

# Evaluación del desempeño de sistemas de televisión digital directa por satélite

Jorge Matos Gómez

## RESUMEN

Los sistemas de televisión digital directa por satélite operando en la banda Ku del servicio FSS y BSS ( banda de 12 GHz )están afectados por un conjunto de fenómenos en la troposfera e ionosfera, siendo el más importante el efecto de la lluvia (atenuación e incremento del ruido).

Aunque en [1] se presentan resultados generales que pueden ser aplicados a la ecuación de balance de potencia de enlaces satelitales, esta no toma en cuenta la posible ocurrencia de desvanecimiento. En el trabajo presentado se propone un procedimiento de ingeniería que permite evaluar el desempeño de sistemas satelitales de televisión digital en el enlace descendente. El procedimiento es comparado con los diámetros recomendados de antenas receptoras en la ciudad de Berlín recibiendo señales de televisión digital (norma DVB-S) del ASTRA 1A. El máximo error es solamente de 1.5%, lo que demuestra la validez del método. Se utiliza el método del UIT-R para el cálculo de la atenuación por lluvia. Aunque el método es aplicado a la banda Ku, este puede ser también utilizado en la banda C donde la lluvia tiene menos influencia.

**Palabras clave:** Satellite, TV digital , DVB-S

## ABSTRACT

Direct satellite TV systems operating in FSS and BSS Ku-bands ( 12 GHz band ) are affected by a group of phenomena in troposphere and ionosphere, being rain the most important one (attenuation and noise increment). Although it is shown in [1] some general results that can be applied to satellite link budgets, it has not been taken into consideration the possible occurrence of fading. This paper shows an engineering procedure that allows the performance evaluation in downlink satellite links. The procedure is compared with the recommended receiver antenna diameters in Berlin , receiving digital television signals (standard DVB-S) from ASTRA 1.A.The maximum error is 1.5 % showing the method's confidence. The ITU-R method is used in rain attenuation calculations Although the method is

directly applied to Ku-band, it can be extended to C-band where rain has lesser influence.

**Key words:** Satellite, Digital TV, DVB-S

## I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de televisión digital por satélite operando en la banda Ku del servicio FSS y BSS están afectados por un conjunto de fenómenos en la troposfera e ionosfera, siendo el más importante el efecto de la lluvia (atenuación e incremento del ruido).

Aunque en [1] se presentan resultados generales que pueden ser aplicados a la ecuación de balance de potencia de enlaces satelitales, esta no toma en cuenta el posible desvanecimiento.

En la sección II de este trabajo se presenta la derivación de la ecuación de margen tomando en cuenta la probabilidad de interrupción del servicio (service outage) y considerando solamente la influencia de la lluvia como deterioro principal en el proceso de transmisión en el enlace descendente (downlink) (Se supone que el enlace ascendente no está afectado por la lluvia o al menos existen métodos para compensar este deterioro, de tal forma que no influye en el desempeño del enlace descendente). En la sección III se incluye el análisis del incremento del ruido captado por la antena debido a la presencia de la lluvia llegando a una ecuación de margen general que permite la evaluación del desempeño de este tipo de sistema. En la sección IV se comparan los resultados del método propuesto con valores recomendados para el diámetro de la antena en un sistema de televisión digital por satélite que utiliza la norma DVB-S. Se utiliza el método del UIT-R [2] para el cálculo de la atenuación por lluvia.

## II. ECUACIÓN DE MARGEN Y PROBABILIDAD DE INTERRUPCIÓN DEL SERVICIO (OUTAGE)

En la fig. 1 se muestra el modelo de ruido térmico correspondiente en el enlace descendente, sin considerar interferencias.

