

Evaluación de radiaciones no ionizantes de la red Wi-Fi en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Evaluation of non-ionizing radiations from the Wi-Fi network at the University of San Marcos

Víctor Cruz Ornetta¹, Wilbert Chávez Irazabal¹, Leonardo Ruiton Prado¹,
Christopher Livia Gil¹, Bladimir Guevara Minaya¹, Almendra Vásquez Cainicela¹,
Jorge Hernández Fernández¹ y Dextre Shoymer Mejía¹

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

RESUMEN

Este estudio fue realizado para evaluar las radiaciones no ionizantes (RNI) de los sistemas Wi-Fi del Pabellón Nuevo de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica (FIEE) de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM). Para la revisión de los efectos sobre la salud de las redes Wi-Fi se ha considerado las más importantes publicaciones realizadas en el periodo 2009- 2013. Se revisaron los estándares técnicos. Se diseñó e implementó una red de prueba para la generación de señales Wi-Fi para realizar las mediciones de RNI en un ambiente semi-controlado. Para la evaluación de las RNI de los puntos de acceso Wi-Fi se utilizó un analizador de campos electromagnéticos Narda NBM 550 y se realizaron dos tipos de medición uno con la sonda isotrópica de campo eléctrico EF 0691 de 100 kHz-6 GHz y el otro con la sonda isotrópica ED 5091 para cociente de exposición de 300 kHz-50 GHz, Estándar de la Comisión Internacional de Protección contra las Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP) 1998 Ocupacional. Los estudios confirman que los únicos efectos a estas frecuencias están relacionados con el calentamiento de los tejidos y en el caso de los sistemas Wi-Fi el incremento de la temperatura debido a las RNI es muy pequeño que solo podrían producir efectos biológicos pero no efectos sobre la salud.

PALABRAS CLAVE: Wi-Fi, campos electromagnéticos, radiaciones no ionizantes, ondas electromagnéticas, redes inalámbricas

ABSTRACT

This study was to evaluate the non-ionizing radiations (NIR) from Wi-Fi systems at the new building of the Faculty of Electronic and Electrical Engineering (FIEE) – University of San Marcos (UNMSM). To perform the scientific literature review on health effects from Wi-Fi networks they were considered the most important releases from 2009 to 2013. It was then performed a revision of technical standards for Wi-Fi networks. It was designed and implemented a trial network to generate Wi-Fi signals used to carried out the measurements of NIR in a semi –controlled environment. In order to assess non-ionizing radiations from access points of Wi-fi networks it was used an electromagnetic field analyzer Narda NBM 550 and there were carried out two types of measurements, one with an isotropic probe EF 0691 from 100 kHz to 6 GHz and the other with an isotropic probe ED 5091 to provide the exposure quotient from 300 kHz to 50 GHz, ICNIRP Occupational Standard 1998. In the review on health effects, the studies confirmed that the only effects at these frequencies are related to tissue heating and in case of Wi-Fi systems the temperatura increase produced by NIR is very small so they could only produce biological effects but not health effects.

KEYWORDS: Wi-Fi, electromagnetic fields, non-ionizing radiations, electromagnetic waves, wireless networks

1 Investigadores de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica. Víctor Cruz <vcruzor@gmail.com>, Wilbert Chávez <wchavezi@unmsm.edu.pe>, Leonardo Ruiton <leo.ruiton@gmail.com>, Christopher Livia <artp_65@hotmail.com>, Bladimir Guevara <ilishguevara@gmail>, Almendra Vásquez <shanevasquezc@gmail.com>, Jorge Hernández <jorge.hernandezf@cuokuma.org.pe>, Shoymer Mejía <shoymermejia@gmail.com>.

Introducción

El estudio de los campos electromagnéticos se viene realizando en forma más intensa después de la segunda guerra mundial, especialmente en los últimos años debido a los temores de posibles efectos adversos sobre la salud de las personas provenientes de los campos de las redes de energía eléctrica y de los sistemas de telefonía móvil. Si bien los campos electromagnéticos tienen características que son comunes, las principales diferencias en su interacción y efectos sobre el cuerpo humano dependen de la frecuencia. En ese sentido la interacción de los campos de radiofrecuencia producen efectos térmicos en el material biológico humano pudiendo producirse efectos sobre la salud si el incremento de temperatura es mayor a 1 °C (ICNIRP, 1998), (IEEE, 2006), (ICNIRP, 2009) (LASCR, 2010).

El desarrollo de las redes Wi-Fi ha permitido la masificación del servicio de Internet en estos últimos años especialmente en las escuelas y universidades; sin embargo, paralelamente ha venido generando una preocupación creciente por parte de la población con respecto a posibles efectos sobre la salud. Wi-Fi es una tecnología que permite comunicar datos inalámbricamente a dispositivos como computadoras portátiles, computadoras fijas, tabletas, teléfonos móviles, entre otros. Los equipos Wi-Fi emiten energía de radiofrecuencia, demostrándose que los mecanismos de interacción entre el campo electromagnético y el cuerpo humano para exposición aguda a niveles ambientales da lugar a un calentamiento de los tejidos de la zona expuesta pero el incremento de temperatura es despreciable; sin embargo, para exposición crónica de bajo nivel se desconocen básicamente los mecanismos. La Agencia Internacional de Investigación del Cáncer (IARC) de la Organización Mundial de la Salud (OMS) en el año 2013 terminó los estudios

sobre la carcinogenicidad de las radiofrecuencias (IARC, 2013); y concluyó que habían “pruebas limitadas en los seres humanos”, sobre una base de asociaciones positivas entre el glioma y el neurinoma del nervio acústico y la exposición a los campos electromagnéticos de teléfonos móviles o inalámbricos, observados en el estudio caso-control Interphone (The Interphone Study Group, 2010) y en un análisis conjunto de dos estudios caso-control suecos (Hardell, Carlberg et al. 2011). Viendo las pruebas limitadas en el hombre y los animales de laboratorio, el grupo de trabajo clasificó las radiofrecuencias como “posiblemente carcinogénicas para el hombre” (Grupo 2B); sin embargo, señaló que se necesitaba investigación adicional en esta área.

