

# Análisis comparativo de modelos de propagación en la telefonía móvil en la banda de 1900 MHz (LTE) a través de mediciones de campo eléctrico en la ciudad de Ambato

## *Comparative analysis of propagation models in mobile telephony in the 1900 MHz band (LTE) using electric field measurements in Ambato city*

Anthony Flores, Hugo Moreno, Jefferson Ribadeneira y David Moreno

**Abstract**— This paper presents a comparative analysis of the propagation models Hata Extended, SUI with a frequency correction factor, and Ericsson 9999 in mobile telephony systems operating in the 1900 MHz band (LTE). The study is carried out by measuring the electric field to establish a recommendation for an existing propagation model that fits the characteristics of the urban area of Ambato City. First, five base stations were located. Then, two base stations working in the band and technology mentioned above are chosen. Subsequently, four radial limits were drawn in the surroundings of the base stations, and four electric field measurement campaigns were carried out with the Narda SRM-3006 equipment for a total of 48 points for 6 minutes per point. In addition, the coordinates of the measurement points were determined using the Spectra Precision Mobile Mapper 50 equipment, obtaining the distances and heights of the terrain with great precision. With the data collected, the propagation losses are calculated to bring the theoretical electric field of each propagation model. Next, a comparison of the measured electric field values concerning each model's theoretical electric field values is performed to evaluate which model best fits the measurements. Also, a comparison of the RMSE is made. Finally, it is concluded that the SUI model with frequency correction factor is the best fit for the urban environment in Ambato.

**Index Terms**— Mobile Telephony, Electric Field, LTE, QoS.

**Resumen**—El presente artículo ofrece un análisis comparativo de los modelos de propagación Hata Extendido, SUI con factor de corrección de frecuencia y Ericsson 9999, en los sistemas de telefonía móvil que operan en la banda de 1900 MHz (LTE) a través de mediciones de campo eléctrico con la finalidad de establecer una recomendación de un modelo de propagación existente que se ajuste a las características del casco urbano de la ciudad de Ambato. Inicialmente se ubicaron cinco estaciones

base, luego se escogieron dos estaciones base que trabajan en la banda y tecnología antes mencionada. Posteriormente se trazaron 4 límites radiales en los alrededores de las estaciones base y se realizaron 4 campañas de mediciones de campo eléctrico con el equipo Narda SRM-3006 en un total de 48 puntos por 6 minutos por punto. Además, se determinó las coordenadas de los puntos de medición mediante el equipo Spectra Precision Mobile Mapper 50 donde se obtiene las distancias y alturas de terreno con gran precisión, con los datos recolectados se realizó el cálculo de las pérdidas de propagación para la obtención del campo eléctrico teórico de cada modelo de propagación. Para evaluar qué modelo se ajusta más a las mediciones se realizó una comparación de valores de campo eléctrico medido con respecto a los valores de campo eléctrico teórico de cada modelo, mediante una comparación del RMSE. Finalmente se concluyó que el modelo SUI con factor de corrección de frecuencia es el que tiene mejor ajuste al entorno urbano de la ciudad de Ambato.

**Palabras Claves**— Telefonía Móvil, Campo Eléctrico, LTE, QoS.

### I. INTRODUCCIÓN

Las redes de comunicaciones móviles hoy por hoy tienden a ser uno de los principales avances tecnológicos, de tal manera que han revolucionado la existencia de la humanidad. En el caso de las comunicaciones móviles con la continua actualización a las redes de 4G y 5G se prevé que estarán asociadas con el Internet de las cosas (Iot), ciudades inteligentes, etc. En la actualidad aún existen redes de comunicación móvil con un nivel bajo de señal de intensidad recibida, por esta razón a los suscriptores les preocupa la calidad de servicio (QoS). En la actualidad los modelos de propagación son usados para el cálculo de las pérdidas de propagación, posteriormente para la predicción matemática de radiofrecuencia entre el transmisor y el área de cobertura del punto objetivo de medición [1], [2].

Hoy en día, los modelos de propagación de la telefonía móvil están dirigidos para estudiar las variaciones de la potencia recibida de una señal emitida con respecto a la altura de la estación base, distancia y el ambiente en un punto de interés. Debido a la importancia de determinar con exactitud

A. Flores. Estudiante de Ingeniera en Telecomunicaciones, Escuela de Telecomunicaciones, Facultad de Informática y Electrónica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador (email: anthony.flores@esPOCH.edu.ec).

H. Moreno, J. Ribadeneira y D. Moreno son docentes de la Facultad de Informática y Electrónica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador (e-mail: h\_moreno@esPOCH.edu.ec, jefferson.ribadeneira@esPOCH.edu.ec, pdmoreno@esPOCH.edu.ec).

las pérdidas en los sistemas de comunicaciones móviles, se realizan análisis comparativos entre las predicciones de los modelos evaluados y las mediciones reales con la finalidad de obtener un modelo fiable para las planificaciones de los despliegues de las futuras redes de comunicaciones [3], [4].

Además, al implementar redes de comunicaciones móviles, es necesario emplear previamente modelos de propagación para determinar la atenuación que sufrirá la señal en el entorno requerido. Cuanto más precisos sean los resultados que arrojen los cálculos de predicción de pérdidas, menor será el error que cometamos a la hora de realizar las simulaciones para después instalar el sistema, de esta forma se puede conocer la viabilidad de los proyectos que se deseen plantear en determinados sectores, de esta manera se podrá hacer una estimación acerca de la necesidad de los costos y capacidad de los equipos requeridos [5], [6].

