

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

EVALUACIÓN DEL AMBIENTE ELECTROMAGNÉTICO EN ALTA FRECUENCIA EN EL ITM SEDE ROBLEDO

Maribel Patiño Arango

Ingeniería de Telecomunicaciones

Docentes
Adolfo Escobar Ordoñez
Sara M. Yepes Zuluaga

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

FACULTAD DE INGENIERÍAS

2016

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RESUMEN

Actualmente, la sociedad está cada vez más involucrada con las nuevas tecnologías de la información, lo que ha generado una exposición a los campos electromagnéticos de alta frecuencia. Estos campos se dan de forma natural en el entorno donde se encuentra la comunidad, pero también hay un campo electromagnético que se produce artificialmente debido a la radiofrecuencia en la telefonía móvil, la radio, la televisión, los radares, y las comunicaciones inalámbricas. Estos campos electromagnéticos forman parte del espectro y se diferencian por su frecuencia.

La evaluación del campo electromagnético en diferentes lugares está presentando un creciente interés. La razón de ello, es la preocupación de las personas ante los posibles efectos en la salud debido a la exposición a estos campos. Con la ejecución de este proyecto se busca realizar un análisis de los niveles de campo electromagnético de alta frecuencia presentes en el Instituto Tecnológico Metropolitano sede Robledo y a los cuales se encuentran expuestos los estudiantes, empleados y visitantes.

Al finalizar en este proyecto se entregará un diagnóstico de la exposición de alta frecuencia para la comunidad ITM al evaluar estos valores y compararlos con las normativas nacionales e internacionales sobre exposición de las personas. Esto permitirá a la institución adoptar prácticas de seguridad en cuanto a los campos electromagnéticos con el fin de mantener el bienestar ocupacional de sus estudiantes y trabajadores.

Palabras clave: Campo electromagnético, alta frecuencia, redes inalámbricas, intensidad de la señal.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RECONOCIMIENTOS

Agradezco principalmente a Dios que a pesar de todas las dificultades que se generaron siempre hubo una solución para ello. A los docentes Adolfo Escobar, Sara Yepes y Fabio Suarez por la colaboración, paciencia, apoyo y orientación en conocimiento durante todo el proceso de desarrollo.

Al grupo de investigación por permitirme utilizar los equipos utilizados durante las mediciones como lo es el analizador de espectro, la antena isotrópica entre otros elementos esenciales para el desarrollo de este trabajo de grado.

Agradecimiento a los funcionario del ITM por permitirme realizar las mediciones además de la paciencia en esperar poder hacer las mediciones correspondientes, también agradezco a mi familia por el apoyo y la positividad que me brindaron para acabar este trabajo de grado.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ACRÓNIMOS

AP: Acces Point.

CEM: Campo electromagnético.

CRC: Comisión de Regulación de Comunicaciones.

GSM: Sistema global para las comunicaciones.

IARC: Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer.

ICNIRP: Comisión Internacional sobre Protección Frente a Radiaciones No Ionizantes.

IEGMP: Grupo de Expertos Independientes en Teléfonos Móviles.

MINTIC: Ministerio de las Tecnologías de la información y las comunicaciones.

OMS: Organización Mundial de la salud.

RF: Radiofrecuencia.

RIN: Radiaciones no ionizantes.

WLAN: Red de área local inalámbrica.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	6
1.1	OBJETIVO GENERAL.....	7
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	7
2.	MARCO TEÓRICO	10
2.1	ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO	13
2.2	INTERFERENCIA ELECTROMAGNÉTICA	16
2.3	CAMPO ELECTROMAGNÉTICO	17
2.3.1	CAMPO MAGNÉTICO.....	19
2.3.2	CAMPO ELÉCTRICO	21
2.4	BANDA ANCHA INALÁMBRICA WIFI.....	22
2.5	ANCHO DE BANDA Y CAPACIDAD DE INFORMACIÓN	23
2.6	NORMATIVIDAD DE EXPOSICIÓN PARA PERSONAS.....	24
2.6.1	USO DE LOS TELÉFONOS MÓVILES A NIVEL MUNDIAL Y EN COLOMBIA.....	26
2.6.2	CONSIDERACIONES SOBRE LA SALUD	27
2.6.3	EFFECTOS EN LA SALUD	29
2.6.4	EL TRABAJO DE LA OMS	31
2.6.5	ICNIRP (1998)	32
3.	METODOLOGÍA	34
3.1	PROTOCOLO DE MEDICIÓN.....	34
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
4.1	RESULTADOS DE LOS BLOQUE C, D Y E	40
4.2	RESULTADOS BLOQUES G Y	51
4.3	RESULTADOS BLOQUE F.....	59
5.	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	65
	REFERENCIAS	67

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1. INTRODUCCIÓN

Los campos electromagnéticos (CEM) se encuentran en la naturaleza y por lo tanto siempre han estado presentes en la tierra. Sin embargo, durante el siglo XX, la exposición ambiental a fuentes de CEM hechas por el hombre, se ha incrementado sin parar, debido a la demanda de la electricidad, las siempre crecientes tecnologías inalámbricas y los cambios de ciertas prácticas laborales y conductas sociales. Se está expuesto, en el hogar y en el trabajo, a una mezcla compleja de campos eléctricos y magnéticos a muchas frecuencias diferentes. Los efectos potenciales a la salud debido a los CEM producidos por el hombre ha sido un tópico de interés científico desde los años 1800, y han recibido particular atención durante los últimos 30 años (Calvente, 2010). A diferencia de las radiaciones ionizantes (tal como los rayos gama producidos por materiales radioactivos, los rayos cósmicos y los rayos X) encontrados en la parte más alta del espectro electromagnético, los CEM en las telecomunicaciones son muy débiles para romper enlaces que unen las moléculas para formar células, por lo tanto no producen ionización. Es por esto que los CEM son llamados radiaciones no ionizantes (RNI).

El conocimiento científico acerca de los efectos en la salud de los CEM es sustancial y está basado en un gran número de estudios epidemiológicos (NRPB, 1994), (Savitz, 1993), estudios en animales (Repacholi, M. H., Basten, A., Gebiski, V., Noonan, D., Finnie, J., & Harris, A. W., 1997), (Sarkar, T. K., Ji, Z., Kim, K., Medouri, A., & Salazar-Palma, M, 2003) y estudios in-vitro (Graham, C., Cook, M. R., & Riffle, D. W. , 1997), (Selmaoui, B., Lambrozo, J., & Touitou, Y., 1996), los cuales determinaron recomendaciones de exposición (ICNIRP, 1998).

Concerniente a los campos de radiofrecuencia RF, el balance de la evidencia a la fecha sugiere que la exposición a campos de RF de bajo nivel (tales como los emitidos por

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

teléfonos móviles y sus estaciones base), no causan efectos adversos a la salud (Ahlbom, A., Feychting, M., Green, A., Kheifets, L., Savitz, D. A., & Swerdlow, A. J., 2009) . Algunos científicos han reportado efectos menores provenientes del uso de los teléfonos móviles, incluyendo cambios en la actividad cerebral, tiempo de reacción y problemas de sueño (Hardell, 2007). En la medida que estos efectos han sido confirmados, parecen caer dentro de los límites normales de variación humana. En la actualidad, las investigaciones se han concentrado en resolver la pregunta si es que exposiciones de bajo nivel, aún a niveles tan bajos como para causar incrementos significativos de temperatura, pueden causar efectos adversos a la salud. Sin embargo, al igual que para los campos magnéticos de baja frecuencia, la OMS y la IARC han establecido que los campos electromagnéticos de radiofrecuencia son posiblemente carcinógenos para los seres humanos (Grupo 2B), basándose en la mayor probabilidad de padecer glioma, un tipo de cáncer cerebral de tipo I, asociado al uso de los teléfonos móviles (IARC, 2011). “Posible carcinógeno en humanos” es una clasificación usada para denotar un agente por el cual hay una evidencia limitada de carcinogenicidad en humanos y evidencia insuficiente para carcinogenicidad en experimentos con animales.

Si bien no hay hasta el momento estudios que permitan tener completa certeza sobre si los CEM, tienen o no efectos sobre la salud humana, si existen recomendaciones internacionales acerca de los límites de exposición a estos campos para las personas. El cumplimiento de los límites de exposición recomendados por organismos nacionales e internacionales ayuda a controlar los riesgos de la exposición a CEM que puede ser dañina a la salud humana mientras sigue el debate sobre si la exposición por períodos largos, a niveles por debajo de los límites de exposición puede causar efectos adversos en la salud. Con este proyecto se pretende identificar los niveles de campo electromagnético de alta frecuencia presentes en el Instituto Tecnológico Metropolitano sede Robledo, con el fin de evaluar estos valores y compararlos con las normativas nacionales e internacionales sobre exposición de las personas.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar los niveles de campo electromagnético de alta frecuencia en el Instituto Tecnológico Metropolitano sede Robledo.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer por medio de mediciones, los niveles de campo electromagnético ambiente de alta frecuencia en los diferentes espacios del ITM sede Robledo.
- Evaluar el cumplimiento de la normativa de exposición a campos electromagnéticos de alta frecuencia en el ITM sede Robledo.
- Determinar recomendaciones sobre exposición a campos electromagnéticos con base en los resultados de las mediciones.

Este informe se esclarece de la siguiente manera, primero se presentarán los conceptos básicos del campo electromagnético, las recomendaciones establecidas por la normatividad nacional e internacional en especial sobre la exposición de las personas a estos campos e interferencias electromagnéticas. Se detallará todo el procedimiento para la ejecución del trabajo de grado desde la investigación esclarecida en el anteproyecto hasta la ejecución del mismo, las mediciones realizadas y el procesamiento de los datos.

En primer lugar se realizarán las mediciones de campo electromagnético de alta frecuencia en áreas seleccionadas del Campus Robledo del Instituto Tecnológico Metropolitano. Estas áreas se seleccionarán con base en la densidad de equipos eléctricos y cantidad de fuentes de campos electromagnéticos. Se utilizará el Analizador de Espectro FSH8 de Rohde & Schwarz junto con la antena isotrópica Rohde & Schwarz TSEMFB1 101732, para las mediciones de campo electromagnético a alta frecuencia. Estos equipos se encuentran en laboratorios de investigación y docencia del ITM. Durante esta etapa se obtendrán los valores máximos de campo eléctrico en varios rangos de frecuencia.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Posteriormente, se analizarán los resultados de las mediciones. Al finalizar esta fase se conocerán los niveles de campo electromagnético presentes en las distintas áreas y se identificará si las personas que estudien o trabajen en estas áreas puedan estar expuestas a valores superiores a los establecidos en las normativas nacionales e internacionales. Igualmente, se evaluará si los equipos electrónicos que funcionan en estas áreas están o no en riesgo de no funcionar adecuadamente debido a que el ambiente electromagnético en el que se encuentran no es el adecuado. Es importante establecer y valorar que este trabajo se ejecutó bajo el proyecto de investigación elaborado por la dirección de investigación de algunos docentes de la Facultad de Ingenierías.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2. MARCO TEÓRICO

Los CEM pueden ser divididos en un sentido muy amplio en campos eléctricos y magnéticos de baja frecuencia donde las fuentes incluyen líneas de energía, artefactos electrodomésticos y computadoras, y campos de alta frecuencia o radiofrecuencia, siendo las principales fuentes los radares, las instalaciones de radio y televisión, los teléfonos móviles y sus estaciones base, calefactores de inducción y dispositivos antirrobo. La cantidad de energía depositada por los CEM y la forma de su absorción está determinada por la frecuencia y el tipo de radiación incidente y por la naturaleza del tejido que absorbe. De acuerdo con sus efectos sobre el organismo, los CEM pueden dividirse entre radiación ionizante (incluida la radiación de alta frecuencia como los rayos gamma y rayos X) y la radiación no ionizante (RNI). La radiación ionizante produce efectos biológicos directa o indirectamente afectando las moléculas de ADN.

La exposición a las múltiples fuentes de RNI, incluyendo la exposición residencial a las líneas eléctricas de alta tensión, transformadores, y de instalaciones eléctricas domésticas, varía en el tiempo y de acuerdo a la distancia de la fuente. La Tabla 1 resume los diferentes tipos, los rangos de frecuencia, y las fuentes de RNI que se pueden encontrar comúnmente (Calvente, 2010).

Tabla 1. *Frecuencias y fuentes de radiación no ionizante*

Frecuencia	Tipo de radiación	Fuentes
0 Hz–300 kHz	Radiación electromagnética de baja frecuencia a extremada baja frecuencia	Equipos eléctricos, red eléctrica, video monitores
3 kHz–300 MHz	Radio frecuencia (RF)	Secciones de radio AM, radio FM, resonancia magnética nuclear
300 MHz–300 GHz	Microondas (MW)	Hornos microondas, teléfonos móviles, radar
300 GHz–780 nm	Infrarrojo (IR)	Luz solar, equipos de terapia laser
780 nm–400 nm	Luz visible	Luz solar, fototerapia, laser

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

400 nm–100 nm Ultravioleta (UV) Luz solar, tubos fluorescentes,
radioterapia

Fuente: (Calvente, 2010)

En 1998, la International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) publicó directrices sobre límites de exposición para todos los tipos de CEM (ICNIRP, 1998). Estas directrices están destinadas a prevenir efectos, tales como corrientes inducidas en las células o estimulación nerviosa, que se sabe que se producen en magnitudes altas, mucho más altas (más de 1000 veces mayor) que los niveles que encuentran típicamente en ambientes ocupacionales y residenciales. Los valores límites están determinados con base en efectos distinguibles a corto plazo, como corrientes inducidas, aumento de temperatura y efectos biológicos cuya naturaleza se conoce. Los límites de exposición a campos recomendados en numerosos países, como en el caso de Colombia, son más o menos similares a los de la ICNIRP.

Con el fin de evaluar el cumplimiento de estas directrices, se han realizado una gran cantidad de mediciones de campo electromagnético a diferentes frecuencias y en diferentes ambientes. En el caso de alta frecuencia, la mayoría de las mediciones se enfocaron en la exposición a campos de RF de estaciones de telefonía móvil. Desde el año 2003 se realizaron 2000 mediciones anuales. La primera serie de la evaluación se realizó por medio de mediciones de banda ancha seguidas por registro selectivo de datos, que es un método más sensible y puede proporcionar resultados más exactos, incluyendo la identificación de las fuentes de RF. Los resultados de la evaluación in situ a RF mostraron que más del 60% de la exposición medida de CEM estaba por debajo de 1 V/m ($\sim 0,003$ W/m²), menos del 1% por encima de 6 V/m (0,095 W/m²) y sólo menos del 0,1% estaban por encima de la intensidad de campo de 20 V/m (1 W/m²). El límite recomendado de exposición relevante para el público está en el rango de 40 a 60 V/m ($\sim 4,10$ W/m²). La potencia absorbida en el cuerpo humano está relacionada con la densidad de potencia en el espacio libre.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Pocos estudios han explorado la exposición de campos magnéticos de baja frecuencia en los planteles escolares. Algunos estudios a alta frecuencia también han involucrado escuelas. En Alemania, se hicieron mediciones de RF en sitios cercanos a estaciones base y lugares sensibles (es decir, hospitales o escuelas). Las densidades de potencia máximas y mínimas medidas fueron $0,04 \text{ W/m}^2$ y $0,0000016 \text{ W/m}^2$, respectivamente. El valor medio fue de $0,0052 \text{ W/m}^2$ y $0,0046 \text{ W/m}^2$ al no considerar los valores extremos (Bornkessel, C., & Schubert, M., 2004). En otro estudio, sobre la radiación de estaciones de base móviles que se realizó en el Campus Gomback de la Universidad Internacional de Malasia (Islam, M. R., Alam, A. Z., Khan, S., Rashed, M. K., & Bakar, J. A., 2006), se compararon las intensidades de campo eléctrico y los valores de las densidades de potencia con los valores de seguridad recomendados por la ICNIRP. Los resultados indicaron que las radiaciones para los sistemas GSM900 y GSM1800 fueron aproximadamente 34% menores que los valores recomendados. Sin embargo, durante las mediciones se notó que la magnitud de la radiación de fuentes de transmisión LAN a bandas de 2,4 GHz fue de aproximadamente 62% del límite, por lo cual se consideró altamente recomendable investigar cuidadosamente la radiación desde otras fuentes antes de poder asegurar que el campus es seguro para su población.

En un estudio realizado en la Facultad de Medicina de la Universidad Cerrahpaşa de Estambul se evaluó la intensidad del campo eléctrico radiado por las estaciones base y los equipos electrónicos que se utilizaban (Kiliç, M. A., Çerezci, O., Çevik, O., & Kalkan, T. , 2010). Se encontró que la intensidad del campo electromagnético en la facultad estaba principalmente por debajo de 3 V/m , pero había sólo 3 puntos más altos debido a estaciones base. Dos de los puntos se encontraban en el patio de la facultad y el último de ellos se encontraba en una clínica. La intensidad del campo electromagnético en la clínica era de alrededor de 6 V/m a 7 V/m , debido a una estación base de 900 MHz al otro lado de la calle.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.1 ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

Es el rango de todas las radiaciones electromagnéticas, la transferencia se extiende desde las bajas frecuencias usadas en la radio moderna hasta los rayos gamma y rayos X que cubre longitudes de onda a miles de kilómetros, esta información entre dos o más lugares las cuales se llaman estaciones, se logra convirtiendo la información original a energía electromagnética para transmitirla a una o más estaciones donde se reconvierte a su forma original. La energía electromagnética se puede propagar en forma de corriente a través de conductores, también en forma de ondas de radio emitidas en el espacio libre o a través de una onda luminosa por medio de fibra óptica, en conclusión la energía electromagnética es un intervalo casi infinito de frecuencias (Sadiku, 2003). Es desde el siglo XIX donde el escocés James Clerk Maxwell descubrió el campo electromagnético e indicó y dio una clara prueba de que no solo la única fuente de campo electromagnético era el sol, los campos electromagnéticos que descubrió los agrupó y los llamó espectro electromagnéticos, tiene varias aplicaciones como en medicina, telecomunicaciones, en la industria, ciencia, investigación, hasta en el hogar, es así como existen los sistemas de comunicación, con el tiempo todos los sistemas de comunicación se dividieron en alámbrico como la fibra óptica y el inalámbrico que hace referencia a los campos electromagnéticos.

