



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

**TITULACIÓN DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

Análisis de las Radiaciones No Ionizantes en el Campus de la UTPL

TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

AUTORES: Araujo Morocho, María José

Castillo Manchay, Diana Inés

DIRECTOR: Morocho Yaguana, Marco Vinicio, Mgs.

LOJA – ECUADOR

2014

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

Magister

Marco Vinicio Morocho Yaguana

DIRECTOR DE TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de fin de titulación Análisis de las Radiaciones No Ionizantes en el Campus de la UTPL, realizado por los profesionales en formación: Araujo Morocho María José y Castillo Manchay Diana Inés; ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por lo que se autoriza la presentación del mismo.

Loja, 07 de Octubre del 2014.

f).

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Nosotras Araujo Morocho María José y Castillo Manchay Diana Inés declaramos ser autoras del presente trabajo de fin de titulación: Análisis de las Radiaciones No Ionizantes en el Campus de la UTPL, de la Titulación Electrónica y Telecomunicaciones, siendo el Mgs. Marco Vinicio Morocho director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 67 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f.....

Autora: María José Araujo Morocho

Cédula: 1104972706

f.....

Autora: Diana Inés Castillo Manchay

Cédula: 1105191249

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado especialmente a mis padres como muestra de la gratitud que tengo hacia ellos, por toda su entrega y sustento para mi beneficio y bienestar. También va dirigido a mis hermanas, por mantenerse conmigo mostrándome el significado de la unión.

A toda mi familia porque gracias a su apoyo me he ido formando como mejor persona al aprender de sus enseñanzas.

A mis amigas y amigos que me han incentivado y ayudado en toda circunstancia, sobre todo en los momentos difíciles.

María José Araujo.

A mis padres, José Domingo y Rosa Lucía, por ser los pilares más importantes de mi vida, por el apoyo incondicional que me han brindado y por ser mi principal fuente de inspiración para poder alcanzar cada uno de mis objetivos.

A mis hermanos, Joffre, Juan, Jacqueline y Javier, que mediante sus consejos me han ayudado a continuar luchando por conseguir mis metas.

De manera especial a mis abuelitos, José y Erminia, quienes mediante su cariño han estado apoyándome en cada momento. A mis sobrinos Jostin, Fernando y Evelyn, por medio de sus sonrisas, alegrías hacen que cada día sea inolvidable.

A toda mi familia y amigos, que me han brindado su ayuda. Gracias a todos ustedes.

Diana Castillo.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por brindarme la oportunidad de realizar una de mis metas más importantes y esperadas, por su forma peculiar de proveerme lo que necesito, y por ser mi fuerza y guía.

Un agradecimiento especial a mis padres, por todo el apoyo brindado, por su compañía en cada paso de mi vida, fuentes de motivación para cada día seguir creciendo como persona. A mis hermanas, Fanny, Gabriela y Morayma por darme el ejemplo a seguir, y enseñarme a siempre superar cualquier circunstancia.

A mis amigas y amigos que siempre han estado apoyándome por brindarme su ayuda incondicional y desinteresada.

A nuestro tutor de Tesis, Mgs. Marco Morocho por compartir todos sus conocimientos sin limitaciones y por la paciencia con la que ha dirigido nuestra tesis.

María José Araujo.

Agradezco a Dios por haberme dado la vida, la salud y permitir que pueda lograr esta meta tan anhelada.

A mis queridos padres, quienes gracias a su amor, paciencia y por cada uno de los valores inculcados me han ayudado a culminar mi formación profesional. A mis hermanos que mediante sus consejos, enseñanzas han estado apoyándome siempre.

A toda mi familia, amigos y amigas que han estado conmigo brindándome su ayuda en todo momento para poder cumplir con este sueño.

A mi compañera de tesis, María José Araujo, por los instantes que hemos compartido, por la confianza y por haber formado un equipo de trabajo para alcanzar nuestros objetivos.

Finalmente, agradezco al Mgs. Marco Morocho por ser nuestro guía, tutor y consejero de tesis, por su paciencia y por todos los conocimientos impartidos en este trabajo y durante nuestra formación.

Diana Castillo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CONTENIDO	
APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN	II
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	III
AGRADECIMIENTO	V
TERMINOLOGÍA	X
INTRODUCCIÓN.....	3
OBJETIVOS	4
CAPÍTULO I	5
ESTADO DEL ARTE DE LAS RADIACIONES NO IONIZANTES.....	5
1.1. Radiaciones.....	6
1.1.1. Radiaciones Ionizantes.....	6
1.1.2. Radiaciones No Ionizantes.....	6
1.2. Riesgos para la salud y medidas de prevención de las Radiaciones No Ionizantes	7
1.2.1. Estudios experimentales, efectos genotóxicos y cancerígenos.	8
1.2.2. Efectos sobre el sistema nervioso.....	9
1.2.3. Confirmación de RNI.....	9
1.2.4. Recomendaciones para limitar la exposición a los CEM.	10
a) <i>Restricciones básicas para exposiciones a CEM.</i>	11
b) <i>Niveles de referencia para la exposición ocupacional a CEM</i>	13
1.2.5. Evaluación de la exposición humana a la radiación electromagnética de Wireless.....	13
1.3. Organizaciones orientadas a estudios de Radiaciones No Ionizantes	15
1.3.1. Recomendaciones para las mediciones de RNI.	15
NORMAS, PROCEDIMIENTOS Y EQUIPOS UTILIZADOS EN LAS MEDICIONES DE RADIACIONES NO IONIZANTES	19
2.1. Normas, recomendaciones y reglamentos de las RNI.....	20
2.1.1. Comité Europeo de Normalización Electrotécnica CENELEC.	20
2.1.2. Unión Internacional de Telecomunicaciones.....	22
2.1.3. SUPERTEL.....	22
2.2. Equipos de medición de RNI	23
2.2.1. Medidor de radiaciones electromagnéticas NARDA SRM 3000	24
2.2.2. Medidor de radiaciones electromagnéticas NARDA NBM 550.....	26
2.3. Sistemas de frecuencia a analizar	27
2.3.1. Access Point Ruckus ZoneFlex 7762.....	28
2.3.2. Access Point RUCKUS ZoneFlex 7363.	28
2.3.3. USRP N210.	29

2.4.	Procedimiento predictivo para Access Point exteriores.....	30
2.4.1.	Descripción del procedimiento para determinar la clase de instalación.	32
2.4.2.	Cálculo de EIRP (potencia isotrópica irradiada equivalente).....	32
2.4.3.	Procedimiento de la evaluación del nivel de exposición.	32
2.4.4.	Determinar el límite de exposición.	34
2.4.5.	Cálculo de $EIRP_{th}$	35
2.4.6.	Cálculo de zonas de campo.	35
2.4.7.	Cálculo de la densidad de potencia.....	36
2.4.8.	Cálculo del radio en función de la densidad máxima recomendada.....	38
2.5.	Método de medición para las Radiaciones No Ionizantes.....	38
2.5.1.	Procedimiento de medición de la SUPERTEL.	39
CAPÍTULO III		41
ANÁLISIS DE LAS MEDICIONES REALIZADAS EN EL CAMPUS DE LA UTPL.....		41
3.1.	Distribución de los dispositivos a medir.....	42
3.2.	Análisis de resultados de las mediciones en Access Points exteriores.	43
3.3.	Análisis de resultados de las mediciones en Access Points interiores	47
3.4.	Análisis de resultados de las mediciones en el laboratorio de telecomunicaciones.....	59
3.4.1.	USRP transmitiendo en amplitud modulada.....	62
3.4.2.	USRP's transmitiendo en frecuencia modulada.....	62
3.5.	Análisis de las mediciones en el centro de datos de la UTPL.....	63
3.6.	Análisis de los resultados predictivos y medidos	64
CONCLUSIONES		67
RECOMENDACIONES		69
REFERENCIAS		70
ANEXOS.....		73

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Radiaciones en referencia del espectro electromagnético.	6
Figura 2.1 Localización de las alturas para cada punto de investigación.....	20
Figura 2.2 Diagrama de bloques de la medición de CEM de los equipos bajo prueba.....	21
Figura 2.3 Equipo Narda SRM 3000 para la medición de RNI.....	24
Figura 2.4 Equipo Narda NBM 550 para la medición de RNI.....	27
Figura 2.5 Pasos para la realización del procedimiento predictivo.	31
Figura 2.6 Ejemplo para calcular la exposición a nivel del suelo.	37
Figura 2.7 Cálculo en Matlab de la densidad de potencia vs distancia.	37
Figura 2.8 Esquema de las zonas establecidas por el reglamento.....	40
Figura 3.1 Captura del espectro radioeléctrico en el equipo Narda SRM 3000.	62
Figura 3.2 Captura del espectro radioeléctrico en frecuencia modulada.....	63
Figura 3.3 Captura del espectro radioeléctrico en FM y armónicos.....	63
Figura 3.4 Comparación de los valores obtenidos entre: límite permitido, valores medidos y valores calculados.	65

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1 Estudios de efectos cancerígenos y genotóxicos.	8
Tabla 1.2 Estudios de efectos en el sistema nervioso.	9
Tabla 1.3 Restricciones básicas para exposiciones a campos eléctricos y magnéticos (frecuencias hasta 10GHz).....	11
Tabla 1.4 Niveles de referencia para exposición ocupacional a campos eléctricos y magnéticos.	13
Tabla 1.5 Rangos de frecuencia y salida máxima de potencia de diferentes clases de dispositivos comunes empleados en hogares y oficinas.....	14
Tabla 1.6 Resultados máximos de 1g/10g SAR.	14
Tabla 1.7 Resultados más pesimistas de los incidentes CEM y 1g/10g SAR de los diferentes dispositivos.	15
Tabla 2.1 Características Generales del equipo NARDA SRM 300.....	26
Tabla 2.2 Características Generales del equipo NBM 550.	27
Tabla 2.3 Características técnicas RUCKUS ZoneFlex 7762.....	28
Tabla 2.4 Características técnicas RUCKUS ZoneFlex 7363.....	29
Tabla 2.5 Características técnicas de USRP N210.....	30
Tabla 2.6 Categoría de directividad de la antena.....	33
Tabla 2.7 Categoría de Accesibilidad.	33
Tabla 2.8 Condiciones de conformidad normal de las instalaciones basadas en los límites ICNIRP para la gama de frecuencias 100-400MHz.	34
Tabla 3.1 Lista de dispositivos a medir en el campus de la UTPL.....	43
Tabla 3.2 Resultados de las mediciones en el AP Oskar Jandl.....	44
Tabla 3.3 Resultados de las mediciones en el AP Virginia Riofrío 2.	45
Tabla 3.4 Resultados de las mediciones en el AP Administración Central.	46
Tabla 3.5 Resultado de las mediciones en el edificio central.....	48
Tabla 3.6 Resultado de las mediciones en el centro de convenciones.	50
Tabla 3.7 Resultado de las mediciones en el edificio UGTI.....	51
Tabla 3.8 Resultado de las mediciones en el Edificio 7.	52
Tabla 3.9 Resultado de las mediciones en el laboratorio de telecomunicaciones.	60
Tabla 3.10 Resultado de las mediciones en el centro de datos.....	64
Tabla 3.11 Valores de la densidad de potencia mediante el método predictivo.....	64
Tabla 3.12 Valores medidos de la densidad de potencia.....	65

TERMINOLOGÍA

CEM	Campos electromagnéticos
S	Densidad de potencia
E	Campo Eléctrico
H	Campo Magnético
Hz	Hercio
KHz	Kilohercio
MHz	Megahercio
GHz	Gigahercio
WLAN	Wireless Local Area Network
ISM	Industrial, Scientific and Medical
S/m	Siemens por metro
V/m	Voltio por metro
A/m	Amperio por metro
W/m²	Vatio por metro cuadrado
J/kg	Julio por Kilogramo
W/kg	Vatio por kilogramo
SAR	Specific Absorption Rate
SA	Absorción de energía específica
RNI	Radiación No Ionizante
AP	Access Point
OMS	Organización Mundial de la Salud
ICNIRP	Comisión Internacional sobre Protección de las Radiaciones No Ionizantes
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones
UIT-T	Sector de Normalización de las Telecomunicaciones
CENELEC	Comité Europeo de Normalización Electrotécnica
IRPA	Asociación Internacional de Protección contra la Radiación
AM	Amplitud Modulada
FM	Frecuencia Modulada
Wifi	Wireless Fidelity

RESUMEN

El objetivo principal del presente trabajo, es realizar un análisis de las Radiaciones No Ionizantes en el Campus de la Universidad Técnica Particular de Loja.

El trabajo se desarrolla en dos partes, el método predictivo especificado en la Recomendación UIT-T K.52 sobre la protección contra las interferencias, el que determina si un dispositivo radiante debe ser medido para ratificar que esté dentro de los límites recomendados con respecto a las Radiaciones No Ionizantes.

En la segunda parte, se realizan un conjunto de mediciones siguiendo el procedimiento especificado en el Reglamento de las RNI utilizado por la SUPERTEL pertinente a la RESOLUCION 01-01-CONATEL-2005.

Finalmente, se analiza y compara los resultados obtenidos del método predictivo como de las mediciones, determinando si los sistemas radiantes se encuentran dentro de los límites establecidos en el REGLAMENTO DE PROTECCION DE EMISIONES DE RADIACION NO IONIZANTE GENERADAS POR USO DE FRECUENCIAS DEL ESPECTRO RADIOELECTRICO.

PALABRAS CLAVES: Radiaciones No Ionizantes, Campos Electromagnéticos, Densidad de Potencia, SUPERTEL.

ABSTRACT

The main objective of this document is to analyze the non-ionizing radiation on the campus of the Universidad Tecnica Particular de Loja.

The research is conducted in two parts, the predictive method specified in ITU-T Recommendation K.52 about interference protection, it determines if one radiant device should be measured to confirm that it is within the recommended limits on Non-Ionizing Radiation.

The second part, a set of measurements is performed following the procedure specified in Regulation of NIR used by SUPERTEL belonging to CONATEL-RESOLUTION 01-01, 2005.

Finally it analyzes and compares the results of predictive method and measurements, determining whether radiant systems are within the limits of the REGULATION OF RADIATION PROTECTION OF EMISSIONS GENERATED BY NON IONIZING FREQUENCY SPECTRUM USE.

KEYWORDS: Non-Ionizing Radiation, EMF, Power Density, SUPERTEL.

INTRODUCCIÓN

Actualmente se ha notado un crecimiento de redes WLAN enmarcadas a brindar servicio de internet inalámbrico, se encuentran implementadas en diferentes espacios ya sea en áreas públicas como parques, museos, restaurantes y otros espacios abiertos, como también en sectores privados siendo el caso de mayor ocurrencia en instituciones educativas.

Particularmente, en el Campus de la Universidad Técnica Particular de Loja existen más de 50 dispositivos dedicados a proveer internet inalámbrico, distribuidos estratégicamente con el objetivo de proporcionar este servicio con mayor cobertura. Resultando una gran cantidad de sistemas radiantes que debido a su nivel de radiación desconocido pueden ser fuentes de afectación a la salud.

La Organización Mundial de la Salud (OMS), creó un proyecto de Campos Electromagnéticos (CEM) dedicado a las investigaciones sobre efectos en la salud de cualquier fuente de radiación. Una organización colaboradora, el Comité Internacional sobre Protección de las Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP), mediante estudios y publicaciones científicas ha determinado los niveles recomendados y máximos de exposición a las Radiaciones No Ionizantes (RNI). A nivel de país, la Superintendencia de Telecomunicaciones (SUPERTEL), es el organismo técnico de vigilancia, auditoría, intervención y control de servicios de telecomunicaciones públicos y privados, enfocado en las RNI, supervisa que los sistemas radiantes especialmente de telefonía móvil estén dentro de los límites recomendados.

Orientados en el nivel de exposición de radiación al que se exponen las personas en el campus de la UTPL, se realizan estudios con el fin de determinar si existen equipos que irradian fuera de lo límites permitidos de RNI, estipulando si podría existir algún riesgo para la salud.

El trabajo se encuentra estructurado en tres capítulos. El primero contiene información acerca de los estudios realizados por parte de las organizaciones implicadas en las RNI. En el segundo capítulo se detallan los límites y recomendaciones de las mismas, las características técnicas de los sistemas radiantes a ser medidos y equipos utilizados para dichas mediciones. Finalmente, en el tercero se describe los métodos empleados para determinar si los equipos medidos están dentro de los límites permitidos.

OBJETIVOS

- Determinar el método y procedimiento de medición de Radiaciones No Ionizantes para los diferentes sistemas radiantes de la UTPL.
- Realizar un análisis predictivo de las Radiaciones No Ionizantes de los Access Points externos del Campus de la UTPL.
- Efectuar las mediciones de las Radiaciones No Ionizantes en los diferentes sistemas radiantes dentro del Campus de la UTPL.
- Analizar los resultados de las mediciones realizadas en el Campus de la UTPL.
- Determinar los sistemas radiantes con índice de Radiaciones No Ionizantes elevados.

CAPÍTULO I

ESTADO DEL ARTE DE LAS RADIACIONES NO IONIZANTES

1.1. Radiaciones

Radiación es la propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas subatómicas a través del vacío o de un medio material. Existen dos clases de radiaciones: Radiaciones Ionizantes y Radiaciones No Ionizantes, las cuales están relacionadas con nuestro objeto de estudio [1].

En la Figura 1.1, se aprecia la relación directa que tiene las radiaciones con la frecuencia. En los rangos superiores a 1×10^{15} Hz se encuentran los rayos X o gamma, quienes son totalmente perjudiciales para la mayoría de los seres vivos.



Figura 1.1 Radiaciones en referencia del espectro electromagnético.

Fuente: <http://blogs.hoy.es/ciencia-facil/2013/12/02/radiaciones-electromagneticas-no-ionizantes/>

1.1.1. Radiaciones Ionizantes.

La Radiación Ionizante es un tipo de energía liberada por los átomos en forma de ondas electromagnéticas (rayos X o gamma) o partículas (alfa y beta o neutrones). La desintegración espontánea de los átomos se denomina radiactividad, y la energía excedente emitida es una forma de radiación ionizante. Los elementos inestables que se desintegran y emiten radiación ionizante se denominan radionúclidos.

1.1.2. Radiaciones No Ionizantes.

Las Radiaciones No Ionizantes (RNI) son las radiaciones electromagnéticas que no tienen la energía suficiente para ionizar la materia (la ionización es la conversión de átomos de moléculas en iones con carga eléctrica positiva o negativa) y por lo tanto, no pueden afectar el estado natural de los tejidos vivos. Constituyen en general, la parte del espectro electromagnético cuya energía fotónica es demasiado débil para romper enlaces atómicos; entre ellas cabe citar la radiación ultravioleta, la luz visible, la radiación infrarroja, los campos

de radiofrecuencias y microondas, así mismo los campos de frecuencias extremadamente bajas [2].

1.2. Riesgos para la salud y medidas de prevención de las Radiaciones No Ionizantes

El propósito de este estudio es establecer las respectivas recomendaciones para limitar la exposición a los campos electromagnéticos (CEM) proporcionando protección contra efectos adversos a la salud.

Dentro de estos efectos existen dos tipos: Los efectos directos que son el resultado de la interacción directa de los campos con el cuerpo; mientras que los efectos indirectos envuelven la interacción con un objeto a un potencial eléctrico diferente del cuerpo [3].

La INTERNATIONAL COMMISSION ON NON-IONIZING RADIATION PROTECTION (ICNIRP) proporcionó recomendaciones emitidas en 1994, basadas solamente en datos científicos, y de conocimientos disponibles hasta la fecha.

Se representan las siguientes recomendaciones:

- **Restricciones básicas.-** Son las restricciones a la exposición a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos variables en el tiempo que están basados directamente en los efectos en la salud. Entre éstas tenemos: la densidad de corriente (**J**), la tasa de absorción específica de energía (**SAR**), y la densidad de potencia (**S**).
- **Niveles de Referencia.-** Son emitidas para propósitos de evaluar en forma práctica las exposiciones, determinando si es probable que las restricciones básicas sean excedidas.

Algunos niveles de referencia son derivados de restricciones básicas relevantes usando técnicas de medición y/o computacionales. Las cantidades resultantes son la intensidad de campo eléctrico (**E**), la intensidad de campo magnético (**H**), la densidad de flujo magnético (**B**), la densidad de potencia (**S**) y las corrientes que fluyen a través de las extremidades (**IL**). Las cantidades que están dirigidas a la percepción y otros efectos indirectos son las corrientes de contacto (**IC**) y, para campos pulsantes, la absorción de energía específica (**SA**) [3].

Estas recomendaciones no están dirigidas a producir estándares funcionales, se encuentran destinadas a limitar las emisiones de los CEM bajo condiciones específicas de prueba,

tampoco se trata sobre las técnicas usadas para medir cualquiera de las cantidades físicas que caracterizan a los campos magnéticos, eléctricos y electromagnéticos.

1.2.1. Estudios experimentales, efectos genotóxicos y cancerígenos.

De la base biológica para limitar la exposición entre las frecuencias de 100KHz – 300GHz publicado en el documento de la ICNIRP sobre “Recomendaciones para limitar la exposición a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos” se resumen las investigaciones expuestas en la Tabla 1.1.

Se realizaron algunos estudios sobre la reproducción y los efectos a la exposición a los CEM efectuados en hombres y mujeres de edad fecunda. En algunos de los estudios epidemiológicos más grandes, en soldadores femeninos de plástico y de fisioterapeutas que trabajaban con dispositivos de diatermia de onda corta, no encontraron efectos estadísticos significativos sobre índices del aborto o de la malformación fetal (Kallen en 1982), sin embargo, otros estudios en poblaciones similares de mujeres trabajadoras encontraron un incremento del riesgo de aborto y defectos en el nacimiento (Larsen 1991; Oullet-Hellstron y Stewar 1993). Mientras que en los hombres que trabajaban con radares, no se encontró ninguna asociación entre la exposición a microondas y el riesgo de Síndrome de Down en su descendencia (Cohen 1977). Dando un balance de resultados positivos y negativos con respecto a la influencia del CEM, no obstante no emiten conclusiones firmes sobre el riesgo en la reproducción [4].

Tabla 1.1 Estudios de efectos cancerígenos y genotóxicos.

Autor	Condición	Exposición	Resultado
Lai & Singh	Ratas vivas	2.4GHz-2.5GHz 0.6 – 1.2W/kg Alta intensidad 4 horas de exposición	Daño genético. Rotura de bandas ADN en células nerviosas.
Mayalpa	Ratas vivas	Intento de réplica de condiciones de Lai & Singh	No se detectó efectos en ADN de células nerviosas.
Cain	Cultivos de células fibroblásticas	2.45GHz 1 – 12.5W/kg	No se detectó efectos genotóxicos.
Maes	Cultivos de células sanguíneas humanas	954MHz 1.5W/kg	Potencia el daño genético provocado por un cancerígeno químico.
Scarfi	Cultivos de leucocitos	90GHz 70W/kg	Provoca daño genético. Potencia genotoxicidad de un cancerígeno químico.
UNEP/	Estudios in	RF a diferentes frecuencias	No daño en ADN o estructuras

WHO/ IRPA	Vitro (revisión)	e intensidades.	cromosómicas excepto para RF capaz de elevar la temperatura del cultivo.
Versch aeve & Maes	Estudios in Vitro o en vivo (revisión)	RF a diferentes frecuencias e intensidades.	No daño en ADN o estructuras cromosómicas excepto para RF capaz de elevar la temperatura del sistema biológico.
Brusick	Estudios in Vitro o en vivo (revisión)	RF a diferentes frecuencias e intensidades.	Las RF no son mutagénicas. Efectos genotóxicos solo para RF que generan hipertermia; sin embargo no pueden destacarse posibles efectos sutiles, indirectos, no térmicos.

Fuente: http://ocw.unican.es/enseñanzas-tecnicas/contaminacion-electromagnetica-medioambiental/material-de-clase-2/apuntes_4.pdf

1.2.2. Efectos sobre el sistema nervioso.

Los estudios realizados descritos en la Tabla 1.2, indican que hasta el momento han mostrado indicios de efectos no térmicos en el sistema nervioso, como consecuencia han producido cambio en el encefalograma o en la actividad colinérgica de los animales [4]. A continuación los siguientes estudios.

Tabla 1.2 Estudios de efectos en el sistema nervioso.

Autor	Condición	Exposición	Resultado
UNEP/WHO/IRPA	Estudios en vivo(revisión)	RF a diferentes frecuencias e intensidades.	No existen cambios en barrera hematoencefálica a dosis "subtémicas".
UNEP/WHO/IRPA	Gatos y conejos	RF moduladas en amplitud.	Alteraciones en el encefalograma.
Neubaurer Salford	Ratas	915MHz – 2.45GHz.	Incremento en permeabilidad de barrera hematoencefálica a SAR 0.016 W/kg o superiores.
Lai	Ratas	2.7GHz (pulsos de 2us) 0.6 W/kg.	Alteraciones en la actividad colinérgica del cerebro.

Fuente: http://ocw.unican.es/enseñanzas-tecnicas/contaminacion-electromagnetica-medioambiental/material-de-clase-2/apuntes_4.pdf

1.2.3. Confirmación de RNI.

La OMS como parte de su mandato de proteger la salud pública, y en respuesta a la preocupación en general por los efectos a la exposición a campos electromagnéticos, creó

en 1996 el Proyecto Internacional CEM para evaluar las pruebas científicas de los posibles efectos en el intervalo de frecuencia de 0 a 300GHz [5].

La OMS en el año 2000 en el documento "Campos electromagnéticos y salud pública - los teléfonos móviles y las estaciones base" indica que hasta el momento ningún estudio permite concluir que la exposición a CEM de radiofrecuencias emitidas por teléfonos móviles o sus estaciones base representen algún peligro para la salud.

