Desarrollo de un modelo de propagación de señal de una antena GSM ubicada en la ESPOL, para que sea utilizada como herramienta didáctica en actividades académicas

Angelo Vera R., Alfredo Núñez U., David Espinosa C.
Dr. Boris Ramos S.

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Guayaquil, Ecuador

Resumen. El presente trabajo describe el desarrollo de un modelo de propagación de potencia para una antena GSM ubicada en el campus de ingeniería de la ESPOL, basado en los principios de modelamiento de propagación de Lee y mediciones de potencia. El trabajo analiza el efecto de desvanecimiento provocado por los obstáculos en los alrededores de la antena, tales como edificios y vegetación. El modelo obtenido tiene una aplicación académica como herramienta didáctica en materias relacionadas a la carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones de la ESPOL.

Palabras Claves: modelo, propagación, GSM, potencia, desvanecimiento, obstáculos, herramienta didáctica.

1 Introducción

Este trabajo presenta el desarrollo de un modelo de propagación de potencia de una antena GSM ubicada en el campus de ingeniería de la ESPOL. El modelo está basado en la metodología de Lee para el desarrollo de modelos de desvanecimiento de potencia en ambientes exteriores. Aplicando esta metodología se obtiene una curva de pérdida de potencia característica del terreno y una ecuación de predicción de potencia para cualquier punto dentro del campus. El desarrollo del modelo tiene un fin exclusivamente didáctico, y el objetivo es implementarlo como práctica de laboratorio.

2 Desarrollo

2.1 Modelo de propagación microcelular de Lee.

El modelo microcelular de Lee es un modelo de predicción de propagación de potencia muy usado en ambientes urbanos donde existen celdas celulares con un radio de cobertura menor a 1 kilómetro (microceldas).
Los edificios que se encuentran en un ambiente urbano afectan directamente a la potencia de la señal recibida medida en un receptor móvil dentro de una microcelda celular. El factor de pérdida debida a los edificios debe ser considerado parte de la pérdida de camino. Si bien la potencia de la señal recibida en un receptor móvil proviene de las ondas producto de la reflexión de multipaso y no de las ondas que atraviesan dichos edificios, existe una correlación entre el número de bloques o manzanas con edificios y la atenuación de la señal a lo largo del camino de propagación. Mientras mas grande sea el número de edificios o el tamaño de ellos en un área de propagación, mayor será la atenuación que sufrirá la potencia de una señal al pasar por esta área. La aplicación de la metodología de Lee provee resultados rápidos y bastante precisos en comparación con mediciones reales.

2.2 Generalidades del modelo de propagación.

El modelo microcelular de Lee fue desarrollado para microceldas en ambientes urbanos, en donde los edificios de los alrededores tienen una directa relación con la atenuación de potencia de una señal inalámbrica. La figura 1 ilustra este concepto.

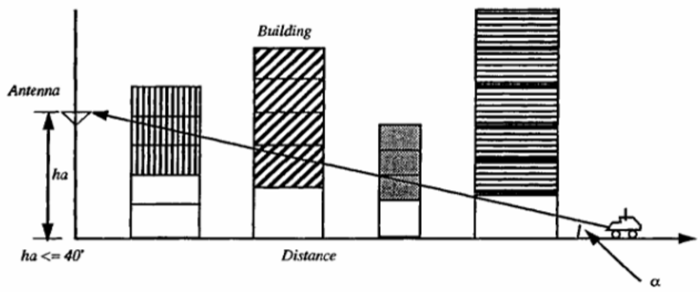

Figura 1: Obstrucción de los edificios

El modelo propone una fórmula de predicción de potencia e incluye una metodología para analizar detalladamente la obstrucción debida a edificios con la ayuda de curvas empíricas basadas en mediciones e incorporando conceptos como la ocupación de manzanas, densidad de edificios en las manzanas, distancia de ocupación y distancia de ocupación equivalente. Todos estos conceptos serán explicados más adelante. Además de la obstrucción de los edificios, el modelo incorpora al análisis parámetros como la potencia de salida de la antena y cuantifica las pérdidas debidas al alejamiento de línea de vista.