Es la forma como se propagan las ondas en el espacio un ejemplo claro es el efecto una gota de agua sobre una laguna, estos campos viajan en línea eléctrica propagándose en el vacío en forma eléctrica generando atenuaciones, reflexiones, difracciones y así cambiando su ruta, existen espectros visibles y espectro radioeléctrico, hay otra parte del espectro que son invisibles por ejemplo el rayo del control de la tv, cada parte en la que se divide el espectro se llama banda estas bandas en Colombia se divide así: banda MF 300KHz- 3MHz en la que se encuentra la radio AM las emisoras de radio de cobertura regional, la banda HF 3MHz-30MHz es la onda corta por las emisoras de alcance

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

intercontinental todavía se utilizan en las tripulaciones aeronáuticas y marítimas, banda VHF 30MHz- 300MHz las emisoras FM y radio AM son la radiodifusión sonora, sistemas de comunicación de bomberos, policía, radioaficionados y anda ciudadana, banda UHF 300MHz -3GHz aquí se encuentra el internet inalámbrica y sistemas celulares 3G y 4G, banda SHF 3GHz-30GHz en el cual se encuentran todas las comunicaciones satelitales y microondas.

Radiación ionizante: transmiten energía suficiente para romper los enlaces químicos, generan daños importantes en el material genético de la célula como el ADN, pueden matar a las propias células estas radiaciones están presentes en los rayos gamma, rayos X y rayos ultravioleta de alta frecuencia.

Radiaciones no ionizantes: están localizadas en la parte más baja del espectro electromagnético, el cual comprenden las ondas de radio, microondas, infrarroja, visibles y ultravioleta de frecuencia infraionizante. Transmiten poca energía, y no pueden desplazarse este implica que desaparezcan a poca distancia, se encuentra a la gama de radiofrecuencias que incluye los microondas, la radio celular la televisión la radio AM y FM, las ondas cortas utilizadas en calentadores dieléctricos y de inducción, está caracterizado el campo electromagnético por frecuencia y longitud de onda medido en múltiplos de un hertzio es decir ciclo por segundo y la longitud es la distancia recorrida por la onda (Ornetta, 2006).

Tabla 2. *Espectro electromagnético NTP 234 Exposición de Radiofrecuencias y microondas*

	No ionizantes		Ionizantes		
Frecuencias	0- 30 kHz	0-100 km	Ultravioleta ionizante	3 PHz- 30 PHz	100 nm- 10 nm
Radio frecuencia	30 kHz-1 GHz	100 km- 300 mm			
Microondas	1 GHz- 300 GHz	300 mm- 1 mm	Rayos X	30 PHz- 300 EHz	10 nm- 1 pm

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Infrarrojos	300 GHz- 385 THz	1 mm- 780 nm	Rayos Y	3 EHz- 3000 EHz	100 pm- 0.1 pm
Luz visible	385THz- 750THz	780nm- 400nm			
Ultravioleta no ionizante	750THz- 3000 THz	400nm- 100nm	Rayos cósmicos	>3000EHz	< 0.1pm

Si todos tuvieran acceso al uso del espectro electromagnético, las telecomunicaciones serían un caos, los encargados de esta orden la tiene el ministerio de tecnologías de la información y las comunicaciones MINTIC, donde internamente el encargado es la dirección de industria de comunicaciones, donde ellos evalúan las solicitudes del uso del espectro, que está dividido a su vez por la subdirección para la industria de comunicaciones, subdirección de radiodifusión sonora y subdirección de asuntos postales. Actualmente se tienen más de 7000 proveedores de servicios que hacen uso del espectro electromagnético que generan anualmente unos 707000 millones de pesos que generan el 99 % de los ingresos del MINTIC. En la figura 1 se muestra el espectro de ondas electromagnéticas donde las describen claramente los elementos que agrupo Maxwell.



Figura 1. Espectro electromagnético, niveles de exposición (Radioaficionados, 2010)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.2 INTERFERENCIA ELECTROMAGNÉTICA

La interferencia se produce cuando las señales de información de una fuente produce frecuencias que caen fuera de su ancho de banda asignado, e interfieren con señales de otras fuentes (Sadiku, 2003). Desde hace décadas ya existe una intranquilidad relacionada con los efectos de la interferencia electromagnética, es la perturbación que ocurre en un sistema eléctrico causado por ruido o por fuentes de radiación electromagnético externa, las perturbaciones pueden degradar el rendimiento del sistema de comunicación, esta fuente puede ser cualquier objeto que posea corriente eléctrica que varié constantemente. El ruido es una señal no deseada que desestabiliza la señal causado por varios fenómenos naturales o artificiales como por ejemplo ruido térmico y aleatorio como las tormentas, las demás galaxias, la atmosfera o las manifestaciones estáticas, o el ocasionado por el hombre como aparatos electrodomésticos, las fuentes de alta tensión, los motores de combustión, los anuncios publicitarios entre otros, existe otra interferencia que son las zonas minerales o zonas de silencio que es donde no llega la señal de radio o telefonía por los minerales que hay cerca como algunos bosques o selvas.

La interferencia electromagnética es la dificultad que se tiene para una buena comunicación donde se confunde la sensibilidad del dispositivo, la cual se mide con relación a la potencia de señal a ruido e interferencia esta puede ocasionar molestias por no recibir la señal, además de poner en peligro el funcionamiento de la navegación o aéreo, que se interrumpen por la radio autorizada incluyendo a radioaficionados, tv, telefonía móvil, radar, control de tráfico aéreo etc. y otros no autorizados como radiadores involuntarios, dispositivos digitales, WLAN, sistemas de información, buscapersonas etc., también pueden haber riesgos potenciales de interferencia entre teléfonos móviles y la electrónica de los aviones.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Existen 3 tipos de interferencia las de radiofrecuencia la producen los transmisores de radio televisión, los equipos de comunicación, sistemas de cable y otros tipos de sistemas de comunicación que generan señales de radiofrecuencia como parte de su funcionamiento; la eléctrica que es la ocasionada por equipos de cómputo, equipos digitales, sistemas de iluminación, equipos fuertemente eléctricos entre otros y la intermodulación es un tipo de interferencia es la causada por la combinación interna de señales fuerte de radio en los receptores inalámbricos.

2.3 CAMPO ELECTROMAGNÉTICO

Es la interacción entre cargas eléctricas en reposo o movimiento y el campo magnético que se genera bajo la condición de que varíe en el tiempo. El campo electrostático se da por cargas eléctricas que no se mueven y por otra parte el campo magnético se genera por cargas eléctricas que posee velocidad constante o cargas magnéticas estáticas. Este campo electromagnético surge cuando una carga eléctrica es acelerada o hay corriente que varía en el tiempo (Sadiku, 2003). Todo empezó por las investigaciones de químico y físico Faraday y el químico Maxwell de acuerdo con estas investigaciones se sabe que el campo eléctrico produce campo magnético y la inversa. Maxwell además sospecho que la energía electromagnética podría propagarse por el espacio en forma de ondas, la existencia de estas ondas electromagnéticas fue demostrado y sus propiedades estudiadas en 1898 por el físico Hertz. Fue Nernst quien descubrió que la conducción de corrientes de alta frecuencia es debida al desplazamiento de iones en un campo de alta frecuencia, y se reconecto la posibilidad de calentar los tejidos de los organismos por la conducción de dichas corrientes. Desde Faraday, Maxwell y Hertz hasta nuestros días la onda corta ha avanzado mucho en cuanto a técnicas pero la base este es el estudio de dichos científicos.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Es el conjunto de ondas eléctricas y magnéticas moviéndose a la velocidad de la luz $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ y han sido producidas por la aceleración de una carga eléctrica, este término se usa para referirse a la radiación electromagnética se clasifica según su frecuencia, estos campos incluyen campos eléctricos de las redes de energía, radio, tv, radar, comunicación vía satelital, teléfonos móviles, sus antenas entre otros. En la figura 2 se evalúa los parámetros más importantes de la onda las cuales son la amplitud y la frecuencia. La amplitud es la potencia de la onda y la frecuencia es el número de ciclos por segundo que realiza medida en Hz.

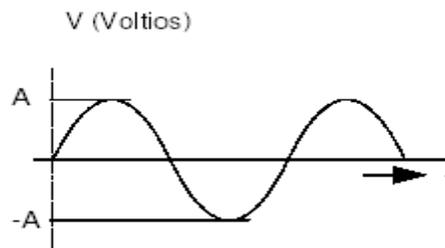


Figura 2: Onda de voltaje con ciclo y medio (Ornetta, 2006)

El campo electromagnético se ordena en un espectro que tiene ondas de frecuencia muy elevada hasta frecuencias muy bajas las cuales a mayor frecuencia es menor la longitud de onda, en la figura 3 se analiza que este espectro está compuesto por rayos gamma, rayos x, radiación ultravioleta, luz visible, rayos infrarrojos, microondas y ondas de radio (Sadiku, 2003).

Físicamente el campo se utiliza para describir e comportamiento de magnitudes que se definen en espacio y tiempo este concepto es básico para explicar fenómenos como gravitacionales, electromagnéticos entre otros, matemáticamente los campos se representan mediante líneas o superficies que a su vez tienen una función de magnitud semejante. La palabra campo en sí es cualquier cantidad física cuyo valor depende de la posición y el espacio representado por un área que es el entorno de fuente de energía eléctrica o magnética los campos pueden ser estáticos o dependientes del tiempo. Los campos son ondas irradiadas desde su fuente donde en su región hay magnitud vectorial o

escalar que toma valores diferentes en cada instante de tiempo en cada punto de dicha regiones así es como se denomina el campo en todo punto del espacio E o B. El comportamiento del campo se puede visualizar por medio de funciones de posición y tiempo, las cuales son escalar cantidad que solo posee magnitud y un vector el cual tiene magnitud y dirección.

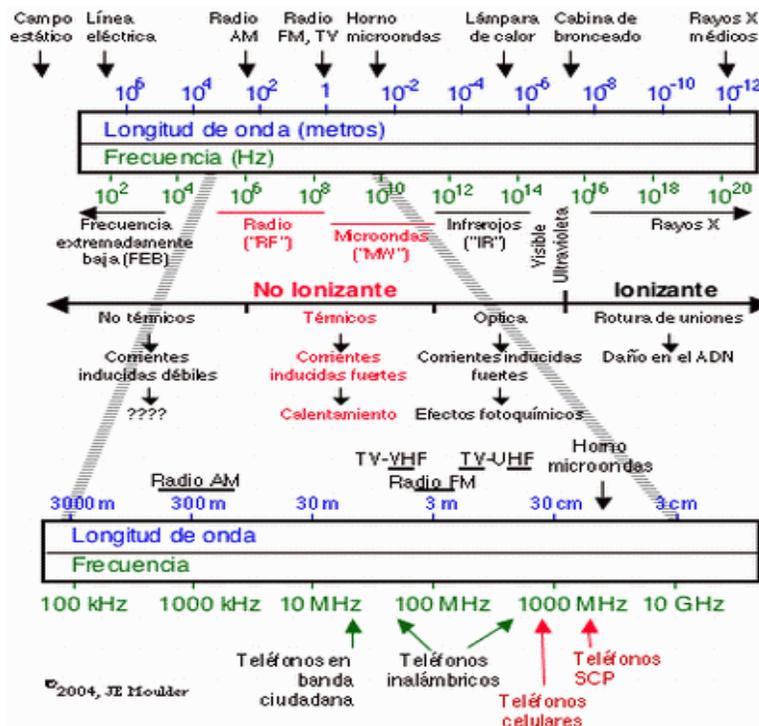


Figura 3: Espectro del campo electromagnético (Moulder.)

2.3.1 CAMPO MAGNÉTICO

Desde años atrás se tenía idea del magnetismo por medio de las imágenes o de las brújulas cuando se tienen dos imanes se tiene interacción de las partículas electrolizadas y con signos iguales se tiene la repulsión y si son de diferentes signos se tiene atracción, pero se descubrió que la tierra misma tiene propiedades magnéticas además que se tiene relación entre el magnetismo y la electricidad la cual fue evaluada hace aproximadamente 200 años por el científico Hans con el experimento de Oersted, que consiste que cuando se presenta corriente eléctrica se genera magnetismo el cual coincidía con la orientación a

la cual va la corriente que se genere, además de los imanes y la tierra eléctrica todo componente eléctrico tiene campo magnético las cargas en movimiento son las que tienen el magnetismo, matemáticamente la influencia magnética se relaciona con la dirección y la magnitud de tal forma que se forma un campo vectorial.

En conclusión el campo magnético se genera debido a la fuerza que ejerce dos cargas en una línea de carga. Con el movimientos de carga, otros tipos de fuerza que ejerce entre cargas de la línea de carga. Está representada la cantidad de campo magnético que es denotado como H, siendo esta una cantidad vectorial creado por las cargas libres. Los campos magnéticos son perpendiculares a la carga eléctrica, es decir mientras una corriente eléctrica traza una línea recta el campo magnético se mantiene alrededor de la línea controlando el medio de las cargas. La unidad de medida de movimiento esta denotado por Amperios/metros (A/m). Figura 4. Efecto Magnético de un campo es constante si se da la corriente directa DC, si la corriente es alterna AC el campo magnético oscila en la misma frecuencia que la fuente convirtiéndose así en campo electromagnético (Hayt, 2007). En la ecuación 1. Existen dos componentes fundamentales del campo magnético que son intensidad de campo magnético (H) y la densidad de flujo magnético (B). Se relacionan entre sí a través de la permeabilidad magnética del medio μ .

$$B = \mu \cdot H \tag{1}$$

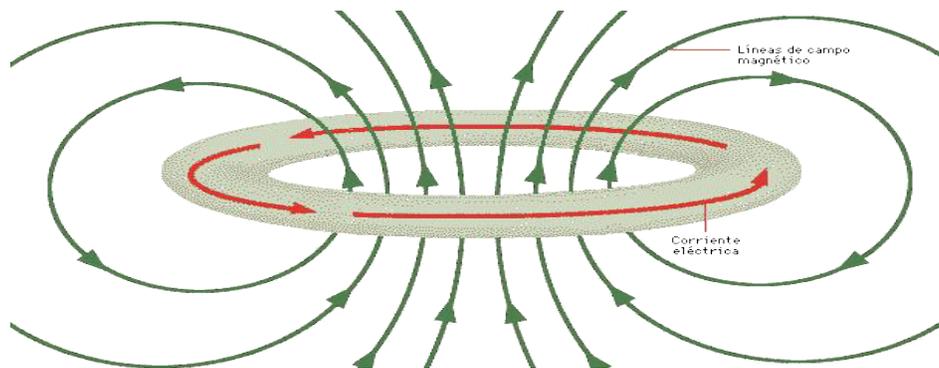


Figura 4. Efecto magnético

2.3.2 CAMPO ELÉCTRICO

El campo eléctrico se genera debido al movimiento de una carga o cuando una carga positiva se separa de una carga negativa es decir cuando la energía está realizando un trabajo, En la Ecuación 2 se define que la cual se denota por E y se puede definir en cualquier punto en el espacio como fuerza eléctrica F por unidad de carga ejercida sobre una pequeña partícula la carga positiva q ubicada en el punto. Gráficamente se observa en la Figura 5.

$$E = \frac{F}{q_0} \text{ N/C} \quad (2)$$

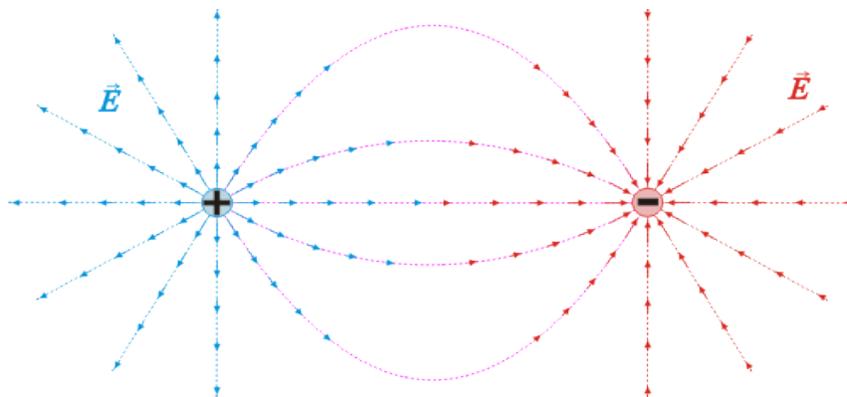


Figura 5. Efecto eléctrico.

El campo eléctrico se describe mediante la interacción entre cuerpos y sistemas con propiedades de naturaleza eléctrica, en el cual el campo vectorial de una carga eléctrica puntual de valor q sufre los efectos de la fuerza eléctrica F dada por la siguiente ecuación 3.

$$\vec{F} = q\vec{E} \quad (3)$$

La transmisión de la fuerza a distancia es algo que no se conoce con precisión ya que supone la presencia de un cuerpo cargado en el espacio, modifica de alguna manera las

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

propiedades de este creando un campo eléctrico y dichas modificaciones se manifiestan mediante la aparición de fuerzas electrostáticas sobre cualquier otro cuerpo cargado situada en el mismo espacio.

2.4 BANDA ANCHA INALÁMBRICA WIFI

normalmente se refiere al acceso a internet de alta velocidad, la comisión federal de comunicaciones FCC define dicho servicio como la transmisión de datos a una velocidad mayor a 200 Kbps o 200000 bits por segundo, en por lo menos una dirección: transmisión de bajada del internet a la computadora del usuario o de subida de la computadora al usuario de internet, la banda ancha da la capacidad para tener acceso a una amplia gama de recursos, servicios y productos que pueden mejorar la vida de diversas formas.

Estos recursos no se limitan a educación, cultura y entrenamiento el cual puede dar acceso a una extensa gama de oportunidades y recursos en estas áreas, tele salud y telemedicina facilita la estación de servicios médicos a poblaciones que carecen de dichos servicios a través de diagnóstico tratamientos y consultas con especialistas a distancia, desarrollo económico puede promover el desarrollo y revitalización económica a través del comercio electrónico, creación de empleos nuevos, y proporción de acceso a mercados nacionales o internacionales, seguridad pública y nacional protege al público al facilitar y promover la información y procedimientos de seguridad preparación para desastres, sistema de respaldo para las redes de comunicación entre otros. La banda ancha permite acceso a las tecnologías nuevas de telecomunicaciones tales como voz sobre protocolo de internet permitiendo la comunicación, además permite a los usuarios de transmitirse de forma más fácil, rápida y expresivamente con los usuarios de teléfono de voz.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.5 ANCHO DE BANDA Y CAPACIDAD DE INFORMACIÓN

El ancho de banda de una señal de información no es más que la diferencia entre las frecuencias máxima y mínima contenida en la información y el ancho de banda de un canal de comunicación es la diferencia entre las frecuencias máximas y mínimas que pueden pasar por el canal, en otras palabras el ancho de banda del canal de comunicación debe ser igual o mayor que el ancho de banda de la información ejemplo las frecuencias de voz que contienen señales de 300 a 3000Hz (OMS, 2007-2013).

