ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA CORREDORES FÉRREOS

ET-08: GEOTECNIA, GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

BOGOTÁ D. C., SEPTIEMBRE DE 2025

Contenido

1 OBJETIVO 3
2 NORMATIVA 3
2.1 Geotecnia 3
2.2 Pavimentos 4
3 ALCANCE 4
3.1 Informe y planos con la definición estructural de las obras subterráneas. ETAPA DE DEBIDA DILIGENCIA 7
3.1.1 Estudios de geología 9
3.1.2 Estudios geotécnicos 9
3.1.3 Pavimentos y espacio público asociado 10
3.1.4 Localización de redes de servicios para perforaciones 10
3.1.5 Planteamiento del Plan de Investigación Geotécnica 10
3.1.6 Exploración Geotécnica para viaductos, estaciones y puentes (Férreos, vehiculares y Peatonales) 15
3.1.7 Exploración Geotécnica para Taludes 17
3.1.8 Exploración Geotécnica para Redes Húmedas: 17
3.1.9 Exploración Geotécnica para Pavimentos 18
3.1.10 Ensayos y actividades de campo 20
3.1.11 Ensayos de laboratorio 25
3.1.12 Investigación geofísica 32
3.2 DISEÑOS DE FACTIBILIDAD 36
3.2.1 Consideraciones Geotécnicas para excavaciones 37
3.2.2 Consideraciones Geotécnicas para cimentaciones 39
3.2.3 Consideraciones Geotécnicas para Taludes 39
3.2.4 Consideraciones para el Análisis Patológico de Estructuras 40
3.2.5 Consideraciones para el Plan de Manejo de Tráfico 40
3.2.6 Consideraciones para el diseño de subestructura de la vía férrea: 40
3.2.7 Consideraciones para el diseño de pavimentos 41
3.2.8 Plan De Auscultación 44
4 PRODUCTOS 45

4.1 ETAPA DE DEBIDA DILIGENCIA 45

4.2 ETAPA DE FACTIBILIDAD TÉCNICA..... 46

4.2.1 Reconocimiento del terreno y ensayos de campo 48

4.2.2 Geotecnia para Fundaciones (Edificaciones, Estaciones, Puentes férreos, vehiculares y peatonales) 51

4.2.3 Estructura del corredor en túnel..... 55

4.2.4 Geotecnia para Taludes 56

4.2.5 Geotecnia para Redes Húmedas..... 57

4.2.6 Geotecnia y mediciones para Pavimentos 57

4.2.7 Control y aprobación del estudio 58

4.2.8 Plan de Auscultación 58

Avenida Calle 24A Nro. 59-42 Torre 4 Piso 2.

PBX: 4848860 – www.ani.gov.coNit.
830125996-9. Código Postal ANI 110221.

1 OBJETIVO

En este componente se debe realizar la caracterización geológica, geotécnica, geomorfológica, hidrogeológica, sísmica y de amenaza existentes en el corredor, para hacer recomendaciones, generar sustento y realizar el diseño geotécnico de las estructuras contempladas en el Proyecto como:

- Viaductos o puentes de la línea férrea
- Puentes vehiculares o peatonales
- Túneles
- Estructura de vía férrea
- Edificaciones (centros de transferencia de carga, estaciones de pasajeros, centros logísticos, entre otros).
- Pasos férreos o vehiculares deprimidos
- Estructuras de contención de tierras
- Estructuras de pavimentos y espacio público asociado,
- Protección y cimentaciones para redes
- Demás estructuras que lo requieran.

Los estudios deben asegurar la viabilidad de las obras, servir de apoyo para el diseño, realizar caracterización del subsuelo, detectar zonas problemáticas con sus respectivas propuestas de manejo, sugerir las metodologías constructivas más apropiadas y permitir la valoración integral de las obras.

2 NORMATIVA

Para la elaboración del diseño de factibilidad se deben utilizar todas las normas vigentes de aplicación, tanto nacional como internacional, instrucciones, recomendaciones y pliegos oficiales vigentes en la República de Colombia, la normativa urbanística y medioambiental local y las directrices vigentes sobre la ordenación y contenido de los proyectos, así como las instrucciones que dicte el Revisor Técnico o Interventor cuando no existan otras sobre el tema. El seguimiento de la normatividad es solo una guía general y no exime al Consultor de la responsabilidad legal que tiene sobre la calidad de los estudios y diseños, por lo que debe profundizar, ampliar y cubrir todo aspecto técnico no contenido en ella.

2.1 Geotecnia

Los estudios indicados en el presente capítulo deberán estar orientados de conformidad con la normatividad relacionada a continuación:

- Normas Técnicas Colombianas – NTC.
- 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 a la fecha de inicio del contrato, aplicado en obras de infraestructura vial tales como: puentes vehiculares, puentes peatonales, *box culvert*, estructuras de contención, estabilidad de taludes.

- Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 Ley 400 de 1997 Decreto 926 de 2010, aplicado a edificaciones verticales, estaciones de sistemas de transporte.
- Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR/10 o vigente
- Asociación Francesa de Normalización – AFNOR.
- Normas de Ensayo de Materiales para Carreteras 2013 – INVIAS.
- Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras 2013 - INVIAS
- 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.
- Normas AREMA aplicables

2.2 Pavimentos

Los estudios indicados en el presente capítulo deberán estar orientados de conformidad con la normatividad relacionada a continuación:

- Resolución 4100 de 2004 del Ministerio de Transporte, "Por la cual se adoptan los límites de pesos dimensiones en los vehículos de transporte terrestre automotor de carga por carretera, para su operación normal en la red vial a nivel nacional".
- Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras y Normas de Ensayo para Materiales de Carreteras (INVIAS, 2013), específicamente la normatividad para ejecución de ensayos de campo y laboratorio.

3 ALCANCE

A través de este documento se deben conocer las condiciones preponderantes que se identificaron en el subsuelo del corredor. Es importante anotar que los criterios presentados en los siguientes numerales, corresponden a unos criterios básicos para la elaboración de los estudios geológicos, geotécnicos, geofísicos e hidrogeológicos y diseños de geotecnia y pavimentos, pero será responsabilidad del Consultor realizar las actividades y análisis que permitan elaborar un estudio confiable.

Para la realización de los trabajos, además de los reconocimientos in situ del terreno y de los ensayos de laboratorio que sean necesarios, se utilizará la documentación bibliográfica y cartográfica disponible, así como la información que proporcionen otros trabajos técnicos, estudios y proyectos anteriores, normas y especificaciones del INVIAS, NSR-10 y CCP 14.

El Consultor asumirá la responsabilidad del control y vigilancia de los trabajos anteriores, así como la interpretación de los datos obtenidos en la recopilación de información disponible y asumirá las recomendaciones finales, producto de los análisis geológico-geotécnicos realizados en el Proyecto.

Así mismo, se estudiarán las características de las obras realizando un informe con la descripción de su geología previsible, de los niveles freáticos y de las características geomecánicas de los materiales a atravesar, las dificultades para su excavación, y tratamientos especiales de cimentación, así como las unidades más indicadas para su correcta valoración.

El estudio abordará, como mínimo, la evaluación de los siguientes puntos:

- Presentación del perfil geológico y geotécnico a lo largo del trazado del corredor y de las plantas geológica, mediante un informe con sus respectivos planos. En ambos se representará la litología, la estructura de las capas e hidrogeología de los terrenos atravesados, realizados mediante perforaciones y los ensayos de laboratorio necesarios expuestos del INVIAS. Para los tramos en túnel se presentarán plantas geológicas en superficie y a cota de eje de túnel.
- Presentación de la caracterización geológica, geotécnica, geomorfológica e hidrogeológica del subsuelo a lo largo del trazado de la línea mediante un informe y planos.
- Identificación y evaluación de los puntos problemáticos, de acuerdo con las características geotécnicas alrededor del trazado de la línea, donde se presentarán mínimo dos alternativas de mitigación, a nivel de ingeniería conceptual, por cada punto y se tendrán en cuenta factores económicos y constructivos, con la recomendación del Contratista para definir las acciones necesarias.
- Estudio de riesgos geotécnicos y recomendaciones para su mitigación donde se tendrán en cuenta factores económicos y constructivos.
- Análisis geotécnicos con la evaluación de capacidad portante, presiones de tierras, estabilidad de taludes y excavaciones, estructuras subterráneas, muros, terraplenes, asentamientos y subsidencia en el área de influencia del estudio, a lo largo del trazado de la línea del metro.
- Informe con las recomendaciones para la definición de las soluciones constructivas, haciendo hincapié en el emplazamiento y diseño de los túneles y obras subterráneas y de superficie e incluyendo la definición

de los parámetros de diseño geotécnicos para las diferentes unidades geotécnicas identificadas a lo largo del trazado y el perfil geotécnico aplicable para el diseño de cada tramo de túnel y de cada estructura o de sus cimentaciones. Dicho perfil incluirá la definición del nivel freático de cálculo, y, en su caso de los posibles niveles freáticos colgados que pudieran existir.

- Informe con las recomendaciones de diseño de desmontes y terraplenes y medidas de protección de taludes, que incluirá el análisis de la plataforma, tanto en fondo de desmonte o excavación como en rasante superficial, así como el estudio de la base de los terraplenes y de sus diferentes capas constituyentes.
- Recomendaciones sobre la tipología de cimentación en estructuras y obras de fábrica.
- Estudio de materiales y recomendaciones sobre la procedencia de materiales para rellenos, áridos, balasto, etc.
- Estudio de ubicación de posibles vertederos y, en su caso, recomendaciones para el tratamiento previo de los materiales.
- Recomendaciones para el diseño sísmico.
- Recomendación de instrumentación geotécnica para el monitoreo que se instalara a lo largo del corredor férreo para la ejecución del Proyecto.
- Recomendaciones para la auscultación geotécnica de presiones de agua y tierra, control de deformaciones horizontales y asentamientos, subsidencia regional e integridad estructural.

Ante la presencia de túneles y obras subterráneas, éstas se definirán en planta y alzado, especificando en los informes y planos las especificaciones y los gálibos propuestos (Véase ET-16 - Túneles). y justificando la viabilidad de su construcción, metodología constructiva, estimación del costo según el tipo de terreno y explotación a la vista de los problemas que puedan preverse.

Así mismo, se estudiarán las características de las obras subterráneas, realizando un informe con la descripción de su geología previsible, de los niveles freáticos y de las características geomecánicas de los materiales a atravesar, las dificultades para su excavación, tratamientos previos, la entrada del túnel, sostenimiento, revestimiento, acabados, y tratamientos especiales, disposición de aguas lluvias y residuales y sistema de transporte, así como las unidades más indicadas para su correcta valoración.

Se prestará especial atención a la posible afectación a construcciones cercanas durante y después del proceso constructivo, así como a la adecuación de éste a las limitaciones de espacio. Para tal fin, se diseñará y propondrá los parámetros para implementar un sistema de auscultación apropiado que incluya el control de puntos topográficos, asentamientos, desplazamientos horizontales y niveles freáticos.

El estudio de las obras subterráneas incluirá en el informe como mínimo:

- Planos con el perfil geológico y geotécnico con indicación de la litología, estructura e hidrogeología de los terrenos atravesados, con superposición del trazado.
- Planta cartográfica con superposición del trazado a lo largo de la línea del metro.
- Informe con la definición de las características y parámetros geológico-geotécnicos e hidrogeológicos a lo largo de la traza de la línea del metro.
- Informe y planos con la propuesta justificada de la sección en los túneles.
- Informe con la propuesta y justificación del procedimiento constructivo a emplear, que garantice la viabilidad de su ejecución. Incluyendo entre otros aspectos:
    - Diseño detallado de los sistemas de soporte que se utilizarán durante la construcción y operación de las obras subterráneas, incluyendo los diseños de revestimientos, arcos y otras estructuras de soporte, basados en los resultados de los análisis geotécnicos.
    - Soporte de la modelación con la simulación del terreno y de las estructuras subterráneas bajo diferentes condiciones de carga y escenarios de excavación.

3.1 Informe y planos con la definición estructural de las obras subterráneas. ETAPA DE DEBIDA DILIGENCIA

La búsqueda, recopilación y análisis de información secundaria, debe contemplar aspectos principales como: antecedentes de proyectos, estudios y normatividad, en lo relacionado con geología, geomorfología, zonificación sísmica, antecedentes de amenazas por inundaciones o remoción en masa, hidráulica e hidrología, cartografía, uso del suelo, y en general todos aquellos aspectos que permitan tener un adecuado conocimiento del proyecto desde el punto de vista geotécnico, lo cual se debe complementar con el reconocimiento visual de las zonas que hacen parte del proyecto, con el objetivo fundamental de realizar un diagnóstico preliminar.

El Consultor recopilará y analizará, previo al inicio de las actividades de diseño objeto del presente Contrato, los diferentes estudios y diseños de la disciplina realizados para el proyecto o sobre proyectos similares en el corredor, así como los estudios, diseños o estado de construcción actual de otros proyectos de transporte férreo o vial o de otro tipo de infraestructura que puedan tener influencia o interacción con el Proyecto.

Con base en los anterior se Identificarán las posibles deficiencias en la información disponible, para evaluar su impacto en la realización del estudio y proponer, de ser necesarias, soluciones específicas para suplirlas.

- En general, se tomará como referencia los siguientes productos para el área de influencia del trazado:
- Planos de cartografía geológica, geomorfológica e hidrogeológica
- Planos de base topográfica, junto con fotografías aéreas e imágenes satelitales.
- Planos e información hidrológica y climatológica.
- Informe y planos con la zonificación geotécnica y estudios de amenaza por fenómenos de remoción en masa.
- Informe y planos con el estudio de microzonificación sísmica y estudios de respuesta sísmica local, junto con normativa vigente de espectros de diseño sísmico.
- Estudios geotécnicos previos en informes y planos para las obras de infraestructura, edificaciones y redes de servicios.
- Base de datos de sondeos, monitoreos y apiques, así como ensayos de campo y laboratorio suministrados por las entidades a cargo.
- Por otro lado, se realizará una recopilación de experiencias previas en la construcción de obras o proyectos similares y de los métodos constructivos empleados en el país para obras similares.

Como resultado del proceso de recopilación y análisis de información la cual debe ser incorporada a la Geodatabase del proyecto, y considerando integralmente otros de los estudios, como por ejemplo tránsito, topografía y redes entre otros, el Contratista deberá presentar el **Plan de investigación Geotécnica** a realizar para la Factibilidad, requerido para el análisis y diseño de todas las estructuras del proyecto como: pavimento, túneles, cimentación para viaductos, estaciones y estructuras principales, redes de servicios públicos, muros de contención, pasos deprimidos, puentes y demás estructuras que requieran del análisis geotécnico. El Contratista deberá revisar la investigación del subsuelo realizada en otros contratos y establecer la pertinencia de utilizar la información contenida en éste, para determinar las complementaciones y verificaciones que considere del caso, debidamente justificadas.

En todo caso, el **Plan de Investigación Geotécnica** deberá estar aprobado por la Interventoría y presentarse para revisión del Contratante. con el correspondiente cronograma de ejecución y valoración económica de los trabajos a realizar, e indicando claramente el presupuesto correspondiente a cada obra y el presupuesto total para los Estudios Geotécnicos. Todo el **Plan de**

Investigación Geotécnica deberá presentarse debidamente justificado desde el punto de vista técnico.

