

Estudio y análisis de los niveles de las densidades de potencia de la banda de GSM y LTE en el corregimiento de Bethania, provincia de Panamá

Study and analysis of the levels of the power densities of the GSM and LTE band in the correction of Bethania, province of Panama

Fermín A. Póvaz J.

Universidad de Panamá, Facultad de Informática, Electrónica y Comunicación,
Panamá.

fermin.povaz@up.ac.pa , <https://orcid.org/0000-0001-7657-9408>

Jenny I. Ríos Z.

Universidad de Panamá, Facultad de Informática, Electrónica y Comunicación,
Panamá.

jenny.rios@up.ac.pa, <https://orcid.org/0000-0002-1134-7945>

Recibido: 30-03-24, Aceptado: 10-12-24

DOI: <https://doi.org/10.48204/j.saber.es.v8n1.a6788>

Resumen

En los últimos años se ha experimentado un gran aumento de radio bases en diferentes puntos de la Ciudad de Panamá por parte de los proveedores de servicio de telefonía móvil celular, con el propósito de obtener la mayor cobertura posible a los usuarios y brindar un mejor servicio de datos a los mismos considerando la calidad de los datos. El presente trabajo nos brinda un estudio comparativo de los niveles de las densidades de potencia ofrecidos en los servicios de GSM y LTE en el Corregimiento de Bethania, Panamá localizado en las coordenadas 9° 0' 52.99" N, 79° 31' 45.84" W. Se establecieron 7 sitios de medición en el sector descrito para obtener las muestras y posteriormente analizarlas para ellos se utilizó la Manual de Comprobación Técnica del Espectro de la UIT como procedimiento de medición y captura de datos entorno a las dos servicios y bandas de operación, por parte de los 4 proveedores de servicios que ofrecen el servicio de telefonía móvil celular. Un 82% de las densidades de potencia corresponde al servicio de GSM y un 18% al de LTE. Con niveles promedios de densidades muy bajos alcanzados dentro de los 3.99nW/m² y para LTE 0.86nW/m².

Palabras clave: LTE, GSM, densidad de potencia, modelo de propagación, cobertura, radiaciones no ionizantes, telefonía móvil celular.

Abstract

In recent years there has been a large increase in base stations in different parts of Panama City by cell phone service providers, in order to obtain the greatest possible coverage for users and provide a better service. data to them considering the quality of the data. This work gives us a comparative study of the levels of power densities offered in the GSM and LTE services in the Bethania Municipality, Panama located at coordinates $9^{\circ} 0' 52.99''$ N, $79^{\circ} 31' 45.84''$ W 7 measurement sites were established in the sector described to obtain the samples and then analyze them for them, the ITU Technical Spectrum Testing Manual was used as a measurement and data capture procedure around the two services and operation bands, by the 4 service providers that offer the cellular mobile phone service. 82% of the power densities correspond to the GSM service and 18% to the LTE service. With average levels of very low densities reached within 3.99nW/m^2 and for LTE 0.86nW/m^2 .

Keywords: LTE, GSM, power density, propagation model, coverage, non-ionizing radiation, cellular mobile telephony.

Introducción

La red móvil o celular se configura como una malla de celdas que comprenden diferentes áreas de cobertura, y cada una de ellas dispone de una estación base (radio base) para la radiodifusión de estas señales. (SAUTER, 2010). En función del tamaño de estas celdas, la red móvil se adapta a la demanda de tráfico de datos de los usuarios y optimiza su cobertura para que todos puedan obtener una buena recepción, sin embargo, para alcanzar hay que establecer un estudio poblacional y la distribución de la población y analizar donde ocurre el mayor tráfico de datos en función de la cobertura o densidad de potencia que emiten las radio bases. Es importante que expliquemos como están clasificadas las distintas celdas en la telefonía móvil celular, éstas se definen según el área de cobertura por ejemplos tenemos celdas llamadas macroceldas, estas tienen una cobertura de aproximadamente de 2 a 20 km cuyo propósito es para uso en áreas rurales, en ese orden tenemos las microceldas, estas tienen una cobertura de 500m a 2 km aplicadas a zonas urbanas, las picoceldas que se aplican a zonas más estrechas como calles y edificios, y las femto celdas, estas femtocell son pequeñas estaciones de radio

base cuya utilidad es la de ampliar la cobertura en recintos cerrados o interiores como viviendas, edificaciones o en las empresas que normalmente utilizan las líneas de acceso de banda ancha para que los usuarios puedan utilizar los servicios. Estas celdas deben garantizar que cada usuario mantenga su comunicación intacta cuando se cambia de una celda a otra, esto se le conoce como el proceso de handover. En tales situaciones es importante considerar que tanta densidad de potencia es necesaria para alcanzar la cobertura de cada tipo de celdas.

