

**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA REALIZAR LA CONTRATACIÓN DE LA “EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA DIRECTA E INDIRECTA MEDIANTE PERFORACIONES MECÁNICAS POR ROTACIÓN EN DIÁMETRO DE MUESTREO HQ, APIQUES, LÍNEAS DE REFRACCIÓN SISMICA, PRUEBAS DOWNHOLE, ENSAYOS DE LABORATORIO Y MONITOREO GEOTÉCNICO EN EL PERIMETRO URBANO Y CINCO CENTROS POBLADOS DEL MUNICIPIO DE MARMATO DEPARTAMENTO DE CALDAS”**

**Bogotá D.C., Junio de 2021**

## 1. ESTUDIO TÉCNICO

El Servicio Geológico Colombiano (SGC) a través del Proceso INVESTIGACIÓN, EVALUACIÓN Y MONITOREO DE AMENAZAS GEOLÓGICAS, desarrolla proyectos para generar conocimiento geocientífico, mediante la investigación, evaluación y monitoreo de los procesos que originan amenazas de origen geológico, con el fin de apoyar el ordenamiento del territorio, la gestión del riesgo, los planes de desarrollo de infraestructura y por lo tanto el desarrollo del país. Entre dichos proyectos, se encuentra la zonificación de amenaza por movimientos en masa a diferentes escalas y en particular las definidas en el Decreto 1077/2015.

Por otra parte, la Ley 1523 de 2012 determina que las zonificaciones de amenazas por movimientos en masa se constituyen en un insumo para la gestión del riesgo de desastres; con el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida y al desarrollo sostenible.

Por lo anterior, se requiere realizar 17 perforaciones de 15 m (en promedio) de profundidad cada una, para un total de 255 m lineales de perforación distribuidos en el casco urbano del municipio de Marmato y los centros poblados, de la siguiente manera: Echandia 2 perforaciones 30 m lineales, El Llano 5 perforaciones 75 m lineales, El Vergel 2 perforaciones 30 m lineales, Jiménez 2 perforaciones 30 m lineales, San Juan Nuevo 2 perforaciones 30 m lineales y Marmato 4 perforaciones 60 m lineales, con diámetro HQ, con recuperación continua de muestras de los materiales presentes en el área de estudio; en dichas muestras se deberán realizar ensayos de laboratorio para una caracterización físico – mecánica de los materiales geológicos recuperados.

Adicionalmente se pretende obtener las propiedades dinámicas representativas de los materiales, como trabajo complementario a la exploración directa, por lo que se requiere realizar 7 líneas sísmicas de 120 m cada una, obteniendo tomografías sísmicas en los perfiles predeterminados 4 ensayos de Down-Hole los cuales servirán como insumo para la construcción del modelo geológico geotécnico.

Adicionalmente, se requiere instalar instrumentación para realizar el monitoreo de los desplazamientos, tasas de movimiento, niveles freáticos y piezométricos en sitios estratégicos, mediante el uso de inclinómetros y piezómetros.

Con esta información se pretende configurar un modelo geológico-geotécnico, que además permitirá realizar el análisis de estabilidad de las laderas en las zonas de estudio y la zonificación de amenazas por movimientos en masa.

## **OBJETIVOS**

### **1.1 Objetivo General**

Prestar servicios para realizar la exploración geotécnica directa e indirecta mediante perforaciones por rotación mecánica en diámetro de muestreo HQ con muestreo continuo, suministro e instalación de instrumentación, ejecución de apiques, líneas de refracción sísmica, pruebas Down-Hole y ensayos de laboratorio, en el casco urbano y cinco centros poblados del municipio de Marmato departamento de Caldas.

### **1.2 Objetivos específicos**

- Desarrollar exploración geotécnica con equipo de perforación mecánica por rotación con recuperación continua de núcleos en diámetro HQ, con profundidad promedio entre 10 y 30 m, en 17 sitios escogidos en el área urbana, de expansión urbana de cada uno de los centros poblados, para un total de 255 metros lineales de perforación.
- Obtener muestras inalteradas de los materiales geológicos perforados para su descripción visual y para la ejecución de ensayos geotécnicos de laboratorio.
- Ejecución de apiques con toma de muestra inalterada (bloque) y levantamiento geológico de los materiales observados en las paredes y fondo de la excavación.
- Identificar la profundidad del nivel de agua detectada en cada una de las perforaciones y apiques ejecutados.
- Suministrar e instalar la instrumentación para 15 sitios de perforación distribuidos así:  
Echandia: 1 piezómetro tipo Casagrande y 2 inclinómetros, El Llano: 2 piezómetros tipo Casagrande y 2 inclinómetros, El Vergel: 1 piezómetro tipo Casagrande, San Juan Nuevo: 1 piezómetro tipo Casagrande y 2 inclinómetros y Marmato: 2 piezómetros tipo Casagrande y 2 inclinómetros, en los sitios definidos por el SGC.
- Realizar ensayos de laboratorio sobre las muestras obtenidas en las perforaciones, con el fin de caracterizar los materiales geológicos, mediante ensayos de clasificación, resistencia y compresibilidad.
- Desarrollar exploración geotécnica indirecta mediante el método de refracción sísmica para obtener tomografías sísmicas en 7 sitios ubicados en el área urbana y de expansión urbana del casco urbano y cinco centros poblados del municipio de Marmato, departamento de Caldas, para un total de 840 metros lineales
- Realizar pruebas Down-Hole en 4 sitios de perforación.
- Calcular las velocidades compresionales ( $V_p$ ) y de corte ( $V_s$ ), para las ondas de cuerpo, de los diferentes estratos que componen el subsuelo de la zona de estudio y con base

