

MEDICIONES DE RADIACIONES NO IONIZANTES

Narváez Pablo

Facultad de Ingeniería, IESIING
Universidad Católica de Salta
Campo Castaños, Salta-capital. Argentina.
efeparo@yahoo.com.ar

Breslin Roberto

Facultad de Ingeniería, IESIING
Universidad Católica de Salta
Campo Castaños, Salta-capital. Argentina.
rbreslin@ucasal.net

Nicolás Cruz

Facultad de Ingeniería, IESIING
Universidad Católica de Salta
Campo Castaños, Salta-capital. Argentina.
2.nicolascruz@gmail.com

Resumen— El gran auge del uso de las telecomunicaciones, y la lluvia de radiación electromagnética no ionizante que emiten; hace indispensable el estudio del impacto que éstas producen sobre la población. Existen recomendaciones nacionales e internacionales, para verificar el cumplimiento de los límites de emisiones de radiación electromagnética, las formas de medición de las mismas, y maneras de evaluar los resultados. Este proyecto tiene como objetivo analizar el cumplimiento de recomendaciones sobre emisiones de radiaciones no ionizantes con la aplicación de procedimientos de medición, para bandas de frecuencias de tecnologías de Telefonía Móvil.

Palabras Clave— mediciones, espectro de frecuencia, densidad de potencia, valores límites.

1. INTRODUCCIÓN

El constante avance de los sistemas móviles e inalámbricos en las telecomunicaciones trae aparejado una mayor preocupación sobre los efectos de las radiaciones electromagnéticas no ionizantes en la salud humana y la eficiencia del uso del espectro radioeléctrico.

Para ello se tiene previsto realizar mediciones de la densidad de potencia mediante dos métodos y mediciones de ocupación de espectro en las bandas de la telefonía móvil GSM900 y GSM1800.

Estas mediciones permitirán obtener datos que luego serán procesados y analizados para poder determinar y comparar dichas mediciones en relación a las

Resolución de CNC N° 3690 y las recomendaciones proporcionadas por la UIT.

2. INSTRUMENTAL

Para la adquisición de los datos se optó por dos modalidades para realizar las mediciones de densidad de potencia las cuales constan de dos instrumentos diferentes, con el objeto de poder constatar las mediciones realizadas. En el caso de las mediciones para determinar la eficiencia espectral se empleó un solo instrumento el analizador de espectro en la **Fig. 1** se puede observar lo propuesto.

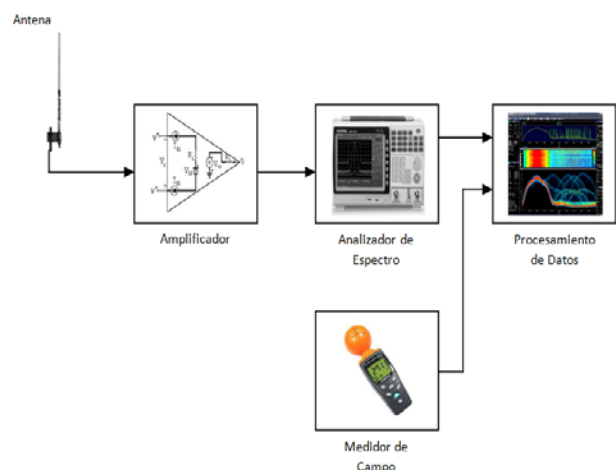


Figura 1. Sistema de Medición

Los datos obtenidos del sensor son filtrados y amplificados para luego ser convertidos a formato digital y así enviados al módulo inalámbrico para su posterior transmisión a la estación base, que es la

encargada de tratar los mismos, procesarlos y realizar su representación grafica correspondiente.

2.1 Amplificador

El bloque amplificador está constituido por un amplificador de rf de bajo ruido en el rango de 10mhz a 6ghz de 15db.

2.2 Analizador de Espectro

El analizador de espectro utilizado es un analizador portátil spectran HF 6065 v4, con un rango de frecuencias de 10mhz a 6ghz. Con un nivel de ruido promedio de -135dbm (1hz) y un tiempo de muestro 1ms el mas rápido. El mismo consta de una antena direccional en el rango de 700mhz a 6ghz y una ganancia de 5dbi como se aprecia en la **Fig. 2**.



