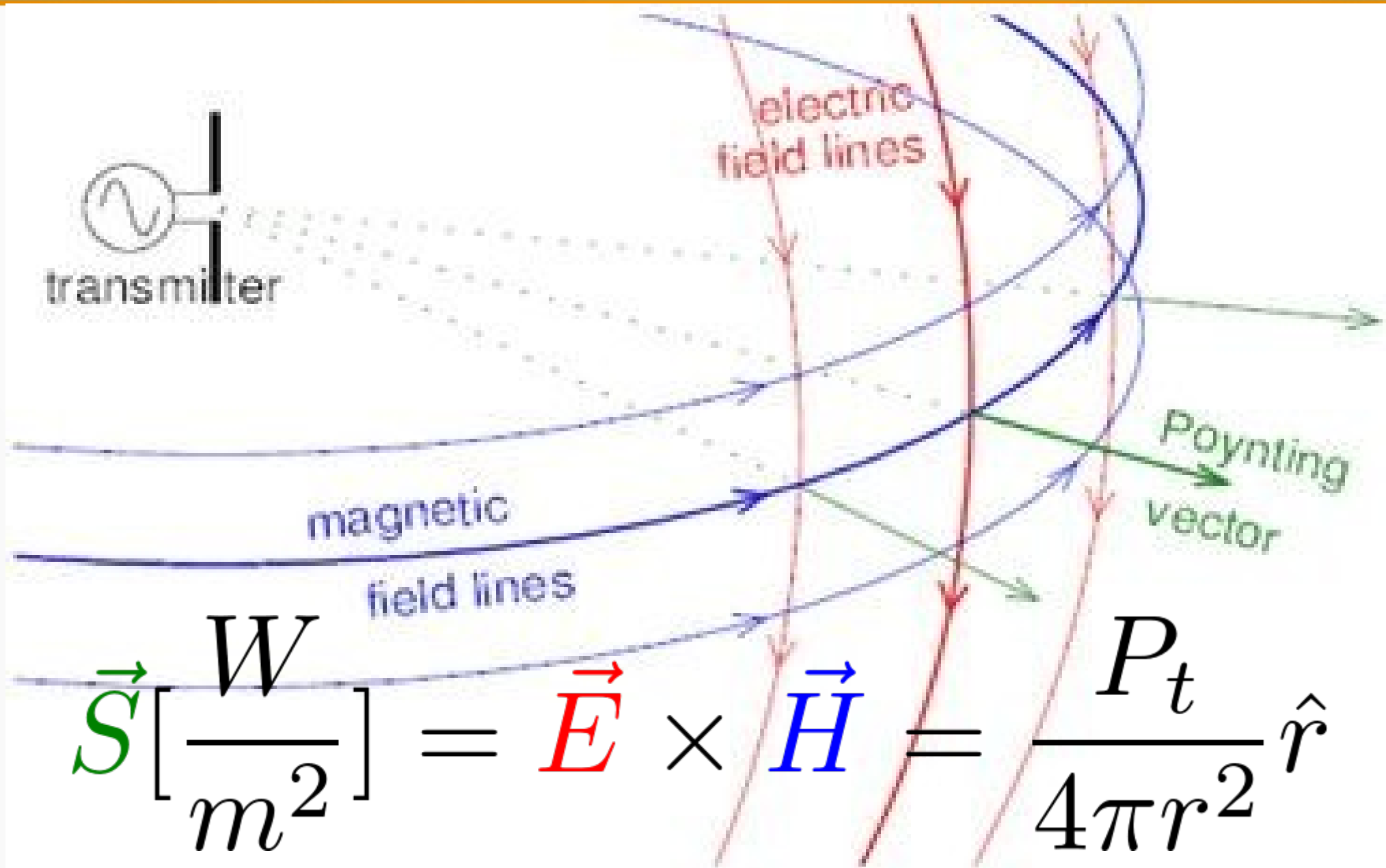


Propagación en Microondas

Por José Luis Paineira, LU1ACP

Densidad de potencia



Apertura de una antena

Hay dos tipos fundamentales de antenas. Las de hilo (como un dipolo) y las de apertura (como una parábola). Estas últimas son las que se emplean habitualmente en microondas.

La apertura de una antena es la superficie efectiva que concentra la energía recibida. Combinada con la fórmula de densidad de potencia nos permite estimar la energía recibida.

