





## Estudio comparativo de modelos de propagación con el análisis de la intensidad de la señal LTE de las estaciones base con el área de cobertura en Riobamba - Ecuador

*Comparative study of propagation models with the analysis of the LTE signal strength of the base stations with the coverage area in Riobamba-Ecuador*

- <sup>1</sup> Eric Andre Ponce Castillo  <https://orcid.org/0000-0002-0861-0239>  
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Facultad de Informática y Electrónica, Carrera de Telecomunicaciones, Riobamba, Ecuador.  
[eric.ponce@esPOCH.edu.ec](mailto:eric.ponce@esPOCH.edu.ec)
- <sup>2</sup> Jehins Smith Ledesma Buele  <https://orcid.org/0000-0002-6117-5862>  
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Facultad de Informática y Electrónica, Carrera de Telecomunicaciones, Riobamba, Ecuador.  
[jehins.ledesma@esPOCH.edu.ec](mailto:jehins.ledesma@esPOCH.edu.ec)
- <sup>3</sup> Roberth Puchaicela Cuenca  <https://orcid.org/0000-0003-4637-4756>  
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Facultad de Informática y Electrónica, Carrera de Telecomunicaciones, Riobamba, Ecuador.  
[roberth.puchaicela@esPOCH.edu.ec](mailto:roberth.puchaicela@esPOCH.edu.ec)
- <sup>4</sup> Kevin Jeremi Miraba Cajamarca  <https://orcid.org/0000-0002-3223-2549>  
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Facultad de Informática y Electrónica, Carrera de Telecomunicaciones, Riobamba, Ecuador.  
[kevin.miraba@esPOCH.edu.ec](mailto:kevin.miraba@esPOCH.edu.ec)



### Artículo de Investigación Científica y Tecnológica

Enviado: 07/06/2022

Revisado: 22/07/2022

Aceptado: 02/08/2022

Publicado: 16/09/2022

DOI: <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v5i3.2323>

### Cítese:

Ponce Castillo, E. A., Ledesma Buele, J. S., Puchaicela Cuenca, R., & Miraba Cajamarca, K. J. (2022). Estudio comparativo de modelos de propagación con el análisis de la intensidad de la señal LTE de las estaciones base con el área de cobertura en Riobamba - Ecuador. *ConcienciaDigital*, 5(3), 273-296.  
<https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v5i3.2323>



**CONCIENCIA DIGITAL**, es una revista multidisciplinar, trimestral, que se publicará en soporte electrónico tiene como **misión** contribuir a la formación de profesionales competentes con visión humanística y crítica que sean capaces de exponer sus resultados investigativos y científicos en la misma medida que se promueva mediante su intervención cambios positivos en la sociedad. <https://concienciadigital.org>

La revista es editada por la Editorial Ciencia Digital (editorial de prestigio registrada en la Cámara Ecuatoriana de Libro con No de Afiliación 663) [www.celibro.org.ec](http://www.celibro.org.ec)



Esta revista está protegida bajo una licencia *Creative Commons Attribution Non Commercial No Derivatives 4.0 International*. Copia de la licencia: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

**Palabras**

**claves:** Modelo Log-Normal, Modelo Okumura-Hata, Modelo Walfish-Bertoni, Modelo Walfish-Ikegami, Modelo SUI.

**Keywords:**

Log-Normal Model, Okumura-Hata Model, WalfishBertoni Model, Walfish-Ikegami Model, SUI Model.

**Resumen**

Este trabajo de investigación presenta el estudio de modelos de propagación: Log-Normal, Okumura-Hata, Walfish-Bertoni, Walfish-Ikegami y SUI; a través del cual se realizará una comparación con las mediciones realizadas en diferentes sectores de la ciudad de Riobamba, para este estudio trabajaremos con los operadores móviles Claro y Tuenti. Para las mediciones respectivas, se toman puntos aleatorios alrededor de la base de radio con la ayuda de la aplicación celular Network Cell Info-Lite con una estimación mínima de 50 datos con su respectiva distancia a tres momentos diferentes del día en la mañana, mediodía y tarde, para ello el estudio se realizará en cuatro sectores de la ciudad, se calculará un promedio de los 50 datos extraídos. El objetivo es determinar qué modelo se ajusta a los modelos de propagación mencionados anteriormente, se analizarán los resultados y se interpretará qué modelo se ajusta a cada una de las cinco ubicaciones propuestas, considerando las restricciones y parámetros de cada uno de los modelos de propagación propuestos.

**Abstract**

This research paper presents the study of propagation models: Log-Normal, Okumura-Hata, Walfish-Bertoni, Walfish-Ikegami and SUI; through which a comparison will be made with the measurements made in different sectors in the city of Riobamba, for this study we will collaborate with the mobile operators Claro and Tuenti. For the respective measurements, random points are taken around the radio base with the help of the Network Cell Info-Lite cellular application with a minimum estimate of 50 data with their respective distance at three different times of the day in the morning, noon and afternoon, for this the study will be carried out in four sectors of the city, an average of the 50 extracted data will be calculated. The objective is to determine which model fits the previously mentioned propagation models, the results will be analyzed, and it will be interpreted which model fits each of the five proposed locations, considering the restrictions and parameters of each of the proposed propagation models.

## Introducción

La comunicación inalámbrica es la transferencia de información a distancia sin el uso de conductores eléctricos reforzados o "cables". Cuando el contexto es claro, el término suele abreviarse como "inalámbrico". Eso abarca varios tipos de dispositivos fijos, móviles y portátiles, radios bidireccionales, teléfonos móviles, asistentes personales digitales (PDA) y redes inalámbricas. A partir de este principio, las comunicaciones inalámbricas se han convertido en un elemento clave de la sociedad moderna (Hasan, 2018).

En las últimas décadas, las redes de comunicaciones inalámbricas móviles han experimentado un cambio notable. La generación inalámbrica móvil (G) suele referirse a un cambio en la naturaleza del sistema, la velocidad, la tecnología, la frecuencia, la capacidad de datos, la latencia, etc. Cada generación tiene unos estándares, capacidades diferentes, nuevas técnicas y características que la diferencian de la anterior. La red de comunicación móvil inalámbrica de primera generación (1G) era analógica y se utilizaba sólo para llamadas de voz. La segunda generación (2G) es una tecnología digital y admite mensajes de texto.

La tecnología móvil de tercera generación (3G) proporcionaba una mayor velocidad de transmisión de datos, una mayor capacidad y ofrecía soporte multimedia. La cuarta generación (4G) integra la 3G con la Internet fija para dar soporte a la Internet móvil inalámbrica, lo que supone una evolución de la tecnología móvil y supera las limitaciones de la 3G. También aumenta el ancho de banda y reduce el coste de los recursos. La quinta generación (5G) va a suponer una nueva revolución en el mercado de la telefonía móvil que ha cambiado la forma de utilizar los teléfonos móviles con un ancho de banda muy elevado. El usuario nunca ha experimentado una tecnología de tan alto valor que incluye todo tipo de características avanzadas y la tecnología 5G será más potente y de gran demanda en un futuro próximo (Lopa & Vora, 2015).