En el año 2001 y en la actualización del 2003 el Comité de Expertos del Ministerio de Sanidad y Consumo, en su informe "CEM en relación con la salud pública", señala que sobre la base actual del conocimiento científico puede afirmarse que [6]:

- No se ha identificado, hasta el momento ningún mecanismo biológico que muestre una posible relación causal entre la exposición a campos electromagnéticos y el riesgo de padecer alguna enfermedad.
- La exposición a campos electromagnéticos no ocasiona efectos adversos para la salud dentro de los límites establecidos en la recomendación de la Comisión Internacional sobre Protección de las Radiaciones No Ionizantes.
- A los valores de potencia de emisión actuales, a las distancias calculadas en función de los criterios de la recomendación, y sobre las bases de la evidencia científica disponible, las antenas de telefonía y los terminales móviles no parecen representar en la actualidad un riesgo para la salud pública.
- En experimentos de laboratorio se han detectado respuestas biológicas que no son indicativas de efectos nocivos para la salud.

La OMS en el año 2006 mediante el documento de "Campos electromagnéticos y la salud pública, estaciones base y tecnologías inalámbricas" menciona que la exposición a radiofrecuencias de estaciones base oscila entre el 0.002% y el 2% de los niveles establecidos en las directrices internacionales sobre los límites de exposición, en función de una serie de factores, como la proximidad de las antenas y su entorno. Dando como resultado niveles de exposición muy bajos, consecuentemente no hay ninguna prueba científica convincente de que las señales débiles de radiofrecuencias procedentes de las estaciones de base y de las redes inalámbricas tengan efectos adversos en la salud.

1.2.4. Recomendaciones para limitar la exposición a los CEM.

1.2.4.1. Limitaciones en la exposición ocupacional y del público en general.

Está dirigida a dos tipos de población llamadas ocupacional y poblacional. La primera está expuesta bajo condiciones conocidas, entrenadas para estar conscientes del riesgo potencial y para tomar las protecciones adecuadas. Mientras que el público en general comprenden individuos de todas las edades y de estados de salud variables, pueden incluir grupos o personas particularmente susceptibles; en muchos casos los miembros del público no están conscientes de su exposición a los CEM.

1.2.4.2. Restricciones básicas y niveles de referencia.

Es el cumplimiento de todos los niveles de referencia dados en estas recomendaciones, en el caso de que los valores medidos sean más altos que los niveles de referencia, no necesariamente implica que las restricciones básicas son excedidas, pero si es necesario un análisis más detallado para evaluar el cumplimiento de las mismas.

a) Restricciones básicas para exposiciones a CEM.

Se toma en cuenta que [3]:

- Entre 1Hz y 10Hz, las restricciones básicas están dadas en términos de la densidad de corriente, para prevenir daños funcionales en el sistema nervioso.
- Entre 100KHz y 10GHz, las restricciones básicas son proveídas en términos del **SAR** para prevenir el estrés térmico de todo el cuerpo y un calentamiento localizado excesivo en los tejidos. En el rango de 100KHz – 100MHz, las restricciones son proveídas en términos de la densidad de corriente y del **SAR**.
- Entre 10 y 300GHz, son proporcionadas en términos de la densidad de potencia para prevenir el calentamiento excesivo en los tejidos o cerca de la superficie del cuerpo.

Tabla 1.3 Restricciones básicas para exposiciones a campos eléctricos y magnéticos (frecuencias hasta 10GHz).

Características de la exposición	Rango de Frecuencias	Densidad de Corriente para cabeza y tronco (mA m^{-2}) (rms)	SAR promedio en todo el cuerpo (Wkg^{-1})	SAR localizado cabeza y tronco (Wkg^{-1})	SAR localizado extremidades (Wkg^{-1})
Exposición ocupacional	Hasta 1Hz	40	-	-	-
	1 – 4Hz	40/f	-	-	-
	4Hz – 1KHz	10	-	-	-
	1 – 100KHz	f/100	-	-	-
	100KHz – 10MHz	f/100	0.4	10	20

	10MHz – 10GHz	-	0.4	10	20
Exposición al público en general	Hasta 1Hz	8	-	-	-
	1 – 4Hz	8/f	-	-	-
	4Hz – 1KHz	2	-	-	-
	1 – 100KHz	f/500	-	-	-
	100KHz – 10MHz	f/500	0.08	2	4
	10MHz – 10GHz	-	0.08	2	4

Fuente: <http://www.icnirp.de/documents/emfgdlesp.pdf>

En donde:

- f es la frecuencia en Hz.
- Debido a que el cuerpo humano no es eléctricamente homogéneo, las densidades de corriente deberían ser promediadas sobre una sección transversal de 1cm², perpendicular a la dirección de la corriente.
- Para frecuencias hasta 100KHz, los valores de la densidad de corriente pico pueden obtenerse multiplicando el valor rms por 1.414. Para pulsos de duración (t_p), la frecuencia equivalente a aplicarse en las restricciones básicas debería ser calculado según: $f = 1/(2t_p)$.
- Para frecuencias hasta 100KHz y para campos magnéticos pulsantes, la densidad de corriente máxima asociada con los pulsos puede ser calculada de los tiempos de subida/bajada y la máxima tasa de cambio de la densidad de flujo magnético. Luego la densidad de corriente inducida puede ser comparada con la restricción básica apropiada.
- Todos los valores del **SAR**, deben ser promediados sobre cualquier periodo de 6 minutos.
- La masa para promediar el **SAR** localizado es cualquier tejido contiguo de 10 gramos de masa; el máximo **SAR** así obtenido debería ser el valor usado para la estimación de la exposición.
- Adicionalmente en el rango de frecuencias de 0.3 a 10GHz y para exposición localizada en la cabeza, con el objeto de evitar el efecto auditivo causado por la expansión termoelástica, se recomienda una restricción básica adicional. Esta restricción es la absorción de energía específica (**SA**) promediada sobre 10 gramos de tejido, no debe exceder 10mJ/kg para trabajadores y 2mJ/kg para el público en general.

b) Niveles de referencia para la exposición ocupacional a CEM

Son obtenidos a partir de las restricciones básicas mediante el uso de modelos matemáticos y por extrapolación de los resultados de las investigaciones de laboratorio en frecuencias específicas.

En la Tabla 1.4 se indican los niveles de referencia.

Tabla 1.4 Niveles de referencia para exposición ocupacional a campos eléctricos y magnéticos.

Rango de Frecuencias (MHz)	Intensidad de Campo Eléctrico (Vm^{-1})	Intensidad de Campo Magnético (Am^{-1})	Densidad de Flujo Magnético (μT)	Densidad de Potencia (Wm^{-2})
Hasta 1Hz	-	1.63×10^5	2×10^5	-
1 – 8Hz	20 000	$1.63 \times 10^5/f^2$	$2 \times 10^5/f^2$	-
8 – 25Hz	20 000	$2 \times 10^4/f$	$2,5 \times 10^5/f$	-
0.025 – 0.82KHz	$500/f$	$20/f$	$25/f$	-
0.82 – 65KHz	610	24.4	30.7	-
0.065 – 1MHz	610	$1.6/f$	$2/f$	-
1 – 10MHz	$610/f$	$1.6/f$	$2/f$	-
10 – 400MHz	61	0.16	0.2	10
400 – 2000MHz	$3f^{0.5}$	$0.008f^{0.5}$	$0.01f^{0.5}$	$f/40$
2 – 300GHz	137	0.36	0.45	50

Fuente: <http://www.icnirp.de/documents/emfgdlesp.pdf>

- f es la frecuencia que se indica en la columna de rango de frecuencias.
- Asumiendo que se cumplen las restricciones básicas y que se pueden excluir los efectos indirectos adversos, los valores de las intensidades de campo pueden ser excedidos.
- Para frecuencias entre 100KHz y 10GHz, la densidad de potencia de onda plana equivalente S_{eq} , intensidad de campo eléctrico E , intensidad de campo magnético H , y la densidad de flujo B , deben ser promediados sobre cualquier periodo de 6 minutos.

1.2.5. Evaluación de la exposición humana a la radiación electromagnética de Wireless.

La principal aplicación de tecnologías inalámbricas en oficinas y hogares es todavía el Internet. La tecnología Bluetooth está entrando al campo de la interconexión periférica inalámbrica. Además de los dispositivos estandarizados, existen numerosos equipos que aplican normas de propiedad.

La mayoría de dispositivos operan en la banda ISM (Industrial, Scientific and Medical), por otro lado es necesario tomar en cuenta que la salida de potencia de los dispositivos varían considerablemente.

Los límites máximos permisibles considerados en Europa se presentan a continuación:

Tabla 1.5 Rangos de frecuencia y salida máxima de potencia de diferentes clases de dispositivos comunes empleados en hogares y oficinas.

Tecnología	Rango en RF (MHz)	Potencia de salida máxima (mW)
DECT	1880 ... 1900	250
Bluetooth	2402 ... 2480	100
802.11 b/g	2400 ... 2483.5	100
802.11 a/h	5250 ...5350, 5470 ...5725	200
Periféricos de computadoras inalámbricas	27 ... 2400	10
Vigilancias para niños	27 ... 2400	500

Fuente: http://whqlibdoc.who.int/publications/2007/9789241595612_eng.pdf

1.2.5.1. Evaluación de la exposición dosimétrica.

En la Tabla 1.6 se resumen los resultados para las mediciones de **SAR** de los dispositivos considerados en donde se presentan los valores máximos de las diferentes evaluaciones. Los terminales funcionaron con la potencia máxima de salida.

Tabla 1.6 Resultados máximos de 1g/10g SAR.

Dispositivos Bluetooth		
Dispositivos	1g[mW/g]	10g[mW/g]
1 (Clase 1)	1.31	0.466
2 (Clase 2)	0.02	0.0092
3 (Clase 3)	<0.005	<0.005
4 (Clase 4)	0.009	<0.005
Access Points WLAN		
Dispositivos	1g[mW/g]	10g[mW/g]
1	1.93	0.81
2	0.11	0.06
3	0.52	0.19
Terminales para Comunicaciones Inalámbricas mejoradas digitalmente (DECT)		
Dispositivos	1g[mW/g]	10g[mW/g]
1	0.023	0.019
2	0.019	0.013

3	0.087	0.052
4	0.047	0.027
Dispositivos para vigilancia de bebés		
Dispositivos	1g[mW/g]	10g[mW/g]
1	0.115	0.077
2	0.012	0.01

Fuente: http://whqlibdoc.who.int/publications/2007/9789241595612_eng.pdf

Finalizado el estudio, en la Tabla 1.7 se presenta un resumen de las clases de dispositivos probados y los resultados de la dosimetría y la exposición al campo eléctrico. Sólo se muestran los valores máximos obtenidos.

Los valores de campo E se indican para una distancia de 20cm y 1m. Todos los dispositivos probados cumplen con los límites de exposición europeas en materia **SAR** (2W/kg 10g SAR). Los niveles de exposición de campo incidente en 1m están en el mismo rango que exposiciones de las estaciones base utilizadas cerca de un apartamento u oficina [7].

Tabla 1.7 Resultados más pesimistas de los incidentes CEM y 1g/10g SAR de los diferentes dispositivos.

Dispositivos	Rango de frecuencias	Max. 1g SAR [W/kg]	Max. 10g SAR [W/kg]	Max. Campo E. [V/m] (20cm)	Max. Campo E. [V/m] (1m)	Límite ICNIRP [V/m]
Vigilancia para bebés	40 – 863	0.115	0.077	8.5	3.2	29
DECT	1880 – 1900	0.087	0.055	11.5	2.9	60
WLAN	2400 – 2484	1.93	0.81	3.9	1.1	61
Bluetooth	2402 – 2480	1.31	0.49	3.1	1	61
Periféricos de computadoras	27 – 40	<0.005	<0.005	<1.5	<1.5	25

Fuente: http://whqlibdoc.who.int/publications/2007/9789241595612_eng.pdf

1.3. Organizaciones orientadas a estudios de Radiaciones No Ionizantes

1.3.1. Recomendaciones para las mediciones de RNI.

Se utiliza normas internacionalmente reconocidas las cuales ayudan a solventar la correcta funcionalidad de las mediciones.

1.3.1.1. *Comisión Internacional sobre Protección de las Radiaciones No Ionizantes ICNIRP.*

Es una comisión científica independiente creada por la Asociación Internacional de Protección contra la Radiación (IRPA) para fomentar la protección contra la Radiación No Ionizante (RNI) en beneficio de las personas y del medio ambiente. Proporciona orientación científica y recomendaciones sobre exposición a RNI, elabora directrices y límites internacionales independientes y con fundamento científico. La ICNIRP es la organización no gubernamental oficialmente reconocida por la OMS y la Organización Internacional del Trabajo (OIT) para asuntos relativos a RNI [3].

Su recomendación para limitar la Exposición a Campos Eléctricos, Magnéticos y Electromagnéticos, es ampliamente conocida y aplicada mundialmente, para hacer frente a las emisión de Radiaciones No Ionizantes.

Estudios sobre efectos directos e indirectos de los campos electromagnéticos son descritos; el primer efecto es el resultado de la interacción directa de los campos con el cuerpo, los efectos indirectos envuelven la interacción con un objeto a un potencial eléctrico diferente del cuerpo. Resultados de estudios de laboratorio y epidemiológicos, son discutidos y las recomendaciones presentadas se aplican a la exposición ocupacional y poblacional.

Para establecer los límites de exposición, la ICNIRP reconoce la necesidad de reconciliar diferentes opiniones de científicos. Las restricciones en estas recomendaciones fueron basadas solamente en datos científicos.

1.3.1.2. Comité Europeo de Normalización Electrotécnica CENELEC.

CENELEC es el responsable de la normalización en el campo de la ingeniería electrotécnica. Elabora normas voluntarias que ayudan a facilitar el comercio entre los países, la creación de nuevos mercados, reducir los costos de cumplimiento y apoyar el desarrollo de un mercado único europeo. Además crea el acceso al mercado a nivel internacional, la adopción de normas internacionales siempre que sea posible a través de su estrecha colaboración con la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) [8].

Las normas europeas son creadas con el fin de fomentar el desarrollo tecnológico para garantizar la interoperabilidad, la seguridad, la salud de los consumidores y ofrecer una protección del medio ambiente. Es una organización técnica sin fines de lucro creado por la ley belga en 1973, como resultado de la fusión de dos organizaciones europeas anteriores: CENELCOM y CÉNÉL.

Las áreas prioritarias de normalización de CENELEC son aquellas en las que se determinan la seguridad y la libre circulación de productos y servicios, o que están directa o indirectamente relacionadas con las directivas de la Unión Europea. Entre sus áreas se

regula peticiones por parte de la industria y las autoridades correspondientes a la creación de normas necesarias para la libre circulación o certificación de componentes electrónicos.

1.3.1.3. Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT.

Es el organismo especializado de las Naciones Unidas para las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC). Cuenta con tres ámbitos de actividad principales, organizados en "Sector" que desarrollan su labor a través de conferencias y reuniones [9].

- **Radiocomunicaciones**

Coordina todo este vasto y creciente conjunto de servicios de radiocomunicaciones, y se encarga de la gestión internacional del espectro de frecuencias radioeléctricas y las órbitas de los satélites.

- **Normalización**

Las normas de la UIT son fundamentales para el funcionamiento de las actuales redes de las TIC. Cada año, la UIT elabora o revisa hasta 150 normas que tratan de todo tipo de temas, desde la funcionalidad central de red a los servicios de la próxima generación como la televisión vía Internet (IPTV).

- **Desarrollo**

El Sector de Desarrollo de las Telecomunicaciones de la UIT (UIT-D) demuestra un liderazgo mundial en el campo de las TIC, aplicando políticas acertadas o respondiendo a las obligaciones de responsabilidad social de la empresa.

La UIT proporciona dos recomendaciones acerca del desarrollo del proyecto de mediciones de emisiones de Radiaciones No Ionizantes, estas son UIT-T K.52 e UIT-T K.61, quienes se detallan en los apartados del Capítulo II.

1.3.1.4. Superintendencia de Telecomunicaciones SUPERTEL.

Es el organismo técnico de vigilancia, auditoría, intervención y control de las actividades económicas, sociales y ambientales de los servicios de telecomunicaciones; que prestan las entidades públicas y privadas. Entre sus objetivos institucionales está el velar por el cumplimiento de los derechos de los servicios de telecomunicación, radiodifusión y televisión [10].

En cuanto a la investigación acerca de las Radiaciones No Ionizantes, el 01 de enero del 2005, el Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL) emitió el Reglamento de Protección de Emisiones de Radiaciones No Ionizantes generadas por el uso del espectro radioeléctrico, en el cual se establecen los límites de protección frente a estas radiaciones.

La SUPERTEL verifica que se cumpla la normativa nacional vigente, es por ello que se realizan mediciones de densidad de potencia en cada una de las radio bases celulares bajo un método de medición descrito en el mismo reglamento.

Para llevar a cabo su misión, cuenta con la Dirección Nacional de Control del Espectro Radioeléctrico y Homologación, encargado de programar, normar, coordinar acciones, auditar, evaluar y orientar técnicamente las labores para el control del uso del espectro radioeléctrico, la homologación y mantenimiento de los equipos [11].

Además, la SUPERTEL cuenta con un laboratorio para la homologación de los equipos a fin de prevenir daños a las redes de telecomunicaciones, evitar la perturbación técnica y contribuir con una óptima calidad del servicio, ubicado al norte del Distrito Metropolitano de Quito, en el sector San Juan Alto de Calderón, parroquia Calderón, provincia Pichincha [12].

En este laboratorio se realizan las mediciones respectivas con el objeto de evaluar los parámetros técnicos de las tecnologías inalámbricas con las que opere el equipo terminal. Para la realización de las pruebas con respecto a las RNI, el centro de investigación contiene un equipamiento de alta tecnología, entre ellos un brazo electromecánico de alta precisión para las mediciones de tasa de absorción específica, realiza pruebas sobre los efectos de dichas radiaciones y determina el cumplimiento de los parámetros de los sistemas radiantes, evitando que no afecten a la salud humana.

CAPÍTULO II

NORMAS, PROCEDIMIENTOS Y EQUIPOS UTILIZADOS EN LAS MEDICIONES DE RADIACIONES NO IONIZANTES

2.1. Normas, recomendaciones y reglamentos de las RNI

2.1.1. Comité Europeo de Normalización Electrotécnica CENELEC.

2.1.1.1. Norma CENELEC EN 50400.

La Norma Europea CENELEC 50400 describe las rutas alternativas para determinar la proporción total de exposición donde el público en general tiene acceso. El método de evaluación que utilizan es referente al índice de exposición total determinado en las áreas pertinentes en donde el público en general tiene acceso [13].

La evaluación se realizará, en particular, cerca de cualquier frontera física que limita el acceso público a la zona alrededor del equipo sometido a prueba o las fuentes de referencia. El cálculo y métodos de medición dependen de la posición del punto y de la investigación relativa a la antena de origen. En el campo cercano radiante y en el campo lejano, los cálculos y mediciones se pueden hacer mediante los valores de intensidad de campo eléctrico, magnético o densidad de potencia.

En cada punto de investigación, el valor de exposición total será su promedio determinado en cada una de tres alturas en las áreas donde el público en general tiene acceso.

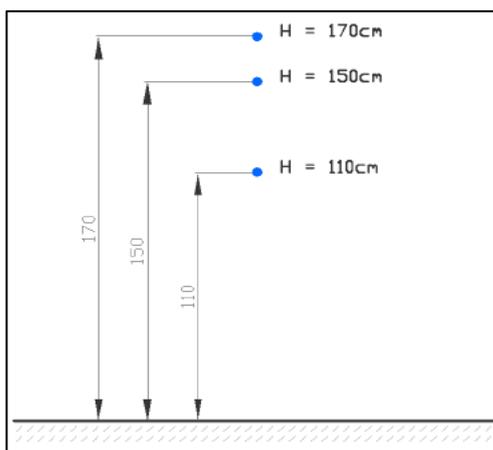


Figura 2.1 Localización de las alturas para cada punto de investigación.

Fuente:

<http://www.doc88.com/p-375880174910.html>

2.1.1.2. Norma CENELEC EN 50383.

La Norma Europea CENELEC 50383 proporciona las bases para el cálculo y medición de la intensidad del campo electromagnético y **SAR**, relacionada con la exposición de las

estaciones de radio base y estaciones terminales fijas para el sistema de telecomunicaciones inalámbricas (110MHz - 40GHz).

El objetivo de esta norma es especificar el método de evaluación de las mediciones de acuerdo con el cumplimiento de las restricciones básicas relacionadas con la exposición humana a campos electromagnéticos de radiofrecuencia.

Las mediciones directas de campos eléctricos y magnéticos se hacen en un punto dentro de un volumen que rodea el equipo sometido a prueba. La instrumentación del escaneo consta de una sonda isotrópica, estructura de soporte de la sonda, equipos bajo prueba, sintetizador, amplificador, entre otros dispositivos de medición. Además se emplea el uso de un computador para controlar el equipo de medición. A continuación, la Figura 2.2 representa los bloques de la medición de los campos electromagnéticos de los equipos de prueba [14].

La medición consta de un equipo a prueba montado en la posición requerida, de una sonda colocada sobre una estructura de soporte a una distancia R hacia el equipo EUT (equipment under test). Este método tiene la capacidad de medir la fase de la señal, mediante el movimiento rotatorio de una o un conjunto de sondas con desplazamientos mecánicos a lo largo de la estructura, con el fin de realizar un análisis de elevación angular de los campos electromagnéticos.

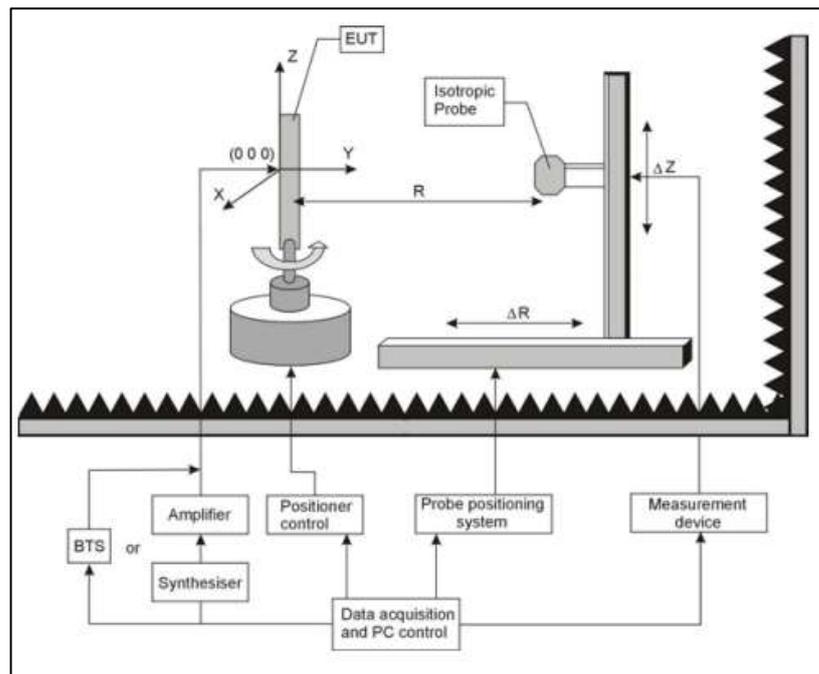


Figura 2.2 Diagrama de bloques de la medición de CEM de los equipos bajo prueba.

Fuente: <http://www.doc88.com/p-272403387021.html>

2.1.2. Unión Internacional de Telecomunicaciones.

2.1.2.1. Recomendación UIT-T K.52.

La Recomendación UIT-T-K.52 brinda una orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos, de la seguridad de las instalaciones de telecomunicación y de los teléfonos móviles u otros dispositivos que emiten radiaciones y que se utilizan muy próximos al cuerpo de las personas; también ofrece un método de cálculo y procedimiento de evaluación de las instalaciones [15].

El procedimiento de evaluación, referido a los límites de seguridad proporcionados por la ICNIRP, ayuda a los usuarios a determinar el porcentaje de exposición a instalaciones, basándose en criterios de accesibilidad, propiedades de las antenas y la potencia del emisor.

En las Tablas 1.3 y 1.4 se presentan los valores mínimos y los valores de referencia a la exposición de CEM, los mismos que han sido tomados del estudio realizado por la ICNIRP.

2.1.2.2. Recomendación UIT-T K.61.

La recomendación UIT-T K.61 hace referencia a las “Directrices sobre la medición y la predicción numérica de los campos electromagnéticos para comprobar que las instalaciones de telecomunicaciones cumplen los límites de exposición de las personas”. Esta recomendación ayuda a los operadores de telecomunicaciones a verificar el cumplimiento de las normas relativas a la exposición de las personas a los campos electromagnéticos formuladas por las autoridades locales o nacionales [16].

También define las herramientas, los métodos y los procedimientos que pueden utilizarse para evaluar el desempeño de los límites de exposición. La conformidad con las normas relativas a la exposición de las personas a la radiofrecuencia puede determinarse midiendo la intensidad de campo electromagnético, siempre que se utilicen instrumentos debidamente calibrados y se exprese correctamente la medición.

2.1.3. SUPERTEL.

2.1.3.1. Reglamento de las RNI - Resolución 01-01-CONATEL-2005.

Este reglamento tiene por objeto establecer los límites de protección de emisiones de Radiación No Ionizante (RNI) que son generadas al hacer uso de frecuencias del espectro radioeléctrico, su monitoreo y control del cumplimiento de los límites establecidos [10].

Entre sus contenidos se encuentran 7 anexos que se mencionan a continuación:

- Límites máximos de exposición por estación radioeléctrica fija.
- Nivel de exposición simultánea por efecto de múltiples fuentes.
- Procedimiento de medición.
- Formulario para presentar el informe técnico de inspección de emisiones de RNI.
- Cálculo para el estudio técnico de emisiones de RNI (cálculo de la distancia de seguridad).
- Formulario para estudio técnico de emisiones de RNI (cálculo de la distancia de seguridad).
- Delimitación de zonas que superan los límites de emisiones de RNI.
- Señalización de advertencia.

2.2. Equipos de medición de RNI

Son los que permiten medir el campo eléctrico y magnético de las ondas deseadas de alta frecuencia, tenemos los siguientes:

- **Analizador de campo eléctrico EFA 200/300 [17]**
 - Evaluación de la exposición del campo, comparada con estándares importantes.
 - Análisis espectral, Transformada Rápida de Fourier (FFT).
 - Capacidad de almacenaje.
 - Rango de frecuencia de 5Hz a 32KHz.