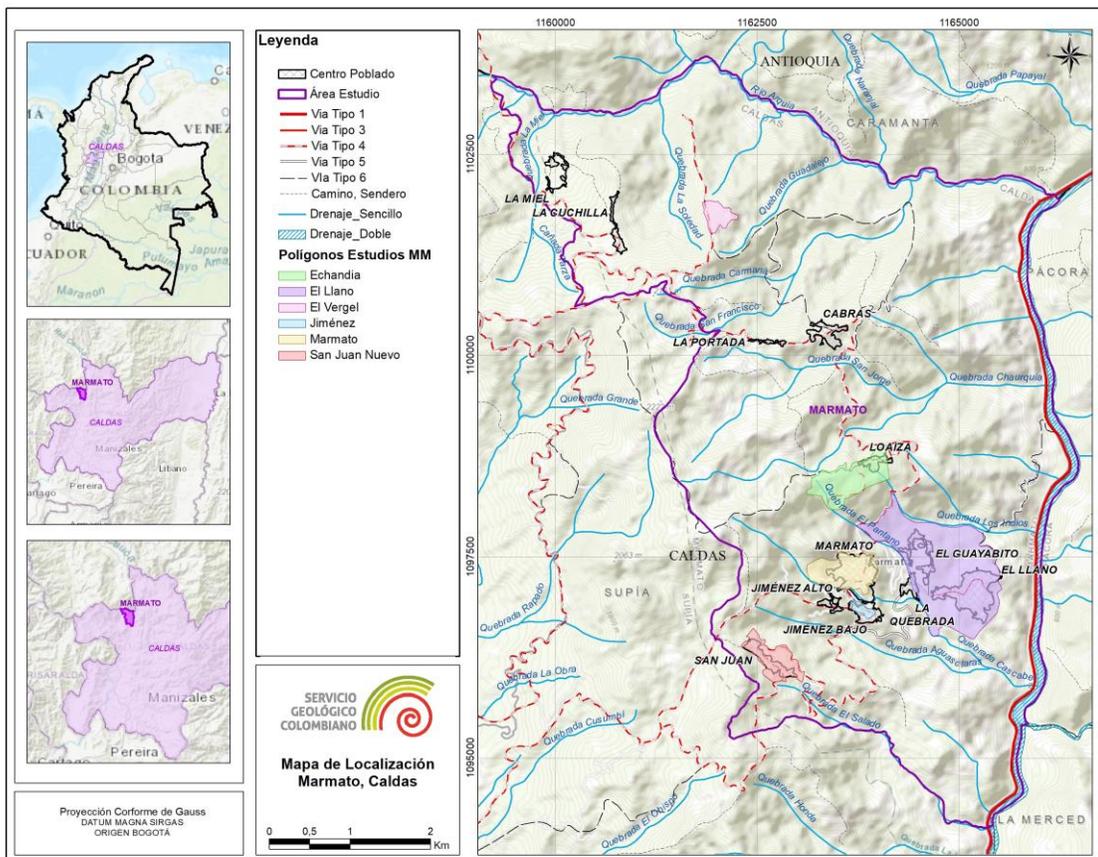
en estas velocidades, presentar un modelo que muestre las diferentes capas del subsuelo, la forma del contacto entre ellas y sus espesores.

- Calcular los módulos elásticos del subsuelo conocidos como módulo de Young (E), módulo de corte máximo (G), módulo de deformación volumétrica (K) y relación de poisson, a partir de  $V_p$  y  $V_s$ .

## 2. GENERALIDADES

### 2.1 Área de estudio

El área de estudio está compuesta por seis (6) polígonos localizados en el municipio de Marmato departamento de Caldas que comprende zonas del área urbana y de expansión urbana que incluye los centros poblados de Echandia, El Llano, El Vergel, Jiménez, San Juan Nuevo y el casco urbano de Marmato, figura 1 .



**Figura 1.** Localización áreas de estudio-municipio Marmato, departamento de Caldas

Fuente: autores

### **3 ALCANCE DE LOS TRABAJOS**

#### **3.1 Exploración geotécnica directa:**

Se realizará en el área urbana, de expansión urbana de cada uno de los polígonos (veredas El Llano, El Vergel, San Juan Nuevo, Echandía y Jiménez).

- Ejecución de 17 perforaciones mecánicas con equipo de rotación, muestreo continuo, diámetro de muestreo HQ, a profundidad que varía entre 10 y 30 metros, para un total de 255 m lineales de perforación.
- En caso de encontrarse unidades de roca o el macizo rocoso, se deberá penetrar la roca al menos 2.0 m, para finalizar la perforación, lo anterior de ninguna manera se constituye en un porcentaje estimado de perforación en roca por lo que el contratista deberá perforar todo tipo de materiales.
- Obtener muestras “inalteradas” con fines de caracterización de los materiales geológicos del área de estudio.
- Ejecución de 20 apiques de 1,5 a 2,0 m de profundidad con toma de muestra en bloque con el fin de caracterizar los materiales más superficiales en zona de estudio.

#### **3.2 Exploración Indirecta mediante métodos geofísicos**

- Ejecución de 7 líneas sísmicas por método de refracción sísmica, para el cálculo de velocidades de ondas de cuerpo independientes tanto compresionales P, como de corte S, con longitud de cada línea de 120 m y un arreglo geométrico de 5m cada geófono para interpretación hasta una profundidad no menor de 50 m, distribuidos de la siguiente manera: Echandia 1 línea, El Llano 2 líneas, El Vergel 1 línea, Jiménez 1 línea, San Juan Nuevo 1 línea y centro poblado de Marmato 1 línea.
- Realizar pruebas Down-hole en cuatro (4) de las perforaciones definidas.

#### **3.3 Ensayos de laboratorio de geotecnia:**

- Humedad Natural: 40 Ensayos
- Granulometría por tamizado con lavado: 80 ensayos
- Límites de consistencia: 50 ensayos
- Lavado sobre tamiz 200: 20 ensayos
- Granulometría por hidrómetro: 20 ensayos
- Gravedad específica: 15 ensayos
- Peso unitario (Roca): 15 ensayos
- Peso unitario (Suelo): 25 ensayos
- Resistencia a la compresión uniaxial(Roca): 15 ensayos
- Compresión inconfineda (Suelo): 20 ensayos

- Compresión triaxial - CŪ (3 puntos)(6 carreras): 13 ensayos
- Corte directo - CD, parámetros pico y residual (3 puntos) 6 carreras: 25 ensayos
- Consolidación lenta con descarga y recarga: 6 ensayos
- Triaxial cíclico: 4 ensayos

### 3.4 Instrumentación geotécnica

- Suministro e instalación de tubería y aditamentos para inclinómetro en 8 perforaciones (longitud aproximada 120 m).
- Suministro e instalación de tubería y aditamentos para piezómetro tipo Casagrande en 7 perforaciones (longitud aproximada 105 m).

## 4 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

En la tabla 1, se relacionan las actividades a contratar con su respectiva especificación técnica.

