Red Acelerográfica SIDESIS (Red «SS»)

Manual Técnico y de Integración de Acelerometría IoT Móvil

Monitor Sísmico MUNDIAL v2.3.1 · Agencia SIMMSA · 30 de octubre de 2026

La Red SIDESIS (Código de Red FDSN: 'SS') constituye la infraestructura oficial de sismología comunitaria e instrumentación acelerográfica ciudadana del Monitor Sísmico MUNDIAL. Permite la integración continua de sensores MEMS triaxiales embebidos en teléfonos inteligentes y dispositivos IoT Android para la captura de aceleraciones de campo cercano, transmisión telemétrica con latencia subsegundo, cálculo automatizado de respuesta Wood-Anderson sintética y redistribución estándar SeedLink v3/v4 para análisis geofísico en tiempo real.

Parámetro de la Red	Especificación de Ingeniería (v2.3.1)
Identificador de Red	Red 'SS' (SIDESIS - Sistema de Detección Sísmica SIMMSA)
Topología y Concentrador	Servidor EarthScope ringserver v4.5.6 como demonio autónomo (ringserver.service) en AWS EC2 (18.212.222.80)
Puertos de Ingesta Móvil	`TCP 16000 (DataLink WRITE nativo) · TCP 16001 (Stream TCP Raw 512B con puente Python)`
Puerto de Difusión SeedLink	`TCP 18000 (SeedLink estándar v3/v4 para ObsPy, SeisComP y visualizadores USGS SWARM)`
Formato de Paquetes	miniSEED versión 2 Big-Endian (Blockette 1000, Encoding 3 = Int32, 512 bytes fijos)
Frecuencia y Ventana	50 Hz de tasa de muestreo; 100 muestras enteras de 32 bits = exactamente 2.00 s por paquete
Canales Triaxiales	ENZ (Vertical), ENN (Norte-Sur), ENE (Este-Oeste). Código de instrumento 'E' (Acelerómetro de banda corta / MEMS)
Escala Física Calibrada	1,000,000 cuentas = 1.0 m/s² (1 cuenta = 1.0 µm/s²). Gravedad estándar 1g ≈ 9,806,650 cuentas
Procesamiento Geofísico	Filtro Butterworth pasa-altas causal (0.05 Hz) + Integración numérica doble para Wood-Anderson sintético y Magnitud Local (ML)
Sincronización en Caliente	`API REST HTTP: /api/heartbeat, /api/recibir_estacion, /api/estaciones_ss y persistencia en datos/estaciones_ss.json`
Despliegue y Autoría	Joel Cruz Aragón · Monitor Sísmico MUNDIAL v2.3.1 · Licencia de Operación SIMMSA

Aviso de Operación: La Red SIDESIS está diseñada para operar concurrentemente con las más de 850 estaciones de banda ancha de las 19 redes SeedLink mundiales. Los datos provenientes de la Red SS se incorporan de forma nativa en la malla de asociación y cálculo de hipocentros sin requerir reinicios del motor.

1. Arquitectura del concentrador EarthScope ringserver v4.5.6

El núcleo de ingesta, almacenamiento intermedio y distribución de paquetes miniSEED de la Red SIDESIS está soportado por el software EarthScope ringserver (versión 4.5.6 compilada desde código fuente en C sobre Ubuntu 24.04).