$$G = \frac{4\pi A_p \eta}{\lambda^2}$$



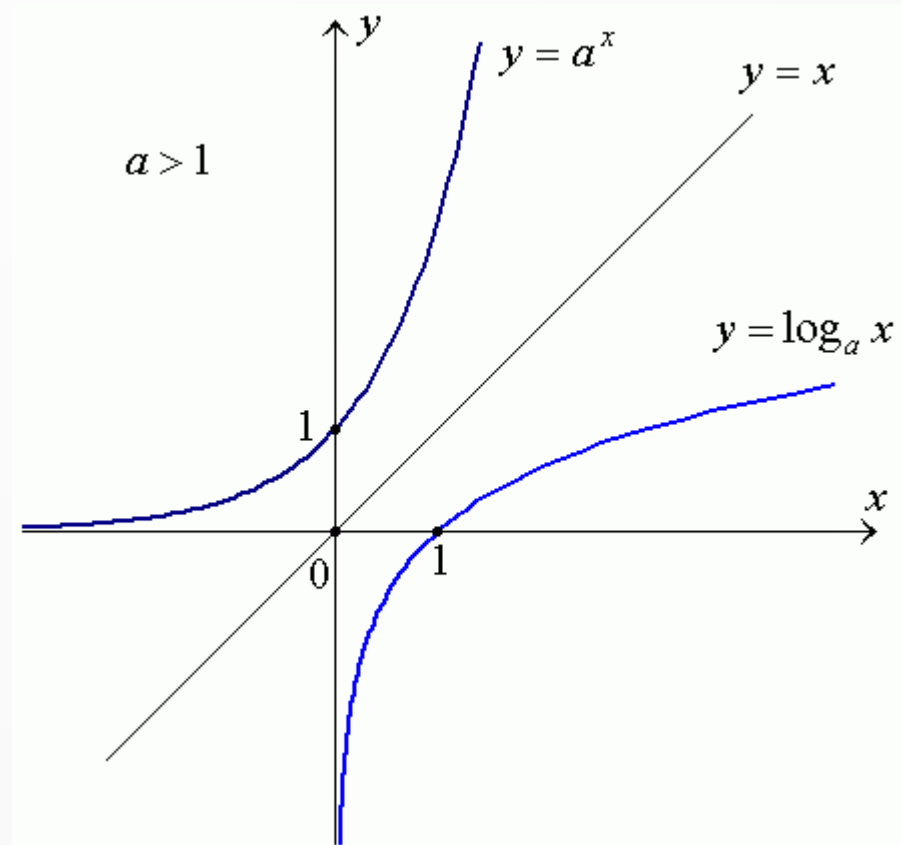
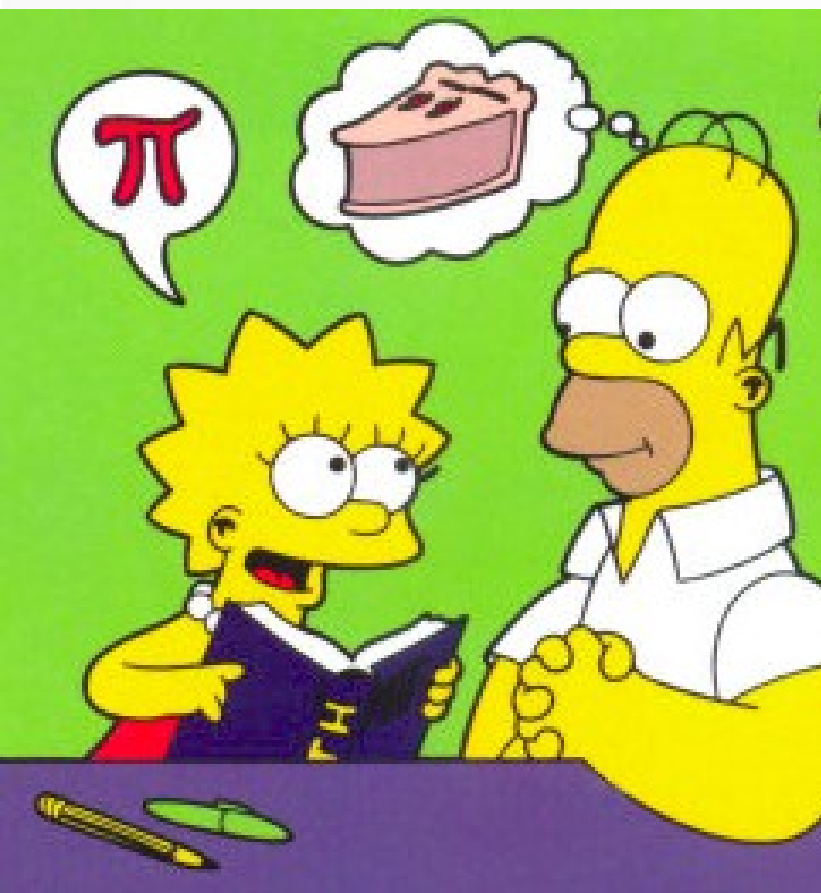
Ec. de transmisión de Friis

Permite combinar las dos expresiones anteriores (densidad de potencia y ganancia de antena) en una única que resume el conjunto:

$$L = G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$$

Logaritmos: Son muy útiles!

$$\log_b a = x \iff b^x = a$$



Atenuación por espacio libre

LA FÓRMULA BÁSICA (PATH LOSS):

$$P_L(\text{dB}) = 32,4 + 20 \log(\text{MHz}) + 20 \log(\text{Km})$$

Agregando a esta fórmula la potencia del transmisor, ganancia de antenas transmisora y receptora y umbral de ruido (que veremos más adelante) obtendremos el **link budget**, esto es, el margen de decibeles entre el nivel de señal y el ruido de fondo. Asociado a este margen de S/N tendremos una idea de la capacidad del canal, según el modelo de equipo que estemos utilizando.

Ruido

- El ruido térmico es producto de la temperatura

$$N = k \cdot T_0 \cdot B \cdot F$$

Ejemplo:

$$N = 1,38 \cdot 10^{-23} J/K \cdot 294,15 K \cdot 20 \cdot 10^6 \text{Hz}$$

$$N \approx -130,9 \text{dB}$$

En la práctica, utilizaremos el noise floor (umbral de ruido), que está indicado en el equipo receptor. Es la suma de todos los ruidos de diversos orígenes (térmico, atmosférico, cósmico, etc).

