

Servicio Geológico Colombiano

RESOLUCIONES

RESOLUCIÓN NÚMERO 304 DE 2020

(octubre 30)

por el cual se establecen lineamientos técnicos 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 Multietapa con Perforación Horizontal - FH-PH.

El Director General del Servicio Geológico Colombiano, En uso de sus facultades legales, en especial las que le confieren el Decreto Ley 4131 del 2011, en concordancia con lo previsto en el Decreto 328 de 2020 que adicionó el Decreto 1073 de 2015 y

CONSIDERANDO:

Que de conformidad con el Artículo 3° del Decreto Ley 4131 de 2011, el Servicio Geológico Colombiano tiene como objeto realizar la investigación científica básica y aplicada del potencial de recursos del subsuelo; adelantar el seguimiento y monitoreo de amenazas de origen geológico; administrar la información del subsuelo; garantizar la gestión segura de los materiales nucleares y radiactivos en el país; coordinar proyectos de investigación nuclear, con las limitaciones del Artículo 81 de la Constitución Política, y el manejo y la utilización del reactor nuclear de la Nación.

Que el Servicio Geológico Colombiano tiene entre sus funciones asesorar al Gobierno nacional para la formulación de las políticas en materia de geociencias, amenazas y riesgos geológicos; generar e integrar conocimientos y levantar, compilar, validar, almacenar y suministrar, en forma automatizada y estandarizada, información sobre geología, recursos del subsuelo y amenazas geológicas, de conformidad con las políticas del Gobierno nacional; Integrar y analizar la información geocientífica del subsuelo, para investigar la evaluación, la composición y los procesos que determinan la actual morfología, estructura y dinámica del subsuelo colombiano; e investigar fenómenos geológicos generadores de amenazas y evaluar amenazas de origen geológico con afectación regional y nacional en el territorio nacional.

Que el Decreto 2703 de 2013 establece la estructura interna del Servicio Geológico Colombiano (SGC) y se determinan las funciones de sus dependencias, dentro de las cuales se encuentra la Dirección de Geoamenazas.

Que el Artículo 9 del Decreto 2703 de 2013, señala dentro de las funciones de la Dirección de Geoamenazas, “proponer a la Dirección General, políticas, planes, programas y proyectos que en materia de investigación en amenazas geológicas y riesgo físico, deba adoptar esta Dirección”; “dirigir las actividades conducentes al estudio, análisis y evaluación de las amenazas de origen geológico y de afectación regional y nacional en el territorio nacional”; “investigar, identificar, caracterizar, monitorear, evaluar, diagnosticar y modelar fenómenos geológicos generadores de amenazas”; y “proponer a la Dirección General, políticas, planes, programas y proyectos que en materia de investigación en amenazas geológicas y riesgo físico, deba adoptar esta Dirección”.

Que el Artículo 11 del Decreto 2703 de 2013, señala dentro de las funciones de la Dirección de Asuntos Nucleares, “proponer y dirigir políticas, planes, programas y proyectos en materia de investigación y aplicaciones nucleares”; “Dirigir la caracterización de materiales geológicos para suministrar información física, geoquímica y geocronológica utilizando técnicas nucleares”; “Dirigir la investigación, el desarrollo y la disposición permanente de información técnico-científica mediante la utilización segura de las técnicas nucleares para atender las necesidades en este ámbito”; y “Establecer el aseguramiento de la calidad analítica y metrológica de los ensayos realizados mediante técnicas nucleares”.

Que el Artículo segundo de la Ley 1955 de 2019, por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022 “Pacto por Colombia, pacto por la Equidad” determinó que el documento llamado “Bases del Plan Nacional de Desarrollo: Pacto por Colombia, Pacto por la equidad” es parte integral de la citada Ley.

Que el Legislador en el “Pacto por los recursos minero-energéticos para el crecimiento sostenible y la expansión de oportunidades”, Título IX, Capítulo B “Seguridad energética para el desarrollo productivo” incluido en del Plan Nacional Desarrollo : por Colombia, por Equidad, estableció que el Gobierno nacional tiene por reto incrementar las reservas para preservar la autosuficiencia de hidrocarburos en el mediano y largo plazo, por lo cual,

es necesario adelantar un diálogo nacional con la participación de expertos de alto nivel, y realizar investigaciones y exploraciones piloto, con el fin de identificar los principales riesgos asociados con el desarrollo de estos recursos, determinando si la regulación e institucionalidad actuales garantizar su explotación de una manera responsable con medio ambiente y comunidades.