Por esta razón, en el presente trabajo de investigación se realizaron mediciones de campo eléctrico en 48 puntos en los alrededores de 2 estaciones base de telefonía móvil que trabajan en la banda de 1900 MHz en la tecnología LTE en la ciudad de Ambato tal y como se muestra en las Fig. 3 y la Fig. 4, con la finalidad de comparar el modelo Hata Extendido, SUI con factor de corrección de frecuencia y Ericsson 9999 con respecto a la mediciones de campo eléctrico y establecer que modelo se ajusta más al entorno urbano de la ciudad de Ambato.

## II. METODOLOGÍA

Con el fin de obtener los datos necesarios para realizar el análisis comparativo inicialmente se ubicaron cinco estaciones base, como se observa en la Fig. 1, que trabajan en la banda de 1900 MHz con la tecnología LTE, mediante la utilización de la aplicación “Información de señal de red”, disponible para Android, donde se observó la tecnología a la que se encuentra conectado el dispositivo móvil y la banda de operación. Además, este software proporciona el valor de LTE Earfcn Downlink de 950 correspondiente a la frecuencia 1965 MHz como se observa en la Fig. 2. Para la selección de las estaciones base se consideró que el entorno sea urbano según la recomendación vigente P.1411-10 de la UIT [7]. Para el análisis se necesita escoger entornos que predominen en el sector urbano de la ciudad. La estación base 3 (EB3) es considerada un entorno urbano de construcciones medianas y la estación base 5 (EB5) es considerada un entorno urbano de construcciones altas. Estas estaciones dos estaciones base cubren las características que predominan dentro del casco urbano de la ciudad de Ambato y serán utilizadas para el análisis. En la Tabla I se puede apreciar la información obtenida de las estaciones base ubicadas.

Como recomienda el manual “Propagación de las ondas radioeléctricas en sistemas terrenales móviles terrestres en las bandas de ondas métricas/decimétricas” de la UIT. Para realizar la comprobación de medidas y predicciones se recomienda trazar 3 a 5 rutas de forma radial [8]. En la implementación de redes móviles, se utilizan celdas de baja potencia con un radio efectivo de 100 a 500 metros para cubrir áreas de alta densidad de usuarios, como calles comerciales,

estadios y estaciones de transporte público [9]. Por lo cual para establecer los puntos de medición se trazaron cuatro rutas radiales de 60, 100, 120 y 180 metros donde se ubicó un total de 24 puntos de medición en cada estación base al considerar sitios accesibles para el equipo Narda SRM-3006 como se observa en las Fig. 3 y Fig. 4.



Fig. 1. Ubicación de estaciones base 1900MHz con tecnología LTE



Fig. 2. Aplicación Información de señal de red

TABLA I  
UBICACIONES Y ALTURAS DE LAS ESTACIONES BASE

Estación Base	Latitud	Longitud	Altura (m s.n.m)	Altura Antena(m)
EB1	1° 16' 4.117"S	78° 36' 49.679"W	2669.883	18
EB2	1° 14' 36.831"S	78° 36' 18.862"W	2510.488	25
EB3	1° 15' 52.906"S	78° 38' 13.636"W	2728.467	15
EB4	1° 14' 7.940"S	78° 37' 37.58"W	2548.365	25
EB5	1° 14' 16.76"S	78° 37' 24.03"W	2563.950	27

Se realizó un levantamiento de información, donde se utilizó el equipo GPS Spectra Mobile Mapper 50 para obtener las coordenadas y la altura en metros sobre el nivel del mar de cada punto de medición correspondiente a cada estación base, como se aprecia en las Tabla II y III.

