

Sistemas de Radiodifusión

Máster Universitario en Ingeniería de Telecomunicación
Sistemas y servicios de transmisión por radio

INDICE

- 1. Introducción
- 2. Sistema DVB-T.
- 3. Redes de Frecuencia Única.
- 4. Modelo de propagación UIT-R P. 1546.

INTRODUCCIÓN (I)

- Entendemos por **servicios de radiodifusión** como aquellos que van destinados al público en general:
 - Radiodifusión sonora
 - Televisión
- La radio sigue siendo fundamentalmente **analógica** aunque existen estándares y pruebas de radio digital.
- Estándares digitales:
 - DAB (Digital Audio Broadcasting)
 - DRM (Digital Radio Mondiale)
 - IBOC (In-Band On-Channel, EEUU)

INTRODUCCIÓN (II)

- Sistemas analógicos: AM y FM
- **Sistemas de modulación en amplitud AM:**
 - Bandas LF, MF, HF (por debajo de 30 MHz)
 - Ancho de banda base $BW = 4$ KHz
 - Canales de RF de 9 KHz ó 4,5 KHz (modulación BLU)
 - Grandes coberturas con gran potencia (cientos de KW)
 - Mecanismos de propagación: onda de superficie (esporádicamente ionosférica lo cual es causa de interferencias)

INTRODUCCIÓN (III)

- **Sistemas de modulación en frecuencia FM**
 - VHF (87.5-108 MHz)
 - Ancho de banda base $BW=15$ KHz, $\Delta f=75$ KHz
 - Canalización en RF a pasos de 100 KHz

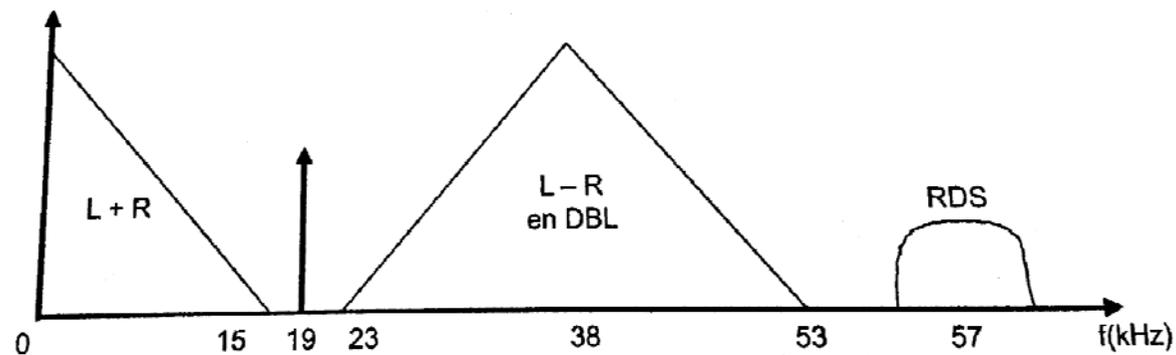


Figura 8.1.

- Ancho de banda FM: 300 KHz
- Deben separarse 3 canales las emisoras cercanas.

INTRODUCCIÓN (IV)

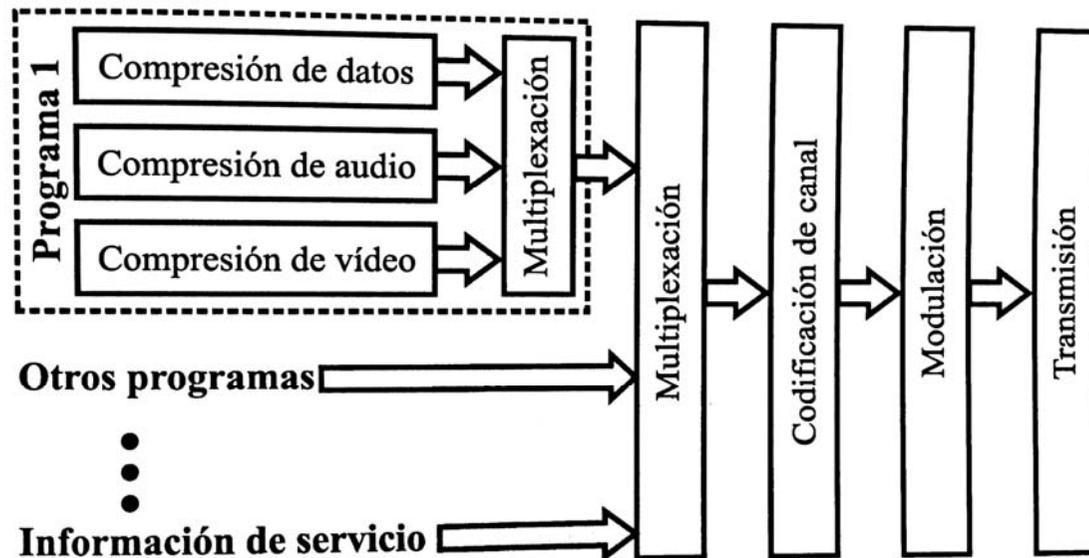
- **Sistemas de difusión de televisión: El estándar DVB**
 - DVB-T (Digital Video Broadcasting- Terrestrial)
 - Es el estándar imperante en Europa, pueden utilizarse bandas en VHF y en UHF, con canales de 7 y 8 MHz respectivamente. Las bandas y canalizaciones son las que utilizaban los sistemas analógicos anteriormente.
 - Sistema DVB-H (Handheld). Modificación del anterior para receptores portátiles.
 - Sistema DVB-S (Satellite) Utiliza fundamentalmente banda Ku.
 - DVB-T2. Es la evolución del sistema terrenal.