2.3 Ecuación de Lee para microceldas.

La ecuación de predicción de potencia del modelo microcelular de Lee es la siguiente (todas las potencias se expresan en unidades de dBm):

$$P_r(A) = P_t - L_{los}(d_A, h_1) - L_b(B) \qquad (1)$$

En donde P(A) es la potencia recibida en un punto "A" cualquiera de estudio, Pt es la potencia transmitida por la antena o también llamada ERP. $L_{los}(d_A,h_1)$ es la pérdida de línea de vista a una distancia d_A El último parámetro de la ecuación es L_b que representa la pérdida debida a las manzanas de edificios. El valor de L_b evaluando el valor total de obstrucciones B en la curva empírica de pérdida del entorno. Cabe aclarar que la curva empírica L_b vs. B es una curva particular para cada zona de estudio y debe ser determinada previo a la aplicación del modelo.

2.4 Procedimiento de evaluación del modelo microcelular de Lee.

El procedimiento de predicción y evaluación del modelo de Lee es el siguiente:

1. Digitalizar las calles.
2. Identificar los bloques o cuadras.
3. Calcular el porcentaje de ocupación para cada bloque o cuadra.
4. Para cada punto de estudio obtener la pérdida de paso en espacio libre Llos (ecuación 2.2).
5. Identificar los bloques o cuadras incidentes entre el punto donde está ubicada la antena y los diferentes puntos de estudio.
6. Para cada punto de estudio obtener la longitud total de obstrucción de los edificios incidentes en el camino de propagación.
7. Para cada punto de estudio, obtener la pérdida de paso causado por la obstrucción de los edificios (L_b) evaluando la curva empírica (L_b vs B) en el valor de la longitud total de obstrucción B obtenido.
8. Se obtiene la potencia predicha por el modelo en cada punto de estudio, utilizando la ecuación general.

$$P_r(A) = P_t - L_{los}(d_A, h_1) - L_b(B) \qquad (2)$$

2.4 Aplicación del modelo en la ESPOL.

El área de ingenierías del Campus Gustavo Galindo de la Escuela Superior Politécnica del Litoral está dentro de la zona de incidencia de una entena GSM de cobertura microcelular. La figura 2 muestra un mapa del área de Ingeniería del y las marcas en color rojo son los puntos de estudio escogido para la construcción del modelo.

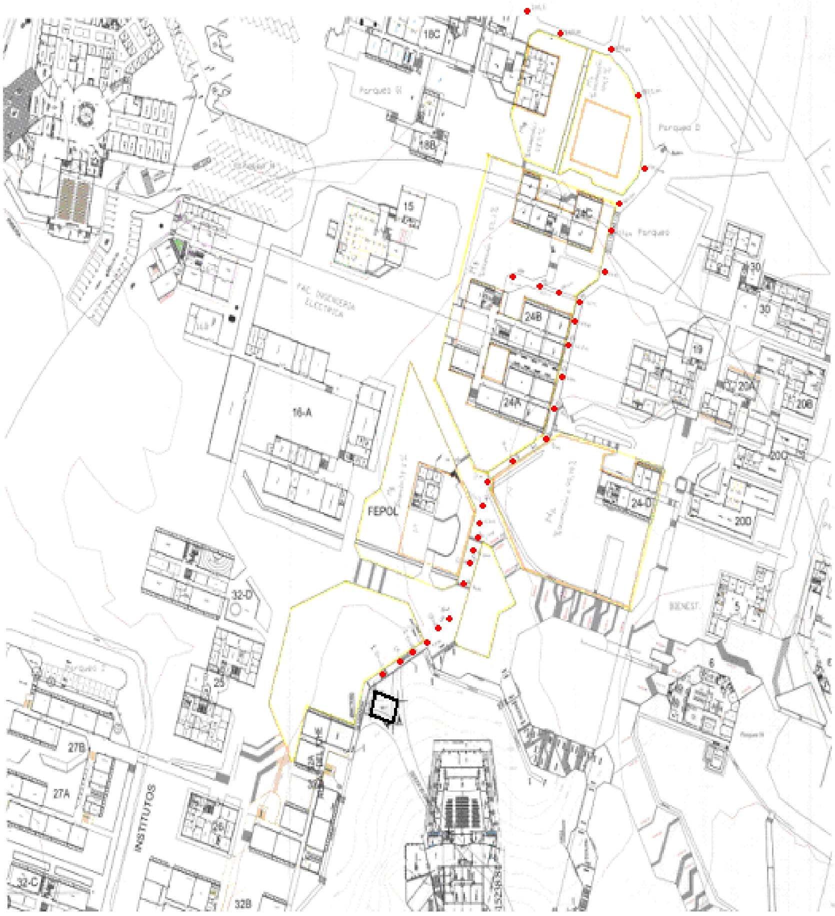

Figura 2: Área de Ingenierías del campus Gustavo Galindo.

