

Universidad Católica de Santa María
Escuela de Postgrado
Maestría en Planificación y Gestión Ambiental



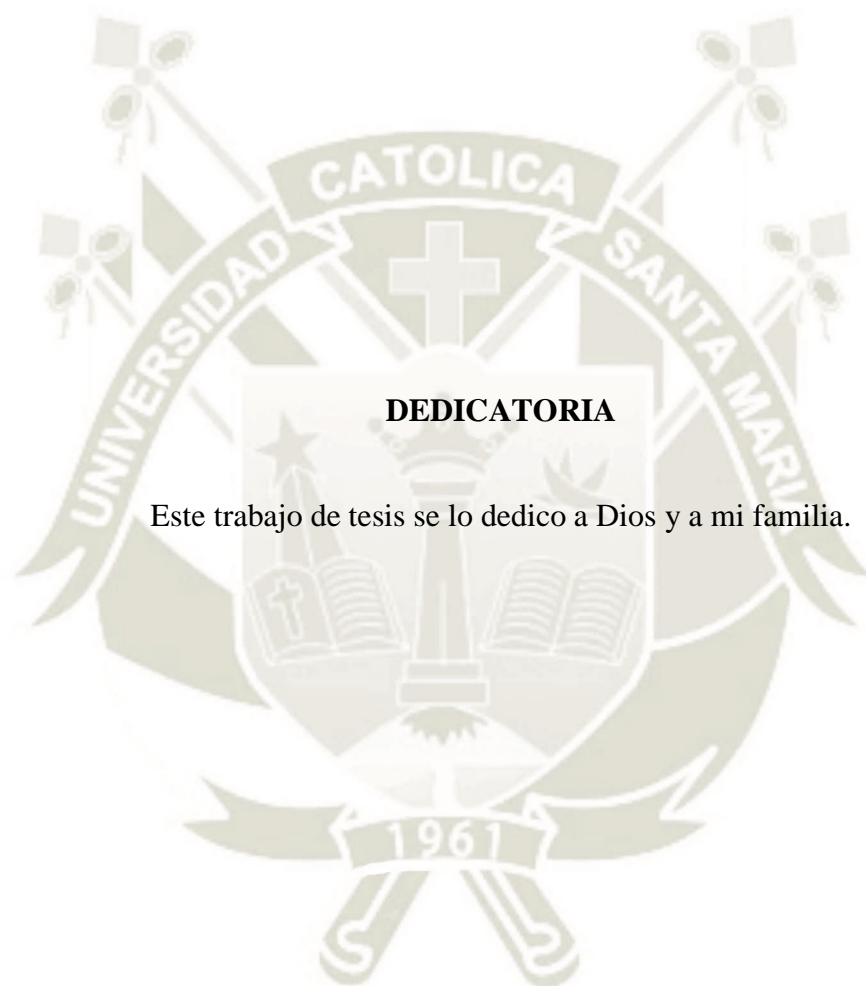
**MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS NIVELES DE
ELECTROSMOG (RF) GENERADO POR EL
ESTÁNDAR 802.11 (WI-FI) EN LAS ÁREAS DE
EXPOSICIÓN OCUPACIONAL**

Tesis presentada por el Bachiller:
Loaiza Valdeiglesias, Juan Carlos
Para optar el Grado Académico de:
**Maestro en Planificación y Gestión
Ambiental.**

Asesor:
Dr. Bernabé Ortiz, Julio Cesar

Arequipa – Perú

2020



DEDICATORIA

Este trabajo de tesis se lo dedico a Dios y a mi familia.



EPÍGRAFE

“Apaga el WIFI, conéctate por cable” [1]

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo de tesis es un esfuerzo y un logro muy importante en mi vida, en lo personal, en lo profesional. Agradezco primero a Dios y a mi familia por darme la fé y el apoyo en este duro y largo camino que hoy se hace realidad. En especial a mi esposa Lizandra y a mis hijos Mathias, Leonardo, Christian y Estefano por confiar en mí y estar siempre a mi lado. A mis padres y hermanos por su apoyo en todo éste período.

Al director de Tesis, Doctor. Julio Cesar Bernabé Ortiz, y a la Doctora Karina Rosas, por compartir sus conocimientos y metodología por ayudarme y guiarme a través de la investigación.

De forma especial, agradezco a la Universidad Católica San Pablo, por guiarme dentro del mundo de las redes, las telecomunicaciones y el electromagnetismo, por la orientación y el apoyo incondicional brindado para lograr finalizar la investigación.

Muchísimas gracias a todos.

ÍNDICE

LISTA DE ABREVIATURAS

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN.....	1
ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	3
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	5
HIPÓTESIS	6
OBJETIVOS, ALCANCES Y LIMITACIONES	7
Objetivo General:	7
Objetivos específicos:	7
Alcances:	7
Limitaciones:.....	7
CAPITULO I.....	8
MARCO TEÓRICO	8
1.1. Marco Conceptual.....	8
1.2. RADIACIÓN	9
1.2.1. Definición:.....	9
1.2.2. Tipos de radiación:	9
1.2.2.1. La radiación electromagnética:	9
1.2.2.2. La radiación atómica:	9
1.2.2.3. La radiación solar:	9
1.2.2.4. La radiación ionizante:	9
1.2.2.5. La radiación No ionizante:.....	10
1.3. ELECTROSMOG.....	10
1.3.1. Definición:.....	10
1.4. CAMPOS ELÉCTRICOS.....	11

1.4.1.	Definición	11
1.5.	CAMPOS MAGNÉTICOS.....	12
1.5.1.	Definición	12
1.6.	CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS (CEM)	13
1.7.	ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO:.....	13
1.8.	RADIOFRECUENCIA:	15
1.9.	RADIACIÓN IONIZANTE	16
1.9.1.	Categorías de exposición:	17
1.10.	RADIACIÓN NO IONIZANTE	17
1.11.	CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS DE RADIOFRECUENCIA (CEM-RF).....	19
1.11.1.	ANTENAS.....	19
1.11.2.	TIPOS DE ANTENAS.....	19
1.11.2.1.	Antenas Direccionales:.....	20
1.11.2.2.	Antenas Omnidireccionales:.....	21
1.11.2.3.	Antenas Sectoriales:	22
1.12.	EXPOSICIÓN AL ELECTROSMOG.....	23
1.12.1.	Exposición Ocupacional:	23
1.12.2.	Exposición Poblacional:.....	24
1.13.	TASA DE ABSORCIÓN ESPECÍFICA.....	24
1.14.	LMP Y ECAS.....	25
1.14.1.	Para exposición ocupacional [43]:	26
1.14.2.	Para exposición poblacional [43] :.....	27
1.14.3.	Comparación de los Niveles de Exposición.....	28
1.15.	MARCO LEGAL.....	29
1.16.	Ámbito Internacional.....	29
1.16.1.	Normas y Directrices.....	29

1.17.	ÁMBITO NACIONAL	31
1.18.	TECNOLOGÍAS ECO-AMIGABLES	32
CAPITULO II.....		35
METODOLOGÍA.....		35
2.	Metodología	35
2.1.	Estrategias Metodológicas	35
2.1.1.	Observación.....	35
2.1.2.	Encuestas	36
2.1.3.	Mediciones.....	36
2.1.4.	Estado del arte	36
2.1.5.	Equipo para la medición del Electromog generado por Wi-Fi.....	39
2.1.6.	Puntos de Medición para los Puntos de Acceso Wi-Fi y equipos inalámbricos.	40
2.1.7.	Ubicación del área de medición y características del entorno (Vista aérea de la Zona).....	43
2.1.8.	Metodología de medición.....	46
CAPITULO III		50
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		50
3.1	Resultados de medición en el entorno.....	50
3.1.1	Resultados de las pruebas con los Access Points y dispositivos Wi-Fi operando.....	51
3.2	Discusión.....	56
3.2.1	Aplicación de la incertidumbre relacionada al equipo en mediciones promedio de tiempo y espacio.....	56
3.2.2	Impacto del estándar 802.11x (Wi-Fi) en la exposición a RF.	56
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES,		58
Conclusiones.....		58
Recomendaciones.....		59
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		60

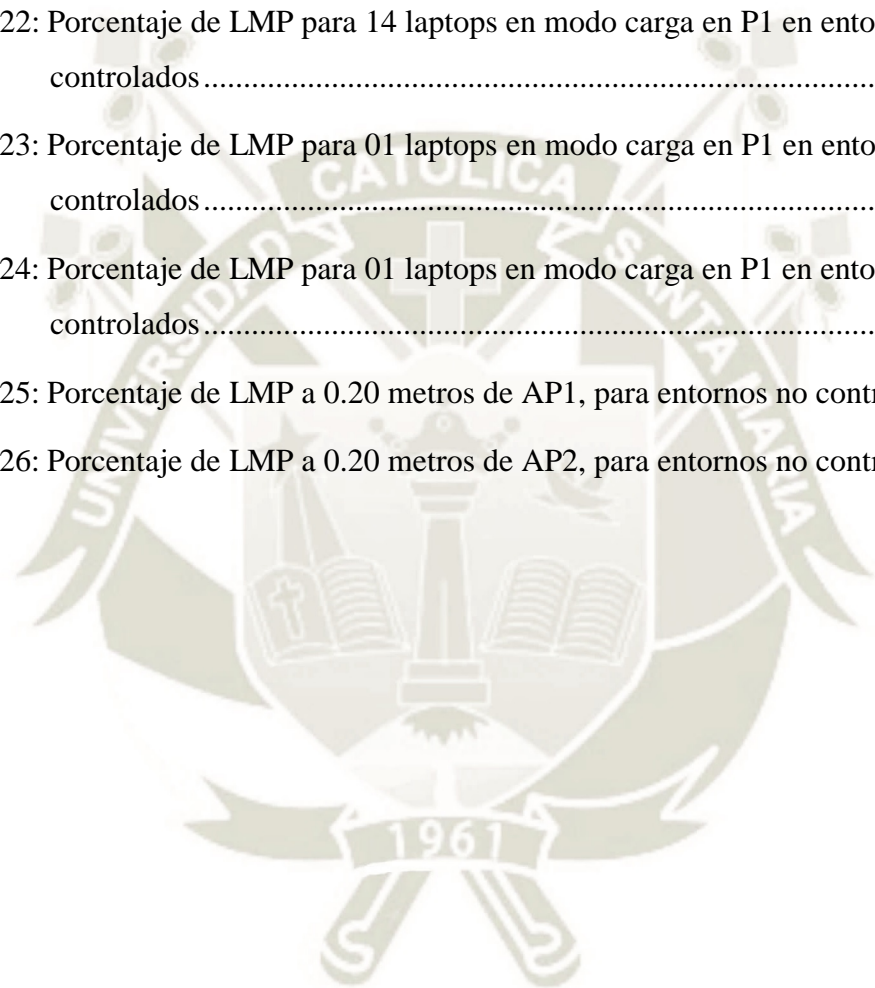
ANEXOS.....	63
ANEXO A: Estándar Wi-Fi y Grado de Incertidumbre de los Equipos de Medición.....	63
ANEXO B: Medición en Zonas de Campo Cercano y Lejano	66
ANEXO C: Relevamiento Fotográfico	67
ANEXO D: Resultados Detallados de las Mediciones.....	71



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Rangos de Radio Frecuencia	15
Tabla 2. Límites Máximos Permisibles de Radiaciones No Ionizantes para Exposición Ocupacional	26
Tabla 3. Límites Máximos Permisibles de Radiaciones No Ionizantes para Exposición Poblacional.....	27
Tabla 4. Unidades de Medida del Perú - CEM.....	28
Tabla 5. Normativa Nacional para Contaminación Electromagnética (Electrosmog) ...	31
Tabla 6. Equipos de Medición.....	39
Tabla 7. Puntos de Acceso Wi-Fi (Ubicación y características)	40
Tabla 8. Equipos con Wi-Fi habilitado.....	41
Tabla 9. Prueba relacionados con los campos ambientales.	46
Tabla 10. Pruebas relacionadas con dispositivos Wi-Fi en funcionamiento.	47
Tabla 11. Porcentaje de IMP y SC6 en entornos no controlados incluyendo la incertidumbre del equipo de medición obtenido en la ubicación P5	56
Tabla 12. Porcentaje de límites SC6 (entorno no controlado) para la banda 2400-2483.5 MHz entre las ubicaciones P5 y P11 con la antena de tri-axial a una altura de 1.20 metros con diferentes configuraciones.....	57
Tabla 13: Espectro, Emisión y Estándares 802.11 (Wi-Fi)	63
Tabla 14: Mediciones en un entorno no controlado con la antena tri-axial a 1.80 m.	71
Tabla 15: Mediciones en un entorno no controlado con la antena tri-axial en la zona de incidencia media a una altura de 1.40 metros.	72
Tabla 16: Medición en porcentaje de los LMP a una altura de 1.20 metros con un barrido de 6 minutos.....	72
Tabla 17: Porcentaje de los LMP para entornos no controlados en cada punto de la matriz de 9 puntos para la ubicación P7 en la frecuencia de 30 MHz a 6 GHz.	73
Tabla 18: Niveles de Electrosmog RF entre 2.4 y 5.8 GHz con la antena colocada a 1.80 Metros de altura	74

Tabla 19: Niveles de Electrosmog RF entre 2.4 y 5.8 GHz con la antena colocada a 1.40 Metros de altura	77
Tabla 20: Promediado espacial y temporal de los LMP en entornos no controlados en las frecuencias de 2.4 a 5.8 MHz con niveles más altos encontrados de 1b y 2b.	80
Tabla 21: Porcentaje de LMP para 8 laptops en modo carga en P1 en entornos no controlados	81
Tabla 22: Porcentaje de LMP para 14 laptops en modo carga en P1 en entornos no controlados	81
Tabla 23: Porcentaje de LMP para 01 laptops en modo carga en P1 en entornos no controlados	82
Tabla 24: Porcentaje de LMP para 01 laptops en modo carga en P1 en entornos no controlados	82
Tabla 25: Porcentaje de LMP a 0.20 metros de AP1, para entornos no controlados	83
Tabla 26: Porcentaje de LMP a 0.20 metros de AP2, para entornos no controlados	83



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema del marco teórico y conceptual.....	8
Figura 2. Campo Eléctrico.....	11
Figura 3. Ondas del Campo Eléctrico.....	12
Figura 4. Propagación de los Campos Electromagnéticos	13
Figura 5. Espectro Electromagnético.....	14
Figura 6. Percepción sensorial del Electrosmog.....	18
Figura 7. Dispositivos Generadores de Electrosmog.....	18
Figura 8. Antena Parabólica	20
Figura 9. Antena Yagi	20
Figura 10. Antena Plana	21
Figura 11. Antena omnidireccional WI-FI	22
Figura 12. Cobertura de antena Omnidireccional 2.4 GHz	22
Figura 13. Antena sectorial WI-FI.....	23
Figura 14. Comparación de los niveles de Exposición.....	28
Figura 15. Comparación de valores Máximos Permitidos OMS/ICNIRP.....	30
Figura 16. Ejemplo de comunicación con luz visible: uso de la iluminación LED como transmisor de datos.	33
Figura 17. Ejemplo de comunicación con luz visible: uso de iluminación LED	34
Figura 18. Características de los AP Ruckus.....	40
Figura 19. Escaneo de equipos Activos dentro del rango del Access Point	42

Figura 20. Vista aérea de la ubicación del pabellón administrativo dentro del cual se encuentran los puntos de medición, UCSP-Arequipa.....	43
Figura 21. Distribución de Acces Point dentro del área administrativa	44
Figura 22. Esquema de ubicaciones de medición de Electrosmog (RF)	45
Figura 23. Distribución del Laboratorio móvil y el sensor de radiación.....	45
Figura 24: Mediciones de nivel de señal espacial y temporal no uniforme y el cálculo del valor promedio espacial en el tiempo como un porcentaje de los límites máximos permitidos.....	49
Figura 25: Prueba con antena Tri-axial cuando se carga y descarga data	53
Figura 26: Espectro de emisión para 2.4GHz.....	64
Figura 27: Espectro de emisión para 5.1 GHz.....	64
Figura 28: Incertidumbre de medición antena de campo Eléctrico de tri-axial	65

LISTA DE ABREVIATURAS

OMS	: Organización Mundial de la Salud.
CEM	: Campos electromagnéticos.
GHz	: Giga Hertz.
FEB	: Frecuencia extremadamente Baja.
KHz	: Kilo Hertz.
MHz	: Mega Hertz.
WI-FI	: Wireless Fidelity.
ADN	: Acido desoxirribonucleico.
NCBI	: Centro Nacional para la Información Biotecnológica.
LMP	: Límites Máximos Permitidos.
LAN	: Local área network.
IEEE	: Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.
IEEE 802.11	: Estándar general WI-FI.
HMD	: Pantalla Head-Mounted.
AM	: Amplitud Modulada.
EMF	: Campo electromagnético.
MW	: Micro Wave.
BS	: Base Station.
RS	: Relay Base.
SC	: Células Pequeñas.

GA	: Algoritmo genético.
DE	: Evolución Diferencial.
RF	: Radio Frecuencia.
RNI	: Radiaciones no Ionizantes.
WIMAX	: Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas.
BLUETOOTH	: Especificación industrial para Redes Inalámbricas de Área Personal (WPAN).
WPAN	: Personal Área Network.
1G	: Primera Generación Celular.
2G	: Segunda Generación Celular.
3G	: Tercera Generación Celular.
4G	: Cuarta Generación Celular.
5G	: Quinta Generación Celular.
GSM	: Global System Mobile.
IoT	: Internet Of Things.
RNI	: Radiaciones no Ionizantes.
TLF	: Frecuencia tremendamente baja.
ELF	: Extra baja frecuencia.
SLF	: Súper baja frecuencia.
ULF	: Ultra baja frecuencia.
VLF	: Muy baja frecuencia.
LF	: Baja Frecuencia.

MF	: Media Frecuencia.
HF	: Alta Frecuencia.
VHF	: Muy Alta Frecuencia.
UHF	: Ultra Alta Frecuencia.
SHF	: Super Alta Frecuencia.
EHF	: Extra Alta Frecuencia.
DBI	: Ganancia de antena en dB por encima de un radiador isotrópico.
SAR	: Rango de Absorción Específica.
MTC	: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
ICNIRP	: International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection
SLUMP	: Sistema Legal De Unidades de Medida del Perú.
MEP	: Máxima Exposición Permitida.
UV	: Radiación Ultra Violeta.
IR	: Radiación Infrarrojo.
Li-Fi	: Light Fidelity.
LED	: Luz emitida por Diodos.
VLC	: Visual Light Communication.
mW/cm²	: Miliwatios por centímetro cuadrado.
SC6	: Security Code 6 Canada.
AP1	: Access Point 1.
AP2	: Access Point 2.

RESUMEN

El Electrosmog o contaminación electromagnética es un fenómeno causado por los campos electromagnéticos que pueden provocar efectos muy diversos en nuestra salud, que van desde un simple insomnio hasta enfermedades graves. En la actualidad en Arequipa, estamos rodeados de contaminación electromagnética, procedente de las emisiones producidas por las redes de telefonía móvil, Wi-Fi y eléctricas, que son parte del cableado de nuestra ciudad y hogares.

Esta tesis de maestría, tiene como objetivo principal la medición y análisis de los niveles de Electrosmog generados por la tecnología Wi-Fi en las áreas de trabajo permanente dentro de la Universidad Católica San Pablo y que las mismas cumplan con las normativas y los límites máximos permitidos. Como herramientas metodológicas se utilizó la observación de ambientes de trabajo, cantidad, tipo de elementos radiantes y dispositivos que forman parte de la población a estudiar. Para la medición del Electrosmog RF, se utilizó el equipo de medición Narda NBM. Así mismo, se consideró la Norma Técnica sobre Protocolos de medición de RNI descrita en la resolución ministerial N° 613-2004-MTC/03.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se pudo lograr el cumplimiento del objetivo principal y demás objetivos específicos. Si bien estos resultados se encuentran dentro de lo planteado, existe una creciente preocupación en nuestra ciudad por los efectos acumulativos de los CEM que se suman al índice diario de absorción en el cuerpo humano debido a la falta de información y el crecimiento de redes de telecomunicaciones inalámbricas de ámbito local.

PALABRAS CLAVE

Electrosmog, electromagnetismo, radiación electromagnética, WIFI, campos electro magnéticos, Li-Fi.

ABSTRACT

Electrosmog or electromagnetic pollution is a phenomenon caused by electromagnetic fields that can cause very different effects on our health, ranging from simple insomnia to serious diseases. Currently in Arequipa, we are surrounded by electromagnetic pollution, from the emissions produced by mobile, Wi-Fi and electrical networks, which are part of the wiring of our city and homes. This master's thesis, has as main objective the measurement and analysis of the Electrosmog levels generated by Wi-Fi technology in the permanent work areas within the Catholic University San Pablo and that they comply with the regulations and maximum limits allowed. As methodological tools were used the observation of work environments, quantity, type of radiant elements and devices that are part of the population to study. For the measurement of the Electrosmog RF, the Narda NBM measuring equipment was used. Likewise, the Technical Standard on RNI Measurement Protocols described in Ministerial Resolution No. 613-2004-MTC / 03 was considered. According to the results obtained, compliance with the main objective and other specific objectives could be achieved. Although these results are within the stated, there is a growing concern in our city about the cumulative effects of EMFs that add to the daily rate of absorption in the human body due to the lack of information and the growth of local wireless telecommunications networks.