En varios países en el ámbito mundial se han venido realizando estudios sobre los niveles de exposición típicos de las redes Wi-Fi; incluyendo a Canadá (Industry Canada, 2012) en la cual se concluye que para la banda de frecuencia de 50 MHz a 6 GHz la exposición promedio ambiental fue de 0.003 % y la máxima es de 0.013 % del Código N° 6 de Canadá (SC6) cuando los dispositivos Wi-Fi del set-up estaban apagados; mientras los valores se incrementaron a un promedio de 0.234 % del SC6 a la distancia de 0.43 m de un AP para la banda de 2.4 a 5.825 GHz, Nueva Zelanda (Ministry of Health, 2014) donde los resultados dieron una exposición máxima de 0.024 % y una exposición promedio de 0.01 % (en el caso de salones con AP interiores) de los estándares poblacionales de Nueva Zelanda, Reino Unido (Peyman et al., 2011a) y (Peyman et al., 2011b) en la cual se concluye que para APs en la banda de 2.4 GHz la exposición estuvo en el rango de 0.286 V/m (0.22 mW/m²) a 5.71 V/m (87 mW/m²) cuando la distancia varía de 1.9 a 0.5 m. y Suiza (Kühn & Kuster, 2006) y (FOPH, 2007) en los cuales se encontraron niveles de exposición entre 0.3 a 1.5 V/m cuando la distancia varió de 2 a 0.1 m. Esto demuestra la preocupación existente ya que

se relaciona muy cercanamente con la exposición de niños en las escuelas y jóvenes en las universidades.

Es por eso que el objetivo de este estudio es evaluar las radiaciones de dispositivos Wi-Fi como computadoras portátiles y puntos de acceso.

Materiales y métodos

Revisión de la literatura acerca de posibles efectos sobre la salud para señales provenientes de redes Wi-Fi

Para la revisión de literatura de los efectos de las redes Wi-Fi se ha considerado las revisiones realizadas por Comisión Internacional de Protección contra las Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP,2009), el Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR,2009) de la Unión Europea, la Agence Française de Santé et Sécurité Environnementale et du Travail (AFSSET, 2009) de Francia , el Advisory Group on Non-Ionising Radiation (AGNIR,2012) del Reino Unido, el Health Council of the Netherlands (2013), la Agence Nationale de Sécurité, Alimentation, Environnement, Travail (ANSES, 2013) de Francia y la Agencia Internacional de Investigación del Cáncer (IARC, 2013)

Diseño e implementación de sistema para generación de señales Wi-Fi

Se implementó una red Wi-Fi de prueba que sirviera para realizar las mediciones en un ambiente semi-controlado ya que en esta red era posible conocer los parámetros técnicos de todos los equipos a diferencia de la red ya instalada; sin embargo, las mediciones no se realizaron dentro de una cámara anecoica que nos hubiera dado un resultado ideal. La evaluación se realizó en un ambiente real.

Evaluación de la cobertura de las redes Wi-Fi

La evaluación de la cobertura de las redes puntos de acceso Wi-Fi se puede realizar de diversas maneras:

- Utilizando aplicaciones que se cargan en computadoras portátiles
- Mediante la utilización de analizadores de espectros

En este estudio se han utilizado cuatro computadoras personales cargadas con el software Acrylic Wi-Fi que nos permitió evaluar el alcance y el software LanTraffic que nos permitió evaluar a capacidad de tráfico.

Evaluación de las radiaciones no ionizantes de los puntos de acceso de las redes Wi-Fi

Para la evaluación de las redes Wi-Fi se implemento una red de prueba con 4 puntos de acceso en la banda de 2.4 GHz que trabajan con los estándares 802.11 b/g/n de la marca Ubiquiti modelo Unifi AP Outdoor+ con 28 dBm de potencia de salida; con antenas sectoriales de titanio Ubiquiti modelo Air max de 15 dBi de ganancia . Asimismo, se trabajó con puntos de acceso ya instalados en el pabellón nuevo de la FIEE Ubiquiti que trabajan en la banda 2.4 GHz estándar 802.11 b con antenas propias de 2 x 5 dBi de ganancia.

Para la evaluación de las radiaciones no ionizantes de los puntos de acceso de la red Wi- Fi de la FIEE se utilizó un analizador de campos electromagnéticos Narda NBM 550

Resultados

a) Las Redes Wi-Fi

Wi-Fi es un mecanismo de conexión de dispositivos electrónicos de forma inalámbrica. Los dispositivos habilitados con Wi-Fi, tales como una computadora portátil, un Smartphone, o un reproductor de audio digital, pueden co-

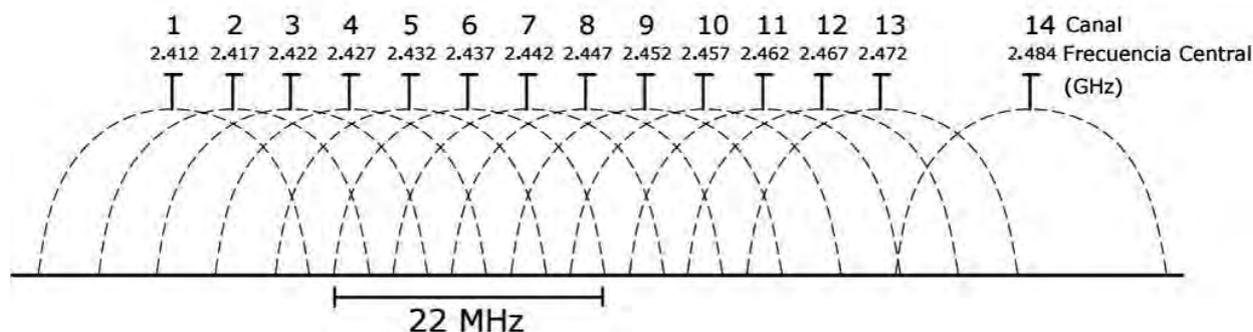


Figura 1: Canalización de la banda de 2.4 GHz para sistemas Wi-Fi.

nectarse a Internet a través de un punto de acceso de red inalámbrica. Dicho punto de acceso tiene un alcance de unos 20 metros en interiores, una distancia que es mayor al aire libre.