INTRODUCCIÓN (V)

- Características generales de los sistemas DVB
 - Transmisión de múltiples programas de TV y radio, así como datos.
 - Utiliza codificación de fuente y tramas basadas en los estándares MPEG2 y MPEG4.
 - Uso de técnicas de codificación de canal y entrelazado
 - Modulación C-OFDM en las redes terrenales y de portadora única en satélite.
 - Alta eficiencia espectral, muy superior a las antiguas redes analógicas.

Televisión digital de difusión terrena DVD-T (I)

- El procesamiento de la señal para su transmisión sigue los pasos siguientes
 - Codificación de audio, video y datos para cada canal y multiplexión de canal según el estándar MPEG-2
 - Varios multiplex de programas se vuelven a multiplexar para crear el flujo de transporte MPEG-TS (MPEG Transport Stream).
 - Codificación de canal
 - Modulación OFDM y transmisión



Televisión digital de difusión terrena DVD-T (II)

▪ Codificación de fuente:

- Para las señales de video la frecuencia de muestreo es de 13,5 MHz
- Lo más común es digitalizar por separado la señal de luminancia y las dos de crominancia, éstas a 6,75 MHz.
- Si digitalizamos con 10 bit/muestra obtenemos una tasa binaria resultante de $R=(13,5+2 \times 6,75) \times 10 = 270$ Mbit/s.
- La misión del códec MPEG es reducir esa tasa considerablemente aprovechando las redundancias de información tanto en el dominio del tiempo como en el de la frecuencia.

▪ Multiplexación y codificación de canal:

- Las tramas de transporte se componen de 188 bytes (uno de ellos de sincronización)
- Se realiza una aleatorización multiplicando los bytes de datos por una secuencia pseudoaleatoria.
- La codificación de canal se realiza en **dos fases**:
 - **Codificación exterior**: codificación Red-Solomon con 16 bytes de redundancia, a continuación se realiza un **primer entrelazado**.
 - **Codificación interior**: se aplica un código convolucional de tasa $\frac{1}{2}$ a nivel de bit. Por cada bit añadimos uno de redundancia. No obstante mediante la técnica de perforado se pueden obtener códigos de tasas mayores a partir del anterior: $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{5}{6}$ y $\frac{7}{8}$.
- A continuación se procede a un **segundo entrelazado**.

Televisión digital de difusión terrena DVD-T (IV)

▪ Modulación OFDM:

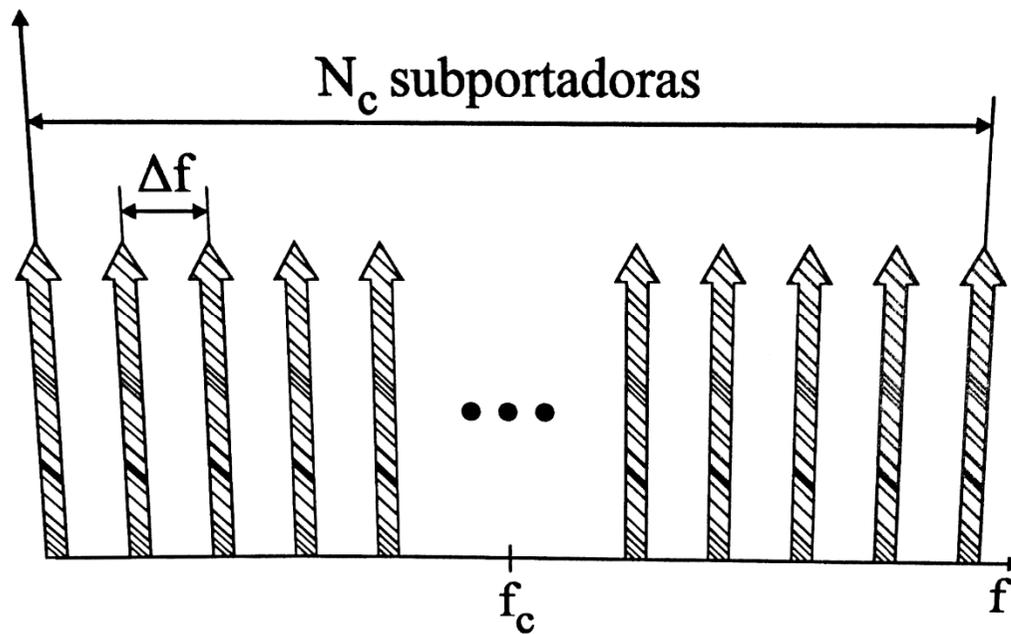
- Los datos codificados se modulan en QPSK, 16-QAM ó 64-QAM.
- En DVB-T se definen dos modos de funcionamiento 2k y 8K, en función del número de subportadoras de la modulación OFDM, 1705 ó 6817.
- Cada subportadora se modula con una tasa binaria baja, de forma que la duración del símbolo sea mayor que la **dispersión temporal del canal**, alternativamente se consigue que el subcanal asociado a cada subportadora sea inferior al **ancho de banda de coherencia del canal**.
- Dependiendo del ancho de banda del canal: 6,7 u 8 MHz, se definen los tiempos útiles de símbolo y la separación entre portadoras:

Parámetro	Modo 2K			Modo 8K		
	6	7	8	6	7	8
Ancho banda canal TV (MHz)	6	7	8	6	7	8
Tiempo útil, T_u (μ s)	298	256	224	1194	1024	896
Espaciado portadoras, Δf (Hz)	3348	3906	4464	837	977	1116
Ancho banda DVB-T, BW (MHz)	5.71	6.66	7.61	5.71	6.66	7.61

Televisión digital de difusión terrestre DVD-T (V)

- La relación entre la separación entre portadoras, el tiempo útil de símbolo, el número total de subportadoras y el ancho de banda del canal viene dada por la relación:

$$\Delta f(\text{MHz}) = \frac{1}{T_u(\mu\text{s})} = \frac{BW(\text{MHz})}{N_c}$$



Televisión digital de difusión terrena DVD-T (VI)

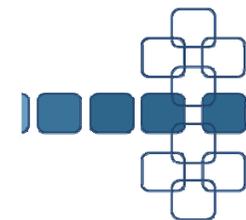
- Como es habitual en OFDM para evitar la ISI debida ala presencia de multitrayecto se introduce un tiempo de guarda T_g , de forma que el tiempo de símbolo viene dado por $T_s = T_u + T_g$. En el estándar DVB-T se permiten los siguientes tiempo de guarda:

	Modo 2k	Modo 8k
Número de subportadoras	1.705	6.817
Tiempo útil de símbolo (μs)	224	896
Tiempo de guarda (μs)	56 28 14 7	224 112 56 28
Periodo de símbolo (μs)	280 252 238 231	1.120 1.008 952 924
Separación entre subportadoras (kHz)	4,464	1,116
Anchura de banda de RF (MHz)	7,61	7,61
Modulación de la portadora	QPSK, 16-QAM, 64-QAM	
Tasa codificación interna	1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8	

Televisión digital de difusión terrena DVD-T (VII)

- La tasa binaria obtenida puede variar entre 4.98 y 31.67 Mbit/s, dependiendo de la modulación, la tasa del codificador y la razón T_g/T_u

Modulación	TC	Velocidad de transmisión (Mbit/s)			
		$T_g/T_u=1/4$	$T_g/T_u=1/8$	$T_g/T_u=1/16$	$T_g/T_u=1/32$
QPSK	1/2	4.98	5.53	5.85	6.03
	2/3	6.64	7.37	7.81	8.04
	3/4	7.46	8.29	8.78	9.05
	5/6	8.29	9.22	9.76	10.05
	7/8	8.71	9.68	10.25	10.56
16-QAM	1/2	9.95	11.06	11.71	12.06
	2/3	13.27	14.75	15.61	16.09
	3/4	14.93	16.59	17.56	18.10
	5/6	16.59	18.43	19.52	20.11
	7/8	17.42	19.35	20.49	21.11
64-QAM	1/2	14.93	16.59	17.56	18.10
	2/3	19.91	22.12	23.42	24.13
	3/4	22.39	24.88	26.35	27.14
	5/6	24.88	27.65	29.27	30.16
	7/8	26.13	29.03	30.74	31.67



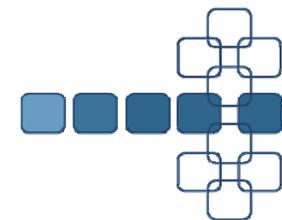
Sistemas de Radiodifusión

Máster Universitario en Ingeniería de Telecomunicación
Sistemas y servicios de transmisión por radio

Televisión digital de difusión terrena DVB-T (VIII)

- En España la TDT ocupa los canales de 8 MHz que anteriormente ocupaba la TV analógica en UHF:
 - En la banda IV (470-582 MHz) 14 canales (del 21 al 34)
 - En la banda V (582-862) 24 canales (del 35 al 60)
- Las recomendaciones UIT-R BT.1125, UIT-R BT.1299 y UIT-R BT.1368 especifican los objetivos básicos a cumplir para una planificación adecuada de la TDT. Se han previsto tres clases de recepción, receptor fijo, portátil clase A y clase B.
- Los valores de campo objetivos para el 95 % de las ubicaciones y el 99% del tiempo son:

Tipo de Rx	Banda IV	Banda V
Fijo	35-59 (dBu)	39-63 (dBu)
Clase A	54-78 (dBu)	58-82 (dBu)
Clase B	66-90 (dBu)	70-94 (dBu)



Televisión digital de difusión terrena DVD-T (IX)

- Los niveles de campo necesarios dependen del modo de transmisión, para la modulación 64-QAM y codificación de 2/3, para recepción fija se considera un buen nivel de campo el dado por la expresión:

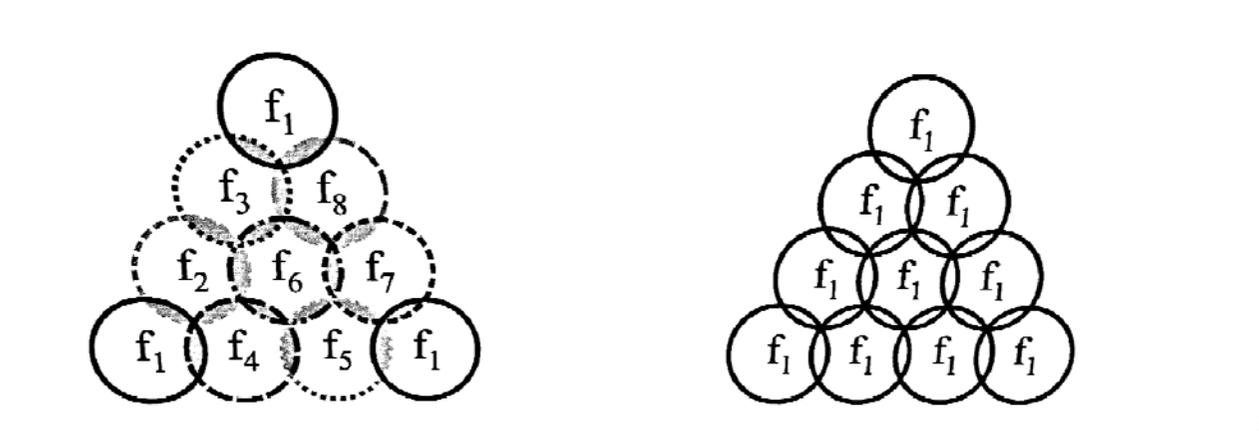
$$E_{med} (dBu) = 56 + 20 \log \left(\frac{f(MHz)}{650} \right)$$

- Para la predicción de la propagación se considera el modelo de la recomendación **UIT-R P. 1546**.
- Normalmente se trabaja con niveles de campo, si es necesario encontrar el nivel de potencia en los terminales de la antena receptora, debemos recordar la expresión:

$$E(dBu) = 77.2 + 20 \log(f(MHz)) - G_r + L_{tr} + P_r(dBm)$$

REDES DE FRECUENCIA ÚNICA (I)

- El estándar DVB-T permite el despliegue de redes de frecuencia única (SFN), frente a los sistemas analógicos que necesariamente necesitaban utilizar redes multifrecuencia (MFN) para cubrir áreas geográficas extensas.



- Para el funcionamiento de una red SFN es crucial la sincronización en tiempo y frecuencia de todas las estaciones base. Para ello se utilizan las referencias temporales y frecuenciales de GPS.

REDES DE FRECUENCIA ÚNICA (II)

- La forma de evitar la ISI provocada por la recepción de señales procedentes de diferentes emisores es diseñar la red de tal forma que:

$$T_{max} \prec T_g \quad T_{max} = \frac{|d_j - d_k|}{c}$$

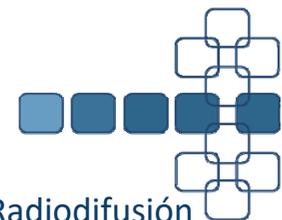
- Por ejemplo, si $T_g = 224 \mu s$ entonces $\Delta d_{max} = 67.2 \text{ Km}$
- Es posible diseñar distintas configuraciones de red:
 - Redes uniformes con transmisores de similar potencia distribuidos espacialmente de forma homogénea.
 - Redes con uno o varios emisores principales y otros que emiten con menor potencia denominados de relleno.
 - Redes Con varios emisores principales y re-emisores secundarios que reciben la señal de los principales.