KEY WORDS

Electrosmog, electromagnetism, electromagnetic pollution, Wi-Fi, electromagnetic fields, Li-Fi.

INTRODUCCIÓN

La contaminación electro magnética o Electrosmog [2] es un fenómeno causado por campos electromagnéticos que pueden provocar efectos muy diversos en nuestra salud, desde un simple insomnio hasta enfermedades graves[2], fenómeno que está siendo investigado por científicos alrededor del mundo y, aunque queda mucho por avanzar, existe ya la suficiente evidencia científica sobre los efectos de los campos electromagnéticos en la salud [3] como para seguir negando la evidencia y tomar esta contaminación muy en serio.

Como señala OMS [4] con la telefonía celular comenzaron las dudas sobre si haría daño a la salud, estas preocupaciones llevaron a la Organización Mundial de la Salud (OMS) a lanzar, en 1996, el Proyecto Internacional sobre los Campos Electromagnéticos (CEM) "para evaluar las pruebas científicas de los posibles efectos sobre la salud de los CEM", fomentar "las investigaciones y a facilitar el desarrollo de normas aceptables internacionalmente que limiten la exposición a la radiación de los campos electromagnéticos".

El proyecto Internacional CEM[4], evaluará los efectos sobre la salud y el medio ambiente de la exposición a campos eléctricos y magnéticos estáticos y variables en el tiempo, en el intervalo de frecuencias de 0 a 300 GHz. Para los fines del proyecto, este intervalo se divide en: campos estáticos (0 Hz), de frecuencia extremadamente baja (FEB, >0 a 300 KHz), de frecuencias intermedias (FI, >300Hz a 10MHz) y de radiofrecuencia (RF, 10 MHz a 300 GHz)[4].

La Organización Mundial de la Salud (OMS), en el informe 208, del 31 de mayo del 2011, en el que informaron que, un equipo de trabajo de 31 científicos de 14 países, llegaron a la conclusión de que las señales de radiofrecuencia como WIFI y microondas de las telecomunicaciones son potencialmente cancerígenas para el ser humano y la clasificaron dentro del Grupo 2B, que significa que incrementa el riesgo de cáncer, no lo causa de inmediato, sino por acumulación[5].

Hoy en día después de 7 años de investigación parece ser que la posibilidad de cáncer es el menor de los riesgos del Electrosmog, a comparación de la fragmentación del ADN [6], que es una debilitación del sistema inmunológico. En 2017, el NCBI (Centro Nacional para la Información Biotecnológica), publicó un estudio, hecho a ratas expuestas a radiaciones de Wi-Fi[7] cuya conclusión fue que "el análisis genómico [7] confirmó el daño en el ADN

debido a la toxicidad de la radiación", además de "importantes alteraciones nocivas en los tejidos cerebrales de los animales".

En la actualidad en Arequipa estamos rodeados de contaminación electromagnética, procedente de las emisiones de telefonía móvil, redes inalámbricas [8], red eléctrica, que es parte del cableado de nuestra ciudad y hogares. Esta contaminación si bien no sobre pasa los LMP establecidos por las autoridades no deja de ocasionarnos alteraciones nocivas en nuestro organismo y a la larga puede acarrear problemas graves de salud.

La tecnología Wi-Fi (Wireless Fidelity)[7], ha sido desde su creación el medio de comunicación inalámbrica más conocida y utilizada para la transmisión de datos y comunicación en un entorno de red de área local (LAN), sin tomar en cuenta el incremento de CEM (Campos electromagnéticos o Electrosmog) que se suman al índice diario de absorción en el cuerpo humano[3], por eso la preocupación general en la población de la ciudad de Arequipa ha ido en aumento, convirtiéndose en una necesidad realizar la medición y verificación de esta radiación en las normas y reglamentos los límites máximos de radiación dentro de la ciudad en los entornos de trabajo.

En este trabajo de Tesis de Maestría, tiene como objetivo principal la medición y análisis de los niveles de Electrosmog generados por la tecnología 802.11[7] en las áreas de trabajo permanente, para esto nos situamos en la universidad Católica San Pablo, específicamente en el área de trabajo del personal administrativo donde trabajan por lo menos 30 personas, 8 horas diarias, de lunes a viernes. Los cuales están expuestos al Electrosmog generado por diferentes campos electromagnéticos, pero sobre todo por la radiación generada por la señal de WIFI (IEEE 802.11)[7], la cual como pudimos ver anteriormente puede afectar seriamente nuestro organismo de diferentes maneras.

ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Electrosmog es la radiación electromagnética emitida por la tecnología inalámbrica, como puntos de acceso Wi-Fi o torres celulares, y representa un peligro potencial para los humanos. Electrosmog es invisible, y confiamos en detectores que muestran el nivel de Electrosmog en una advertencia como números. Nuestro sistema es capaz de detectar el nivel de Electrosmog a partir de la cantidad de redes Wi-Fi, torres celulares, y mostrar en una representación intuitiva al difuminar la visión de los usuarios que usan una pantalla Head-Mounted (HMD). El HMD muestra en tiempo real el entorno circundante aumentado de los usuarios con imágenes borrosas, como si el Electrosmog realmente nublara el medio ambiente. Para la demostración, los participantes pueden caminar en un HMD de video transparente y observar la visión gradualmente borrosa al acercarse a nuestra red inalámbrica densa preparada.[9]

Este artículo presenta una revisión sistemática de estudios científicos publicados sobre los efectos ecológicos potenciales de campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF-EMF) en el rango de 10MHz a 3.6GHz (desde modulación de amplitud, AM, a microondas de banda inferior, MW, EMF).

Se realizaron búsquedas en las publicaciones en inglés en ISI Web of Knowledge y Scholar Google sin restricciones en la fecha de publicación. Se identificaron cinco grupos de especies: aves, insectos, otros vertebrados, otros organismos y plantas. No solo se tomaron en consideración artículos ecológicos claros, como estudios de campo, sino también artículos biológicos sobre estudios de laboratorio que investigan los efectos de RF-EMF con variables biológicas tales como fertilidad, reproducción, comportamiento y desarrollo, que tienen una clara importancia ecológica, también fueron incluidos. Resultados Se recolectó información de 113 estudios de publicaciones originales revisadas por pares o de revisiones existentes relevantes. Se identificó una cantidad limitada de estudios de campo ecológicos. La mayoría de los estudios se realizaron en un laboratorio con aves (embriones o huevos), pequeños roedores y plantas. En el 65% de los estudios, los efectos ecológicos de RF-EMF (50% de los estudios con animales y aproximadamente 75% de los estudios con plantas) se encontraron tanto en dosis altas como bajas. No se pudo discernir una clara relación dosis-efecto. Los estudios que encontraron un efecto aplicaron duraciones de exposición más altas y se enfocaron más en los rangos de frecuencia GSM. [10]

La tasa de actividad científica sobre los efectos de la radiación electromagnética antropogénica en el rango de radiofrecuencia (RF) en animales y plantas ha sido pequeña a pesar de que este tema es relevante para los campos de biología experimental, ecología y conservación debido a su notable expansión sobre los últimos 20 años. La evidencia actual indica que la exposición a niveles que se encuentran en el medio ambiente (en áreas urbanas y cerca de estaciones base) puede alterar particularmente los órganos receptores para orientarse en el campo magnético de la tierra. Estos resultados podrían tener implicaciones importantes para aves e insectos migratorios, especialmente en áreas urbanas, pero también podrían aplicarse a aves e insectos en áreas naturales y protegidas donde hay emisores potentes de estaciones base de radiofrecuencias. Por lo tanto, se necesita más investigación sobre los efectos de la radiación electromagnética en la naturaleza para investigar esta amenaza emergente. [11]

Se trata de presentar el impacto del Electrosmog por radio frecuencia en la vida silvestre. La contaminación electromagnética es una forma de contaminación que puede dañar estos ecosistemas. Tenemos claros ejemplos como los postes eléctricos y de telefonía que irradian constantemente a algunas especies que pueden a largo plazo sufrir problemas de salud o inclusive en su función reproductora, lo que conlleva al deterioro del hábitat y reducción de la especie. La radiación electromagnética puede ejercer una respuesta conductual agresiva en ratas, murciélagos y aves, como los gorriones.

Por lo tanto, la contaminación por microondas y radiofrecuencias constituye una causa potencial para la disminución de las poblaciones de animales y el deterioro de la salud de las plantas que viven cerca de los mástiles de los teléfonos. Para medir estos efectos, son necesarios estudios urgentes específicos.[12]

Un número cada vez mayor de dispositivos de comunicaciones móviles y sensores de IoT han impulsado un rápido avance en las tecnologías de redes inalámbricas y celulares. Debido a los recursos energéticos limitados, se espera que la tecnología 5G[13] se diseñe como un sistema de red 'verde'. Para lograr el requisito de futuras redes 5G 'verdes' para servir a una gran cantidad de dispositivos móviles, este trabajo investiga el problema del despliegue y el control del sueño de una red celular heterogénea 'verde' a lo largo de una carretera compuesta de estaciones base (BS) estaciones de retransmisión (RS) y células pequeñas (SC) con dos objetivos: minimizar el consumo de energía para disminuir el impacto de la energía limitada; así como también minimizar la contaminación electromagnética de la radiación de los tres

tipos de dispositivos para evitar el daño potencial a las criaturas. Para las variables de decisión, el despliegue y el control del sueño de los RS y SC heredados afectan el consumo total de energía, y su cobertura afecta la contaminación total del electroimán[13]. En primer lugar, este trabajo crea un modelo matemático para el problema de optimización y luego propone un algoritmo híbrido de algoritmo genético (GA) y evolución diferencial (DE) con tres operadores de búsqueda locales para resolver el problema, donde GA y DE pueden manejar discretamente y continúa las variables de decisión, respectivamente. La simulación de las redes celulares verdes en cuestión verifica el rendimiento del algoritmo propuesto.[14]

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La tecnología Wi-Fi (Wireless Fidelity), ha sido desde su creación el medio de comunicación inalámbrica más conocida y utilizada para la transmisión de datos y comunicación inalámbrica en un entorno de red de área local (WLAN), sin tomar en cuenta el incremento de CEM (Campos electromagnéticos) o Electrosmog que se suman al índice diario de absorción en el cuerpo humano, por eso la preocupación general en la población de la ciudad de Arequipa ha ido en aumento, convirtiéndose en una necesidad realizar la medición, análisis y verificación de esta radiación en las normas y reglamentos nacionales de los límites máximos de radiación dentro de la ciudad en los entornos de trabajo. Esta investigación es del tipo campo experimental y el nivel de descriptivo y aplicativo.

HIPÓTESIS

Dado que existe emisiones de Electromog (RF) generado por la tecnología WI-FI en su estándar 802.11 es probable que la Medición y Análisis de los Niveles de Electromog (RF) en las áreas de exposición ocupacional, no superen los límites máximos permisibles.

OBJETIVOS, ALCANCES Y LIMITACIONES

Objetivo General:

Conocer los niveles de Electrosmog (RF) generado por el estándar 802.11 WI-FI en las áreas de exposición ocupacional, a través de su medición y análisis para corroborar que estas no superen los límites máximos permisibles.

Objetivos específicos:

- Investigar sobre las emisiones no ionizantes y su repercusión en el ser humano.
- Realizar un diagnóstico del estado de los niveles de señales transmitidas en las transmisiones de datos inalámbricos en ámbitos locales.
- Hacer un análisis de resultados de las mediciones obtenidas.
- Indagar códigos en la ley de Telecomunicaciones que hagan referencia a emisiones no ionizantes permitidas.

Alcances:

Se desarrollará una técnica capaz de realizar la medición y el posterior análisis de los niveles de Electrosmog (RF) generados por los puntos de acceso de la tecnología WI-FI (IEEE 802.11). Esta técnica será lo suficientemente eficaz para lograr lo requerido por las normas nacionales e internacionales en el campo de las RNI.

Limitaciones:

Debido a la complejidad para realizar el muestreo en lugares con mucha afluencia de trabajadores, es que algunas de las muestras de debieron realizar en espacios temporales de inactividad en el área.

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Marco Conceptual

El capítulo que se muestra a continuación contiene una explicación de la teoría y demás conocimientos necesarios para el desarrollo de la presente tesis.

En la Figura 1 se muestra el esquema del marco teórico y conceptual de la misma.

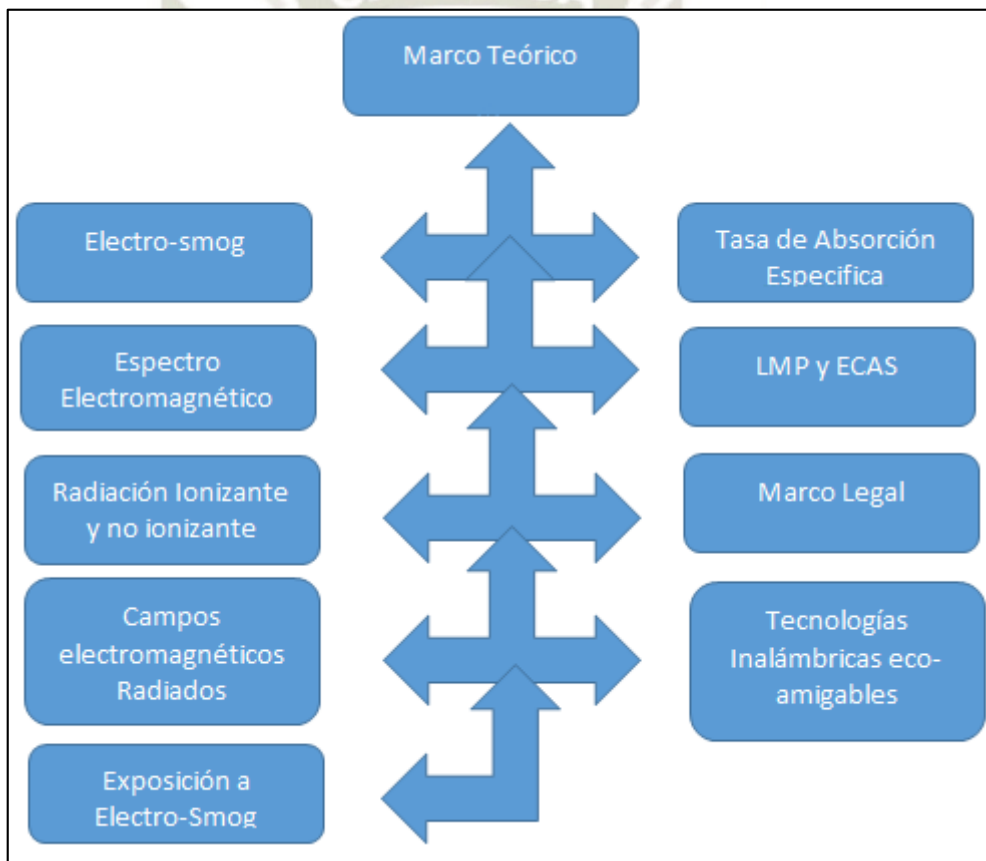


Figura 1: Esquema del marco teórico y conceptual

Fuente: Elaboración Propia

1.2. RADIACIÓN

1.2.1. Definición:

Proveniente de la palabra en latín *radiation* es la acción de despedir rayos de luz, u calor. Para la física, es energía ondulatoria que irradian las partículas y que se propagan a través del espacio [15].

1.2.2. Tipos de radiación:

Existen distintos tipos de radiación como:

1.2.2.1. La radiación electromagnética:

Es la que propaga energía mediante la combinación de campos eléctricos[16] y magnéticos oscilantes[17]. Se conoce como espectro electromagnético a la distribución energética de las ondas electromagnéticas, que van desde los rayos gamma (cuya longitud de onda se mide en picómetros) hasta las ondas de radio (con longitudes de onda que pueden medirse en kilómetros).

1.2.2.2. La radiación atómica:

Es la propagación de partículas subatómicas cargadas o descargadas eléctricamente.

1.2.2.3. La radiación solar:

Es la radiación electromagnética que emite el Sol y que determinan la temperatura en la Tierra.

1.2.2.4. La radiación ionizante:

Es la radiación de energía suficientemente fuerte como para ionizar la materia y modificar sus átomos, algunos ejemplos de esta radiación son los rayos X y los aceleradores de partículas[18]. También es importante tener en cuenta que las radiaciones ionizantes pueden producir algunos efectos sobre la materia viva tanto nocivos como benignos. Es por eso son utilizados para tratamientos contra el cáncer como radioterapia, La radiación Ionizante[18] es dañina ya que la exposición en

demasiá a este tipo de radiación puede producir envenenamiento e interferir en el proceso de división celular.

1.2.2.5. La radiación No ionizante:

Es aquella que no tiene la capacidad de arrancar electrones (ionizar átomos o moléculas)[18], pero sí de generar alteraciones en nuestro organismo; inclusive, según algunos estudios realizados, a generar cambios en nuestro ADN. Desde la frecuencia de la radiación serán radiaciones no ionizantes las frecuencias comprendidas entre las frecuencias bajas o radio frecuencias y la luz ultravioleta.

La existencia de posibles efectos permanentes por parte de las radiaciones no ionizantes[18] es aún objeto de investigación científica, así como debates, dicha incertidumbre genera bastante inquietud frente a las exposiciones tanto de tipo laboral como ambiental[19]. Son conocidos algunos los efectos de estas radiaciones, los que pueden ir desde pequeñas jaquecas, calentamiento de la piel y hasta quemaduras eléctricas, lo que dependiendo del tejido del cual se trate puede traducirse en un serio daño.

1.3. ELECTROSMOG

1.3.1. Definición:

Es la contaminación electromagnética producida por la energía que emanan de todas las tecnologías que utilizamos diariamente, como las redes eléctricas, celulares, los hornos microondas, los teléfonos inalámbricos, y sobretodo el WIFI.

La radiación electromagnética es la energía irradiada por el producto de la variación periódica de los campos eléctrico y magnético. Siendo este campo una región del espacio en la que la materia está sometida una fuerza donde las partículas se encuentran en constante movimiento, como es el caso de la radiación electromagnética. [11]

Electrosmog es emitido por las redes eléctricas y las tecnologías inalámbricas, expresadas por los siguientes estándares: IEEE 802.11 a través de puntos de

acceso Wi-Fi, IEEE 802.15 (Bluetooth), IEEE 802.16 (WIMAX) y tecnologías de microondas y redes celulares (1G, 2G, 3G, 4G, 5G) y representa un peligro potencial para los humanos al estar todo el tiempo inmerso en esta niebla electromagnética.

1.4. CAMPOS ELÉCTRICOS

1.4.1. Definición

Los campos eléctricos son producidos por la presencia de cargas eléctricas en nuestro entorno y se originan por la diferencia de voltaje o tensión, mientras más elevado sea el voltaje más fuerte y grande será el campo resultante[20]. Cualquier dispositivo conectado, este apagado o no, genera un campo eléctrico que lo rodea y que es proporcional a la tensión de la fuente a la que está conectado. Los obstáculos como las paredes de las casas o los edificios y hasta la vegetación frondosa reducen la intensidad de los campos eléctricos de las líneas eléctricas en el exterior de las casas[20].

Cuando las líneas de conducción eléctrica están enterradas en el suelo, los campos eléctricos que generan casi no pueden detectarse en la superficie, pero si no es así podrían afectarnos directamente Fig. 1.

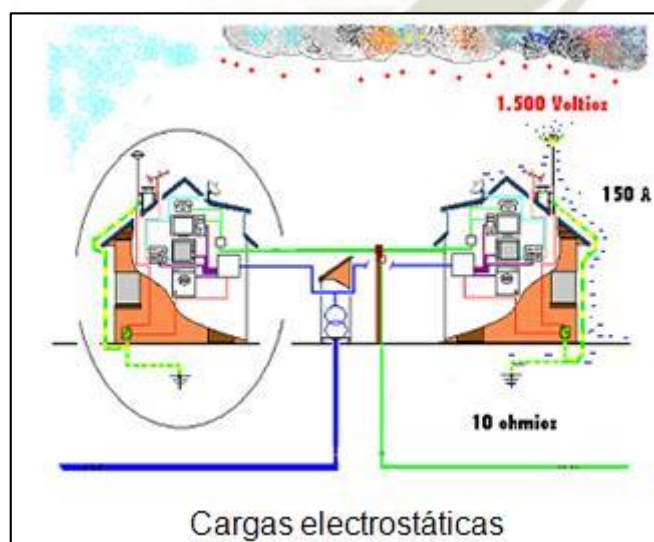
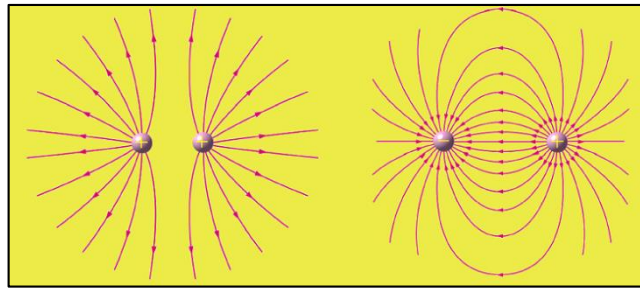


Figura 2. Campo Eléctrico

Fuente: Física Electromagnética [21]

**Figura 3. Ondas del Campo Eléctrico****Fuente: Física Electromagnética [22]**

1.5. CAMPOS MAGNÉTICOS

1.5.1. Definición

Se originan en las corrientes eléctricas y se producen cuando las cargas eléctricas están en movimiento[23]. Su intensidad se mide en amperios por metro (A/m), con relación a los campos electromagnéticos tienen otras medidas como la inducción magnética, densidad de flujo magnético o campo B que se mide en teslas (Un Tesla equivale a 10.000 Gauss ($1\mu\text{T} = 10\text{mG}$) o a $7,96 \times 10^5$ A/m)[16] y en el Sistema Cegesimal en Gauss (G).

