



**ALCALDIA MAYOR
BOGOTA D.C.**

**Instituto
DESARROLLO URBANO**



**“ELABORAR LOS ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD DEL CORREDOR
FÉRREO DEL SUR EN LA MODALIDAD FÉRROVIARIA Y SU ARTICULACIÓN
CON OTROS PROYECTOS DE TRANSPORTE DE LA REGIÓN BOGOTÁ-
CUNDINAMARCA.”**

ALCALDÍA MAYOR

DE BOGOTÁ D.C.

CONTRATO DE CONSULTORÍA No. 1860 DE 2021

MOVILIDAD

Instituto de Desarrollo Urbano

INFORME 1: METODOLOGIA Y PLAN DE TRABAJO

GEOTECNIA

VERSION 02

BOGOTÁ, 2022 – abril 26

METODOLOGIA Y PLAN DE TRABAJO

CONTROL DE VERSIONES

Versión	Fecha	Descripción de la Modificación	Folios
Versión 00	15/02/22	Emisión Inicial	
Versión 01	02/03/2022	Atención Observaciones Interventoría	37
Versión 02	26/04/2022	Atención Observaciones IDU	37

EMPRESA CONTRATISTA

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
Ing. Germán Tapia Especialista	Ing. Carlos Urdaneta Coordinador consultoría	Ing. Oscar Rico Director de Consultoría

EMPRESA INTERVENTORA

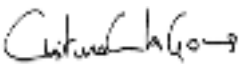


REVISADO POR:	AVALADO POR:	APROBADO POR:
		
Cristina Bastos de Cunha Especialista	Ing. Diotima Preciado Coordinador de Interventoría	Ing. Abraham Palacios Director de Interventoría

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	5
1. ALCANCE	5
2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	6
3. GLOSARIO.....	6
4. DOCUMENTOS DE REFERENCIA	9
5. METODOLOGÍA.....	9
5.1. NORMATIVIDAD APLICABLE.....	9
5.2. ETAPA II - RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN - RAI.....	10
5.2.1 INSPECCIÓN TÉCNICA DEL SITIO.....	13
5.3. ETAPA IV - ESTUDIOS DE PROFUNDIZACIÓN.....	13
5.3.1 CARACTERIZACIÓN GENERAL DE LA ZONA DEL PROYECTO	14
5.3.2 PROPUESTA Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE ESTRUCTURAS GEOTÉCNICAS.....	26
5.3.3 PUNTOS CRÍTICOS Y RIESGOS DEL PROYECTO	28
5.3.4 PREDIMENSIONAMIENTO DE LAS PRINCIPALES ESTRUCTURAS GEOTECNICAS.....	29
5.3.5 MEMORIAS DE CANTIDADES DEL PREDIMENSIONAMIENTO.....	29
5.3.6 ESTIMACION DE COSTOS DE LAS DIFERENTES ALTERNATIVAS.....	30
5.3.7 CRITERIOS DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS DE LAS ESTRUCTURAS GEOTÉCNICAS.....	30
5.4. PRODUCTOS.....	33
6. PLAN DE TRABAJO	34
6.1 RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	34
6.2 VISITA TÉCNICA AL CORREDOR.....	35
6.3 VALIDACIÓN Y CONCEPCIÓN DEL PROYECTO CON ESPECIALISTAS	35
6.4 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO.....	35
6.5 ENSAYOS DE LABORATORIO.....	37
6.6 ANÁLISIS DE INGENIERÍA.....	37

6.7	INFORMES.....	37
6.8	CRONOGRAMA.....	37
6.9	RECURSO TECNOLÓGICO	38
6.10	RECURSOS DE MOVILIDAD	38
6.11	RECURSOS DE PERSONAL.....	38

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1	Trazado del Proyecto, tomado del SIGIDU.....	5
Ilustración 2	Equipo mecánico tipo Petty	16
Ilustración 3	Máquina para ensayo Máquina CPTu	17
Ilustración 4.	Esquema ensayo de refracción sísmica	19
Ilustración 5.	Línea de refracción sísmica.....	20
Ilustración 6.	Esquema actualizado registros de perforación strater	23
Ilustración 7	Esquema del perfil de exploración.....	24
Ilustración 8.	Modelo de análisis de cimentación con diferentes zapatas y asentamiento total	25
Ilustración 9.	Ejemplo de aplicación de criterios de selección de alternativas.....	33

INTRODUCCIÓN

EL INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO - IDU mediante RESOLUCIÓN NÚMERO 007702 DE 2021 DEL VEINTE (20) DEL MES DE DICIEMBRE DE 2021, adjudicó el proceso de Concurso de Méritos Abierto No. IDU-CMA-SGDU-061-2021, al proponente CONSORCIO ARDANUY COLOMBIA, mediante el Contrato No. 1860-2021 cuyo objeto corresponde a: “*Elaborar los estudios de prefactibilidad del corredor férreo del sur en la modalidad ferroviaria y su articulación con otros proyectos de transporte de la región Bogotá–Cundinamarca*”.

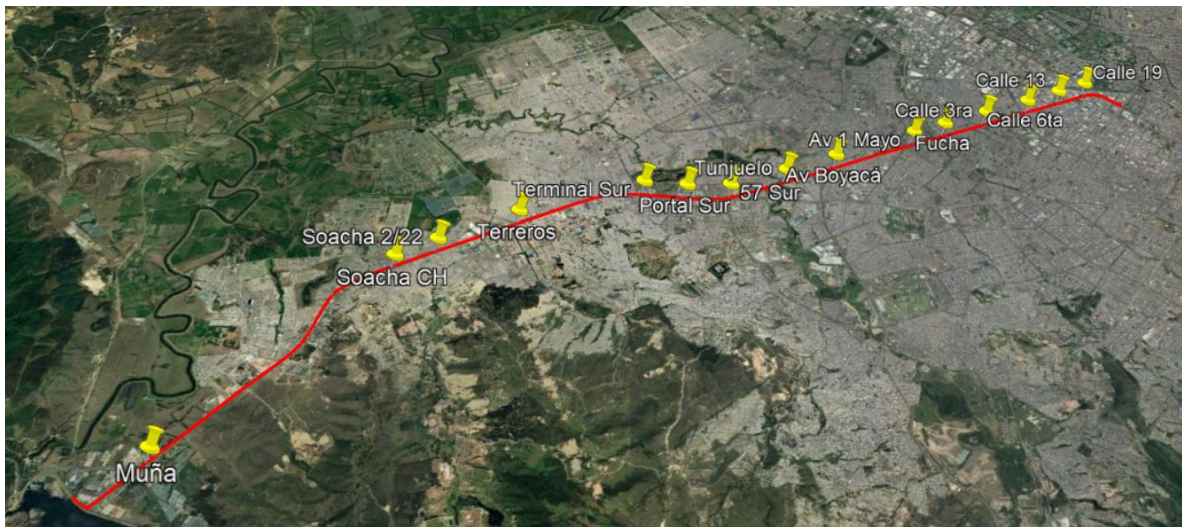


Ilustración 1 Trazado del Proyecto, tomado del SIGIDU

Fuente: Elaboración Propia

El desarrollo de la prefactibilidad de la disciplina de geotecnia se llevará a cabo de acuerdo con lo estipulado en los documentos contractuales “CAPÍTULOS TÉCNICOS CONSULTORÍA ADENDA 2” y “Anexo 1 – Anexo Técnico”. Para ello, se presenta la metodología y plan de trabajo que se propone para cumplir con el Numeral 1.3.1.11.

1. ALCANCE

El alcance de la presente metodología está enmarcado dentro de los requerimientos establecidos en el documento “CAPÍTULOS TÉCNICOS CONSULTORÍA ADENDA 2”, en el numeral 1.3.1.11. En este apartado se señala que el componente de geotecnia tiene como objetivo presentar los prediseños a nivel de prefactibilidad de cimentaciones o refuerzo de cimentaciones, o el prediseño para la estabilización de taludes, etc., que se requieren implementar *para el corredor seleccionado*, efectuando los análisis de alternativas de estructuras geotécnicas a que haya lugar.

En el presente documento se presenta la metodología y el plan de trabajo propuesto para alcanzar este objetivo planteado.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Enmarcados en el contexto del Plan de Desarrollo “Un nuevo contrato social y ambiental para la Bogotá del siglo XXI”, adoptado mediante Acuerdo 761 del 11 de junio de 2020, el cual contempla en su artículo 15, el Programa 50. Red de metros que consiste en: “Definir la red de metros como el eje estructurador de la movilidad y de transporte de pasajeros en la ciudad, mediante el avance del ciclo de vida del proyecto de la Primera Línea del Metro de Bogotá PLMB – Tramo 1 y realizar las actividades, estudios técnicos y contratar la ejecución de la Fase 2 de la PLMB. Realizar las intervenciones en espacio público para la conexión del Regiotram de Occidente con el sistema de transporte público de la ciudad. Apoyar con recursos técnicos, financieros y administrativos la estructuración de todos los proyectos férreos que permiten la integración regional, entre estos los proyectos Regiotram del Norte y Regiotram del Sur”, el IDU, adelantará la contratación de LOS ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD DEL CORREDOR FÉRREO DEL SUR EN LA MODALIDAD FÉRROVIARIA Y SU ARTICULACIÓN CON OTROS PROYECTOS DE TRANSPORTE DE LA REGIÓN BOGOTÁ-CUNDINAMARCA.