Para cada uno de los análisis geotécnicos de estructuras se definen en los siguientes capítulos: parámetros mínimos, número de perforaciones, distancia, ensayos a realizar, procedimientos y métodos. En caso de que el Consultor en el planteamiento de su Plan de Investigación Geotécnica requiera modificar algunas de estas especificaciones, por disponibilidad de información secundaria, cercanía entre exploraciones de distintas estructuras, homogeneidad de ciertos tramos o dificultad de acceso a sitios de perforación, podrá realizar la propuesta debidamente justificada para aprobación de Interventor.

3.1.1 Estudios de geología

El Consultor debe en primer lugar consultar estudios previos, mapas y bibliografía, para luego establecer características geológicas realizando en esta actividad el mapeo del terreno, con indicación de fallas geológicas y de la estructura litológica a lo largo del trazado, determinará el perfil geológico y efectuará el análisis geológico estructural, hará la d**escripción detallada de las unidades geológicas presentes en la región,** incluyendo su edad, origen y distribución.

El estudio se efectuará en base a mapas topográficos o de restitución fotogramétrica a escala 1:25.000 o menos o de imágenes satelitales con escala 1: 1000000. Se realizará la evaluación de la estabilidad de los taludes existentes, en los sectores rocosos. Se examinará las propiedades de los materiales de relleno y se pondrá particular énfasis en la investigación geológica de los sectores críticos identificados. Se examinarán las superficies expuestas. Igualmente, se realizará la caracterización de las posibles fuentes de materiales.

En el capítulo de taludes el consultor debe detallar en su alcance, la evaluación y mapeo de taludes existentes, incluyendo medidas de estabilidad (factor de seguridad) bajo diferentes condiciones de carga, análisis de erosión y sedimentación y estudio de antecedentes de deslizamientos y su relación con las condiciones geológicas.

3.1.2 Estudios geotécnicos

Como producto del reconocimiento visual de la zona de proyecto, así como también del proceso de búsqueda y análisis de información, el Consultor debe entonces establecer características geotécnicas, en las cuales se identificaran las propiedades físicas y mecánicas del subsuelo, la localización sísmica, geotécnica y la existencia de amenazas como la remoción en masa, inundación o incendio;

Avenida Calle 24A Nro. 59-42 Torre 4 Piso 2.

PBX: 4848860 – www.ani.gov.coNit.
830125996-9. Código Postal ANI 110221.

a partir de las cuales se dan las respectivas recomendaciones geotécnicas, que incluyan criterios generales de cimentación para estructuras principales, redes de servicios públicos, potenciales problemas de estabilidad, así como también el grado de riesgo y posible afectación de las construcciones existentes frente a las obras que resultarán de los estudios y diseños del Proyecto.

3.1.3 Pavimentos y espacio público asociado

Con el propósito de establecer las características y condiciones de las infraestructuras pertenecientes al proyecto, así como también de orientar el planteamiento de intervención y diseño de pavimento y espacio público asociado, el Consultor debe realizar la identificación, inventario y diagnóstico de las estructuras existentes del tramo(s) en estudio, y como resultado debe producirse la respectiva cartografía a escalas avaladas por la el Contratante y el Interventor, llevando un cuidadoso registro fotográfico de todo el reconocimiento visual y el correspondiente inventario de las condiciones geotécnicas más importantes del proyecto.

La información recopilada debe ser la suficiente para el diseño de nuevos pavimentos vehiculares, ciclorrutas y espacio público asociado, rehabilitación de pavimentos existentes y diseño de pavimentos para el sistema férreo.

3.1.4 Localización de redes de servicios para perforaciones

El grupo encargado de realizar los sondeos del subsuelo, por parte del Consultor, estará en estrecha comunicación con el grupo encargado de realizar la investigación de redes de servicios existentes, con el fin de compartir información que pueda ser útil para ambos y que se presentará mediante un informe y planos.

El Consultor será, en última instancia, el directo responsable de los daños que los trabajos de campo puedan ocasionar a terceros o a los servicios públicos existentes.

3.1.5 Planteamiento del Plan de Investigación Geotécnica

Como consecuencia del proceso de recopilación y análisis de información, y considerando integralmente otros de los estudios requeridos para la factibilidad del Proyecto, como por ejemplo tránsito, topografía y redes entre otros, el Consultor debe presentar el **Plan de investigaciones Geotécnicas** a realizar para la Factibilidad, correspondientes a todas las estructuras que se proyectarán para el Proyecto. El Consultor debe revisar la investigación del subsuelo realizada en otros contratos y establecer la pertinencia de utilizar la información contenida

Avenida Calle 24A Nro. 59-42 Torre 4 Piso 2.

PBX: 4848860 – www.ani.gov.coNit.
830125996-9. Código Postal ANI 110221.

en éste, para determinar las complementaciones y verificaciones que considere del caso, debidamente justificadas.

El Plan de Investigaciones Geotécnicas debe incluir el detalle de los métodos de exploración utilizados, incluyendo la ubicación y descripción de los apiques, sondeos y ensayos de campo: descripción de las técnicas de perforación (tipo de perforadora, diámetro, profundidad alcanzada), Frecuencia y profundidad de los sondeos en relación con la geología del sitio y resultados de ensayos in situ (SPT, CPT, etc.) con gráficos de correlación con las características del suelo.Las actividades de exploración del subsuelo están orientadas a determinar las características geológico-geotécnicas de los terrenos afectados por el trazado del Proyectos. Para lograr su finalidad, se realizarán los sondeos, apiques y perforaciones que se determinan en el proyecto de reconocimiento, de los cuales se obtendrán las muestras necesarias para determinar con precisión razonable la caracterización geotécnica de los materiales, por medio **de Ensayos de Laboratorio** e **Investigaciones geofísica** y establecer posteriormente el modelo geológico-geotécnico de análisis.

Así mismo, la exploración del subsuelo debe estar enfocada en la identificación, tanto de las acciones a considerar sobre la infraestructura a nivel, como el método constructivo más adecuado para la realización de las fundaciones de las estructuras del sistema. Para alcanzar este objetivo, se realizarán las pruebas de campo necesarias, con el fin de establecer las características mecánicas y de resistencia de los diferentes estratos o capas de suelo encontradas en los registros de perforación.

Los sondeos se realizarán con extracción continua de testigo y deberán llegar hasta una profundidad mínima de 30 metros por debajo de la cota prevista para la solera del túnel; en el caso de fundaciones profundas, deberán llegar hasta una profundidad mínima de 4 veces el diámetro por debajo de la cota de la punta; en el caso de fundaciones superficiales se deberá reconocer hasta una profundidad por debajo de la cota prevista para dicha cimentación igual a 1,5 veces el ancho de la losa corrida de cimentación o 2,5 veces el lado de la zapata de mayor dimensión (en cualquier caso, se fijará en el proyecto de reconocimiento). En el caso de los túneles profundos se deberá acordar con el Interventor la profundidad de las perforaciones requeridas.

Las muestras obtenidas durante la exploración del subsuelo serán conservadas en las correspondientes cajas portatestigos. Las muestras serán almacenadas en locales con las condiciones apropiadas de conservación y seguridad, hasta tres (3) meses después de terminado el contrato de consultoría, siendo responsable el Consultor de su guarda y custodia durante este plazo. Un (1) mes antes de vencerse este término el Consultor informará al Cliente de la

proximidad de la entrega de las muestras. Si vencido el término de la custodia el Cliente no hubiere reclamado las cajas portatestigos, el Consultor, antes de proceder a deshacerse de ellas, notificará sus intenciones al Contratante y esperará un plazo máximo de dos meses para recibir respuesta.

3.1.5.1 Plan de investigación geotécnica

Este plan deberá ser preparado por el Consultor y aprobado por el Contratante, estará constituido por los planos en planta y perfil a escala 1:5000 con indicación de las prospecciones y los trabajos de campo a llevar a cabo. El Consultor presentará una memoria justificativa de las labores de reconocimiento geotécnico con base en información de referencia disponible, conceptos geotécnicos y constructivos, así como necesidades y objetivos de los mismos. Los planos tendrán un grado de definición suficiente para que un técnico, que pudiera ser otro distinto de quien los ha preparado, lleve a cabo el replanteo en el campo de cada punto de prospección y para que pueda gestionar la petición de los permisos necesarios de ocupación de espacio público y PMT (Plan de Manejo de Tránsito).

El Consultor propondrá el plan de trabajos a realizar. Una vez aprobado dicho plan por el Contratante, y una vez materializados estos puntos en el terreno por el Consultor, éste será responsable de su posterior localización. También será responsable de la petición de todos los permisos necesarios para la correcta ejecución de los trabajos de campo.

Los trabajos a llevar a cabo, descritos en este plan, serán programados en el tiempo y expresados en un cronograma con indicación de los recursos requeridos (personal, maquinaria de perforación, sondas, penetrómetros, muestreadores, retroexcavadoras, laboratorios, equipos de delineación y equipos de ingeniería), habilitando los plazos y el número de los mismos que permitan asegurar la calidad del trabajo con arreglo a su rendimiento.

El Consultor pondrá a disposición del proyecto todos los recursos de personal, medios y equipos necesarios para la correcta ejecución de los trabajos; así mismo, dispondrá de técnicos calificados para el seguimiento en campo del plan de reconocimiento.

Durante la realización del reconocimiento de campo debe haber constantemente a pie de obra un técnico por parte del Consultor que debe tener la titulación adecuada (Ingeniero Civil), el cual debe redactar un parte diario de los aspectos que puedan resultar de interés al objeto del estudio, así como las incidencias surgidas.

Este plan y su programa de trabajo a realizar serán las herramientas de control de desarrollo de los trabajos. A tal fin, el Consultor entregará semanalmente y/o con la periodicidad que indique el Contratante un informe de las prospecciones y trabajos de campo realizados, que incluirá las fotografías de los puntos de prospección, los registros gráficos y fotografías de los sondeos y los apiques, junto con los porcentajes de avance de las actividades desarrolladas de acuerdo con el cronograma que será presentado por el Consultor al inicio del contrato.

El documento estará confirmado por la memoria, los planos, el presupuesto de la prospección de campo y ensayos de laboratorio que se pagarán como gastos reembolsables, el programa, las especificaciones técnicas de las labores, el Plan de manejo de tráfico y un plan de seguridad y salud.

3.1.5.2 Especificaciones generales de los trabajos

Según el plan de exploración propuesto, en consideración a las exigencias del estudio y las condiciones de las zonas de estudio, el Consultor realizará los siguientes trabajos, regulados por las indicaciones del presente documento:

- Ejecución de sondeos mecánicos con extracción de testigo continuo.
- Toma de muestras inalteradas y parafinadas.
- Identificación, preparación, conservación y envío al laboratorio de las muestras obtenidas.
- Ejecución de ensayos de penetración estándar (SPT).
- Ejecución de ensayos de veleta de campo (SVT) y ensayo de penetrómetro de bolsillo.
- Ejecución de ensayos de penetración dinámica tipo Borros y DPSH.
- Ejecución de ensayos de piezocono estándar y sísmico (CPTU y SCPTU).
- Ejecución de ensayos de Presiómetro (PMT) y Dilatómetro (DMT).
- Ensayos de carga con placa (donde se prevea cimentaciones superficiales)
- Ensayos de permeabilidad tipo Lugeon y Lefranc.
- Instalación de piezómetros de tubo abierto tipo Casagrande.
- Medición y registro de niveles freáticos.

Los trabajos se ejecutarán siguiendo las normas técnicas vigentes de buena práctica, en orden a conseguir una satisfactoria identificación de los terrenos encontrados y la recuperación de muestras representativas. En cualquier caso, el Consultor seguirá las indicaciones que reciba por parte del Contratante.

La campaña geotécnica de exploración del subsuelo se complementará con una campaña exhaustiva de investigación geofísica. En general, se contemplarán,

pero no se limitará, los siguientes tipos de exploración geofísica, en la cantidad que el Contratista estime conveniente y que se incluirán en el informe:

- Sondeos eléctricos verticales (SEV) y sondeos electromagnéticos (SEDT).
- Líneas de reflexión y refracción sísmica.
- Ensayos Downhole.
- Tomografía eléctrica y sísmica.
- Prospecciones con GPR y análisis espectral de ondas de superficie SASW.
- Análisis multicanal de ondas superficiales MASW
- Análisis de micro trepidaciones en arreglo multicanal MAM y Método sísmico de refracción de micro tremores ReMi.

Todo el equipo de trabajo debe estar en buenas condiciones durante el transcurso de la campaña. Si a juicio del Contratante el equipo suministrado es inadecuado, debe ser reemplazado a costa del Consultor por otros equipos adecuados. El Consultor, en todos los trabajos que se le encomienden, debe utilizar sus propios equipos materiales y humanos ofertados, con prioridad respecto a los equipos de sus colaboradores o subcontratistas. Estos equipos no podrán ser sustituidos por otros distintos sin la aprobación expresa previa del Contratante.

El Consultor debe garantizar la realización de todos los trabajos necesarios para la localización y replanteo de los puntos de investigación y registro. En este sentido, se indicarán las coordenadas y cotas de los trabajos de exploración del subsuelo, referenciadas al sistema de georreferenciación. En cualquier caso, el Consultor realizará un informe y la representación en planos de todos los puntos de investigación, junto a un croquis detallado y fotografía en color de cada punto.

El Contratante fijará el sistema y precisión del replanteo y nivelación, en función del tipo de trabajo, su importancia y la existencia de cartografía y/o bases de replanteo suficientemente próximas al área de los trabajos, de acuerdo con las especificaciones técnicas de las actividades de levantamiento topográfico de los presentes términos de referencia.

El Consultor se encargará de la recopilación y oportuna entrega de todos los registros, informes y datos obtenidos o preparados como parte de los trabajos de exploración del subsuelo. Así mismo, se realizará la preparación y entrega del informe final que recoja todos los trabajos y datos obtenidos de los mismos. El informe final debe ir acompañado del capítulo con todos los registros, fotografías y localización de las labores de exploración del subsuelo y ensayos de campo.

El Consultor, con base en los registros de perforación debe presentar perfiles típicos de diseño, los cuales serán el resultado del análisis acoplado (profundidad, estrato, espesor) para cada estructura propuesta. Con base en el planteamiento del perfil o los perfiles típicos de diseño, se debe presentar la descripción y secuencia de ensayos de caracterización física y mecánica de cada uno de los estratos que lo componen para establecer el comportamiento ante solicitaciones externas.

El Consultor debe entregar al Interventor una copia del procedimiento de ejecución a utilizar para aquellos ensayos o trabajos que no estén regulados por una normativa oficial publicada, así como la verificación y calibración de los equipos a utilizar.

El plazo de ejecución de los trabajos deberá ser compatible con los plazos de entrega de los productos de los estudios y diseños de factibilidad.

3.1.6 Exploración Geotécnica para viaductos, estaciones y puentes (Férreos, vehiculares y Peatonales)

Se tendrá en cuenta las siguientes prescripciones generales consideraciones:

- Para la caracterización geotécnica de las estaciones del sistema, realizar como mínimo dos (2) perforaciones mecánicas en cada emplazamiento y un ensayo CPTU.
- Para la caracterización geotécnica de viaductos, y teniendo en cuenta las perforaciones propuestas para el estudio de las estaciones, se deberá realizar el número de sondeos mecánicos necesarios que garantice una distancia máxima entre los mismos de 300 m. Por cada dos sondeos de línea se realizará un ensayo CPTU equidistante de ambos.
- Para la caracterización geotécnica de las zonas donde se ubiquen edificaciones como estaciones, patios, cocheras, centros de transferencias de carga, entre otros, se deberá definir los sondeos a realizarse para caracterizar cada zona de edificación, según se acuerde con la interventora.
- Se debe realizar la ejecución de dos (2) perforaciones por puente vehicular o peatonal a una profundidad mínima de 60 metros y de 30 metros mínimo para puentes peatonales, o donde se presente rechazo. Ensayos de caracterización física y mecánica de los estratos encontrados. (Se debe contar como mínimo con los siguientes ensayos, y sin limitarse a ellos: Humedad natural, granulometría, límites de Atterberg, límites de contracción, peso específico, peso unitario, compresión inconfinada, corte directo, consolidación, Proctor, etc.).