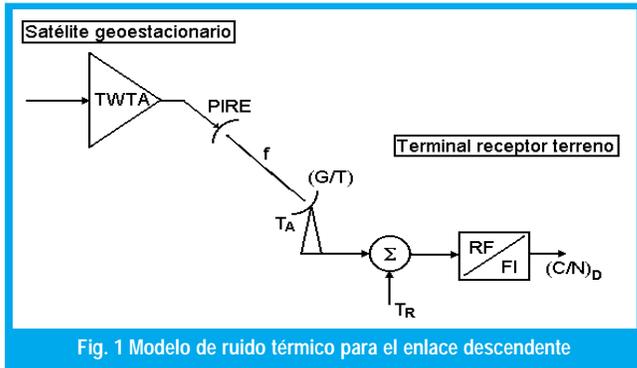


Fig. 1 Modelo de ruido térmico para el enlace descendente

La relación portadora a ruido para el enlace descendente es:

$$(C/N)_D = \frac{PIRE(G/T)}{kBL_bL_a} \quad (1)$$

donde PIRE es la potencia isotópica radiada efectiva del satélite en W, (G/T) es la figura de mérito del receptor terreno en  $K^{-1}$ , B es el ancho de banda de ruido del AFI del receptor terreno (Integrated Receiver and Decoder, IRD) en Hz,  $L_b$  es la pérdida de espacio libre,  $L_a$  es la pérdida adicional, y k es la constante de Boltzman ( $1,38 \cdot 10^{-23} J/K$ ).

Considerando un transponder no-regenerativo (bent-pipe), entonces puede escribirse que [3]:

$$(C/N)^{-1} = (C/N)_U^{-1} + (C/N)_D^{-1} \quad (2)$$

donde los subíndices (U) y (D) indican enlace ascendente (uplink) y descendente (downlink), respectivamente. Manipulando algebraicamente la expresión (2), se obtiene:

$$(C/N)_D = (C/N) \left( 1 + \frac{(C/N)_D}{(C/N)_U} \right) = (C/N) \Delta N_U \quad (3)$$

donde  $\Delta N_U$  define la contribución de ruido del enlace ascendente al ruido total del sistema. Sustituyendo (3) en (1), se obtiene:

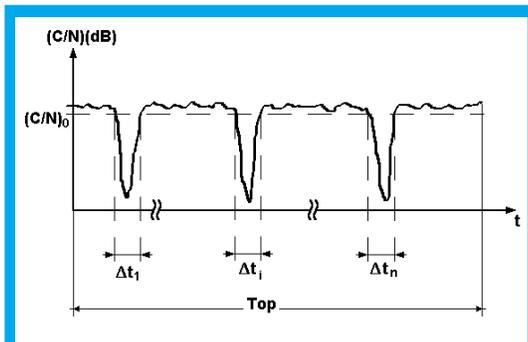


Fig. 2 Variaciones de (C/N) debido al desvanecimiento. Top es el tiempo de operación de referencia. (1 año)

$$(C/N) = \frac{PIRE(G/T)}{kBL_bL_a(\Delta N_U)} \quad (4)$$

Usando decibeles:

$$(C/N)(dB) = PIRE(dBW) + (G/T)(dB/K) - L_b(dB) - L_a(dB) - B(dB.Hz) - \Delta N_U(dB) + 228,6 \quad (5)$$

En la fig. 2 se muestran las variaciones de (C/N) en el tiempo si el enlace está afectado por desvanecimiento plano (flat fading), como es el caso de la lluvia. [4]

Se define el margen  $M_0$  con relación al valor requerido de relación portadora a ruido  $(C/N)_0$  para garantizar los objetivos de calidad deseados en la recepción, como:

$$M_0(dB) = \frac{(C/N)}{(C/N)_0} \geq 1 \quad (6)$$

En decibeles:

$$M_0(dB) = (C/N)(dB) - (C/N)_0(dB) \geq 0 \quad (7)$$

La probabilidad de interrupción del servicio ( $p\%$ ), (en porciento), se define como:

$$p(\%) = \text{Prob}(M_0 < 0 \text{ dB}) \cdot 100 = \frac{\sum \Delta t_i}{T_{op}} \cdot 100 \quad (8)$$

Si se descompone  $L_a$  en:

$$L_a = L_R + \Sigma L \quad ; dB \quad (9)$$

donde  $L_R$  representa la variable aleatoria atenuación por lluvia y  $\Sigma L$  representa el conjunto de otras pérdidas adicionales. De acuerdo con (9), la probabilidad de interrupción del servicio puede escribirse como:

$$p(\%) = \text{Prob}(L_R \geq A_R) \cdot 100 \quad (10)$$

donde  $A_R$  es un valor específico de la variable aleatoria  $L_R$ .