La tecnología LTE (Long Term Evolution) es una tecnología de interfaz de radio basada en OFDMS (Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal) y SC-FDMA (Single Carrier FDMA), proporciona una alta tasa de transmisión de datos, optimización de paquetes, baja latencia y propagación de radio flexible facilitando la migración de las redes HSPA (High-Speed Packet Access) a LTE. Se basa en la documentación de la versión 8 del estándar 3GPP para la conmutación de paquetes con el protocolo IP cuya transmisión de datos es por aire, diseñada para trabajar a velocidades de 100Mbps en módems inalámbricos, celulares de última generación u otros dispositivos móviles (Monitoring-Delta, 2002). Mientras que las tecnologías 3G se caracterizan por proporcionar acceso simultáneo a la voz y a los datos, lo que dio lugar a múltiples aplicaciones (Barranco & García, 2019). Permitiendo a los operadores de redes ofrecer a los usuarios una mayor gama de servicios más avanzados, a la vez que se consigue una mayor capacidad de red gracias a la mejora de la eficiencia espectral. Los servicios

incluyen una amplia área de telefonía de voz inalámbrica, videollamadas y datos inalámbricos de banda ancha, todo ello en un entorno móvil (Hasan, 2018). La tecnología 3G proporciona servicios inalámbricos con velocidades de datos de 144 kbps a 384 kbps y su sistema es de conmutación de paquetes, es decir, no están conectados. La misma ruta de datos al mismo tiempo es utilizada por varios usuarios, ya que la 3G implica la división de los datos en paquetes (Bhandari et al., s.f.).

En el sistema de comunicación celular (UMTS), la potencia del código de la señal recibida (RSCP) denota la potencia medida por un receptor en un canal de comunicación físico concreto. Se utiliza como indicación de la intensidad de la señal, como criterio de transferencia, en el control de potencia del enlace descendente y para calcular la pérdida del trayecto. Aunque el RSCP puede definirse en general para cualquier sistema CDMA (Acceso Múltiple por División de Código), se utiliza más específicamente en UMTS (Teltonika Community, 2018). A través de esto los niveles de potencia en redes 3G basados en el RSCP podemos basarlo como excelente de 0 a -60 dBm, bueno de -60 a -85 dBm, regular de -85 a -95dBm y malo de -95 a -124dBm (Korunur & Kurnaz, 2016). Mientras que para las redes de tecnología LTE consideramos como excelente de 0 a -65dBm, bueno de -65 a -100 dBm, regular de -100 a -116 dBm y malo de -116 a -128dBm (Venn telecom, s.f.).

Para obtener los niveles de intensidades de potencia se realiza un software destinado a estos fines como es Signal Spy, qué es un software que nos permite tener toda la información del servicio que tenemos contratado en nuestro dispositivo Android. Podremos ver el nivel de intensidad de la señal y el tipo de tecnología (2G, 3G, 4G, LTE) (Uptodown Technologies SL, s.f.a). Network Cell Info, se trata de un software de seguimiento de redes móviles y wifi con herramientas de medición y diagnóstico (5G, LTE+, LTE, CDMA, WCDMA, GSM). También ayuda a solucionar problemas de cobertura y conectividad a la vez que te da información sobre la frecuencia de radio de tus operadores móviles locales (M2Catalyst, s.f.). Network Signal Strength es un software que nos permitirá conocer exactamente la intensidad de la señal que tenemos en una zona. La precisión de la aplicación nos ayudará incluso a calcular dónde está la mejor conexión WiFi o 3G. Este software se caracteriza por su excelente capacidad para gestionar todo lo relacionado con nuestra conexión a Internet (Uptodown Technologies SL., s.f.b). Opensignal es una completa herramienta para comprobar la velocidad de la conectividad móvil y la señal de red, test de velocidad, incluyendo descarga, subida y latencia, para 3G, 4G LTE, 5G y Wi-Fi. La prueba de velocidad de Opensignal es una herramienta completa para probar la velocidad de la conectividad móvil y la señal de red, prueba de velocidad, incluyendo la descarga, la carga y la latencia, para 3G, 4G LTE, 5G y Wi-Fi. La prueba de velocidad de Opensignal realiza una comprobación de 10 segundos (Hasan, 2018).

### *Redes móviles*

Redes móviles al igual que las redes cableadas fijas, las redes móviles ofrecen transmisión de datos, pero a través de conexiones inalámbricas. Estas redes tienen un componente de radio, pero también tienen una gran parte de infraestructura fija para poder ofrecer todo tipo de servicios (Hasan, 2018). Cada vez que aparece una nueva generación, tiene una mayor capacidad para que pueda cumplir con requisitos cada vez más complejos:

- Estación base (BS Base Station)
- Terminales (MS Mobile Station)

Uno de los principios más fundamentales aplicados en los sistemas modernos de telecomunicaciones móviles se basa en la división del territorio en áreas parciales más pequeñas llamadas células o celdas, de ahí el nombre de redes celulares, que siempre son gestionadas por una estación base específica (Becvar et al., 2012). El tamaño de las células utilizadas en los diversos sistemas móviles depende principalmente del tipo y el propósito del sistema móvil y se puede clasificar de la siguiente manera:

- Femtocélulas: Destinadas a cubrir áreas que reciben una señal de mala calidad de otras células.
- Picocell: El margen de cobertura de esta señal es de unas pocas decenas de metros.
- Microceldas: Enfocado principalmente a usuarios con movimiento lento (por ejemplo, para peatones o para un coche en tráfico urbano). La cobertura de una sola microcélula es de unos pocos cientos de metros.
- Macrocelas: Orientadas principalmente a usuarios en movimiento con alta velocidad. El radio del área de cobertura máxima es de unos pocos kilómetros.
- Celda satélite: Permite la conexión en lugares inaccesibles a los tipos de celdas anteriores. El alcance de la señal depende de la posición relativa de los satélites y de los parámetros de transmisión y recepción de los dispositivos (Researchgate.net, 2011).

### *Información de celdas de red Lite*

Network Cell Info Lite es una aplicación para Android que nos permitirá comprobar la cobertura que estamos recibiendo en nuestro dispositivo. Cubre todas las redes celulares, incluyendo LTE, HSPA +, HSPA, WCDMA, EDGE, GSM, CDMA, EVDO (Researchgate.net, 2011). Es compatible con doble SIM, excepto para dispositivos móviles Android por debajo de 5.0, debido a la limitación del dispositivo / Android. Puede medir la intensidad de la señal recibida en decibelios (Milivatios). La aplicación tiene la necesidad de especificar la red real cuya intensidad de señal se está midiendo (Simweb, 2017). Google Earth Google Earth Engine (GEE) es una plataforma de computación en la nube diseñada para almacenar y procesar grandes conjuntos de datos (a escala de

petabytes) para el análisis y la toma de decisiones finales. Tras la disponibilidad gratuita de la serie Landsat en 2008, Google archivó todos los conjuntos de datos y los vinculó al motor de computación en la nube para su uso de código abierto. El archivo de datos actual incluye los de otros satélites, así como conjuntos de datos vectoriales basados en Sistemas de Información Geográfica (SIG), modelos sociales, demográficos, meteorológicos, digitales de elevación y capas de datos climáticos (Mutanga, 2021). D. Estación base de radio Una estación base es una instalación de radio fija o moderada para comunicación bidireccional media, baja o alta. Se utiliza para comunicarse con una o más radios móviles o teléfonos celulares.

Las estaciones base se utilizan normalmente para conectar radios de baja potencia, como un teléfono móvil, un teléfono inalámbrico o una computadora portátil con una tarjeta WiFi. La estación base sirve como punto de acceso a una red de comunicación fija (como Internet o la red telefónica) o para que dos terminales se comuniquen entre sí a través de la estación base. Una estación base (BTS) cuenta con equipos transmisores/receptores de radio, en la banda de frecuencias de uso (850/900/1800/1900 MHz) en GSM y (1900/2100Mhz) en UMTS, que son los que realizan el enlace con el usuario que realiza o recibe la llamada (o el mensaje) con un teléfono móvil.

