

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES

ALCALDÍA DE BUCARAMANGA

**“ESTUDIOS DE EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA Y ENSAYOS DE
LABORATORIO PARA LOS PROYECTOS EN ESTRUCTURACIÓN DEL
MUNICIPIO DE BUCARAMANGA, SANTANDER”**

BUCARAMANGA

OCTUBRE 2026

CONTENIDO

1,01 SONDEO ROTOPERCUSION EN SUELO, ROCA O CONGLOMERADO, DIAMETRO NQ CON REVESTIMIENTO. (Incluye SPT, descripción visual de estratos, lecturas de campo, tipo y profundidad de muestras encontradas, transporte de muestras y demás equipos necesarios), de 5m a 15 m de profundidad o hasta rechazo, de acuerdo a cada sitio de exploración. INV E-111: 2013 3

1,02 PERFORACIÓN MECÁNICA POR PERCUSIÓN, SIN ROTACIÓN (Incluye descripción visual de estratos, lecturas de campo, SPT, tipo y profundidad de muestras recuperadas, datos de nivel freático) 7

1,03 APIQUES MANUALES DE 1 m X 1 m X 1,5 m METROS (toma de muestras, relleno y adecuación del sitio - Incluye transporte) 9

1,04 ENSAYO DE HUMEDAD (Norma técnica: INVE-122-13 NTC-1495-13 ASTM D2216-19.)..... 13

1,05 ENSAYO DE GRANULOMETRIA - GRADACION (Norma técnica: INVE-213-13 NTC-77-18) INV E 123: 2013..... 16

1,06 ENSAYO DE LIMITES DE ATTEMBERG (LL, LP) (Norma técnica: INVE- 125-13 INVE-126-13 NTC- 4630-99 ASTM D4318-17e1).....20

1,07 ENSAYO PESO UNITARIO PARA SUELO Y ROCA (Norma técnica: ASTM D7263-21).....24

1,08 ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN SUELO (suelos granulares o cohesivos) INV E 125 - 126 :2013. 27

1,09 COMPRESION INCONFINADA (SUELO) (Norma técnica: INVE-152-13 NTC-1527-00 ASTM D2166/D2166M-16.).....31

1,10 LINEAS DE REFRACCION SISMICA + MEDICIONES DE ONDAS SUPERFICIALES MASW/SASW (que permitan profundidad de exploración de mín 30 m).....34

1,11 LÍNEAS DE TOMOGRAFÍA DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA 2D (Profundidad mínima de exploración de 30 m) 38

1,12 ENSAYO CBR EN ESTADO INALTERADO Y/O SUMERGIDO.....39

1,13 PENETROMETRO DINAMICO DE CONO PDC.....44

2,1 INFORME FINAL DE ESTUDIO TÉCNICO, GEOTÉCNICO Y GEOFÍSICO (por sitio) 47

1,01 SONDEO ROTOPERCUSION EN SUELO, ROCA O CONGLOMERADO, DIAMETRO NQ CON REVESTIMIENTO. (Incluye SPT, descripción visual de estratos, lecturas de campo, tipo y profundidad de muestras encontradas, transporte de muestras y demás equipos necesarios), de 5m a 15 m de profundidad o hasta rechazo, de acuerdo a cada sitio de exploración. INV E-111: 2013

DESCRIPCIÓN

Este trabajo consiste en la ejecución de perforaciones en el subsuelo mediante el método combinado de rotopercusión y/o rotación convencional, utilizando tubería de revestimiento (casing) y un diámetro nominal NQ (diámetro exterior de broca aproximado de 75.7 mm / diámetro de núcleo de 47.6 mm). El propósito principal es la exploración geotécnica profunda en longitudes variables entre cinco metros (5 m) y quince metros (15 m) de profundidad, o hasta alcanzar el rechazo técnico del terreno, de acuerdo con los requerimientos específicos de cada sitio de exploración. La actividad incluye de forma obligatoria y rigurosa:

- La hincas y extracción de la tubería de revestimiento.
- La ejecución de Ensayos de Penetración Estándar (SPT) según los lineamientos de la norma INV E-111: 2013.
- El muestreo continuo o a intervalos definidos (suelos y núcleos de roca/conglomerado).
- La descripción visual y manual de los estratos encontrados.
- El registro minucioso de lecturas de campo (niveles freáticos, presiones, tiempos).
- El rotulado, preservación, almacenamiento y transporte técnico de todas las muestras hasta el laboratorio geotécnico autorizado.
- El suministro de todo el personal calificado, herramientas, insumos y equipos complementarios requeridos.

MATERIALES E INSUMOS

El Contratista deberá proveer todos los materiales consumibles e insumos necesarios para la correcta ejecución y preservación del sondeo, los cuales deben incluir como mínimo:

- Agua y aditivos de perforación: Agua limpia y libre de agentes químicos nocivos. En caso de requerirse para estabilizar el pozo en tramos específicos, se utilizarán polímeros biodegradables o bentonita de alta calidad, previa autorización de la Supervisión, garantizando que no alteren las propiedades físicas o químicas de las muestras.
- Recipientes para muestras alteradas: Bolsas plásticas de polietileno de alta densidad (calibre mínimo 4), con sistema de doble sellado hermético, aptas para conservar la humedad natural de las muestras recuperadas en el SPT.
- Cajas nucleeras: Cajas rígidas de madera inmunizada o plástico de alta densidad (ABS/PVC virgen) con canales longitudinales de diámetro NQ. Deben incluir tapas seguras y separadores fijos de madera o plástico para delimitar físicamente las maniobras y las pérdidas de recuperación.
- Elementos de marcación y rotulado: Marcadores industriales de tinta indeleble resistentes al agua y a la fricción, tarjetas de identificación plásticas y cinta adhesiva industrial de alta adherencia para el sellado de cajas.

MAQUINARIA Y EQUIPO

Todos los equipos y herramientas propuestos por el Contratista deberán contar con la aprobación previa de la Supervisión y encontrarse en perfecto estado mecánico, operativo y de calibración. El conjunto mínimo de equipos incluye:

Unidad de Perforación

- Equipo auto-transportado, sobre orugas o desmontable (tipo skid), con la potencia, torque y velocidad de rotación requeridos para perforar conglomerados y rocas de alta dureza hasta la profundidad máxima especificada.
- El sistema de avance debe permitir la combinación de rotopercusión (para el avance rápido y destrucción de matriz en conglomerados o suelos duros) y rotación pura (para la obtención de núcleos de roca).

Tuberías, Barriles y Brocas

- Tubería de revestimiento (Casing): Camisas de acero estructural de alta resistencia (mínimo diámetro NW o equivalente) que garanticen un diámetro interno libre suficiente para el paso holgado de la sarta NQ y el muestreador SPT.
- Sarta NQ: Tubería de perforación de acople rápido acoplada a un barril muestreador de pared doble o triple (tipo Wireline o convencional) que minimice la fricción y la torsión sobre el núcleo de roca extraído.
- Brocas (Coronas): Brocas diamantadas (matriz impregnada o inserciones) específicas para el tipo de roca esperado, o brocas de carburo de tungsteno (triconos/tetraconos) para tramos de suelo o roca muy meteorizada.

Equipo para Ensayo SPT (Norma INV E-111: 2013)

- Muestreador de tubo partido: Con diámetro exterior de 50.8 mm (2 pulgadas), diámetro interior de 34.9 mm (1-3/8 pulgadas) y una longitud mínima de 610 mm (24 pulgadas), equipado con zapata de acero templado.
- Sarta de hincas: Tuberías de perforación rígidas tipo AW o BW.
- Dispositivo de golpeo: Martinete con una masa exacta de 63.5 kg $\pm$ 1 kg (140 lb).
- Sistema de liberación: Mecanismo de caída libre automática o semi-automática que garantice una carrera vertical exacta de 760 mm $\pm$ 10 mm (30 pulgadas) sin fricciones significativas (se prohíbe el uso de sistemas manuales de manila y cabrestante a menos que estén expresamente calibrados y autorizados por la Supervisión).

Equipos Auxiliares

- Bomba de inyección de fluidos (agua o lodo) con caudal y presión regulables.
- Sonda colorimétrica o eléctrica para medición de niveles freáticos.
- Herramientas menores de taller (llaves de tubo, prensas, calibradores).

EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS

Ubicación e Instalación

El Contratista localizará el sondeo en las coordenadas y cotas indicadas en los planos de exploración o aprobadas por la Supervisión. El equipo se nivelará y anclará firmemente para evitar vibraciones o desviaciones en la verticalidad del pozo (tolerancia máxima de desviación: 1.5% de la profundidad total).