A diferencia de los campos eléctricos, el magnetismo[23] sólo aparece cuando se enciende un aparato eléctrico y fluye electricidad. Todo dispositivo encendido y conectado a una red eléctrica generará alrededor suyo un campo magnético proporcional a la intensidad de corriente entrante de la fuente que lo alimenta[20]. Los campos eléctricos y magnéticos son más fuertes en los puntos cercanos a su origen y su intensidad disminuye al alejarse de la fuente que lo alimenta. Los materiales, como las paredes de las casas y de los edificios, no bloquean los campos magnéticos.

En la siguiente figura podemos observar la propagación de onda de los campos electromagnéticos.

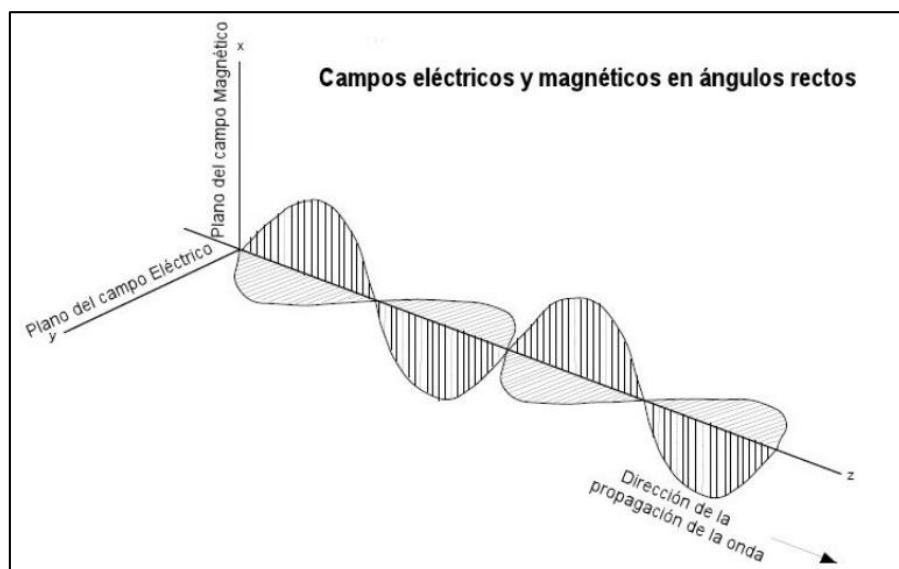


Figura 4. Propagación de los Campos Electromagnéticos

Fuente: Instituto de Física y Astronomía [24]

1.6. CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS (CEM)

Un campo electromagnético[25] (CEM) es un campo físico, de tipo tensorial, producido por aquellos elementos cargados eléctricamente, que afecta a partículas con carga eléctrica[23].

El campo electromagnético se compone de una parte eléctrica y una magnética. Si un individuo se encuentra en movimiento en el mismo sistema podría sentir o medir los efectos eléctricos y magnéticos producidos por dicho campo[23] en el que se encuentra inmerso. Esto nos muestra la relatividad entre la parte eléctrica y la magnética del campo electromagnético. De lo anterior podemos deducir que ni el vector campo eléctrico ni el vector de inducción magnética[23] se comportan como un tensor para el que sí existen leyes de transformación físicamente esperables.

1.7. ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO:

El espectro electromagnético[26], es un esquema creado para clasificar toda la radiación electromagnética que existe en la naturaleza, donde las diferentes radiaciones se suelen clasificar por energía, frecuencia o longitud de onda[26]. Debemos recordar que, a mayor

frecuencia, mayor energía y a mayor longitud de onda, menor energía y por tanto menor frecuencia.

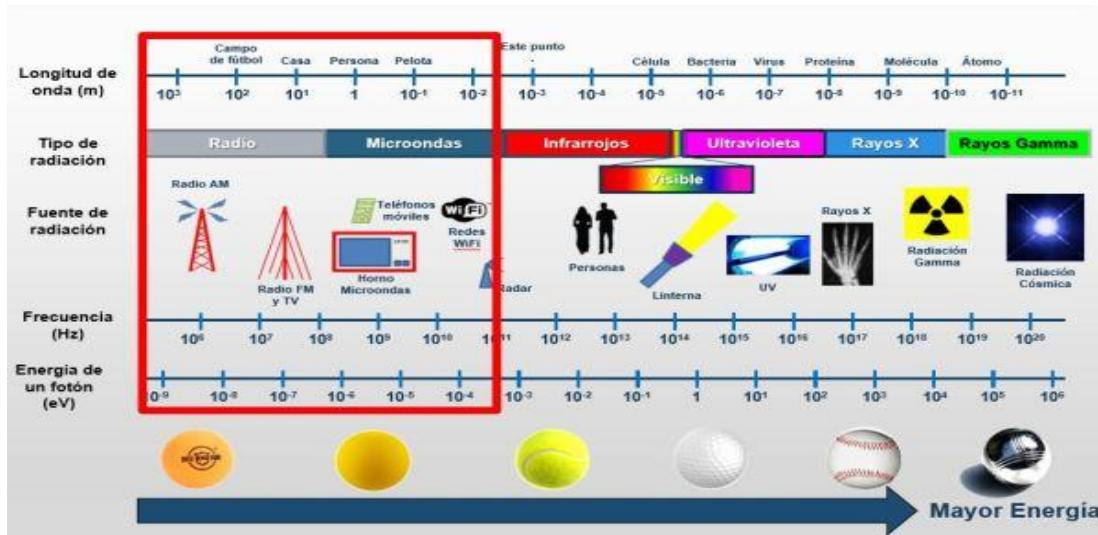


Figura 5. Espectro Electromagnético

Fuente: Space Place Nasa [27]

1.8. RADIOFRECUENCIA:

Es la comunicación inalámbrica que se hace a través de las ondas de radio en sus diferentes frecuencias[28], los rangos se abrevian con sus siglas en inglés. Los rangos son:

Tabla 1. Rangos de Radio Frecuencia

NOMBRE	ABREVIATURA INGLESA	BANDA	FRECUENCIAS	LONGITUD DE ONDA
Frecuencia tremendamente baja	TLF	No aplica	Inferior a 3 Hz	> 100 000 km
Extra baja frecuencia	ELF	1	3-30 Hz	100 000-10 000 km
Súper baja frecuencia	SLF	2	30-300 Hz	10 000-1000 km
Ultra baja frecuencia	ULF	3	300-3000 Hz	1000-100 km
Muy baja frecuencia	VLF	4	3-30 kHz	100-10 km
Baja frecuencia	LF	5	30-300 kHz	10-1 km
Media frecuencia	MF	6	300-3000 kHz	1 km-100 m
Alta frecuencia	HF	7	3-30 MHz	100-10 m
Muy alta frecuencia	VHF	8	30-300 MHz	10-1 m
Ultra alta frecuencia	UHF	9	300-3000 MHz	1 m-100 mm
Súper alta frecuencia	SHF	10	3-30 GHz	100-10 mm
Extra alta frecuencia	EHF	11	30-300 GHz	10-1 mm
			Por encima de los 300 GHz	< 1 mm

Fuente: Unión Internacional de Telecomunicaciones [29]

1.9. RADIACIÓN IONIZANTE

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS)[19] la radiación ionizante es la energía liberada por los átomos en movimiento en forma de rayos gamma, rayos X o partículas alfa, beta o neutrones. La radioactividad es la desintegración espontánea de los átomos cuya energía resultante es una forma de radiación ionizante. Los radionúclidos[30] son elementos inestables que al desintegrarse emiten radiación ionizante.

Un radionúclido[31] que presenta actividad, se expresa en una unidad llamada becquerel (Bq): donde un becquerel responde a una desintegración por segundo. La semivida es el tiempo medio necesario para que la actividad de un radionúclido[30] a la mitad de su valor inicial, por su desintegración parcial. La semivida de un elemento radiactivo puede variar desde una fracción de segundo a millones de años (por ejemplo, el yodo 131 tiene una semivida de 8 días mientras que el carbono 14 tiene una semivida de 5730 años). [19]

La exposición a la radiación puede ser interna o externa y puede tener lugar por diferentes vías.

La exposición interna a la radiación ionizante se produce cuando un radionúclido entra de algún otro modo en el torrente sanguíneo (por ejemplo, inyecciones o heridas). La exposición interna cesa cuando el radionúclido[31] se elimina del cuerpo, ya sea espontáneamente (por ejemplo, en los excrementos) o gracias a un tratamiento.

La exposición externa se puede producir cuando el material radiactivo presente en el aire (polvo, líquidos o aerosoles) se deposita sobre la piel o la ropa, se elimina con un simple lavado de la zona comprometida.

La exposición a la radiación ionizante también puede resultar de la irradiación de origen externo (por ejemplo, la exposición médica a los rayos X). La irradiación externa se detiene cuando la persona sale del campo de irradiación.

Las personas pueden estar expuestas a la radiación ionizante[26] de diferentes formas, en casa o en lugares públicos (exposiciones públicas), en el trabajo (exposiciones profesionales) o en un entorno médico (como los pacientes, cuidadores y voluntarios).

1.9.1. Categorías de exposición:

La primera, la exposición planificada, es el resultado de la introducción y funcionamiento deliberados de fuentes de radiación con fines concretos, como en el caso de la utilización médica de la radiación con fines diagnósticos o terapéuticos, o de su uso en la industria o la investigación.

La segunda, la exposición existente, se produce cuando ya hay una exposición a la radiación y hay que tomar una decisión sobre su control, como en el caso de la exposición al radón en el hogar o en el lugar de trabajo, o de la exposición a la radiación natural de fondo existente en el medio ambiente.

La tercera categoría, la exposición en situaciones de emergencia, tiene lugar cuando un acontecimiento inesperado requiere una respuesta rápida, como en el caso de los accidentes nucleares o los actos criminales.

Cada año se realizan en el mundo más de 3600 millones de pruebas diagnósticas radiológicas, 37 millones de pruebas de medicina nuclear y 7,5 millones de tratamientos con radioterapia.

1.10. RADIACIÓN NO IONIZANTE

Es la radiación que, al incidir sobre la materia, no tienen suficiente energía para provocar una ionización. Sin embargo, pueden causar otros efectos, térmicos y fotoquímicos que se pueden percibir con los sentidos.

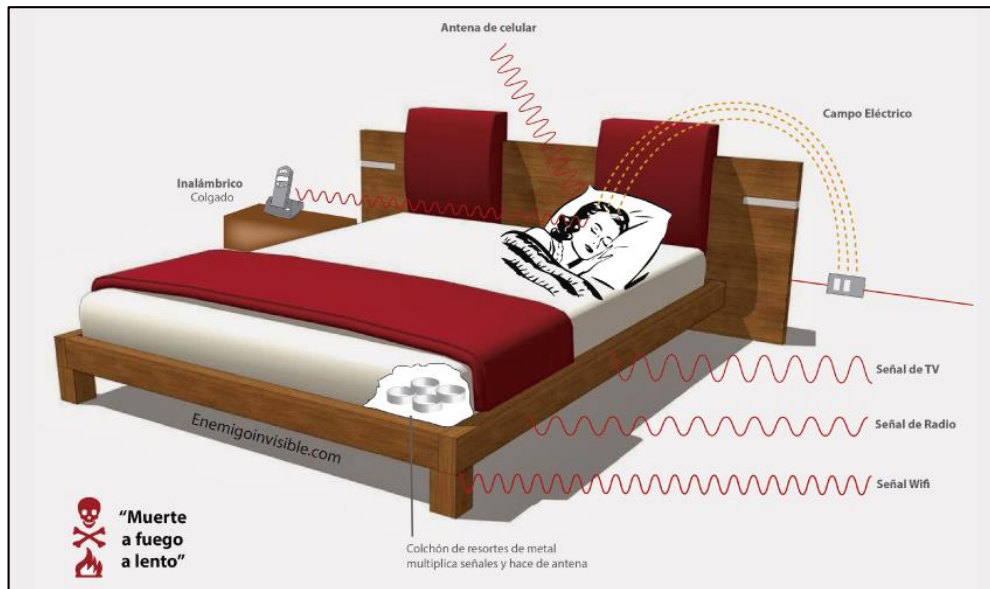


Figura 6. Percepción sensorial del Electromog

Fuente: Bienestar Ocupacional [32]

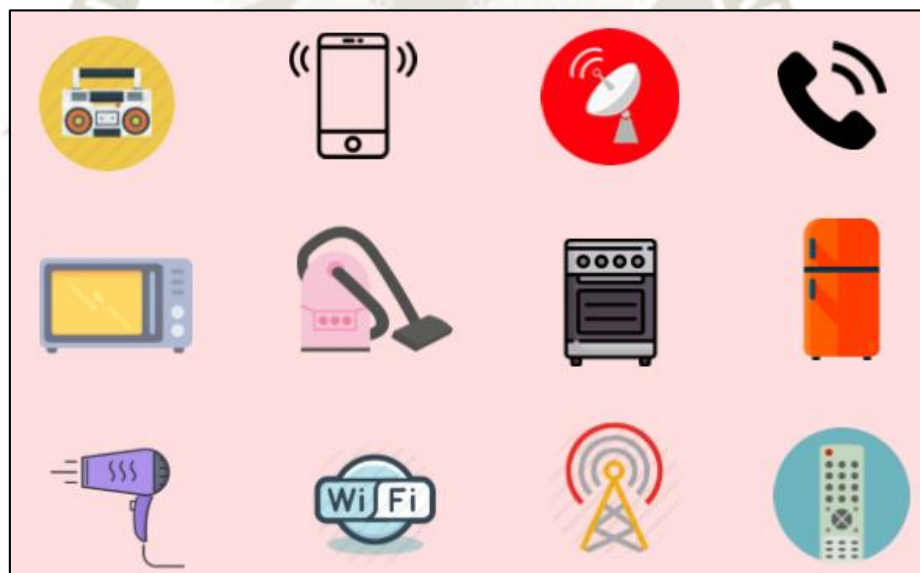


Figura 7. Dispositivos Generadores de Electromog

Fuente: Bienestar Ocupacional[32]

La radiación de radiofrecuencia (RF), energía electromagnética y microondas se utiliza en diversas aplicaciones en nuestra vida diaria como en la industria, comercio, medicina e investigación, así como en el hogar[33]. La radiación RF de alta potencia es una fuente

de energía térmica que puede tener implicaciones como: quemaduras, dolores de cabeza, insomnio, afectar nuestra reproducción y quizás hasta la muerte.

La existencia de posibles efectos crónicos de las radiaciones no ionizantes[19] es aún objeto de una amplia investigación científica, dicha incertidumbre genera bastante inquietud frente a las exposiciones tanto de tipo laboral como ambiental. Ya son bastante conocidos los efectos agudos de estas radiaciones, los que pueden ir desde pequeñas descargas eléctricas hasta quemaduras, también pueden producirse calentamiento de los tejidos tanto superficiales como profundos, lo que dependiendo del tejido del cual se trate puede traducirse en un serio daño[34].

De acuerdo al Decreto Supremo 038-2003-MTC y de conformidad con lo dispuesto en el inciso 8) del artículo 118 de la Constitución Política del Perú; donde se fijan los niveles máximos permisibles de exposición ocupacional para algunos tipos de radiaciones no ionizantes[35], donde se consideran la radiación láser UV, el espectro visible e IR, microondas y radiación ultravioleta. También se toma en cuenta el equipamiento para medición de estas radiaciones siempre en el ámbito laboral[35, 36].

1.11. CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS DE RADIOFRECUENCIA (CEM-RF)

1.11.1. ANTENAS

Es un dispositivo que sirve para transmitir y recibir ondas de radiofrecuencia convierte la onda guiada por la línea de transmisión (el cable o guía de onda) en ondas electromagnéticas que se pueden transmitir por el espacio libre[37].

Las antenas pueden tener diferentes configuraciones y dimensiones y dependerán de su frecuencia y polarización, Una persona con una altura entre 1.70 y 1.80 mts de altura puede comportarse idealmente como una antena de 0.25 longitud de onda en el espectro de frecuencias de 40 MHz a 60 MHz y absorber con mayor facilidad la energía irradiada[37].

1.11.2. TIPOS DE ANTENAS

Existen varios tipos de antenas pero podemos tipificarlas en tres grupos según Wayne Tomasi[37] son:

1.11.2.1. Antenas Direccionales:

Las antenas direccionales[37] pueden enviar y recibir señales hacia una dirección antes definida a través de un haz estrecho lo cual le dan un mayor alcance, como si fuera una luz emitida por un puntero laser. A mayor apertura del ángulo del haz menos será el alcance. En las antenas direccionales podemos observar varios tipos de acuerdo a su apertura: Parabólicas, yagis, planas o de panel.



Figura 8. Antena Parabólica

Fuente: Imagen referencial



Figura 9. Antena Yagi

Fuente: Imagen referencial



Figura 10. Antena Plana

Fuente: Imagen referencial

El alcance de una antena direccional está determinado por la combinación entre la ganancia de la antena (dbi), la potencia de emisión y la sensibilidad del punto receptor.

1.11.2.2. Antenas Omnidireccionales:

Las antenas omnidireccionales envían la señal en todas direcciones con un haz amplio, pero de corto alcance. En comparación con una antena direccional[38] que envía un fino haz de luz (como un láser), una antena omnidireccional sería como una bombilla incandescente que emite luz a todos lados pero de baja potencia.

Como podemos deducir las antenas Omnidireccionales teóricamente pueden enviar información a 360 grados por lo que es posible comunicarse desde cualquier punto de su irradiación[39]. En contrapartida, el alcance de estas antenas es más corto que el de las antenas direccionales.

Algunos ejemplos de antenas omnidireccionales los tenemos en casa como las antenas Wi-Fi, Bluetooth.



Figura 11. Antena omnidireccional WI-FI

Fuente: Imagen referencial

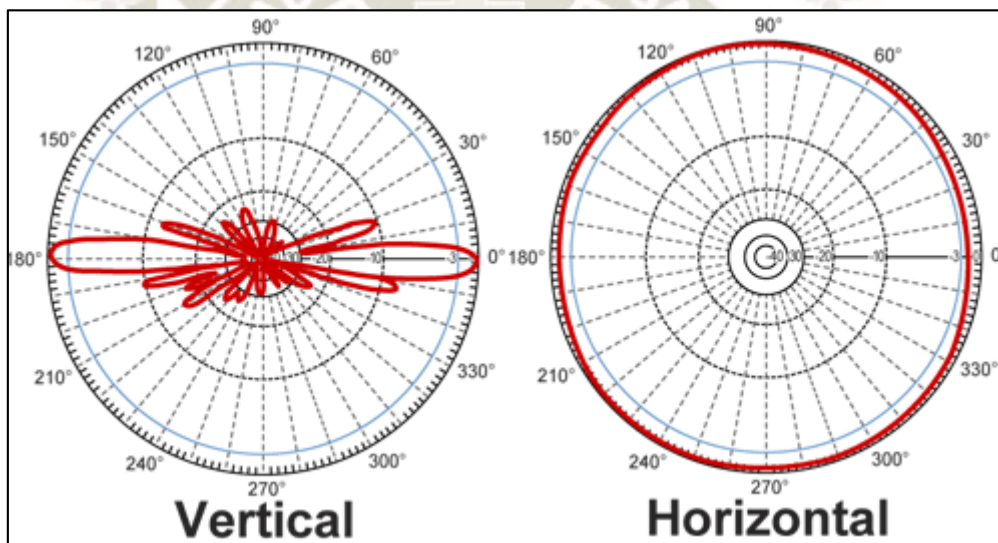


Figura 12. Cobertura de antena Omnidireccional 2.4 GHz

Fuente: Radio Comunicaciones [40]

1.11.2.3. Antenas Sectoriales:

Las antenas sectoriales son una combinación entre las antenas direccionales y las omnidireccionales[39]. Las antenas sectoriales operan emitiendo un haz más amplio que una antena direccional, pero en menor grado angular que una antena omnidireccional. Su alcance es mayor que una omnidireccional pero menor que una direccional. Para lograr una cobertura de 360° como una antena omnidireccional[39] y un alcance a lo largo como una antena direccional,

debemos instalar, 03 antenas sectoriales de 120° ó 04 antenas sectoriales de 90°. Estas antenas utilizan menos energía que una antena direccional y casi la misma energía que una antena omnidireccional.

Los sistemas sectoriales a 360° se denominan Arreglos o Array sectoriales. Las antenas sectoriales son más costosas que las antenas direccionales u omnidireccionales, al tener lo mejor de ambas antenas[38].



