

Capítulo 7.

Análisis teórico de la cobertura de WiFi y WiMAX

7.1 INTRODUCCIÓN

Para el presente trabajo se tomaran en cuenta dos modelos de propagación similares de tal forma que se pueda hacer una comparación más precisa en cuanto a la cobertura ofrecida por cada uno de ellos.

Para WiMAX se hará uso del modelo de propagación para usuarios fijos, mismo que se tomará de [21] que es un modelo desarrollado por la *Universidad de Stanford*, y que contempla tres categorías que abarcan diversos tipos de ambientes como son el urbano, sub-urbano y el rural. Para el caso de WiFi, se utilizará el modelo simple de pérdidas en espacio libre o modelos de rayos directos, muy usados para modelar ambientes externos (outdoor) basados en [22].

Se tiene como objetivo encontrar la cobertura máxima teórica que ambas tecnologías pueden proporcionar de acuerdo con la relación señal a ruido (*Signal to Noise Ratio SNR*) que sea detectado en el receptor; de acuerdo con los perfiles que establecen los estándares [1] y [2], de tal forma que se pueda determinar que tipo de perfil se puede ofrecer en una determinada zona en los alrededores al AP o BS según sea el caso.

7.2 ANÁLISIS WIMAX

Para llevar a cabo este análisis, se presentan a continuación las ecuaciones utilizadas para llevar a cabo los cálculos de acuerdo con [21], la Tabla 17 resume dichas expresiones matemáticas y sus parámetros:

Tabla 17. Modelo de propagación de usuarios fijos [21]

Variable	Expresión matemática	Parámetros
Path Loss	$PL = A + 10 \cdot \gamma \cdot \log \left[\frac{d}{d_0} \right] + s + Cf + Ch$	$d > d_0$ $d_0 = 100[m]$
Path loss dependent of distance	$A = 20 \log \left(\frac{4\pi d_0}{\lambda} \right), \quad \lambda = \frac{c}{f}$	$c = 3 \times 10^8 \frac{m}{s}$
Path loss exponent (γ)	$\gamma = \left(a - bh_{bs} + \frac{c}{h_{bs}} \right)$	a, b y c se toman de la Tabla 18.
Shadow fading (s)	$s = \mu_\sigma$	μ_σ en Tabla 18

Frequency correction factor (Cf)	$Cf = 6 \cdot \log \left(\frac{f}{1900 \text{ [MHz]}} \right)$	f [MHz]
Height correction factor	$Ch = -10.7 \cdot \log \left(\frac{h_{ss}}{2} \right)$ en Categoría A y B $Ch = -20 \cdot \log \left(\frac{h_{ss}}{2} \right)$ para Categoría C	2[m] < h_{ss} < 10[m]
Potencia recibida	$P_{RX} [dBm] = EIRP [dBm] + G_{RX} [dBi] - PL [dB]$	
Effective Isotropic Radiated Power (EIRP)	$EIRP [dBm] = P_{TX} [dBm] + G_{TX} [dBi] - Lc [dB]$	Lc: pérdidas en líneas de transmisión y conectores
Relación señal a ruido (SNR)	$SNR [dB] = P_{RX} [dBm] - N [dBm]$	N: ruido térmico
Ruido térmico (N)	$N [dBm] = 10 \cdot \log(T \cdot BW \cdot K_0) + Nf [dB] + 30$	$T = 20 \text{ K}$ $K_0 = 1.38 \times 10^{-23} \text{ [J/K]}$ Bw: ancho de banda Nf= figura del ruido del receptor

En la siguiente tabla se encuentran las constantes obtenidas de forma experimental para evaluar los tipos de terreno:

Tabla 18. Categorías del terreno [21]

Parámetro	Categoría del terreno		
	A (densidad de árboles moderada a densa)	B (media a baja densidad de árboles)	C (terreno plano)
a [m]	4.6	4.0	3.6
b [m⁻¹]	0.0075	0.0065	0.0050
c [m]	12.6	17.1	20.0
μ_σ	10.6	9.6	8.20

Para evaluar la distancia a la que la señal puede viajar manteniendo un cierto perfil especificado en el estándar, es necesario conocer la relación existente entre dichos perfiles y la relación SNR mínima que se requiere para cada uno de ellos. Esta información se puede obtener del estándar [2] y se ha colocado en la Tabla 19 que se muestra a continuación:

