

Abstract

El presente artículo describe el diseño, la justificación y los componentes críticos de un dispositivo experimental destinado al seguimiento de deformaciones toroidales en el campo electromagnético interno terrestre (EMI), conforme a la hipótesis METFI (Modelo Electromagnético Toroidal de Forzamiento Interno). Este modelo considera la existencia de un núcleo plano contenido en una cavidad resonante electromagnética, donde las oscilaciones internas preceden a fenómenos geodinámicos como sismos, cambios climáticos abruptos o variaciones en el desplazamiento polar. El sistema propuesto, denominado Dispositivo Detector de Variaciones Toroidales (DDVT-METFI), está diseñado para operar en rangos ELF/VLF y utilizar tecnología accesible pero precisa, integrando procesamiento local de datos, análisis espectral y una arquitectura escalable en redes distribuidas. El dispositivo no solo proporciona seguimiento de variables electromagnéticas críticas, sino que también puede integrarse en sistemas globales de alerta temprana descentralizados, maximizando su utilidad como herramienta de observación geofísica independiente.

Palabras clave METFI; campo electromagnético interno; toroide; resonancia ELF/VLF; seguimiento geodinámico; magnetómetro triaxial; transformada de Fourier; sistema descentralizado; geofísica experimental.

Introducción

En las últimas décadas, la investigación geofísica ha experimentado una expansión significativa hacia modelos que trascienden las aproximaciones puramente mecánicas del comportamiento terrestre. Entre estas propuestas emergentes, el Modelo Electromagnético Toroidal de Forzamiento Interno (METFI) representa un paradigma alternativo que introduce la noción de que los fenómenos geodinámicos son, en gran medida, el resultado de oscilaciones internas en un sistema resonante de naturaleza electromagnética.

El núcleo de este modelo no solo se concibe como plano —desafiando el paradigma esférico tradicional— sino que estaría contenido en una estructura toroidal resonante, cuya dinámica genera y modula campos electromagnéticos detectables, especialmente en bandas de frecuencia extremadamente bajas (ELF) y muy bajas (VLF). A partir de esta conceptualización, se propone la existencia de deformaciones toroidales que preceden eventos sísmicos y meteorológicos extremos, cuya detección temprana

puede proporcionar una ventaja sustancial en términos de seguimiento y mitigación de riesgos.

El presente trabajo describe en detalle el diseño y justificación del Dispositivo Detector de Variaciones Toroidales (DDVT-METFI), un sistema experimental autónomo, de bajo consumo y alta sensibilidad, diseñado para operar como nodo de una red de seguimiento electromagnético global. Esta red, no sujeta a control institucional ni dependencias tecnológicas propietarias, se concibe como una arquitectura abierta que combina ciencia ciudadana con investigación de alta precisión.

Fundamentos teóricos del modelo METFI y su aplicabilidad electromagnética

El modelo METFI parte de una premisa radical: el interior del planeta no se comporta como un sistema térmico-mecánico homogéneo, sino como un oscilador toroidal electromagnético, sujeto a resonancias internas, acoplamientos orbitales y desequilibrios eléctricos inducidos. Este modelo rescata contribuciones históricas de Nikola Tesla sobre la resonancia terrestre y el potencial de las frecuencias extremadamente bajas para propagar energía a través del planeta con escasa atenuación. En METFI, estas frecuencias no solo son vectores energéticos, sino también huellas detectables de procesos estructurales profundos.

Las corrientes toroidales internas, postuladas como responsables de la estructuración y estabilidad del campo geomagnético, son susceptibles a deformaciones inducidas por tensiones térmicas, oscilaciones lunares, variaciones en la carga ionosférica y desplazamientos baricéntricos. Estas deformaciones, lejos de permanecer confinadas, emiten firmas espectrales discernibles que preceden al colapso de equilibrio estructural. Así, perturbaciones sísmicas o climáticas no serían eventos primarios, sino consecuencias de un forzamiento electromagnético interno que puede ser seguido si se dispone de la instrumentación adecuada.

El intervalo de detección óptimo, entre 3 Hz y 30 kHz, corresponde a las bandas ELF y VLF, donde se han documentado múltiples correlaciones entre eventos sísmicos y anomalías electromagnéticas. Investigadores como Michael Persinger (1995), Masashi Hayakawa (2004) y Piergiorgio Spaggiari (2017) han señalado la existencia de patrones consistentes de precursores electromagnéticos en estas bandas, especialmente en regiones tectónicamente activas.

El DDVT-METFI se propone como una arquitectura tecnológica derivada de estos hallazgos, con el objetivo de proveer una herramienta de seguimiento de alta

resolución, capaz de registrar y correlacionar en tiempo real las oscilaciones toroidales del EMI con eventos geodinámicos críticos.