Modelo de propagación UIT-R P. 1546 (I)

▪ Modelo de la recomendación UIT-R P. 1546

- Predicción de la propagación punto a zona para servicios terrestres en la banda de 30 a 3000 MHz: radiodifusión, móviles y fijos punto a multipunto.
- Método adecuado para medio rural, con terrenos ondulados y sin obstáculos dominantes. Resultados similares a Okumura-Hata para $d < 10$ km
- Enlaces troposféricos sobre tierra, mar o mixtos ($1 < d < 1000$ km)

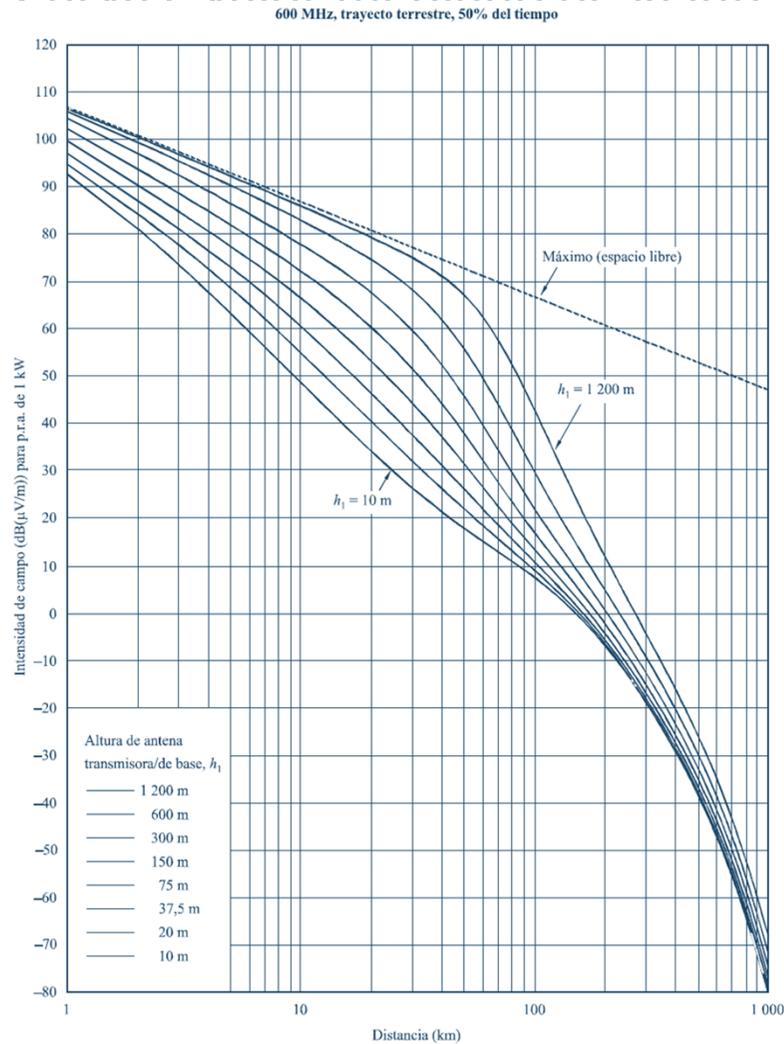


Modelo de propagación UIT-R P. 1546 (II)

- Bases del método:
 - Familias de curvas para 100, 600 y 2000 MHz sobre trayectos terrestres y marítimos ($10 < h_1 < 1200$ m, $h_2 = 10$ m) $\rightarrow E(\text{dB}\mu\text{V/m})$
 - Interpolación/extrapolación para realizar ajustes: distancia, frecuencia, potencia, h_1
 - Aplicar correcciones por: despejamiento del terreno, h_2 , trayectos cortos, dispersión troposférica, % de ubicaciones, ...

Modelo de propagación UIT-R P. 1546 (III)

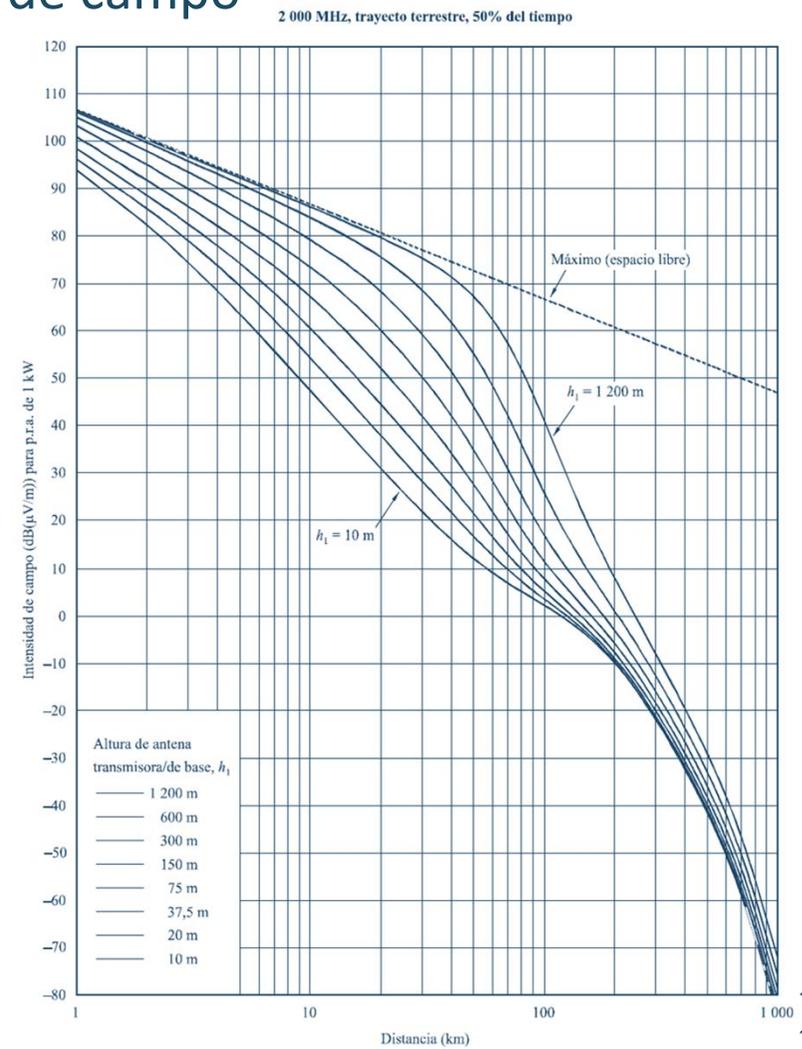
■ Curvas: valor mediano de la intensidad de campo



