Recepción de las portadoras del satélite Al Yah 1 (52,5° E) en la zona Out Of Footprint

Estudio de caso desde Lučenec (República Eslovaca) con un reflector de foco primario Prodelin de D = 450 cm: seis portadoras del haz EAST y una del haz MENA en banda Ku

Autor de las mediciones y de la metodología: Roman Dávid, www.dxsatcs.com
Lugar de recepción: Lučenec, República Eslovaca (48,3331° N, 19,6664° E)
Fecha de elaboración: 9 de noviembre de 2026
Disciplinas: física ondulatoria, tecnología de alta frecuencia, matemáticas, recepción por satélite
Fuente de los datos: monitorizaciones de señal del autor (7 portadoras, 510 h en total); AZ/EL según dishpointer.com; diagramas de radiación de SES/Yahsat
Elaboración: texto, cálculos y gráficos elaborados por el modelo de lenguaje Claude (Anthropic) a partir de los datos y las afirmaciones del autor; todos los valores medidos proceden del autor.

Resumen. El estudio analiza la recepción continua de siete portadoras del satélite Al Yah 1 (Yahsat 1A, 52,5° E) en Lučenec, es decir, en una zona muy alejada de la huella (Out Of Footprint) de los haces EAST y MENA. La recepción se monitorizó con un reflector Prodelin de 450 cm de diámetro; cada portadora se observó durante al menos 72 horas, en total 510 horas, lo que con un muestreo de 1 Hz corresponde a 1 836 000 puntos de medición. El parámetro de calidad Q no descendió a cero ni una sola vez, es decir, no se produjo ni una sola pérdida de enganche (lock), incluso con chubascos ocasionales de intensidad moderada. La deducción del apuntamiento (AZ 139,2° / EL 26,2°), del trayecto de la señal (38 962 km, atenuación en el espacio libre 205,8 dB), de los umbrales de las modulaciones y de la atenuación por lluvia muestra que el estado observado es físicamente coherente con un balance de enlace orientativo. La comparación con los registros de 2022, tras su conversión a la magnitud común Es/N_0, apunta a un descenso del nivel de señal del orden de 3 a 6 dB (típicamente en torno a 4 dB), cuya causa solo puede determinarse mediante nuevas mediciones de control. El estudio indica también los límites de interpretación que deben respetarse al publicar.

Palabras clave: Al Yah 1, Yahsat 1A, 52,5° E, banda Ku, Out Of Footprint, EAST, MENA, DVB-S, DVB-S2, Es/N_0, margen de señal, atenuación por lluvia, Lučenec, Europa Central.

1. Introducción y objetivo del estudio

La recepción por satélite fuera de la huella (Out Of Footprint) es una zona en la que el diagrama de radiación del satélite ya no está diseñado para dar cobertura, por lo que la señal recibida procede de las partes marginales del lóbulo principal o de su fuerte caída desde el núcleo de la cobertura. Allí el valor del EIRP, con respecto al máximo del diagrama, disminuye en decenas de dB y la recepción solo es posible gracias a una gran superficie efectiva de la antena, a una baja temperatura de ruido de la cadena receptora y a la estabilidad de todo el trayecto. El satélite Al Yah 1 (Yahsat 1A) emite en la posición 52,5° E en banda Ku en varios haces. Para este estudio son importantes el haz EAST, destinado a la región que va del golfo Pérsico a Asia Central, y el haz MENA, que cubre el norte de África y Oriente Próximo.

El objetivo del estudio es analizar en detalle los resultados de las monitorizaciones de señal de larga duración que el autor realizó en Lučenec y situarlos en un marco físico y matemático. El estudio se ocupa de tres preguntas:

(a) ¿Cuál es la geometría de la recepción (acimut, elevación, distancia, atenuación en el espacio libre, anchura del haz de la antena) y qué se deduce de ella en cuanto a los requisitos de precisión del apuntamiento?
(b) ¿Cuáles son los resultados obtenidos (duración, número de puntos de medición, ausencia de pérdidas de

enganche) y qué significado estadístico y físico tienen?
(c) ¿En qué se diferencia el estado actual de los registros de 2022 y qué explicaciones admite el descenso de la señal?

La afirmación clave del autor es la siguiente: con un reflector de 450 cm es posible recibir en Europa Central, de forma duradera y sin pérdidas de enganche, siete portadoras de Al Yah 1, incluida una portadora del haz MENA. El estudio desarrolla esta afirmación con detalle y muestra dentro de qué límites está respaldada por los datos medidos. Allí donde los datos se completen más adelante (por ejemplo, las tablas de precipitaciones), se indica expresamente.

2. Geometría de la recepción: AZ/EL, distancia y anchura del haz de la antena

2.1 Orientación de la antena para Lučenec

Los datos de orientación de la antena proceden de dishpointer.com (captura de pantalla bajo el texto). Para la posición 48,3331° N y 19,6664° E y un satélite en 52,5° E, los valores correctos son los siguientes:

Magnitud	Valor (dishpointer.com)	Cálculo independiente
Acimut (verdadero, respecto al norte verdadero)	139,2°	139,18°
Acimut (magnético)	133,1°	diferencia 6,1° = declinación magnética
Elevación	26,2°	26,16°
Skew del LNB	−25,8°	–
Longitud del trayecto oblicuo satélite–antena	–	38 962 km
Tiempo de propagación de la señal (un sentido)	–	≈ 130 ms

Los valores de dishpointer.com los he verificado mediante un cálculo independiente según la geometría de la órbita geoestacionaria (apéndice A). El resultado de 139,18° y 26,16° coincide con los valores de 139,2° y 26,2° dentro del redondeo, por lo que estos datos se utilizan en el estudio como valores de referencia.

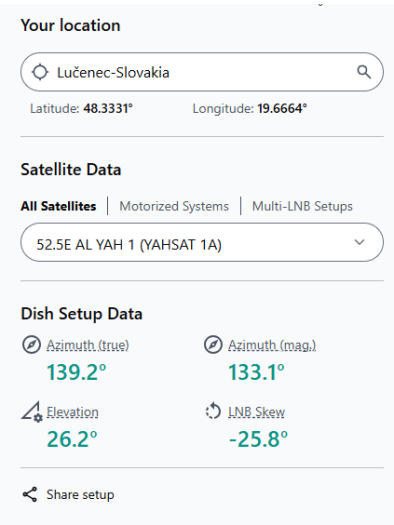


Fig. 1 – Orientación de la antena para Lučenec y Al Yah 1 (Yahsat 1A) en 52,5° E según dishpointer.com: AZ 139,2° (verdadero), 133,1° (magnético), EL 26,2°, skew del LNB −25,8°.