- **Localización**

El proyecto se localiza en la región Bogotá – Cundinamarca, corresponde al recorrido de corredor férreo del Sur propiedad del Instituto Nacional de Vías, cuya titularidad señala que el TRAMO FERREO BOGOTA-EL SALTO (CORREDOR DEL SUR) fue transferido por la Empresa Colombiana de Vías Férreas – FERROVÍAS al Instituto Nacional de Vías – INVIAS, mediante la Escritura Pública No. 2380 otorgada el 11 de septiembre de 2007 en la Notaría 59 del Círculo de Bogotá. Como punto de partida previsto, se tiene la calle 19 entre Av. NQS y Av. Las Américas, transcurriendo en sentido paralelo a la carrera 39, en dirección suroccidente hasta cruzar con la Autopista Sur, en donde el corredor comienza a trazarse paralelo a esta autopista, hasta llegar al municipio de Soacha. Destacan algunos cruces importantes como la calle 6, el río Fucha, la Av. Primero de Mayo y Río Tunjuelo, entre otros. Algunos de los proyectos cercanos que se prevé articular al corredor férreo del Sur, están comprendidos por el proyecto Regiotram de Occidente y las troncales de Transmilenio de la Calle 26, Avenida de las Américas y Autopista Sur. La ilustración 1 muestra una localización general del área asignada al trazado.

3. GLOSARIO

- **Alternativa seleccionada/ corredor seleccionado:** se refiere a la alternativa seleccionada, acotada geográficamente con los nodos de inicio y terminación sobre el cual se realizarán los estudios de profundización objeto del presente alcance.
- **Área / zona de influencia:** El área / zona de influencia para los respectivos análisis se definirá para cada disciplina teniendo en cuenta la normatividad y particularidades aplicables. Algunos casos, como los siguientes, ilustran que el análisis se debe realizar de manera particular para cada disciplina, no procede una definición general para todas las disciplinas.
 - a) Desde el punto de vista urbano, el área de influencia contempla un perímetro de cinco manzanas completas alrededor del área estimada, donde se deben originar los análisis de este proyecto. La distancia promedio total a lo largo y ancho del perímetro antes descrito es de 500 m y se basa en las distancias caminables de la metodología de “Desarrollo Orientado al Transporte Sustentable DOTS”, donde se incorporan los conceptos de accesibilidad y proximidad, desde la escala peatonal hacia los elementos de los sistemas de transporte público para el sector y la ciudad.
 - b) Zona de Influencia Arqueológica: En el numeral 9 del artículo 2.6.2.13. del Decreto 1080 de 2015 se define como el “*Área precisamente determinada del territorio nacional, incluidos terrenos de propiedad pública o particular, en la cual existan bienes muebles o inmuebles integrantes del patrimonio arqueológico, zona que deberá ser declarada como tal por la autoridad competente a efectos de establecer en ellas un plan especial de manejo arqueológico que garantice la integridad del contexto arqueológico*”.
 - c) Desde el punto de vista ambiental, la Autoridad Ambiental de Licencias Ambientales define el área de influencia así: “*El área de influencia es aquella en la que se manifiestan los impactos ambientales significativos derivados del desarrollo del proyecto, obra o actividad, en cualquiera de sus fases, sobre los componentes de los medios abiótico, biótico y socioeconómico.*”
- **Estación Andén o Plataforma:** Estructura elevada a los lados de la vía férrea, dispuesta para facilitar el acceso y salida de los pasajeros.
- **Catenaria:** Uno de los sistemas para entregar la energía de tracción a los trenes, consistente en un cable aéreo.
- **Tercer Riel:** El tercer riel permite distribuir la corriente de tracción (polaridad positiva) mediante elementos de captación del Material Rodante.

- **Elementos de circulación vertical:** Son los elementos que permitirán a los usuarios acceder desde el nivel calle hasta la plataforma de embarque, tales como escaleras fijas y mecanizadas, ascensores circulares y zonas de espera.
- **Estación:** Es el lugar donde embarcan y desembarcan los pasajeros. Una estación puede ser bimodal o unimodal, integral o sencilla.
- **Estación Bimodal:** Estación que permite al usuario pasar de bus al tren sin salir de ella, para completar un viaje.
- **Estación descentralizada:** Tipología de estación que se caracteriza por contar con edificios de acceso a los dos costados de la nave central, conectados por pasarelas sobre el espacio público.
- **Estación Integral:** Modelo de estación que reúne lo necesario para la operación fluida del sistema de transporte junto con servicios complementarios para los usuarios, tales como bici parqueaderos, primeros auxilios, baños, comidas, comercio, bancos, etc. Las Estaciones Integrales se componen de la Plataforma de Embarque y uno o varios Edificios de Acceso.
- **Estación mezanine:** Tipología de estación que consta de una sola edificación construida sobre espacio público. Cuenta con un piso intermedio situado debajo de las plataformas de embarque y el espacio público, sin posibilidad de cambiar a otro modo de transporte.
- **Material Rodante:** Los trenes, compuestos por vagones o coches.
- **Nodo de Terminación:** Es el sitio de terminación de la línea comercial, donde se construye un tramo posterior a la última estación que permite hacer las maniobras de retorno a los trenes.
- **Pasarela:** Puente de conexión entre una plataforma de embarque y un Edificio de Acceso.
- **Patio Taller:** Área destinada al mantenimiento, reparación y pernoctación de los trenes.
- **Plataforma de Embarque:** Andén o zona de espera para hacer fila y subir al tren.

- **Puertas de Andén o Plataforma:** Puertas automatizadas que abren únicamente cuando el tren para en la estación, para el abordaje de pasajeros.
- **Riel:** Perfil de acero estructural que sirve para guiar a los trenes a lo largo de una vía conformada por dos de estos perfiles.
- **Sistemas Ferroviarios:** Son todos los sistemas necesarios para el movimiento de una línea de tren, dentro de los que se encuentran el sistema eléctrico de tracción, el sistema de control y los sistemas de seguridad.
- **Sistemas no Ferroviarios:** Son los sistemas que se requieren para la adecuada operación de las estaciones dentro de los que se encuentran el sistema de comunicación, el circuito cerrado de televisión, el sistema de vigilancia y el sistema de información al usuario.
- **Subestación de Energía Receptora (SER):** Subestación de energía eléctrica que se interconecta con el operador para suministrar energía a todo el proyecto.
- **Subestación de Energía de Tracción (SET):** Subestación de energía eléctrica encargada de suministrar la energía para el movimiento de trenes.
- **Cuartos de Transformación de Energía (CTE):** cuartos técnicos encargados de suministrar energía eléctrica a estaciones y patio taller.

4. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

- Perfil de proyecto “Tren de cercanías – Regiotram Sur- Sabana de Bogotá”
- Capítulos técnicos Consultoría Adenda 2
- Anexo 1 – Anexo técnico consultoría
- Estudios y diseños troncal Avenida 68
- Información básica predial de lotes afectados: IDU, entrega información alfa numérica solicitada a Catastro Distrital. Bases alfa numéricas y gráficas de Bogotá.

5. METODOLOGÍA

5.1. NORMATIVIDAD APLICABLE

- Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes Ministerio de Transporte CCP-2014 Resolución 108 de 26 de enero de 2015 o el que se encuentre vigente.

- Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR/10 Ley 400 de 1997 Decreto 926 de 2010, aplicado a edificaciones verticales y estaciones de sistemas de transporte y/o taquillas.
- Decreto 523 de 2010 de la Alcaldía Mayor de Bogotá (Microzonificación Sísmica de Bogotá Distrito Capital).
- Especificaciones Técnicas Generales de Materiales y Construcción para proyectos de Infraestructura Vial y de Espacio Público en Bogotá D.C. – ET-IC_01 adoptado mediante resolución 010910 de 2019, o las que se encuentren vigentes a la fecha de inicio del contrato.
- Normas de Ensayo de Materiales para Carreteras 2013 – INVÍAS.
- Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras 2013 – INVÍAS.
- Manual de Diseño de Cimentaciones Superficiales y Profundas para carreteras 2012_INVIAS.
- Normas AASHTO - American Association of State Highway and Transportation Officials para la ejecución de pruebas de campo y ensayos de laboratorio
- Normas ASTM American Society for Testing Materials para la ejecución de pruebas de campo y ensayos de laboratorio.
- Planchas geológicas y geomorfológicas documentadas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y el Servicio Geológico Colombiano (SGC)
- Ley 1523 de 2012, por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres, y se establece el sistema nacional de gestión del riesgo de desastres, y se dictan otras disposiciones.

5.2. ETAPA II - RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN - RAI

Durante la etapa de recolección y análisis de la información, se procederá a la consulta y adquisición de información procedente de entidades gubernamentales como IGAC, SGC, IDEAM, Acueducto de Bogotá, empresas de servicios públicos de municipios aledaños a Bogotá, Gobernación de Cundinamarca, Organismos de gestión del riesgo de desastres, Corporaciones Autónomas Regionales, Distrito Capital y municipios aledaños. La información que se busca recolectar está enfocada en poder obtener una visión global de los rasgos geológicos, estructurales, geotécnicos, geomorfológicos e hidrogeológicos a lo largo del trazado, identificar las zonas que potencialmente puedan representar riesgos de tipo geotécnico para el proyecto, al tiempo que permita estimar la presencia de puntos críticos en la zona de estudio. Paralelamente, se recopilará información relacionada con antecedentes de eventos de carácter geotécnico, como, fenómenos de remoción en masa, asentamientos excesivos, colapsos, eventos sísmicos entre otros, así como registros de precipitación. Finalmente, se busca también identificar las y redes vitales presentes.