Dado el gran número de usuarios de los sistemas móviles y el espectro radioeléctrico disponible, la reutilización de frecuencias es indispensable y, para garantizar que no haya interferencias en la comunicación entre los usuarios y las radio bases, se debe gestionar el ancho de banda disponible de la red. Para ello, se adoptan distintas estrategias: una de ellas es distribuir el tiempo de transmisión entre los usuarios de un mismo canal este es el caso de la tecnología móvil GSM, el otro ejemplo es que se puedan distribuir diferentes códigos de acceso entre los usuarios este es el caso de la tecnología móvil UMTS y puede incluso repartirse a la vez la cantidad de frecuencias y el tiempo de transmisión entre usuarios y las radio bases el caso conocido de la tecnología LTE.

La GSM

Se le conoce como el sistema global para las comunicaciones móviles (del inglés Global System for Mobile communications, GSM, y originariamente del francés groupe spécial mobile) es un sistema estándar, independiente de que servicio se ofrezca, y se le considera de telefonía móvil digital. (PENTTINEN, 2010).

Esta tecnología se le considera como un sistema de segunda generación de la telefonía móvil celular, es un sistema europeo de tipo digital como ya hemos explicado, con adaptación de voz y datos digitales (SMS, MMS), esto es lo que es el equivalente a la estructura de la tecnología 2G, esto conlleva una serie de mejoras respecto a los sistemas analógicos que se habían desarrollado como son: mayor eficiencia en el uso del espectro y mejor calidad del servicio, y una mejora sustancial en transmitir datos

hasta 9,6 kbps, en esos tiempos era la innovación. Debemos recalcar que una de las modificaciones de esta norma de GSM es el servicio de empaquetamiento de datos GPRS que nos proporciona velocidades de datos de 56 kbps en la recepción y 40 kbps en transmisión. Por el hecho de que esta tecnología se encuentra en un punto medio entre la segunda y la tercera generación, se le denomina 2.5 G.

Con respecto a las bandas de frecuencias de operación, las bandas de 900 MHz y 1800 MHz y que son coordinadas a nivel de operación del sistema europeo para dar este tipo de servicios. Inicialmente en Panamá, solo había dos operadores y suponían el uso de una banda para GSM, pero con la llegada de otros dos proveedores se tuvo que reasignar una nueva banda para hacer uso de este servicio.

La LTE

La LTE (acrónimo de Long Term Evolution), es un estándar para comunicaciones inalámbricas de transmisión de datos de alta velocidad para teléfonos móviles y terminales de datos. El 3GPP, es una colaboración de grupos de asociaciones de telecomunicaciones, conocidos como miembros organizativos. El objetivo inicial del 3GPP era establecer las especificaciones de un sistema global de comunicaciones de tercera generación 3G para teléfonos móviles basándose en las especificaciones del sistema evolucionado GSM (Global System for Mobile Communications: sistema global de telecomunicaciones móviles) dentro del marco del proyecto internacional de telecomunicaciones móviles 2000 de la ITU (Unión Internacional de Telecomunicaciones). está definida por unos como una evolución de la norma 3GPP UMTS (3G) y por otros como un nuevo concepto de arquitectura evolutiva (4G). Eso para dar paso a lo que inició la LTE. (DAHLMAN et al, 2009).

Las redes LTE representan la evolución de las actuales tecnologías 3G y conllevan a mejoras considerables en los servicios de banda ancha móvil como por ejemplo permite

velocidades superiores a los 100 Megas, nos entrega una menor latencia y es compatible con los últimos avances de tecnología móvil.

Parámetros Teóricos Para Considerar

Como nuestra investigación constituye el estudio de las densidades de potencia es prudente establecer en qué consisten y de que dependen cada una de ellas.

Mientras que los campos eléctricos están asociados solamente con la presencia de la carga eléctrica, los campos magnéticos son el resultado del movimiento físico de las cargas eléctricas (corriente eléctrica). Un campo eléctrico E ejerce fuerzas sobre una carga eléctrica y se expresa en voltios por metro ($V m^{-1}$). Similarmente los campos magnéticos pueden ejercer fuerzas en las cargas eléctricas; pero solamente cuando las cargas están en movimiento. (ICNIRP, 1998).

Los campos eléctricos y magnéticos tienen magnitud y dirección (son vectores): un campo magnético puede ser especificado en dos formas, como densidad de flujo magnético B , expresado en teslas (T), o como intensidad de campo magnético H , expresado en amperios por metro ($A m^{-1}$), las dos cantidades están relacionadas por:

$$B = \mu H \text{ (ec. 1)}$$

donde μ es la constante de proporcionalidad (la permeabilidad magnética); en el vacío o en el aire, así como también en materiales no-magnéticos (incluyendo materiales biológicos) $\mu = 4 \pi 10^{-7}$ ($H m^1$). Por lo tanto, cuando se describa un campo magnético para protección debería especificarse solamente una de las cantidades B o H .

