

# Modelo Matemático Adaptado para el Cálculo de Pérdidas de Propagación en la Banda de 900 MHz para Microceldas en la Ciudad de Quito

Quistial, Alvin<sup>1</sup>; Lupera Morillo, Pablo<sup>1</sup>; Tipantuña, Christian<sup>1</sup>; Carvajal, Jorge<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Escuela Politécnica Nacional, Departamento de Electrónica, Telecomunicaciones y Redes de Información, Quito, Ecuador

**Resumen:** En este artículo se presentan modelos para el cálculo de pérdidas de trayectoria en ambientes con línea de vista y sin línea de vista para microceldas en la banda de 900MHz. Para obtener el modelo de pérdidas de trayectoria se utiliza el método de aproximación por mínimo cuadrado y se lo determinó a partir de mediciones realizadas en la ciudad de Quito de potencia recibida en diferentes puntos de una zona de cobertura. Las expresiones de los nuevos modelos obtenidos se basan en los modelos existentes de espacio libre, Okumura, Okumura-Hata, COST-231, Egli y Walfisch. Los métodos de ajuste de los modelos existentes a las mediciones fueron el del error cuadrático medio y el método simple.

**Palabras clave:** Modelos de pérdidas de trayectoria, mediciones de potencia recibida, banda de 900 MHz, microceldas.

## An 900 MHz Adapted Path Loss Model for Microcells in Quito

**Abstract:** This paper presents a path-loss model for predicting signal propagation in Line of Sight (LOS) and Non Line of Sight (NLOS) environments for microcell from 928 MHz to 960 MHz. For to determine the path-loss model is used the method of Least Square Approximation. The determination of model for predicting the path-loss was made through received power measurements at different points in a coverage area. The new model is based on existing propagation models such as Free space model, Okumura model, Okumura-Hata model, Cost-231 model, Egli model and Walfisch model. The model was obtained by using a method of adjustment such as Mean Square Error (MSE) and simple method.

**Keywords:** Path-loss models, received power measurements, 900MHz, microcells.

### 1. INTRODUCCIÓN

Para el dimensionamiento de un sistema de radiocomunicación se pueden utilizar diferentes modelos de propagación, ya sean, empíricos, teóricos o semi-empíricos.

Los modelos de propagación se utilizan para predecir las pérdidas medias en la trayectoria en función de variables, tales como altura de las antenas transmisora y receptora, frecuencia y distancia. La predicción de las pérdidas de trayectoria es muy importante cuando se trata de determinar la cobertura de redes inalámbricas, ya que en este medio es donde se presenta mayor cantidad de efectos negativos que provocan atenuación de la señal transmitida (He R. 2010). El modelo de propagación log-distancia es muy popular cuando se trata de modelación de las pérdidas de trayectoria (Rappaport, 2002). En este modelo, el exponente de pérdida de trayectoria depende del entorno de propagación de las ondas de radio y se lo puede determinar en base a los datos de mediciones realizadas, dicho exponente indica que tan rápido aumentan las pérdidas en función de la distancia (Rappaport, 2002), (Cox, 1984).

He (2011) realizó mediciones de banda estrecha a 930 MHz en un sector de la línea férrea de alta velocidad de China. El modelo obtenido se basa en el modelo de pérdidas de trayectoria de shadowing log-normal considerando el efecto de la distancia de referencia.

Aboul-Dahab (2010) tomó en cuenta mediciones de propagación efectuadas en diferentes lugares del planeta en la banda de frecuencia de 3.5 GHz considerando redes con diferentes topologías de la tecnología WIMAX. En el proyecto se utiliza Least Square Approximation para el cálculo de los límites superiores e inferiores de las pérdidas de trayectoria y se realiza una comparación entre diferentes modelos.

Los estudios desarrollados se han direccionado en determinar modelos de propagación a partir de mediciones. Debido a que los modelos existentes se han obtenido en base a mediciones realizadas en lugares específicos del planeta que no son lo suficientemente precisos si se aplican en regiones distintas. Para la determinación de las pérdidas de propagación en la ciudad de Quito se requieren modelos que se ajusten de mejor

[pablo.lupera@epn.edu.ec](mailto:pablo.lupera@epn.edu.ec)

Recibido: 22/02/2017

Aceptado: 20/07/2018

Publicado: 31/07/2018

manera a las condiciones geográficas y a las características de propagaciones intrínsecas y estocásticas de dicha región.

El presente artículo se encuentra estructurado de la siguiente manera. En la sección II se incluye el fundamento matemático utilizado para los posteriores análisis, ya que se presentan las expresiones matemáticas de los modelos de propagación utilizados en este proyecto. En la sección III se describe la metodología de medición que se aplicó para obtener los valores de pérdida de trayectoria. En la sección IV se propone la obtención del modelo matemático de pérdidas de trayectoria adaptado a las condiciones de medición y a las características del entorno. En la sección V se muestra el análisis de los modelos adaptados de pérdidas de trayectoria; la evaluación se realiza con dos métodos estadísticos, que permiten determinar si el modelo obtenido es adecuado. En la sección VI se describen las conclusiones del trabajo desarrollado.