- **Analizador de campo electromagnético y densidad de flujo EHP 50C [18]**
 - Análisis a bajas frecuencias de los campos eléctricos y magnéticos hasta 100KHz.
 - Medida isotrópica con un rango de 140dB.
 - Análisis espectral incorporado.
 - Batería recargable.
 - Interfaz a display.

- **Medidor de campo magnético ELT 400 [19]**
 - Evaluación directa de la exposición del campo, en comparación a estándares importantes.
 - Evaluación automática de la exposición para varias formas de onda.
 - Elimina la sobrestimación que ocurre de vez en cuando con la evaluación FFT.
 - Rango de frecuencia de 1Hz a 400KHz.

El Artículo 9 del reglamento de protección de emisiones de RNI, hace referencia al instrumental que utiliza para las mediciones, indicando que las emisiones generadas por uso de frecuencias del espectro radioeléctrico será determinado en base de los siguientes instrumentos [10]:

a) *De banda ancha*: Medidores isotrópicos de radiación.

b) *De banda angosta*: Medidores de campo o analizadores de espectro y juego de antenas calibradas para los distintos rangos de medición.

Los instrumentos y sondas o antenas empleados deberán poseer certificado de calibración, extendido por un laboratorio acreditado a nivel internacional en el Ecuador, vigente a la fecha de la medición.

En base a estas observaciones, el presente trabajo de titulación se desarrolla con la ayuda de dos equipos, el medidor de radiación SRM 3000 de Narda Safety Test Solutions mostrado en la Figura 2.3 y el equipo NBM 550 medidor de banda ancha para mediciones de campo eléctrico y magnético mostrado en la Figura 2.4.

2.2.1. Medidor de radiaciones electromagnéticas NARDA SRM 3000

El SRM 3000 utiliza una antena de tres ejes para mediciones isotrópicas entre el rango de 100KHz hasta 3GHz, este equipo realiza medidas selectivas de la intensidad de campo lo que implica que las evaluaciones de seguridad sean rápidas y fiables.



Figura 2.3 Equipo Narda SRM 3000 para la medición de RNI.

Fuente: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/605/1/T-ESPE-014607.pdf>

2.2.1.1. Operación del equipo.

El SRM 3000 puede calcular los resultados como una medida de la intensidad de campo o como un porcentaje del nivel máximo de exposición permitida, es posible realizar una medición de una sola fuente o un solo canal, una lista de los canales presentes, la contribución de un sistema de telecomunicaciones dada como un operador celular local, o la

contribución total de los servicios de telecomunicaciones y su porcentaje dentro del total de la intensidad de campo [20].

2.2.1.2. Modos de evaluación del equipo.

- **Modo de evaluación de seguridad**

Permite evaluar automáticamente rangos de frecuencia, servicios o canales, y comparar los resultados con los límites especificados en las normas de seguridad aplicables. Además se puede comparar los niveles de contribución de los diferentes sistemas de telecomunicaciones con la magnitud del campo total medido. Los resultados se muestran como un porcentaje del máximo nivel de exposición permitido.

Este modo es útil si se requiere una evaluación rápida de la situación general de campo, ya que es la manera más fácil de mostrar los resultados.

Los parámetros que se deben configurar en este modo son:

- RBW resolución de ancho de banda.
- Rango de medición MR (Ajuste del rango de medición).
- Tipo de resultado: Según la definición de la norma o reglamento que se utilizará para evaluar los resultados.

- **Análisis espectral**

Permite la medición de intensidades de campo en todo el canal de frecuencia al igual que el modo de "Evaluación de la seguridad" pero con mayor complejidad, además proporciona información adicional sobre el tipo de espectro.

Seguidamente se muestra algunos parámetros que se deben configurar:

- Rango de frecuencia (Span): f_{\min} , f_{\max} correspondientes al rango de frecuencias del enlace descendente.
- Resolución de ancho de banda (RBW).

Tipo de resultado:

- ACT para visualizar el valor instantáneo.
- MAX para ver el valor máximo durante el período de medición.
- AVG para determinar el promedio de, por ejemplo, un periodo de 6 minutos.

Este modo ofrece una visión general de todas las componentes de frecuencia con sus intensidades de campo dentro de rango de frecuencias seleccionado, de igual forma puede presentarse la medición en función de las magnitudes reales del campo medido o como un porcentaje del máximo nivel de exposición permitido.

- **Análisis temporal**

Realiza medidas precisas (usando antenas monoaxiales) de las señales con una resolución de ancho de banda (RBW) comprendido entre 6.4KHz y 6MHz, así mismo la detección de valores de pico y valores RMS en tiempos de promediado desde 1 segundo hasta 30 minutos.

2.2.1.3. Características técnicas.

El equipo Narda SRM 3000 permite medidas selectivas de la intensidad de campo, realiza evaluaciones de seguridad rápida y fiable, entre sus características [20]:

Tabla 2.1 Características generales del equipo NARDA SRM 3000.

Rango de temperatura a operar	-10°C a +50°C
Modos	Modo de evaluación de seguridad Análisis espectral Análisis temporal
Potencia máxima en RF	+30dBm
Voltaje máximo en DC	50V
Humedad	<29g/m ³ (<93% a 30°C)
Dimensiones	255mm, 195mm x 60mm
Peso	1.9kg
Tiempo de calibración recomendado	24 meses
Rango de frecuencia de la antena	27MHz a 3GHz
Tipo de antena	Campo eléctrico
Rango dinámico	90µV/m a 80V/m
Conector RF	N, 50Ω

Fuente: <http://www.narda-sts.de/index.php?id=58&L=2>.

2.2.2. Medidor de radiaciones electromagnéticas NARDA NBM 550

Este equipo ofrece la más amplia cobertura de frecuencia de los campos eléctricos y magnéticos. Todas las sondas NBM superan las pruebas de las normas internacionales vigentes, disponibles para cubrir el rango de 100KHz a 60GHz.



Figura 2.4 Equipo Narda NBM 550 para la medición de RNI.

Fuente:

http://www.narda-sts.us/pdf_files/DataSheets/NBM550_DataSheet.pdf

2.2.2.1. Características técnicas NARDA NBM 550.

El rango de medición está determinado por la sonda empleada. Este equipo es utilizado para la medición de inmisión, es decir, la radiación resultante del aporte de varias fuentes radioeléctricas fijas cuyos campos electromagnéticos estén presentes en un punto. Posee una gran pantalla gráfica con una interfaz sonda plug and play con detección automática de parámetros de sonda [21].

Tabla 2.2 Características generales del equipo NBM 550.

Rango de temperatura a operar	-10°C a +50°C
Funciones	Tiempo promedio Promedio espacial
Humedad	5 a 95% sin condensación <29g/m ³
Dimensiones	290mm x 98mm x 45mm
Peso	550g
Tiempo de calibración recomendado	24 meses
Rango de frecuencia de la antena	100KHz a 3GHz
Memoria	Hasta 5000 resultados
Batería	2500mAh

Fuente:http://www.narda-sts.us/pdf_files/DataSheets/NBM550_DataSheet.pdf

2.3. Sistemas de frecuencia a analizar

El trabajo está enfocado principalmente a los equipos pertenecientes a la red Wireless del campus de la UTPL, también se tomará en cuenta el ambiente del laboratorio de telecomunicaciones y el datacenter de la universidad.

2.3.1. Access Point Ruckus ZoneFlex 7762.

Access Point de doble banda (5GHz/2.4GHz) para exteriores, evita interferencias automáticamente, optimizado para entornos de alta densidad. Cuenta con una red de antenas inteligentes integrado con más de 300 patrones únicos de alta fiabilidad. Las características son [22]:

Tabla 2.3 Características técnicas RUCKUS ZoneFlex 7762.

Características	
Alimentación	A través de Ethernet y 12V CC
Puertos Ethernet	2 puertos, auto MDX, detector automático RJ45 10/100/1000Mbps: alimentación a través de Ethernet (802.3af).
Condiciones del entorno	Calificado IP-67 Temperatura del aire durante el funcionamiento: -40°C – 65° C (-40°F – 149°F), -20°C cuando se deshabilita el calentador.
Consumo de energía	12.95W (PoE) 15W (12V CC)
EIRP máximo	2.4GHz: 35dBm 5GHz: 31dBm
Ganancia de antena física	Hasta 12dBi (2.4GHz) Hasta 10dBi (5GHz)
Sensibilidad Rx mínima	Hasta -95dBm
Capacidad: estaciones simultáneas	256
Wifi: estándares	IEEE 802.11a/b/g/n Funcionamiento en simultáneo de 2.4GHz y 5GHz.
Potencia de RF	28dBm/600mW
BSSID	Hasta ocho por radio (16 en total)
Seguridad inalámbrica	WEP, WPA-PSK, WPA-TKIP, WPA2 AES, 802.11i. Autenticación a través de 802.1X, base de datos de autenticación local, admisión de RADIUS y Active Directory.

Fuente: <http://a030f85c1e25003d7609-b98377aee968aad08453374eb1df3398.r40.cf2.rackcdn.com/datasheets/ds-zoneflex-7762-series-es.pdf>

2.3.2. Access Point RUCKUS ZoneFlex 7363.

Access Point para interiores, combina la tecnología de antena adaptativa patentada y la mitigación automática de interferencia para ofrecer un rendimiento consistente, produce un aumento de 2 a 4 veces en el rango de la señal con menores tasas de errores de paquete, reduce la cantidad de APs requeridos para ofrecer un servicio Wifi confiable. A continuación sus características técnicas [23].

Tabla 2.4 Características técnicas RUCKUS ZoneFlex 7363.

Características	
Alimentación	Adaptador de energía externa Entrada: 110-240V AC Salida: 12V CC, 1A Alimentación a través de Ethernet clase 0
Puertos Ethernet	1 auto-MDX, detección automática 10/100/1000Mbps, RJ-45, puerto PoE, 2 auto-MDX, detección automática 10/100Mbps, RJ-45 puertos (7343/7363 únicamente).
Condiciones del entorno	Temperatura de funcionamiento: 0°C - 40°C Humedad de funcionamiento: 15% — 95% sin condensación
Consumo de energía	12,95W (PoE) 15W (12V CC)
EIRP máximo	2.4GHz: 29dBm 5GHz: 27dBm
Ganancia de antena física	Hasta 6dBi (2.4GHz) Hasta 6dBi (5GHz)
Sensibilidad Rx mínima	Hasta -98dBm
Capacidad: estaciones simultáneas	256
Wifi: estándares	IEEE 802.11a/b/g/n
Potencia de RF	26dBm para 2.4GHz 24dBm para 5GHz
BSSID	Hasta ocho por radio
Seguridad inalámbrica	WEP, WPA-PSK, WPA-TKIP, WPA2 AES, 802.11i. Autenticación a través de 802.1X, base de datos de autenticación local, admisión de RADIUS y Active Directory.

Fuente: <http://c541678.r78.cf2.rackcdn.com/datasheets/ds-zoneflex-7300-series-es.pdf>

2.3.3. USRP N210.

El hardware N200 y N210 es ideal para aplicaciones que requieren alto rendimiento de RF y un gran ancho de banda. Permite a los ingenieros diseñar y aplicar potentes sistemas de radio de software flexibles [24].

Tabla 2.5 Características técnicas de USRP N210.

Características	
DC input	6V
Corriente de consumo	1.3A
Resolución de ADC	14Bits
Resolución de DAC	16Bits
Potencia de salida	15dBm
Temperatura de operación	0 a 55°C
Dimensiones	22x16x5cm
Peso	1.2kg
Otras características	2Gbps Expansion Interface
	Auxiliary Analog and Digital I/O

Fuente: https://www.ettus.com/content/files/07495_Ettus_N200-210_DS_Flyer_HR_1.pdf

2.4. Procedimiento predictivo para Access Point exteriores

De acuerdo a la recomendación de la UIT K.52: Orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos, se proporciona un flujograma el cual contiene los pasos para la realización del procedimiento predictivo que se observa en la Figura 2.5.

El proceso consiste en determinar si el sistema radiante requiere un procedimiento de medición mediante la clase de instalación, clasificándose en [15]:

- *Inherentemente conformes*: Son las fuentes seguras con campos que cumplen los límites de exposición pertinentes a pocos centímetros de la fuente. No son necesarias precauciones particulares.
- *Normalmente conformes*: Contienen fuentes con campos electromagnéticos que pueden sobrepasar los límites de exposición pertinentes. Sin embargo, la zona de rebasamiento de estas fuentes no es accesible a las personas en condiciones ordinarias.
- *Provisionalmente conformes*: Estas instalaciones requieren medidas especiales para conseguir esta conformidad, lo cual incluye la determinación de las zonas de exposición.

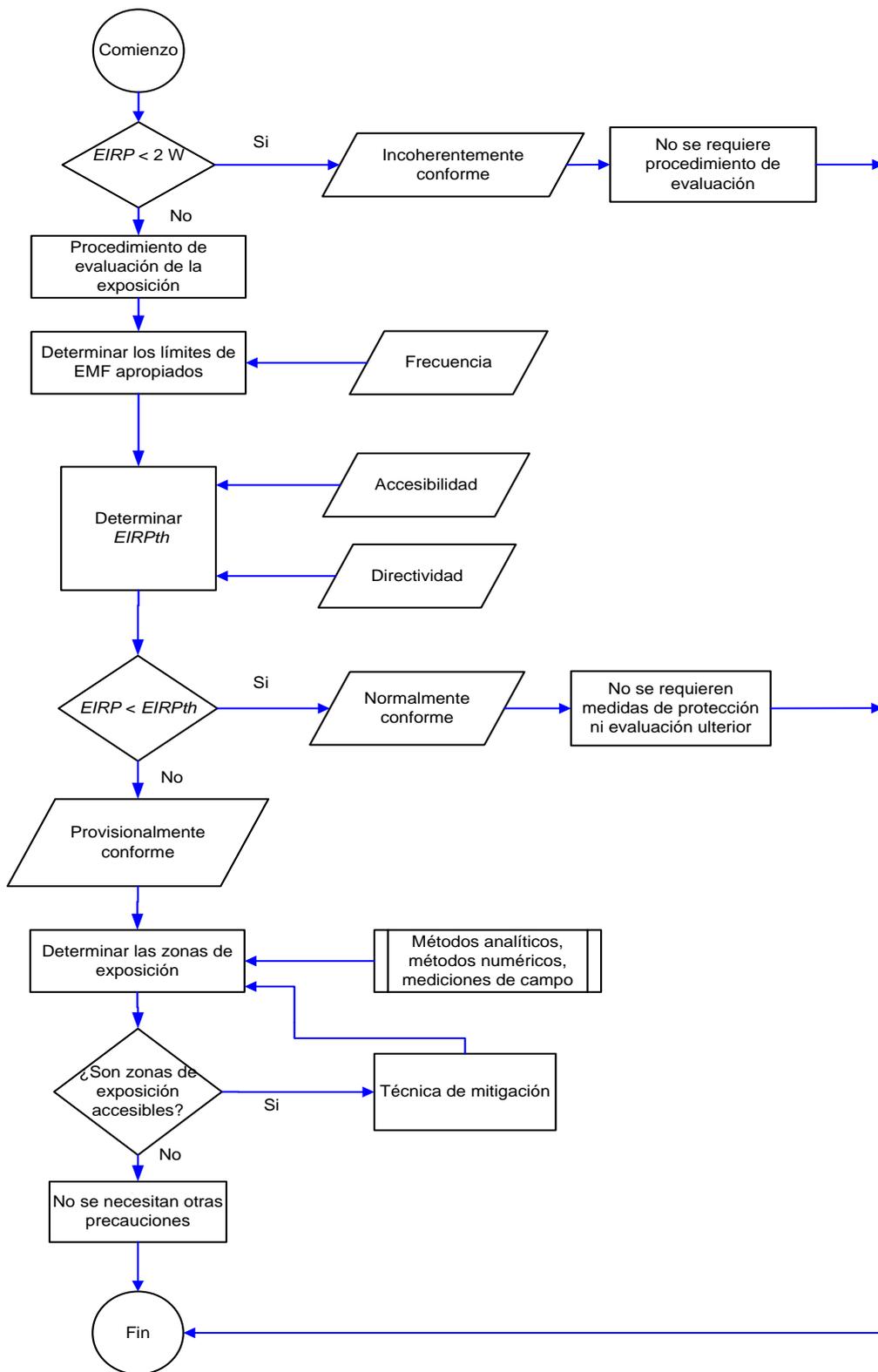


Figura 2.5 Pasos para la realización del procedimiento predictivo.

Fuente: https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=s&id=T-REC-K.52-200412-!!!PDF-S&type=items

2.4.1. Descripción del procedimiento para determinar la clase de instalación.

Se empieza por definir un conjunto de referencias de parámetros de antena o tipo de antena, seguidamente se define un conjunto de condiciones de accesibilidad, que depende de la proximidad de las personas a las diversas zonas del emisor.

Posteriormente en base a los parámetros de la antena y de las condiciones de accesibilidad se determina la EIRP umbral ($EIRP_{th}$) correspondiente al límite de exposición para densidad de potencia de la antena.

En el caso de obtener un EIRP menor a 2W, corresponde a una instalación inherentemente conforme, no requiriendo procedimiento de evaluación. De ser el caso contrario, pertenecería a una clase normalmente conforme solo si cumple la condición de $EIRP < EIRP_{th}$.

Los emplazamientos que no cumplen las condiciones especificadas anteriormente se consideran provisionalmente conformes, implicando la realización de cálculos o mediciones adicionales con el fin de corroborar que esté irradiando dentro de los límites recomendados. Dependiendo de la zona de exposición y de accesibilidad, es necesario tomar en cuenta técnicas de mitigación, permitiendo reducir el nivel radiación al limitar la exposición humana a los CEM.

2.4.2. Cálculo de EIRP (potencia isotrópica irradiada equivalente).

El procedimiento descrito en la sección anterior 2.4.1, se utiliza para determinar el valor de densidad de potencia de los tres Access Point externos. Es necesario aclarar que se requiere realizar el método una sola vez a causa de ser los mismo modelos.

Según las características técnicas del Access Point externo RUCKUS ZoneFlex 7762 detallada en la Tabla 2.3, se tiene los siguientes datos [15]:

$$EIRP_{max}=35dBm$$

$$EIRP_{max}(W) = 3.2W$$

Siguiendo el orden del flujograma, tenemos que el EIRP es mayor a 2W, clasificándose como una instalación normalmente conforme.

2.4.3. Procedimiento de la evaluación del nivel de exposición.

Se procede a determinar el tipo de categoría de directividad y accesibilidad adecuados a la condiciones de la instalación y a la descripción de la antena.

- **Categoría de Directividad**

Es la relación entre la potencia radiada y potencia media por unidad de ángulo sólido y determina el diagrama de exposición potencial. Una alta directividad implica que la potencia radiada está concentrada en un haz estrecho, permitiendo el control adecuado de la zona de exposición.

Las categorías de directividad de la antena son las siguientes:

Tabla 2.6 Categoría de directividad de la antena.

Categoría de directividad	Descripción de la antena	Parámetros pertinentes
1	Dipolo de media onda	Ninguno
2	Antena de cobertura amplia (omnidireccional o seccional), como las que se utilizan para la comunicación inalámbrica o la radiodifusión	Anchura de haz a potencia mitad vertical: θ_{bw} Máxima amplitud de lóbulo lateral con respecto a la amplitud máxima: A_{sl} Inclinación del haz: α
3	Antena de elevada ganancia que produce un "lápiz" (haz circularmente simétrico), como los utilizados para la comunicación punto a punto o las estaciones terrenas.	Anchura de haz a potencia mitad vertical: θ_{bw} Máxima amplitud de lóbulo lateral con respecto a la amplitud máxima: A_{sl} Inclinación del haz: α

Fuente: https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=s&id=T-REC-K.52-200412-I!!PDF-S&type=items

- **Categoría de Accesibilidad**

Evalúa la probabilidad de que una persona pueda acceder a la zona de rebasamiento del emisor. A continuación la clasificación de los mismos.

Tabla 2.7 Categoría de Accesibilidad.

Categoría de accesibilidad	Condiciones de la instalación
1	La antena está instalada en una torre inaccesible, el centro de radiación está a una altura h sobre el nivel del suelo. Existe la restricción $h > 3m$. La antena está instalada en una estructura públicamente accesible (por ejemplo, en un tejado), el centro de radiación está a una altura h por encima de la estructura. Véase Figura 2.6.
2	La antena está instalada al nivel del suelo, el centro de radiación está a una altura h sobre el nivel del suelo. Hay un edificio adyacente o una estructura accesible al público en general y, de una altura aproximada h situado a una distancia d de la antena a

	lo largo de la dirección de propagación. Existe la constricción $h > 3m$. Véase Figura 2.6.
3	La antena está instalada al nivel del suelo, el centro de radiación está a una altura h ($h > 3m$) sobre el suelo. Hay un edificio adyacente o una estructura accesible al público en general de aproximadamente h' situado a una distancia d de la antena a lo largo de la dirección de propagación. Véase Figura 2.6.
4	La antena está instalada en una estructura a una altura h ($h > 3m$). Hay una zona de exclusión asociada con la antena. Se definen dos geometrías para la zona de exclusión: <ul style="list-style-type: none"> - Una zona circular con un radio a rodea la antena; o - Una zona circular de tamaño $a \times b$ delante de la antena.

Fuente: https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=s&id=T-REC-K.52-200412-!!!PDF-S&type=items

Debido a que los AP's operan en la banda de 2.4GHz, se trabaja con la Tabla 2.8 para el cálculo del $EIRP_{th}$ la que está en función de las categorías de directividad y accesibilidad expuestas en las Tablas 2.6 y 2.7.

Tabla 2.8 Condiciones de conformidad normal de las instalaciones basadas en los límites ICNIRP para la gama de frecuencias 100-400MHz.

Categoría de directividad	Categoría de accesibilidad	EIRP _{th} (W)	
		Público en General	Ocupacional
1	1	$40\pi(h - 2)^2$	$200\pi(h - 2)^2$
	2	Menos de: $40\pi(h - 2)^2$ ó $10\pi d^2$	Menos de: $200\pi(h - 2)^2$ ó $50\pi d^2$
	3	Menos de: $40\pi(h - 2)^2$ ó $10\pi \left[\frac{d^2 + (h - h')^2}{d} \right]^2$	Menos de: $200\pi(h - 2)^2$ ó $50\pi \left[\frac{d^2 + (h - h')^2}{d} \right]^2$
	4	Menos de: $40\pi(h - 2)^2$ {si $a < (h - 2)$ } ó $10\pi \left[\frac{a^2 + (h - 2)^2}{a} \right]^2$	Menos de: $200\pi(h - 2)^2$ {si $a < (h - 2)$ } ó $50\pi \left[\frac{a^2 + (h - 2)^2}{a} \right]^2$

Fuente: https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=s&id=T-REC-K.52-200412-!!!PDF-S&type=items

2.4.4. Determinar el límite de exposición.

De acuerdo a los límites establecidos en el reglamento expuesto en las Tablas 1.3 y 1.4, se determina que para el público en general es de $10W/m^2$ y para la exposición ocupacional de $50W/m^2$.

2.4.5. Cálculo de EIRP_{th}.

Para la elección de la categoría de directividad, se toma en cuenta el dipolo de media onda perteneciente a la primera opción suponiendo el uso de una básica omnidireccional. En lo que respecta a la categoría de accesibilidad se elige la primera opción porque la antena está ubicada en un lugar inaccesible por el público general. En base a la determinación de las categorías se tiene la fórmula expuesta en la Tabla 2.8 [15]:

$$\text{EIRP}_{th} = 40\pi(h - 2)^2 \quad (2.1)$$

$$\text{EIRP}_{th} = 40\pi(0.25)$$

$$\text{EIRP}_{th} = 31.4159\text{W}$$

$$\text{EIRP}_{th} (\text{dB}) = 45\text{dBm}$$

Siguiendo el flujograma tenemos al final que:

$$\text{EIRP} < \text{EIRP}_{th} \quad (2.2)$$

$$3.2\text{W} < 31.42\text{W}$$

De acuerdo a la comparación realizada se tiene una instalación normalmente conforme y no se requiere medidas de protección ni evaluación ulterior.

2.4.6. Cálculo de zonas de campo.

- **Campo Cercano Reactivo**

Región de campo que rodea la antena y predomina el campo reactivo [16].

$$C_{CR} = \lambda \quad (2.3)$$

$$C_{CR} = \frac{c}{f} \quad (2.4)$$

En donde:

- λ es la longitud de onda [m].
- c corresponde a la velocidad de la luz [m/s].
- f representa a la frecuencia [Hz].

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

$$C_{CR} = 0.125\text{m}$$

- **Campo Cercano Reactivo Radiante**

Es el límite de la zona del campo cercano reactivo, donde el campo radiante comienza a ser importante en comparación con la componente reactiva.

$$C_{RR} = 3\lambda \quad (2.5)$$

$$C_{RR} = 0.375m$$

- **Campo Cercano Radiante**

Esta región existe únicamente si la máxima dimensión D de la antena es grande en comparación con la longitud de onda λ .

- **Campo lejano Radiante**

La distribución del campo angular es independiente de la distancia desde la antena y la densidad de potencia radiada es constante.

$$C_{RL} > 3\lambda \quad (2.6)$$

$$C_{LR} > 0.375m$$

2.4.7. Cálculo de la densidad de potencia.

Para el cálculo de la exposición a CEM a nivel del suelo debido a una antena elevada en la Figura 2.6 se muestra un ejemplo de referencia.

Se determina la densidad de potencia con las siguientes fórmulas [15]:

$$R^2 = h'^2 + x^2 \quad (2.7)$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{h'}{x}\right) \quad (2.8)$$

$$S = \frac{2.56}{4\pi} \frac{EIRP}{R^2} F(\theta) \quad (2.9)$$

- El valor 2.56 representa al factor de reflexión empírico (campos reflejados adicionados en fase con campo incidente directo -60%).
- EIRP potencia isotrópica irradiada equivalente [W].
- $F(\theta)$ es atenuación en veces de la radiación para un ángulo dado de incidencia en el plano vertical, los valores comprenden entre 0 y 1 ($F=1$ en el peor de los casos).
- R distancia entre la antena y persona expuesta [m].
- S densidad de potencia [W/m^2].