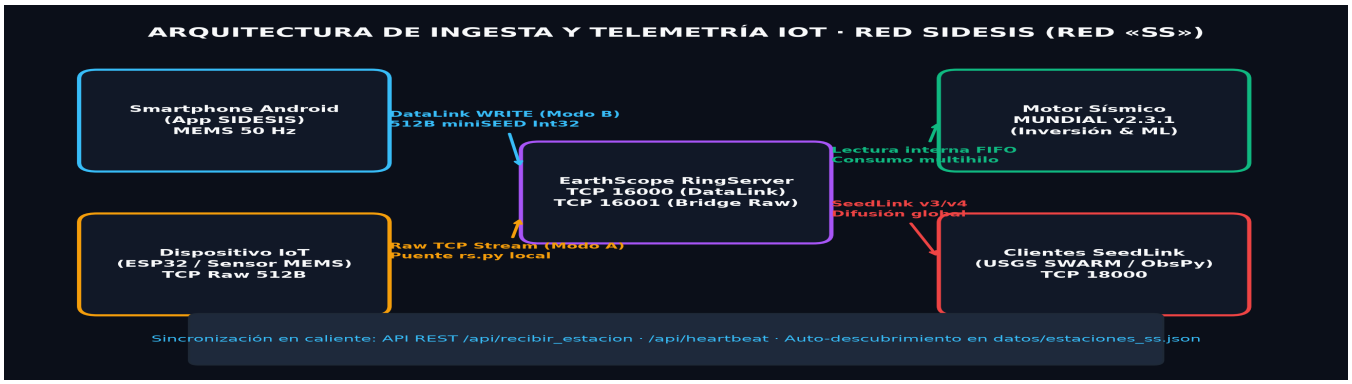


Figura 1: Arquitectura e ingesta de paquetes IoT de la Red SIDESIS (App Android → ringserver → Engine).

- Buffer circular FIFO (1 GiB): Almacena paquetes miniSEED con acceso concurrente sin contención ni pérdida.
- Desacoplamiento total: La aplicación Android escribe de forma asíncrona; el motor sísmico lee sin latencia.
- Multiprotocolo: Expone DataLink (TCP 16000 para inyección) y SeedLink (TCP 18000 para consulta).

1.1 Configuración (/etc/ringserver.conf) y servicio (systemd)

```
RingDirectory /var/lib/ringserver/ring | RingSize 1073741824 (1 GiB) | DataLinkPort 16000 | SeedLinkPort 18000
ServerID "SIMMSA SIDESIS RingServer v4.5.6" | AutoRecovery 1 | PacketTimeout 300 | MaxClients 250
Control systemd: sudo systemctl status|restart ringserver · sudo journalctl -u ringserver -f
```

Métrica del Anillo	Valor en Producción	Impacto Operativo
`Ruta del buffer`	`/var/lib/ringserver/ring`	Almacenamiento persistente en SSD NVMe de AWS
Capacidad del anillo	1,073,741,824 bytes (1 GiB)	Almacena más de 2,097,152 paquetes miniSEED de 512B
Tiempo de retención	≈ 48 a 72 horas continuas	Permite repasar sismos ocurridos en días anteriores
Consumo de CPU / RAM	< 1.5 % CPU · ≈ 45 MB RAM	Impacto despreciable sobre los recursos de cómputo

2. Modos de inyección de paquetes desde la app Android

Para adaptarse a diversos entornos de red móvil (red celular 4G/5G, Wi-Fi con proxies o microcontroladores IoT dedicados), la Red SIDESIS implementa dos vías complementarias de transmisión de datos:

2.1 Modo B: Protocolo Nativo DataLink WRITE (Puerto TCP 16000)

Es el protocolo principal y de máxima eficiencia para la app Android. Emplea un canal bidireccional sobre un socket TCP persistente en el puerto 16000 de ringserver. El flujo de comunicación se compone de tres etapas:

1. Handshake inicial: El cliente transmite ID ClientName/Version y ringserver responde con su banner de servidor.
2. Cabecera de comando DataLink: Cada paquete miniSEED de 512 bytes se precede por:
   - 2 bytes ASCII de sincronización: 'D' y 'L'.
   - 1 byte entero sin signo indicando la longitud del comando ASCII de escritura.
   - Cadena de comando ASCII con formato:
     WRITE SS_S0001_00_ENZ/MSEED <start_us> <end_us> N 512\r\n
3. Carga útil miniSEED: Inmediatamente después del comando se transmiten los 512 bytes del registro binario.
4. Confirmación (ACK): ringserver responde con OK <pkt_id> validando la escritura en el anillo.

```
// Estructura de trama DataLink WRITE (Modo B en App Android):
byte[] pream = new byte[] { 'D', 'L', (byte)cmdBytes.length };
String cmd = "WRITE SS_" + station + "_00_" + channel + "/MSEED " +
             startUs + " " + endUs + " N 512\r\n";
// Envío atómico sobre el Socket TCP:
outputStream.write(pream);
outputStream.write(cmd.getBytes(StandardCharsets.US_ASCII));
outputStream.write(mseed512RecordBytes);
outputStream.flush();
```

