

# Cálculo de Radio Enlace 4G LTE con modelo COST 231 Walfisch-Ikegami

Lisandro M. Lerda<sup>1</sup>, Enzo N. Manolucos<sup>1</sup> y Tadeo Tito<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Estudiante de Ingeniería Electrónica, Facultad Regional Córdoba, Universidad Tecnológica Nacional, (FRC, UTN), Maestro López Esq. Cruz Roja Argentina. CP X5016ZAA. Córdoba, República Argentina.

**Resumen**—El objetivo de este documento es realizar el desarrollo de un radio enlace entre una estación base y un equipo móvil, mediante un modelo de propagación semi empírico en un entorno urbano para luego comprobarlo con un caso real de propagación con todas sus consideraciones.

**Palabras clave**—propagación, frecuencia, ganancia, atenuación, equipo móvil, estación base.

## I. INTRODUCCIÓN

EN una correcta planificación de un radio enlace se analizan diversos factores que influyen en el mismo, como la pérdida de señal o atenuación que tendrá durante el trayecto entre la estación base y el equipo móvil. El radio enlace se realiza entre una antena de telefonía celular de tecnología 4G LTE y un *smartphone*.

Un modelo de propagación es un conjunto de expresiones matemáticas, diagramas, mediciones y algoritmos usados para representar las distintas características y pérdida de señal de un radio enlace en un ambiente determinado. La elección de un modelo por sobre otro depende de la frecuencia de trabajo, distancia entre estaciones, ambiente de propagación y las propiedades de la atmósfera y suelo.

## II. MODELO DE PROPAGACIÓN

El grupo europeo COST 231 (Cooperativa Europea para Investigación Científica y Técnica) propuso la combinación de los modelos Walfisch y Ikegami [1]. El modelo permite una estimación mejorada de la pérdida de propagación al considerar más datos para describir las características del área urbana, las cuales son

- Altura de los edificios  $h_{techo}$
- Ancho de las calles  $w$
- Separación de los edificios  $b$
- Orientación de la calle con respecto a señal directa  $\varphi$

Este modelo es semi empírico, es decir, se basa en leyes físicas con factores de corrección empíricos. Esta restringido a los valores de acuerdo al Cuadro I [2]. En la Figura 1 se muestra la propagación típica en un área urbana junto con las definiciones de los parámetros usados en el modelo. De la Figura 1 se determina las siguientes relaciones

$$\begin{aligned}\Delta h_m &= h_{techo} - h_m \\ \Delta h_{base} &= h_{base} - h_{techo}\end{aligned}$$

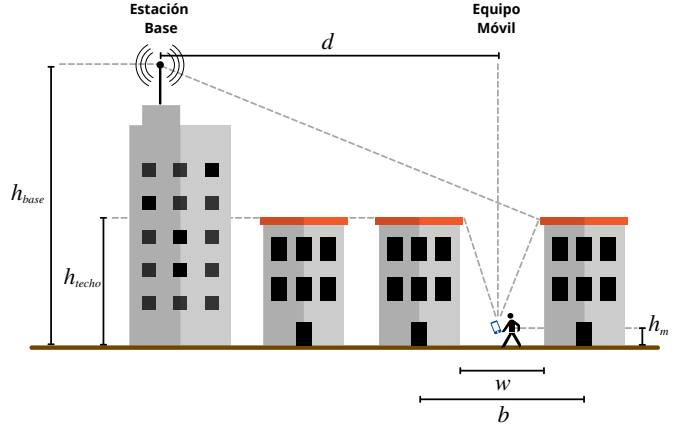


Figura 1. Propagación típica en un área urbana y definición de los parámetros usados en el modelo COST 231 Walfish-Ikegami.

Cuadro I  
RESTRICCIONES DEL MODELO COST 231 WOLFISH-IKEGAMI.

