

ANEXO TÉCNICO

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MONITOREO DE SISMICIDAD PARA EL DESARROLLO DE LOS PROYECTOS PILOTO DE INVESTIGACIÓN INTEGRAL - PPII EN YACIMIENTOS NO CONVENCIONALES - YNC DE HIDROCARBUROS A TRAVÉS DE LA TÉCNICA DE FRACTURAMIENTO HIDRÁULICO MULTITAPPA CON PERFORACIÓN HORIZONTAL - FH-PH

1. ALCANCE

Este documento describe las especificaciones técnicas para monitorear la sismicidad, establecer la red de monitoreo local de sismicidad y los instrumentos de la red, concernientes a las actividades requeridas para el desarrollo de los Proyectos Piloto de Investigación Integral -PPII en Yacimientos No Convencionales - YNC de Hidrocarburos a través de la Técnica de Fracturamiento Hidráulico Multitapa con Perforación Horizontal - FH-PH.

2. INSTRUMENTACIÓN MÍNIMA REQUERIDA

Para el desarrollo de los PPII el contratista deberá cumplir las siguientes especificaciones:

2.1. Instrumentación Sismológica

Las especificaciones técnicas mínimas que debe cumplir la instrumentación sismológica se describen en la tabla a continuación:

DIGITALIZADOR	
Número de canales	3 canales (6 canales para estación donde se instale acelerómetro)
Rango dinámico	Mayor a 140 dB
Resolución	Mínimo 24-bit
Formato tx	32-bit entero, Nivel 2 comprimido en paquetes de 1 segundo
Rango de entrada	40V P-P a ganancia= 1
Filtros	Lineal o Fase Mínima FIR
Muestreo	200 mps, seleccionable por el usuario.
Base de tiempo	Precisión TCXO, enganchado al GPS. Sin ajuste.
Comunicaciones	Completa Duplex, reconocimiento eficiente positivo con control de error. 10/100 base T Ethernet
Temperatura de operación	desde -15°C hasta 60°C
Control de sensor	Señales de calibración tipo escalón, seno y aleatorio. Centrado, bloqueo y desbloqueo de masas con comandos de forma remota
Estados de salud	Temperatura, voltaje DC, estado del GPS, posición de masas
Modo de almacenamiento	Compatible con Compact flash, SD y/o USB
Memoria	Memoria de por lo menos 16Gb no volátil, con soporte superior a 100.000 escrituras.
Network	IEEE 802 10Base-T Ethernet UDP/IP Protocol
Puertos seriales	Al menos 1 puerto serial de telemetría y consola configurable hasta 115 kbaud o configuración con protocolo telnet.
Protocolo	Transmisión de datos en protocolo SEEDLINK con soporte de por lo menos 2 conexiones simultáneas.
SISMÓMETRO DE ESTACIÓN CENTRAL (Sensor de Velocidad - corto periodo)	

ANEXO TÉCNICO

Topología	Triaxial simétrica
Sensibilidad	Superior o igual a 250 V/m/s con damping de 0.707
Ancho de banda	1 Hz a 100 Hz (1s - 100 Hz)
Tolerancia de inclinación	Mínimo $\pm 2.5^\circ$ en modo operativo
Señal de salida	Máximo 40 V pico a pico diferencial
Temperatura de operación	desde -15°C a 60°C
SISMÓMETRO DE ESTACIÓN CIRCUNDANTE (Sensor de Velocidad - periodo intermedio)	
Topología	Triaxial simétrica
Sensibilidad	Superior o igual 750 V/m/s
Ancho de banda	Tres opciones: de 0.025 Hz a 100 Hz (40 s); de 0.0333 a 100 Hz (30 s); de 0.05 Hz a 100 Hz (20 s)
Nivel de ruido propio	Menor al New Low Noise Model (NLNM) en la banda de interés
Resonancias parásitas	Ninguna por debajo de 100 Hz
Señal de salida	Máximo 40 V pico a pico diferencial
Temperatura de operación	desde -15°C a 60°C
ACELERÓMETRO (Sensor de Aceleración)	
Tipo	Acelerómetro triaxial de fuerza balanceada FBA (NO Sensores tipo MEMS), orientado ortogonalmente
Ancho de banda	0.005 a 200 Hz (0.01 a 100 s)
Rango dinámico	Mayor a 160 dB
Escala total	$\pm 2g$
Señal de salida	Máximo 40 V pico a pico diferencial
Protección	Protección para ESD, RFI Y EMI para todas las entradas
Energía	Suministrada directamente por el digitalizador
Temperatura de operación	desde -15°C a 60°C
No linealidad	$< 0.015\%$
Histéresis	$< 0.1 \%$ de la escala completa
Otros	Cable de salida debe tener conexión al digitalizador.

