

La refracción troposférica como mecanismo transitorio que permite la recepción OOF del haz SOUTH (Sudáfrica) del satélite Rascom QAF-1R en la portadora 11 230 MHz-V

Estudio de caso científico dentro de la metodología Prueba Visualizada

Autor e investigador: Roman Dávid

Institución: Centro de Investigación Científica dxsatcs.com — Club de Satélites DX
Checo-Eslovaco

Punto de recepción: Lučenec, República Eslovaca (aprox. 48,33° N, 19,67° E)

Periodo de observación: 27-30 de junio de 2026 (duración acumulada del monitoreo $t = 64$ horas)

Resumen

Este estudio de caso documenta un fenómeno anómalo y de duración limitada que permitió, de manera temporal, la recepción de la portadora $f = 11\,230$ MHz en polarización vertical, radiada dentro del haz Sudáfrica (SOUTH) del satélite Rascom QAF-1R en la posición orbital 2,9° Este. La recepción se realizó desde la ciudad de Lučenec, en Europa Central —una zona profundamente fuera de la huella de cobertura (Out-of-Footprint, OOF) de este haz— mediante un reflector de foco primario de $D = 450$ cm. Durante el periodo comprendido entre el 27 y el 30 de junio de 2026 se registró un fenómeno atmosférico esporádico, denominado provisionalmente refracción troposférica, que redujo temporalmente la atenuación efectiva del trayecto de propagación de la señal y permitió una recepción inestable pero disponible de forma repetida durante aproximadamente 20 horas diarias a lo largo de tres días consecutivos, con una duración acumulada de monitoreo de $t = 64$ horas. El pico de SNR alcanzó 5,7 dB frente a un umbral de enganche (lock) de $C/N = 4,0$ dB, lo que corresponde a un margen de señal de 1,7 dB. El 30 de junio de 2026 el fenómeno cesó espontáneamente, y desde entonces no se ha registrado ninguna forma de recepción de este haz en el mismo emplazamiento, lo que confirma el carácter único y anómalo del evento. El estudio analiza el mecanismo físico de la refracción troposférica a una elevación moderada (valor calculado $\approx 32,2^\circ$), sus límites frente al ducting clásico en incidencia casi horizontal, y sitúa el resultado en el contexto de la metodología Prueba Visualizada del autor, subrayando la distinción esencial entre la recepción OOF estándar y estable —que requiere una unidad mínima de monitoreo de $t \geq 72$ horas— y este fenómeno de corta duración, dependiente de las condiciones meteorológicas.

1. Introducción y contexto observacional

Los trabajos previos del autor dentro de la metodología Prueba Visualizada (por ejemplo, la documentación del haz North Africa del mismo satélite Rascom QAF-1R, o el monitoreo de larga duración de Express AM7 en 40°E) se han basado siempre en una unidad mínima de monitoreo de $t \geq 72$ horas como condición para la prueba científicamente válida de una recepción OOF estable. El presente estudio se distingue deliberadamente de esa categoría: no pretende demostrar una receptibilidad permanente, sino documentar una anomalía única, condicionada por el clima, de duración más corta pero precisamente definida, $t = 64$ horas.

La configuración técnica se mantuvo idéntica a la de la estación del autor, verificada durante largo tiempo: un reflector parabólico de foco primario Prodelin de $D = 450$ cm, un sintonizador USB DVB-S2 TBS 5927, y el software EBS Pro como única plataforma utilizada, tanto para el análisis en línea continuo de la potencia, la calidad y la tasa de error de bit (BER), como para el registro del pico de SNR.

El satélite Rascom QAF-1R, en la posición $2,9^{\circ}\text{E}$, irradia en su haz SOUTH una señal destinada principalmente a la región del África austral. Lučenec, situada en Europa Central a una latitud de aproximadamente $48,33^{\circ}\text{N}$, se encuentra profundamente fuera del lóbulo principal de este haz —desde el punto de vista de la cobertura diseñada del satélite, un área de EIRP prevista despreciable o nula.