Figura 2. Analizador de espectro

2.2 Medidor de Campo

El medidor de campo utilizado es el TES-92 es un medidor triaxial en el rango de 50mhz a 3,5mhz, con un rango dinámico de 75db. Debido a linealidad del sensor se emplea un factor de corrección en frecuencia de mas 1db para un rango de frecuencias de 50mhz a 1,9ghz y de 2,4db para un rango de frecuencias de 1,9ghz a 3,5ghz. Con un tiempo de setting de 1seg. para la toma del valor de medición de 0 a 90%. El equipo se puede ver en la **Fig. 3**.



Figura 3. Medidor de Campo.

3. DENSIDAD DE POTENCIA

El constante incremento de demanda de tecnología móvil conlleva a un incremento en la instalación de de antenas en lugares densamente poblados para proporcionar el servicio. Y en virtud de su regulación y protección de la población es prioritario su control en cuanto a los límites máximos de radiación permitidos.

Teniendo en cuenta la reglamentación vigente en el tema [3] se procedió a realizar las mediciones de la densidad de potencia de las antenas de la zona empleando dos instrumentos de manera independiente con el objeto de constatar las mediciones obtenidas.

3.1 Determinación de los puntos de medición

Para la determinación de los puntos de medición se tuvo en cuenta lo establecido en la Resolución 3690/2004 de la CNC [3], la cual seguirá:

- a) Relevamiento visual del lugar.
- b) Deben establecerse 16 puntos de medición como mínimo de los cuales cuatro como mínimo deben situarse en la línea de máxima propagación de la antena.
- c) Las mediciones deben realizarse en las horas de mayor tráfico.
- d) Para disminuir las interferencias producidas por radiadores secundarios se debe situar la sonda de medición como mínimo a 20cm de la fuente de re irradiación.

e) En la región del campo cercano se debe realizar la medición de los campos eléctricos y magnéticos por separado y luego calcular la densidad de potencia.

Los puntos de medición se establecieron según el lugar de emplazamiento de la antena los cuales se pueden observar en las siguientes **Fig. 4**, **Fig. 5** y **Fig. 6**.



Figura 4. Antena zona N.



Figura 5. Antena zona N.



Figura 6. Antena zona NE.

3.2 Técnica de Medición

Los métodos de medición para instalaciones fijas como son las antenas transmisoras se pueden dividir en:

- 1- Registro continuo durante largos periodos (se han recopilado durante cerca de 30 años datos sobre la influencia de las variaciones estacionales y de las variaciones cíclicas del número de manchas solares

sobre la propagación, en ciertos trayectos en la banda de radiodifusión en ondas hectométricas);

2- Registro continuo durante periodos más breves, a fin de estudiar variaciones diurnas y nocturnas y otras variaciones a corto plazo del nivel de una señal;

3- Muestreo a intervalos próximos (por ejemplo, durante 5 s cada 2 min);

4- Muestreo más espaciado (por ejemplo, durante 10 min cada 90 min).

5- Mediciones instantáneas: pueden tomarse muestras de la distribución de la intensidad de campo. Una vez que se encuentra a la altura requerida, la antena debe girarse en dirección del transmisor. Durante el periodo de medición la altura y orientación de la antena deben variarse para obtener lecturas y registros de la máxima intensidad de campo.

El método de medición que se optó es el método de las mediciones instantáneas ya otro método que implique un mayor tiempo de medición o un emplazamiento del equipamiento en el lugar es imposible por la ubicación de las antenas. Para la medición de la densidad de potencia se utilizaron dos instrumentos diferentes por un lado el medidor de campo y por el otro un analizador de espectro.

Para el establecimiento de los puntos de medición se tuvo en cuenta la medición del campo cercano y el lejano como, los puntos así determinados se pueden observar en la siguientes **Fig. 7**, **Fig. 8** y **Fig. 9**.