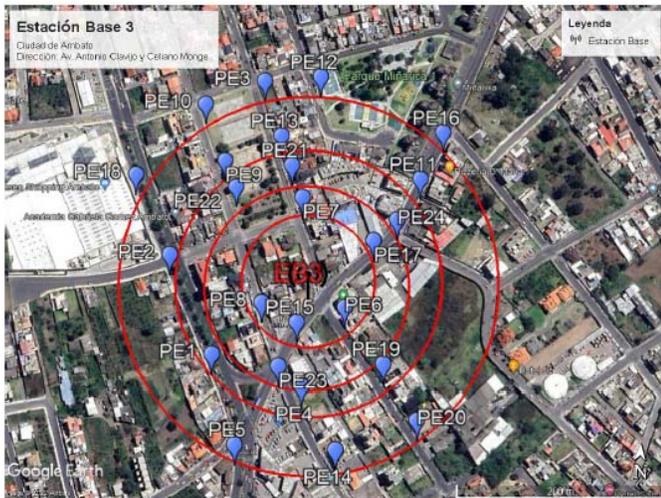


Fig. 3. Rutas radiales y puntos de medición de estación base 3

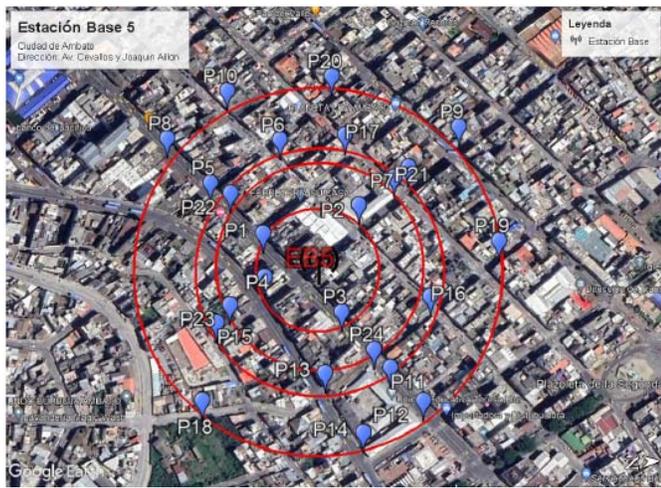


Fig. 4. Rutas radiales y puntos de medición de estación base 5

Para el análisis espectral en la banda de 1900 MHz inicialmente se realizó un análisis de la asignación del espectro radio eléctrico del consorcio Conecel S.A propietario de la operadora Claro. Se analizó la Fig. 5 y se observa que dentro de la banda 1900 MHz la operadora Claro tiene tecnologías LTE y UMTS que va desde 1960 MHz a 1975 MHz como lo menciona ARCOTEL [10].

Para verificar los límites de banda se utilizó el modo analizador de espectro del equipo Narda SRM-3006 que se puede observar en la Fig. 6. El ancho de banda que se utiliza para downlink en la tecnología LTE es 1960 MHz a 1970 MHz, el cual se utilizó para el análisis.

Posteriormente, se realizó la configuración del equipo Narda SRM-3006, se analizó que el ancho de banda para las mediciones es de 9 MHz, debido a que en cada extremo se encuentra una banda de guarda de 0.5 MHz, por lo cual se configuró una frecuencia mínima de 1960.5 MHz y una frecuencia máxima 1969.5 MHz como se puede apreciar en la Fig. 7 el equipo configurado para las mediciones.

TABLA II

UBICACIONES Y ALTURAS DE LA ESTACIÓN BASE EB3

Puntos	Latitud	Longitud	Altura (m s.n.m)
PE1	1° 15' 55.979" S	78° 38' 16.681" W	2731.252148
PE2	1° 15' 52.891" S	78° 38' 18.18" W	2721.327148
PE3	1° 15' 47.112" S	78° 38' 15.444" W	2711.624033
PE4	1° 15' 56.858" S	78° 38' 13.818" W	2738.331361
PE5	1° 15' 58.719" S	78° 38' 15.817" W	2739.666033
PE6	1° 15' 54.332" S	78° 38' 12.570" W	2732.911836
PE7	1° 15' 50.876" S	78° 38' 14.062" W	2724.028656
PE8	1° 15' 54.289" S	78° 38' 15.194" W	2730.733344
PE9	1° 15' 49.782" S	78° 38' 16.595" W	2716.961623
PE10	1° 15' 47.955" S	78° 38' 17.311" W	2711.286852
PE11	1° 15' 50.124" S	78° 38' 10.322" W	2717.886328
PE12	1° 15' 46.891" S	78° 38' 13.648" W	2711.635705
PE13	1° 15' 48.886" S	78° 38' 14.819" W	2717.665377
PE14	1° 15' 58.744" S	78° 38' 12.678" W	2742.363967
PE15	1° 15' 54.857" S	78° 38' 14.055" W	2733.006443
PE16	1° 15' 48.568" S	78° 38' 9.638" W	2714.648262
PE17	1° 15' 52.174" S	78° 38' 11.736" W	2724.719066
PE18	1° 15' 50.348" S	78° 38' 19.419" W	2714.500623
PE19	1° 15' 56.056" S	78° 38' 11.289" W	2735.895885
PE20	1° 15' 57.725" S	78° 38' 10.070" W	2737.109656
PE21	1° 15' 49.691" S	78° 38' 14.443" W	2720.950066
PE22	1° 15' 50.617" S	78° 38' 16.165" W	2720.765623
PE23	1° 15' 56.431" S	78° 38' 14.369" W	2736.199098
PE24	1° 15' 51.303" S	78° 38' 10.771" W	2721.360328

TABLA III

UBICACIONES Y ALTURAS DE LA ESTACIÓN BASE EB5

Puntos	Latitud	Longitud	Altura (m s.n.m)
P1	1° 15' 55.979" S	78° 38' 16.681" W	2731.252148
P2	1° 15' 52.891" S	78° 38' 18.18" W	2721.327148
P3	1° 15' 47.112" S	78° 38' 15.444" W	2711.624033
P4	1° 15' 56.858" S	78° 38' 13.818" W	2738.331361
P5	1° 15' 58.719" S	78° 38' 15.817" W	2739.666033
P6	1° 15' 54.332" S	78° 38' 12.57" W	2732.911836
P7	1° 15' 50.876" S	78° 38' 14.062" W	2724.028656
P8	1° 15' 54.289" S	78° 38' 15.194" W	2730.733344
P9	1° 15' 49.782" S	78° 38' 16.595" W	2716.961623
P10	1° 15' 47.955" S	78° 38' 17.311" W	2711.286852
P11	1° 15' 50.124" S	78° 38' 10.322" W	2717.886328
P12	1° 15' 46.891" S	78° 38' 13.648" W	2711.635705
P13	1° 15' 48.886" S	78° 38' 14.819" W	2717.665377
P14	1° 15' 58.744" S	78° 38' 12.678" W	2742.363967
P15	1° 15' 54.857" S	78° 38' 14.055" W	2733.006443
P16	1° 15' 48.568" S	78° 38' 9.638" W	2714.648262
P17	1° 15' 52.174" S	78° 38' 11.736" W	2724.719066
P18	1° 15' 50.348" S	78° 38' 19.419" W	2714.500623
P19	1° 15' 56.056" S	78° 38' 11.289" W	2735.895885
P20	1° 15' 57.725" S	78° 38' 10.07" W	2737.109656
P21	1° 15' 49.691" S	78° 38' 14.443" W	2720.950066
P22	1° 15' 50.617" S	78° 38' 16.165" W	2720.765623
P23	1° 15' 56.431" S	78° 38' 14.369" W	2736.199098
P24	1° 15' 51.303" S	78° 38' 10.771" W	2721.360328