2.2 Modo A: Puente TCP Raw 512 Bytes (Puerto TCP 16001)

Diseñado para escenarios con restricciones extremas de procesamiento o dispositivos de hardware embebido (ESP32, Arduino con módulo Ethernet/SIM800):
• El dispositivo abre un socket TCP en el puerto 16001 y transmite directamente el flujo continuo de paquetes miniSEED de 512 bytes sin cabeceras DataLink ni preámbulo ASCII.
• Un microdemonio local en Python (rs.py) escucha en el puerto 16001, verifica el encabezado de datos fijos (FSDH) de cada bloque de 512 bytes, extrae el identificador de estación y canal, y reenvía el paquete al ringserver local vía DataLink en 16000.
• Si la conexión se interrumpe, el cliente simplemente reconecta y continúa transmitiendo el siguiente registro.

Criterio	Modo B (DataLink WRITE - 16000)	Modo A (Raw 512B Stream - 16001)
Tipo de Cliente	App Android SIDESIS (Recomendado)	IoT / Microcontroladores / Scripts livianos
Overhead de red	≈ 45 bytes de comando por paquete	0 bytes de sobrecarga (solo los 512B miniSEED)
Confirmación	Sí (ACK inmediato del servidor 'OK')	No (Streaming unidireccional continuo)
Tolerancia móvil	Excelente (reconecta y sincroniza punteros)	Media (reanudación a nivel de socket)

3. Especificación física, formato miniSEED e integración matemática

Cada paquete generado por la app SIDESIS cumple rigurosamente el estándar internacional miniSEED versión 2 del Consorcio FDSN (Federación Internacional de Redes Sismológicas Digitales):

3.1 Estructura del registro binario miniSEED (512 bytes)

Desplazamiento	Campo FSDH	Tipo / Tamaño	Valor / Significado
`Bytes 0–5`	**Sequence Number**	6 ASCII	Contador incremental de paquetes (ej. '000124')
`Byte 6`	**Data Header Indicator**	1 ASCII	Carácter fijo 'D' (Registro de datos sismológicos)
`Byte 7`	Reservado	1 byte	Espacio en blanco ' '
`Bytes 8–12`	**Station Identifier**	5 ASCII	Código de estación (ej. 'S0001', 'CDMX1')
`Bytes 13–14`	**Location Identifier**	2 ASCII	Identificador de ubicación (por defecto '00')
`Bytes 15–17`	**Channel Identifier**	3 ASCII	'ENZ' (Vertical), 'ENN' (Norte), 'ENE' (Este)
`Bytes 18–19`	**Network Code**	2 ASCII	Código oficial de red: 'SS'
`Bytes 20–29`	**Start Time (BTIME)**	10 bytes binarios	Año (2B), Día del año (2B), H, M, S, 0.1ms (2B)
`Bytes 30–31`	**Number of Samples**	UInt16 BE	100 muestras
`Bytes 32–35`	**Sample Rate Factor/Mult**	Int16, Int16	Factor = +50, Multiplicador = +1 → 50.0 Hz
`Bytes 48–55`	**Blockette 1000**	8 bytes	Encoding = 3 (32-bit Int BE), Record Len = 9 (512B)
`Bytes 64–511`	**Data Samples (Payload)**	448 bytes (400B útil)	100 enteros de 32 bits Big-Endian con cuentas crudas

3.2 Factor de escala y calibración física de aceleración

Los acelerómetros triaxiales de los smartphones miden la aceleración en unidades gravitatorias o m/s^2. La app Android cuantiza la señal convirtiéndola a números enteros con factor de escala nominal de 1,000,000 cuentas por m/s^2:
$$\text{Cuentas}_{\text{raw}} = \text{Aceleración} [m/s^2] \times 10^6$$
En el motor sísmico (sismo/engine.py), las cuentas recibidas se convierten de inmediato a valores físicos mks mediante:
$$a(t) = \frac{\text{Cuentas}_{\text{raw}}}{1.0 \times 10^6} \quad [m/s^2]$$