Avance del Sondeo y Uso de Revestimiento

El avance inicial en horizontes de suelo se realizará protegiendo las paredes mediante la hincas concéntrica de la tubería de revestimiento. No se permitirá el avance de la perforación por debajo del extremo inferior del revestimiento en una longitud mayor a la profundidad de muestreo del SPT, evitando así el derrumbe de las paredes o el lavado excesivo del fondo del pozo.

Ejecución del Ensayo SPT (Suelos y Matrices Aluviales)

Se aplicará estrictamente el procedimiento de la norma INV E-111: 2013:

1. Limpieza previa: Antes de introducir el muestreador, se debe limpiar minuciosamente el fondo del pozo mediante circulación de fluido o lavado controlado para eliminar detritos sueltos.

2. Marcación: Se acopla el muestreador de tubo partido a la sarta de hinca, se baja hasta el fondo y se marcan tres intervalos sucesivos de 15 cm (6 pulgadas) en la tubería guía superior (total 45 cm).

3. Hinca y Registro: Se deja caer el martinete de 63.5 kg desde los 760 mm de altura. Se registra el número de golpes necesarios para penetrar cada uno de los tres intervalos de 15 cm (N1, N2, N3). El valor de resistencia a la penetración estándar (N) será la suma de los golpes de los dos últimos intervalos ($N = N2 + N3$).

4. Criterio de Rechazo en SPT: El ensayo se dará por terminado y se registrará como rechazo si se presenta cualquiera de las siguientes condiciones:

- Cincuenta (50) golpes en cualquiera de los intervalos de 15 cm.
- Un total de cien (100) golpes acumulados en los 45 cm de hinca.
- Diez (10) golpes sucesivos sin que se observe un avance apreciable de la herramienta.

Perforación y Muestreo en Roca o Conglomerado Al alcanzarse el rechazo del SPT o detectarse la presencia de un estrato de roca competente o conglomerado denso:

- Se sustituirá la herramienta SPT por el barril muestreador NQ con corona diamantada.
- El avance se realizará mediante rotación continua controlando el empuje hidráulico y las revoluciones por minuto para evitar la quema de la broca y la rotura artificial del núcleo.
- Se medirán de forma obligatoria en cada maniobra (máximo de 1.50 m de longitud) los siguientes índices geomecánicos:
- Porcentaje de Recuperación (REC): Relación centesimal entre la longitud total de fragmentos de roca recuperados y la longitud total de la maniobra ejecutada.
- Índice de Calidad de la Roca (RQD): Relación centesimal entre la suma de las longitudes de los fragmentos de roca recuperados que sean mayores o iguales a 10 cm (firmes y sin fracturas causadas por la perforación) y la longitud total de la maniobra.

Criterios de Suspensión y Profundidad del Sondeo La longitud final de exploración estará sujeta a las condiciones particulares de cada sitio:

- Si el terreno está constituido por suelos blandos o medianamente densos, el sondeo avanzará obligatoriamente hasta el límite contractual de quince metros (15.0 m).
- Si se encuentra roca firme o un estrato de conglomerado de alta resistencia antes de los 15.0 m, el sondeo podrá suspenderse si se cumple el criterio de Rechazo Definitivo: haber perforado un espesor continuo mínimo de tres metros (3.0 m) en dicho material con recuperación continua de núcleos (RQD evaluable) y verificación previa del Ingeniero Geotecnista y la Supervisión, garantizando una profundidad mínima total de exploración de cinco metros (5.0 m).

Registro de Datos de Campo y Descripción Visual El personal técnico (geólogo o ingeniero de campo) mantendrá al día el libro o formato de perforación (log de campo), registrando para cada maniobra:

- Profundidad de inicio y fin de la maniobra.

- Descripción visual y manual de los estratos según la clasificación USCS (Norma INV E-102 / ASTM D2488), detallando color, humedad, plasticidad, consistencia, porcentaje estimativo de finos/gravas, forma de los cantos en conglomerados y grado de meteorización en rocas.
- Lecturas de niveles de agua: Nivel Freático Inicial (al detectarse), Nivel al inicio de la jornada diaria y Nivel Final Estabilizado (mínimo 24 horas después de retirado el revestimiento).
- Pérdidas o consumos atípicos del fluido de perforación y variaciones en la presión de la bomba.

Conservación y Transporte de Muestras

- Muestras SPT: Se extraerán cuidadosamente del tubo partido, se describirán y se guardarán de inmediato en las bolsas plásticas selladas para evitar la pérdida de humedad.
- Núcleos de roca/conglomerado: Se colocarán en las cajas nucleeras respetando estrictamente el orden de profundidad (de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha). Los tramos donde no hubo recuperación se indicarán colocando un bloque de madera o icopor con la longitud de la pérdida escrita en marcador permanente.
- Transporte: Las cajas nucleeras y los recipientes de muestras se acomodarán horizontalmente en el vehículo de transporte, asegurados con correas o tensores para suprimir movimientos verticales u horizontes bruscos. El vehículo debe contar con suspensión adecuada para transitar por las vías de acceso a los sitios de exploración, garantizando que las muestras lleguen al laboratorio intactas y en su estado estructural de campo.

CONDICIONES DE TRÁNSITO Y CONTROL DE CALIDAD

El Contratista es el único responsable de la estabilidad del pozo durante la ejecución. Si un sondeo se pierde debido al colapso de las paredes por falta o mal uso del revestimiento, atrapamiento de la sarta o impericia del personal, el Contratista deberá ejecutar un sondeo de reemplazo a una distancia no mayor a dos metros (2 m) del punto original, asumiendo la totalidad de los costos asociados.

La Supervisión rechazará cualquier tramo de sondeo donde no se disponga de registros completos de golpes SPT, donde las cajas nucleeras se presenten desordenadas o mal rotuladas, o donde se evidencie un transporte inadecuado que haya destruido las muestras.

MEDIDA Y PAGO

La unidad de medida para el pago de esta actividad será el Metro (m) de sondeo ejecutado con aproximación al décimo de metro (0.1 m). La medida se tomará verticalmente desde la cota de la superficie del terreno natural del sitio de exploración debidamente nivelado hasta la profundidad final autorizada por la Supervisión, cumpliendo con los criterios de parada (entre 5.0 m y 15.0 m o rechazo técnico). No se medirán tramos perforados por encima de los límites autorizados ni sondeos fallidos imputables al Contratista.

El pago se efectuará al precio unitario contractual estipulado en el contrato para el ítem. Este precio unitario y su respectivo pago constituirán la compensación total y única por todo el trabajo especificado en esta sección, cubriendo los siguientes costos indirectos y directos:

- Mano de obra calificada (ingenieros, geólogos, perforadores, auxiliares).

- Suministro, depreciación, combustibles, lubricantes, mantenimiento y operación de la unidad de perforación por rotopercusión/rotación y sus equipos de bombeo.
- Tuberías de perforación, camisas de revestimiento, brocas diamantadas, muestreadores SPT y zapatas de hincapié de repuesto.
- Suministro de cajas nucleares, bolsas herméticas, etiquetas, agua y aditivos para lodos de perforación.
- Ejecución de los ensayos de penetración estándar (SPT) in-situ de acuerdo con la norma INV E-111: 2013.
- Clasificación visual-manual en campo, toma de lecturas, control de niveles freáticos y elaboración de los registros (logs) de perforación preliminares.
- Carga, amarre, transporte técnico de las muestras desde el sitio de exploración hasta el laboratorio geotécnico designado, y descarga de las mismas.
- Elaboración y entrega del reporte de resultados del ítem (insumo del informe final por sitio, que se paga en el ítem 2.1), con los perfiles estratigráficos digitalizados, registros fotográficos en alta resolución de las cajas de muestras y memorias de campo debidamente avaladas por el especialista.

No se reconocerán pagos adicionales por concepto de dificultades de acceso al sitio de perforación, plataformas temporales de nivelación de los equipos, tiempos muertos por condiciones climáticas o demoras en la aprobación de permisos ambientales o de ingreso a predios privados, costos que el Contratista debió prever en su propuesta comercial.