En todos los puntos se ejecutaron cuatro campañas de medición de la intensidad de campo eléctrico con una duración de seis minutos cada una de las campañas como menciona la recomendación K.52 de la UIT con la finalidad de obtener la media de las mediciones [11]. Además P. Infante et al [12] recomienda que para evitar acoplamiento capacitivos se ubique el equipo NardaSRM-3006 a una distancia mínima de 20 cm de cualquier objeto y a una altura de 1.5m del suelo debido a que es la estatura promedio del humano adulto.



Fig. 5. Asignación de espectro SMA según ARCOTEL

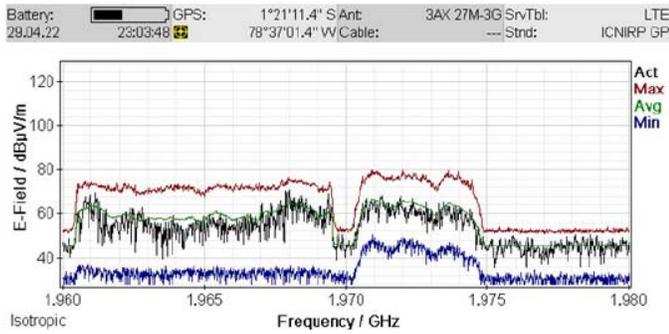


Fig. 6. Espectro de la banda de 1900MHz de Claro

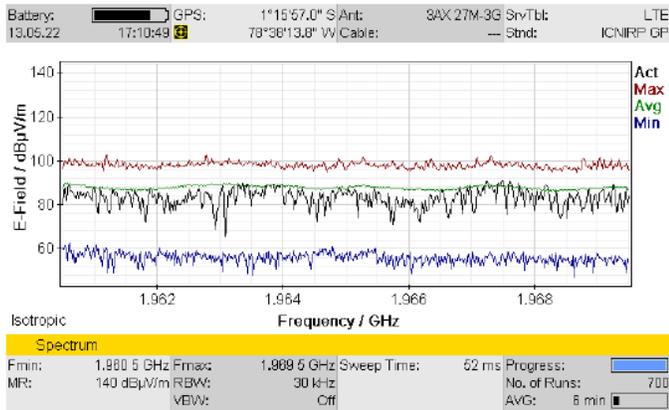


Fig. 7. Equipo NardaSRM-3006 configurado

Se puede observar en la Fig. 8 como se colocó y se realizó las mediciones con el equipo NardaSRM-3006 en cada uno de los puntos planificados.

Cuando las mediciones se realizan en banda ancha se debe calcular el valor del campo eléctrico total en todo el ancho de banda [13]. Para lo cual se utiliza (1).

$$Et = E + 10 \log(BW / RBW) \quad (1)$$

donde  $Et$  es la intensidad de campo eléctrico total [dBuV/m],  $E$  es la intensidad de campo eléctrico promedio [dBuV/m],  $BW$  es el ancho de banda de la señal [Hz] y  $RBW$  es el ancho de banda de Resolución [Hz].

Para el cálculo de las pérdidas de propagación respecto a cada modelo se necesitan varios parámetros. Para realizar el cálculo de la distancia de los puntos con respecto a las estaciones base se transformó las coordenadas a formato UTM y posteriormente se utilizó (2) que representa la distancia entre dos puntos.



Fig. 8. Mediciones de Intensidad de campo eléctrico en P1 en el entorno de la estación base 5

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (2)$$

Al considerar las alturas de las antenas transmisoras especificadas en la Tabla I y la altura de la antena receptora de 1.5m (altura promedio del ser humano adulto) se calculó la altura efectiva para los modelos que lo requieran para la obtención de las pérdidas de propagación en los dos entornos de las estaciones base seleccionadas EB3 y EB5.

Con la finalidad de obtener el campo eléctrico esperado es necesario obtener la potencia isotrópica radiada equivalente  $PIRE$  (3).

$$PIRE = Pt - Lcon - Lcable + Gant \quad (3)$$

donde  $Pt$  es la potencia de transmisión [dBW],  $Lcon$  son las pérdidas de conectores [dB],  $Lcable$  son las pérdidas por el

cable [dB] y  $G_{ant}$  es la ganancia de la antena transmisora [dBi].

Al utilizar datos típicos utilizados en antenas de telefonía móvil se obtuvo resultados aproximados a los 30 dBW, además [19] hace referencia al mismo valor en un análisis similar. Con todos los datos recopilados se calculó la intensidad de campo eléctrico esperado de cada modelo (4).

$$E = PIRE - Lb + 20 \log(f) + 107.2 \quad (4)$$

donde  $Lb$  son las pérdidas básicas de propagación [dB] y  $f$  es la frecuencia [MHz].