3.3 Integración numérica de aceleración a velocidad para Wood-Anderson y ML

Para computar la Magnitud Local (M_L) según la fórmula clásica de Richter e IASPEI, el motor convierte la traza de aceleración a la respuesta equivalente que habría registrado un sismómetro torsional estándar Wood-Anderson:
1. Centrado y remoción de offset estático: Se resta la media aritmética de la ventana para eliminar la gravedad residual.
2. Filtro paso-altas causal: Filtro Butterworth de 4 polos con $f_c = 0.05\text{ Hz}$ que previene la divergencia cuadrática.
3. Integración numérica trapezoidal: Se calcula la traza de velocidad $v(t) = \int a(t) dt$.
4. Convolución Wood-Anderson: Con periodo natural $T_0 = 0.8\text{ s}$, amortiguamiento crítico $\zeta = 0.8$ y ganancia $V = 2080$.
5. Amplitud máxima pico a pico: Medida en milímetros sobre las componentes horizontales (ENN y ENE) a menos de 600 km.

4. Sincronización GPS y catálogo dinámico en caliente

A diferencia de los observatorios sismológicos fijos, los teléfonos inteligentes pueden cambiar de ubicación geográfica, reiniciarse o conectarse intermitentemente. El Monitor Sísmico MUNDIAL v2.3.1 implementa una arquitectura de auto-descubrimiento y registro dinámico en caliente sin intervención humana ni necesidad de reiniciar el servicio.

4.1 Endpoints de la API REST (/api/heartbeat y /api/recibir_estacion)

Endpoint HTTP	Método	Carga JSON (Payload)	Función en el Sistema
`/api/recibir_estacion`	**POST**	`{"codigo":"S0001","lat":19.4326,"lon":-99.1332,"alt":2240,"nombre":"CDMX Centro","modelo":"Pixel 7"}`	Registra o actualiza en caliente las coordenadas GPS y metadatos de la estación.
`/api/heartbeat`	**POST**	`{"codigo":"S0001","bateria":92,"modo":"DataLink","paquetes":1420,"rms":0.0032}`	Reporta periódicamente (cada 60 s) la salud telemétrica y nivel de ruido RMS.
`/api/estaciones_ss`	**GET**	`Vacío (Parámetro opcional: ?activa=true)`	Retorna el inventario consolidado de estaciones de la Red SS en formato JSON.

4.2 Persistencia en disco (datos/estaciones_ss.json)

Cada actualización recibida se valida criptográficamente y se escribe atómicamente en el archivo datos/estaciones_ss.json. La estructura del catálogo es la siguiente:

```
{
  "S0001": {
    "red": "SS",
    "codigo": "S0001",
    "nombre": "CDMX Zócalo - Estación Ciudadana",
    "lat": 19.432608,
    "lon": -99.133209,
    "alt": 2240.5,
    "canales": ["ENZ", "ENN", "ENE"],
    "tasa": 50.0,
    "ultima_actividad": 1793284200.45,
    "estado": "EN_LINEA"
  }
}
```

4.3 Refresco y visualización unificada en el panel web

El mapa interactivo del panel web integra las estaciones de la Red SS con el mismo estándar geofísico que las redes globales:
• Simbología unificada: Marcador geométrico triangular estándar (tri) idéntico al resto del sistema (verde = en línea, gris = en reposo, rojo = disparada por detección P).
• Navegación fluida: Al hacer doble clic sobre cualquier fila en el monitor lateral de estaciones, el mapa se traslada automáticamente a las coordenadas exactas de la estación (map.flyTo, zoom 11), abre su popup informativo y despliega su sismograma en tiempo real.
• Política de retención y depuración automática (7 días): Un proceso en segundo plano (ss_cleanup) audita periódicamente el catálogo. Cualquier estación que acumule más de 7 días continuos sin emitir paquetes ni heartbeat es eliminada automáticamente del archivo estaciones_ss.json, de la memoria RAM del motor y del anillo SeedLink.

5. Infraestructura y flujo de cálculo sísmico en tiempo real

El Monitor Sísmico MUNDIAL incorpora de forma activa las trazas de la Red SIDESIS (Loopback SeedLink 127.0.0.1:18000) en la detección STA/LTA (1.5–8 Hz), localización ak135 e integración Wood-Anderson para Magnitud Local (M_L).