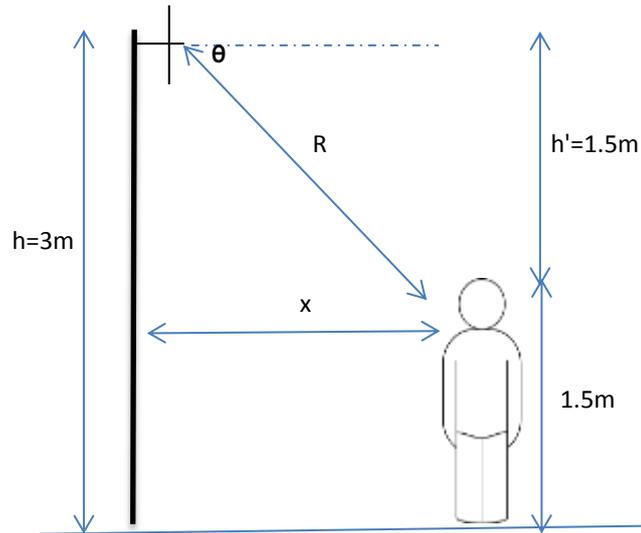


Figura 2.6 Ejemplo para calcular la exposición a nivel del suelo.

Fuente: https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=s&id=T-REC-K.52-200412-I!!PDF-S&type=items

Para el caso más crítico tomaremos en cuenta que la persona con respecto al Access Point se encuentra a menos de 1m hasta 16m.

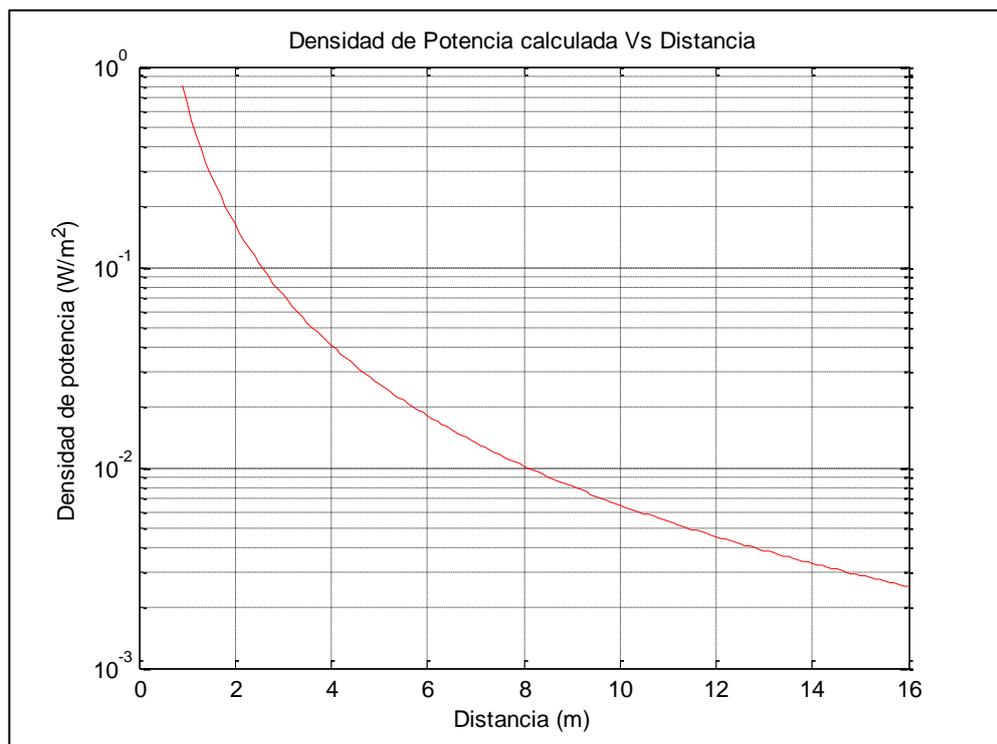


Figura 2.7 Cálculo en Matlab de la densidad de potencia vs distancia.

Fuente: Diseño de los autores.

En la Figura 2.7 se observa el comportamiento de la densidad de potencia con respecto a la distancia, tomando en cuenta un EIRP=3.2W y una altura de 1.5m. El valor máximo que se obtiene es de 0.8048W/m² con una distancia de 0.9m y el valor mínimo obtenido es de 2mW/m² a una distancia de 16m.

Por lo tanto, en base a los valores obtenidos podemos decir que a mayor distancia menor es la densidad y a menor distancia mayor densidad.

2.4.8. Cálculo del radio en función de la densidad máxima recomendada.

En base al valor máximo de la densidad de potencia para una zona ocupacional y poblacional en la frecuencia de 2GHz a 300GHz, se determina la distancia para ambos casos tomando en cuenta que $F(\theta) = 1$.

$$R_{ocp} = \sqrt{\frac{2.56 \text{ EIRP}}{4\pi S_{ocp}} F(\theta)}$$

$$R_{pob} = \sqrt{\frac{2.56 \text{ EIRP}}{4\pi S_{pob}} F(\theta)}$$

$$R_{ocp} = \sqrt{\frac{2.56 \cdot 3.2}{4\pi \cdot 50}} \cdot 1$$

$$R_{pob} = \sqrt{\frac{2.56 \cdot 3.2}{4\pi \cdot 10}} \cdot 1$$

$$R_{ocp} = 0.11\text{m}$$

$$R_{pob} = 0.26\text{m}$$

2.5. Método de medición para las Radiaciones No Ionizantes

De acuerdo a las “Directrices sobre la medición y la predicción numérica de los campos electromagnéticos para comprobar que las instalaciones de telecomunicaciones cumplen con los límites de exposición de las personas”, correspondiente a la Recomendación UIT-T K.61, las mediciones de RNI pueden ser de dos tipos [10]:

Medición Tipo 1 - Banda Ancha. Una medición de inmisión se realiza para sensar la radiación resultante del aporte de varias fuentes de radiofrecuencia, de esta manera se cubre un amplio rango de frecuencias haciendo uso de una sonda de campo eléctrico y campo magnético, se almacenan las mediciones como porcentaje de los límites de exposición ocupacionales recomendados.

Medición Tipo 2 - Banda Angosta. En una medición de emisión se pretende censar la radiación producida por una única fuente de radiofrecuencia y recopilar información de la frecuencia de operación del sistema y características eléctricas asociadas, haciendo uso de un analizador de espectro, medidor de campo y antenas ajustadas a la banda de operación deseada. La medición de emisión nos da información sobre el nivel de densidad de potencia del sistema que se encuentra analizando.

2.5.1. Procedimiento de medición de la SUPERTEL.

Citado y tomado como referencia ya anteriormente en la resolución realizada en el 2005 por CONATEL, se toma en cuenta el siguiente procedimiento.

- ⊕ Previo a la medición es necesario que se lleve a cabo un levantamiento visual del lugar de instalación del sistema irradiante, y se tomarán fotografías para dar una vista panorámica del entorno de la antena considerada.
- ⊕ Las mediciones deben llevarse a cabo en lo posible en los puntos accesibles al público donde la misma sea prácticamente realizable.
- ⊕ A efectos de evitar posibles acoplamientos capacitivos, los puntos de medición deben encontrarse a una distancia no inferior a 20 cm de cualquier objeto.
- ⊕ Es necesario calcular el punto de frontera entre el campo cercano y el campo lejano para así medir:
 - En el campo lejano el campo eléctrico **E** o el campo magnético **H**.
 - En el campo cercano el campo eléctrico **E** y el campo magnético **H**.

Considerando que el punto de frontera está dado por el máximo entre [10]:

$$\text{Máx } (3l; 2D^2/l) \quad (2.11)$$

- D es el diámetro de la antena [m].
- l es la longitud de onda o también λ [m].

Método de medición.

- a. El encargado de realizar las medidas correspondientes deberá colocarse en el límite del cálculo teórico de la zona ocupacional y la zona poblacional, cubriendo un área radial cada 30 grados.
- b. Si el resultado de la medición es superior al establecido en el artículo 5 del presente reglamento, se deberá continuar midiendo hasta encontrar el punto que permita cumplir con los límites establecidos.
- c. Para cada uno de los radiales deberá cubrirse lo establecido en el punto uno.
- d. Se repetirá los puntos a, b y c al fin de determinar la zona de rebasamiento.
- e. Una vez establecidos y cumplidos los límites máximos de exposición se procederá con levantamiento de la señalización que sea visible al público en general y a los operarios en el caso de la zona de rebasamiento.

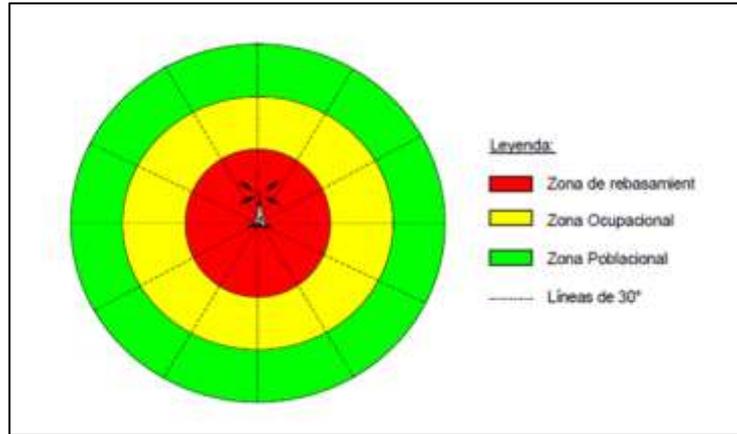


Figura 2.8 Esquema de las zonas establecidas por el reglamento.

Fuente:

http://www.supertel.gob.ec/pdf/emisiones_noionizantes/reglamento_rni.pdf

Posterior a las mediciones se procede a formular tablas con la información necesaria para realizar el análisis.

CAPÍTULO III

ANÁLISIS DE LAS MEDICIONES REALIZADAS EN EL CAMPUS DE LA UTP

3.1. Distribución de los dispositivos a medir

El campus de la Universidad Técnica Particular de Loja está compuesto por un conjunto de Access Points para ambientes outdoors e indoors de las marcas Cisco y Ruckus encargados de proveer el servicio de WLAN para una área de 42863 m² [25].

La red Wireless se encuentra conformada principalmente por 4 SSIDs (Service Set Identification) los cuales son: Campus_UTPL, Personal_UTPL, Invitados_UTPL y UTPL_Campus. Existen 44 APs distribuidos en los diferentes edificios para la planta administrativa y estudiantil, así también auditorios, centro de convenciones, cafetería y espacios abiertos en general registrados en el Wireless Control System (WCS), por lo que es posible obtener las características de los equipos, generar reportes e interferencias, usuarios conectados, canal que ocupan, potencia utilizada, etc [25].

Actualmente se han implementado 22 APs en el edificio 7, dando un total de 66 Access Point usados para proveer el servicio de Internet. También cuenta con otros dispositivos radiantes como los USRP's usados en el laboratorio de telecomunicaciones empleados para pequeñas estaciones base transmisoras de radiofrecuencia.

Criterios para la elección de los dispositivos a medir

Se tomaron en cuenta tres factores para determinar si los dispositivos estarían sujetos a medición:

- Sectores de mayor concentración de personas: fueron elegidos aulas, oficinas y auditorios que durante las horas de estudio y de trabajo existe aglomeración del personal y estudiantes. El centro de convenciones es un caso particular ya que los eventos que se llevan a cabo son temporales, sin embargo representa gran número de asistentes en el lugar.
- Accesibilidad hacia el sistema radiante: Se escogieron bajo dos motivos, primordialmente por la cercanía que representa el dispositivo hacia las personas con una distancia inferior a 5m, y por el acceso que puede tener para la medición.
- Duración de la exposición: corresponde al tiempo en que el equipo está operando cerca de las personas, para el caso de los profesionales en formación se tiene un promedio de 3 horas por clase. Mientras que en la planta administrativa un tiempo aproximado de 8 horas diarias.

En la Tabla 3.1 se indican los dispositivos que fueron elegidos como resultado de los criterios que se han descrito.

Tabla 3.1 Lista de dispositivos a medir en el campus de la UTPL.

Nombre del edificio	Ubicación del AP	Nombre del AP	N° Dispositivos
Centro de convenciones	Planta baja	Convenciones 2	2
		Convenciones 3	
Oskar Jandl (Edif. 3)	Exterior	Oskar Jandl	1
Virginia Riofrío (Edif. 4)	Exterior	Virginia Riofrío 2	1
Edificio Central	Planta baja	Dirección de CITTES	3
		Gubernativo 1	
		Gubernativo 2	
	Primera planta	Departamento financiero	1
Exterior	Administración central	1	
UGTI	Tercera planta	Soporte técnico	2
		Infraestructura	
	Datacenter	Equipos	1 (medición)
Edificio 7	Planta baja	AP_Edif7_PB-01	4
		AP_Edif7_PB-04	
		AP_Edif7_PB-05	
		AP_Edif7_PB-06	
	Primera planta	AP_Edif7_1P-06	4
		AP_Edif7_1P-09	
		AP_Edif7_1P-12	
		AP_Edif7_1P-14	
	Segunda planta	AP_Edif7_2P-01	5
		AP_Edif7_2P-03	
		AP_Edif7_2P-05	
		AP_Edif7_2P-08	
		AP_Edif7_2P-11	
	Tercera planta	AP_Edif7_3P-01	6
		AP_Edif7_3P-07	
		AP_Edif7_3P-10	
		AP_Edif7_3P-12	
		AP_Edif7_3P-15	
		AP_Edif7_3P-16	
	Cuarta planta	AP_Edif7_4P-03	1
TOTAL			37

Fuente: De los autores.

3.2. Análisis de resultados de las mediciones en Access Points exteriores.

Siguiendo el procedimiento y método de medición expuesto en el Capítulo II, en la Tabla 3.2 se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 3.2 Resultados de las mediciones en el AP Oskar Jandl.

AP	CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO	MEDICIONES			DISTANCIA (m) con respecto al equipo	Valor medido vs. valor permitido (# veces)
		Campo eléctrico E (V/m):	Campo magnético H (A/m):	Densidad de potencia S (W/m ²):		
OSKAR JANDL	Access Point RUCKUS ZoneFlex 7762 con antena interna. Trabaja con IEEE 802.11a/b/g/n. Con un potencia de RF de 28dBm (2.4GHz) y 26dBm (5GHz).	0.4535	1.20E-03	5.46E-04	0.5	18300
	MAC: c4:01:7c:29:15:30	<div style="text-align: center;"> <h3>Valores obtenidos de las mediciones</h3> <p>The graph displays the power density spectrum. The x-axis represents frequency in MHz, ranging from 2401 to 2472.2. The y-axis represents power density in W/m², ranging from 0 to 0.0006. The signal is mostly flat at zero until approximately 2420 MHz, where it begins to rise. There are several peaks, with the highest peak occurring at 2433.6 MHz, reaching a power density of about 0.00055 W/m². Other notable peaks are at 2424.7 MHz (approx. 0.00035 W/m²) and 2430.6 MHz (approx. 0.0003 W/m²). The signal returns to zero by approximately 2440 MHz and remains there until 2472.2 MHz.</p> </div>				
	UBICACIÓN: Segunda planta alta edificio Oskar Jandl.					
	Latitud: 3°59'12.6" S					
	Longitud: 79°11'56.4" O					

Fuente: De los autores.

Tabla 3.3 Resultados de las mediciones en el AP Virginia Riofrío 2.

AP	CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO	MEDICIONES			DISTANCIA (m) con respecto al equipo	Valor medido vs. valor permitido (# veces)
		Campo eléctrico E (V/m):	Campo magnético H (A/m):	Densidad de potencia S (W/m ²):		
VIRGINIA RIOFRIO 2	Access Point RUCKUS ZoneFlex 7762 con antena interna. Trabaja con IEEE 802.11a/b/g/n. Con un potencia de RF de 28dBm (2.4GHz) y 26dBm (5GHz).	0.535	1.42E-03	7.59E-04	0.5	13200
	MAC: 54:3d:37:28:fd:d0	<p style="text-align: center;">Valores obtenidos de las mediciones</p> <p style="text-align: center;">Deensidad de potencia (W/m2)</p> <p style="text-align: center;">Frecuencia (MHz)</p>				
	UBICACIÓN: Segunda planta alta edificio Virginia Riofrío.					
	Latitud: 3°59'13.1" S					
	Longitud: 79°11'56.3" O					

Fuente: De los autores.

Tabla 3.4 Resultados de las mediciones en el AP Administración central.

AP	CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO	MEDICIONES			DISTANCIA (m) con respecto al equipo	Valor medido vs. valor permitido (# veces)
		Campo eléctrico E (V/m):	Campo magnético H (A/m):	Densidad de potencia S (W/m ²):		
ADMINISTRACION CENTRAL	Access Point RUCKUS ZoneFlex 7762 con antena interna. Trabaja con IEEE 802.11a/b/g/n. Con un potencia de RF de 28dBm (2.4GHz) y 26dBm (5GHz).	0.224	5.93E-04	1.33E-04	4.5	75200
	MAC: c4:01:7c:29:14:e0	<p>Valores obtenidos de las mediciones</p>				
	UBICACIÓN: Segunda planta alta edificio central.					
	Latitud: 3°59'13.3" S					
	Longitud: 79°11'56.2" O					

Fuente: De los autores.

Las mediciones se realizaron desde puntos accesibles a los APs, con la precaución de tener una línea de vista directa, celulares móviles apagados y con un tiempo de medición superior a 6 minutos.

En algunos casos existió la presencia de estudiantes cercanos al punto de medición haciendo uso de su celular, siendo estos valores registrados por el equipo de medición.

Los resultados obtenidos de todos los puntos fueron archivados en la memoria del equipo en formato Excel con la finalidad de llevar un registro y facilitar el análisis posterior.

Como resultado se tiene que en el Access Point Oskar Jandl el valor de densidad es 18300 veces inferior al límite permitido, para el Access Point Virginia Riofrío 2 el valor medido es 13200 veces, y finalmente el Access Point Administración central es inferior en 75200 veces. Destacándose entre estos el AP del edificio Virginia Riofrío con mayor densidad de potencia.

3.3. Análisis de resultados de las mediciones en Access Points interiores

El análisis de los valores obtenidos en las mediciones se lleva a cabo haciendo una clasificación de acuerdo a su ubicación, a continuación los resultados.

Tabla 3.5 Resultado de las mediciones en el edificio central.

EDIFICIO	AP	CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO		MEDICIONES			DISTANCIA (m) con respecto al equipo	Valor medido vs. valor permitido (# veces)
				Campo eléctrico E (V/m):	Campo magnético H (A/m):	Densidad de potencia S (W/m ²):		
CENTRAL	Dirección CITTES	Características	Access Point modelo CISCO 1260 AIR-LAP1262N A-K9 con dos antenas. Trabaja con IEEE 802.11 a/b/g/n. Con una potencia de transmisión máxima de 23dBm (2.4GHz) y 20dBm (5GHz).	0.828	2.20E-03	1.82E-03	0.5	5500
		Mac	2c:3f:38:5a:24:f0					
		Ubicación	Dirección de CITTES.					
	Gubernati_ vo 1	Características	Access Point modelo CISCO 1260 AIR-LAP1262N A-K9 con dos antenas. Trabaja con IEEE 802.11 a/b/g/n. Con una potencia de transmisión máxima de 23dBm (2.4GHz) y 20dBm (5GHz).	0.48	1.7E-03	6.10E-04	0.5	16400
		Mac	2c:3f:38:31:ec:90					
		Ubicación	Pasillo al rectorado.					

CENTRAL	Gubernati_ vo 2	Características	Access Point modelo CISCO 1260 AIR-LAP1262N A-K9 con dos antenas. Trabaja con IEEE 802.11 a/b/g/n. Con una potencia de transmisión máxima de 23dBm (2.4GHz) y 20dBm (5GHz).	0.788	2.09E-03	1.65E-03	1	6000
		Mac	00:24:c4:3a:1a:f0					
		Ubicación	Dirección General Académica.					
	Departa_ mento financiero	Características	Access Point modelo CISCO 1260 AIR-LAP1262N A-K9 con dos antenas. Trabaja con IEEE 802.11 a/b/g/n. Con una potencia de transmisión máxima de 23dBm (2.4GHz) y 20dBm (5GHz).	1.33	3.52E-03	4.67E-03	2	2100
		Mac	2c:3f:38:5a:1f:c0					
		Ubicación	Departamento financiero.					

Fuente: De los autores.

Tabla 3.6 Resultado de las mediciones en el centro de convenciones.

EDIFICIO	AP	CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO		MEDICIONES			DISTANCIA (m) con respecto al equipo	Valor medido vs. valor permitido (# veces)
				Campo eléctrico E (V/m):	Campo magnético H (A/m):	Densidad de potencia S (W/m ²):		
CENTRO DE CONVEN_ CIONES	Conven_ ciones 2	Características	Access Point modelo CISCO AIRONET 1200 AIR-LAP1232AG-A-K9 con antena externa. Trabaja con IEEE 802.11a/b/g. Con una potencia de transmisión máxima de 20dBm (2.4GHz) y 17dBm (5GHz).	8.99E-02	2.38E-04	2.14E-05	2	466600
		Mac	00:18:ba:89:e7:90					
		Ubicación	Centro de convenciones.					
	Conven_ ciones 3	Características	Access Point modelo CISCO AIRONET 1200 AIR-LAP1232AG-A-K9 con antena externa. Trabaja con IEEE 802.11 a/b/g. Con una potencia de transmisión máxima de 20dBm (2.4GHz) y 17dBm (5GHz).	4.23E-02	1.12E-04	4.75E-06	2	2105000
		Mac	00:1c:b1:06:52:d0					
		Ubicación	Centro de convenciones.					

Fuente: De los autores.

Tabla 3.7 Resultado de las mediciones en el edificio UGTI.

EDIFICIO	AP	CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO		MEDICIONES			DISTANCIA (m) con respecto al equipo	Valor medido vs. valor permitido (# veces)
				Campo eléctrico E (V/m):	Campo magnético H (A/m):	Densidad de potencia S (W/m ²):		
UGTI	Infraestructura	Características	Access Point modelo CISCO 1260 AIR-LAP1262N A-K9 con dos antenas. Trabaja con IEEE 802.11 a/b/g/n. Con una potencia de transmisión máxima de 23dBm (2.4GHz) y 20dBm (5GHz).	0.2696	7.15E-04	1.93E-04	2.5	51800
		Mac	2c:3f:38:5a:14:d0					
		Ubicación	Sección de Telecomunicaciones.					
	Soporte técnico	Características	Access Point modelo CISCO 1260 AIR-LAP1262N A-K9 con dos antenas. Trabaja con IEEE 802.11 a/b/g/n. Con una potencia de transmisión máxima de 23dBm (2.4GHz) y 20dBm (5GHz).	0.6902	1.83E-03	1.26E-03	2.5	7900
		Mac	2c:3f:38:31:53:20					
		Ubicación	Sección de Soporte técnico.					

Fuente: De los autores.

Tabla 3.8 Resultado de las mediciones en el Edificio 7.

EDIFICIO	AP	CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO		MEDICIONES			DISTANCIA (m) con respecto al equipo	Valor medido vs. valor permitido (# veces)
				Campo eléctrico E (V/m):	Campo magnético H (A/m):	Densidad de potencia S (W/m ²):		
EDIFICIO 7	AP_Edif7_PB-01	Características	Access Point RUCKUS ZoneFlex 7363 con antena interna. Trabaja con IEEE 802.11 a/b/g/n. Con una potencia de RF de 26dBm (2.4GHz) y 24dBm (5GHz).	1.214	3.22E-03	3.91E-03	0.5	2500
		Mac	2c:e6:cc:31:a1:d0					
		Ubicación	Planta baja del edificio 7.					
	AP_Edif7_PB-04	Características	Access Point RUCKUS ZoneFlex 7363 con antena interna. Trabaja con IEEE 802.11 a/b/g/n. Con una potencia de RF de 26dBm (2.4GHz) y 24dBm (5GHz).	1.087	2.88E-03	3.13E-03	0.5	3200
		Mac	2c:e6:cc:31:a3:d0					
		Ubicación	Planta baja del edificio 7.					