La ecuación general del modelo de Lee (2) posee cuatro términos que son: potencia recibida, potencia efectiva radiada, pérdida de línea de vista y pérdida causada por el entorno. A continuación la ecuación 3 muestra la evaluación de la ecuación general en un punto A cualquiera de estudio:

$$P_r(A) = ERP - L_{los}(d_A) - L_b(B(A)) \quad (3)$$

En principio tres de los cuatro términos de la ecuación son conocidos: la potencia recibida (Pr(A)) se obtiene de las mediciones en cada punto, la potencia efectiva radiada (ERP) es una constante de la antena y la pérdida por línea de vista (L_{los}) se determina mediante la ecuación 4 [1].

$$L_{los} = 20\log\frac{4\pi d_A}{\lambda} \quad (4)$$

Se tomaron cinco muestras de potencia por cada punto de estudio, luego se procedió a determinar el promedio de los valores por punto. En la tabla I se compila las cinco mediciones de potencia recibida y su promedio en dBm.

DISTANCIA	MEDICION 1	MEDICION 2	MEDICION 3	MEDICION 4	MEDICION 5
10	-140,59	-140,59	-139,04	-140,59	-140,04
15	-136,19	-136,19	-136,19	-136,19	-136,19
20	-140,56	-140,56	-143,83	-140,56	-141,52
25	-147,78	-147,78	-147,78	-147,78	-147,78
30	-142,61	-142,61	-146,13	-142,61	-143,63
35	-142,52	-142,52	-142,52	-142,52	-142,52
46	-139,36	-140,90	-140,30	-140,10	-140,16
52	-143,27	-143,27	-142,32	-143,27	-142,94
55	-145,57	-145,57	-145,57	-145,57	-145,57
59	-147,86	-149,29	-149,14	-148,54	-148,74
63,6	-147,31	-147,31	-147,31	-147,31	-147,31
67,6	-145,44	-145,44	-149,59	-145,44	-146,62
75	-143,62	-143,57	-143,59	-143,60	-143,59
84	-146,04	-141,28	-142,65	-143,34	-143,10
96	-147,13	-147,29	-145,84	-147,21	-146,73
104	-151,36	-148,54	-145,87	-149,84	-148,31
114	-149,51	-147,65	-148,97	-148,53	-148,68
122,8	-150,69	-151,45	-152,11	-151,06	-151,40
129	-152,54	-152,54	-152,54	-152,54	-152,54
131,2	-155,11	-155,47	-154,47	-155,29	-155,01
132,4	-149,32	-154,60	-155,77	-151,57	-152,76
133,6	-153,09	-153,09	-153,09	-153,09	-153,09
135	-147,15	-147,70	-151,07	-147,42	-148,48
146	-146,80	-147,88	-151,31	-147,33	-148,46
157,2	-149,81	-146,74	-148,55	-148,14	-148,27
166	-153,37	-151,39	-153,97	-152,33	-152,84
179,6	-152,81	-151,13	-151,66	-151,93	-151,84
197,2	-158,29	-155,69	-157,98	-156,89	-157,24
204	-161,84	-163,26	-165,50	-162,52	-163,41
202	-161,58	-157,94	-164,86	-159,57	-161,00
205,2	-170,05	-164,31	-170,22	-166,71	-167,73

Tabla I: Mediciones de potencia recibida en dBm tomadas en la ruta de estudio

En la figura 3 se muestra el gráfico de los valores de potencia recibida promedio versus distancia, en la ruta de estudio.