Teorema de Shannon-Hartley

$$C < W \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$

$$\frac{S}{N} = \frac{E_b}{N_0} \frac{f_b}{W}$$

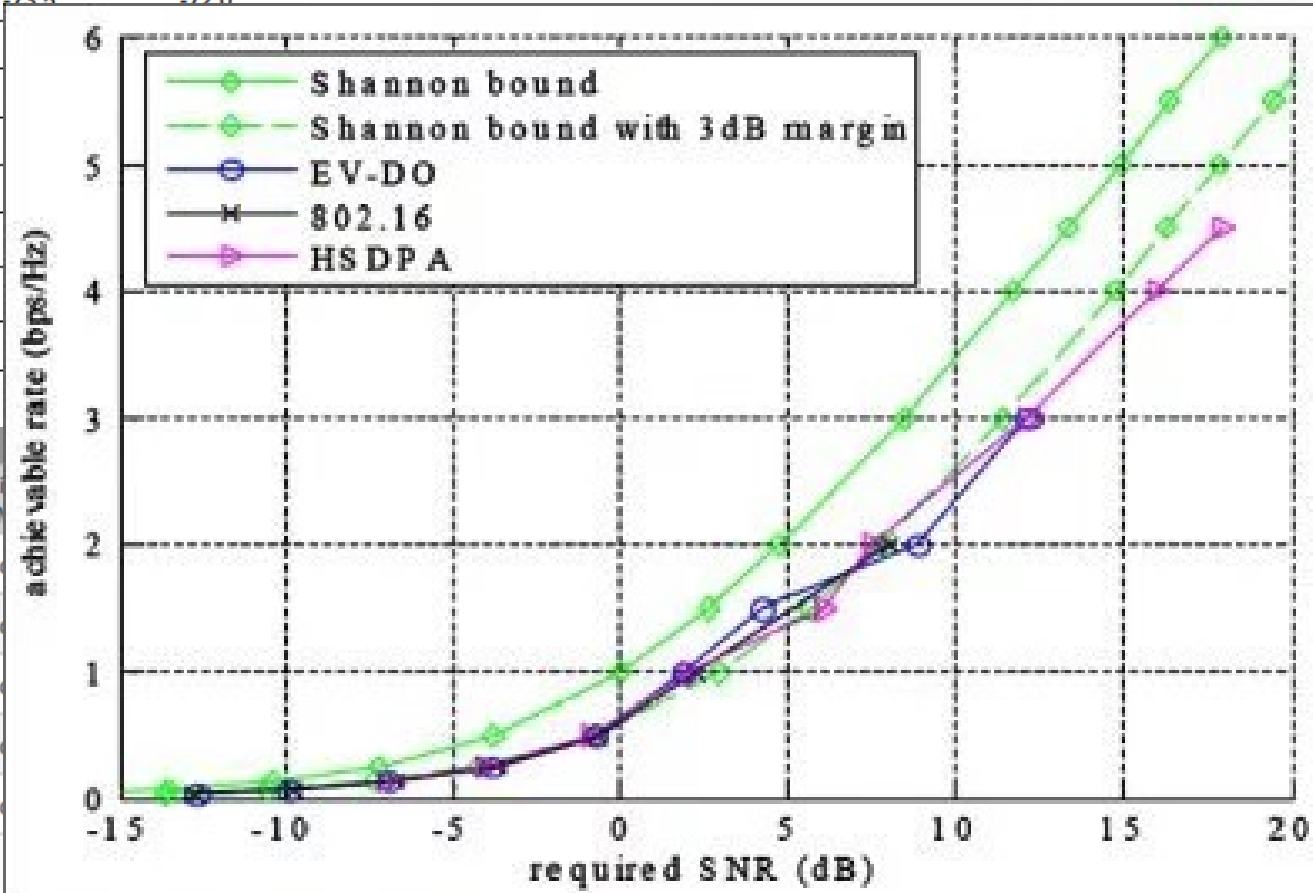
Capacidad de un canal

Receiver Threshold - 24GHz HP Microwave Radio

Table 60 Receiver threshold -- 24 GHz HP Microwave Radio

Profile	Modulation	Frequency (MHz)					
		3.5	7	14	28	40	56
0	QPSK	-94.5	-91.5	-88.5	-85.5	-84.0	-82.0
1	8 PSK	-	-85.5	-82.5	-81.0	-79.0	-78.0
2	16 QAM	-87.5	-85.5	-81.5	-79.0	-77.5	-75.5
3	32 QAM	-84.5	-81.5	-78.5	-75.5	-73.5	-72.0
4	64 QAM	-81.0	-78.5	-75.5	-72.5	-	-
5	128 QAM	-77.5	-75.5	-72.0	-69.0	-	-
6	256 QAM	-74.5	-72.0	-69.0	-66.0	-	-
7	512 QAM	-	-70.0	-66.5	-64.0	-	-
8	1024 QAM (strong FEC)	-	-66.5	-63.5	-61.0	-	-
9	1024 QAM (light FEC)	-	-65.5	-63.0	-60.0	-	-
10	2048 QAM	-	-	-	-56.5	-	-

AF-5X Receive Sensitivity						
Rate	Modulation	Sensitivity (10 MHz)	Sensitivity (20 MHz)	Sensitivity (30 MHz)	Sensitivity (40 MHz)	Sensitivity (50 MHz)
8x	256QAM MIMO	-66 dBm	-64 dBm	-62 dBm	-61 dBm	-60 dBm
6x	64QAM MIMO	-74 dBm	-71 dBm	-69 dBm	-68 dBm	-67 dBm
4x	16QAM MIMO	-81 dBm	-78 dBm	-76 dBm	-75 dBm	-74 dBm
2x	QPSK MIMO	-88 dBm	-85 dBm	-83 dBm	-82 dBm	-81 dBm
1x	½ Rate QPSK xRT	-90 dBm	-87 dBm	-85 dBm	-84 dBm	-83 dBm



Reglamentación

- Ordenamiento del espectro
- ITU
- CABFRA
- Sistemas multicanales digitales
- Banda Ancha en Modalidad Compartida

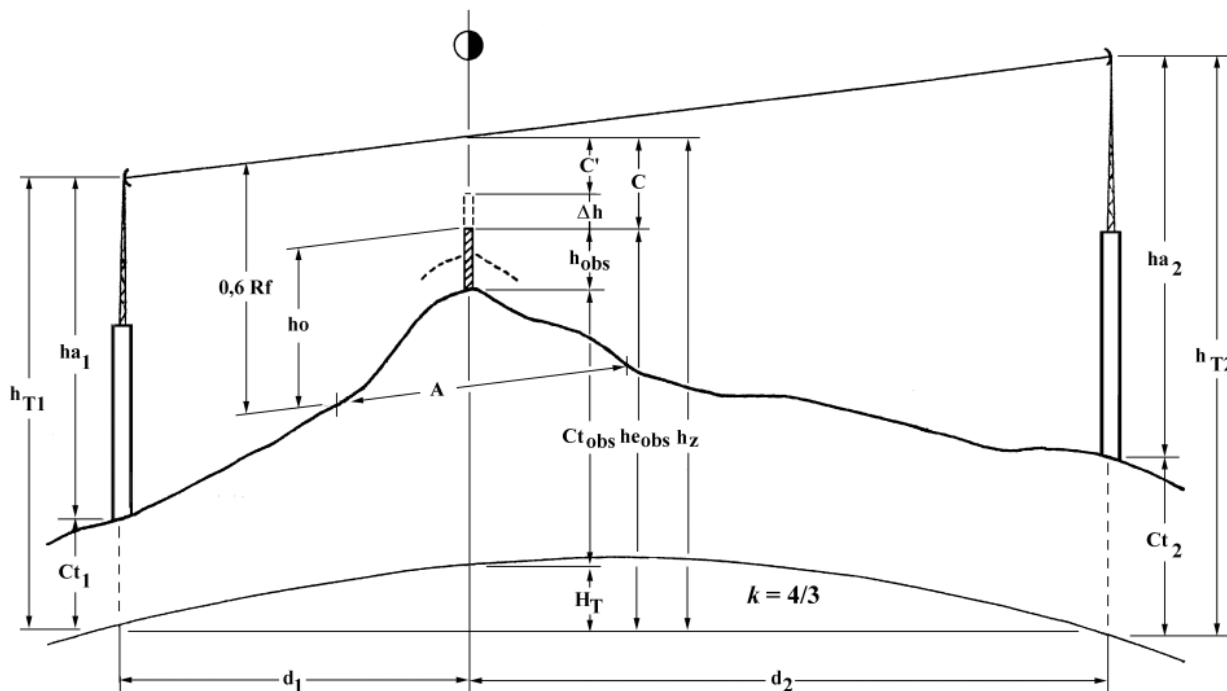
Bandas “no licenciadas”

SISTEMAS DE BANDA ANCHA EN MODALIDAD COMPARTIDA

USOS	TECNOLOGÍAS	BANDAS DE FRECUENCIAS					
		902 a 928 MHz	2400 a 2483,5 MHz	5150 a 5250 MHz	5250 a 5350 MHz	5470 a 5600 MHz 5650 a 5725 MHz	5725 a 5850 MHz
USO PRIVADO	SEE	Res. SC 302/1998 Res.CNT 3102/1992	Res. SC 302/1998	-----	-----	-----	Res. SC 302/1998 Res. CNT 3102/1992
	OFDM (Técnicas distintas de SEE)	Res. SC 226/2008 Res SC 127/2012	Res. SC 213/2004	Res. SC 127/2012	Res. SC 288/2002 (PaM)	Res. SC 226/2008 Res. SC 127/2012	Res. SC 288/2002 (5725 MHz a 5825 MHz) (PaP)
USO PRESTADOR	SEE	-----	Res. SC 463/2001 Res. SC 264/2004	-----	Res. SC 127/2012	Res. SC 127/2012	Res. SC 463/2001 Res. SC 264/2004
	OFDM (Técnicas distintas de SEE)	-----	Res. SC 213/2004	-----	Res. SC 127/2012	Res. SC 127/2012	Res. SC 261/2005