**Tabla 1.** Especificaciones técnicas asociadas

ÍTEM	1. EXPLORACIÓN DE CAMPO	
	DESCRIPCIÓN	Especificación Asociada
2.1	Perforación mecánica por rotación, diámetro HQ	ASTM D2113 ASTM D5876
2.2	Suministro e instalación tubería y aditamentos para inclinómetro	ASTM D6230
2.3	Suministro e instalación tubería y aditamentos para piezómetro	ASTM D5092
2.4	Apiques 1,5 a 2,0 m de profundidad	INVIAS E-104-13
ÍTEM	2. ENSAYOS DE LABORATORIO	
	DESCRIPCIÓN	Especificación Asociada
2.1	Humedad Natural	ASTM D 2216-10
2.2	Granulometría por tamizado con lavado	ASTM D 422-63 (reaprobada 2007)
2.3	Límites de consistencia	ASTM D 4318-10

ÍTEM	1. EXPLORACIÓN DE CAMPO	
	DESCRIPCIÓN	Especificación Asociada
2.4	Lavado sobre tamiz 200	ASTM D 422-63 (reaprobada 2007) / D-6913
2.5	Granulometría por hidrómetro	ASTM D 422-63 (reaprobada 2007) / D-6913
2.6	Gravedad específica	ASTM D 854-10
2.7	Peso unitario	ASTM D-2937 (roca) ASTM D-854 (suelo)
2.8	Compresión inconfiada	ASTM D 2938 (roca) ASTM D 2166 - 06 (suelos)
2.9	Compresión triaxial - CŪ (3 puntos)	ASTM D 4767 - 11 ASTM D 2850/03 a (reaprobada 2007)
2.10	Corte directo - CD, parámetros pico y residual (3 puntos). 6 carreras	ASTM D 3080/D3080M – 11
2.11	Consolidación lenta con descarga y recarga	ASTM D-2435
2.12	Resistencia a la compresión uniaxial	ASTM D7012-10
2.12	líneas de refracción sísmica	ASTM D777 (Vp)
2.13	Pruebas Down Hole	ASTM D7400

Fuente; Autores

Igualmente, los trabajos a realizar deben atender a las especificaciones técnicas que se exponen a continuación:

- Obtener las coordenadas de localización de cada una de las exploraciones y líneas indicadas en campo por el supervisor, expresadas en coordenadas geográficas y las correspondientes cotas en msnm, amarradas a la cartografía del IGAC en el sistema MAGNA SIRGAS.
- Realizar perforaciones mecánicas por rotación con recuperación continua de muestras en diámetro HQ, en un total de 255 m lineales distribuidos de la siguiente manera:  
Las perforaciones se deberán realizar exclusivamente por rotación. No se aceptará el avance de perforaciones por percusión y lavado.

- Debe garantizarse en todo momento la estabilidad de la pared de perforación. Cuando se use encamisado, la punta del mismo debe avanzar hasta una cota superior a las cotas previstas del posterior muestreo. El nivel del lodo de perforación dentro de la perforación debe permanecer siempre por encima del rango de cotas del nivel freático comprobado o estimado en el sitio.
- Se deberá mantener durante la exploración, profesionales en Ingeniería Civil, Geología o Ingeniería Geológica en calidad de Residentes de Campo, según las cantidades dadas posteriormente, teniendo en cuenta la importancia que reviste su presencia y el requerimiento del personal propuesto. Estos profesionales deben dedicar tiempo completo durante la ejecución de los trabajos de campo.
- Se deberá presentar una descripción detallada de la metodología a desarrollar y equipos a utilizar; tanto de la adquisición como de la interpretación de los datos. Así mismo una relación de los trabajos ejecutados por el proponente (objetivos, cliente, lugar y fecha de ejecución, duración, síntesis de los resultados), que correspondan específicamente a la temática en cuestión, anexando soportes que así lo certifiquen.
- La recuperación de muestras debe ser continua. Cada una de ellas debe identificarse correctamente mediante un rótulo visible que indique los nombres del Proyecto y de la perforación, fecha, número y profundidad de la muestra, longitud de recuperación y observaciones si es necesario. Las muestras deben permanecer aisladas de la intemperie, deben ser envueltas totalmente con papel aluminio y posteriormente envueltas totalmente con vinipel. El rótulo de identificación debe insertarse entre las diferentes capas de vinipel evitando que quede en contacto directo con la muestra para evitar que se humedezca. Debe indicarse sobre la muestra, la dirección de la perforación, mediante una flecha. Las muestras envueltas deben descansar sobre canaletas semi-cilíndricas de PVC y posteriormente envolver el conjunto muestra-canaleta con vinipel. Finalmente, para su preservación, traslado y entrega, las muestras deben almacenarse en las cajas estándar de la Litoteca Nacional, de color azul, según se muestra en la figura 2, con marcas de tope y base, etiquetando cada una de las cajas con la identificación del Proyecto, perforación, números de las muestras, intervalo de profundidad, fecha, contratista y equipo de perforación.
- Las muestras, incluida la caja azul estándar de la Litoteca Nacional, se debe entregar en los sitios y fechas indicadas por el SGC. El costo del empaque y transporte de los núcleos estarán a cargo del Contratista.
- Las cajas azules, estándar de la Litoteca Nacional, son fabricadas con polipropileno de alta densidad (PEAD) se componen de dos partes, cuerpo y tapa, las dimensiones de las cajas son: 960 mm de longitud x 240 mm de ancho x 100 mm de alto (Figura 2).



**Figura 2.** Caja azul estándar de la Litoteca Nacional. (sobre la tapa se aprecian además las canaletas de PVC)

Fuente; Autores

- En cada una de las cajas de muestras, al tomarse una para realizar ensayos, se debe insertar en su reemplazo listones de madera con la información de los ensayos realizados y la fecha de los mismos, de tal manera que las muestras sobrantes, no utilizadas por el Contratista para la realización de ensayos de laboratorio, deben entregarse según las especificaciones dadas, en las instalaciones del SGC, en la ciudad de Bogotá.
- En el caso de muestras tomadas en tubos de pared delgada (Shelby), éstas no podrán ser extruidas en campo y deben transportarse en el tubo muestreador hasta el sitio de destino. En cada extremo del tubo, se debe retirar al menos 1" de suelo, que servirá para la descripción visual del material. Los extremos del tubo deben sellarse con empaquetadores plásticos expandibles.
- Para las perforaciones en materiales inconsolidados que puedan ser lavados fácilmente durante el proceso (arenas sueltas, matriz arenosa suelta de depósitos coluviales o fluvio-torrenciales, materiales finos de consistencia blanda a muy blanda, entre otros) se debe ajustar la velocidad de rotación del equipo, las condiciones del fluido de perforación y si es el caso otros parámetros mecánicos, de modo que se obtenga la mejor calidad de la muestra; en todo caso, para este tipo de materiales se debe recuperar muestras de bolsas del agua de lavado adicionales a las recuperadas con el muestreador.
- Teniendo en cuenta que las actividades a contratar tienen como fin primordial el lograr la caracterización geomecánica de los materiales encontrados en las zonas de estudio, así como, determinar su disposición en profundidad, para materiales de difícil

recuperación, el contratista implementará las acciones necesarias, de tal forma que se garantice el muestreo continuo sin importar el tipo de material, entre las que se encuentran:

Uso de polímeros

Uso de bentonitas

Reducción de la presión de hinchado de la tubería de perforación

Reducir la cantidad y presión de agua usada en la perforación

Reducir la velocidad de rotación en la perforación

Reducir la longitud de la corrida a 20 o 30 cm o menos si es necesario

- Los apiques se realizarán manualmente a profundidades de entre 1,5 m y 2,0 m, en función del tipo y distribución de los materiales presentes, logrando obtener en lo posible cada muestra cúbica con dimensiones de 25cm x 25cm x 25cm, y recubriendo la muestra totalmente con vinipel, rotulándola de la misma forma indicada para las muestras de perforación y empacándola para su transporte en una caja de madera.
- La instrumentación mediante instalación de los 7 piezómetros tipo Casagrande debe seguir los lineamientos y recomendaciones establecidos en normas técnicas como las presentadas por el Eurocode 7 (Geotechnical design) o AASHTO T 252-09.
- La adecuación de las perforaciones que se destinarán para este tipo de monitoreo, posterior al lavado de las perforaciones, involucra la disposición de tubería de ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno) ranurada, de 70 mm de diámetro externo. Su instalación conlleva el sucesivo acople de tramos de 3m, con uso de uniones de 160 mm de longitud, que se insertan progresivamente en el pozo hasta alcanzar su profundidad máxima. Posterior a esta actividad, se procede a estabilizar y confinar la tubería con el vertimiento de arena gruesa (que pasa el tamiz N°4 y es retenida por el N°8), ocupando completamente el espacio libre entre la tubería y la pared de la perforación.
- Así mismo, la instrumentación para monitoreo con inclinómetros en los 8 puntos definidos por el SGC, debe ajustarse a los lineamientos y recomendaciones establecidos en normas como INVIAS I.N.V.E – 171, AASHTO T 254 o ASTM D6230-98.
- Los piezómetros tipo Casagrande constan de un tramo de tubería perforado y recubierto con geotextil, que se dispone a la profundidad que se pretende monitorear, y que está en contacto exterior con material drenante (arena gruesa) que se vierte para cumplir con la función de filtro. Suprayaciendo este nivel se materializa un sello impermeable con arcilla.

- Las mediciones de refracción sísmica se llevarán a cabo a lo largo de los perfiles longitudinales con el uso de geófonos de configuración triaxial o multicanal 3D, de tal manera que un único sensor registre los tiempos de llegada de ondas Vp y Vs.
- Los equipos para exploración sísmica (líneas de refracción sísmica) deberán contar con geófonos espaciados cada 5m. No se aceptará equipos donde se realice una sola medición y posteriormente se asuma la relación de poisson, o una relación entre Vp/Vs.
- Para la ejecución del ensayo, no se aceptará la medición de ondas P y ondas S, con métodos de ondas superficiales (MASW, SASW, ReMi, etc), ni ningún otro método que estime la variación de la velocidad de propagación de las ondas con la profundidad.
- El Contratista debe tener en cuenta que debe asumir los gastos correspondientes a la adecuación de accesos y pago de servidumbres en los sitios de trabajo. Además, debe asegurar la entrada a los sitios con los habitantes de la región.
- Para la elaboración del registro fotográfico del muestreo, se debe utilizar una cámara digital. Debe fotografiarse cada una de las cajas de muestras, de tal manera que se cubra eficientemente toda la caja para que la foto registre de manera visible las características de las muestras y el rótulo de la caja. Así mismo, para cada avance de perforación, debe llevarse un registro fotográfico que incluya al menos una imagen en primer plano del total de muestra recuperada y además fotografías de detalle de cada tramo de muestra. Se recomienda que una vez se tome cada fotografía, se revise su calidad (foco, nitidez, etc.) a fin de descartar aquellas de baja calidad y proceder a repetir la captura de la imagen hasta garantizar las mejores imágenes.
- Todos los elementos e insumos necesarios para la ejecución de los trabajos deben ser suministrados y asumidos por el Contratista.
- El Contratista debe tener en cuenta que debe asumir los gastos correspondientes a la adecuación de accesos y de espacios requeridos para la ejecución de las exploraciones.
- El laboratorio de geotecnia propuesto para la ejecución de los ensayos de clasificación, resistencia y compresibilidad a las muestras recuperadas debe contar con certificación vigente.

Teniendo en cuenta los tiempos establecidos en la tabla 2, el SGC, considera que para poder garantizar que la falla se dé en condiciones drenadas, los ensayos de corte directo deberán realizarse implementando un tiempo mínimo hasta la falla (tf) de 240 min, excepto para materiales clasificados como MH y CH, ya que para estos (tf) será de 1440 minutos.

**Tabla 2.** Tiempo de falla

USCS Classification (D2487)	Minimum Time to Failure, $t_r$
SW, SP (<5% fines)	10 min
SW-SM, SP_SM, SM (>5% fines)	60 min
SC, ML, CL, SP-SC	200 min
MH, CH	24 h

NOTE 15—The tabulated times are based on estimates of typical normally consolidated coefficient of consolidation values for each soil type and a 1 cm drainage path. A particular soil can vary considerably from these typical values. Square root of time interpretations can yield erroneously fast rates of consolidation for partly saturated or very stiff materials. Shearing overconsolidated specimens will soften the material in