Si se conoce la ley de probabilidades (o un procedimiento equivalente) establecida en (10), entonces es posible resolver dicha ecuación para  $A_R$ , si se define un valor para  $p(\%)$ ; por ejemplo, 0,1%. El valor obtenido se representa por  $A_R(p\%)$  para indicar para qué valor de interrupción fue calculado. Sustituyendo (5) en (7) y utilizando los conceptos desarrollados a través de las expresiones (9) y (10), se puede escribir:

$$M_0 + A_R = PIRE + (G/T) - L_b - \Sigma L - B - \Delta N_U - (C/N)_0 + 228,6 \quad (11)$$

Se define el margen  $M_0$  con relación al valor requerido de relación portadora a ruido  $(C/N)_0$  para garantizar los objetivos de calidad deseados en la recepción

donde se han omitido las unidades para mayor comodidad en la escritura.

### III. INCREMENTO DEL RUIDO CAPTADO POR LA ANTENA DEBIDO A LA LLUVIA

La causa física del incremento de la temperatura de ruido por la presencia de la lluvia es que esta actúa como un atenuador que produce ruido adicional de carácter térmico ( $T_R$ ). El modelo de ruido térmico de la lluvia se ilustra en la figura 4.

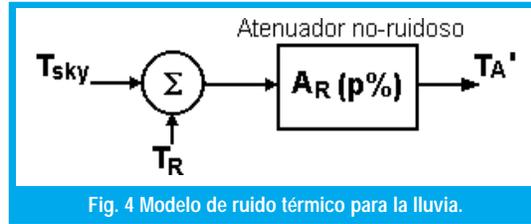


Fig. 4 Modelo de ruido térmico para la lluvia.

La temperatura de ruido de la antena  $T_A'$  bajo condiciones de lluvia será:

$$T_A' = 10^{-A_R(p\%)/10} \cdot T_{sky} + [1 - 10^{-A_R(p\%)/10}] \cdot T_0 \quad (12)$$

donde  $T_0$  es la temperatura termodinámica del tramo lluvioso. El incremento de la temperatura de ruido de la antena relativo a las condiciones de cielo despejado ("clear sky",  $A_R(p\%) = 0$  dB); será:

$$\Delta T_A = [1 - 10^{-A_R(p\%)/10}] (T_0 - T_{sky}) ; K \quad (13)$$

Resultados experimentales ([5]) permiten aproximar la diferencia ( $T_0 - T_{sky}$ ) por el valor constante de 240 K. Así:

$$\Delta T_A = 240(1 - 10^{-A_R(p\%)/10}) ; K \quad (14)$$

Sea  $(G/T)'$  el factor de mérito del terminal receptor terreno bajo condiciones de lluvia y  $(G/T)$  es el mismo factor de mérito bajo condiciones de cielo despejado. De acuerdo con la definición de  $(G/T)$  se puede escribir:

$$\frac{(G/T)'}{(G/T)} = \frac{G_R / (T_A + \Delta T_A + T_{LNB})}{G_R / (T_A + T_{LNB})} = \frac{1}{1 + \frac{\Delta T_A}{T_A + T_{LNB}}} \quad (15)$$

donde  $T_A$  es la temperatura de ruido de la antena en condiciones de cielo despejado y  $T_{LNB}$  es la temperatura de ruido del LNB. Definiendo  $\Delta T$ (dB) como:

Sustituyendo (14) en (15), se obtiene:

$$\Delta T(dB) = 10 \log \left( 1 + \frac{\Delta T_A}{T_A + T_{LNB}} \right) \quad (16)$$

$$\Delta T(dB) = 10 \log \left( 1 + \frac{240(1 - 10^{-A_R(p\%)/10})}{50 + 290(10^{F_{LNB}/10} - 1)} \right) \quad (17)$$

donde se ha tomado un valor típico (máximo) de 50 K para la temperatura de ruido de la antena receptora tipo parábola offset y en condiciones de cielo despejado [6] y  $T_{LNB}$  se ha expresado en términos de la cifra de ruido  $F_{LNB}$  (dB). La expresión (15), en decibeles, es:

$$(G/T)'(dB/K) = (G/T)(dB/K) - \Delta T(dB) \quad (18)$$

La expresión (11), bajo condiciones de lluvia puede escribirse nuevamente como:

$$M_0 + A_R = PIRE + (G/T)' - L_b - \Sigma L - B - \Delta N_u - (C/N)_0 + 228,6 \quad (19)$$