Bandas Licenciadas

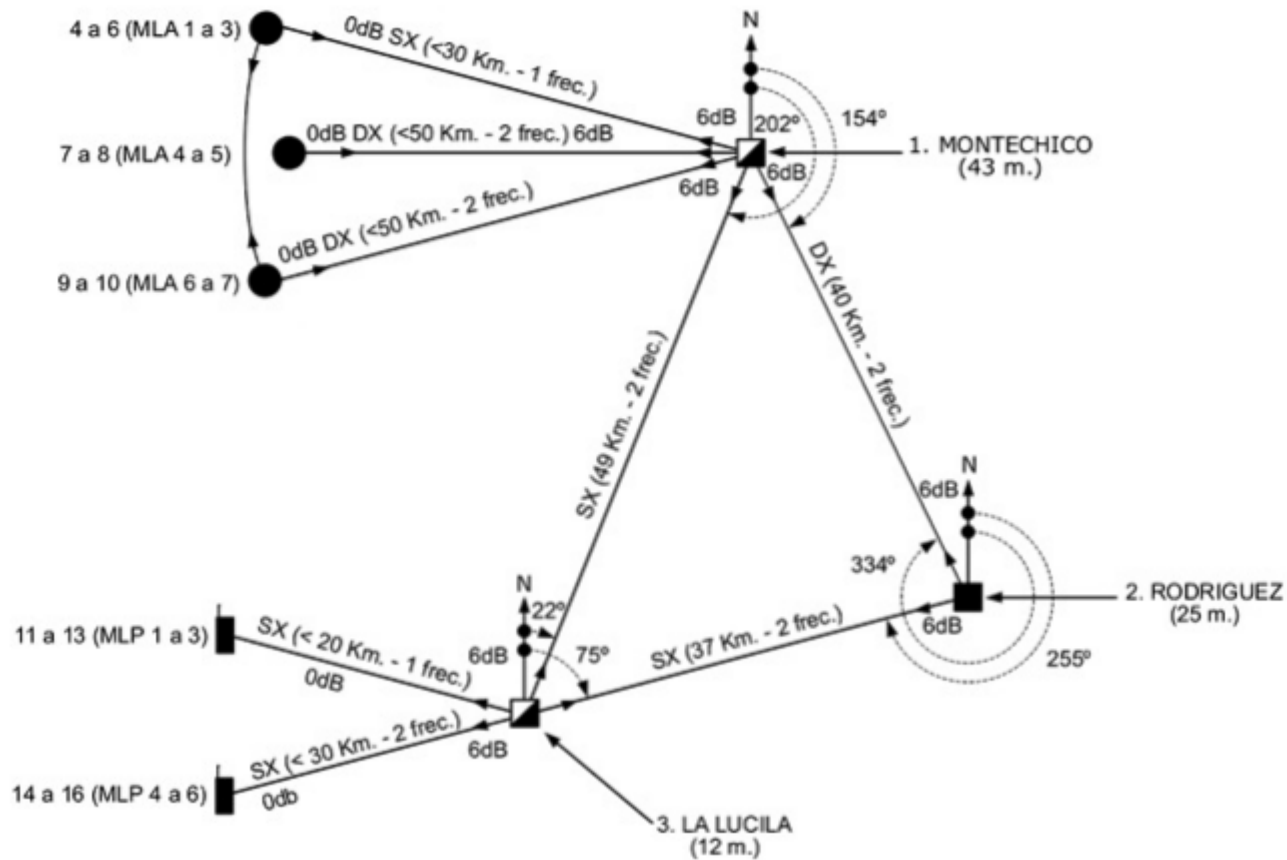
- Sistemas Multicanales Digitales
- Otros sistemas del servicio fijo



Parámetros que Caracterizan a la Geometría del Trayecto del Radioenlace

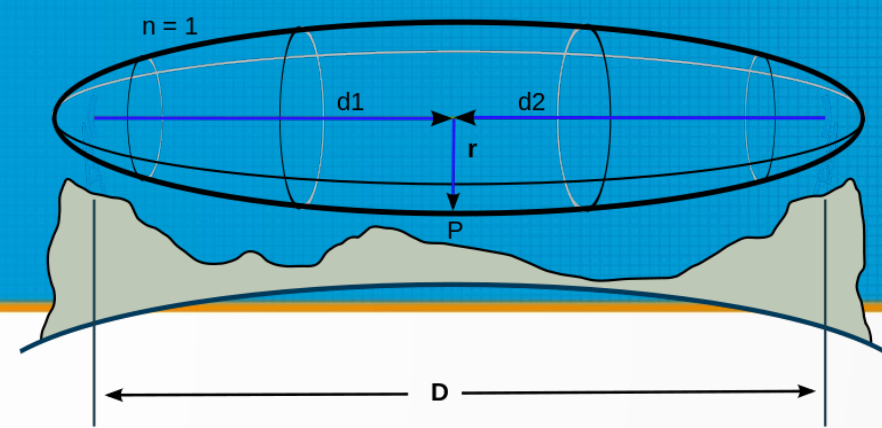
ANEXO II: PLANILLA DE CÁLCULO DE RADIOENLACE INTERFERENTE PARA SISTEMAS DEL SERVICIO FIJO QUE OPERAN EN FRECUENCIA SUPERIORES A 1000 MHz					CÓDIGOS NUMÉRICOS (para uso exclusivo de la CNC)				
Í T E M	Representante Técnico Lugar y Fecha Firma y Sello (Proyectista)		S Í M B O L O	U N I D A D	NOMBRE DE LAS ESTACIONES				
					ESTACIÓN TX (Interferente)		ESTACIÓN RX (Interferida)		
1	Capacidad / Tipo de modulación		n	Can.Tel.	*		*		
2	Coordenadas geográficas	Latitud sur (S)	Lat	° ' "	*	*	*	*	*
		Longitud oeste (W)	Lon	° ' "	*	*	*	*	*
3	Acimut enlace interferente		Aci	°					
4	Acimut enlace útil		Acu	°	*		*		
5	Apartamiento con respecto a la máxima radiación		β	°					
6	Longitud del enlace interferente		L	Km					
7	Frecuencia		F	MHz	*		*		
8	Atenuación espacio libre		Ael	dB					
9	Atenuación Alimentadores		Aa	dB	*		*		
10	Pérdida en Filtros y Conectores		Ac	dB	*		*		
11	Gainancia de Antena	Polarización (H o V)	G	dBi			*		