Wi-Fi es una marca de la Wi-Fi Alliance adopta, prueba y certifica que los equipos cumplen los estándares 802.11 relacionados a redes inalámbricas de área local.

Existen diversos tipos de sistemas Wi-Fi, basados en el estándar IEEE 802.11 aprobado, cuyas características son las siguientes:

- Los estándares IEEE 802.11b, IEEE 802.11g e IEEE 802.11n en la banda de 2.4 GHz que está disponible casi universalmente, con una velocidad de hasta 11 Mbit/s, 54 Mbit/s y 300 Mbit/s, respectivamente.
- En la actualidad ya se maneja también el estándar IEEE 802.11ac, conocido como Wi-Fi 5, que opera en la banda de 5 GHz y que disfruta de una operatividad con canales relativamente limpios. La banda de 5 GHz ha sido recientemente habilitada y, además, no existen otras tecnologías (Bluetooth, microondas, ZigBee, WUSB) que la estén utilizando; por lo tanto, existen muy pocas interferencias, sin embargo su alcance es algo menor que en 2.4 GHz.

Existen otras tecnologías inalámbricas como Bluetooth que también funcionan a una frecuencia de 2.4 GHz, por lo que puede presentar interferencias con la tecnología Wi-Fi. Debido a esto, en la versión 1.2 del es-

tándar Bluetooth, por ejemplo, se actualizó su especificación para que no existieran interferencias con la utilización simultánea de ambas tecnologías, además se necesita tener 40 000 kbit/s.

Frecuencias utilizadas

Las bandas ISM (Industrial, Scientific and Medical) permiten el uso de las porciones 2.4-2.5 GHz, 5.8 GHz, y muchas otras frecuencias (no utilizadas en Wi-Fi). Las bandas UNII (Unlicensed National Information Infrastructure) permiten el uso sin licencia de otras

En la banda de 2.4 GHz los canales están separados cada 5 MHz, pero las señales 802.11 ocupan 22 MHz. Para evitar interferencias se deben escoger canales que no se solapen, es decir, que las respectivas señales no se superpongan en ninguna parte del espectro (ver figura 1).

Dispositivos

Existen varios dispositivos Wi-Fi, los cuales se pueden dividir en dos grupos: dispositivos de distribución o de red, entre los que destacan los routers, puntos de acceso y repetidores; y dispositivos terminales que en general son las tarjetas receptoras para conectar a la computadora personal, ya sean internas (tarjetas PCI) o bien USB.

Dispositivos de distribución o de red

Los puntos de acceso son dispositivos que generan un “set de servicio”, que podría definirse como una “Red Wi-Fi” a la que se pueden conectar otros dispositivos. Los puntos de acceso permiten, en resumen, conectar dispositivos en forma inalámbrica a una red existente. Pueden agregarse más puntos de acceso a una red para generar redes de cobertura más amplia, o conectar antenas más grandes que amplifiquen la señal.

Los repetidores inalámbricos son equipos que se utilizan para extender la cobertura de una red inalámbrica, éstos se conectan a una red existente que tiene señal más débil y crean una señal limpia a la que se pueden conectar los equipos dentro de su alcance. Algunos de ellos funcionan también como punto de acceso.

Los routers inalámbricos son dispositivos especialmente diseñados para redes pequeñas (hogar o pequeña oficina). Estos dispositivos incluyen, un router (encargado de interconectar redes, por ejemplo, nuestra red del hogar con Internet), un punto de acceso (explicado más arriba) y generalmente un switch que permite conectar algunos equipos vía cable (Ethernet y USB). Su tarea es tomar la conexión a Internet, y brindar a través de ella acceso a todos los equipos que conectemos, sea por cable o en forma inalámbrica.

Los dispositivos terminales abarcan tres tipos mayoritarios: tarjetas PCI, tarjetas PCMCIA y tarjetas USB:

Las tarjetas USB para Wi-Fi son el tipo de tarjeta más común que existe en las tiendas y más sencillo de conectar a una PC, ya sea desktop o portátil, haciendo uso de todas las ventajas que tiene la tecnología USB. Hoy en día puede encontrarse incluso tarjetas USB con el estándar 802.11n que es el último estándar liberado para redes inalámbricas.

También existen impresoras, cámaras Web y otros periféricos que funcionan con la tec-

nología Wi-Fi, permitiendo un ahorro de mucho cableado en las instalaciones de redes y especialmente, gran movilidad.

b) Efectos en la salud provenientes de las radiaciones no ionizantes de los sistemas Wi-Fi

De acuerdo a la literatura revisada las radiaciones no ionizantes de los sistemas Wi-Fi son radiaciones de radiofrecuencia que, por lo tanto, solo producen efecto térmico en los tejidos humanos produciéndose efectos sobre la salud cuando el calentamiento supera 1 °C. En el caso de los sistemas Wi-Fi los niveles de radiación son menores que los producidos por las estaciones bases de telefonía móvil, por lo tanto, están muy por debajo de los límites máximos permisibles y no se producen efectos sobre la salud.

c) Diseño e implementación del sistema de transmisión Wi-Fi de prueba

Para poder realizar la evaluación de la cobertura y de las radiaciones no ionizantes de redes Wi-Fi se diseñó e implementó en el Pabellón Nuevo de la FIEE una red de 4 puntos de acceso de los cuales se tomó conocimiento de todas sus características técnicas, lo que a su vez facilitó la evaluación de la cobertura y de las radiaciones no ionizantes.

Cantidad y ubicación de los AP's nuevos

De acuerdo al levantamiento de información realizado y en concordancia con los objetivos de cobertura a lograr se definió como punto principal la escalera central del pabellón nuevo (3 AP's) y como un punto adicional, la esquina del pabellón de aulas del laboratorio de ingeniería eléctrica (1AP). En la figura 5 se puede apreciar la distribución propuesta de los AP's en el nuevo pabellón de la FIEE – UNMSM.