Avenida Calle 24A Nro. 59-42 Torre 4 Piso 2.

PBX: 4848860 – www.ani.gov.coNit.
830125996-9. Código Postal ANI 110221.

- En el caso de que el trazado se aproxime a gasolineras o zonas de almacenamiento de combustibles, se realizará un sondeo para analizar la posible contaminación medioambiental y la afección de la misma a las cimentaciones.
- De todos los reconocimientos realizados se deben dar coordenadas Magna Sirgas, de acuerdo con el levantamiento topográfico efectuado.
- Con base en mapas de amenaza o microzonificación sísmica, el Código colombiano de Puentes CCP-14 y los datos o información secundaria que existan de ensayos de respuesta sísmica en el corredor o áreas aferentes al proyecto se debe presentar una tabla resumen con la descripción de zonas de respuesta sísmica, de los sectores en donde se tenga previsto la construcción de estructuras. En caso de que a criterio del Consultor se requiera la realización de nuevos ensayos de respuesta sísmica local este deberá realizar o incluir la recomendación y definir la especificación de esos para que sean realizados en la siguiente etapa de diseños del proyecto.
- Zona espesor del depósito.
- Descripción geotécnica general.
- Descripción geológica de la zona
- Cargas para diseño estructural de factibilidad, suministradas por el componente de estructuras.

Las perforaciones mecánicas y la toma de muestras de suelo se realizarán como se indica a continuación:

- En los suelos granulares se efectuarán ensayos de penetración estándar (SPT) a intervalos no mayores de 1.50 m y siempre que cambie la naturaleza del terreno.
- En los suelos arcillosos y limosos se tomarán muestras inalteradas a intervalos no mayores de 1.50 m mediante toma-muestras de pared delgada o Shelby, intercaladas con ensayos de veleta de campo (SVT), penetración estándar (SPT) y/o testigos parafinados, de modo que se obtenga una muestra o se realice un ensayo como máximo cada 2.0 m. Las muestras de turba y suelos orgánicos serán obtenidas siguiendo las mismas especificaciones.
- En la medida de lo posible, se tomarán lecturas de penetrómetro de bolsillo en las muestras y/o en los testigos de los sondeos en toda su longitud.

Los ensayos de laboratorio a realizar y su cantidad, serán, como mínimo:

- Identificación y clasificación de suelos: granulometría por tamizado y/o sedimentación y/o límites de Atterberg, a realizar en un mínimo del 50% de las muestras totales.
- Determinación del contenido de humedad natural, densidad seca y peso específico de las partículas en un mínimo del 50% de las muestras inalteradas y testigos parafinados.

- Determinación de contenidos de materia orgánica y sulfatos solubles en suelo en al menos dos (2) muestras por sondeo y adicionalmente en aquellas zonas en donde se prevea la presencia de elementos agresivos.
- Resistencia a la compresión simple en un 50% de las muestras inalteradas y testigos parafinados.
- Ensayos de corte directo y corte torsional en al menos un 30% de los testigos parafinados obtenidos.
- Ensayos triaxiales estáticos tipo CU y CD en el 10% de las muestras inalteradas y testigos parafinados disponibles.
- Ensayos de consolidación unidimensional en un mínimo del 20% de las muestras inalteradas (suelos finos) y testigos parafinados de sondeos localizados en zonas de cimentación superficial (estructuras y/o rellenos).
- Análisis de expansividad (presión de expansión, expansión libre y Lambe) en un mínimo del 20% de las muestras inalteradas (para estratos superficiales de suelos finos de alta plasticidad) y testigos parafinados de sondeos localizados en zonas de cimentación superficial (estructuras y/o rellenos).
- Agresividad de las aguas en el concreto en el 100% de las muestras de agua extraídas. Se determinará el pH de las aguas, CO2 agresivo, contenido en amonio, magnesio, sulfatos y residuos secos.

3.1.7 Exploración Geotécnica para Taludes

- La Información que deberá ser obtenida a partir de sondeos, barrenos, apiques o trincheras. Se realizarán mínimo dos (2) exploraciones geotécnicas por talud, localizadas de tal forma tal que se pueda obtener un perfil geotécnico típico.
- Ensayos de caracterización física y mecánica de los estratos encontrados.
- Descripción geológica de la zona
- Perfil típico del talud y/o cuerpo del deslizamiento.
- Cargas para diseño de factibilidad, de obras de contención y/o mitigación.
- Ficha de diagnóstico actualizada con características principales del talud y/o deslizamiento.
- Información básica del talud en estudio como: - Longitud del talud, - Identificación de sobrecargas o cargas externas, - Presencia de Nivel Freático, Presencia de fisuras de tracción.
- Para las actividades de exploración geotécnica, los ensayos de laboratorio para estabilidad de taludes, sin limitarse a ellos son: humedad natural; granulometría; límites de Atterberg; límites de contracción; peso específico; peso unitario; compresión inconfinada; ensayo de corte directo, en la condición requerida dependiendo el tipo de suelo; consolidación rápida; y consolidación lenta con descarga

3.1.8 Exploración Geotécnica para Redes Húmedas:

- Planos de localización de redes húmedas

- Esquemas de investigación de redes
- Implantación de las alternativas del proyecto
- Exploración del subsuelo: Se deberá realizar como mínimo 1 sondeo o barreno o apique en el área de influencia directa del proyecto en el que se evidencie la interferencia con redes húmedas.
- Ensayos de caracterización física y mecánica de los estratos encontrados
- La Tabla resumen de los ensayos de laboratorio deberán contener como mínimo la siguiente información: clasificación del suelo por SUCS o por AASHTO; límite líquido; índice de plasticidad; descripción de la muestra; compresión inconfinada, y demás información requerida por las empresas propietarias de las redes.

3.1.9 Exploración Geotécnica para Pavimentos

De acuerdo con los requerimientos del proyecto y con la información secundaria disponible, se debe afinar la información de los parámetros geo-mecánicos de los suelos y estructura existente de pavimento que conforman los corredores viales, de esta forma la exploración se debe ver como una ampliación y/o actualización a lo existente. El Consultor debe proyectar la exploración de acuerdo con la magnitud de la obra específica sin desconocer los datos existentes y de acuerdo al presupuesto especificado.

La etapa de exploración y localización de puntos, debe ser una acción conjunta y concertada entre el Consultor, las entidades de servicios públicos, y los propietarios de las estructuras que se hallen en el área aferente al sitio.

Para la exploración y mediciones a realizar se debe tener en cuenta:

- Se debe realizar un diagnóstico vial, a partir de la evaluación superficial (auscultación visual), análisis de transferencia de carga y evaluación geotécnica.
- Para pavimentos existentes se recomienda realizar un diagnóstico donde se realice el análisis de evaluación funcional, a partir de la auscultación visual, evaluación estructural (toma de deflectometría) que verifique el comportamiento del paquete estructural existente, donde se analice su vida remanente y evaluación geotécnica, con el fin de verificar el perfil estratigráfico existente, igualmente se podrán proyectar mediciones de espesores con georradar o realizar la extracción de muestras alteradas e inalteradas con el objeto de validar la calidad de los materiales existentes.
- Se debe presentar en una base de datos georreferenciada (GDB) la información de los ensayos de laboratorio y perfil estratigráfico por calzada de los suelos de subrasante, y de las capas de materiales granulares existentes, en el caso de que la vía, posee estructura de pavimento. La información debe ser presentada por calzada. Para proyectos en donde la

calzada está compuesta por varios carriles, el Consultor debe presentar la información por carril.

- La Información de los ensayos de laboratorio deben contener como mínimo la siguiente información, sin limitarse a estos: Abscisa, Muestra, Profundidad del estrato, Descripción de la muestra, número de sondeo, perforación o apique; número de muestra; profundidad del estrato; clasificación del suelo por SUCS o por AASHTO; humedad natural, límite líquido; índice de plasticidad; descripción de la muestra; clasificación de posible expansividad de los suelos de subrasante, a partir de la obtención de los límites de Atterberg; CBR en condición seca y en condición de inmersión; sectorización geotécnica; CBR de diseño; módulo resiliente de diseño, parámetro que podrá ser determinado a partir de medición directa, o a partir de correlaciones con CBR o deflectometría; y tabla de proyección de frecuencias horarias y TPD, de acuerdo con el estudio de tránsito.

Mediciones e información para pavimentos:

- Implantación geométrica del trazado definido, la exploración geotécnica del proyecto en el área de influencia directa acorde con lo definido en la etapa de prefactibilidad.
- Volúmenes vehiculares a partir de información primaria o volúmenes vehiculares obtenidos a partir de información secundaria, siempre y cuando se tenga una información secundaria muy cercana al proyecto.
- Tasas de crecimiento de tránsito.
- Proyección de frecuencias horarias y TPD.
- Determinación del estado de condición superficial del pavimento, actividad que puede ser desarrollada por medio de la metodología PCI.
- Capacidad de soporte de la subrasante a partir de la medición directa en campo, esta información se debe obtener mediante la ejecución de apiques espaciados máximo cada 250 metros por calzada en el caso de pavimentos y a una profundidad de 1.50 metros o hasta que se encuentre el nivel de la subrasante, mientras que para espacio público los apiques se realizarán espaciados máximos cada 250 metros por tramo, o 1 apique por cada intersección.
- A partir de la caracterización geotécnica desarrollada en el corredor vial de estudio, se debe presentar la tabla resumen de ensayos de laboratorio y los correspondientes perfiles estratigráficos.
- Se debe realizar una tabla de sectorización geotécnica por parámetros encontrados.
- Para espacio público, se debe tomar un apique por ejes conectores.
- Cuando las actividades a desarrollar en espacio público corresponden a mejoramiento o a actualización de la superficie del andén, No es necesaria la ejecución de apiques, puesto a que solamente se mejorarán los materiales a superficie, teniendo como procedimiento, el cambio de la textura o el terminado.

- Sección transversal recomendada en los componentes de geometría y espacio público.
- Estudio de posibles fuentes de materiales.
- Estudio de posibles plantas de asfalto para pavimentos flexibles.
- Estudio de posibles plantas de concreto hidráulico en caso de que el pavimento se proyecte en rígido.
- Identificación de las entidades interesadas en el desarrollo del proyecto, oficios de radicación y/o actas de reuniones interinstitucionales en las que se definan acuerdos que tengan incidencia en el proyecto.
- Riesgos asociados a la alternativa seleccionada.
- Estimación de cantidades o índices para la alternativa seleccionada, que permitan establecer un costo preliminar del componente.
- Conclusiones y recomendaciones a tener en cuenta en la siguiente etapa.

3.1.10 Ensayos y actividades de campo

3.1.10.1 Toma de muestras y testigos parafinados

La toma de muestras inalteradas para el reconocimiento en suelos blandos se realizará mediante la utilización de toma muestras de pared delgada o tubo Shelby. Antes de proceder a la toma de una muestra, se retirarán todos los materiales sueltos o alterados del fondo del sondeo.

La toma de la muestra se efectuará a velocidad constante, hincando lentamente el toma-muestras en el terreno mediante presión. Una vez hincado el toma-muestras, la muestra se cortará del terreno por rotación, sacándose seguidamente el toma-muestras con las debidas precauciones. En ningún caso se aceptará el hincado de muestreadores de pared delgada o tubo Shelby por medio de golpes o rotación.

Extraído el toma-muestras y separado el varillaje, se eliminarán cuidadosamente el menos 3,0 cm de la muestra por ambos extremos y se rellenarán inmediatamente los huecos con parafina líquida. Los extremos del tubo que aloja a la muestra deberán protegerse con tapas cuidadosamente ajustadas. Los tubos que contengan las muestras se etiquetarán para su identificación, almacenándose cuidadosamente para su envío al laboratorio.

El toma-muestras de pared delgada para reconocer los suelos blandos, tendrá de 1 a 2 mm de espesor de pared, longitud mínima de 45 cm y diámetro mínimo interior de 70 mm. No podrán utilizarse toma muestras de diámetros inferiores sin la aprobación del Contratante. Este tipo de toma muestras, en número razonable, con los complementos necesarios para su uso, estará permanentemente en obra como dotación básica del equipo de sondeos.

La toma muestras seleccionado para reconocer el resto de los suelos, será de pared gruesa de 4 mm de espesor, longitud mínima de 60 cm y diámetro mínimo interior de 70 mm. La secuencia y demás condiciones de hinca de estos toma-muestras serán las mismas que para la realización del ensayo SPT, con idea de facilitar la correlación del golpeo con dicho ensayo.

Cuando la resistencia del terreno sea elevada, impidiendo la toma de muestras inalteradas de longitud suficiente para su posterior ensayo en el laboratorio y el terreno sea cohesivo, se sustituirá la toma de muestra inalterada por el parafinado de un trozo de testigo obtenido de la mayor longitud posible (> 35 cm). Estas porciones, previa limpieza superficial, se recubrirán con material no absorbente, y el conjunto se protegerá con un baño de parafina, de espesor suficiente para asegurar la invariabilidad de sus condiciones de humedad.

En circunstancias especiales, el Contratante podrá autorizar otros sistemas de protección de las muestras, siempre que se garantice su inalterabilidad. El diámetro mínimo de las muestras parafinadas será de 70 mm. Cada porción de testigo seleccionado se etiquetará para su correcta identificación.

Las normas de aplicación para la toma de muestras inalteradas en sondeos serán la ASTM D-3550/84 y ASTM D-1587/94.

3.1.10.2 Toma de muestras en saco

En los apiques se tomarán muestras alteradas en saco para la realización de ensayos en el número y cuantía que se determinen. La cantidad por cada muestra será la suficiente para poder realizar al menos granulometría completa, límites de Atterberg, un ensayo Proctor modificado y un CBR. Dicha cantidad será determinada en función del tamaño máximo de los granos del material. Se considera que el peso de cada muestra deberá ser de la menos unos 60 Kg. para los materiales más finos.

El envasado de las muestras se realizará en sacos de plástico de suficiente consistencia para su transporte y de modo que se evite durante el mismo la pérdida de finos. De cada muestra en saco se tomará una fracción suficiente para la determinación de la humedad natural. Esta fracción se recogerá en un envase hermético. Cada envase será etiquetado correctamente para su identificación, utilizando al menos dos (2) etiquetas adhesivas, una de las cuales, se colocará en el interior del saco como medida de seguridad.

Este tipo de muestras se podrá tomar bien en superficie o de cortes de taludes, apiques o sondeos con barrera helicoidal.

3.1.10.3 Envase, protección y transporte de muestras

Todas las muestras y testigos se envasarán convenientemente para evitar su alteración durante el transporte o almacenamiento, y se enviarán a la mayor brevedad posible al laboratorio. Las cajas deberán estar siempre protegidas de la intemperie.