Sustituyendo (18) en (19) y haciendo arreglos algebraicos, se obtiene:

$$M_R = PIRE + (G/T) - L_b - \Sigma L - B - \Delta N_u - (C/N)_0 + 228,6 \quad (20)$$

donde  $M_R$  es el margen de lluvia en dB y queda definido por:

$$M_R \geq A_R(p\%) + \Delta T ; dB \quad (21)$$

Si el sistema de televisión por satélite usa técnicas de transmisión digital, entonces:

$$\begin{aligned} (C/N)_0(dB) &= (Eb/N_0)_0(dB) + R_b \\ (dB.bps) &- B(dB.Hz) - G_c(dB) \end{aligned} \quad (22)$$

donde  $(Eb/N_0)_0$  es el valor de energía de bit entre densidad espectral de potencia por una tasa de error de bit determinada y tipo de modulación establecida,  $R_b$  es la velocidad de transmisión del flujo de transporte MPEG-2 y  $G_c$  es la ganancia de codificación del codec de canal utilizado. Sustituyendo (22) en (20), se obtiene finalmente:

$$\begin{aligned} M_R &= PIRE + (G/T) - L_b - \Sigma L - R_b - \Delta N_u \\ &- (Eb/N_0)_0 + G_c + 228,6; dB \end{aligned} \quad (23)$$

Puede demostrarse que para la norma DVB-S ([7])

$$R_b = \left( \frac{1,84}{1 + \alpha} \cdot r_c \right) B_T ; bps \quad (24)$$

donde  $\alpha$  es el factor de caída del filtro conformador de pulsos,  $r_c$  es la razón de código del codec convolucional y  $B_T$  es el ancho de banda del transponder. El valor requerido de  $(Eb/N_0)_0$  es de 13,5 dB para una tasa de error de  $10^{-11}$  (QEF) tal como lo especifica la norma DVB-S. Los valores de ganancia de codificación se dan en la tabla I para los distintos valores de  $r_c$ . Estos resultados han sido obtenidos por simulación ([8]).

La causa física del incremento de la temperatura de ruido por la presencia de la lluvia es que esta actúa como un atenuador que produce ruido adicional de carácter térmico ( $T_R$ ).

**Tabla 1. Ganancia de codificación ( $G_c$ ) vs  $r_c$  en la norma DVB-S para una tasa de error de bit de  $10^{-11}$  (QEF: Quasi-Error-Free)**

$r_c$	$1/2$	$2/3$	$3/4$	$5/6$	$7/8$
$G_c$ (dB)	9	8,5	8	7,5	7,1

## IV. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS RESULTADOS

En [9] aparece un conjunto de valores recomendados de diámetros de antenas receptoras para un sistema de televisión digital por satélite que utiliza la norma europea DVB-S. El sistema presenta las siguientes características:

- El filtro conformador de pulsos tiene un factor de caída de 0,28.
- Se toma como referencia la ciudad de Berlín (52,6° N; 12,4° E) recibiendo señales del satélite ASTRA 1A (19,2° E) con una frecuencia de portadora para el enlace descendente de 11,3 GHz (banda Ku del servicio FSS).
- PIRE del satélite 51dBW.
- Pérdida adicional: 3,5 dB (0,5 dB debido a desalineación de la antena receptora al satélite; 1 dB de interferencia; 0,2 dB por pérdidas de acoplamiento; 1,8 dB por imperfecciones del hardware).
- Contribución de ruido el enlace ascendente: 0,2 dB.
- Cifra de ruido del LNB: 1,1 dB.
- Temperatura de ruido de la antena (clear sky): 35 K.
- Eficiencia de la antena receptora (offset): 70%.
- Probabilidad de interrupción del servicio (promedio anual): 0,1%.