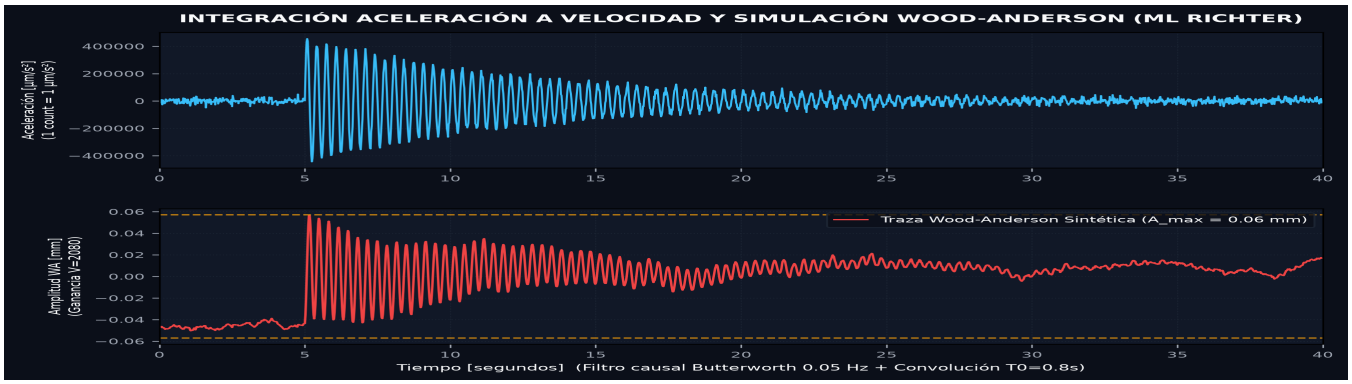


Figura 2: Integración numérica aceleración → velocidad y simulación sismógrafo Wood-Anderson para ML.

Etapa del Pipeline	Módulo / Algoritmo	Descripción del Proceso Geofísico
1. Ingesta y Cuentas	`engine.on_trace()`	Registros miniSEED (50 Hz). Cuentas divididas entre 1,000,000 para obtener aceleración real en m/s^2.
2. Detección STA/LTA	`sismo/engine.py`	Canal ENZ, filtro 1.5–8.0 Hz. Cociente STA (1.0 s) / LTA (30.0 s) > 3.8 declara pick P.
3. Malla Asociación	`sismo/locator.py`	Picks correlacionados con red mundial mediante ak135/iasp91 (≥ 3 estaciones abren evento).
4. Inversión Geiger	`sismo/locator.py`	Optimización no lineal minimiza RMS residual. Proximidad urbana reduce error epicentral y focal.
5. Magnitud y PGA	`sismo/mag.py / WA`	PGA en campo cercano. Integración trapezoidal a velocidad + convolución Wood-Anderson ($T_0=0.8$ s) para M_L.
6. Publicación	`Alertas y Webhooks`	Proyección en panel Leaflet con estrella pulsante y tickets analíticos automáticos.

Ventaja Geofísica: Los acelerómetros MEMS soportan hasta ± 2g$ a ± 4g$ sin saturación (clipping) en campo cercano (< 50 km de fallas activas), registrando el movimiento fuerte completo donde sensores de banda ancha saturan.

6. Visualización remota en tiempo real mediante USGS SWARM

Gracias al servidor SeedLink v3/v4 integrado en el concentrador de la Red SIDESIS (puerto TCP 18000), cualquier estación de trabajo con el software oficial USGS SWARM puede conectarse directamente desde cualquier lugar del mundo para monitorear trazas en vivo, espectrogramas y helicorder sin requerir VPN ni contraseñas.

5.1 Guía de configuración en SWARM (Paso a paso)

Paso 1: Descarga y ejecución de SWARM:
Descargue la última versión de USGS SWARM (requiere Java Runtime Environment 8 o superior). Descomprima y ejecute Swarm.bat (Windows) o ./swarm.sh (Linux/macOS).

Paso 2: Agregar nueva fuente de datos (Data Source):
1. En el menú superior de SWARM, haga clic en Window → Data Sources.
2. Haga clic en el botón New... (o presione Ctrl + N).
3. Configure los siguientes parámetros:
   • Name (Nombre): SIMMSA SIDESIS (Red SS)
   • Source Type: Seleccione SeedLink en la lista desplegable.
   • Host: 18.212.222.80 (Dirección IP de producción de SIMMSA)
   • Port: 18000
   • Timeout: 15 segundos.