EDIFICIO 7	AP_Edif7_PB-05	Características	Access Point RUCKUS ZoneFlex 7363 con antena interna. Trabaja con IEEE 802.11 a/b/g/n. Con una potencia de RF de 26dBm (2.4GHz) y 24dBm (5GHz).	1.396	3.70E-03	5.17E-03	0.5	1900
		Mac	2c:e6:cc:31:a1:70					
		Ubicación	Planta baja del edificio 7.					
	AP_Edif7_PB-06	Características	Access Point RUCKUS ZoneFlex 7363 con antena interna. Trabaja con IEEE 802.11 a/b/g/n. Con una potencia de RF de 26dBm (2.4GHz) y 24dBm (5GHz).	2.147	5.70E-03	1.22E-02	0.5	800
		Mac	2c:e6:cc:31:a3:60					
		Ubicación	Planta baja del edificio 7.					
	AP_Edif7_1P-06	Características	Access Point RUCKUS ZoneFlex 7363 con antena interna. Trabaja con IEEE 802.11 a/b/g/n. Con una potencia de RF de 26dBm (2.4GHz) y 24dBm (5GHz).	8.94	2.37E-02	2.12E-01	0.5	40
		Mac	2c:e6:cc:31:a3:20					
		Ubicación	Aula 723					

EDIFICIO 7	AP_Edif7_1P-09	Características	Access Point RUCKUS ZoneFlex 7363 con antena interna. Trabaja con IEEE 802.11 a/b/g/n. Con una potencia de RF de 26dBm (2.4GHz) y 24dBm (5GHz).	3.42	9.10E-03	3.09E-02	0.5	300
		Mac	2c:e6:cc:31:a2:70					
		Ubicación	Aula 724					
	AP_Edif7_1P-12	Características	Access Point RUCKUS ZoneFlex 7363 con antena interna. Trabaja con IEEE 802.11 a/b/g/n. Con una potencia de RF de 26dBm (2.4GHz) y 24dBm (5GHz).	3.64	9.60E-03	3.51E-02	0.5	250
		Mac	2c:e6:cc:31:a5:20					
		Ubicación	Aula 725					
	AP_Edif7_1P-14	Características	Access Point RUCKUS ZoneFlex 7363 con antena interna. Trabaja con IEEE 802.11 a/b/g/n. Con una potencia de RF de 26dBm (2.4GHz) y 24dBm (5GHz).	5.49	1.46E-02	8.01E-02	0.5	100
		Mac	2c:e6:cc:31:a5:a0					
		Ubicación	Aula 726					

EDIFICIO 7	AP_Edif7_2P-01	Características	Access Point RUCKUS ZoneFlex 7363 con antena interna. Trabaja con IEEE 802.11 a/b/g/n. Con una potencia de RF de 26dBm (2.4GHz) y 24dBm (5GHz).	3.709	9.84E-03	3.65E-02	0.5	250
		Mac	2c:e6:cc:31:a3:90					
		Ubicación	Aula 731					
	AP_Edif7_2P-03	Características	Access Point RUCKUS ZoneFlex 7363 con antena interna. Trabaja con IEEE 802.11 a/b/g/n. Con una potencia de RF de 26dBm (2.4GHz) y 24dBm (5GHz).	1.777	4.72E-03	8.38E-03	0.5	1200
		Mac	2c:e6:cc:31:8d:80					
		Ubicación	Aula 732					
	AP_Edif7_2P-05	Características	Access Point RUCKUS ZoneFlex 7363 con antena interna. Trabaja con IEEE 802.11 a/b/g/n. Con una potencia de RF de 26dBm (2.4GHz) y 24dBm (5GHz).	2.39	7.80E-03	2.28E-02	0.5	400
		Mac	2c:e6:cc:31:a2:e0					
		Ubicación	Aula 733					

EDIFICIO 7	AP_Edif7_2P-08	Características	Access Point RUCKUS ZoneFlex 7363 con antena interna. Trabaja con IEEE 802.11 a/b/g/n. Con una potencia de RF de 26dBm (2.4GHz) y 24dBm (5GHz).	2.82	7.50E-03	2.10E-02	0.5	450
		Mac	2c:e6:cc:31:a1:40					
		Ubicación	Aula 734					
	AP_Edif7_2P-11	Características	Access Point RUCKUS ZoneFlex 7363 con antena interna. Trabaja con IEEE 802.11 a/b/g/n. Con una potencia de RF de 26dBm (2.4GHz) y 24dBm (5GHz).	2.31	6.10E-03	1.42E-02	0.5	700
		Mac	2c:e6:cc:31:a1:60					
		Ubicación	Aula 735					
	AP_Edif7_3P-01	Características	Access Point RUCKUS ZoneFlex 7363 con antena interna. Trabaja con IEEE 802.11 a/b/g/n. Con una potencia de RF de 26dBm (2.4GHz) y 24dBm (5GHz).	1.632	4.33E-03	7.06E-03	0.5	1400
		Mac	2c:e6:cc:31:a2:40					
		Ubicación	Auditorio 1					

EDIFICIO 7	AP_Edif7_3P-07	Características	Access Point RUCKUS ZoneFlex 7363 con antena interna. Trabaja con IEEE 802.11 a/b/g/n. Con una potencia de RF de 26dBm (2.4GHz) y 24dBm (5GHz).	3.50E-01	9.00E-04	3.00E-04	2	33300
		Mac	2c:e6:cc:31:a5:30					
		Ubicación	Auditorio 2					
	AP_Edif7_3P-10	Características	Access Point RUCKUS ZoneFlex 7363 con antena interna. Trabaja con IEEE 802.11 a/b/g/n. Con una potencia de RF de 26dBm (2.4GHz) y 24dBm (5GHz).	2.006	5.32E-03	1.07E-02	1	900
		Mac	2c:e6:cc:31:a4:20					
		Ubicación	Auditorio 3					
	AP_Edif7_3P-12	Características	Access Point RUCKUS ZoneFlex 7363 con antena interna. Trabaja con IEEE 802.11 a/b/g/n. Con una potencia de RF de 26dBm (2.4GHz) y 24dBm (5GHz).	0.2346	6.22E-04	1.46E-04	1	68500
		Mac	2c:e6:cc:31:9e:90					
		Ubicación	Auditorio 4					

EDIFICIO 7	AP_Edif7_3P- 15	Características	Access Point RUCKUS ZoneFlex 7363 con antena interna. Trabaja con IEEE 802.11 a/b/g/n. Con una potencia de RF de 26dBm (2.4GHz) y 24dBm (5GHz).	6.00E-01	1.60E-03	1.00E-03	2	10000
		Mac	2c:e6:cc:31:91:50					
		Ubicación	Auditorio 5					
	AP_Edif7_3P- 16	Características	Access Point RUCKUS ZoneFlex 7363 con antena interna. Trabaja con IEEE 802.11 a/b/g/n. Con una potencia de RF de 26dBm (2.4GHz) y 24dBm (5GHz).	4.20E-01	1.10E-03	5.00E-04	2	20000
		Mac	2c:e6:cc:31:a3:e0					
		Ubicación	Auditorio 5					
	AP_Edif7_4P- 03	Características	Access Point RUCKUS ZoneFlex 7363 con antena interna. Trabaja con IEEE 802.11 a/b/g/n. Con una potencia de RF de 26dBm (2.4GHz) y 24dBm (5GHz).	3.70E-01	1.00E-03	4.00E-04	2	25000
		Mac	2c:e6:cc:31:a3:30					
		Ubicación	Auditorio VIP					

Fuente: De los autores.

En la mayoría de casos, las mediciones se realizaron en puntos donde existe línea de vista directa. Los APs se encuentran dentro de los edificios del campus en sectores cercanos al personal de trabajo o profesionales en formación, instalados en paredes, columnas u ocultos en la estructura del cielo raso.

Particularmente, en el edificio 7 las mediciones registran un solapamiento de canales a causa del número de Access Points por planta, porque la distancia entre cada AP es aproximadamente menor a 7 metros.

El Access Point interior con mayor nivel de densidad de potencia medido con el equipo de banda ancha, se encuentra ubicado en el edificio 7, con un valor de 0.212W/m^2 representado ser 40 veces inferior al límite establecido en el reglamento de la SUPERTEL.

3.4. Análisis de resultados de las mediciones en el laboratorio de telecomunicaciones

En este apartado se hace el estudio particular de los equipos USRP N210, quienes se encuentran configurados en estaciones emisoras de las bandas AM y FM a una frecuencia de 50MHz y 100MHz respectivamente. El USRP transmitiendo en FM utiliza una antena tipo dipolo circular con una ganancia de 3dBi.

Se realizan cuatro mediciones en circunstancias diferentes, la primera se efectúa utilizando un equipo el mismo que se encuentra transmitiendo en AM, seguidamente el resto de las mediciones se ejecutan con los cuatro equipos transmitiendo en FM a distintas distancias.

Tabla 3.9 Resultado de las mediciones en el laboratorio de telecomunicaciones.

EDIFICIO	EQUIPO	CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO		MEDICIONES			DISTANCIA (m) con respecto al equipo	Valor medido vs. valor permitido (# veces)
				Campo eléctrico E (V/m):	Campo magnético H (A/m):	Densidad de potencia S (W/m ²):		
UGTI-Laboratorio	USRP	Características	USRP N210 se encuentra configurado como un transmisor AM, transmitiendo en la frecuencia de 50MHz con una potencia de 100mW. Posee una antena VERT900 con una ganancia de 3dBi.	0.7391	1.96E-03	1.45E-03	0.2	6900
		Ubicación	Se encuentra ubicado en el edificio UGTI, tercera planta.					
		Características	USRP N210 se encuentra configurado como un transmisor FM, transmitiendo en la frecuencia de 100MHz con una potencia de 100mW. Posee una antena tipo dipolo circular de 3dBi	43.41	0.1151	4.998	<0.2	2
		Ubicación	Se encuentra ubicado en el edificio UGTI, tercera planta.					

UGTI- Laboratorio		Características	USRP N210 se encuentra configurado como un transmisor FM, transmitiendo en la frecuencia de 100MHz con una potencia de 100mW. Posee una antena tipo dipolo circular de 3dBi.	4.499	1.19E-02	5.37E-02	0.6	180
		Ubicación	Se encuentra ubicado en el edificio UGTI, tercera planta.					
		Características	USRP N210 se encuentra configurado como un transmisor FM, transmitiendo en la frecuencia de 100MHz con una potencia de 100mW. Posee una antena tipo dipolo circular de 3dBi.	1.12	2.97E-03	3.33E-03	2	3000
		Ubicación	Se encuentra ubicado en el edificio UGTI, tercera planta.					

Fuente: De los autores.

3.4.1. USRP transmitiendo en amplitud modulada.

El dispositivo se encuentra transmitiendo en amplitud modulada a la frecuencia de 50MHz. De acuerdo al reglamento establecido el valor máximo de la densidad de potencia en una exposición ocupacional es de $10W/m^2$.

Se obtiene un valor de 6900 veces menor al límite permitido. En la Figura 3.1 se presenta una captura del espectro radioeléctrico expresada en valores de campo eléctrico E .

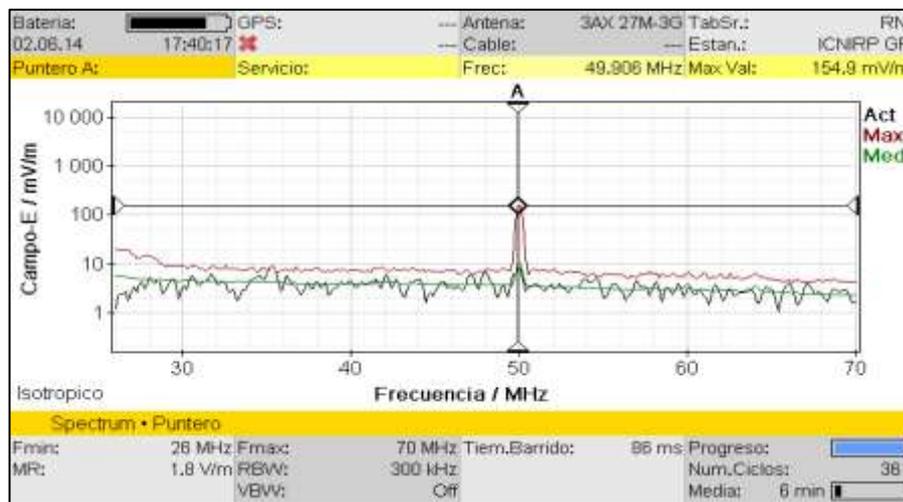


Figura 3.1 Captura del espectro radioeléctrico en el equipo Narda SRM 3000.

Fuente: De los autores.

3.4.2. USRP's transmitiendo en frecuencia modulada.

Los dispositivos se encuentran transmitiendo en frecuencia modulada a 100MHz. Se llevan a cabo tres mediciones en distintas condiciones las cuales son:

- **Medición a un equipo con una distancia inferior a 20cm:** el USRP transmite mediante una antena tipo dipolo circular con una ganancia de 3dBi, el valor resultante es inferior en 2 veces al límite permitido. El punto de medición se encuentra a una distancia inferior a la recomendada a fin de realizar análisis y comparaciones posteriores.
- **Medición a un equipo con una distancia superior a 20cm:** se efectúa con las mismas condiciones que en el apartado anterior, con la diferencia de que la distancia de 60cm, resultando ser 186 veces inferior a la norma de $10W/m^2$.
- **Medición a un conjunto de equipos transmitiendo simultáneamente:** los cinco equipos se encuentran transmitiendo en la misma frecuencia. Uno de ellos está conectado a una antena dipolo circular, mientras que los cuatro restantes utilizan

una antena VERT 900. La medición se realizó a una distancia promedio 3m hacia cada equipo dando como resultado un valor de 3000 veces inferior al límite establecido.

Mediante el modo espectral del equipo de banda angosta, en la Figura 3.2 se observa la densidad de potencia obtenida durante la transmisión en FM.

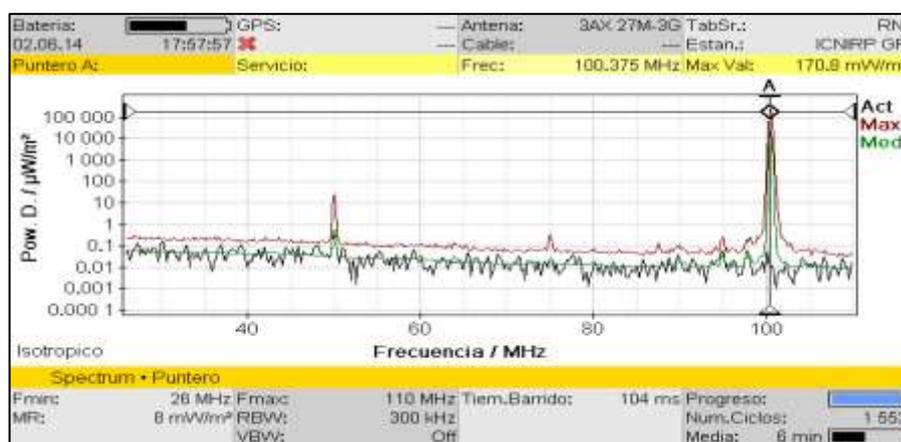


Figura 3.2 Captura del espectro radioeléctrico en frecuencia modulada.

Fuente: De los autores.

Se presenta una captura de pantalla del equipo de banda angosta haciendo el análisis del espectro radioeléctrico de los cinco equipos USRP's transmitiendo en frecuencia modulada, los que generan una serie de armónicos superiores a 100MHz, a continuación la Figura 3.3.

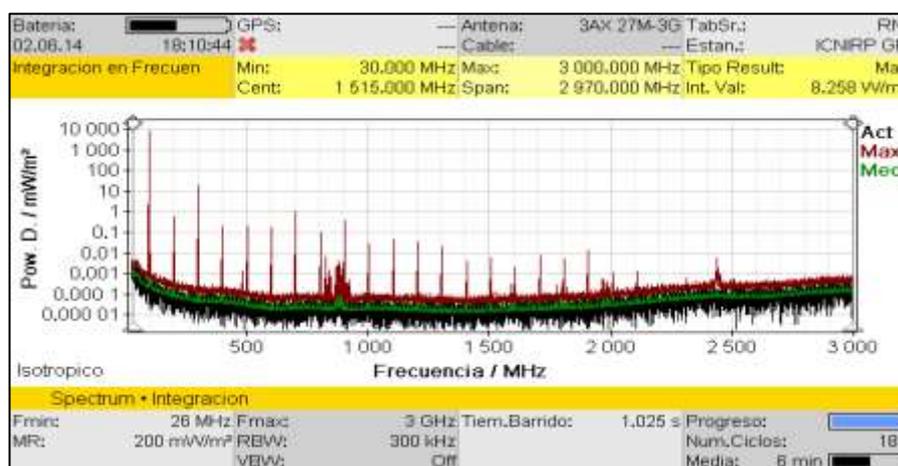


Figura 3.3 Captura del espectro radioeléctrico en FM y armónicos.

Fuente: De los autores.

3.5. Análisis de las mediciones en el centro de datos de la UTPL

Dentro del centro de datos no existe ningún dispositivo radiante como Access Points, o cualquier sistema de comunicación inalámbrico. Está compuesto por conjuntos de racks que

clasifican los distintos servidores, un sistema de enfriamiento y de seguridad, en la parte exterior se encuentra un banco de baterías en el caso del fallo de suministro de energía.

Siguiendo el procedimiento descrito en el Capítulo II, se lleva a cabo dos mediciones a una distancia promedio de un metro. En la Tabla 3.10 se presentan los resultados de los valores máximos.

La densidad de potencia obtenida es de 0.45mW/m^2 , que representa ser 22000 veces inferior a los límites que establece la SUPERTEL.

Tabla 3.10 Resultado de las mediciones en el centro de datos.

EQUIPOS		MEDICIONES			DISTAN_ CIA (m) con respecto al equipo	Valor medido vs. valor permitido (# veces)
		Campo eléctrico E (V/m):	Campo magnético H (A/m):	Densidad de potencia S (W/m^2):		
4 Racks comunicaciones	109 Servidores:	Energía y Networking 2 UPS	0.42	1.1E-03	1	22000
8 Racks servidores	31 investigación y					
2 Racks housing (Level 3).	78 de operación					

Fuente: De los autores.

3.6. Análisis de los resultados predictivos y medidos

Se efectúa una comparación entre los valores obtenidos del procedimiento predictivo, las mediciones realizadas y los límites permitidos del Access Point Virginia Riofrío 2, el cual obtuvo mayor densidad de potencia.

Seguidamente en la Tabla 3.11 se muestra los valores de densidad de potencia con respecto a la distancia que se adquirió en el método predictivo analizado en el Capítulo II.

Tabla 3.11 Valores de la densidad de potencia mediante el método predictivo.

Distancia (m)	Densidad de potencia (W/m^2)
1	0.6519
2	0.1630
4	0.0407
6	0.0181
8	0.0102
10	0.0065
12	0.0045

14	0.0033
16	0.0025

Fuente: De los autores.

En la Tabla 3.12 se resumen los valores obtenidos de las mediciones realizadas al Access Point Virginia Riofrío 2 con respecto a la densidad de potencia.

Tabla 3.12 Valores medidos de la densidad de potencia.

Distancia (m)	Densidad de potencia (mW/m ²)
0.5	0.75
6	0.11
10	0.013
16	0.0029

Fuente: De los autores.

Para una mejor interpretación del comportamiento de las mediciones, se realiza una interpolación con los puntos especificados en la Tabla 3.12.

Finalmente se representan gráficamente los límites permitidos, valores del método predictivo y de las mediciones con el fin de realizar una comparación y análisis para determinar el nivel de radiación del Access Point.

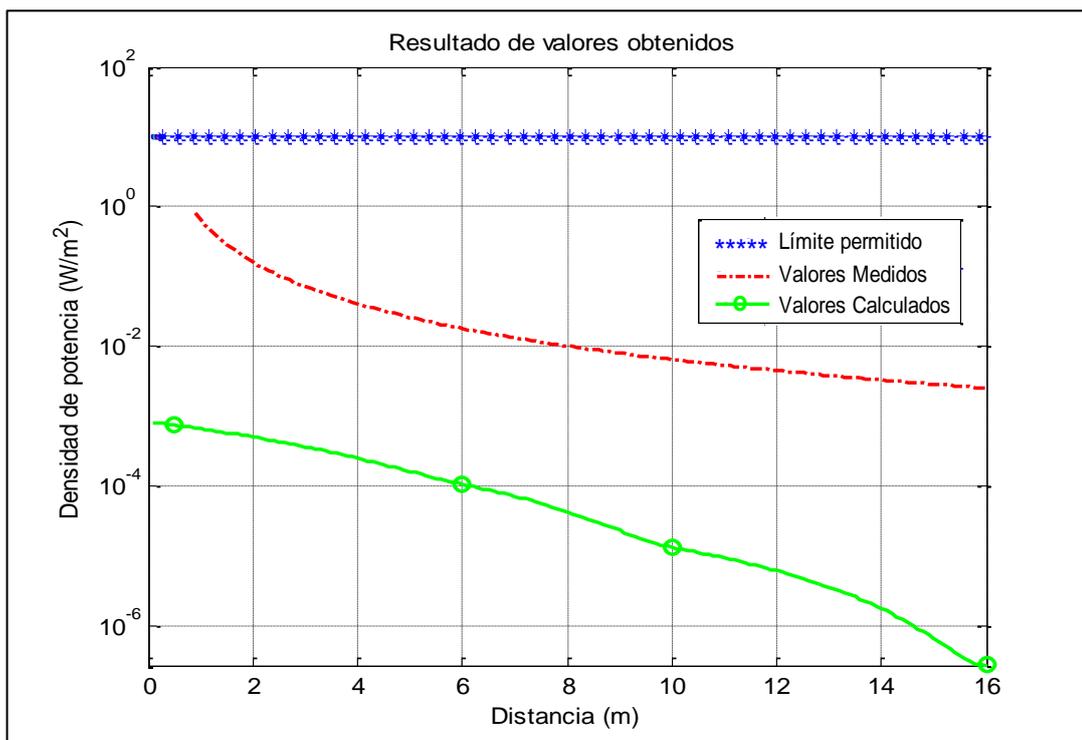


Figura 3.4 Comparación de los valores obtenidos entre: límite permitido, valores medidos y valores calculados.

Fuente: Diseño de los autores.

Se determina los siguientes resultados:

– **Valores medidos vs. límites permitidos**

La densidad de potencia es 13200 veces menor al límite establecido en el reglamento además los valores medidos son inferiores al método predictivo.

– **Valores calculados vs. límites permitidos**

El valor máximo obtenido en el método predictivo es 12 veces menor al límite establecido en el reglamento para la exposición ocupacional.

– **Valores calculados vs. valores medidos**

Realizando una comparación de los resultados entre el método predictivo y las mediciones efectuadas al AP, se observa que no son similares a causa de que en los cálculos teóricos de **S** para el campo cercano pueden arrojar valores excesivamente conservadores, sin embargo, nos permiten determinar el cumplimiento de los límites de exposición a los campos electromagnéticos.

La Ecuación 2.9 utilizada para determinar la densidad con respecto a la distancia está en función de algunos factores que se han asumido idealmente, como por ejemplo la variable F (atenuación en veces para la radiación a un cierto ángulo de incidencia en el plano vertical) con el valor de 1 para el peor de los casos, así como el valor de reflexión empírico de 2.56.

Referente a la gráfica de los valores medidos, existe una diferencia promedio entre cada punto de 5.2m. En general, ambos procedimientos no representan ningún valor fuera del rango permitido ni existe alguna aproximación.

CONCLUSIONES

- De acuerdo al método predictivo y a las mediciones planteadas no existe ningún equipo activo que supere los límites permitidos ($10\text{W}/\text{m}^2$).
- Según el método predictivo realizado al Access Point del edificio Virginia Riofrío, se obtiene una densidad de potencia de $0.652\text{W}/\text{m}^2$ correspondiente a 12 veces inferior a la norma.
- De los 66 Access Point implementados en la UTPL, se tiene un total de 37 APs medidos establecidos tomando en cuenta los sectores de mayor concentración de personas, la cercanía a ellas y el tiempo de exposición.
- Por motivo de accesibilidad las mediciones se realizan a una distancia mayor de 20cm del sistema radiante.
- El Access Point para exteriores con mayor densidad registrado corresponde al del edificio Virginia Riofrío, con un valor de $0.7\text{mW}/\text{m}^2$, representando un valor de 13200 veces inferior al límite permitido.
- El Access Point para interiores con mayor densidad registrado se encuentra ubicado en el edificio 7 con un valor de $0.21\text{W}/\text{m}^2$ siendo 40 veces inferior al límite; esto se debe a que la medición fue realizada con el equipo de banda ancha.
- En el laboratorio de telecomunicaciones con el equipo USRP transmitiendo en frecuencia modulada el nivel de densidad de potencia es $5\text{W}/\text{m}^2$, a una distancia inferior a la recomendada, representando ser 2 veces inferior al valor permitido.
- En el centro de datos de la UTPL, se registró los valores más bajos entre las mediciones realizadas, siendo 22000 veces inferior a $10\text{W}/\text{m}^2$ a una distancia promedio de 1m con respecto a los sistemas radiantes.
- En el edificio 7 con un total de 21 fuentes radiantes activas, no se registró ningún valor de densidad de potencia que supere la unidad. La medición se realizó con el equipo de banda ancha apropiado para inmisiones.

- Utilizando el análisis espectral del equipo de banda angosta en la medición del USRP transmitiendo en FM a la frecuencia de 100 MHz, se encontraron armónicos superiores a ésta, requiriendo la implementación de alguna técnica para corregir este efecto.
- En el método predictivo los valores en campo cercano son excesivamente conservadores, estableciendo una diferencia de 870 veces superior con respecto a los resultados de las mediciones.

RECOMENDACIONES

- Determinar el número de equipos a medir y registrar la ubicación exacta de los mismos.
- Asegurarse que los equipos a utilizar en las mediciones estén dentro del periodo de calibración.
- Es recomendable realizar las mediciones en horas en las que existan la menor cantidad de personas cercanas al punto de medición.
- Se aconseja que los dispositivos móviles estén inactivos en las regiones cercanas al punto de medición.
- Se sugiere que los equipos USRP's cuenten con un filtrado para atenuar los armónicos producidos durante la transmisión.
- Se recomienda que el número de puntos a medir con respecto a cada sistema radiante debe ser mínimo tres, efectuados a distintas distancias.
- En el edificio central, para disminuir el impacto visual de los Access Point y sus arreglos de antenas se recomienda reubicarlos estratégicamente en lugares no visibles.
- Como trabajo futuro se puede recomendar la medición de Radiaciones No Ionizantes a los equipos AP externos Cisco, para descartar cualquier indicio de un nivel alto de RNI.
- Otro posible trabajo futuro es realizar un análisis predictivo sobre RNI a sistemas radiantes que sobrepase un valor de PIRE de 2W, determinándose si está sujeto a medición con los equipos necesarios.