### III. MODELOS DE PROPAGACIÓN

#### A. Hata Extendido (COST-231)

La cooperativa europea para investigación científica y técnica (EURO-COST, European Cooperative for Scientific and Technical) formó el comité de trabajo COST 231 para desarrollar una versión extendida de la formulación de Hata [14]. El modelo que predice las pérdidas por la trayectoria propuesto por el COST 231 se observa en (5).

$$L_{c231} = 46.33 + 33.9 \log_{10}(f) - 13.82 \log_{10}(h_T) - a(h_R) + [44.9 - 6.55 \log_{10}(h_T)] \log_{10}(d) + C_M \quad (5)$$

donde  $L_{c231}$  son las pérdidas de trayectoria para el modelo Hata extendido (COST 231) [dB],  $d$  es la distancia entre transmisor y receptor [km],  $h_T$  es la altura de la antena de transmisión [m],  $h_R$  es la altura de la antena de recepción [m],  $a(h_R)$  es el factor de corrección para la altura de la antena de recepción [dB] y  $C_M$  es el factor de corrección establecido en el modelo Hata extendido (COST 231) [dB].

Además, el factor de corrección para la altura de la antena de recepción  $a(h_R)$ , está en función del tamaño de la ciudad y es el siguiente [14]:

Para ciudades grandes:

$$a(h_R) = 8.29 \left[ \log_{10}(1.54h_R)^2 \right] - 1.1f \leq 300 [\text{MHz}] \quad (6)$$

$$a(h_R) = 3.2 \left[ \log_{10}(1.54h_R)^2 \right] - 4.97f \geq 300 [\text{MHz}] \quad (7)$$

Para ciudades medianas y pequeñas:

$$a(h_R) = (1.1 \log_{10}(f) - 0.7)h_R - (1.56 \log_{10}(f) - 0.8) \quad (8)$$

El factor de corrección  $C_M$  en (5) establecen dos valores que están en función del tamaño de la ciudad. Para las ciudades de tamaño mediano y áreas suburbanas como la ciudad de Ambato  $C_M = 0$  y para áreas metropolitanas  $C_M = 3$  [14].

#### B. SUI con factor de corrección

El modelo de pérdida de propagación SUI (Stanford University Interim) fue creado por el grupo 802.16 del IEEE y la Universidad de Stanford que llevaron a cabo un extenso trabajo de investigación para desarrollar un modelo de canal WiMAX en entornos suburbanos. Se sugiere para altura de la antena de la estación base entre 10 y 80 metros, altura de la antena de la estación de la estación móvil entre 2 y 3 metros y

para frecuencias cercanas a 2000 [MHz] [15].

Para utilizar el modelo para otras frecuencias y para alturas de antena receptora entre 2 m y 10 m, deben incluirse los términos de corrección [17]. Además, se recomienda que el modelo con corrección de frecuencias se las realice por encima de la frecuencia de 1900MHz y además se considera que los factores  $a$ ,  $b$ ,  $c$  dependen del tipo de entorno como se aprecia en la Tabla IV [4]. El modelo de pérdida de trayecto se observa en (9).

TABLA IV  
CONSTANTES DEL MODELO DE PROPAGACIÓN SUI CON FACTOR DE CORRECCIÓN

Constante	Categoría A Urbano	Categoría B Suburbano	Categoría C Rural
a	4.6	4	3.6
b	0.0075	0.0065	0.005
c	12.6	17.1	20

$$L_{bsui} = A + \gamma \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + \Delta L_{bf} f + \Delta L_{bh} h \quad (9)$$

$$A = 20 \log_{10}\left(\frac{4\pi d_0}{\lambda}\right) \quad (10)$$

$$\gamma = a - bh_b + \frac{c}{h_b} \quad (11)$$

$$\Delta L_{bf} = 6 \log_{10}\left(\frac{f}{2000}\right) \quad (12)$$

$$\Delta L_{bh} = -10.8 \log_{10}\left(\frac{h}{2000}\right) \text{ para terrenos tipo A y B} \quad (13)$$

$$\Delta L_{bh} = -20 \log_{10}\left(\frac{h}{2000}\right) \text{ para terrenos tipo C} \quad (14)$$

donde  $L_{bsui}$  son las pérdidas de trayectoria para el modelo SUI con factor de corrección [dB],  $\gamma$  es el exponente de pérdidas,  $\Delta L_{bf}$  es el factor de corrección para la frecuencia,  $\Delta L_{bh}$  es el factor de corrección para la altura de antena del receptor,  $d_0$  es la distancia de referencia  $d_0 = 100$  y  $a$ ,  $b$ ,  $c$  son constantes que dependen de la categoría del terreno (Tabla IV).

#### C. Ericsson 9999

El modelo Ericsson 9999 fue desarrollado por la compañía Ericsson para el direccionamiento de redes. La ventaja de este modelo sobre el Okumura Hata y el COST 231 es que en este modelo se hace un ajuste de las constantes de acuerdo con el escenario en que se aplique el modelo [17], [18]. El modelo de pérdida de trayecto se observa en (15).

$$L_{eric} = a_0 + a_1 \log_{10}(d) + a_2 \log_{10}(h_B) + a_3 \log_{10}(h_B) \log_{10}(d) - 3.2(\log_{10}(11.75h_R))^2 + g(f) \quad (15)$$

$$g(f) = 44.49 \log_{10}(f) - 4.78(\log_{10}(f)) \quad (16)$$

donde  $h_B$  es la altura del transmisor [m].