Las muestras inalteradas deberán conservarse en el laboratorio en un ambiente de temperatura y humedad controladas. Únicamente se procederá a la apertura de los envases de las muestras que vayan a ensayarse y sólo en el momento de la realización de los ensayos correspondientes. El resto de las muestras deberán conservarse en condiciones óptimas de humedad y temperatura.

3.1.10.4 Ensayos de penetración estándar, SPT

Para el ensayo tipo SPT se empleará un toma-muestras de cuchara partida (split spoon) acoplado al extremo inferior de una barra de 32 mm. La maza de golpeo debe pesar 63.5 Kg. y la altura de caída será 75 cm. En el ensayo se contará y anotará el número de golpes para 15, 30, 45 y 60 cm de avance de toma-muestras.

Tanto el equipo utilizado como el procedimiento operativo del ensayo se ajustarán a lo establecido en la Norma ASTM D 1586-84.

3.1.10.5 Ensayos de veleta de campo SVT (vane-test y vane-borer)

Para la realización del ensayo de veleta de campo o shear-vane-test SVT, se utilizará un molinete formado por cuatro aspas de relación H=2D, siendo H la altura de las aspas y D el diámetro equivalente.

El equipo y las mediciones para el presente ensayo deben seguir las especificaciones y procedimiento de la norma ASTM D 2573-72.

3.1.10.6 Ensayos de penetración estática piezocono, CPTU y SCPTU

Como ya se ha comentado anteriormente, se realizarán como mínimo un (1) ensayo CPTU en cada estación. Además, por cada dos sondeos de línea se realizará un ensayo CPTU equidistante de ambos.

El penetrómetro debe ser del tipo cono holandés de 10 cm2 de sección y capaz de medir independientemente la resistencia en punta, el rozamiento lateral y la presión de poros. Los resultados se adjuntarán en gráficos adecuados y con los datos precisos de localización, cota, etc., como en el caso de las penetraciones

dinámicas. Igualmente, se realizará una fotografía a color dónde se pueda observar claramente su localización.

Los equipos para este ensayo irán equipados con sistemas de adquisición de datos, capaces de registrar en relación con el tiempo la presión por punta, por fuste e intersticial (señales analógicas o acústicas que se transforman en señales digitales y éstas se restituyen en forma gráfica o numérica mediante un ordenador situado en superficie).

Tanto el penetrómetro y el equipo del ensayo de referencia, como su procedimiento, ejecución y presentación de resultados se ajustarán a lo establecido en la norma ASTM D 5778.

3.1.10.7 Ensayos de permeabilidad "in situ"

Se procederá a la realización de ensayos de permeabilidad in-situ, para la caracterización hidrogeológica de todos los materiales encontrados en la exploración del subsuelo. El tipo de ensayo, Lugeon o Lefranc, se decidirá según la naturaleza y estado del terreno.

En roca se realizarán ensayos Lugeon, reservándose los ensayos Lefranc para suelos granulares o cohesivos y rocas blandas o rocas duras muy fracturadas. Si al realizar ensayos Lefranc, la inestabilidad del terreno lo aconsejará, se procedería a rellenar con gravilla el tramo de ensayo.

En ambos casos se aportará la descripción del método seguido, y las relaciones presión-admisión, carga de agua-admisión, para cada tramo ensayado, con el fin de poder estimar la permeabilidad y/o inyectabilidad del terreno.

Cuando sea necesario, se realizarán pruebas de bombeo con el fin de determinar con mejor precisión la permeabilidad del terreno en los estratos que se considere importantes para el desarrollo de la obra.

Para realizar los ensayos de permeabilidad in-situ, se debe seguir la recomendación de las normas ASTM aplicables.

3.1.10.8 Observaciones del nivel freático

El Contratista deberá llevar un registro del nivel freático en al menos un (1) sondeo por estación y al menos (1) sondeo por cada túnel y, no sólo durante la perforación, sino también tras su finalización, al menos hasta la terminación de

la campaña. Para ello, en los sondeos seleccionados se instalará un piezómetro de tubo abierto tipo Casagrande.

Estos tubos tendrán un diámetro útil comprendido entre 50 y 100 mm y las uniones serán soldadas o roscadas. Los extremos de estos tubos se deben tapar y proteger adecuadamente. Durante la instalación de los piezómetros, se deberá proveer de material de filtro para la zona de medición del nivel piezométrico, así como de bentonita granulada para sellar y aislar el filtro y lechada de bentonita-cemento para completar el relleno entre el espacio anular de la perforación y la tubería.

Los tubos piezométricos se nivelarán cuidadosamente, dejando en el extremo libre una referencia de nivel. El Contratista tomará las medidas necesarias para evitar el enterramiento del sondeo antes de la colocación del tubo piezométrico. Si fuera necesario, el tubo se colocará antes de retirar completamente la entubación. Los tubos, además de permitir el control diferido del nivel freático, podrán ser utilizados en su momento para el rellenado u obturación de los sondeos. Si estuviera previsto realizar algún ensayo especial en el interior del sondeo, se podrá ordenar la colocación de un revestimiento provisional de las características que se precisen.

En los sondeos en curso se controlará la posición del agua en los mismos, indicando la profundidad a que se encuentra el sondeo, y la fecha y hora de las lecturas. Durante la realización de cada campaña de campo el Contratista efectuará diariamente como mínimo dos mediciones del nivel freático en todos los sondeos terminados, debidamente espaciadas o con la secuencia que se indique según la duración de los trabajos.

Cuando se perfore en seco, se anotará el nivel al que se detectó por primera vez el agua y la posterior evolución de los niveles de ésta. Si se perfora con agua, se realizarán al menos dos achiques de la misma, controlando los niveles de achique y las posibles recuperaciones de nivel, de modo que se garantice la comprobación y posición del nivel freático. Por tanto, el Contratista deberá proponer y en su caso tener, a pie de obra, el adecuado equipo para realizar estos achiques (cacillo, mini bomba, aire comprimido, etc.).

El Contratista llevará un registro de estos niveles, en el que se hará constar junto a cada medición, la fecha y hora en que fue efectuada, así como todas las incidencias que a su juicio puedan tener influencia en los niveles medidos, lluvias, etc. En caso de que fuera preciso o conveniente, se instalarán piezómetros de modo que puedan aislarse los distintos acuíferos interceptados en cada sondeo.

Todos los registros de nivel freático deben tomarse de acuerdo con lo especificado en la norma ASTM D-4750.

3.1.10.9 Toma de muestras de agua

Cuando se encuentra agua en el terreno en alguno de los puntos de reconocimiento (sondeos, apiques, etc.), se procederá a la toma de muestras para el estudio de su agresividad y/o potabilidad. Si se hubiese perforado con adición de agua, además de la muestra de agua del propio terreno, se adjuntará una muestra del agua utilizada para perforar.

Las muestras de agua se envasarán en recipientes limpios de plástico o vidrio, dotados de cierre hermético, procediéndose al llenado de estos después de enjuagarlos con el agua a muestrear. Cada una de las muestras se etiquetará correctamente indicando su procedencia.

La toma de muestra de agua para análisis químicos se ejecutará de acuerdo con lo establecido en la Norma UNE 41.122/95 o su equivalente.

3.1.11 Ensayos de laboratorio

Sobre las muestras obtenidas en las actividades de campo, se realizarán todos los ensayos necesarios para conseguir la adecuada caracterización del suelo atravesado, tanto desde el punto de vista del diseño como de la construcción, definiéndose los parámetros geotécnicos básicos al efecto.

Los ensayos de laboratorio comenzarán en el menor tiempo posible y se harán simultáneamente junto con la ejecución de los trabajos de campo. El tipo de ensayos a efectuar dependerá del tipo de suelo localizado y la calidad de las muestras extraídas.

El procedimiento de ejecución será el regulado por las normas descritas en el cuadro siguiente o bien, en caso de no existir, estas seguirán las reglas de la buena práctica establecidas y de acuerdo con lo definido con la Interventoría.

El Contratista deberá realizar los ensayos necesarios por estrato, que le permitan determinar los diferentes parámetros de resistencia, deformación y compresibilidad del suelo, así como anexar los resultados de cada una de las pruebas ejecutadas. Los parámetros de resistencia y deformabilidad estarán en función del cálculo de la capacidad portante y estabilidad de excavaciones, en tanto que los parámetros de compresibilidad permitirán establecer los asentamientos a corto, mediano y largo plazo.

Dentro de la ejecución y análisis de los ensayos de laboratorio y de campo, el Contratista deberá identificar suelos difíciles (colapsables, expansivos o dispersivos), con el objetivo de efectuar un detallado análisis de las obras de prevención. El Contratista deberá reconocerlos, identificarlos y diseñar las alternativas de tratamiento para asegurar la estabilidad de las obras.

Todos los ensayos se realizarán en un laboratorio acreditado por el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC), bajo la norma ISO/IEC 17025:2005 para la realización de ensayos de mecánica del suelo (SE).

Los resultados obtenidos de los laboratorios de ensayos deben indicar fuera de la norma de ensayo el equipo utilizado y certificado de calibración a fin de establecer su calidad.

El resultado mismo que se halle dentro de las características del suelo en particular, cada resultado debe entregarse independientemente indicando la norma de ensayo que la rige ASTM, NTC, INVIAS.

Se debe entregar los registros crudos de campo y los perfiles construidos con las propiedades halladas en los resultados de laboratorio. Esto debe estar incluido en la base de datos georreferenciada (GDB).

El nombre y datos de dicho laboratorio se deberán incluir en la documentación técnica que se acompañará a la proposición.

ID	DENOMINACIÓN	Unidad	NORMA	
	GEOTECNIA Y PAVIMENTOS			
1	Apertura y descripción de muestras	Un	I.N.V. E - 102 - 07	
2	Preparación de cada muestra para cualquier número de ensayos.	Un	ASTM D7015	
3	Apique hasta 3m de profundidad de 1,5X1,5 - Extracción de muestras, CBR - relleno y adecuación con equipo mecánico del sitio - incluye transporte	Un		
4	Determinación de humedad natural.	Un	I.N.V. E - 122 - 07	
5	Determinación de densidad aparente.	Un	ASTM D-7263	

ID	DENOMINACIÓN	Unidad	NORMA
6	Determinación de peso específico del suelo.	Un	ASTM 0-4254
7	Determinación del límite líquido de los suelos	Un	I.N.V. E-125
8	Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos	Un	I.N.V. E-126
9	Determinación del límite de retracción.	Un	I.N.V. E-125-07, I.N.V. E-126-07
10	Determinación del tamaño de las partículas de los suelos.	Un	I.N.V. E- 123-07
11	Granulometría del material por sedimentación o lavado	Un	ASTM WK11776
12	Equivalente de arena.	Un	I.N.V. E - 133 - 07
13	Relación de Soporte del Suelo (CBR DE LABORATORIO)	Un	I.N.V. E - 148 - 07
14	Consolidación unidimensional de suelos	Un	INV E 151: 2013
15	Comprensión Simple en suelos.	Un	I.N.V. E - 152 - 07
16	Determinación de la resistencia al corte: método del corte directo en suelos no cohesivos	Un	I.N.V. E - 154 - 07
17	Determinación de la resistencia al corte: método del corte directo en suelos cohesivos	Un	I.N.V. E - 154 - 07
18	Corte torsional en suelos	Un	ASTM D-6467
19	Compresión Triaxial estático en suelos	Un	I.N.V. E - 153 - 07
20	Compresión Triaxial cíclico en suelos.	Un	ASTM D-5311

ID	DENOMINACIÓN	Unidad	NORMA	
21	Columna resonante en suelos	Un	ASTM 04015	
22	Velocidad de onda de corte en laboratorio (bender element)	Un	ASTM WK23118	
23	Colapsabilidad en edómetro según norma.	Un	I.N.V. E - 157 - 07	
24	Presión máxima de expansión, en muestra inalterada o remodelada.	Un	ASTM D-3877	
25	Expansión libre, en muestra inalterada o remodelada en edómetro.	Un	ASTM D-3877	
26	Ensayo de dispersión o erosión interna (Pin-hole)	Un	ASTM 04647	
27	Proctor normal.	Un	I.N.V. E - 141 - 07	
28	Proctor modificado.	Un	ASTM 0.1557	
29	Análisis granulométrico de los agregados grueso y fino.	Un	I.N.V. E - 213 - 07	
30	Densidad relativa y absorción del agregado grueso o fino	Un	INV E 223: 2013	
31	Determinación coeficiente desgaste de Los Ángeles	Un	I.N.V. E - 218 - 07, I.N.V. E - 219- 07	
32	Compresión simple en roca, incluso tallado y refrentado.	Un	ASTM D-2938	
33	Compresión simple en roca con bandas extensométricas.	Un	ASTM D-3148	
34	Corte sobre discontinuidades rocosas	Un	ASTM 04554	
35	Triaxial en roca	Un	ASTM 04406	
36	Ensayo a tracción indirecta (brasileño)	Un	ASTM D-3967	
37	Determinación de la dureza Schmidt	Un	ASTM 0.5873	

ID	DENOMINACIÓN	Unidad	NORMA
38	Determinación del desmoronamiento de rocas blandas	Un	ASTM 0-4644
39	Porcentaje de absorción de agua	Un	ASTM C-97
40	Carbonatos (cuantitativo)	Un	ASTM 04373
41	Determinación del contenido de sulfatos solubles	Un	ASTM C-1580
42	Determinación de la materia orgánica	Un	ASTM D-2974
43	Perforación con Brocas y Muestreo para Investigaciones en el Sitio	Un	I.N.V. E - 108 - 07
44	Análisis químico completo de agua para calificar su agresividad al hormigón, determinando: pH, sustancias orgánicas solubles en éter, sulfatos, sustancias solubles en agua, cloruros, hidratos de carbono	Un	TGL-11357
45	Clasificación de suelos y de mezclas de suelos y agregados con fines de construcción de carreteras (Sistema AASHTO)	Un	I.N.V. E-180
46	Sistema unificado de clasificación de suelos para propósitos de ingeniería	Un	I.N.V. E-181
47	Densidad de Campo Método del Cono de Arena	Un	
48	Extracción de Núcleos de concreto asfáltico (Diámetros 2", 3", 4" y 6")	Un	
49	PERFORACIÓN MECÁNICA POR ROTACIÓN EN SUELO BLANDO para profundidades hasta 10m. Incl. recuperación continua muestras, descripción visual estratos encontrados, lecturas de campo, tipo y profundidad de muestras recuperadas, SPT, Veleta	m	
50	PERFORACIÓN MECÁNICA POR ROTACIÓN EN SUELO BLANDO para profundidades desde 10m hasta 30m. Incl. recuperación continua muestras, descripción visual estratos encontrados, lecturas de campo, tipo y profundidad de muestras recuperadas, SPT, Veleta	m	
51	PERFORACIÓN MECÁNICA POR ROTACIÓN EN SUELO BLANDO para profundidades desde 30m hasta 50m. Incl. recuperación continua muestras, descripción visual estratos encontrados, lecturas de campo, tipo y profundidad de muestras recuperadas, SPT, Veleta	m	
52	PERFORACIÓN MECÁNICA POR ROTACIÓN EN SUELO BLANDO para profundidades superiores a 50m. Incl. recuperación continua muestras, descripción visual	m	

Avenida Calle 24A Nro. 59-42 Torre 4 Piso 2.

PBX: 4848860 – www.ani.gov.coNit.
830125996-9. Código Postal ANI 110221.