1,02 PERFORACIÓN MECÁNICA POR PERCUSIÓN, SIN ROTACIÓN (Incluye descripción visual de estratos, lecturas de campo, SPT, tipo y profundidad de muestras recuperadas, datos de nivel freático)

DESCRIPCIÓN

Este trabajo consiste en la ejecución de perforaciones en el subsuelo mediante el método de percusión, sin rotación, utilizando un equipo liviano de perforación (trípode o torre con malacate mecánico o motorizado) que permite el avance por golpeo y/o lavado, en sitios donde, por restricciones de acceso, espacio, pendiente o condiciones del terreno, no sea viable o conveniente la movilización del equipo de rotopercusión del ítem 1,01. El ítem incluye:

- El avance de la perforación por percusión y lavado, con protección de las paredes mediante tubería de revestimiento cuando se requiera.
- La ejecución de Ensayos de Penetración Estándar (SPT) según los lineamientos de la norma INV E-111: 2013.
- La recuperación de muestras alteradas (tubo partido) y, cuando lo indique la Supervisión, de muestras inalteradas en tubo de pared delgada (Shelby) conforme a la norma INV E-105: 2013.
- La descripción visual y manual de los estratos encontrados y el registro de lecturas de campo, incluidos los niveles freáticos.
- El rotulado, preservación, almacenamiento y transporte técnico de todas las muestras hasta el laboratorio geotécnico.
- El suministro de todo el personal calificado, herramientas, insumos y equipos complementarios requeridos.

Este ítem tiene cantidad de referencia cero (0) en el Presupuesto Oficial. Solo se ejecutará cuando la Supervisión lo apruebe previamente, con base en un concepto técnico que justifique su uso en un sitio determinado, y su cantidad se

asignará mediante acta de reasignación de cantidades, a los precios unitarios ofertados y sin exceder el valor total del contrato.

MATERIALES E INSUMOS

El Contratista deberá proveer todos los materiales consumibles e insumos necesarios para la ejecución y preservación del sondeo, como mínimo:

- Agua limpia para el lavado y avance de la perforación, libre de agentes químicos nocivos.
- Bolsas plásticas de polietileno de alta densidad con doble sellado hermético para muestras alteradas, y tubos de pared delgada con tapas y parafina para muestras inalteradas, cuando aplique.
- Elementos de marcación y rotulado de tinta indeleble, tarjetas de identificación y cinta de sellado.

MAQUINARIA Y EQUIPO

Los equipos deberán contar con la aprobación previa de la Supervisión y encontrarse en perfecto estado mecánico, operativo y de calibración. El conjunto mínimo incluye:

- Trípode o torre de perforación con malacate (manual, mecánico o motorizado) con capacidad suficiente para la profundidad requerida.
- Tubería de revestimiento, tubería de perforación (tipo AW o BW), trépano o cincel de lavado y bomba de agua para la circulación del fluido.
- Equipo para ensayo SPT según la norma INV E-111: 2013: muestreador de tubo partido de 50,8 mm de diámetro exterior, martinete de 63,5 kg $\pm$ 1 kg y sistema de caída que garantice una carrera de 760 mm $\pm$ 10 mm.
- Sonda para medición de niveles freáticos y herramientas menores.

EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS

El Contratista localizará el sondeo en las coordenadas aprobadas por la Supervisión, previa verificación de redes de servicios públicos. El avance se realizará por percusión y lavado, sin rotación, protegiendo las paredes con revestimiento cuando el terreno lo requiera; no se permitirá tomar muestras ni ejecutar el SPT por debajo del extremo inferior del revestimiento sin la limpieza previa del fondo del pozo.

Los ensayos SPT se ejecutarán a los intervalos definidos por la Supervisión (como mínimo cada 1,50 m o en cada cambio de estrato), aplicando el procedimiento y los criterios de rechazo de la norma INV E-111: 2013 descritos en el ítem 1,01. La perforación se suspenderá al alcanzar la profundidad aprobada para el sitio o al presentarse rechazo del SPT; en este último caso, si se requiere continuar la exploración en roca o conglomerado, la Supervisión podrá ordenar su continuación con el equipo del ítem 1,01.

El personal técnico mantendrá el registro de perforación (log de campo) con la profundidad de cada maniobra, la descripción visual y manual según la clasificación USCS (INV E-102 / ASTM D2488), el número de golpes del SPT, el tipo y profundidad de las muestras y los niveles de agua (inicial y estabilizado). Las muestras se conservarán y transportarán al laboratorio en las mismas condiciones exigidas en el ítem 1,01.

CONDICIONES DE TRÁNSITO Y CONTROL DE CALIDAD

El Contratista es responsable de la estabilidad del pozo durante la ejecución. Si un sondeo se pierde por colapso de las paredes, atrapamiento de la herramienta o impericia del personal, deberá reponerlo a su costo. La Supervisión rechazará

los tramos sin registro completo de golpes SPT, con muestras mal rotuladas o con evidencia de transporte inadecuado.

MEDIDA Y PAGO

La unidad de medida será el Metro (m) de perforación ejecutado y aceptado por la Supervisión, con aproximación al décimo de metro (0,1 m), medido verticalmente desde la superficie del terreno natural hasta el fondo del sondeo. Solo se medirán las perforaciones ejecutadas previa aprobación de la Supervisión y asignación de cantidad mediante acta de reasignación.

El pago se efectuará al precio unitario contractual del ítem, que constituye la compensación total por la mano de obra calificada; el suministro, operación y mantenimiento del equipo de percusión y sus accesorios; los ensayos SPT in situ; los insumos para muestras; la clasificación visual-manual y el registro de campo; la carga, transporte y descarga de las muestras hasta el laboratorio; y la entrega del reporte de resultados del ítem (insumo del informe final por sitio, que se paga en el ítem 2,1). No se reconocerán pagos adicionales por dificultades de acceso, tiempos muertos por clima o reposición de sondeos perdidos.

1,03 APIQUES MANUALES DE 1 m X 1 m X 1,5 m METROS (toma de muestras, relleno y adecuación del sitio - Incluye transporte)

DESCRIPCIÓN

Este trabajo consiste en la excavación manual a cielo abierto de pozos exploratorios, denominados apiques, con una sección transversal cuadrada de un metro por un metro (1.0 m × 1.0 m) y una profundidad vertical de hasta un metro con cincuenta centímetros (1.5 m), medida desde la superficie del terreno natural o pavimento existente. El propósito principal es la investigación geotécnica superficial del subsuelo para proyectos de infraestructura Vial, Edificaciones o Redes de Servicios. Esta técnica permite la observación directa de la estratigrafía, la detección visual de fallas o paleosuelos, y la ejecución de muestreos de gran volumen en estado alterado o inalterado. La actividad se ejecutará de manera estrictamente manual para proteger estructuras adyacentes o redes de servicios públicos subterráneos. Incluye de forma obligatoria:

- La remoción inicial de capas superficiales (afirmado, suelo orgánico, capa vegetal o pavimentos si aplica).
- La excavación vertical controlada respetando las dimensiones geométricas.
- La clasificación e inspección visual-manual de cada estrato en el sitio.
- La extracción y embalaje técnico de muestras (bloques inalterados o bolsas alteradas).
- El registro de variaciones de humedad y nivel freático.
- El cargue, transporte, preservación y entrega de muestras al laboratorio geotécnico.
- El posterior relleno del apique utilizando suelo seleccionado, compactado por capas.
- La restitución de las condiciones originales de la superficie (adecuación del sitio, limpieza y retiro de sobrantes).

MATERIALES E INSUMOS

El Contratista deberá suministrar la totalidad de los materiales consumibles requeridos para la toma, embalaje y preservación de muestras, así como para la restitución del terreno:

- Para el muestreo alterado: Bolsas plásticas transparentes de polietileno de calibre grueso (mínimo calibre 4) con capacidad para 20-30 kg, junto con amarres plásticos herméticos.
- Para el muestreo inalterado (bloques): Cuchillos de campo, espátulas, parafina sólida purificada (refinada), brea, lona o tela de costal para envolver, cajas de madera protectoras y estufa portátil (para fundir la parafina).
- Para el rotulado: Etiquetas de cartón industrial o plástico resistente, marcadores industriales de tinta indeleble negra y cinta adhesiva de alta adherencia.
- Para el relleno y adecuación: Suelo seleccionado proveniente de la misma excavación (libre de materia orgánica, basuras o sobretamaños mayores a 2"). Si el material extraído es expansivo o inadecuado para la compactación final, el Contratista deberá suministrar material de préstamo tipo subbase granular o suelo seleccionado de cantera aprobado por la Supervisión. Agua limpia para el proceso de compactación.

MAQUINARIA Y EQUIPO

Dado el carácter estrictamente manual de la actividad (orientado a evitar la alteración del entorno y las muestras), no se permite el uso de maquinaria pesada o excavadoras mecánicas dentro del perímetro del apique. El equipo mínimo requerido es:

Herramientas Manuales de Excavación

- Barras de acero (palas de empuje / palines), picas, palas de punta redonda y cuadrada.
- Baldes plásticos de alta resistencia y lazos (manilas) para la extracción vertical del material excavado.
- Escaleras portátiles de aluminio o madera (para acceso seguro del personal).