2.2 Importancia de la elevación baja

La elevación de 26,2° es moderadamente baja. La señal atraviesa la troposfera por un trayecto oblicuo que es aproximadamente 1 / sen(26,2°) ≈ 2,3 veces más largo que en dirección cenital. Para la recepción en banda Ku esto tiene tres consecuencias: mayor atenuación gaseosa (oxígeno y vapor de agua), un trayecto más largo a través de la capa de lluvia y una mayor amplitud del centelleo troposférico. Por otra parte, la elevación baja aumenta la exigencia de visibilidad directa en la dirección de 139° (obstáculos, árboles, edificios). La estabilidad duradera del enganche en las siete portadoras confirma, además, de forma indirecta que el trayecto está despejado.

2.3 Atenuación en el espacio libre y retardo

Para una distancia d = 38 962 km y una frecuencia f = 11,9 GHz, la atenuación en el espacio libre es

$$L_{fs} = 92{,}45 + 20\cdot\log_{10}(d\ [km]) + 20\cdot\log_{10}(f\ [GHz]) \approx 205{,}8\ dB.$$

Es la pérdida dominante del trayecto. Cada duplicación de la distancia añadiría 6 dB, pero para un satélite geoestacionario la distancia es fija; en la práctica, por tanto, solo pueden modificarse la ganancia de la antena, la temperatura de ruido y, por supuesto, el EIRP, que sin embargo solo depende del operador.

2.4 Ganancia y anchura del haz del reflector de 450 cm

La longitud de onda a 11,9 GHz es λ ≈ 2,52 cm. La ganancia de un reflector parabólico de diámetro D y eficiencia η es

$$G = \eta\cdot(\pi\cdot D / \lambda)^2$$

Con D = 4,5 m y η = 0,60 a 0,70 resulta G ≈ 52,8 a 53,4 dBi (valor medio de 53,1 dBi para η = 0,65). La anchura del haz a −3 dB es aproximadamente

$$\theta_{3\ dB} \approx 70\cdot\lambda / D \approx 0{,}39°.$$

Un haz estrecho tiene dos caras. La ventaja es la excelente supresión de las señales de satélites vecinos y de las interferencias terrestres. El inconveniente es la estricta exigencia de precisión del apuntamiento: una desviación Δθ respecto al máximo provoca una pérdida de ganancia de aproximadamente

$$\Delta G \approx 12\cdot(\Delta\theta / \theta_{3\ dB})^2\ [dB].$$

Para Δθ = 0,05° son ≈ 0,2 dB, para Δθ = 0,10° ≈ 0,8 dB y para Δθ = 0,20° ≈ 3,2 dB. Si el margen de señal se mueve en torno a 1 a 2 dB, cada décima de grado es, por tanto, crítica; el viento, la dilatación térmica de la estructura y pequeños desplazamientos del montaje pueden así consumir por completo el margen. La estabilidad observada atestigua, por ello, también un montaje mecánicamente muy rígido.

A modo de comparación: un reflector de 300 cm de diámetro tiene una ganancia inferior en $20\cdot\log_{10}(450/300) = 3{,}52$ dB y un haz de unos 0,59° de anchura. Esta diferencia se utiliza en el capítulo 8.

3. Diagramas de radiación EAST y MENA y posición de Lučenec

Las figuras 2 y 3 muestran los diagramas oficiales de EIRP en banda Ku de los haces EAST y MENA del satélite Yahsat 1A. Las zonas rellenas de color indican las regiones con mayor EIRP; las isolíneas están en dBW. El haz EAST tiene marcadas las isolíneas de 51, 50 y 48 dBW, y el haz MENA las de 50, 48, 46 y 44 dBW.

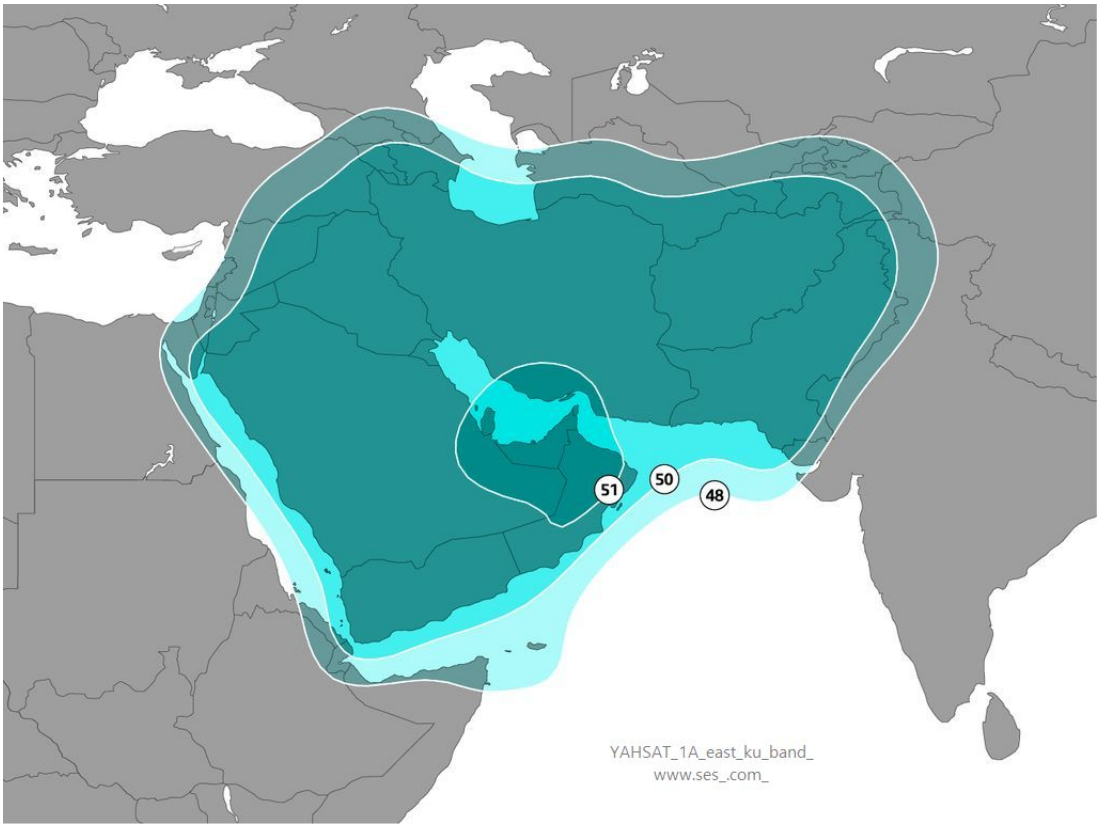


Fig. 2 – Diagrama de radiación EAST (banda Ku) del satélite Yahsat 1A; isolíneas de EIRP 51/50/48 dBW. Fuente: SES (www.ses.com). Lučenec se encuentra al noroeste del recorte mostrado, fuera de todas las isolíneas representadas.

