el **MAGNETHERP® 440** es 420 VA.

Apéndice D: Documentación de las jornadas de medición



Apéndice D.1: Documentación de las jornadas de medición clínica Jesús del Norte



 UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y ELÉCTRICA 	
Jornada de Medición N°	
Centro de Salud: Clínica Jesús del Norte	
Dirección: Av. Carlos Izaguirre 159, Independencia 15311	
Fecha: 18/12/18	Hora: 5:00 pm
Encargado: Ing. Julio Obregon Tinocco	Telf.: +51931282441
Miembros del grupo técnico	
Nombres y apellidos	Cargo
Alembert E. Lino Alvarado	Tesista
Marco Quispe Choquehuanca	Responsable FIEE
Entorno Físico	
UPSS: Terapia Física y Rehabilitación	
Número de cubículos: 20	Área de la UPSS: 120 m2
Cubículo evaluado: Terapia adulta 16	
Área de trabajo personal médico:	
Equipo Medido	
Equipamiento: Diatermia de onda corta	Modelo: BTL 6000
Marca: BTL	Serie: 013-B-0403
Dimensiones: 60x45x90 cm	Frecuencia de operación: 27.12 MHz
Potencia de salida: Continuo 400 W, pico 1000 W	Polarización: Desconocida
Antigüedad: 8 años	Fecha de mantenimiento: 24/09/18
Medición Base	
Existe interferencia	Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>
Observación:	
Simulación Clínica	
Modo de terapia: Continua	Potencia de salida: 100 W
Aplicador: Capacitivo	Tiempo: 20 minutos
Frecuencia de repetición de pulsos: 200 Hz	Control de intensidad: No presenta
Otros:	
Cumplimiento de la Norma ICNIRP 19998	
Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>	Observación:
Area de seguridad	
Definido de acuerdo al protocolo de medición	

		UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y ELÉCTRICA											
Medición de Radiaciones no Ionizantes													
Hospital	Clínica Jesus del Norte												
Fecha	18/12/2018												
UPSS	Terapia Física y Rehabilitación												
Cubiculo	Terapia Adulta 16												
Tesista	Alembert E. Lino Alvarado												
Medición de Campo Eléctrico [V/m]						Medición de Campo Magnético [A/m]							
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
A	2.014	3.020	35.287	12.331	1.764		A	0.022	0.024	0.032	0.043	0.038	
B	2.058	2.371	144.239	163.385	7.415		B	0.022	0.021	0.054	0.034	0.041	
C	0.886	1.047	3.277	23.383	63.663		C	0.020	0.019	0.027	0.040	0.025	
D	0.558	0.795	0.733	2.810	5.770		D	0.029	0.017	0.018	0.018	0.017	
E							E						
F							F						
Relación Porcentual con respecto al ICNIRP													
Medición de Campo Eléctrico [%]						Medición de Campo Magnético [%]							
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
A	3.302	4.951	57.848	20.215	2.892		A	13.688	14.688	20.125	27.125	23.750	
B	3.374	3.887	236.457	267.844	12.156		B	13.500	13.250	34.000	21.375	25.438	
C	1.452	1.716	5.372	38.333	104.366		C	12.375	11.938	16.875	24.875	15.625	
D	0.915	1.303	1.202	4.607	9.459		D	18.188	10.813	11.500	11.313	10.313	
E							E						
F							F						

Apéndice D.2: Documentación de las jornadas de medición Hospital Nacional Guillermo