Equipo de Seguridad y Control Hidráulico

- Equipo de entibado portátil: Tablones de madera o paneles metálicos con puntales mecánicos (gatos), obligatorios en caso de encontrar suelos arenosos sueltos, arcillas blandas saturadas o cuando exista riesgo inminente de desprendimiento de paredes.
- Motobomba portátil: De combustión o eléctrica (diámetro de 1.5" a 2"), con sus respectivas mangueras de succión y descarga, para el agotamiento de aguas en caso de registrarse infiltraciones o nivel freático superficial.

Herramientas de Compactación y Restitución

- Pisón metálico manual de mano (mínimo 10 kg de peso y base de 20 × 20 cm) o vibrocompactador tipo saltarín (tipo rana / sapito) accionado por motor a gasolina, para la densificación del suelo de relleno.

Equipo de Medición y Transporte

- Flexómetros calibrados, niveles de mano y brújulas.
- Vehículo de transporte (camioneta o camión pequeño de estacas) con suspensión adecuada, carpa protectora y zonas de sujeción para el traslado seguro de las muestras al laboratorio sin sufrir fracturas o pérdidas de humedad.

EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS

Localización y Seguridad Preliminar

El Contratista localizará el apique en las coordenadas aprobadas por el Ingeniero Geotecnista o indicadas por la Supervisión. Antes de iniciar el corte, el Contratista deberá verificar visualmente y mediante planos récord la ausencia de redes subterráneas de servicios públicos (gas, energía, fibra óptica o

acueducto). Se delimitará el área de trabajo con cinta de peligro y conos reflectivos.

Proceso de Excavación Manual

La excavación se realizará verticalmente manteniendo las paredes perfectamente aplomadas y respetando la sección de 1.0 m × 1.0 m. El material extraído se apilará ordenadamente a una distancia mínima de 0.60 m del borde del apique para evitar sobrecargas que causen fallas por cortante en las paredes. Si el suelo pierde cohesión o muestra signos de inestabilidad, se instalarán de inmediato entibados provisionales. Si aparece agua de infiltración, se bombeará continuamente hacia canales de drenaje externos autorizados para evitar el lavado y ablandamiento del fondo del pozo.

Inspección Visual y Registro de Estratos

A medida que avance la excavación, un geólogo o ingeniero geotecnista del Contratista inspeccionará las paredes del pozo y redactará el registro de campo (log de apique). Se describirá cada estrato bajo la metodología Visual-Manual (ASTM D2488 / INV E-102), registrando:

- Espesor y profundidad del estrato (con precisión al centímetro).
- Clasificación estimada del suelo (USCS), color, humedad natural, plasticidad, tenacidad y consistencia estructural.
- Presencia de raíces, cantos rodados, discontinuidades o evidencias de rellenos antrópicos.
- Registro exacto de la profundidad de aparición del nivel freático y su nivel de estabilización.

Toma y Conservación de Muestras

- Muestras Alteradas: Se tomarán de las paredes o del fondo del apique en cada cambio de estrato. El material se verterá en las bolsas plásticas de alta densidad, expulsando el exceso de aire antes de realizar el doble amarre.
- Muestras Inalteradas en Bloque: En estratos cohesivos firmes donde se requiera, se tallará cuidadosamente en la pared o fondo un bloque cúbico de suelo de aproximadamente 20 × 20 × 20 cm. El bloque se envolverá inmediatamente en capas de lona o gasa impregnadas con una mezcla fundida de parafina y brea (espesor mínimo del sello de parafina: 3 mm) para garantizar un aislamiento térmico y hermético absoluto que evite cambios volumétricos.
- Rotulado: Todas las muestras se identificarán en sitio mediante tarjetas plásticas atadas y marcas con tinta indeleble en el contenedor exterior. Los datos mínimos serán: Nombre del proyecto, ID del apique, Número de muestra, Intervalo de profundidad, Fecha y Técnico responsable.

Criterios de Parada

La excavación progresará verticalmente hasta alcanzar la profundidad contractual de un metro con cincuenta centímetros (1.5 m). Podrá suspenderse antes únicamente si se encuentra un estrato de roca competente no excavable con herramientas manuales (rechazo manual) o por orden expresa de la Supervisión debido a condiciones de riesgo insalvable en el sitio.

Relleno, Compactación y Adecuación del Sitio

Una vez autorizada la finalización del muestreo por la Supervisión, se procederá al cierre inmediato del apique:

1. El suelo de relleno (seleccionado y libre de orgánicos) se colocará en capas horizontales sucesivas con un espesor suelto máximo de 15 cm.

2. Cada capa se humedecerá uniformemente (cercana a su humedad óptima) y se compactará vigorosamente con el pisón manual o el saltarín mecánico hasta obtener una densidad visualmente firme y homogénea, evitando asentamientos posteriores del terreno.

3. Si el apique se ejecutó sobre una zona verde o suelo natural, se colocará una capa final de suelo vegetal o capa orgánica superficial para propiciar la restauración de la cobertura. Si se ejecutó sobre una vía afirmada o pavimento, el Contratista deberá reponer la estructura afectada empleando materiales de iguales o superiores especificaciones a los preexistentes (concreto o mezcla asfáltica si aplica), actividad que se regulará bajo las especificaciones correspondientes de pavimentos.

4. El sitio se entregará completamente limpio, libre de lodos, escombros o materiales sobrantes.

Manejo y Transporte de Muestras

Las muestras debidamente embaladas se cargarán horizontalmente en el vehículo de transporte. Los bloques inalterados se dispondrán dentro de cajas amortiguadas con aserrín, icopor o espuma para neutralizar los impactos dinámicos de la vía. El Contratista transportará las muestras directamente desde el sitio de exploración hasta el laboratorio geotécnico asignado, manteniendo una velocidad moderada y garantizando una cadena de custodia técnica intacta.

CONDICIONES DE CONTROL DE CALIDAD

La Supervisión no aceptará ni medirá apiques que presenten desviaciones geométricas significativas, que no cuenten con la profundidad estipulada (salvo rechazo en roca verificado), o cuyos registros de campo resulten incompletos o inconsistentes. Es responsabilidad exclusiva del Contratista la reposición a su propio costo de cualquier muestra que resulte contaminada, rota, seca o deteriorada por un transporte deficiente o un mal embalaje en el campo.

MEDIDA Y PAGO

La unidad de medida para el pago de esta actividad será la Unidad (un) de apique manual completamente excavado, muestreado, rellenado, compactado y adecuado, de dimensiones nominales 1.0 m × 1.0 m × 1.5 m (o profundidad menor sustentada por rechazo en roca). La medición se realizará de forma individual por cada pozo exploratorio ejecutado a satisfacción y avalado mediante el registro estratigráfico e informe técnico aprobado por la Supervisión. El pago se efectuará al precio unitario contractual fijado para el ítem. Este precio y pago constituirán la compensación total y definitiva por la ejecución de la actividad, cubriendo todos los costos directos e indirectos detallados a continuación:

- Mano de obra calificada y ayudantes para la excavación manual, perfilado de paredes, extracción de materiales, cargue, humedecimiento y compactación del relleno.
- Costos de profesionales especializados (geólogos/ingenieros) para el levantamiento de los perfiles estratigráficos y descripciones visuales en campo.
- Suministro, desgaste, mantenimiento y operación de todas las herramientas menores (picas, palas, barras, baldes), equipos de entibado protector, motobombas para agotamiento de agua y equipos de compactación mecánica.
- Materiales e insumos de consumo para el embalaje técnico de muestras (bolsas selladas, parafina líquida, gasas, cajas de madera, etiquetas marcadoras y reactivos de campo).

- Suministro, transporte e instalación de materiales de préstamo seleccionados para el relleno final, en caso de que el suelo propio no sea apto.
- Cargue, amarre, transporte automotor de las muestras desde el punto geográfico del sitio de exploración hasta las instalaciones del laboratorio geotécnico designado, incluyendo el descargue técnico de las mismas.
- Limpieza general del área, retiro de materiales sobrantes hacia botaderos autorizados, y restitución de las condiciones originales de la superficie del terreno.
- Elaboración, digitalización y entrega del reporte de resultados del ítem (insumo del informe final por sitio, que se paga en el ítem 2.1), con registros fotográficos de alta resolución de la excavación y perfiles estratigráficos detallados.