ID	DENOMINACIÓN	Unidad	NORMA
	estratos encontrados, lecturas de campo, tipo y profundidad de muestras recuperadas, SPT, Veleta		
53	PERFORACIÓN MECÁNICA POR ROTACIÓN EN SUELO DURO para profundidades hasta 10m. Incl. recuperación continua muestras, descripción visual estratos encontrados, lecturas de campo, tipo y profundidad de muestras recuperadas, SPT, Veleta	m	
54	PERFORACIÓN MECÁNICA POR ROTACIÓN EN SUELO DURO para profundidades desde 10m hasta 30m. Incl. recuperación continua muestras, descripción visual estratos encontrados, lecturas de campo, tipo y profundidad de muestras recuperadas, SPT, Veleta	m	
55	PERFORACIÓN MECÁNICA POR ROTACIÓN EN SUELO DURO para profundidades desde 30m hasta 50m. Incl. recuperación continua muestras, descripción visual estratos encontrados, lecturas de campo, tipo y profundidad de muestras recuperadas, SPT, Veleta	m	
56	PERFORACIÓN MECÁNICA POR ROTACIÓN EN SUELO DURO para profundidades superiores a 50m. Incl. recuperación continua muestras, descripción visual estratos encontrados, lecturas de campo, tipo y profundidad de muestras recuperadas, SPT, Veleta	m	
57	PERFORACIÓN MECÁNICA POR ROTACIÓN EN COLUVIÓN/ALUVIÓN para profundidades hasta 10m. Incl. recuperación continua muestras, descripción visual estratos encontrados, lecturas de campo, tipo y profundidad de muestras recuperadas, SPT, Veleta	m	
58	PERFORACIÓN MECÁNICA POR ROTACIÓN EN COLUVIÓN/ALUVIÓN para profundidades desde 10m hasta 30m. Incl. recuperación continua muestras, descripción visual estratos encontrados, lecturas de campo, tipo y profundidad de muestras recuperadas, SPT, Veleta	m	
59	PERFORACIÓN MECÁNICA POR ROTACIÓN EN COLUVIÓN/ALUVIÓN para profundidades desde 30m hasta 50m. Incl. recuperación continua muestras, descripción visual estratos encontrados, lecturas de campo, tipo y profundidad de muestras recuperadas, SPT, Veleta	m	
60	PERFORACIÓN MECÁNICA POR ROTACIÓN EN COLUVIÓN/ALUVIÓN para profundidades superiores a 50m. Incl. recuperación continua muestras, descripción visual estratos encontrados, lecturas de campo, tipo y profundidad de muestras recuperadas, SPT, Veleta	m	

ID	DENOMINACIÓN	Unidad	NORMA	
61	PERFORACIÓN MECÁNICA POR ROTACIÓN EN ROCA para profundidades hasta 10m. Incl. recuperación continua muestras, descripción visual estratos encontrados, lecturas de campo, tipo y profundidad de muestras recuperadas, SPT, Veleta	m		
62	PERFORACIÓN MECÁNICA POR ROTACIÓN EN ROCA para profundidades desde 10m hasta 30m. Incl. recuperación continua muestras, descripción visual estratos encontrados, lecturas de campo, tipo y profundidad de muestras recuperadas, SPT, Veleta	m		
63	PERFORACIÓN MECÁNICA POR ROTACIÓN EN ROCA para profundidades desde 30m hasta 50m. Incl. recuperación continua muestras, descripción visual estratos encontrados, lecturas de campo, tipo y profundidad de muestras recuperadas, SPT, Veleta	m		
64	PERFORACIÓN MECÁNICA POR ROTACIÓN EN ROCA para profundidades superiores a 50m. Incl. recuperación continua muestras, descripción visual estratos encontrados, lecturas de campo, tipo y profundidad de muestras recuperadas, SPT, Veleta	m		
65	Ensayo de CPTU hasta 30 m	m		
66	Ensayo de CPTU hasta 50 m	m		
67	Ensayo de CPTU hasta 30 m (Cono Sísmico SCPTu)	m		
68	Ensayo de CPTU hasta 50 m (Cono Sísmico SCPTu)	m		
69	Ensayo de Downhole hasta 30 m (Sin perforación, ni tubería de PVC)	m		
70	Ensayo de Downhole hasta 50 m (Sin perforación, ni tubería de PVC)	m		
71	Sistema (Sondeo) eléctrico vertical (30 metros de profundidad)	m		
72	Detección de redes mediante barrido con georradar	Un		
73	Toma de deflexiones con equipo de alto rendimiento (FWD o HWD) para evaluación de capacidad estructural en pavimento flexible	Punto		
74	Levantamiento de Fallas para determinar el PCI (Norma ASTM D 6433-11) con equipo de alto rendimiento (incluye calibración, patronamiento, movilización de equipo y vehículo escolta)	km-Car		
75	Medición de espesores en pavimento flexible con georradar y actividad de perforación para validación	km-Car		

ID	DENOMINACIÓN	Unidad	NORMA	
	de espesores y calibración y patronamiento de equipos			
76	Ensayo de permeabilidad *in situ* tipo Lugeon	Un	ASTM D4630 - 19	
77	Ensayo de permeabilidad *in situ* tipo Lefranc	Un	ASTM D4631 - 18	

3.1.12 Investigación geofísica

Las actividades de exploración geofísica estarán encaminadas a complementar el modelo geológico- geotécnico de análisis, junto con la caracterización de los materiales encontrados durante la campaña geotécnica. En general, su programación debe evaluar los siguientes aspectos:

- Determinación de la estratigrafía y posición del nivel freático en el perfil geotécnico.
- Identificación de acuíferos y zonas de fallas geológicas, presencia de discontinuidades y zonas fracturadas.
- Evaluación Hidrogeológica: Análisis del comportamiento del agua subterránea, incluyendo: Características de los acuíferos presentes y su interacción con las unidades litológicas. Medición de niveles de agua y sus variaciones estacionales. Evaluación del potencial de contaminación del agua subterránea durante la construcción.
- Perfil de velocidades de ondas de corte (Vs), ondas de compresión (Vp) y resistividades en el terreno.
- Identificación de la profundidad del basamento rocoso y/o zonas con alto contraste de impedancia.
- Tomografía eléctrica y sísmica del perfil geotécnico.
- Localización de redes de servicios y estructuras enterradas.

En los siguientes subnumerales se describen los diferentes tipos de investigación geofísica a utilizarse a lo largo del Proyecto, con el fin de complementar la información geotécnica disponible.

3.1.12.1 Sondeos eléctricos verticales SEV y electromagnéticos SEDT

El equipo de instrumentación estará formado por un milivoltímetro de estado sólido con lectura mínima de 0.1 mV y escalas de medida de 1 mV a 100V, un miliamperímetro con lectura mínima de 0.3 mA y un rango de medidas hasta

300 mA, un acumulador de batería de 400 V y electrodos impolarizables de material poroso y cobre.

Los datos obtenidos en campo deberán interpretarse en gabinete. Una vez interpretadas las curvas de resistividades, se presentarán los resultados con los valores de resistividad natural en Ohmios y los valores de espesor en metros, confeccionándose perfiles geoeléctricos que han de correlacionarse de una forma lógica con la geología de la zona. El error entre los valores de resistividad obtenidos en campo y los calculados en gabinete no superará el 5%.

En el caso de que la expansión lateral de las capas sea menor que la apertura del dispositivo de medida o bien si existen contrastes laterales de resistividad, se podrán sustituir los SEV por sondeos electromagnéticos en el dominio del tiempo (SEDT).

Los SEDT aportan una mayor focalización de las medidas según el tamaño del bucle que se emplee, a su vez función de la penetración requerida. Los quipos de SEDT habrán de tener las características adecuadas al rango de profundidades a investigar (tiempos de muestreo, etc.).

Todas las investigaciones realizadas se reflejarán en un plano de planta, que formará parte del informe final, donde se incluirán los perfiles realizados, las curvas de resistividades y toda la información que sea necesaria para complementar el perfil geotécnico de análisis.

3.1.12.2 Líneas de reflexión y refracción sísmica

Los trabajos geofísicos para la obtención de perfiles geotécnicos mediante la técnica de líneas de reflexión y refracción sísmica se realizarán con un equipo capaz de trabajar con registros analógico y digital y con geófonos de 10 Hz, tanto horizontales como verticales.

Cada equipo tendrá un mínimo de doce (12) canales independientes con resolución de ganancias, amplificación de la señal recibida y con memoria independiente para cada canal. Deberá observarse la señal en pantalla CRT y obtenerse los registros mediante fotografía o registro analógico o impresora incorporada de papel autosensible.

El número mínimo de disparos a efectuar por línea será de tres (uno central y dos extremos) en el caso de seis geófonos; cinco en el caso de doce geófonos (uno central, dos extremos y dos exteriores), y siete de 24 geófonos (tres centrales, dos extremos y dos exteriores). Se proporcionará el registro digital de

cada disparo y las curvas dromocrónicas del conjunto de la línea. Con los datos obtenidos en campo, se elaborarán unos perfiles con la velocidad sísmica de ondas de corte y compresión, Vs y Vp, respectivamente. Así mismo, se indicará el espesor de cada capa encontrada y se analizará su correspondencia con lo descrito en el perfil geotécnico de los sondeos.

Se redactará un informe indicando las conclusiones sobre presencia de discontinuidades, zonas fracturadas y constantes elásticas del terreno. Se incluirá un plano de planta con la situación de los reconocimientos efectuados, que formará parte del informe final.

3.1.12.3 Ensayos Down-hole y testificación geofísica de sondeos

La testificación geofísica de sondeos se define como un conjunto de técnicas que conducen al conocimiento de diferentes características de los materiales atravesados por un sondeo mecánico mediante la interpretación de un registro continuo o diagrafía.

En el caso específico de ensayos Down-hole, se dispondrá de una sonda con geófono de componente triaxial (2 horizontales y 1 vertical) y un sismógrafo, en donde se registrarán los tiempos de viaje de ondas S y P a través del terreno en profundidad. Las mediciones se realizarán por cada metro de avance de la sonda dentro de la perforación, tanto en ascenso como en descenso dentro de la tubería.

Por otro lado, las diagafías que se realizarán pueden ser combinaciones de los siguientes: gamma natural, gamma-gamma, neutrón-neutrón, parámetros eléctricos (resistividad-potencial eléctrico), sónica de onda completa y térmica.

Los registros se realizarán, tanto en el descenso como en el ascenso de la sonda por el interior del sondeo, considerándose ambos como un único perfil. Las medidas se realizarán utilizando cada una de las sondas correspondientes con un equipo electrónico que interprete adecuadamente las señales enviadas por la sonda y que sea capaz de indicar en cada momento la posición de la sonda, con una precisión de centímetros y la velocidad de la misma.

Con los datos obtenidos se elaborará un informe final que contenga las diagrafías correctamente representadas, la interpretación litológica de las mismas y las distintas características de los materiales atravesados, los datos del sondeo mecánico que pudieran ser de interés para su interpretación y un plano de situación en planta con las investigaciones realizadas. Así mismo, se indicará cual es el software y/o el método a aplicar para la interpretación litológica o paramétrica de las diagrafías.

3.1.12.4 Prospecciones con geo-radar GPR

El geo-radar se basa en la emisión de impulsos electromagnéticos, de muy corta duración, en la banda UHF/VHF, que se repiten con una determinada frecuencia.

La frecuencia a emplear será la adecuada para estudiar los niveles superiores del terreno, con la resolución adaptada al espesor de la capa más fina. En consecuencia, las antenas y conjuntos de los equipos a utilizar serán capaces de operar en el rango de frecuencias más adecuado a la profundidad y resolución a alcanzar.

Se indicará el método de procesado de la señal y el software a emplear, así como las constantes dieléctricas estimadas para obtener la escala de profundidades. Esta escala debe estar avalada y correlacionada mediante los datos de espesores obtenidos de apiques manuales o mecánicas, previamente realizadas, situadas en el perfil geofísico.

El Contratante podrá exigir la ejecución posterior de alguna calicata en puntos de perfil elegidos al azar y/o sobre puntos de anomalías geofísicas, para comprobar la precisión de los espesores suministrados por el geo-radar. Esta precisión en la medida o determinación de espesores estará comprendida en el intervalo de (+3% y -3%).

Por otro lado, el geo-radar servirá para la detección de redes de servicios y estructuras enterradas que puedan verse afectadas durante la ejecución de las campañas de campo y la obra misma.

3.1.12.5 Tomografía eléctrica y sísmica

Las tomografías eléctricas y sísmicas tienen por objeto determinar la distribución real de la resistividad de un perfil de medidas de resistividad aparente, obtenidas con prospecciones eléctricas de corriente continua y de velocidades de onda del subsuelo a lo largo del mismo perfil por medio de información de ondas de superficie, complementada con líneas de refracción sísmica y ensayos downhole.

Por medio de estos ensayos, se presentará una imagen del perfil del terreno en la resolución adecuada, junto con las principales características de los materiales encontrados.

La presentación de resultados contendrá el perfil del subsuelo a escala horizontal 1:5000 y vertical 1:500, siendo la superficie del terreno fiel reflejo de la cartografía.

3.1.12.6 Análisis multicanal de ondas superficiales MASW

La prospección por medio de MASW tiene como objeto determinar el perfil de velocidades de onda de corte (v_s) del subsuelo, a partir de la medición de ondas superficiales de forma activa (p.e. impacto con herramientas apropiadas). Se realiza el registro usando un receptor multicanal de mínimo 24 canales con frecuencias entre 1 Hz y 30 Hz. Con la interpretación de la medición de ondas activas es posible obtener perfiles con profundidades de aproximadamente 30 m.

Con el objeto de obtener información en profundidades mayores a la obtenida con la medición activa (aproximadamente 100 m), se debe complementar la medición activa con la medición pasiva (p.e. tráfico de vehículos, paso de maquinaria). La medición pasiva se denomina ReMi (refracción de microtremores) para arreglos lineales o MAM (Análisis de microtremores en arreglo multicanal) para arreglos bidimensionales.

Con los datos obtenidos en campo, se elaborarán unos perfiles con la velocidad sísmica de ondas de corte Vs. Así mismo, se indicará el espesor de cada capa encontrada y se analizará su correspondencia con lo descrito en el perfil geotécnico de los sondeos.

Se redactará un informe indicando las conclusiones sobre presencia de discontinuidades, zonas fracturadas y constantes elásticas del terreno. Se incluirá un plano de planta con la situación de los reconocimientos efectuados, que formará parte del informe final.

3.2 DISEÑOS DE FACTIBILIDAD

En esta etapa se deberá ejecutar el **Plan de Investigación Geotécnica** presentado y aprobado en la etapa de **Debida Diligencia.**

De acuerdo con la normatividad aplicable y con las necesidades definidas en el diagnóstico, el Consultor debe desarrollar los diseños de ingeniería.

Los criterios presentados en este documento corresponden a los criterios básicos para la elaboración de los Estudios Geotécnicos, pero será responsabilidad del Consultor realizar las actividades y análisis que permitan elaborar un estudio confiable.

En la etapa diseño de factibilidad considerando la información disponible de la exploración geotécnica realizada, los análisis correspondientes al componente

Avenida Calle 24A Nro. 59-42 Torre 4 Piso 2.

PBX: 4848860 – www.ani.gov.coNit.
830125996-9. Código Postal ANI 110221.

de geotecnia y pavimentos se deben tener en cuenta las consideraciones descritas a continuación de acuerdo a las estructuras contempladas para el Proyecto.