Tabla 19. Tipo de modulación y CC de acuerdo con SNR [2]

Modulación y tasa de codificación		SNR [dB] recibida
BPSK	1/2	6.4
QPSK	1/2	9.4
	3/4	11.2
16-QAM	1/2	16.4
	3/4	18.2
64-QAM	2/3	22.7
	3/4	24.4

Los cálculos en detalle, se llevarán a cabo para el escenario A (De alta a moderada densidad de árboles) y utilizando el perfil más sencillo (BPSK ½). El cálculo se realiza de forma análoga para los escenarios B y C, aplicando los valores de la Tabla 19 en el cálculo del término Path Loss Exponent.

Datos:

SNR=6.4 [dB] (para BPSK ½) h_{ss} = 6.6 [m]
 P_{Tx}= 30 [dBm] d₀ = 100 [m]
 BW(UL)=3.5 [MHz] (recordar que se G_{tx}=15 [dB]
 está usando un canal de 7 MHz) G_{rx}= 18 [dB]
 f = 3.5[GHz]+BW/2 L_c= 5[dB]
 h_{bs} = 80 [m]

Solución

Aplicando la ecuación para ruido térmico:

$$N[dBm] = 10 \log(T \cdot BW \cdot K_0) + N_f[dB] + 30$$

$$= 10 \log \left[290[K] \cdot 3.5 \times 10^6 [Hz] \cdot 1.38 \times 10^{-23} \left[\frac{J}{K} \right] \right] + 4[dB] + 30$$

$$N[dBm] = -104.547 [dBm] \dots (54)$$

Calcular la potencia en el receptor con el resultado (a):

$$P_{RX} = SNR[dB] + N[dBm] = 6.4 [dB] + (-104.53[dBm]) = -98.14[dBm] \quad (55)$$

Se obtiene a continuación el Path Loss mediante la relación señal a ruido SNR y la figura de ruido N (1); sin embargo, es necesario conocer primero el valor de la distancia *para Path*

Loss Dependent of Distance (A), el factor *shadow fading* (s) y los factores de corrección para la altura y frecuencia (Ch y Cf):

Para la $f=3.5$ [GHz]

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8 \left[\frac{m}{s} \right]}{3.5 \times 10^9 [Hz]} = 0.08571 [m] \quad (56)$$

Por tanto, sustituyendo el resultado (2):

$$A = 20 \log \left(\frac{4\pi d_0}{\lambda} \right) = \frac{4\pi(100m)}{0.08571 [m]} = 83.32 [dB] \quad (57)$$

$$\gamma = a - b h_{BS} + \frac{c}{h_{BS}} = 4.6 + 0.0075(80m) + \frac{12.6}{80m} = 4.157 [dB] \quad (58)$$

$$s = \mu_s = 10.6 [dB] \quad (59)$$

$$C_f = 6 \log \left(\frac{f}{1900 \text{ Mhz}} \right) = 6 \log \left(\frac{3500 \text{ MHz}}{1900 \text{ Mhz}} \right) = 1.5925 [dB] \quad (60)$$

$$C_h = -10.7 \log \left(\frac{h_{ss}}{2} \right) = -10.7 \log \left(\frac{6.6 \text{ m}}{2} \right) = -5.548 [dB] \quad (61)$$

De la ecuación de potencia en el receptor:

$$P_{RX} = EIRP [dBm] + G_{Rx} - PL \Rightarrow PL = EIRP [dBm] + G_{Rx} - P_{Rx} \quad (62)$$

Sin embargo, aun falta obtener el valor EIRP, para ello:

$$EIRP [dBm] = P_{Tx} + G_{TX} - L_c [dB] =$$

$$30 [dBm] + 15 [dB] - 5 [dB] = 40 [dBm] \quad (63)$$

Sustituyendo (7) y (2) en la ecuación PL:

$$PL = EIRP [dBm] + G_{Rx} - P_{Rx} = 40 [dBm] + 15 [dB] + 98.14 [dBm] =$$

$$153.14 [dBm] \quad (64)$$

Con el resultado (64) es posible igualar a la siguiente ecuación y despejar el valor d:

$$PL = A + 10\gamma \log \left(\frac{d}{d_0} \right) + s + C_f + C_h$$

$$153.14 [dBm]$$

$$= 83.32 [dB] + 10(4.1575 [dB]) \log \left(\frac{d}{100m} \right) + 10.6 [dB] + 1.5925 [dB]$$

$$- 5.548 [dB] \quad (65)$$

Finalmente, despejando:

$$d = 3309.2 [m] \approx 3.309 [Km] \quad (66)$$

- **Condiciones de terreno A**

Para los demás perfiles WiMAX, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 20. Cobertura WiMAX para terreno tipo A