1,04 ENSAYO DE HUMEDAD (Norma técnica: INVE-122-13 NTC-1495-13 ASTM D2216-19.)

DESCRIPCIÓN

Este trabajo consiste en la determinación en laboratorio del contenido de agua (humedades naturales o de control) presentes en muestras de suelo, roca o materiales similares, expresado como un porcentaje de la masa de suelo seco (secado al horno). El ensayo se ejecutará de forma estrictamente obligatoria bajo los lineamientos metodológicos de las normas INV E-122-13 (Instituto Nacional de Vías), su homóloga nacional NTC 1495:2013 (ICONTEC) y la norma de referencia internacional ASTM D2216-19.

El principio del ensayo se basa en determinar la masa de agua eliminada por el secado térmico de la muestra húmeda en un horno controlado a una temperatura constante de 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F) hasta alcanzar una masa constante. El contenido de agua se calcula mediante la siguiente relación matemática:

Donde:

- w: Contenido de agua o humedad (%).
- Mw: Masa del agua eliminada (g).
- Ms: Masa de las partículas sólidas secas (g).
- Mc: Masa del contenedor limpio y seco (g).
- Mcms: Masa del contenedor más la muestra de suelo húmeda (g).
- Mcds: Masa del contenedor más la muestra de suelo seca (g).

Esta propiedad física fundamental es indispensable para la correlación de parámetros geotécnicos, el cálculo de esfuerzos, la evaluación de consistencia (Límites de Atterberg) y el control de calidad en procesos de compactación de tierras.

MATERIALES E INSUMOS

El Contratista o el Laboratorio adjudicado deberá proveer todos los consumibles menores requeridos para el correcto registro, manipulación y ejecución del ensayo:

- Formatos e impresión: Planillas impresas de laboratorio para el registro manual de datos de pesaje y control de temperaturas, o sistemas de captura digital de datos validados.
- Elementos de marcación: Marcadores industriales resistentes al calor y etiquetas térmicas adhesivas capaces de soportar temperaturas superiores a 120 °C sin borrarse o despegarse de los contenedores.

- Elementos de limpieza: Brochas de cerda suave, paños de microfibra y aire comprimido para la limpieza minuciosa de los platillos de las balanzas y eliminación de partículas sueltas en los contenedores.

MAQUINARIA Y EQUIPO

Todos los equipos y herramientas empleados en el laboratorio deberán contar con certificados de calibración vigentes emitidos por laboratorios acreditados ante el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC) o su equivalente internacional. El conjunto mínimo de equipos incluye:

Horno de Secado (Estufa Térmica)

- Horno con sistema de ventilación forzada o convección natural, controlado por termostato digital, capaz de mantener de manera continua y uniforme una temperatura de 110 ± 5 °C.
- Para suelos que contengan materia orgánica, yeso u otros minerales hidratados que puedan perder agua de constitución a altas temperaturas, el horno deberá calibrarse para operar a una temperatura controlada de 60 ± 4 °C, de acuerdo con las excepciones explícitas de las normas INV E-122-13 y ASTM D2216-19.

Balanzas de Precisión

La precisión de la balanza dependerá de la masa mínima de la muestra de ensayo requerida, cumpliendo rigurosamente con la siguiente clasificación de la norma:

- Balanza Clase GP1 (Precisión de 0.01 g): Requerida de forma obligatoria para muestras con una masa menor a 200 g (típico en suelos finos como arcillas y limos).
- Balanza Clase GP2 (Precisión de 0.1 g): Requerida para muestras con una masa mayor o igual a 200 g (típico en suelos gruesos, gravas y arenas).

Contenedores de Muestras (Cápsulas)

- Recipientes fabricados con materiales resistentes a la corrosión y a la alteración térmica por calentamiento repetido (acero inoxidable, aluminio anodizado o porcelana).
- Deben contar con tapas de ajuste hermético si las muestras no van a ser pesadas inmediatamente después de su extracción del horno, evitando así la reabsorción de humedad del ambiente. Cada contenedor debe poseer un número de identificación único y permanente grabado.

Desecador

- Gabinete o campana de vidrio o acrílico equipado con un agente desecante activo (como gel de sílice con indicador de humedad de cobalto), utilizado para almacenar y enfriar los contenedores con las

muestras secas antes de su pesaje final, impidiendo la ganancia de humedad higroscópica del aire del laboratorio.

Herramientas Auxiliares y EPP

- Pinzas metálicas de caña larga o guantes aislantes de alta temperatura para la manipulación segura de las cápsulas calientes.
- Espátulas, cuchillos de laboratorio y bandejas de mezcla metálicas.

EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS

El procedimiento técnico de ensayo se ejecutará siguiendo estrictamente los siguientes pasos secuenciales:

Preparación y Selección de la Muestra

1. Recepción y Conservación: La muestra debe permanecer en sus bolsas herméticas originales hasta el momento exacto del ensayo para evitar pérdidas prematuras de agua.

2. Tamaño de la Muestra: Se seleccionará una porción representativa de la muestra total, cuya masa mínima húmeda estará determinada por el tamaño máximo de partícula del suelo (conforme a las Tablas de Requerimientos de Masa de las normas INV E-122 / ASTM D2216). Por ejemplo:

- Tamaño Máximo de Partícula < 2.0 mm (Tamiz No. 10): Masa mínima = 20 g.
- Tamaño Máximo de Partícula < 4.75 mm (Tamiz No. 4): Masa mínima = 100 g.
- Tamaño Máximo de Partícula < 19.0 mm (3/4"): Masa mínima = 2500 g.

Procedimiento de Pesaje Inicial y Secado

1. Se registra la identificación del contenedor y se determina su masa en seco con la balanza adecuada (M_c).

2. Se coloca la muestra húmeda dentro del contenedor, se coloca la tapa de inmediato si aplica, y se registra la masa del conjunto (M_{cms}).

3. Se retira la tapa (si la tiene) y se introduce el contenedor con la muestra dentro del horno precalentado a la temperatura normativa ($110 \pm 5^\circ\text{C}$ o 60°C según el tipo de suelo).

4. La muestra se mantendrá en el horno por un período mínimo de 16 horas (tiempo estándar que garantiza masa constante en la mayoría de los suelos) o hasta que dos pesajes sucesivos, separados por un intervalo de secado en el horno, no muestren variación en la masa.

Enfriamiento y Pesaje Final

1. Una vez cumplido el tiempo de secado, se extrae el contenedor del horno empleando las pinzas metálicas e inmediatamente se coloca dentro del desecador.

2. Se permite que el contenedor se enfríe hasta alcanzar la temperatura ambiente del laboratorio (evitando corrientes de aire térmicas que alteren la lectura de la balanza).

3. Se extrae el contenedor del desecador y se determina inmediatamente su masa con la muestra seca (M_{cds}), registrando el valor en la planilla técnica.

Cálculos e Informe de Resultados

El Contratista calculará el porcentaje de humedad aplicando la fórmula matemática descrita en la Sección 1. El resultado final del contenido de agua se reportará con las siguientes aproximaciones:

- Con aproximación al 0.1 % para humedades inferiores al 100 %.
- Con aproximación al 1 % para humedades superiores al 100 % (común en turbas o suelos orgánicos saturados).
- El informe de resultados del laboratorio deberá incluir de forma obligatoria: Identificación de la muestra (Proyecto, Sondeo/Apique, Profundidad), Descripción visual del suelo, Temperatura de secado utilizada y cualquier anomalía observada (presencia de materia orgánica, conchas, etc.).

CONDICIONES DE CONTROL DE CALIDAD

La Supervisión rechazará y ordenará la repetición de los ensayos si se evidencia cualquiera de las siguientes fallas operativas:

- Uso de hornos que no cuenten con control termostático o cuyas temperaturas fluctúen fuera del rango de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ durante el secado.

- Empleo de balanzas descalibradas o que no cumplan con el nivel de precisión requerido según la masa de la muestra.
- Permitir que las muestras secas se enfríen al aire libre expuestas a la humedad ambiental sin el uso del desecador.
- Submuestreos que no cumplan con las masas mínimas requeridas por la norma según el tamaño de grano.