2.2. Sistema de Comunicaciones

La transmisión de los datos de las estaciones sismológicas debe ser en tiempo real y sin interrupciones, para lo cual, el Servicio Geológico Colombiano presenta las siguientes alternativas:

a. Transmisión vía satélite al HUB de la Red Sismológica Nacional del Servicio Geológico Colombiano en la sede Bogotá:

De conformidad con lo dispuesto en el artículo 4 de la presente resolución, para la transmisión de datos, en caso que se opte por la alternativa de enlazarse con el sistema de comunicación satelital del SGC, debe cumplirse con los siguientes parámetros de transmisión y recepción:

INFORMACIÓN DEL SATÉLITE ARTIFICIAL	
Nombre del satélite	Intelsat 901 + MEV
Tipo de satélite	Geoestacionario
Posición orbital	332.5°E

ANEXO TÉCNICO

Transpondedor	91C / 91C
PARÁMETROS PARA LA RECEPCIÓN DEL HUB SGC – BOGOTÁ	
Banda de transmisión	Banda C
Polarización de bajada	Circular derecha
Modulación	QPSK
Codificación	Turbo code 0.95
Inversión de espectro	Invertido
PARÁMETROS PARA LA TRANSMISIÓN AL HUB SGC – BOGOTÁ	
Banda de recepción	Banda C
Polarización de subida	Circular izquierda
Rango de frecuencia en recepción	5625 - 6425 / 3400 - 4200 MHz
OBSERVACIONES:	
El equipo debe ser totalmente compatible con el sistema de comunicación satelital actual del SGC, la cual incorpora enrutamiento en aire con tecnología HDLC.	

Igualmente, el Contratista PPII deberá solicitar y proveer al Servicio Geológico Colombiano la siguiente información:

- a) Informar al SGC la frecuencia de transmisión y data rate para cada canal satelital.
- b) Solicitar la frecuencia y data rate de transmisión del HUB SGC-Bogotá.
- c) Solicitar la dirección IP y HDLC para cada canal satelital, la codificación y modulación son iguales a la recepción del HUB Bogotá del SGC.
- d) Solicitar su enrutamiento en el HUB Bogotá del SGC para cada canal satelital.

El Contratista PPII deberá suministrar al SGC las demoduladoras compatibles con el sistema de comunicación satelital por el tiempo que se realice el monitoreo, para lo cual deberá constituir las garantías a que haya lugar mientras que los bienes se encuentren en las instalaciones del SGC.

b. Transmisión vía satélite desde los equipos en campo a un operador de telecomunicaciones satelitales que cuente con un HUB en la ciudad de Bogotá:

El Contratista PPII deberá solicitar por escrito la asignación del segmento de red con los cuales debe configurar los equipos terminales, esto con el fin de evitar inconvenientes de enrutamiento interno en la red del SGC.

Todos los equipos necesarios para permitir la recepción de los datos en el Servicio Geológico Colombiano estarán a cargo del Contratista PPII, lo cual incluye la instalación, mantenimiento y retiro de los mismos, así como las garantías y pólizas en caso de alguna eventualidad durante el tiempo que estos se encuentren en las instalaciones del SGC.

Para este caso, deberá informar por escrito al SGC la cantidad de equipos que se requieren instalar, los cuales no deben superar 2 unidades de rack, de tal manera que se asigne su ubicación en los lugares dispuestos para ello. Así mismo remitir por escrito la información necesaria que permita la recepción de los datos en los sistemas de adquisición de la Red Sismológica Nacional.

2.3 Formato de transferencia de información: Todas las señales deben ser enviadas a la Red Sismológica del Servicio Geológico Colombiano en formato miniSEED a una tasa de muestreo de 200 muestras por segundo (mps) para señales de sismómetro y de acelerómetro. Los datos no deben estar corregidos por respuesta instrumental ni filtrados de ninguna forma. Los Contratistas PPII deben entregar al Servicio Geológico

ANEXO TÉCNICO

Colombiano los archivos de respuesta instrumental de cada estación en formato dataless SEED junto con las hojas de calibración de los equipos suministradas por el fabricante.

2.4. Sistema de Energía

El Contratista PPII deberá contar con un sistema ininterrumpido de energía que garantice la transmisión de datos y el funcionamiento continuo y sin interrupciones de cada estación sin pérdida de información.

3. DISEÑO DE REDES DE MONITOREO - CONFIGURACIÓN ESPACIAL DE ESTACIONES

3.1. Diseño óptimo (teórico) de una red para la localización de eventos sísmicos

La red de monitoreo debe estar conformada por al menos seis (6) estaciones, mínimo tres (3) estaciones distribuidas sobre una circunferencia de radio R1 desde el centro de la red (estaciones centrales), rodeadas por tres (3) estaciones sobre una circunferencia exterior de radio R2 desde el centro de la red (estaciones circundantes). Al menos una de las estaciones centrales debe tener un sismómetro de período intermedio, el resto pueden tener sismómetros de periodo corto. Al menos una de las estaciones centrales debe tener un acelerómetro. Todas las estaciones circundantes deben tener sismómetros de período intermedio.