Fuente: ASTM D2487

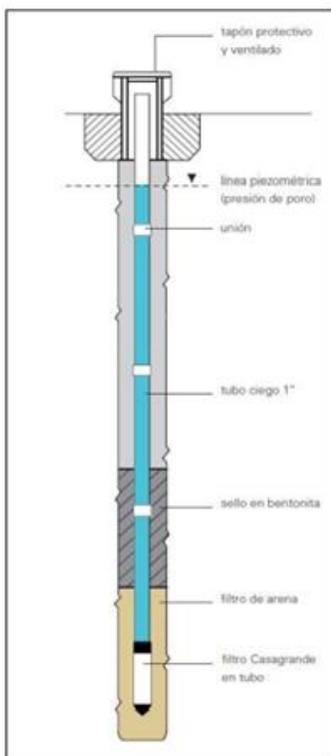
## 5 METODOLOGÍA DE TRABAJO

Las actividades generales que se deben seguir para la correcta ejecución de los trabajos de exploración directa e indirecta del subsuelo e instrumentación son las siguientes:

- Recopilación y análisis de información. Es obligación del contratista recopilar y analizar información de tipo geológico y geomorfológico relevante de las zonas de estudio.
- La exploración se deberá planear concertadamente con el supervisor designado por el SGC, con el fin de garantizar la integridad de las investigaciones. Los equipos para llevar a cabo estas actividades deberán estar en buen estado y debidamente verificados con el fin de garantizar la calidad de los trabajos.
- Las perforaciones se harán de forma simultánea en las diferentes zonas de estudio y deberá realizar toda la exploración directa e indirecta y recuperación de las muestras durante los primeros 30 días calendario de iniciado el contrato.
- El contratista deberá adelantar las perforaciones en las cuales se implementará la instrumentación, en los lugares que indique el SGC.
- Las primeras diez (10) perforaciones que realice el contratista, deben ser las perforaciones donde se implemente la instrumentación.
- Los veinte (20) apiques, se realizarán dentro de los primeros 15 días de haber iniciado el contrato, en los puntos definidos previamente por el SGC ; se deberán describir cada uno de los horizontes de suelo encontrados con el fin de conocer los materiales identificados en superficie que apoyarán la descripción litológica de las unidades aflorantes superficialmente.

- El contratista remitirá al o a los laboratorios, las muestras recuperadas de forma periódica, por lo menos una vez por semana, garantizando el cumplimiento del cronograma aprobado.
- Registro de campo detallado de perforación: Se debe realizar un registro detallado de campo, con descripción gráfica y registro fotográfico detallado, que incluya nomenclatura, el punto de referencia para todas las medidas de profundidad, localización, cota de inicio y terminación del punto exploratorio, equipo, sistema de perforación utilizado, sistema de muestreo, columna estratigráfica en la cual se incluya la descripción de cada estrato y profundidades del techo y base de cada uno, profundidad total de la perforación, niveles freáticos o niveles de agua en cada punto exploratorio, incluyendo toda observación sobre condiciones de agua, adicionar la información pertinente requerida por las especificaciones del sondeo o por el SGC. Tipo de muestra, profundidad de la muestra tomada y longitud de recuperación. Debe realizarse una descripción detallada de la textura, plasticidad, color y demás características geotécnicas básicas que puedan relacionarse. Durante la perforación, debe mantenerse un registro de tiempo que muestre la tasa de penetración, los tipos de brocas utilizadas en cada porción de la perforación y una cualificación del nivel de pérdidas del agua de perforación (bajo, medio, alto). El registro de campo de perforación será diligenciado por el residente en el formato aprobado por el supervisor; una vez finalizada cada perforación se debe entregar al supervisor una copia legible del registro correspondiente, al día siguiente de haber finalizado la perforación, el contratista hará entrega en limpio del archivo nativo del registro de campo de la perforación.
- El Contratista deberá entregar un reporte técnico semanal, en el cual se hará el recuento de las actividades ejecutadas, los problemas presentados, su avance, la respuesta a preguntas efectuadas en el informe anterior, inventario de muestras tomadas, inventario de muestras remitidas al laboratorio, perfiles de exploración obtenidos con el respectivo registro fotográfico. Los informes se entregarán al supervisor del SGC o quien esté designado por parte del SGC, para su revisión y discusión conjunta el día de la reunión semanal entre las partes que se establezca en la ejecución del contrato.
- El plan de ensayos de laboratorio sobre las muestras de suelo y/o roca seleccionadas, será definido por el supervisor técnico designado por el SGC. El envío de la totalidad de las muestras al laboratorio debe realizarse según las especificaciones dadas anteriormente, con el fin de optimizar los tiempos de ejecución de la fase de ensayos de laboratorio y garantizar la ejecución del contrato en el tiempo establecido.
- Para la instrumentación se debe suministrar e instalar la tubería con las siguientes especificaciones en los puntos de perforación definidos por el supervisor, de acuerdo con el tipo de instrumento a instalar.
  - Tubería ABS y aditamentos para inclinómetro para 8 perforaciones (longitud estimada 120 m) y diámetro exterior no menor a 70 mm.

- Tubería PVC y aditamentos para piezómetro tipo Casagrande en 7 perforaciones (longitud aproximada 115 m) y diámetro de 1" a 1.5".
- Los Piezómetros tipo Casagrande deben cumplir las especificaciones mostradas en la figura 3.



**Figura 3.** Esquema del piezómetro tipo Casagrande

Fuente: SISGEO, 2016

- Luego de terminadas las perforaciones donde se realizará la instrumentación geotécnica y una vez instaladas adecuadamente las tuberías requeridas, se debe proteger el tope de las mismas mediante la construcción de un elemento de concreto y/o mampostería y una tapa metálica con candado de seguridad. Sobre cada uno de estos elementos se debe colocar una placa de identificación, la cual contará con los datos de coordenadas y cota del pozo, identificación del contrato mediante el cual se instaló dicho instrumento, fecha de finalización de la perforación y profundidad perforada. El sitio donde se ejecutó la perforación debe entregarse limpio y en las mismas condiciones encontradas previo a los trabajos.
- Presentación mediante columnas geológicas estratigráficas de cada sitio de exploración, las descripciones de las perforaciones y apiques.

- Procesamiento e interpretación: Se deben especificar las etapas del procesamiento y los criterios de interpretación de los datos geofísicos, los cuales deben basarse en el modelo geológico, mostrando el proceso con un flujograma. El procesamiento de la información geofísica, debe disponer de alta tecnología con el fin de garantizar la calidad de las interpretaciones. Se deben entregar tomografías sísmicas.
- Para realizar los respectivos cálculos de velocidades no se acepta información asumida y/o correlacionada, como parámetros de entrada, en el caso de la densidad del medio o peso unitario del material, este debe ser entregado por parte del SGC.
- Confrontación con parámetros geotécnico: Los resultados deberán ser congruentes y validados con las características geomecánicas identificadas en la exploración directa.
- El contratista deberá realizar la totalidad de los ensayos de laboratorio y entrega resultados a más tardar al cumplimiento de los dos meses de haber iniciado el contrato.