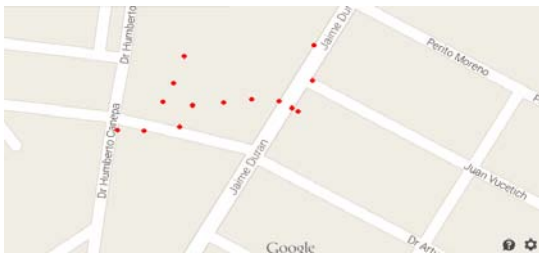


Figura 7. Antena zona N.

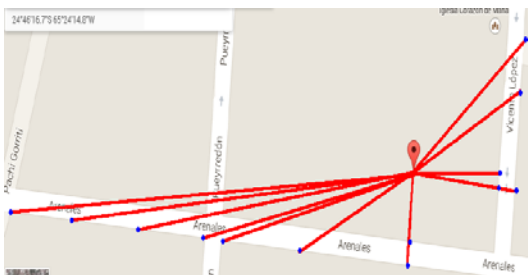


Figura 8. Antena zona N.

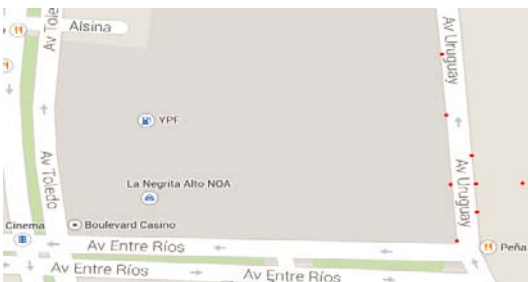


Figura 9. Antena zona NE.

3.3 Registro de Datos

El registro de los datos se realizó en formato técnico recomendado por la Resolución de CNC N° 3690 [3], el cual debe constar de los siguientes puntos:

- Fecha de medición.
- Hora de inicio.
- Hora de finalización.
- Croquis de los puntos de medición.
- Fotos de las instalaciones de la antena.
- Tabla de valores medidos.
- Características del instrumental empleado.
- Otra información relevante.

3.4 Procesamiento de Datos

Una vez obtenidos los datos de las mediciones en tablas se procedió a constatar dichos valores con los umbrales máximos permitidos por la resolución [3] a nivel nacional (**Tabla 1**), se tuvo en cuenta además los valores límites establecidos por organismos internacionales como la ANSI/IEEE (**Tabla 2**) [4].

Tabla 1 Valores Límites CNC.

Rango de Frecuencia f (MHz)	Densidad de Potencia equivalente de onda plana S (mW/cm ²)	Campo Magnético E (V/m)	Campo Eléctrico H (A/m)
0.3-1	20	275	0.73
1-10	20f	275f	0.73f
10-400	0.2	27.5	0.073
400-2.000	f/2000	1.375f ^{1/2}	-
2.000-100.000	1	61.4	-

Tabla 2 Valores Límites ANSI/IEEE.

Frecuencia	ANSI / IEEE	Res. 202/95 M.S. y A.S.
850 MHz	0,57 mW/cm ²	0,45 mW/cm ²
1900 MHz	1,26 mW/cm ²	0,95 mW/cm ²

Los valores medidos se organizaron en tablas como se puede observar en la **Fig. 10**.

Distancia a la antena en Mts.	Densidad de Potencia en uW/cm ²	
	Altura de Medicion 1,8 mts.	Altura de Medicion 2,2 mts.
30	0,87	1,505
33	0,641	0,84
44	0,375	0,421
47	0,293	0,38
55	0,435	
67	0,542	

Figura 10. Valores.

Para la visualización de los datos obtenidos se optó por gráficos de barras como se puede observar en la **Fig. 11**.

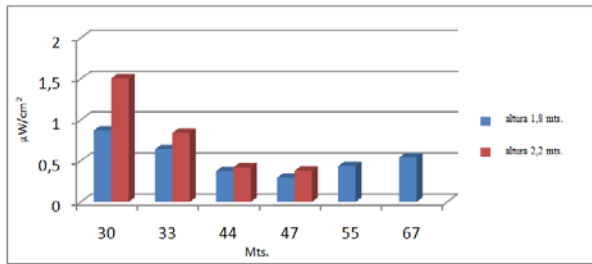


Figura 11. Presentación de datos.