TABLA V  
CONSTANTES DEL MODELO DE PROPAGACIÓN ERICSSON 9999

Constante	Urbano	Suburbano	Rural
$a_0$	36.2	43.2	45.95
$a_1$	30.2	68.93	100.6
$a_2$	-12	-12	-12
$a_3$	0.1	0.1	0.1

Los valores que toman  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  y  $a_3$  para los escenarios urbanos, suburbanos y rurales se muestran en la Tabla V.

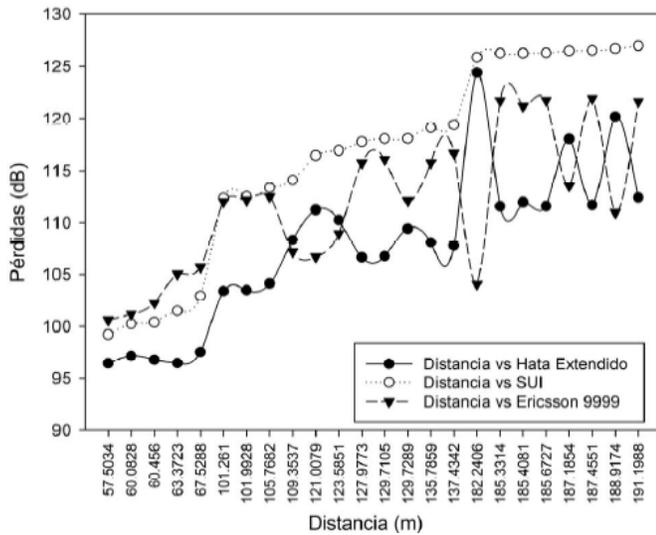


Fig. 9. Pérdidas de propagación por trayecto en el entorno EB3.

#### IV. RESULTADOS

En esta sección se analiza los resultados de las pérdidas de propagación de los modelos de propagación propuestos. En las Fig. 9 Fig. 10 se muestran las pérdidas de propagación de los distintos modelos, las pérdidas se incrementan conforme la distancia aumenta, a excepción de puntos específicos donde altura efectiva provoca mayores o menores pérdidas de propagación.

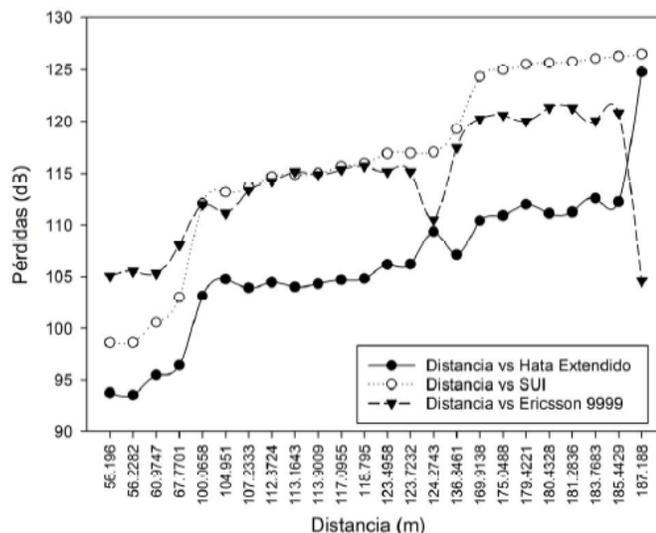


Fig. 10. Pérdidas de propagación por trayecto en el entorno EB5.

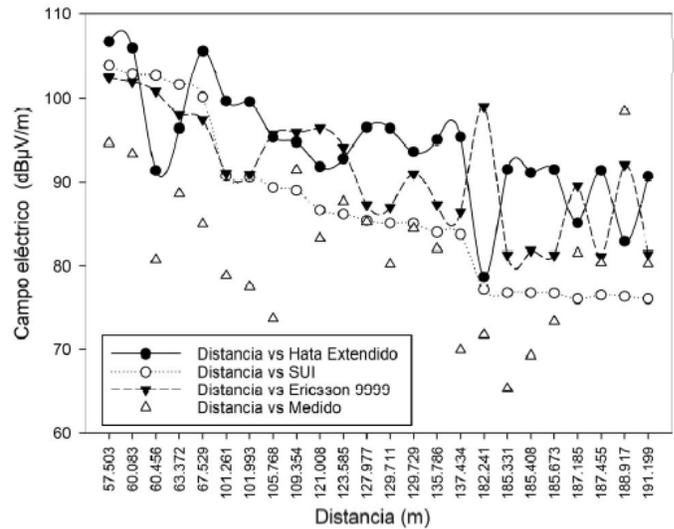


Fig. 11. Intensidad de campo eléctrico en el entorno de EB3.

Con el propósito de comparar los modelos analizados, se calculó la intensidad del campo eléctrico esperado basándose en los modelos de propagación. En la Fig. 11, se muestran tanto los valores esperados de intensidad de campo eléctrico como los valores medidos. Se observó que el valor máximo de intensidad de campo eléctrico medido fue en PE5, con un valor de 98.388 dBµV/m. Además, se puede apreciar la influencia de la distancia y la zona de construcciones de altura media en las mediciones realizadas en el entorno de la estación base EB3

Al realizar el mismo análisis que en la Fig. 12, se pudo determinar la influencia de la distancia y de las construcciones altas en el entorno de la EB5. Se encontró que el punto P3 tenía el mayor valor de intensidad de campo eléctrico, con un valor de 102.227 (dBµV/m). Además, se llegó a la conclusión de que la presencia de construcciones altas hace que la distancia no sea un factor determinante en la intensidad de campo eléctrico.