Modulación y tasa de codificación		SNR [dB] recibida	PRX[dBm]	PL [dBm]	d[m]
BPSK	1/2	6.4	-98.147	153.147	3309.2
QPSK	1/2	9.4	-95.147	150.147	2802.6
	3/4	11.2	-93.347	148.347	2536.7
16-QAM	1/2	16.4	-88.147	143.147	1901.9
	3/4	18.2	-86.347	141.347	1721.5
64-QAM	2/3	22.7	-81.847	136.847	1341.7
	3/4	24.4	-80.147	135.147	1221.2

De forma esquemática:

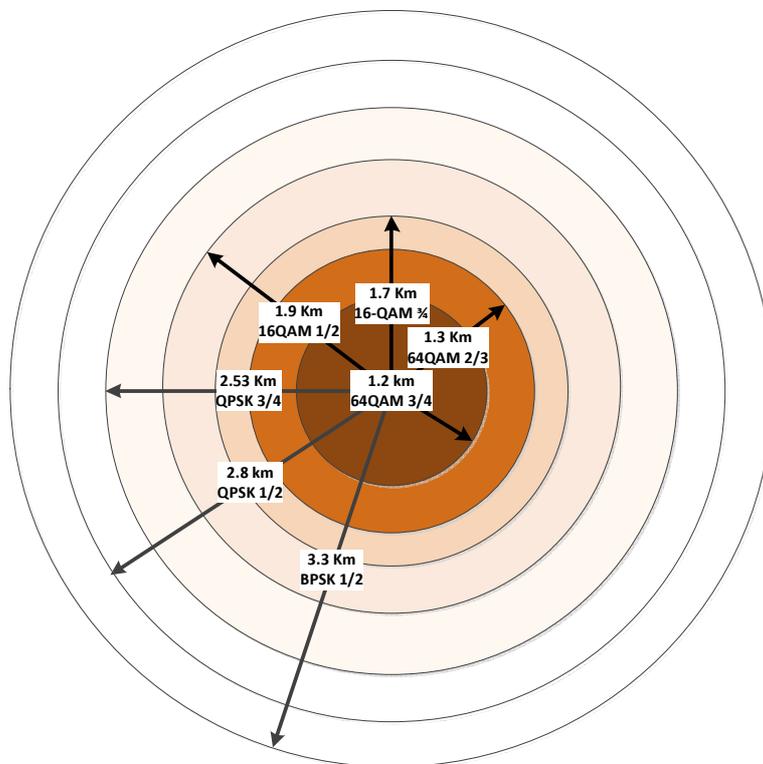


Figura 7.1. Cobertura WiMAX Escenario A

- **Condiciones de terreno B**

Tabla 21. Cobertura WiMAX para terreno tipo B

Modulación y tasa de codificación		SNR [dB] recibida	PRX[dBm]	PL [dBm]	d[m]
BPSK	1/2	6.4	-98.147	153.147	5138.9
QPSK	1/2	9.4	-95.147	150.147	4262.2
	3/4	11.2	-93.347	148.347	3809.7
16-QAM	1/2	16.4	-88.147	143.147	2754.8
	3/4	18.2	-86.347	141.347	2462.3
64-QAM	2/3	22.7	-81.847	136.847	1859.9
	3/4	24.4	-80.147	135.147	1672.9

- **Condiciones de terreno C**

Tabla 22. Cobertura WiMAX para terreno tipo C

Modulación y tasa de codificación		SNR [dB] recibida	PRX[dBm]	PL [dBm]	d[m]
BPSK	1/2	6.4	-98.147	153.147	6782.3
QPSK	1/2	9.4	-95.147	150.147	5551.6
	3/4	11.2	-93.347	148.347	4923.2
16-QAM	1/2	16.4	-88.147	143.147	3479.5
	3/4	18.2	-86.347	141.347	3085.7
64-QAM	2/3	22.7	-81.847	136.847	2285.1
	3/4	24.4	-80.147	135.147	2040.0