Bandas Licenciadas

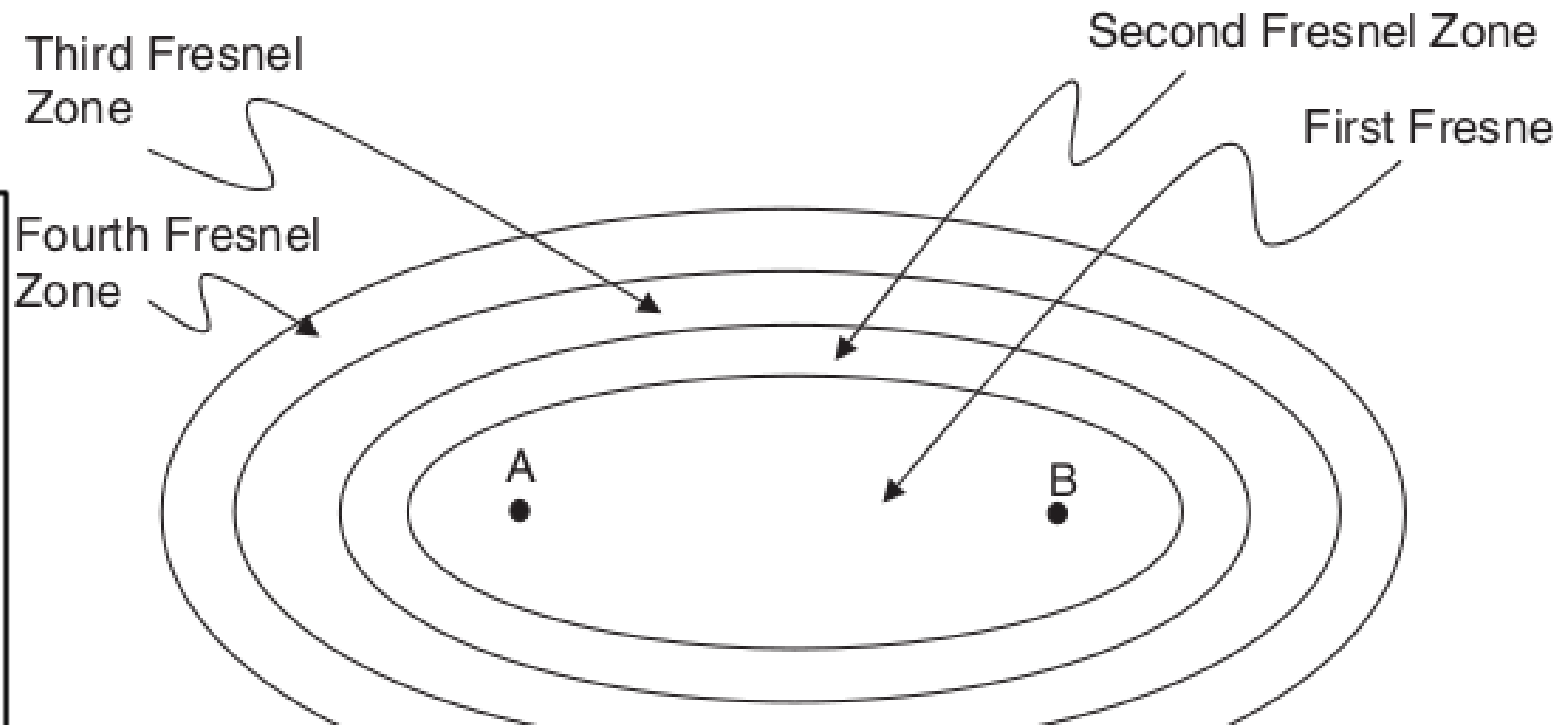
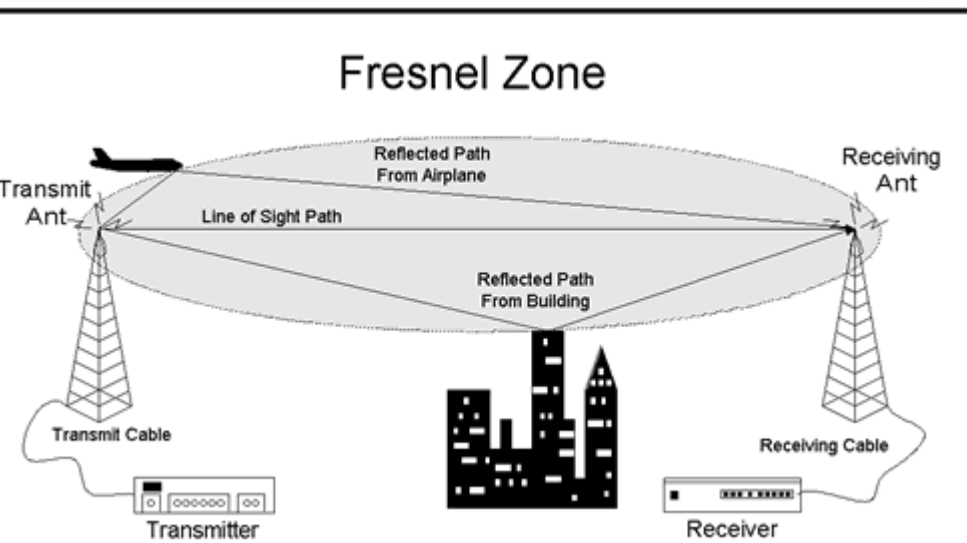


Zonas de Fresnel

- Es un efecto de difracción (ppio de Huygens)
- Zonas impares provocan interferencia constructiva
- Zonas pares provocan interferencia destructiva
- Criterio de obstrucción máxima F1: entre 20% y 40%