Condiciones mínimas de la red:

- i. El gap entre estaciones no debe superar los 150 grados angulares para las estaciones centrales y para las estaciones circundantes, entendiéndose por gap la separación angular entre dos estaciones contiguas con respecto al centro de la red.
- ii. El radio R1 debe estar entre 3 km y 7 km, y R2 debe cumplir $4R1 \leq R2 \leq 6R1$.
- iii. Las estaciones circundantes deben cubrir preferiblemente el gap de las estaciones centrales.
- iv. La red de monitoreo se considerará lo suficientemente adecuada para cualquier pozo P, ubicado a una distancia desde el centro de la red R_p menor que el radio de las estaciones circundantes R2 menos 2 veces la profundidad medida de dicho pozo MD (es decir, $R_p \leq R2 - 2MD$). De lo anterior se deriva que una red puede ser suficiente para monitorear más de un pozo.
- v. En caso de necesitar más de una red para monitorear un conjunto de pozos, es posible optimizar el número de estaciones final haciendo que una misma estación haga parte de varias redes a la vez. En este caso, de ser necesario, se admitirá un cambio de sismómetro de estación central a sismómetro de estación circundante.

3.2. Consideraciones para el diseño real de una red de estaciones sismológicas

Los errores en la localización de eventos sísmicos deben ser menores a 2 km para las componentes horizontales y menores a 3 km en la componente vertical.

En caso que no se cumpla con la expectativa en la precisión de las localizaciones de los eventos sísmicos (valores mencionados en el párrafo anterior), el Contratista PPII

ANEXO TÉCNICO

deberá tomar medidas correctivas (redistribución de estaciones alrededor de focos de eventos sísmicos, adición de nuevas estaciones, etcétera).

4. CALIDAD DE LA SEÑAL

La calidad de la señal para cada estación se establece a partir del nivel de ruido sísmico registrado.

Los sitios que se seleccionen para la instalación de estaciones sismológicas deben cumplir con los niveles óptimos de ruido establecidos por Peterson (Havskov & Alguacil, 2004)¹, es decir, el espectro de densidad de potencia de la señal sísmica registrada no debe superar el nuevo modelo de ruido sísmico superior (NHNM por sus siglas en inglés), ni debe estar por debajo del nuevo modelo de ruido sísmico inferior (NLNM por sus siglas en inglés) en ninguna de las bandas de frecuencia registradas por el sensor.

El Contratista PPII deberá registrar la señal sísmica continua propia de cada sitio, con una instrumentación de las mismas características que se vaya a instalar en la estación según se definió en la sección 2.1, durante el mayor tiempo posible y remitir al SGC la señal de mínimo 7 días.

El Contratista PPII deberá calcular la densidad espectral de potencia (PSD, por sus siglas en inglés) y la densidad espectral de potencia probabilística (PPSD, por sus siglas en inglés) para toda la señal (McNamara & Buland, 2004)². De estas curvas se debe interpretar cuales son las principales fuentes de ruido y la evolución temporal de las mismas (tener en cuenta fuentes de ruido como maquinaria, vegetación densa, cuerpos de agua, animales y centros poblados).

5. INSTALACIÓN

Al instalar los sensores, éstos deben estar debidamente nivelados y orientados respecto al norte geográfico teniendo en cuenta la declinación magnética. En el caso del acelerómetro, este debe ir anclado a la superficie y su escala debe estar fijada en 2g.

El Contratista PPII deberá verificar que la información se remita en tiempo real a la Dirección de Geoamenazas del Servicio Geológico Colombiano.

5.1. Configuración del digitalizador

El digitalizador deberá estar configurado con los siguientes parámetros:

Tasa de muestreo y nombre de los canales:

- Sismómetro Corto periodo: 200 mps - EHZ, EHN, EHE
- Sismómetro periodo intermedio: 200 mps - HHZ, HHN, HHE
- Acelerómetro: 200 mps - HNZ, HNN, HNE

Código de la estación: Debe ser un código de cinco caracteres (alfanuméricos). Los dos primeros caracteres deben ser las dos primeras letras del nombre del Contratista

¹ Jens Havskov y Gerardo Alguacil. Instrumentation in Earthquake Seismology, volumen 22 de Modern Approaches in Geophysics. Springer, 2004.

² McNamara, D. E., & Buland, R. P. Ambient Noise Levels in the Continental United States. Bulletin of the Seismological Society of America, 94, Agosto 2004, 1517-1527.

ANEXO TÉCNICO

PPII; el tercer carácter debe estar relacionado con el nombre del bloque, y los últimos dos deben ser números consecutivos de dos dígitos iniciando en 01.

Se debe garantizar que nunca existan dos estaciones con el mismo código.

Código de localización:

- Sismómetro corto periodo: 20
- Sismómetro periodo intermedio: 00
- Acelerómetro: 10

Código de la red: CM

Formato: Mini-SEED.