REFERENCIAS

- [1] Organización Mundial de la Salud, “Radiaciones ionizantes: efectos en la salud y medidas de protección”, [en línea], disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs371/es/> [Consulta de 13 de octubre de 2013]
- [2] Organización Mundial de la Salud, “Campos electromagnéticos y salud pública: teléfonos móviles”, [en línea], disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs193/es/> [Consulta de 15 de octubre de 2013]
- [3] Comité Internacional sobre Protección de las Radiaciones No Ionizantes, “Recomendaciones para limitar la exposición a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos (hasta 300GHz)”, [en línea], disponible en: <http://www.icnirp.de/documents/emfgdlesp.pdf> [Consulta de 15 de noviembre del 2013]
- [4] M. Solano y J. Sáiz, “Conceptos básicos del electromagnetismo”, *Estudios experimentales acerca de los CEM*, [en Línea], disponible en: http://ocw.unican.es/enseñanzas-tecnicas/contaminacion-electromagnetica-medioambiental/material-de-clase-2/apuntes_4.pdf [Consulta del 08-09-2014].
- [5] Organización Mundial de la Salud, “Proyecto de CEM”, [en Línea], disponible en: http://www.who.int/peh-emf/project/EMF_Project/es/index4.html [Consulta del 08-09-2014].
- [6] P. Galache, P. Árias, J. García y F. Marqués, *Campos electromagnético: Telefonía Móvil y salud pública*, 2da. Edición, Abril 2013, [en Línea], disponible en: <http://www.madrid.org/cs/Satellite?blobcol=urldata&blobheader=application%2Fpdf&blobheadername1=Content-disposition&blobheadername2=cadena&blobheadervalue1=filename%3DCampos+electromagn%C3%A9ticos+I.+2%C2%AA+edici%C3%B3n+Telefon%C3%ADa+m%C3%B3vil+y+salud+p%C3%ABlica.pdf&blobheadervalue2=language%3Des%26site%3DPortalSalud&blobkey=id&blobtable=MungoBlobs&blobwhere=1352816434774&ssbinary=true> [Consulta del 08-02-2014]
- [7] M. Repacholi, E. Deventer y P. Ravazzani, *Estaciones Base y Redes Inalámbricas: Exposiciones y consecuencias para la salud*, [en Línea], disponible en: http://whqlibdoc.who.int/publications/2007/9789241595612_eng.pdf [Consulta de 15 de noviembre del 2013]

- [8] Comité Europeo de Normalización Electrotécnica CENELEC, [en Línea], disponible en: <http://www.cenelec.eu/aboutcenelec/whoweare/> [Consulta del 08-02-2014].
- [9] Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT, [en Línea], disponible en: <http://www.itu.int/es/about/Pages/whatwedo.aspx> [Consulta del 08-02-2014].
- [10] RESOLUCION 01-01-CONATEL-2005, Reglamento de protección de emisiones de Radiación No Ionizante generadas por uso de frecuencias del espectro radioeléctrico, [en línea], disponible en: http://www.supertel.gob.ec/pdf/emisiones_noionizantes/reglamento_rni.pdf [Consulta del 10-02-2014].
- [11] SUPERTEL, “Cobertura y calidad de servicios”, *Radiaciones No Ionizantes y la salud*, Revista Institucional N° 12, Noviembre 2011, [en línea], disponible en: http://www.supertel.gob.ec/pdf/publicaciones/cobertura_calidad_servicios_nov2011.pdf [Consulta del 10-02-2014].
- [12] SUPERTEL, “Homologación de equipos de telecomunicaciones y emisiones radioeléctricas en el país”, *Homologación de equipos de telecomunicaciones*, Revista Institucional N° 20, Noviembre 2014, [en línea], disponible en: http://www.supertel.gob.ec/pdf/publicaciones/cobertura_calidad_servicios_nov2011.pdf [Consulta del 10-02-2014].
- [13] Basic standard to demonstrate the compliance of fixed equipment for radio transmission (110MHz - 40 GHz) intended for use in wireless telecommunication networks with the basic restrictions or the reference levels related to general public exposure to radio, CENELEC EN 50400, 2006, [en línea], disponible en: <http://www.doc88.com/p-375880174910.html> [Consulta del 08-02-2014].
- [14] Basic standard for the calculation and measurement of electromagnetic field strength and SAR related to human exposure from radio base stations and fixed terminal stations for wireless telecommunications system (110 MHz - 40 GHz), CENELEC EN 50400, 2006, [en línea], disponible en: <http://www.doc88.com/p-272403387021.html> [Consulta del 08-02-2014].
- [15] Orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos, Recomendación UIT-T K.52, Diciembre 2004, [en Línea], disponible en: https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=s&id=T-REC-K.52-200412-I!!PDF-S&type=items [Consulta del 08-02-2014].
- [16] Directrices sobre la medición y la predicción numérica de los campos electromagnéticos para comprobar que las instalaciones de telecomunicaciones cumplen los límites de exposición de las personas, Recomendación UIT-T K.61, Septiembre 2003, [en Línea], disponible en:

- https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=s&id=T-REC-K.61-200309-S!!PDF-S&type=item [Consulta del 08-02-2014].
- [17] Electric and Magnetic Field Measurement, "Equipo Narda Field Analyzers FA 200/300", [en Línea], disponible en: http://www.duncaninstr.com/pdfs/efa-200_datasheet.pdf [Consulta del 08-02-2014].
- [18] Electric and Magnetic Field Measurement, "Equipo Narda Electric Field and Magnetic Flux Density Analyzer EHP-50C", [en Línea], disponible en: http://www.atecorp.com/ATECorp/media/pdfs/data-sheets/Narda-EHP-50C_Datasheet.pdf [Consulta del 08-02-2014].
- [19] Electric and Magnetic Field Measurement, "Equipo Narda Exposure Level Tester ELT400", [en Línea], disponible en: http://www.narda-sts.us/pdf_files/DataSheets/ELT400_DataSheet.pdf [Consulta del 08-02-2014].
- [20] Electric and Magnetic Field Measurement, "SRM 3000 Selective Radiation Meter", *Modos de operación del SRM 3000*, [en Línea], disponible en: <http://www.rf-safety.com/pdfs/SRM3000.pdf> [Consulta del 10-02-2014].
- [21] Electric and Magnetic Field Measurement, "Equipo Narda Broadband Field Meter NBM 550", [en Línea], disponible en: http://www.narda-sts.us/pdf_files/DataSheets/NBM550_DataSheet.pdf [Consulta del 08-02-2014].
- [22] Ruckus Wireless, "Características técnicas del Access Point Ruckus ZoneFlex 7762", [en Línea], disponible en: <http://a030f85c1e25003d7609-b98377aee968aad08453374eb1df3398.r40.cf2.rackcdn.com/datasheets/ds-zoneflex-7762-series-es.pdf> [Consulta del 07-08-2014].
- [23] Ruckus Wireless, "Características técnicas del Access Point Ruckus ZoneFlex 7300", [en Línea], disponible en: <http://c541678.r78.cf2.rackcdn.com/datasheets/ds-zoneflex-7300-series-es.pdf> [Consulta del 07-08-2014].
- [24] Ettus Research a National Instruments Company, "Características técnicas USRP Networked N200/N210", [en Línea], disponible en: https://www.ettus.com/content/files/07495_Ettus_N200-210_DS_Flyer_HR_1.pdf [Consulta del 07-08-2014].
- [25] L.Castro y A. Jaramillo, "Métodos de diseño y cobertura para redes wifi indoor y outdoor, caso UTPL", Trabajo de fin de titulación, Universidad Técnica Particular de Loja, Loja 2013, [en Línea], disponible en: http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/6311/1/TESIS_LESLYE_CASTRO_A_NDREA_JARAMILLO.pdf [Consulta del 08-08-2014].

ANEXOS



FORMULARIO PARA EL INFORME TÉCNICO DE INSPECCIÓN DE EMISIONES DE RNI.

RNI-I1-2

COD. SUPTEL

Fecha: 30-05-2014

7) DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN UTILIZADOS:

RANGOS DE FRECUENCIAS : 27 MHz a 3 GHz

EQUIPOS DE MEDICION :

FABRICANTE (MARCA)	TIPO	NUMERO DE SERIE	FECHA DE CALIBRACION
NARDA	SRM 3000	G-0015	02-03-2012

8) INFORME TÉCNICO DE LAS MEDICIONES REALIZADAS :

FECHA DE MEDICION :	HORA DE INICIO :	HORA DE FINALIZACION :	OBSERVACIONES
30-05-2014	09:00 AM	11:00 AM	-

9) CROQUIS DE LA INSTALACIÓN CON LA UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MEDICION :





FORMULARIO PARA EL INFORME TÉCNICO DE INSPECCIÓN DE EMISIONES DE RNI.

RNI-11-3

COD. SUPTEL

Fecha: 30-05-2014

EMISION:			
UBICACIÓN DEL PUNTO DE MEDICION	LATITUD (°) (') (") (S o N)	LONGITUD (°) (') (") (N o O)	Altura de la medición d (m)
Pto. 1	3°59'13.1" S	79°11'56.3" O	0.5
Pto. 2	3°59'14.1" S	79°11'56.7" O	6
Pto. 3	3°59'13.2" S	79°11'56.1" O	10
Pto. 4	3°59'13.8" S	79°11'54.7" O	16
Pto. 5			
Pto. 6			
Pto. 7			
Pto. 8			
Pto. 9			
Pto. 10			
Pto. 11			
Pto. 12			
INMISION:			
UBICACIÓN DEL PUNTO DE MEDICION	LATITUD (°) (') (") (S o N)	LONGITUD (°) (') (") (E o W)	Altura de la medición d (m)
Pto. 1			
Pto. 2			
Pto. 3			
Pto. 4			
Pto. 5			
Pto. 6			
Pto. 7			
Pto. 8			
Pto. 9			
Pto. 10			
Pto. 11			
Pto. 12			



FORMULARIO PARA EL INFORME TÉCNICO DE INSPECCIÓN DE EMISIONES DE RNI.

RNH1-4

COD. SUPTEL

Fecha:30-05-2014

10) TABLA DE VALORES MEDIDOS PARA LA EMISION:

UBICACIÓN DEL PUNTO DE MEDICION	FRECUENCIAS DE OPERACIÓN (MHz)		CAMPO ELECTRICO E (V/m)	CAMPO MAGNETICO H (A/m)	DENSIDAD DE POTENCIA S (W/m ²)	OBSERVACIONES
	FRECUENCIA MAXIMA	FRECUENCIA MINIMA				
Pto. 1	2463	2441	0.535	1.42E-03	0.75E-03	
Pto. 2	2463	2441	0.204	540.8E-06	0.11E-03	
Pto. 3	2463	2441	0.071	0.19	0.013E-03	
Pto. 4	2463	2441	0.106	0.29E-03	0.029E-03	
Pto. 5						
Pto. 6						
Pto. 7						
Pto. 8						
Pto. 9						
Pto. 10						
Pto. 11						
Pto. 12						

11) TABLA DE VALORES MEDIDOS PARA LA INMISION:

UBICACIÓN DEL PUNTO DE MEDICION	FRECUENCIAS DE OPERACIÓN (MHz)		CAMPO ELECTRICO E (V/m)	CAMPO MAGNETICO H (A/m)	CAMPO ELECTRICO LIMITE Ei (V/m)	CAMPO MAGNETICO LIMITE Hi (A/m)	OBSERVACIONES
	FRECUENCIA MAXIMA	FRECUENCIA MINIMA					
Pto. 1							
Pto. 2							
Pto. 3							
Pto. 4							
Pto. 5							
Pto. 6							
Pto. 7							
Pto. 8							
Pto. 9							
Pto. 10							
Pto. 11							
Pto. 12							



FORMULARIO PARA EL INFORME TÉCNICO DE INSPECCIÓN DE EMISIONES DE RNI.

RNI-I1-5

COD. SUPTEL

Fecha:30-05-2014

12) CONCLUSIONES :

Se superan los límites de exposición por estación Radioeléctrica fija	SI		NO	X	
El nivel de exposición porcentual es inferior a la unidad	SI	X	NO		
Es necesario delimitar las zonas que superan los límites de emisiones de RNI	SI		NO	X	

13) CERTIFICACION DEL PROFESIONAL TECNICO (RESPONSABLE TECNICO DE LA SUPTEL)

1. Certifico que el presente Informe técnico de Inspección de RNI fue elaborado por el suscrito y asumo la responsabilidad técnica respectiva.

APELLIDO PATERNO:	APELLIDO MATERNO:	NOMBRES:	LIC. PROF.:
e-mail:	CASILLA:	TELEFONO / FAX:	
DIRECCION:	FECHA:	FIRMA	

14) CERTIFICACION DE LA PERSONA NATURAL, REPRESENTANTE LEGAL O PERSONA DEBIDAMENTE AUTORIZADA

1. Certifico que el presente Informe técnico de Inspección de RNI fue elaborado acorde los procedimientos establecidos en el Reglamento General de Protección de Emisiones de RNI generadas por uso de frecuencias del Espectro Radioeléctrico.
2. Me comprometo a delimitar las zonas que superan los límites de emisiones de RNI, si así lo determina la SUPTEL.

NOMBRE:	FECHA:	FIRMA
---------	--------	-------

15) APROBACIÓN DEL INFORME TECNICO DE INSPECCION DE EMISIONES DE RNI.

1. La aprobación del presente informe técnico de Inspección de Emisiones de RNI, es el único documento que garantiza el cumplimiento, por parte del concesionario, de las normas contenidas en el Reglamento de Protección de Emisiones de Radiación No Ionizante Generadas por Uso del Espectro Radioeléctrico.

APROBADO	NO APROBADO	FIRMA (Responsable Técnico de la SUPTEL)
----------	-------------	------------------------------------------

ANEXO 2. Formulario para presentar el informe técnico de inspección de emisiones RNI.

	FORMULARIO PARA EL INFORME TÉCNICO DE INSPECCIÓN DE EMISIONES DE RNI.			RNI-I1-1
				COD. SUPTEL
1) USUARIO :				
NOMBRE DE LA EMPRESA:	Universidad Técnica Particular de Loja			
DIRECCIÓN :	San Cayetano Alto			
2) UBICACION DEL SITIO :				
PROVINCIA :	CIUDAD / CANTON :	LOCALIDAD :	LATITUD (°) (') (")	LONGITUD (°) (') (")
Loja	Loja	Universidad Técnica Particular de Loja	3°59'20.47"S	79°11'56.89"O
3) DESCRIPCION GENERAL Y CONDICIONES PARTICULARES :				
En el presente informe se presenta los resultados obtenidos de las mediciones de radiaciones no ionizantes con el equipo Narda SRM 3000, las que fueron realizadas en la banda ISM (Industrial, Scientific and Medical) en la frecuencia de 2.4GHz del Access Point del Edificio 7, Aula 732 que brinda servicio de Internet. Este AP se encuentra en el interior del edificio debido a las características del GPS del equipo no se pueden obtener las coordenadas.				
4) PERSONAS PRESENTES DURANTE LA MEDICION :				
NOMBRES	APELLIDOS		CARGO	
María José	Araujo Morocho		Profesional en formación	
Diana Inés	Castillo Manchay		Profesional en formación	
César Fernando	Iñiguez Pineda		Intendente Regional Sur	
5) CALCULO DEL PIRE :				
POTENCIA MAXIMA DEL EQUIPO (W)	GANACIA MAXIMA DE LA ANTENA		VALOR DE PIRE (W)	
400mW	6dBi		800mW (datasheet)	
6) ESTACION(ES) DE TX/RX VISIBLE(S) ALREDEDOR DEL SITIO DE MEDICION :				
DISTANCIA	TV / RADIO	TELEFONIA MOVIL	OTROS	
INFERIOR A 50 m			X	
DE 50 A 100 m				
DE 100 A 200 m				
DE 200 A 1000m				
Adjuntar fotos que permitan una vista panorámica del entorno de la(s) antena(s). (con fecha)				



FORMULARIO PARA EL INFORME TÉCNICO DE INSPECCIÓN DE EMISIONES DE RNI.

RNI-I1-2

COD. SUPTEL

Fecha: 02-06-2014

7) DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN UTILIZADOS:

RANGOS DE FRECUENCIAS : 27 MHz a 3 GHz

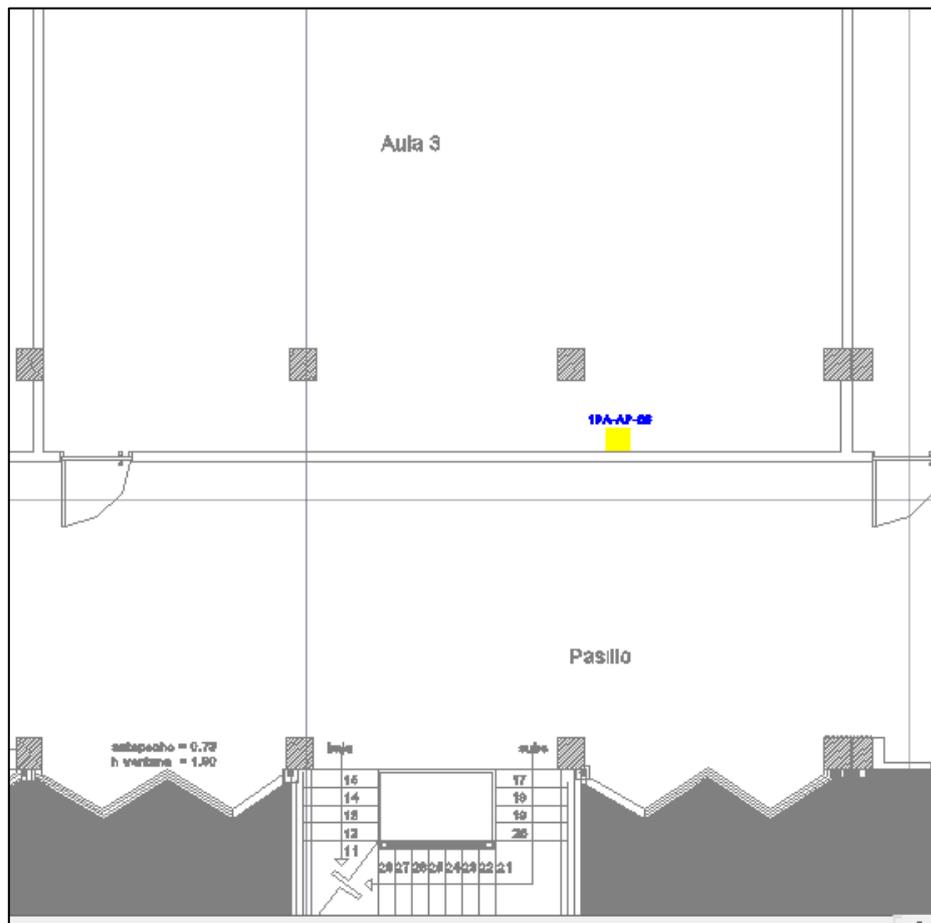
EQUIPOS DE MEDICIÓN :

FABRICANTE (MARCA)	TIPO	NUMERO DE SERIE	FECHA DE CALIBRACION
NARDA	SRM 3000	G-0015	02-03-2012

8) INFORME TÉCNICO DE LAS MEDICIONES REALIZADAS :

FECHA DE MEDICION :	HORA DE INICIO :	HORA DE FINALIZACION :	OBSERVACIONES
02-06-2014	09:00 AM	12:00 AM	-

9) CROQUIS DE LA INSTALACIÓN CON LA UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MEDICION :





FORMULARIO PARA EL INFORME TÉCNICO DE INSPECCIÓN DE EMISIONES DE RNI.

RNI-11-3

COD. SUPTEL

Fecha: 02-06-2014

EMISION:

UBICACIÓN DEL PUNTO DE MEDICION	LATITUD (°) (') (") (S o N)	LONGITUD (°) (') (") (N o o)	Altura de la medición d (m)
Pto. 1	-	-	0.5
Pto. 2	-	-	1.5
Pto. 3	-	-	2.5
Pto. 4			
Pto. 5			
Pto. 6			
Pto. 7			
Pto. 8			
Pto. 9			
Pto. 10			
Pto. 11			
Pto. 12			

INMISION:

UBICACIÓN DEL PUNTO DE MEDICION	LATITUD (°) (') (") (S o N)	LONGITUD (°) (') (") (E o W)	Altura de la medición d (m)
Pto. 1			
Pto. 2			
Pto. 3			
Pto. 4			
Pto. 5			
Pto. 6			
Pto. 7			
Pto. 8			
Pto. 9			
Pto. 10			
Pto. 11			
Pto. 12			



FORMULARIO PARA EL INFORME TÉCNICO DE INSPECCIÓN DE EMISIONES DE RNI.

RNH1-4

COD. SUPTEL

Fecha:02-06-2014

10) TABLA DE VALORES MEDIDOS PARA LA EMISION:

UBICACIÓN DEL PUNTO DE MEDICION	FRECUENCIAS DE OPERACIÓN (MHz)		CAMPO ELECTRICO E (V/m)	CAMPO MAGNETICO H (A/m)	DENSIDAD DE POTENCIA S (W/m ²)	OBSERVACIONES
	FRECUENCIA MAXIMA	FRECUENCIA MINIMA				
Pto. 1	2473	2451	1.77	4.72E-03	8.38E-03	
Pto. 2	2473	2451	0.281	0.75E-03	0.2E-03	
Pto. 3	2473	2451	0.25	0.67E-03	0.16E-09	
Pto. 4	2473	2451	1.77	4.72E-03	8.38E-03	
Pto. 5						
Pto. 6						
Pto. 7						
Pto. 8						
Pto. 9						
Pto. 10						
Pto. 11						
Pto. 12						

11) TABLA DE VALORES MEDIDOS PARA LA INMISION:

UBICACIÓN DEL PUNTO DE MEDICION	FRECUENCIAS DE OPERACIÓN (MHz)		CAMPO ELECTRICO E (V/m)	CAMPO MAGNETICO H (A/m)	CAMPO ELECTRICO LIMITE E _l (V/m)	CAMPO MAGNETICO LIMITE H _l (A/m)	OBSERVACIONES
	FRECUENCIA MAXIMA	FRECUENCIA MINIMA					
Pto. 1							
Pto. 2							
Pto. 3							
Pto. 4							
Pto. 5							
Pto. 6							
Pto. 7							
Pto. 8							
Pto. 9							
Pto. 10							
Pto. 11							
Pto. 12							



FORMULARIO PARA EL INFORME TÉCNICO DE INSPECCIÓN DE EMISIONES DE RNI.

RNI-I1-5

COD. SUPTEL

Fecha:02-06-2014

12) CONCLUSIONES :

Se superan los límites de exposición por estación Radioeléctrica fija	SI		NO	X	
El nivel de exposición porcentual es inferior a la unidad	SI	X	NO		
Es necesario delimitar las zonas que superan los límites de emisiones de RNI	SI		NO	X	

13) CERTIFICACION DEL PROFESIONAL TECNICO (RESPONSABLE TECNICO DE LA SUPTEL)

1. Certifico que el presente Informe técnico de Inspección de RNI fue elaborado por el suscrito y asumo la responsabilidad técnica respectiva.

APELLIDO PATERNO:	APELLIDO MATERNO:	NOMBRES:	LIC. PROF.:
e-mail:	CASILLA:	TELEFONO / FAX:	
DIRECCION:	FECHA:	FIRMA	

14) CERTIFICACION DE LA PERSONA NATURAL, REPRESENTANTE LEGAL O PERSONA DEBIDAMENTE AUTORIZADA

1. Certifico que el presente Informe técnico de Inspección de RNI fue elaborado acorde los procedimientos establecidos en el Reglamento General de Protección de Emisiones de RNI generadas por uso de frecuencias del Espectro Radioeléctrico.
2. Me comprometo a delimitar las zonas que superan los límites de emisiones de RNI, si así lo determina la SUPTEL.

NOMBRE:	FECHA:	FIRMA
---------	--------	-------

15) APROBACIÓN DEL INFORME TECNICO DE INSPECCION DE EMISIONES DE RNI.

1. La aprobación del presente informe técnico de Inspección de Emisiones de RNI, es el único documento que garantiza el cumplimiento, por parte del concesionario, de las normas contenidas en el Reglamento de Protección de Emisiones de Radiación No Ionizante Generadas por Uso del Espectro Radioeléctrico.

APROBADO	NO APROBADO	FIRMA (Responsable Técnico de la SUPTEL)
----------	-------------	------------------------------------------

ANEXO 3. Resultado de las mediciones realizadas con el equipo NARDA NBM 550

Tabla 1. Resultado APs Externos.

EDIFICIO	AP	CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO		MEDICIONES			DISTANCIA (m) con respecto al equipo	Valor medido vs. valor permitido (# veces)
				Campo eléctrico E (V/m):	Campo magnético H (A/m):	Densidad de potencia S (W/m ²):		
CENTRAL	OSKAR JANDL	Características	Access Point RUCKUS ZoneFlex 7762 con antena interna. Trabaja con IEEE 802.11a/b/g/n. Con un potencia de RF de 28dBm (2.4GHz) y 26dBm (5GHz).	0.34	0.012	0.04	0.5	250
		Mac	c4:01:7c:29:15:30					
		Ubicación	Segunda planta alta edificio Oskar Jandl.					
	VIRGINIA RIOFRIO 2	Características	Access Point RUCKUS ZoneFlex 7762 con antena interna. Trabaja con IEEE 802.11a/b/g/n. Con un potencia de RF de 28dBm (2.4GHz) y 26dBm (5GHz).	1.36	0.012	0.011	0.5	909
		Mac	54:3d:37:28:fd:d0					
		Ubicación	Segunda planta alta edificio Virginia Riofrío.					

	ADMINIS- TRACIÓN CENTRAL	Características	Access Point RUCKUS ZoneFlex 7762 con antena interna. Trabaja con IEEE 802.11a/b/g/n. Con un potencia de RF de 28dBm (2.4GHz) y 26dBm (5GHz).	0.35	0.0009	0.0003	4.5	33300
		Mac	c4:01:7c:29:14:e0					
		Ubicación	Segunda planta alta edificio central.					

Fuente: De los autores.

Tabla 2. Resultado APs edificio central.

EDIFICIO	AP	CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO		MEDICIONES			DISTANCIA (m) con respecto al equipo	Valor medido vs. valor permitido (# veces)
				Campo eléctrico E (V/m):	Campo magnético H (A/m):	Densidad de potencia S (W/m ²):		
CENTRAL	Dirección CITTES	Características	Access Point modelo CISCO 1260 AIR-LAP1262N A-K9 con dos antenas. Trabaja con IEEE 802.11 a/b/g/n. Con una potencia de transmisión máxima de 23dBm (2.4GHz) y 20dBm (5GHz).	1.23	3.30E-03	4.00E-03	0.5	2500
		Mac	2c:3f:38:5a:24:f0					
		Ubicación	Dirección de CITTES.					