50% de las ubicaciones

h_2 : altura representativa de los obstáculos

1546-09



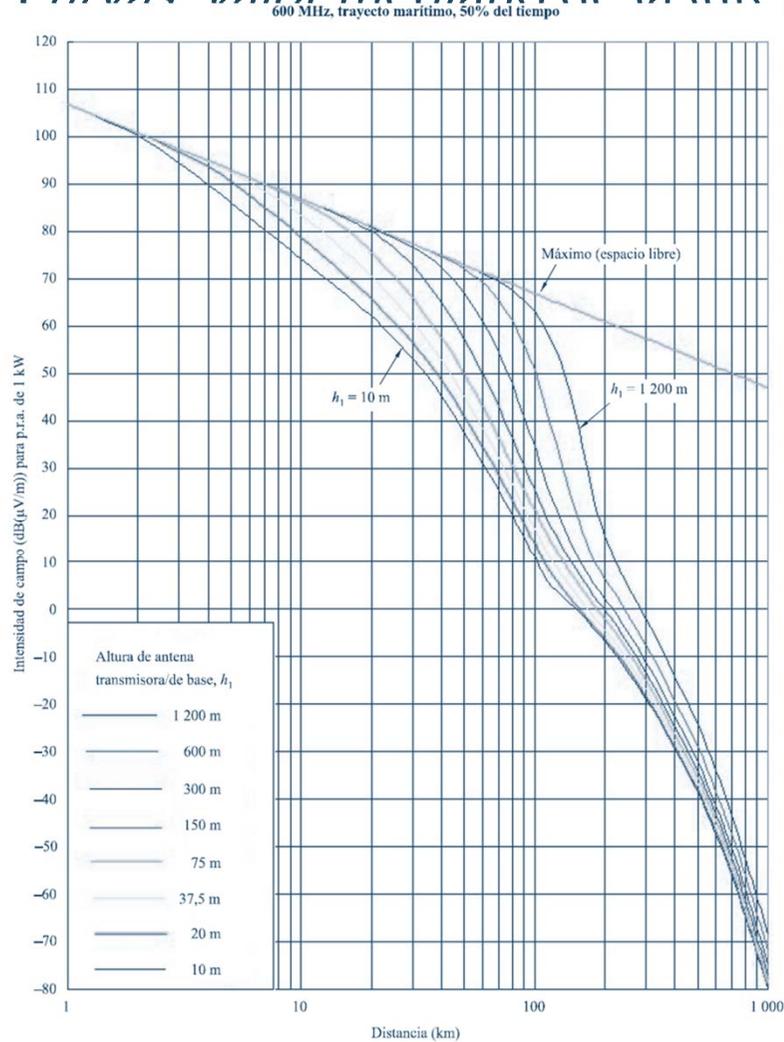
50% de las ubicaciones

h_2 : altura representativa de los obstáculos

1546-17

Modelo de propagación UIT-R P. 1546 (IV)