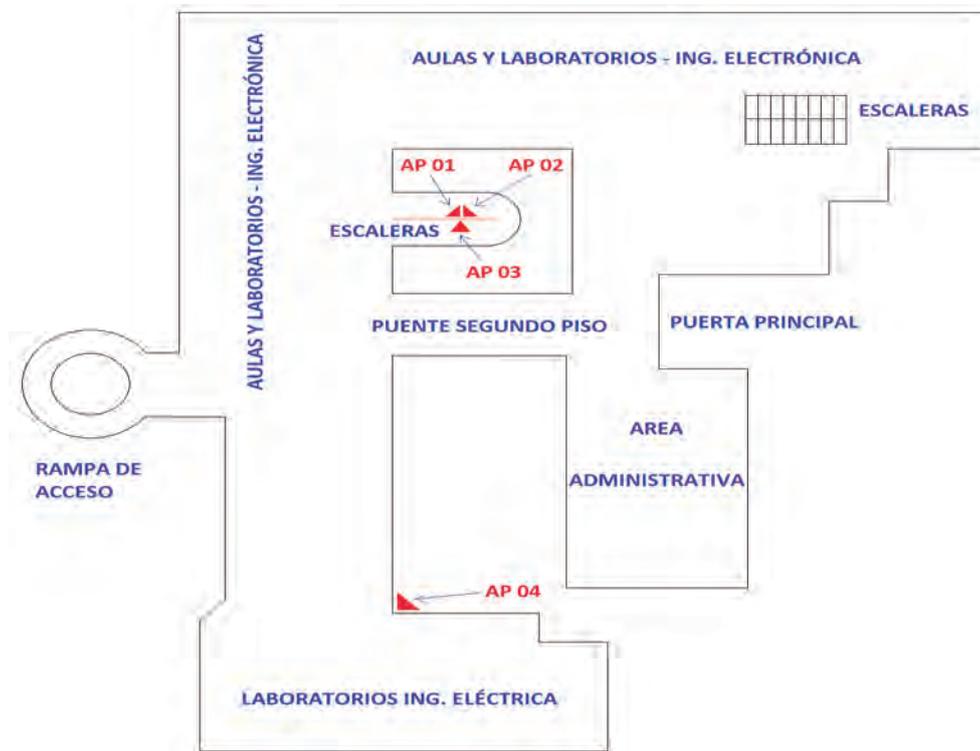


Figura 2: Distribución de los nuevos AP's en el pabellón nuevo de la FIEE – UNMSM.

Instalación

En esta etapa de la implementación se realizaron todos los trabajos conducentes a la instalación de la infraestructura civil, eléctrica, de red, además de la configuración e instalación de los AP's, se instalaron los mástiles de los AP's además de las cajas de pase respectivas en las ubicaciones correspondientes

Configuración de los equipos AP

Para ello se utilizó el software de configuración UniFi de Ubiquiti en la versión v3.2.10. instalado en una PC del instituto de investigación de la FIEE – UNMSM.

Instalación y configuración del software de administración UbiquitiUniFiControler

Antes de poder configurar nuestros equipos AP's es necesario instalar y configurar los parámetros iniciales del software de administración para soluciones empresariales de Ubiquiti, el UbiquitiUniFiControler. Para ello de la dirección <https://www.ubnt.com/download/> se procede a seleccionar del listado de productos a la plataforma UniFi y como grupo



Figura 3: Ubicación final de los AP's 1 y 2 (vista 1).

TABLA 1
Datos de configuración de los AP

Características	AP 01	AP 02	AP 03	AP 04
Alias	AP-001	AP-002	AP-003	AP-004
Canal	3	5	7	9
Ancho de banda	20 MHz.	20 MHz.	20 MHz.	20 MHz.
Potencia de TX (*)	26 dBm (EIRP)	26 dBm (EIRP)	26 dBm (EIRP)	26 dBm (EIRP)
SSID (libre, sin contraseña)	prueba-1	prueba-2	prueba-3	prueba-4
Configuración IP	Estática	Estática	estática	estática
Dirección IP	172.16.84.150	172.16.84.151	172.16.84.152	172.16.84.153
Mascara de subred	255.255.252.0	255.255.252.0	255.255.252.0	255.255.252.0
Puerta de enlace	172.16.84.1	172.16.84.1	172.16.84.1	172.16.84.1
DNS preferido	172.16.156.4	172.16.156.4	172.16.156.4	172.16.156.4
DNS alternativo	172.16.156.5	172.16.156.5	172.16.156.5	172.16.156.5
Dirección MAC	04:18:d6:86:7e:c4	04:18:d6:86:81:2b	04:18:d6:86:80:fa	04:18:d6:86:dd:f6
Velocidad de UPLINK	100 Mbps	100 Mbps	100 Mbps	100 Mbps

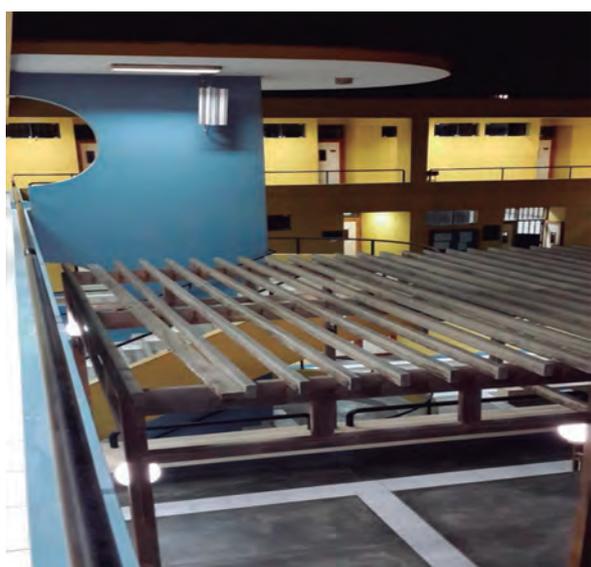


Figura 4: Ubicación final del AP 3.