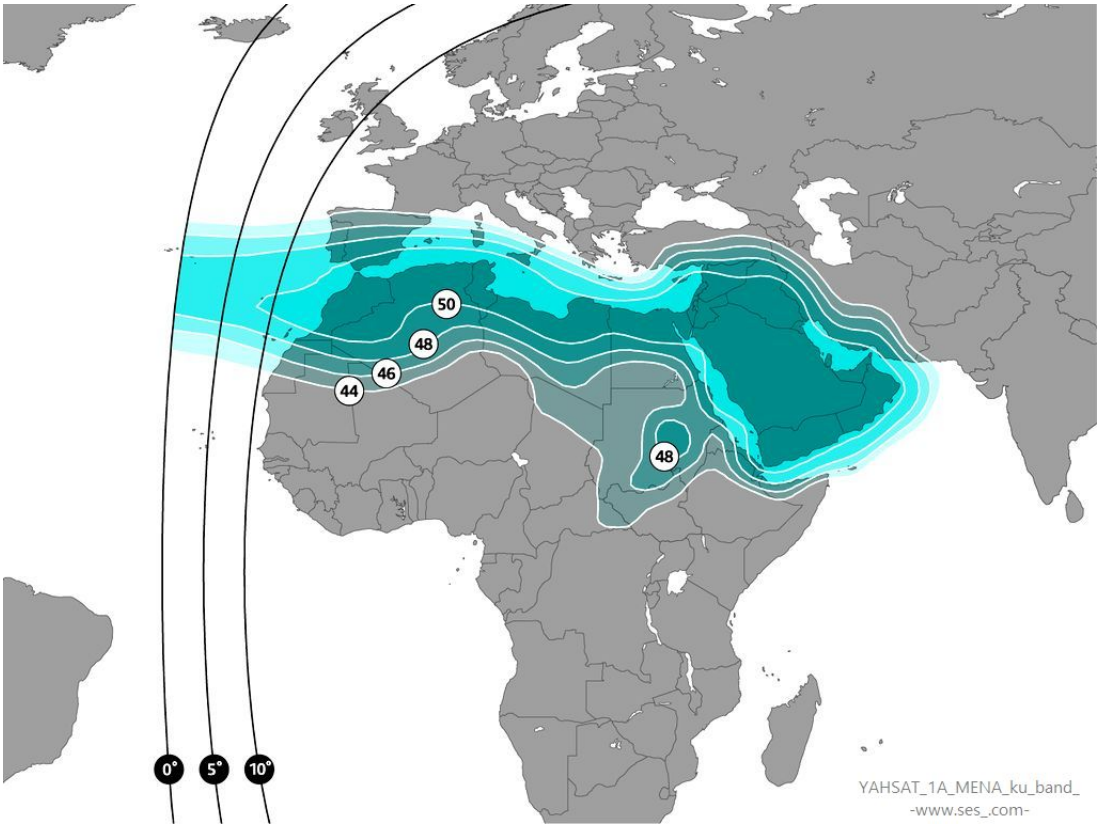


Fig. 3 – Diagrama de radiación MENA (banda Ku); isolíneas de EIRP 50/48/46/44 dBW. Fuente: SES (www.ses.com). Europa Central se encuentra al norte de la isolínea representada más alejada.

De ambos diagramas se deduce que Lučenec se encuentra **fuera de todas las isolíneas representadas** y, por tanto, fuera de la zona nominal de cobertura. En el haz EAST la distancia al límite de la cobertura es considerable: la cobertura se dirige hacia la península arábiga, Irán, Afganistán y Asia occidental, mientras que Europa Central queda en el borde noroeste, adonde solo llega la fuerte caída del diagrama. En el haz MENA la cobertura se sitúa en torno a la cuenca mediterránea y Oriente Próximo; Europa Central está al norte de la isolínea exterior.

Ni el fabricante ni el operador indican un EIRP garantizado para esta zona, de modo que los valores reales en el lugar de recepción no se conocen por la documentación. Por ello, en este estudio no se utiliza el valor de EIRP del diagrama, sino los valores implícitos en la medición (capítulo 9). Lo importante es que la recepción de siete portadoras en un lugar tan alejado exige que la ganancia de toda la cadena receptora esté cerca del umbral, y esto es precisamente lo que corresponde a los pequeños márgenes observados.

4. Metodología de la monitorización de señal

La metodología parte de las reglas del autor (dxsatcs.com): para las zonas Out Of Footprint rige una duración mínima unitaria de monitorización de una portadora de t = 72 horas. El motivo es que el registro abarque varios ciclos diarios (variación diaria de la temperatura, la humedad y el viento y la eventual variación diaria del EIRP) y sea así realmente representativo. En cada portadora se vigilaron el enganche del receptor y la calidad Q (curva azul). El criterio de fallo era inequívoco: una pérdida de enganche corresponde al valor Q = 0.

4.1 Lista de las portadoras monitorizadas

N.º	Frecuencia / pol.	Haz	Contenido	Modulación, SR, FEC	Duración	Muestras (1 Hz)
1	11 766 V	EAST	Yahlive	DVB-S, QPSK, 27 500, 7/8	72 h	259 200
2	11 842 V	EAST	Yahlive	DVB-S2, 8PSK, 27 500, 2/3	72 h	259 200
3	11 881 V	EAST	GEM Turkey	DVB-S, QPSK, 27 500, 5/6	72 h	259 200
4	11 977 H	EAST	Yahlive	DVB-S, QPSK, 27 500, 5/6	77 h	277 200
5	11 996 V	EAST	Yahlive	DVB-S, QPSK, 27 500, 7/8	72 h	259 200
6	12 072 V	EAST	Yahlive	DVB-S, QPSK, 27 500, 5/6	72 h	259 200
7	12 168 H	MENA	Du UAE	DVB-S2, 8PSK, 27 500, 5/6	73 h	262 800
	Total				**510 h**	**1 836 000**

Tab. 1 – Las siete portadoras monitorizadas. El número de muestras se deduce de la duración y del muestreo de 1 Hz (horas × 3600); la suma de 1 836 000 coincide con el dato del autor.