$$r_{fr}[m] = 17,31 \cdot \frac{Km}{4 \cdot f_{ghz}}$$



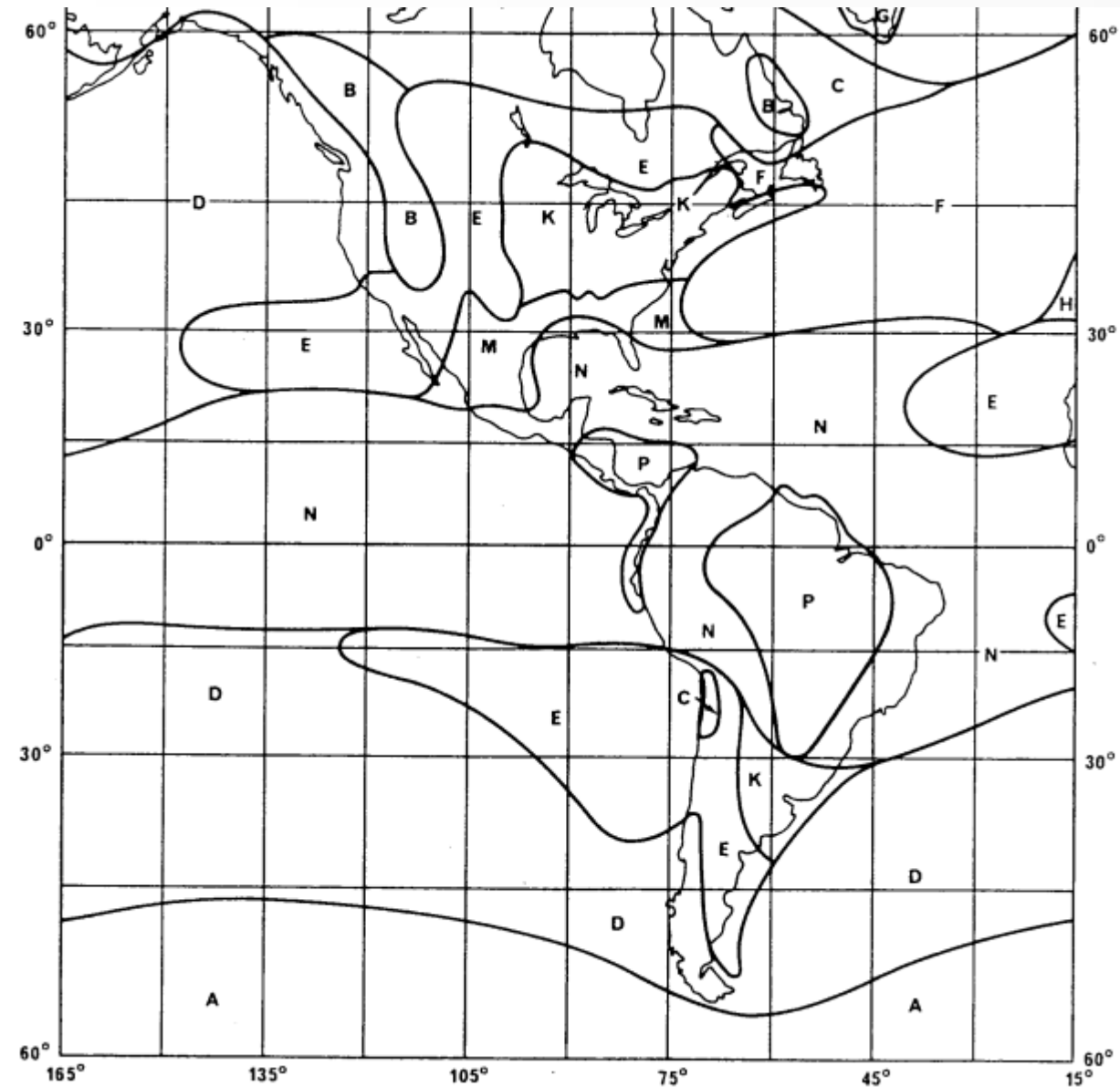
Atenuación por lluvia

Es notorio a partir de 10 GHz.

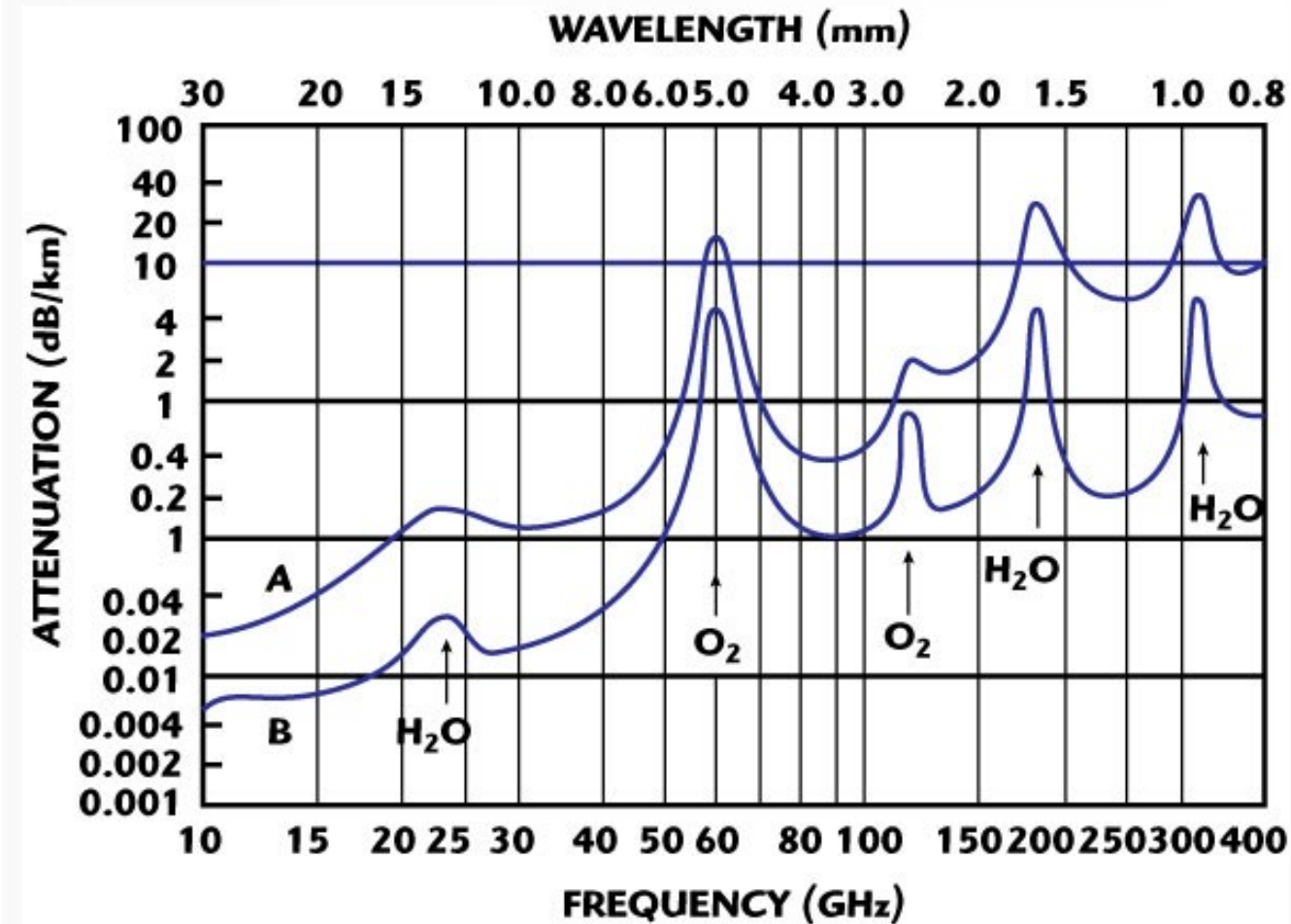
Para el modelo de propagación ITU 530, se toma como parámetro la zona hidrometeorológica correspondiente indicada en la recomendación UIT-R P.837-1.