Las ondas electromagnéticas de alta frecuencia tienen una longitud de onda corta y energía alta, las ondas de frecuencia baja tienen una longitud de onda larga y energía baja, siempre que las ondas de luz se encuentran en el medio su longitud de onda se reduce, estas longitudes de onda de radiación electromagnética sin importar el medio por el cual viajan son por lo general longitud de onda en el vacío, la radiación electromagnética se clasifica por la longitud de onda de radio, microondas, infrarrojas y región visible que percibe el ser humano como la luz rayos ultravioleta rayos x y rayos gamma (Sadiku, 2003). Las frecuencias altas analizadas en este informe se relacionan en la Tabla 3, según los servicios que operan en cada banda de frecuencia.

Tabla 3. *Descripción de frecuencias a Evaluar en el trabajo de grado*

Frecuencia (MHz)	Servicio
800-900	GSM, 2G, 3G - UMTS/HSDPA/HSPA+
1700-1800	4G/LTE, AWS
1850-2000	GSM, 2G, 3G- UMTS/HSDPA/HSPA+
2100-2200	Telefonía móvil y fija
2400-2500	WiFi 802.11 a- 11 g/b
2500-2700	4G/LTE

Fuente: (CRC, 2009).

En Colombia los operadores de telefonía móvil tienen asignado las siguientes bandas de frecuencia, como se presenta en la Tabla 4.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Tabla 4. *Bandas de frecuencia de los operadores de telefonía móvil en Colombia*

Operador	Bandas de frecuencia
Claro / Comcel	GSM: 850MHz 3G - UMTS/HSDPA/HSPA+: 850MHz 4G/LTE: Banda 7 - 2500MHz
Movistar / Virgin/	GSM: 850MHz 3G - UMTS/HSDPA/HSPA+: 850MHz 4G/LTE: Banda 4 - AWS - 1700MHz
Tigo / UFF / Éxito / ETB	GSM: 1900MHz 3G - UMTS/HSDPA/HSPA+: 1900MHz 4G/LTE : Banda 4 - AWS - 1700MHz
Une	4G/LTE: Banda 7 - 2500MHz
Avantel/MISIM/ JMARIO/ DIM	4G/LTE: Banda 4 - AWS - 1700MHz
DIRECTV	4G/LTE: Banda 7 - 2500MHz

Fuente: (CRC, 2009).

2.6 NORMATIVIDAD DE EXPOSICIÓN PARA PERSONAS

Una antena es un dispositivo pasivo que convierte potencia de radiofrecuencia en campos electromagnéticos o en su defecto los intercepta y los convierte en energía RF, una antena en si es una estación base fija que se conecta con teléfonos móviles mediante ondas electromagnéticas y se conectan a su propia red con la central. Estas antenas son bidireccionales, es decir emisión y recepción de señales de alta y baja potencia, además producen radiación RF, están ubicadas en todas partes, instaladas en postes, en techos de edificios, ya que necesitan de altura para poder tener una cobertura más amplia como se observa en la Figura 6.

Cuando las personas se comunican a través de su móvil, este se conecta a la antena más cercana que a su vez envía la llamada hacia la central de telefonía que nos conecta con el receptor. Por ello no es lo mismo hablar de antenas a objetos que producen energía en radiofrecuencias las estructuras donde se colocan las antenas deben tener una distancia a la población, ya que existen riesgos para la salud, además porque existen varias bases de antenas que varían su potencia características y potencial de energía en radiofrecuencia, a su vez produce flujo de corriente en la antena, esta corriente genera una radiación campo

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

electromagnético a través del espacio libre induciendo pequeñas corrientes en cualquier conductor a su alcance.



Figura 6. Antena de telefonía Móvil (Ornetta, 2006)

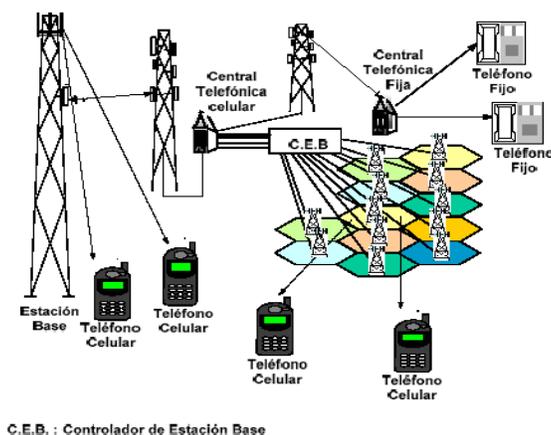


Figura 7. Estaciones base y antenas de telefonía (Ornetta, 2006).

En la realidad suelen instalarse en una base varias antenas que otorguen cobertura circular y por lo general se generan varias dirigidas a un mismo lugar o sector exponiendo más a la población cercana. La intensidad de las emisiones disminuye a medida que la

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

distancia sea más grande según los cálculos efectuados por los entes reguladores y operadores el respeto de dichos límites de protección sanitaria está asegurado considerablemente a partir de 5 metros. En el caso de agrupamientos de sistemas de telefonía móvil de un operador debe extender su distancia hasta en 10 metros, estas distancias están referidas siempre en el sector de emisión de cada antena y horizontalmente en otras direcciones las distancias son menores.

A pesar de ello los resultados de recientes estudios determinan efectos que producen en los seres humanos la exposición a campos de radiofrecuencia dirigido a la Organización Mundial de la Salud (OMS), por la Royal Society de Canadá y a una revisión de la relación entre los teléfonos móviles y la salud, realizado por un comité de expertos del Reino Unido (IEGMP).

2.6.1 USO DE LOS TELÉFONOS MÓVILES A NIVEL MUNDIAL Y EN COLOMBIA

En muchos países, más del 90% de la población ya utiliza teléfonos móviles y el mercado aún sigue creciendo rápidamente ya que hay equipos de alta gama que reemplazan muchas de las actividades que realizan a diario. Debido a esto un número creciente de estaciones base han tenido que ser instaladas. Las estaciones base son sistemas de radio de baja potencia que se comunican con los equipos portátiles. A inicios del 2000 habían alrededor de 20000 estaciones bases operando en nuestro país (CRC, 2005). La conexión a banda ancha y el uso de la telefonía móvil en Colombia se ha incrementado en los últimos años en gran escala según datos que manifiesta el boletín trimestral del MINTIC el número de abonados al final del primer trimestre de 2015 en servicio de telefonía móvil en Colombia alcanzó un total de 56.139.892 abonados quiere decir que aumento en un 8.81% de lo correspondiente al año 2014 en el mismo trimestre, al igual que el servicio de internet móvil el cual se incrementó con el número de suscriptores en un total de 5.413.313 es decir que el total de abonados de internet móvil es de 23.329.825 en porcentaje aumento 12.1% con relación al 2014.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Los proveedores de telefonía móvil en Colombia está dividida de la siguiente manera 53.14% Comcel SAS, Colombia Telecomunicaciones con el 22.95%, Colombia Móvil con el 17.27%, Virgin Mobile 3.77%, Uff móvil 0.81%, los demás proveedores 2.4%, además se observa que los Colombianos utilizan en un 80.29% el servicio de telefonía móvil en categoría prepago frente al 19.71% de Colombianos que utilizan el servicio en categoría pospago, se encuentra además que el servicio se ha penetrado cada vez más en diferentes partes del país donde antes no existía el servicio ni de telefonía móvil ni de internet móvil , estos datos nos hace concluir que en Colombia el uso de servicio móvil nos permite acceder a más personas alrededor del país (CRC C. P., 2015).

En Colombia los límites de exposición de las personas a CEM determinados por la ICNIRP de la UTI- TK 52 y las recomendaciones 1999/519/EC del consejo europeo el cual establece los límites de exposición de público en general en CEM, legalizado en el decreto 195 de 2005, expedido por el gobierno nacional, el ministerio TICs, ministerio de protección social y ambiental en donde se adopta límites para la exposición a las personas para los campos electromagnéticos , se adecuan procedimientos de instalación a estaciones radioeléctricas entre otras. Además con respecto al decreto 061 del 31 de enero de 1997 donde establece normas urbanísticas y arquitectónicas que conforma la red de telecomunicaciones (CRC, 2005).

2.6.2 CONSIDERACIONES SOBRE LA SALUD

Dado el gran número de usuarios de teléfonos móviles, inclusive, pequeños efectos adversos en la salud podrían tener implicaciones importantes en la salud pública. Varias consideraciones importantes deben de tenerse en cuenta cuando se realiza la evaluación de posibles efectos en la salud por campos de RF. Actualmente los sistemas de telefonía móvil operan en frecuencias entre los 800 y 1900 MHz. Es importante no confundir a los campos de RF con la radiación ionizante como los rayos X o los rayos gama, que son capaces de romper moléculas, si un haz de radiación ionizante rompe la cadena de ADN

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

produce cáncer. A diferencia de la radiación ionizante, los campos de RF no pueden producir ionización o radioactividad en el cuerpo; por esta razón, los campos de RF son llamados no ionizantes.

Los teléfonos móviles portátiles y las estaciones base representan situaciones de exposición completamente distintas. La exposición a la RF por parte de un usuario de un teléfono móvil portátil es mucho mayor que la de una persona que vive cerca de una estación base. Sin embargo, aparte de señales poco frecuentes utilizadas para mantener conexión con estaciones bases cercanas, los teléfonos celulares transmite energía RF únicamente durante el tiempo en el que la llamada está siendo realizada o mientras está conectado a internet pero es a casi todo momento, mientras que las estaciones base transmiten señales todo el tiempo. Los teléfonos móviles portátiles son transmisores de RF de baja potencia, emitiendo potencias máximas en el rango de 0,2 a 0,6 W. La intensidad del campo de RF desciende rápidamente con la distancia al equipo. En consecuencia, la exposición a la RF de un usuario cuyo teléfono se ubica a 10 cm de la cabeza es más baja que la de un usuario que coloca el teléfono portátil pegado a la cabeza. La exposición a la RF de gente ubicada en las cercanías es media (OMS, 2007-2013).

Las estaciones base transmiten niveles de potencia desde unos pocos vatios hasta 100 W o más, dependiendo del tamaño del sector para el cual están diseñados. Las antenas de la estación base tienen, normalmente, entre 20 y 30 centímetros de ancho y un metro de alto, y son montadas en edificios o en torres a una altura sobre el suelo que va desde los 15 m hasta los 50 m. Estas antenas emiten haces de RF que, normalmente, son muy estrechos en la dirección vertical pero relativamente anchos en dirección horizontal. Debido a este angosto haz vertical, la intensidad del campo RF en el suelo ubicado directamente debajo de la antena es baja. La intensidad del campo de RF se incrementa ligeramente según se va alejando de la estación base para luego decrecer a grandes distancias. Para antenas montadas en techos, se suele instalar cercas dentro de los 2 a 5

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

metros, con el fin de mantener alejadas a las personas de los campos de RF que exceden los límites de exposición. Puesto que las antenas orientan su energía al exterior y no irradian cantidades significativas de energía desde las superficies posteriores o hacia la cima o la base de la antena, los niveles de energía de RF dentro o en los lados del edificio normalmente son bajos (Sadiku, 2003).

2.6.3 EFECTOS EN LA SALUD

Los campos de RF penetran los tejidos expuestos a profundidades que dependen de la frecuencia hasta un centímetro en el caso de las frecuencias utilizadas por los teléfonos móviles. La energía RF es absorbida en el cuerpo y produce calentamiento, pero disipa este calor. Todos los efectos establecidos debido a la exposición a la RF están relacionados con el calentamiento. Mientras la energía de RF puede interactuar con tejidos del cuerpo a niveles muy bajos para producir un calentamiento insignificante, no hay estudios que hayan demostrado efectos adversos en la exposición a niveles que se encuentran por debajo de los límites internacionales.

La mayoría de los estudios han examinado los resultados a corto plazo, de todo el cuerpo expuesto a campos de RF a niveles mayores a los relacionados con las comunicaciones inalámbricas. Con la llegada de varios aparatos como los teléfonos móviles, algunos estudios se han especializado en las consecuencias de la exposición localizada de los campos de RF en la cabeza.

La OMS ha identificado la necesidad de investigaciones que permitan hacer mejores evaluaciones de riesgo en la salud y promueve dichas investigaciones entre las agencias que puedan financiarlas. Brevemente las investigaciones, hasta el momento, arrojan los siguientes resultados:

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Cáncer: Las evidencias científicas actuales indican que es probable que la exposición a campos de RF, como los emitidos por los teléfonos móviles y sus estaciones base, induzca o produzca cáncer. Varios estudios en animales expuestos a campos de RF similares a los emitidos por los teléfonos móviles no encuentran evidencia de que la RF cause o estimule tumores cerebrales. Varios estudios vienen llevándose a cabo para confirmar este hallazgo y determinar cualquier relevancia de estos resultados con el cáncer en seres humanos.

Otros riesgos en la salud: Algunos científicos han reportado otros efectos debido al uso de teléfonos móviles que incluyen cambios en la actividad normal del cerebro, en el tiempo de reacción y en los patrones de sueño. Estos efectos son mínimos y no tienen aparente efecto sobre la salud.

Interferencia Electromagnética: Cuando los teléfonos móviles son utilizados cerca de algunos aparatos médicos (incluyendo marcapasos, implantes tipo desfibrilador y algunos audífonos) existe la posibilidad de causar interferencia. También hay riesgos potenciales de interferencia entre los teléfonos móviles y la electrónica de los aviones.

Los servicios de telecomunicaciones en gran parte de la población genero la necesidad de construir un elevado número de infraestructuras con el fin de ampliar a la cobertura y mejorar la calidad, pero genera preocupación en las personas debido a los efectos en la salud de los campos producidos por estos sistemas. En tanto el gobierno colombiano expidió el decreto 195 de 2005 titulado *"Por el cual se adopta límites de exposición de las personas a campos electromagnéticos, se adecuan procedimientos para la instalación de estaciones radioeléctricas y se dictan otras disposiciones"*. (CRC, 2005). Realizado por el ministerio de tecnologías de la información y las comunicaciones. Estos límites que establece dicho decreto fueron recomendados y evaluados por la ICNIRP (Comisión Internacional sobre Protección Frente a Radiaciones No Ionizantes), tras realizarse estudios en Colombia con la universidad Javeriana de Bogotá y la CRC donde deben

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

garantizar que las zonas de exposición no excedan los límites establecidos a sus frecuencias de operación (OMS, 2007-2013).

Un estudio de la Agencia Nacional del Espectro, que entre sus funciones tiene la de monitorear esos efectos, acaba de establecer que en el país las antenas instaladas emiten radiaciones muy por debajo de los niveles recomendados por la OMS y que Medellín, siendo la ciudad de mayor infraestructura instalada, es la que a la vez tiene los niveles más bajos de radiación del campo electromagnético. De un punto máximo de 100, Medellín llega al 12,5%, contra un 67,7% de Bogotá y 31,4% de Cali. (MINTIC, 2007).

"Estos resultados evidencian que si hay más infraestructura, menor es la intensidad de campos electromagnéticos. Esto, debido a que la potencia que emplean los equipos debe disminuir cuando hay más infraestructura", explicó el director de la Agencia Nacional del Espectro, Óscar Giovanni León Suárez. Recomendaciones sobre Campos Electromagnéticos (Suarez, 2014)

2.6.4 EL TRABAJO DE LA OMS

En respuesta a la inquietud del público la OMS ha establecido el Proyecto Internacional de Campos Electromagnéticos (CEM) para evaluar las evidencias científicas de los posibles efectos en la salud por CEM.

Estudios específicos han sido identificados para abordar el problema de la exposición localizada. El proyecto ha establecido un mecanismo formal para la revisión de los resultados de investigaciones y evaluación de los riesgos de exposición a RF, así mismo se está desarrollando material informativo para el público y se están armonizando los estándares de los diferentes entes internacionales que investigan las RNI.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

La OMS también está dirigiendo una investigación sobre RF. Un estudio epidemiológico a gran escala está siendo coordinado en más de 10 países por la Agencia Internacional de Investigación del Cáncer (IARC) -una agencia especializada en el cáncer perteneciente a la OMS- para identificar si existen enlaces entre el uso de teléfonos móviles y el cáncer de la cabeza y el cuello (MINTIC, 2007).

Como parte de su mandato de proteger la salud pública, y en respuesta a la preocupación pública por los efectos sobre la salud de la exposición a CEM, la Organización Mundial de la Salud (OMS) creó en 1996 el Proyecto Internacional CEM para evaluar las pruebas científicas de los posibles efectos sobre la salud de los CEM en el intervalo de frecuencia de 0 a 300 GHz. El proyecto de CEM está abierto a todos los gobiernos de los Estados miembros de la OMS, es decir, los departamento de la salud, o representantes de otras instituciones nacionales responsables por la protección contra la radiación. El proyecto es totalmente financiado por los países y las agencias que participan (OMS, 2007-2013).

2.6.5 ICNIRP (1998)

La Unión Europea UE ha recomendado normas basadas en las recomendadas por la ICNIRP, para la protección del público en más de 30 países se están adoptando dichas recomendaciones.

Los efectos están relacionados con el campo eléctrico interno V/m, estos efectos son básicamente la absorción de energía magnética, el aumento de la temperatura corporal, los efectos térmicos, esta última se relacionan con la tasa de absorción específica es decir la energía absorbida por unidad de tiempo y por unidad de masa corporal W/Kg, el límite base es de 0.08W/Kg el cual corresponde a las comunicaciones móviles desde la estación base, desde los teléfonos móviles el límite es de 2.0W/Kg, se deben tener en cuenta dichas medidas ya que la sensibilidad del CEM es alta y los

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

riesgos afectan a la patología amenazante como lo es el cáncer, en la tabla 5 se resume los parámetros recomendados por la ICNIRP.

Tabla 5. *ICNIRP, Directrices CEM*

	Frecuencia de Potencia Europea		Frecuencias Telefonía móvil y estaciones base		Frecuencia Microondas
Frecuencia	50 Hz	50 Hz	900 MHz	1.8 GHz	2.45 GHz
Límites de Campo	Eléctrico	Magnético	Eléctrico	Magnético	Eléctrico
Exposición Pública.	(V/m)	(μ T)	(V/m)	(V/m)	(V/m)
	5 000	100	41.25	58.34	61

Fuente: (Vecchia, 2007).

