

INFORME TÉCNICO: NUEVAS ESTRATEGIAS DE EXPLORACIÓN GEOFÍSICA DE BAJO IMPACTO

1. Introducción y estado actual de la adquisición sísmica terrestre

Actualmente, varias empresas se especializan en la adquisición sísmica terrestre de bajo impacto ambiental, utilizando tecnologías miniaturizadas y sin cables (nodos autónomos) o métodos de medición pasivos. Estas innovaciones reducen significativamente la deforestación, el tráfico de vehículos pesados y las emisiones de carbono en el terreno.

Principales actores y tecnologías del sector

Fabricantes y proveedores de tecnologías nodales

- **STRYDE:** Líder del mercado en receptores sísmicos terrestres compactos. Sus sensores (" nodos ") pesan tan solo 150 gramos. Permiten su despliegue completamente a pie, eliminando la necesidad de despejar terrenos.
- **Sercel (con LISS):** Sercel ha adquirido la empresa emergente Low Impact Seismic Sources (LISS). Esta comercializa la tecnología Tuned Pulse Source (TPS™), una fuente neumática de baja frecuencia que reduce el impacto acústico y ambiental en comparación con los métodos de impacto tradicionales.

Empresas de servicios y adquisiciones

- **Explor :** Una empresa de adquisición sísmica que utiliza tecnologías con un impacto ambiental prácticamente nulo . Prioriza los nodos portátiles y las fuentes de energía adecuadas para eliminar la necesidad de excavadoras.
- **TenzorGEO :** Especialista en sísmica pasiva de baja frecuencia (LFS). Su método no utiliza fuentes de energía activas (ni dinamita, ni camiones vibratorios). Simplemente escucha las vibraciones naturales de la Tierra, lo que hace que el impacto ambiental sea completamente neutro.
- **Oceania Geo :** Empresa de servicios geofísicos que ofrece estudios personalizados de bajo impacto. Combina fuentes de energía ligeras y altamente móviles con receptores inalámbricos para proteger los ecosistemas.

2. Análisis comparativo: Sísmica pasiva frente a nodos activos ligeros

La comparación entre los nodos sísmicos pasivos y los nodos activos ligeros depende principalmente de los objetivos de obtención de imágenes, el presupuesto y las limitaciones del terreno.

Resumen de las directrices

- **La obtención de imágenes sísmicas pasivas** resulta excelente para la monitorización ambiental continua y la obtención de imágenes profundas a bajo coste operativo y sin necesidad de una fuente artificial.
- **Los nodos activos ligeros** ofrecen una resolución de imagen significativamente mayor, imágenes dirigidas y una alta productividad en el campo gracias a su rápido despliegue junto con una fuente vibratoria o explosiva.

Ventajas detalladas

Ventajas del diseño sísmico pasivo

- Sin fuente artificial: Utiliza ruido ambiental (olas, viento, tráfico) o microsismos.
- Bajo impacto ambiental: Ideal para zonas urbanas, protegidas o de difícil acceso.

 RSS NMR THE SIMPLE WAY OF EXPLORATION	Michel L. Friedman-Matarese <small>(Destom LH 67/11)</small>
 GEO-NMR.NET Exploration by satellite	 Mobile: +591-71696657
	 Speaker: FR-UK-ES-BR/PT
	 WhatsApp: +591-71696657
	 GMT: -04h
	 Email: michel@geo-nmr.net
	 Base: Bolivia, Santa Cruz
	 In Charge: Africa & Américas

INFORME TÉCNICO: NUEVAS ESTRATEGIAS DE EXPLORACIÓN GEOFÍSICA DE BAJO IMPACTO

- Grabación continua: Permite la monitorización temporal (4D) de embalses o riesgos naturales.
- Costes operativos reducidos: No es necesario alquilar camiones vibradores ni comprar explosivos.
- Profundidad de la investigación: Las bajas frecuencias naturales penetran muy profundamente en la corteza terrestre.

Ventajas de los nudos Ingredientes activos ligeros

- Resolución de imagen superior: La señal controlada proporciona imágenes de alta frecuencia con gran nivel de detalle.
- Datos bajo demanda: No es necesario esperar a que el ruido ambiental sea suficiente o estable.
- Despliegue ultrarrápido: Equipo ligero y sin cables, de fácil posicionamiento y recogida.
- Relación señal/ruido controlada: La fuente artificial suele superar el ruido de fondo.
- Geometría de adquisición flexible: configuración personalizada de línea o parche para el objetivo.

Tabla comparativa Sinóptico

Crterios	Sísmica pasiva	Nudos activos ligeros
Fuente	Natural / Ambiente	Artificial (Vibrador/Dinamita)
Resolución	Bajo a medio	Muy alto
logística de campo	Ligero (entrada única)	Moderado (Nudos ligeros + Equipo de origen)
Restricción regulador	Muy bajo	Alto (Permisos de disparo/vibración)
Período de adquisición	Largo (días a meses)	Corto plazo (de horas a días)

3. Avance tecnológico: Acoplamiento de nodos sísmicos y RSS-NMR

La combinación de adquisición sísmica mediante nodos (activos y pasivos) y RSS-NMR (Resonancia Magnética Nuclear por Resonancia Superficial Estocástica) representa un importante avance tecnológico para reducir los costes de la exploración minera, petrolera o hidrogeológica.