Figura 12. Puntos de Medición.

4. OCUPACION ESPECTRAL

Debido al constate aumento de la demanda de ocupación del espectro por los distintos servicios de Telecomunicaciones, lo cual va en detrimento de las comunicaciones y en el colapso del espectro.

Las distintas técnicas de medición del espectro proporcionan información sobre el grado de utilización de las distintas bandas, lo que permitirá una gestión eficiente y/o inteligente del mismo.

4.1 Adquisición de Datos

Para lograr la adquisición de los datos fue necesario:

- a- Determinar los puntos de medición.
- b- Técnica de Medición.

4.2 Determinación de los puntos de medición

En la determinación de los puntos de medición se tuvo en cuenta las recomendaciones SM.1880, SM.182-5, SM.1599-1, el manual de comprobación técnica del espectro de la UIT y la Resolución 3690 de la CNC.

En la elección de los puntos de medición se tuvo en cuenta:

- 1- El punto se encuentre en situación de campo lejano.
- 2- Desacoplo en altura suficiente para evitar la influencia del terreno durante las mediciones.
- 3- Menores obstáculos posibles (construcciones, árboles, etc.) para evitar reflexiones y otros efectos debidos a trayectos múltiples.
- 4- No existencia de un campo electromagnético intenso en las proximidades del emplazamiento de medición.
- 5- Alejado de transmisiones de radio de elevado nivel.
- 6- Que se encuentre dentro de la zona de servicio.
- 7- Que se encuentre alejado de fuentes de ruido eléctrico (PC, Motores, etc.).

En base a todas estas consideraciones y teniendo en cuenta la disponibilidad del predio de la universidad se establecieron los siguientes puntos de medición que se observan en la siguiente **Fig.12**.

4.3 Técnica de Medición

Una vez determinados los puntos de medición se procedió al emplazamiento del instrumental en el lugar el cual consiste de la antena, el analizador de espectro y una PC para almacenar los datos.

La duración de la medición es una combinación del tiempo de barrido de todos los canales, de los valores de duración típicos de las transmisiones radioeléctricas esperadas, del número de canales que deben explorarse y de la precisión deseada de los resultados.

Para determinar el tiempo de almacenamiento de los datos con un 95% de nivel de confianza se tuvo en cuenta la siguiente **Tabla 3**[1].

Tabla 3. Nivel de Ocupación

Ocupación (%)	Cantidad necesaria de muestras independientes	Cantidad necesaria de muestras dependientes	Horas de muestreo necesarias
6,67	5 368	16 641	18,5
10	3 461	10 730	12
15	2 117	6 563	7,3
20	1 535	4 759	5,3
30	849	2 632	2,9
40	573	1 777	2,0
50	381	1 182	1,3
60	253	785	0,9
70	162	166	0,2

Basándose en el número de muestras y el nivel de ocupación se tomaron intervalos de medición y almacenamiento de 30min, 1hora y 2horas.

El método de medición empleado es el método de medición de la relación de potencias basados en la FFT el cual requieren poco o ningún conocimiento acerca de los parámetros detallados de la modulación y pueden interpretar la parte del espectro de la señal que destaca por encima del ruido de fondo.

Asimismo, el método de relación de potencia es mucho menos sensible a la ventana elegida. La relación señal a ruido puede aumentarse cuando sea insuficiente para determinar la anchura de banda que incluye el 99% de la potencia, mediante una integración más prolongada con una FFT de mayor resolución.