Que el día 8 de noviembre de 2018, la Sección Tercera del Consejo de Estado expidió el Auto 2016 - 00140 en virtud del cual resolvió suspender provisionalmente, como medida cautelar, el Decreto 3004 de 2013 y la Resolución 90341 del 2014, los cuales contenían criterios y procedimientos para la exploración y explotación de hidrocarburos en Yacimientos No Convencionales, antes de resolver de fondo una acción de nulidad simple interpuesta contra estos actos administrativos.

Que posteriormente el Consejo de Estado mediante Auto del 17 de septiembre de 2019, en el marco del proceso de nulidad simple contra el Decreto 3004 de 2013 y la Resolución 90341 del 2014, estableció que: *“si el Gobierno nacional tiene interés en investigar, dilucidar y explorar acerca de la viabilidad del procedimiento de fracturación hidráulica para la exploración y explotación de hidrocarburos en yacimientos no convencionales (YNC), podría adelantar los denominados Proyectos Piloto Integrales de Investigación (PPII), contenidos en el Capítulo (14) del “Informe sobre efectos ambientales (bióticos, físicos y sociales) y económicos de la exploración de hidrocarburos en áreas con posible despliegue de técnicas de fracturamiento hidráulico de roca generadora mediante perforación horizontal”, presentado por la Comisión Interdisciplinaria Independiente que el mismo convocó, siempre y cuando se cumplan todas y cada una de las etapas fijadas en el mismo”*.

Que teniendo en cuenta lo señalado por el Consejo de Estado, mediante el Decreto 328 de 2020, el cual adiciona la Sección 1A al Capítulo 1, de la parte 2, del Libro 2 del Decreto Único del Sector Minas y Energía 1073 de 2015, el Gobierno nacional fijó los lineamientos para adelantar los Proyectos Piloto de Investigación Integral (PPII) sobre Yacimientos No Convencionales (YNC) de hidrocarburos con la utilización de la técnica de Fracturamiento Hidráulico Multietapa con Perforación Horizontal- FH-PH.

Que el Artículo 2.2.1.1A.2.8. del Decreto 1073 de 2015, señala que la línea base general y su alcance en materia de sismicidad, para medir los posibles impactos relacionados con los Proyectos Pilotos de Investigación Integral (PPII), será la determinada por el Servicio Geológico Colombiano.

Que la Resolución 40185 del 7 de julio de 2020 del Ministerio de Minas y Energía, establece los lineamientos técnicos 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 Multietapa con Perforación Horizontal - FH-PH.

Que el Artículo 8° de la citada resolución, establece que *“El Servicio Geológico Colombiano (SGC) establecerá las especificaciones del monitoreo de sismicidad, las características de la red de monitoreo local de sismicidad, distancias y ubicación de los instrumentos de la red y un semáforo sísmico, basado en rangos de magnitudes y frecuencias para la toma de acciones preventivas y/o correctivas. La red de monitoreo deberá ser instalada previo al inicio de las actividades de FH-PH y de inyección de fluido de retorno y agua de producción a través de pozos inyectoros”*.

Que en el mismo sentido el Artículo 9 de la citada resolución, al reglamentar el monitoreo de actividades desde el inicio de la etapa concomitante hasta el final de la etapa de evaluación, establece en cabeza del contratista PPII la obligación de Monitorear y transmitir en tiempo real las series de tiempo sobre sismicidad en el PPII de acuerdo a los criterios que defina el SGC.

Que en esa medida es necesario establecer las especificaciones técnicas para realizar el monitoreo de sismicidad por parte de los contratistas de los Proyectos Piloto de Investigación Integral -PPII en Yacimientos No Convencionales - YNC de Hidrocarburos.

Que en cumplimiento de lo establecido en el numeral 8 del Artículo 8 de la Ley 1437 de 2011, el presente proyecto se publicó en la página web del Servicio Geológico Colombiano del 16 de julio de 2020 al 16 de agosto de 2020 y los comentarios recibidos fueron debidamente analizados.