## 2. MODELOS DE PROPAGACIÓN

Para este estudio se toman como referencia algunos modelos de propagación conocidos para su posterior adaptación a las mediciones realizadas en la ciudad de Quito. Las expresiones matemáticas para el cálculo en dB de las pérdidas de trayectoria con los modelos de propagación, se incluyen en la siguiente tabla y constituyen el fundamento matemático para el análisis posterior.

**Tabla 1.** Modelos de propagación analizados

Modelos de Propagación	Expresiones matemáticas de pérdidas
Espacio, IEEE Vehicular (1988)	$32,44 + 20 \log d_{(Km)} + 20 \log f_{(MHz)}$
Egli, IEEE Vehicular (1988)	$139,1 + 40 \log d_{(Km)} - 20 \log h_{te(m)}$
Okumura, IEEE Vehicular (1988)	$L_F + A_{mu}(f, d) - G(h_{te}) - G(h_{re}) - G_{AREA}$
Okumura / Hata, European Commission (1999), UIT-R (2009)	$69,55 + 26,16 \log(f_{(MHz)}) - 13,82 \log(h_{te(m)}) - a(h_{re}) + [44,9 - 6,55 \log(h_{te(m)})] \log(d_{(Km)})$
Cost -231, European Commission (1999)	$46,3 + 33,9 \log(f) - 13,82 \log(h_{te(m)}) - a(h_{re}) + [44,9 - 6,55 \log(h_{te})] \log(d_{(Km)}) + c_m$
Walfisch, Giménez (2011), European Commission (1999)	$42,6 + 26 \log d_{(Km)} + 20 \log f_{(MHz)}$

A continuación se describen algunos de los parámetros que se incluyen en la tabla anterior:

$h_{te}$  - la altura de la antena transmisora,

$h_{re}$  - la altura de la antena receptora,

$L_F$  - Pérdidas de propagación en el espacio libre,

$A_{mu}$  - Atenuación media relativa del espacio libre que se determina mediante curvas.

$G(h_{te})$  - Factor de ganancia de la altura de la antena de transmisión:

$$G(h_{te}) = 20 \log \left( \frac{h_{te(m)}}{200} \right) \quad 1000 \text{ m} > h_{te} > 30 \text{ m}$$

$G(h_{re})$  - Factor de ganancia de la altura de la antena móvil:

$$G(h_{re}) = 10 \log \left( \frac{h_{re(m)}}{3} \right) \quad h_{re} \leq 3 \text{ m}$$

$$G(h_{re}) = 20 \log \left( \frac{h_{re(m)}}{3} \right) \quad 10 \text{ m} > h_{re} > 3 \text{ m}$$

$G_{AREA}$  - Ganancia debido al tipo de entorno (Factor de Corrección) que se determina mediante curvas.

$a(h_{re})$  - Factor de corrección por la altura de la antena móvil o receptora, que depende del tamaño de la zona de cobertura.

Para una ciudad pequeña o de tamaño medio, el factor de corrección de la antena móvil  $a(h_{re})$  está dada por:

$$a(h_{re}) = [1.1 \log(f_{(MHz)}) - 0.7] h_{re(m)} - [1.56 \log(f_{(MHz)}) - 0.8]$$

Para una ciudad grande, el factor de corrección  $a(h_{re})$  está dado por:

$$a(h_{re}) = 8.29 [\log(1.54 h_{re(m)})]^2 - 1.1 \quad f_c \leq 300 \text{ MHz}$$

$$a(h_{re}) = 3.2 [\log(11.75 h_{re(m)})]^2 - 4.97 \quad f_c \geq 300 \text{ MHz}$$

$c_m$  - Factor de corrección.

El factor  $c_m$ , se establece en Dalela (2012), tiene un valor de 0 dB para zonas suburbanas y zonas abiertas, y 3 dB para zonas urbanas.

## 3. METODOLOGÍA DE MEDICIÓN

La metodología de medición se dividió en seis etapas que se describen a continuación.

### 3.1 Definición de la zona de medición

Inicialmente se identificó la zona de cobertura donde se realizarán las mediciones, ya que un factor muy importante que influye en las pérdidas de trayectoria es la característica geográfica del lugar. Esta zona se eligió para que permita tener una referencia adecuada y sea posible generalizar los resultados. La zona de cobertura seleccionada fué el campus universitario de la Escuela Politécnica Nacional en la ciudad de Quito.

Debido a que este proyecto se lo realiza para el cálculo de pérdidas de trayectoria en microceldas, la distancia de cobertura no sobrepasa los 350 metros.

### 3.2 Puntos de medición

Una vez identificada la zona de cobertura se seleccionó con exactitud un número importante de puntos donde se realizaron las mediciones de la potencia recibida. Y se identifican los escenarios que se tienen entre el transmisor y receptor para diferenciar la influencia de cada uno de ellos.