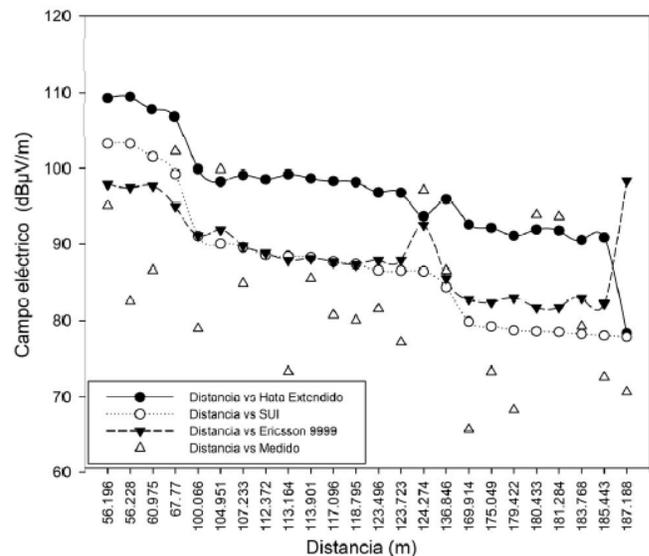


Fig. 12. Intensidad de campo eléctrico en el entorno de EB5.

Posteriormente, con los datos de las mediciones de intensidad de campo eléctrico se realizó una prueba de normalidad mediante el gráfico Q-Q. En la Fig. 13 y la Fig. 14 se puede apreciar que los datos recolectados en los entornos EB3 y EB5 siguen una distribución normal, posteriormente con la prueba de Shapiro-Wilk se contrastó que los datos siguen una distribución normal.

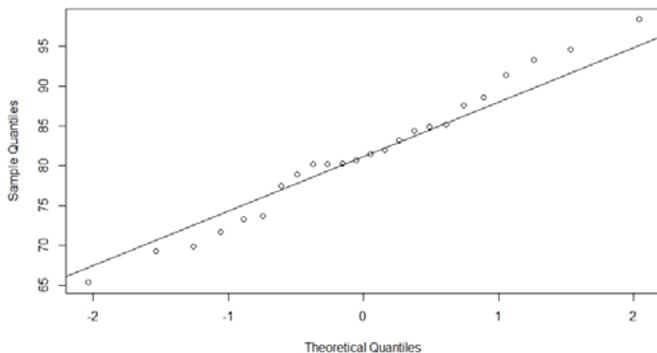


Fig. 13. Normal Q-Q de los datos recogidos entorno de EB3.

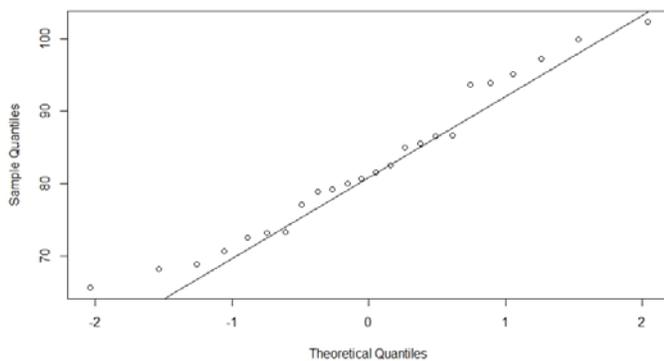


Fig. 14. Normal Q-Q de los datos recogidos entorno de EB5.

TABLA VI  
VALORES DE RMSE DE CADA MODELO POR ESTACIÓN BASE

Estación Base	RMSE		
	Hata Extendido	SUI	Ericsson 9999
EB3	15.424	10.461	12.164
EB5	17.381	10.869	11.727

Finalmente, se utilizó el RMSE (Error cuadrático medio) de las mediciones obtenidas de la intensidad de campo eléctrico en los dos entornos de mediciones EB3 y EB5, donde se identificó cual es modelo que más se ajusta a las mediciones realizadas. En la Tabla VI se observa que el modelo SUI con factor de corrección de frecuencia es el que tiene menor valor de RMSE en los dos entornos analizados.

## V. CONCLUSIONES

Al analizar los valores de intensidad de campo eléctrico medido de la estación base EB3 en los 24 puntos, se concluyó que el modelo de propagación SUI con factor de corrección de frecuencia fue el que más se ajusta al entorno de la estación base con un valor de RMSE de 10.461, además de igual forma para la estación base EB5 el modelo SUI con factor de corrección de frecuencia también fue el que más se aproximó

a las mediciones de intensidad de campo eléctrico con un RMSE de 10.869, de tal forma que el Modelo SUI con factor de corrección de frecuencia es el que más se ajusta a las características dentro del casco urbano de Ambato. El modelo Ericsson 9999 tiene un RMSE bajo, donde se destaca que el modelo recomienda distancias mayores a 0.2 km para su análisis de las pérdidas de propagación. En la presente investigación se utilizaron distancias desde los 0.05 km a 0.195 km. Es necesario que para futuras investigaciones se utilicen modelos de propagación que analicen más parámetros que afecten a la propagación en la telefonía móvil como, atenuación por los árboles, alturas de los edificios, anchos de las calles, etc. Las mediciones de intensidad de campo eléctrico obtenidos en los entornos de las estaciones base en la ciudad de Ambato, servirán para comparar otros modelos de propagación en futuras investigaciones.