Que el Servicio Geológico Colombiano sometió el proyecto de resolución al concepto de abogacía de la competencia que trata el Artículo 7 Ley 1340 de 2009, y frente al cual obtuvo respuesta por parte de la Superintendencia de Industria y Comercio, mediante oficio 20-371727- -1-0 del 21 de octubre de 2020, el cual concluyó que *“no se observa que a través del Proyecto en cuestión se esté configurando alguna de las hipótesis por las cuales se considera que un acto administrativo con fines regulatorios pueda tener incidencia en los mercados tal y como se describen en el numeral 1 de este concepto”*.

Que en mérito de lo expuesto,

RESUELVE:

Artículo 1°. *Objeto de la Resolución.* La presente resolución tiene como objeto establecer los lineamientos 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 Multietapa con Perforación Horizontal - FH-PH, acorde a las especificaciones técnicas contenidas en el Anexo el cual hace parte integral de la presente resolución.

Artículo 2°. *Definiciones.* Para la aplicación de la presente resolución se tendrán en cuenta las siguientes definiciones:

Banda: Se denomina banda a un rango de frecuencias.

Codificación: Técnica utilizada para brindar seguridad y detectar errores en la información.

Data Rate: Velocidad de transmisión de datos, usualmente en bits por segundo.

Dataless SEED¹: Formato que contiene metadatos detallados de las estaciones sismológicas como su localización física y la información de la respuesta instrumental de los equipos.

Demoduladora: Dispositivo electrónico capaz de sintonizar una frecuencia y que permite retirar la señal portadora de la señal de información, siendo posible en otras etapas del dispositivo, traducir las señales electromagnéticas en datos digitales o analógicos.

EMI: Interferencia electromagnética (del inglés Electromagnetic Interference).

ESD: Descarga electrostática (del inglés Electrostatic Discharge).

Espectro: Distribución de energía en una amplia variedad de frecuencias que comprende desde los rayos gamma de alta frecuencia hasta ondas de radio de baja frecuencia.

Gap: Separación angular entre dos estaciones contiguas con respecto al centro de la red.

Geostacionario: Se llama geostacionario al satélite cuya traslación está sincronizada con la rotación del cuerpo al cual orbita.

HUB: Se conoce como HUB al dispositivo encargado de enviar la misma información a todos los dispositivos terminales conectados a este.

Latencia: Diferencia de tiempo entre el tiempo actual y el tiempo del registro adquirido.

MD: Se refiere a la longitud total de perforación. En el caso de pozos horizontales, incluye la sección vertical, más la sección horizontal.

miniSEED: Formato que contiene los datos de las series de tiempo de amplitudes del movimiento del suelo medidas por los sismómetros.

Modulación: Conjunto de técnicas usadas para transmitir información a través de una señal portadora.

Nodo Satelital: Punto donde se reciben múltiples señales mediante cualquier método de comunicación para luego transmitir las a través de un único canal satelital.

Polarización: Propiedad de las ondas electromagnéticas, la cual describe la variación tiempo - dirección - amplitud.

Portadora: Serial de alta frecuencia que facilita la transmisión de información a través de un medio de propagación.

Posición Orbital: Posición en la cual se encuentra ubicado el satélite sobre la superficie del cuerpo al que orbita.

QPSK: Modulación por desplazamiento de fase cuadrifásica (del inglés, Quadrature Phase-Shift Keying).

Red local de monitoreo: Red de estaciones sismológicas que se encarga del monitoreo de un (1) pozo o un conjunto de pozos, cuya operación esté a cargo de uno (1) o más Contratistas PPII.

RFI: Interferencia de radiofrecuencia (del inglés, Radio Frequency Interference).

Satélite Artificial: Equipo enviado por el humano que orbita un planeta, satélite natural o asteroides.

SEED: Formato binario de almacenamiento de datos sismológicos cuya sigla proviene de su nombre en inglés (Standard for the Exchange of Earthquake Data). El formato SEED se divide en dos partes lógicas: miniSEED y dataless SEED.

TCXO: Oscilador de cristal compensado por temperatura (del inglés, Temperature Compensated Crystal Oscillator).

Transpondedor: Es la combinación de transmisor y receptor, el cual recibe y transmite señales con diferente portadora.