6. MEDIDA Y PAGO

La unidad de medida para el pago de esta actividad será la Unidad (un) de ensayo de humedad ejecutado e informado a satisfacción. La medición se realizará contabilizando de forma individual cada ensayo de contenido de agua completado con su respectiva entrega de resultados e informe técnico de laboratorio, debidamente avalado por el Ingeniero Geotecnista o Especialista de Laboratorio y aprobado por la Supervisión. No se medirán ensayos duplicados por errores del Contratista o muestras mal preservadas. El pago se efectuará al precio unitario contractual fijado para el ítem. Este precio y pago constituirán la compensación total y única por la ejecución de la actividad, cubriendo todos los costos directos e indirectos detallados a continuación:

- Mano de obra calificada (técnicos de laboratorio, laboratoristas, auxiliares) y el costo del personal profesional que revisa, firma y avala los cálculos y reportes.
- Costos asociados al uso, consumo energético, depreciación, calibración periódica y mantenimiento preventivo de la maquinaria (hornos de secado, balanzas de alta precisión, desecadores).
- Suministro, uso y reposición de las herramientas menores y recipientes consumibles (cápsulas de aluminio/porcelana, pinzas, espátulas, silicagel para desecadores).
- Insumos de papelería, impresión de planillas, rotulado térmico e infraestructura de software para el procesamiento de datos.
- Costos indirectos de operación del Contratista (la administración se reconoce por separado mediante el factor de administración del 13,4% del Presupuesto Oficial) y cualquier otro costo necesario para entregar el ensayo bajo el estricto cumplimiento de las normas INV E-122-13, NTC 1495:2013 y ASTM D2216-19.

1,05 ENSAYO DE GRANULOMETRIA - GRADACION (Norma técnica: INVE-213-13 NTC-77-18) INV E 123: 2013

DESCRIPCIÓN

Este trabajo consiste en la determinación cuantitativa de la distribución de los tamaños de las partículas de un suelo o agregado mediante el proceso de tamizado mecánico o manual. El ensayo se ejecutará de forma estrictamente obligatoria bajo los lineamientos metodológicos de las normas del Instituto Nacional de Vías: INV E-123-13 (Determinación de la granulometría de los suelos) e INV E-213-13 (Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos), así como su homóloga nacional NTC 77 (2018) (Método de ensayo para el análisis por tamizado de agregados finos y gruesos). El principio del ensayo consiste en separar una masa conocida de material seco a través de una serie de tamices de aberturas cuadradas progresivamente menores, dispuestos en orden descendente. El proceso incluye obligatoriamente:

- El cuarteo y preparación de la muestra de campo.

- El lavado previo sobre el tamiz de control No. 200 (75 μ) para separar y eliminar la fracción fina (limos y arcillas) adherida a las partículas gruesas, evitando la colmatación de las mallas.
- El secado térmico posterior del material retenido.
- El tamizado mecánico o manual a través de la serie de tamices especificada.
- El pesaje de las fracciones retenidas en cada tamiz.
- El cálculo analítico de los porcentajes retenidos y pasantes acumulados para la posterior construcción de la curva granulométrica y el cálculo de coeficientes de uniformidad (Cu), curvatura (Cc) o módulo de finura según aplique.

MATERIALES E INSUMOS

El Contratista o el Laboratorio adjudicado deberá proveer todos los consumibles menores requeridos para el correcto registro, manipulación y ejecución del ensayo:

- Agua limpia: Libre de impurezas, sales disueltas o agentes químicos que puedan alterar las arcillas o causar floculación artificial durante el proceso de lavado de la muestra.
- Formatos e impresión: Planillas de laboratorio normalizadas para el registro manual de datos de pesaje por tamiz, o sistemas informáticos calibrados para la captura directa de datos.
- Elementos de marcación y limpieza: Cepillos de cerdas de alambre (exclusivos para tamices gruesos), brochas de cerda suave de nylon o pelo de camello (exclusivos para tamices finos, evitando dañar o descalibrar los hilos de la malla), marcadores industriales y cinta de enmascarar.

MAQUINARIA Y EQUIPO

Todos los equipos y herramientas empleados en el laboratorio deberán contar con certificados de calibración y verificación vigentes emitidos por laboratorios acreditados ante el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC). El conjunto mínimo de equipos incluye:

Serie de Tamices de Abertura Cuadrada

- Los tamices deben estar fabricados con marcos cilíndricos rígidos (de latón o acero inoxidable) y mallas tejidas de alambre de acero o bronce, cumpliendo estrictamente con las tolerancias de la norma ASTM E11.
- Serie estándar para agregados y suelos gruesos: Tamices de 3", 2½", 2", 1½", 1", ¾", ½", 3/8", No. 4 (4.75 mm), No. 10 (2.00 mm), No. 40 (0.425 mm), No. 100 (0.150 mm) y No. 200 (0.075 mm), junto con el fondo receptor y la tapa del conjunto.

Agitador Mecánico de Tamices (Tamizadora o Ro-Tap)

- Equipo de accionamiento eléctrico con movimiento vibratorio, rotatorio u oscilatorio combinado con un sistema de impactos verticales (golpeteo). Debe asegurar que el material se mantenga en continuo movimiento sobre la superficie de la malla, permitiendo que las partículas se orienten y pasen a través de las aberturas de forma homogénea.

Horno de Secado (Estufa Térmica)

- Horno con sistema de ventilación forzada o convección natural, controlado por termostato digital, capaz de mantener de manera continua y uniforme una temperatura de 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F), conforme a los requerimientos de secado de las normas INV E-123 e INV E-213.

Balanzas de Precisión

La precisión de las balanzas responderá directamente a la masa de la muestra de ensayo, cumpliendo con:

- Para agregado fino o fracciones de suelo arenoso: Balanza con legibilidad mínima de 0.1 g o de 0.1% de la masa de la muestra (la que sea mayor).
- Para agregado grueso o suelos con gravas: Balanza con legibilidad mínima de 0.5 g, 1 g o 0.1% de la masa de la muestra (la que sea mayor).

Equipos Auxiliares de Preparación

- Cuarteadores mecánicos (tipo Riffle) con aberturas proporcionales al tamaño máximo de partícula, o lonas gruesas para cuarteo manual por el método de cono.
- Vasijas metálicas o plásticas de alta resistencia para el lavado y almacenamiento intermedio de muestras, y una fuente de agua con boquilla difusora de baja presión.

EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS

El procedimiento técnico de ensayo se ejecutará siguiendo estrictamente los siguientes pasos secuenciales:

Reducción y Tamaño de la Muestra de Ensayo

1. La muestra de campo se homogeneizará y se reducirá mediante cuarteo mecánico o manual hasta obtener la masa mínima requerida para el ensayo.
 2. La masa mínima de la muestra seca estará condicionada estrictamente por el Tamaño Máximo Nominal (TMN) de las partículas de acuerdo con las tablas normativas de la INV E-123 e INV E-213. Por ejemplo:
- Para Agregado Fino (pasa 100% tamiz 3/8": Mínimo 300 g (suelos) o 300 g (agregados).
 - Para Agregado Grueso con TMN de 1/2": Mínimo 2000 g (2.0 kg).
 - Para Agregado Grueso con TMN de 3/4": Mínimo 5000 g (5.0 kg).
 - Para Agregado Grueso con TMN de 1": Mínimo 10000 g (10.0 kg).

Proceso de Lavado (Operación Esencial)

1. La muestra seleccionada se secará en el horno a 110 ± 5 °C hasta masa constante, registrando con precisión su peso seco inicial (M_{si}).
2. Se coloca la muestra en un recipiente, se cubre con agua y se agita vigorosamente para lograr la suspensión total de los finos.
3. El agua de lavado impregnada de finos se vierte inmediatamente a través del tamiz No. 200 (protegido en la parte superior por un tamiz No. 10 o No. 16 para evitar que las partículas gruesas dañen la malla fina). El lavado continuará hasta que el agua que pasa a través del tamiz sea completamente clara.
4. Todo el material retenido en los tamices de protección y en el tamiz No. 200 se devuelve minuciosamente al recipiente de ensayo mediante un chorro de agua suave.

Secado Posterior y Tamizado Mecánico

1. Se decanta el exceso de agua limpia del recipiente y se introduce la muestra lavada al horno a 110 ± 5 °C hasta masa constante. Una vez fría, se pesa la muestra lavada y seca (M_{sl}). La diferencia entre M_{si} y M_{sl} representará la masa del material fino perdido por lavado (pasa tamiz No. 200).
2. Se encaja la serie de tamices limpios en orden descendente sobre el agitador mecánico, colocando el material seco en el tamiz superior.
3. Se acciona el agitador mecánico por un período de tiempo técnicamente suficiente (generalmente entre 10 y 15 minutos). El tamizado se considerará

completo únicamente si se cumple que, tras un minuto de tamizado manual individual, no pasa más del 1% en masa del material retenido en ningún tamiz.