Figura 5: Ubicación final del AP 4.

de producto a UniFi AP AC Outdoor, finalmente, se descarga el controlador UniFi v3.2.10 controler for Windows.

Instalación de los equipos AP's

Luego de realizar la configuración de los equipos, se procedió al ensamblaje del equipo de RF y la antena de alta ganancia para su posterior colocación en los mástiles instalados anteriormente, a continuación, se muestran las figuras 6 al 8

mostrando la ubicación e instalación final de los equipos. Datos obtenidos del software luego de la configuración, para llegar a este valor se debe configurar el equipo en modo High en la pestaña TX power para cada uno de los AP's

Pruebas de cobertura

Una vez instalados los equipos, se procedió a realizar la medición de los niveles de poten-

cia utilizando para ello el software de escaneo para redes “AcrylicWiFi Free v2.2”, el cual se descargó de la página web <https://www.acrylicwifi.com/software/escaner-wifi-acrylic-wifi-gratuito/> realizar la instalación en una computadora móvil con tarjeta de red inalámbrica, y luego de ello nos aparecerá la pantalla principal con todas las redes de datos detectadas, para las mediciones se se-

leccionan los SSID deseados. Para realizar las pruebas de niveles de potencia se siguieron los siguientes pasos:

- Ejecutar el software “Acrylic WiFi Free v2.2”.
- Seleccionar los SSID Prueba-1, Prueba-2, Prueba-3, Prueba-4.
- Definir los puntos de ubicación, rango horario y parámetro a medir.

TABLA 2a
Resultado de las pruebas de alcance

N°	Ubicación			Rango Horario		SSID (dBm)				Máxima Señal (dBm)
	Piso	Lugar	Detalle	Inicio	Fin	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	
1	tercero	aula 15	Subiendo la escalera principal	13:05	13:07	-52	-78	-66	-91	-52
2	tercero	aula 16	subiendo la escalera principal a la izquierda, primer salón	13:13	13:15	-83	-73	-68	-89	-68
3	tercero	aula 17	subiendo las escalera principal a la izquierda, segundo salón	13:18	13:20	-83	-78	-48	-88	-48
4	tercero	laboratorio de circuitos eléctricos	primer salón	13:23	13:25	-81	-81	-59	-85	-59
5	tercero	laboratorio de circuitos eléctricos	segundo salón	13:28	13:30	-80	-77	-68	-80	-68
6	tercero	laboratorio de circuitos eléctricos	tercer salón	13:32	13:34	-67	-78	-53	-82	-53
7	tercero	aula 14	a la izquierda del laboratorio de energía solar	13:38	13:40	-74	-84	-73	-82	-73
8	tercero	aula 13	a la derecha del laboratorio de energía solar	13:45	13:47	-85	-81	-84	-82	-81
9	tercero	Pasadizo	entre laboratorio de circuitos eléctricos y el aula 15	13:52	13:54	-59	-54	-41	-77	-41
10	tercero	pasadizo	entre el aula 13 y el aula 9	13:57	13:59	-37	-48	-63	-80	-37
11	tercero	aula 12	subiendo la escalera principal a la derecha	14:02	14:04	-65	-74	-92	-87	-65
12	tercero	pasadizo	entre el aula 9 y 6	14:11	14:13	-55	-48	-60	-87	-48
13	tercero	aula 08	frente al tercio estudiantil	14:21	14:23	-79	-75	-85	-88	-75
14	segundo	sala de docentes	frente a los servicios higiénicos	14:41	14:43	-71	-68	-83	-86	-68
15	segundo	aula 03	frente al almacén	14:47	14:49	-78	-88	-86	-88	-78
16	segundo	pasadizo	entre el almacén y sala de docentes	14:51	14:53	-52	-52	-70	-88	-52

TABLA 2b
Resultado de las pruebas de alcance

N°	UBICACIÓN			RANGO HORARIO		SSID				MÁXIMA SEÑAL
	PISO	LUGAR	DETALLE	INICIO	FIN	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PRUEBA 4	
17	segundo	aula 02	frente de la escalera secundaria	14:56	14:58	-91	-93	-89	-85	-85
18	segundo	pasadizo	entre salón de docentes y laboratorio de mediciones electrónicas	15:06	15:08	-60	-61	-74	-75	-60
19	segundo	pasadizo	en la puerta del departamento académico	15:10	15:12	-68	-68	-59	-66	-59
20	segundo	pasadizo	en la puerta del laboratorio de sistemas eléctricos de potencia y control	15:29	15:31	-84	-79	-57	-69	-57
21	segundo	pasadizo	entre departamento académico y oficinas administrativas	15:33	15:35	-73	-67	-56	-73	-56
22	primero	aula 37	al lado derecho de la fotocopidora	15:44	15:46	-71	-91	-80	-81	-71
23	primero		laboratorio de redes y conectividad	15:50	15:52	-88	-91	-88	-89	-88
24	primero	aula 35	frente al quiosco	15:59	16:01	-87	-77	-85	-75	-75
25	primero	pasadizo	frente a los servicios higiénicos	16:03	16:05	-80	-77	-83	-82	-77
26	primero	pasadizo	entre fotocopidora y laboratorio de informática	16:07	16:09	-61	-66	-72	-73	-61
27	primero	biblioteca	frente a la escalera principal	16:12	16:14	-67	-85	-91	-89	-67
28	primero	pasadizo	entre el laboratorio de máquinas eléctricas y la sala de instrumentación	16:27	16:29	-87	-73	-62	-60	-60
29	primero	pasadizo	puerta del auditorio	16:31	16:33	-70	-63	-61	-54	-54

De las tablas 2a y 2b se puede observar que las potencias de transmisión obtenidas en las pruebas realizadas se encuentran dentro de los parámetros aceptables para establecer una comunicación continua entre los AP's y los equipos suscriptores a la red, sin embargo, se detectan que los puntos cercanos a los extremos occidental y oriental de la cara norte del pabellón reciben poca potencia de señal, por lo que se recomienda que en esas zonas se puedan reubicar los equipos domésticos con los que actualmente cuenta el nuevo pabellón de la FIEE – UNMSM.