## **6 OBLIGACIONES ESPECÍFICAS DEL CONTRATISTA**

Para alcanzar el objetivo planteado en el presente proceso contractual, se requiere que el Contratista, dé alcance cabal a los siguientes aspectos:

- Realizar todas las actividades necesarias para cumplir con las obligaciones derivadas de la contratación.
- Garantizar la penetración en todo tipo de material, para lo cual deberá contar con los elementos de perforación necesarios, asegurando en todo momento la calidad de las muestras obtenidas.
- Cumplir con el metraje lineal de perforación contratado. Si bien, la profundidad definitiva de las perforaciones puede presentar variaciones con respecto a los promedios estimados, de acuerdo con el tipo y distribución de los materiales encontrados, la longitud total de perforación no será menor a la mínima indicada en los alcances.
- Las pruebas de refracción sísmica deberán contar con las especificaciones técnicas convenidas y el análisis de la información obtenida acorde con las normas existentes para este tipo de actividades. Requiriendo una descripción detallada de la metodología a utilizar, tanto de la adquisición como del procesamiento e interpretación de los datos. Esta metodología deberá estar de acuerdo con las normas para la adquisición, procesamiento e interpretación de métodos vigentes.
- El muestreo será continuo y se propenderá por la recuperación completa de la columna.
- Finalizadas cada una de las perforaciones, suministrar e instalar la tubería y aditamentos del piezómetro o inclinómetro, según sea el caso.

- Finalizada la instalación de la instrumentación se deberá proceder al sellado del pozo, con la colocación de una placa de identificación, según se especificó previamente y a la restauración de los lugares intervenidos que permita su correspondencia con el entorno.
- Finalizadas las perforaciones no utilizadas para monitoreo, se deberá proceder al sellado del pozo rellenándolo superficialmente con el material extraído. El sitio donde se ejecutó la perforación debe entregarse limpio y en las mismas condiciones previas a los trabajos.
- Realizar los ensayos geotécnicos a las muestras, según el tipo y cantidades mínimas ya mencionadas.
- Nota: Las muestras no utilizadas para los ensayos antes mencionados deben entregarse debidamente identificadas, embaladas y empacadas, mediante envíos semanales a las instalaciones del Servicio Geológico Colombiano, en Bogotá.
- Guardar reserva y confidencialidad sobre el contenido de la información que el SGC le confíe y ponga a su disposición para cumplir el objeto de los presentes términos, y deberá hacer extensiva esta determinante al equipo humano vinculado a cualquier actividad en su desarrollo.
- El almacenamiento digital de la información de trabajo y los soportes de seguridad que se requieran para evitar la pérdida parcial o total de la información son responsabilidad del contratista, quien será el responsable único por los perjuicios que le sean imputados en contra del SGC por pérdida de información o entrega no oportuna de la misma.
- Todos los elementos e insumos necesarios para la ejecución de las perforaciones deben ser suministrados y asumidos por el contratista.
- Contar con todos los profesionales y técnicos que se requieran para cumplir cabalmente el contrato, además del personal mínimo exigido.
- Garantizar que todos los profesionales a quienes se les asignen labores en desarrollo del contrato cuenten con matrícula o tarjeta profesional vigente o permiso temporal, cuando a ello hubiere lugar, de conformidad con las normas aplicables.
- Garantizar que el equipo de trabajo propuesto será el mismo que realizará la ejecución del contrato.
- Suministrar y mantener, durante la ejecución del contrato y hasta la liquidación del mismo, el personal profesional y técnico ofrecido, exigido y necesario.
- Considerando que para la ejecución de trabajos de campo se requiere alguna mano de obra no calificada, es recomendable y beneficioso para el proyecto, el procurar involucrar y ofrecer trabajo temporal a la comunidad, de tal forma que ésta no adopte una posición adversa al proyecto, sino que haya una concertación con la comunidad

sobre las medidas a adoptar en el terreno para el buen desarrollo de los trabajos (guías, ayudantes, trocheros, vigilantes, entre otros).

- Dedicar el personal requerido en el sitio de ejecución y contar con su disponibilidad de trabajo de acuerdo con el cronograma de ejecución de los trabajos y las necesidades del mismo. Igualmente se deberá tener disponibilidad de personal para atender emergencias, para esta actividad se informará al supervisor sobre el personal disponible, junto con los teléfonos y direcciones donde se puedan ubicar.
- Asumir el pago de los salarios, prestaciones sociales, indemnizaciones y honorarios de todo el personal que ocupe en la ejecución de los trabajos, quedando claro que no existe ningún tipo de vínculo laboral de dicho personal con el SGC ni responsabilidad en los riesgos que se deriven de esa contratación.
- Responder por cualquier tipo de reclamación, judicial o extrajudicial, que instaure, impulse o en la que coadyuve su personal o sus subcontratistas contra el SGC, por causa o con ocasión del contrato.
- Contar con vehículos u otros medios de transporte para la movilización del personal, equipos y muestras de suelo o roca, de tal forma que asegure el cumplimiento del cronograma, además deberá disponer para la ejecución de los trabajos de todos los permisos, autorizaciones, controles, dispositivos, medidas preventivas y requisitos legales vigentes exigidos por el Ministerio de Transporte, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Ministerio de Salud y demás autoridades de tránsito regionales y nacionales.
- El Contratista deberá cumplir con un Plan de Manejo Ambiental y un Plan de Seguridad Industrial, los cuales deberán ser avalados por la supervisión de parte del SGC. El Plan de Manejo ambiental debe establecer explícitamente que, para la ejecución de los trabajos, el Contratista no podrá utilizar agua extraída directa o indirectamente de fuentes naturales como: nacederos, corrientes, lagos o lagunas, cualquiera que sea su tamaño.
- El transporte de los equipos queda a cargo del contratista. El contratista debe tener en cuenta las dificultades de acceso, la presencia de cercas, la localización de las fuentes de agua y la gestión de permisos que se requieren de los propietarios de los terrenos para el acceso de los mismos y para el desarrollo de las actividades. Para esto último, podrá apoyar dicha gestión con la Alcaldía de cada municipio y el SGC.
- Previo a la firma del Acta de Inicio por las partes, el Contratista deberá relacionar en un informe el listado de personal que ejecutará los trabajos de campo (Profesionales y Técnicos debidamente en regla la documentación), el listado de equipos y vehículos disponibles para la ejecución de los trabajos.
- Ajustarse a los estándares, formatos, modelos y demás especificaciones que le entregue o indique el SGC para la ejecución del Contrato.