En la región de campo lejano, el modelo de onda plana es una buena aproximación de la propagación del campo electromagnético. Las características de onda plana son:

- Los frentes de onda tienen una geometría plana.
- Los vectores E y H y la dirección de propagación son mutuamente perpendiculares.
- La fase de los campos E y H son las mismas, y el cociente de las amplitudes E/H es constante a través del espacio. En espacio libre, la relación $E/H = 377$ ohmios que es la impedancia característica del espacio libre.

- La densidad de potencia S , es decir la potencia por unidad de área normal a la dirección de propagación, está relacionada a los campos eléctricos y magnéticos por la ecuación 2.

$$S = EH = \frac{E^2}{377} = H^2 \cdot 377 \quad (\text{ec. 2})$$

El organismo de regular y normar estos niveles de densidades de potencia en la República de Panamá es la Autoridad de los Servicios Públicos (ASEP), ellos se basan en el documento que ha hemos enunciado por la INTERNATIONAL COMMISSION ON NON-IONIZING RADIATION PROTECTION (ICNIRP) en su publicación de sus factores de limitación a los campos magnéticos y eléctricos, y de la recomendación orientación de los cumplimientos de los límites de exposición de las personas conocida como la recomendación Rec. UIT K.52.(UIT,2018).

Materiales y métodos

Área de estudio

El presente estudio se desarrolló, en el área de la Ciudad de Panamá, específicamente el Corregimiento de Bethania, Provincia de Panamá, entre las coordenadas $9^{\circ} 0' 52.99''$ N, $79^{\circ} 31' 45.84''$ W. Estableciendo un área de superficie de 8.6Km^2 .

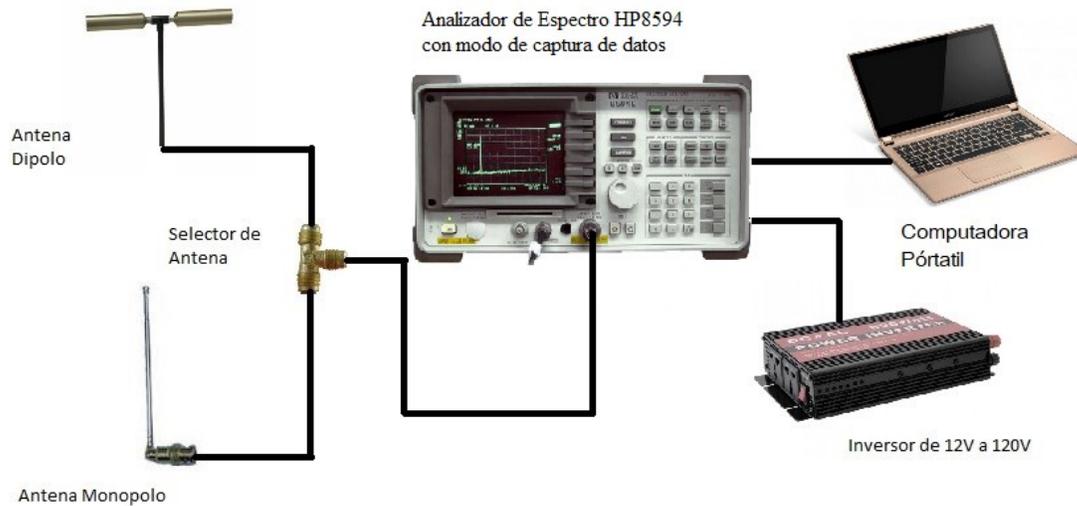
Método de estudio

Para la realización del estudio se utilizó las recomendaciones de medidas comprendidas entre un rango de frecuencia de 10MHz – 10GHz del Manual Oficina de Radiocomunicaciones de COMPROBACIÓN TÉCNICA DEL ESPECTRO de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, la misma consiste en tomar muestras por 6 minutos por los instrumentos de medición que es un analizador de espectro HP8594 de 9KHz a 3GHz, con una antena tipo dipolo cruzado y otro monopolo con un mástil que posea una altura de 5 o 10 metros, una laptop para realizar la comunicación con el analizador de espectro para la captura de los datos, un inversor de voltaje para la

alimentación de los equipos y un GPS para la determinación de las coordenadas de los sitios. El arreglo de los equipos para la realización de las capturas de datos se observa en la figura 1.

Figura 1

Instalación de los equipos para la realización de la captura de los datos.



Instalación de los Equipos de Medición de RF

Se seleccionaron 7 sitios de medición y se procedieron a realizar las capturas de datos para las cuatro operadoras de servicio de telefonía móvil celular que prestan servicios de GSM y LTE. Estos sitios de medición lo observamos en la figura 2.

Figura 2

Sitios para la realización de las mediciones y la captura de datos en el Corregimiento de Bethania.



Cada sitio de medición y de captura de datos posee las siguientes coordenadas que se proporcionan en la tabla 1.