Para aumentar la precisión de las mediciones se recomienda:

- a) Las mediciones deben hacerse en condiciones óptimas de recepción para no introducir nuevas variables debidas a desvanecimientos o a interferencias.
- b) Si es posible, los operadores no deben conocer los valores exactos que se ha de medir, a fin de que no sientan la tentación de corregir los resultados obtenidos.
- c) El tiempo de observación por canal depende de la velocidad de barrido del equipo de comprobación técnica.

d) Siempre que se aplique la ecuación anterior a los analizadores de espectro, cuando la RBW se fija a un valor igual a la anchura de banda del canal, puede considerarse que el número de canales es el número de sectores1 por barrido y el tiempo de observación como el tiempo de reposo por sector.

e) El instrumental debe poder realizar barridos a una velocidad aceptable para detectar transmisiones cortas.

4.4 Registro de Datos

El registro de los datos consiste en el registro de los datos a través del software MCS Spectrum Analyzer (Fig. 13) el cual almacena los datos en archivos cuya extensión es de MDR.

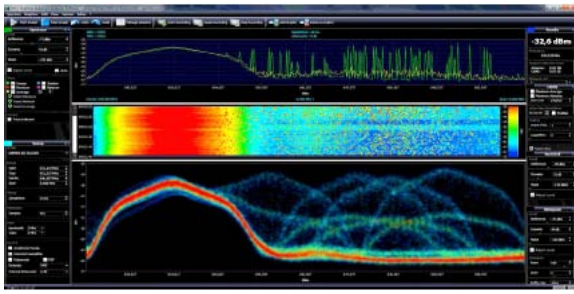


Figura 13. MCS Spectrum Analyzer.

El Software permite convertir el archivo a un formato de datos tipo planilla de cálculo, como se observa en la siguiente figura (Fig. 14).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Fecha	Reservista	F700000	F700000	F700000	F700000	F700000	F700000	F700000	F700000	F700000	F700000	F700000	F700000	F700000
2	2015-04-27T14:48:36.870	dbm	-60.743	-70.333	-41.643	-41.132	-49.308	-58.753	-58.982	-49.688	-41.378	-41.852	-41.877	-54.105	-49.019
3	2015-04-27T14:48:41.004	dbm	-60.654	-68.134	-41.267	-40.533	-48.519	-58.105	-48.382	-42.545	-41.933	-42.786	-42.819	-54.089	-49.714
4	2015-04-27T14:48:45.480	dbm	-61.962	-70.343	-41.790	-41.588	-48.842	-58.462	-55.342	-41.889	-41.329	-41.286	-48.874	-55.506	-50.120
5	2015-04-27T14:48:49.940	dbm	-61.444	-72.737	-49.009	-43.814	-42.944	-41.382	-48.553	-41.839	-42.403	-41.171	-41.707	-55.876	-49.488
6	2015-04-27T14:48:54.384	dbm	-61.930	-70.423	-46.342	-42.817	-42.391	-59.428	-41.542	-42.557	-44.534	-44.370	-42.074	-55.425	-49.814
7	2015-04-27T14:48:58.828	dbm	-62.144	-69.889	-44.947	-43.035	-51.120	-46.412	-58.712	-41.735	-44.218	-42.840	-42.717	-55.511	-49.626
8	2015-04-27T14:49:03.272	dbm	-62.253	-71.335	-43.941	-42.225	-42.074	-59.420	-49.461	-42.882	-44.886	-43.404	-43.306	-55.795	-50.054
9	2015-04-27T14:49:07.716	dbm	-62.347	-70.634	-44.708	-41.706	-42.389	-41.369	-49.319	-43.082	-44.656	-43.540	-43.306	-56.013	-49.519
10	2015-04-27T14:49:12.160	dbm	-63.380	-72.530	-44.014	-44.021	-43.397	-46.380	-41.882	-42.715	-43.313	-43.974	-41.767	-55.962	-49.731
11	2015-04-27T14:49:16.604	dbm	-63.028	-71.115	-43.288	-43.449	-42.011	-46.342	-49.197	-44.008	-44.913	-44.913	-43.375	-54.295	-50.751
12	2015-04-27T14:49:21.048	dbm	-63.330	-71.424	-44.492	-44.111	-42.269	-41.870	-49.110	-42.193	-42.714	-42.429	-44.238	-54.937	-49.392
13	2015-04-27T14:49:25.492	dbm	-62.779	-70.429	-43.594	-41.109	-42.732	-41.297	-47.702	-40.751	-44.343	-43.425	-43.870	-55.037	-49.842
14	2015-04-27T14:49:30.936	dbm	-60.670	-70.522	-42.495	-40.475	-50.100	-50.577	-58.788	-48.006	-40.240	-52.220	-40.412	-53.022	-49.487
15	2015-04-27T14:49:35.380	dbm	-59.822	-69.446	-42.696	-59.762	-59.774	-57.340	-57.824	-44.251	-45.824	-46.425	-41.258	-53.051	-49.297
16	2015-04-27T14:49:39.824	dbm	-59.545	-69.716	-41.403	-41.519	-59.916	-58.970	-58.697	-49.010	-41.970	-46.717	-40.295	-53.027	-48.215
17	2015-04-27T14:49:44.268	dbm	-60.289	-68.516	-40.937	-41.214	-42.099	-59.989	-53.467	-39.475	-44.412	-41.777	-41.432	-53.311	-49.344
18	2015-04-27T14:49:48.712	dbm	-60.723	-70.611	-41.214	-41.212	-59.707	-57.914	-58.977	-42.376	-42.810	-41.389	-42.066	-53.044	-49.397
19	2015-04-27T14:49:53.156	dbm	-60.134	-71.340	-41.388	-40.608	-46.012	-58.264	-57.592	-43.034	-41.987	-40.851	-41.740	-53.872	-49.461
20	2015-04-27T14:49:57.600	dbm	-60.234	-67.236	-40.993	-40.816	-48.017	-58.304	-57.590	-40.098	-41.200	-40.180	-46.152	-55.548	-49.610
21	2015-04-27T14:50:02.044	dbm	-61.325	-70.811	-43.989	-44.122	-42.105	-42.107	-43.017	-40.181	-43.414	-42.577	-42.882	-54.208	-49.479
22	2015-04-27T14:50:06.488	dbm	-61.441	-71.214	-43.997	-44.515	-42.542	-42.108	-41.263	-40.997	-43.619	-44.982	-44.980	-53.701	-49.171