Figura 13. Antena sectorial WI-FI

Fuente: Imagen referencial

1.12. EXPOSICIÓN AL ELECTROSMOG

Para determinar el límite de exposición de personas expuestas a Electrosmog por radiofrecuencias en:

1.12.1. Exposición Ocupacional:

Se basa en una jornada de trabajo de 40 horas semanales durante todo el año, con periodos de mayor exposición al Electrosmog, estos trabajadores deberían de ser informados y capacitados acerca de los posibles riesgos asociados con sus

ocupaciones laborales[41]. Los límites de exposición ocupacional se aplican dependiendo de la frecuencia con la que el cuerpo completo se expone a dicha exposición. Los límites de exposición ocupacional están en función de una SAR promedio de cuerpo completo de 0,4 W/kg, que provoca un aumento en la temperatura corporal de aproximadamente 1°C[42]. Como se sabe, la energía radiante se transmite y se recibe a través de elementos llamados antenas, para lo cual nuestra piel funciona perfectamente como una.

1.12.2. Exposición Poblacional:

La población en general que está expuesta a radiaciones es mucho más numerosa que la población trabajadora o que se encuentra en un centro laboral, donde se podría decir que es un ambiente controlado y donde se les puede advertir de los diferentes riesgos y peligros que allí corren, sobre todo al Electromog irradiado por las antenas de WIFI[25].

Los valores de los límites máximos permisibles[43] en la población en general deben ser la quinta parte de los valores límite de la exposición ocupacional en el espectro de 10 MHz a 300 GHz y equivaler a la densidad de potencia necesaria para producir una tasa de absorción específica promedio de cuerpo completo de 0,08 W/kg.

Cuando existe una distorsión del campo de radiofrecuencias (por la cercanía de los campos), la exposición límite se debe determinar según la intensidad (E) y el vector (H) del campo magnético.

1.13. TASA DE ABSORCIÓN ESPECÍFICA

La tasa de absorción específica, SAR, por sus siglas en inglés (SAR, specific absorption rate) es la medida de la potencia máxima con que un campo electromagnético de radiofrecuencia (CEM-RF) es absorbido por el tejido vivo, cuya unidad es de vatios por kilogramo (W/kg). Esta medida se utiliza para las frecuencias entre 100 KHz - 100 GHz considerada como radiación no ionizante y en teléfonos móviles y redes inalámbricas [44].

La tasa de absorción específica, puede calcularse a partir del campo eléctrico medido dentro del tejido, de acuerdo con la ecuación:

$$SAR = \frac{1}{V} \int_{\text{muestra}} \frac{\sigma(\mathbf{r})|\mathbf{E}(\mathbf{r})|^2}{\rho(\mathbf{r})} d\mathbf{r}$$

Dónde:

σ es la conductividad eléctrica de la muestra

E es la media cuadrática del campo eléctrico

ρ es la densidad de la muestra

V es el volumen de la muestra

1.14. LMP Y ECAS

Según decreto supremo N° 038-2003-MTC[43] que presenta un resumen de los Límites máximos permisibles y establecidos en nuestro país, es que citamos a continuación el artículo Nro. 3:

“Apruébese y adóptese como Límites Máximos Permisibles de Radiaciones No Ionizantes en Telecomunicaciones, los valores establecidos como niveles de referencia por la Comisión Internacional de Protección en Radiaciones No Ionizantes – ICNIRP”, tal como se muestran en las siguientes tablas:

1.14.1. Para exposición ocupacional [43]:

Tabla 2. Límites Máximos Permisibles de Radiaciones No Ionizantes para Exposición Ocupacional

Rango de frecuencias	Intensidad de campo eléctrico (V/m)	Intensidad de campo magnético (A/m)	Densidad de potencia (W/m ²)
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 f ^{0,5}	0,008 f ^{0,5}	f / 40
2 – 300 GHz	137	0,36	50

Fuente: Decreto Supremo N° 038-2003-MTC [45]

1.14.2. Para exposición poblacional [43] :

Tabla 3. Límites Máximos Permisibles de Radiaciones No Ionizantes para Exposición Poblacional

Rango de frecuencias	Intensidad de campo eléctrico (V/m)	Intensidad de campo magnético (A/m)	Densidad de potencia (W/m ²)
9 - 150 KHz	87	5	-
0,15 - 1 MHz	87	0,73 / f	-
1 - 10 MHz	87 / f ^{0,5}	0,73 / f	-
10 - 400 MHz	28	0,073	2
400 – 2000 MHz	1,375 f ^{0,5}	0,0037 f ^{0,5}	f / 200
2 – 300 GHz	61	0,16	10

Fuente: Decreto Supremo N° 038-2003-MTC [45]

Los límites de exposición máximos establecidos tienen como referencia las medias temporales y espaciales de las magnitudes indicadas.

Para las frecuencias comprendidas entre 100 KHz - 10 GHz el período de tiempo a ser utilizado para este cálculo es de 6 minutos.

Para la presente norma, los valores se expresan conforme a las magnitudes físicas establecidas en el SLUMP (Sistema Legal de Unidades de Medida del Perú), descritos en la tabla adjunta.

Tabla 4. Unidades de Medida del Perú - CEM

MAGNITUD FÍSICA	UNIDAD DE MEDIDA	
	Designación o denominación	Símbolo Internacional
Intensidad de Campo Magnético	Amperio por metro	A/m
Intensidad de Campo Eléctrico	Voltio por metro	V/m
Densidad de Potencia	vatio por metro cuadrado	W/m

Fuente: Decreto Supremo N° 038-2003-MTC [45]

1.14.3. Comparación de los Niveles de Exposición

Según estudios realizados por el MTC a través del Mag. Carlos Enrique Maesaka Yamasaki[46] Los niveles permisibles correspondientes a exposición en áreas de uso público son muy inferiores a los correspondientes a los tipos de exposición poblacional y ocupacional.

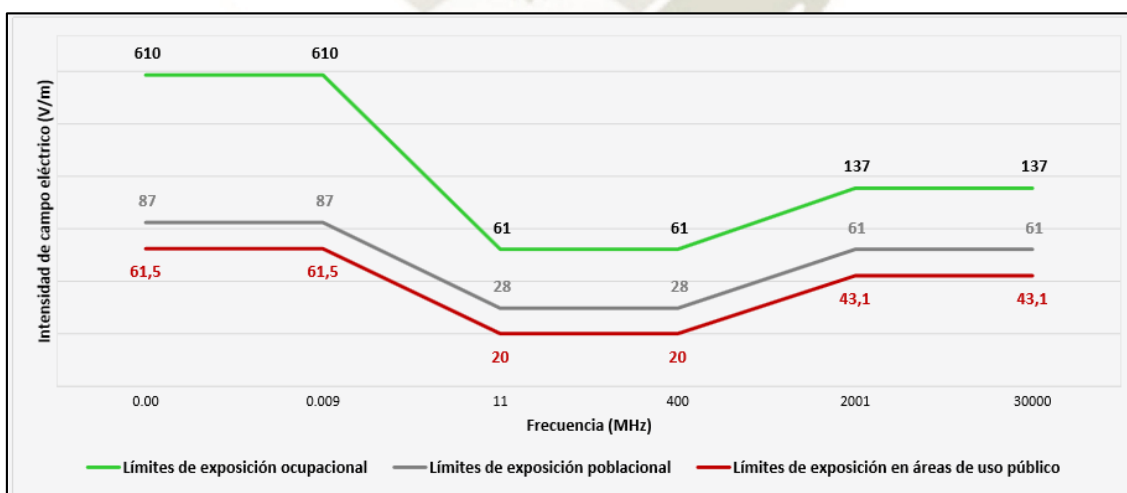


Figura 14. Comparación de los niveles de Exposición.

Fuente: ICNIRP; D.S. N° 038-2003-MTC[45]; R.M. N° 120-2005-MTC/03[47].

1.15. MARCO LEGAL

1.16. **Ámbito Internacional**

1.16.1. Normas y Directrices

Según la OMS en su portal acerca de las investigaciones del Electrosmog[30] dice que varios organismos nacionales e internacionales han formulado directrices que establecen límites para la exposición a campos electromagnéticos (CEM) en el trabajo y en los lugares de residencia. Los límites de exposición a CEM[3] desarrollados por la Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizante (ICNIRP), se desarrollaron tras evaluar todas las publicaciones científicas revisadas por expertos, incluidos los efectos térmicos y no térmicos. Las normas se basan en evaluaciones de los efectos biológicos que, según se ha comprobado, producen consecuencias para la salud. Una de las principales conclusiones obtenidas de las evaluaciones realizadas por la OMS (Organización Mundial de la Salud)[19], es que, al parecer, las exposiciones a niveles de exposición inferiores a los límites internacionales recomendados por la ICNIRP no producen consecuencias conocidas sobre la salud, en el corto plazo de exposición.

El Proyecto Internacional para el estudio de campos electromagnéticos ha conseguido crear y almacenar información en una base de datos, acerca de las normas que limitan la exposición a CEM producidos por el Electrosmog generado en estos rangos de frecuencia[27].

La introducción de nuevas tecnologías y ante la disparidad de las normas en el mundo acerca del Electrosmog es que la OMS ha iniciado un proceso de armonización[48] en todo el mundo de las normas sobre campos electromagnéticos. donde participan 54 países y 8 organizaciones internacionales, es una oportunidad única de reunir a los países para desarrollar un marco para la armonización de las normas sobre CEM y para fomentar el establecimiento de límites de exposición y otras medidas de control que proporcionen el mismo grado de protección de la salud a todas las personas.

En países como Argentina, Colombia, Chile se han establecido también los límites máximos permitidos (LMP) o Máxima Exposición Permitida (MEP), como ejemplo podemos dar a continuación la siguiente observación y gráfico.

Comparación con límites de OMS/ICNIRP (entorno ocupacional)[49]

$$B=500 \mu\text{T}$$

$$E=10 \text{ kV/m}$$

Valores límite para Radiofrecuencias y Microondas (100kHz-300GHz)

Observaciones:

- En el gráfico siguiente podemos comparar algunas de las aplicaciones más comunes y utilizadas vistas desde su frecuencia respectiva.
- Esta comparación se realiza mediante la superposición de gráficos que representan los valores de la MEP (Máxima Exposición Permitida), en función de su frecuencia de operación.
- En la gráfica la línea roja corresponde a los valores MEP establecidos por la Resolución del ministerio de transporte 295-2003.
- En la gráfica la línea negra corresponde a los valores MEP establecidos por la Resolución ministerial 202-1995 y que son coincidentes con los recomendados por la OMS y la ICNIRP.
- También podemos observar que en la gráfica la línea Verde, los valores MEP, coinciden.

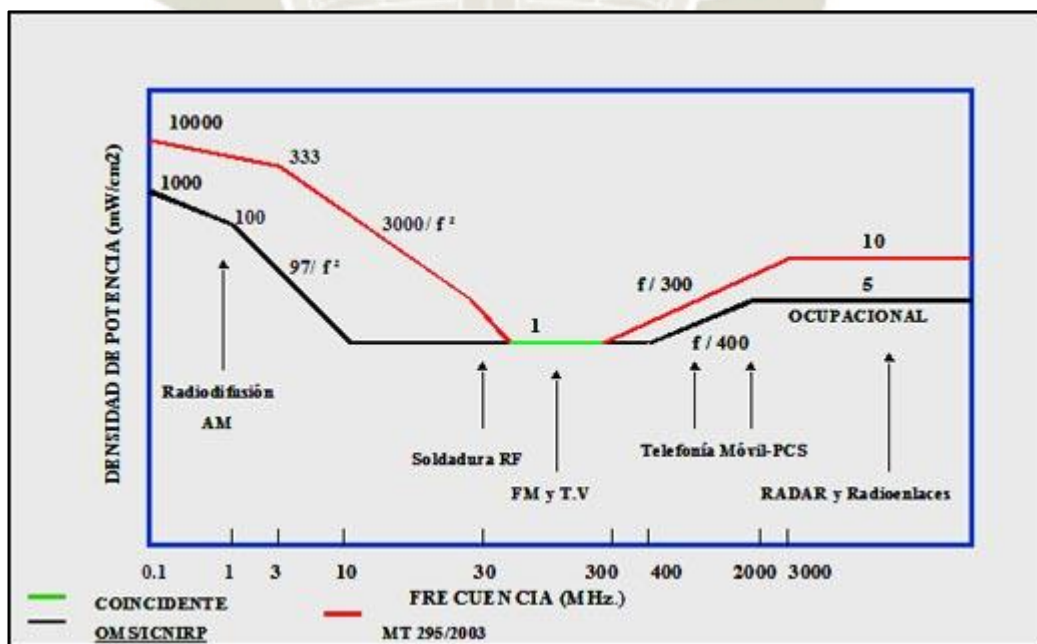


Figura 15. Comparación de valores Máximos Permitidos OMS/ICNIRP

1.17. ÁMBITO NACIONAL

Para la evaluación, (en el Perú), del Electrosmog generado por el Wi-Fi en sus puntos de acceso se considera que están dentro de las radiaciones no ionizantes y se utilizaron los niveles de referencia ICNIRP que corresponden a varias normas y decretos que regulan su utilización y que vemos a continuación:

Tabla 5. Normativa Nacional para Contaminación Electromagnética (Electrosmog)

<i>NORMATIVA</i>	<i>ID</i>
Establecen Límites Máximos Permisibles de Radiaciones No Ionizantes en Telecomunicaciones[45]	D.S. N° 038-2003-MTC
Norma Técnica Lineamientos para el desarrollo de los estudios teóricos de Radiaciones No Ionizantes[50]	R.M. N° 612-2004-MTC/03
Norma Técnica sobre Protocolos de medición de RNI[51]	R.M. N° 613-2004-MTC/03
Norma Técnica sobre Restricciones Radioeléctricas en Áreas de Uso Público[47]	R.M. N° 120-2005-MTC/03
Aprueban Directiva de Certificación de Equipos de Medición de Radiaciones No Ionizantes[52]	R.M. N° 965-2005-MTC/03
Modifican el D.S. N° 038-2003-MTC de Límites Máximos Permisibles de Radiaciones No Ionizantes en Telecomunicaciones[35]	D.S. N° 038-2006-MTC
Aprueban Directiva para la habilitación del registro de personas autorizadas para la realización de Estudios Teóricos y Mediciones de Radiaciones No Ionizantes[53]	R.M. N° 534-2005-MTC/03
Modifican Directiva para la habilitación del registro de personas autorizadas para la realización de Estudios Teóricos y Mediciones de Radiaciones No Ionizantes[36].	R.M. N° 379-2006-MTC/03

Fuente: Elaboración Propia

En el Decreto Supremo N° 038-2003-MTC[43], se establecen los niveles máximos permisibles de exposición ocupacional referidos a algunos tipos de RNR (radiaciones no ionizantes), como rayos láser, ultra violeta, infrarrojos ondas de microondas y por radiofrecuencia, todas las cuales son consideradas hoy en día como Electrosmog. También se describe las principales características del equipamiento para la medición de éstas y otras regiones del espectro con aplicaciones siempre en ámbito ocupacional.

1.18. TECNOLOGÍAS ECO-AMIGABLES

Light Fidelity (Li-Fi) es el término que se usa para describir una comunicación inalámbrica a través de la luz y fue desarrollado por un equipo de científicos de la Universidad de Edimburgo.

El término Li-Fi fue lanzado por el Prof. Haas [54] en julio de 2011 en una conferencia de tecnología, entretenimiento, diseño (TED) que se ocupó de la comunicación con luz visible.

Li-Fi se encuentra dentro del estándar IEEE 802.15.7, esta comunicación se realiza principalmente mediante el uso de LED blancos que se utilizan comúnmente para la iluminación urbana. Li-Fi es una comunicación inalámbrica rápida y económica, es la versión óptica de Wi-Fi, utiliza luz visible (VLC) para comunicarse en lugar de ondas de radio, esta tecnología utiliza una parte del espectro electromagnético que no se utiliza ni regula, como es el espectro visible.

Suponiendo que el Wi-Fi se utiliza para conectar PC, portátiles, PDA, impresoras, teléfonos móviles, consolas de juegos, tecnología de automatización del hogar, podemos deducir que esta conexión masiva de dispositivos y la mayor utilización del espectro de radiofrecuencia, muy valiosa y limitada, se saturará tanto que no se podrá realizar comunicaciones sin interferencias. Ante este problema aparecen las comunicaciones visuales como una solución, empleando el uso de la luz para la transmisión y recepción de datos.

Li-Fi se transmitirá a través de las líneas de iluminación inteligente, para lograr esta integración, la comunicación de luz visible (VLC) [55] se refiere a la tecnología de comunicación que utiliza una fuente de luz visible como transmisor de señal, el aire como

medio de transmisión y el fotodiodo apropiado como componente de la señal de recepción. La utilización de las redes domésticas a través de líneas eléctricas pueden aprovechar la infraestructura de cableado existente para el suministro de iluminación y comunicación. El sistema integrado de VLC y PLC es una forma inteligente de cumplir la premisa de acceso de banda ancha para redes domésticas, al tiempo que proporciona iluminación eficiente y de bajo costo [56].

Li-Fi es un nuevo paradigma para la tecnología inalámbrica óptica que proporciona una conectividad sin precedentes dentro de un entorno centrado en datos localizados. La creciente demanda de anchos de banda más altos, una transmisión de datos más rápida y segura, así como una tecnología respetuosa con el medio ambiente y, sin duda, respetuosa con los humanos, anuncia el comienzo de un cambio importante en la tecnología inalámbrica, un cambio de la tecnología de RF a la óptica [57]. La tecnología Li-Fi está basada en el rendimiento de los diodos emisores de luz (LED) que se pueden encender y apagar muy rápidamente, la velocidad de operación del LED es inferior a 1 ms, el ojo humano no lo detecta. Esta actividad invisible de encendido / apagado permite un tipo de datos de transmisión utilizando códigos binarios. El LED de encendido es un '1' lógico, apagarlo es un '0' lógico. Es posible codificar los datos variando la velocidad a la que el LED se enciende y apaga para dar diferentes cadenas de 1s y 0s.



Figura 16. Ejemplo de comunicación con luz visible: uso de la iluminación LED como transmisor de datos.

Fuente: Imagen Referencial

La modulación es tan rápida que el ojo humano no se da cuenta [56]. Un dispositivo sensible a la luz (detector de fotos) recibe la señal y la convierte nuevamente en los datos originales. Este método de uso de pulsos rápidos de luz para transmitir información de

forma inalámbrica se conoce técnicamente como Comunicación de luz visible (VLC) que utiliza luz visible y portadora óptica para la transmisión de datos y la iluminación. Hoy en día, el LED en longitudes de onda visibles (380 nm ~ 780 nm) se ha desarrollado activamente [57] y se puede utilizar como fuente de comunicación, y se utiliza un fotodiodo de silicio como elemento receptor.

En la actualidad, la investigación se centra en los interiores utilizando VLC y VLC IR que utilizan canales de comunicación por infrarrojos convencionales[58], ya que las configuraciones de enlace son similares. VLC tiene dos naturalezas, comunicación e iluminación. Las otras ópticas relacionadas con los principios físicos se pueden aplicar de manera similar, incluida la transmisión de luz y la reflexión. Ejemplo de comunicación con luz visible se da en la figura 1 debajo.

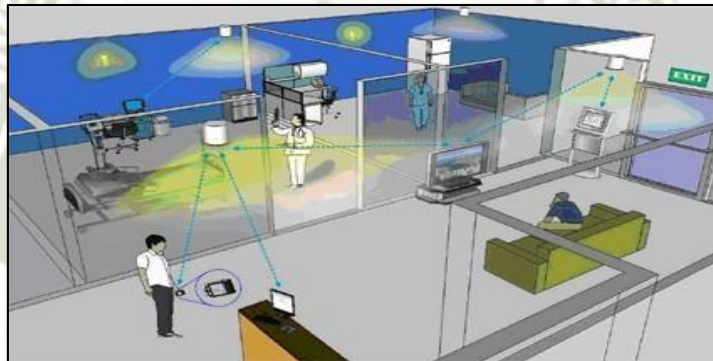


Figura 17. Ejemplo de comunicación con luz visible: uso de iluminación LED como transmisor [1]

Fuente: Imagen Referencial

CAPITULO II

METODOLOGÍA

2.

2.1. Estrategias Metodológicas

Como estrategia metodológica utilizada en la presente tesis, se realizó lo siguiente, una revisión del estado de la situación actual de las normas y literatura acerca de posibles efectos sobre la salud para señales provenientes de redes Wi-Fi, observación y evaluación de lugares dentro de la universidad donde se realizaron mediciones de los niveles de Electrosmog emitidos por antenas de los Access Point.

Se tuvo en cuenta, la densidad de población, las características de las personas como su edad, ocupación, sexo y altura.

Para conocer a fondo las tareas y ocupación se hicieron observaciones y se recabo información mediante encuestas a los trabajadores administrativos seleccionados dentro de la universidad.

2.1.1. Observación

Técnica que permitió recolectar información acerca de las ocupaciones y actividades del personal administrativo dentro de los ambientes expuestos al Electrosmog (RF).