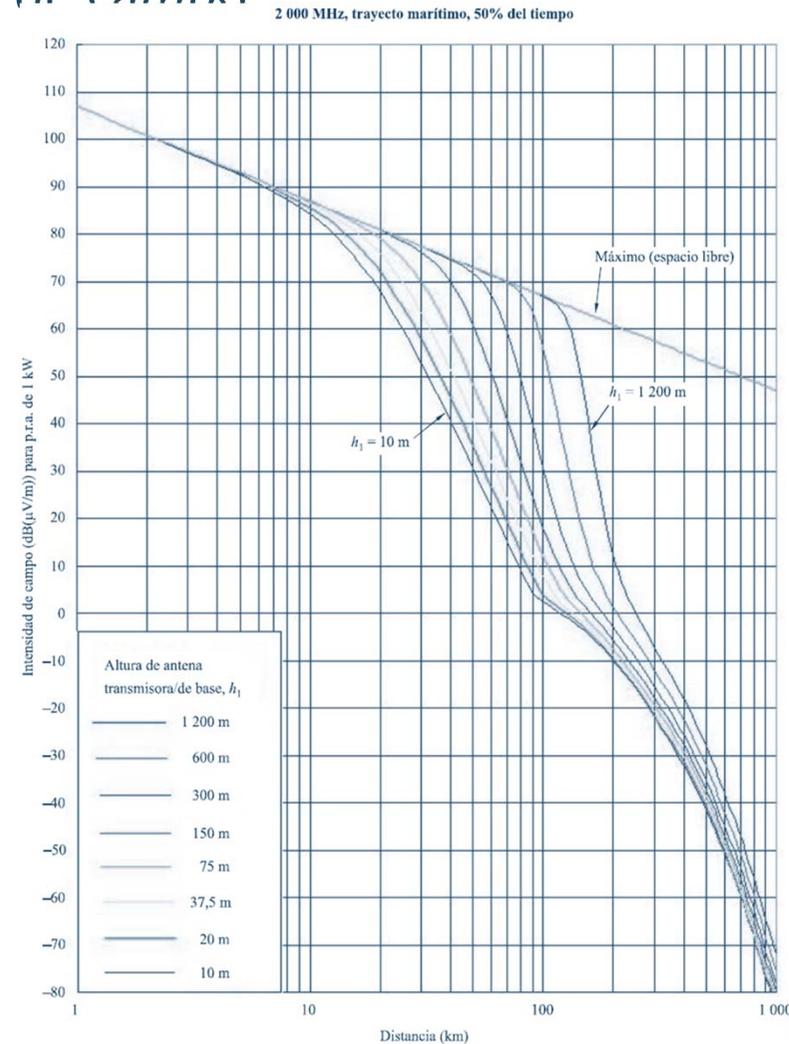
Curvas: valor mediano de la intensidad de campo



50% de las ubicaciones

$h_2 = 10$ m

1546-12



50% de las ubicaciones

$h_2 = 10$ m

1546-20

Modelo de propagación UIT-R P. 1546 (V)

■ Ajustes y correcciones:

– Por altura de la antena transmisora

○ Calcular altura h_1 sobre el nivel medio del terreno

○ Ajuste:

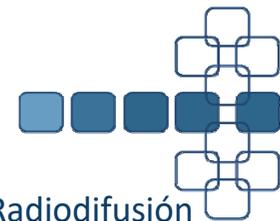
$$E(h_1) = \begin{cases} E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) \log\left(\frac{h_1}{h_{inf}}\right) / \log\left(\frac{h_{sup}}{h_{inf}}\right) \text{ (dB}\mu\text{V/m)}, & 10 < h_1 < 3000 \text{ m} \\ \text{Otros factores correctores y cálculos,} & 0 \leq h_1 \leq 10 \text{ m y } h_1 < 0 \end{cases}$$

– Por potencia de emisión

$$E' = E + 10 \log(\text{PRA(kW)}) \text{ (dB}\mu\text{V/m)}$$

– Interpolación-extrapolación en función de la frecuencia

$$E' = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) \log\left(\frac{f}{f_{inf}}\right) / \log\left(\frac{f_{sup}}{f_{inf}}\right) \text{ (dB}\mu\text{V/m)}$$



Modelo de propagación UIT-R P. 1546 (VI)

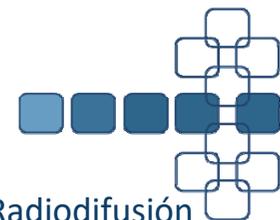
- Ajustes y correcciones:

- Interpolación en función de la distancia (ficheros en UIT)

$$E' = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) \log\left(\frac{d}{d_{inf}}\right) / \log\left(\frac{d_{sup}}{d_{inf}}\right) \text{ (dB}\mu\text{V/m)}$$

- Otros:

- Por altura de la antena receptora
 - Para trayectos cortos en medio urbano/suburbano
 - Por porcentaje de ubicaciones (estimaciones de cobertura zonal)
 - Por despejamiento del terreno cerca del receptor
 - En la recomendación se detalla procedimiento por pasos para su programación



Modelo de propagación UIT-R P. 1546 (VII)

- Ajustes y correcciones:

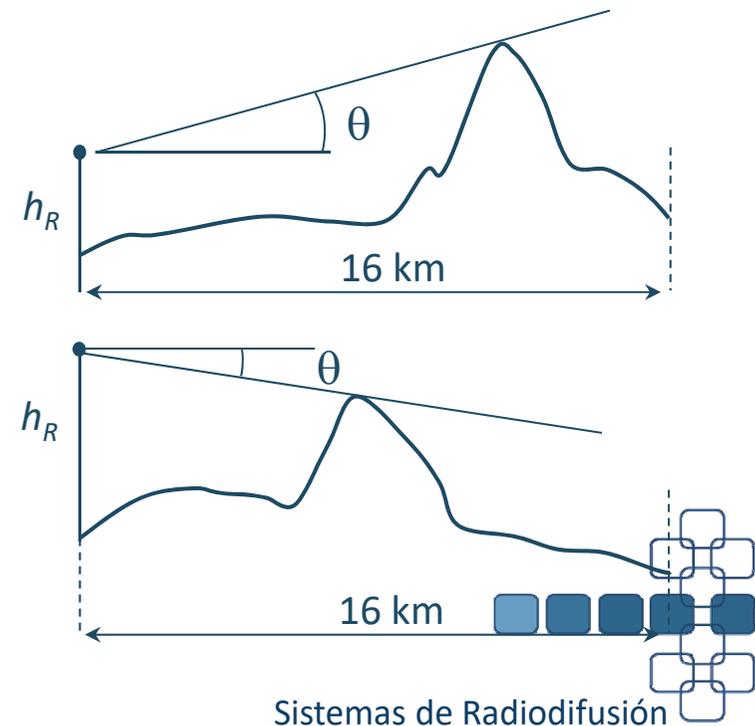
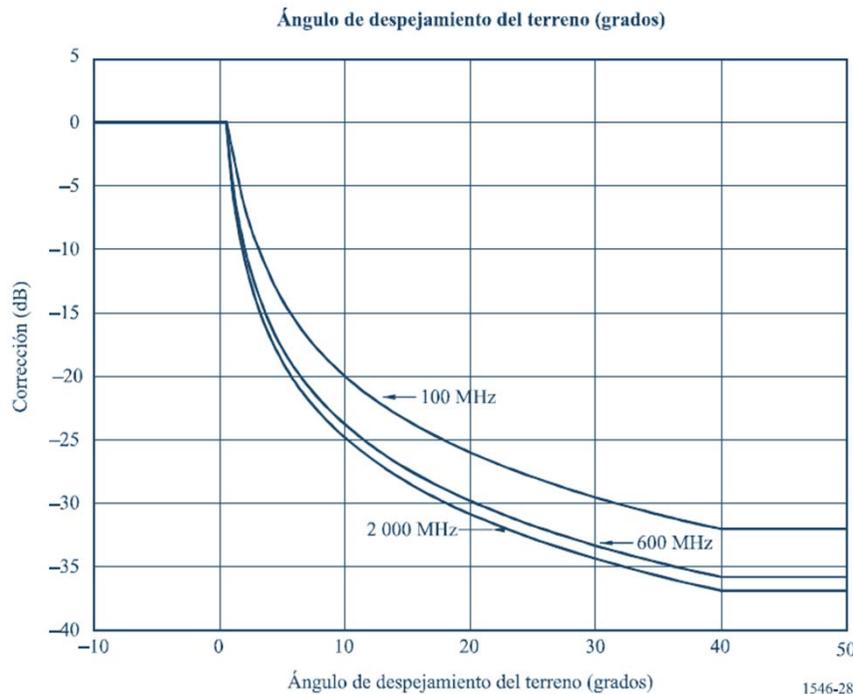
- Por despejamiento del terreno cerca del receptor

$$C = L_D(v') - L_D(v)$$

$$v' = 0.036\sqrt{f} \quad v = 0.065\theta\sqrt{f} \quad (f \text{ en MHz})$$

$$L_D(v) = 6.9 + 20\log\left(\sqrt{(v-0.1)^2 + 1} + v - 0.1\right) \quad (\text{dB})$$

$$C = \begin{cases} 0 & \text{si } \theta < 0.55^\circ \\ C|_{\theta=40^\circ} & \text{si } \theta > 40^\circ \end{cases}$$



Modelo de propagación UIT-R P. 1546 (VIII)

▪ Ejemplo UIT-R P. 1546

- Datos: servicio de TV a 700 MHz con 10 kW de PRA en el transmisor, trayecto terrestre de 10 km, $h_1=75$ m y ondulación del terreno tal que $\theta=5^\circ$. Estimar la intensidad de campo recibida en la antena

- Solución:

$$f_{inf} = 600\text{MHz} \rightarrow E_{inf} = 66 \text{ dB}\mu\text{V/m}$$

$$f_{sup} = 2000\text{MHz} \rightarrow E_{sup} = 67.5 \text{ dB}\mu\text{V/m}$$

$$E'_{700} = 66.2 \text{ dB}\mu\text{V/m}$$

$$E'_{10\text{kW}} = 76.2 \text{ dB}\mu\text{V/m}$$

$$\left. \begin{array}{l} v' = 0.95 \rightarrow L_D(v') = 13.6 \text{ dB} \\ v = 8.6 \rightarrow L_D(v) = 31.5 \text{ dB} \end{array} \right\} E = 58.3 \text{ dB}\mu\text{V/m}$$