Debido a las características de la zona de cobertura, se escogieron 39 puntos de medición, que se encuentran distribuidos considerando ángulos de azimut de 15°, es decir que desde el transmisor se tienen 10 rutas de medición. En cada azimut las distancias de separación de la antenna receptora hacia la antenna transmisora fué de 70, 140, 210, 280 y 350 metros. Para la ubicación precisa de los puntos de medición se utilizó un GPS.

En la Figura 1 se observa la distribución de los puntos de medición en la zona de cobertura planteada y la ubicación del transmisor.



Figura 1. Ubicación de los puntos de medición

### 3.3 Escenarios de medición

En la zona seleccionada se identificaron tres escenarios: línea de vista, sin línea de vista con obstrucción por edificios y sin línea de vista con obstrucción por árboles. La agrupación de las mediciones por el tipo de escenario permitió obtener valores precisos de potencia de recepción, que se tomó en cuenta para obtener modelos de pérdidas de trayectoria para cada escenario.

### 3.4 Selección del rango de frecuencia de medición

El rango de frecuencias seleccionado se encuentra desde los 928 MHz hasta los 960 MHz. Utilizando un analizador de espectros se verificó que dicho rango de frecuencias no se encontraba ocupado durante la realización de las mediciones. Las mediciones de los parámetros de antenas, potencia de transmisión y recepción se ejecutaron cada 1 MHz.

### 3.5 Potencia real de transmisión y recepción

Con el uso de un medidor de potencia RF se estableció con exactitud la potencia real transmitida a la salida del generador de señales que se utilizó como transmisor.

Utilizando un analizador vectorial de redes se determinaron los parámetros de VSWR de las antenas transmisora y receptora en el rango de frecuencias de medición, con la finalidad de establecer el nivel de potencia real transmitido aplicando el parámetro de eficiencia de acoplamiento de las antenas.

En el lado del receptor se utilizó un analizador de espectro configurado con las características de la antenna receptora para registrar la potencia real recibida.

Los equipos utilizados en este proyecto se enumeran en la Tabla 2.

Tabla 2. Equipos utilizados en las mediciones

LISTA DE EQUIPOS UTILIZADOS			
EQUIPO	MARCA	MODELO	RANGO DE FRECUENCIA
GENERADOR DE SEÑALES	Anritsu	MG3691C	0,1 Hz a 10 GHz
MEDIDOR DE POTENCIA	Tektronix	PSM4120	10 MHz a 8 GHz
ANALIZADOR VECTORIAL	Keysight	N9914A	30 kHz a 6,5 GHz
ANALIZADOR DE ESPECTROS	Anritsu	MS2711E	9 kHz a 3 GHz
ANTENA LOG-PERIÓDICA (TRANSMISOR A)	A. H. Systems	SAS-510-4	290 MHz a 4 GHz
ANTENA MINIMAG (RECEPTORA)	Smarteq	1140.26SMA	824 a 960 MHz – 1710 a 2170 MHz

### 3.6 Especificación de las condiciones de medición

Las condiciones de medición se especifican en la Tabla 3 y por tanto definen los rangos de aplicación de los modelos que se obtuvieron en el presente trabajo.

Tabla 3. Condiciones de las mediciones

Condiciones de medición	
Rango de Frecuencias	928 a 960 MHz
Distancia	70 a 350 metros (microceldas)
Altura de la antena Transmisora	26 metros
Altura de la antena Receptora	2 metros
Escenarios	Línea de vista, sin línea de vista (obstáculos: edificios y árboles)

## 4. OBTENCIÓN DEL MODELO ADAPTADO DE PÉRDIDAS DE TRAYECTORIA PARA LA CIUDAD DE QUITO

El modelo matemático adaptado de pérdidas de trayectoria se obtiene a partir de los modelos de propagación existentes, los cuales se ajustan intencionalmente a las mediciones obtenidas. En la figura 2 se observa la clasificación de los modelos de propagación considerados (Saunders, 2007).

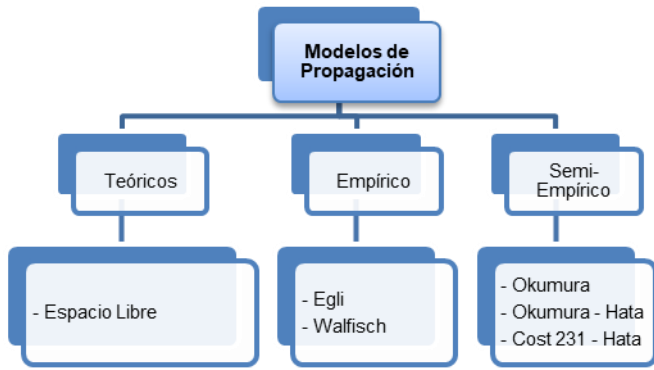


Figura 2. Clasificación de los modelos de propagación considerados

Las mediciones se realizaron en el campo, registrándose tres valores de la potencia recibida en cada ubicación: potencia mínima, potencia máxima y potencia promedio. Se observó que la potencia recibida en los puntos de medición depende en gran medida, además de la distancia, de las obstrucciones presentes en el enlace entre el transmisor y el receptor.