Lo anterior permite, como una primera aproximación, establecer unas zonas geotécnicamente homogéneas, determinar los requisitos de exploración y obtener una

valoración aproximada de la magnitud de la intervención, planteamiento arquitectónico, cargas futuras, vecinos, entre otros aspectos propios del proyecto.

Del mismo modo, la información secundaria recolectada servirá como complemento a la información recolectada en campo, cuando se cuente con sondeos cercanos a la zona de estudio, ya sea para complementar o corroborar la información obtenida en campo y en laboratorio como se describirá más adelante

Algunos de los insumos a los que se acudirá para recolectar la información preliminar requerida son:

- Microzonificación sísmica de Bogotá, de donde se consultará la respuesta sísmica, zonificación geotécnica a lo largo del corredor, exploración y caracterización del subsuelo en el marco del proyecto
- Estudio general de Amenaza Sísmica de Colombia
- Acuerdo y mapas del Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá
- Plan de Ordenación y Manejo de Cuencas (POMCA) del Río Bogotá
- Diagnóstico POMCA del Río Tunjuelito
- Plan de Ordenamiento Territorial POT del municipio de Soacha y mapas.
- Cartografía base a escala 1:25.000 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi para Bogotá y Soacha
- Cartografía geológica regional y memorias explicativas a escala 1:100.000 del Servicio Geológico Colombiano
- Consulta de documentos en el SIRE, como diagnósticos técnicos, conceptos Amenaza Ruina, conceptos de legalización, regularización y actualización vigente para desarrollos, manzanas, predios, zonas de cesión, conceptos para planes parciales, áreas protegidas, estudios realizados por el IDIGER, geología y geomorfología
- Ortofotos de la ciudad de Bogotá de los distintos portales web existentes
- Información georreferenciada de la Ingeniería de Datos Espaciales del Distrito Capital IDECA
- Información georreferenciada de la Ingeniería Colombiana de Datos Espaciales ICDE
- Modelos digitales de elevación con resolución de 30m, provenientes de portales de información geográfica
- Entre otros proyectos.

Del mismo modo, se hará la consulta de la información de proyectos cercanos al corredor, con el objetivo de obtener la información recolectada en el marco de dichos proyectos, y que pueda servir como punto de partida para el desarrollo de la presente consultoría. Dichos proyectos están constituidos principalmente por estudios de prefactibilidad y otras exploraciones geotécnicas existentes para otros proyectos localizados dentro de la zona de influencia del proyecto, como los que se listan a continuación:

- Estación del Tren de la Sabana. BIC
- Troncal Avenida Calle 13
- Ciclo Alameda Medio Milenio
- Avenida General Santander
- Regiotram de Occidente
- Troncal Avenida NQS
- Plan Parcial Triángulo de Bavaria y otros Planes Parciales en Puente Aranda, Kennedy y
- Ciudad Bolívar
- Troncal Avenida Carrera 68
- Troncal Autopista Sur
- Avenida Primero de Mayo
- Primera Línea del Metro de Bogotá
- Ronda del Río Tunjuelo y afluentes
- Cable Aéreo en Ciudad Bolívar desde Portal del Sur hasta Potosí.
- Terminal de Buses del Sur.
- Cementerio del Sur El Apogeo
- Proyecto del CIM del Sur

De estos estudios, se puede extraer información como:

- Identificación y validación de zonas geológicas
- Identificación e inventario de taludes y zonas inestables
- Identificación de posibles fuentes de materiales
- Sismología local, regional y registros de movimientos sísmicos
- Formaciones geológicas superficiales
- Perfiles y análisis geológicos estructurales
- Caracterización geotécnica de los estratos de suelo
- Identificación de cimentaciones y estructuras de contención empleadas en proyectos anteriores

La información se recolectará de dos maneras:

- A partir de la documentación disponible en los sitios web de las entidades involucradas
- Mediante comunicación directa con las respectivas entidades, por vía escrita, a través de la cual se solicitarán los documentos a los que haya lugar. Cabe resaltar que la obtención de esta información está sujeta a los tiempos de respuesta de los que disponen las entidades, por tal razón, se deberá prescindir de aquella

información que no sea recibida dentro del tiempo estipulado, en aras de cumplir con los cronogramas establecidos para el proyecto

5.2.1 INSPECCIÓN TÉCNICA DEL SITIO

Como complemento a la información bibliográfica recolectada, la cual representa una base importante para la proyección de las actividades de campo, se plantea llevar a cabo una inspección técnica a lo largo del corredor, con el fin de identificar rasgos geotécnicos que no hayan sido identificados en la documentación consultada, y poder identificar los posibles inconvenientes a los que pueda haber lugar, ya sea durante la exploración, como durante el análisis y propuesta de alternativas así como visualizar las posibles vías de acceso para la ejecución de los trabajos, posibles puntos de exploración y de ejecución de sondeos in situ, geofísicos etc. Especialmente, se busca en esta inspección técnica, identificar cruces viales, cruces de corrientes hídricas, posibles pasos a desnivel, fenómenos de remoción en masa, que no hayan sido identificados a partir de la revisión de la documentación existente.

El trazado general debe definir los siguientes elementos dentro del corredor:

- Edificaciones. Asociado a estaciones y patio taller. Se asocia como reglamento NSR10 y contempla el análisis de unidades constructivas.
- Puentes. Se asocia a la ejecución de estructuras elevadas y debe cumplir el reglamento CCP14.
- Pasos a nivel. Configuración de estructuras de pavimento.
- Terraplenes de corredor o línea férrea sobre estructura. Configuración de estructuras de pavimento.
- Tramos subterráneos.

Para definir condiciones generales del corredor y partiendo del trazado general y de la zonificación preliminar lograda mediante el RAI se debe definir una campaña de exploración geotécnica y ensayos de laboratorio considerados en el desarrollo de la etapa 4.

5.3. ETAPA IV - ESTUDIOS DE PROFUNDIZACIÓN

La etapa 4 del estudio, comprende las actividades necesarias para llevar a cabo la caracterización geomecánica de los materiales presentes en la zona de estudio, con el ánimo de obtener un perfil general a partir del cual se llevarán a cabo todos los análisis de ingeniería. A partir de esta información, se obtendrá la información complementaria de interés para el proyecto, que se lista a continuación:

- Propuesta y análisis de alternativas de estructuras geotécnicas
- Puntos críticos y riesgos del proyecto
- Estimación de costos de las diferentes alternativas de soluciones geotécnicas
- Criterios de comparación de alternativas de las estructuras geotécnicas
- Predimensionamiento de las principales estructuras geotécnicas
- Memoria de costos de los predimensionamientos asociados a la alternativa seleccionada

5.3.1 CARACTERIZACIÓN GENERAL DE LA ZONA DEL PROYECTO

La caracterización de la zona del proyecto se realizará partiendo de la información recopilada en la etapa 2, y se completará llevando a cabo una campaña de exploración geotécnica en la que se determinen las propiedades físicas y mecánicas de los materiales a partir de la ejecución de ensayos in situ y la recolección de muestras para la posterior ejecución de ensayos de laboratorio, tanto en suelos como en rocas; también se busca conocer otras características del terreno, como el régimen de flujo subterráneo a través del monitoreo de niveles freáticos, y la caracterización de macizos rocosos. A continuación, se hace una descripción de las actividades a desarrollar durante la exploración geotécnica.

5.3.1.1 EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA.

Los trabajos por ejecutar durante la campaña geotécnica comprenden métodos de exploración directa e indirecta. La exploración geotécnica comprenderá un programa suficiente y razonable de exploración directa e indirecta, adecuadamente distribuidos sobre el área de estudio de tal manera que permita garantizar la obtención de la información geotécnica suficiente para completar el modelo geológico-geotécnico de las diferentes zonas de estudio.

- **Métodos directos**

Se denominan métodos directos o invasivos a la exploración realizada con el fin de obtener muestras representativas de suelo, para realizar ensayos de laboratorio destinados a la caracterización de los estratos que componen el subsuelo y obtener propiedades físicas y geomecánicas de estos materiales. Las muestras obtenidas pueden ser inalteradas o alteradas, dependiendo del tipo de muestreador empleado y la naturaleza de los estratos hallados.

Durante la ejecución de los sondeos se pueden realizar ensayos de campo tales como el de penetración estándar SPT, para muestras con contenidos de gravas y arenas y materiales finos de consistencia firme, de igual manera se puede obtener muestras inalteradas con muestreador tipo shelby o tubo de pared delgada y ejecución del ensayo de veleta para materiales finos de consistencia media a muy blanda.

Dentro de los diferentes métodos de exploración directa a ejecutar, se encuentran:

- **Apiques:** exploración que consiste en general una excavación de máximo 1.50 m de profundidad para verificar el tipo de material en zonas de terraplenes, excavaciones o de cimentación de estructuras. Este tipo de exploración es especialmente útil para caracterizar el suelo por debajo del trazado férreo, en donde las magnitudes de las cargas permiten inferir que los esfuerzos no serán transmitidos a grandes profundidades.
- **Trincheras:** En caso de requerirse, la exploración realizada sobre la pared de un macizo rocoso, saprolito o suelo residual de tal forma que permita determinar las condiciones de materiales en cuanto a espesores y obteniendo muestras para ensayos ya sea geomecánicos o de caracterización física.
- **Exploración manual:** Se efectúan para determinar espesores y calidades de materiales en zonas de difícil acceso o sea categoría baja para un equipo mecánico. No permite avanzar en estratos duros o espesor mayor a 10 m por la dificultad de manejo del equipo.
- **Exploración mecánica:** Se efectúa mediante equipo con motor permitiendo efectuar percusión y/o lavado en estratos duros, efectuar tricono para avance y rotación en roca para obtener núcleos para validación de las condiciones del macizo rocoso.