Parámetro	Rango de validez
Frecuencia $f_c$ [MHz]	800 a 2000
Altura efectiva de la estación base $h_b$ [m]	4 a 50
Altura de la antena del móvil $h_m$ [m]	1 a 3
Distancia $d$ [Km]	0,02 a 5

Para el caso en el que no se tiene una línea de visión entre la estación base y el equipo móvil (non-line-of-sight, *NLOS*), la ecuación esta compuesta por

$$L_b[dB] = L_0 + L_{rts} + L_{msd} \quad (1)$$

Donde

$L_0$  es la pérdida del espacio libre.

$L_{rts}$  es la pérdida por difracción y dispersión del techo respecto a la calle.

$L_{msd}$  es la pérdida por difracción múltiple.

La pérdida del espacio libre esta dada por la siguiente ecuación

$$L_0[dB] = 32,4 + 20 \log(d[Km]) + 20 \log(f_c[MHz]) \quad (2)$$

El termino  $L_{rts}$  describe el acoplamiento de la onda que se propaga a lo largo de la trayectoria múltiple hacia la calle donde se encuentra el equipo móvil. La ecuación que describe este termino es

$$\begin{aligned}L_{rts} &= -16,9 - 10 \log(w[m]) + 10 \log(f_c[MHz]) \\ &\quad + 20 \log(\Delta h_m[m]) + L_{ori}\end{aligned} \quad (3)$$

El termino  $L_{ori}$  varia de acuerdo al ángulo con que la señal llega al equipo móvil.

$$\begin{aligned} L_{ori} &= -10 + 0,354 \cdot (\varphi) && \Leftarrow 0^\circ \leq \varphi \leq 35^\circ \\ L_{ori} &= 2,5 - 0,075 \cdot (\varphi - 35^\circ) && \Leftarrow 35^\circ \leq \varphi \leq 55^\circ \\ L_{ori} &= 4 - 0,114 \cdot (\varphi - 55^\circ) && \Leftarrow 55^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ \end{aligned} \quad (4)$$

El termino  $L_{msd}$  esta dado por una integral cuya solución en forma aproximada en el modelo Walfisch-Bertoni, para el caso en que la altura de la antena de la estación base es mayor que el promedio de los techos. Luego el grupo COST 231 amplio esta solución para el caso en que la altura de la antena de la estación base sea menor que el promedio de los techos incluyendo funciones empíricas. La ecuación es

$$\begin{aligned} L_{msd} &= L_{bsh} + k_a + k_d \log(d[Km]) \\ &+ k_f \log(f_c[MHz]) - 9 \cdot \log(b[m]) \end{aligned} \quad (5)$$

Donde

$L_{bsh}$  depende la altura de la estación base con respecto a los edificios.

$k_a$  representa el incremento de la perdida de trayectoria para antenas de los edificios cercanos.

$k_d$  controla la dependencia de la difracción múltiple respecto a la distancia.

$k_f$  controla la dependencia de la difracción múltiple respecto a la frecuencia de los edificios.

Cada término varia según la distancia y alturas de la estación base y el equipo móvil, entonces

$$L_{bsh} = 0 \quad (6)$$

$$k_a = 54 - 0,8 \cdot \Delta h_{base}[m] \cdot \frac{d[Km]}{0,5} \quad (7)$$

$$k_d = 18 - 15 \cdot \frac{\Delta h_{base}}{h_{techo}} \quad (8)$$

$$k_f = -4 + 1,5 \cdot \left( \frac{f_c[MHz]}{925} - 1 \right) \quad (9)$$

### III. CÁLCULO DEL RADIO ENLACE

#### III-A. Relevamiento de datos

Una vez desarrollado el modelo de propagación utilizado para este calculo se determinan los valores correspondientes a los datos para el radio enlace.

Mediante la aplicación *Network Cell Info Lite* se obtienen los siguientes datos

$$\begin{aligned} f_c &= 1700MHz \text{ (Banda 4)} \\ d &= 0,205Km \\ w &= 18m \end{aligned}$$

#### III-B. Estación base y equipo móvil

Las coordenadas del enlace son las siguientes

$$\begin{aligned} \text{Estación Base: } &-31^\circ 25' 8.23'', -64^\circ 11' 12.42''; \\ \text{Equipo Móvil: } &-31^\circ 25' 14.99'', -64^\circ 11' 12.55''; \end{aligned}$$



Figura 2. Traza del radio enlace en Google Earth.