## RECONOCIMIENTOS

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo de la ciudad Riobamba-Ecuador por facilitar el equipo NARDA SRM-3006 para las mediciones del campo eléctrico y el equipo Spectra Mobile Mapper 50 para la obtención de la georreferenciación de los puntos de medición.

## REFERENCIAS

- [1] O. O. Austin and O. J. E., "Comparative Study of Path Loss Models for Mobile Communication Networks," *ATBU Journal of Science, Technology and Education*, vol. 9, no. 2, pp. 153–163, May 2021.
- [2] A. R. Barrios Ulloa, "Comparación de modelos de propagación de ondas de radio de un canal inalámbrico en el área urbana de la ciudad de Barranquilla," *Journal of Computer and Electronic Sciences: Theory and Applications*, vol. 2, no. 1, pp. 31–38, Jul. 2021.
- [3] J. Beltrán, J. Fermín, and M. Hernández, "Comparación de los modelos de propagación electromagnética implementados en la telefonía móvil Transferencia Tecnológica," *Multiciencias*, vol. 12, pp. 305–310, Dic. 2012.
- [4] R. Alonso Quintana, R. Bordón López, and S. Montejó Sánchez, "Estudio comparativo de los modelos de propagación de canal inalámbrico," *Revista de Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*, vol. 34, pp. 12–26, Ene. 2013.
- [5] F. García, "Modelos de propagación para comunicaciones móviles 4G y 5G," Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación, Universidad Politécnica de Madrid, 2016.
- [6] L. F. Pedraza Martínez, C. A. Hernández Suárez, and D. M. Ballesteros Larrota, "Análisis experimental para un modelo de propagación de la telefonía móvil de la Universidad Militar," *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, vol. 19, no. 2, pp. 45–58, Dic. 2009.
- [7] I. Radiocommunication Bureau, "RECOMMENDATION ITU-R P.1411-10 - Propagation data and prediction methods for the planning of short-range outdoor radiocommunication systems and radio local area networks in the frequency range 300 MHz to 100 GHz," Sep. 2021. [Online]. Available: <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>
- [8] UIT, "Manual Propagación de las ondas radioeléctricas en sistemas terrenales móviles terrestres en las bandas de ondas métricas/Decimétricas," pp. 1–107, 2002, Accessed: Jun. 11, 2022. [Online]. Available: [www.itu.int/publications](http://www.itu.int/publications)
- [9] E. Dahlman, S. Parkvall, and J. Sköld, "4G: LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband," 3rd ed. Elsevier, 2013, pp. 233-234.
- [10] ARCOTEL, "SERVICIO MÓVIL AVANZADO," May 2018. Accessed: Jun. 11, 2022. [Online]. Available: [https://www.arcotel.gob.ec/wpcontent/uploads/2015/01/BOLETIN-ESTADISTICO-Junio-2018\\_f.pdf](https://www.arcotel.gob.ec/wpcontent/uploads/2015/01/BOLETIN-ESTADISTICO-Junio-2018_f.pdf)

- [11] International Telecommunication Union. Recommendation K.52: Protection of Lines Against Harmful Effects of High-Power Discharges,"p. 23. ITU-T, 2000.\_f.pdf.
- [12] P. S. Infante Moreira, J. S. Huilca Logroño, J. S. Huilca Logroño, A. M. Flores Arroba, D. R. Carrasco Cayambe, y F. A. Gilart González, "Mediciones espaciales en la banda de frecuencia de 944 MHz a 951 MHz en la ciudad de Riobamba", *Perspectivas*, vol. 4, núm. 1, pp. 40–48, 2022.
- [13] P. V. Castejón et al., "Medidas Sobre Canales Analógicos y Digitales de Televisión y su Interpretación para la Correcta Planificación de Sistemas de Recepción," *Telecoforum* 2008. Available: <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/866/mca.pdf?sequence=1> is Allowed=y. [Accessed: 15-Mar-2023].
- [14] O. A. Ocampo, "Diseño de cobertura para una red WLAN basada en el estándar IEEE 802.11", Universidad autónoma de la ciudad de Mexico, 2017.
- [15] V. Erceg et al., "An empirically based path loss model for wireless channels in suburban environments," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 17, no. 7, pp. 1205–1211, Jul. 1999.
- [16] V. Erceg, K. Hari, M. Smith, D. Baum, K. Sheikh, C. Tappenden, J. Costa, C. Bushue, A. Sarajedini, R. Schwartz et al., "Channel models for fixed wireless applications (IEEE802.16.3 c-01/29r4)," Broadband Wireless Working Group, IEEE P802.16, 2001.
- [17] R. D. Jiménez and K. R. Morán, "Diseño de modelo de propagación de una red inalámbrica wifi en 5 GHZ," Escuela Superior Politécnica Del Litoral, Guayaquil, 2018.
- [18] M. D. Camacho, Análisis del desempeño de modelos de propagación utilizados en 4g, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, Sangolgui, 2021. Consultado: el 23 de noviembre de 2022.
- [19] P. Benítez, "Estudio de propagación de sistemas de telefonía móvil en la banda 1900 MHz (LTE) mediante mediciones de campo eléctrico para establecer una recomendación de un modelo de propagación existente," Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, 2022.