2. Fundamento físico de la refracción troposférica a elevación moderada

El índice de refracción troposférico se expresa en radiotecnica mediante la refractividad N , definida como $N = (77,6/T) \cdot (P + 4810 \cdot e/T)$, donde T es la temperatura termodinámica (K), P la presión atmosférica total (hPa) y e la presión parcial del vapor de agua (hPa) (UIT-R P.453). En condiciones de atmósfera estándar, N disminuye con la altura aproximadamente 40 unidades N por kilómetro, lo cual se expresa en la práctica mediante un factor de radio terrestre efectivo $k = 4/3$, correspondiente a una ligera curvatura del rayo hacia abajo.

Cuando el gradiente vertical de N se acentúa (dN/dh por debajo de aproximadamente -100 a -157 unidades N/km), se produce superrefracción, que puede llegar a formar un conducto atmosférico (ducting), en el cual el rayo se curva lo suficiente como para propagarse prácticamente a lo largo de la curvatura terrestre. Este mecanismo es fundamental para explicar la recepción DX en VHF/UHF con elevación casi nula (enlaces terrestres, DX de televisión). Por ello es necesario establecer con precisión si este mismo mecanismo es aplicable al caso presente.

El cálculo de la geometría del enlace (verificado de forma independiente mediante las fórmulas estándar del ángulo de visión geoestacionario; se recomienda la verificación cruzada mediante DishPointer.com, conforme a la metodología establecida por el autor) arroja, para el emplazamiento de Lučenec y el satélite en $2,9^{\circ}\text{E}$, una elevación aproximada de $32,2^{\circ}$ y un acimut verdadero aproximado de $202,0^{\circ}$. Se trata, por tanto, de una elevación moderada, claramente distinta de las trayectorias casi horizontales asociadas al ducting clásico. Físicamente, no puede suponerse la formación de una capa de atrapamiento en el sentido literal de un conducto radioeléctrico.

El mecanismo relevante a elevación moderada es, en cambio, una combinación de dos efectos vinculados a la misma situación sinóptica responsable de la anomalía de refracción: (a) una curvatura pequeña pero mensurable del rayo, del orden de algunos minutos de arco, expresable como un cambio en el factor k efectivo, y (b) una reducción considerablemente más significativa de la atenuación atmosférica y de la centelleo (scintillation) troposférico debido a un menor contenido de vapor de agua precipitable y una mayor estabilidad de la masa de aire a lo largo del trayecto oblicuo. El efecto combinado de estos dos factores es coherente con la mejora observada del margen de enlace, de aproximadamente 1,7 dB.

3. Condiciones meteorológicas previas (finales de junio de 2026, Europa Central)

Una reducción marcada de la atenuación troposférica a lo largo de trayectos con elevación moderada está típicamente asociada a la presencia de un extenso campo anticiclónico con subsidencia de aire, que produce una inversión térmica en superficie o en altura, suprime la mezcla vertical y reduce el contenido total de vapor de agua precipitable (PWV) en la columna atmosférica.

Tales situaciones sinópticas se observan con mayor frecuencia en Europa Central en el cambio de la primavera al verano, cuando se establece sobre el continente una cresta de alta presión cálida, seca y estable. El contenido reducido de vapor de agua disminuye directamente los valores de absorción gaseosa según el modelo UIT-R P.676, lo que en la banda Ku (11 GHz) se traduce en una reducción real y mensurable de la atenuación total del trayecto.

Al mismo tiempo, se suprime el centelleo troposférico, causado normalmente por la mezcla turbulenta de capas de aire con índices de refracción distintos. Una atmósfera estable y estratificada, sin turbulencia, reduce el margen de centelleo requerido, liberando así, en la práctica, parte del presupuesto de enlace en favor de la portadora.

4. Contexto geométrico y de balance de potencia de la recepción OOF del haz SOUTH

La atenuación de espacio libre (FSPL) para la portadora $f = 11,230$ GHz y la distancia oblicua correspondiente a una elevación de $32,2^\circ$ supera los 205 dB en este trayecto, valor comparable a los obtenidos en estudios de caso OOF previos del autor con otros satélites y haces.