Intensidad de la lluvia excedida (mm/h) (Véanse las figs. 1 a 3)

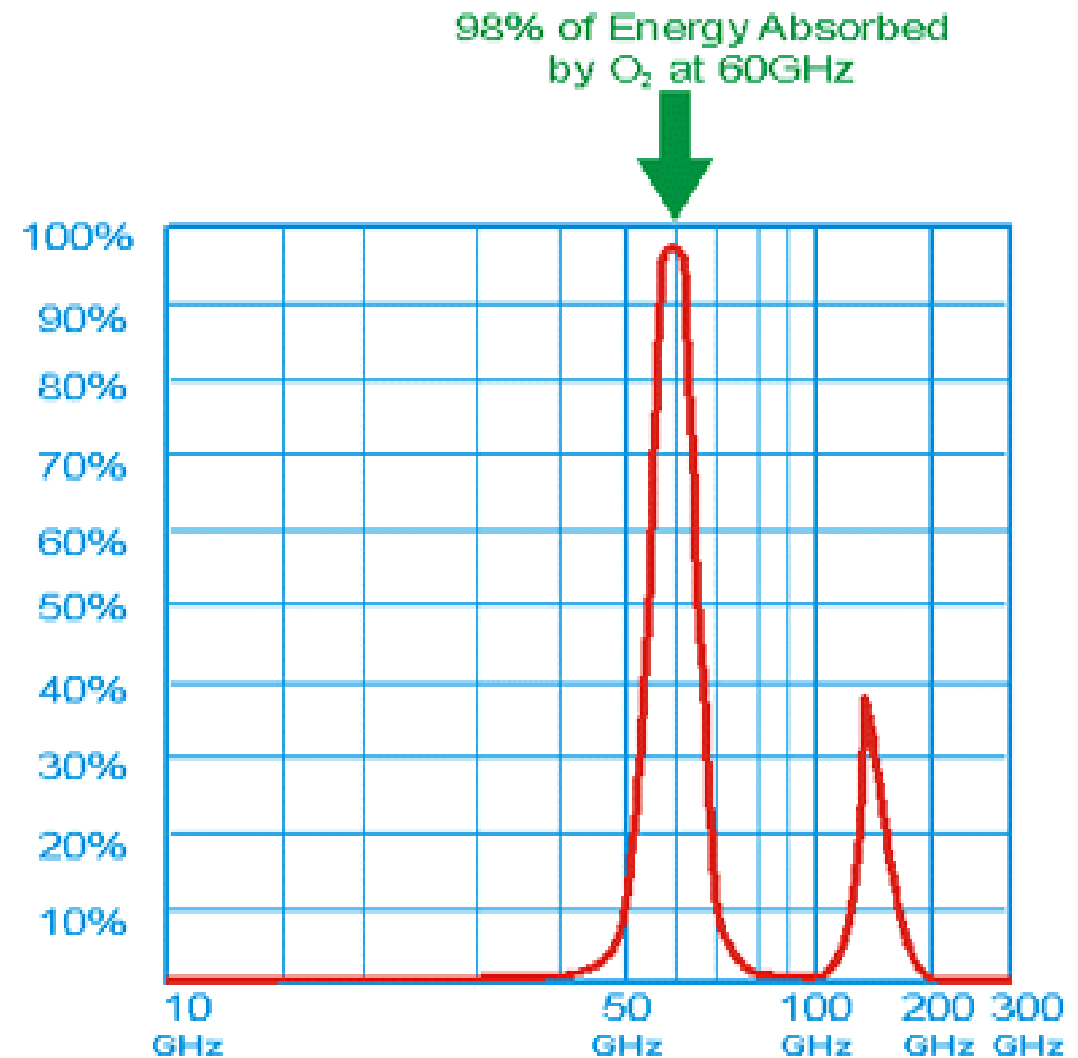
Porcentaje de tiempo (%)	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M
1,0	<0,1	0,5	0,7	2,1	0,6	1,7	3	2	8	1,5	2	4
0,3	0,8	2	2,8	4,5	2,4	4,5	7	4	13	4,2	7	11
0,1	2	3	5	8	6	8	12	10	20	12	15	22
0,03	5	6	9	13	12	15	20	18	28	23	33	40
0,01	8	12	15	19	22	28	30	32	35	42	60	63
0,003	14	21	26	29	41	54	45	55	45	70	105	95
0,001	22	32	42	42	70	78	65	83	55	100	150	120



Atenuación atmosférica



Average atmospheric absorption of MMWs: (A) Sea Level: $T = 20^{\circ}\text{C}$, $P = 760\text{mm}$, $H_2O = 7.5 \text{ g/m}^3$ (B) 4 km altitude: $T = 0^{\circ}\text{C}$ $H_2O = 1 \text{ g/m}^3$



Modelos de propagación

- ITU-R P.530
- Barnett-Vigants (año 1975, aún bastante utilizado en EEUU)
- Okumura-Hata (particularmente útil para redes móviles y áreas urbanas)
- Longley-Rice aka “ITM” (20 MHz a 20 GHz)
- Y la lista sigue...

Model	Outage Probability (%)
ITU-R P.530-8 (K=0.0318)	0.027%
ITU-R P.530-12 (K=0.0318)	0.024%
VIGANTS plain & average terrain	0.363%
VIGANTS mountain & dry climate	0.091%
VIGANTS over water	1.451%
VIGANTS average climate (roughness factor $\omega=105.3$ ft)	0.138%
VIGANTS dry climate (roughness factor $\omega=105.3$ ft)	0.069%
VIGANTS coastal area (roughness factor $\omega=105.3$ ft)	0.276 %
MORITA over mountains	0.011%
MORITA over plains	0.027%
MORITA over sea or coastal region (mean h=114.2 m)	0.060%
THIS LINK (measurements over the year)	0.05%

Aplicaciones para cálculo

- Radiomobile de Roger Coudé, VE2DBE
- Pathloss
- LINKPlanner de Motorola
- AirLink de Ubiquiti Networks
- SPLAT!