Pesaje e Informe de Resultados

1. Se determina la masa del material retenido en cada uno de los tamices de forma individual y acumulada utilizando la balanza de precisión correspondiente.
2. La suma de todas las masas retenidas en cada tamiz más el material recogido en el fondo receptor debe ser igual a la masa lavada y seca (Msl), admitiéndose una tolerancia máxima de error por pérdida o ganancia de material no mayor al 0.3% del peso inicial; si excede este límite, el ensayo será anulado.
3. Se calculan los porcentajes retenidos, retenidos acumulados y pasantes acumulados con base en la masa seca inicial (Msi), reportando los

resultados analíticos con aproximación al 0.1%. El informe final incluirá la curva granulométrica en un formato semilogarítmico.

CONDICIONES DE CONTROL DE CALIDAD

La Supervisión rechazará el ensayo y ordenará su repetición a costo del Contratista si se detecta alguna de las siguientes anomalías:

- Omitir el proceso de lavado de la muestra sobre el tamiz No. 200 antes del tamizado seco.
- Sobrecargar los tamices con una masa superior a la capacidad geométrica de la malla, lo que impide el libre paso de las partículas pequeñas (la capa de material retenido no debe exceder el tamaño nominal de la abertura o la masa máxima especificada por unidad de área en la norma).
- Utilizar mallas rotas, distorsionadas, colmatadas u oxidadas.
- Diferencias mayores al 0.3% entre el peso de control seco y la suma final de las fracciones retenidas.

MEDIDA Y PAGO

La unidad de medida para el pago de esta actividad será la Unidad (un) de ensayo de granulometría (análisis granulométrico por tamizado) completamente ejecutado e informado a satisfacción. La medición se realizará computando de forma individual cada ensayo finalizado que cuente con su respectiva planilla de pesajes, cálculo de porcentajes y gráfica de la curva granulométrica, debidamente avalado por el Ingeniero Geotecnista o Especialista de Laboratorio y aprobado por la Supervisión. El pago se efectuará al precio unitario contractual fijado para el ítem. Este precio y pago constituirán la compensación total y única por la ejecución de la actividad, cubriendo todos los costos directos e indirectos detallados a continuación:

- Mano de obra calificada (técnicos de laboratorio, laboratoristas, auxiliares) y el costo del personal profesional que revisa, procesa los datos y avala el informe técnico final.
- Costos asociados al uso, consumo de energía eléctrica, depreciación, calibración periódica y mantenimiento preventivo de la maquinaria de laboratorio (hornos de secado, balanzas de alta precisión, agitadores mecánicos de tamices).
- Suministro, uso, desgaste y reposición de la serie completa de tamices normativos certificados, cuarteadores de muestras, recipientes metálicos, brochas especiales y elementos de limpieza.

- Consumo de agua industrial o limpia para el proceso de lavado previo de las muestras.
- Insumos de papelería, impresión de planillas técnicas, elaboración de gráficos semilogarítmicos de gradación y almacenamiento digital de la información.
- Costos indirectos de operación del Contratista (la administración se reconoce por separado mediante el factor de administración del 13,4% del Presupuesto Oficial), de conformidad con el estricto cumplimiento de las normas INV E-123-13, INV E-213-13 y NTC 77 (2018).

1,06 ENSAYO DE LIMITES DE ATTEMBERG (LL, LP) (Norma técnica: INVE-125-13 INVE-126-13 NTC- 4630-99 ASTM D4318-17e1)

DESCRIPCIÓN

Este trabajo consiste en la determinación en laboratorio de los límites de consistencia o Límites de Atterberg (Límite Líquido y Límite Plástico) de la fracción de suelo fino que pasa por el tamiz No. 40 (0.425 mm). El ensayo se ejecutará de forma estrictamente obligatoria bajo los lineamientos metodológicos de las normas del Instituto Nacional de Vías: INV E-125-13 (Límite Líquido de los suelos), INV E-126-13 (Límite Plástico e Índice de Plasticidad de los suelos), su homóloga nacional NTC 4630 (1999) y la norma de referencia internacional ASTM D4318-17e1. Estas propiedades físicas definen los contenidos de humedad críticos en los cuales el comportamiento de un suelo cohesivo transita entre los estados sólido, semisólido, plástico y líquido:

- Límite Líquido (LL): Es el contenido de agua, expresado en porcentaje, con el cual el suelo cambia de un estado plástico a un estado líquido. Se define operacionalmente como la humedad requerida para que las dos mitades de un talud de suelo, separadas por un ranurador normalizado dentro de la cazuela de Casagrande, se unan en el fondo de la ranura a lo largo de una distancia de 13 mm (0.5") tras recibir exactamente 25 golpes a una velocidad controlada.
- Límite Plástico (LP): Es el contenido de agua, expresado en porcentaje, con el cual el suelo cambia de un estado semisólido a un estado plástico. Se define operacionalmente como la humedad en la cual el suelo comienza a agrietarse y desmoronarse al ser moldeado manualmente en cilindros de 3.2 mm (1/8") de diámetro sobre una superficie lisa no absorbente.
- Índice de Plasticidad (IP): Es el rango de contenidos de humedad en el cual el suelo exhibe un comportamiento plástico. Se calcula de forma analítica mediante la diferencia numérica entre el Límite Líquido y el Límite Plástico:

$$IP = LL - LP$$

Estos parámetros de plasticidad son indispensables para la clasificación de suelos por los sistemas USCS y AASHTO, y permiten predecir fenómenos de expansividad, compresibilidad y susceptibilidad al agua en proyectos geotécnicos.

MATERIALES E INSUMOS

El Contratista o el Laboratorio adjudicado deberá proveer todos los consumibles menores requeridos para la preparación de las muestras y ejecución del ensayo:

- Agua destilada o desmineralizada: Utilizada de forma obligatoria para humedecer e hidratar la muestra durante el mezclado. Se prohíbe terminantemente el uso de agua de chorro o corriente, ya que los iones y

sales minerales presentes pueden alterar significativamente las fuerzas electroquímicas de las arcillas, falseando los resultados de plasticidad.

- Formatos e impresión: Planillas normalizadas de laboratorio para el registro de golpes, pesajes húmedos/secos y trazado de la curva de fluidez.
- Elementos menores: Papel absorbente, toallas de limpieza, marcadores industriales de tinta indeleble y etiquetas de identificación térmica para las cápsulas de humedad.

MAQUINARIA Y EQUIPO

Todos los aparatos empleados en el laboratorio deberán contar con certificados de calibración y verificación geométrica vigentes emitidos por laboratorios acreditados ante el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC). El conjunto mínimo de equipos incluye:

3.1 Aparato de Límite Líquido (Cazuela de Casagrande)

- Dispositivo mecánico integrado por una copa de bronce normalizada montada sobre una base de caucho duro de resiliencia específica (según especificaciones técnicas de ASTM D4318). El mecanismo debe incluir un árbol de levas diseñado para levantar la copa verticalmente y dejarla caer en caída libre desde una altura exacta de 10 ± 0.2 mm. Puede ser de accionamiento manual o motorizado (a una velocidad constante de 2 golpes por segundo).

Herramientas de Ranuración (Ranuradores)

- Ranurador Plano (Tipo Casagrande o ASTM): Herramienta normalizada con dimensiones calibradas para cortar una ranura de 2 mm de ancho en el fondo, 11 mm de ancho en la parte superior y 8 mm de profundidad.
- Ranurador Curvo (Tipo AASHTO): Permitido únicamente para suelos de baja plasticidad donde el ranurador plano tienda a rasgar o deslizar la masa de suelo en lugar de cortarla.

Placa de Vidrio Esmerilado (Límite Plástico)

- Placa de vidrio de sección cuadrada o rectangular (mínimo 30 × 30 cm), con superficie esmerilada o texturizada no absorbente, utilizada para realizar el rolado manual de los cilindros de suelo sin absorber agua de la muestra.
- Varilla de comparación: Cilindro metálico de referencia con un diámetro exacto de 3.2 mm (1/8") para verificar visualmente el diámetro de los rollos de suelo durante el ensayo.

Horno de Secado y Balanza de Precisión

- Horno de secado: Con control térmico por termostato digital con ventilación forzada, ajustado continuamente a 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F).
- Balanza de precisión: Con legibilidad mínima y resolución de 0.01 g (Clase GP1), obligatoria debido a que las masas de control de humedad para estos límites son muy pequeñas (generalmente entre 5 g y 15 g) y cualquier variación milimétrica altera severamente el porcentaje calculado.