Tabla 1		
Coordenadas de los sitios de medición y captura de datos.		
Sitio	Latitud	Longitud
1	9° 1' 55.36" N	79° 32' 2.09" W
2	9° 0' 57.25" N	79° 32' 4.46" W
3	9° 1' 19.69" N	79° 31' 36.98" W
4	9° 1' 37.60" N	79° 31' 10.60" W
5	9° 0' 16.77" N	79° 31' 18.10" W

6	9° 0' 17.18" N	79° 31' 51.26" W
7	8° 59' 39.55" N	79° 32' 3.51" W

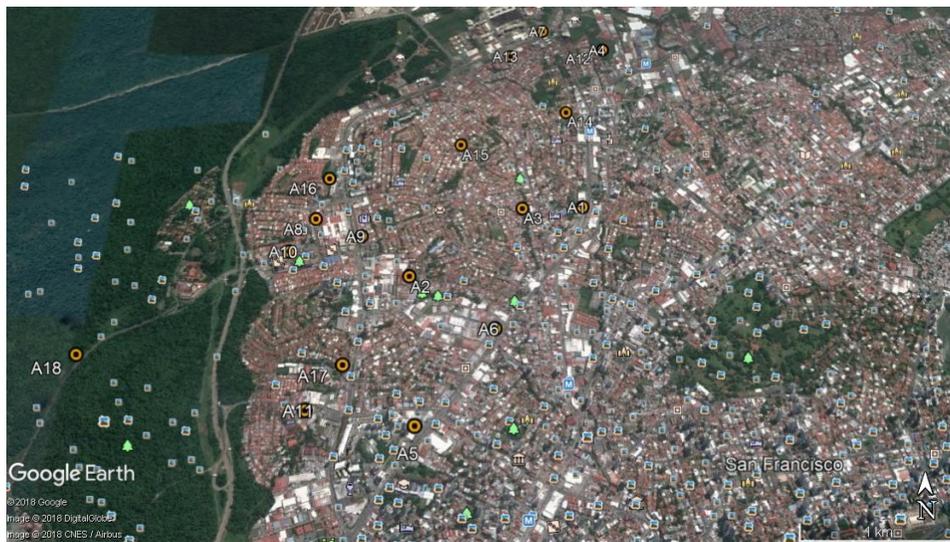
Para determinar que banda de operación están los operadores de telefonía móvil celular es necesario establecer las bandas de operación de GSM(3G) y de LTE, en la tabla 2 se proporcionan estos parámetros.

Tabla 2 <i>Bandas de operación de frecuencia para los servicios GSM y LTE</i>		
Operador	Banda de GSM	Banda LTE
A	GSM850	9310
B	PCS1900	9610
C	PCS1900	9510
D	GSM850	9410

Cada operador de servicio de telefonía móvil celular que opera en las bandas de frecuencias GSM y LTE requiere de una red muy robusta dependiendo de las condiciones topográficas del terreno, es decir de la ubicación estratégica de sus antenas de transmisión y recepción a través de torres o de la utilización de las azoteas de los edificios para utilizarlas como elementos de alturas que permitan la propagación de las señales, para ello se utilizan modelos de propagación tales como los modelos de Okumura-Hata, o de leyes de potencias, esos modelos son de tipo empíricos, con respecto a sus contraparte, Walfish&Bertoni. (RÁBANOS et al, 2000), que tratan de predecir de cierta forma las pérdidas de las señales en los trayectos. A continuación, se proporciona la distribución de las torres y antenas para el operador A, está la observamos en la figura 3. Se puede observar que aproximadamente dispone de 17 puntos de transmisión de la señal de GSM y LTE.

Figura 3

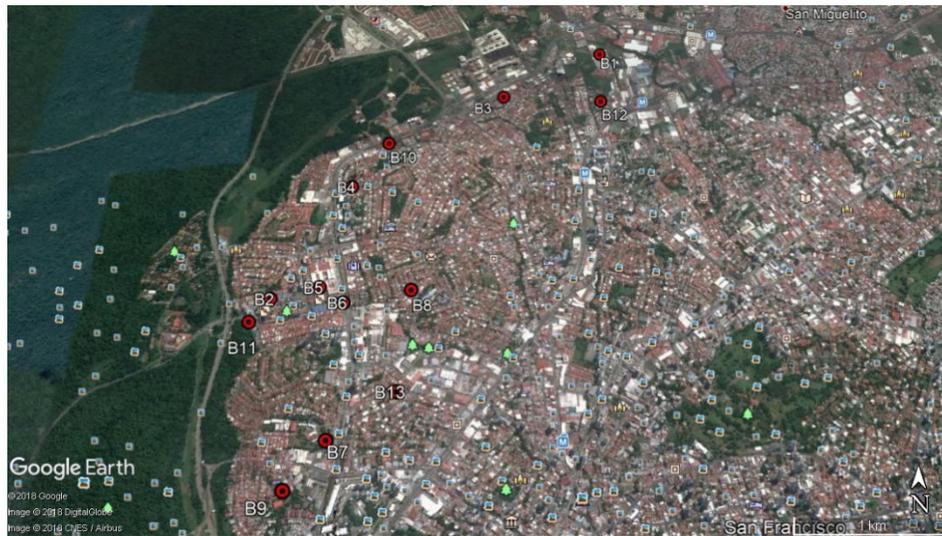
Distribución de las torres de las antenas del operador A en el Corregimiento de Bethania.