Las antenas utilizadas suelen estar situadas en la parte superior de la torre (si las hay), edificios o colinas para dar una mejor cobertura y son de tipo dipolo. Normalmente, se compone de un mástil al que se unen tres grupos de una o más antenas equidistantes. El uso de varias antenas produce una diversidad de vías radioeléctricas que permite mejorar la recepción de la información. La Estación Base cuenta con algunos medios de transmisión, vía radio o cable, para realizar el enlace con el Centro de Conmutación Automática de Telefonía Móvil, que a su vez enruta la llamada al teléfono de destino, ya sea fijo o móvil. En general, estas estaciones también cuentan con baterías eléctricas, capaces de garantizar el funcionamiento ininterrumpido del servicio (EMF-portal, 2012).

#### *Frecuencia de operación*

**Tabla 1**

*Tabla de frecuencias de principales operadores en Ecuador*

Operadora	Frecuencia	Banda
Claro	1700/2100 MHz	4
Movistar	1900 MHz	2
CNT	1700/2100 MHz	4

#### *Modelos de propagación*

Algunos de los modelos de propagación están sujetos a pérdidas de trayecto en tres fenómenos fundamentales, reflexión, difracción y dispersión. La reflexión ocurre cuando

una onda electromagnética en su camino encuentra obstáculos de dimensiones mayores que su longitud de onda. La onda electromagnética puede reflejarse en múltiples objetos, lo que da como resultado que las ondas reflejadas estos objetos puedan ayudar a que la onda se propague o se atenúe al recibir la señal. La difracción ocurre cuando el camino entre el transmisor y el receptor está obstruido por superficies afiladas. Esta sección estudia la propagación de la señal en sistemas sin visibilidad directa. La dispersión ocurre cuando hay objetos pequeños en la trayectoria de la onda en comparación con la longitud de onda de la señal y su agrupación espacial es muy densa. También viene dado por la presencia de superficies rugosas y objetos pequeños. Los fenómenos descritos son causantes de efectos en la propagación de las señales, a medida que aumenta la distancia entre el transmisor (Tx) y el receptor (Rx), puede ocurrir el desvanecimiento de las señales que se están propagando, lo que provoca cambios en la recepción. energía en intervalos de tiempo cortos y retrasos (Walfisch & Bertoni, 1988).

- 1) Pérdida de ruta básica: la pérdida de ruta a menudo se expresa como una función de la frecuencia (f), la distancia (d) y una constante de escala que contiene todos los demás factores de la fórmula (Fernández et al., 2012):

$$PL_d(dB) = (32.44 + 20 * \log_{10}(d) + 20 * \log_{10}(f))$$

Dónde:

*d*: Distance in Km

*f*: Frecuency MHz

El modelo de propagación en espacio libre solo es válido para campo lejano

$$PL_d(dB) = PL_{d_0}(dB) + 20 * \log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right), (d > d_0)$$

Dónde:

$d_0 = 100 m$

- 2) Modelo de pérdida de ruta de Log-Distancia:

$$PL_d(dB) = PL_{d_0}(dB) + 10 * n * \log\left(\frac{d}{d_0}\right)$$

Dónde:

*n*: Componente de desvanecimiento Log-Distancia

“  $PL_{d_0}$  ” es una pérdida de trayectoria de referencia basada en mediciones obtenidas a una distancia.

“  $d_0$  ”. El parámetro “ *n* ” representa el exponente de propagación e indica la tasa a la cual la pérdida de trayectoria aumenta con la distancia (Fernández et al., 2012).

**Tabla 2**
*Modelo log-distancia*

Ambiente	Exponente, n
Espacio libre	2
Reflexión especular ideal	4
Ambiente urbano	2.7 – 3.5
Entorno Urbano (Sombreado)	3 – 5
En Edificios (Visión Directa)	1.6 – 1.8
En Edificios (Camino Obstruido)	4 – 6
En Industria (Camino Obstruido)	2 - 3

*Nota.* En esta tabla se muestra los valores que puede tomar el n-óptimo (n) utilizado para el modelo log-distancia, dependiendo del ambiente donde se hayan realizado las mediciones.

- 3) Modelo Log-Normal: El desvanecimiento Log-Normal expresa que el valor medio (valor medio) del Log de Path Loss tiene una distribución normal. Esto significa que se presenta con más frecuencia en la distribución de Path Loss que los demás valores de Path Loss como el valor mínimo y el valor máximo (Okolie et al., 2021).

$$PL_d(dB) = PL_{d_0}(dB) + 10 * n * \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma$$

Dónde:

*n*: Componente de desvanecimiento Log-Distancia

$\sigma$ : Variable aleatoria Gaussiana

$X_\sigma$ : Componente de desvanecimiento log-normal

**Tabla 3**
*Valores del n-óptimo (n) y la variable aleatoria gaussiana  $X_\sigma$* 

Building	Frequency [MHz]	n	$\sigma$ [dB]
Retail Stores	914	2.2	8.7
Grocery Store	914	1.8	5.2
Office, Hard Partition	1500	3.0	7.0
Office, Soft Partition	900	2.4	9.6
Office, Soft Partition	1900	2.6	14.1
Factory LOS			
Textile/Chemical	1300	2.0	3.0
Textile/Chemical	4000	2.1	7.0
Paper/Cereals	1300	1.8	6.0
Metal Working	1300	1.6	5.8

*Nota.* Esta tabla muestra los valores del n-óptimo (n) y la variable aleatoria gaussiana  $X_\sigma$  para el modelo log-normal, estos valores han sido obtenidos a distintas frecuencias en distintos ambientes.



- 4) Modelo de Okumura Hata: El modelo de Hata es una formulación empírica de las curvas de pérdida proporcionadas por Okumura. Hata estableció una serie de relaciones numéricas que describen el método gráfico propuesto por Okumura con el fin de facilitar su aplicación (Fernández et al., 2012). Estas expresiones se conocen bajo el nombre modelo de Okumura-Hata (Okolie et al., 2021). Este modelo encaja bien con el anterior ya que la distancia crece por encima de 1 km, por lo que es apto para celdas grandes, pero no para micro celdas. Sus restricciones son:

Frecuencia: 150 a 1500 MHz.

Altura de antena fija: 30 a 200 m.

Altura antena móvil: 1 a 10 m.

Distancia: 1 a 20 km.