- Guardar la confidencialidad de toda la información que le sea entregada o puesta a disposición con ocasión del Contrato.
- Atender los requerimientos del supervisor para la debida ejecución del Contrato y realizar las correcciones, adiciones, revisiones o modificaciones que sean solicitadas.
- El Contratista deberá suministrar y disponer de todos los aspectos, tanto técnicos, de personal, logística que permitan obtener resultados óptimos y dentro del plazo convenido.

## **7 EQUIPOS**

El oferente debe presentar una relación detallada de los equipos propuestos para la ejecución de los trabajos, indicando su propietario o propietarios y anexar carta de compromiso de disponibilidad de los mismos. Así mismo, para cada uno, se debe incluir una descripción detallada de las especificaciones técnicas (características, certificaciones, modelo, marca, mantenimientos, estado, capacidad, entre otros).

No se aceptarán equipos remanufacturados ni repotenciados y que no cuenten con la capacidad suficiente para el logro eficiente de los resultados.

El contratista deberá certificar que cuenta tanto con los equipos de campo, como de oficina adecuados para cumplir el objeto de la contratación. Estos deben ser de marcas reconocidas en el mercado y con la capacidad suficiente para el logro eficiente de los resultados.

Las características técnicas de los equipos propuestos deberán cumplir como mínimo lo siguiente:

- Dos (2) equipos de perforación por rotación, este equipo deberá tener una potencia mínima del motor de 30 HP y antigüedad no mayor a 15 años.
- El ensayo de refracción sísmica se realiza con la ayuda de un equipo denominado cámara de refracción o sismógrafo, al cual se adapta una red de geófonos (receptores) que son los encargados de recibir la información de las ondas sísmicas después de atravesar el subsuelo. Una fuente de energía (explosivo, martillo u otras fuentes) y un sistema de disparo se anexan al sistema descrito para generar energía acústica, que se introduce en el subsuelo y posteriormente recibida en los geófonos. Los arreglos geométricos que se hacen con los geófonos y la fuente dependen de los objetivos del levantamiento (profundidad y valores de velocidades de onda, entre otros).

En particular para el presente trabajo, el equipo requerido para el desarrollo de las actividades necesarias del proyecto será aportado en su totalidad por el proponente y sus características mínimas serán las siguientes:

- Equipo digital (sismógrafo) de mínimo 24 canales de entrada
- Rango de frecuencia entre 2 y 2000 Hz
- Resolución de conversión A/D 24 bit
- Rango dinámico 110 -144 dB

- Geófonos de 12 a 28 Hz para medición de ondas  
frecuencias altas permitiría captar mejor las primeras llegadas de ondas y aminoraría la llegada de las ondas superficiales, mejorando el procesamiento posterior de los registros.
- Cable de refracción. (Cable conector), longitud extendida de 120m, con intervalo de geófonos de 5m.
- Equipo GPS de alta precisión
- Accesorios necesarios: platina, cable para tendido de línea de mínimo 120 metros.
- Fuente de energía: martillo.
- Software. Análisis de datos

El software a utilizar debe garantizar la correcta adquisición, manejo, procesamiento, mapeo e interpretación de la información. Es importante aclarar que el equipo deberá contar con geófonos independientes para la medición de las ondas P y ondas S. No se aceptará equipos donde se realice una sola medición y posteriormente se asuma la relación de Poisson o una relación entre  $V_p/V_s$ .

La medición de las Ondas  $V_p$  y  $V_s$ , deben ser métodos no invasivos de refracción sísmica multicapa y deben ser mediciones de onda de cuerpo que viajan a través de la tierra y por ningún motivo se acepta métodos para medición de ondas superficiales que viajan a lo largo o cerca de la superficie de la tierra (SASW, MASW, ReMi, MAM,  $V_s$ ) etc).

El equipo para la ejecución de ensayos "Down-Hole" deberá contar con las siguientes características mínimas:

- Sensor o geófono de registro de señales de varios canales triaxial (3 canales) con umbral de frecuencias amplio (registro de ondas p y ondas s respectivamente)
- Sensor (acelerómetro) de envío de pulsos electromagnéticos
- Unidad de adquisición de datos
- Torpedo inclinométrico
- Cinta métrica
- Pequeño artefacto inflable para fijar el geófono
- Software de almacenamiento de datos
- Fuente de energía: martillo

## **8 PRODUCTOS ESPERADOS**

Todos los productos que a continuación se relacionan deben entregarse en formatos análogo y digital:

- Informes semanales de avance que relacionarán como mínimo: las generalidades del contrato, un resumen de las actividades realizadas durante el período, registros de campo, resultados parciales, fotografías, porcentaje de avance, imprevistos, entre

otros (máximo 5 páginas).

- Seis (6) informes finales escritos, cada uno con su respectiva copia, que obedece a cada una de las zonas de estudio y también deberá ser entregado en copia magnética en formato Word, compatible con todas las versiones de Windows y una versión en formato PDF (también en archivo digital) en donde se incluya toda la información cruda, dromocronas, timebreaks y el procesamiento de datos (para Vp y Vs).
- Descripción de los equipos empleados, metodologías para la ejecución de los trabajos, localización de los sitios de medición, descripción general de la geología local, interpretación de resultados, información digital sin procesamiento en formato texto (\*.TXT) o compatibles, información digital procesada.
- Los informes deben incluir, perfiles del subsuelo en donde se observe la correlación litológica, el tiempo de llegada y cada una de las velocidades de onda, en medio magnético y análogo; registro fotográfico del trabajo de campo que complementa, tanto el ítem donde se describe la metodología empleada, así como en la descripción de la ejecución en cada uno de los sitios de exploración.
- Datos de campo en medio magnético. La información de campo debe presentarse debidamente organizada, tanto en medio digital como análogo, este último en los formatos originales en los cuales se consignó en el momento de la toma. Debe consignarse en cada formato de campo, la marca del equipo utilizado, el nombre del operador, la fecha y demás observaciones técnicas pertinentes.
- Mapa de exploración realizada en campo. Cada línea y punto debe contener la localización geográfica (descripción del sitio con referentes permanentes del lugar), las coordenadas y las condiciones relevantes al momento de toma de datos (día lluvioso, día seco, humedad en el suelo, pendiente, observaciones de interés, entre otros). Deben estar debidamente localizados en los respectivos mapas cartográficos a las escalas correspondientes. Con el fin de garantizar la ubicación de las líneas sísmicas, se deberá utilizar un GPS de doble frecuencia. Anexar en los términos las especificaciones del GPS de doble frecuencia a utilizar por el proponente.
- Interpretación de los resultados de ensayos Down-Hole y para cada línea de refracción sísmica se deberá realizar un perfil de refractores y velocidad tanto para onda P como para onda S y la respectiva tomografía sísmica. Estas velocidades deben estar asociadas a parámetros mecánicos tales como módulos elásticos del subsuelo conocidos como módulo de Young (E), módulo de corte máximo (G), módulo de deformación volumétrica (K) y relación de Poisson.
- Diagramas de dromócronas para cada línea de refracción.
- Registros en papel y medio magnético de las primeras llegadas.