Almenara Irigoyen

 UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y ELÉCTRICA 			
Jornada de Medición N°			
Centro de Salud: Hospital Nacional Guillermo Almenara Irigoyen			
Dirección: Av. Miguel Grau 800, La Victoria 15033			
Fecha: 21/12/18	Hora: 11:00 am		
Encargado: Ing. Ricardo Venancio	Tel.: +51943518836		
Miembros del grupo técnico			
Nombres y apellidos	Cargo		
Alembert E. Lino Alvarado	Tesista		
Marco Quispe Choquehuanca	Responsable FIEE		
Entorno Físico			
UPSS: Terapia Física y Rehabilitación			
Número de cubículos: 4	Área de la UPSS: 36 m2		
Cubículo evaluado: Terapia adulta 01			
Área de trabajo personal médico: Dentro del cubículo de terapia			
Equipo Medido			
Equipamiento: Diatermia de onda corta	Modelo: Curaplus 970		
Marca: Curaplus	Serie: 29817		
Dimensiones: 55x43x92.5 cm	Frecuencia de operación: 27.12 MHz		
Potencia de salida: Continuo 400 W, pico 1000 W	Polarización: Desconocida		
Antigüedad: 8 años	Fecha de mantenimiento: 24/09/18		
Medición Base			
Existe interferencia	Si	No	
Observación:			
Simulación Clínica			
Modo de terapia: Continua	Potencia de salida: 400 W		
Aplicador: Capacitivo	Tiempo: 20 minutos		
Frecuencia de repetición de pulsos: 200 Hz	Control de intensidad: Nivel 2		
Otros:			
Cumplimiento de la Norma ICNIRP 19998			
Si	No	Observación:	
Area de seguridad			
No es posible determinar			

		UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y ELÉCTRICA					
Medición de Radiaciones no Ionizantes							
Hospital	Hospital Nacional Guillermo Almenara Irigoyen						
Fecha	21/12/2018						
UPSS	Terapia Física y Rehabilitación						
Cubiculo	Terapia Adulta 01						
Tesista	Alembert E. Lino Alvarado						
Medición de Campo Eléctrico [V/m]				Medición de Campo Magnético [A/m]			
	1	2	3	4	5	6	
A	59.902	340.121	202.816	40.531			A
B	31.188	1016.372	1002.818	134.268			B
C	332.300	351.143	342.160	87.235			C
D	20.745	160.348	335.188	64.563			D
E							E
F							F
Relación Porcentual con respecto al ICNIRP							
Medición de Campo Eléctrico [%]				Medición de Campo Magnético [%]			
	1	2	3	4	5	6	
A	98.2	557.576	332.485	66.445			A
B	51.128	1666.18	1643.96	220.11			B
C	544.75	575.645	560.918	143.01			C
D	34.008	262.865	549.488	105.84			D
E							E
F							F



**UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y ELÉCTRICA**





Jornada de Medición N°			
Centro de Salud: Hospital Nacional Guillermo Almenara Irigoyen			
Dirección: Av. Miguel Grau 800, La Victoria 15033			
Fecha: 22/02/19		Hora: 1:00 pm	
Encargado: Ing. Ricardo Venancio		Telf.: +51943518836	
Miembros del grupo técnico			
Nombres y apellidos		Cargo	
Alembert E. Lino Alvarado		Tesista	
Marco Quispe		Responsable UNMSM	
Entorno Físico			
UPSS: Terapia Física y Rehabilitación			
Número de cubículos: 4		Área de la UPSS: 36 m2	
Cubículo evaluado: Terapia adulta 02			
Área de trabajo personal médico: Dentro del cubículo de terapia			
Equipo Medido			
Equipamiento: Diatermia de onda corta		Modelo: Curaplus 970	
Marca: Curaplus		Serie: 29829	
Dimensiones: 55x43x92.5 cm		Frecuencia de operación: 27.12 MHz	
Potencia de salida: Continuo 400 W, pico 1000 W		Polarización: Desconocida	
Antigüedad: 8 años		Fecha de mantenimiento:	
Medición Base			
Existe interferencia	Si	No	
Observación:			
Simulación Clínica			
Modo de terapia: Continua		Potencia de salida: 400 W	
Aplicador: Capacitivo		Tiempo: 20 minutos	
Frecuencia de repetición de pulsos: 200 Hz		Control de intensidad: Nivel 8	
Otros:			
Cumplimiento de la Norma ICNIRP 19998			
Si	No	Observación:	
Area de seguridad			
Definido de acuerdo al protocolo de medición			