Como ejemplo, en la Tabla 4 se presentan los valores medidos de la potencia media recibida en los puntos de medición a la frecuencia de 944 MHz, esta tabla se obtiene de una parte de todas las mediciones realizadas.

En la figura 3 se gráfica la potencia media recibida en función del logaritmo de la distancia.

Con los valores medidos de la potencia media recibida se calcularon las pérdidas de trayectoria L, utilizando la siguiente ecuación:

$$L = P_{Tx} + G_{Tx} + G_{Rx} - P_{Rx} \quad (1)$$

Donde  $P_{Tx}$  y  $P_{Rx}$  representan la potencia real de transmisión y la potencia real de recepción,  $G_{Tx}$  y  $G_{Rx}$  representan las ganancias de transmisión y recepción respectivamente.

Con los resultados obtenidos, a continuación se procede a determinar el modelo de pérdidas de trayectoria Logaritmo-Distancia, que se expresa de la siguiente manera:

$$\bar{L}_{(dB)} = \bar{L}_{(d_0)} + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) \quad (2)$$

Donde  $d_0$  es la distancia de referencia de 1 metro,  $n$  es el exponente de pérdida de trayectoria,  $\bar{L}_{(d_0)}$  representa las pérdidas iniciales y  $d$  es la distancia de separación entre el transmisor y el receptor en metros. El valor del exponente de pérdida de trayectoria depende del entorno de propagación específico, Aboul-Dahab (2010) indica que el exponente de pérdida de trayectoria ( $n$ ) es igual a 2 cuando la propagación se da en el espacio libre.

**Tabla 4.** Potencia recibida a 944 MHz en [dBm]

Puntos	Azimut	Distancia				
		70 m	140 m	210 m	280 m	350 m
1	0	-	-	-	-64,92	Fuera de cobertura
2	15	42,52	47,69	57,87	-	Fuera de cobertura
3	30	44,11	55,37	56,99	-	Fuera de cobertura
4	45	-45,2	55,19	61,26	-	Fuera de cobertura
5	60	-	-	-	-	Fuera de cobertura
6	75	46,63	51,18	60,97	-	Fuera de cobertura
7	90	46,22	51,31	61,68	-	Fuera de cobertura
8	105	43,39	64,78	68,79	-68,5	Fuera de cobertura
9	120	46,81	54,48	69,38	-63,72	-61,86
10	135	47,77	52,33	57,14	-57,7	-57,32
		52,73	59,89	60,14	-62,03	-64,33
		41,79	48,89	57,38	-56,8	Fuera de cobertura

El modelo de pérdidas Logaritmo-Distancia permite establecer una línea de tendencia de regresión lineal que relaciona las pérdidas de trayectoria con la distancia. Los valores de los coeficientes  $10n$  y  $\bar{L}_{(d_0)}$  se pueden determinar utilizando dos métodos: el método de mínimos cuadrados o el método matricial por eliminación de Gauss-Jordan (Alsayyari, 2015). Obtenidos los valores de dichos coeficientes y reemplazando en la ecuación (2) se puede obtener el modelo de pérdida Logaritmo-Distancia para la zona de cobertura.

En la Figura 4 se aprecian las mediciones obtenidas en las ubicaciones y la recta de regresión lineal obtenida.

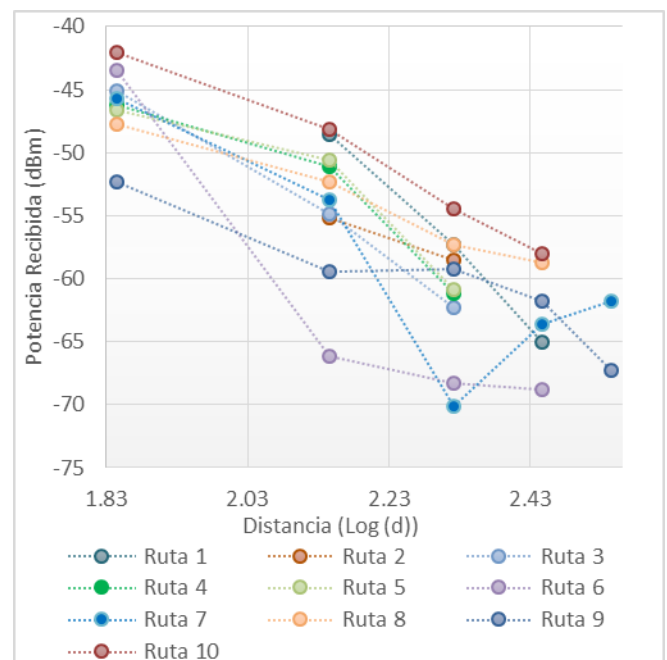


Figura 3. Potencia media recibida a 944MHz en función del logaritmo de la distancia.