Paso 3: Selección y apertura de canales sísmicos:
1. Despliegue el árbol de canales en el panel izquierdo de SWARM: observará la red SS y las estaciones activas (ej. S0001).
2. Haga doble clic en el canal SS_S0001_00_ENZ para abrir la ventana de sismograma en tiempo real.
3. Para visualizar espectrogramas continuos, presione Ctrl + G o el icono del espectro en la barra de herramientas de la traza.

```
// Parámetros de conexión de SWARM para la Red SIDESIS:
Protocol:   SeedLink (v3/v4)
IP Address: 18.212.222.80
Port:       18000
Network:    SS
Channels:   ENZ, ENN, ENE
Auth:       None (Acceso público de consulta para la red ciudadana)
```

5.2 Uso con ObsPy en Python

Los investigadores geofísicos pueden consultar las trazas de la Red SS en tiempo real con solo 4 líneas de Python:

```
from obspy.clients.seedlink import Client
client = Client('18.212.222.80', port=18000, timeout=10)
st = client.get_waveforms('SS', 'S0001', '00', 'ENZ', -60, 0) # últimos 60 s
st.plot()  # Graficación inmediata de la traza de aceleración
```

7. Seguridad de red, Security Group de AWS y resolución de fallas

Para garantizar la ingesta global de paquetes desde smartphones y la consulta de clientes externos sin comprometer la seguridad del servidor EC2, se configuran las siguientes reglas perimetrales:

7.1 Matriz de puertos y reglas de Security Group (AWS EC2)

Puerto / Protocolo	Origen (Source)	Propósito y Función	Acceso Requerido
`TCP 16000`	0.0.0.0/0 (Anywhere)	Ingesta DataLink WRITE (Modo B SIDESIS)	**Público (App Android)**
`TCP 16001`	0.0.0.0/0 (Anywhere)	Ingesta Raw TCP 512B Stream (Modo A)	**Público (IoT / Embebidos)**
`TCP 18000`	0.0.0.0/0 (Anywhere)	Difusión SeedLink v3/v4 para SWARM y ObsPy	**Público de Consulta**
`TCP 443`	0.0.0.0/0 (Anywhere)	Panel web HTTPS (protegido por clave nginx)	Operador del Sistema
`TCP 80`	0.0.0.0/0 (Anywhere)	Redirección automática HTTP → HTTPS	Público
`TCP 22`	IP de Administración	Acceso seguro SSH con llave criptográfica .pem	**Privado Restringido**

7.2 Diagnóstico rápido y comandos de verificación

```
# 1. Verificar si ringserver está escuchando en los tres puertos:
sudo netstat -tlnp | grep -E '16000|16001|18000'
# 2. Comprobar la transmisión DataLink localmente:
nc -zv 127.0.0.1 16000
# 3. Comprobar catálogo de estaciones en memoria:
curl -s http://127.0.0.1:8767/api/estaciones_ss | jq .
# 4. Inspeccionar paquetes que entran en caliente:
tail -f /var/log/syslog | grep -i 'sidesis'
```

7.3 Matriz de resolución de problemas frecuentes

Síntoma observado	Causa probable	Acción correctiva
App Android indica 'Socket Timeout' al conectar	Puerto 16000 bloqueado en el Security Group de AWS o IP cambiada.	Verificar regla TCP 16000 en la consola AWS EC2 y confirmar la Elastic IP 18.212.222.80.
La estación envía pero no figura en el mapa	Falta el envío inicial de coordenadas GPS vía /api/recibir_estacion.	Verificar que la app tenga permiso de GPS concedido en Android y envíe el payload HTTP.
SWARM no muestra trazas de la estación SS	Estación sin transmisión continua o canal apagado.	Confirmar que el teléfono tenga la pantalla activa o servicio en primer plano (Foreground Service).

Conclusión Técnica: La integración de la Red SIDESIS en el Monitor Sísmico MUNDIAL v2.3.1 marca el hito de democratización instrumental de la Agencia SIMMSA, permitiendo transformar cualquier teléfono Android en un sensor sismológico de alta fidelidad respaldado por la solidez de EarthScope ringserver.