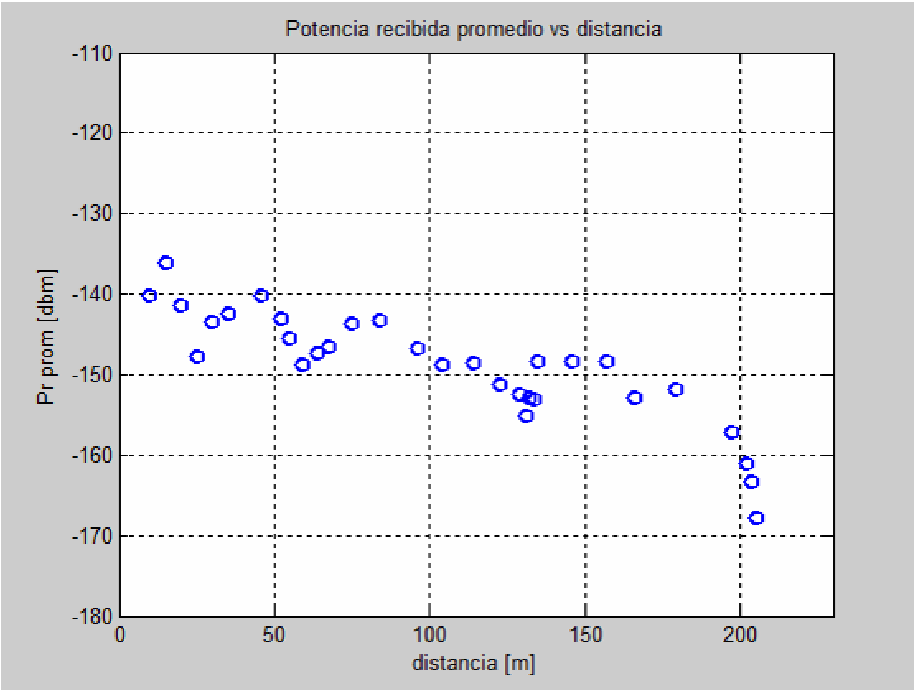

Figura 3: Potencia recibida promedio versus distancia

El valor de potencia efectiva radiada (ERP) es una constante de la antena generalmente conocida, para nuestro caso -135.2 dBm [2]. El valor de pérdida de línea de vista (L_{los}) se determina usando la ecuación 4, presentada previamente en el documento. El valor de L_{los} depende únicamente de la distancia (d_A) existente entre el punto de estudio y la antena fuente. En este punto de desarrollo, son conocidos tres de los cuatro términos de la ecuación general del modelo de Lee: potencia recibida, ERP y pérdida de línea de vista (L_{los}). El término de L_b se obtiene "despejando" esta variable de la ecuación general y siendo evaluada en cada punto de estudio. En la tabla II se muestra un resumen de la aplicación de la ecuación, incluyendo los valores de L_b obtenidos.

d_A	Pr (prom)	ERP	$L_{los}(d_A)$	Lb
10	-140,17	-135,2	111,25	-106,28
15	-136,19	-135,2	114,77	-113,79
20	-141,40	-135,2	117,27	-111,07
25	-147,78	-135,2	119,21	-106,63
30	-143,52	-135,2	120,79	-112,48
35	-142,52	-135,2	122,13	-114,82
46	-140,16	-135,2	124,51	-119,54
52	-143,01	-135,2	125,57	-117,76
55	-145,57	-135,2	126,06	-115,69
59	-148,71	-135,2	126,67	-113,16
63,6	-147,31	-135,2	127,32	-115,21
67,6	-146,51	-135,2	127,85	-116,54
75	-143,59	-135,2	128,75	-120,36
84	-143,28	-135,2	129,74	-121,65
96	-146,84	-135,2	130,90	-119,26
104	-148,78	-135,2	131,59	-118,01
114	-148,67	-135,2	132,39	-118,92
122,8	-151,34	-135,2	133,04	-116,90
129	-152,54	-135,2	133,46	-116,12
131,2	-155,07	-135,2	133,61	-113,74
132,4	-152,81	-135,2	133,69	-116,08
133,6	-153,09	-135,2	133,77	-115,88
135	-148,36	-135,2	133,86	-120,70
146	-148,36	-135,2	134,54	-121,38
157,2	-148,30	-135,2	135,18	-122,08
166	-152,78	-135,2	135,65	-118,07
179,6	-151,88	-135,2	136,34	-119,66
197,2	-157,22	-135,2	137,15	-115,13
204	-163,31	-135,2	137,44	-109,34
202	-160,99	-135,2	137,36	-111,57
205,2	-167,81	-135,2	137,50	-104,89

Tabla II: Resumen de la aplicación de la ecuación del modelo de Lee en cada punto de estudio

Para el caso ESPOL, la obstrucción del entorno se resume básicamente a la ocasionada por los edificios. El cálculo de la longitud de estas obstrucciones (B) no es una tarea sencilla, puesto que es complicado y poco preciso determinar estas distancias con exactitud, es por esto que se introduce el concepto de longitud equivalente de obstrucción (B_{eq}). Este valor es un estimador de la obstrucción B ponderando la longitud total de una cuadra con la densidad de ocupación de la misma. La figura 4 ilustra el concepto.