En la exploración del subsuelo se plantea efectuar si es posible con los siguientes equipos adicional al manual donde aplique:

- **Equipo mecánico tipo Petty.** Compuesto de motor y rotaria para ejecución de sondeos en profundidad para obtención de suelos blandos con shelby o tubo de pared delgada o ensayo de penetración estándar SPT:



Ilustración 2 Equipo mecánico tipo Petty

Fuente: ARDANUY INGENIERÍA

- **Ensayo piezocono CPTu.** De acuerdo con la localización del proyecto, se plantea realizar la prueba de CPTu o piezocono consiste en el hincado por presión de una punta cónica a una velocidad constante, midiendo la resistencia a la penetración por la punta (q_c), la resistencia por fricción (f_s) y la presión de poros (u). La prueba está normalizada por la norma ASTM D 3441 y la UNE 103-804-93 del ISSMFE 2 y la norma ISO 22476- 1, aprobada en septiembre de 2012.

La prueba de CPTU tiene como principales aplicaciones: Caracterizar el suelo (perfil estratigráfico), predecir propiedades del suelo. Se efectúa el hinchamiento a una velocidad de 2 cm/segundo mediante una máquina de perforación con capacidad hidráulica para hincar estos elementos.

El avance de la prueba depende de las condiciones de anclaje o reacción del equipo en el terreno y la capacidad hidráulica de la máquina.



Ilustración 3 Máquina para ensayo Máquina CPTu

Fuente: ARDANUY INGENIERÍA

Los sondeos mecánicos se efectuarán por cada comisión de trabajo compuesta de un perforador y uno o dos operarios, una camioneta o camión con conductor según la profundidad determinada por la cantidad de metros lineales, equipo de percusión y lavado / rotación, bomba de agua, juego de brocas, llaves, cuchara partida, dos tubos Shelby entre otros elementos.

Se llevará un registro detallado de la exploración. Los registros de las perforaciones se diligenciarán de manera completa y exacta para cada uno de los puntos exploratorios; estos registros incluyen la siguiente información:

- Nomenclatura, localización, cota de inicio y terminación del punto exploratorio; de ser posible incluir coordenadas planas (norte y este).
- Equipo y sistema de perforación utilizado.
- Columna estratigráfica o de una superficie de corte expuesta, en la cual se incluya la descripción y profundidad de cada tipo de material encontrado.
- Número, tipo (inalterada o alterada) y profundidad de las muestras tomadas. Para el caso de muestras inalteradas se relaciona el diámetro del muestreador.
- Resultados de las pruebas de campo realizadas (SPT, VST, PP ó PDC) y profundidades a las cuales fueron ejecutadas.
- Profundidad del nivel freático o niveles de agua en cada punto exploratorio; en general, incluir todas las observaciones sobre las condiciones de agua (Zonas acuíferas, drenaje subterráneo, etc.).

De manera complementaria al registro de perforación se tomarán fotografías de la localización y ejecución de cada sondeo o apique.

Con los resultados de las actividades anteriormente descritas se adelantará la interpretación y análisis de la exploración, se delimitará y caracterizará las diferentes capas que constituyen el perfil estratigráfico y se calculará los parámetros de resistencia y compresibilidad del suelo con la información in situ disponible.

- **Métodos Indirectos**

En caso de requerirse, por las limitaciones de accesos o la complejidad de la zona para realizar los ensayos de campo con métodos directos, se plantea realizar los ensayos con métodos indirectos o no invasivos, hoy en día conocidos como métodos no destructivos, se basan en las tecnologías de la geofísica para la interpretación de las diferentes capas que componen el área de estudio. Dentro este tipo de exploración se presenta dos de múltiple uso:

- **Método sísmico:** Consiste en provocar una excitación en un punto determinado del área a explorar usando un golpe sobre una platina pequeña u otro medio, o mediante la lectura de vibraciones ambientales (MASW, ReMi).

Esta excitación genera un tren de ondas las cuales son captadas por una serie de geófonos ubicados en un arreglo lineal. Este procedimiento se fundamenta en la velocidad de propagación de las ondas vibratorias de tipo sísmico a través de diferentes medios materiales. De estos se puede tener dos metodologías de acuerdo con el equipo utilizado y la interpretación hecha o método usado, lo cuales puede ser de reflexión o refracción. Estos métodos sirven de igual manera para la obtención de las propiedades dinámicas de las capas de suelo.

El método de refracción consiste en medir el tiempo de propagación de las ondas elásticas, transcurrido entre un sitio donde se generan ondas sísmicas y la llegada de éstas a diferentes puntos de observación. Para esto se disponen una serie de sensores o geófonos en línea recta a distancias conocidas, formando lo que se conoce como tendido sísmico o línea de refracción sísmica.

A una distancia conocida del extremo del tendido, en el punto de disparo, se generan ondas sísmicas, con la ayuda de un martillo o por la detonación de explosivos, las cuales inducen vibraciones en el terreno que son detectadas por cada uno de los sensores en el tendido. El método tiene en cuenta las primeras ondas que llegan a los geófonos, ondas P, pero también las llegadas de las ondas S, de tal manera que se pueden determinar la relación de Poisson y otros módulos dinámicos.

El método MASW consiste en la interpretación de las ondas superficiales (Ondas Rayleigh) de un registro en arreglo multicanal, generadas por una fuente de energía impulsiva en puntos localizados a distancias predeterminadas a lo largo de un eje sobre la superficie del terreno, obteniéndose el perfil de velocidades de ondas de corte (V_s) para el punto central de dicha línea. La ilustración 4 muestra un esquema del ensayo de refracción sísmica.

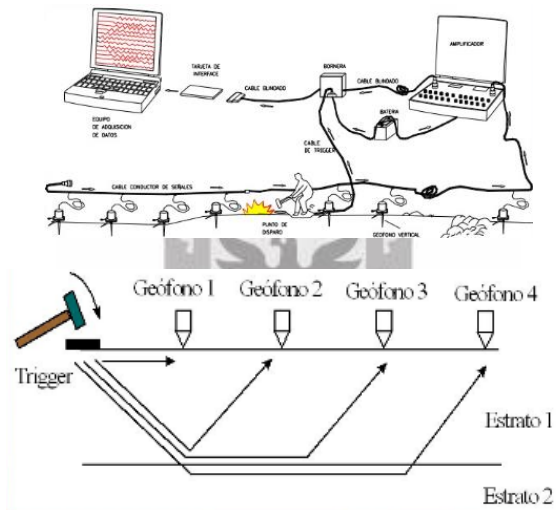


Ilustración 4. Esquema ensayo de refracción sísmica

Fuente: Imágenes Google

La ilustración 5 muestra los equipos para llevar a cabo el ensayo de refracción sísmica.



Ilustración 5. Línea de refracción sísmica

Fuente: ARDANUY INGENIERÍA

5.3.1.2 ENSAYOS DE LABORATORIO DE LAS MUESTRAS OBTENIDAS

Con base en los resultados de los sondeos se elaboraron los registros de campo donde se recopila la información obtenida. Los resultados de las exploraciones de campo se analizan, se lleva a cabo la selección de muestras, programación y ejecución de ensayos de laboratorio para clasificación de los suelos encontrados y para determinar las propiedades de resistencia, compresibilidad y otras propiedades necesarias para los análisis de cimentación y de estabilidad en caso de requerirse. Los ensayos de laboratorio se plantean de acuerdo con las características del material ya sea suelo o roca y se realizan siguiendo la normatividad vigente NSR10.

El programa de ensayos de laboratorio (propiedades índices y mecánicas) se planteará de tal forma que permita caracterizar adecuadamente los materiales (rocas y suelos) y establecer adecuadamente las características esfuerzo-deformación, resistencia u otras propiedades en caso de requerirse.

La justificación técnica y los alcances del programa exploratorio de campo y laboratorio, serán explícitos en el informe final de resultados.

Los ensayos de laboratorio a desarrollar durante esta etapa comprenden:

- Determinación del contenido de humedad natural.
- Determinación de los límites líquido y plástico (Atterberg).
- Determinación de granulometría por tamizado.
- Determinación de límite de contracción.
- Peso unitario.

- Gravedad específica (picnómetro)
- Contenido de materia orgánica por ignición
- Determinación de la compresión simple o confinada.
- Ensayos de corte directo modalidad CU.
- Ensayos de corte directo modalidad CD
- Permeabilidad cabeza constante o variable.
- Expansión libre en probeta.
- Expansión Lambe
- Ensayo de consolidación unidimensional
- Penetrómetro de bolsillo
- Ensayo CBR inalterado.
- Ensayo de penetración con cono dinámico (PDC).
- Ensayo CBR remoldeado en laboratorio para material granular. Incluye próctor modificado.
- Determinación del Índice de Calidad de la Roca RQD
- Compresión simple en roca
- Ensayo de carga puntual en roca

5.3.1.3 RESULTADOS FINALES

A partir de las actividades ejecutadas, se puede establecer un perfil estratigráfico de análisis, en el que a cada material se le asignen unas propiedades físicas y mecánicas, en concordancia con lo estipulado en el numeral H.3.3.3 de la NSR-10, sobre propiedades básicas de suelos y rocas:

H.3.3.3.1 — Propiedades básicas de los suelos — Las propiedades básicas mínimas de los suelos a determinar con los ensayos de laboratorio son: peso unitario, humedad y clasificación completa para cada uno de los estratos o unidades estratigráficas y sus distintos niveles de meteorización. Igualmente debe determinarse como mínimo las propiedades de resistencia en cada uno de los materiales típicos encontrados en el sitio mediante compresión simple o corte directo en suelos cohesivos, y corte directo o SPT en suelos granulares.