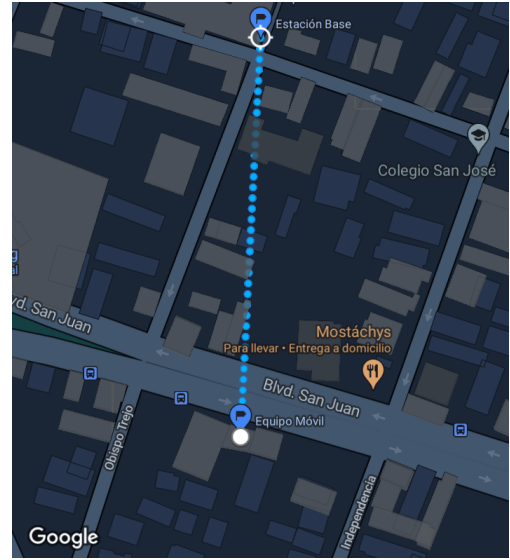


Figura 3. Traza del radio enlace en Google Maps.

Para lograr una inspección visual superior, se utilizó el software satelital puesto a disposición por Google®, Google Earth®.

**III-B1. Definición de parámetros:** Con la información obtenida en III-A y las mediciones realizadas según la Figura 1 se obtiene

$$\begin{aligned} f_c &= 1700MHz \\ h_{base} &= 10m \\ h_m &= 43,5m \\ h_{techo} &= 45m \\ \Delta h_{base} &= h_{base} - h_{techo} = 10m - 45m = -35m^1 \\ \Delta h_m &= h_{techo} - h_m = 45m - 43,5m = 1,5m \end{aligned}$$

Para el obtener el valor de potencia total que recibe el equipo móvil, se deben tener en cuenta las ganancias de las antenas, tanto de la estación base y equipo móvil, así como también la ganancia del transmisor de la estación base. Los valores típicos son

$$\begin{aligned} G_{TX} &= 17dBi \\ P_{TX} &= 30dBm \\ G_{RX} &= 2dBi \end{aligned}$$

<sup>1</sup>El equipo móvil se encuentra en el piso número 14 de un edificio.

Antes de realizar los cálculos de la atenuación y la potencia totales, se definen algunos parámetros que serán de gran utilidad a la hora de interpretar los datos que provee la aplicación de medición de señal *Network Cell Info Lite* para determinar la calidad de la señal.

- RSRP (Reference Signal Received Power): potencia promedio de las señales piloto recibidas (señales de referencia) o el nivel de la señal recibida desde la estación base, se mide en  $dBm$ .
- RSRQ (Reference Signal Received Quality): caracteriza la calidad de las señales piloto recibidas, se mide en  $dB$ .
- RSSNR (Reference Signal Signal To Noise Ratio): mide el ruido del radio enlace, se mide en  $dB$ .

La calidad de los niveles de señal recibidos se puede clasificar como se muestra en el Cuadro II [3].

Cuadro II

VALORES NORMALES PARA ANALIZAR LA CALIDAD DEL RADIO ENLACE.

Calidad de señal	RSRP [dBm]	RSRQ [dB]	RSSNR [dB]
Excelente	$\geq -80$	$\geq -10$	$\geq 20$
Buena	-80 a -90	-10 a -15	13 a 20
Regular	-90 a -100	-15 a -20	0 a 13
Mala	$\leq -100$	$\leq -20$	$\leq 0$

### III-C. Cálculo de la atenuación y potencia totales

El modelo utilizado para la predicción de pérdidas por propagación utilizado es el modelo COST 231, que surge de una combinación de los modelos Walfisch-Bertoni e Ikegami [2].