La reglamentación de la UE del 12 de julio de 1999, aclara las recomendaciones en general de la exposición de campos electromagnéticos hasta la frecuencia de 300GHz. Al igual la norma sobre las disposiciones mínimas de seguridad y salud relativa, a la exposición de riesgos derivados de los agentes físicos, fue aprobada del 07 de julio de abril del 2004. (Vecchia, 2007).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3. METODOLOGÍA

La investigación y recolección de información referente al tema fue seleccionada de diferentes textos, artículos, revistas etc. El primer paso para la ejecución de la propuesta fue la selección de los bloques en dicha sede universitaria para realizar las mediciones en alta frecuencia, los bloques seleccionados fueron C, D, E, F, G y H, en los cuales se concentran la mayor parte de la comunidad académica; previo a la selección se realizó una vista para identificar las áreas de los salones y pasillos donde se realizarían las mediciones. A partir de esta información se realizaron las medidas en alta frecuencia en el rango correspondiente a 800MHz y 3GHz en un tiempo estimado de 2 minutos y 30 segundos. Se desarrolló un protocolo de manejo y configuración inicial de los equipos, recomendaciones y operatividad de dichos equipos.

Posteriormente se dio paso al procesamiento de la información y depuración de los datos obtenidos de las mediciones en alta frecuencia de campo electromagnética, a través de herramientas ofimáticas Excel, el software FSCview y Argis. Finalmente, se presentan en unos mapas de la sede universitaria, los niveles de campo electromagnético medidos, lo cual, permitió identificar las zonas que son altamente transitables por la comunidad académica y que presentan el mayor nivel de intensidad de campo eléctrico, logrando así identificar si la comunidad universitaria están en riesgo.

3.1 PROTOCOLO DE MEDICIÓN

Para llevar a cabo las mediciones de campo electromagnético en alta frecuencia se utilizaron varios elementos facilitados por los laboratorios del ITM, se utilizó un analizador de espectro R&S FSH 8 se observa en la figura 8, este equipo se utiliza para varias tareas en diferentes ámbitos, para este caso, en mediciones de intensidad de campo eléctrico con un rango de frecuencias de 9kHz a 8GHz, sensibilidad de aparato <-141dBm

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

equivalente a 1Hz, pre amplificación <-161 dBm equivale a 1Hz, incertidumbre de medición <1 dB, este analizador es de fácil manejo debido a las teclas de fácil acceso y porque es portable con su batería que dura entre 3 y 4 horas seguidas, su manejo es sencillo gracias a que es configurable, con secuencias de pruebas automáticas de usuarios (ROHDE&SCHWARZ, 2015).

También se utilizó la antena isotrópica R&S TSEMFB1 101732 se observa en la figura 8 con rango de frecuencia entre 30MHz y 3 GHz. Es un detector de campo electromagnético de alta frecuencia, en escenarios complejos y señales de RF en el entorno CEM, se caracteriza por la precisión que tienen ya que sus resultados son fiables y eficientes en sitios adecuados para una amplia gama de aplicaciones medición de intensidad del campo cubre 1 mV/m A 100 V/m aproximadamente, la densidad isotrópica es de <2.1 dB \pm 1dB= 900MHz y \pm 1.7dB=1800MHz, este equipo está protegido contra daños mecánicos y peligros ambientales, su uso es fácil por su cables integrados flexibles conector RF N macho, control de línea, conector de 7 pines para la conexión directa al puerto del analizador de espectro, además cuenta con un cable adaptador para conexión directa al equipo ordenador con salida USB (ROHDE&SCHWARZ, 2015). Adicionalmente se requieren de los siguientes suministros para realizar para mediciones de campo electromagnético. Mapas de los bloques C, D, E, F, G y H por pisos de la sede Robledo, Trípode, Cable RF de 7 pines, Memoria USB, Flexómetro y Cronómetro.



Figura 8. Antena Isotrópica TSEMFB1 101732 y analizador de espectro R&S FSH 8 (ROHDE&SCHWARZ, 2015)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Esquema de conexión y configuración del analizador

Se conecta la antena al analizador de espectro utilizando el cable RF de 7 pines, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

La antena se pone en un trípode como se observa en la Figura 9, el cual permite obtener una altura de 1.50 m desde el suelo, según lo recomendado por la (IEEE, 1985).



Figura 9. Ubicación central antena y montaje

Para la configuración del equipo, se selecciona el transductor TSEMFB1 101732 en la opción Instrument- Transducer Control. Una vez se selecciona la antena isotrópica se procede a configurar los siguiente parámetros del analizador: Rango de frecuencia de 800 MHz a 3 GHz, Unidades de medición en dBuV/m, Nivel de referencia de 151.7 dBuV/m y Modo de traza MAX HOLD.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Procedimiento de medición

Previo a las mediciones se llevó a cabo un reconocimiento visual del lugar donde se realizaron las mediciones con el fin de determinar el punto exacto de medición, identificar la ubicación de los equipos que generan señal inalámbrica como Access Point AP, obstáculos al interior del cada salón, presencia de equipos de cómputo, antenas de estaciones base de telefonía móvil, etc.

Para la toma de la medición se ubicó la antena en la parte central de cada salón, como se observa en la figura 10, por un lapso de 2'30'', haciendo un barrido constante en la banda de frecuencia de 800MHz a 3GHz. Es importante aclarar que a la hora de realizar las mediciones, los equipos móviles del personal que realizó las medidas se encontraban apagados para no interferir con las mismas.

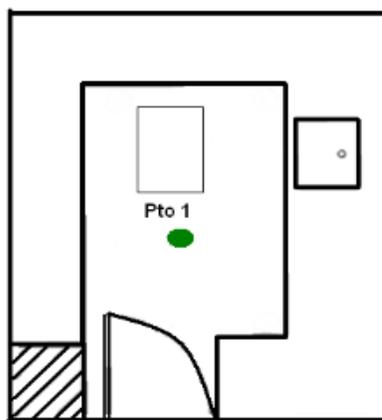


Figura 10. Modelo de ubicación de la antena para realizar la medición

Almacenamiento y procesamiento de los datos

Para almacenar la información es importante que el equipo detecte la USB. Al momento de guardar cada medición con la opción SAVE se selecciona el destino USB y se le asigna el nombre que tiene otorgado cada espacio por la universidad, es decir, el salón del bloque C piso 2 salón 01 será C201 y para los pasillos lo precede la letra P con el nombre del salón

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

más cercano es decir PC201, todo ello aplica en la mayoría de los bloques excepto en el Bloque F biblioteca en el cual la mayoría son oficinas de investigación, salas de computo, salas de lectura y descanso, en el cual se le asignó el nombre correspondiente a donde se estaba generando la medición. Cada archivo queda guardado con la extensión .set.

Para depurar los datos se usa el software FSCview V.222 de R&S. Con este software se convierten los archivos .set al formato .txt, se procesan los archivos en una hoja de Excel obteniendo el campo eléctrico E máximo en dBuV/m.

Una vez depurados los archivos se proceden a organizar los datos en una hoja Excel donde se tienen los valores máximos para salones y pasillos en los rango de frecuencia de 800-900 MHz, 1700- 1800 MHz, 1850- 1900MHz, 2100-2200 MHz, 2400-2500 MHz. 2500-2700MHz. Por último se hace la conversión a V/m por medio de la ecuación 4.

$$E \left(\frac{V}{m} \right) = 10^{\frac{dB\mu V/m}{20}} \times 1 \times 10^{-6} \quad (4)$$

Por último, se utilizó el software ArcGIS maps V.10.3 el cual permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica. En este software se montaron los mapas de los bloques C, D, E, F, G y H con el contorno de la sede Robledo, se ubicaron las antenas de telefonía móvil más cercanas al sector y los Acces Point ubicados en cada Bloque y los puntos donde se detectaron los mayores valores de campo eléctrico en V/m.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en las mediciones fueron confrontados con los niveles exigidos por la Norma Health Physics 74, 494-522 (1998). En esta sección se muestran los mapas de cada uno de los bloques de la sede Robledo con los valores de campo eléctrico máximo medido en cada piso de los diferentes bloques, en el rango de 800MHz a 3GHz.

En la figura 11, se presenta el mapa general donde se realizaron las 241 mediciones, de las cuales 153 mediciones se realizaron en salones y 88 mediciones se realizaron en los pasillos, los cuales están representados en cada mapa con puntos de color negro. Además se puede identificar en el mapa con una estrella de color rojo los 56 Acces point y las 4 antenas de estaciones base cercanas al campus representadas con la figura de una antena.

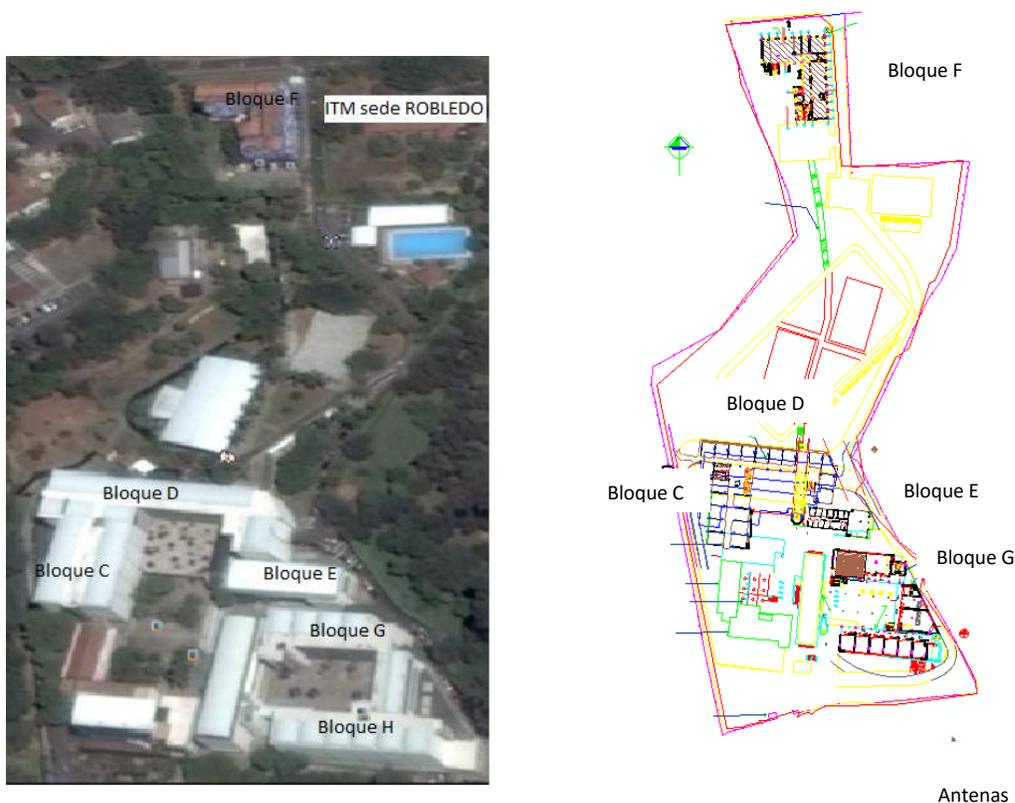


Figura 11. Mapa general de campus ITM Robledo.

4.1 RESULTADOS DE LOS BLOQUE C, D Y E

El bloque C, D y E cuenta con cinco pisos, en los cuales se realizaron 132 medidas en total, 100 se tomaron en salones y 32 en pasillos, además se identificaron 25 AP's, y ninguna antena de estaciones base cercana a estos bloques.

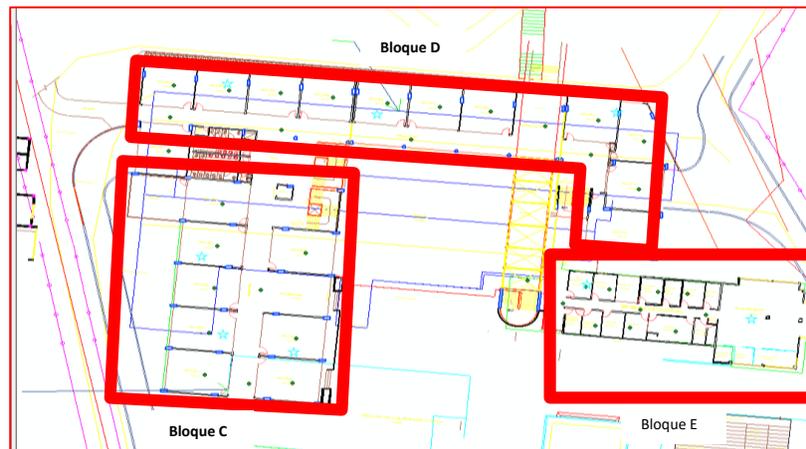


Figura 12. BloqueS C, D y E

En el piso 2 del bloque C, se observa que el mayor valor de intensidad de campo eléctrico se presenta en el salón C208 de 0,51V/m, en el rango de frecuencia de 2400–2500 MHz, debido al AP ubicado dentro del salón. De igual manera se presentan valores muy cercanos al máximo en los salones C204, C206 y C207 por la ubicación de los otros AP's, como se observa en la Figura 13 y 14.

En el piso 3 del bloque C, se observa que el mayor valor de intensidad de campo eléctrico se presenta en el salón C309 de 0,375V/m, en el rango de frecuencia de 2400–2500 MHz, debido a que en este salón se encuentra un AP, como se observa en la Figura 15 y 16.

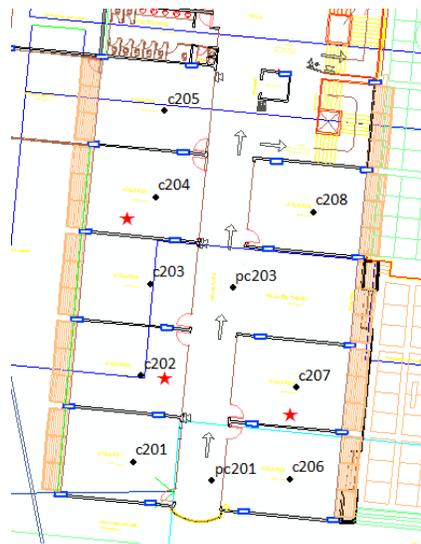


Figura 13. Mapa Bloque C Piso 2

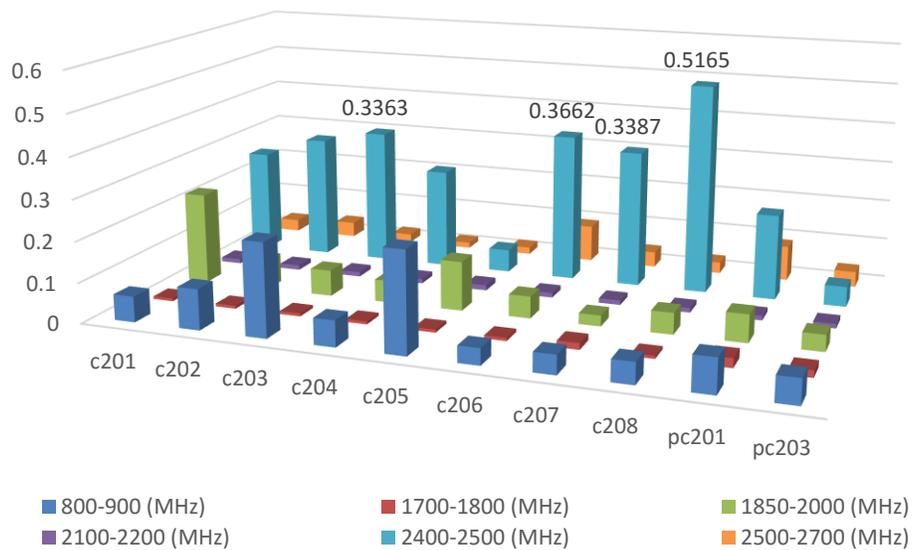


Figura 14. Valores de Campo eléctrico en el bloque C piso 2.

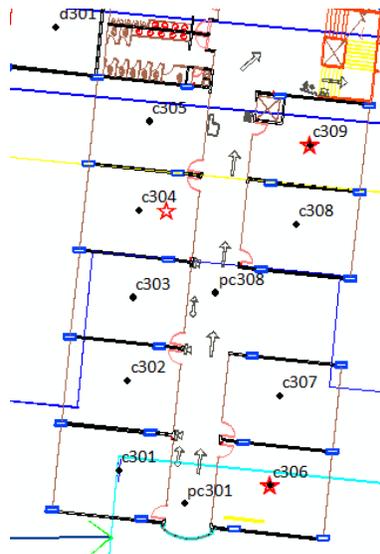


Figura 15. Mapa Bloque C Piso 3.

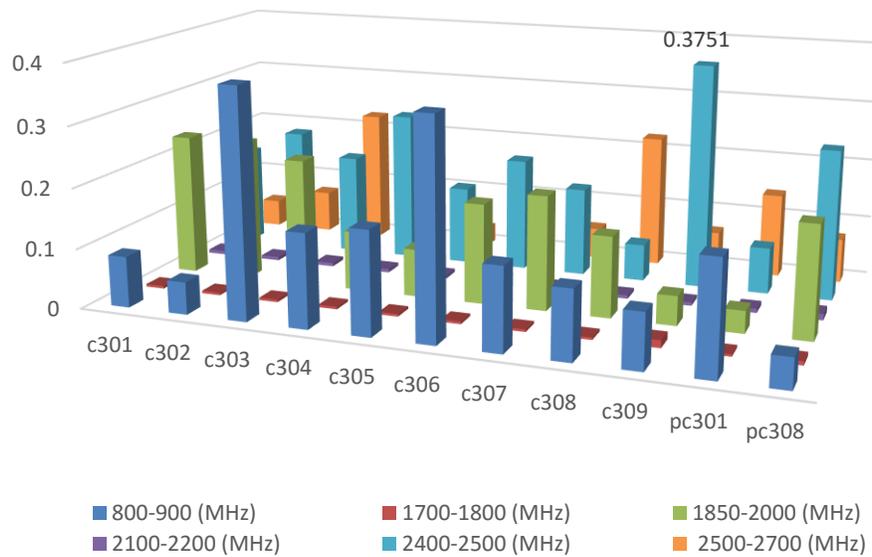


Figura 16. Valores de Campo eléctrico en el bloque C piso 3.

En el piso 4 del bloque C, se observa que el mayor valor de intensidad de campo eléctrico se presenta en el pasillo PC401 de 1,332 V/m, en el rango de frecuencia de 2500–2700 MHz, debido a que en este salón se encuentran equipos móviles de tecnología de cuarta generación 4G, de igual manera se presentan valores muy cercanos al máximo en los salones C401 y C406, como se observa en la Figura 17 y 18.