Artículo 3°. *Requisitos previos a la transmisión de datos:* Dentro de la etapa concomitante de los proyectos piloto de investigación integral y en todo caso antes de empezar las actividades de FH-PH y de inyección de fluido de retorno y agua de producción a través de pozos inyectoros a las que se refiere la Resolución 40185 del 7 de julio de 2020 del Ministerio de Minas y Energía, el Contratista PPII deberá presentar a la Dirección de Geoamenazas del Servicio Geológico Colombiano un informe que contenga como mínimo la siguiente información técnica:

1. Coordenadas geográficas de la ubicación (latitud, longitud y altitud) de las estaciones (medidas con precisión de 4 m o mejor), junto con el listado de los equipos instalados en cada punto y sus hojas de calibración de fábrica.
2. Coordenadas geográficas de la ubicación del pozo o arreglo de pozos junto con su profundidad (en caso que el pozo ya esté perforado o de lo contrario lo estimado según el plan de perforación).
3. Mapa que contenga la ubicación de las estaciones y de los pozos mencionados en los numerales 1 y 2, junto con la información a la que se refieren los artículos 10 y 22 de la Resolución 40185 del 7 de julio de 2020 del Ministerio de Minas y Energía, o aquella que la modifique, sustituya o derogue.

¹ Ringler A& Evans J. A Quick SEED Tutorial, Seismological Research etters. Volumen 86.2015

4. Gráficas de densidad espectral de potencia probabilística para cada estación, como lo indica el numeral 4 del Anexo de esta Resolución.
5. Interpretación de las principales fuentes de ruido y su evolución temporal, para cada estación, como lo indica el numeral 4 del Anexo de esta Resolución.
6. Análisis de la determinación de la ubicación de las estaciones, con nivel de ruido óptimo en altas frecuencias, según numeral 4 del Anexo de esta Resolución.
7. Datos de contacto del Contratista PPII, dirección física a la cual se pueda hacer el envío de comunicaciones, así como una dirección de correo electrónico, con la indicación de que acepta la recepción de comunicaciones en la dirección física o electrónica.
8. Series de tiempo en formato miniSEED del registro de formas de onda continuo propia de cada sitio, registrada durante mínimo siete (7) días, almacenadas en archivos de un (1) día de duración, según se indica en el Anexo y en cualquier caso la totalidad del tiempo en el que se haya efectuado el registro de la señal sísmica.
9. Archivos de respuesta por estación de los instrumentos que se instalaron, en formato dataless SEED, junto con las hojas de calibración de fábrica de cada uno de los equipos.
10. Formatos de “*Búsqueda de Sitio*” definidos por el Servicio Geológico Colombiano, diligenciados por estación.
11. Formatos de “*instalación y mantenimiento*” definidos por el Servicio Geológico Colombiano, diligenciados por estación.

Parágrafo 1°. Todos los equipos instalados en las estaciones, así como la distribución espacial de las mismas, deben estar acorde a las especificaciones contenidas en el Anexo de esta Resolución.

Parágrafo 2°. El Servicio Geológico Colombiano podrá exigir instrumentación adicional o distribuciones particulares de las estaciones sismológicas cuando, teniendo en cuenta las condiciones del área de operaciones, sea necesario para que la red garantice el monitoreo de la actividad sísmica, de acuerdo con lo establecido en la presente Resolución.

Parágrafo 3°. De manera extraordinaria, si el Contratista PPII informa que se presentan situaciones extremas por las cuales no es posible cumplir con las especificaciones contenidas en el Anexo de esta Resolución, el Servicio Geológico podrá concertar de manera conjunta con el Contratista PPII posibles alternativas, siempre velando por mantener la calidad del monitoreo sísmico.

Parágrafo 4°. En caso de existencia de redes locales de monitoreo sísmico previamente aprobadas por el SGC, que requieran ajustes para cubrir las operaciones enmarcadas en los PPII, los contratistas podrán presentar solicitudes de reubicación de estaciones que garanticen el correcto monitoreo de la actividad sísmica en el marco de estos proyectos y en concordancia con lo establecido en el Anexo Técnico de la presente Resolución.