En la figura 4 observamos la distribución de las antenas y torres del operador B, la misma cuenta con 13 antenas o sitios de transmisión hasta el momento de realizar el estudio.

Figura 4

Distribución de los sitios donde se ubican las antenas y torres por parte del operador B.



En ese mismo orden, las figuras 5 y 6 se observan las ubicaciones de antenas y torres de los operadores C y D, las mismas son de 15 y de 29 respectivamente.

Figura 5

Distribución de los sitios donde se ubican las antenas y torres por parte del operador C.

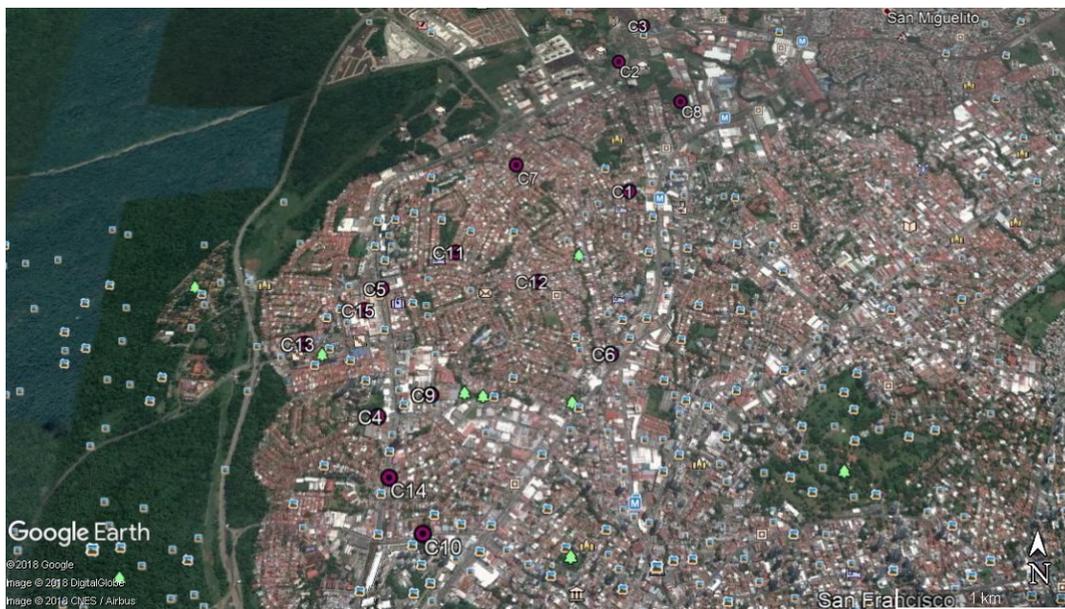
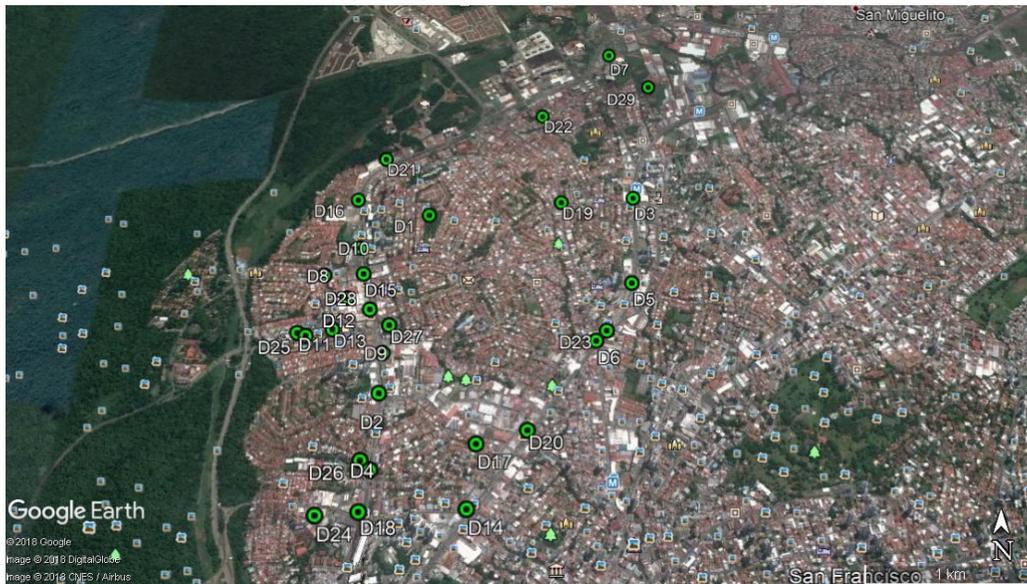


Figura 6

Distribución de los sitios de ubicación de las antenas y torres del operador D.