La ciudad de Berlín está en zona E y una estación receptora en esta apunta al satélite con un ángulo de elevación de aproximadamente 30°. Utilizando el método del UIT-R, se obtiene una atenuación por lluvia de 1,2 dB. De acuerdo con la expresión (21), el margen MR debe ser mayor o igual que 2,76 dB, tomándose un valor de 3 dB. Aplicando el método desarrollado en este trabajo, se puede obtener el valor de  $(G/T)$ . El diámetro de la antena receptora puede calcularse a partir de la expresión:

$$D = \frac{0,955}{f(\text{GHz})} \sqrt{\frac{10^{(G/T)/10} [T_A + 290(10^{F_{LNB}/10} - 1)]}{\eta(\%)}} \quad , m \quad (25)$$

donde  $\eta(\%)$  es la eficiencia de la antena. En la tabla 2 se resumen y comparan alguno de los resultados recomendados y los obtenidos por el procedimiento propuesto.

**Tabla 2. Diámetros de antenas receptoras, en centímetros. El valor superior es el valor recomendado, mientras que el inferior es el calculado por el procedimiento propuesto.**

Ancho de banda del transponder ( $B_T$ , MHz)	Razón de código del código convolucional ( $r_c$ )				
	1/2	2/3	3/4	5/6	7/8
54	47	58	65	72	77
	46,8	57,2	64,3	71,7	77
36	38	47	53	59	63
	38,2	46,7	52,5	58,6	62,8
27	33	41	46	51	55
	33,1	40,4	45,4	50,7	54,4

La concordancia entre los valores calculados y los recomendados es muy satisfactoria, cometiéndose un error máximo de 1,5%.

## V. CONCLUSIONES

Se ha propuesto un método que permite evaluar el desempeño de sistemas satelitales de televisión digital en el enlace descendente para la banda Ku, tanto del servicio FSS como del servicio BSS (12 GHz). El procedimiento es comparado a partir de los diámetros recomendados de antenas receptoras en la ciudad de Berlín recibiendo señales de ASTRA 1A. El máximo error cometido es solamente de 1,5%, lo que demuestra la validez del método para propósitos de ingeniería. Se recomienda el uso de otros modelos de cálculo de atenuación por lluvia (por ejemplo el modelo global de Crane) y el análisis comparativo con los resultados presentados. El método propuesto puede ser aplicado a los sistemas de banda C donde la lluvia tiene un impacto mucho menos significativo.

## REFERENCIAS

- [1] B. Sklark, "Digital Communication Systems" (Capítulo 4, "Communications Link Analysis") Prentice Hall, 1988.
- [2] Rec. ITU - R PN. 837-1/Rec.839/Rec.839 (1992-94).
- [3] W. Pritchard et al, "Satellite Communication Systems Engineering", Prentice Hall ( 2/e) 1993.
- [4] E. Matricciani and C. Riva, "Evaluation of the feasibility of satellite systems design in the 10-100 GHz frequency range", IJSC, 16, 237-247, 1998.
- [5] W. L. Morgan and G. D. Gordon, "Communication Satellite Handbook", John Wiley & Sons, 1989, cap. 3, pag 313, figs. 3.108 - 3.109.
- [6] J. García López, "Influencia de la lluvia en comunicaciones vía satélite (II)", Mundo Electrónico, No. 174, pp 85 - 89, 1987.
- [7] J. Matos, "Radiodifusión por Satélite", (monografía) Programa Doctoral de Telecomunicaciones, U.D.F.J.C., Bogotá, Colombia, 1997.
- [8] ETS 300 421: Digital broadcasting systems for television, sound and data services: framing structure, channel coding and modulation 11/12 GHz satellite services, ETSI, June 1994.
- [9] M. Cominetti et al, "The European System for Digital Multiprogram Television by Satellite", IEEE Trans. on Broadcasting, vol. 41, No. 2, pp 49 - 63, June 1995.

### Jorge Matos Gómez

Profesor titular, Ph. D. en Telecomunicaciones Facultad de Ingeniería Eléctrica, UCLV, Cuba. jmatos@uclv.edu.cu

El máximo error cometido es solamente de 1,5%, lo que demuestra la validez del método para propósitos de ingeniería.