El factor limitante principal, sin embargo, no es únicamente el FSPL, sino sobre todo la caída del EIRP del haz SOUTH hacia y más allá de su borde de cobertura previsto. Precisamente esta caída del EIRP explica por qué, en condiciones troposféricas ordinarias (no potenciadas), una recepción estable de este haz en Europa Central con un reflector de hasta 500 cm queda excluida: la portadora permanece de forma permanente por debajo del umbral $C/N = 4,0$ dB requerido para un enganche (lock) estable.

El fenómeno observado, por tanto, no aumenta el EIRP del satélite ni modifica la geometría del enlace; actúa exclusivamente sobre el lado de la atenuación atmosférica del trayecto de recepción, compensando de manera temporal y parcial un déficit de potencia por lo demás permanente.

5. Datos del monitoreo (t = 64 horas, 27-30 de junio de 2026)

El monitoreo continuo en línea con el software EBS Pro registró ventanas de disponibilidad diaria de aproximadamente 20 horas durante cada uno de los tres días consecutivos. Durante las aproximadamente cuatro horas restantes de cada día, la señal cayó por debajo del umbral de enganche.

El software EBS Pro registró un pico de SNR de 5,7 dB, que frente al umbral $C/N = 4,0$ dB corresponde a un margen de señal de 1,7 dB. El único factor de degradación durante los intervalos por encima del umbral fue una pixelación ocasional de la imagen, mientras que durante breves intervalos de máxima calidad se obtuvo una imagen fluida y estable

sin degradación visible.

El fenómeno cesó espontáneamente el 30 de junio de 2026. Desde esa fecha no se ha registrado en este emplazamiento ninguna forma de recepción —ni siquiera inestable— del haz SOUTH de Rascom QAF-1R, lo cual constituye una confirmación empírica importante del carácter anómalo y no permanente del fenómeno.

6. Distinción de la anomalía frente a la recepción OOF estándar (criterio $t \geq 72$ h)

La metodología Prueba Visualizada establece una unidad mínima de monitoreo de $t \geq 72$ horas como condición bajo la cual la recepción OOF puede clasificarse como una propiedad científicamente comprobada y estable de la cadena de recepción correspondiente (antena, receptor, emplazamiento), independiente de las fluctuaciones atmosféricas de corto plazo.

El caso presente, que alcanza $t = 64$ horas y sin recurrencia posterior al 30 de junio de 2026, no cumple este criterio y, por tanto, no puede clasificarse como recepción OOF estable en el sentido de los estudios de caso previos del autor. Constituye una categoría separada: una anomalía meteorológica documentada, de ocurrencia precisamente delimitada, cuyo valor científico radica en la cuantificación de la mejora del margen de enlace alcanzable bajo condiciones atmosféricas excepcionales, y no en la demostración de una receptibilidad permanente.

Esta distinción es metodológicamente esencial: confundir una anomalía de corta duración, dependiente del clima, con una propiedad permanente de la recepción OOF debilitaría la credibilidad científica de todo el marco de la Prueba Visualizada.

7. Cinco enunciados axiomáticos de conclusión

1. A elevación moderada (por encima de aproximadamente 30°), la refracción troposférica actúa predominantemente como una reducción de la atenuación atmosférica y del centelleo, y no como un conducto radioeléctrico clásico asociado a la propagación casi horizontal.
2. La ocurrencia del fenómeno durante $t = 64$ horas no establece el estatus de recepción OOF estable según el criterio $t \geq 72$ horas fijado por la metodología Prueba Visualizada.
3. El fenómeno estuvo vinculado a una situación sinóptica específica y transitoria (anticiclón, inversión, bajo contenido de vapor de agua precipitable), y su recurrencia no es predecible ni está garantizada de forma diaria.
4. El cese espontáneo del fenómeno el 30 de junio de 2026, sin recurrencia posterior, confirma su carácter anómalo y no permanente.
5. El valor científico de la observación radica en la cuantificación precisa del umbral de no receptibilidad ordinaria de la señal OOF procedente del haz SOUTH, y en la documentación del grado de mejora (margen de 1,7 dB) alcanzable exclusivamente bajo condiciones atmosféricas excepcionales.