Esta información del número de torres y antenas fue proporcionada por la base de datos de la ASEP específicamente del sitio de Torres y Antenas.

Resultados y discusión

El estudio realizado dio como resultado un total de 56 mediciones con un promedio de 125 muestras por cada sitio. Estos resultados lo presentamos en dos cuadros, tabla 3 nos presenta los resultados de los valores promedio de las densidades de potencia correspondiente de la banda de GSM por sitio y operador. La tabla 4 presenta los resultados de los niveles de densidades de potencia correspondiente a la banda LTE por sitio y operador.

Tabla 3
Niveles de densidades de potencia (nW/m^2) de GSM por cada sitio de medición

Operador	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4	Sitio 5	Sitio 6	Sitio 7	Total
A	1.5849	1.9953	0.1259	3.1623	15.8489	0.7943	0.5012	24.0128
B	3.1623	0.0040	0.0398	0.0025	0.0079	0.6310	0.6310	4.4784

C	15.848 9	5.011 9	0.3981	0.398 1	0.6310	3.162 3	15.848 9	41.299 2
D	15.848 9	0.025 1	10.000 0	0.006 3	0.0631	0.100 0	15.848 9	41.892 4
Valores promedio	9.1113	1.759 1	2.6410	0.892 3	4.1377	1.171 9	8.2075	27.920 7

Tabla 4
Niveles de densidades de potencia (nW/m²) para LTE por cada sitio de medición

Operador	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4	Sitio 5	Sitio 6	Sitio 7	Total
A	0.0398	0.0063	0.0126	2.5119	0.0501	2.5119	0.0251	5.1577
B	0.0316	0.0020	0.0008	0.1995	0.0032	0.0126	0.0158	0.2655
C	0.0020	0.0794	0.0032	0.1995	0.2512	10.0000	0.0794	10.6147
D	6.3096	0.0100	0.0000	0.1585	0.0063	0.0794	1.5849	8.1487
Valores Promedio	1.5958	0.0244	0.0041	0.7674	0.0777	3.1510	0.4263	6.0467

Se puede observar que, en el estudio, la contribución de niveles de densidad de potencia en la banda de GSM es 36.97% (41.30 nW/m²) y 37.51% (41.89 nW/m²) por parte de los operadores C y D al Corregimiento de Bethania, en cuando al sitio que mayor nivel de densidad de potencia desarrolla es el sitio 1, correspondiente al sector de Plaza Centenial y sus alrededores con un 25% (9.11 nW/m²) acumulativo de señales correspondiente a la banda de GSM.

Con respecto a la banda de LTE, el operador C desarrolla un 43.88% (valor promedio de 10.62 nW/m²), y el sitio con mayor con nivel acumulativo corresponde el sitio 1 con un 25% (1.5958 nW/m²) correspondiente al sector de Plaza Centenial.

Estudio Comparativo de los Niveles de GSM y LTE

Para este estudio de qué nivel de densidad de potencia con respecto a la banda de GSM o la banda de LTE tiene mayor incidencia en el Corregimiento de Bethania, Provincia de Panamá, para ello utilizaremos la prueba estadística T de Student para grupos relacionados, ya que las mediciones de los niveles de las densidades de potencia son variables cuantitativas y continuas y dentro de un rango de intervalo.

Planteamiento de la hipótesis

- Hipótesis Nula (H_0). El nivel de densidad de potencia con respecto a las radiobases de GSM tiene mayor contribución al Corregimiento de Bethania.

$$H_0: \mu_1 > \mu_2$$

- Hipotesis Alternativa (H_a): El nivel de densidad de potencia con respecto a las radiobases de LTE tiene mayor contribución al Corregimiento de Bethania.

$$H_a: \mu_1 < \mu_2.$$

Para aplicar el método T-STUDENT que compara dos variables cualitativas se base en la comparación de las medias en base a su varianza, mediante los cálculos establecidos se muestran los resultados en el Tabla 5.

Tabla 5
Estudio comparativo de t-student

Variabl e	Observacione s	Obs. con datos perdidos	Varianz a	Mínim o	Máxim o	Medi a	Desv . típic a
GSM	28	0	4.97	0.003	15.849	3.989	6.008
LTE	28	0	36.09	0.000	10.000	0.864	2.230

Para calcular el intervalo de confianza de 95% para la diferencia de medias se necesita calcular el error estándar de la diferencia de medias que, en el supuesto de igualdad de varianzas con un valor de $\alpha = 0.05$. En la tabla 6 se observa los resultados del análisis.