7.3 ANÁLISIS WiFi

Para este análisis se hará uso del modelo empírico desarrollado para ambientes externos *Outdoor* basado en [23] y [24] denominado *Long-Distance Path Loss Model*. De forma similar al caso de WiMAX, el término denominado *Path Loss Exponent* (en este caso denominado *n*) permite introducir en el cálculo la forma en que la señal es afectada por diversos objetos y ambientes.

Tabla 23. Modelo de propagación para WiFi [22]

Variable	Expresión matemática	Parámetros
<i>Path Loss</i>	$PL = P_L(d_0) + 10 \cdot n \cdot \log \left[\frac{d}{d_0} \right]$	$d > d_0$ $d_0 = 1[m]$

Path loss dependent of distance	$P_L(d_0) = 20 \log\left(\frac{4\pi d_0}{\lambda}\right), \quad \lambda = \frac{c}{f}$	$c = 3 \times 10^8 \frac{m}{s}$ n: se obtiene de la Tabla 24
Effective Isotropic Radiated Power (EIRP)	$EIRP[dBm] = P_{TX}[dBm] + G_{TX}[dBi] - L_c[dB]$	Lc: pérdidas en líneas de transmisión y conectores
Potencia recibida	$P_{RX}[dBm] = EIRP[dBm] + G_{RX}[dBi] - PL[dB]$	
Relación señal a ruido (SNR)	$SNR[dB] = P_{TX}[dBm] + G_{TX}[dBi] + G_{RX}[dBi] - PL - N[dBm] - I_m[dB]$	N: ruido térmico $I_m = implementation\ margin = 5$ [dB] G_{TX} : ganancia antena transmisora G_{RX} : ganancia de antena receptora
Ruido térmico (N)	$N[dBm] = 10 \cdot \log(T \cdot BW \cdot K_0) + Nf[dB] + 30$	$T = 290 K$ $K_0 = 1.38 \times 10^{-23} [J/K]$ Bw: ancho de banda en Hz Nf= figura del ruido del receptor

Tabla 24. Path Loss Exponent para diversos ambientes [23]

Ambiente	Path Loss Exponent (n)
Espacio libre	2
Microceldas urbanas	2.7 - 3.5
Macrocelas urbanas	3.7 - 6.5
Edificio de oficinas (mismo piso LOS)	1.6 - 3.5
Edificio de oficinas (múltiples pisos NLOS)	2 - 6
Tiendas	1.8 - 2.2
Fábricas/Visibilidad	1.6 - 3.3
Casa	3

Se llevara a cabo el análisis para tres tipos de ambientes

- a) Área urbana (microceldas urbanas) n=3.1
- b) Área de edificios sin línea de Vista (múltiples pisos) n=4
- c) Fábricas con visibilidad n=2.4

Se considerara la transmisión entre un único transmisor y un receptor, por tanto y sin perder generalidad se considerara que la interferencia y reflexiones (fading) y colisiones pueden despreciarse (no se considera por tanto CSMA/CA).

Se considera la potencia de transmisión establecida por el estándar 802.11g, y parámetros como *Implementation margin*:

$$P_{tx} = 40 [mW] = 16[dBm] [26]$$

$$I_m = 5 [dB]$$

$$Nf = 4 [dB]$$

$$BW = 20 [MHz]$$

$$L_C = 5 [dB]$$

Para las ganancias de las antenas, se analizan dos equipos de fabricantes comerciales; para el AP se usa el CiscoAironet 1300, en el cuál también se verifican los parámetros anteriores; y un equipo terminal, en este caso un teléfono Wireless compatible con dicho AP:

Cisco Aironet 1300 Outdoor AP [25]:

$$G_{RX} = 13 [dBi]$$

Cisco Unified Wireless IP Phone 7921G: [26]

$$G_{TX} = 2[dBi]$$

Se probará la validez del modelo de propagación tomando en consideración dos variables importantes para el cálculo; por un lado se tomará en cuenta la **sensibilidad del receptor**, que es la potencia mínima que debe detectar (Potencia recibida P_{RX}) para operar en un nivel adecuado para garantizar una tasa de transmisión. Éste parámetro se obtendrá de las hojas de especificaciones del AP que actúa como receptor [26]¹⁹.