Dado que la ubicación y tipos de ensayos a realizar de algunos puntos de exploración dependerán de definiciones del trazado, ubicación de edificaciones y tipos de estructuras que se lograrán durante el avance de estudios y diseños factibilidad de otros componentes del Proyecto, el **Plan de Investigación Geotécnica** deberá plantearse y ejecutarse en más de una etapa.

Dentro del alcance de la etapa de Debida Diligencia se deberá realizar la versión inicial del plan, el cual debe incluir todos los aspectos metodológicos, logísticos y de gestión de calidad de las actividades a realizar y la primera definición de puntos de exploración a realizar sobre sectores definidos del trazado.

Posteriormente, durante el avance de la consultoría se deberá plantear por los menos una versión adicional del plan, en la cual se actualice este y se definan los puntos de exploración y ensayos restante que se requieran para lograr los insumos requeridos para los diseños geotécnicos de todas las estructuras del Proyecto.

La temporalidad y relación del Plan de Investigación Geotécnica, en sus distintas etapas, con el demás componente de los estudios y diseños de la Consultoría, deberán ser propuestos por el Consultor en su Plan de Trabajo para lograr los objetivos y plazos de los distintos componentes de los estudios y diseños de factibilidad.

3.2.1 Consideraciones Geotécnicas para excavaciones

Sea a cielo abierto o por túnel: este aspecto es aplicable a los diseños de las estaciones y tramos del Proyecto que serán deprimidos, al igual que el diseño de protecciones y/o traslados de redes.

Para el caso de excavaciones a cielo abierto se debe analizar la estabilidad de las paredes o talud y con esta las estructuras cercanas sean edificaciones o redes o cualquier otra que se halle dentro del área de influencia del proyecto y la estabilidad del fondo.

En el caso de túneles se debe evaluar la estabilidad de construcciones cercanas y el sistema de redes o cambios en los esfuerzos, deformaciones, y cualquier otro aspecto relacionado con el sistema de construcción.

Se modelará según el tipo de material que se halle en el medio según sea en condiciones no drenada o drenada, en el momento de la construcción y posteriormente, indicando todas y cada una de las cargas que pudieran tener influencia en el comportamiento de la estabilidad del proceso de excavación.

En el caso de existencia de aguas establecer los procesos de control y bombeo a fin mantener la estabilidad de las estructuras cercanas. De igual manera conociendo el régimen hidráulico, proyectar los sistemas de drenaje que garantice que la estructura deprimida se mantenga sin agua libres, pero que no pierda la estabilidad las áreas aferentes.

Se tendrá en cuenta las deformaciones elásticas inmediatas; expansión, compresión.

Se indicará el método de estabilización y/o contención; sean temporales o definitivos más adecuado y modelado según los procesos o etapas de excavación, especificando el tipo de obra de estabilización utilizado y sus características técnicas

Se debe indicar como afectaría el proceso constructivo en las estructuras cercanas, redes o cualquier otra estructura existente en el área aferente a la obra especifica de excavación.

Se recomendará los procesos y obras de protección necesarias o su traslado en caso de redes.

Se deberá modelar el comportamiento del suelo con la nueva estructura en condición inicial y con el tiempo, interacción suelo estructura, la modelación se debe hacer con las metodologías analíticas, **y verificado por modelaciones de elementos finitos**, indicando el programa utilizado.

En el caso de redes las modelaciones, comportamientos, protecciones o traslados deben ser socializados con las empresas de servicios públicos.

Se debe entregar presupuesto detallado con las especificaciones de materiales y construcción, que deben cumplir la Normativa INVIAS vigentes.

Se ha indicado los tópicos mínimos para el análisis de una excavación, pero si existen situaciones que amerita otros tratamientos se debe estudiar en compañía del Interventor.

El Consultor debe proyectar un sistema de monitoreo con equipos para la etapa de construcción del proyecto, así, es imprescindible la utilización de piezómetros e inclinómetros para hacer seguimiento a las deformaciones en el momento de construcción, y en un dado caso poder tomar decisiones en obra, como también retroalimentar los diseños propuestos.

3.2.2 Consideraciones Geotécnicas para cimentaciones

El diseño o recomendaciones de cimentación debe tener en cuenta dos aspectos los cuales deben ser compatibles: como es la capacidad portante y los asentamientos

- Capacidad portante: calculada con las metodologías aceptadas en el país y regidas por el CCP-14 y la NSR-10, o vigente, Titulo H.
- Asentamientos: Estos deben ser calculados hallando la consolidación primaria y secundaria que determine las deformaciones que sufrirá el depósito de suelo y su afectación a superficie y con las estructuras cercanas. Calculada con las metodologías aceptadas en país y regidas por el CCP-14 y la NSR-10, Titulo H
- Especificar si son necesarios materiales de mejoramiento y sus especificaciones teniendo en cuenta la Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras 2013 – INVIAS. Se debe verificar con modelación de elementos finitos, indicando el programa utilizado y sus características.
- Se debe entregar presupuesto detallado con las especificaciones de materiales y construcción.
- Memorias de cálculo y registros de ensayos de laboratorio que soporten las propuestas técnicas desarrolladas para cada solución especifica

3.2.3 Consideraciones Geotécnicas para Taludes

- Se debe verificar la exploración geotécnica desarrollada durante la etapa de factibilidad, revisando que se hayan efectuado como mínimo dos (2) sondeos, uno en la corona del talud y otro en la pata o parte inferior; en todo caso se debe complementar la información existente a partir de la ejecución, de tal manera que quede caracterizado cada uno de los estratos que forman parte de la zona inestable, hasta que se encuentre un estrato competente.
- Se deben realizar las pruebas de campo necesarias para conocer las características mecánicas y de resistencia de los diferentes estratos encontrados, en donde debe quedar indicado la presencia o no del nivel freático y su variación durante los sondeos, el resultado de resistencias in-situ del suelo, así como el porcentaje de recobro y RQD según su aplicación.
- Por cada estrato o capa de suelo encontrado se realizarán ensayos de: clasificación; granulometría y límites de Atterberg; humedad natural;

ensayos de compresión inconfinada; consolidación unidimensional; corte directo, para la posterior obtención de los parámetros C y Φ, dependiendo del tipo de material encontrado en el perfil estratigráfico.

- Las perforaciones deben incluir ensayos in-situ, como el SPT y el ensayo de veleta, y se deben reportar los valores de resistencia en el sitio, de tal manera que se logre obtener un conocimiento amplio de las características del perfil estratigráfico.
-

3.2.4 Consideraciones para el Análisis Patológico de Estructuras

En el caso de estudios patológicos de estructuras y/o redes existentes.

- Recopilación información existente. Se debe acopiar:
  - Estudios de suelos de la estructura especifica.
  - Planos de construcción de la cimentación.
  - Libro de obra del proceso constructivo de la cimentación con recomendaciones para construcción en condiciones especiales, si las hay.
  - Resultado del ensayo de carga en el caso de puentes.
- Exploración del subsuelo: la cual dependerá exclusivamente de la información existente pues si no se encuentra datos suficientes queda a criterio del Consultor con la aprobación del Interventor para verificar las características geomecánicas del depósito y la caracterización de la cimentación existente.
- Análisis de la información: El resultado de este análisis dictaminara la bondad de utilizar la estructura tal como está con las nuevas condiciones de esfuerzo y deformación o su refuerzo o cambio.
- Los aspectos de diseño y proceso constructivo ya fueron tratados en el numeral anterior
- Se debe entregar presupuesto detallado con las especificaciones de materiales y construcción.

3.2.5 Consideraciones para el Plan de Manejo de Tráfico

Dado que algunas perforaciones pueden llegar a generar afectación al tráfico vehicular o peatonal se hace necesario que el Consultor adelante las acciones para que las autoridades de movilidad o de tránsito o entidad competente en cada ente territorial, aprueben los Planes de manejo de tránsito o instrumento aplicable, cumpliendo con lo estipulado en el capítulo de obras temporales del Manual de Señalización vigente del Mintransporte o norma aplicable.

3.2.6 Consideraciones para el diseño de subestructura de la vía férrea:

De acuerdo con solución de vía (en balasto, en placa, embebida) definida para el proyecto en cumplimiento a lo establecido en la especificación técnica ET-15:

VÍA FÉRREA, y con base en los resultados de investigación geotécnica, la definición de las características del material rodante y de demanda, el Consultor debe realizar el diseño de la subestructura de vía.

3.2.7 Consideraciones para el diseño de pavimentos

Para el diseño a nivel de factibilidad de pavimentos se deben tener en cuenta los siguientes parámetros y consideraciones presentados a continuación:

3.2.7.1 Consideraciones y Parámetros de Diseño para Pavimentos Rígidos

Para el diseño de pavimentos rígidos, se utilizará el método de la PCA 1984, adicionalmente se debe realizar la verificación con métodos empírico – mecánicos, ASSHTO 1993 y/o elementos finitos.

A continuación, se presentan los parámetros de diseño que se deben tener en cuenta para el diseño de pavimento rígido:

- Período de diseño: 20 años
- Consumo de fatiga máximo: 100%
- Consumo por erosión máximo de la capa de soporte de la losa:
    - Para mezclas asfálticas o materiales que presenten similar comportamiento ante la degradación por efecto del agua y el tránsito, el consumo máximo permitido es del 150%.
    - Material granulares básicos estabilizados con cemento100%
- Factor de seguridad de carga (FSC): 1.10 – 1.20, según importancia de la vía
- Factor de seguridad por repeticiones de carga (FSRC): 1.10
- Módulo de rotura del concreto (MR): Se deben obtener valores de módulo de rotura entre 4.3 y 4.5 Mpa. El diseño del pavimento debe elaborarse con un solo valor de MR.
- La relación largo / ancho de las losas debe entre los siguientes rangos 1.0<L/A<1.25 siendo: L: Longitud de la losa, A: Ancho de la losa, H: Espesor de la losa.
- Distribución de cargas por eje: El Consultor debe seleccionar el espectro de cargas de los vehículos según las características de tránsito obtenidas por medio de los estudios de tránsito o demanda.
- Instrumentación: El Consultor debe plantear un esquema de instrumentación, el cual debe ser implementado durante la construcción, para hacer el seguimiento de las diferentes variables de análisis detallando las frecuencias de medición en el tiempo y el alcance de estas (carga, deflexión, esfuerzos, gradiente térmico, etc.).

- Especificaciones de referencia: Especificaciones técnicas de materiales y construcción INVIAS, o aquella que la sustituya.

De la misma manera se presentan las consideraciones a tener en cuenta:

- La modulación de las losas con relaciones de esbeltez mayor a 1.25 o aquellas con interferencia de pozos, alcantarillados o cajas de servicios públicos deben aparecer en un capítulo independiente, dentro de las memorias de cálculo donde se especifiquen las consideraciones de diseño y los detalles constructivos (planos y esquemas).
- Las losas de concreto que queden ubicadas en zonas de intersecciones viales a nivel o bajo consideraciones especiales (zonas de estaciones y parqueos) deben diseñarse teniendo en cuenta la variable tránsito (diferente al resto del corredor vial) y detalles particulares de juntas (construcción, contracción y de expansión, entre otras).
- Las juntas deben diseñarse tomando en consideración la modulación de las losas, las características del concreto a emplear y las condiciones ambientales específicas del área del proyecto.
- Se debe realizar el diseño de las barras de amarre y de transferencia para los pavimentos rígidos de manera que garanticen un adecuado desempeño estructural.
- En el diseño de modulación de las losas, se deben considerar los esfuerzos y deformaciones causados por gradientes térmicos en cuanto a fenómenos de alabeo.
- En el caso de efectuarse el diseño con efecto berma, el Consultor debe soportar técnicamente dicho mecanismo, mediante modelos de transferencia y disipación de esfuerzos en el borde de las losas.
- Se debe realizar un análisis de sensibilidad del espesor del pavimento respecto a la vida útil del proyecto.
- Adicional a los espesores de las diferentes capas que componen la estructura de pavimento, el Consultor debe efectuar los diseños de drenajes superficiales y subsuperficiales que permitan mantener un adecuado comportamiento estructural y funcional del corredor vial durante la vida útil del proyecto.
- La proyección de mezclas asfálticas bajo la losa de concreto hidráulico, no deben ser consideradas como efecto estructural, y que afecte directamente el espesor de la misma, estas deben ser tenidas en cuenta como capa de nivelación y anti erosión.

3.2.7.2 Consideraciones y Parámetros de Diseño para Pavimentos Flexibles:

Para las capas de rodadura de mezclas asfálticas convencionales, mejoradas con polímeros y de alto módulo, se utilizarán metodologías de diseño de pavimentos flexibles como: el método Shell 1978 con el adendo 1984, con verificación con métodos empírico – mecánicos, AASHTO 1993 y elementos finitos.

A continuación, se presentan los parámetros de diseño que se deben tener en cuenta para el diseño de pavimento flexible:

- Período de diseño: 10 años, teniendo en cuenta actividades de mantenimiento periódico y rutinario.
- Ejes Equivalentes: 8.2 toneladas
- Distribución de cargas por eje: El Consultor debe seleccionar el espectro de cargas de los vehículos, según las características de tránsito obtenidos por medio de los estudios de tránsito o demanda.
- Instrumentación: El Consultor debe plantear un esquema de instrumentación para hacer el seguimiento de las diferentes variables de análisis detallando las frecuencias de medición en el tiempo y el alcance de las mismas (carga, deflexión, esfuerzos, gradiente térmico, etc.)
- Especificaciones de Referencia: Especificaciones generales de construcción de carreteras 2013 INVIAS, y Normas de ensayo de materiales 2013 INVIAS, o aquellas que las sustituya.

3.2.7.3 Consideraciones para el Espacio público asociado:

Con base en los resultados de la investigación geotécnica realizada para el diseño de pavimentos, el Consultor debe identificar y diagnosticar posibles condiciones especiales del subsuelo como suelos colapsables, expansivos, fisurados o dispersivos, así como los posibles efectos de la vegetación que puedan afectar las estructuras de espacio público asociado a las vías.

Deben determinarse las condiciones de carga particulares o condiciones especiales del proyecto que requieran diseños y recomendaciones geotécnicas adicionales como accesos a garajes, zonas de parqueo, pompeyanos y sótanos bajo andenes entre otros.

Para las actividades de espacio público asociado, en donde se lleven acciones de mejoramiento, no es necesario realizar exploración geotécnica.

Avenida Calle 24A Nro. 59-42 Torre 4 Piso 2.

PBX: 4848860 – www.ani.gov.coNit.
830125996-9. Código Postal ANI 110221.

Los materiales empleados para espacio público asociado deben cumplir con los parámetros indicados en las Especificaciones INVIAS vigentes.

3.2.7.4 Consideraciones para el diseño de intervenciones sobre pavimentos existentes

Para el diseño de intervenciones sobre pavimentos existentes se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- A partir de los estudios deflectométricos se debe hacer una evaluación del estado estructural del pavimento.
- De acuerdo con el cálculo de cargas vehiculares proyectadas, se debe hacer un cálculo de vida remanente.
- Si la vida remanente es inferior al periodo de análisis (10 años para pavimentos flexibles y 20 años para pavimentos rígidos) se deben analizar alternativas de intervención.
- La solución propuesta debe considerar mantener o reciclar la mayor cantidad de materiales existentes.
- Como última alternativa se propondrá la reconstrucción total del pavimento.