Para el cálculo se sustituyen los valores correspondientes en la Ecuación 1, donde se explicita el valor cuantitativo de la predicción, teniendo en cuenta que el enlace se lleva a cabo sin línea de vista.

Para ello, se debe calcular, en primera instancia, los valores correspondientes a  $L_0$ ,  $L_{rts}$  y  $L_{msd}$ , determinados a partir de las ecuaciones 2, 3 y 5, respectivamente.

Comenzando con el cálculo de  $L_0$ , a partir de la Ecuación 2, tal que

$$\begin{aligned}
 L_0[dB] &= 32,4 + 20 \log(d[Km]) + 20 \log(f_c[MHz]) \\
 &= 32,4 + 20 \log(0,205Km) \\
 &\quad + 20 \log(1700MHz) \\
 &= 32,4 - 13,76 + 64,61 \\
 &= 83,25[dB]
 \end{aligned} \tag{10}$$

Luego, se procede a realizar el cálculo de  $L_{rts}$ . La Ecuación 3 describe

$$\begin{aligned}
 L_{rts} &= -16,9 - 10 \log(w[m]) + 10 \log(f_c[MHz]) \\
 &\quad + 20 \log(\Delta h_m[m]) + L_{ori}
 \end{aligned} \tag{11}$$

Teniendo en cuenta que  $L_{ori}$  se calcula a partir de la Ecuación 4 y con  $\varphi = 74.44^\circ$ , se despeja

$$\begin{aligned}
 L_{ori} &= 4 - 0,114 \cdot (74.44^\circ - 55^\circ) \\
 &= 4 - 0,114 \cdot (19,44) \\
 &= 1,78[dB]
 \end{aligned} \tag{12}$$

Entonces

$$\begin{aligned}
 L_{rts} &= -16,9 - 10 \log(18m) + 10 \log(1700MHz) \\
 &\quad + 20 \log(1,5m) + L_{ori} \\
 &= -16,9 - 12,55 + 32,3 \\
 &\quad + 3,52 + 1,78 \\
 &= 8,15[dB]
 \end{aligned} \tag{13}$$

Por último, se calcula  $L_{msd}$  a través de la Ecuación 5, aunque antes llevando a cabo la determinación de  $L_{bsh}$  y los coeficientes  $k_a$ ,  $k_d$  y  $k_f$ , a partir de las Ecuaciones 6, 7, 8 y 9, respectivamente.

$$\begin{aligned}
 k_a &= 54 - 0,8 \cdot \Delta h_{base}[m] \cdot \frac{d[Km]}{0,5} \\
 &= 54 - 0,8 \cdot -35m \cdot \frac{0,205Km}{0,5} \\
 &= 65,48
 \end{aligned} \tag{14}$$

$$\begin{aligned}
 k_d &= 18 - 15 \cdot \frac{\Delta h_{base}}{h_{techo}} \\
 &= 18 - 15 \cdot \frac{-35}{45} \\
 &= 29,67
 \end{aligned} \tag{15}$$

$$\begin{aligned}
 k_f &= -4 + 1,5 \cdot \left( \frac{f_c[MHz]}{925} - 1 \right) \\
 &= -4 + 1,5 \cdot \left( \frac{1700MHz}{925} - 1 \right) \\
 &= -4 + 1,26 \\
 &= -2,74
 \end{aligned} \tag{16}$$

Una vez obtenidos los coeficientes requeridos, se sustituyen los valores correspondientes en la Ecuación 5

$$\begin{aligned}
 L_{msd} &= L_{bsh} + k_a + k_d \log(d[Km]) \\
 &\quad + k_f \log(f_c[MHz]) - 9 \cdot \log(b[m]) \\
 &= 0 + 65,48 + 29,67 \cdot \log(0,205Km) \\
 &\quad - 2,74 \cdot \log(1700MHz) - 9 \cdot \log(15m) \\
 &= 65,48 - 20,42 - 8,85 - 10,58 \\
 &= 25,63[dB]
 \end{aligned} \tag{17}$$