La ecuación de pérdidas en el trayecto para entornos urbanos es (Bhandari et al., s.f.):

$$L_b(dB) = 69,55 + 26,16 * 10\log_{10}(f) - 13,82 * \log_{10}(h_t) - A + (44,9 - 6,55 + \log_{10}(h_t)) * \log_{10}(d)$$
$$A = 1,1 * 10\log_{10}(f) - 0,7 * h_r - (1,56 * 10\log_{10}(f) - 0,8)$$

Dónde:

*f*: Frecuencia [MHz]

*d*: Distancia [Km]

*h<sub>t</sub>*: Altura de la estacio base [m]

*h<sub>r</sub>*: Altura del receptor móvil [m]

- 5) Modelo Walfish-Bertoni: Este modelo fue propuesto por Joram Walfisch y Henri Bertoni, tiene en cuenta las pérdidas producidas por la altura de los edificios y la propagación en los techos, es un modelo que no considera LOS entre transmisor y receptor, utiliza el fenómeno de la difracción para describir las pérdidas a pie de calle y no tiene en cuenta para el cálculo de las pérdidas la contribución de los rayos que penetran en los edificios y los trayectos de multidifracción. La separación entre los edificios debe ser menor que su altura y se organizan en filas paralelas, en su expresión considera que la altura de la antena de la estación base debe estar por encima del nivel medio de los edificios. El rango de frecuencia en el que es aplicable este modelo es de 300Mhz a 3Ghz, con separación entre emisor y receptor de 200 a 5000 metros y la antena de la estación base sobre los tejados. La expresión de las pérdidas totales de este modelo depende de tres tipos de pérdidas, las pérdidas de espacio libre, por propagación sobre edificios y por difracción en el trayecto final:

$$L_{WBM} = 89,55 + A + 21 * \log_f + 38 * \log_d - 18 * \log_{10}(h_t - h_{ed}) - 18$$

$$* \log_{10} \left( 1 - \frac{d^2}{17 * (h_t - h_{ed})} \right)$$

$$A = 5 * \log_{10} \left( \left( \frac{w^2}{2} \right) + (h_{ed} - h_r) \right) - 9 * \log_{10}(w) + 20$$

$$* \log_{10} \left[ \arctan \left( \frac{2 * (h_t - h_{ed})}{w} \right) \right]$$

Dónde:

$h_{ed}$ : altura media de los edificios

$h_{eb}$ : altura de la estación base

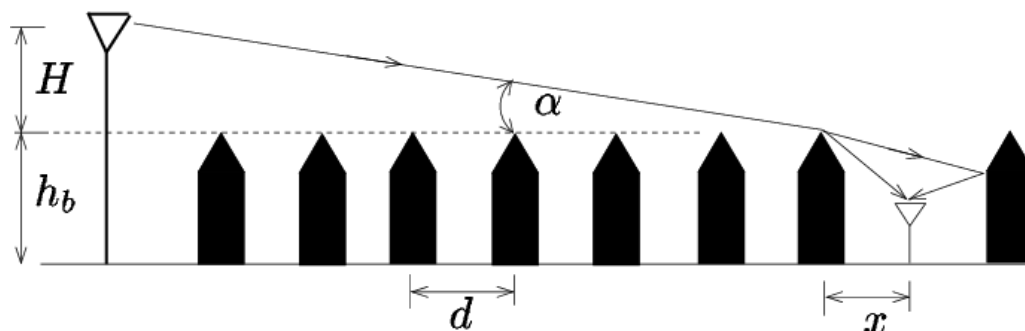
$h_m$ : altura del receptor móvil

$w$ : distancia de separación entre edificios

$d$ : distancia entre la antena transmisora y la antena receptora

**Figura 1**

*Definición de parámetros del modelo*



- 6) Modelo Walfish-Ikegami (Cost 231): En los sistemas de comunicación inalámbrica, la información se transmite entre la antena transmisora y la receptora mediante ondas electromagnéticas. Durante la propagación, las ondas electromagnéticas interactúan con el entorno y provocan pérdidas de trayecto. Los modelos de propagación para predecir la pérdida de ruta son esenciales para la planificación de RF y la implementación de redes. Se proponen varios modelos de propagación y se estudian para predecir la pérdida de trayecto. El modelo COST 231 Walfisch-Ikegami es una evolución del modelo Ikegami. Está desarrollado para áreas urbanas y tiene en cuenta la construcción de obstrucciones en altura y ancho de calle, así como otros factores relacionados con el entorno urbano (Yazan, 2013). Este modelo, a diferencia del modelo de Walfisch-Bertoni, se puede aplicar cuando la antena de la estación base se encuentra por debajo de la altura promedio de los edificios; es válido para frecuencias entre 800 y 2 000

MHz, alturas de antenas transmisoras de 4 a 50 m, distancias en un rango de 200 a 5 000 m y altura de la antena receptora de 1 a 3 m. Las mediciones han demostrado que, en cualquier valor de  $d$ , la pérdida de trayectoria PL ( $d$ ) en una ubicación particular es aleatoria y se distribuye de forma logarítmica normal sobre el valor medio dependiente de la distancia.

$$L_b = L_o + L_{rts} + L_{mds}, L_{rts} + L_{mds} > 0$$

$$L_b = L_o, L_{rts} + L_{mds} \leq 0$$

$$L_o = 32,4 + 20 * \log(d) + 20 \log(f)$$

$$L_{rts} = -8,2 - 10 * \log(w) + 10 * \log(f) + 20 * \log(\Delta h_m) + L_{ori}$$

Dónde:

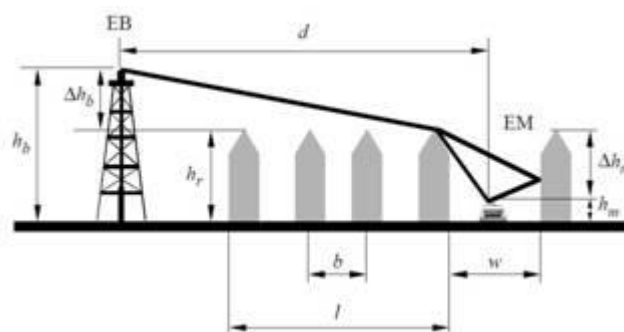
$\Delta h_m$ : es la diferencia entre la altura media de los edificios y la altura de la antena móvil

$w$ : ancho de la calle

$f$ : frecuencia

Figura 2

Definición de parámetros del modelo



- 7) Modelo SUI: El modelo Stanford University Interim (SUI) está desarrollado para IEEE 802.16 por la Universidad de Stanford. Se utiliza para frecuencias superiores a 1900 MHz. En este modelo de propagación se consideran tres tipos diferentes de terrenos o áreas. Estos se denominan terreno A, B y C. El terreno A representa un área con la mayor pérdida de trayectoria, puede ser una región muy densamente poblada, mientras que el terreno B representa un área con una pérdida de trayectoria moderada, un entorno suburbano. El terreno C tiene la menor pérdida de trayectoria que describe un área rural o llana. En la tabla 3, se describen estos diferentes terrenos y diferentes factores utilizados en el modelo SUI (Walfisch & Bertoni, 1988).

$$L_b(dB) = A + 10 * \gamma * 10 \log\left(\frac{d}{d_o}\right) + s$$

con

$$d > d_o$$

$$A = 20 * \log\left(\frac{4 * \pi * d_o}{\lambda}\right)$$

$$\gamma = a - b * h_b + \frac{c}{h_b}$$

$$d_o = 100m$$

$$10m < h_b < 80m$$

$$8.2dB < s < 10.6dB$$

Dónde:

*d*: distancia entre el transmisor y receptor [m]

*λ*: longitud de onda [m]

*γ*: exponente de perdidas

*h<sub>b</sub>*: altura de la estacion base [m].

*s*: efecto sombreado

*a, b, c*: constantes que dependen de la categoría del terreno (ver tabla 4)

**Tabla 4**

Valores correspondientes a las variables *a, b y c*

	Category A	Category B	Category C
a	4,6	4	3,6
b	0,0075	0,0065	0,005
c	12,6	17,1	20

*Nota.* valores correspondientes a las variables *a, b y c* utilizadas en el modelo sui, estos valores dependen de la topología del terreno.