Comprobación de la suma: 5 × 72 h + 77 h + 73 h = 510 h; 510 h × 3600 s/h = 1 836 000 muestras. El número de puntos de medición indicado por el autor corresponde, pues, exactamente al muestreo de 1 Hz.

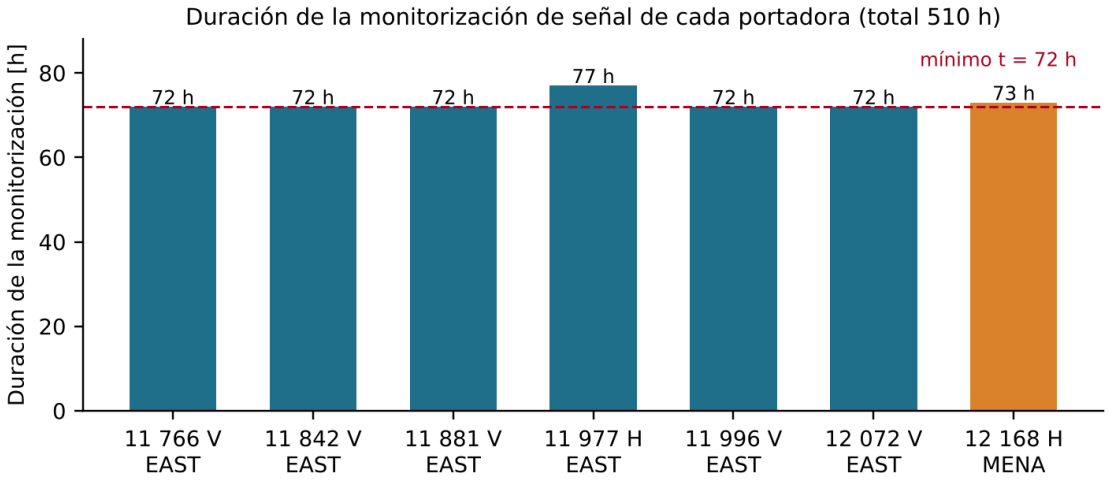


Fig. 4 – Duración de la monitorización de cada portadora. Todos los registros cumplen el mínimo de 72 h para las zonas Out Of Footprint.

4.2 Qué significa la cantidad de 510 horas

El autor habla de «un único curso continuo e ininterrumpido de funcionamiento estable del enganche». Con más precisión, se trata de un **conjunto de siete registros continuos** (cada uno de al menos 72 horas) que en total suman 510 horas sin pérdida de enganche. Esta formulación es más segura para una publicación científica, porque no sugiere que todas las portadoras se observaran simultáneamente; según la suma de las duraciones, parece que se observaron una tras otra. Con independencia de ello, cada uno de esos siete registros es una prueba por sí misma para su portadora, y su resultado coincidente refuerza la conclusión general.

5. Parámetros de las portadoras recibidas y sus umbrales

Para poder comparar los márgenes entre distintas modulaciones y años, es necesario expresarlos en una magnitud física común, que es la relación entre la energía por símbolo y la densidad espectral de ruido, Es/N_0. Para DVB-S2, la norma ETSI EN 302 307-1 indica los umbrales ideales de Es/N_0 para una recepción casi sin errores (PER = 10^{-7}); para DVB-S, los valores se derivan del E_b/N_0 requerido según ETSI EN 300 421, teniendo en cuenta la tasa de código y el código Reed-Solomon (188/204).

Portadora	Sistema	Modulación, FEC	Umbral ideal Es/N_0 [dB]	Eficiencia espectral [bit/símbolo]
11 766 V, 11 996 V	DVB-S	QPSK 7/8	≈ 8,5	1,61
11 842 V	DVB-S2	8PSK 2/3	6,62	2,00
11 881 V, 11 977 H*, 12 072 V	DVB-S	QPSK 5/6	≈ 7,9	1,54
12 168 H (MENA)	DVB-S2	8PSK 5/6	9,35	2,50

*Tab. 2 – Umbrales ideales (AWGN, sin pérdidas de implementación del receptor). Un receptor real requiere típicamente de 0,5 a 1,5 dB más. La eficiencia espectral de DVB-S incluye RS(204,188); en DVB-S2 es sin pilotos ni cabecera de trama. * Para 11 977 H la lista del autor indica FEC 5/6, mientras que la parte comparativa del autor habla de 7/8 (véase el capítulo 8).*

De la tabla se desprende una conclusión interesante. La portadora de 12 168 H del haz MENA utiliza la modulación 8PSK con FEC 5/6, que de las siete portadoras tiene el umbral más alto (9,35 dB). Dado que en ella se obtuvo un registro de 73 horas sin pérdida, el Es/N_0 en Lučenec debió de mantenerse durante todo el registro **de forma constante por encima de 9,35 dB más la pérdida de implementación del receptor**. Este es, al mismo tiempo, el límite inferior del nivel de señal de esta portadora que puede deducirse del resultado sin más supuestos. De la misma manera se obtienen los límites inferiores de las demás portadoras: ≈ 8,5 dB

para QPSK 7/8, ≈ 7,9 dB para QPSK 5/6 y 6,6 dB para 8PSK 2/3.

6. Resultados: estabilidad del enganche y significado estadístico

6.1 Resultado principal

En las siete portadoras se mantuvo el enganche durante todo el tiempo de la monitorización y el valor de la calidad Q no llegó a cero ni una sola vez. La disponibilidad alcanzada es, por tanto, del 100 % observado para 1 836 000 puntos de medición (510 h). Se trata de un resultado poco habitual en la zona Out Of Footprint, porque el funcionamiento está cerca del umbral: incluso un pequeño descenso de la señal de 1 a 2 dB provocaría, con un margen bajo, la pérdida del enganche. Tal estabilidad indica que la señal no fluctúa (el EIRP, la orientación de la antena y el trayecto no cambian en el transcurso de 72 horas) y que el margen sobre el umbral, aunque pequeño, está presente de forma constante.

