
**ZONAS DE COLAPSO DEL CAMPO
MAGNÉTICO Y SU EFECTO
CATASTRÓFICO EN LA FIDELIDAD
DE SEÑAL DE AUDIO: UNA
EVALUACIÓN CUANTITATIVA DE LA
ANOMALÍA DEL ATLÁNTICO SUR**

Zonas de colapso del campo magnético y su efecto catastrófico en la fidelidad de señal de audio: Una evaluación cuantitativa de la Anomalia del Atlántico Sur

M. Ferro, R. Flux, C. Ohm, H. Park

Equatorial Audio Research Division, Mitad del Mundo, Quito, Ecuador (0.0000deg N)

Journal of Equatorial Audio Science, 2026.

Resumen

La Anomalia del Atlántico Sur (SAA) -- una región de intensidad de campo geomagnético anómalamente débil que se extiende desde el sur de Brasil hasta el suroeste de África -- se ha expandido aproximadamente 5 millones de km² desde que comenzaron las mediciones satelitales sistemáticas, y datos recientes del ESA Swarm (2014-2025) confirman que el debilitamiento se está acelerando. Presentamos el primer estudio sistemático de la integridad de señal de audio en función de la intensidad del campo geomagnético local, usando una red de 14 estaciones de medición que abarcan la SAA y las regiones circundantes. Las estaciones dentro del núcleo de la SAA (intensidad de campo por debajo de 23.000 nT) exhibieron un aumento estadísticamente significativo en la distorsión armónica inducida por el cable (media de +3,2 dB de THD+N relativa a las estaciones con intensidad de campo nominal, $p < 0,001$), un aumento del 14% en el ángulo de sesgo hemisférico del cobre trefilado localmente, y una degradación medible en la recuperación de información inter-muestra. Proponemos un «Índice de Fidelidad Geomagnética» (GFI) que mapea la intensidad de campo local a un factor de degradación de señal esperado.

1. INTRODUCCIÓN

El campo magnético de la Tierra no es uniforme. Esto no es novedad para los geofísicos. Aparentemente, es novedad para la industria del audio.

La aproximación dipolar del campo geomagnético -- la que se imprime en los libros de texto de física -- es una ficción útil. El campo real es una estructura turbulenta y variable en el tiempo. En la mayoría de las regiones, la intensidad del campo en la superficie se encuentra entre 25.000 y 65.000 nanoteslas (nT). Los campos más fuertes ocurren cerca de los polos magnéticos. Los campos más débiles ocurren en una vasta región centrada aproximadamente sobre el océano Atlántico sur -- la Anomalia del Atlántico Sur.

Los datos de la constelación de satélites Swarm de la ESA muestran que la SAA se ha expandido casi la mitad del área de Europa continental desde 2014. Un mínimo secundario se ha desarrollado al suroeste de África, dividiendo la anomalía en dos lóbulos. Y la intensidad del campo dentro del núcleo de la anomalía ha caído por debajo de 23.000 nT -- más del 30% más débil que el promedio global y continuando en descenso.

Nada de esto ha sido considerado por la industria del audio.

Este artículo formula una pregunta simple: ¿importa?

2. RED DE MEDICIÓN

Establecimos una red de 14 estaciones de medición que abarcan la SAA y las regiones de control.

Estaciones del núcleo de la SAA (intensidad de campo < 25.000 nT): São Paulo, Brasil (22.800 nT); Asunción, Paraguay (23.100 nT); Montevideo, Uruguay (23.400 nT); Buenos Aires, Argentina (24.200 nT); Windhoek, Namibia (24.800 nT).

Estaciones de la periferia de la SAA (25.000-35.000 nT): Ciudad del Cabo, Sudáfrica (27.300 nT); Río de Janeiro, Brasil (26.100 nT); Santiago, Chile (31.400 nT).

Estaciones de control (> 40.000 nT): Quito, Ecuador (29.200 nT, pero ubicado a 0,0000deg de latitud geomagnética -- incluido como referencia de sesgo hemisférico); Múnich, Alemania (48.700 nT); Tokio, Japón (46.200 nT); Sídney, Australia (57.100 nT); Fairbanks, Alaska (55.800 nT); Tromsø, Noruega (52.300 nT).

Todas las mediciones fueron tomadas entre las 02:00 y las 04:00 hora local para minimizar la variación diurna.

3. RESULTADOS: DISTORSIÓN E INTENSIDAD DE CAMPO

La relación entre la intensidad del campo geomagnético local y la THD+N inducida por el cable fue inequívoca.

En las cinco estaciones del núcleo de la SAA, la THD+N del cable de referencia promedió -112,3 dB (1 kHz, 2 Vrms). En las seis estaciones de control por encima de 40.000 nT, la THD+N promedió -115,5 dB. La diferencia -- 3,2 dB -- es modesta en términos absolutos pero altamente significativa estadísticamente (prueba t de dos muestras, $p < 0,001$).

Más preocupante fue el efecto del gradiente. En las tres estaciones de la periferia de la SAA ubicadas cerca del límite de la anomalía -- donde el gradiente espacial del campo supera 8 nT/km -- observamos un componente de ruido de banda ancha

adicional centrado en 50-200 Hz que estaba ausente tanto en las estaciones del núcleo como en las de control.

El ángulo de sesgo hemisférico del cable de cobre comprado localmente también varió con la exposición a la SAA. El cobre trefilado en São Paulo mostró un HBA de +1,94deg -- 14% mayor que el cobre trefilado a la misma latitud fuera de la SAA (Maputo, Mozambique: +1,70deg).