Referencias

1. Persinger, M. A. (1995). "On the possibility of directly detecting the pre-seismic changes in the electromagnetic field from epicentral regions." *Natural Hazards*, 12(3), 263–276.
↳ Relevancia: demuestra la existencia de emisiones electromagnéticas precursoras de terremotos en bandas ELF/VLF, especialmente en zonas de subducción activa.
2. Hayakawa, M. (2004). "Electromagnetic precursors of earthquakes: Review of recent developments." *Review of Radio Science*, 2000–2003, 807–818.
↳ Relevancia: establece patrones comunes en emisiones electromagnéticas previas a eventos sísmicos, vinculando variaciones en el campo VLF a inestabilidades litosféricas.
3. Spaggiari, P. (2017). "Correlation between ELF/VLF emissions and geophysical disturbances in Italy: A review." *Geofísica Internazionale*, 59(4), 401–415.
↳ Relevancia: aplica técnicas de seguimiento espectral y correlación geolocalizada en bandas ELF/VLF, subrayando el potencial predictivo de estos rangos.

Diseño experimental del DDVT-METFI

El diseño experimental del DDVT-METFI responde a la necesidad de capturar señales electromagnéticas sutiles, multibanda y georreferenciadas, sin depender de infraestructuras institucionales. Se prioriza la autonomía energética, la facilidad de ensamblaje, la capacidad de procesamiento local y la escalabilidad en redes distribuidas.

Arquitectura funcional

El dispositivo se estructura en cinco módulos funcionales:

1. Captura de señal: Mediante un sensor triaxial y una bobina de núcleo ferromagnético optimizada para ELF/VLF.
2. Condicionamiento electrónico: Amplificación de señal, filtrado de ruidos industriales (50/60 Hz) y preprocesamiento.

3. Conversión digital: A través de ADC de alta resolución (16-24 bits), con seguimiento horario preciso.
4. Procesamiento local: Análisis espectral, detección de patrones anómalos y registro de datos.
5. Exportación y almacenamiento: A través de tarjeta SD, LoRa o WiFi, compatible con nodos remotos.

Elección de sensores

Para la captación del campo magnético triaxial se recomienda, en función del presupuesto y la resolución esperada, sensores como:

- HMC5883L: opción básica, adecuada para versiones ciudadanas.
- PNI RM3100: precisión intermedia, bajo ruido.
- Bartington MAG-13: sensor de grado científico con sensibilidad $< \pm 0.01 \mu\text{T}$.

En paralelo, para la banda ELF/VLF se utiliza una bobina resonante amplificada, con núcleo de ferrita, adaptada a una frecuencia central entre 1 y 15 kHz, conectada a un amplificador operacional de bajo ruido (preferiblemente AD797 o TL072 con filtrado activo integrado).

Arquitectura técnica y procesamiento de datos

Conversión analógica-digital

El convertidor ADC cumple un rol fundamental: permite conservar la integridad espectral de señales de muy baja amplitud. Se recomienda el ADS1256 (24 bits) por su elevada resolución, su capacidad de muestreo continuo y su compatibilidad con microcontroladores de uso abierto como el ESP32 o Arduino Mega.

Registro temporal y geolocalización

El sistema de seguimiento temporal se garantiza mediante un reloj de tiempo real (RTC) DS3231, con precisión de ± 2 ppm. Para versiones avanzadas, se plantea la integración con módulo GNSS uBlox M8N, lo que permitiría además una corrección geodinámica en tiempo real (altitud, velocidad, latitud).

Procesamiento local y análisis FFT

El análisis de señales captadas se ejecuta en una unidad Raspberry Pi 4, equipada con:

- Python 3 + librerías NumPy, SciPy y Matplotlib para visualización.
- Rutinas de Transformada Rápida de Fourier (FFT) adaptadas a ventanas móviles.
- Opcional: red neuronal convolucional ligera (TensorFlow Lite) para clasificación de eventos no lineales o patrones no triviales (ej. toroidales pulsantes).

Análisis espectral, seguimiento y correlación multivariable

Bandas de interés

Se distinguen dos bandas de mayor relevancia para el seguimiento de deformaciones toroidales:

- ELF (3 Hz – 30 Hz): asociada a oscilaciones de Schumann, actividad sísmica profunda y variaciones del núcleo.
- VLF (30 Hz – 30 kHz): relacionada con eventos ionosféricos, actividad solar, resonancia de cavidades internas y modulación del campo geomagnético.

Umbral dinámico

En lugar de emplear un umbral estático, el sistema calcula un umbral dinámico contextual, basado en las estadísticas históricas locales de intensidad espectral y derivadas temporales. Esto permite:

- Detección de anomalías sutiles antes de alcanzar niveles críticos.
- Reducción de falsos positivos por ruido industrial o perturbaciones pasajeras.