Por otro lado, se tomará en cuenta el estudio realizado por Jim Geiger [27], en el que se propone el **valor de la SNR** para distintos niveles de asociación con el AP. En éste caso se hará el cálculo de la potencia recibida, se calculará también el alcance máximo para dichos parámetros y se contrastará con los que se ofrecen en las hojas de especificaciones

Cálculo para ambiente en Área urbana

Se calcula la longitud de onda para la frecuencia en la que se trabajará, que es 2.4×10^9 [Hz]

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8 \left[\frac{m}{s} \right]}{2.4 \times 10^9 [Hz]} = \mathbf{0.125 [m]} \dots (67)$$

Se calcula el parámetro *Path Loss Dependent of Distance* usando el resultado (1):

$$P_L(d_0) = 20 \log \left(\frac{4\pi(1[m])}{0.125[m]} \right) = \mathbf{40.046 [dB]} \dots (68)$$

¹⁹ Se decidió tomar en cuenta al AP como receptor pues la información que se proporciona en cuanto al alcance es más amplia para el teléfono, con la cual se podrá realizar una comparación más precisa.

Se obtiene el parámetro Path Loss (PL) usando el resultado (2), para el área urbana n toma valores entre 2.7 y 3.5, se toma por tanto un valor promedio $n=3.1$:

$$PL = P_L(d_0) + 10 \cdot n \cdot \log \left[\frac{d}{d_0} \right] = 40.046[dB] + 10(3.1) \log \left[\frac{d}{1m} \right] \dots (69)$$

Se obtiene el valor del ruido térmico:

$$\begin{aligned} N &= 10 \cdot \log(T \cdot BW \cdot K_0) + Nf[dB] + 30 \\ &= 10 \log \left(290[K] \cdot 20 \times 10^6 [Hz] \cdot 1.38 \times 10^{-23} \left[\frac{J}{K} \right] \right) + 4 [dB] + 30 \\ N &= -96.96[dBm] \dots (70) \end{aligned}$$

Una vez hechos los cálculos anteriores, se procederá a verificar la validez del modelo de propagación elegido tomando como referencia algunos de los valores obtenidos en las hojas de especificaciones de los equipos.

1. Sensibilidad del receptor como variable independiente

La relación señal a ruido para la potencia recibida más alta (54 Mbps) se obtiene sustituyendo (4) y el valor *Implementation margin*:

$$\begin{aligned} SNR &= P_{TX}[dBm] + G_{TX}[dBi] + G_{RX}[dBi] - Lc[dB] - PL - N[dBm] - I_m[dB] \\ &= P_{RX}[dB] - N[dBm] - I_m[dB] \end{aligned}$$

$$SNR[dB] = -72 [dBm] - (-96.96)[dBm] - 5[dB] = 24.96 [dB] \quad (71)$$

De la expresión para potencia recibida:

$$\begin{aligned} P_{RX}[dBm] &= EIRP[dBm] + G_{RX}[dBi] - PL[dB] = \\ &P_{TX}[dBm] + G_{TX}[dBi] - Lc[dB] + G_{RX}[dBi] - PL[dB] \end{aligned}$$

Sustituyendo los valores indicados, para el valor más alto de potencia (54 Mbps):

$$\begin{aligned} -72[dBm] &= \\ 16[dBm] + 2[dBi] - 5[dB] + 13[dBi] - \left(40.046[dB] + 10(3.1) \log \left[\frac{d}{1m} \right] \right) [dB] \end{aligned}$$

Despejando el valor de la distancia:

$$d = 71.80 [m] \approx 72[m] \quad (72)$$

Los resultados para los tres ambientes descritos son:

Tabla 25. Resultados de cobertura WiFi 1

SNR [dB]	Prx [dBm]	Tasa de transmisión [Mbps]	Área urbana d (n=3,1)	Edificios NLOS d (n=4)	Fábricas d (n=2,4)
1,96≈2	-90,00	6	273,38	77,36	1404,43
7,96≈ 8	-89	9	253,81	73,03	1275,95
10,96≈11	-86	12	203,11	61,45	956,83
12,96≈ 13	-84	18	175,08	54,76	789,77
15,96≈ 16	-81	24	140,10	46,08	592,24
19,96≈ 20	-77	36	104,09	36,60	403,49
23,96≈ 24	-73	48	77,34	29,07	274,89
24,96≈ 25	-72	54	71,80	27,45	249,75