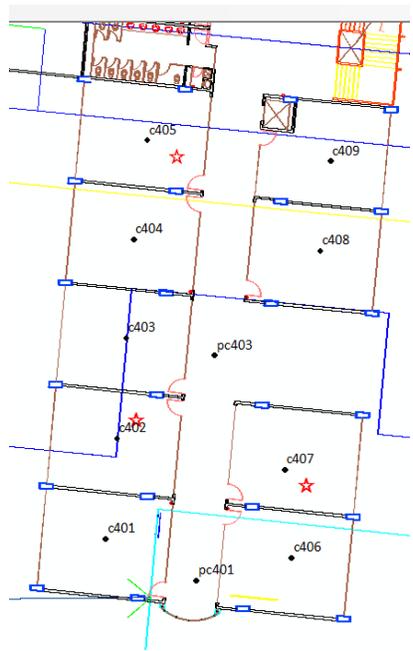


Figura 17. Mapa Bloque C piso 4

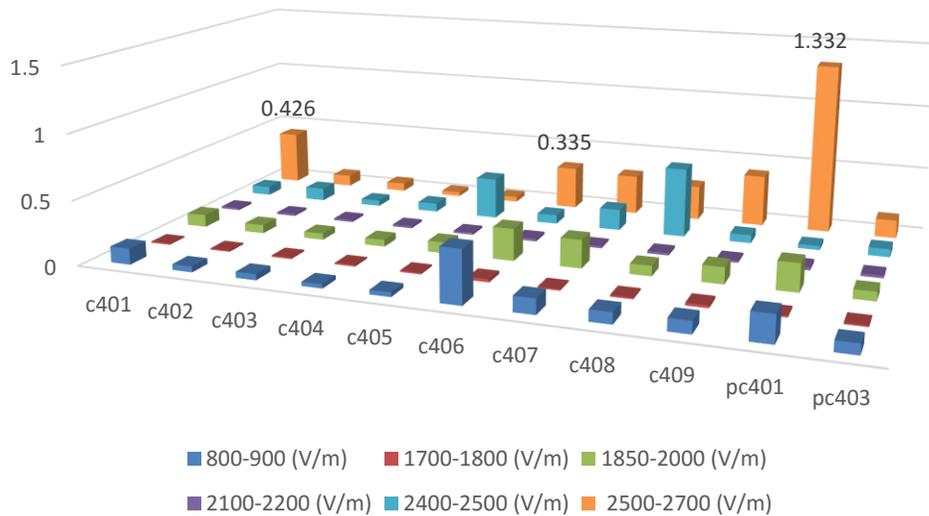


Figura 18. Valores de Campo eléctrico en el bloque C piso 4.

En el piso 5 del bloque C, se observa que el mayor valor de intensidad de campo eléctrico se presenta en el salón C505 de 0,6797V/m, en el rango de frecuencia de 2400–2500 MHz, debido a que cerca de este salón se encuentra un AP, de igual manera se presentan

valores muy cercanos al máximo en los salones C504, C506 y C509, como se observa en la Figura 19 y 20.

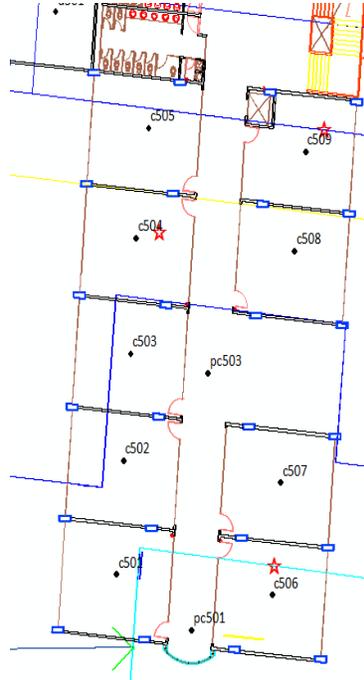


Figura 19. Mapa Bloque C piso 5.

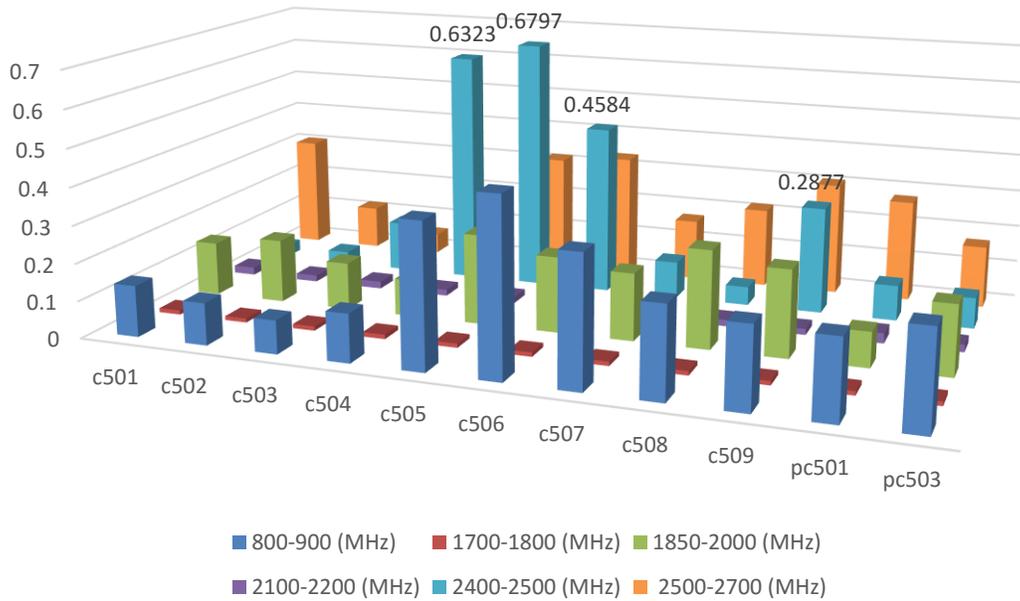


Figura 20. Valores de Campo eléctrico en el bloque C piso 5.

En el piso 2 del bloque D, se observa que el mayor valor de intensidad de campo eléctrico se presenta en el pasillo PD208 de 1,4634 V/m, en el rango de frecuencia de 1850-2000 MHz , debido a que cerca de este salón se encuentran servicios de telefonía 3G, 2G, GSM como se observa en la Figura 21 y 22.

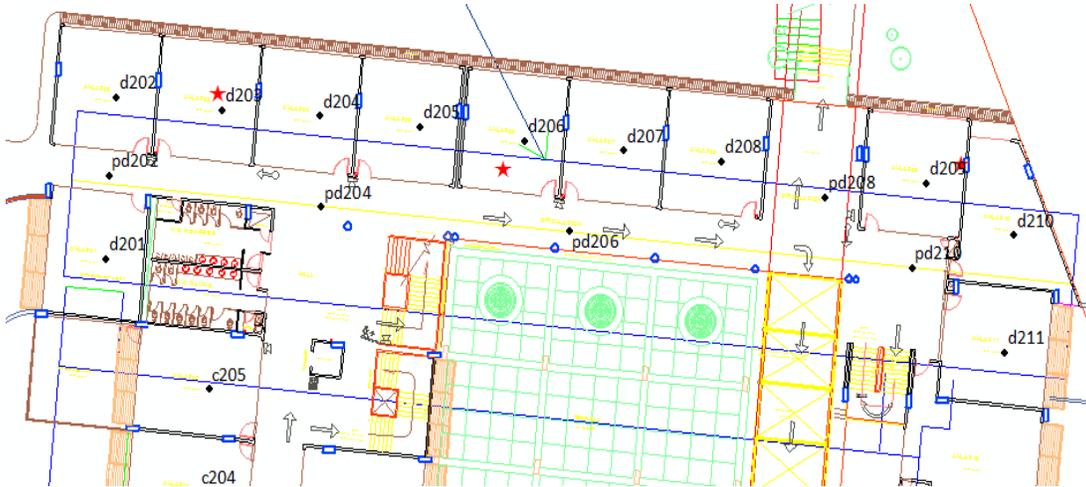


Figura 21. Mapa Bloque D piso 2.

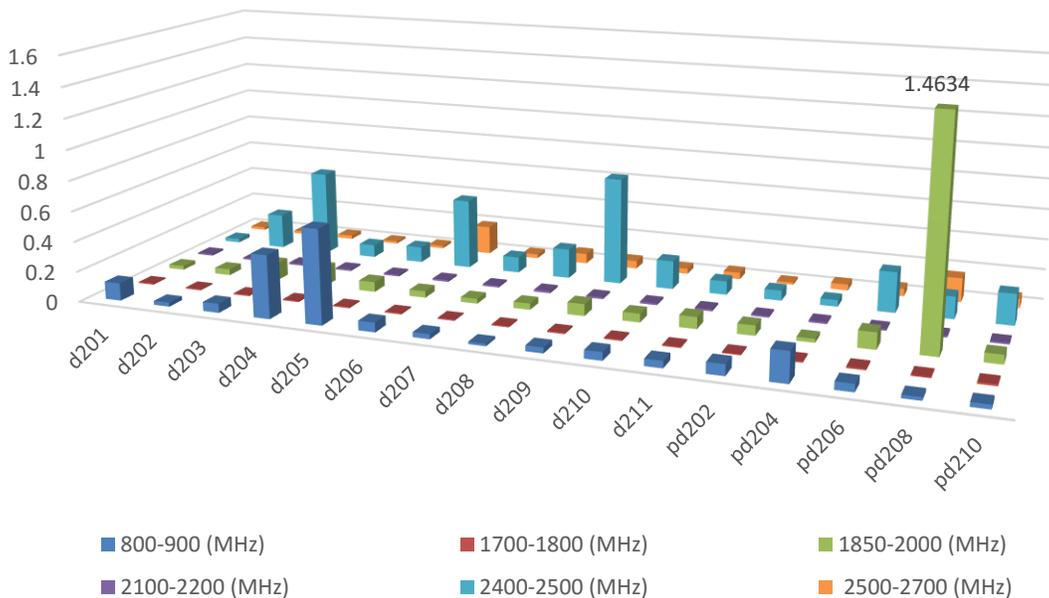


Figura 22. Valores de Campo eléctrico en el bloque D piso 2.

En el piso 3 del bloque D, se observa que el mayor valor de intensidad de campo eléctrico se presenta en el salón D301 de 0,4771 V/m, en el rango de frecuencia de 800-900 MHz, debido a que cerca de este salón se encuentran servicios de telefonía 3G, 2G, GSM que se encontraban en funcionamiento, como se observa en la Figura 23 y 24.

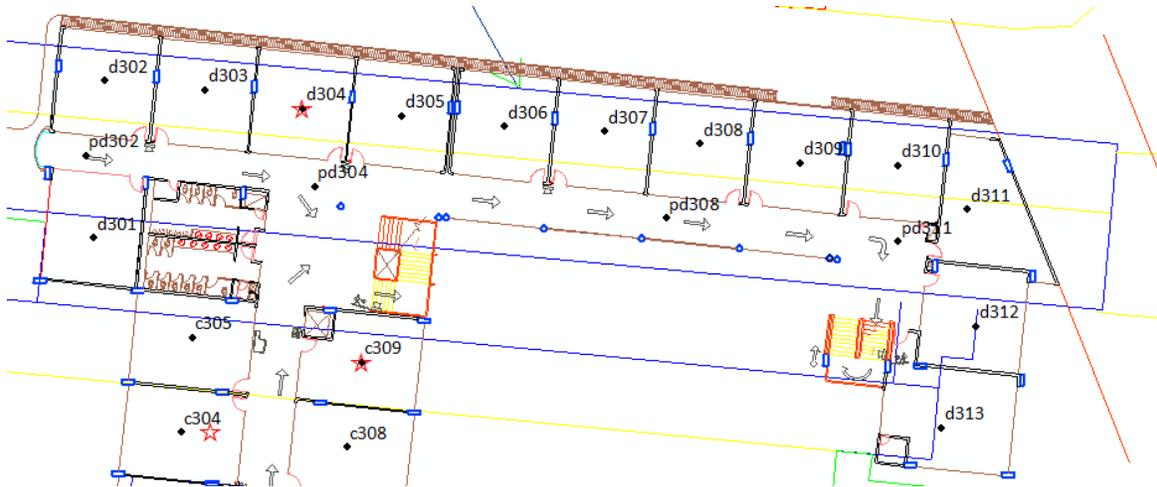


Figura 23. Mapa Bloque D piso 3.

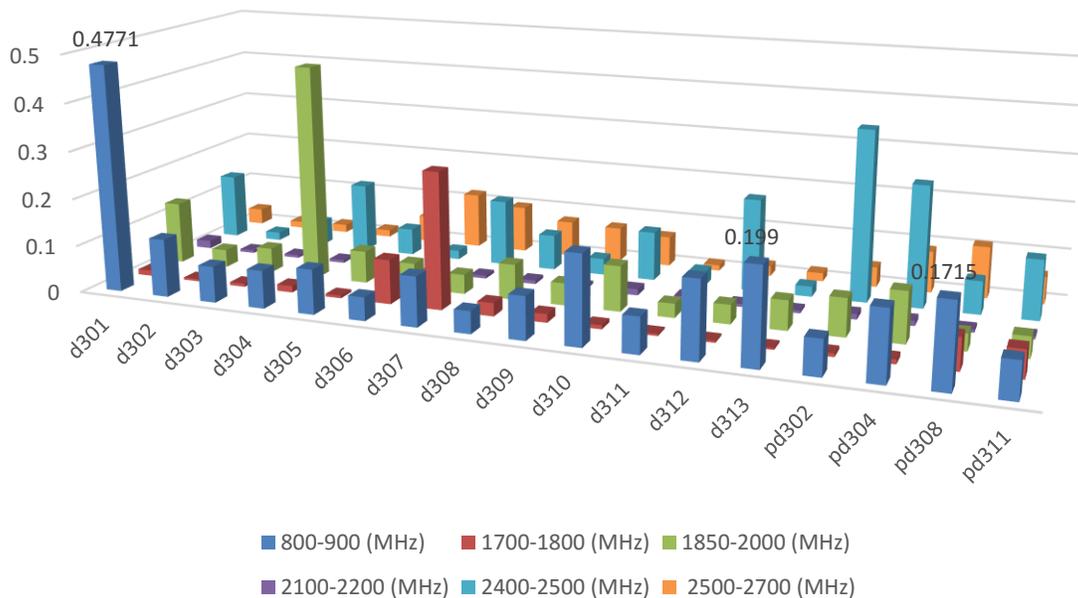


Figura 24. Valores de Campo eléctrico en el bloque D piso 3.

En el piso 4 del bloque D, se observa que el mayor valor de intensidad de campo eléctrico se presenta en el salón D403 de 0,9466V/m, en el rango de frecuencia de 1850-2000 MHz, debido a que cerca de este salón se encuentran servicios de telefonía 3G, 2G, GSM, de igual manera se presentan valores muy cercanos al máximo en los salones C504, C506 y C509 por la ubicación de los otros servicios de telefonía 3G, 2G, GSM, como se observa en la Figura 25 y 26.

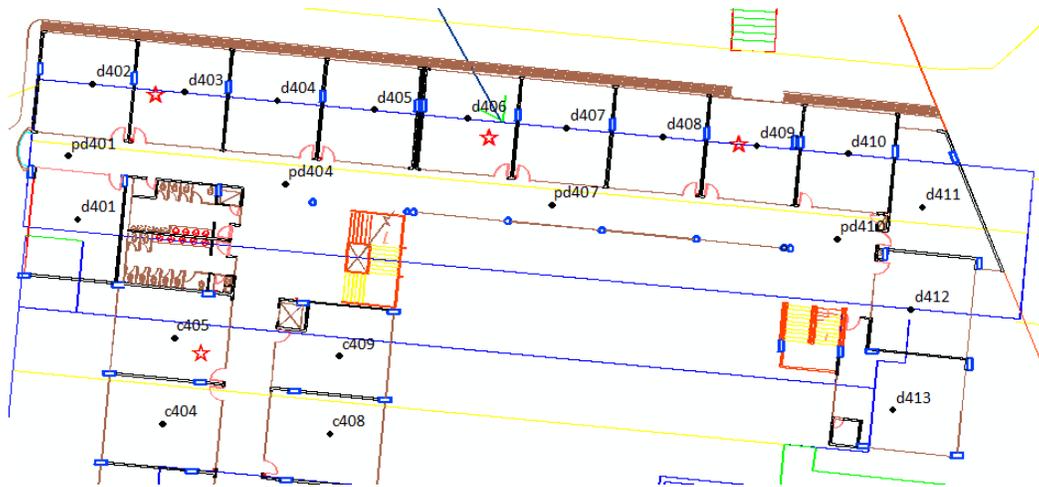


Figura 25. Mapa Bloque D piso 4.

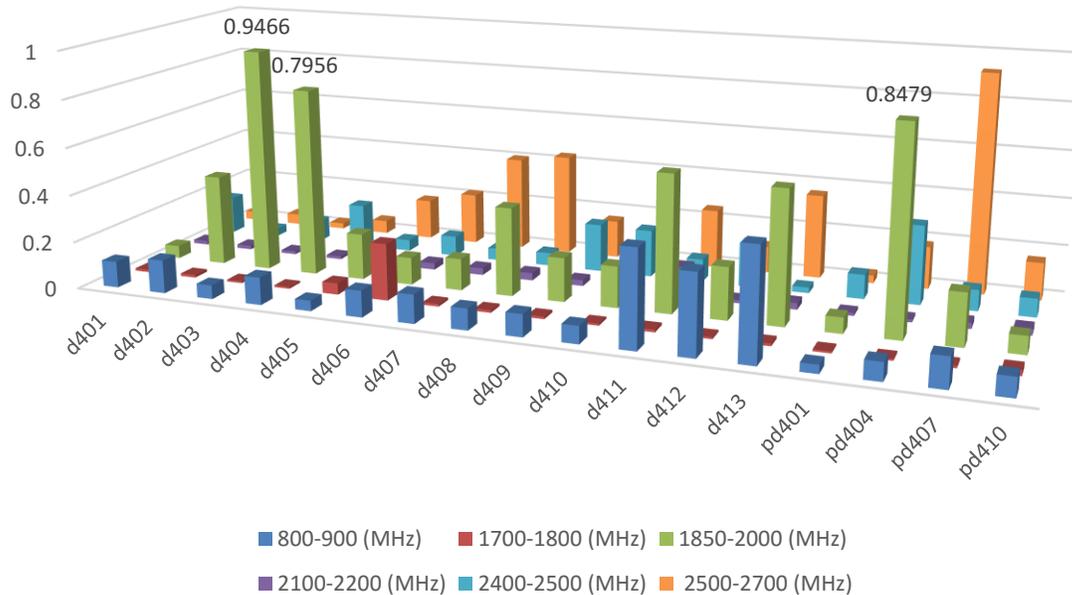


Figura 26. Valores de Campo eléctrico en el bloque D piso 4.

En el piso 5 del bloque D, se observa que el mayor valor de intensidad de campo eléctrico se presenta en el pasillo PD507 de 1,1137V/m, en el rango de frecuencia de 2500–2700 MHz, de igual manera se presentan valores muy cercanos al máximo en los salón D506, como se observa en la Figura 27 y 28.