## Metodología

El proceso de medición de potencia realizado en las diferentes zonas urbanas de la ciudad de Riobamba-Ecuador, estos lugares fueron cuatro en total, para realizar las mediciones se utilizó la aplicación Network Cell Info Lite la cual fue parte indispensable para la toma de datos, ya que permite ubicar las antenas y medir la potencia de estas, se realizó en base a una distancia promedio de unos 50 metros del radio base, así mismo la toma de datos se realizó con una distancia de 50cm a 1m entre cada medición, siendo así en total 150 mediciones, cada una tomada en tres momentos diferentes para contemplar todos los factores que pudieran causar atenuaciones como el entorno, edificios, vegetación, e incluso la intermitencia por la cantidad de personas conectadas a la radio base a medir en ese momento . Siendo así, surgiendo inconvenientes a la hora de realizar las respectivas mediciones, uno de estos problemas era que al momento de alejarse demasiado de la radio

base, el equipo se conectaba automáticamente a la radio base más cercana, por lo que se debe tener en cuenta esta situación y considerarla para realizar mejores medidas.

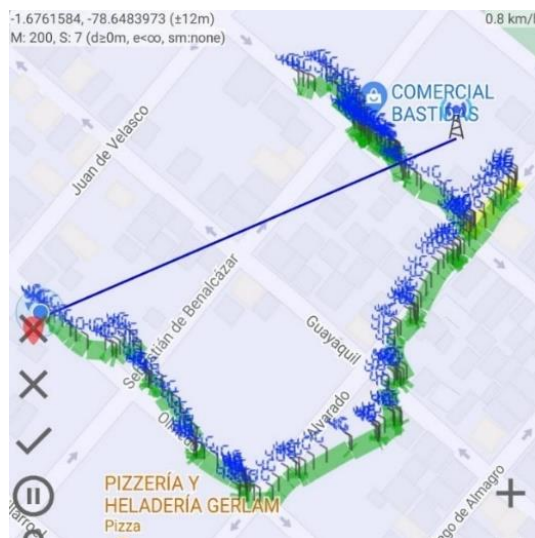
Una vez realizado el primer proceso de medición, se realizan los cálculos con el modelo Log-Normal para determinar el valor óptimo de  $n$  que se puede acoplar a las estructuras con los datos recolectados considerando una distancia base. A partir del primer modelo calculado se procede a realizar los cálculos para los siguientes modelos los cuales son Okumura-Hata, Cost 231, Walfish-Bertoni y SUI y con los resultados obtenidos realizar las respectivas comparaciones para la verificación del modelo que mejor se adapte a las mediciones realizadas en diferentes zonas de la ciudad.

### A. Estación base 1

*Calle Sebastián de Benalcázar (Claro):* El trayecto registrado que se muestra en la figura 1 se realizó de tal manera que el campo de potencia estuviera alrededor de la antena base, visualizando que la tecnología LTE tiene mayor cobertura en la zona asignada por lo que brinda una óptima recepción de datos móviles, incluso si el área donde se realizaron las mediciones está rodeada de edificios de más de un piso de altura, por lo que esto podría haber causado latencia en las mediciones.

Figura 1

*Recorrido realizado para obtener las medidas de potencia cerca de la estación base 1*



### B. Estación base 2

*Parque Sucre (Claro):* El trayecto registrado que se muestra en la figura 2 se realizó de tal forma que se creó una especie de celda alrededor de la antena base, de manera que se

puedan obtener mejores mediciones y no se pueda omitir ningún punto para que al momento de realizando las diferentes gráficas se obtienen mejores puntos de dispersión, con esto se pudo visualizar que la tecnología LTE tiene mayor cobertura en la zona asignada por lo que brinda una óptima recepción de datos móviles.

**Figura 2**

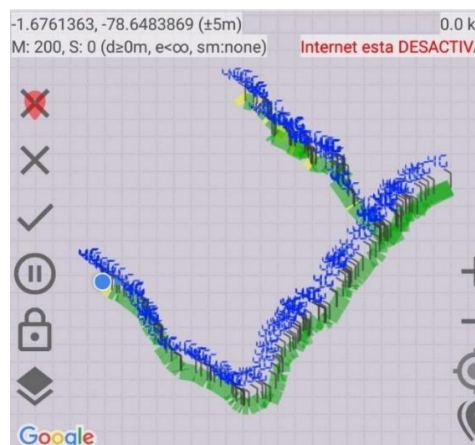
*Recorrido realizado para obtener las medidas de potencia cerca de la estación base 2*



*Calle Sebastián de Benalcázar (Tuenti):* El trayecto registrado que se muestra en la figura 3 se realizó de forma que el campo de potencia estuviera alrededor de la antena base, visualizando que la tecnología LTE tiene mayor cobertura en la zona asignada por lo que proporciona una óptima recepción de datos móviles, incluso si el área donde se realizaron las mediciones está rodeada de edificios de más de un piso de altura, por lo que esto podría haber causado latencia en las mediciones.

**Figura 3**

*Recorrido realizado para obtener las medidas de potencia cerca de la estación base 3*

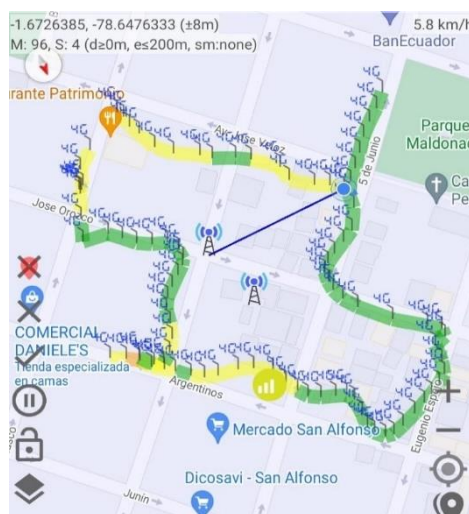


### C. Estación base 4

*Parque Maldonado (Claro):* El recorrido grabado que se muestra en la figura 4 se realizó de tal manera que se creó una especie de celda alrededor de la antena base para obtener mejores mediciones y no omitir ningún punto para que al momento de realizar las diferentes gráficas se mejoren. Se obtienen puntos de dispersión, sin embargo, debido a que la zona tenía muchas edificaciones y había mucha gente en el momento en que se realizó, no se pudo apreciar que la tecnología LTE tuviera buena cobertura en la zona asignada.

**Figura 4**

*Recorrido realizado para obtener las medidas de potencia cerca de la estación base 4*



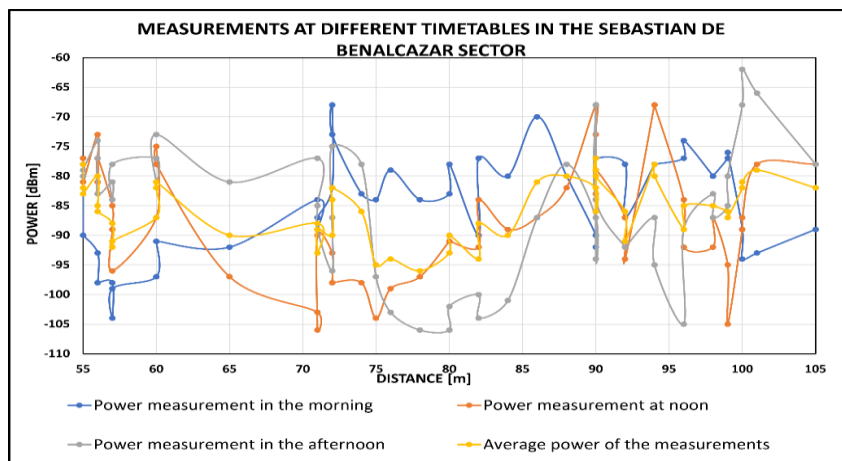
## Resultados

### A. Calle Sebastián de Benalcázar (Claro)

En base al análisis realizado se determinó que en esta gráfica la mejor medición fue en la mañana, esto se debe a que a la hora en que se realizaron las mediciones no había concurrencia de personas en la zona, el clima estaba despejado y había No hay muchos coches en la zona. La atenuación que se presenta en un momento dado y por tal motivo la caída en los puntos de la gráfica se debió a las edificaciones y vegetación que se encontraban alrededor. A diferencia de las mediciones del mediodía y la tarde, estas sufrieron más descensos en los picos debido a que el clima en ese momento específico estaba nublado y lluvioso, por lo que no se consideran buenas mediciones.