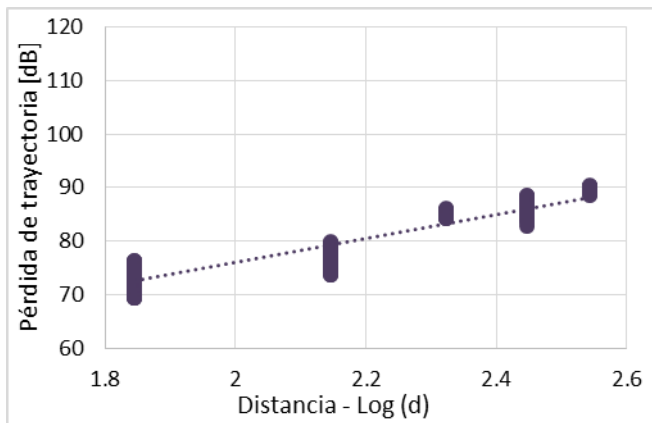


Figura 4. Recta de regresión lineal de las pérdidas de trayectoria.

En este trabajo se propone adaptar los modelos de propagación existentes a las mediciones mediante el método de ajuste del Error Cuadrático Medio (MSE). Este método permite obtener un valor numérico de ajuste para alcanzar el menor error posible entre dos valores. La ecuación del Error Cuadrático Medio (MSE) es la siguiente:

$$MSE = \sqrt{\frac{\sum(L_m - L_p)^2}{q - 1}} \quad (3)$$

Donde  $L_m$  es el valor medio de las pérdidas de trayectoria obtenido de las mediciones,  $L_p$  es el valor de pérdidas de trayectoria calculados con los modelos de propagación existentes y  $q$  es el número de puntos de medición.

El valor de ajuste se aumenta o disminuye a la ecuación de pérdidas de trayectoria de los modelos de propagación existentes para adaptarlos a las mediciones.

En la Figura 5 se observan las líneas de tendencia de las mediciones para enlaces con línea de vista y de los modelos de propagación de Okumura y Espacio Libre sin ajuste.

En la Figura 6 en cambio se aprecian los modelos de propagación después del ajuste con el Método MSE.

Para enlaces sin línea de vista los modelos de propagación se adaptaron a las mediciones con el método de ajuste simple. La ecuación de ajuste simple es la siguiente:

$$Ajuste = L_m - L_p \quad (4)$$

Este valor de ajuste, al igual que en el método MSE, se aumenta o disminuye a la ecuación de pérdidas de trayectoria de los modelos de propagación existentes.

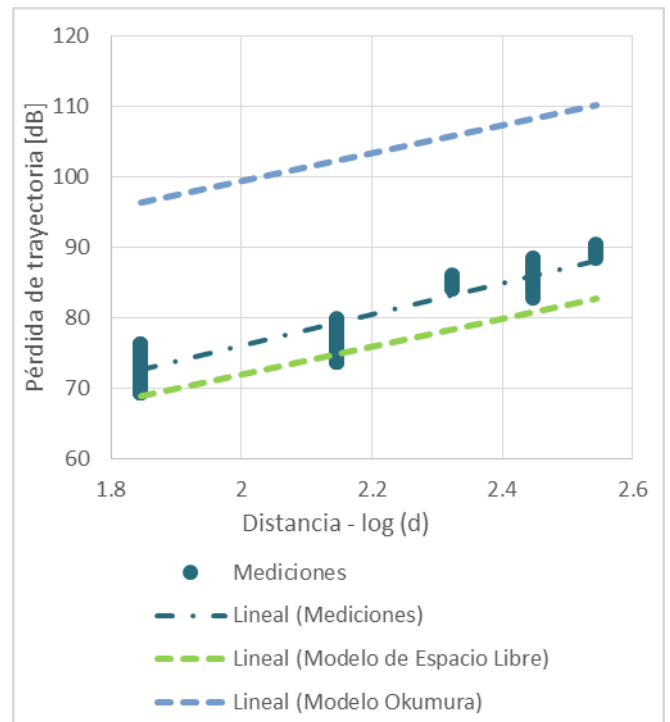


Figura 5. Modelos de propagación antes del ajuste para enlaces con línea de vista.

En la Figura 7 se visualizan las pérdidas de trayectoria obtenidas con los modelos existentes ajustados para enlaces sin línea de vista en escenarios con obstrucción por árboles.

Para enlaces sin línea de vista en un escenario con obstrucción por edificios, los modelos de pérdidas de trayectoria se ajustan de acuerdo a lo que se muestra en la Figura 8.