Figura 14. Datos en formato planilla de cálculo.

Una vez obtenidos los distintos archivos en formato planilla de cálculo, los mismos pueden ser tratados para determinar el porcentaje de ocupación del espectro por canal.

4.5 Procesamiento de Datos

Para la determinación de la ocupación del espectro por canal existen fundamentalmente dos métodos distintos:

- a) Captura de todas las transmisiones en la banda observada.
- b) Método estadístico.

El primero exige un tiempo máximo de barrido de todos los canales que es la mitad del mínimo tiempo de activación o desactivación de cualquier transmisión en la banda, tomando entre ambos valores el menor.

Este método proporciona una precisión independiente del resultado de la ocupación y puede permitir una duración de la comprobación técnica más corta.

El segundo método se utiliza especialmente cuando se consideran ráfagas de sistemas digitales, el mínimo tiempo de transmisión puede ser demasiado pequeño para la aplicación práctica del principio anterior. No obstante, si el tiempo de comprobación técnica es suficientemente largo como para proporcionar suficiente número de muestras, el resultado de la ocupación será correcto incluso con tiempos de revisitado más largos porque la probabilidad estadística de captar una transmisión comparada con la probabilidad de perderla es la misma que el ciclo activo de la propia transmisión.

Por todo esto y debido al instrumental utilizado se optó por el primer método. El cual consiste en almacenar la intensidad de la señal de cada paso de frecuencia. Por medio de tratamiento ulterior, se determina el porcentaje de tiempo en el que la señal está por encima de un cierto nivel umbral, el cual se considero -70dbm como umbral de vacío electromagnético y -40dbm como umbral mínimo de recepción.

A partir de dichos umbrales se procedió a analizar cada canal y determinar el grado de ocupación.

4.6 Software de Procesamiento de Datos

Para el procesamiento de los datos se creó un software para el análisis de cada punto de medición, como se observa en la figura siguiente (Fig. 15).