Resumen de los parámetros técnicos clave

Parámetro	Valor
Satélite / haz	Rascom QAF-1R, 2,9°E, SOUTH (Sudáfrica)
Frecuencia portadora / polarización	11 230 MHz, V
Punto de recepción	Lučenec, República Eslovaca ($\approx 48,33^{\circ}\text{N}$, $19,67^{\circ}\text{E}$)
Elevación (calculada, verificada mediante DishPointer.com)	$32,2^{\circ}$
Acimut verdadero (calculado, verificado mediante DishPointer.com)	$202,0^{\circ}$
LNB Skew (DishPointer.com)	$14,4^{\circ}$
Antena	Foco primario Prodelin, D = 450 cm
Receptor	TBS 5927 USB DVB-S2
Software	EBS Pro (monitoreo en línea y registro del pico de SNR)
Duración del monitoreo	t = 64 h (27-30 de junio de 2026)
Disponibilidad diaria	≈ 20 h/día, 3 días consecutivos
Pico de SNR	5,7 dB
Umbral C/N	4,0 dB
Margen de señal	1,7 dB
Cese del fenómeno	30 de junio de 2026 (sin recurrencia)

8. Conclusión

Este estudio documenta e interpreta físicamente un fenómeno anómalo de refracción troposférica, dependiente del clima, que durante t = 64 horas permitió una recepción inestable pero disponible de forma repetida de una señal profundamente OOF procedente del haz SOUTH de Rascom QAF-1R en Europa Central. A diferencia de los estudios de caso previos de larga duración del autor, basados en el criterio $t \geq 72$ horas de la metodología Prueba Visualizada, se trata aquí de una categoría distinta de hallazgo: una anomalía única y precisamente delimitada, con una mejora del margen de enlace claramente cuantificada (1,7 dB), y no una prueba de receptibilidad permanente. Es precisamente esta distinción la que constituye la aportación científica del estudio, al permitir separar los fenómenos temporales, dependientes del clima, de las propiedades permanentes de la cadena de recepción, preservando así el rigor metodológico de todo el marco de investigación.

Nota metodológica: los valores de elevación y acimut indicados se calcularon mediante fórmulas estándar para satélites geoestacionarios; conforme a la práctica establecida del autor, se recomienda su verificación cruzada mediante DishPointer.com.

Referencias bibliográficas

- [1] Recomendación UIT-R P.453-14: The radio refractive index — its formula and refractivity data. Unión Internacional de Telecomunicaciones, Ginebra.
- [2] Recomendación UIT-R P.676-13: Attenuation by atmospheric gases and related effects. Unión Internacional de Telecomunicaciones, Ginebra.
- [3] Recomendación UIT-R P.618-14: Propagation data and prediction methods required for the design of Earth-space telecommunication systems. Unión Internacional de Telecomunicaciones, Ginebra.
- [4] Recomendación UIT-R P.837-7: Characteristics of precipitation for propagation modelling. Unión Internacional de Telecomunicaciones, Ginebra.
- [5] Bean, B. R., Dutton, E. J.: Radio Meteorology. National Bureau of Standards Monograph 92, U.S. Department of Commerce, Washington, D.C., 1966.
- [6] DishPointer.com — calculadora en línea de elevación, acimut y LNB skew para satélites geoestacionarios; utilizada para la verificación cruzada de la geometría del enlace para el sitio de recepción de Lučenec.
- [7] Dávid, R.: Prueba Visualizada — metodología de monitoreo de señal de larga duración para la recepción OOF, dxsatcs.com, Club de Satélites DX Checo-Eslovaco, 2020 y ss.
- [8] Dávid, R.: estudio de caso Express AM7 @ 40°E — Why One-Second Lock Has Near-Zero Scientific Value in Satellite DX Reception Studies, dxsatcs.com, 2026.
- [9] Dávid, R.: estudio de caso Rascom QAF-1R — haz North Africa, sesión de monitoreo de 82 horas, dxsatcs.com, 2026.
- [10] Documentación técnica del fabricante del software EBS Pro (monitoreo en línea DVB-S2/S2X) y del sintonizador USB DVB-S2 TBS 5927, TBS Technologies.