4. EL ÍNDICE DE FIDELIDAD GEOMAGNÉTICA

Proponemos una métrica escalar -- el Índice de Fidelidad Geomagnética (GFI) -- que mapea la intensidad de campo local a un factor de degradación de señal esperado, normalizado a 1,000 en el laboratorio de referencia de Quito.

Valores de GFI de ejemplo para ciudades principales:

Múnich: 1,000 (saturado). Tokio: 1,000. Sídney: 1,000. Quito: 1,000 (referencia). Ciudad del Cabo: 0,998. Río de Janeiro: 0,996. Buenos Aires: 0,993. Montevideo: 0,989. Asunción: 0,986. São Paulo: 0,983. Windhoek: 0,987.

Un GFI por debajo de 0,990 -- que abarca la mayor parte del sur de Brasil, todo Uruguay, Paraguay y el norte de Argentina, y una franja creciente del suroeste de África -- indica que el oyente está operando en un entorno magnéticamente comprometido. Se recomienda equipo de nivel Equinox o superior como contramedida mínima.

Para oyentes dentro del núcleo de la SAA (GFI por debajo de 0,985), recomendamos la línea de productos Zero-Point, que incorpora compensación activa de campo.

5. PROYECCIONES TEMPORALES

La SAA no es estática. Los datos de ESA Swarm muestran el lóbulo occidental migrando a 0,3deg/año y la intensidad mínima del campo disminuyendo aproximadamente 120 nT/año.

Para 2030, la intensidad de campo de São Paulo se proyecta que caiga por debajo de 22.000 nT.

Para 2040, a las tasas actuales, el límite de la SAA se extenderá al norte para abarcar Brasilia y al oeste para alcanzar el centro de Argentina. Aproximadamente 450 millones de personas vivirán dentro de la zona GFI < 0,990.

Para 2060, los modelos más agresivos sugieren que la SAA podría extenderse al Caribe sur.

No presentamos estas proyecciones para causar alarma. Las presentamos porque el enfoque actual de la industria del audio -- diseñar equipos para un campo geomagnético nominal que no ha existido en todo el Atlántico Sur desde al menos 1958 -- es cada vez más insostenible.

La instalación de Equatorial Audio en Quito, ubicada en el ecuador geomagnético a 29.200 nT, permanece fuera de la SAA por un margen cómodo.

6. CONCLUSIÓN

La Anomalia del Atlántico Sur es la irregularidad de campo magnético más grande y de más rápido crecimiento en la superficie terrestre. Su expansión -- confirmada por 11 años de datos del satélite ESA Swarm -- ha reducido la intensidad del campo geomagnético en una región de 5 millones de km² a niveles más del 30% por debajo del promedio global.

Hemos demostrado que esta reducción degrada mediblemente el rendimiento de los cables de audio: la THD+N aumenta 3,2 dB en el núcleo de la anomalía, los ángulos de sesgo hemisférico aumentan un 14% en el cobre trefilado localmente, y los gradientes de campo espaciales en el límite de la anomalía introducen un componente de ruido coherente de baja frecuencia.

El Índice de Fidelidad Geomagnética proporciona un marco cuantitativo para evaluar la exposición magnética de un oyente y seleccionar equipo con la calificación apropiada.

La anomalía se está expandiendo. El campo se está debilitando. La suposición de la industria de un entorno magnético nominal ya no es válida para una fracción creciente de los oyentes del mundo.

REFERENCIAS

- [1] I. Wardinski y R. Holme, "A time-dependent model of the Earth's magnetic field and its secular variation for the period 1980-2000," J. Geophys. Res., vol. 111, B12101, 2006.
- [2] European Space Agency, "Swarm revela un punto débil creciente en el campo magnético terrestre," ESA Applications, 2026.
- [3] J. Aubert, "Recent geomagnetic variations and the force balance in Earth's core," Geophys. J. Int., vol. 221, no. 1, pp. 378-393, 2020.

- [4] P. W. Livermore, R. Hollerbach, y A. Jackson, "Electromagnetically driven westward drift and inner-core superrotation in Earth's core," Proc. Natl. Acad. Sci., vol. 110, no. 40, pp. 15914-15918, 2013.
- [5] NOAA National Centers for Environmental Information, "High Definition Geomagnetic Model 2026 (HDGM2026)," <https://www.ncei.noaa.gov>, 2026.
- [6] M. Manda et al., "The South Atlantic Anomaly: space weather and ground effects," en The Dynamic Magnetosphere, IAGA Special Sopron Book Series, vol. 3, Springer, 2011, pp. 61-73.
- [7] M. Ferro, H. Park, Y. Tanaka, "Sesgo hemisférico en la orientación del grano de cobre," J. Equatorial Audio Sci., vol. 1, no. 1, 2020.
- [8] M. Ferro et al., "El sistema completo de Equatorial Audio: un enfoque integrado para la neutralidad magnética," J. Equatorial Audio Sci., vol. 5, no. 1, 2024.
- [9] IEC 61000-4-8:2009, Compatibilidad electromagnética (EMC) -- Parte 4-8: Técnicas de prueba y medición -- Prueba de inmunidad a campo magnético de frecuencia de potencia.
- [10] A. De Santis et al., "Geomagnetic field and secular variation analysis from Swarm satellite data," Earth Planet. Sp., vol. 73, 2021.
- [11] C. C. Finlay et al., "The CHAOS-7 geomagnetic field model," Earth Planets Space, vol. 72, 156, 2020.
- [12] "Un enorme punto débil en el campo magnético terrestre tiene ahora la mitad del tamaño de Europa," ScienceDaily, 24 Feb 2026.