Se registraron los datos observados en las distintas áreas de la Universidad, donde se evaluaron los siguientes ítems:

- Horarios de trabajo
- Access Point
- Tipo de Antenas
- Distancia de los Access Point a los trabajadores
- Cantidad de trabajadores por facultad

2.1.2. Encuestas

A través de las encuestas podemos realizar la socialización de nuestra información porque una encuesta consiste en reunir datos, entrevistando y preguntando a los trabajadores objetivos.

La encuesta es un instrumento de la investigación, que consiste en obtener información de las personas encuestadas mediante el uso de cuestionarios diseñados en forma previa para la obtención de información específica.

Dentro de una investigación la encuesta representa una herramienta importante donde el investigador recopila información y datos mediante un cuestionario previamente diseñado para no alterar o modificar el entorno del fenómeno que se espera estudiar. En la encuesta se obtiene información con la finalidad saber una serie de datos como opinión, comportamiento y actitud de la población ante temas o fenómenos específicos. Los datos se obtienen realizando un conjunto de preguntas normalizadas.

Los resultados obtenidos siguen un procesamiento matemático y estadístico que nos permitió obtener una información cuantitativa

2.1.3. Mediciones

Para realizar la medición, se tomó en cuenta la revisión de las normas, considerado como guía la Norma Técnica sobre Protocolos de medición de RNI[51], comprendida dentro del D.S. N° 038-2003-MTC[45].

2.1.4. Estado del arte

Para la revisión de literatura de los posibles efectos de las redes Wi-Fi se ha considerado las investigaciones realizadas por la Organización Mundial de la Salud, (OMS), a través del Proyecto Internacional CEM[48], así mismo investigaciones realizadas por la International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)[34], Effets sanitaires des technologies de communication sans fil et autres applications radio fréquences[59], Health Council of the Netherlands. Mobile phones and cáncer[60], la IEEE con Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure Levels to Radio Frequency

Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz[41], Evaluation of Exposure of School Children to Electromagnetic Fields from Wireless Computer Networks (Wi-Fi).[61], Non-Ionizing Electromagnetic Radiation in the Radiofrequency Spectrum and its Effects on Human Health.[62], Measurements of Radio Frequency Exposure from Wi-Fi Devices[63].

Para la medición del Electrosmog se debe tener en cuenta algunos aspectos fundamentales como: características del sitio, distancia a la fuente de radiación, las variables a medir, las unidades de medida, el tipo de medición; además, se debe conocer las normas nacionales e internacionales relacionadas con este tipo de mediciones, los LMP y ECA. Además de tener instrumentos de medición requeridos.

En la Resolución Ministerial N° 613-2004-MTC[51], del 17 de Agosto del 2004 dice:

“De conformidad con lo dispuesto en el Texto Único Ordenado de la Ley de Telecomunicaciones aprobado por Decreto Supremo N° 013-93-TCC[64], el Texto Único Ordenado del Reglamento General de la Ley de Telecomunicaciones aprobado por Decreto Supremo N° 027-2004-MTC[65] y el Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio de Transportes y Comunicaciones aprobado por Decreto Supremo N° 041-2002-MTC”[66].

Se resuelve:

Artículo Único. - “Se aprueba la norma técnica sobre Protocolos de Medición de Radiaciones No ionizantes, la misma que consta de 5 artículos y 2 anexos, que forma parte integrante de la presente resolución”

Y donde podemos encontrar los métodos y protocolos de medición de Radiaciones No Ionizantes, los cuales revisaremos a continuación de acuerdo a nuestras necesidades, como es el caso del Electrosmog generado por Wi-Fi.

Las mediciones se realizarán en emplazamientos fijos como son las oficinas y pasillos donde se encuentran ubicados las antenas de los puntos de acceso Wi-Fi.

Mediciones en equipos móviles, equipos portátiles y/o terminales portátiles que utilicen espectro radioeléctrico, dentro del entorno de la investigación.

Para los emplazamientos fijos:

- Densidad de potencia.
- Intensidad de campo eléctrico.
- Intensidad de campo magnético.

Para los equipos móviles:

- Intensidad de campo eléctrico.

Para los equipos portátiles y/o terminales portátiles:

- Tasa de Absorción Específica (SAR)

Tal como se menciona en Resolución Ministerial N° 613-2004-MTC[51]; Las mediciones de los emplazamientos fijos, deberán ser mediciones en la región de campo cercano, y con equipos preparados para la medición de campos electromagnéticos. Las mediciones realizadas sobre los equipos móviles, portátiles y/o terminales serán mediciones de campo cercano.

2.1.5. Equipo para la medición del Electromog generado por Wi-Fi.

La Tabla 6 enumera los equipos para la medición de Electromog por RF que se usaron durante este trabajo.

Tabla 6. Equipos de Medición

Equipos/dispositivos auxiliares	Modelo	Fabricante	Fecha de Calibración
Broadband Field Meter NBM-550	NBM 550	Narda	2018-10-12
Cable RF 9 kHz to 6 GHz, N 50 ohm, 5 m	550/02	Narda	2018-10-12
NBM E-Field-Probe 1891 Antena 100 kHz - 3 GHz	2402/01B	Narda	2018-10-09
NBM E-Field-Probe EF 0392 100 kHz - 3 GHz	2402/12B	Narda	2018-10-09
NBM E-Field-Probe EF 1891 3 MHz - 18 GHz	2402/02B	Narda	2018-10-09
Spectrum Analyzer	FSL	Rohde & Schwarz	2018-10-12
RF Cable	RD-101	Huber & Suhner	2018-10-12
Horn Antenna	3117	ETS-Lindgren	2018-10-12

Fuente: Elaboración Propia

Durante el estudio también se utilizaron dispositivos auxiliares, como un trípode, cinta métrica, cámara digital. El equipo de medición Narda NBM 550 se configuró en el modo de Pruebas de seguridad donde muestra los niveles de exposición a RF.

2.1.6. Puntos de Medición para los Puntos de Acceso Wi-Fi y equipos inalámbricos.

En la Tabla 7 y 8 se enumeran los puntos de acceso inalámbricos y los dispositivos que utilizan Wi-Fi dentro del área de estudio en el presente trabajo (Puntos de medición en el área de trabajo seleccionada).

Tabla 7. Puntos de Acceso Wi-Fi (Ubicación y características)

Punto de Acceso No. (AP)	Banda Wi-Fi habilitada	Modelo.	Nombre - Ubicación
1	2.4/5 GHz	R600	RUCKUS AP-N204-19
2	2.4/5 GHz	R600	RUCKUS AP-N208-20
3	2.4/5 GHz	R600	RUCKUS AP-ADM-38
4	2.4/5 GHz	R600	RUCKUS AP-MKT-40

Fuente: Elaboración Propia

Los puntos de acceso Wi-Fi (AP) transmiten normalmente a una frecuencia de 2437 MHz en el Canal 6.

Specifications Overview		
<p>Wi-Fi Standards IEEE 802.11a/b/g/n/ac</p> <p>Peak PHY Rates 2.4GHz: 450Mbps 5 GHz: 1300Mbps</p> <p>Client Capacity Up to 512 clients per AP</p>	<p>Antenna Optimization BeamFlex+ Polarization Diversity with Maximal Ratio Combining (PD-MRC)</p> <p>Wi-Fi Channel Management n/a</p> <p>Mesh SmartMesh™ wireless meshing technology. Self-healing Mesh</p>	<p>USB n/a</p> <p>Ethernet 2 x 1GbE ports, RJ-45</p> <p>Operating Temperature 0 °C (32 °F) to 40 °C (104 °F)</p>

Figura 18. Características de los AP Ruckus

Fuente: Especificaciones Técnicas [67]

A continuación, mostramos una tabla 8 con las características de los equipos de uno de los laboratorios móviles con que cuenta la universidad Católica San Pablo.

Tabla 8. Equipos con Wi-Fi habilitado

Laptop No.	Wi-Fi band available
1	2/5 GHz
2	2/5 GHz
3	2/5 GHz
4	2 GHz
5	2 GHz
6	2 GHz
7	2 GHz
8	2/5 GHz
9	2/5 GHz
10	2/5 GHz
11	2/5 GHz
12	2/5 GHz
13	2/5 GHz
14	2/5 GHz
15	2/5 GHz
16	2/5 GHz
17	2/5 GHz
18	2/5 GHz
19	2/5 GHz
20	2/5 GHz

Fuente: Elaboración Propia

El programa Vistumbler[68] se instaló en un computador con interface inalámbrica para identificar los puntos de acceso Wi-Fi en el área. El software proporciona información sobre la intensidad de la señal de cada punto de acceso Wi-Fi, todos operan a 2.4 y 5 Ghz. Así mismo el software también detecto dispositivos que reciben la señal inalámbrica y su intensidad.

Vistumbler v10.6.5 Beta 2 - By Andrew Calcutt - 07/09/2018 - (2019-04-15 15:09:42.mdb)

File Edit Options View Settings Interface Extra WifiDB Help *Support Vistumbler*

Stop Use GPS Active APs: 11 / 22 Latitude: N 0000.0000
Actual loop time: 1012 ms Longitude: E 0000.0000

Graph1 Graph2

Network Type	#	Active	Mac Address	SSID	Signal	High Signal	RSSI	High RSSI	Channel	Authentication	Encryption	Network Type	Latitude
Infrastructure	22	Dead	A8:7D:12:EC:E7:A7	HUAWEI Y7 2018	0%	26%	-100 dBm	-87 dBm	6	WPA2-Personal	CCMP	Infrastructure	N 0.0
(UCSP)	21	Active	C0:F4:E6:1F:A3:D4	HUAWEI P smart	58%	68%	-71 dBm	-66 dBm	6	WPA2-Personal	CCMP	Infrastructure	N 0.0
(UCSP)	20	Dead	F0:3E:90:74:FF:D8	UCSP-INVEST	0%	18%	-100 dBm	-88 dBm	2	WPA2-Personal	CCMP	Infrastructure	N 0.0
(UCSP-DOC)	19	Dead	C4:86:E9:08:FB:97	HUAWEI-FB97	0%	30%	-100 dBm	-85 dBm	9	WPA2-Personal	CCMP	Infrastructure	N 0.0
(UCSP-DOC)	18	Dead	74:3E:2B:7E:F9:08	UCSP-INVEST	0%	34%	-100 dBm	-83 dBm	4	WPA2-Personal	CCMP	Infrastructure	N 0.0
(UCSP-DOC)	17	Dead	10:8E:F5:D4:D1:4C	LABMOVIL-A	0%	34%	-100 dBm	-83 dBm	5	WPA2-Personal	CCMP	Infrastructure	N 0.0
(Rectorado)	16	Active	64:70:02:D7:AC:50	OFFICE2	34%	42%	-83 dBm	-79 dBm	11	WPA-Personal	CCMP	Infrastructure	N 0.0
(TroposNetworks)	15	Active	38:FF:36:49:DB:E8	UCSP-DOC	68%	84%	-66 dBm	-58 dBm	1	WPA2-Personal	CCMP	Infrastructure	N 0.0
(HUAWEI Mate 9 lite)	14	Active	74:3E:2B:3F:1D:38	UCSP	74%	88%	-63 dBm	-56 dBm	4	Open	None	Infrastructure	N 0.0
(0)	13	Active	74:3E:2B:01:6B:38	UCSP	68%	80%	-66 dBm	-60 dBm	2	Open	None	Infrastructure	N 0.0
(UCSP)	12	Active	38:FF:36:09:DB:E8	UCSP	68%	84%	-66 dBm	-58 dBm	1	Open	None	Infrastructure	N 0.0
(UCSP)	11	Dead	F8:E9:03:C8:FE:78	UCSP	0%	28%	-100 dBm	-86 dBm	1	WPA2-Personal	CCMP	Infrastructure	N 0.0
(UCSP)	10	Dead	8C:25:05:45:7C:47	HUAWEI Mate 9 lite	0%	30%	-100 dBm	-85 dBm	1	WPA2-Personal	CCMP	Infrastructure	N 0.0
(UCSP-DOC)	9	Dead	00:0D:97:0A:40:AD	TroposNetworks	0%	34%	-100 dBm	-83 dBm	6	WPA2-Personal	CCMP	Infrastructure	N 0.0
(OFFICE2)	8	Dead	02:22:62:1E:BE:1D	HPN811a.C36079	0%	34%	-100 dBm	-83 dBm	6	Open	None	Ad Hoc	N 0.0
(LABMOVIL-A)	7	Active	38:FF:36:0C:71:48	Rectorado	34%	50%	-83 dBm	-75 dBm	10	WPA2-Personal	CCMP	Infrastructure	N 0.0
(UCSP-INVEST)	6	Active	74:3E:2B:7F:1D:38	UCSP-DOC	72%	88%	-64 dBm	-56 dBm	4	WPA2-Personal	CCMP	Infrastructure	N 0.0
(HUAWEI-FB97)	5	Dead	38:FF:36:49:E1:08	UCSP-DOC	0%	62%	-100 dBm	-69 dBm	2	WPA2-Personal	CCMP	Infrastructure	N 0.0
(UCSP-INVEST)	4	Active	74:3E:2B:41:6B:38	UCSP-DOC	66%	82%	-67 dBm	-59 dBm	2	WPA2-Personal	CCMP	Infrastructure	N 0.0
(HUAWEI P smart)	3	Active	74:3E:2B:41:6B:D8	UCSP-DOC	38%	54%	-81 dBm	-73 dBm	11	WPA2-Personal	CCMP	Infrastructure	N 0.0
(HUAWEI Y7 2018)	2	Dead	38:FF:36:09:E1:08	UCSP	0%	60%	-100 dBm	-70 dBm	2	Open	None	Infrastructure	N 0.0
Ad Hoc	1	Active	74:3E:2B:01:6B:D8	UCSP	36%	54%	-82 dBm	-73 dBm	11	Open	None	Infrastructure	N 0.0

Windows taskbar: Vistumbler v10.6.5... Documento1 - Mic...

System tray: ESP 3:12 p. m., US 15/04/2019

Figura 19. Escaneo de equipos Activos dentro del rango del Access Point

Fuente: Elaboración Propia

2.1.7. Ubicación del área de medición y características del entorno (Vista aérea de la Zona).

Las mediciones se realizaron entre el 15 y el 19 de abril de 2019 en las áreas cercanas a la oficina del personal administrativo de la universidad Católica San Pablo, Arequipa (consulte la Figura 20). La temperatura dentro de la oficina fue de aproximadamente 18 °C con baja humedad.



Figura 20. Vista aérea de la ubicación del pabellón administrativo dentro del cual se encuentran los puntos de medición, UCSP-Arequipa.

Fuente: Google Maps modificado por Juan Carlos Loaiza

Las ubicaciones de medición dentro del área de estudio, vista desde el aire se representan en la Figura 20, y una imagen de la distribución de antenas Wi-Fi en el área administrativa se presenta en la Figura 21.

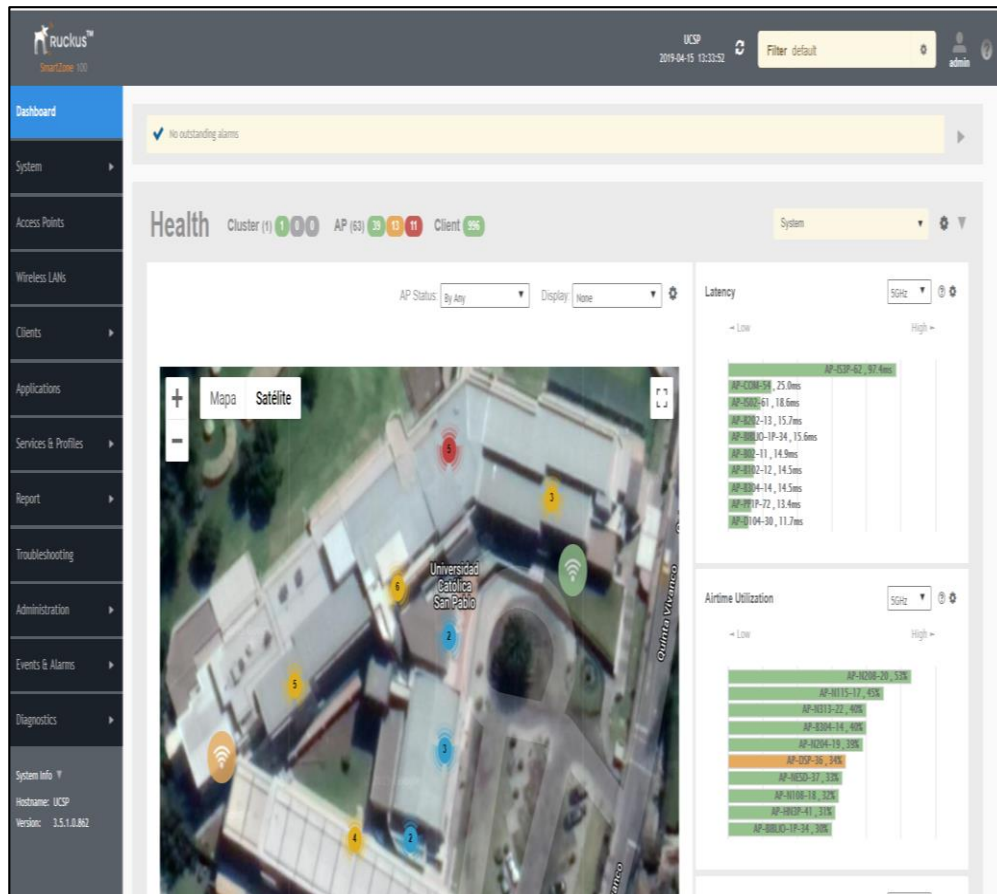


Figura 21. Distribución de Acces Point dentro del área administrativa

Fuente: Fuente: Google Maps modificado por Juan Carlos Loaiza

Las ubicaciones de medición dentro del laboratorio móvil se representan en la Figura 22, y una imagen de la distribución de dispositivos Wi-Fi y el sensor de radiación dentro del área se presenta en la Figura 23.



Figura 22. Esquema de ubicaciones de medición de Electromog (RF)

Fuente: Elaboración Propia



Figura 23. Distribución del Laboratorio móvil y el sensor de radiación

Fuente: Elaboración Propia

2.1.8. Metodología de medición.

El Electromog al ser un campo electromagnético cuenta con dos componentes, un eléctrico y otro magnético, los cuales se miden en voltios por metro (V/m) y en amperios por metro (A/m.) La densidad de potencia, que es la combinación de estos dos componentes, se mide en miliwatios por centímetro cuadrado (mW/cm²).

Las mediciones se realizaron sobre 4 puntos de acceso Wi-Fi, utilizados en un entorno real de trabajo permanente tanto para personal administrativos, docentes y estudiantes de la universidad Católica San Pablo, situación que implicaba descargas de archivos grandes, actualizaciones de sistema operativo, stream de video, así como el uso de dispositivos interactivos, e interacción entre aplicaciones entre varias computadoras.

La Tabla 9 y la Tabla 8 presentan los detalles de los casos de prueba relacionados con los campos ambientales y los dispositivos Wi-Fi en funcionamiento, respectivamente.

Tabla 9. Prueba relacionados con los campos ambientales.

Item	Rango de Frecuencia	Lugar de Medida	Altura de antena Tri-axis	Tiempo de escaneo	Wi-Fi
					Access Point
1a	50 MHz to 6 GHz	Ubicación ^a predefinida P7	1.80m	~1 min	Apagado
2a	50 MHz to 6 GHz	Ubicación predefinida P7	1.40 ^b m	~1 min	Apagado
3a	50 MHz to 6 GHz	Ubicación predefinida P7	1.40m	~6 min	Apagado
4a	50 MHz to 6 GHz	Ubicación predefinida P7	Array de nueve puntos que representa la zona transversal del cuerpo humano ^c	12 sec. en cada punto	Apagado

a. Consulte la Figura 4 para ver las ubicaciones de medición predefinidas.

b. La altura de 1,25 metros es aproximadamente la altura de una persona en posición sentada.

- c. La matriz de nueve puntos se describe en la Guía Técnica de Health Canada para la Evaluación de Interpretación y Cumplimiento de las Pautas de Exposición a Radiofrecuencia de Health Canada (http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/radiation/radio_guide-lignes_direct-eng.php).

Fuente: Matriz de 9 puntos - Guía Técnica [69]

En Perú, los sistemas Wi-Fi pueden operar a 2400-2483.5 MHz y 5150-5350 MHz, utilizando canales de 20 o 40 MHz. Los dispositivos Wi-Fi pueden operar a diferentes niveles de potencia, dependiendo de la banda y las características de operación. De acuerdo con los requisitos técnicos de los equipos de Access Point o Wi-Fi, la potencia máxima en la antena y la potencia isotrópica radiada equivalente máximo (e.i.r.p.) no deben exceder 1 vatio y 4 vatios, respectivamente.

Tabla 10. Pruebas relacionadas con dispositivos Wi-Fi en funcionamiento.