H.3.3.3.2 — Propiedades básicas de las rocas — Las propiedades básicas mínimas de las rocas a determinar con los ensayos de laboratorio son: peso unitario, compresión simple (y carga puntual) y eventualmente la alterabilidad de este material mediante ensayos tipo desleimiento-durabilidad o similares.

En el mismo sentido, para el uso de la norma CCP14 es necesario considerar el numeral 10.4 y especialmente la referencia de GEC 2012 asociado a materiales y propiedades.

5.3.1.4 ANÁLISIS DE INGENIERÍA

Los análisis geotécnicos tendrán en primera instancia en definir el modelo geológico geotécnico del área de estudio, mediante los resultados de los trabajos de campo, complementados con resultados de los ensayos de laboratorio, de tal forma que permita obtener la información suficiente la caracterización cuantitativa de las áreas de estudio o sitios de inestabilidad en caso de identificarse, de tal forma que su formulación y justificación deberá corresponder con el modelo geológico del sitio.

Los datos obtenidos en campo son procesados bajo dos condiciones:

Definición de características de material aplicando la definición del numeral título H NSR10. Este permite definir suelos granulares o suelos cohesivos. Se debe efectuar el nombre particular de estos materiales usando clasificación USCS.

Definir las propiedades geomecánicas. Se debe definir las propiedades de cohesión y ángulo de fricción sean drenados o no drenados. Si se requiere se deben definir las propiedades de compresibilidad tales como Cu, Cc, Cr, RSC.

Los resultados son plasmados en:

- Registros de campo. En donde se refina la información consignada en campo.
- Perfil geotécnico. Se utiliza el programa strater para poder conjugar longitudinalmente y en profundidad el perfil de los materiales obtenidos. Se debe incluir si aparece el nivel freático o piezométrico obtenido de los sondeos.




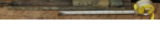



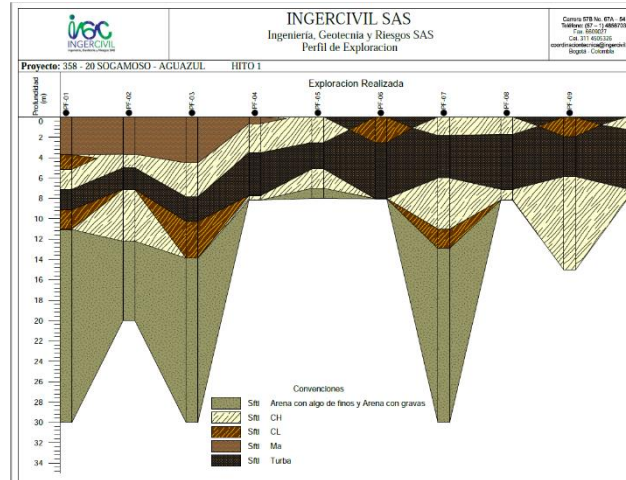
iVOC INGERCIVIL Ingeniería, Geotecnia y Riesgos SAS		INGERCIVIL SAS Ingeniería, Geotecnia y Riesgos SAS Registro de Exploración		Sondeo: 0-01 EB Fecha: 24/11/2020 Coordenadas Norte: 1318432 m Este: 1074694 m			
Proyecto: 374-20 BONANZA - ODS 114 EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA			Pagina: 1 de 1 Equipo: Petty				
Responsable: Ing. Germán D. Tapia M.		Operador: CHARLIE DUARTE		Tipo de Sondeo: Mecánico			
Localización: ESTACIÓN BONANZA			Cliente: WORLEY		Profundidad Inicio: 0.00 m Fin: 6.30 m		
Profundidad (m)	Uso	Descripción y Características del Material	Número	Nivel Freatico (m)	Registro Fotografico	Método de perforación	Ensayo SPT
0.5		Releno		0.8		Se avanzó con hoyador	
1.0		Arena de grano fino arcillosa gris con tonos tabaco, de humedad media	1-SH	26		Se avanzó con Shelby	
1.5			2-SPT	41		Se avanzó con SPT	13
2.0			3-SPT	45		Se avanzó con SPT	13
2.5			4-SPT	20		Se avanzó con SPT y presentó rechazo	23
3.0		Arena de grano fino limosa gris amarillenta con trazas de óxido, de humedad media	5-NQ	21		Se rotó con barrena y se recuperó Núcleo	
3.5			6-NQ	91		Se rotó con barrena y se recuperó Núcleo	
4.0		Arcilla gris con trazas amarillentas	7-NQ	19		Se rotó con barrena y se recuperó Núcleo	
4.5							
5.0							
5.5							
6.0							
				Reporte general sondeo			
Elaborado por: Francisco Colorado				Nivel Freatico: Reporta a 0.80 m		Carrera 50A No. 66 - 26	
Revisado por: Ing. Germán D. Tapia M.				Observaciones: Ninguna.		Teléfono (57 - 1) 4855703	
B-Muestra Bolsa, SH-Muestra Inalterada,						geotecnia@ingercivil.com	
SPT-Muestra Ensayo de Penetración Estandar, NQ- Muestra de Núcleo						Bogotá - Colombia	

Ilustración 6. Esquema actualizado registros de perforación strater

Fuente: ARDANUY INGENIERÍA

**Ilustración 7 Esquema del perfil de exploración**

Fuente: ARDANUY INGENIERÍA

- **Análisis de capacidad portante.**

A partir del modelo geológico - geotécnico y de los parámetros geomecánicos de los suelos, se efectuarán los análisis para determinar la capacidad portante y se estimaron los asentamientos correspondientes para las diferentes condiciones de carga.

Se cuenta con el software loadcap. En este programa se cuenta con metodología de Hansen, Terzaghi, Meyerhof, Vesic, EC8 y para falla por punzamiento Meyerhof y Hanna. Por parte de esta consultoría se prefiere la metodología propuesta por Hansen, el cual presenta mayor espectro en los parámetros de forma.

Estos métodos necesitan cohesión y ángulo de fricción. No obstante, se efectúa un chequeo simple con métodos de ábacos como el de Bowles mediante el valor de N. Estos métodos no contemplan la reducción de la capacidad portante por asentamientos.

Debido a la presencia de suelos blandos, y la aplicación de algunas cargas en lapsos cortos de tiempo, ocasionadas por el paso del tren, se hará también la verificación de la capacidad portante en condición no drenada.

- **Análisis de asentamientos**

Se cuenta con la herramienta computacional settle3d de la casa Rocsiencies. Presenta el análisis de asentamientos inmediatos y de consolidación. Para ello la herramienta cuenta con cálculo de esfuerzos mediante boussineq, Westergar y método multicapa. Con esta

aplicación de incrementos de esfuerzos con las cargas reales o aproximadas que se cuentan se efectúa el cálculo de asentamientos.

Los resultados de asentamientos configuran el valor de capacidad portante final recomendado al estructural teniendo en cuenta el valor de una pulgada recomendado. Es decir que el valor de capacidad portante obtenido inicialmente debe ser reducido hasta valores dados que permitan considerar el asentamiento propuesto. En este caso se debe efectuar un análisis de ábacos de dimensiones y capacidad que nos cumplan el requerimiento de 1 pulgada.

Los parámetros de compresibilidad, para el cálculo de asentamientos se determinarán con base en correlaciones a partir de las características humedad y de plasticidad y de ensayos de consolidación.

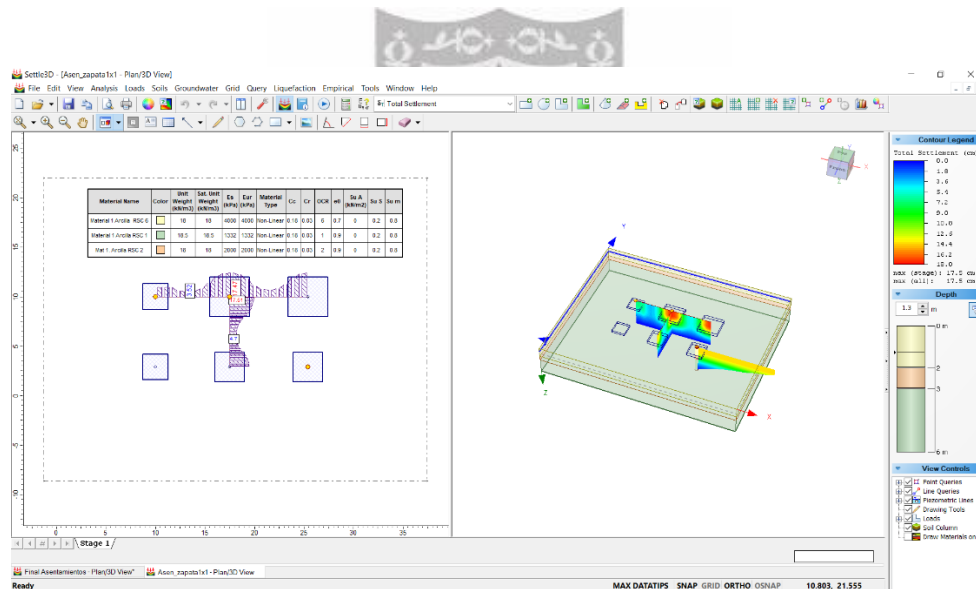


Ilustración 8. Modelo de análisis de cimentación con diferentes zapatas y asentamiento total