CENTRAL	Guberna_ tivo 1	Características	Access Point modelo CISCO 1260 AIR-LAP1262N A-K9 con dos antenas. Trabaja con IEEE 802.11 a/b/g/n. Con una potencia de transmisión máxima de 23dBm (2.4GHz) y 20dBm (5GHz).	1.81	4.80E-03	8.70E-03	0.5	1100
		Mac	2c:3f:38:31:ec:90					
		Ubicación	Por el pasillo antes de llegar al rectorado.					
	Guberna_ tivo 2	Características	Access Point modelo CISCO 1260 AIR-LAP1262N A-K9 con dos antenas. Trabaja con IEEE 802.11 a/b/g/n. Con una potencia de transmisión máxima de 23dBm (2.4GHz) y 20dBm (5GHz).	1.09	2.90E-03	3.10E-03	1	3200
		Mac	00:24:c4:3a:1a:f0					
		Ubicación	Dirección General Académica.					

CENTRAL	Departamento financiero	CARACTERÍSTICAS	Access Point modelo CISCO 1260 AIR-LAP1262N A-K9 con dos antenas. Trabaja con IEEE 802.11 a/b/g/n. Con una potencia de transmisión máxima de 23dBm (2.4GHz) y 20dBm (5GHz).	0.59	1.60E-03	9.00E-04	2	11100
		MAC	2c:3f:38:5a:1f:c0					
		UBICACIÓN	Departamento financiero.					

Fuente: De los autores.

Tabla 3. Resultado APs centro de convenciones.

EDIFICIO	AP	CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO		MEDICIONES			DISTANCIA (m) con respecto al equipo	Valor medido vs. valor permitido (# veces)
				Campo eléctrico E (V/m):	Campo magnético H (A/m):	Densidad de potencia S (W/m ²):		
CENTRO DE CONVEN-CIONES	Conven-ciones 2	Características	Access Point modelo CISCO AIRONET 1200 AIR-LAP1232AG-A-K9 con antena externa. Trabaja con IEEE 802.11 a/b/g. Con una potencia de transmisión máxima de 20dBm (2.4GHz) y 17dBm (5GHz).	0.21	6.00E-04	1.00E-04	2	100000
		Mac	00:18:ba:89:e7:90					
		Ubicación	Centro de Convenciones.					
	Conven-ciones 3	Características	Access Point modelo CISCO AIRONET 1200 AIR-LAP1232AG-A-K9 con antena externa. Trabaja con IEEE 802.11 a/b/g. Con una potencia de transmisión máxima de 20dBm (2.4GHz) y 17dBm (5GHz).	0.22	6.00E-04	1.00E-04	2	100000
		Mac	00:1c:b1:06:52:d0					
		Ubicación	Centro de Convenciones.					

Fuente: De los autores.

Tabla 4. Resultado APs de la UGTI.

EDIFICIO	AP	CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO		MEDICIONES			DISTANCIA (m) con respecto al equipo	Valor medido vs. valor permitido (# veces)
				Campo eléctrico E (V/m):	Campo magnético H (A/m):	Densidad de potencia S (W/m ²):		
UGTI	Infraestructura	Características	Access Point modelo CISCO 1260 AIR-LAP1262N A-K9 con dos antenas. Trabaja con IEEE 802.11 a/b/g/n. Con una potencia de transmisión máxima de 23dBm (2.4GHz) y 20dBm (5GHz).	0.37	1.00E-03	4.00E-03	2.5	2500
		Mac	2c:3f:38:5a:14:d0					
		Ubicación	Sección de Telecomunicaciones.					
	Soporte Técnico	Características	Access Point modelo CISCO 1260 AIR-LAP1262N A-K9 con dos antenas. Trabaja con IEEE 802.11 a/b/g/n. Con una potencia de transmisión máxima de 23dBm (2.4GHz) y 20dBm (5GHz).	0.69	1.80E-03	1.30E-03	2.5	7600
		Mac	2c:3f:38:31:53:20					
		Ubicación	Soporte técnico.					

Fuente: De los autores.

Tabla 5. Resultado APs del edificio 7.

EDIFICIO	AP	CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO		MEDICIONES			DISTANCIA (m) con respecto al equipo	Valor medido vs. valor permitido (# veces)
				Campo eléctrico E (V/m):	Campo magnético H (A/m):	Densidad de potencia S (W/m ²):		
EDIFICIO 7	AP_Edif7_PB-01	Características	Access Point RUCKUS ZoneFlex 7363 con antena interna. Trabaja con IEEE 802.11 a/b/g/n. Con una potencia de RF de 26dBm (2.4GHz) y 24dBm (5GHz).	3.7	0.098	0.0364	0.5	270
		Mac	2c:e6:cc:31:a1:d0					
		Ubicación	Planta baja del edificio 7.					
	AP_Edif7_PB-04	Características	Access Point RUCKUS ZoneFlex 7363 con antena interna. Trabaja con IEEE 802.11 a/b/g/n. Con una potencia de RF de 26dBm (2.4GHz) y 24dBm (5GHz).	0.74	0.02	0.014	0.5	700
		Mac	2c:e6:cc:31:a3:d0					
		Ubicación	Planta baja del edificio 7.					

EDIFICIO 7	AP_Edif7_ 1P-06	Características	Access Point RUCKUS ZoneFlex 7363 con antena interna. Trabaja con IEEE 802.11 a/b/g/n. Con una potencia de RF de 26dBm (2.4GHz) y 24dBm (5GHz).	8.94	2.37E-02	2.12E-01	0.5	40
		Mac	2c:e6:cc:31:a3:20					
		Ubicación	Aula 723					
	AP_Edif7_ 1P-09	Características	Access Point RUCKUS ZoneFlex 7363 con antena interna. Trabaja con IEEE 802.11 a/b/g/n. Con una potencia de RF de 26dBm (2.4GHz) y 24dBm (5GHz).	3.42	9.10E-03	3.09E-02	0.5	300
		Mac	2c:e6:cc:31:a2:70					
		Ubicación	Aula 724					
	AP_Edif7_ 1P-12	Características	Access Point RUCKUS ZoneFlex 7363 con antena interna. Trabaja con IEEE 802.11 a/b/g/n. Con una potencia de RF de 26dBm (2.4GHz) y 24dBm (5GHz).	3.64	9.60E-03	3.51E-02	0.5	250
		Mac	2c:e6:cc:31:a5:20					
		Ubicación	Aula 725					

EDIFICIO 7	AP_Edif7_ 1P-14	Características	Access Point RUCKUS ZoneFlex 7363 con antena interna. Trabaja con IEEE 802.11 a/b/g/n. Con una potencia de RF de 26dBm (2.4GHz) y 24dBm (5GHz).	5.49	1.46E-02	8.01E-02	0.5	100
		Mac	2c:e6:cc:31:a5:a0					
		Ubicación	Aula 726					
	AP_Edif7_ 2P-03	Características	Access Point RUCKUS ZoneFlex 7363 con antena interna. Trabaja con IEEE 802.11 a/b/g/n. Con una potencia de RF de 26dBm (2.4GHz) y 24dBm (5GHz).	2.39	6.30E-03	1.52E-02	0.5	650
		Mac	2c:e6:cc:31:8d:80					
		Ubicación	Aula 732					
	AP_Edif7_ 2P-05	Características	Access Point RUCKUS ZoneFlex 7363 con antena interna. Trabaja con IEEE 802.11 a/b/g/n. Con una potencia de RF de 26dBm (2.4GHz) y 24dBm (5GHz).	2.39	7.80E-03	2.28E-02	0.5	400
		Mac	2c:e6:cc:31:a2:e0					
		Ubicación	Aula 733					

EDIFICIO 7	AP_Edif7_ 2P-08	Características	Access Point RUCKUS ZoneFlex 7363 con antena interna. Trabaja con IEEE 802.11 a/b/g/n. Con una potencia de RF de 26dBm (2.4GHz) y 24dBm (5GHz).	2.82	7.50E-03	2.10E-02	0.5	450
		Mac	2c:e6:cc:31:a1:40					
		Ubicación	Aula 734					
	AP_Edif7_ 2P-11	Características	Access Point RUCKUS ZoneFlex 7363 con antena interna. Trabaja con IEEE 802.11 a/b/g/n. Con una potencia de RF de 26dBm (2.4GHz) y 24dBm (5GHz).	2.31	6.10E-03	1.42E-02	0.5	700
		Mac	2c:e6:cc:31:a1:60					
		Ubicación	Aula 735					
	AP_Edif7_ 3P-07	Características	Access Point RUCKUS ZoneFlex 7363 con antena interna. Trabaja con IEEE 802.11 a/b/g/n. Con una potencia de RF de 26dBm (2.4GHz) y 24dBm (5GHz).	3.50E-01	9.00E-04	3.00E-04	2	33300
		Mac	2c:e6:cc:31:a5:30					
		Ubicación	Auditorio 2					

EDIFICIO 7	AP_Edif7_ 3P-15	Características	Access Point RUCKUS ZoneFlex 7363 con antena interna. Trabaja con IEEE 802.11 a/b/g/n. Con una potencia de RF de 26dBm (2.4GHz) y 24dBm (5GHz).	6.00E-01	1.60E-03	1.00E-03	2	10000
		Mac	2c:e6:cc:31:91:50					
		Ubicación	Auditorio 5					
	AP_Edif7_ 3P-16	Características	Access Point RUCKUS ZoneFlex 7363 con antena interna. Trabaja con IEEE 802.11 a/b/g/n. Con una potencia de RF de 26dBm (2.4GHz) y 24dBm (5GHz).	4.20E-01	1.10E-03	5.00E-04	2	20000
		Mac	2c:e6:cc:31:a3:e0					
		Ubicación	Auditorio 5					
	AP_Edif7_ 4P-03	Características	Access Point RUCKUS ZoneFlex 7363 con antena interna. Trabaja con IEEE 802.11 a/b/g/n. Con una potencia de RF de 26dBm (2.4GHz) y 24dBm (5GHz).	3.70E-01	1.00E-03	4.00E-04	2	25000
		Mac	2c:e6:cc:31:a3:30					
		Ubicación	Auditorio VIP					

Fuente: De los autores.

Tabla 6 Resultado de las mediciones en el laboratorio de telecomunicaciones.

EDIFICIO	EQUIPO	CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO		MEDICIONES			DISTANCIA (m) con respecto al equipo	Valor medido vs. valor permitido (# veces)
				Campo eléctrico E (V/m):	Campo magnético H (A/m):	Densidad de potencia S (W/m ²):		
UGTI-Laboratorio	USRP	Características	USRP N210 se encuentra configurado como un transmisor AM, transmitiendo en la frecuencia de 50MHz con una potencia de 100mW. Posee una antena VERT900 con una ganancia de 3dBi	1.51	4.00E-03	6.00E-03	0.2	1600
		Ubicación	Se encuentra ubicado en el edificio UGTI, tercera planta.					
		Características	USRP N210 se encuentra configurado como un transmisor FM, transmitiendo en la frecuencia de 100MHz con una potencia de 100mW. Posee una antena tipo dipolo circular de 3dBi.	9.41	2.50E-02	2.35E-01	<0.2	40
		Ubicación	Se encuentra ubicado en el edificio UGTI, tercera planta.					

UGTI- Labora- torio		Características	USRP N210 se encuentra configurado como un transmisor FM, transmitiendo en la frecuencia de 100MHz con una potencia de 100mW. Posee una antena tipo dipolo circular de 3dBi.	1.05	2.80E-03	2.90E-03	0.6	3400
		Ubicación	Se encuentra ubicado en el edificio UGTI, tercera planta.					
		Características	USRP N210 se encuentra configurado como un transmisor FM, transmitiendo en la frecuencia de 100MHz con una potencia de 100mW. Posee una antena tipo dipolo circular de 3dBi.	1.09	2.90E-03	3.20E-03	2	3100
		Ubicación	Se encuentra ubicado en el edificio UGTI, tercera planta.					

Fuente: De los autores.

Tabla 7. Resultado de las mediciones en el centro de datos.

EQUIPOS			MEDICIONES			DISTANCIA (m) con respecto al equipo	Valor medido vs. valor permitido (# veces)
			Campo eléctrico E (V/m):	Campo magnético H (A/m):	Densidad de potencia S (W/m ²):		
Servidores		Energía y Networking					
4 Racks comunicaciones 8 Racks servidores 2 Racks housing (Level 3)	109 Servidores: 31 investigación y 78 de operación.	2 UPS 3 Racks comunicaciones	2.10	5.60E-03	1.17E-02	1	800

Fuente: De los autores.

ANEXO 4. Fotografías de las mediciones realizadas en el Campus de la UTPL



Figura 1. Medición realizada al AP de Dirección CITTES.



Figura 2. Equipo USRP N 210.



Figura 3. Medición realizada al USRP con la antena dipolo circular.



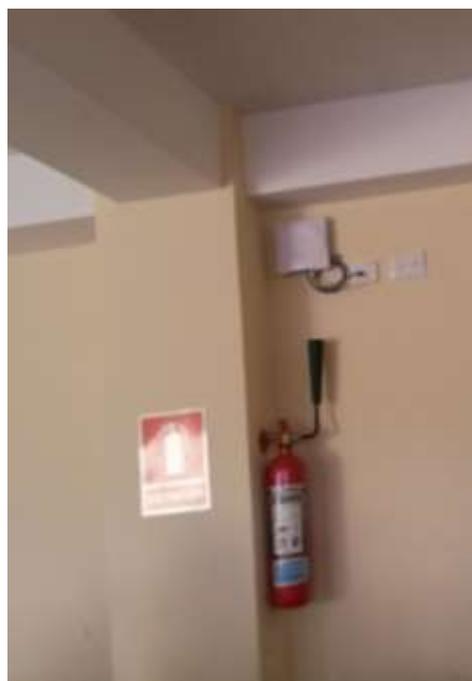
Figura 4. Medición realizada al AP Administración Central.



Figura 5. Medición realizada al AP Departamento Financiero.



a)



b)

Figura 6. a) Access Point Virginia Riofrío 2, b) Access Point Edificio 7 aula 723.

Análisis de las Radiaciones No Ionizantes en el Campus de la UTPL

María Araujo^{#1}, Diana Castillo^{#2}, Marco Morocho^{#3}

^{#1, #2} *Profesionales en formación de la EET, Universidad Técnica Particular de Loja*

^{#3} *Docente Investigador de la EET, Universidad Técnica Particular de Loja*

Loja, Ecuador

^{#1}mjaraujol@utpl.edu.ec

^{#2}dicastillo2@utpl.edu.ec

^{#3}mvmorocho@utpl.edu.ec

Resumen.- El presente trabajo consiste en un análisis de las Radiaciones No Ionizantes en el Campus de la UTPL. Se desarrolla en dos partes, la primera que corresponde al método predictivo especificado en la Recomendación UIT-T K.52 sobre la protección contra las interferencias, el que determina si un dispositivo radiante debe ser medido para ratificar que esté dentro de los límites recomendados con respecto a las RNI. En la segunda parte se realizan un conjunto de mediciones siguiendo el procedimiento especificado en el Reglamento de las RNI utilizado por la SUPERTEL. Finalmente, se analiza y compara los resultados obtenidos del método predictivo como de las mediciones realizadas.

Palabras claves.- Radiaciones No Ionizantes, Campos Electromagnéticos, Densidad de Potencia, SUPERTEL.

I. INTRODUCCIÓN

La Organización Mundial de la Salud (OMS), creó un proyecto de Campos Electromagnéticos (CEM) dedicado a las investigaciones sobre efectos en la salud de cualquier fuente de radiación. Una organización colaboradora El Comité Internacional sobre Protección de las Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP), mediante estudios y publicaciones científicos han determinado los niveles recomendados y máximos de exposición a las Radiaciones No Ionizantes. A nivel de país, la Superintendencia de Telecomunicaciones (SUPERTEL), es el organismo técnico de vigilancia, auditoría, intervención y control de servicios de telecomunicaciones públicos y privados, enfocado en las RNI, supervisa que los sistemas radiantes especialmente de telefonía móvil estén dentro de los límites recomendados.

Enfocados en el nivel de exposición de radiación al que se exponen las personas en el campus de la UTPL, se realizan estudios con el fin de determinar si existen equipos que irradian fuera de lo límites permitidos de RNI, resolviendo si podría existir algún riesgo para la salud.

II. DESCRIPCIÓN Y DESARROLLO DEL MÉTODO PREDICTIVO PARA LAS RNI

Radiación es la propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas subatómicas a través del vacío o de un medio material [1].

Entre estas tenemos a las Radiaciones No Ionizantes (RNI) que no tienen la energía suficiente para ionizar la materia y por lo tanto no pueden afectar el estado natural de los tejidos vivos [1]. Uno de los organismos que proporciona recomendaciones acerca del desarrollo para las mediciones de las RNI es la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT).

A. Recomendación UIT-T K.52.

Esta recomendación brinda una orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos, de la seguridad de las instalaciones de telecomunicación y de los teléfonos móviles u otros dispositivos que emiten radiaciones y que se utilizan muy próximos al cuerpo de las personas; también ofrece un método de cálculo y procedimiento de evaluación de las instalaciones [2].

En las Tablas I y II, se presentan los valores mínimos y los valores de referencia a la exposición de campos electromagnéticos, los mismos que han sido tomados del estudio realizado por la ICNIRP.

TABLA I.
RESTRICCIONES BÁSICAS PARA EXPOSICIONES A CAMPOS ELÉCTRICOS Y MAGNÉTICOS (FRECUENCIAS HASTA 10GHz) [3].

Características de la exposición	Rango de Frecuencias	Densidad de Corriente para cabeza y tronco (mA m^{-2})(rms)	SAR localizado o extremidades (Wkg^{-1})
Exposición ocupacional	Hasta 1Hz	40	-
	1 – 4Hz	40/f	-
	4 Hz – 1KHz	10	-
	1 – 100KHz	f/100	-
	100KHz – 10MHz	f/100	20
	10MHz – 10GHz	-	20
Exposición al público en general	Hasta 1Hz	8	-
	1 – 4Hz	8/f	-
	4Hz – 1KHz	2	-
	1 – 100KHz	f/500	-
	100KHz – 10MHz	f/500	4
	10MHz – 10GHz	-	4

TABLA II.
NIVELES DE REFERENCIA PARA EXPOSICIÓN OCUPACIONAL A CAMPOS ELÉCTRICOS Y MAGNÉTICOS [3].

Rango de Frecuencias (MHz)	Intensidad de Campo Eléctrico (Vm^{-2})	Intensidad de Campo Magnético (Am^{-2})	Densidad de Flujo Magnético (μT)	Densidad de Potencia (W/m^2)
Hasta 1Hz	-	1.63×10^5	2×10^5	-
1 – 8Hz	20 000	$1.63 \times 10^5/f^2$	$2 \times 10^5/f^2$	-
8 – 25Hz	20 000	$2 \times 10^4/f$	$2.5 \times 10^5/f$	-
0.025 – 0.82 KHz	500/f	20/f	25/f	-
0.82 – 65KHz	610	24.4	30.7	-
0.065 – 1MHz	610	1.6/f	2/f	-
1 – 10MHz	610/f	1.6/f	2/f	-
10 – 400MHz	61	0.16	0.2	10
400 – 2000 MHz	$3f^{0.5}$	$0,008f^{0.5}$	$0,01f^{0.5}$	f/40
2 – 300 GHz	137	0,36	0,45	50

B. Procedimiento predictivo para Access Point exteriores.

De acuerdo a la recomendación de la UIT K.52: Orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos, se proporciona un flujograma el cual contiene los pasos para la realización del procedimiento predictivo que se observa en la Figura 1.

El proceso consiste en determinar si el sistema radiante requiere un procedimiento de medición mediante la clase de instalación, clasificándose en [2]:

- *Inherentemente conformes*: Son las fuentes seguras con campos que cumplen los límites de exposición pertinentes a pocos centímetros de la fuente.
- *Normalmente conformes*: Contienen fuentes con campos electromagnéticos que pueden sobrepasar los límites de exposición pertinentes.
- *Provisionalmente conformes*: Estas instalaciones requieren medidas especiales para conseguir esta conformidad, lo cual incluye la determinación de las zonas de exposición.

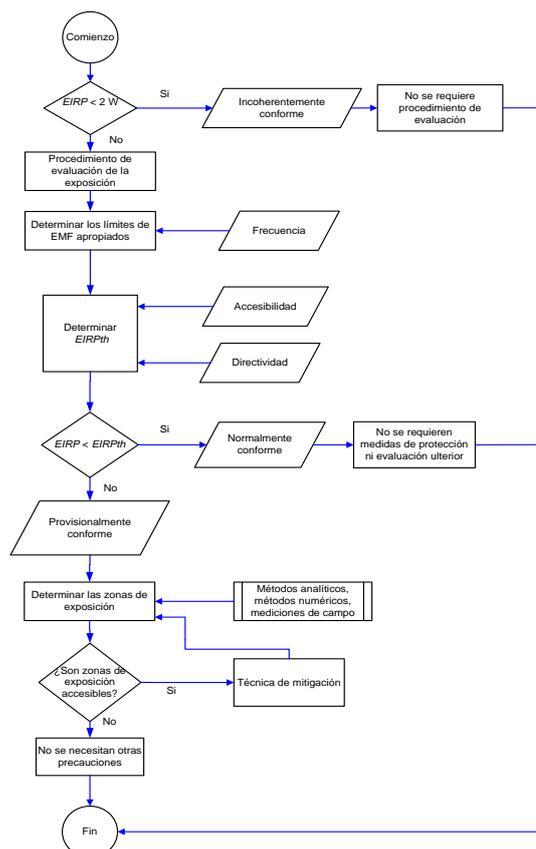


Fig. 1. Pasos para la realización del procedimiento predictivo [2].

- *Cálculo de EIRP (potencia isotrópica irradiada equivalente).*

Según las características técnicas del Access Point externo RUCKUS ZoneFlex 7762, se tiene los siguientes datos:

$$EIRP_{max}=35dBm$$

$$EIRP_{max}(W) = 3.2W$$

Siguiendo el orden del flujograma, tenemos que el EIRP es mayor a 2W, clasificándose como una instalación normalmente conforme.

- *Procedimiento de evaluación del nivel de exposición.*

Posteriormente se procede a determinar el tipo de categoría de directividad y accesibilidad adecuados a la condiciones de la instalación y a la descripción de la antena.

- *Categoría de Directividad y Accesibilidad.*

La directividad es la relación entre la potencia radiada y potencia media por unidad de ángulo sólido, además determina el diagrama de exposición potencial. Una alta directividad implica que la potencia radiada está concentrada en un haz estrecho, permitiendo el control adecuado de la zona de exposición.

Mientras que la accesibilidad, evalúa la probabilidad de que una persona pueda acceder a la zona de rebasamiento del emisor. A continuación la clasificación de los mismos.

TABLA II.
CATEGORÍA DE DIRECTIVIDAD Y ACCESIBILIDAD [2].

Categoría	Características	
Directividad	Descripción de la antena	Dipolo de media onda
	Parámetros pertinentes	Ninguno
Accesibilidad	Condiciones de la instalación	La antena está en instalada en una torre inaccesible, el centro de radiación está a una altura h sobre el nivel del suelo. Existe la constricción $h > 3m$. La antena está instalada en una estructura públicamente accesible, el centro de radiación está a una altura h por encima de la estructura.

Debido a que los AP operan en la banda de 2.4GHz, se trabaja con la Tabla III para el cálculo del $EIRP_{th}$.

TABLA IV.
CONDICIONES DE CONFORMIDAD NORMAL DE LAS INSTALACIONES BASADAS EN LOS LÍMITES ICNIRP PARA LA GAMA DE FRECUENCIAS 100-400MHz [2].

Categoría de directividad	Categoría de accesibilidad	EIRP _{th} (W)	
		Público en General	Ocupacional
1	1	$40\pi(h-2)^2$	$200\pi(h-2)^2$
	2	Menos de: $40\pi(h-2)^2$ ó $10\pi d^2$	Menos de: $200\pi(h-2)^2$ ó $50\pi d^2$
	3	Menos de: $40\pi(h-2)^2$ ó $10\pi \left[\frac{d^2+(h-h')^2}{d} \right]^2$	Menos de: $200\pi(h-2)^2$ ó $50\pi \left[\frac{d^2+(h-h')^2}{d} \right]^2$
	4	Menos de: $40\pi(h-2)^2$ {si $a < (h-2)$ } ó $10\pi \left[\frac{a^2+(h-2)^2}{a} \right]^2$	Menos de: $200\pi(h-2)^2$ {si $a < (h-2)$ } ó $50\pi \left[\frac{a^2+(h-2)^2}{a} \right]^2$

- *Determinación del límite de exposición.*

Para la elección de la categoría de directividad, se toma en cuenta el dipolo de media onda perteneciente a la primera opción suponiendo el uso de una básica omnidireccional. En lo que respecta a la categoría de accesibilidad se elige la primera opción porque la antena está ubicada en un lugar inaccesible por el público general. En base a la determinación de las categorías se tiene la fórmula expuesta en la Tabla IV.

- *Cálculo de EIRP_{th}.*

Tomando como categoría de directividad y de accesibilidad según la Tabla IV la primera opción, tenemos la fórmula [2]:

$$EIRP_{th} = 40\pi(h-2)^2 \quad (1)$$

$$EIRP_{th} = 40\pi \cdot 0.25$$

$$EIRP_{th} = 31.4159W$$

$$EIRP_{th}(dB) = 45dBm$$

Siguiendo el flujograma tenemos al final que:

$$EIRP < EIRP_{th} \quad (2)$$

$$3.2W < 31.42W$$

Por consiguiente, es una instalación normalmente conforme y no se requiere medidas de protección ni evaluación ulterior.

C. Cálculo de la densidad de potencia.

Se determina la densidad de potencia con las siguientes fórmulas: [3]

$$R^2 = h'^2 + x^2 \quad (3)$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{h'}{x}\right) \quad (4)$$

$$S = \frac{2.56}{4\pi} \frac{\text{EIRP}}{R^2} F(\theta) \quad (5)$$

- El valor 2.56 representa al factor de reflexión empírico (campos reflejados adicionados en fase con campo incidente directo -60 %).
- EIRP potencia isotrópica irradiada equivalente [W].
- $F(\theta)$ es atenuación en veces de la radiación para un ángulo dado de incidencia en el plano vertical, ($F=1$, en el peor caso).
- R distancia entre la antena y persona expuesta [m].
- S densidad de Potencia [W/m^2].