Parágrafo 5°. Toda la información geográfica y georreferenciable debe entregarse en formato shapefile y en sistema de referencia WGS84.

Artículo 4°. *Transmisión de Datos*: La transmisión de datos de las estaciones sismológicas debe ser en tiempo real, sin interrupciones y con una latencia inferior a 30 segundos. Para ello el contratista PPII deberá optar por una de las siguientes alternativas de transmisión:

1. Transmisión vía satélite al HUB de la Red Sismológica Nacional del Servicio Geológico Colombiano en la sede Bogotá; dicha transmisión se puede realizar a través de uno o más nodos satelitales (Ver anexo de la resolución). Para esto deberá remitir a la Dirección de Geoamenazas del Servicio Geológico Colombiano, la información especificada en el numeral 2.2 del anexo técnico de la presente resolución.
2. Transmisión vía satélite desde los equipos en campo a un operador de telecomunicaciones satelitales que cuente con un HUB en la ciudad de Bogotá, desde allí, enviar los datos recopilados de todos los equipos en campo el cual será el único punto de concentración de información hasta el Servicio Geológico Colombiano, a través de un canal dedicado de fibra óptica simétrico con un ancho de banda de 10 Megas o superior, de tal manera que el Contratista PPII garantice el correcto funcionamiento. Los equipos a instalar en el SGC para recibir el canal de Fibra deberán ser de máximo 2 unidades de rack, entre el conversor de medio y el router. El Contratista PPII una vez finalizado el proyecto deberá realizar el retiro de la fibra óptica instalada conforme a lo previsto en el anexo de la presente resolución.

Una vez el Contratista PPII defina alguna de las alternativas para su sistema de comunicaciones, deberá informar por escrito a la Dirección de Geoamenazas del Servicio Geológico Colombiano, la información de contacto de la persona responsable, para concertar la fecha y hora de la transmisión de los datos.

El no cumplimiento de cualquier especificación técnica por parte del Contratista PPII conlleva a que este debe presentar nuevamente tanto el informe, como iniciar la transmisión de datos en tiempo real y aportar las demás evidencias de cumplimiento de las especificaciones.

Parágrafo. La red local de monitoreo deberá estar en funcionamiento por lo menos un (1) mes antes del inicio de operaciones de FH-PH, inyección de fluido de retorno o agua de producción a través de pozos inyectoros. La calidad de su transmisión será evaluada por parte del SGC durante este tiempo y el Contratista PPII debe mantener la transmisión en tiempo real cumpliendo con la totalidad de las especificaciones técnicas contenidas en la presente resolución y su anexo técnico.

Artículo 5°. *Calidad de Señales en Cualquier Tiempo*: En caso que el espectro de ruido sísmico de las señales de las estaciones recibidas en el Servicio Geológico Colombiano no cumpla con el criterio de calidad establecido en el numeral 4 del Anexo de esta Resolución, el Contratista PPII deberá:

1. Hacer el diagnóstico y las correcciones pertinentes para garantizar el cumplimiento de la obligación prevista en este artículo.
2. Comunicar a la Dirección de Geoamenazas del Servicio Geológico Colombiano sobre las acciones correctivas implementadas.
- 3) Enviar evidencia del éxito de la implementación de las acciones correctivas.

Parágrafo: De manera extraordinaria, si el Contratista PPII informa que se presentan situaciones extremas por las cuales no es posible cumplir con las especificaciones contenidas en el Anexo de esta Resolución, el Servicio Geológico podrá concertar de manera conjunta con el Contratista PPII posibles alternativas, siempre velando por mantener la calidad del monitoreo sísmico.

Artículo 6°. *Condiciones y Procedimiento del Monitoreo de Sismicidad en Cualquier Tiempo*: El Contratista PPII deberá garantizar mínimo el 90% de funcionamiento permanente y continuo de cada una de señales de las estaciones que hacen parte del diseño óptimo (numeral 3.1 del Anexo Técnico) y de su transmisión de la información en tiempo real, de no cumplirse se considera que hay una falla en la estación.

En caso de falla, el Contratista PPII deberá tomar las medidas correctivas necesarias para restablecer su funcionamiento, de acuerdo con las siguientes reglas:

1. Si existe un fallo en una estación, el Contratista PPII deberá restablecer su funcionamiento en un período no superior a 48 horas.
2. Si existe un fallo en más de una estación, el Contratista PPII deberá restablecer su funcionamiento en un período no superior a 24 horas.