De forma grafica, para el ambiente área urbana la relación entre SNR, modulación y distancia se muestra en la figura:

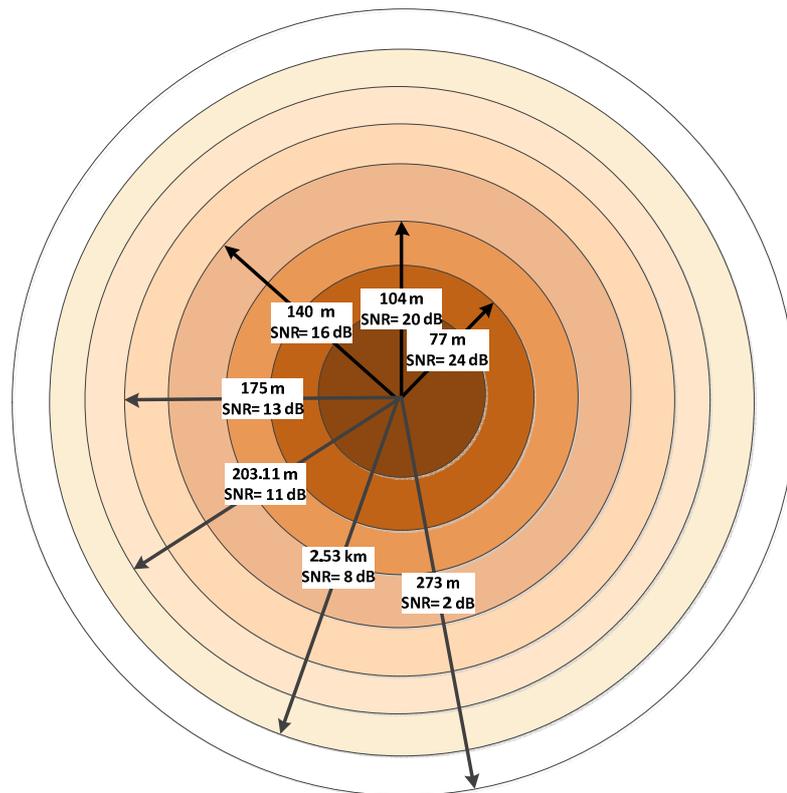


Figura 7.3. Cobertura de WiFi para escenario Urbano

De la tabla se observa que la relación señal a ruido obtenida tiene valores poco aceptables para servicios como voz que exigen una SNR de 25 dB, y aun incluso con los 20 dB para al menos, poder conectarse con el AP [27].

La cobertura que se obtiene utilizando los parámetros ya mencionados, es coherente en los casos a y b (áreas urbanas y edificios sin LOS), pues en la práctica se pueden verificar de forma empírica. Sin embargo, el resultado obtenido para el caso de fábricas (caso C) es muy grande en comparación con los datos reales, en los que la cobertura está muy limitada.

De acuerdo con las hojas de especificaciones para el transmisor (*Cisco Unified Wireless IP Phone 7921G*), se obtiene coberturas de 120 m para 54 Mbps y 220m a 6 Mbps [26]. Los resultados obtenidos para el caso de aéreas urbanas sí corresponden de forma aceptable con los datos proporcionados por el fabricante, sin embargo, para los casos b y c los rangos están muy lejanos.

En éste caso la diferencia puede deberse a que el fabricante no esta tomando en cuenta ciertos factores como la atenuación en función de distancia (*Path Loss*) ni el *Path Loss Exponet* que depende de un ambiente en particular; así como las ganancias de antenas, el *implementation margin* y demás factores atenuantes de la señal.