6.2 Evaluación estadística

Un número nulo de pérdidas no significa una probabilidad nula de pérdida. La estadística proporciona cotas superiores del riesgo. Según la «regla del tres», si en n unidades independientes no se produce ningún suceso, el límite superior del intervalo de confianza del 95 % para la probabilidad del suceso es aproximadamente 3/n. Si como unidad se elige una hora (y no un segundo, porque las muestras de segundo no son independientes entre sí), para el conjunto completo de 510 h resulta:

Conjunto	Horas n	Pérdidas observadas	Límite superior del 95 % para la proporción de horas con pérdida	Límite inferior de la disponibilidad (horaria)
Cada portadora por separado (72 h)	72	0	≈ 4,2 %	≈ 95,8 %
Las 7 portadoras en conjunto	510	0	≈ 0,59 %	≈ 99,41 %

Tab. 3 – Límites estadísticos para un número nulo de pérdidas (regla del tres, 95 %).

El número de 1 836 000 puntos no puede, por tanto, interpretarse como 1 836 000 pruebas independientes. Las muestras de segundos contiguos están fuertemente ligadas (la señal casi no cambia en un segundo). La información independiente la aporta más bien el número de situaciones meteorológicas y diarias distintas que abarcó el registro; del orden de cientos a miles de intervalos independientes, no de millones. El valor del conjunto lo constituyen, por tanto, **la duración del registro y la diversidad de las condiciones** (día/noche, tiempo seco/lluvia, temperatura), y esto el autor lo cumplió con el mínimo de 72 horas por portadora. La cifra de 1 836 000 es un dato veraz sobre la densidad del registro, pero para la argumentación científica deben indicarse como datos principales 510 horas y siete portadoras.

7. Influencia de las condiciones meteorológicas

El autor documenta la aparición de chubascos con datos de shmu.sk. Físicamente es el principal mecanismo que empeora la recepción en banda Ku: las gotas de lluvia absorben y dispersan la onda de 2,5 cm de longitud, comparable al tamaño de las gotas. La atenuación específica por lluvia se expresa, según ITU-R P.838, mediante una relación potencial

$$\gamma_R = k \cdot R^{\alpha} \ [dB/km],$$

donde R es la intensidad de la lluvia en mm/h. Para 12 GHz, k ≈ 0,0246 y α ≈ 1,12 para polarización vertical (ITU-R P.838-3, redondeado). La atenuación total se obtiene multiplicando por la longitud efectiva del trayecto bajo la lluvia. Con una elevación de 26,2°, una altura de la isoterma de 0 °C en torno a 3,1 km (ITU-R P.839) y una altura de la estación de 0,2 km, el trayecto oblicuo a través de la capa de lluvia resulta como

máximo de unos 7,4 km; en chubascos locales la celda de lluvia es menor, por lo que indico también un trayecto efectivo más corto de 3 km.

Intensidad R [mm/h]	Carácter de la lluvia	Atenuación, trayecto de 3 km [dB]	Atenuación, trayecto de 7,4 km [dB]
1	llovizna débil	0,07	0,18
2	lluvia débil	0,16	0,40
5	lluvia moderada	0,45	1,10
10	lluvia más intensa	0,97	2,40
20	lluvia fuerte	2,12	5,23

Tab. 4 – Atenuación por lluvia orientativa a 11,9 GHz (polarización vertical). Es un modelo, no una medición; sirve para juzgar la coherencia de orden de magnitud con la observación.

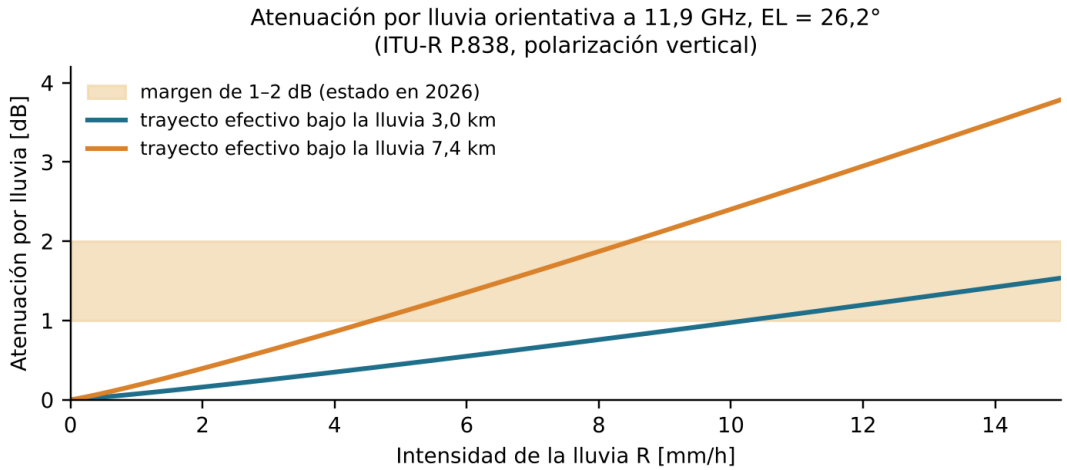


Fig. 5 – Atenuación por lluvia en función de la intensidad. La banda amarilla representa el margen de 1 a 2 dB que en 2026 estaba disponible en la portadora de 11 977 H.

Del modelo se deduce que, con lluvia débil a moderada (hasta unos 5 mm/h), la atenuación es del orden de décimas de dB a un dB. Esto es compatible con la observación del autor: con una intensidad de precipitación moderada, Q no descendió a cero. Con una intensidad de 10 mm/h o más, la atenuación puede alcanzar de 1 a 2,5 dB, lo que con un margen de 1 a 2 dB podría provocar una pérdida. Por ello, la estabilidad observada no significa resistencia a la lluvia fuerte; significa que durante los registros no hubo lluvia fuerte en el trayecto, o que fue breve.

A ello se suman otras influencias menores: la atenuación gaseosa (oxígeno, vapor de agua) de aproximadamente 0,2 dB, la atenuación por nubes de décimas de dB y el centelleo troposférico con una desviación típica del orden de 0,1 a 0,3 dB, que con elevación baja aumenta ligeramente. Las influencias ionosféricas son despreciables a 12 GHz.

Recomendación para la publicación: completar la tabla 1 con la intensidad máxima de precipitación en 10 minutos de shmu.sk (mm/h) para cada registro y con el total acumulado durante el registro. Así, la afirmación «recepción estable incluso con chubascos» pasará a ser medible y verificable.