En todo caso, el Contratista PPII deberá garantizar el almacenamiento de la información generada mientras se toman las medidas correctivas, y deberá remitirla a la Dirección de Geoamenazas del Servicio Geológico Colombiano en formato miniSEED al restablecer el funcionamiento.

En el evento en que se realice algún cambio en la instrumentación sismológica instalada, el Contratista PPII deberá informar inmediatamente a la Dirección de Geoamenazas del Servicio Geológico Colombiano, adjuntando lo siguiente:

- a) Los archivos de respuesta de las estaciones modificadas en formato dataless SEED.
- b) Las hojas de calibración de fábrica de cada uno de los equipos.
- c) Formatos de “*instalación y mantenimiento*” correspondiente.

En el evento de cambio de equipos por cualquier circunstancia, el Contratista PPII deberá cumplir con las especificaciones técnicas del Anexo de la presente Resolución.

Artículo 7°. *Informes de Funcionamiento Mes Vencido*. Una vez se encuentre funcionando la red de monitoreo, el Contratista PPII deberá presentar a la Dirección de Geoamenazas del Servicio Geológico Colombiano informes del monitoreo mensual, los primeros cinco (5) días hábiles del mes siguiente, los cuales deberán contener:

- a) Estadísticas de funcionamiento de las estaciones.
- b) Imprevistos.

Artículo 8°. *Semáforo Sísmico*. Para todos los efectos, el semáforo sísmico, basado en rangos de magnitudes y frecuencias para la toma de acciones preventivas y correctivas al que se refiere la Resolución 40185 del 7 de julio de 2020 del Ministerio de Minas y Energía, corresponde al documento “*Semáforo para el monitoreo sísmico durante el desarrollo de los proyectos piloto de investigación integral en yacimientos no convencionales de hidrocarburos en Colombia*”, oficializado por el Servicio Geológico Colombiano y que se encuentra disponible en el Motor de Integración de Información Geocientífica - MIIG del SGC.

Artículo 9°. *Volumen de monitoreo*. El volumen de monitoreo comprende un volumen cilíndrico de radio $2h + 20$ km (donde h es la profundidad MD del pozo en kilómetros) con una profundidad de 16 km, como se contempla en el documento oficial del SGC: “*Semáforo para el monitoreo sísmico durante el desarrollo de los proyectos piloto de investigación integral en yacimientos no convencionales de hidrocarburos en Colombia*”, al que se refiere la Resolución 40185 del 7 de julio de 2020 del Ministerio de Minas y Energía.

Artículo 10. *Período de Funcionamiento de la Red de Monitoreo al terminar las Operaciones*. El período de funcionamiento de la red de monitoreo, luego de terminadas las operaciones de FH-PH, inyección de fluido de retorno o agua de producción a través de pozos inyectoros, deberá ser el doble del tiempo de duración de las operaciones. En ningún caso puede ser inferior a dos (2) meses ni superior a un (1) año.

Artículo 11. *Vigencia*. La presente Resolución rige a partir de su publicación en el **Diario Oficial** y deroga las disposiciones que le sean contrarias.

Publíquese y cúmplase.

Dada en Bogotá, D. C., a 30 de octubre de 2020.

El Director General,

Óscar Eladio Paredes Zapata.

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 MULTITAPA 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 o acelerómetro y digitalizador interno)
Rango dinámico	Mayor a 140 dB
Resolución	Mínimo 24-bit
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, VCXO (voltage controlled crystal oscillators), OCXO (oven controlled crystal oscillators) o DCXO (digital controlled crystal oscillators).
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, MicroSD y/o USB
Memoria	Memoria que garantice una semana de autonomía si se interrumpe la transmisión en tiempo real
Network	IEEE 802 10Base-T Ethernet UDP/IP Protocol
Protocolo	Transmisión de datos con soporte de por lo menos 2 conexiones simultáneas por medio del protocolo SEEDLINK o un protocolo de fabricante que no requiera software intermedio entre el digitalizador y el sistema de adquisición SeisComP, soportado por la versión del SeisComP operativa en el SGC.

almacenamiento	
Memoria	Memoria que garantice una semana de autonomía si se interrumpe la transmisión en tiempo real
Network	IEEE 802 10Base-T Ethernet UDP/IP Protocol
Protocolo	Transmisión de datos con soporte de por lo menos 2 conexiones simultáneas por medio del protocolo SEEDLINK o un protocolo de fabricante que no requiera software intermedio entre el digitalizador y el sistema de adquisición SeisComP, soportado por la versión del SeisComP operativa en el SGC.