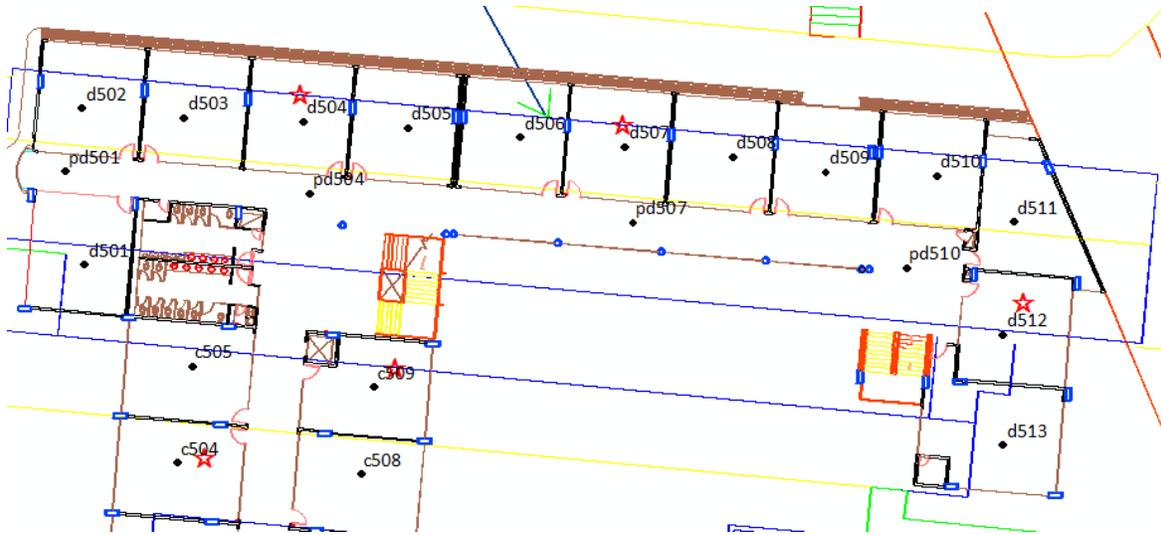


Figura 27. Mapa Bloque D piso 5.

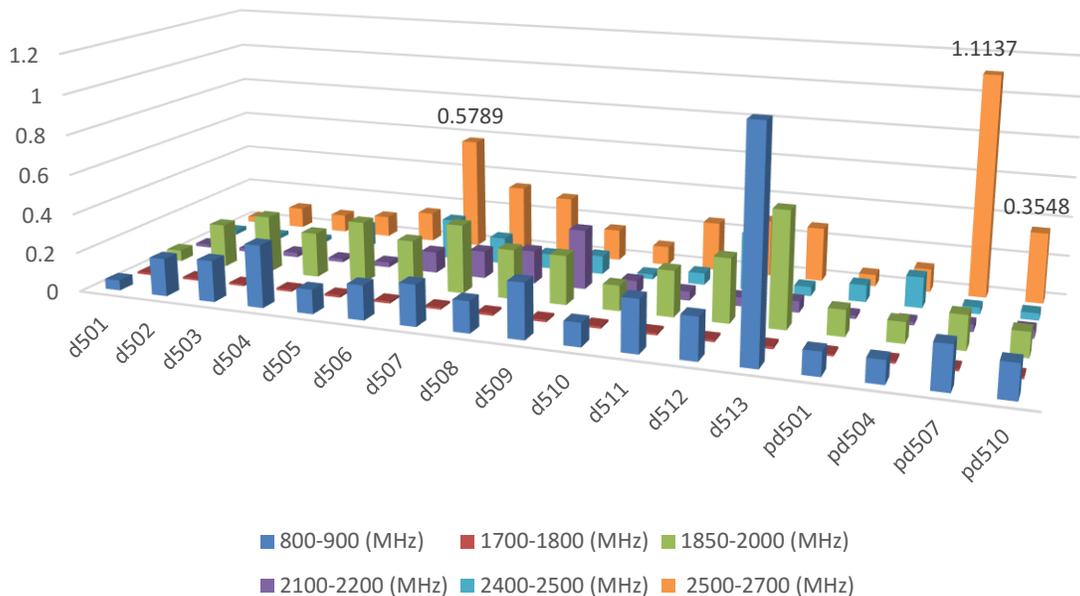


Figura 28. Valores de Campo eléctrico en el bloque D piso 5.

En el piso 2 del bloque E, se observa que el mayor valor de intensidad de campo eléctrico se presenta en el salón E204 de 1,2606V/m, en el rango de frecuencia de 800-900 MHz, debido a que cerca de este salón se encuentran servicios de telefonía 3G, 2G, GSM de igual manera se presentan valores muy cercanos al máximo en los pasillos PE201 y PE202, como se observa en la Figura 29 y 30.

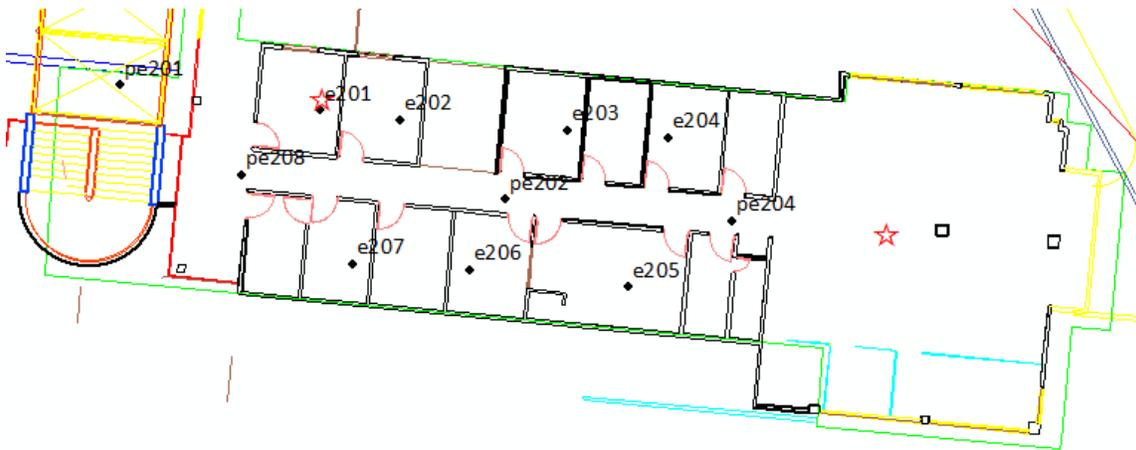


Figura 29. Mapa Bloque E piso 2.

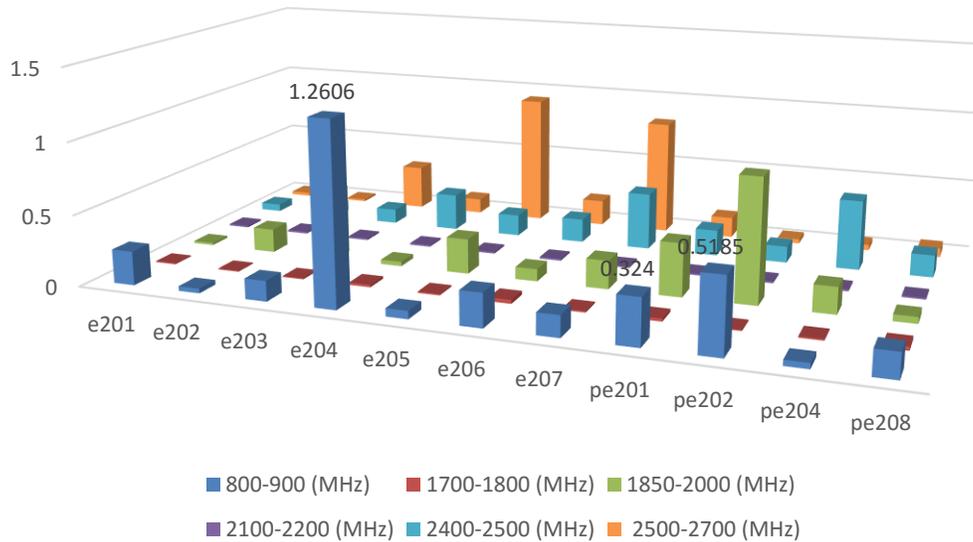


Figura 30. Valores de Campo eléctrico en el bloque E piso 2.

En el piso 3 del bloque E, se observa que el mayor valor de intensidad de campo eléctrico se presenta en el salón de docentes ESD6 de 11,7672V/m, en el rango de frecuencia de 800-900 MHz, debido a que en el momento de la medición se encontraba un docente recibiendo una llamada de telefónica móvil, de igual manera se presentan valores muy cercanos al máximo en los salón ESD1 por la ubicación de los otros aparatos, como se observa en la Figura 31 y 32.

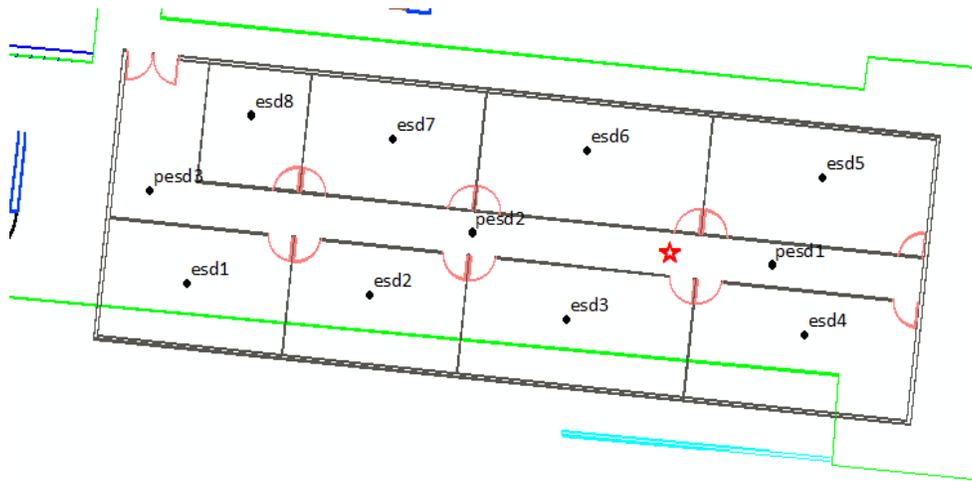


Figura 31. Mapa Bloque E piso 3.

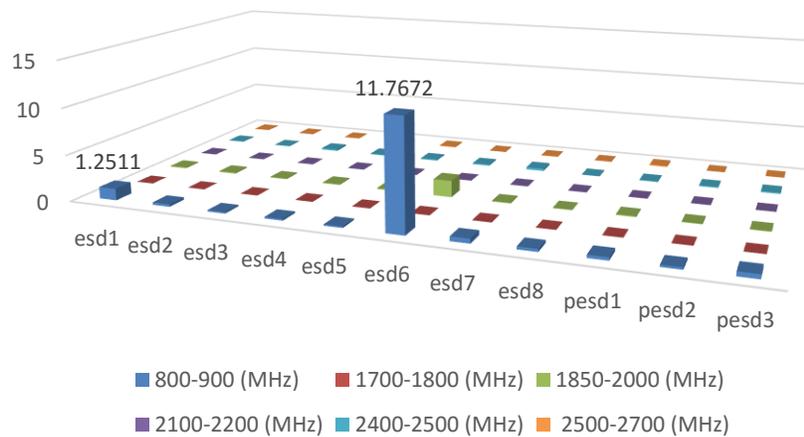


Figura 32. Valores de Campo eléctrico en el bloque E piso 3.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.2 RESULTADOS BLOQUES G Y H

El bloque G y H cuenta con cuatro pisos, en los cuales se realizaron 80 medidas en total, 29 se tomaron en salones y 51 en pasillos, además se identificaron 23 AP's, como se observa en la figura 33 se encuentran estaciones base emiten servicio de telefonía de 2G, 3G Y 4G, se validó que en los puntos de los extremos del pasillo del bloque H cercana a estos bloques se emiten los máximos valores encontrados.



Figura 33. Mapa Bloque G y H

En el piso 1 del bloque G, se observa que el mayor valor de intensidad de campo eléctrico se presenta en el pasillo PG1011 de 1,309V/m, en el rango de frecuencia de 1850-2000 MHz, de igual manera se presentan valores muy cercanos al máximo en el salón G102 y el pasillo PG1012, como se observa en la Figura 34 y 35.

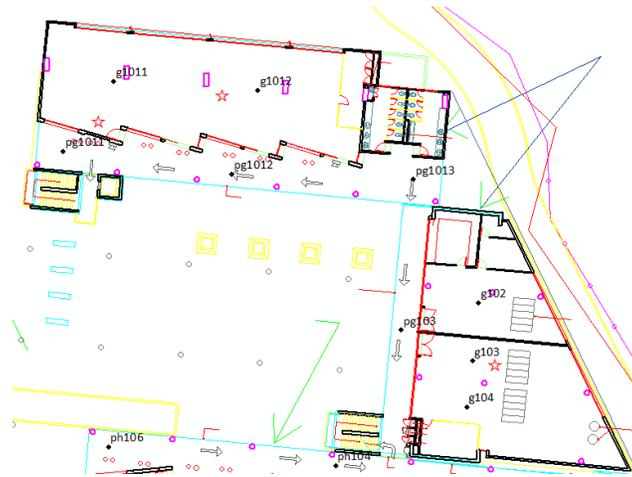


Figura 34. Mapa Bloque G piso 1.

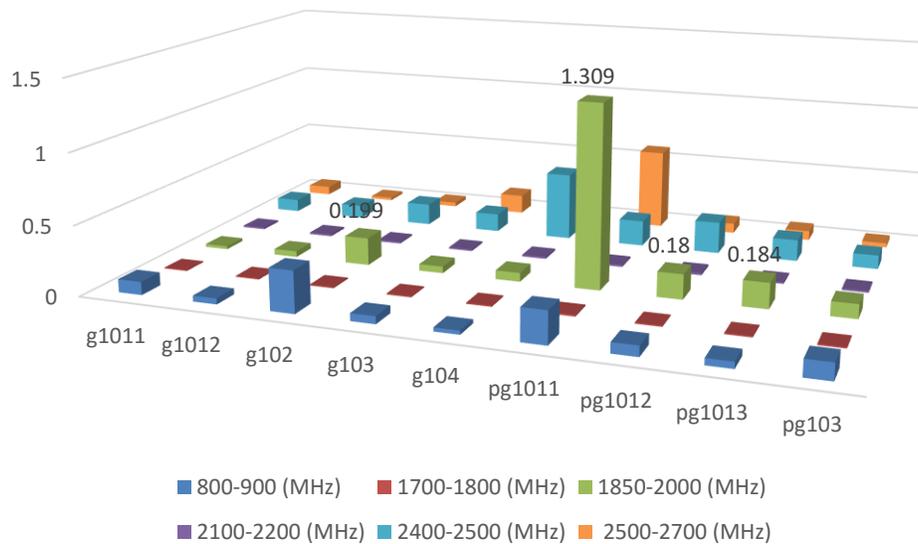


Figura 35. Valores de Campo eléctrico en el bloque G piso 1.

En el piso 2 del bloque G, se observa que el mayor valor de intensidad de campo eléctrico se presenta en el salón G202 de 0,478V/m, en el rango de frecuencia de 800-900 MHz, debido a que cerca de este salón se encuentra servicios de telefonía móvil 3G, 2G, GSM, como se observa en la Figura 36 y 37.



Figura 36. Mapa Bloque G piso 2.

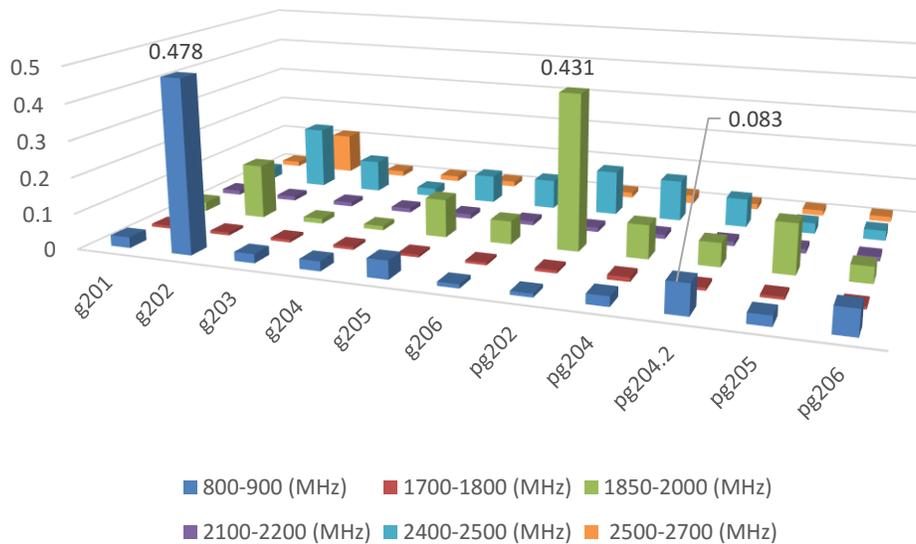


Figura 37. Valores de Campo eléctrico en el bloque G piso 2.

En el piso 3 del bloque G, se observa que el mayor valor de intensidad de campo eléctrico se presenta en el salón G301 de 0,2262 V/m, en el rango de frecuencia de 2400-2500 MHz, de igual manera se presentan valores muy cercanos al máximo en el pasillo PG304,

como se observa en la Figura 38 y 39. En el momento de realizar las mediciones no fue posible identificar la fuente que generó los valores más altos en dichos salones.



Figura 38. Mapa Bloque G piso 3.

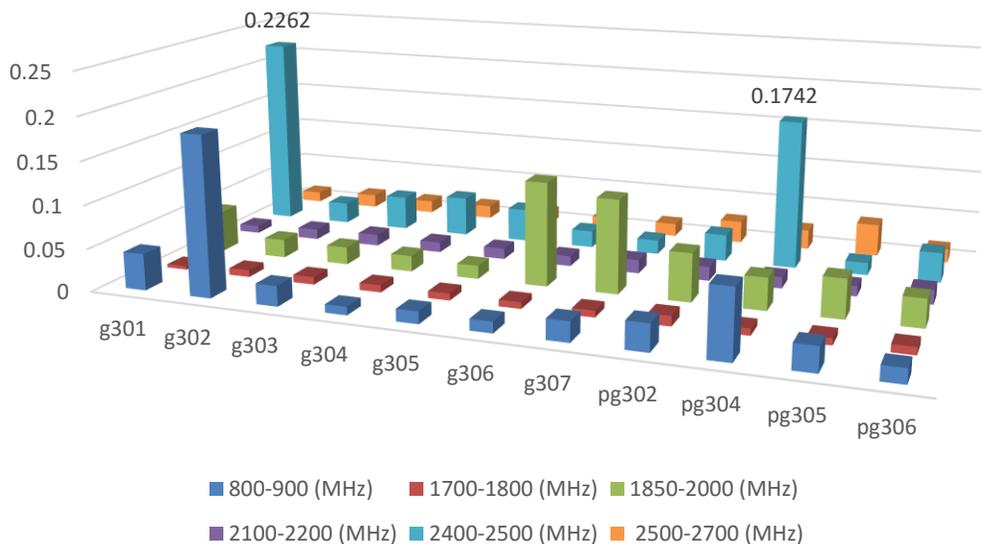


Figura 39. Valores de Campo eléctrico en el bloque G piso 3.