8. Estabilidad de la curva y comparación con 2022

8.1 Ausencia de cambios bruscos

El autor indica que en las curvas de las siete portadoras no se produjo ningún aumento brusco de potencia ni de calidad, a diferencia del registro de RT News en 11 475 MHz H del satélite Express AM-7 (40,0° E), donde captó saltos de ese tipo. Un cambio brusco suele explicarse en la práctica por intervenciones del operador (cambio de potencia en el enlace ascendente, conmutación del transpondedor o del haz, cambio de modulación) y no por el comportamiento de la propagación de la onda. Una curva suave sin saltos es, por tanto, coherente con que las portadoras emitidas desde Al Yah 1 estuvieran en un estado estable durante los registros y con que los cambios procedan únicamente de procesos naturales lentos (temperatura, humedad, centelleo).

Según el autor, el modelo de señal para estas ondas no demostró un defecto permanente de la onda en Lučenec, por lo que no fue necesario utilizar la tecnología de Nanocorrecciones Síncronas, destinada a corregir defectos en las zonas Out Of Footprint. Este estudio no evalúa ese modelo ni su tecnología; todas las conclusiones aquí expuestas se basan únicamente en las curvas de Q y de enganche medidas directamente. Para la comunidad especializada sería provechoso adjuntar al estudio una descripción del modelo y los registros en bruto.

8.2 Comparación 2022 y 2026 en la portadora de 11 977 H

El hallazgo más importante del autor es un descenso duradero del nivel de señal. Con la misma antena (450 cm), el autor indica para 2022 márgenes de señal de en torno a 7 a 9 dB con DVB-S2 QPSK, FEC 8/9, incluso con condiciones claramente desfavorables. Hoy, con parámetros modificados DVB-S QPSK y FEC 7/8, el margen es de solo 1 a 2 dB. En 2022, en el reflector de 300 cm había un margen de 3 a 4 dB presente durante todo el día, lo que hoy ya no es así.

La comparación directa de los márgenes de 7 a 9 dB y de 1 a 2 dB sería engañosa, porque tienen un umbral de referencia distinto: el margen es siempre la distancia al umbral de la modulación. Por ello los convierto a Es/N_0 = umbral + margen:

Estado	Modulación	Umbral ideal [dB]	Margen [dB]	Estimación de Es/N_0 [dB]
2022, PF 450 cm	DVB-S2 QPSK 8/9	6,2	7 a 9	13,2 a 15,2
2022, PF 300 cm (conversión a 450 cm: +3,52 dB)	DVB-S2 QPSK 8/9	6,2	3 a 4	12,7 a 13,7 (para 450 cm)
2026, PF 450 cm	DVB-S QPSK 7/8	≈ 8,5	1 a 2	9,5 a 10,5
2026, PF 450 cm (si el FEC es 5/6)	DVB-S QPSK 5/6	≈ 7,9	1 a 2	8,9 a 9,9

Tab. 5 – Conversión de los márgenes de 2022 y 2026 a la magnitud común Es/N_0. Los márgenes son los del autor; los umbrales son valores ideales de las normas, por lo que el Es/N_0 absoluto está afectado por una imprecisión de ±1 dB, pero la diferencia entre los años es menos sensible si el receptor muestra el margen de la misma manera.

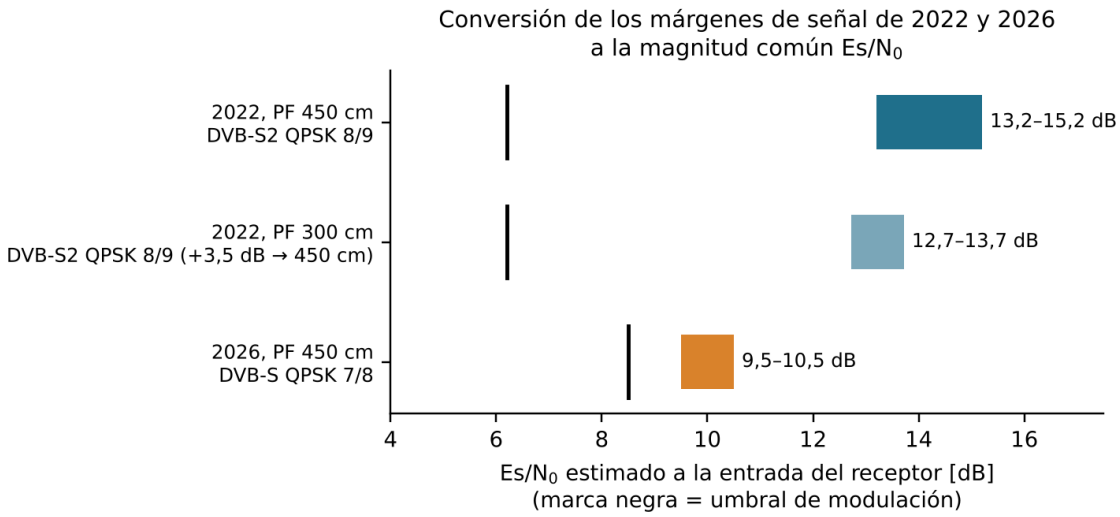


Fig. 6 – Es/N_0 estimado en 2022 y 2026. El descenso es de aproximadamente 3 a 6 dB, típicamente en torno a 4 dB.

De la conversión se extraen tres conclusiones. **En primer lugar**, el descenso no es solo una consecuencia aparente del cambio de modulación: incluso tras la normalización a Es/N_0 permanece una reducción de aproximadamente 3 a 6 dB (rango de 13,2 a 15,2 dB frente a 9,5 a 10,5 dB). **En segundo lugar**, el registro de 2022 en el reflector de 300 cm, tras la conversión (+3,52 dB), da de 12,7 a 13,7 dB, lo que corresponde casi a la mitad inferior del registro en 450 cm (13,2 a 15,2 dB). Dos datos independientes del autor de 2022 no se contradicen, por tanto, entre sí, lo que aumenta la credibilidad de la comparación. **En tercer lugar**, un descenso de 3 a 6 dB equivale a una caída de la potencia a la mitad o a la cuarta parte del valor original, y es, por tanto, grande.

Comprobación de datos: la lista de portadoras del capítulo 4 indica para 11 977 H un FEC 5/6, mientras que la comparación del capítulo 8 habla de FEC 7/8. La diferencia en el resultado es pequeña (unos 0,6 dB en el umbral), pero antes de la publicación debe unificarse el dato.