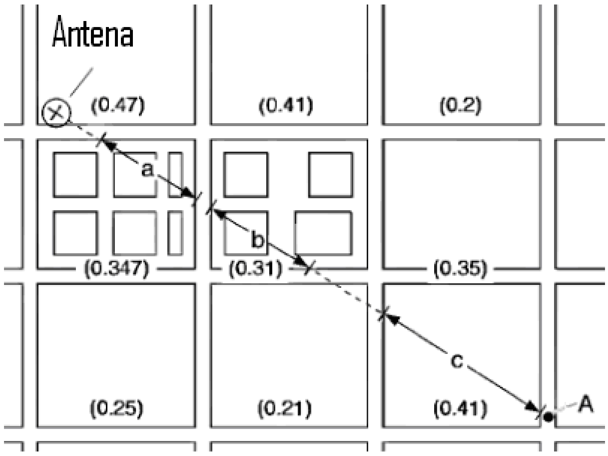

Figura 4: Ilustración del concepto de longitud equivalente de obstrucción Beq

En la figura se observa que entre la antena y el punto A de estudio inciden tres cuadras con edificios: manzana Ma, Mb y Mc. El valor de B resultaría de sumar la longitud de obstrucción de cada edificio incidente en el camino de propagación. Para simplificar el análisis y los cálculos que conllevarían la obtención del valor de B, el modelo de Lee propone los siguientes pasos

En primer lugar se procede a cuantificar la densidad de ocupación de los edificios en cada cuadra o manzana. Para cada cuadra aplica la siguiente fórmula:

$$P_i = \frac{A_e}{A_t} \quad (5)$$

Donde Pi representa la densidad de ocupación de la i-ésima cuadra, Ae representa el área de ocupación de los edificios en la i-ésima cuadra y At representa el área total de la i-ésima cuadra. Para el ejemplo de la figura 4, luego de aplicar la fórmula 5, las densidades de ocupación de las manzanas incidentes a, b y c serían respectivamente Pa, Pb y Pc. En segundo lugar se obtiene el valor de la longitud de obstrucción total de cada cuadra, cabe resaltar que las longitudes individuales de los edificios son transparentes para este análisis. Tal como se observa en la figura 5, la manzana Ma obstruye a la propagación entre la antena y el punto A, una distancia a, Mb una distancia b y Mc una distancia c. Luego, el valor de Beq en el punto A se calcula de la siguiente forma:

$$B_{eq}(A) = a.P_a + b.P_b + c.P_c \quad (6)$$

El valor de Beq pondera la longitud de obstrucción real B y cabe resaltar que la obtención de Beq es mucho más sencilla que la obtención de B. Luego, reescribimos la ecuación general de Lee introduciendo el concepto del Beq, así:

$$P_r(A) = ERP - L_{los}(d_A) - L_b(B_{eq}(A)) \quad (7)$$

En resumen, para cada punto de estudio, se calcula el valor de pérdida debida a edificios (L_b) y su correspondiente distancia equivalente de obstrucción (B_{eq}), luego se relacionan los valores de L_b y B_{eq}, y se determina la curva característica empírica del ambiente del campus Prosperina ESPOL. En la tabla III se muestra los datos de Lb con su correspondiente Beq.

Beq(A)	Lb
11,41	-121,65
18,41	-116,90
19,02	-118,01
20,58	-116,12
21,91	-120,70
22,82	-119,26
24,87	-121,38
24,99	-118,92
25,23	-122,08
25,90	-119,66
27,89	-115,88
28,55	-113,74
30,54	-116,08
34,53	-118,07
44,69	-104,89
48,77	-111,57
51,74	-115,13
53,51	-109,34