Anexo: Documentación gráfica

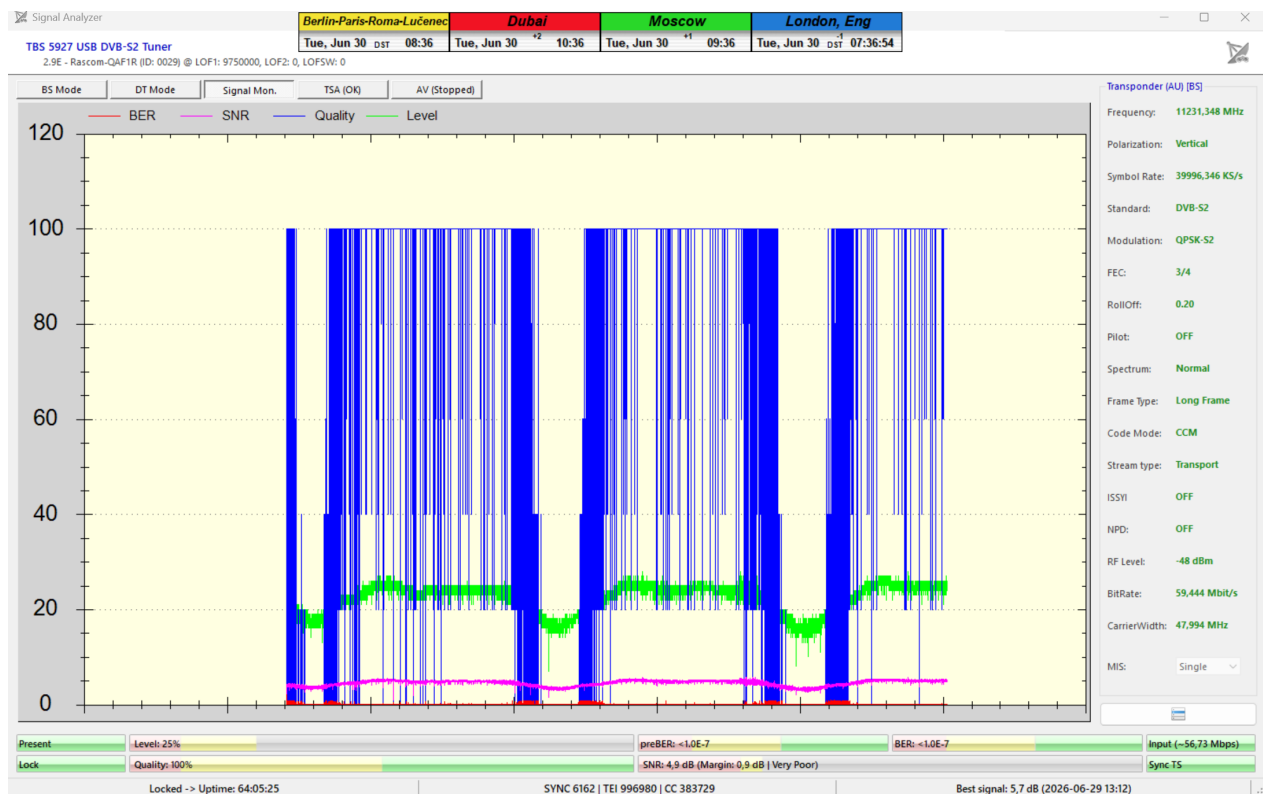


Fig. 1 — Registro del software EBS Pro durante el monitoreo de la señal (sintonizador USB DVB-S2 TBS 5927): duración total de enganche Uptime 64:05:25 h, portadora 11.231,348 MHz V, pico de señal de 5,7 dB alcanzado el 29/06/2026 a las 13:12. El gráfico muestra la evolución de BER, SNR, Quality y Level durante toda la ventana de monitoreo.