Tabla 6
Valores de Prueba t-student

Diferencia	3.125
------------	-------

t (Valor observado)	3.616
t (Valor crítico)	-1.703
GL	27
valor-p (unilateral)	0.999
alfa	0.05

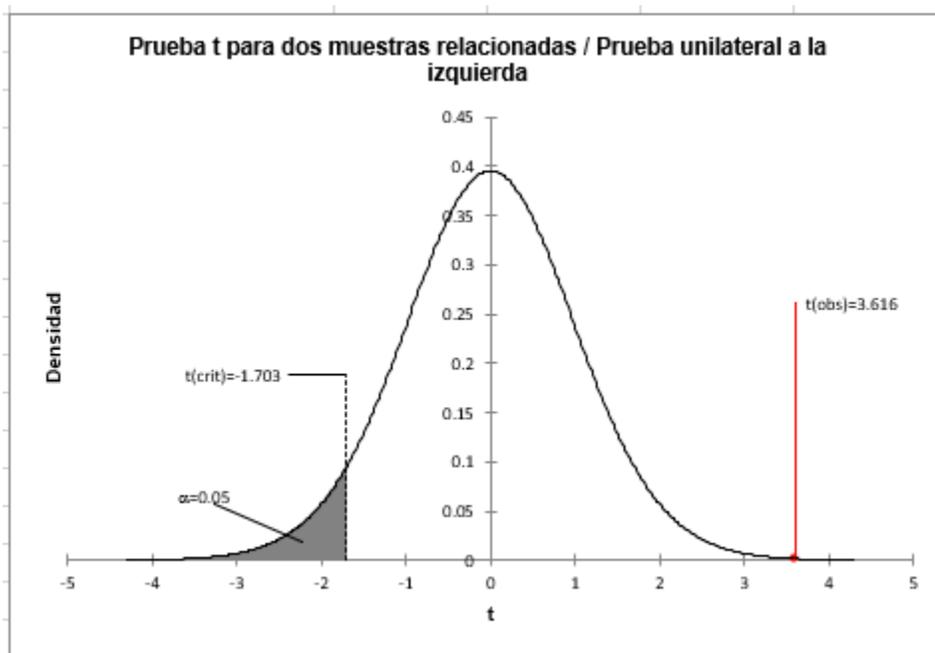
El intervalo de confianza de 95% es de -0.81 hasta 4.97.

Puesto que el valor de p calculado (0.999) es mayor que el nivel de significancia alfa ($\alpha=0.05$) se acepta la hipótesis nula H_0 , es decir el nivel de contribución de densidad de potencia por parte de la banda de GSM es mayor con respecto a la banda de LTE.

A pesar de que las dos muestras no desarrollaban ninguna distribución de normalidad, se realizó la prueba t-student. En la figura 7 se observa la distribución de densidades para las dos variables relacionadas GSM y LTE con su representación de la t calculada y la t crítica.

Figura 7

Distribución de t-student para las variables GSM y LTE.

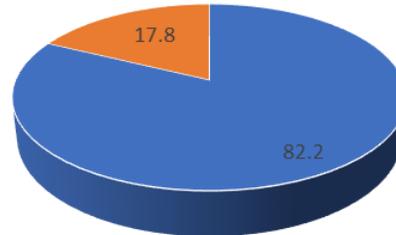


Habiendo comprobado que hay mayor contribución de niveles de densidad de potencia con respecto a la banda GSM comparándola con la banda de LTE. Esto significa que hay una contribución de 82.20% (valor promedio de 3.99nW/m^2) por parte de la banda de GSM y 17.80% (valor promedio de 0.864nW/m^2). Este comportamiento lo podemos ilustrar en la figura 8.

Figura 8

Distribución de Niveles de Densidades de potencia en el Corregimiento de Bethania.

Contribución de Densidades de Potencia en el Corregimiento de Bethania



■ Nivel de Densidad de Potencia Promedio de Banda GSM (%)
■ Nivel de Densidad de Potencia Promedio de Banda LTE (%)

Estudio Comparativo de los niveles de densidades de potencia para la banda de GSM y LTE

Para la estimación de los niveles de las densidades de potencia de las bandas de GSM y LTE sobrepasa los límites permitidos por las normas de la ICNIRP y de las regulaciones nacionales e internacionales, es necesario explicar que estos estudios se basan en dos tipos de zonas conocidas como ocupacional y la zona de público en general. La zona ocupacional se establece para aquellos niveles que desarrollan en un área de trabajo, la zona de público en general, son para aquellas personas que no operan o manipulan ningún equipo de transmisión de radio bases para nuestro caso tanto de GSM y LTE. Nuestro estudio consideraremos la zona de público general.