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y ELÉCTRICA															
Medición de Radiaciones no Ionizantes															
Hospital		Hospital Nacional Guillermo Almenara Irigoyen													
Fecha		22/02/2019													
UPSS		Terapia Física y Rehabilitación													
Cubiculo		Terapia Adulta 02													
Tesisista		Alembert E. Lino Alvarado													
Medición de Campo Eléctrico [V/m]							Medición de Campo Magnético [A/m]								
		1	2	3	4	5	6			1	2	3	4	5	6
A		8.2071	29.199	118.537	19.511			A		0.06248	0.60951	0.78544	0.12044		
B		7.4658	85.674	1082.47	5.2975			B		1.48726	2.65031	2.72767	0.11255		
C		6.6251	25.3945	70.8763	15.446			C		0.74912	1.08239	0.65185	0.48051		
D		4.846	9.20445	10.8324	7.5529			D		0.08543	0.1254	0.23591	0.0464		
E								E							
F								F							
Relación Porcentual con respecto al ICNIRP															
Medición de Campo Eléctrico [%]							Medición de Campo Magnético [%]								
		1	2	3	4	5	6			1	2	3	4	5	6
A		13.454	47.8671	194.323	31.985			A		39.052	380.944	490.899	75.276		
B		12.239	140.449	1774.54	8.6844			B		929.538	1656.444	1704.796	70.343		
C		10.861	41.6303	116.191	25.321			C		468.202	676.492	407.408	300.321		
D		7.9443	15.0893	17.7581	12.382			D		53.392	78.374	147.443	29.002		
E								E							
F								F							

Apéndice D.3: Documentación de las jornadas de medición Hospital de Emergencias

Villa el Salvador

 UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y ELÉCTRICA 	
Jornada de Medición N°	
Centro de Salud: Hospital de Emergencias Villa El Salvador	
Dirección: 200 Millas 14, Villa EL Salvador 15842	
Fecha: 06/12/18	Hora: 2:00 pm
Encargado: Ing. Eric Valentin	Tel.: +51984526101
Miembros del grupo técnico	
Nombres y apellidos	Cargo
Alembert E. Lino Alvarado	Tesista
Marco Quispe Choquehuanca	Responsable FIEE
Entorno Físico	
UPSS: Terapia Física y Rehabilitación	
Número de cubículos: 4	Área de la UPSS: 60 m2
Cubículo evaluado: 01	
Área de trabajo personal médico: No presenta	
Equipo Medido	
Equipamiento: Equipo de terapia de pulsos	Modelo: Magnetherp 440
Marca: Magnetherp	Serie: 568601180200
Dimensiones: 37x20x44 cm	Frecuencia de operación: 1-70 Hz
Potencia de salida: 420 VA	Polarización: Desconocida
Antigüedad: 2 años	Fecha de mantenimiento: 14/08/2018
Medición Base	
Existe interferencia	Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>
Observación:	
Simulación Clínica	
Modo de terapia: Pulsante	Potencia de salida: 400 W
Aplicador: Bobina	Tiempo: 10 minutos
Frecuencia: 60Hz	Control de intensidad: 20 mT
Otros:	
Cumplimiento de la Norma ICNIRP 19998	
Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Observación:
Area de seguridad	