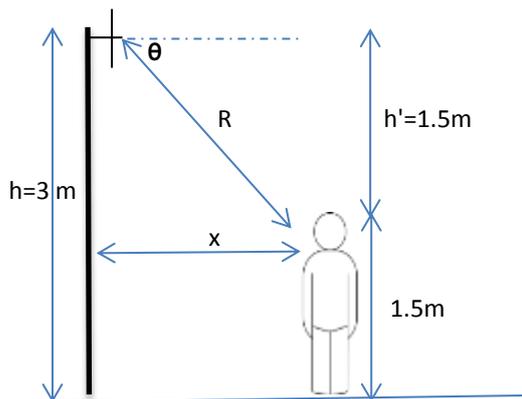


Fig. 2. Ejemplo para calcular la exposición a nivel del suelo.

Para el caso más crítico tomaremos en cuenta que la persona con respecto al Access Point se encuentra a menos de 1m hasta 16m.

En la Figura 3 se observa el comportamiento de la densidad de potencia con respecto a la distancia, tomando en cuenta un $\text{EIRP}=3.2\text{W}$ y una altura de 1.5m. El valor máximo que se obtiene es de $0.8048\text{W}/\text{m}^2$ con una distancia

de 0.9m y el valor mínimo obtenido es de $2\text{mW}/\text{m}^2$ a una distancia de 16m.

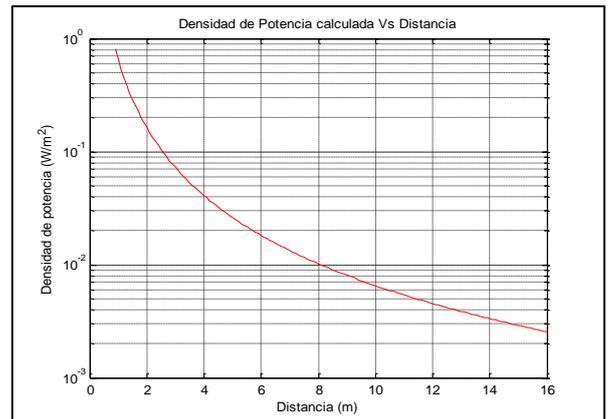


Fig. 3. Cálculo en Matlab de la densidad de potencia vs distancia.

Por lo tanto, en base a los valores obtenidos podemos decir que a mayor distancia menor es la densidad y a menor distancia mayor densidad.

D. Cálculo del radio en función de la densidad máxima recomendada.

En base al valor máximo de la densidad de potencia para una zona ocupacional y poblacional en la frecuencia de 2GHz a 300GHz, se determina la distancia para ambos casos con $F(\theta) = 1$.

$$R_{ocp} = \sqrt{\frac{2.56 \text{ EIRP}}{4\pi S_{ocp}} F(\theta)} \quad R_{pob} = \sqrt{\frac{2.56 \text{ EIRP}}{4\pi S_{pob}} F(\theta)}$$

$$R_{ocp} = \sqrt{\frac{2.56 \cdot 3.2}{4\pi \cdot 50}} \cdot 1 \quad R_{pob} = \sqrt{\frac{2.56 \cdot 3.2}{4\pi \cdot 10}} \cdot 1$$

$$R_{ocp} = 0.11 \text{ m}$$

$$R_{pob} = 0.26 \text{ m}$$

III. MEDICIONES DE RNI EN EL CAMPUS DE LA UTPL.

El método se basa en el especificado y usado por la SUPERTEL, se describe a continuación [4]:

A. Método de medición.

1. El encargado de realizar las medidas correspondientes deberá colocarse en el límite del cálculo teórico de la zona

- ocupacional y la zona poblacional, cubriendo un área radial cada 30 grados.
2. Si el resultado de la medición es superior al establecido en el artículo 5 del presente reglamento, se deberá continuar midiendo hasta encontrar el punto que permita cumplir con los límites establecidos.
 3. Para cada uno de los radiales deberá cubrirse lo establecido en el punto uno.
 4. Se repetirá los puntos a, b y c al fin de determinar la zona de rebasamiento.
 5. Una vez establecidos y cumplidos los límites máximos de exposición se procederá con levantamiento de la señalización que sea visible al público en general y a los operarios en el caso de la zona de rebasamiento.

B. Equipos de medición de RNI.

Permiten medir el campo eléctrico y magnético de las ondas deseadas de alta frecuencia. En base al Artículo 9 del reglamento de protección de emisiones de RNI, que hace referencia al instrumental utilizado para las mediciones, tenemos los siguientes instrumentos [4]:

a) De banda ancha: Medidores isotrópicos de radiación.

b) De banda angosta: Medidores de campo o analizadores de espectro y juego de antenas calibradas para los distintos rangos de medición.

Los instrumentos y sondas o antenas empleados deberán poseer certificado de calibración extendido por un laboratorio acreditado a nivel internacional en el Ecuador, vigente a la fecha de la medición.

Tomando en cuenta estas observaciones, el presente trabajo de fin de titulación se desarrolla con la ayuda de dos equipos, el medidor de radiación SRM 3000 de Narda Safety Test Solutions y el equipo NBM 550 medidor de banda ancha para mediciones de campo eléctrico y magnético.

C. Distribución de los dispositivos a medir.

El campus de la Universidad Técnica Particular de Loja está compuesto por un

conjunto de Access Points para ambientes outdoors e indoors de las marcas Cisco y Ruckus encargados de proveer el servicio de WLAN para una área de 42863 m² [5].

La red Wireless se encuentra conformada principalmente por 4 SSIDs (Service Set Identification) los cuales son: Campus_UTPL, Personal_UTPL, Invitados_UTPL y UTPL_Campus. Existen 44 APs distribuidos en los diferentes edificios para la planta administrativa y estudiantil, así también auditorios, centro de convenciones, cafetería y espacios abiertos en general registrados en el Wireless Control System (WCS), por lo que es posible obtener las características de los equipos, generar reportes e interferencias, usuarios conectados, canal que ocupan, potencia utilizada, etc [5].

Actualmente se han implementado 22 APs en el edificio 7, dando un total de 66 Access Point usados para proveer el servicio de Internet. También cuenta con otros dispositivos radiantes como los USRP's usados en el laboratorio de telecomunicaciones empleados para pequeñas estaciones base transmisoras de radiofrecuencia.

Criterios para la elección de los dispositivos a medir

Se tomaron en cuenta tres factores para determinar si los dispositivos estarían sujetos a medición:

- Sectores de mayor concentración de personas: fueron elegidos aulas, oficinas y auditorios que durante las horas de estudio y de trabajo existe aglomeración del personal y estudiantes. El centro de convenciones es un caso particular ya que los eventos que se llevan a cabo son temporales, sin embargo representa gran número de asistentes en el lugar.
- Accesibilidad hacia el sistema radiante: Se escogieron bajo dos motivos, primordialmente por la cercanía que representa el dispositivo hacia las personas con una distancia inferior a 5m, y por el acceso que puede tener para la medición.
- Duración de la exposición: corresponde al tiempo en que el equipo está operando

cerca de las personas, para el caso de los profesionales en formación se tiene un promedio de 3 horas por clase. Mientras que en la planta administrativa un tiempo aproximado de 8 horas diarias.

En la Tabla V se indican los dispositivos que fueron elegidos como resultado de los criterios que se han descrito.

TABLA V.
LISTA DE DISPOSITIVOS A MEDIR EN EL CAMPUS DE LA UTPL.

Nombre del edificio	Ubicación del AP	Nombre del AP	N° Equipos
Centro de Convenciones	Planta baja	Convenciones 2	2
		Convenciones 3	
Oskar Jandl	Exterior	Oskar Jandl	1
Virginia Riofrío	Exterior	Virginia Riofrío 2	1
Edificio Central	Planta baja	Dirección de CITES	3
		Gubernativo 1	
		Gubernativo 2	
	Primera planta	Departamento financiero	1
Exterior	Administración central	1	
UGTI	Tercera planta	Soporte técnico	2
		Infraestructura	
	Datacenter	Equipos	1 (medición)
	Laboratorio de telecomunicaciones	USRP todos activados	5
Edificio 7	Planta baja	AP_Edif7_PB-01	4
		AP_Edif7_PB-04	
		AP_Edif7_PB-05	
		AP_Edif7_PB-06	
	Primera planta	AP_Edif7_1P-06	4
		AP_Edif7_1P-09	
		AP_Edif7_1P-12	
		AP_Edif7_1P-14	
	Segunda planta	AP_Edif7_2P-01	5
		AP_Edif7_2P-03	
		AP_Edif7_2P-05	
		AP_Edif7_2P-08	
		AP_Edif7_2P-11	
	Tercera planta	AP_Edif7_3P-01	6
		AP_Edif7_3P-07	
		AP_Edif7_3P-10	
AP_Edif7_3P-12			
AP_Edif7_3P-15			
Cuarta planta	AP_Edif7_4P-03	1	
TOTAL			37

IV. RESULTADOS DE MEDICIONES

A. Resultados de los AP's para exteriores.

Las mediciones se realizaron desde puntos accesibles a los Access Points con la precaución de tener una línea de vista directa, celulares móviles apagados y con un tiempo de medición superior a 6 minutos.

En algunos casos existió la presencia de estudiantes cercanos al punto de medición haciendo uso de su celular, siendo estos valores registrados por el equipo de medición.

Los resultados obtenidos de todos los puntos fueron archivados en la memoria del equipo en formato Excel con la finalidad de llevar un registro y facilitar el análisis posterior.

TABLA VI.
RESULTADOS DE LAS MEDICIONES EN EL AP VIRGINIA RIOFRÍO 2.

AP	CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO	MEDICIONES
VIRGINIA RIOFRÍO 2	Access Point RUCKUS ZoneFlex 7762 con antena interna. Trabaja con IEEE 802.11a/b/g/n. Con un potencia de RF de 28dBm (2.4GHz) y 26dBm (5GHz).	Campo eléctrico E (V/m): 0.535
	Mac: 54:3d:37:28:fd:d0	Campo magnético H (A/m): 1.42E-03
	Ubicación: Segunda planta alta edificio Virginia Riofrío.	Densidad de potencia S (W/m²): 7.59E-04
	Latitud: 3°59'13.1" S	Distancia (m) con respecto al equipo: 0.5
	Longitud: 79°11'56.3" O	Valor medido vs. valor permitido (# veces): 13200

Como resultado se tiene que en el AP Oskar Jandl el valor de densidad es 18300 veces inferior al límite permitido, para el AP Virginia Riofrío 2 el valor medido es 13200 veces, y finalmente el AP Administración Central es inferior en 75200 veces. Destacándose entre estos el AP del edificio Virginia Riofrío con mayor densidad de potencia, los valores son mostrados en la Tabla VI y en la Figura 4.

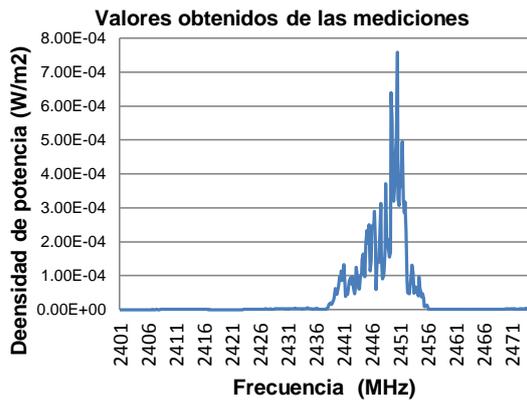


Fig. 4. Gráfica de las mediciones del AP Virginia Riofrío 2.

A. Resultados AP's para interiores.

Particularmente, en el Edificio 7 las mediciones registran un solapamiento de canales a causa del número de Access Points por planta, porque la distancia entre cada AP es aproximadamente menor a 7 metros.

TABLA VII
RESULTADOS DE LAS MEDICIONES EN EL EDIFICIO 7.

AP	CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO	MEDICIONES
AP_Edif7_1P-06	Access Point RUCKUS ZoneFlex 7363 con antena interna. Trabaja con IEEE 802,11 a/b/g/n. Con una potencia de RF de 26dBm (2.4GHz) y 24dBm (5GHz).	Campo eléctrico E (V/m): 8.94
		Campo magnético H (A/m): 2.37E-02
		Densidad de potencia S (W/m²): 2.12E-01
	Mac: 2c:e6:cc:31:a3:20	Distancia (m) con respecto al equipo: 0.5
Ubicación: Edificio 7, Aula 723	Valor medido vs. valor permitido (# veces): 40	

El Access Point interior con mayor nivel de densidad de potencia medido con el equipo de banda ancha, se encuentra ubicado en el edificio 7, siendo 40 veces inferior al límite establecido en el reglamento de la SUPERTEL.

B. Resultados de USRP's transmitiendo en frecuencia modulada.

TABLA VIII
RESULTADOS DE LAS MEDICIONES EN EL LABORATORIO DE TELECOMUNICACIONES.

EQUIPO	CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO	MEDICIONES
USRP	USRP N210 se encuentra configurado como un transmisor FM, transmitiendo en la frecuencia de 100MHz con una potencia de 100mW. Posee una antena tipo dipolo circular con una ganancia de 3dBi.	Campo eléctrico E (V/m): 43.41
		Campo magnético H (A/m): 0.1151
		Densidad de potencia S (W/m²): 4.998
	Ubicación: Edificio UGTI, tercera planta, laboratorio de telecomunicaciones	Distancia (m) con respecto al equipo: <0.2
		Valor medido vs. valor permitido (# veces): 2

Los dispositivos se encuentran transmitiendo en frecuencia modulada a 100MHz. Se llevan a cabo tres mediciones en distintas condiciones las cuales son:

Medición a un equipo con una distancia inferior a 20cm: El USRP transmite mediante una antena tipo dipolo circular con una ganancia de 3dBi, el valor resultante es inferior en dos veces al límite permitido. El punto de medición se encuentra a una distancia inferior a la recomendada a fin de realizar análisis y comparaciones posteriores.

Medición a un equipo con una distancia superior a 20cm: Se efectúa con las mismas condiciones que en el apartado anterior, con la diferencia de que la distancia de 60cm, resultando ser 186 veces inferior a la norma.

Medición a un conjunto de equipos transmitiendo simultáneamente: Los cinco equipos se encuentran transmitiendo en la misma frecuencia. Uno de ellos está conectado a una antena dipolo circular, mientras que los cuatro restantes utilizan una antena VERT 900. La medición se realizó a una distancia promedio 3m hacia cada equipo dando como resultado un valor de 3000 veces inferior al límite establecido.

En la Figura 5 se observa la densidad de potencia obtenida durante la transmisión en FM.

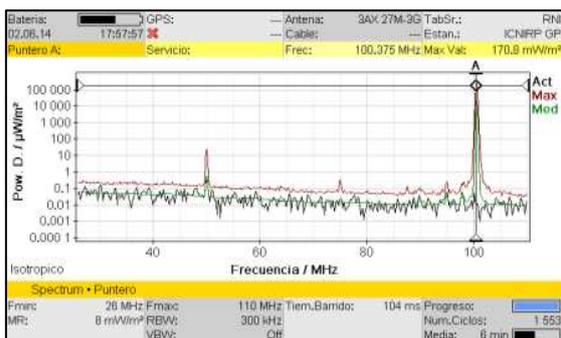


Fig 5. Captura del espectro radioeléctrico en frecuencia modulada.

En la Figura 6 se presenta una captura de pantalla del equipo haciendo el análisis del espectro radioeléctrico para la transmisión en frecuencia modulada generada por los cinco equipos USRP's, los que generan una serie de armónicos superiores a 100MHz.

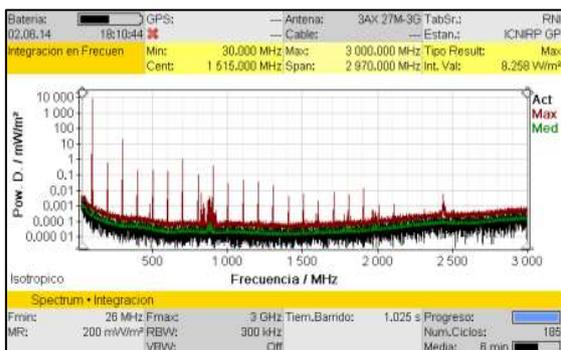


Fig 6. Captura del espectro radioeléctrico en FM y armónicos.

C. Análisis de las mediciones en el centro de datos de la UTPL.

Dentro del centro de datos no existe ningún dispositivo radiante como Access Points, o cualquier sistema de comunicación inalámbrico. Está compuesto por conjuntos de racks que clasifican los distintos servidores, un sistema de enfriamiento y de seguridad, en la parte exterior se encuentra un banco de baterías en el caso del fallo de suministro de energía.

Siguiendo el procedimiento descrito se lleva a cabo dos mediciones a una distancia promedio de un metro, los valores máximos son presentados en la Tabla IX.

La densidad de potencia obtenida es de 0.45 mW/m^2 , representa ser 22000 veces inferior a los límites que establece la SUPERTEL.

TABLA IX.
RESULTADO DE LAS MEDICIONES EN EL CENTRO DE DATOS.

EQUIPOS		
Servidores		Energía y Networking
4 Racks comunicaciones	109 Servidores:	2 UPS 3 Racks comunicaciones
8 Racks servidores, 2 Racks housing (Level 3)	31 investigación y 78 de operación.	
MEDICIONES		
Campo eléctrico E (V/m):	Campo magnético H (A/m):	Densidad de potencia S (W/m²):
0.42	1.1E-03	4.50E-04
Distancia (m) con respecto al equipo		Valor medido vs. valor permitido (# veces)
1		22000

V. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS PREDICTIVOS Y MEDIDOS

Se realiza una comparación entre los valores obtenidos del procedimiento predictivo, las mediciones realizadas y los límites permitidos del Access Point Virginia Riofrío 2, el cual obtuvo mayor densidad de potencia.

Seguidamente en la Tabla X. se muestra los valores de densidad de potencia con respecto a la distancia que se obtuvo del método predictivo analizado en el Capítulo II.

TABLA X.
VALORES DE LA DENSIDAD DE POTENCIA MEDIANTE EL MÉTODO PREDICTIVO.

Distancia (m)	Densidad de potencia (W/m²)
1	0.6519
2	0.1630
4	0.0407
6	0.0181
8	0.0102
10	0.0065
12	0.0045
14	0.0033
16	0.0025

En la Tabla XI se resumen los valores obtenidos de las mediciones efectuadas de densidad de potencia.

TABLA XI.
VALORES MEDIDOS DE LA DENSIDAD DE POTENCIA.

Distancia (m)	Densidad de potencia (mW/m ²)
0.5	0.75
6	0.11
10	0.013
16	0.0029

Para una mejor interpretación del comportamiento de las mediciones, se realiza una interpolación con los puntos especificados en la Tabla XI.

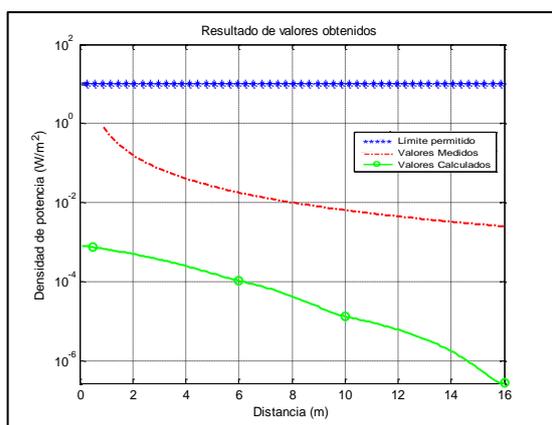


Fig. 7. Comparación de los valores obtenidos entre: límite permitido, valores medidos y valores calculados.

Finalmente se representan gráficamente los límites permitidos, valores del método predictivo y de las mediciones con el fin de realizar una comparación y análisis para determinar el nivel de radiación del Access Point Virginia Riofrío 2.

Se determina los siguientes resultados:

– **Valores medidos vs. límites permitidos**

La densidad de potencia es 13200 veces menor al límite establecido en el reglamento además los valores medidos son inferiores al método predictivo.

– **Valores calculados vs. límites permitidos**

El valor máximo obtenido en el método predictivo es 12 veces menor al límite establecido en el reglamento para la exposición ocupacional.

– **Valores calculados vs. valores medidos**

Realizando una comparación de los resultados entre el método predictivo y las mediciones efectuadas al AP, se observa que no son similares a causa de que en los cálculos teóricos de **S** para el campo cercano pueden arrojar valores excesivamente conservadores, sin embargo, nos permiten determinar el cumplimiento de los límites de exposición a los campos electromagnéticos.

La Ecuación 5 utilizada para determinar la densidad con respecto a la distancia está en función de algunos factores que se han asumido idealmente, como por ejemplo la variable F (atenuación en veces para la radiación a un cierto ángulo de incidencia en el plano vertical) con el valor de 1 para el peor de los casos, así como el valor de reflexión empírico de 2.56.

Referente a la gráfica de los valores medidos, existe una diferencia promedio entre cada punto de 5.2m. En general, ambos procedimientos no representan ningún valor fuera del rango permitido ni existe alguna aproximación.

VI. CONCLUSIONES

- De acuerdo al método predictivo y a las mediciones planteadas no existe ningún equipo activo que supere los límites permitidos (10W/m²).
- Según el método predictivo realizado al Access Point del edificio Virginia Riofrío, se obtiene una densidad de potencia de 0.652W/m² correspondiente a 12 veces inferior a la norma.
- De los 66 Access Point implementados en la UTPL, se tiene un total de 37 APs medidos establecidos tomando en cuenta los sectores de mayor concentración de personas, la cercanía a ellas y el tiempo de exposición.

- Por motivo de accesibilidad las mediciones se realizan a una distancia mayor de 20cm del sistema radiante.
- El Access Point para exteriores con mayor densidad registrado corresponde al del edificio Virginia Riofrío, con un valor de $0.7\text{mW}/\text{m}^2$, representando un valor de 13200 veces inferior al límite permitido.
- El Access Point para interiores con mayor densidad registrado se encuentra ubicado en el edificio 7 con un valor de $0.21\text{W}/\text{m}^2$ siendo 40 veces inferior al límite; esto se debe a que la medición fue realizada con el equipo de banda ancha.
- En el laboratorio de Telecomunicaciones con el equipo USRP transmitiendo en frecuencia modulada el nivel de densidad de potencia es $5\text{W}/\text{m}^2$, a una distancia inferior a la recomendada, representando ser 2 veces inferior al valor permitido.
- En el centro de datos de la UTPL, se registró los valores más bajos entre las mediciones realizadas, siendo 22000 veces inferior a $10\text{W}/\text{m}^2$ a una distancia promedio de 1m con respecto a los sistemas radiantes.
- En el edificio 7 con un total de 21 fuentes radiantes activas, no se registró ningún valor de densidad de potencia que supere la unidad. La medición se realizó con el equipo de banda ancha apropiado para inmisiones.
- Utilizando el análisis espectral del equipo de banda angosta en la medición del USRP transmitiendo en FM a la frecuencia de 100MHz, se encontraron armónicos superiores a ésta requiriendo la implementación de alguna técnica para corregir este efecto.
- En el método predictivo los valores en campo cercano son excesivamente conservadores, estableciendo una diferencia de 870 veces superior con

respecto a los resultados de las mediciones.

VII. RECOMENDACIONES

- Determinar el número de equipos a medir y registrar la ubicación exacta de los mismos.
- Asegurarse que los equipos a utilizar en las mediciones estén dentro del periodo de calibración.
- Es recomendable realizar las mediciones en horas en las que existan la menor cantidad de personas cercanas al punto de medición.
- Se aconseja que los dispositivos móviles estén inactivos en las regiones cercanas al punto de medición.
- Se sugiere que los equipos USRP's cuenten con un filtrado para atenuar los armónicos producidos durante la transmisión.
- Se recomienda que el número de puntos a medir con respecto a cada sistema radiante debe ser mínimo tres, efectuados a distintas distancias.
- En el edificio central, para disminuir el impacto visual de los Access Point y sus arreglos de antenas se recomienda reubicarlos estratégicamente en lugares no visibles.
- Como trabajo futuro se puede recomendar la medición de Radiaciones No Ionizantes a los equipos AP externos Cisco, para descartar cualquier indicio de un nivel alto de RNI.
- Otro posible trabajo futuro es realizar un análisis predictivo sobre RNI a sistemas radiantes que sobrepase un valor de PIRE de 2W, determinándose si está sujeto a medición con los equipos necesarios.

VIII. REFERENCIAS

[1] Organización Mundial de la Salud, “Radiaciones ionizantes: efectos en la salud y medidas de protección”, [en línea], disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs371/es/> [Consulta de 13 de octubre de 2013]

[2] Orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos, Recomendación UIT-T K.52, Diciembre 2004, [en Línea], disponible en: https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=s&id=T-REC-K.52-200412-!!!PDF-S&type=items [Consulta del 08-02-2014].

[3] Comité Internacional sobre Protección de las Radiaciones No Ionizantes, “Recomendaciones para limitar la exposición a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos (hasta 300GHz)”, [en línea], disponible en: <http://www.icnirp.de/documents/emfgdlesp.pdf> [Consulta de 15 de noviembre del 2013]

[4] RESOLUCION 01-01-CONATEL-2005, Reglamento de protección de emisiones de Radiación No Ionizante generadas por uso de frecuencias del espectro radioeléctrico, [en línea], disponible en: http://www.supertel.gob.ec/pdf/emisiones_noionizantes/reglamento_rni.pdf [Consulta del 10-02-2014].

[5] L.Castro y A. Jaramillo, “Métodos de diseño y cobertura para redes wifi indoor y outdoor, caso UTPL”, Trabajo de fin de titulación, Universidad Técnica Particular de Loja, Loja 2013, [en Línea], disponible en: http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/6311/1/TESIS_LESLYE_CASTRO_A_NDREA_JARAMILLO.pdf [Consulta del 08-08-2014].