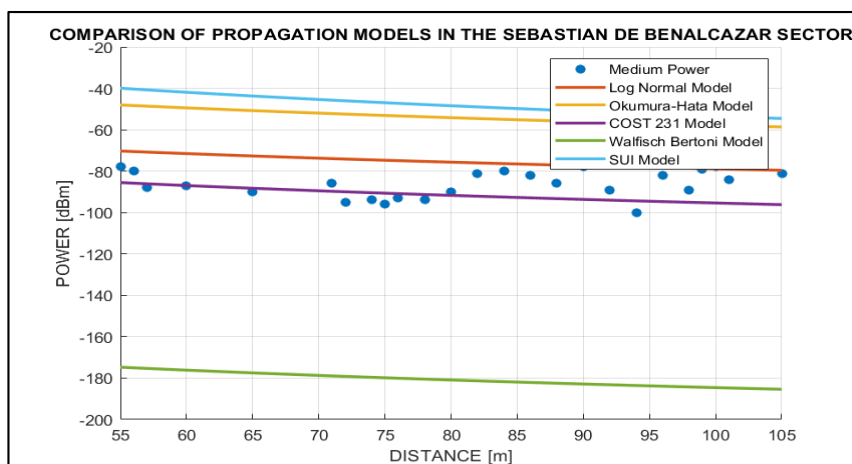
**Figura 5**

*Dispersión obtenida con los datos recogidos*



**Figura 6**

*Comparación de los modelos de propagación en el sector Sebastián de Benalcázar*



Conforme a los resultados de la figura 6, el modelo que se está acoplando a los puntos de dispersión medidos es el Cost 231, esto debido a los parámetros que consisten en la altura de la antena, las distancias a las que se tomaron las medidas ya que este modelo se encuentran en el rango de -72 a - 101 dBm que se adaptan mejor al modelo de propagación Cost 231 de 40m a 115m aproximadamente y además este modelo es factible para zonas urbanas donde hay varios edificios y también se considera perfecto ya que se enfoca en ciudades pequeñas y medianas, y la Ciudad de Riobamba cumple con ese factor.

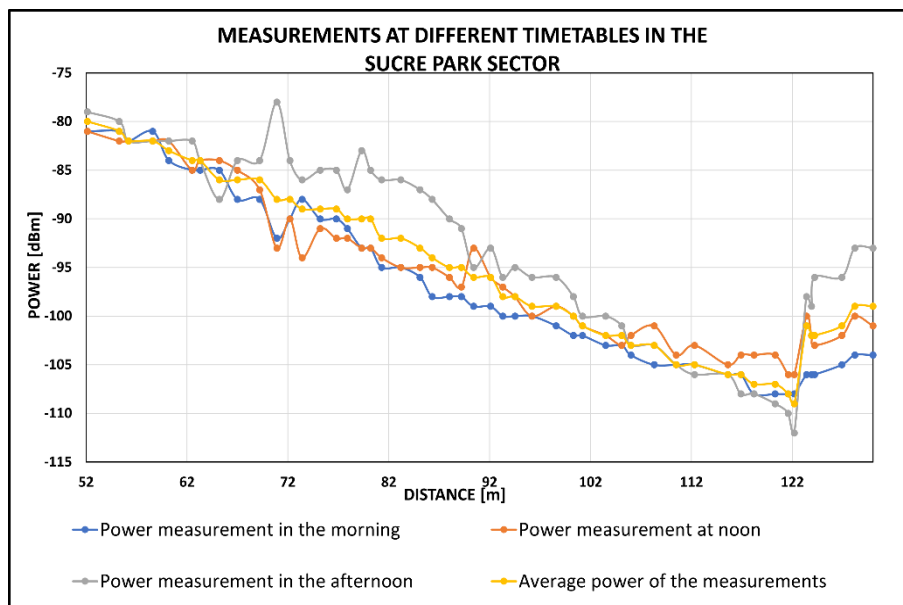


B. Parque Sucre (Claro)

En Parque Sucre, el recorrido se realizó en tres horarios diferentes: 9:00 a. m. a 10:00 a. m., 3:00 p. m. a las 4:00 p. m. y 22:30 hasta las 23:00 horas, obteniendo un total de 150 valores de Potencia de Recepción con la aplicación Network Cell Info Lite, las mismas que fueron analizadas mediante gráficas para observar su comportamiento, desde las 09:00 hasta las 10:00 horas se observó que había más pérdidas de energía que de 15:00 a 14:00 horas, pero entre las 22:30 y las 22:00 horas. y 23:00 se observó que los valores iban mejorando, esto puede deberse a que en ese horario la mayoría de las personas se desconectan completamente de la red, no hay mucha afluencia de personas en ese horario y que en algunos puntos el poder se ve atenuado por obstáculos tales como: paredes, árboles que se encuentran entre el transmisor y el receptor, también se pudo determinar que a medida que aumenta la distancia, la potencia de recepción disminuye hasta el punto de conectarse a otra estación base.