Luego de realizadas las pruebas de potencia de los AP's, se procedió a realizar pruebas

de tráfico, para ello se tomó el AP 03 como equipo de prueba, además se consideraron 4 baterías de prueba de tráfico:

- Prueba 1: Dos equipos con conexión inalámbrica desde un aula del Instituto de Investigación.
- Prueba 2: Un equipo con conexión cableada a la LAN del AP 03 y un equipo con conexión inalámbrica en una ubicación cercana y sin obstáculos al AP 03.
- Prueba 3: Un equipo con conexión cableada a la LAN del AP 03 y un equipo con conexión inalámbrica desde un aula del Instituto de Investigación.
- Prueba 4: Dos equipos con conexión ina-

TABLA 3
Resultado de las pruebas de alcance

N°	Pruebas	PC - Tx	Dirección IP Tx	Throughput Tx	PC - Rx	Dirección IP Rx	Throughput Rx	Ubicación Tx	Ubicación Rx
1	Prueba 01	WiFi	172.16.85.5	11.7 Mib/s	WiFi	172.16.85.19	10.8 Mib/s	Investigación	Investigación
2	Prueba 02	Cable	172.16.84.41	95.4 Mib/s	WiFi	172.16.85.19	61.6 Mib/s	Investigación	Escalera
3	Prueba 03	Cable	172.16.84.41	95.5 Mib/s	WiFi	172.16.85.19	45.3 Mib/s	Investigación	Investigación
4	Prueba 04	WiFi	172.16.85.31	13.8 Mib/s	WiFi	172.16.85.19	13.9 Mib/s	Escalera	Escalera

TABLA 4A
Estándares de Calidad Ambiental - Límites Máximos Permisibles para exposición poblacional de los servicios de comunicaciones móviles

Servicio	Frecuencia	E(V m ⁻¹)	H(A m ⁻¹)	B(μT)	S(W m ⁻²)
Telefonía Móvil Celular	870.03 – 879.99 MHz	40.673	0.109	0.136	4.375
	890.01 – 891.48 MHz	41.037	0.11	0.137	4.454
	869.04 – 870 MHz	40.545	0.109	0.136	4.348
Troncalizado	851 – 869 MHz	40.323	0.109	0.135	4.3
PCS (A)	1930 – 1945 MHz	60.523	0.163	0.202	9.688
Wi-Fi 2.4 GHz	2412 - 2484 MHz	68.03	0.183	0.228	12.24
Wi-Fi 5 GHz	5180-5805	101.9	0.274	0.341	27.46

TABLA 4b
Medición de banda ancha con NBM 550 con sonda para campo eléctrico de 100 kHz-6 GHz

N°	Latitud	Longitud	Lugar de Medición	Punto de acceso (AP)	Average (V/m)	Max Average (V/m)	Coc. Exposición Pobl. (%)
1	-12.05532	-77.08701	Frente a la Oficina de Investigación	FIEE 2A 1	0.18	0.36	0.00272
2	-12.05532	-77.08709	Pasadizo 2do piso	FIEE 2A 1	0.71	0.77	0.01245
3	-12.05532	-77.08701	Aula 2	FIEE 2 ^a	0.33	0.33	0.00229
4	-12.05512	-77.08703	Aula 3	FIEE 3 ^a	0.19	0.23	0.00111
5	-12.05507	-77.08716	Aula 12	Prueba 1	0.26	0.26	0.00142
6	-12.05522	-77.08722	Aula 16	Prueba 3	0.62	0.72	0.01089
7	-12.05536	-77.08705	Lab. de Sistemas de potencia	Prueba 3	0.2	0.20	0.00084
8	-12.05512	-77.08712	Sala de profesores	FIEE 2 ^a	0.2	0.26	0.00142
9	-12.05534	-77.08732	Lab. de Máquinas eléctricas	Prueba 4 (1m)	0.23	0.29	0.00177
10	-12.05539	-77.08724	Lab. de Máquinas eléctricas	Prueba 4	0.19	0.31	0.00202
11	-12.05542	-77.08725	Lab. de Máquinas eléctricas	Prueba 4	0.30	0.35	0.00257
Máximo							0.01245
Mínimo							0.00084

lámbrica en una ubicación cercana y sin obstáculos al AP 03.

El software utilizado fue el LanTraffic V2, para ello se simularon 16 conexiones entre los equipos de transmisión y recepción con el fin

de generar el tráfico suficiente para emular las condiciones de trabajo real a la que se verán sometidos los equipos.

Como se puede observar, las pruebas realizadas generando tráfico con equipos conec-

tados vía cable (pruebas 2 y 3), tienen una tasa de descarga en el receptor inalámbrico de entre 4 a 6 veces mejor que en el caso de generadores inalámbricos, es necesario tener en cuenta que los casos de prueba 2 y 3 son los más cercanos a una descarga de internet, puesto que la conexión con los servidores que contienen los recursos de internet que se van a consumir provienen de equipos conectados vía cable a sus respectivos proveedores de ISP.

d) Evaluación de radiaciones no ionizantes

Para la medición de las radiaciones no ionizantes de los puntos de acceso Wi-Fi se utilizó un analizador de campos electromagnéticos Narda NBM 550 (Narda, 2014) y se realizaron dos tipos de medición: uno con la sonda isotrópica de campo eléctrico EF 0691 de 100 kHz-6 GHz y, el otro, con la sonda isotrópica ED 5091 para cociente de exposición de 300 kHz-50 GHz, Estándar ICNIRP 1998 Ocupacional

Para la evaluación de las radiaciones no ionizantes de los puntos de acceso Wi-Fi se utilizaron los niveles de referencia ICNIRP (ICNIRP, 1998) que corresponden a los límites máximos permisibles peruanos de las radiaciones no ionizantes de las actividades de telecomunicaciones (MTC, 2003) los cuales se resumen en la Tabla 4a.