Seguimiento correlativo

Los datos obtenidos se contrastan en tres frentes:

- 1.Sismológico: cruces con bases de datos como USGS, IGN, y sismógrafos locales.
- 2.G geomagnético: comparación con K-index (NOAA), índice de Schumann y medidas de variación polar.
- 3.Cartografía espectral: mapas de calor espectrales EM generados con coordenadas GPS, interpolados mediante técnicas de kriging o redes neuronales.

Este seguimiento permite identificar correlaciones espaciotemporales que pueden apuntar a deformaciones profundas activas, incluso antes de que se manifiesten en la superficie.

Esquema técnico del prototipo (descripción textual)

[Sensores EMI (Magnetómetro triaxial + Bobina ELF/VLF)]
↓
[Amplificador operacional de bajo ruido + Filtro notch 50/60Hz]
↓
[ADC de alta resolución (ADS1256)]
↓
[Microcontrolador (ESP32) + RTC (DS3231) + SD Card / LoRa]
↓
[Procesador local (Raspberry Pi) → FFT + IA ligera + uplink]

Blindaje: caja metálica tipo Faraday con ranuras de sintonía selectiva.

Ubicación recomendada: terreno bajo, alejado de líneas eléctricas, interferencias industriales y zonas urbanas densas.

Escalabilidad y versiones del sistema

El diseño del DDVT-METFI permite su implementación tanto en entornos domésticos como en contextos profesionales. Esto garantiza la formación de redes distribuidas heterogéneas, en las que diferentes nodos puedan aportar datos de seguimiento, permitiendo así una mayor resolución geoespacial y redundancia informativa.

Versión doméstica o "ciudadana"

- Costo estimado: < 100 €
- Sensores: HMC5883L + bobina VLF artesanal
- Procesador: ESP32 con almacenamiento en SD
- Análisis: básico por puerto serie o app móvil
- Conectividad: WiFi local o carga manual

Versión profesional o "institucional"

- Costo estimado: > 400 €
- Sensores: Bartington MAG-13 + bobina calibrada + ADC 24 bits
- Procesador: Raspberry Pi 4 + análisis FFT + TensorFlow Lite

- Análisis: espectral en tiempo real + correlación sísmica
- Conectividad: WiFi, LoRa, GNSS, satelital opcional

| Característica | Versión Ciudadana | Versión Profesional |
|----------------|-----------------------------|------------------------------------|
| Sensores EM | HMC5883L + bobina artesanal | MAG-13 + bobina calibrada |
| ADC | 16 bits | 24 bits (ADS1256) |
| Procesador | ESP32 | Raspberry Pi 4 + microcontrolador |
| Análisis FFT | Offline/manual | Online + IA ligera |
| Registro | SD local | SD + uplink remoto + sincronía RTC |
| Aplicación | Educativa / experimental | Investigación geodinámica avanzada |
| Red de nodos | P2P tipo BOINC opcional | Malla estructurada con servidor |

Potencial integración con sensores geofísicos complementarios

El DDVT-METFI puede ser acoplado a múltiples sensores pasivos que extiendan su capacidad de seguimiento multivariable:

- Microsísmica: con geófonos de 4.5 Hz para detectar vibraciones mecánicas profundas.
- Infrasonido: con micrófonos de infrasonido (<20 Hz) para identificar perturbaciones atmosféricas subaúrales.
- Gravedad local: con sensores de microgravedad (por ejemplo, gravímetros MEMS).
- Barometría diferencial: para estimar desplazamientos del subsuelo por variación de presión atmosférica.
- Ionización atmosférica: con contadores Geiger o sensores de radón para captar cambios pre-sísmicos.

Estos módulos adicionales permiten correlacionar variaciones toroidales del EMI con factores mecánicos, térmicos y atmosféricos, reforzando la hipótesis de acoplamiento multidimensional propuesta por METFI.

Consideraciones estratégicas y éticas

Dado el carácter potencialmente disruptivo del modelo METFI, y el valor predictivo del dispositivo DDVT-METFI, es fundamental establecer principios de diseño y despliegue que preserven la independencia tecnológica y la ética del conocimiento abierto:

- Licenciamiento libre (ej. CERN OHL o GPLv3): permite la mejora colaborativa del diseño, sin riesgo de apropiación comercial restrictiva.
- Evitar software propietario o APIs dependientes: todo el procesamiento debe poder realizarse en entorno offline.
- Despliegue comunitario controlado: se deben evitar interpretaciones alarmistas y asegurar la correcta interpretación de anomalías por parte de nodos ciudadanos.
- Protección de la prioridad intelectual: se sugiere el registro del diseño como patente defensiva sin restricciones comerciales.