Definiciones fundamentales

1. Nodos activos y pasivos : Los nodos son sensores sísmicos autónomos (inalámbricos) colocados en el suelo para registrar las vibraciones del subsuelo.

• **Nodos activos (sísmica activa) :** Registran la respuesta del subsuelo a una fuente de energía artificial controlada.

• **Nodos pasivos (sísmica pasiva) :** Aprovechan continuamente las vibraciones naturales de la Tierra.

2. RSS-NMR: Método geofísico electromagnético de superficie basado en resonancia magnética nuclear. Excita los núcleos de hidrógeno (en agua o hidrocarburos) para detectar directamente la presencia de fluidos, su volumen y la porosidad de la roca, sin necesidad de perforar.

Los beneficios de la sinergia geocientífica

sísmica de nodos y RSS-NMR crea una sinergia geofísica altamente rentable al combinar la geometría estructural y la naturaleza de los fluidos.



Michel L. Friedman-Matarese

(Destom LH 67/11)

Mobile: +591-71696657

Speaker: FR-UK-ES-BR/PT

WhatsApp: +591-71696657

GMT: -04h

Email: michel@geo-nmr.net

Base: Bolivia, Santa Cruz

In Charge: Africa & Américas

INFORME TÉCNICO: NUEVAS ESTRATEGIAS DE EXPLORACIÓN GEOFÍSICA DE BAJO IMPACTO

[RSS-NMR] —> Identificación directa de la naturaleza de los fluidos (agua/aceite) = máxima reducción del riesgo de perforación en seco

[Sísmica por nodos] —> Mapeo 3D de estructuras geológicas y trampas , los puntos clave

Eliminar el riesgo de perforación en seco.

Los estudios sísmicos (nodos) son excelentes para mapear la geometría, pero no permiten diferenciar entre una trampa vacía y una llena de fluido útil. Al aplicar RSS-NMR a los objetivos identificados por los nodos , se puede validar la presencia real de fluido antes de realizar estudios sísmicos de precisión y perforar pozos de prueba. Evitar un solo pozo innecesario supone un ahorro de millones de euros.

Nota: La principal ventaja operativa es que esta primera fase de evaluación puede llevarse a cabo sin ningún permiso de exploración, en modo " espía " o discreto.

Reducción de costes operativos mediante nodos

- **Cableado cero (logística ligera):** los sistemas tradicionales requieren kilómetros de cableado pesado. Los nodos se instalan manualmente .
- **Sin necesidad de cortar cables (ecológico) :** Ya no es necesario despejar amplios corredores en el bosque para alinear los cables.
- **Eliminación de costes de origen (pasiva) :** La tecnología sísmica pasiva elimina por completo la necesidad de comprar dinamita.
- **Mínima intervención en materia de seguridad, salud y medio ambiente:** Menos personal y menos vehículos pesados reducen drásticamente el riesgo de accidentes.

INFORME TÉCNICO: NUEVAS ESTRATEGIAS DE EXPLORACIÓN GEOFÍSICA DE BAJO IMPACTO

4. Estrategias de exploración de la Tierra y procesos de toma de decisiones

Enfoque metodológico: Selección de secuencias

Opción A: Enfoque secuencial tradicional

- **Fase 1:** Despliegue de nodos pasivos en una amplia zona para la creación de un modelo estructural 3D preliminar (requiere permiso y un plazo de 12 a 24 meses).
- **Fase 2:** Despliegue de RSS-NMR únicamente en las anomalías detectadas.
- **Fase 3:** Uso de nodos activos en la zona final de interés.

Opción B: Enfoque optimizado de "puntos óptimos" (recomendado)

- **Fase 1:** Despliegue de RSS-NMR en el 100% del bloque sin permisos ni autorización para localizar directamente áreas de gran interés.
- **Fase 2:** Uso de nodos activos restringidos exclusivamente a zonas de alta productividad para guiar con precisión la ubicación de los pozos.

Reducción general del tiempo del proyecto (tiempo para tomar decisiones)

El despliegue secuencial optimizado (que comienza con el RSS-NMR) evita la espera asociada a la solicitud inicial del permiso de exploración (ahorrando entre 12 y 18 meses) y ofrece resultados concretos en 4 a 6 meses. Este ahorro de tiempo reduce drásticamente los costos generales de la campaña.