De acuerdo a las mediciones realizadas tal como se muestra en las tablas 4, 5a y 5b en la banda de 100 kHz a 3 GHz la exposición estuvo entre 0.00084 y 0.01245 y en el caso de la de la banda 300 kHz a 50 GHz la exposición estuvo en el rango 0.036 - 0.5115 de los límites ICNIRP poblacionales, lo que demuestra que los valores de los campos producidos por los puntos de acceso (AP) de los sistemas Wi-Fi en la FIEE son mucho menores que los límites máximos permisibles peruanos para el público en general.

Discusión

De acuerdo al documento Wi-Fi Location –Based Services 4.1 Design Guide (CISCO, 2008) se tiene la curva típica de la variación del RSSI en función de la distancia en la cual se puede observar que el nivel varía desde -45 a -85 dBm cuando varía de distancia muy pequeñas hasta 67 m. en el caso de las mediciones de la FIEE los valores medidos entre 1m hasta cerca de 50 m varían entre -88 a 37 dBm lo que significa que las mediciones de la FIEE son coherentes con la variación típica del RSSI con la distancia

Tal como se muestra en las tablas 4, 5a y 5b en la banda de 100 kHz a 3 GHz la exposición estuvo entre 0.00084 y 0.01245 y en el caso de la de la banda 300 kHz a 50 GHz la exposición estuvo en el rango 0.036 - 0.5115 de los límites ICNIRP poblacionales, lo que demuestra que los valores de los campos producidos por los puntos de acceso (AP) de los sistemas Wi-Fi en la FIEE son mucho menores que los límites máximos permisibles peruanos para el público en general.

Estos resultados son coherentes con las mediciones de realizadas en Canadá (Health Canada, 2011) en la cual se concluye que para la banda de frecuencia de 50 MHz a 6 GHz la exposición promedio ambiental fue de 0.003 % SC6 (0.0013 % de ICNIRP 98 poblacional) y la máxima es de 0.013 % del SC6 (0.0058 % de ICNIRP 98 poblacional) cuando los dispositivos Wi-Fi del set-up estaban apagados; mientras los valores se incrementaron a un promedio de 0.234 % del SC6 (0.104 % de ICNIRP 98 poblacional) a la distancia de 0.43 m de un AP para la banda de 2.4 a 5.825 GHz

Comparando los resultados con las mediciones en Nueva Zelanda (Gledhill, 2014) donde los resultados dieron una exposición máxima de 0.024 % y una exposición promedio de 0.01 % (en el caso de salones con AP interiores) de los estándares poblacionales de Nueva Zelanda, las mediciones en la FIEE dan

TABLA 5a
Medición con medidor de banda ancha NBM 550 con sonda para cociente de exposición de 300 kHz-50 GHz,
Estándar ICNIRP 98 Ocupacional

N°	Latitud	Longitud	Lugar de Medición	Punto de Acceso (AP)	Cociente de Exposición Poblacional (%)
1	-12.05517	-77.08703	Frente a la Oficina de Investigación	FIEE 2A 1	0.1221
2	-12.05515	-77.08717	Pasadizo 2do piso.	FIEE 2A 1 Prueba 3	0.1820
3	-12.05518	-77.08664	Aula 2	FIEE 2A	0.0844
4	-12.05510	-77.08701	Aula 3	FIEE 3A	0.1133
5	-12.05505	-77.08724	Aula 12	Prueba 1 Prueba 2	0.0423
6	-12.05518	-77.08716	Aula 16	Prueba 3 FIEE 3A	0.0862
7	-12.05522	-77.08700	Lab. de Sistemas de potencia y control	Prueba 3	0.1446
8	-12.05508	-77.08722	Sala de profesores	FIEE 2A	0.1823
9	-12.05536	-77.08732	Lab. de Maquinas eléctricas	Prueba 4 (1m)	0.5001
10	-12.05544	-77.08722	Lab. de Maquinas eléctricas	Prueba 4 (2.5m)	0.5046
11	-12.05546	-77.08721	Lab. de Maquinas eléctricas	Prueba 4 (5m)	0.5115
12	-12.05519	-77.08672	Lab. de Automatismo	FIEE 1A	0.0362
13	-12.05508	-77.08730	Lab. de Informática y realidad virtual	FIEE 1A	0.0289
14	-12.05525	-77.08708	Entrada a la sala de estudio	FIEE 1A Prueba 4	0.0547
Máximo					0.5115
Mínimo					0.0289

resultados muy parecidos a la exposición encontrada con la sonda de 100 kHz a 6 GHz, lo cual es lógico, ya que el medidor utilizado por Gledhill, 2014 también va hasta 6 GHz

En el caso de los resultados de las mediciones del Reino Unido (Peyman et al., 2011a) y (Peyman et al., 2011b) en la cual se concluye que para APs en la banda de 2.4 GHz la exposición estuvo en el rango de 0.286 V/m (0.22 mW/m² o 0.002 de los límites ICNIRP poblacionales) a 5.71 V/m (87 mW/m² o 0.71 % de los li-

mítes ICNIRP poblacionales) cuando la distancia varía de 1.9 a 0.5 m tiene mucho parecido a las mediciones obtenidas a 1 m de distancia (aproximadamente 0.5 % de los límites ICNIRP poblacionales)

En el caso de Suiza (Kühn & Kuster, 2006) y (FOPH, 2007) en los cuales se encontraron niveles exposición entre 0.3 a 1.5 V/m (0.002 a 0.05 % de los límites ICNIRP poblacionales) cuando la distancia vario de 2 a 0.1 m sus resultados difieren de los resultados de las me-

TABLA 5b
Medición con medidor de banda ancha NBM 550 con sonda para cociente de exposición de 300 kHz-50 GHz,
Estándar ICNIRP 98 Ocupacional