Tabla III: Valores relacionados de Beq y Lb

Luego del ajuste lineal de los datos se obtiene la siguiente relación Lb y Beq:

$$L_b = 0.2751 B_{eq} - 124.81 \quad (5)$$

Con la obtención de la curva empírica se finaliza el proceso de construcción y ajuste del modelo. En este punto el modelo queda totalmente descrito y finalmente reemplazando todos los parámetros ajustados en la ecuación 3, se obtiene la ecuación de predicción de potencia del modelo, expresada en dBm:

$$P_r(A) = -135.2 - \left(20 \log \frac{4\pi d_A}{\lambda} \right) - \left(0.2751 B_{eq} - 124.81 \right) \quad (6)$$

3 Resultados

El resultado de este trabajo se resume en la ecuación 6 que representa el modelo de propagación de señal de la antena analizada. A continuación en la tabla IV se presenta una comparación entre valores de potencia predichos por el modelo construido y mediciones reales en algunos puntos de prueba escogidos aleatoriamente.

PREDICCION (dBm)	MEDICION (dBm)
-132,67	-140,07
-143,06	-145,62
-148,00	-152,08
-153,85	-153,76
-157,07	-168,00
-156,84	-167,88
-157,27	-170,78
-158,34	-161,97
-163,26	-161,88

Tabla IV: Predicción del modelo construido versus Medición

En la figura 5 se muestra en un gráfico de los datos de la tabla 4, valores predichos (curva de color rojo) y valores reales medidos (curva de color azul).

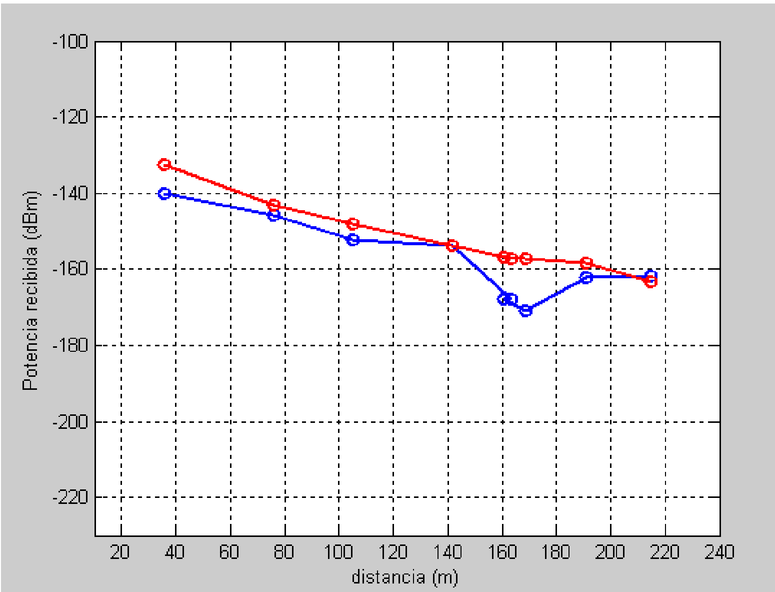

Figura 5: Comparación entre el modelo de Lee construido (curva de color rojo) y las mediciones de campo (curva de color azul)

4 Conclusiones

Aunque las condiciones de entorno que caracterizan al área de cobertura no coincide completamente con las del modelo de Lee, se comprobó que el ajuste del modelo en base a valores reales obtenidos en muestreos aleatorios, da como resultado valores de predicción de potencia muy cercanos a la realidad, por lo que se concluye que el modelo de Lee se ajusta al entorno que caracteriza al Campus de la ESPOL.

El comportamiento de la señal celular que emite la antena ubicada en el ciclo básico del Campus Gustavo Galindo de la ESPOL, tiene puntos incongruentes con respecto al modelo matemático desarrollado, los cuales se explican como variaciones causadas por efectos de refracción y de superposición de señales difractadas, las cuales por tener diferentes fases y amplitudes, en ciertos espacios provoca que se cancelen componentes, causando bajos niveles de señal.

El procedimiento llevado a cabo para desarrollar el modelo de propagación, así como el proceso de comprobación, serán usados como práctica de laboratorio, y utilizado en clase como herramienta de aprendizaje, para que el fenómeno de propagación de señales RF sea comprendido de manera práctica y directa.

Referencias

1. SEYBOLD JHON S., Introduction to RF Propagation, Jhon Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, 2005, páginas 20-21.

2. FRITSCHI P., EICHER B., LEHMANN H, Reproducibility of GSM and UMTS-EMF measurements, Swisscom, Berna, Suiza, páginas 1-4