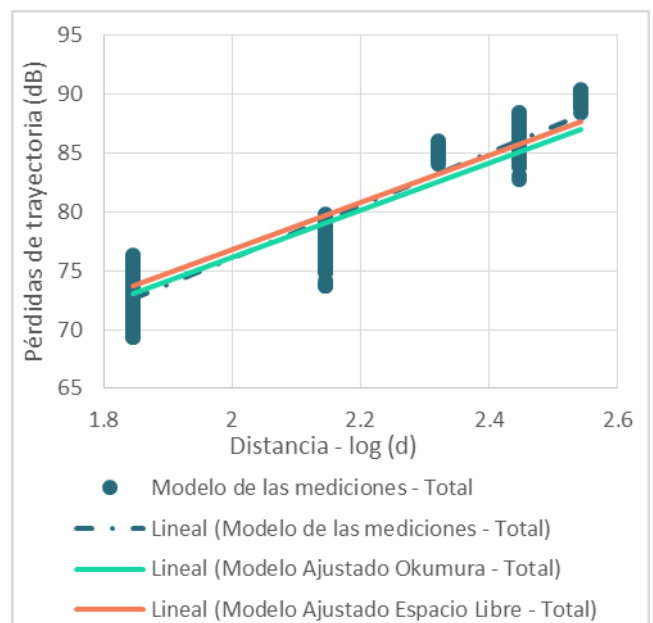


Figura 6. Modelos de propagación ajustados con el método MSE para enlaces con línea de vista.



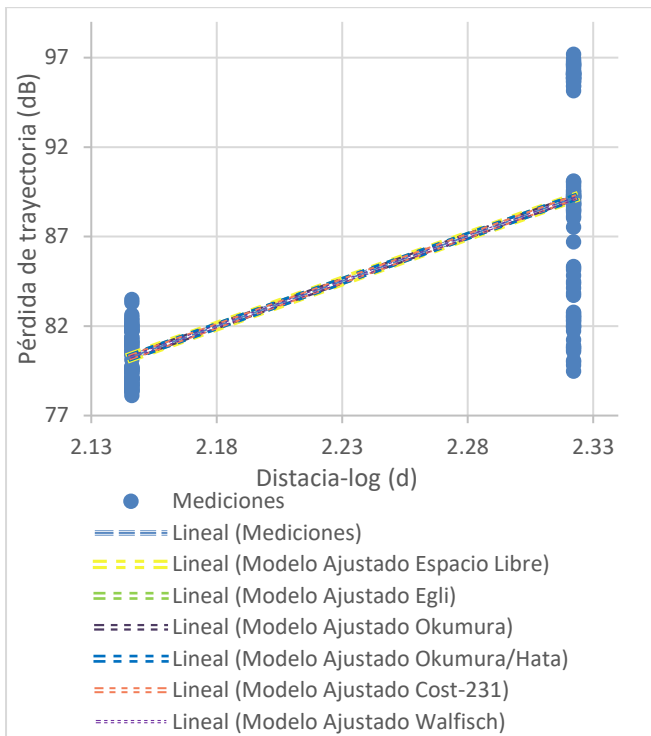


Figura 7. Modelos ajustados de pérdidas de trayectoria con el método simple en escenarios sin línea de vista por árboles.

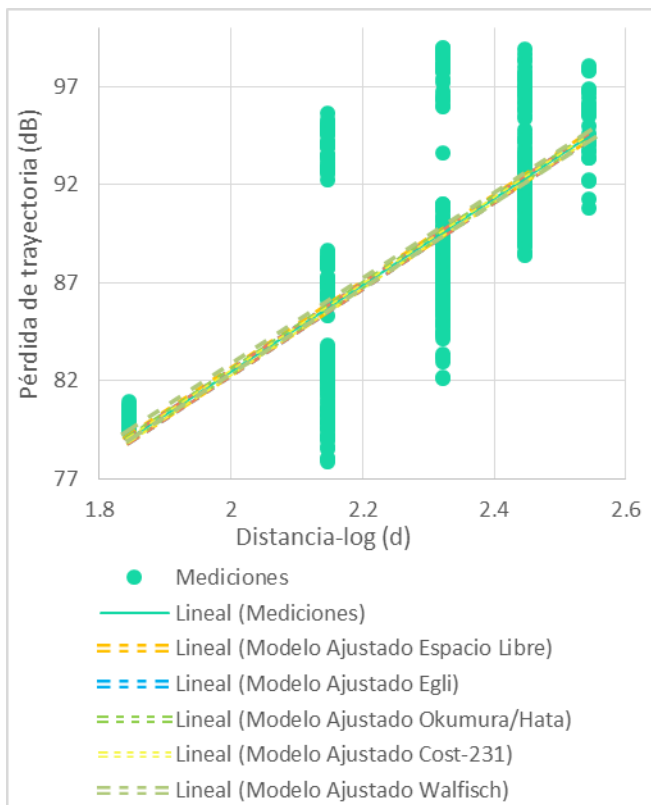


Figura 8. Modelos ajustados de pérdidas de trayectoria con el método simple en escenarios sin línea de vista por edificios.

En la Tabla 5 se incluyen las ecuaciones obtenidas de los modelos adaptados de pérdidas de trayectoria obtenidas con el método de ajuste MSE. Mientras que en la Tabla 6 se encuentran los modelos adaptados con el método de ajuste simple. En las expresiones adaptadas las distancias se indican

en metros, ya que la cobertura de las microceldas es menor a los kilómetros.