Además, este tipo de tecnología debe estar blindada frente a intentos de apropiación por parte de agencias con historial de conflictos de interés o filtrado informativo en el campo de la predicción geofísica.

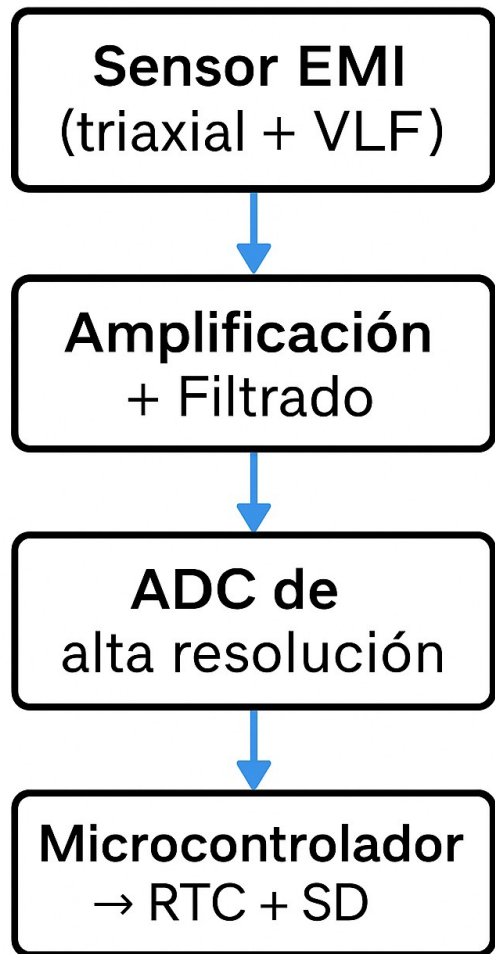
Conclusión

El Dispositivo Detector de Variaciones Toroidales (DDVT-METFI) representa una convergencia entre teoría geofísica alternativa y desarrollo tecnológico accesible. Su arquitectura modular permite la implementación tanto en contextos experimentales ciudadanos como en sistemas profesionales de seguimiento de alta resolución.

Este enfoque aporta una vía para validar empíricamente las hipótesis del modelo METFI, facilitando una comprensión más profunda de los procesos electromagnéticos internos de la Tierra. Su capacidad para anticipar eventos geodinámicos extremos a partir de señales precursoras ELF/VLF constituye no solo un avance técnico, sino un aporte crucial a la soberanía científica y a la resiliencia de los sistemas humanos ante la creciente inestabilidad planetaria.

- El modelo METFI postula un núcleo plano en cavidad toroidal electromagnética con oscilaciones internas detectables.
- El DDVT-METFI está diseñado para captar deformaciones toroidales en el EMI en bandas ELF/VLF (3 Hz–30 kHz).
- Utiliza sensores triaxiales, ADC de alta resolución, análisis FFT y procesamiento local en Raspberry Pi.
- Permite el seguimiento continuo y la correlación con sismicidad, actividad geomagnética y resonancias atmosféricas.

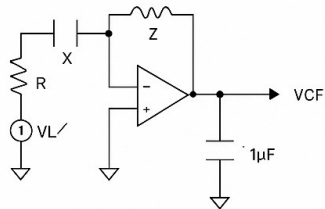
- Admite versiones ciudadanas de bajo costo y versiones profesionales con sensores calibrados de precisión.
- Se propone como red descentralizada tipo BOINC/SETI@home, sin dependencia de APIs propietarias.
- Puede ampliarse con sensores de microgravedad, infrasonido e ionización para análisis multivariable.



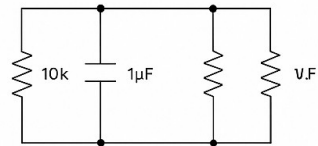
**Esquema del prototipo
experimental**

Prototipo inicial para un sistema de detección de EMI interno

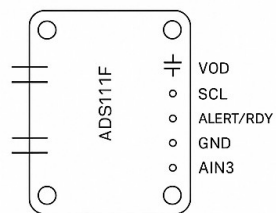
Sensor EMI triaxial + VLF



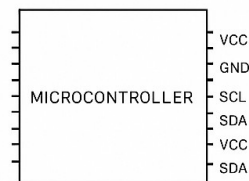
Amplificación + filtrado



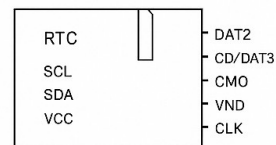
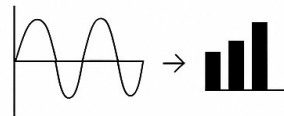
ADC de alta resolución



Microcontrolador y periféricos



Análisis FFT



Dossier