En el piso 4 del bloque G, se observa que el mayor valor de intensidad de campo eléctrico se presenta en el salón G403 de 0,2120 V/m, en el rango de frecuencia de 800-900 MHz,

debido a que en este salón se encuentra utilizando equipos móviles 3G, 2G, GSM, de igual manera se presentan valores muy cercanos al máximo en el pasillo PG401 y PG405, como se observa en la Figura 40 y 41.



Figura 40. Mapa Bloque G piso 4.

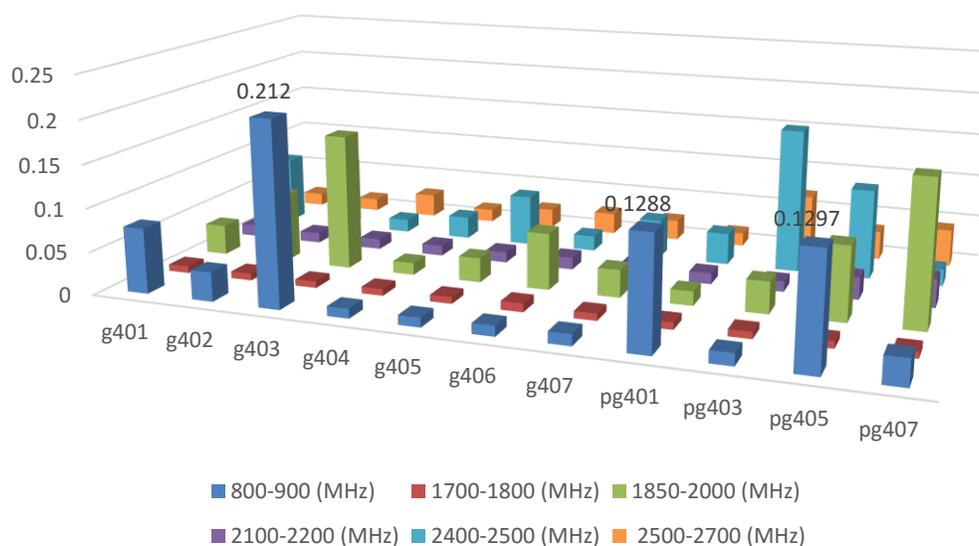


Figura 41. Valores de Campo eléctrico en el bloque G piso 4.

En el piso 1 del bloque H, se observa que el mayor valor de intensidad de campo eléctrico se presenta en el salón PH102 de 0,8575 V/m, en el rango de frecuencia de 1850-2000 MHz, debido a que cerca de este bloque se encuentran las antenas de telefonía móvil de 3G, 2G, GSM, de igual manera se presentan valores muy cercanos al máximo en el salón H101, como se observa en la Figura 42 y 43.

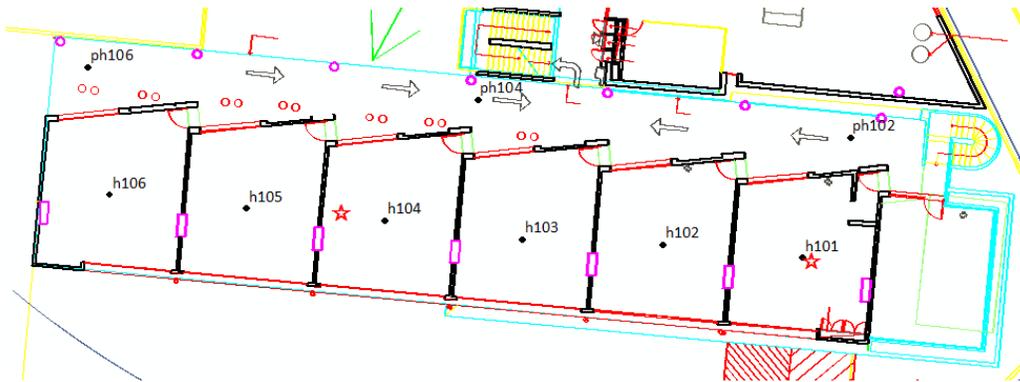


Figura 42. Mapa Bloque H piso 1.

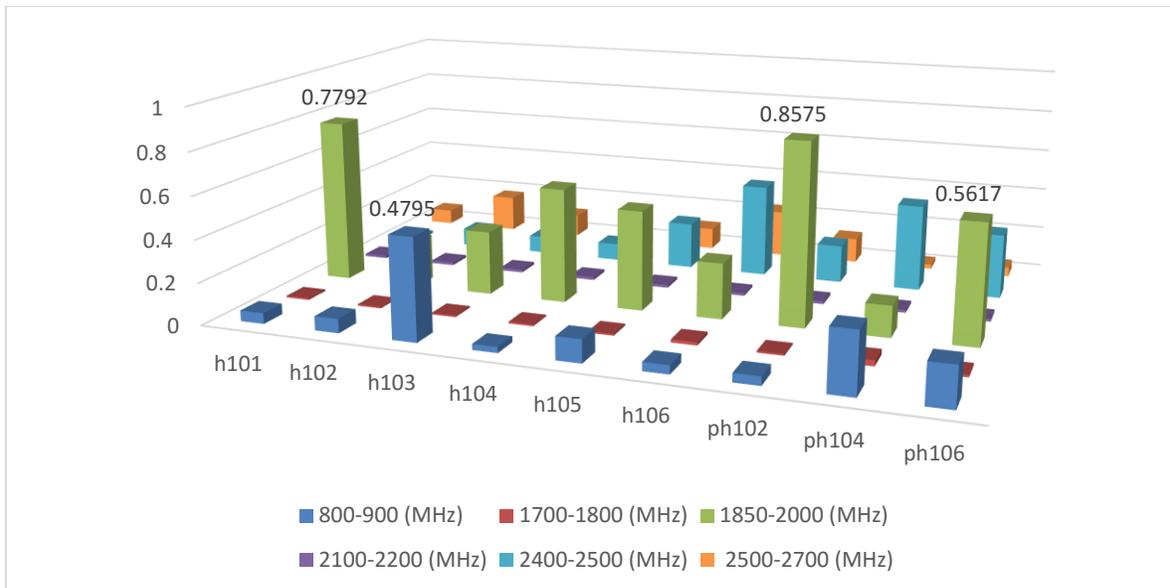


Figura 43. Valores de Campo eléctrico en el bloque H piso 1.

En el piso 2 del bloque H, se observa que el mayor valor de intensidad de campo eléctrico se presenta en el pasillo PH200 de 4,2359 V/m, en el rango de frecuencia de 1850-2000 MHz.

MHz, donde nuevamente se evidencia la presencia de las antenas de estaciones base, como se observa en la Figura 44 y 45.

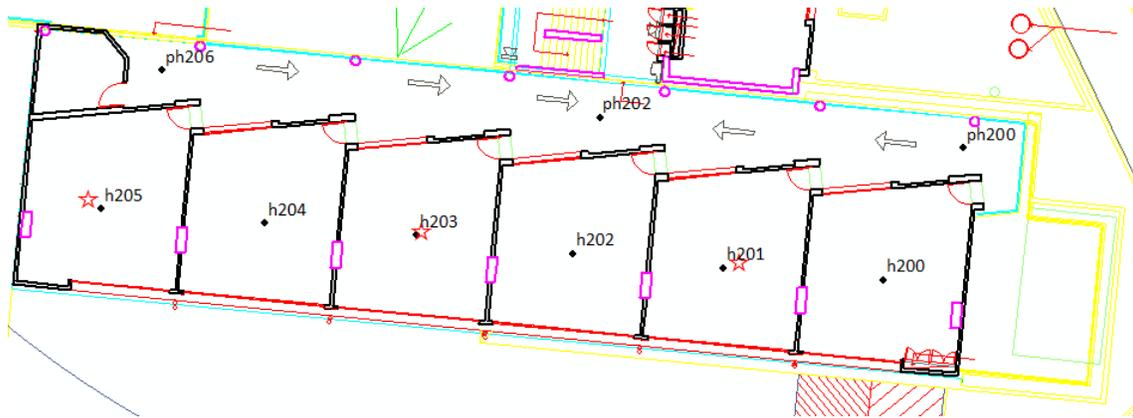


Figura 44. Mapa Bloque H piso 2.

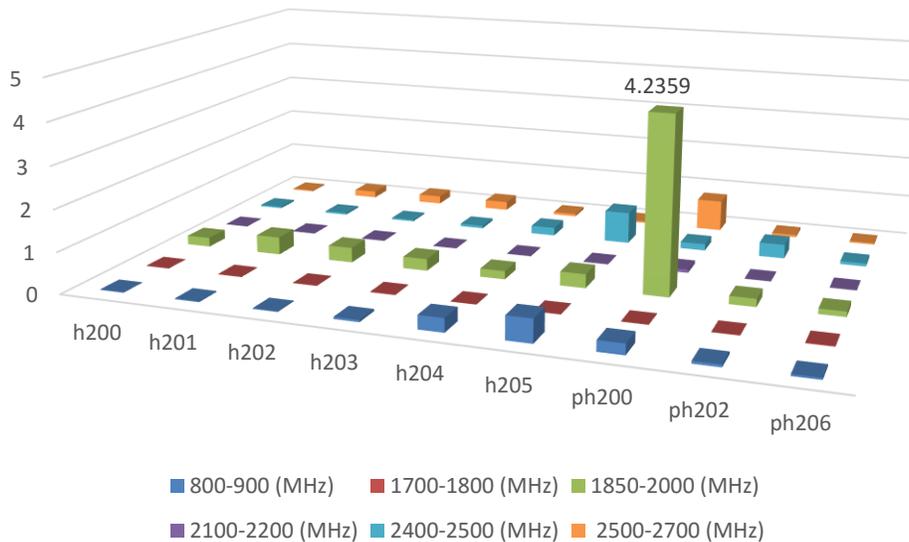


Figura 45. Valores de Campo eléctrico en el bloque H piso 2.

En el piso 3 del bloque H, se observa que el mayor valor de intensidad de campo eléctrico se presenta en el pasillo PH301 de 3,712 V/m, en el rango de frecuencia de 1850-2000 MHz, debido a que cerca de este salón se encuentran servicios de telefonía 3G, 2G, GSM, como se observa en la Figura 46 y 47.



Figura 46. Mapa Bloque H piso 3.

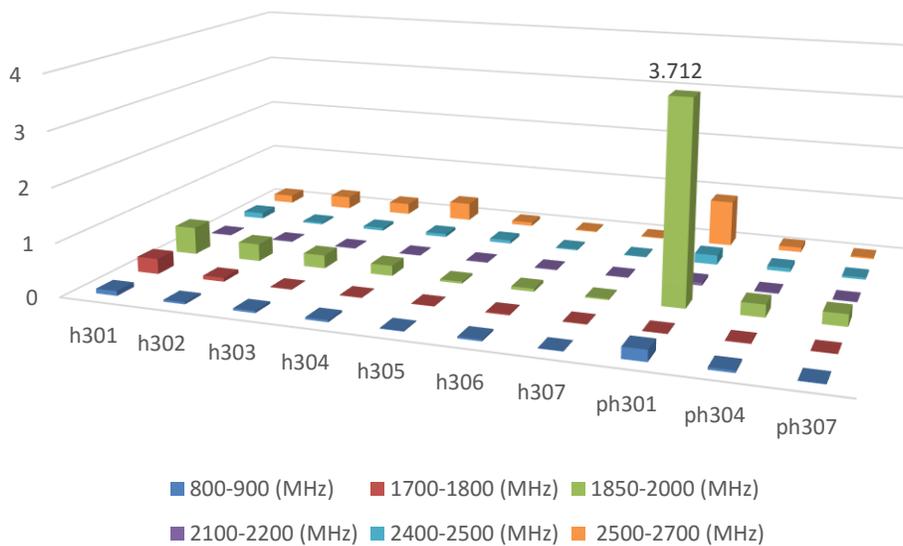


Figura 47. Valores de Campo eléctrico en el bloque H piso 3.

En el piso 4 del bloque H, se observa que el mayor valor de intensidad de campo eléctrico se presenta en el salón H406 de 0,9535 V/m, en el rango de frecuencia de 800-900 MHz, debido a que cerca de este salón se encuentran utilizando servicio de telefonía móvil 2G, 3G, GSM, de igual manera se presentan valores muy cercanos al máximo en el salón H402 y el pasillo PH407, como se observa en la Figura 48 y 49.

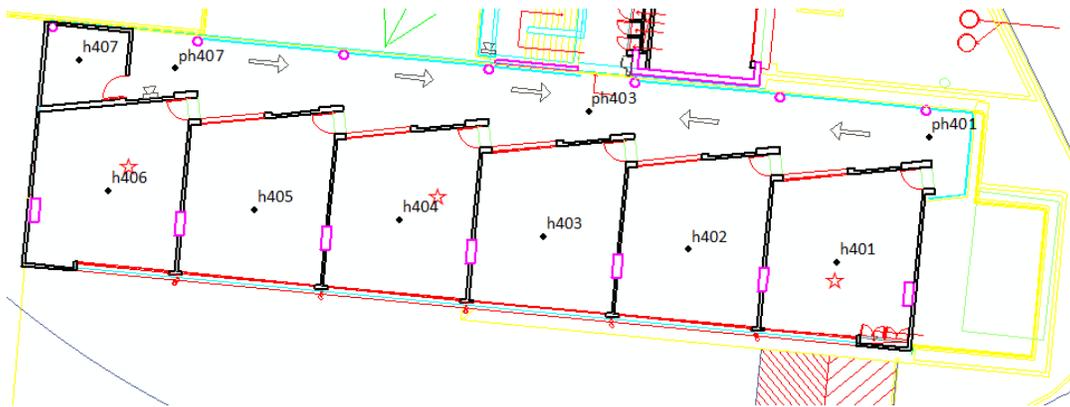


Figura 48. Mapa Bloque H piso 4.

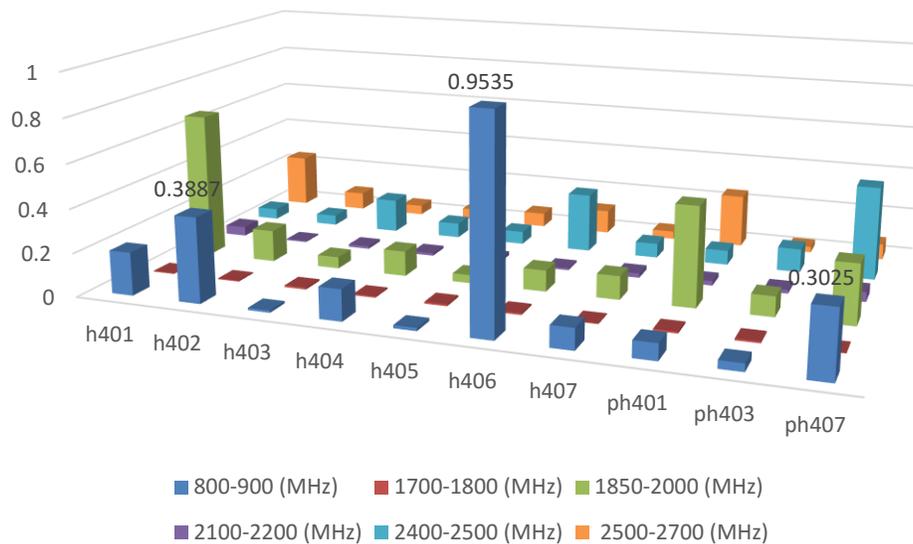


Figura 49. Valores de Campo eléctrico en el bloque H piso 4.

4.3 RESULTADOS BLOQUE F

El bloque F cuenta con cinco pisos, en los cuales se realizaron 29 medidas en total, 24 se tomaron en salones y 5 en pasillos, además se identificaron 8 AP's, en este sector no fue posible identificar ninguna antena de estaciones base cercana a este bloque, sin embargo se cree que debe haber alguna presente debido a los resultados obtenidos.

En el piso 2 del bloque F, se observa que el mayor valor de intensidad de campo eléctrico se presenta en el pasillo PLABGI de 4,4157 V/m, en el rango de frecuencia de 800-900 MHz, como se observa en la Figura 50 y 51.

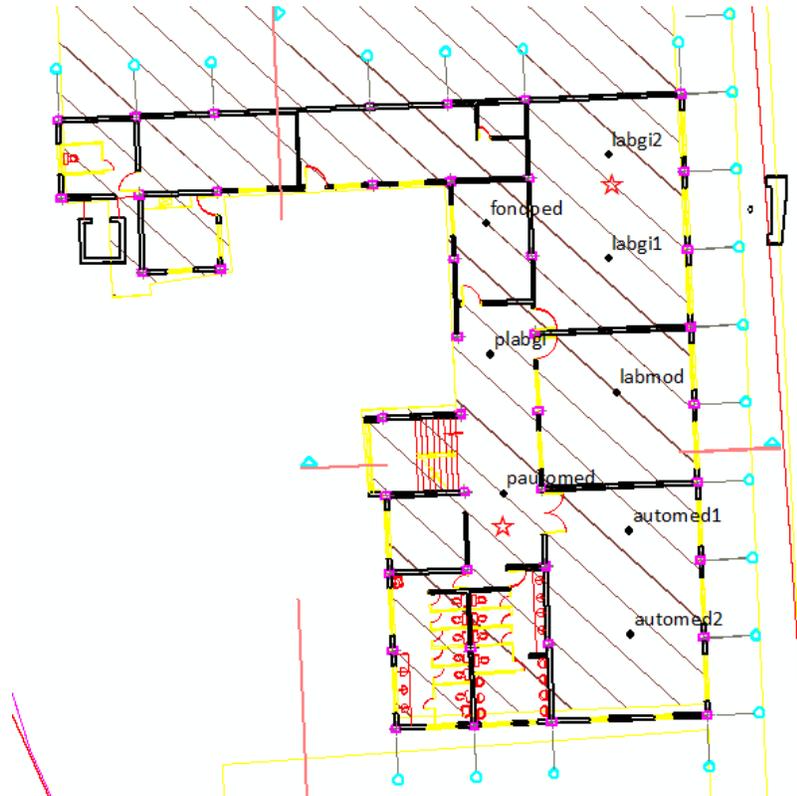


Figura 50. Mapa Bloque F piso 2.