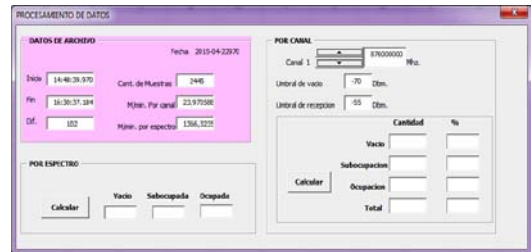


Figura 15. Programa para el procesamiento de datos.

Dicho programa analiza los datos por canal, obteniendo un porcentaje de ocupación según los valores límites establecidos. A la vez permite el análisis del espectro en conjunto obteniendo el grado de ocupación en el punto de medición seleccionado.

A continuación se observan en las figuras siguientes (Fig. 16 a 18) los gráficos de ocupación obtenidos por canal, en distintos puntos de medición en periodos de 30 minutos.

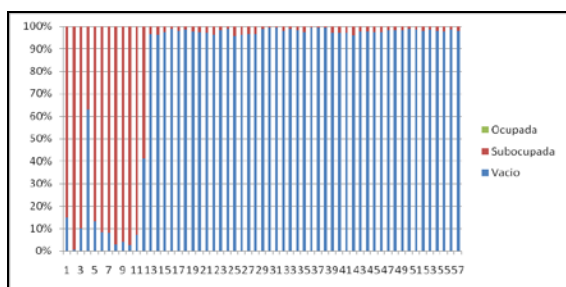


Figura 16. Medicion en Aula 9.

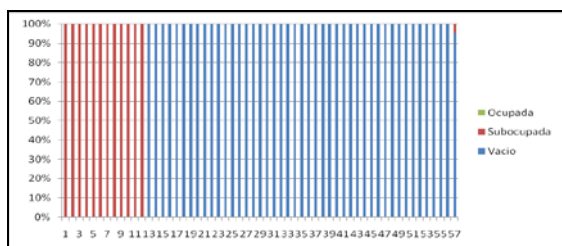


Figura 17. Medicion en cancha.

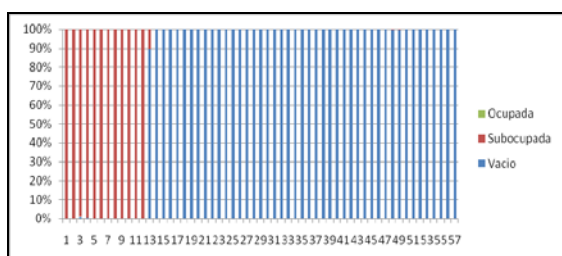


Figura 18. Medicion en UM10.

Como se puede observar en los distintos puntos de medición el espectro se encuentra subocupado y para corroborar la tendencia se realizo un grafico promedio de todos los puntos de medición por canal obteniendo el grafico siguiente (Fig. 19).

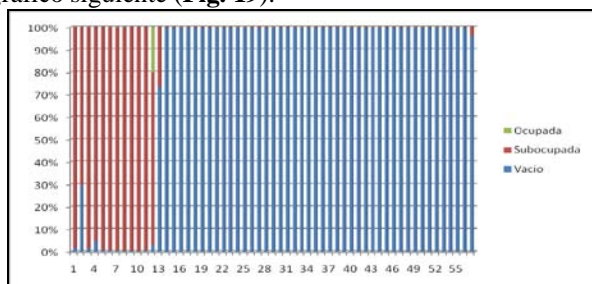


Figura 19. Tendencia.

5. CONCLUSIONES

Si bien en todos los casos los niveles de RNI no supera los valores límites establecidos por la resolución [3], los valores de radiación tienen una fuerte dependencia con las condiciones de entorno al sitio de medición. La presencia de elementos metálicos de dimensiones importantes, tales como cartelaria, techos de chapa, galpones tienen un efecto de reflexión que modifica las expectativas de valores medidos, generando efectos de incremento de la radiación en tres órdenes de magnitud al menos.