Item	Rango de Frecuencia	Lugar de Medida	Altura de antena Tri-axis	Tiempo de escaneo	Dispositivos habilitados con WI-Fi	Wi-Fi
						Access Point
1b	2.4 a 5.825 GHz	Ubicación pre-definida.	1.80 m	~1 min	Todas las laptops en modo descarga	Encendido
2b	2.4 a 5.825 GHz	Ubicación pre-definida.	1.80 m	~1 min	Todas las laptops en modo descarga	Encendido
3b	2.4 a 5.825 GHz	En la ubicación con el nivel de RF más alto de los resultados de 1b y 2b (ubicación P1)	Array de nueve puntos que representa la zona transversal del cuerpo humano	6 min por cada punto ^b	Todas las laptops en modo descarga	Encendido
4b	2.4 a 5.825 GHz a las 12:00 am	A 50 cm de la ubicación P1, más cerca de P2	1.40 m	6 min	8 laptops en modo de carga C; 2 laptops apagadas.	Encendido

5b	2400 a 2483.5 MHz	A 50 cm de la ubicación P1, más cerca de P2	1.40 m	6 min	8 laptops en modo de carga; 2 laptops en modo descarga.	Encendido
6b	2400 a 2483.5 MHz	A 50 cm de la ubicación P1, más cerca de P2	1.40 m	6 min	1 laptop en modo de carga; 9 laptops apagadas	Encendido
7b	2400 a 2483.5 MHz	A 50 cm de la ubicación P1, más cerca de P2	1.40 m	6 min	1 laptop en modo descarga; 9 laptops apagadas	Encendido
8b	5150 a 5350 MHz	20 cm del AP1	NA	~1 min	Todas las laptops en modo descarga.	Encendido
9b	2400 a 2483.5 MHz	20 cm del AP2 y AP3	NA	~1 min	Todas las laptops en modo descarga.	Encendido

- Modo descarga:** Los dispositivos bajan actualizaciones desde un server remoto.
- Para cada punto del array de nueve puntos, se realiza una medición de 6 minutos para proporcionar el nivel de RF basado en el promedio espacial y de tiempo.
- Modo de carga:** Los dispositivos habilitados para Wi-Fi están enviando datos a una ubicación de red remota (a un servidor host a través de un punto de acceso Wi-Fi).

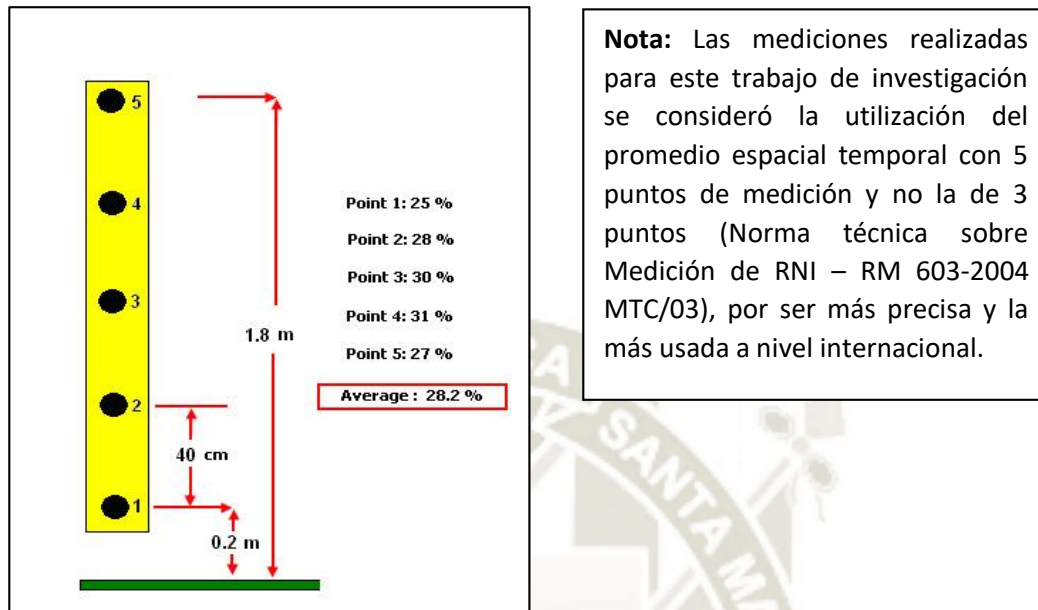
Fuente: Elaboración Propia

Las mediciones se tomaron en varios puntos de la universidad y a distintas distancias de los puntos de acceso Wi-Fi, incluidos aquellos en los que normalmente se informan niveles más altos de exposición a RF.

Los parámetros a utilizar en la medición son los siguientes:

- El instrumento de medición debe apuntar hacia las antenas emisoras.
- La medición debe hacerse entre 3 a 5 puntos, para realizar el promedio de medición espacial.
- Debe tomarse en cuenta la utilización de un trípode plástico y cinta métrica. (La separación de 0.4 metros entre los puntos de medición)[70, 71].

- La altura del instrumento de medición debe hacer el barrido entre los 0.2 metros y 1.8 metros sobre el nivel del suelo o el plano de referencia horizontal donde se toman las medidas, como se muestra en la Figura 24.



Nota: Las mediciones realizadas para este trabajo de investigación se consideró la utilización del promedio espacial temporal con 5 puntos de medición y no la de 3 puntos (Norma técnica sobre Medición de RNI – RM 603-2004 MTC/03), por ser más precisa y la más usada a nivel internacional.

Figura 24: Mediciones de nivel de señal espacial y temporal no uniforme y el cálculo del valor promedio espacial en el tiempo como un porcentaje de los límites máximos permitidos.

Fuente: Medición en entornos no controlados, SC6 [72].

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Resultados de medición en el entorno.

Inicialmente se realizaron mediciones para determinar los niveles de exposición al Electromog por RF en el entorno, con los Access Point Wi-Fi y todos los demás dispositivos inalámbricos del área de medición administrativa y el laboratorio móvil sin operar. Este capítulo resume los principales hallazgos para los casos de pruebas de 1a a 4a. Sin embargo, los resultados de medición más detallados se presentan en el Anexo D.

1a) Medición con la antena Tri-axial colocada a una altura de 1.80 metros en la frecuencia de 30 MHz a 6.0 GHz.

La ubicación P1 tuvo el registro más alto, que fue el 0.084% de los límites máximos permitidos. El nivel promedio de exposición a Electromog RF registrado en la misma ubicación fue de 0.003% de los límites máximos permitidos. Los valores de intensidad de campo promedio para las 12 ubicaciones fueron similares, con una desviación estándar de 0.00017%.

2a) Medición con la antena Tri-axial colocada a una altura de 1.25 metros en la frecuencia de 30 MHz a 6.0 GHz.

Los niveles de exposición a Electromog RF eran casi iguales en todas las ubicaciones, el punto P7 fue elegido aleatoriamente para su medición con la antena Tri-axial colocada a una altura de 1.25 metros, que representa la zona media del cuerpo humano. Los niveles de exposición a RF fueron similares a los niveles medidos con la antena Tri-axial situada a una altura de 1,80 metros. El nivel promedio de exposición a RF registrado en P7 fue de 0.003% de los límites máximos permitidos.

3a) Medición con la antena Tri-axial colocada a una altura de 1.40 metros en la frecuencia de 30 MHz a 6.0 GHz, con un barrido de 6 minutos.

Se eligió el punto P7 para la medición de tiempo promedio de 6 minutos con la antena Tri-axial colocada a una altura de 1.40 metros. El nivel máximo fue de 0.013% y el promedio de exposición a Electrosmog RF registrado fue de 0.003% de los límites máximos permitidos.

4a) Medición con la antena Tri-axial colocada a una altura de 1.40 metros representando la sección transversal del cuerpo humano en la frecuencia de 30 MHz a 6.0 GHz.

Se realizó el promedio espacial utilizando un array de nueve puntos que representa una sección transversal del cuerpo humano. Debido a que los niveles de exposición a la temperatura ambiente estaban muy por debajo de los límites máximos permitidos, se realizó una exploración rápida en cada punto del array de nueve puntos. El valor obtenido para el promedio espacial fue de 0.003% de los límites máximos permitidos y similares a los límites SC6. El promedio ambiental es el mismo para todas las ubicaciones y el promedio espacial de la matriz de nueve puntos (% LMP): 0.002667%

3.1.1 Resultados de las pruebas con los Access Points y dispositivos Wi-Fi operando.

Las mediciones se configuraron para determinar los niveles de exposición a Electrosmog RF cuando los Access Point y los 20 dispositivos habilitados para Wi-Fi estaban operativos. Este capítulo resume los hallazgos principales para los casos de prueba 1b a 9b. Los resultados de las mediciones con detalle se ven en el Anexo D.

1b) Niveles de exposición a Electrosmog RF desde 2.4 a 5.8 GHz en cada ubicación de medición pre-definida con la antena tri-axial colocada a 1.80 metros de altura.

Las mediciones se realizaron en cada ubicación pre-definida (ver Figura 21) con la antena Tri-axial colocada a una altura de 1.80 metros. La información se capturó durante aproximadamente 50 a 60 barridos por minuto en cada lugar.

Los dispositivos con Wi-Fi descargaban un archivo grande desde un servidor de actualizaciones Microsoft a través del AP2, mientras que el AP1 estaba en modo de prueba de transmisión continua. De acuerdo con los resultados de la medición, la ubicación P5 tuvo el nivel más alto de exposición a RF. La ubicación de P5 fue la ubicación más cercana a AP1 (distancia ~ 1.1 m). El nivel promedio de exposición a RF para las bandas de Wi-Fi en esta ubicación (P5) fue de 0.12% de los límites máximos permitidos. La banda de 2400-2483.5 MHz proporcionó la mayor contribución al nivel promedio de RF, que fue 0.10% de los límites máximos permitidos.

2b) Niveles de exposición a Electromog RF desde 2.4 a 5.8 GHz en cada ubicación de medición pre-definida con la antena tri-axial colocada a 1.40 metros de altura.

Las mediciones se realizaron nuevamente en cada ubicación seleccionada con la antena tri-axial colocada a una altura de 1.40 metros. La información se capturó durante aproximadamente 50 a 60 barridos por minuto en cada lugar. Los dispositivos habilitados para Wi-Fi estaban descargando un archivo de actualización pesado desde el AP2 mientras que AP1 estaba en modo de prueba de transmisión continua.

De acuerdo con los resultados de la medición, la ubicación P6 tuvo el nivel más alto de exposición a RF, ubicada a una distancia ~ 1,5 m de AP2. El nivel promedio de exposición a RF para las bandas de Wi-Fi en esta ubicación fue de 0.240% de los límites máximos permitidos. La banda de 2400-2483.5 MHz proporcionó la mayor contribución al nivel de RF promedio, que fue de 0.221% de los límites máximos permitidos.

3b) Niveles de exposición a Electromog RF promediados en el tiempo y en el espacio de 2.4 a 5.825 GHz en las ubicaciones con niveles más altos encontrados de 1b y 2b.

La legislación peruana y el código de seguridad 6 de Health Canada establecen que para situaciones en las que la intensidad de la exposición varía significativamente con el tiempo dentro de un período de 6 minutos, los valores de promedio de tiempo se deben calcular a partir de múltiples mediciones. El Código de seguridad 6 también establece que el promedio espacial (de una matriz de nueve puntos) sobre el área de superficie proyectada (plano) equivalente a la cabeza y la región del cuerpo de una persona se medirá si los valores localizados varían en más del 20%.

De acuerdo con los resultados de la medición, en la ubicación P5 y P6 respectivamente para los AP1 y AP2 y de acuerdo al promediado espacio temporal en concordancia a los LMP para entornos no controlados a una altura entre los 0.5 y 1.80 metros de altura y a una distancia de 0.40 metros es de 0.09931%.

4b) Niveles de exposición a Electrosmog RF para ocho Laptops conectadas a AP2 en modo de carga de archivos, en una ubicación de medición predefinida con la antena con la antena tri-axial colocada a 1.40 metros de altura.

Las pruebas de los casos 4b a 7b determinaron la variación en los niveles de exposición a RF cuando las Laptops estaban en modo de carga o descarga, o ambos, en la ubicación de medición predefinida. La antena de tri-axial se posicionó a una altura de 1.40 metros.

La medición se realizó a 50 cm de la ubicación P1 con dirección a la ubicación P2. Esta ubicación fue seleccionada porque estaba centrada entre las ocho laptops en modo carga (ver figura 23).



Figura 25: Prueba con antena Tri-axial cuando se carga y descarga data

En la prueba 4b, 08 Laptops estaban cargando un archivo grande de aproximadamente 4 GB a un servidor conectado a AP2 mientras que las 12 laptops restantes estaban apagadas.

De acuerdo con los resultados de la medición, la mayor contribución al nivel más alto de exposición a RF se dio en la banda de 5150 – 5350 MHz con 0.0575 % y el nivel de RF promedio, que fue de 0.0567% de los límites máximos permitidos.

5b) Niveles de exposición a Electromog RF para 08 Laptops conectadas a AP2 en modo de carga y 12 Laptops en modo de descarga en una ubicación de medición predefinida con la antena de tres ejes Posicionado a una altura de 1.40 metros.

En esta prueba, ocho Laptops estaban cargando un archivo grande de aproximadamente 4 GB a un servidor conectado a AP2 mientras que las 12 laptops restantes estaban descargando un archivo grande de 14 GB desde AP2.

De acuerdo con los resultados de la medición, la mayor contribución al nivel más alto de exposición a RF se dio en la banda de 5150 – 5350 MHz con 0.0493 % y el nivel de RF promedio, que fue de 0.0514% de los límites máximos permitidos.

6b) Niveles de exposición a Electromog RF para una Laptop conectada a AP2 en modo de carga en una ubicación de medición predefinida con la antena tri-axial colocada a una altura de 1.40 metros.

En esta prueba, una Laptop (No.11) estaba cargando un archivo grande de aproximadamente 4 GB a un servidor conectado a AP2 mientras las computadoras portátiles restantes estaban apagadas. Se seleccionó la computadora portátil 11 porque era la más cercana a la antena de medición. De acuerdo con los resultados de la medición, la mayor contribución al nivel más alto de exposición a RF se dio en la banda de 5150 – 5350 MHz con 0.0649 % y el nivel de RF promedio, que fue de 0.0527% de los límites máximos permitidos.

7b) Niveles de exposición a Electromog RF para una Laptop conectada a AP2 en modo de descarga en una ubicación de medición predefinida con la antena tri-axial colocada a una altura de 1.40 metros.

En esta prueba, la Laptop (No. 11) estaba descargando un archivo grande del AP2 mientras que las computadoras portátiles restantes estaban apagadas. De acuerdo con los

resultados de la medición, la mayor contribución al nivel más alto de exposición a RF se dio en la banda de 5150 – 5350 MHz con 0.0905 % El nivel promedio de exposición a RF fue de 0.0683% de los límites máximos permitidos.

8b) Niveles de exposición a Electrosmog RF para la banda de 5150 a 5350 MHz con la antena tri-axial colocada a 20 cm de AP1.

La antena tri-axial se ubicó a 20 cm de AP1, (la antena se ubicó en el campo cercano porque la antena de AP1 se considera una antena eléctricamente grande), durante un tiempo de barrido total de aproximadamente 60 segundos cuando AP1 estaba transmitiendo en modo continuo. El nivel máximo de exposición a RF obtenido durante este período de tiempo fue del 10,145% de los límites máximos permitidos y el promedio fue de 6.842% en la banda de frecuencia de 2.400 MHz.

9b) Niveles de exposición a Electrosmog RF para la banda de 2400 a 2483,5 MHz con la antena tri-axial colocada a 20 cm de AP2.

La antena tri-axial se colocó a 20 cm por encima de AP2 (este Access point tiene antenas pequeñas integradas en su diseño) durante un tiempo de barrido total de aproximadamente 60 segundos. Todas las Laptop estaban en modo de descarga. Las antenas integradas de este punto de acceso eran pequeñas, por lo que la distancia de 20 cm era buena en la zona de campo lejano de cada una (ver Anexo B). El nivel máximo de exposición a RF obtenido durante este período de tiempo fue de 7.89% de los límites máximos permitidos y el promedio fue de 1.834% en la banda de frecuencia de 2.400 – 2483.5 MHz.

3.2 Discusión.

3.2.1 Aplicación de la incertidumbre relacionada al equipo en mediciones promedio de tiempo y espacio.

Tanto el Decreto Supremo N° 038-2003-MTC, como normas internacionales (GL-01 de Industry Canada) establecen que, para verificar el cumplimiento de los límites máximos permitidos, se debe tener en cuenta la incertidumbre del equipo de medición. La Tabla 11 se presenta los niveles de exposición a Electrosmog RF promediados en el tiempo y en el espacio para la ubicación P5 en el caso de la prueba 3b, con todos los dispositivos Wi-Fi en actividad, junto con los valores mínimos y máximos esperados, según un nivel de confianza al 95%. (Anexo A para conocer la incertidumbre ampliada de la Narda NBM 550 y sus antenas correspondientes, que constituyen el sistema de medición).

Tabla 11. Porcentaje de LMP y SC6 en entornos no controlados incluyendo la incertidumbre del equipo de medición obtenido en la ubicación P5

Valor de medición – Incertidumbre esperada (% LMP y SC6) ^a	Medición promedio en % LMP y SC6 para valores en entornos no controlados	Valor de medición + Incertidumbre esperada (% LMP y SC6) ^a
0.037%	0.099%	0.194%

Incluye la incertidumbre de medida expandida (Incertidumbre esperada) del equipo.

Fuente: Medición en entornos no controlados [51]

3.2.2 Impacto del estándar 802.11x (Wi-Fi) en la exposición a RF.

En la Tabla 12 se ve las mediciones en la banda 2400-2483.5 MHz con los dispositivos Wi-Fi habilitados y operando en diferentes configuraciones de carga o descarga, o ambas. El nivel promedio de exposición al Electrosmog RF más alto obtenido de las cuatro

configuraciones fue de 0.007% de los límites SC6 y los LMP, para la prueba con una sola computadora portátil en modo de descarga.

Tabla 12. Porcentaje de límites SC6 (entorno no controlado) para la banda 2400-2483.5 MHz entre las ubicaciones P5 y P11 con la antena de tri-axial a una altura de 1.20 metros con diferentes configuraciones.

Ubicación	Baja Frecuencia MHz	Alta Frecuencia MHz	Configuración	Promedio % LMP y SC6
50 cm entre P5 y P11	2400	2483.5	8 laptops cargando.	0.006
	2400	2483.5	8 laptops cargando y 12 bajando.	0.005
	2400	2483.5	1 laptops subiendo	0.004
	2400	2483.5	1 laptops bajando	0.007

Fuente: Elaboración Propia.

Cuando varios dispositivos Wi-Fi cargan y descargan al mismo tiempo, se utiliza CSMA/CA como técnica de acceso al medio y para evitar una colisión cuando se envía un paquete, el nodo primero debe enviar un paquete avisando que va a transmitir y escuchar para confirmar que un canal está despejado.

Cuando el ancho de banda completo se dedica a un solo dispositivo cliente, como una laptop, el nodo puede transmitir exclusivamente. Sin embargo, cuando el ancho de banda se divide en numerosos canales de tamaño similar porque el Access Point atiende a muchos dispositivos cliente, el nodo debe escuchar más a menudo antes de que se pueda transmitir un paquete.

Cuando un canal se percibe como ocupado, la transmisión se aplaza y el nivel de exposición a Electrosmog RF disminuye. Una configuración de carga de una computadora portátil produce un nivel menor de exposición a Electrosmog RF que una configuración de descarga de una computadora portátil, debido a que la potencia del transmisor en un dispositivo Wi-Fi es generalmente menor que la potencia del Access Point Wi-Fi.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES,

Conclusiones.

- Se logró conocer los niveles de Electrosmog (RF) generados por la tecnología Wi-Fi en el estándar 802.11 en las áreas de exposición ocupacional, como resultado de las mediciones, análisis e investigaciones realizadas durante la duración de esta tesis, con el instrumento de medición NARDA 550, comprobando que estas no superan los límites máximos permisibles, dando validez a la hipótesis planteada en este trabajo de tesis.
- De acuerdo a la investigación de los antecedentes de estudios similares en la bibliografía científica, no existe unificación en los criterios acerca de los efectos del Electrosmog y su repercusión en el ser humano en los entornos de vivienda o laborales, ni de los riesgos que esta produce.
- Después del diagnóstico de los niveles de Electrosmog en las transmisiones de datos inalámbricos en ámbitos locales se comprobó que los LMP en nuestro país, no son sobrepasados en el 98% mediciones realizadas, sin embargo, los efectos de acumulación del Electrosmog son detectadas por el ritmo Circadiano[42], como una variable biológica.
- Como resultante de las mediciones obtenidas, los niveles de exposición a Electrosmog RF fueron mayores cuando la antena de medición tri-axial estaba más cerca de los access point y así mismo existe una mayor exposición a Electrosmog RF cuando se realizan descargas que cuando se realizan cargas, desde o hacia el access point.
- En nuestro país existen normas y códigos en la ley de Telecomunicaciones referentes a RNI, las cuales se toman en cuenta, pero en la práctica estas no se respetan ni se controlan por parte de las autoridades competentes.