Tabla 5. Ecuaciones de los modelos adaptados obtenidas con el método MSE

Modelos de Propagación	Modelo Adaptado para escenarios con línea de vista
Espacio Libre	$-22,719 + 20 \log d_{(m)} + 20 \log f_{(MHz)}$
Okumura	$-23,356 + 20 \log d_{(m)} + 20 \log f_{(MHz)}$
Modelos de Propagación	Modelo Adaptado para escenarios sin línea de vista obstrucción por edificios
Espacio Libre	$-15,751 + 20 \log d_{(m)} + 20 \log f_{(MHz)}$
Okumura	$-16,952 + 20 \log d_{(m)} + 20 \log f_{(MHz)}$
Walfisch	$-28,787 + 26 \log d_{(m)} + 20 \log f_{(MHz)}$
Modelos de Propagación	Modelo Adaptado para escenarios sin línea de vista obstrucción por árboles
Egli	$-2,561 + 40 \log d_{(m)}$
Okumura / Hata	$-70,65 + 35,63 \log d_{(m)} + 24,42 \log f_{(MHz)}$
Cost -231	$-97,80 + 35,632 \log d_{(m)} + 33,9 \log f_{(MHz)}$

Tabla 6. Ecuaciones de los modelos adaptados obtenidas con el método simple

Modelos de Propagación	Modelo Adaptado para escenarios con línea de vista
Espacio Libre	$31,65 + 22,22 \log d_{(m)}$
Egli	$59,95 + 22,22 \log d_{(m)} - 20 \log ht_{(m)}$
Okumura	$23,65 + 22,22 \log d_{(m)} + A_{mu(f,d)} - G_{AREA}$
Okumura / Hata	$31,65 + 22,22 \log d_{(m)}$
Cost -231	$28,65 + 22,22 \log d_{(m)} + c_m$
Walfisch	$31,65 + 22,22 \log d_{(m)}$
Modelo de Propagación	Modelo Adaptado para escenarios sin línea de vista con obstrucción por árboles
Espacio Libre	$38,35 + 20,5 \log d_{(m)}$
Egli	$66,65 + 20,5 \log d_{(m)} - 20 \log ht_{(m)}$
Okumura	$30,35 + 20,5 \log d_{(m)} + A_{mu(f,d)} - G_{AREA}$
Okumura / Hata	$38,35 + 20,5 \log d_{(m)}$
Cost -231	$35,35 + 20,5 \log d_{(m)} + c_m$
Walfisch	$38,35 + 20,5 \log d_{(m)}$
Modelo de Propagación	Modelo Adaptado para escenarios sin línea de vista con obstrucción por edificios
Espacio Libre	$-27,86 + 50,4 \log d_{(m)}$
Egli	$0,439 + 50,4 \log d_{(m)} - 20 \log ht_{(m)}$
Okumura	$-35,86 + 50,4 \log d_{(m)} + A_{mu(f,d)} - G_{AREA}$
Okumura / Hata	$-27,86 + 50,4 \log d_{(m)}$
Cost -231	$-30,86 + 50,4 \log d_{(m)} + c_m$
Walfisch	$-27,86 + 50,4 \log d_{(m)}$

### 5. ANÁLISIS DE ERROR DE LOS MODELOS ADAPTADOS

Para comprobar si las ecuaciones de los modelos adaptados de pérdidas de trayectoria se ajustan a las mediciones obtenidas, en la Tabla 7 se realiza un análisis de la exactitud del ajuste mediante el contraste de regresión ( $F_{1,n-(k+1)}$ ) y el coeficiente de determinación ( $R^2$ ).

De los resultados se observa que la utilización del método de ajuste del Error Cuadrático Medio (MSE) permite obtener modelos aceptables cuando se lo aplica para los enlaces de transmisión con línea de vista, ya que en este escenario se obtienen modelos adaptados de pérdidas de trayectoria con

valores promedio de contraste de regresión de 2609,851 y coeficiente de determinación de 0,85.

El método de ajuste simple permite obtener modelos adaptados aceptables para todos los escenarios de aplicación.

**Tabla 7.** Contraste de regresión y coeficiente de determinación de los modelos adaptados

Modelos de Propagación para escenarios con línea de vista	Método MSE		Método simple	
	$F_{1,n-(k+1)}$	$R^2$	$F_{1,n-(k+1)}$	$R^2$
Espacio Libre	2554,53	0,847	$1,09 \times 10^{11}$	0,999
Egli	No se aplica		$6,88 \times 10^{10}$	0,999
Okumura	2665,17	0,853	$1,23 \times 10^{11}$	0,999
Okumura / Hata	No se aplica		$1,79 \times 10^9$	0,999
Cost-231	No se aplica		$1,22 \times 10^{11}$	0,999
Walfisch	No se aplica		1187164,46	0,999
Modelos de Propagación para escenarios sin línea de vista	Método MSE		Método simple	
obstrucción por edificios	$F_{1,n-(k+1)}$	$R^2$	$F_{1,n-(k+1)}$	$R^2$
Espacio Libre	393,696	0,413	$9,31 \times 10^{10}$	0,999
Egli	No se aplica		$1,03 \times 10^{11}$	0,999
Okumura	391,095	0,412	$1,02 \times 10^{11}$	0,999
Okumura/Hata	No se aplica		$1,69 \times 10^9$	0,999
Cost-231	No se aplica		$1,16 \times 10^{11}$	0,999
Walfisch	634,827	0,532	55202,158	0,999
Modelos de Propagación para escenarios sin línea de vista	Método MSE		Método simple	
obstrucción por árboles	$F_{1,n-(k+1)}$	$R^2$	$F_{1,n-(k+1)}$	$R^2$
Espacio Libre	No se aplica		$3,58 \times 10^{10}$	0,999
Egli	393,696	0,413	$3,83 \times 10^{10}$	0,999
Okumura	No se aplica		$3,82 \times 10^{10}$	0,999
Okumura/Hata	391,095	0,412	$6,62 \times 10^8$	0,999
Cost-231	634,827	0,532	$4,63 \times 10^{10}$	0,999
Walfisch	No se aplica		137606,8	0,999