INFORME TÉCNICO: NUEVAS ESTRATEGIAS DE EXPLORACIÓN GEOFÍSICA DE BAJO IMPACTO

5. Calendarios comparativos de las campañas

1. Diagrama de la línea de tiempo de sinergia: RSS-NMR + Nodos activos

Operaciones	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12
1. Solicitud de permiso y EIA	incógnita	incógnita	incógnita	incógnita	incógnita	incógnita						
2. Adquisición de RMN RSS				incógnita	incógnita	incógnita						
3. Análisis y selección de objetivos mediante RMN					incógnita	incógnita						
4. Despliegue de nodos activos							incógnita	incógnita	incógnita	incógnita		
5. Adquisición sísmica dirigida								incógnita	incógnita	incógnita		
6. Recuperación y control de calidad									incógnita	incógnita		
7. Procesamiento e inversión										incógnita	incógnita	incógnita

2. Cronograma: Sísmico tradicional (explosivos/vibrosísmico)

Operaciones	M1-M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20	M21	M22	M23-M48



Michel L. Friedman-Matarese

(Destom LH 67/11)

Mobile: +591-71696657

Speaker: FR-UK-ES-BR/PT

WhatsApp: +591-71696657

GMT: -04h

Email: michel@geo-nmr.net

Base: Bolivia, Santa Cruz

In Charge: Africa & Américas

INFORME TÉCNICO: NUEVAS ESTRATEGIAS DE EXPLORACIÓN GEOFÍSICA DE BAJO IMPACTO

1. Permisos y EIE pesada	incógnita	incógnita	incógnita	incógnita	incógnita	incógnita	incógnita	incógnita	incógnita	incógnita	incógnita	incógnita
2. Logística del campamento base		incógnita	incógnita	incógnita								
3. Apertura de las líneas				incógnita	incógnita	incógnita	incógnita	incógnita	incógnita			
4. Despliegue de cables						incógnita	incógnita	incógnita	incógnita	incógnita	incógnita	
5. Perforación / Disparo / Vibroseis							incógnita	incógnita	incógnita	incógnita	incógnita	incógnita
6. Procesamiento e inversión									incógnita	incógnita	incógnita	incógnita

6. Catálogo de tecnologías de fuentes sísmicas ligeras

El uso de fuentes sísmicas ligeras con nodos autónomos es clave para mantener la agilidad obtenida mediante la preselección RSS-NMR. A diferencia de los camiones vibratorios de 30 toneladas, estas fuentes tienen un impacto ambiental mínimo.

1. Fuentes de vibración de luz (Mini-Vibroseis)

- Minivibradores en rieles (por ejemplo: EnviroVibe): Peso de 1,5 a 5 toneladas. Ofrece una señal controlada con muy bajo impacto en el suelo, ideal hasta 1500-2000 metros.
- Vibradores electromagnéticos portátiles: Menos de 100 kg. Logística ultraligera (se pueden llevar a la espalda), ideales para zonas ultrasensibles.

2. Fuentes de impulsos mecánicos

- Peso en caída acelerada (AWT): de 200 a 500 kg en el cuadricóptero. Repetibilidad de la señal, coste operativo mínimo, obtención de imágenes hasta 1000 metros.
- Cámara de impacto de gas: de 50 a 80 kg. Transportable manualmente en zonas escarpadas (bosques densos, montañas).

3. Microexplosivos y fuentes químicas alternativas

- Microcargas y detonadores electrónicos: Minicargas de unas pocas decenas de gramos colocadas a muy poca profundidad mediante un taladro portátil.
- Pistola de cartuchos sísmicos: Una herramienta portátil similar a un rifle industrial que dispara un cartucho de fogeo en un microagujero de 50 cm.

INFORME TÉCNICO: NUEVAS ESTRATEGIAS DE EXPLORACIÓN GEOFÍSICA DE BAJO IMPACTO

4. Fuentes pasivas (ruido ambiental)

- Interferometría de ruido ambiental (ANT): Los nodos registran continuamente el ruido natural de la Tierra. Impacto ambiental absolutamente nulo y coste de la fuente igual a 0 €.

7. Compromiso eco-responsable e impacto regulatorio

Para mantener la filosofía de "impacto cero" de la tecnología RSS-NMR, la estrategia ideal es combinarla con las técnicas subterráneas menos invasivas. El objetivo es eliminar cualquier destrucción de vegetación (sin cortar líneas).

Concéntrese en los tres métodos más virtuosos.

1. **Prospección sísmica pasiva con ruido ambiental (ANT)** : Sin impacto alguno. Equipos a pie o desplegados mediante minidrones. No se genera ruido.
2. **Peso de caída acelerada (eléctrico, neumático o AWT)** : Los quads equipados con neumáticos de baja presión no dañan la vegetación baja.
3. **Minivibradores electromagnéticos portátiles** : propulsión 100% eléctrica con baterías de litio, sin riesgo de fugas de aceite.

Tabla de puntuación ecológica para técnicas

Técnica / Fuente	Huella de carbono	Destrucción de plantas	Puntuación ecológica
Sísmica pasiva (ANT)	Ultrabajo	Ninguno	10/10
Vibrador electromagnético	Muy bajo	Ninguno	9/10
Peso de caída (Cuádruple)	Débil	Ninguno	8/10
Explosivos sísmicos	Acérrimo	Masivo	1/10