Los obstáculos naturales tales como arboledas, tienen efectos dispares según la especie que se trate y predominando el incremento de la radiación especies de hojas cuya superficie es de unos 15cm^2 aproximadamente. En relación a los niveles de radiación en las cercanías de las instalaciones se observa un cono de baja radiación en un radio promedio de 30mts., incrementándose hasta un radio de 300mts. aproximadamente. Con un decrecimiento del nivel de radiación ínfimo a distancias mayores.

En definitiva se concluye que en un entorno normal el nivel de radiación es prácticamente constante en el entorno de la mitad de una celda típica de 5000mts., por lo que no se puede decir que existan áreas más expuestas que otras.

El uso compartido de las torres, por parte de las empresas prestatarias del servicio, no produce un incremento notorio en el nivel de radiación comparativamente en una torre de uso compartido con una torre operada por una sola empresa.

Igualmente tampoco se observan diferencias notorias en emplazamientos con diferentes tecnologías (2G, 3G, LTE). Cabe hacer notar que el máximo nivel de radiación observado nunca llega a ser superior al que se obtiene en las cercanías de un móvil (teléfono celular) cuyo nivel de radiación llega a quintuplicar al máximo valor medido en cualquier emplazamiento de telefonía celular.

Durante las mediciones a las estaciones bases se observo que algunas no cumplen con las normativas de seguridad internacionales, por lo tanto se siguiere[5]:

- Una antena de estación base debe estar instalada a 10 metros por encima de zonas de acceso público.
- Las zonas de acceso al público deben estar situadas a menos de 10 metros en la horizontal de las propias antenas.
- Para antenas instaladas en techos, elevar las antenas transmisoras por encima de la altura de las personas que puedan tener que estar en el techo.
- Para antenas direccionales instaladas en techos, situarlas cerca del borde del techo y apuntando al exterior del edificio.
- Considerar las ventajas e inconvenientes de antenas de gran apertura y antenas de pequeña apertura.
- Tener una especial precaución para mantener las antenas de más alta potencia alejadas de zonas accesibles.
- Mantener las antenas en sitios lo más alejado que sea posible, aunque esto pueda ir en contra de los planeamientos urbanísticos locales.

Una vez realizado el análisis de datos si bien se puede concluir que el espectro se encuentra subocupado, no se puede decir que la utilización del espectro sea eficiente en cuanto a la ocupación por canal.

De los datos obtenidos se observa que los primeros trece canales presentan un 89% de subocupación y un 1,5% de ocupación en los distintos puntos de medición y horarios en que se realizaron las mediciones.

El resto de los canales (44) representa solo un 0,25% de subocupación y un 99,75% de no uso.

Lo anterior plantea por un lado una congestión de abonados en los primeros canales y por el otro una ausencia de los mismos en el resto de los canales.

Para un análisis más profundo de la eficiencia espectral, como así también de la distribución geográfica en frecuencias del factor de utilización del espectro en el tiempo es recomendable la instalación de equipos de registro continuo del espectro[6] en el predio de la universidad.

Como una línea de investigación futura en relación a la eficiencia espectral, entre otros temas se comenzara con el estudio de radios cognitivos [7].

REFERENCIAS

- [1] Recomendación UIT-R SM 1880, Ginebra, 2011.
- [2] Manual de Comprobación Técnica del Espectro UIT, Ginebra, Edición 2011.
- [3] Resolución 3690/2004 (Boletín Oficial N°30524 10,11,04) Comisión Nacional de Comunicaciones, Buenos Aires, Argentina.
- [4] Standard ANSI/IEEE de 1992.
- [5] De la Cruz Mario F., “*Introducción a los Sistemas de Telefonía Celular*”, Editorial Hispano Americana S.A., Octubre 2008.
- [6] S.D. Barnes, P.A. Jansen van Vuuren y B.T. Maharaj, “Spectrum occupancy investigation: Measurements in South Africa,” *Elsevier, measurement*, 46, 3098-3112, 2013.
- [7] Beibei Wang y K. J. Ray Liu, “Advances in Cognitive Radio Networks: A Survey,” *IEEE journal*, vol. 5, 1, 5-23, 2011.