2. Relación señal a ruido SNR como variable independiente

De forma similar al caso anterior; se calculará ahora la potencia que se recibe (sensibilidad del receptor) y una vez obtenido este valor se procede a calcular la distancia máxima o alcance para cada escenario;

$$SNR = P_{RX} [dB] - N[dBm] - I_m[dB] \Rightarrow$$

$$P_{RX}[dBm] = SNR[dB] + N[dBm] + I_m[dB]$$

Sustituyendo valores para el valor más alto de SNR (40 dB):

$$P_{RX}[dBm] = SNR[dB] + N[dBm] + I_m[dB]$$

$$P_{RX}[dBm] = 40[dB] + (-96.96)[dBm] + 5[dB] = - 51.96 [dBm] \quad (73)$$

De esta forma se obtiene la distancia para cada uno de los ambientes deseados, en este caso se utiliza $n = 3.1$:

$$-51.96[dBm] = 16[dBm] + 2[dBi] - 5[dB] + 13[dBi] - \left(40.046[dB] + 10(3.1)\log\left[\frac{d}{1m}\right]\right)[dB]$$

Despejando el valor de la distancia:

$$d = 16.21 [m] \approx 16[m] \quad (74)$$

Los resultados para los tres ambientes descritos son:

Tabla 26. Resultados de cobertura WiFi 2

SNR [dB] ²⁰	Prx [dBm]	Tasa de transmisión [Mbps]	Área urbana d (n=3,1)	Edificios NLOS d (n=4)	Fábricas d (n=2,4)
5	-86,96	6	218,13	64,94	1049,14
10	-81,96	9	150,46	48,70	649,38
15	-76,96	12	103,78	36,52	401,95
25	-66,96	18	49,38	20,54	153,99
25	-66,96	24	49,38	20,54	153,99
25	-66,96	36	49,38	20,54	153,99
30	-61,96	48	34,06	15,40	95,32
40	-51,96	54	16,21	8,66	36,52

Se obtiene resultados muy similares que en el punto número 1, de igual forma, el que más se aproxima a los valores proporcionados por el fabricante es el caso de área urbana; en cuanto a los dos casos restantes para Área de edificios NLOS los resultados son aproximados a los que se obtienen en la práctica.

Para ambientes especificados como fábricas los primeros valores (6 a 12 Mbps con 1.05 Km, 650 m 401 m) no corresponden a los obtenidos en la realidad, pues la cobertura de WiFi es en verdad limitada y difícilmente se alcanzan cientos de metros de cobertura; sin embargo se acercan a los especificados en el AP CiscoAironet 1300 usado como AP Outdoor (105 m a 54 Mbps y 430 m a 11 Mbps).

²⁰ Se toman del artículo [27], se repite para las modulaciones intermedias.

7.4 CONCLUSIONES

Después de analizar los resultados obtenidos en el presente estudio, fue posible comprobar que WiMAX tiene una cobertura muy superior a la de las redes de área local pues está en el orden de km (el máximo obtenido en el estudio fue cercano a 7 km); mientras que WiFi lo hace en el orden de metros (hasta 200 m aproximadamente).

Se pudo comprobar que para los ambientes en los que hay más obstrucciones como es el caso de ambientes urbanos y con alta densidad de árboles, el valor del Path Loss aumenta, ocasionando una disminución de la cobertura respecto de ambientes planos donde los obstáculos no generan grandes pérdidas a la señal por esparcimiento (fading), absorción o atenuación). **Para WiMAX se obtuvo una cobertura de hasta 3km y para WiFi de hasta 280m** como máximo en este tipo de ambiente.

Lo mismo ocurre para los ambientes sin línea de vista. En el caso de WiFi, la cobertura obtenida fue mayor que para ambientes urbanos obteniéndose resultados máximos de **78 m frente a los 270 m** ya mencionados para el ambiente urbano. Para WiMAX, este valor aumenta respecto del área con baja densidad de árboles, pues la densidad de éstos disminuye, llegando a una cobertura **de 5.13 km**.

Para los ambientes con pocas obstrucciones, la cobertura aumenta considerablemente en comparación con los tipos de terreno anteriores, en WiFi alcanza hasta 1.5 Km de forma teórica, lo cual en la práctica no es muy congruente, pues aunque el terreno contenga pocas obstrucciones, difícilmente se alcanzan cientos de metros como máxima cobertura. Para el caso de WiMAX, el valor máximo está en el orden de los 6.8 km., valor que resulta muy atractivo tomando en cuenta los resultados de WiFi y las ventajas que WiMAX ofrece.