3.2.7.5 Consideraciones Generales de Diseño de pavimentos

El Consultor con el soporte de programas de evaluación de deterioro de pavimentos, debe estimar el flujo de recursos apropiado para garantizar un adecuado estado funcional y estructural del pavimento durante su vida útil, el cual debe conservar el mejor balance económico y operativo del proyecto en función de diversas estrategias de mantenimiento.

Las vías que se vean afectadas por el plan de manejo de desvíos (tránsito desviado y generado por transporte de escombros y material de construcción), deben ser analizadas de manera particular desde el componente de pavimentos por medio de un diagnóstico y evaluación deflectométrica para asegurar que al final de la etapa de construcción del corredor estudiado, presenten igual o mejor condición funcional y estructural que el presentado inicialmente.

3.2.8 Plan De Auscultación

El Contratista deberá diseñar el Plan de auscultación donde definirá la cantidad mínima y la ubicación de instrumentación necesaria para realizar los monitoreos geotécnicos, para que sea realizado a futuro por el contratista de construcción o quién este a cargo de ejecución de Proyecto.

Los objetivos del plan son los siguientes:

- Control hidrogeológico de suelos, en profundidad mediante piezómetros abiertos y de cuerda vibrante.
- Control de deformaciones y desplazamientos del terreno en superficie (subsidencias), originados por los trabajos de excavación. Por ese motivo se deberán instalar hitos de nivelación superficial e hitos combinados, así como tubos inclinométricos y extensómetros incrementales (si la Dirección de Obra lo considerase necesario se podrían llegar a utilizar extensómetros de varillas).
- Control de movimientos en edificaciones y estructuras próximas a la zona de las obras mediante topografía manual y automatizada basada en el uso de prismas y teodolitos (manuales y robotizados).
- Control de estructuras integrantes de la propia obra mediante inclinómetros verticales biaxiales en pantalla, inclinómetros verticales y/o extensiómetros incrementales en el trasdós de pantalla, extensómetros en pantallas e hitos combinados para el control de coordenadas XYZ.
- Presentación de informes periódicos de las lecturas de la instrumentación.

Seguimiento de la instrumentación:

Para definir la frecuencia de lectura de cada instrumento en concreto, se ha de considerar, por un lado, la distancia del frente de excavación a la sección en la que el instrumento en cuestión se encuentra cuanto más cerca este, mayor deberá ser la frecuencia de lectura.

4 PRODUCTOS

Para cada etapa, aparte de los productos o entregables específicos se debe entregar una base de datos georeferenciada y catalogada (en formatos .gdb o .dwg o similares de tipo SIG o CAD, según aplique). La base de datos debe contener la información de referencia usada y la información de diseño que se ha producido en el entregable, y debe estar construida en línea con las reglas codificación y estructura de la información definida en la *Especificación Técnica - Gestión del proyecto de estudios y diseños (ET-22)* y estar en concordancia con el Plan de Ejecución BIM a desarrollarse en la consultoría.

4.1 ETAPA DE DEBIDA DILIGENCIA

Dentro del entregable de Debida diligencia de la información, se debe presentar un informe en el que consolide los principales hallazgos de la recopilación y análisis de la información existente y, con base en lo anterior preparar y presentar el **Plan de Investigación Geotécnica.**

Como resultado del proceso de recopilación y análisis de información, y considerando integralmente otros de los estudios, el Contratista deberá presentar el **Plan de investigación Geotécnica** a realizar en el producto de Diseño de Factibilidad,

4.2 ETAPA DE FACTIBILIDAD TÉCNICA

Para la etapa de factibilidad a continuación se presentan los productos que deben ser incluidos de acuerdo con las estructuras que se contemplan en el proyecto.

Los informes de los estudios y diseños geotécnicos contendrán como mínimo la siguiente información y capítulos:

- Memoria descriptiva de las actividades desarrolladas.
- Esquema de la localización de las perforaciones.
- Registros de perforaciones debidamente referenciados en cuanto a cotas y
- Abscisas del proyecto.
- Fotografías en color del emplazamiento de cada uno de los ensayos.
- Recopilación y análisis de información disponible.
- Geología, Geomorfología e Hidrogeología.
- Exploración del subsuelo.
- Ensayos de campo y laboratorio.
- Caracterización geomecánica del trazado y modelo geológico-geotécnico de análisis.
- Análisis de Riesgos geotécnicos,
- Recomendaciones de diseño y apéndices donde se relacionen
- Entrega de datos crudos y demás soportes del estudio geotécnico.

Análisis geotécnicos con estimaciones de cargas de diseño y capacidades portantes, estabilidad de terraplenes, excavaciones, presiones sobre estructuras, muros y pantallas si se diseñan, redes de flujo y comportamiento sísmico de la infraestructura.

Evaluación de las diferentes alternativas de cimentación, excavaciones y las obras complementarias que se estimen convenientes.

Conclusiones y recomendaciones geotécnicas que incluyan la determinación de métodos constructivos, programa de auscultación, soluciones geotécnicas a los posibles problemas, recomendaciones constructivas y diseño de la infraestructura.

Avenida Calle 24A Nro. 59-42 Torre 4 Piso 2.

PBX: 4848860 – www.ani.gov.coNit.
830125996-9. Código Postal ANI 110221.

Así mismo, se realizará una evaluación específica de los siguientes aspectos:

Los factores de seguridad a tener en cuenta en la construcción del proyecto, los cuales estarán en total acuerdo con la normatividad y el Código Colombiano de Construcción Sismo Resistente aplicable.

Drenaje, edificaciones vecinas en sitios críticos donde el eje de la línea se localice a menos de 15 m de edificaciones, procesos constructivos y otros aspectos que ameriten estudio.

En caso de que se detecten situaciones especiales del subsuelo, como la presencia de suelos orgánicos, expansivos, colapsables, dispersivos, susceptibles de licuación o cualquier otro estado que implique inestabilidad de las estructuras, se indicará su localización y se darán recomendaciones específicas sobre el tratamiento que debe recibir este suelo.

Recomendaciones de obras complementarias que sean requeridas para el adecuado funcionamiento de las estructuras a implementar, en las cuales debe incluirse el diseño y planos requeridos.

Conclusiones acerca de los criterios establecidos para el estudio, resultados obtenidos y alternativas estudiadas.

Evaluación de alternativas y recomendaciones del proceso constructivo y de cualquier otro aspecto que se considere conveniente para cumplir satisfactoriamente con el objetivo del Proyecto, en lo referente a los diferentes elementos constitutivos del sistema (cimentaciones para estaciones, edificios, etc.).

Identificación de las entidades interesadas en el desarrollo del proyecto, oficios de radicación y/o actas de reuniones interinstitucionales en las que se definan acuerdos que tengan incidencia en el proyecto.

Estimación de cantidades o índices para la alternativa seleccionada, que permitan establecer un costo preliminar del componente.

Conclusiones y recomendaciones a tener en cuenta en la siguiente etapa (incluye aspectos técnicos, aspectos constructivos y plan de exploración).

Especial énfasis se debe hacer por parte del Consultor a los análisis sísmicos de las diferentes estructuras, en razón a la importancia y ubicación del proyecto;

Para tal efecto, se deben garantizar los parámetros sísmicos con los cuales se efectúen los diseños a partir de pruebas de campo y laboratorio, acompañado de la normativa de estudios de respuesta sísmica local y de la Microzonificación Sísmica disponible.

4.2.1 Reconocimiento del terreno y ensayos de campo

4.2.1.1 Sondeos

Por cada sondeo se adjuntará una ficha técnica, en el formato correspondiente, que contenga la siguiente información:

a) Contratista.
b) Denominación contractual.
c) Identificación del sondeo y referencia a los datos de levantamiento.
d) Coordenadas y cota del terreno.
e) Fecha de comienzo y terminación.
f) Identificación de la máquina utilizada.
g) Tabulación de los resultados y detalles de todos los sondeos, tipo de batería, corona, útiles de perforación, diámetro del testigo y datos de revestimiento con información completa de la disposición vertical y clasificación de los materiales atravesados.
h) Para cada muestra obtenida, las cotas del principio y del fondo, tipo, longitud y número (todas las muestras se numerarán consecutivamente).
i) Número de golpes necesarios para cada 15 cm de penetración de los toma-muestras tipo cuchara partida.
j) Cota del nivel freático y observaciones sobre el agua freática.
k) Observaciones sobre variaciones en la pérdida del líquido de perforación.
l) Método y cuantía de presión utilizada para introducir el toma-muestras de pared delgada y longitud y diámetro de cada una de las muestras obtenidas.
m) Fotografía en color de todas las cajas portatestigos y de la zona donde se hayan realizado todos y cada uno de los sondeos incluyendo la sonda posicionada durante su ejecución y la boca del sondeo finalizado.
n) Registro de la testificación.
o) Resultados de los ensayos de campo y de laboratorio.

Además, en los sondeos en roca se incluirá también:

a) Longitud y porcentaje de testigo obtenido para cada maniobra longitud perforada. Numeración correlativa de las muestras.
b) Tipo de roca, datos estructurales (buzamiento de las capas, estratificación, juntas, relleno y esquistosidad).
c) Cota de cada cambio de tipo de roca.
d) Cotas en las que se observa cambios en la velocidad de avance del sondeo, con las observaciones precisas.

e) Parámetros de perforación (velocidad de avance, presión, par revoluciones; en relación con la profundidad), cuando se soliciten expresamente; en caso contrario, sólo se anotarán observaciones cualitativas de dichos parámetros.

4.2.1.2 Apiques

Por cada calicata se adjuntará una ficha técnica que contenga la siguiente información:

a) Fecha de ejecución.
b) Datos comunes a todas las prospecciones.
c) Nombre del Contratista.
d) Denominación contractual.
e) Identificación y coordenadas de posición.
f) Cota del terreno.
g) Fecha/s de ejecución.
h) Maquinaria utilizada.
i) Condiciones sobre excavabilidad del terreno, estabilidad de las paredes y posición del nivel freático.
j) Columna estratigráfica del corte visualizado en la cata, indicando espesores y naturaleza del terreno atravesado y profundidad a la que se han tomado las muestras.
k) Resultados de los ensayos de laboratorio (ensayos de identificación, Proctor, CBR, químicos, etc.).
l) Fotografías en color de la cata y de la zona de ejecución.

4.2.1.3 Ensayos de penetración dinámica o estática

Por cada ensayo de penetración se adjuntará una ficha técnica que contenga lo siguiente:

a) Contratista y nombre del técnico responsable designado por la misma.
b) Denominación contractual.
c) Identificación del ensayo de penetración y referencia a los datos de levantamiento.
d) Cota del terreno.
e) Fecha de ensayo.
f) Identificación de la maquinaria utilizada.
g) Profundidad obtenida y cota del fondo del reconocimiento.
h) Altura de caída y peso de la masa.
i) En los penetrómetros dinámicos, número de golpes necesarios para cada 20 cm de penetración con sus gráficos correspondientes.
j) En los penetrómetros estáticos, resistencia en punta y rozamiento lateral, con sus gráficos, incluidos los de presión intersticial en los piezoconos y de disipaciones de la misma.
k) Dimensiones de la punta y diámetro del varillaje.

Avenida Calle 24A Nro. 59-42 Torre 4 Piso 2.

PBX: 4848860 – www.ani.gov.coNit.
830125996-9. Código Postal ANI 110221.

l) Cota del nivel freático cuando sea posible su medición o estimación.
m) Sistema de golpeo (automático o manual).
n) Fotografía en color del emplazamiento de cada uno de los ensayos.

4.2.1.4 Investigación geofísica

En la presentación de los resultados de la investigación geofísica, deberán adjuntarse los siguientes datos:

a) Contratista y nombre del técnico responsable designado por la misma.
b) Denominación contractual.
c) Plano de replanteo en planta de los perfiles investigados.
d) Identificación de la prospección.
e) Coordenadas y cotas del terreno.
f) Fecha de su ejecución.
g) Nombre del técnico u operador.
h) Perfiles de las alineaciones analizadas, junto con los datos que han sido utilizados para la interpretación. Método analítico seguido.
i) Planos de isopacas o isobatas, con curvas de nivel cada 2 m.
j) Características de los horizontes obtenidos.
k) Descripción de los equipos utilizados, medios auxiliares y cuantas observaciones sean precisas, en relación con la ejecución.

4.2.1.5 Ensayos de carga con placa

Se adjuntará el corte del terreno visualizado en la calicata abierta, especialmente las características del suelo bajo la placa.

Asimismo, se adjuntarán los partes de campo del ensayo, junto con la curva presión-asentamiento y un croquis del montaje realizado, además de la caracterización del suelo ensayado y de fotografías en color.

4.2.1.6 Estaciones geomecánicas

Se presentará una ficha individualizada de cada estacón tomada en campo, conteniendo la descripción de los apartados siguientes:

a) Denominación de la estación.
b) Situación.
c) Tipo de discontinuidades analizadas.
d) Orientación de las discontinuidades.
e) Rugosidad de la discontinuidad.
f) Continuidad de la misma.
g) Espaciado medio medido.
h) Tipo de relleno, con observaciones organolépticas del mismo.
i) Presencia de aguas, oxidaciones, etc.

j) Cada estación será perfectamente identificable en los planos de planta geológica que se realizarán para el estudio geotécnico.

4.2.1.7 Ensayos de laboratorio

En todos los ensayos se presentarán los valores numéricos y gráficos correspondientes, adaptados a los impresos normalizados en cada caso. En su defecto, podrán utilizarse impresos distintos, siempre y cuando sean suficientemente claros y precisos para poder deducir de ellos los parámetros buscados. Todas las hojas de resultados y gráficos de los ensayos vendrán firmadas originalmente por el jefe de laboratorio y con el sello del mismo.

Cada ensayo estará referenciado con el origen de la muestra, profundidad, tipo de muestra, obra de procedencia, fecha de obtención, fecha de ensayo y cuantos otros datos se consideren precisos para la mejor interpretación del mismo. Si se estimara conveniente, el Contratante podría solicitar las hojas de cálculo utilizadas para la realización de cada ensayo.

4.2.2 Geotecnia para Fundaciones (Edificaciones, Estaciones, Puentes férreos, vehiculares y peatonales)

Se debe efectuar la caracterización geomecánica del depósito de suelo presente en la zona de ubicación de cada uno de los puentes vehiculares y peatonales, con base en el estudio geotécnico, y efectuando la exploración y los ensayos de campo y de laboratorio necesarios para determinar el comportamiento físico-mecánico del suelo; con el objeto de realizar la interpretación técnica que permita evaluar los posibles mecanismos de falla, las condiciones de servicio adecuadas, suministrar los parámetros y las recomendaciones necesarios para el diseño y la construcción de las cimentaciones y obras relacionadas.

El diseño de fundaciones para las estaciones, edificaciones y de los puentes férreos, vehiculares y peatonales, se debe presentar dentro del informe de geotecnia:

- Perfil Estratigráfico.
- Análisis Geotécnico.
- Análisis de Capacidad Portante y Deformación.
- Resultados, Conclusiones y Recomendaciones; detallando los trabajos desarrollados a partir de la campaña geotécnica y ensayos de laboratorio.

El Contratista adjuntará en una base de datos georreferenciada (GDB) para cada *sondeo mecánico*, que contenga la siguiente información:

a) Nombre del Contratista.

Avenida Calle 24A Nro. 59-42 Torre 4 Piso 2.