8.3 Posibles causas del descenso y cómo distinguirlas

A partir de los datos por sí solos no puede determinarse qué causó el descenso. Se plantean las siguientes hipótesis; para cada una indico la medición de control que la confirmará o la descartará.

Hipótesis	Descripción	Cómo verificarla
H1: cambio del EIRP por parte del satélite / del operador	Reducción de la potencia del transpondedor, cambio del back-off, ajuste del haz o de la orientación del satélite respecto al estado original; el satélite está en servicio desde 2011, por lo que también pudo cambiar el régimen de funcionamiento.	Comparar el descenso en portadoras de distintos transpondedores y polarizaciones; solicitar datos al operador o comparar con otro observador en una zona similar.
H2: cambio de la órbita del satélite (inclinación)	Una inclinación orbital creciente provocaría una oscilación diaria de Q y un cambio de la ganancia hacia Lučenec.	Buscar una periodicidad de 24 horas en Q; según el autor, no se producen cambios bruscos ni periódicos.
H3: envejecimiento de la cadena receptora	Empeoramiento de la figura de ruido del LNB, humedad en los conectores, cambio del divisor de alimentación, pérdida de ganancia del cable.	Medición del ruido total del LNB (factor Y, sol o cielo frío), sustitución del LNB, comprobación del cable y de los conectores.
H4: cambio del reflector y de su orientación	Microdeformación de la superficie, desplazamiento del feed, ligera desviación respecto al máximo (cap. 2.4: 0,1° ≈ 0,8 dB).	Nueva búsqueda del máximo, comprobación del foco y de la polarización, comparación con una portadora de referencia.
H5: cambio del entorno del trayecto	Crecimiento de la vegetación o un nuevo obstáculo a la elevación de 26° en la dirección de 139°.	Comprobación fotográfica del horizonte, comparación de la curva en invierno y en verano.

Tab. 6 – Hipótesis sobre el descenso de la señal y mediciones de control propuestas.

El autor indica que el descenso rápido se repite en otras portadoras del haz EAST durante los últimos cuatro años. Esto hablaría más bien a favor de factores comunes a varias portadoras (H1, H3, H4) que de fenómenos específicos de una sola frecuencia. Sin embargo, si la causa fuera la cadena receptora (H3, H4), afectaría también a otros satélites recibidos con la misma técnica; la comparación con una portadora de otro satélite sería, por ello, la prueba más barata y más decisiva.

9. Balance de enlace orientativo y EIRP implícito en Lučenec

El balance de enlace muestra qué EIRP debe estar presente en Lučenec para corresponder a la observación. Para una portadora con una velocidad de símbolo de 27,5 Msímb/s se cumple

$$Es/N_0 = EIRP - L_{fs} - L_{otras} + G/T - 10{\cdot}\log_{10}(k) - 10{\cdot}\log_{10}(R_s),$$

donde $-10{\cdot}\log_{10}(k) = 228{,}6$ dBW/(K·Hz) y $10{\cdot}\log_{10}(R_s) = 74{,}4$ dBHz. Supuestos: ganancia de la antena de 53,1 dBi (η = 0,65), temperatura de ruido del sistema de 80 a 120 K (LNB, cielo, suelo con elevación de 26°), otras pérdidas de 0,5 dB (gases, imprecisión del apuntamiento, polarización).

Situación	Es/N_0 [dB]	EIRP implícito con T = 80 K	con T = 100 K	con T = 120 K
2022 (estimación inferior)	13,2	31,2 dBW	32,2 dBW	33,0 dBW
2022 (estimación superior)	15,2	33,2 dBW	34,2 dBW	35,0 dBW
2026 (estimación inferior)	9,5	27,5 dBW	28,5 dBW	29,3 dBW
2026 (estimación superior)	10,5	28,5 dBW	29,5 dBW	30,3 dBW

Tab. 7 – EIRP implícito en la dirección de Lučenec con los supuestos elegidos. No se trata de una medición del EIRP; los valores sirven para juzgar el orden de magnitud y su incertidumbre es de aproximadamente ±2 dB.

El resultado muestra que el EIRP en la dirección de Lučenec es del orden de 28 a 30 dBW, es decir, unos 20 dB menos que el máximo del diagrama (48 a 51 dBW). Esto concuerda con la posición muy por fuera del

límite de la cobertura y muestra que la recepción en Europa Central solo es posible gracias a la alta ganancia de la antena: con un reflector de 300 cm (−3,5 dB), el margen en 2026 con la misma orientación descendería por debajo de cero, lo que el autor también constata en su resumen («ya no es posible»). Esta estimación muestra, al mismo tiempo, por qué la duplicación del diámetro del reflector (+6 dB) es valiosa para una zona así: equivale a la diferencia entre una recepción estable y su pérdida total.

10. Discusión

Qué respaldan los resultados. Los datos del autor respaldan de forma fiable la afirmación de que, en las condiciones observadas, fue posible recibir siete portadoras de Al Yah 1 en Lučenec con un reflector de 450 cm sin pérdida de enganche durante 510 horas (siete registros de 72 a 77 horas), incluso con chubascos ocasionales. El modelo físico (capítulos 2, 7 y 9) explica este resultado sin contradicciones: el margen sobre el umbral es pequeño pero constante, y la atenuación por lluvia moderada es menor que el margen.

Qué no respaldan los resultados. No respaldan la afirmación sobre la resistencia a la lluvia fuerte, ni la de que la recepción será igual de estable en otras estaciones del año o tras un nuevo descenso del EIRP. Con un margen de 1 a 2 dB, el sistema está cerca del umbral y un nuevo descenso de unos pocos dB pondría fin a la recepción.

Importancia para la práctica. Para los observadores de Europa Central se derivan de ello tres conclusiones prácticas. En primer lugar, **el diámetro de la antena tiene una influencia decisiva**: cada duplicación del diámetro aporta +6 dB; 450 cm frente a 300 cm son +3,5 dB. En segundo lugar, **la calidad de la cadena y la precisión del apuntamiento** se reflejan en un régimen así directamente en el margen (0,1° ≈ 0,8 dB; un empeoramiento de la figura de ruido del LNB de 0,3 dB supone aproximadamente una pérdida de 0,3 dB de margen). En tercer lugar, **la monitorización de larga duración con documentación del entorno** (precipitaciones, temperatura, viento) es la única manera de distinguir los cambios en el satélite de los cambios en tierra.