Recomendaciones

- Si bien los resultados de las mediciones y análisis realizados arrojaron que la exposición al Electromog (RF) generada por la tecnología Wi-Fi en el estándar 802.11 no supera los límites máximos permisibles en las áreas de exposición ocupacional podemos sugerir que la exposición al Electromog (RF) tiene potencial cancerígeno (aunque muy bajo), existe el riesgo a largo plazo por acumulación de radiación por lo que no debe ser descartada y debe seguir siendo estudiada.
- Debido a la latencia existente de algunas enfermedades como el cáncer, que puede ser mayor a 10 años y dado el poco tiempo que llevan las comunicaciones inalámbricas en cuanto a la transferencia de datos y telefonía móvil, es que existe la duda acerca de los efectos a largo plazo.
- Hasta el momento solo podemos sentir los efectos nocivos a corto plazo, con aumentos de temperatura superior a 1 a 2 grados centígrados por exposición al Electromog por Radio Frecuencia o Microondas por lo que se recomienda sistemas cableados de telecomunicaciones en lugar de sistemas a RF o microondas.
- Se recomienda el cambio de tecnologías de datos inalámbricas locales a nuevas iniciativas como Li-Fi.
- Se recomienda la revisión y actualización periódica de las normas que se están utilizando en países referentes en el mundo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- [1] F. A. Internacional, "Día mundial sin WIFI," 2017.
- [2] NASA, "Introduction to the Electromagnetic Spectrum," *Science Mission Directorate*, 2010.
- [3] O. M. d. I. Salud, "Campos electromagnéticos y salud pública: teléfonos móviles," *Centro de Prensa Organización Mundial de la Salud*, 8 de octubre de 2014 2014.
- [4] O. M. d. I. Salud, "Campos electromagnéticos (CEM) " *Centro de Prensa Organización Mundial de la Salud*, 2018.
- [5] IARC, "IARC Classifies Radiofrequency Electromagnetic Fields as Possibly Carcinogenic to Humans," *Press Release 208*, 31 May 2011 2012.
- [6] A. O. Ibitayo AO(1), Akinyemi AJ(2), Ojizeh TI(3), Adekoya KO(4), Ojewunmi OO(5). "RAPD Profiling, DNA Fragmentation, and Histomorphometric Examination in Brains of Wistar Rats Exposed to Indoor 2.5 Ghz Wi-Fi Devices Radiation.," *Biomed Res Int*, 2017 Aug 20 2017.
- [7] "IEEE Standard for Information technology--Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area network--Specific requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 5: Preassociation Discovery," *IEEE Std 802.11aq-2018 (Amendment to IEEE Std 802.11-2016 as amended by IEEE Std 802.11ai-2016, IEEE Std 802.11ah-2016, IEEE Std 802.11aj-2018, and IEEE Std 802.11ak-2018)*, pp. 1-69, 2018.
- [8] M. Armstrong, "The Phones Emitting the Least Radiation," *Statista*, 24 de Agosto del 2018 2018.
- [9] K. Fan, Seigneur, Jean-Marc, "Electrosmog Visualization through Augmented Blurry Vision," *Proceedings of the 7th Augmented Human International Conference 2016*, 2016.
- [10] S. Cucurachi, W. L. M. Tamis, M. G. Vijver, W. J. G. M. Peijnenburg, J. F. B. Bolte, and G. R. de Snoo, "A review of the ecological effects of radiofrequency electromagnetic fields (RF-EMF)," *Environment International*, vol. 51, pp. 116-140, 2013/01/01/ 2013.
- [11] A. Balmori, "Anthropogenic radiofrequency electromagnetic fields as an emerging threat to wildlife orientation," *Science of The Total Environment*, vol. 518-519, pp. 58-60, 2015/06/15/ 2015.
- [12] A. Balmori, "Electromagnetic pollution from phone masts. Effects on wildlife," *Pathophysiology*, vol. 16, no. 2, pp. 191-199, 2009/08/01/ 2009.
- [13] J. Park, S. Y. Lee, Y. Kim, J. Lee, and W. Hong, "Hybrid Antenna Module Concept for 28 GHz 5G Beamsteering Cellular Devices," in *2018 IEEE MTT-S International Microwave Workshop Series on 5G Hardware and System Technologies (IMWS-5G)*, 2018, pp. 1-3.
- [14] C.-C. Lin, C.-T. Tsai, D.-J. Deng, I. H. Tsai, and S.-Y. Jhong, "Minimizing electromagnetic pollution and power consumption in green heterogeneous small cell network deployment," *Computer Networks*, vol. 129, pp. 536-547, 2017/12/24/ 2017.
- [15] J. P. P. y. A. Gardey, "Definición de radiación," 2013.
- [16] J. J. Vaca-González, M. L. Gutiérrez, and D. A. Garzón-Alvarado, "Cartilago articular: estructura, patologías y campos eléctricos como alternativa terapéutica. Revisión de conceptos actuales," *Revista Colombiana de Ortopedia y Traumatología*, vol. 31, no. 4, pp. 202-210, 2017/12/01/ 2017.
- [17] L. Verdugo-Díaz and R. Drucker-Colin, "Capítulo 1 - Campos magnéticos: usos en la biología y la medicina," in *Estimulación magnética transcraneal y neuromodulación*, I. Túnez Fiñana and Á. Pascual Leone, Eds. Madrid: Elsevier, 2014, pp. 1-19.
- [18] G. P. Páez and D. D. Simone, "Conocimiento científico para regular las emisiones de Radiaciones No Ionizantes," in *2016 IEEE Biennial Congress of Argentina (ARGENCON)*, 2016, pp. 1-6.
- [19] OMS. (2016). *Radiaciones ionizantes: efectos en la salud y medidas de protección*.

- [20] L. Lifshitz, "Teoría clásica de los campos," 1992.
- [21] U. d. R. d. Ourense, "Cargas Electroestaticas," *EA1URO*, 2018.
- [22] A. Baraja, "Las Lineas de Campo," *Fisica ElectroMagnetica*, 2018.
- [23] L. D. Landau, *Teoría clásica de los campos*. Barcelona: Reverté, 1973.
- [24] IFA, "Propagación de los Campos Electromagnéticos " 2019.
- [25] E. Guibelalde del Castillo, "Exposiciones a pacientes por campos electromagnéticos en equipos de imagen por r esonancia magnética. Revisión," *Radiología*, vol. 55, pp. 2-8, 2013/12/01/ 2013.
- [26] V. G. Spitsyn, "Numerical method of calculation propagation electromagnetic wave in random discrete media," in *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium 1997. Digest*, 1997, vol. 1, pp. 530-532 vol.1.
- [27] S. P. Nasa, "Espectro Electromagnetic," *Space Place*, 2012.
- [28] IEEE, "IEEE Standard Letter Designations for Radar-Frequency Bands," *IEEE Std 521-1984*, pp. 1-8, 1984.
- [29] ITU, "Radiofrequency," *Committed to connecting the world*, 2015.
- [30] OMS, "Normas y directrices sobre Campos Electromagneticos," 2019.
- [31] "American National Standard Calibration and Usage of "Dose Calibrator" Ionization Chambers for the Assay of Radionuclides," *ANSI N42.13-2004 (Reaffirmation of ANSI N42.13-1986)*, pp. 1-13, 2004.
- [32] A. Bocos, "Contaminacion Electromagnetica," *Bienestar Ocupacional*, 2019.
- [33] "IEEE Recommended Practice for Radio Frequency Safety Programs, 3 kHz to 300 GHz," *IEEE Std C95.7-2005*, pp. 1-52, 2006.
- [34] I. C. o. N.-I. R. Protection, "Exposure to high frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences (100 kHz-300 GHz) " 2009.
- [35] O. MTC, "D.S. N° 038-2006-MTC," 2006.
- [36] MTC, "R.M. N° 379-2006-MTC/03," 2006.
- [37] W. Tomasi, "SISTEMAS DE COMUNICACIONES ELECTRONICAS," vol. Cuarta edicion, 2003.
- [38] G. Augustin, V. P. Sarin, M. S. Nishamol, P. Mohanan, C. K. Aanandan, and K. Vasudevan, "A compact dualband planar antenna for IMT-2000 and WLAN applications," in *2007 IEEE Applied Electromagnetics Conference (AEMC)*, 2007, pp. 1-2.
- [39] M. L. Seddiki, M. Nedil, and F. Ghanem, "UWB to C and WLAN Band Reconfigurable Yagi-Yuda Antena," in *2018 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting*, 2018, pp. 1243-1244.
- [40] P. Ruesca, "Covertura de Antena Omnidireccional," *Radio Comunicaciones*, 2016.
- [41] I. S. C95.1™, "IEEE Recommended Practice for Radio Frequency Safety Programs, 3 kHz to 300 GHz," *IEEE Std C95.7-2005*, pp. 1-52, 2006.
- [42] G. Fedele *et al.*, "Genetic Analysis of Circadian Responses to Low Frequency Electromagnetic Fields in *Drosophila melanogaster*," *PLOS Genetics*, vol. 10, no. 12, p. e1004804, 2014.
- [43] D. N. 038-2003-MTC, "DECRETO SUPREMO N° 038-2003-MTC " *SENEACE*, 2003.
- [44] J. H. B. R. Matthes, A.F. McKinlay, "Guidelines on Limiting Exposure to Non-Ionizing Radiation," *HEALTH PHYSICS* 74 1999.
- [45] MTC, "D.S. N° 038-2003-MTC " 2003.
- [46] M. Y. Carlos, "Mediciones de Radiaciones No Ionizantes - RNI," *Taller Internacional sobre Mediciones de Campos Electromagnéticos de Radiofrecuencias, Estudios de Investigación y Desarrollo de Estándares* 2018.
- [47] MTC, "R.M. N° 120-2005-MTC-03 " 2005.
- [48] OMS, "El Proyecto Internacional CEM," 2018.
- [49] A. Skvarca, "NORMAS VIGENTES EN LA REPÚBLICA ARGENTINA SOBRE EXPOSICION A RNI," *Higiene industria y Radiaciones*, 2012.
- [50] MTC, "RESOLUCION MINISTERIAL N° 120-2005-MTC-03," 2005.

- [51] O. MTC, "RESOLUCION MINISTERIAL N° 613-2004-MTC," 2004.
- [52] M. INDECI, "R. M. N° 187-2005-MTC-03," 2005.
- [53] O. MTC, "R.M. N° 534-2005-MTC/03," 2005.
- [54] H. H. a. H. Elgala, "On the Performance of Different OFDM Based Optical Wireless Communication Systems," *Optical Communications and Networking, IEEE/OSA*, vol. 3, 1 august 2011.
- [55] K. P. Pujapanda, "In LiFi Integrated to Power-lines for Smart Illumination Cum Communication," *International Conference on Communication Systems and Network Technologies*, 6-8 April 2013. Gwalior India Print
- [56] I. Lim, "Li-Fi – Internet at the Speed of Light," *the gadgeteer*, 2011.
- [57] E. F. Schubert, "Light-Emitting Diodes," *Cambridge, U.K.: Cambridge Univ*, 2003.
- [58] W. J. K. J. M. Kahn, and J. B. Carruthers, , "Experimental characterization of non-directed indoor infrared channels," *IEEE Trans. on Communications*, vol. 3, 1995.
- [59] A. N. d. S. S. d. L'Alimentation, "Effets sanitaires des technologies de communication sans fil et autres applications radiofréquences," (in Frances), 2018.
- [60] H. C. o. t. Netherlands, "Health Council of the Netherlands. Mobile phones and cáncer," 2016.
- [61] C. C. Azadeh Peyman*, Simon Mann, Mohammed Khalid, Darren Addison and Terry Mee "Evaluation of Exposure of School Children to Electromagnetic Fields from Wireless Computer Networks (Wi-Fi)," *Proceedings of Bioelectromagnetic Society, Halifax.*, 2011.
- [62] L. A. E. C. o. H. F. E. F. a. H. Health, "Non-Ionizing Electromagnetic Radiation in the Radiofrequency Spectrum and its Effects on Human Health.," *Edumed*, 2010.
- [63] S. M. a. Telecommunications, "Case Study: Measurements of Radio Frequency Exposure from Wi-Fi Devices " *IC*, 2012.
- [64] FITEL, "D.S. No. 013-93-TCC " 1993.
- [65] MTC, "D.S. N° 020-2007-MTC " 2015.
- [66] MTC, "D.S. N° 041-2002-MTC " 2002.
- [67] Ruckus, "Especificaciones R600," *Ruckuswireless*, 2018.
- [68] Netstumbler, "NetStumbler – 0.4.0," 2018.
- [69] H. Canada's, "Technical Guide for Safety Code 6," *Radiofrequency Exposure Guidelines*, 2018.
- [70] D. Duguay, "Guidelines for the Measurement of Radio Frequency Fields at Frequencies From 3 kHz to 300 GHz," no. 3, 2015.
- [71] IEEE, "IEEE Recommended Practice for Measurements and Computations of Radio Frequency Electromagnetic Fields With Respect to Human Exposure to Such Fields, 100 kHz-300 GHz," *IEEE Standar Association*, no. 2, 2008.
- [72] S. M. a. Telecommunications, "Safety Code 6 (SC6) Measurement Procedures (Uncontrolled Environment) " *Industry Canada*, 2011.
- [73] N. S. T. Solution, "Datasheets for Probes," 2017.

ANEXOS.

ANEXO A: Estándar Wi-Fi y Grado de Incertidumbre de los Equipos de Medición

Tabla 13: Espectro, Emisión y Estándares 802.11 (Wi-Fi)

Protocolo 802.11x	Frecuencia (Ghz)	Velocidad Máxima (Mb/s)	Canal de Ancho de Banda (MHz)	Numero de Canal	Rango de Datos por Stream (Mbits/s)	MIMO Streams	Modulación
A	5.4	54	20	131-138 (3.7 Ghz) 34-165 (5 Ghz)	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54	1	DSSS, FHSS
B	2.4	11	20	1-14(2.4 Ghz)	5.5, 11	1	OFDM
G	2.4	54	20	1-14 (2.4 Ghz)	7.2, 14.4, 21.7, 28.9, 43.3, 57.8, 65, 72.2	1	DSSS
N	2.4 y 5	600	40	1-14 (2.4 Ghz) 34-165 (5 Ghz)	15, 30, 45, 60, 90, 120, 135, 150	4	OFDM, DSSS
Ac	2.4 y 5	1300	80	2.34-3.47 (Ghz)	20, 40, 80	8	256 QAM
Ad	2.4, 5 y 60	7000	160	2.34-3.47 (Ghz)	20, 40, 80, 160	16	256 QAM

Abreviaturas: DDSS, espectro ensanchado de secuencia directa; MIMO, entrada múltiple, salida múltiple; OFDM Multiplicación por división de frecuencia Ortogonal.

Fuente: Elaboración Propia

Las siguientes figuras muestran la emisión espectral y canales de para WIFI a 2.4 GHz y 5.1 GHz.

Figura 26: Espectro de emisión para 2.4GHz

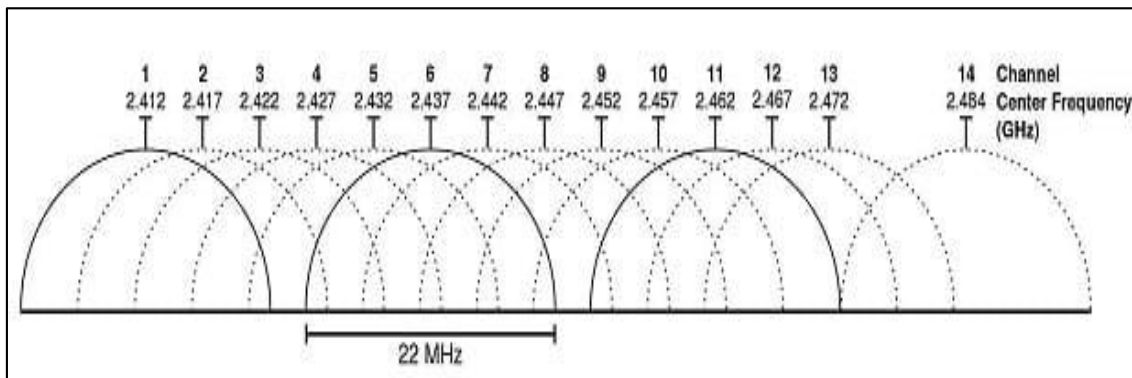


Figura 27: Espectro de emisión para 5.1 GHz

US Band	UNII-I	UNII-II	UNII-II Extended	UNII-III	ISM
20 MHz	36 40 44 48	52 56 60 64	100 104 108 112 116 120 124 128 132 136 140	149 153 157 161	165
40 MHz	38 46	54 62	102 110 118 126 134	151 159	
80 MHz	42	58	106 122	155	
160 MHz	50		114		
Power	23dBm (200mW)		30dBm (1W)		14dBm (25mW)
Notes	Indoors		WeatherRdr		
	Dynamic Frequency Selection (DFS)				

En las siguientes tablas abajo podemos ver el grado de incertidumbre de los sistemas de medición de los equipos Narda utilizados (Modulo y antena), sobre el rango de frecuencias desde los 100 KHz a los 3 GHz.

Figura 28: Incertidumbre de medición para la antena de campo Eléctrico de tri-axial EF-0391 en el rango de frecuencia de 100 MHz a 3 GHz (Con la unidad básica SRM y el cable de RF de 1,5 m)

Probe EF0391	Electric (E-)Field	
Frequency range ^(b)	100 kHz to 3 GHz	
Type of frequency response	Flat	
Measurement range	0.2 to 320 V/m (CW) 0.2 to 10 V/m (True RMS)	10 nW/cm ² to 27 mW/cm ² (CW) 10 nW/cm ² to 0.027 mW/cm ² (True RMS)
Dynamic range	64 dB	
CW damage level	800 V/m	170 mW/cm ²
Peak damage level ^(c)	8 kV/m	17 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)	±1 dB (1 MHz to 1 GHz)	
Calibration uncertainty not included	±1.25 dB (1 GHz to 2.45 GHz)	
Calibration uncertainty ^(e) @ 0.01 mW/cm ² (6.14 V/m)	0.8 dB (≤ 300 MHz) 1.5 dB (> 300 MHz)	
Linearity Referred to 0.01 mW/cm ² (6.14 V/m)	±0.5 dB (1.2 to 200 V/m) ±0.7 dB (200 to 320 V/m)	±0.5 dB (0.00038 to 10.6 mW/cm ²) ±0.7 dB (10.6 to 27 mW/cm ²)
Isotropic response ^(f)	±1 dB	
Temperature response	+0.2/ -1 dB (±0.025 dB/K)	
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 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	
<p>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</p> <p>b) Cutoff frequency at approx. -3 dB</p> <p>c) Pulse length 1µsec, duty cycle 1:100</p> <p>d) Frequency response can be compensated for by the use of correction factors stored in the probe memory</p> <p>e) Expanded measurement uncertainty. Accuracy of the fields generated to calibrate the probes</p> <p>f) Uncertainty due to varying polarization (verified by type approval test for meter with probe). Ellipse ratio included and calibrated for each probe</p>		

Fuente: Hoja de datos de Antena EF0391 [73]

ANEXO B: Medición en Zonas de Campo Cercano y Lejano

Una antena cuya dimensión más grande no es mayor que la longitud de onda de su frecuencia de funcionamiento, se denomina antena eléctricamente pequeña. El campo cercano reactivo de estas antenas se extiende hasta la distancia dada a continuación:

$$R_{\text{rnf}} = \lambda / 2\pi$$

Dónde:

R_{rnf} es el campo cercano reactivo

λ es la longitud de onda de la frecuencia.

$$R_{\text{rnf}} \text{ en } 2.43\text{GHz} = 0.123/2\pi = 2 \text{ cm}$$

$$R_{\text{rnf}} \text{ en } 5.18\text{GHz} = 0.0518/2\pi = 0.9 \text{ cm}$$

Una antena cuya dimensión es mayor que la longitud de onda de su frecuencia de funcionamiento, se denomina antena eléctricamente grande.

En Security Code 6, la región de transición y la región de campo lejano se consideran iguales, y, por lo tanto, se considera que la región de campo lejano se extiende desde $0,5 D^2 / \lambda$ hasta el infinito.

$$R_{\text{ff}} = 0.5D^2 / \lambda$$

Dónde:

R_{ff} : Es la distancia desde la antena hasta el límite entre el campo cercano y el campo lejano expresado en metros.

λ : Es la longitud de onda de la frecuencia de operación.

D : Es una dimensión eléctrica en metros.

Todas las ubicaciones de medición estaban en la zona de campo lejano de AP1 y AP2, excepto las mediciones a menos de 20 cm.

ANEXO C: Relevamiento Fotográfico

Medidor Narda



Medidor Narda NBM 550
Fuente: Elaboración Propia



Medidor Narda NBM 550
Fuente: Elaboración Propia

Equipos Wi-Fi



**Contenedor de Dispositivos
moviles**

Fuente: Elaboración Propia



Laptops de Laboratorio Movil

Fuente: Elaboración Propia

Medición Con Medidor Narda



**Pruebas con medidor Narda a
60cm del piso**

Fuente: Elaboración Propia



**Pruebas con medidor a 100 cm del
piso**

Fuente: Elaboración Propia



Pruebas en entorno de trabajo

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO D: Resultados Detallados de las Mediciones

En este anexo se proporciona los resultados en detalle en cada prueba realizada en esta tesis. El valor máximo y mínimo representa el valor máximo y mínimo instantáneo medido durante la corrida de medición. El valor promedio es el promedio medido durante el período de tiempo de medición.

1a) Medición con la antena Tri-axial colocada a una altura de 1.80 metros en la frecuencia de 30 MHz a 6.0 GHz.