N°	Latitud	Longitud	Lugar de Medición	Punto de Acceso (AP)	Cociente de Exposición Poblacional (%)
15	-12.05518	-77.08702	Frente a la Oficina de Investigación	FIEE 2A 1	0.1768
16	-12.05518	-77.08720	Pasadizo 2do piso	FIEE 2A 1 Prueba 3	0.036
17	-12.05508	-77.086641	Aula 2	FIEE 2ª	0.0795
18	-12.05496	-77.08683	Aula 3	FIEE 3ª	0.1214
19	-12.05505	-77.08724	Aula 12	Prueba 1 Prueba 2	0.0860
20	-12.05493	-77.08739	Aula 16	Prueba 3 FIEE 3A	0.1267
21	-12.05527	-77.08690	Lab. de Sistemas eléctricos de potencia	Prueba 3	0.2425
22	-12.05514	-77.08719	Sala de profesores	FIEE 2ª	0.2796
23	-12.05532	-77.08718	Laboratorio de Maquinas eléctricas	Prueba 4 (1m)	0.3635
24	-12.05532	-77.08716	Laboratorio de Maquinas eléctricas	Prueba 4 (2.5m)	0.4349
25	-12.05536	-77.08722	Laboratorio de Maquinas eléctricas	Prueba 4 (5m)	0.3975
26	-12.05512	-77.08683	Laboratorio de Automatismo	FIEE 1ª	0.1497
27	-12.05520	-77.08717	Laboratorio de Informática y realidad virtual	FIEE 1ª	0.1377
28	-12.05526	-77.08709	Entrada a la sala de estudio	FIEE 1A Prueba 4	0.1180
Máximo					0.4349
Mínimo					0.036

diciones en la FIEE que estuvieron en el orden de 0.5 % de los límites ICNIRP poblacionales para 1 m de distancia.

Conclusiones

En cuanto a los posibles efectos sobre la salud provenientes de las redes Wi-Fi la literatura

científica señala que el único mecanismo establecido es el térmico. Los valores máximos encontrados en la FIEE son del orden de 0.5% de los LMP.

La cobertura de la red Wi-Fi de la FIEE se encuentra dentro de los estándares internacionales tanto en alcance como en capacidad de tráfico, pero también depende de los equipos de comunicaciones de la Red Telemática.

Los niveles de radiaciones no ionizantes producidos por la red Wi-Fi de la FIEE son muy pequeños en promedio mucho menores que el 1 % y con un máximo de 0.5 % de los LMP poblacionales.

Agradecimientos

Al Vicerrectorado de Investigación y a la Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, por su apoyo en la realización de la presente investigación.

Referencias bibliográficas

ADVISORY GROUP ON NON-IONISING RADIATION (2012). *Health Effects from Radiofrequency Electromagnetic Fields*. HPA, Chilton.

AGENCE FRANÇAISE DE SÉCURITÉ SANITAIRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU TRAVAIL (2009). *Les radiofréquences: Mise à jour de l'expertise relative aux radiofréquences*. AFFSET, Paris.

AGENCE NATIONALE DE SECURITE SANITAIRE DE L'ALIMENTATION (2013). *de l'environnement et du Travail Radiofréquences et Santé*. ANSES, Paris.

CISCO (2008). *Wi-Fi Location-Based Services 4.1 Design Guide*. CISCO, San José.

HARDELL, Lennart et al. (2011). "Case-control study on the use of mobile and cordless phones and the risk for malignant melanoma in the head and neck region". *Pathophysiology* Vol.18, N°4:325-333. Suecia.

INDUSTRY CANADA. CASE STUDY (2012). *Measurements of Radio Frequency Exposure from Wi-Fi Devices*. IC, Ottawa.

HEALTH COUNCIL OF THE NETHERLANDS (2013). *Health Council of the Netherlands. Mobile phones and cáncer*. HCN, La Haya.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, IEEE (2006). *Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure Levels to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz, IEEE*

Standard C95.1. IEEE, Nueva York.

INTERPHONE STUDY GROUP (2010). "Brain tumour risk in relation to mobile telephone use: results of the INTERPHONE international case-control study". *International Journal of Epidemiology* Vol 39, N°3: 675-694. Inglaterra.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER, IARC (2013). *IARC Monographs-Non-ionizing Radiation Part 2: Radiofrequency Electromagnetic Fields (2013)*. IARC, Lyon.

INTERNATIONAL COMMISSION ON NON-IONIZING RADIATION PROTECTION (1998). "Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)". *Health Physics* Vol. 74, N°4: 494-522. Munich.

INTERNATIONAL COMMISSION ON NON-IONIZING RADIATION PROTECTION (2009). *Exposure to high frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences (100 kHz-300 GHz) - Review of the Scientific Evidence and Health Consequences*. ICNIRP, Munich.

LATIN AMERICAN EXPERTS COMMITTEE ON HIGH FREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELDS AND HUMAN HEALTH, LASCR (2010). *Non-Ionizing Electromagnetic Radiation in the Radiofrequency Spectrum and its Effects on Human Health*. Edumed, Campinas.

MINISTRY OF HEALTH (2014). *Exposures to radiofrequency fields from WiFi in New Zealand schools*. EMF Services, Christchurch.

NARDA SAFETY TEST SOLUTIONS (2014). *NBM 550 Broadband Meter Datasheet*. Narda STS, Pfullingen.

PEYMAN, Azadeh et al. (2011). "Assessment of Exposure to Electromagnetic Fields from Wireless Computer Networks (Wi-Fi) in Schools; Results of Laboratory Measurements". *Health Physics*. Vol. 100, N°6: 594-612. Munich.

PEYMAN, Azadeh et al. (2011). *Evaluation of Exposure of School Children to Electromagnetic Fields from Wireless Computer Networks (Wi-Fi)*. Proceedings of Bioelectromagnetic Society, Halifax.

SCIENTIFIC COMMITTEE ON EMERGING AND NEWLY IDENTIFIED HEALTH RISKS (2009). *European Commission. Health Effects of Exposure to EMF*. EC, Bruselas.