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
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:

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

SISMÓMETRO DE ESTACIÓN CENTRAL (Sensor de Velocidad - corto periodo)	
Topología	Triaxial simétrico o triaxial ortogonal
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)
Señal de salida	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 simétrico o triaxial ortogonal
Sensibilidad	Superior o igual 750 V/m/s
Ancho de banda	Valor máximo del límite inferior del ancho de banda 0.05 Hz (en Periodo, mínimo 20 s), límite superior del ancho de banda 100 Hz
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	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 o simétricamente
Ancho de banda	0.005 Hz a 100 Hz
Rango dinámico	Mayor a -150 dB
Escala total	±2g
Señal de salida	40 V pico a pico diferencial
Energía	Suministrada directamente por el digitalizador
Temperatura de operación	desde -15°C a 60°C
No linealidad	≤ 0.1%
Otros	El cable de salida debe tener conexión al digitalizador.
ACELERÓMETRO CON DIGITALIZADOR INTERNO (Sensor de Aceleración con digitalizador en una unidad)	
Resolución	Mínimo 24-bit
Tipo	Acelerómetro triaxial de fuerza balanceada FBA (NO Sensores tipo MEMS), orientado ortogonalmente o simétricamente
Ancho de banda	0.005 Hz a 100 Hz
Rango dinámico	Mayor a -150 dB
Escala total	±2g
Muestreo	200 mps, seleccionable por el usuario.
Base de tiempo	Precisión TCXO, VCXO (voltage controlled crystal oscillators), OCXO (oven controlled crystal oscillators) o DCXO (digital controlled crystal oscillators)
Comunicaciones	Completa Duplex, reconocimiento eficiente positivo con control de error. 10/100 base T Ethernet
Temperatura de operación	desde -15°C a 60°C
Estados de salud	Temperatura, voltaje DC, estado del GPS, posición de masas
Modo de	Compatible con Compact flash, SD, MicroSD y/o USB

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 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 periodo 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 periodo intermedio.

Condiciones mínimas de la red:

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.

Cada una de las estaciones del anillo central puede tener un radio R1 en un intervalo entre 3 km y 7 km; y cada una de las estaciones del anillo circundante puede tener un radio R2 en un intervalo entre $4RM \leq R2 \leq 6RM$, donde RM es el promedio de los radios R1 del anillo central. Las estaciones del anillo circundante deben estar fuera del volumen de monitoreo contemplado en el artículo noveno de la presente resolución.

Las estaciones circundantes deben cubrir preferiblemente el Gap de las estaciones centrales.

La red de monitoreo se considerará lo suficientemente adecuada para cualquier pozo cuando este se encuentre ubicado dentro del área del círculo de radio Rp, cuyo centro coincide con el del arreglo, donde Rp es menor o igual al radio máximo del arreglo (Rmax) menos dos (2) veces la profundidad medida de dicho pozo (MD), es decir, $Rp \leq Rmax - 2MD$. De lo anterior, se deriva que una red puede ser suficiente para monitorear más de un pozo. Para cualquier pozo donde se realicen operaciones FH-PH, inyección de fluido de retorno o agua de producción a través de pozos inyectores, su área de suspensión (correspondiente al volumen de suspensión al que se refiere el artículo 17 de la Resolución 40185 de 2020 del MME, o aquella que la modifique, sustituya o derogue.) debe estar cubierta en su totalidad por el área del círculo de radio Rp.

En caso de necesitar más de una red para monitorear un conjunto de pozos, es posible optimizar el número de estaciones 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 localizados dentro del volumen de suspensión al que se refiere el artículo 17 de la Resolución 40185 de 2020 del MME o aquella que la modifique, sustituya o derogue, 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 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, la moda del 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

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

(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 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.

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.