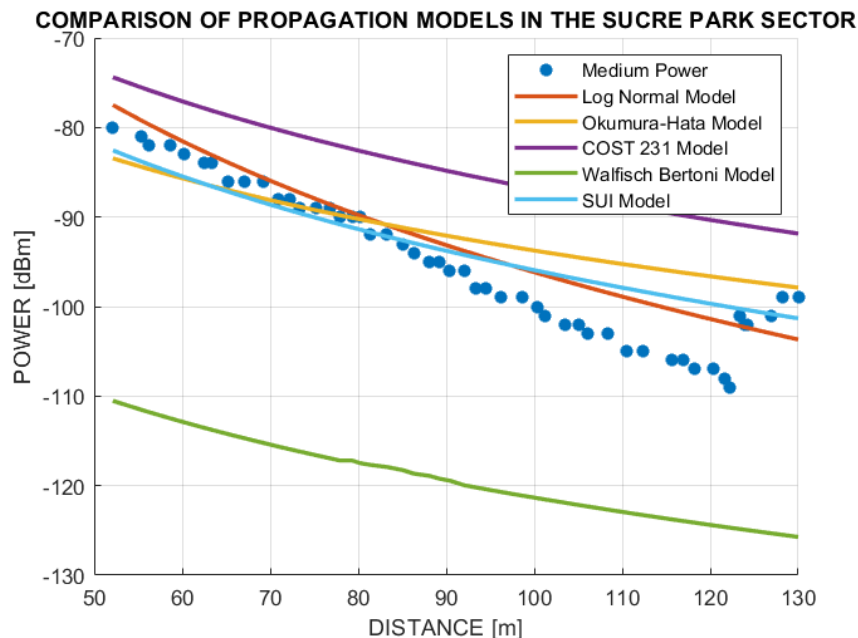
Figura 7

Dispersión obtenida con los datos recogidos



**Figura 8**

*Comparación de los modelos de propagación en el sector Parque Sucre*



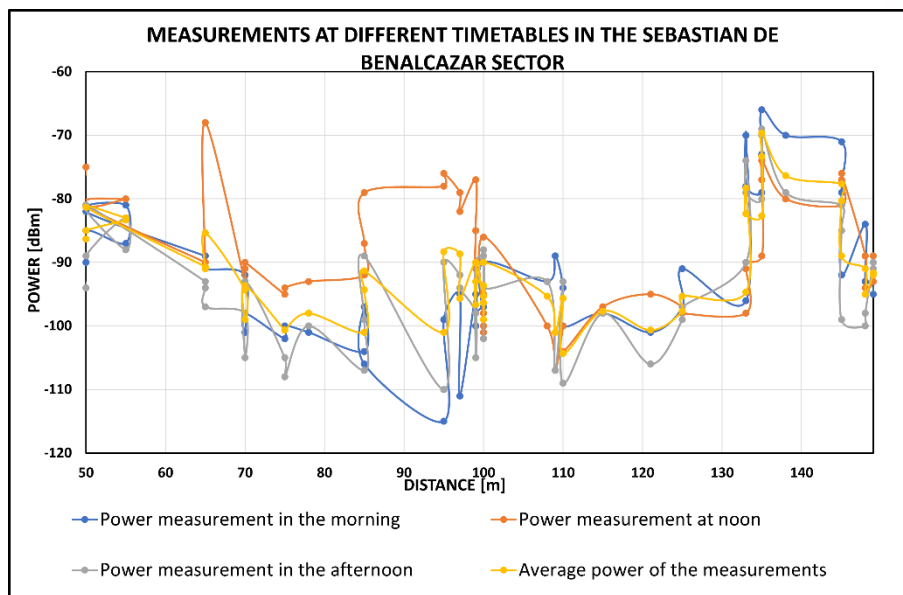
Conforme a los resultados obtenidos en la figura 8, las gráficas obtenidas a través de los modelos de propagación en el parque Sucre, fue posible obtener los siguientes valores para el modelo Log-Distance que van desde [-80 a -106] dBm, modelo Log-Normal(-) rango de [-82 a -108] dBm, rango de modelo Log-Normal (+) de [-77 a -93] dBm, rango de modelo de Okumura Hata de [-83 a -104] dBm, rango de modelo COST 231 de [-74 a -91] dBm, el rango del modelo Walfisch Bertoni de [-110 a -125] dBm, el rango del modelo SUI de [-82 a -101] dBm, con estos valores se puede concluir que el modelo más adecuado para aplicar en esta área es el modelo COST, que mejora la potencia de recepción respecto al resto de modelos desarrollados.

*C. Calle Sebastián de Benalcázar (Tuenti)*

En el sector Sebastián de Benalcazar se analizó en los tres horarios propuestos y se llegó a la interpretación de que los mejores niveles de potencia son por la mañana, si se hace una comparación con el tiempo medido se deduce que los peores niveles de potencia se encuentran alrededor de las horas pico , ya que es en las 13H y 18H en las que se observó un nivel de potencia no óptimo para la comunicación, se debe al mayor tráfico e intercambio de datos entre clientes de las operadoras, esto ocasiona que se presenten intermitencias al momento de las comunicaciones ya sea por el lugar del cliente o por una intensidad de energía ineficiente.

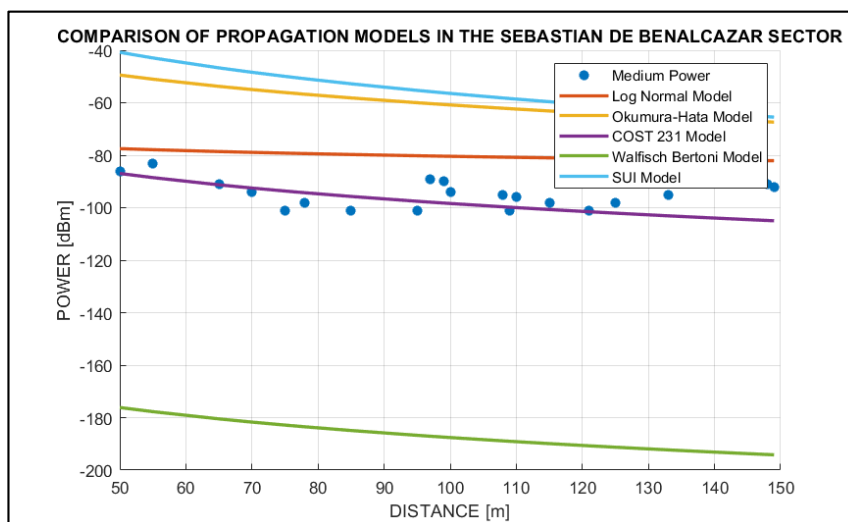
**Figura 9**

*Dispersión obtenida con los datos recogidos*



**Figura 10**

*Comparación de los modelos de propagación en el sector Sebastián de Benalcázar*



Conforme a los resultados obtenidos en la figura 10, se observó que en la ubicación de Sebastián de Benalcazar con operador tuenti está en el rango de -70dB a -105dB lo cual se adapta de mejor manera al modelo Cost 231 con una distancia inicial de 40 metros hasta 134 metros, la se cumplen los requisitos de este modelo, se toman en cuenta las correcciones para los diferentes ambientes, desde los 134 metros aproximadamente hasta los 158 metros se adapta al modelo Log-Normal en el cual a partir de las medidas de

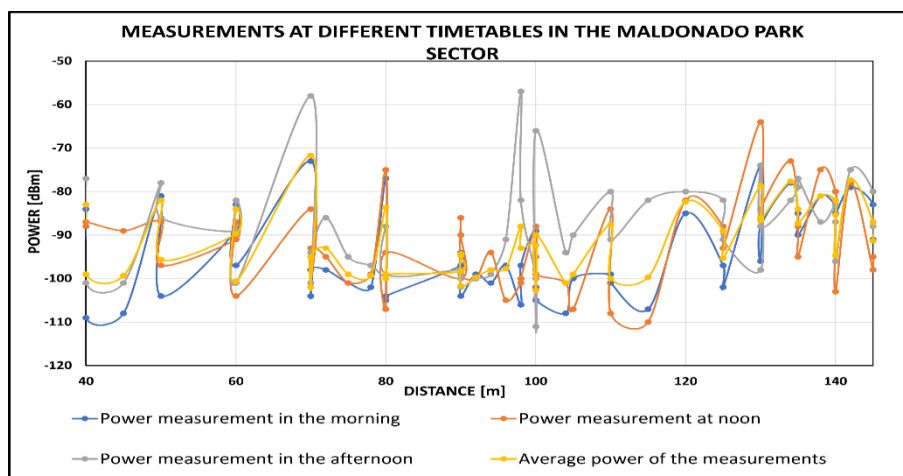
potencia recibidas se hace el cálculo respectivo dando el resultado de la gráfico respectivo.

*D. Parque Maldonado (Claro)*

Estas muestras fueron tomadas de la estación base que se encuentra unas cuadras atrás del Parque Maldonado, para la toma de estas medidas se utilizó la aplicación "Network Cell Info Lite" y para la toma de las medidas de distancia se hizo con el " Google Earth", todas estas mediciones se realizaron con una señal móvil Claro-LTE en una frecuencia de 2000MHz.