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR
DE SAN MARCOS
FACULTAD DE INGENIERÍA
ELECTRÓNICA Y ELÉCTRICA





Medición de Radiaciones no Ionizantes													
Hospital	Hospital de Emergencias Villa El Salvador												
Fecha	6/12/2018												
UPSS	Terapia Física y Rehabilitación												
Cubiculo	1												
Tesista	Alembert E. Lino Alvarado												
Medición de Campo Eléctrico [V/m]						Medición de Campo Magnético [uT]							
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
A	3.452	3.761	15.234				A	0.2726	15.45	14.23			
B	4.711	12.472	13.448				B	5.3286	111	38.81			
C	8.195	14.306	5.752				C	0.2726	40.95	29.11			
D	3.494	14.105	17.265				D	1.052	2.741	3.745			
E	4.462	9.404	17.743				E	0.0431	0.51	4.831			
F	5.817	5.951	7.362				F	0.0174	0.0453	0.491			
Relación Porcentual con respecto al ICNIRP													
Medición de Campo Eléctrico [%]						Medición de Campo Magnético [%]							
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
A	0.0414	0.0451	0.1828				A	0.065	3.708	3.415			
B	0.0565	0.1497	0.1614				B	1.279	26.640	9.314			
C	0.0983	0.1717	0.0690				C	0.065	9.828	6.986			
D	0.0419	0.1693	0.2072				D	0.252	0.658	0.899			
E	0.0535	0.1128	0.2129				E	0.010	0.122	1.159			
F	0.0698	0.0714	0.0883				F	0.004	0.011	0.118			



**UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y ELÉCTRICA**



Jornada de Medición N°			
Centro de Salud: Hospital de Emergencias Villa El Salvador			
Dirección: 200 Millas 14, Villa EL Salvador 15842			
Fecha: 07/12/18		Hora: 2:00 pm	
Encargado: Ing. Eric Valentin		Telf.: +51984526101	
Miembros del grupo técnico			
Nombres y apellidos		Cargo	
Alembert E. Lino Alvarado		Tesista	
Marco Quispe Choquehuanca		Responsable FIEE	
Entorno Físico			
UPSS: Terapia Física y Rehabilitación			
Número de cubículos: 4		Área de la UPSS: 60 m2	
Cubículo evaluado: 01			
Área de trabajo personal médico: No presenta			
Equipo Medido			
Equipamiento: Equipo de terapia de pulsos		Modelo: Magnetherp 440	
Marca: Magnetherp		Serie: 5686111709	
Dimensiones: 37x20x44 cm		Frecuencia de operación: 1-70 Hz	
Potencia de salida: 420 VA		Polarización: Desconocida	
Antigüedad: 2 años		Fecha de mantenimiento: 14/08/2018	
Medición Base			
Existe interferencia	Si	No	
Observación:			
Simulación Clínica			
Modo de terapia: Pulsante		Potencia de salida: 400 W	
Aplicador: Bobina		Tiempo: 10 minutos	
Frecuencia: 50Hz		Control de intensidad: 20 mT	
Otros:			
Cumplimiento de la Norma ICNIRP 19998			
Si	No	Observación:	
Area de seguridad			

 <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y ELÉCTRICA </div> 													
Medición de Radiaciones no Ionizantes													
Hospital	Hospital de Emergencias Villa El Salvador												
Fecha	7/12/2018												
UPSS	Terapia Física y Rehabilitación												
Cubiculo	2												
Tesista	Alembert E. Lino Alvarado												
Medición de Campo Eléctrico [V/m]						Medición de Campo Magnético [uT]							
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
A	4.646	8.636	4.433				A	7.439	4.6094	2.0569			
B	20.531	40.33	9.031				B	9.0283	19.5228	2.1046			
C	22.983	35.482	30.745				C	13.3685	20.7132	2.348			
D	39.642	32.578	39.459				D	10.9398	4.0424	2.1288			
E	12.537	32.7	19.076				E	1.5942	1.6966	0.92			
F							F						
Relación Porcentual con respecto al ICNIRP													
Medición de Campo Eléctrico [%]						Medición de Campo Magnético [%]							
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
A	0.0465	0.08636	0.04433				A	1.488	0.922	0.411			
B	0.2053	0.4033	0.09031				B	1.806	3.905	0.421			
C	0.2298	0.35482	0.30745				C	2.674	4.143	0.470			
D	0.3964	0.32578	0.39459				D	2.188	0.808	0.426			
E	0.1254	0.327	0.19076				E	0.319	0.339	0.184			
F							F						