Calculadas todas las atenuaciones correspondientes a la Ecuación 1, se sustituyen en la misma, obteniendo el valor de predicción de atenuación total

$$\begin{aligned}
 L_b[dB] &= L_0 + L_{rts} + L_{msd} \\
 &= 83,25 + 8,15 + 25,63 \\
 &= 117,03[dB]
 \end{aligned} \tag{18}$$

Asumiendo como verdaderos los valores propuestos como datos en la definición de parámetros de III-B1, se determina el nivel de potencia de señal recibida, a través de la Ecuación 19, sumando las ganancias y atenuaciones en toda la cadena de transmisión de la misma

$$\begin{aligned}
 P_{RX} &= P_{TX} + G_{TX} - L_b + G_{RX} \\
 &= 30[dBm] + 17[dBi] - 117,03[dB] + 2[dBi] \\
 &\approx -68[dBm]
 \end{aligned} \tag{19}$$

### III-D. Comprobación

Para poder llevar a cabo un análisis comparativo de los valores obtenidos a través del cálculo analítico y los valores reales de niveles de señal presentes, se implementó el uso de la aplicación móvil *Network Cell Info Lite*, el cual se puede apreciar en la captura de la Figura 4. En la misma se detalla el nivel de potencia efectivo recibido, la banda de frecuencia a la que se encuentra enlazado el móvil, entre otros. De acuerdo



Figura 4. Captura de App de medición de señal *Network Cell Info Lite*.

a los valores del Cuadro II se obtiene una calida de señal excelente, excepto la señal de relación señal ruido que es regular.

### IV. CONCLUSIÓN

Los modelos de propagación ponen a disposición una herramienta de fácil lectura y acceso para la predicción de la cobertura de señales radioeléctricas determinadas en un espacio dado, subyugado en gran parte a sus características de congestión urbana, profundidad de vegetación y frecuencia de trabajo.

Para el caso estudiado, se llevó a cabo la predicción de cobertura de una estación base de tecnología *4G LTE*, a través del modelo desarrollado por el grupo COST, en su acción 231, combinación de otros modelos precedentes tales como Walfisch-Bertoni e Ikegami-Takeuchi.

A pesar de que el modelo presenta sus limitaciones, resulta muy adecuado debido al entorno donde se realizó el radio enlace, teniendo en cuenta principalmente la gran cantidad de edificios que hay alrededor. El resultado final del cálculo a través del modelo es suficientemente próximo al valor medido a través de la aplicación móvil, considerando este último como el valor real, resultado así un modelo de propagación más que suficiente para el alcance del trabajo.

### REFERENCIAS

- [1] European Commission. *Digital mobile radio towards future generation systems COST Action 231 Final report*. European Communities, 1999.
- [2] Oscar E. Gutiérrez. *Comunicaciones Móviles y Redes Inalámbricas*. Universitas, 2021.
- [3] Agilent Technologies. *LTE and the Evolution to 4G Wireless: Design and Measurement Challenges*. John & Wiley Sons, 2013.

### AUTORES



**Lisandro M. Lerda**, nacido en Córdoba Capital el 05/01/1992. Estudiante de Ingeniería Electrónica, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Argentina. Sus intereses son: Comunicaciones inalámbricas, Sistemas energéticos y Electroacústica.  
email: lisandromlerda@gmail.com



**Enzo N. Manolucos**, nacido en Río Gallegos, Santa Cruz el 14/07/1995. Estudiante de Ingeniería Electrónica, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Argentina. Sus intereses son: Redes móviles, Diseño de sistemas electrónicos de RF y Electroacústica.  
email: enzo.manolucos@gmail.com



**Tadeo Tito**, nacido en Federal, Entre Ríos el 01/08/1996. Estudiante de Ingeniería Electrónica, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Argentina. Sus intereses son: Electroacústica, Energías renovables y Arquitectura de microcontroladores.  
email: tadeotito@gmail.com