Relación con otros satélites. El ejemplo de Express AM-7 (40,0° E) con un diagrama indio, en el que el autor captó un aumento brusco de potencia y de calidad, muestra que los saltos son habituales en emisiones nuevas o cambiantes. Las curvas suaves de Al Yah 1 son, por tanto, un tipo de comportamiento cualitativamente distinto: estable, pero a un nivel inferior al del pasado.

11. Limitaciones y condiciones de reproducibilidad

Para que el estudio resista una valoración especializada, deben exponerse abiertamente sus límites:

- **Un lugar, una antena, un observador.** Los resultados son válidos para Lučenec y la configuración dada (reflector, LNB, receptor). Una confirmación independiente desde otro lugar o con otra configuración reforzaría sustancialmente la prueba.
- **Q y el margen son parámetros de un receptor concreto.** Distintos receptores los definen de manera distinta y la escala no tiene por qué ser lineal en dB. Por ello las conversiones del capítulo 8 son orientativas; conviene indicar el modelo de receptor y la forma de mostrar Q.
- **Registros secuenciales.** El conjunto de 510 horas es la suma de siete registros, no una curva simultánea de todas las portadoras (cap. 4.2).
- **Número de muestras.** El dato de 1 836 000 puntos de medición expresa la densidad del registro; el peso estadístico proviene del número de horas y de la diversidad de las condiciones (cap. 6.2).
- **Precipitaciones.** La documentación de la lluvia con datos de shmu.sk conviene completarla con una tabla numérica de intensidad para cada registro (cap. 7).

- **Año 2022.** Los registros no publicados de 2022 deben adjuntarse (al menos gráficos con indicación de la modulación, la hora y la orientación); de lo contrario, la comparación queda sin verificar. Para 11 977 H debe unificarse el dato del FEC (5/6 o 7/8).
- **Causa del descenso.** El estudio cuantifica el descenso, pero no puede determinar su causa (tab. 6).

Paquete de anexos recomendado para la publicación: registros en bruto (CSV con paso de un segundo: hora, Q, nivel, enganche), fotografía de la instalación y del horizonte, modelo del LNB y del receptor, tabla de precipitaciones y temperaturas de cada registro, registros de 2022 con el dato de la orientación.

12. Conclusión

En Lučenec, que se encuentra muy lejos de la huella de los haces EAST y MENA del satélite Al Yah 1, se logró una recepción continua de siete portadoras con un reflector Prodelin de 450 cm: seis del haz EAST y una del haz MENA, en conjunto 510 horas (1 836 000 muestras a 1 Hz), sin una sola pérdida de enganche y sin descenso de Q a cero. El análisis físico muestra que este resultado es coherente con la geometría de la recepción (AZ 139,2°, EL 26,2°, trayecto oblicuo de 38 962 km, atenuación en el espacio libre de 205,8 dB), con una ganancia de la antena de aproximadamente 53 dBi, con los umbrales de las modulaciones utilizadas y con la atenuación esperada por lluvia moderada.

La conversión de los registros de 2022 a la magnitud común Es/N_0 muestra un descenso del nivel de señal de aproximadamente 3 a 6 dB; el margen constante actual es de en torno a 1 a 2 dB. El sistema funciona, por tanto, cerca del umbral y la estabilidad del enganche es notable precisamente porque el margen es pequeño, pero constante. Una nueva reducción de unos pocos dB pondría fin a la recepción. La causa del descenso debe determinarse mediante las mediciones de control indicadas en la tabla 6.

El estudio demuestra así que la recepción en la zona Out Of Footprint en Europa Central es posible de forma duradera con un reflector grande y una cadena de calidad y, al mismo tiempo, muestra dónde están sus límites. Una vez completados los anexos indicados en el capítulo 11, será posible someter los resultados a una verificación independiente.

Bibliografía y fuentes

[1] ETSI EN 300 421: Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for 11/12 GHz satellite services (DVB-S).

[2] ETSI EN 302 307-1: Digital Video Broadcasting (DVB); Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for broadcasting, interactive services, news gathering and other broadband satellite applications (DVB-S2), Part 1.

[3] ITU-R P.618: Propagation data and prediction methods required for the design of Earth-space telecommunication systems.

[4] ITU-R P.838: Specific attenuation model for rain for use in prediction methods.

[5] ITU-R P.839: Rain height model for prediction methods.

[6] ITU-R P.676: Attenuation by atmospheric gases and related effects.

[7] Maral, G., Bousquet, M.: Satellite Communications Systems. Wiley.

[8] Stutzman, W. L., Thiele, G. A.: Antenna Theory and Design. Wiley.

[9] dishpointer.com – cálculo de AZ/EL para 52,5° E (Al Yah 1 / Yahsat 1A), Lučenec; SES – diagramas de radiación de YAHSAT 1A EAST y MENA, banda Ku (www.ses.com); shmu.sk – datos de precipitaciones (completar en los anexos).

Apéndice A – Relaciones utilizadas

Para una estación de latitud φ y longitud λ_s, un satélite en la longitud λ_{sat} y $\Delta = \lambda_{sat} - \lambda_s$ se cumple (R = 6378 km, r = 42 164 km):

$$\cos\gamma = \cos\varphi \cdot \cos\Delta,\ EL = \arctan[(\cos\gamma - R/r) / \operatorname{sen}\gamma],\ AZ = 180° - \arctan[\tan\Delta / \operatorname{sen}\varphi],$$

$$d = \sqrt{(R^2 + r^2 - 2 \cdot R \cdot r \cdot \cos\gamma)}.$$

Para Lučenec: φ = 48,3331°, Δ = 32,8336°, γ = 56,04°, lo que da AZ = 139,18°, EL = 26,16° y d = 38 962 km. El acimut magnético se obtiene restando la declinación magnética (≈ 6,1° al este), lo que corresponde al valor de 133,1° de dishpointer.com.

Umbrales de DVB-S: $Es/N_0 = E_b/N_0 + 10 \cdot \log_{10}(2 \cdot R_c \cdot 188/204)$, con E_b/N_0 = 5,0 / 5,5 / 6,0 / 6,4 dB para R_c = 2/3, 3/4, 5/6, 7/8 (ETSI EN 300 421, redondeado). Regla del tres: límite superior del 95 % para la probabilidad de un suceso en n ensayos independientes sin ningún suceso ≈ 3/n.