Tabla 14: Mediciones en un entorno no controlado con la antena tri-axial a 1.80 metros.

Ubicaciones de Medición	Promedio de medición (% LMP)	Medición Máxima (% LMP)	Medición Mínima (% LMP)
P1	0.002767	0.084861	0.002157
P2	0.002699	0.005360	0.002183
P3	0.002595	0.004978	0.002188
P4	0.002569	0.003433	0.002109
P5	0.002633	0.003384	0.002049
P6	0.002576	0.003032	0.00215
P7	0.002649	0.004001	0.002187
P8	0.002699	0.004951	0.002177
P9	0.002688	0.004681	0.002143
P10	0.002767	0.004760	0.002189
P11	0.002771	0.006070	0.002247
P12	0.002784	0.071601	0.002284

Fuente: Elaboración Propia

2a) Medición con la antena Tri-axial colocada a una altura de 1.40 metros en la frecuencia de 30 MHz a 6.0 GHz en el punto con mayor incidencia.

Tabla 15: Mediciones en un entorno no controlado con la antena tri-axial en la zona de incidencia media a una altura de 1.40 metros.

Ubicaciones de Medición	Promedio de medición (% LMP)	Medición Máxima (% LMP)	Medición Mínima (% LMP)
P7	0.002649	0.004001	0.002187

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo con los resultados de la medición, la ubicación P7 tuvo el nivel que representa el promedio de la medición por ubicarse en la zona media entre los AP1 y AP2.

3a) Medición con la antena Tri-axial colocada a una altura de 1.40 metros en la frecuencia de 30 MHz a 6.0 GHz, con un barrido de 6 minutos.

Tabla 16: Medición en porcentaje de los LMP a una altura de 1.20 metros con un barrido de 6 minutos.

Ubicaciones de Medición	Promedio de medición (% LMP)	Medición Máxima (% LMP)	Medición Mínima (% LMP)
P7	0.00273	0.013784	0.00223

Fuente: Elaboración Propia

Se eligió el punto P7 para la medición de promedio de tiempo de 6 minutos con la antena de Tri-axial colocada a una altura de 1.20 metros.

4a) Medición con la antena Tri-axial colocada a una altura de 1.40 metros representando la sección transversal del cuerpo humano en la frecuencia de 30 MHz a 6.0 GHz.

Tabla 17: Porcentaje de los LMP para entornos no controlados en cada punto de la matriz de 9 puntos para la ubicación P7 en la frecuencia de 30 MHz a 6 GHz.

Altura entre 0.5 - 1.80 metros	Ancho de 0.40 metros		
	Promedio de Medición (% LMP)	Medición Máxima (% LMP)	Medición Mínima (% LMP)
	0.00265	0.00265	0.00249
	0.00262	0.00268	0.00264
	0.00267	0.00278	0.00283

Promedio espacial de la matriz de nueve puntos (% LMP): 0.002667%

Fuente: Elaboración Propia

Mediciones de nivel de señal espacial y temporal no uniforme y el cálculo del valor promedio espacial en el tiempo como un porcentaje de los límites máximos permitidos para entornos no controlados.

1b) Niveles de exposición a Electrosmog RF desde 2.4 a 5.8 GHz en cada ubicación de medición pre-definida con la antena tri-axial colocada a 1.80 metros de altura.

La Tabla 5 se presenta las mediciones en porcentajes de los LMP cuando ambos puntos de acceso Wi-Fi estaban operativos y con Wi-Fi estaban en modo de descarga. Los porcentajes de los LMP se midieron dentro del espectro electromagnético de las bandas de Wi-Fi de 2400 a 2483.5 MHz, 5150 a 5350 MHz y 5470 a 5825 MHz.

Tabla 18: Niveles de Electromog RF entre 2.4 y 5.8 GHz con la antena colocada a 1.80 Metros de altura

Ubicación	Baja Frecuencia (MHz)	Alta frecuencia (MHz)	Servicio	Promedio (% LMP)	Máximo (% LMP)	Mínimo (%LMP)
P1	2400	2483.5	Wi-Fi 2.4 GHz	0.00473	0.00765	0.00003
	5150	5350	Wi-Fi baja 5.1 GHz	0.0442	0.0723	0.032265
	5470	5825	Wi-Fi Alta 5.1 GHz	0.001020	0.00107	0.00111
	Subtotal			0.049950	0.08102	0.033405
	Otros			0.001751	0.001719	0.0018
	Total			0.051701	0.082739	0.035205
P2	2400	2483.5	Wi-Fi 2.4 GHz	0.008653	0.06142	0.00264
	5150	5350	Wi-Fi baja 5.1 GHz	0.043949	0.0362359	0.03264
	5470	5825	Wi-Fi Alta 5.1 GHz	0.001079	0.001032	0.00105
	Subtotal			0.053681	0.0986879	0.03633
	Otros			0.00176	0.001754	0.00172
	Total			0.055441	0.1004419	0.03805
P3	2400	2483.5	Wi-Fi 2.4 GHz	0.007159	0.01501	0.000361
	5150	5350	Wi-Fi baja 5.1 GHz	0.01817	0.02738	0.015429
	5470	5825	Wi-Fi Alta 5.1 GHz	0.001073	0.00109	0.00108
	Subtotal			0.026402	0.04348	0.01687
	Otros			0.001761	0.001745	0.00177
	Total			0.028163	0.045225	0.01864
P4	2400	2483.5	Wi-Fi 2.4 GHz	0.028908	0.0153082	0.000016
	5150	5350	Wi-Fi baja 5.1 GHz	0.00791	0.006921	0.006152

	5470	5825	Wi-Fi Alta 5.1 GHz	0.001091	0.00108	0.001117
	Subtotal			0.037909	0.0233092	0.007285
	Otros			0.001774	0.001781	0.001719
	Total			0.039683	0.0250902	0.009004
P5	2400	2483.5	Wi-Fi 2.4 GHz	0.102471	0.403159	0.002495
	5150	5350	Wi-Fi baja 5.1 GHz	0.014981	0.012334	0.012732
	5470	5825	Wi-Fi Alta 5.1 GHz	0.001102	0.001082	0.001069
	Subtotal			0.118554	0.416575	0.016296
	Otros			0.001791	0.001785	0.001755
	Total			0.120345	0.41836	0.018051
P6	2400	2483.5	Wi-Fi 2.4 GHz	0.017876	0.06549	0.006454
	5150	5350	Wi-Fi baja 5.1 GHz	0.03448	0.02951	0.026276
	5470	5825	Wi-Fi Alta 5.1 GHz	0.001098	0.001138	0.001071
	Subtotal			0.053454	0.096138	0.033801
	Otros			0.00179	0.001771	0.001708
	Total			0.055244	0.097909	0.035509
P7	2400	2483.5	Wi-Fi 2.4 GHz	0.009523	0.009525	0.005321
	5150	5350	Wi-Fi baja 5.1 GHz	0.026595	0.025375	0.016511
	5470	5825	Wi-Fi Alta 5.1 GHz	0.001995	0.001048	0.001055
	Subtotal			0.038113	0.035948	0.022887
	Otros			0.001801	0.001822	0.001842
	Total			0.039914	0.03777	0.024729
P8	2400	2483.5	Wi-Fi 2.4 GHz	0.001921	0.003282	0.00031
	5150	5350	Wi-Fi baja 5.1 GHz	0.228542	0.29101	0.156595
	5470	5825	Wi-Fi Alta 5.1 GHz	0.001395	0.00142	0.0014
	Subtotal			0.231858	0.295712	0.158305

	Otros			0.002294	0.002355	0.00227
	Total			0.234152	0.298067	0.160575
P9	2400	2483.5	Wi-Fi 2.4 GHz	0.00181	0.000546	0.003108
	5150	5350	Wi-Fi baja 5.1 GHz	0.140838	0.195875	0.10414
	5470	5825	Wi-Fi Alta 5.1 GHz	0.001405	0.001495	0.00145
	Subtotal			0.144053	0.197916	0.108698
	Otros			0.00224	0.00229	0.002258
	Total			0.146293	0.200206	0.110956
P10	2400	2483.5	Wi-Fi 2.4 GHz	0.008321	0.035358	0.000011
	5150	5350	Wi-Fi baja 5.1 GHz	0.028581	0.032088	0.02001
	5470	5825	Wi-Fi Alta 5.1 GHz	0.001392	0.001379	0.001459
	Subtotal			0.038294	0.068825	0.02148
	Otros			0.002301	0.002301	0.002275
	Total			0.040595	0.071126	0.023755
P11	2400	2483.5	Wi-Fi 2.4 GHz	0.033792	0.105835	0.000048
	5150	5350	Wi-Fi baja 5.1 GHz	0.018501	0.017485	0.013258
	5470	5825	Wi-Fi Alta 5.1 GHz	0.001415	0.001391	0.001403
	Subtotal			0.053708	0.124711	0.014709
	Otros			0.002302	0.002281	0.002311
	Total			0.05601	0.126992	0.01702
P12	2400	2483.5	Wi-Fi 2.4 GHz	0.046571	0.186513	0.000821
	5150	5350	Wi-Fi baja 5.1 GHz	0.016831	0.01795	0.013759
	5470	5825	Wi-Fi Alta 5.1 GHz	0.001418	0.001401	0.001381
	Subtotal			0.064820	0.205864	0.015961
	Otros			0.002315	0.002256	0.002312
	Total			0.067135	0.20812	0.018273

Fuente: Elaboración Propia

2b) Niveles de exposición a Electromog RF desde 2.4 a 5.8 GHz en cada ubicación de medición pre-definida con la antena tri-axial colocada a 1.40 metros de altura.

Tabla 19: Niveles de Electromog RF entre 2.4 y 5.8 GHz con la antena colocada a 1.40 Metros de altura

Ubicación	Baja Frecuencia (MHz)	Alta frecuencia (MHz)	Servicio	Promedio (% LMP)	Máximo (% LMP)	Mínimo (%LMP)
P1	2400	2483.5	Wi-Fi 2.4 GHz	0.00358	0.034979	0.000624
	5150	5350	Wi-Fi baja 5.1 GHz	0.065602	0.072193	0.047365
	5470	5825	Wi-Fi Alta 5.1 GHz	0.000721	0.000706	0.000696
	Subtotal			0.069903	0.107878	0.048685
	Otros			0.001178	0.001196	0.00114
	Total			0.071081	0.109074	0.049825
P2	2400	2483.5	Wi-Fi 2.4 GHz	0.003151	0.006556	0.003967
	5150	5350	Wi-Fi baja 5.1 GHz	0.031888	0.041673	0.020565
	5470	5825	Wi-Fi Alta 5.1 GHz	0.004294	0.004189	0.004254
	Subtotal			0.039333	0.052418	0.028786
	Otros			0.006982	0.006899	0.006855
	Total			0.046315	0.059317	0.035641
P3	2400	2483.5	Wi-Fi 2.4 GHz	0.007159	0.01501	0.000361
	5150	5350	Wi-Fi baja 5.1 GHz	0.01817	0.02738	0.015429
	5470	5825	Wi-Fi Alta 5.1 GHz	0.001073	0.00109	0.00108
	Subtotal			0.026402	0.04348	0.01687

	Otros			0.001761	0.001745	0.00177
	Total			0.028163	0.045225	0.01864
P4	2400	2483.5	Wi-Fi 2.4 GHz	0.00438	0.012621	0.000123
	5150	5350	Wi-Fi baja 5.1 GHz	0.019723	0.024176	0.015182
	5470	5825	Wi-Fi Alta 5.1 GHz	0.004267	0.004282	0.004252
	Subtotal			0.028370	0.041079	0.019557
	Otros			0.006949	0.00702	0.006831
	Total			0.035319	0.048099	0.026388
P5	2400	2483.5	Wi-Fi 2.4 GHz	0.022426	0.073809	0.000678
	5150	5350	Wi-Fi baja 5.1 GHz	0.013593	0.016411	0.01018
	5470	5825	Wi-Fi Alta 5.1 GHz	0.004272	0.00424	0.004136
	Subtotal			0.040291	0.094460	0.014994
	Otros			0.006994	0.006972	0.006984
	Total			0.047285	0.101432	0.021978
P6	2400	2483.5	Wi-Fi 2.4 GHz	0.220791	0.926314	0.000063
	5150	5350	Wi-Fi baja 5.1 GHz	0.00858	0.009547	0.007806
	5470	5825	Wi-Fi Alta 5.1 GHz	0.004244	0.004231	0.00397
	Subtotal			0.233615	0.940092	0.011839
	Otros			0.006977	0.007067	0.007084
	Total			0.240592	0.947159	0.018923
P7	2400	2483.5	Wi-Fi 2.4 GHz	0.020515	0.081288	0.000368
	5150	5350	Wi-Fi baja 5.1 GHz	0.015473	0.016321	0.011955
	5470	5825	Wi-Fi Alta 5.1 GHz	0.001438	0.001459	0.001493
	Subtotal			0.037426	0.099068	0.013816
	Otros			0.002345	0.00232	0.002359
	Total			0.039771	0.101388	0.016175
P8	2400	2483.5	Wi-Fi 2.4 GHz	0.020169	0.060808	0.003015

	5150	5350	Wi-Fi baja 5.1 GHz	0.029016	0.036393	0.020209
	5470	5825	Wi-Fi Alta5.1 GHz	0.001428	0.0013	0.001385
	Subtotal			0.050613	0.098501	0.024609
	Otros			0.002333	0.00229	0.002378
	Total			0.052946	0.100791	0.026987
P9	2400	2483.5	Wi-Fi 2.4 GHz	0.003571	0.008332	0.000302
	5150	5350	Wi-Fi baja 5.1 GHz	0.137439	0.216658	0.089318
	5470	5825	Wi-Fi Alta 5.1 GHz	0.001422	0.00133	0.001387
	Subtotal			0.142432	0.22632	0.091007
	Otros			0.002331	0.002385	0.002365
	Total			0.144763	0.228705	0.093372
P10	2400	2483.5	Wi-Fi 2.4 GHz	0.005426	0.018015	0.000891
	5150	5350	Wi-Fi baja 5.1 GHz	0.05357	0.060559	0.04157
	5470	5825	Wi-Fi Alta 5.1 GHz	0.001413	0.001398	0.00131
	Subtotal			0.060409	0.079972	0.043771
	Otros			0.002337	0.002354	0.002342
	Total			0.062746	0.082326	0.046113
P11	2400	2483.5	Wi-Fi 2.4 GHz	0.005442	0.013639	0.000066
	5150	5350	Wi-Fi baja 5.1 GHz	0.024338	0.037097	0.017275
	5470	5825	Wi-Fi Alta 5.1 GHz	0.001408	0.001464	0.001384
	Subtotal			0.031188	0.0522	0.018725
	Otros			0.002326	0.00232	0.002326
	Total			0.033514	0.05452	0.021051
P12	2400	2483.5	Wi-Fi 2.4 GHz	0.011916	0.067794	0.00029
	5150	5350	Wi-Fi baja 5.1 GHz	0.019791	0.018873	0.016421

	5470	5825	Wi-Fi Alta 5.1 GHz	0.001411	0.001354	0.001354
	Subtotal			0.033118	0.088021	0.018065
	Otros			0.002321	0.002308	0.002287
	Total			0.035439	0.090329	0.020352

Fuente: Elaboración Propia

3b) Niveles de exposición a Electrosmog RF promediados en el tiempo y en el espacio de 2.4 a 5.8 GHz en las ubicaciones con niveles más altos encontrados de 1b y 2b.

Tabla 20: Promediado espacial y temporal de los LMP en entornos no controlados en las frecuencias de 2.4 a 5.8 MHz con niveles más altos encontrados de 1b y 2b.

Altura entre 0.5 – 1.80 metros	Ancho de 0.40 metros		
	Promedio de Medición (% LMP)	Medición Máxima (% LMP)	Medición Mínima (% LMP)
	0.105388	0.133192	0.141241
	0.053144	0.154451	0.141273
	0.047351	0.056145	0.061584

Promedio temporal y espacial de la matriz de 9 puntos (% LMP): 0.09931%

Fuente: Elaboración Propia

4b) Niveles de exposición a Electrosmog RF para ocho Laptops conectadas a AP2 en modo de carga de archivos, en una ubicación de medición predefinida con la antena con la antena tri-axial colocada a 1.40 metros de altura.

Tabla 21: Porcentaje de LMP para 8 laptops en modo carga en P1 en entornos no controlados

Ubicación	Frecuencia		Servicio	Promedio (% LMP)	Máximo (% LMP)	Mínimo (% LMP)
	Baja (MHz)	Frecuencia Alta (MHz)				
0.5 metros En P1	2400	2483.5	Wi-Fi 2.4 GHz	0.006365	0.031758	0.001072
	5150	5350	Wi-Fi 5.1 Baja GHz	0.056731	0.05755	0.043174
	5470	5825	Wi-Fi 5.1 Alta GHz	0.00268	0.002515	0.002768
	Subtotal			0.065776	0.091823	0.047014
	Otros			0.004421	0.004408	0.004435
	Total			0.070197	0.096231	0.051449

Fuente: Elaboración Propia

5b) Niveles de exposición a Electromog RF para 08 Laptops conectadas a AP2 en modo de carga y 12 Laptops en modo de descarga en una ubicación de medición predefinida con la antena de tres ejes Posicionado a una altura de 1.40 metros.

Tabla 22: Porcentaje de LMP para 14 laptops en modo carga en P1 en entornos no controlados

Ubicación	Frecuencia		Servicio	Promedio (% LMP)	Máximo (% LMP)	Mínimo (% LMP)
	Baja (MHz)	Frecuencia Alta (MHz)				
0.5 metros en P1	2400	2483.5	Wi-Fi 2.4 GHz	0.004543	0.045921	0.003335
	5150	5350	Wi-Fi 5.1 Baja GHz	0.05138	0.049375	0.032512
	5470	5825	Wi-Fi 5.1 Alta GHz	0.000685	0.00067	0.000671
	Subtotal			0.056608	0.095966	0.036518
	Otros			0.00119	0.001098	0.001121
	Total			0.057798	0.097064	0.037639

Fuente: Elaboración Propia

6b) Niveles de exposición a Electrosmog RF para una Laptop conectada a AP2 en modo de carga en una ubicación de medición predefinida con la antena tri-axial colocada a una altura de 1.40 metros.

Tabla 23: Porcentaje de LMP para 01 laptops en modo carga en P1 en entornos no controlados

Ubicación	Frecuencia		Servicio	Promedio (% LMP)	Máximo (% LMP)	Mínimo (% LMP)
	Baja (MHz)	Frecuencia Alta (MHz)				
0.5 metros en P1	2400	2483.5	Wi-Fi 2.4 GHz	0.003785	0.008441	0.001499
	5150	5350	Wi-Fi 5.1 Baja GHz	0.052729	0.064959	0.036061
	5470	5825	Wi-Fi 5.1 Alta GHz	0.000613	0.000628	0.000591
	Subtotal			0.057127	0.074028	0.038151
	Otros			0.00091	0.00098	0.000971
	Total			0.058037	0.075008	0.039122

Fuente: Elaboración Propia

7b) Niveles de exposición a Electrosmog RF para una Laptop conectada a AP2 en modo de descarga en 01 ubicación de medición predefinida con la antena tri-axial colocada a una altura de 1.40 metros.

Tabla 24: Porcentaje de LMP para 01 laptops en modo carga en P1 en entornos no controlados

Ubicación	Frecuencia		Servicio	Promedio (% LMP)	Máximo (% LMP)	Mínimo (% LMP)
	Baja (MHz)	Frecuencia Alta (MHz)				
0.5 metros en P1	2400	2483.5	Wi-Fi 2.4 GHz	0.007018	0.023615	0.003694
	5150	5350	Wi-Fi 5.1 Baja GHz	0.068835	0.090580	0.039213
	5470	5825	Wi-Fi 5.1 Alta GHz	0.000418	0.0003985	0.000385
	Subtotal			0.076271	0.114594	0.043292
	Otros			0.000665	0.000677	0.000673
	Total			0.076936	0.115271	0.043965

8b) Niveles de exposición a Electrosmog RF para la banda de 5150 a 5350 MHz con la antena tri-axial colocada a 20 cm de AP1.

Tabla 25: Porcentaje de LMP a 0.20 metros de AP1, para entornos no controlados

Ubicación	Frecuencia Baja (MHz)	Frecuencia Alta (MHz)	Servicio	Promedio (% LMP)	Máximo (% LMP)	Mínimo (% LMP)
0.20 metros de AP1	5150	5350	Wi-Fi 2.4 Baja GHz	6.84261	10.14586	4.22443

Fuente: Elaboración Propia

9b) Niveles de exposición a Electrosmog RF para la banda de 2400 a 2483,5 MHz con la antena tri-axial colocada a 20 cm de AP2.

Tabla 26: Porcentaje de LMP a 0.20 metros de AP2, para entornos no controlados

Ubicación	Frecuencia Baja (MHz)	Frecuencia Alta (MHz)	Servicio	Promedio (% LMP)	Máximo (% LMP)	Mínimo (% LMP)
0.20 metros de AP2	2400	2483.5	Wi-Fi 2.4 GHz	1.834504	7.89463	0.000875

Fuente: Elaboración Propia