Para la determinación del nivel de densidad total absorbida utilizaremos la siguiente relación total de densidad de potencia (Mejía, 2010).

Esta relación establece lo siguiente ecuación 3:

$$\sum_1^n \frac{S_i}{L_i} = \frac{S_1}{L_1} + \frac{S_2}{L_2} + \frac{S_3}{L_3} + \dots + \frac{S_n}{L_n} \leq 1 \quad ec.3$$

Donde:

L_i = Límites de exposición por cada frecuencia, utilizaremos la del Tabla 7.

Tabla 7

Límites de Densidades de Potencia.

$f(\text{MHz})$	$S_{lim}(f) (\text{W/m}^2)$	
	Público en general	Ocupacional
100-400	2	10
400-2000	$f/200$	$f/40$
$2 \cdot 10^3 - 300 \cdot 10^3$	10	50

Fuente: Recomendación K.52. Unión Internacional de Telecomunicaciones.2000

Los resultados finales de los índices acumulativos de absorción por las densidades de potencia de GSM y LTE lo observamos en la tabla 8.

Tabla 8	
Índice acumulativo de los niveles de densidad de potencia permitidos	
Densidad Acumulativa	$\sum_1^n \frac{S_i}{L_i}$
GSM	1.4878×10^{-8}
LTE	6.9104×10^{-9}
total	2.1789×10^{-8}

La tabla 8 observamos que el índice acumulativo de absorción de densidad de potencia producido por las bandas GSM y LTE en el Corregimiento de Bethania, es de 2.1789×10^{-8} está por debajo de 1, por lo que es despreciable la cantidad de densidad de potencia para la población del Corregimiento de Bethania.

Conclusión

Un estudio exhaustivo del comportamiento de los niveles de densidades de potencia por parte de las cuatro operadoras de servicio de telefonía móvil celular nos permite establecer que las densidades de potencias son más elevadas, pero dentro de los rangos permisibles de la banda de GSM comparadas con la banda LTE.

Hay sitios que establecen una menor cobertura o de bajas densidades de potencia para ambas bandas de operación de GSM y LTE por lo que es posible que el servicio baje la demanda debida a su nivel muy bajo de densidad de potencia.

Recomendación

Es importante continuar el estudio para el siguiente año y estudiar el comportamiento de esta y determinar el nivel de variación de estas densidades de potencia. De la misma forma es necesario estudiar otros sectores de la Ciudad Capital.

Es importante que la Autoridad de los Servicios Públicos (ASEP) publique en su base de datos los sitios de cada operador, marca y modelo de los equipos al igual que otros parámetros de transmisión como son las ganancias de las antenas, orientación acimutal y potencia, ya que no son públicos. Esta información es necesaria para estudiar el comportamiento de las coberturas de estas señales utilizando software basados en modelos de predicción y así establecer un análisis comparativo del comportamiento de estas señales teóricos y prácticos.

Referencias Bibliográficas

- AUTORIDAD DE LOS SERVICIOS PÚBLICOS (ASEP). 2017. Base de Datos de Torres y Antenas. Información de los sitios de transmisión y tipos de torres y antenas.
- DAHLMAN, E., OLSSON, M. 2009. 3G Evolution. Editorial Academic Press. 615 pp.
- ICNIRP.1998. For limiting Exposure to Time Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (Up to 300GHz). Consultado el 15 de junio de 2018. <https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdl.pdf>
- ITU. 2004. K.61: Directrices sobre la medición y la predicción numérica de los campos electromagnéticos para comprobar que las instalaciones de telecomunicaciones cumplen los límites de exposición de las personas. Consultado el 7 de julio 2018. <https://www.itu.int/rec/T-REC-K.61-200309-S/es>
- ITU.2011. Manual Oficina de Radiocomunicaciones Comprobación Técnica del Espectro. Consultado el 2 de febrero de 2018. https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/hdb/R-HDB-23-2011-PDF-S.pdf
- ITU. 2018. K.52: Guidance on complying with limits for human exposure to electromagnetic fields. Consultado 20 mayo de 2018. <https://www.itu.int/rec/T-REC-K.52-201801-I/es>
- MEJÍA TREJO, J. 2010. Propuesta de modelo conceptual para la medición de niveles de riesgo por radiación no ionizante. Rev. Red Internacional de Investigadores en Competitividad, Vol 4, Num 1.602-622 pp.
- PENTTINEN, J. 2010. The LTE / SAE Deployment Handbook. Editorial John Wiley & Sons. 448 pp.
- RABANOS, J. MENDO TOMAS, L. RIERA SALIS, J. 2013. Transmisión por Radio. Editorial Universitaria Ramón Areces. 628 pp.
- SAUTER, M. 2010. From GSM to LTE: An Introduction to Mobile Networks and Mobile Broadband. Editorial John Wiley & Sons. 480 pp.