Fuente: ARDANUY INGENIERÍA

- **Análisis de estabilidad**

En caso de requerirse, se define el modelo geológico -geotécnico y los parámetros de los materiales. Para el análisis de estabilidad se cuenta con la herramienta computacional slide7.0. Aun cuando la excavación no es profunda, siempre se incluye el análisis de estabilidad a corto plazo teniendo en cuenta el título H Capítulo 5 NSR10. Para el caso de taludes rocosos, se hará la evaluación de la probabilidad cinemática de falla, llevando a cabo el análisis estadístico de familias de discontinuidades con ayuda del software DIPS

Para condiciones de estructuras tipo puentes se debe considerar la sección 10 CCP14 y sus numerales considerando la definición de suelos cohesivos o granulares, materiales intermedios o unidades de roca o roca con condiciones de meteorización definidos de acuerdo a los numerales presentes en este código. Es importante indicar además que el CCP14 maneja factores de resistencia y que para las condiciones de estabilidad de muros y estribos se debe considerar la sección 3 cargas y la sección 11 para muros.

Para soluciones subterráneas, se empleará la herramienta Phase, a través de la cual se evaluará la estabilidad de las paredes de la excavación y se evaluarán los diferentes tipos de soporte

5.3.2 PROPUESTA Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE ESTRUCTURAS GEOTÉCNICAS

La infraestructura que se proyectará a lo largo del corredor estará conformada principalmente por patio/talleres, estaciones, puentes, taludes y la sección de la vía férrea a lo largo del trazado; en caso de alternativas subterráneas, se deben incluir las alternativas para el soporte de túneles y pantallas para pasos a desnivel. Para cada tipo de infraestructura, se requiere una solución geotécnica que garantice una adecuada transmisión de esfuerzos al terreno, así como un adecuado comportamiento de los taludes y paredes de las excavaciones; de acuerdo con lo anterior, las soluciones geotécnicas propuestas estarán enmarcadas dentro de los siguientes grupos:

- **Cimentaciones:** que pueden ser superficiales, a través de zapatas aisladas o combinadas, o losas de cimentación, en donde los elementos que conforman la estructura se apoyan todos sobre un mismo elemento; por otro lado pueden ser profundas a través de pilotes que comúnmente trabajarán en grupo, vinculándose entre sí a través de un cabezal que garantiza la transmisión de esfuerzos de los elementos verticales que conforman la superestructura, hacia los pilotes; dentro de las cimentaciones profundas también se pueden emplear caissons. También puede ser de carácter mixto, cuando se empleen sistemas placa-pilote. Por la naturaleza de las cargas, y las estructuras que se pueden llegar a esperar, se prevé que las cimentaciones superficiales sean empleadas en patio/talleres y estaciones, aunque no se descarta que por control de asentamientos se requiera emplear sistemas placa-pilote, mientras que las cimentaciones profundas se empleen para los puentes.
- **Estructuras de retención:** en las zonas en las cuales se requieran hacer cortes, pasos a nivel, rellenos muy altos, o el trazado pase a través de una zona potencialmente inestable o cerca de edificaciones u otras estructuras a preservar, se requiere proyectar estructuras de contención que controlen dichos procesos de inestabilidad y que mantengan la integridad y funcionalidad de la infraestructura

ferroviaria proyectada. Dichas obras de estabilización están comprendidas por muros de contención en voladizo, pantallas ancladas mediante anclajes activos o pasivos, recubrimiento de taludes mediante geomantos para el control de la erosión y obras hidráulicas complementarias.

- **Cortes y rellenos:** Dependiendo del diseño en planta y en perfil, se requiere de la ejecución de cortes y terraplenes que no necesariamente requieran de la presencia de estructuras de contención, sin embargo, se debe hacer su análisis para que se ejecuten con las inclinaciones necesarias para que puedan mantenerse estables aún sin la presencia de dichas estructuras.
- **Verificación de la capacidad de soporte de la subrasante a lo largo del trazado:** Se debe verificar que el subsuelo por debajo del trazado pueda soportar y mantener limitadas las deformaciones provenientes de la sobrecarga transmitida por la infraestructura ferroviaria a lo largo del corredor; en caso de que no resulte así, se deben proyectar los respectivos tratamientos para el mejoramiento del subsuelo

Tipo de solución	Grupos	Tipos de estructuras geotécnicas
Cimentaciones	Superficiales	Zapatatas, losas de cimentación
	Profundas	Grupos de pilotes, caissons
	Mixtas	Sistemas placa-pilote
Estructuras de contención	Muros de contención	En voladizo, de gravedad
	Pantallas ancladas	Anclajes pasivos
		Anclajes activos
Recubrimiento de taludes	Geomantos	
	Malla de triple torsión	
Conformación de taludes	Corte	
	Terraplén	
Capacidad de soporte de la subrasante a lo largo del trazado	Requiere mejoramiento	
	No requiere mejoramiento	

El análisis de estas alternativas se hará teniendo en cuenta aspectos como la capacidad portante, capacidad de soporte de la subrasante, factores de seguridad, asentamientos y viabilidad técnica para su ejecución. Estos factores se verán fuertemente influenciados por las cargas esperadas, y las condiciones de movilidad a desarrollar, así como las condiciones de la infraestructura aledaña al proyecto y la propia infraestructura ferroviaria en cuanto a su operabilidad y accesos.

5.3.3 PUNTOS CRÍTICOS Y RIESGOS DEL PROYECTO

La ciudad de Bogotá cuenta con cartografía de riesgos por amenazas naturales. Estas son especialmente remoción en masa, inundación y avenidas torrenciales. Es claro que el corredor pertenece en gran medida a la zona de baja pendiente con baja a nula influencia por estos eventos. No obstante, es necesario identificarlo y que sea punto de partida de la identificación inicial de materiales o zonificación geotécnica y de respuesta sísmica. Este evento natural por supuesto condiciona en alguna medida el panorama de riesgo para las estructuras. En el municipio de Soacha se han efectuado algunos estudios especiales y proyectos como Transmilenio que pueden aportar a la definición de la zonificación geotécnica que como se dijo en párrafos anteriores es construida a nivel de prefactibilidad en este proyecto.

Pero Soacha y su corredor planteado igualmente se ubica en una zona de baja pendiente y quizás como en el caso de Bogotá los cruces en drenajes tipo Río Tunjuelo o canal Terreros u otros deben ser estudiados bajo el contexto hidráulico y de estabilidad de sus márgenes frente al proyecto.

Sumado a lo anterior, se hará la definición, identificación y localización a lo largo del trazado, de las zonas que presenten suelos con características geotécnicas especiales, como son:

- Suelos altamente compresibles: Se identificarán a través del análisis de asentamientos totales y diferenciales calculados para cada tipo de infraestructura. Se hará un análisis de las cimentaciones empleadas vs. los asentamientos calculados, en relación con los valores límite establecidos en la NSR-10 y el CCP-14.
- Suelos expansivos: Se identificarán mediante un análisis de potencial expansivo, ejecutado por medio de metodologías ampliamente aceptadas y complementadas con ensayos de laboratorio. Se prestará especial atención a los suelos con potencial expansivo alto o muy alto.
- Suelos dispersivos o erodables: Se identificarán de acuerdo con la naturaleza del material encontrado y la concentración de sodio en las sales solubles presentes en el agua subterránea.
- Suelos colapsables: Se clasificará la colapsabilidad del suelo de acuerdo con la deformación potencial de hidrocólapsos ϵ_w , localizando los puntos con clasificación severa a muy severa.
- Suelos potencialmente licuables: Se identificarán los suelos en los cuales los esfuerzos cíclicos inducidos por sismos (CSR) sean mayores que la resistencia cíclica del suelo (CRR).

- Suelos con baja capacidad portante: Se identificarán los puntos en los que se presenten suelos con consistencia muy blanda de acuerdo con la resistencia al corte no drenado obtenido.
- Taludes potencialmente inestables: Se llevará a cabo un análisis de los factores de seguridad obtenidos vs las estructuras empleadas para obtener dichos factores, con el fin de identificar las estructuras que a pesar de su complejidad presentan factores de seguridad muy cercanos a los valores límite establecidos

Los anteriores tipos de materiales requieren un tratamiento especial, ya que pueden representar riesgos para la estabilidad y la operatividad del proyecto, por tal razón, resulta de vital importancia su identificación y las alternativas que se puedan brindar para adaptar la infraestructura a estas condiciones, garantizando la estabilidad y funcionalidad a lo largo de toda la vida útil del proyecto.

Estos sitios críticos serán georeferenciados y cartografiados, presentando así un plano con la localización de los puntos, representando mediante convenciones, el tipo de condición geotécnica que se ha identificado en el lugar.