PBX: 4848860 – www.ani.gov.coNit.
830125996-9. Código Postal ANI 110221.

b) Denominación contractual.

c) Identificación del sondeo y referencia a los datos de levantamiento.

d) Coordenadas y cota del terreno.

e) Fecha de comienzo y terminación.

f) Identificación de la máquina utilizada.

g) Tabulación de los resultados y detalles de todos los sondeos, tipo de batería, corona, útiles de perforación, diámetro del testigo y datos de revestimiento con información completa de la disposición vertical y clasificación de los materiales atravesados.

h) Para cada muestra obtenida, las cotas del principio y del fondo, tipo, longitud y número (todas las muestras se numerarán consecutivamente).

i) Número de golpes necesarios para cada 15 cm de penetración de los toma-muestras tipo cuchara partida.

j) Cota del nivel freático y observaciones sobre el agua freática.

k) Observaciones sobre variaciones en la pérdida del líquido de perforación.

l) Método y cuantía de presión utilizada para introducir el toma-muestras de pared delgada y longitud y diámetro de cada una de las muestras obtenidas.

m) Fotografía en color de todas las cajas portatestigos y de la zona donde se hayan realizado todos y cada uno de los sondeos incluyendo la sonda posicionada durante su ejecución y la boca del sondeo finalizado.

n) Registro de la testificación.

o) Resultados de los ensayos de campo y laboratorio.

p) Además, en los sondeos en roca se incluirá también:

q) Longitud y porcentaje de testigo obtenido para cada maniobra longitud perforada. Numeración correlativa de las muestras.

r) Tipo de roca, datos estructurales (buzamiento de las capas, estratificación, juntas, relleno y esquistosidad).

s) Cota de cada cambio de tipo de roca.

t) Cotas en las que se observa cambios en la velocidad de avance del sondeo, con las observaciones precisas.

u) Parámetros de perforación (velocidad de avance, presión, par revoluciones; en relación con la profundidad), cuando se soliciten

expresamente; en caso contrario, sólo se anotarán observaciones cualitativas de dichos parámetros.

Por cada ensayo de *penetración*, el Contratista adjuntará una ficha técnica que contenga lo siguiente:

a) Contratista y nombre del técnico responsable designado por la misma.

b) Denominación contractual.

c) Identificación del ensayo de penetración y referencia a los datos de levantamiento.

d) Cota del terreno.

e) Fecha de ensayo.

f) Identificación de la maquinaria utilizada, dimensiones de la puntaza y diámetro del varillaje.

g) Profundidad obtenida y cota del fondo del reconocimiento.

h) resistencia en punta y rozamiento lateral, con sus gráficos, incluidos los de presión intersticial en los piezoconos y de disipaciones de la misma.

i) Cota del nivel freático cuando sea posible su medición o estimación.

j) Fotografía en color del emplazamiento de cada uno de los ensayos.

El Contratista debe realizar los ensayos necesarios por estrato, para conocer los parámetros que le permitan determinar la resistencia, deformación y compresibilidad del suelo de fundación y anexar los resultados de cada una de las pruebas ejecutadas. Para ello deben justificarse con los respectivos ensayos de laboratorio los parámetros obtenidos.

En todos los ensayos de laboratorio se presentarán los valores numéricos y/o gráficos correspondientes, adaptados a los impresos normalizados en cada caso. En su defecto, podrán utilizarse impresos distintos, siempre y cuando sean suficientemente claros y precisos para poder deducir de ellos los parámetros buscados. Todas las hojas de resultados y gráficos de los ensayos vendrán firmadas originalmente por el jefe de laboratorio y con el sello del mismo.

Cada ensayo estará referenciado con el origen de la muestra, profundidad, tipo de muestra, obra de procedencia, fecha de obtención, fecha de ensayo y cuantos otros datos se consideren precisos para la mejor interpretación del mismo. Si se estimara conveniente, el Contratante podría solicitar las hojas de cálculo utilizadas para la realización de cada ensayo.

Se debe establecer el perfil de diseño y plantear al Contratante para su estudio y concepto de conformidad, un completo plan de ensayos de laboratorio. En

principio a las muestras alteradas ya descritas se deben practicar ensayos de: humedad natural; clasificación (granulometría y límites de plasticidad),

A las muestras inalteradas, se les debe practicar ensayos de: humedad natural; clasificación; peso unitario; compresión inconfinada; corte directo, triaxial y consolidación.

Para los efectos de evaluación del potencial de licuación de los suelos debe practicarse los ensayos de triaxial cíclico con esfuerzo controlado y en las muestras de suelo granular se deben ejecutar ensayos que permitan determinar la permeabilidad.

La anterior información será condensada en perfiles estratigráficos por sondeo dentro de los planos, específicamente en el alzado de cada puente proyectado debe aparecer la columna estratigráfica detallada y la ubicación exacta de las mismas en los apoyos correspondientes, consignando los valores de los parámetros de resistencia y compresibilidad provenientes de los ensayos practicados a la profundidad exacta de muestreo.

Consideraciones al respecto:

- En los registros de campo, debe quedar indicada la información de la existencia o no del nivel freático y su variación durante los sondeos.
- Se deben presentar los resultados de resistencias in-situ del suelo, así como el porcentaje de recobro y RQD (en caso de que aplique).
- Para la caracterización geotécnica de la parcela en la que se ubique la zona de Patio / Talleres se realizarán los sondeos que sean necesarios atendiendo a lo indicado (y aplicable considerando un alcance de factibilidad) en el Código NSR-10 o la norma que la reemplace según las características que finalmente tenga esta edificación.
- Para el ramal de acceso a cocheras, se realizarán los sondeos mecánicos necesarios a lo largo del mismo que garanticen una distancia máxima entre los mismos de 500 m.
- Se deben realizar ensayos de Penetración Estándar (SPT) y Veleta de Campo.
- Si se considera cimentación profunda con pilotes que se apoyen en roca, se deben tomar núcleos de por lo menos 3 metros por debajo de la cota prevista de la punta, para asegurar que no se trata de bloques. Si los pilotes se embeben en roca y con el objeto de asegurar que no se trate de bloques y así mismo determinar las características de la roca dentro de la zona de influencia de la cimentación, se deben tomar núcleos de 3 m como mínimo por debajo de la cota prevista para la punta, o una longitud igual al menos tres veces el diámetro del pilote, en caso de que estos sean aislados, o de dos veces la dimensión mayor para pilotes en

grupo; en cualquier caso se debe tomar la mayor longitud que resulte de acuerdo con lo anterior.

- Debe presentarse la exploración y ensayos para los diseños geotécnicos y recomendaciones respectivas, para la cimentación de rampas y escaleras de acceso al puente.

- Para la ejecución de los ensayos de laboratorio, el Contratista debe contar con el concepto de conformidad de la Interventoría y del Contratante respecto al plan presentado y la valoración económica que esta efectúe en concordancia con el presupuesto disponible para esta actividad, sin detrimento de la investigación del subsuelo requerida para las demás obras proyectadas.

Se deben presentar en un formato GDB:

- Plano de localización de los sondeos y barrenos ejecutados, debidamente georreferenciados al sistema de referencia Magna-Sirgas.
- Tabla consolidada de resultados de ensayos de laboratorio y los correspondientes perfiles estratigráficos.
- Definición de modelo geotécnico, parámetros de diseño y condiciones especiales del subsuelo.

4.2.3 Estructura del corredor en túnel

En la estructura de línea en túnel se determinará, además, el perfil geológico-geotécnico con escalas vertical y horizontales iguales, con definición de fallas y contactos mecánicos, zonas tectonizadas o alteradas, corrimientos, zonas carstificadas o milonitizadas y rocas alterables, solubles o expansivas.

La caracterización geotécnica incluirá los parámetros de resistencia y deformabilidad, permeabilidad, alterabilidad, expansividad y erosionabilidad por sectores. Igualmente se incluirá el valor RMR y las clases de terreno atravesado en relación con el tipo de sostenimiento recomendado.

El estudio, analizará la perforabilidad mecánica, la longitud de avance y destroza, el revestimiento recomendado, la problemática previsible de la excavación, el cálculo de subsidencias, los taludes de los emboquilles, el tipo de paraguas recomendado y el caudal máximo previsto, y en general de cualquier otro tratamiento que se considere oportuno.

Así mismo, se determinará la seguridad respecto a inestabilidad de bloques o corrimientos y el estado de tensiones y deformaciones del terreno, junto a los criterios de admisibilidad y los consecuentes coeficientes de seguridad.

4.2.4 Geotecnia para Taludes

Para los taludes potencialmente inestables en el área de estudio del Proyecto y para los taludes generados con el Proyecto, se deben hacer los análisis de estabilidad necesarios y el diseño las estructuras de contención correspondientes en los casos en que sea necesario proyectar, lo indicado en la normativa vigente, como la Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR/10, prestando especial atención a las zonas donde se puedan presentar sectores inestables desde el punto de vista geotécnico y geológico.

- En el informe del estudio de suelos debe anexarse todos los registros de perforación debidamente firmados y referenciados en cuanto a cotas y abscisas del proyecto, así como también los planos y tablas en los que se consolide la información referente a los perfiles estratigráficos y caracterización de los materiales identificados.
- Definición del alcance del proyecto que incluya la descripción del área de influencia, la situación actual, las cargas a las que estará sometido el talud.
- Identificación de potenciales problemas (suelos expansivos y suelos licuables).
- Localización del proyecto en términos de la microzonificación geológica, geotécnica, sísmica, y de amenaza.
- Análisis del espectro sísmico de diseño a partir de información secundaria (NSR-10, microzonificación sísmica).
- Información topográfica básica del talud en estudio donde se pueda identificar longitud del talud, sobrecargas o cargas externas, presencia de aguas estancadas o del nivel freático, presencia de fisuras de tracción, ángulo de inclinación natural, etc.
- Si es en roca, levantamiento preliminar de discontinuidades con el fin de establecer tipos de falla y análisis preliminar de estabilidad.
- Informe de diagnóstico geotécnico del talud, clasificación del deslizamiento, según metodologías existentes a partir de visita a terreno e identificación de posibles causas del deslizamiento.
- Plano planta perfil del proyecto, con sus respectivas secciones transversales.
- Esquema de la exploración geotécnica, primaria y secundaria.
- Tabla consolidada de resultados de ensayos de laboratorio y los correspondientes perfiles estratigráficos.
- Análisis de la estructura geológica a intervenir.
- Definición de modelo geotécnico, parámetros de diseño y condiciones especiales del subsuelo.
- Análisis de estabilidad de acuerdo con las metodologías existentes, teniendo en cuenta las condiciones presentadas de geotecnia, geología y morfología del talud a partir de la cual se proyecta las alternativas de solución.
- Planteamiento de posibles alternativas de estabilización.

4.2.5 Geotecnia para Redes Húmedas

Teniendo en cuenta los resultados de la investigación de redes y de la investigación geotécnica preliminar, se ejecutará la exploración del subsuelo requerida, de acuerdo con las normas técnicas establecidas por las empresas de servicios públicos. En todo caso el Consultor debe bajo su responsabilidad, estimar el tipo de perforaciones a realizar, el número de metros de perforación y su distribución, y que permitan elaborar un estudio confiable, realizando además la correspondiente valoración económica de la investigación del subsuelo para esta actividad. De igual forma los diseños deben seguir la normatividad indicada por la Empresas de servicios públicos o Empresas operadoras de la infraestructura.

Los análisis geotécnicos correspondientes a las redes húmedas deben ser incluidos tanto en el diseño geotécnico, como en el diseño hidráulico.

Como parte de la exploración geotécnica para redes, el Consultor debe realizar como mínimo los siguientes ensayos sin limitarse a ellos: humedad natural; granulometría; límites de Atterberg; clasificación;

4.2.6 Geotecnia y mediciones para Pavimentos

Se debe recopilar y analizar la siguiente información:

Esta actividad se debe realizar a partir de la toma de muestras de materiales para ensayos de laboratorio a los materiales de subrasante, así como a las capas de pavimento existente, esto con la finalidad de determinar sus características geotécnicas, espesores de capa, presencia del nivel freático (si lo hay), y estado general de las capas de apoyo.

El Consultor debe realizar una campaña de exploración geotécnica que se ajuste a las condiciones del Proyecto, para lo cual se recomienda efectuar sondeos o apiques a una profundidad mínima de 1.50 metros o hasta cuando se encuentre el nivel de la subrasante, estos deben tener un espaciamiento mínimo de 75 metros calzada. Para vías donde la calzada tiene más de dos (2) carriles, se debe tomar la información por carril. Los apiques o sondeos deben ser ejecutados en forma alterna (Tres bolillos), y deben quedar referenciados ya sea por nomenclatura o por levantamiento topográfico.

Se debe establecer el perfil estratigráfico, y plantear al Interventor y al Contratante para su estudio y concepto de conformidad, un estricto plan de ensayos de laboratorio. En principio a las muestras alteradas, se deben practicar ensayos de Humedad Natural y Clasificación (granulometría y límites de

Plasticidad), con base en lo descrito en AASHTO o USCS, y a las muestras inalteradas se les debe practicar ensayos de Humedad Natural, Clasificación, Peso Unitario, CBR, adicionando aquellos ensayos que se estimen convenientes y en todo caso estableciendo el plan de ensayos de acuerdo con las condiciones previstas del subsuelo. Los resultados obtenidos por apiques o sondeos deben quedar correctamente referenciados con su correspondiente localización dentro del proyecto e indicando claramente la delimitación de cada estrato con sus respectivas cotas.

Se debe determinar el Estado de Condición del pavimento. De acuerdo a lo anterior, se debe ejecutar un diagnóstico con el objeto de conocer el estado superficial, estructural y la capacidad de soporte de la subrasante; en donde se recopilen, midan y calculen aspectos como: tipo de superficie; existencia, tipo, severidad y extensión de fallas superficiales; determinación del PCI; estudio deflectométrico, con verificación del estudio por componentes; determinación de la capacidad estructural actual comparada con la requerida para el periodo de análisis. Se recomienda emplear la metodología estipulada en el Manual de Rehabilitación de Pavimentos Flexibles del INVIAS.

Fuentes de materiales, de tal manera que para la etapa de construcción se tenga identificadas, entre otras, planta de agregados con sus respectivas caracterizaciones, planta de asfalto (con la respectiva caracterización de los agregados que conformaran las mezclas, características del bitumen, leyes de fatiga), planta de concreto hidráulico (caracterización por separado de los agregados, y de las mezclas en concreto hidráulico).

Agentes estabilizantes, en caso de que como parte de la estabilización de la subrasante sea necesario realizar estabilizaciones geotécnicas con algún tipo de aditivo.

4.2.7 Control y aprobación del estudio

Dentro del plan de Calidad del Proyecto, el Contratista deberá someter sus trabajos a aprobación, en lo que se refiere a las hipótesis técnicas de partida, alcance de la obra, localización de emplazamientos de sondeos, métodos de ejecución, tipo de máquinas a emplear, laboratorio de ensayos propuestos, etc.

4.2.8 Plan de Auscultación

El Contratista deberá entregar el Plan de auscultación a seguir antes y durante la construcción de la obra, relacionando en este, los equipos, personal, frecuencia de la toma de datos, y las medidas correctivas que deben tomarse.

Avenida Calle 24A Nro. 59-42 Torre 4 Piso 2.

PBX: 4848860 – www.ani.gov.coNit.
830125996-9. Código Postal ANI 110221.

El plan de auscultación deberá ser entregado conjuntamente con el diseño del túnel.