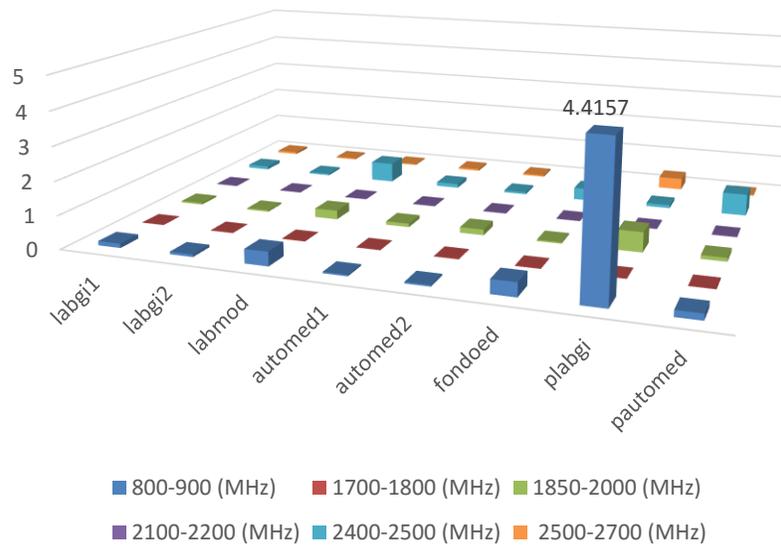


Figura 51. Valores de Campo eléctrico en el bloque F piso 2.

En el piso 3 del bloque F, se observa que el mayor valor de intensidad de campo eléctrico se presenta en el pasillo SALACON3 de 1,044 V/m, en el rango de frecuencia de 800-900 MHz, como se observa en la Figura 52 y 53.

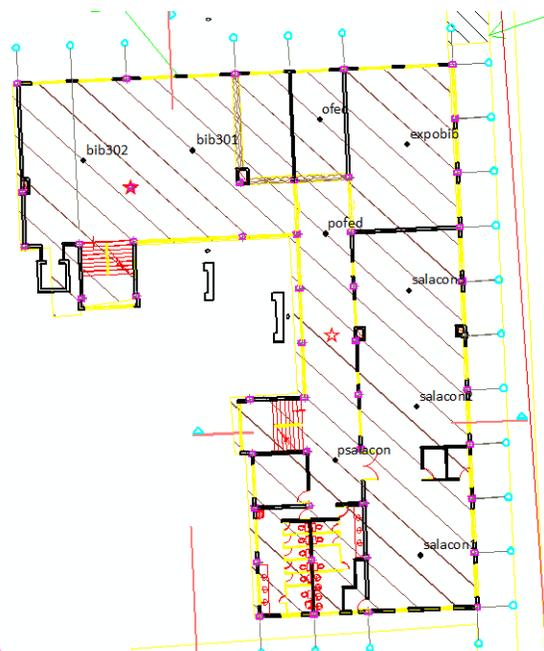


Figura 52. Mapa Bloque F piso 3.

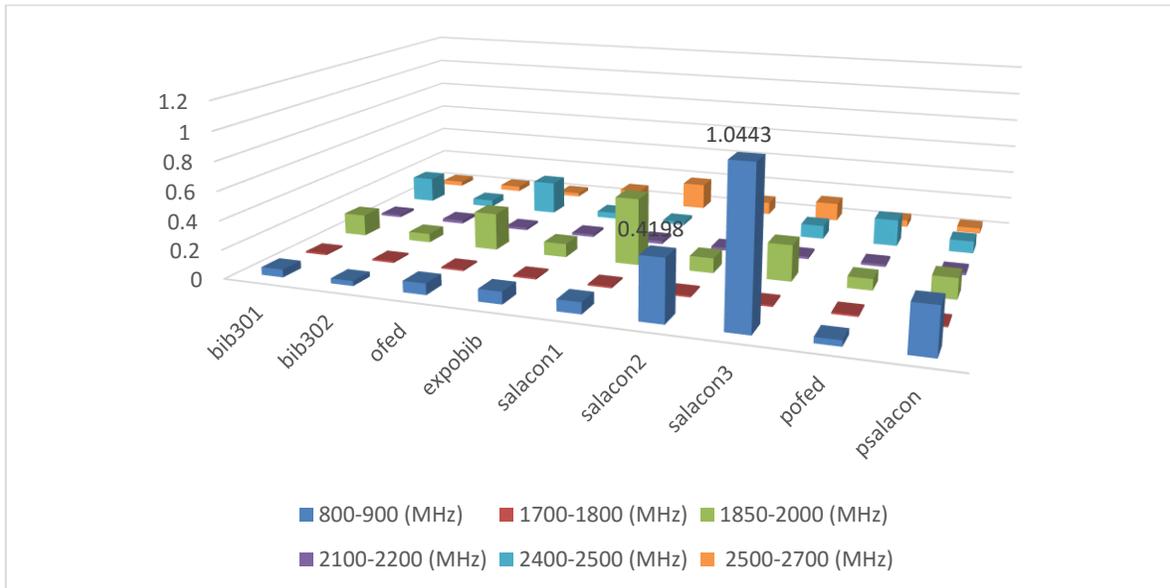


Figura 53. Valores de Campo eléctrico en el bloque F piso 3.

En el piso 4 del bloque F, se observa que el mayor valor de intensidad de campo eléctrico se presenta en el salón mediatek1 de 0,8332V/m, en el rango de frecuencia de 1850-2000 MHz, como se observa en la Figura 54 y 55.

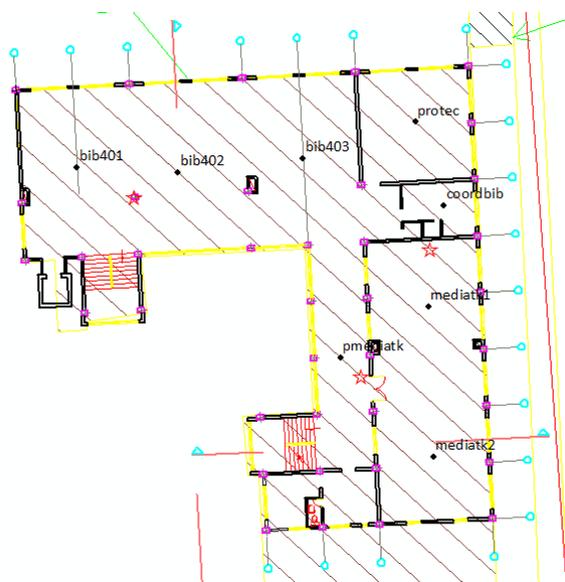


Figura 54. Mapa Bloque F piso 4.

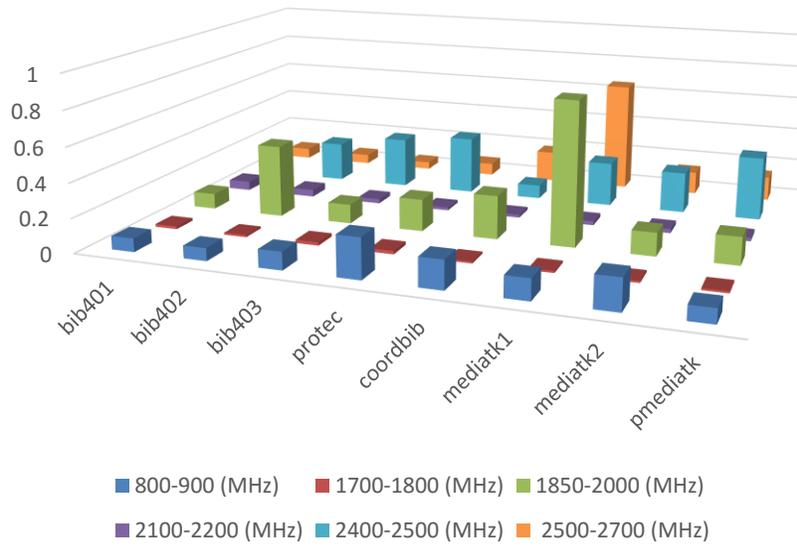


Figura 55. Valores de Campo eléctrico en el bloque F piso 4.

En el piso 5 del bloque F, se observa que el mayor valor de intensidad de campo eléctrico se presenta en el salón bib504 de 0,7448V/m, en el rango de frecuencia de 1850-2000 MHz, como se observa en la Figura 56 y 57.

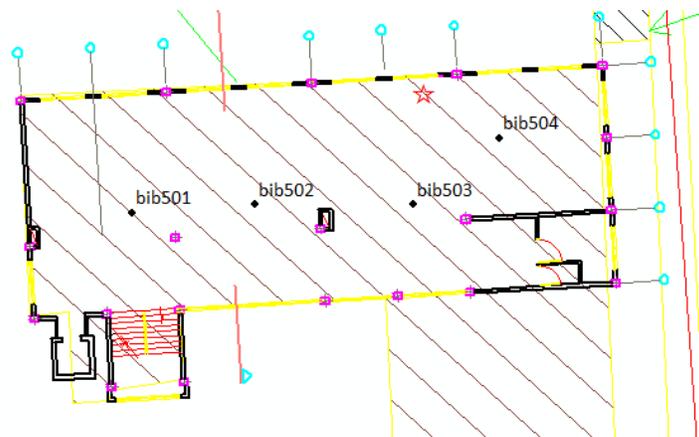


Figura 56. Mapa Bloque F piso 5.

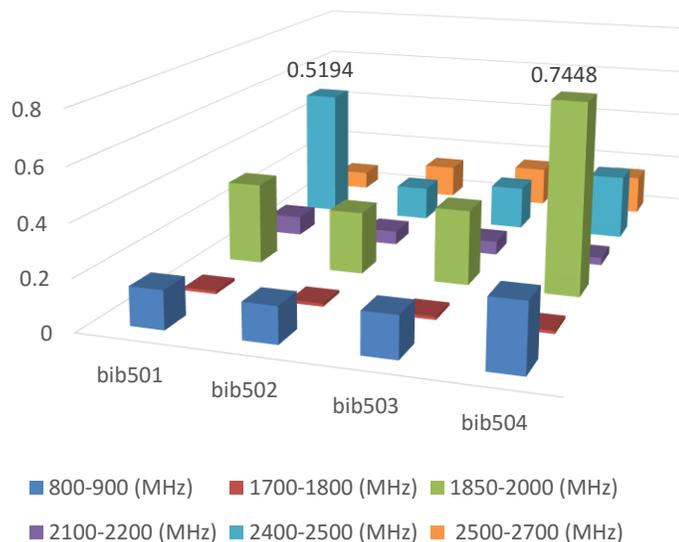


Figura 57. Valores de Campo eléctrico en el bloque F piso 5.

Del total de mediciones realizadas, se puede definir que los valores máximos se dieron en los siguientes puntos, según la tabla 6, donde se estima el valor en porcentaje con respecto a la Norma Health Physics 74, 494-522 (1998).

Tabla 6. Valor porcentaje respecto la norma

Ubicación	Campo Eléctrico		Banda MHz	Límite ICNIRP V/m
	V/m	(%)		
Bloque E piso 3 esd6	11,767	28,5	800-900	41,25
Bloque F piso 2 plabgi	4,415	10,7		
Bloque H piso 2 ph200	4,235	7,3	1850-2000	58,34
Bloque H piso 3 ph301	3,712	6,4		

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

5.1 CONCLUSIONES

Al evaluar los niveles de campo electromagnético en alta frecuencia en el Instituto Tecnológico Metropolitano sede Robledo, se encontró que los niveles más altos se presentan en el bloque H, con un valor de 4,235 V/m en la banda de frecuencia de 1850 – 2000 MHz, esto debido a la presencia de antenas de dos estaciones base ubicadas a menos de 400 metros, en este caso se descarta el valor de 11,767 V/m, debido a la situación presente en el momento de la toma de medidas en el salón esd6.

Según los resultados obtenidos se puede inferir que se cumple con la normativa de exposición a campos electromagnéticos de alta frecuencia en el ITM sede Robledo, de acuerdo al valor más alto presentado en las mediciones del 11,767 V/m que equivale al 28.5% comparado con el límite definido por el ICNIRP.

Como recomendaciones sobre exposición a campos electromagnéticos, es importante que la institución universitaria se apropie del tema llevando un control de estos niveles y de las fuentes generadoras presentes dentro y cerca de las instalaciones del campus.

5.2 TRABAJO A FUTURO

Hacer medidas con equipos de banda angosta en alta frecuencia para determinar la contribución específica de las diferentes fuentes que se puedan encontrar con el fin de lograr resultados más exactos y precisos.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Realizar la caracterización del campo electromagnético en otras áreas del campus universitario más abierto con el fin de abarcar todos los sitios y espacios para hacer un estudio más general y tomar medidas pertinentes.

Con los datos obtenidos sobre el entorno electromagnético existente pueden ser útiles para resolver problemas de interferencias electromagnéticas actuales y futuras, y en el análisis del impacto potencial de nuevos equipos.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

REFERENCIAS

- Ahlbom, A., Feychting, M., Green, A., Kheifets, L., Savitz, D. A., & Swerdlow, A. J. (2009). Epidemiologic evidence on mobile phones and tumor risk: a review. *Epidemiology (Cambridge, Mass.)*, *20*(5), 639–52. doi:10.1097/EDE.0b013e3181b0927d
- Bornkessel, C., & Schubert, M. (2004). *Study for the German Federal Office for Radiation Protection, Interim Report “Analyse der Immissioneverteilung.”*
- Boletín trimestral de las TIC julio 2015 Connie Pazos Comisión de regulación de comunicaciones.
- Calvente, I., Fernandez, M. F., Villalba, J., Olea, N., & Nuñez, M. I. (2010). Exposure to electromagnetic fields (non-ionizing radiation) and its relationship with childhood leukemia: a systematic review. *The Science of the Total Environment*, *408*(16), 3062–9. doi:10.1016/j.scitotenv.2010.03.039.
- COMISIÓN DE REGULACIÓN DE TELECOMUNICACIONES. Proyecto estudio de los límites de la exposición humana a campos electromagnéticos producidos por antenas de telecomunicaciones y análisis de su integración al entorno CRT Informe Final. [online].
- Graham, C., Cook, M. R., & Riffle, D. W. (1997). Human melatonin during continuous magnetic field exposure. *Bioelectromagnetics*, *18*(2), 166–71. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9084867>
- Hardell, L., Carlberg, M., Söderqvist, F., Mild, K. H., & Morgan, L. L. (2007). Long-term use of cellular phones and brain tumours: increased risk associated with use for > or =10 years. *Occupational and Environmental Medicine*, *64*(9), 626–32. doi:10.1136/oem.2006.029751.
- Hayt, W., (2007). *Teoría Electromagnética*. México D.F., México: Mc Graw Hill.
- IARC. (2011). *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Volume 102 Non-ionizing Radiation, Part II: Radiofrequency Electromagnetic Fields (RF-EMF)*. Lyon, France.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ICNIRP. (1998). Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz). *Health Physics*, 74(4), 494–522.

IEEE Std 473-1985, IEEE Recommended Practice for an Electromagnetic Site Survey (10 kHz to 10 GHz), Approved December 13, 1985, Reaffirmed May 6, 1992.

INSPEC Número de Acceso : 3360842 DOI: 10.1109 / IEEESTD.1985.81579 ICS Código: 17.220.20 - Medición de magnitudes eléctricas y magnéticas Enlace permanente : <http://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=2426> Más " Año: 1985 Fecha de la versión actual: 10 diciembre 2002 Fecha de asunto : 18 de junio de 1985 Fecha de publicación : 18 de junio de 1985 Estado : Inactivo Página (s) : 1-0 E - ISBN: 978-0-7381-0588-8 Las referencias citadas : 7 Patrocinado por : IEEE electromagnética Sociedad de compatibilidad.

Islam, M. R., Alam, A. Z., Khan, S., Rashed, M. K., & Bakar, J. A. (2006). Measurement of Microwave Fields from Mobile Base Stations at IIUM Campus. In *2006 International Conference on Electrical and Computer Engineering* (pp. 564–568). IEEE. doi:10.1109/ICECE.2006.355694

Kiliç, M. A., Çerezci, O., Çevik, O., & Kalkan, T. (2010). Electromagnetic Field Map into a Medical Faculty Campus. In *6th International Workshop on Biological Effects of Electromagnetic Fields*. Bodrum, Turkey.

PARLAMENTO EUROPEO. Los efectos fisiológicos y medioambientales de la radiación electromagnética no ionizante. [on line]. Dirección General de Investigación-Dirección Evaluación de las Opciones Científicas y Tecnológicas. Marzo 2001. [Octubre, 2007].

PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA. Decreto 195 del 2005. [on line]. Ministerio de Protección Social y Ministerio de Comunicaciones. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. . [Octubre, 2007].

Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ingeniería Departamento de Electrónica. Bogotá 2002. [Septiembre, 2007].

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

NRPB. (1994). Electromagnetic fields and the risk of cancer, Supplementary report by the Advisory Group on Non-ionising Radiation of 12 April 1994. *Radiol. Prot. Bull.*, 154, 10–12.

Repacholi, M. H., Basten, A., Gebiski, V., Noonan, D., Finnie, J., & Harris, A. W. (1997). Lymphomas in E mu-Pim1 transgenic mice exposed to pulsed 900 MHz electromagnetic fields. *Radiation Research*, 147(5), 631–40. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9146709>

Sadiku, M. N. (2003). Elementos de Electromagnetismo. México D.F., México: Alfaomega.

Sarkar, T. K., Ji, Z., Kim, K., Medouri, A., & Salazar-Palma, M. (2003). A survey of various propagation models for mobile communication. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 45(3), 51–82.

Savitz, D. A. (1993). Overview of epidemiologic research on electric and magnetic fields and cancer. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 54(4), 197–204. doi:10.1080/15298669391354559.

Selmaoui, B., Lambrozo, J., & Touitou, Y. (1996). Magnetic fields and pineal function in humans: evaluation of nocturnal acute exposure to extremely low frequency magnetic fields on serum melatonin and urinary 6-sulfatoxymelatonin circadian rhythms. *Life Sciences*, 58(18), 1539–49. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8649183>.

<http://www.elcolombiano.com/en-antenas-de-telefon%C3%ADa-medell%C3%ADn-tiene-buena-salud-AXEC-290707>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO – FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES _____ _____ _____
FIRMA ASESOR _____
FECHA ENTREGA: _____

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____ _____
RECHAZADO _____ ACEPTADO _____ ACEPTADO CON MODIFICACIONES _____
ACTA NO. _____ FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____
ACTA NO. _____ FECHA ENTREGA: _____