5.3.4 PREDIMIENSIONAMIENTO DE LAS PRINCIPALES ESTRUCTURAS GEOTECNICAS.

Con base en la información preliminar y los datos de campo y laboratorio obtenidos, la caracterización geotécnica y el perfil geológico-geotécnico elaborado, en conjunto con los diferentes análisis de ingeniería llevados a cabo, se logrará establecer una serie de alternativas de estructuras geotécnicas para la transmisión de esfuerzos, control de asentamientos y manejo de zonas inestables. Se hará el predimensionamiento de estas estructuras, buscando que cumpla con criterios normativos para los siguientes ítems:

- Factores de seguridad por capacidad portante. De acuerdo con el título H de la NSR-10 y el capítulo 10 del CCP-14, dependiendo del tipo de estructura
- Asentamientos. De acuerdo con el título H de la NSR-10
- Factores de seguridad para excavaciones y estabilidad de taludes. De acuerdo con el título H de la NSR-10

5.3.5 MEMORIAS DE CANTIDADES DEL PREDIMIENSIONAMIENTO

Como resultado del predimensionamiento de las estructuras, para las alternativas seleccionadas, se obtendrá un listado de las dimensiones propuestas, a partir de lo cual se podrán cubicar los volúmenes y demás cantidades a ejecutar para el desarrollo de dichas obras

Se presentará un formato de memorias de cantidades en el que se pueda identificar la localización de la estructura (coordenadas y abscisas), su predimensionamiento y el cálculo de las cantidades.

5.3.6 ESTIMACION DE COSTOS DE LAS DIFERENTES ALTERNATIVAS

Para las diferentes alternativas asignadas a la obra o estructura necesaria para el desarrollo lineal se debe evaluar el costo unitario, de tal manera que se pueda comparar cada alternativa de acuerdo con su precio por unidad de medida, y que se pueda hacer una estimación aproximada solamente multiplicando el precio unitario por la respectiva cantidad de la obra, que puede ser por longitud del trayecto, área de apoyo o capacidad de carga.

Este valor se debe determinar con ayuda de los precios unitarios tipo IDU vigentes. El análisis de costo debe permitir tomar decisiones a nivel de prefactibilidad. Pero no solo se debe quedar en este valor tipo, sino que se debe involucrar en la matriz multicriterio de evaluación de la cimentación y demás estructuras geotécnicas, metodología indicada en el siguiente capítulo, ya que los costos de las soluciones geotécnicas propuestas, no es el único factor determinante en la selección de una u otra alternativa.

Las soluciones geotécnicas propuestas, y su análisis de costos, debe ir encaminada, no sólo a determinar la estructura más económica, sino también, a conocer el grado de optimización de los costos, al ser estructuras que, con la mínima inversión, garanticen la suficiente resistencia con asentamientos limitados.

5.3.7 CRITERIOS DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS DE LAS ESTRUCTURAS GEOTÉCNICAS

El proceso de evaluación a utilizar corresponde a un modelo heurístico o de valoración de experto de cada una de las alternativas y en función de criterios que aborden el tema económico, técnico y de intervención.

El esquema de evaluación corresponde a una matriz multicriterio, lo que corresponde a definir los criterios y contrastarlos o analizarlos para las alternativas las cuales se plasman en un modelo columna fila de evaluación.

Para realizar el análisis de alternativas se definen a continuación los criterios de calificación establecidos en la matriz multicriterio y se realiza su respectiva descripción.

1- Costo:

En este criterio se evalúa el costo de realizar la obra propuesta de tal manera que costos más bajos son preferibles o menos críticos respecto a costos más altos.

2- Disponibilidad:

En este criterio se evalúa la disponibilidad de los materiales necesarios para ejecutar la obra, entendiéndola como la facilidad de encontrar dichos materiales.

3- Dificultad técnica:

En el criterio de dificultad técnica se busca evaluar las posibles condiciones de la obra propuesta que pueden ser fuente de incertidumbre y que, por lo tanto, requieren estudios más detallados para establecer viabilidad del proyecto desde el punto de vista técnico.

4- Aspectos ambientales y permisos:

Dependiendo del tipo de obra a ejecutar las afectaciones al entorno ambiental y, por lo tanto, los permisos asociados varían. Una alternativa preferida o menos crítica tiene menos afectación negativa sobre aspectos ambientales.

5- Tiempo:

Este criterio hace referencia al tiempo de construcción de la obra, de tal forma que obras menos complejas que utilicen menos tiempo de construcción son menos críticos comparado con obras que requieran extensos periodos de tiempo para la construcción.

6- Relación entorno urbano:

Este criterio de relación con las viviendas y vía es menos crítico para obras que no afecten la cotidianidad urbana, o que su construcción no implique afectaciones directas al desarrollo urbano.

7- Ocupación de la vía:

Mediante el criterio de ocupación de la vía se valora el nivel de ocupación que la construcción de las obras generaría sobre la estructura vial, de tal manera que obras sin ocupación de la vía en el momento de la construcción con menos críticas o más preferibles sobre otras obras que si ocupen la vía en la construcción.

8- Incertidumbre técnica:

Este criterio que evalúa la incertidumbre técnica de una obra tiene un valor crítico cuando la obra a construir tiene factores o fuentes que generan incertidumbre en la construcción o durante la operación.

9- Mantenimiento:

Este criterio es más crítico si la obra requiere de mayores mantenimientos o más recurrentes, por lo que obras menos críticas requieren pequeños mantenimientos o menos recurrentes.

Estos criterios definidos anteriormente, pueden ser los mismos o adicionarles algún criterio asociado a condiciones de materiales, condiciones de la línea férrea en cuanto a movilidad, complejidad de obra entre otros. Debe entenderse que estos criterios son discutidos con la

interventoría para que sean adoptados por consenso y usados en el análisis para el componente de geotecnia.

Evaluación de la matriz

Para realizar la calificación de las matrices se adopta el siguiente sistema de calificación en el cual se asignan los valores más altos a la condición más crítica y los menores valores a la condición menos crítica. De esta manera se usarán los siguientes puntajes:

Tabla 1. Criterios de calificación para análisis de alternativas

Calificación	Descripción
1	Menos crítico
3	Indiferente
5	Más crítico

Unos resultados típicos de emplear la metodología propuesta se presentan en la ilustración 9 a modo de ejemplo:

ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS		MATRIZ MULTICRITERIO									
		Costo	Disponibilidad	Dificultad técnica	Aspectos ambientales y permisos	Tiempo	Relacion entorno urbano	Ocupación vía	Incertidumbre técnica	Mantenimiento	Sumatoria
SITIO EL TABLAZO											
1	1. No hacer nada	5	5	5	5	5	5	5	5	5	45
2	2. Muros de retención de material	3	3	3	3	3	3	3	5	5	31
3	3. Anclajes con torones de acero	5	3	3	5	3	3	1	1	1	25
4	4. Terraceo con cortes y obras de drenaje y anclajes con toron	5	3	3	5	1	3	1	1	1	23
SITIO LA FLORIDA - CASA											
1	1. Muro de confinamiento	5	1	5	5	3	3	1	3	1	27
2	2. Micropilotes	5	1	5	3	3	3	1	1	1	23
3	3. Suelos reforzados	5	1	5	5	3	3	1	3	1	27
SITIO LA FLORIDA - TALUD											
1	1. No hacer nada	5	5	5	5	5	5	5	5	5	45
2	2. Muros de retención de material	3	3	3	3	3	3	3	5	5	31
3	3. Anclajes con torones de acero	5	3	3	5	3	3	1	1	1	25
4	4. Muro criba o muro japones	5	3	5	3	3	3	1	1	1	25

Ilustración 9. Ejemplo de aplicación de criterios de selección de alternativas

5.4. PRODUCTOS MOVILIDAD

Instituto de Desarrollo Urbano

- Informe 1. Metodología y plan de trabajo (Se entregan en el presente documento)
- Informe 2. Recopilación y análisis de la información
- Informe 3. N/A
- Plan de Exploración – Guía del IDU.
- Informe 4. Contiene:

Caracterización general de la zona del proyecto

Propuesta y Análisis de alternativas de estructuras geotécnicas

Puntos críticos y Riesgos del proyecto

Estimación de costos de las diferentes alternativas de soluciones geotécnicas

Criterios de comparación de alternativas de las estructuras geotécnicas

Predimensionamiento de las principales estructuras geotécnicas

Memoria de costos de los predimensionamientos asociados a la alternativa seleccionada

6. PLAN DE TRABAJO

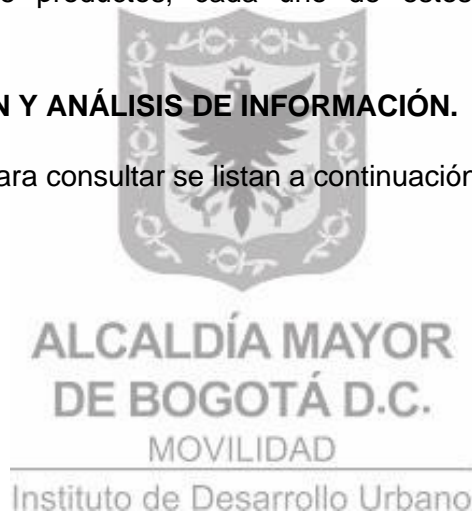
El plan de trabajo describe los aspectos prácticos y logísticos a tener en cuenta durante el desarrollo del proceso metodológico descrito en capítulos anteriores. Los pasos expuestos a continuación, comprenden la hoja de ruta a seguir durante el desarrollo de esta consultoría.