- Tomografías sísmicas y la respectiva interpretación de los resultados asociadas a las unidades geológicas existentes en la zona de estudio y las condiciones de agua subterránea o subsuperficial.
- Original y copia del informe final en formato análogo, que además deberá tener como anexo copia magnética en formato Word, compatible con todas las versiones de Windows y una versión en formato PDF en donde se incluyan las memorias de campo, y en formato Excel y PDF los informes de los ensayos laboratorio.

**Contenido mínimo del informe final:**

1. GENERALIDADES
  - 1.1 Alcance del estudio
  - 1.2 Organización del informe
  - 1.3 Descripción de actividades realizadas
  - 1.4 Delimitación geométrica del área de estudio
2. BASE TOPOGRÁFICA CON PUNTOS EXPLORADOS
  - 2.1 Método de trabajo
  - 2.2 Relacionar e indicar los puntos
3. EXPLORACIÓN DIRECTA
  - 3.1 Investigación del subsuelo
  - 3.2 Localización de la exploración
  - 3.3 Registros
4. ENSAYOS DE LABORATORIO
5. EXPLORACIÓN INDIRECTA
  - 5.1 Metodología
  - 5.2 Exploración del subsuelo
    - 5.2.1 Ensayos de refracción sísmica
    - 5.2.2 Pruebas Down-Hole
6. INTERPRETACIÓN Y RESULTADOS
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
8. BIBLIOGRAFÍA
9. ANEXOS

En el capítulo de exploración del subsuelo se debe hacer la descripción de los equipos empleados, las metodologías aplicadas para la ejecución de los trabajos, localización de los sitios de exploración, descripción general de la geología local, interpretación de resultados, información digital sin procesamiento en formato texto (\*.TXT) o compatibles, información digital procesada de los registros de campo y laboratorio.

Formatos de las columnas estratigráficas de las perforaciones en medio magnético y análogo; registro fotográfico del trabajo de campo que complementa, tanto el ítem donde se describe la metodología empleada, así como el de la descripción de la ejecución en cada uno de los sitios de exploración, correlación litológica, , entre otros, en medio magnético y análogo.

Datos de campo en medio magnético: la información de campo debe presentarse debidamente organizada, tanto en medio digital como análogo, este último en los formatos originales en los cuales se consignó en el momento de la toma. Debe consignarse en cada formato de campo, la marca del equipo utilizado, el nombre del operador, la fecha y demás observaciones técnicas pertinentes.

Mapa de localización de las exploraciones. Cada punto y línea de medición debe contener la localización geográfica (descripción del sitio con referentes permanentes del lugar), las coordenadas y las condiciones relevantes al momento de toma de datos (día lluvioso, día seco, humedad en el suelo, pendiente, observaciones de interés, entre otros). Deben estar debidamente localizados en los respectivos mapas cartográficos a las escalas correspondientes.

Secciones litoestratigráficas del subsuelo a partir de los tipos y distribución de los materiales geológicos registrados en las perforaciones y apiques, de la observación visual y de las correlaciones efectuadas con los resultados de la exploración indirecta.

Registro fotográfico detallado de cada una de las muestras y aspectos de los trabajos realizados

Formatos de los ensayos de laboratorio y de campo realizados, en medio físico y magnético, junto con las memorias de cálculo de cada uno de ellos.

- Acta de permiso para realizar labores de exploración del subsuelo (debidamente diligenciada), para cada punto de exploración.

NOTA: Los documentos que se produzcan en desarrollo del contrato deberán proporcionar información clara, completa, actualizada, aplicable y verificable en forma sencilla sin redundancias. Se deberá entregar un original y una copia de cada informe presentado junto con sus anexos.

Para la realización del plan de exploración geotécnica se deberá contar con un equipo de trabajo, el cual deberá cumplir como mínimo con las condiciones indicadas en la tabla 3.

**Tabla 3. Personal mínimo requerido**

Cargo	Perfil	Experiencia mínima	Cantidad	Dedicación	
				Tiempo	Porcentaje
Director de Proyecto	Profesional en ingeniería Civil, Geólogo o Ingeniero Geólogo	Director de 4 estudios o proyectos de exploración geotécnica directa e indirecta	1	2 meses	20%
Residente de proyecto	Profesional en ingeniería Civil, Geólogo o Ingeniero Geólogo	Participación en 4 estudios o proyectos de exploración geotécnica por perforación mecánica con recuperación continua <b>(Aplica Nota 2)</b>	2	1 mes	100%
Profesional especialista	Profesional en ingeniería Civil, Geólogo o Ingeniero Geólogo especialista en geofísica	Participación en ejecución e interpretación de 4 estudios o proyectos de actividades de refracción sísmica y Down hole	1	1 mes	100%
Técnico de perforación	Operario		2	1 mes	100%
Auxiliar de perforación	-	-	2	1 mes	100%
Técnico en geofísica	Operario	Participación en 4 estudios o proyectos relacionados con ejecución de ensayos geofísicos	1	1 mes	100%

- Notas: 1. No se incluyen interventorías  
2. No se incluye experiencia como profesional auxiliar

## 10 PLAZO DE EJECUCIÓN

El plazo de ejecución de los trabajos será de DOS (2) meses.