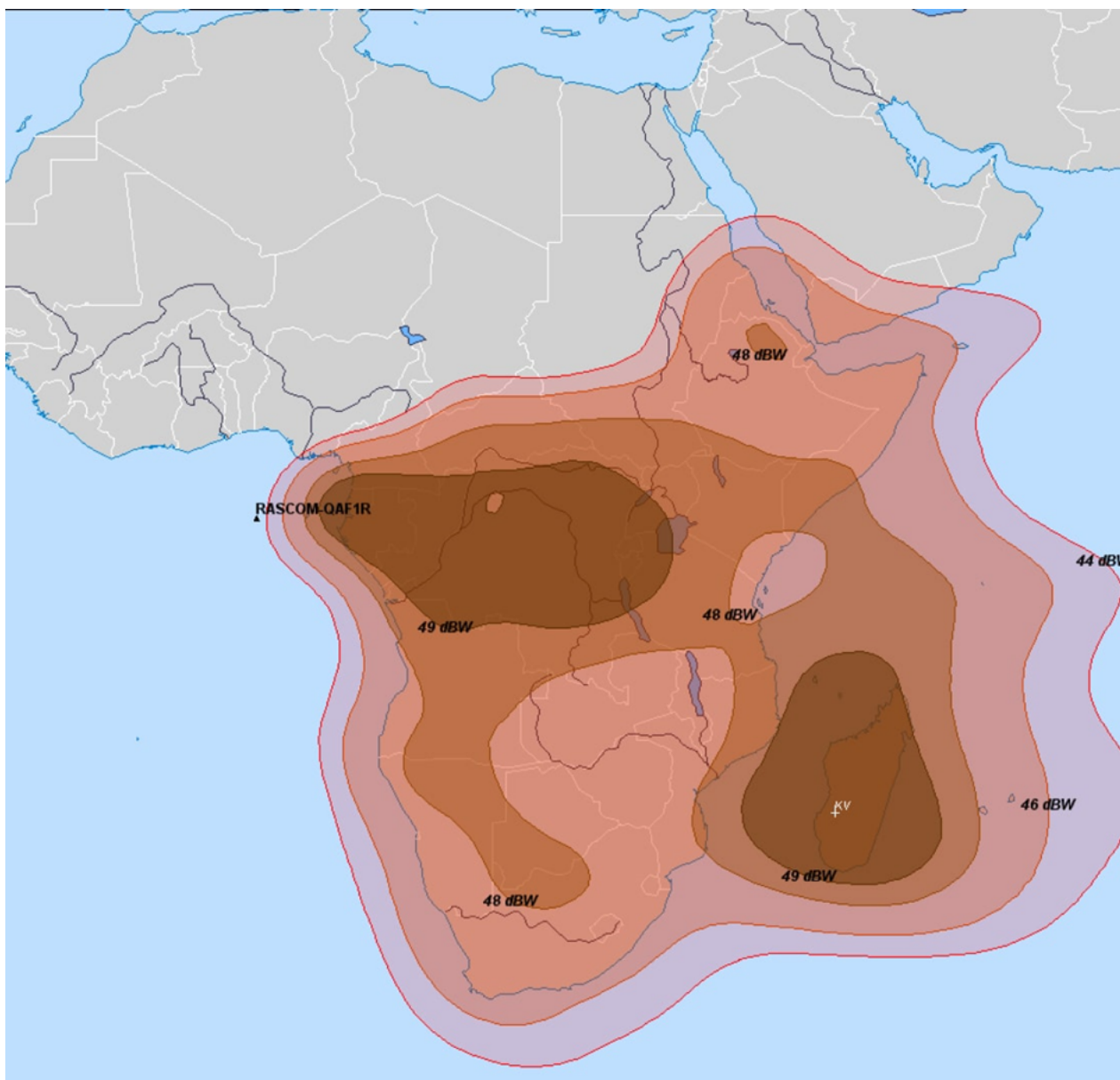


Fig. 2 — Diagrama de radiación oficial del haz SOUTH (Sudáfrica) del satélite Rascom QAF-1R en 2,9°E, con las curvas de EIRP de 44–49 dBW marcadas. El punto de recepción de Lučenec se encuentra claramente fuera de la cobertura representada, lo que ilustra la profundidad de la posición OOF de la estación receptora.