Se identifican cuatro procesos principales en el desarrollo de los trabajos: Recopilación y análisis de la información, exploración del subsuelo, ensayos de laboratorio, análisis de ingeniería, elaboración de productos; cada uno de estos procesos se describe a continuación:

6.1 RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.

Las entidades y portales para consultar se listan a continuación:

- Repositorio IDU
- Sondeos SISGEO
- SIRE
- IDIGER
- Serana
- SINUPOT
- IDECA
- ICDE
- Gerencia de Transmilenio
- Secretaría de medio ambiente de Bogotá
- IGAC
- Servicio Geológico Colombiano
- Alcaldía Mayor de Bogotá
- Secretaría de Planeación de Bogotá
- Secretaría de Planeación de Soacha
- Corporación Autónoma regional de Cundinamarca
- IDEAM
- Earth Explorer del USGS
- Entidades privadas con proyectos aledaños a la zona del proyecto



En primera instancia, se acudirá a estos portales y sitios web de las entidades, para conseguir de estas direcciones la información pertinente que pueda ser empleada en el desarrollo del proyecto.

Después de verificar la información disponible en estos portales web, se procederá a emitir las solicitudes escritas de la información que no se encuentre en esta primera búsqueda de información

6.2 VISITA TÉCNICA AL CORREDOR.

Después de analizar la información disponible, se plantea llevar a cabo la visita técnica de inspección a lo largo del corredor. Esta visita se propondrá con el acompañamiento de los profesionales de los demás componentes para poder lograr una visión multidisciplinar del recorrido. Esta visita permitirá, entre otras cosas, definir posibles puntos de exploración, posibles problemas para la ejecución de los sondeos y posibles problemas para el planeamiento del trazado y de las obras que lo acompañan.

6.3 VALIDACIÓN Y CONCEPCIÓN DEL PROYECTO CON ESPECIALISTAS

Previo al inicio de los trabajos de campo en geotecnia, se abordará la alternativa de trazado óptima desde un enfoque multidisciplinar, en donde se incluyan las apreciaciones de cada uno de los especialistas con respecto a las opciones existentes, la mejor opción, y las necesidades surgidas del desarrollo geométrico. Esta etapa, implica el análisis de los conceptos de los demás especialistas, con respecto a las oportunidades y retos planteados en cada una de las alternativas de trazado, así como las posibles soluciones a dichos retos. La reunión de criterios de todas las especialidades, en torno a la selección del trazado más óptimo, resulta de vital importancia en esta fase del desarrollo de la consultoría, ya que permite proyectar una campaña de exploración más precisa, que se adapte a las condiciones que se pueden prever en las otras disciplinas, evitando encontrar situaciones futuras que entorpezcan el desarrollo de los trabajos de campo por novedades no previstas que se presenten por no tener en cuenta los conceptos de las otras áreas. Esta parte del trabajo se piensa desarrollar durante la etapa 3, de caracterización y diagnóstico de disciplinas, para poder evaluar la información que las otras áreas puedan recopilar hasta este momento, y las decisiones que ya hayan sido tomadas a estas alturas de la consultoría.

6.4 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO.

Una vez realizado el trabajo de consulta de la información preliminar, que permita identificar los principales rasgos geotécnicos a lo largo de la alternativa de trazado óptima, se procederá a elaborar el plan de exploración geotécnica. Este plan contendrá la localización de los diferentes tipos de sondeos, y los ensayos de laboratorio proyectados. Con el plan

de exploración del subsuelo, se procede a llevar la exploración geotécnica; esta etapa está fuertemente influenciada por otras áreas del saber. Por ejemplo, para el planteamiento de la exploración del subsuelo, es necesario tener en cuenta el desarrollo geométrico en planta y en perfil, así como la ubicación de elementos a nivel, tipo estaciones, portal taller o similar. La definición preliminar de obras es fundamental, por lo tanto, la exploración se iniciará una vez se cuente con esta información.

La exploración estará conformada por métodos de prospección directa e indirecta. Los tipos de sondeos se clasificarán y ejecutarán de acuerdo con el tipo de estructura para la cual estará destinado cada uno de ellos, como se describe a continuación

- Estructuras elevadas. De acuerdo con el CCP-14 indica, se debe ejecutar un sondeo en cada apoyo. A nivel de prefactibilidad se debe llevar a un consenso de efectuar sondeos a lado y lado del puente para definir dos cosas: aproches y cimentación probable.
- Estructuras tipo edificaciones que sigan NSR10. La norma exige sondeos o exploración en función de número de pisos y cargas. No es necesario cumplir con la cantidad de sondeos a nivel de prefactibilidad; estas exploraciones están encaminadas a orientar la toma de decisiones. Por tanto, se debe llegar a un consenso respecto a las profundidades (definidas principalmente con base en los niveles de carga esperados en los apoyos) y cantidad de sondeos para este tipo de estructuras.
- A nivel de trocha o terraplenes de movilidad del tren se requiere la ejecución de apiques o sondeos cortos o menores a 4 m, o según la altura del terraplén en sus rellenos. No existe una cantidad asociada por km a nivel de prefactibilidad. No obstante, los apiques deben obedecer a definir bordes de rellenos o bordes de materiales tipo expansivos o que puedan ameritar una intervención más alta y por tanto se requiere definir los bordes o fronteras lo mejor posible. En este caso se plantea un trabajo en dos tiempos continuos donde en la primera parte se harán apiques o sondeos cortos separados a mínimo 1 km y luego se deberá indicar, de acuerdo con el perfil geotécnico determinado en donde se requiere complementar la información para obtener una mayor claridad en el perfil geotécnico.

El número de comisiones para la ejecución del plan de trabajo determinado será definido dentro del Plan de Exploración. Estas comisiones serán en cantidad tal que permita adelantar los trabajos en el tiempo estipulado.

Durante la exploración se llevará un proceso de rotulado, almacenamiento y embalaje de las muestras. Del mismo modo, se llevará registro continuo de los materiales encontrados,

tipos de muestras extraídas, números de golpes del ensayo de Penetración Estándar, profundidad del nivel freático y coordenadas y cotas del punto de la perforación.

Se contará con un listado de muestras disponibles con el fin de proyectar la ejecución de los ensayos de laboratorio

6.5 ENSAYOS DE LABORATORIO.

En la medida en que se avance en la ejecución de los sondeos y la extracción de muestras, paralelamente estas serán enviadas al laboratorio o laboratorios designados para llevar a cabo los ensayos. Al recibir las muestras, estas serán almacenadas y se pondrán en lista de espera para ejecutar los ensayos pertinentes. De acuerdo con el registro de muestras, se elaborarán las respectivas ordenes de ensayo en donde se indicarán los tipos y cantidades de ensayos a realizar para cada muestra.

Para la selección de los laboratorios, se verificará que estos sean certificados y se suministrarán los respectivos certificados de calibración emitidos por la ONAC

Los laboratorios para llevar a cabo se mencionan en el numeral 5.3.1.2.

6.6 ANÁLISIS DE INGENIERÍA.

Con base en la información de campo y de laboratorio obtenida, se llevarán a cabo los análisis técnicos correspondientes, descritos en el numeral 5.3.1.4 de este documento.

6.7 INFORMES.

Los productos para generar se listan en el capítulo 5.4, y se elaborarán con la información obtenida, tanto en los trabajos de campo como en los análisis de ingeniería. En complemento a estos se entregarán los registros de campo, formatos de laboratorio, planos, anexos de cálculo y anexos con los resultados de los ensayos y trabajos de prospección geotécnica.

Los informes geotécnicos tendrán los contenidos mínimos asociados a cada producto. No obstante, es importante mencionar que estos documentos deben estar convenientemente indexados, con sus firmas digitales y en general con los archivos editables exigidos por la entidad IDU.

6.8 CRONOGRAMA

Para el desarrollo de las actividades, se tiene previsto un total de 12 meses, incluyendo la etapa de validación y concepción del proyecto con especialistas, en la que se va a tomar la información proveniente de la etapa 3 en las otras disciplinas. También se incluyen

Actividad	Mes											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Etapa 1												
Definición de la metodología y plan de trabajo	■											
Etapa 2												
Recopilación y análisis de información	■											
Etapa 3												
Validación y concepción del proyecto con especialistas		■	■	■								
Etapa 4												
Exploración del subsuelo					■	■						
Ensayos de laboratorio					■	■						
Análisis de ingeniería							■	■	■			
Elaboración de informes	■	■	■	■						■	■	■

6.9 RECURSO TECNOLÓGICO

Para el desarrollo del presente proyecto, Ardanuy Ingeniería cuenta con los recursos computacionales necesarios para llevar a cabo el procesamiento de la información, los cálculos y análisis de ingeniería necesarios, y la elaboración de productos a los que se hace referencia en este documento.

6.10 RECURSOS DE MOVILIDAD

Ardanuy Ingeniería cuenta con un vehículo destinado exclusivamente a la movilidad del personal. La movilidad de los equipos de perforación y transporte de muestras estará a cargo de la empresa contratista seleccionada para ejecutar dichos trabajos.

6.11 RECURSOS DE PERSONAL

Para este componente, se cuenta con dos especialistas en geotecnia. Adicionalmente, dentro del proyecto se cuenta con un especialista SIG que entrará a apoyar el componente de geotecnia en los trabajos de procesamiento y representación de la información geográfica. El personal operativo y especialistas de campo encargados de coordinar los trabajos de exploración y ensayos de laboratorio, será suministrado por la empresa contratista seleccionada para tal fin.