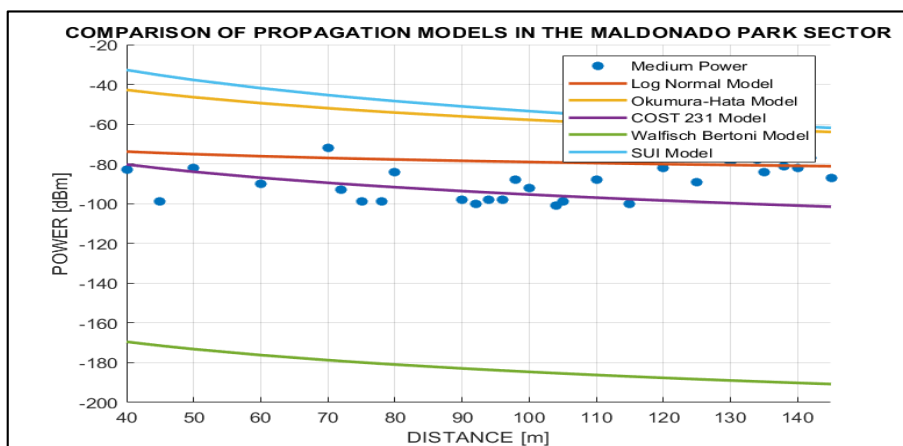
**Figura 11**

*Dispersión obtenida con los datos recogidos*



**Figura 12**

*Comparación de los modelos de propagación en el sector Parque Maldonado*



Conforme a los resultados obtenidos en la figura 12, se puede observar que las mediciones están en el rango de -72 a -101 dBm las cuales se adaptan mejor al modelo de propagación Cost 231 de 40m a 115m aproximadamente, pero de 115m a 150m tiene una mejor adaptación a el modelo Log-Normal. Por otro lado, el modelo de propagación de Walfisch Bertoni está mucho más alejado de los otros modelos de propagación porque tiene varios parámetros a considerar al momento de realizar sus cálculos.

### Conclusiones

- Se determinó que a medida que el dispositivo se alejaba de la antena transmisora o radio base la señal se atenuaba o inmediatamente el dispositivo móvil se conectaba a una radio base diferente.
- La atenuación se dio ya que en diferentes sectores se presenta la presencia de vegetación, edificaciones, la cantidad de afluencia de personas con dispositivos móviles conectados a las radios base en la parte central de la ciudad.
- En las gráficas durante el día la potencia de recepción varía de forma diferente a las medidas tomadas durante la noche que habitualmente desconecta de la red.
- Los radios base tienen un rango de cobertura limitado, por lo que es importante conocer ese rango para ubicar estratégicamente más radios base para que no se pierda cobertura en lugares específicos.
- Dependiendo de las zonas y condiciones que tengas durante la medición, esto influirá a la hora de determinar un modelo de propagación que se adapte de mejor manera, el modelo Cost se adapta correctamente ya que las mediciones están dentro del rango de los parámetros del modelo.

### Referencias bibliográficas

- Becvar, Z., Bestak, R., & Kencl, L. (Eds.). (2012). *Networking 2012 workshops: International IFIP TC 6 workshops, ETICS, HetsNets, and CompNets, held at NETWORKING 2012, Prague, Czech Republic, May 25, 2012, proceedings* (2012a ed.). Springer.
- Bhandari, N., Devra, S., & Singh, K. (s.f.). *Evolution of cellular network: From 1G to 5G*. Oaji.net. <https://oaji.net/articles/2017/1992-1515158039.pdf>
- Barranco & García. (2019). Comillas.edu. Tecnologías 3G, 4G Y 5G: Una perspectiva económica y social de la carrera por la innovación de las redes de banda ancha. <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/bitstream/handle/11531/27633/TFG%20Garcia%20Barranco%2C%20Jesus.pdf?sequence=1>

- EMF-portal. (2012.). GSM-900 base station. Emf-portal.org. <https://www.emf-portal.org/en/emf-source/350>
- Fernández, J., Quispe, M., Kemper, G., Samaniego, J. (2012). An Improvement of the Log-Distance Path Loss Model for Digital Television in Lima. *Simpósio Brasileiro de Telecomunicações*, 13–16.
- Hasan Mahmud, M. D. (2018). Cellular Mobile Technologies (1G to 5G) and Massive MIMO. *International journal of science and research (Raipur, India)*. <https://doi.org/10.21275/ART20199494>
- Korunur Engiz, B., & Kurnaz, C. (2016). *Applied mathematics, electronics and computers*. Org.tr. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/237431>
- Lopa, M., & Vora, J. (2015). *Evolution of mobile generation technology: 1g to 5g and review of upcoming wireless technology 5g*. Ijmter.com. <https://ijmter.com/papers/volume-2/issue-10/evolution-of-mobile-generation-technology-1g-to-5g-and-review-of-5g.pdf>
- M2Catalyst. (s.f.). *Network Cell Info*. M2Catalyst. <https://m2catalyst.com/apps/network-cell-info>
- Monitoring-Delta. (25 julio 2002). *LTE technology*. Shopdelta.eu. [https://shopdelta.eu/lte-technology\\_12\\_aid1049.html](https://shopdelta.eu/lte-technology_12_aid1049.html)
- Mutanga, O. (2021). *Aplicaciones del motor de google earth*. Routledge.
- Okolie, U. O., Akaneme, S. A. & Nwabueze, C. A. (2021). Optimization of handover performance in LTE using the TS 36.942 path loss model and Log-Normal fading. *International Journal of Innovative Engineering, Technology and Science*, 4, 40–49.
- Researchgate.net. (2011). Development and Implementation of secure GSM algorithm for Mobile Banking. Researchgate.net. [https://www.researchgate.net/publication/233852986\\_Development\\_and\\_Implementation\\_of\\_secure\\_GSM\\_algorithm\\_for\\_Mobile\\_Banking\\_Program](https://www.researchgate.net/publication/233852986_Development_and_Implementation_of_secure_GSM_algorithm_for_Mobile_Banking_Program)
- Simweb. (2017). Network Cell Info Lite & Wifi. Similarweb.com. <https://www.similarweb.com/es/app/google-play/com.wilysis.cellinfoLite/statistics/#mobileApps>
- Teltonika Community. (2018). RSRP and RSRQ. Teltonika-networks.com. [https://wiki.teltonika-networks.com/view/RSRP\\_and\\_RSRQ](https://wiki.teltonika-networks.com/view/RSRP_and_RSRQ)

Uptodown Technologies SL. (s.f.a). *Network Signal Strength*. Uptodown.com.  
<https://network-signal-strength.uptodown.com/android>

Uptodown Technologies SL. (s.f.b). *Signal Spy*. Uptodown.com. de <https://signal-spy.uptodown.com/android>

Venn telecom. (s.f.). Cómo interpretar los parámetros RSCP (3G) / RSRP (4G) y RSRQ (LTE). Venn Telecom.  
<https://help.venntelecom.com/support/solutions/articles/44001931273-how-to-interpret-rscp-3g-rsrp-4g-and-rsrq-lte-parameters->

Walfisch, J., & Bertoni, H. (1988). A Theoretical Model of UHF Propagation in Urban Environments. *IEEE Trans. Antennas Propagat*, 36, 1788–1796.

Yazan, A. (2013). On the Performance of Cost 231 Walfisch Ikegami Model in Deployed 3.5 GHz Network. *Communications Engineering Department Princess Sumaya University for Technology Amman, Jordan*, 1–4.

El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Conciencia Digital**.



El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Conciencia Digital**.



#### Indexaciones