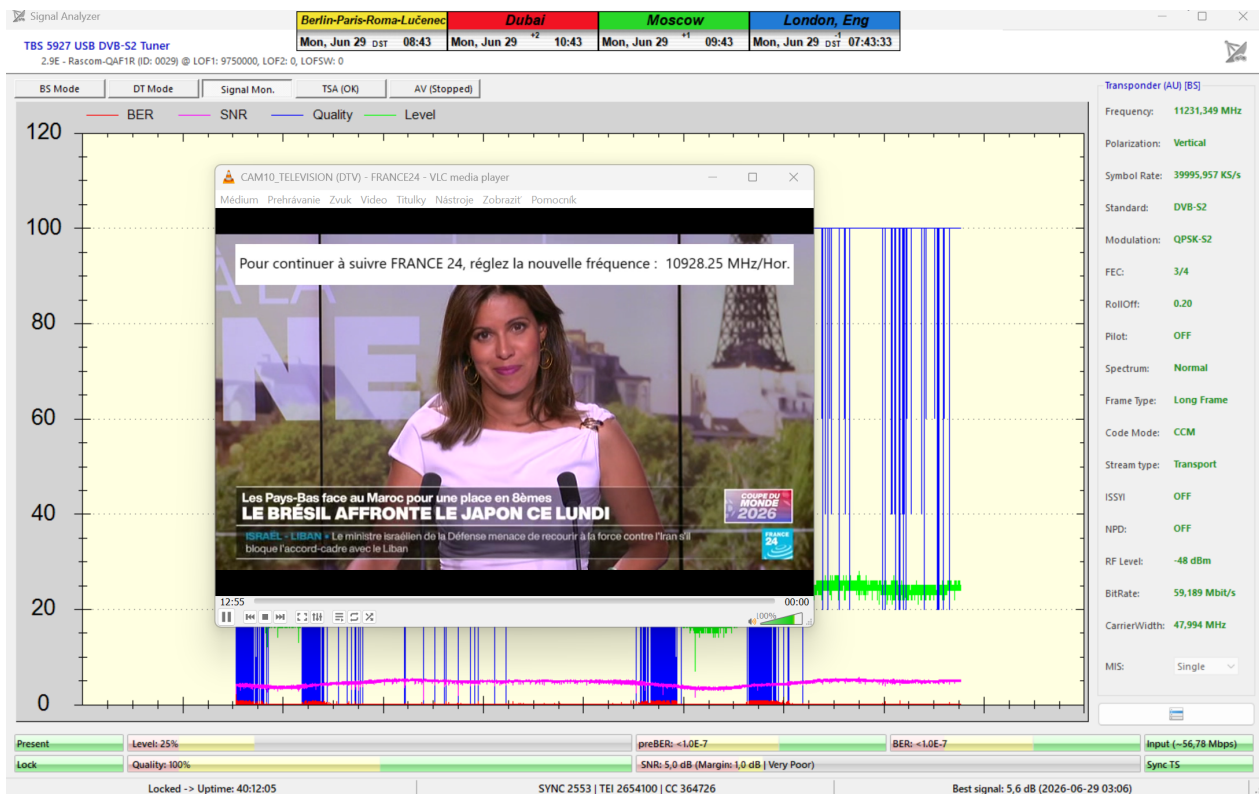


Fig. 3 — Captura en vivo de la estación receptora durante una de las ventanas de recepción estable (reproductor VLC media player, canal FRANCE24), Uptime 40:12:05 h, SNR 5,0 dB. La captura documenta una imagen fluida sin degradación visible durante un intervalo por encima del umbral.