Radiomobile

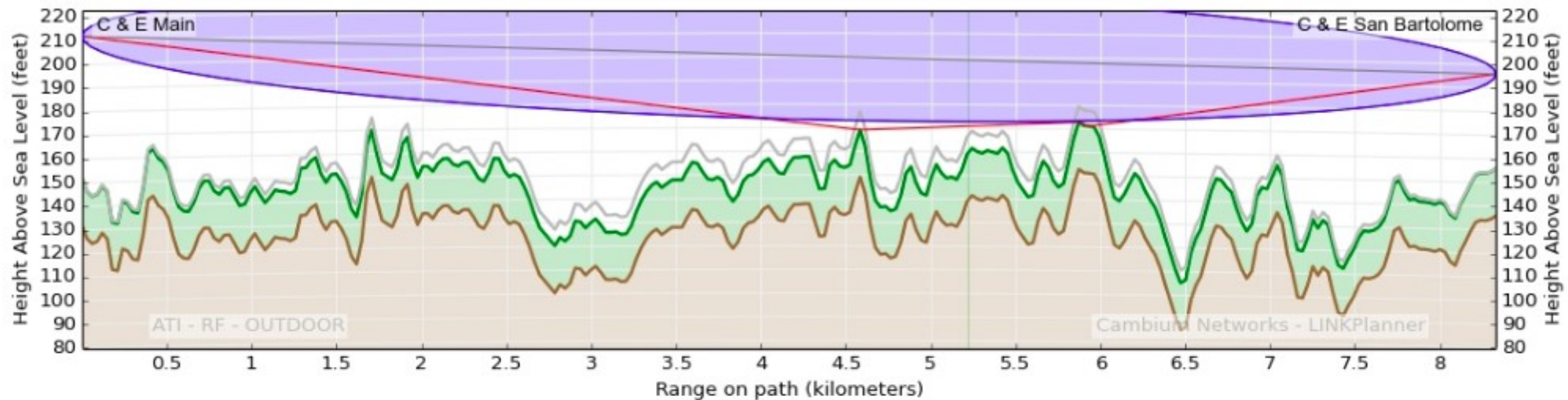
- Autor: Roger Coudé, VE2DBE
- Versión gratuita para descargar, u online.



LinkPlanner de Motorola

Equipment: Band = '5.4 GHz' / Product = 'PTP650' / Capacity = 'Full (Up to 450 Mbps)' / Regulation = ...

Profile: 8.3 kilometers, Line-of-Sight



Configuration at Each End

C E Main

Cambium Networks Integrated Dual Polar Antenna (23.0dBi)

Antenna Height : 80 feet (Max height at site is 45.0 ft)

Maximum EIRP : 50.0 dBm ☐ User limit

Maximum Power : 27.0 dBm ☐ User limit

☐ Interference :

MAC Address :

C E San Bartolome

Cambium Networks Integrated Dual Polar Antenna (23.0dBi)

Antenna Height : 60 feet (Max height at site is 10.0 ft)

Maximum EIRP : 50.0 dBm ☐ User limit

Maximum Power : 27.0 dBm ☐ User limit

☐ Interference :

MAC Address :

Performance Summary (ITU-R)

Performance to C E Main

Predicted Receive Power : -53 dBm $\pm$ 5 dB

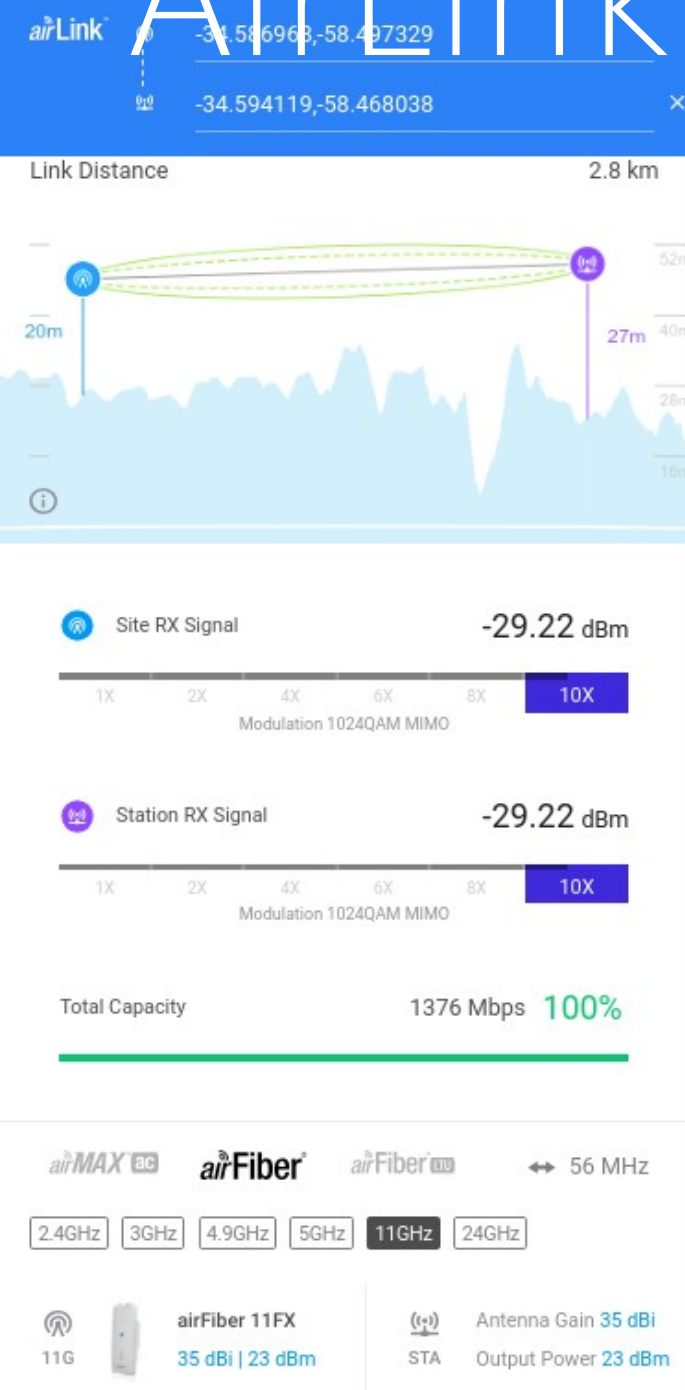
Link Summary

Aggregate IP Throughput : 197.11 Mbps

Performance to C E San Bartolome

Predicted Receive Power : -53 dBm $\pm$ 5 dB

AirLink



- <https://link.ubnt.com>
- Gratuito sin necesidad de registrarse
- Específico para equipos Ubiquiti

Bibliografía

Rec. UIT-R P.530 “Datos de propagación y métodos de predicción necesarios para el diseño de sistemas terrenales con visibilidad directa”.

Rec. UIT-R P.676 “Atenuación debida a los gases atmosféricos”

Rec. UIT-R PN.837.1 “Características de la precipitación para establecer modelos de propagación”

John S. Seybold, “Introduction to RF propagation”, Addison-Wesley 2005.

Robert Crane “Propagation Handbook for Wireless Communication System Design”

Temas que no entraron

- Otras formas de atenuación (por dispersión/scattering, reflexión etc)
- Difracción filo cuchillo
- Refracción. Factor K
- Beamforming
- Rayleigh fading
- Multipath - Fading - Diversity
- Atenuación por vegetación y follaje
- Algoritmos de selección de tasa de modulación
- Corrección de errores
- MIMO
- Full-Duplex vs Half-Duplex
- TMDA vs CDMA
- Spread Spectrum (FHSS / DSSS) y OFDM