## 6. CONCLUSIONES

Las mediciones efectuadas en la zona de cobertura mostraron que se requiere un ajuste a los modelos de propagación conocidos.

En este proyecto el ajuste de los modelos de propagación se realizó mediante el método del Error Cuadrático Medio y el ajuste simple.

Del presente proyecto se han obtenido modelos de propagación adaptados que pueden ser utilizados como referencia para el diseño de microceldas en la banda de 900 MHz en entornos urbanos de la ciudad de Quito considerando condiciones similares a las establecidas en las mediciones que se efectuaron.

## REFERENCIAS

Aboul-Dahab M. A., Kamel H. M. (2010), Methodology for Calculating Path Loss Upper and Lower Bounds for WiMAX; IEEE.  
 Alsayyari A., Kostanic I., Otero C. E., (2015), An Empirical Path Loss Model for Wireless Sensor Network Deployment in a Concrete Surface Environment, IEEE.  
 Cox D. C., Murray R. R., and Norris A. W., (1984), 800 MHz attenuation measured in and around suburban houses, AT&T Bell Lab. Tech.J., vol. 63, pp. 922-951.

Dalela Ch., Prasad M., Dalela P.; (2012), Tuning of Cost-231 Hata Model for Radio Wave Propagation Predictions; CS & IT, pp. 255-267.  
 European Commission; (1999), COST Action 231, Digital mobile radio towards future generation systems, Final report, pp. 115-197.  
 Giménez J. López J., Gómez-Barquero D., Cardona D., (2011), Modelos de propagación radio para redes de TDT móvil en la banda UHF, Revista S&T Universidad ICESI, Colombia, pp. 9-27.  
 He R., Zhong Z., and Ai B., (2010), Path loss measurements and analysis for high-speed railway viaduct scene, in Proc. 4th Int. Wirel. Commun. Mob. Comput. Conf., France, pp. 265-270.  
 He R., Zhong Z., Ai B., Xiong L., and Ding J., (2011), The effect of Reference Distance on Path Loss Prediction Based on the Measurements in High-Speed Railway Viaduct Scenarios, IEEE, Chinacom.  
 IEEE Vehicular Technology Society Committee on Radio Propagation; (1988), Coverage Prediction for Mobile Radio Systems Operating in the 800/900 MHz Frequency Range, IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 37, No.1, pp. 20-25.  
 Rappaport T. S., (2002), Wireless Communications: Principle and Practice, 2nd Edition ed., Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall.  
 Saunders S. R., Aragón-Zavala A.; (2007), Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems, 2nd Edition, John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, England, p.p. 89-91, 97-99, 163-165, 167-169, 178-180, 182.  
 UIT-R; (2009), P.1546-4 Métodos de Predicción de Punto a Zona para Servicios Terrenales en la Gama de Frecuencias de 30 a 3000 MHz.

## BIOGRAFÍAS



Alvin Patricio Quistial, realizó sus estudios secundarios en el Instituto Nacional Mejía, obteniendo el título de bachiller Físico-Matemático. Posteriormente obtiene el título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones en la Escuela Politécnica Nacional, en 2016.



Pablo Lupera Morillo, obtuvo el título de ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones en la Escuela Politécnica Nacional en el año 2002 y el título de Ph.D. en ciencias técnicas en la Universidad Estatal de Telecomunicaciones de San Petersburgo en Rusia en el año 2009. Sus áreas de investigación son el comportamiento del canal inalámbrico, técnicas de transmisión aplicadas a la capa física y el diseño de redes de comunicación móvil.



Christian José Tipantuña Tenelema, graduado en Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones por la Escuela Politécnica Nacional, en 2011. Sus estudios de maestría los realizó en el Politécnico di Torino, Turin-Italia, en 2013. Actualmente es profesor asistente en la Escuela Politécnica Nacional.



Jorge Eduardo Carvajal, realizó sus estudios en la Escuela Politécnica Nacional, obteniendo el título de ingeniero en Electrónica y telecomunicaciones, sus estudios de cuarto nivel los realizó en la universidad de ciencias aplicadas Mannheim obteniendo el título de máster en Tecnologías de la Información. Actualmente trabaja en la Escuela Politécnica Nacional como profesor auxiliar.