Herramientas Auxiliares de Mezclado

- Cápsula de evaporación o plato de mezclado de porcelana o acero inoxidable (aproximadamente 115 a 150 mm de diámetro).
- Espátulas flexibles de acero inoxidable con hojas de borde recto (aproximadamente 75 a 100 mm de longitud).
- Contenedores o cápsulas de humedad de aluminio anodizado con tapas herméticas numeradas.

EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS

El procedimiento técnico de ensayo se ejecutará siguiendo estrictamente los siguientes pasos secuenciales:

Preparación de la Muestra (Vía Húmeda o Seca)

1. Se tomará una porción representativa del suelo que pase por el tamiz No. 40 (0.425 mm) con una masa mínima de 150 a 200 g. Se prefiere metodológicamente la preparación por vía húmeda para evitar alteraciones por secado previo en arcillas altamente estructuradas.
2. El suelo se colocará en el plato de mezclado y se le adicionará agua destilada gradualmente, amasándolo vigorosamente con la espátula hasta formar una pasta homogénea y de consistencia pastosa suave.
3. La muestra se dejará reposar en un recipiente hermético durante un período mínimo de curado (entre 2 y 16 horas, dependiendo de la naturaleza química de la arcilla) para garantizar una distribución uniforme de la humedad en la red cristalina del suelo.

Determinación del Límite Líquido (LL)

1. Se coloca una porción de la pasta hidratada en la cazuela de Casagrande, nivelando la superficie con la espátula de modo que alcance un espesor máximo de 10 mm en el punto de mayor profundidad.
2. Se divide el suelo trazando una ranura limpia y vertical a lo largo de la línea central de la copa utilizando el ranurador calibrado, en un solo movimiento perpendicular a la superficie de la copa.
3. Se acciona el aparato girando la manivela a una velocidad constante de 2 golpes por segundo. Se cuenta y registra el número de golpes necesarios para que los bordes de la ranura se unan en una longitud continua de 13 mm (0.5").
4. Se toma inmediatamente una porción de suelo de la zona de unión y se introduce en una cápsula para determinar su contenido de agua (humedad) en el horno a 110 ± 5 °C por 16 horas.
5. El ensayo se repetirá al menos para tres puntos a diferentes contenidos de agua, distribuidos uniformemente en un rango comprendido entre 15 y 35 golpes (un punto entre 15-25 golpes, otro cercano a 25 golpes y otro entre 25-35 golpes).
6. Cálculo: Los datos se grafican en una escala semilogarítmica (Contenido de agua vs. Logaritmo del número de golpes). El Límite Líquido (LL) corresponderá a la humedad interpolada matemáticamente para la intersección exacta con los 25 golpes en la "curva de fluidez".

Determinación del Límite Plástico (LP)

1. De la muestra preparada originalmente, se tomará una porción de aproximadamente 20 g y se dejará reducir su humedad al aire o sobre un papel absorbente hasta que adquiera una consistencia moldeable que no se adhiera a las manos.
2. Se selecciona una masa de 1.5 a 2.0 g y se moldea con los dedos una pequeña esfera. Posteriormente, se rueda la esfera con la palma de la mano sobre la placa de vidrio esmerilado aplicando una presión uniforme, formando un cilindro de diámetro decreciente.
3. El proceso de rolado continuará hasta que el cilindro alcance un diámetro exacto de 3.2 mm (1/8"). Si el cilindro alcanza este diámetro sin agrietarse ni desmoronarse, se reúne la masa, se amasa para evaporar un poco de humedad y se repite el proceso.

4. El Límite Plástico se alcanza exactamente cuando el cilindro de suelo se agrieta y se fragmenta en pedazos pequeños de unos 6 mm de longitud al llegar simultáneamente al diámetro de 3.2 mm.

5. Los fragmentos desmoronados se recogen inmediatamente y se depositan en una cápsula tarada para determinar su humedad en el horno. Se deben realizar por lo menos dos determinaciones independientes y el Límite Plástico (LP) será el promedio de las humedades, con una diferencia máxima admitida entre ambas pruebas menor al 1.4%.

CONDICIONES DE CONTROL DE CALIDAD

La Supervisión ordenará la anulación y repetición de los ensayos si comprueba cualquiera de las siguientes fallas de control de calidad:

- Utilizar agua corriente o de grifo en lugar de agua destilada.
- Descalibración en la altura de caída de la cazuela de Casagrande (fuera del rango de 10 ± 0.2 mm) o ranuradores desgastados que no cumplan con las dimensiones geométricas normalizadas.
- Puntos de ensayo mal distribuidos para la curva de fluidez o que se ubiquen por fuera del rango de 15 a 35 golpes.
- Realizar el rolado del Límite Plástico sobre superficies absorbentes (como papel de filtro o cartón) en lugar de la placa de vidrio esmerilado.
- Uso de balanzas con una precisión inferior a 0.01 g.

MEDIDA Y PAGO

La unidad de medida para el pago de esta actividad será la Unidad (un) de ensayo de Límites de Atterberg completamente ejecutado e informado a satisfacción. La medición se realizará contabilizando de forma individual cada conjunto integral de ensayos (que comprende la ejecución del Límite Líquido, Límite Plástico y el cálculo del Índice de Plasticidad) que cuente con su respectiva planilla de laboratorio, gráfica de la curva de fluidez y reporte de resultados, debidamente avalado por el Ingeniero Geotecnista o Especialista de Laboratorio y aprobado por la Supervisión. El pago se efectuará al precio unitario contractual fijado para el ítem. Este precio y pago constituirán la compensación total y única por la ejecución de la actividad, cubriendo todos los costos directos e indirectos detallados a continuación:

- Mano de obra calificada (técnicos de laboratorio, laboratoristas, auxiliares) y el costo del personal profesional especialista que procesa, calcula e interpreta los resultados para la firma del informe definitivo.
- Costos asociados al uso, consumo de energía eléctrica, depreciación, calibración periódica y mantenimiento preventivo de la maquinaria de laboratorio (aparato de Casagrande, hornos de secado con termostato, balanzas analíticas de alta precisión Clase GP1).
- Suministro, uso y reposición de las herramientas menores y recipientes de control (ranuradores normalizados, placas de vidrio esmerilado, varillas de comparación, cápsulas de evaporación de porcelana, espátulas de acero y cápsulas de aluminio con tapa hermética).
- Suministro y consumo de agua destilada o desmineralizada de alta pureza para la hidratación controlada de los suelos finos.
- Insumos de papelería, impresión de planillas técnicas, procesamiento digital de la curva de fluidez y almacenamiento magnético de los informes.
- Costos indirectos de operación del Contratista (la administración se reconoce por separado mediante el factor de administración del 13,4% del Presupuesto Oficial), de conformidad con el estricto cumplimiento de las normas INV E-125-13, INV E-126-13, NTC 4630 (1999) y ASTM D4318-17e1.

1,07 ENSAYO PESO UNITARIO PARA SUELO Y ROCA (Norma técnica: ASTM D7263-21)

DESCRIPCIÓN

Este trabajo consiste en la determinación en laboratorio del peso unitario húmedo (γ), peso unitario seco (γ_d), densidad húmeda (ρ) y densidad seca (ρ_d) de muestras de suelo íntegras (inalteradas o remoldeadas) y núcleos de roca, expresando la relación entre la masa de la muestra y el volumen total que esta ocupa. El ensayo se ejecutará de forma estrictamente obligatoria bajo los lineamientos metodológicos de la norma de referencia internacional ASTM D7263-21, aplicable a especímenes con geometría regular o irregular. El principio del ensayo varía según las características físicas de la muestra:

- Método A (Geometría Regular): Se aplica a especímenes cilíndricos o prismáticos tallados directamente de bloques inalterados, tubos Shelby o núcleos de perforación NQ. El volumen (V) se calcula mediante mediciones lineales directas de sus dimensiones geométricas utilizando un calibrador vernier.
- Método B (Desplazamiento de Agua / Geometría Irregular): Se aplica a muestras que no pueden ser talladas con formas regulares (por ejemplo, fragmentos de roca fracturada o conglomerados). El volumen se determina midiendo de forma indirecta el volumen de agua desplazado por la muestra sumergida, requiriendo un sellado previo e impermeable con parafina fundida para evitar que el agua penetre en los poros del espécimen durante la inmersión.

Esta propiedad física fundamental es indispensable para el cálculo de empujes de tierra, análisis de estabilidad de taludes, capacidad portante de cimentaciones, asentamientos y la conversión de esfuerzos totales a efectivos.

MATERIALES E INSUMOS

El Contratista o el Laboratorio adjudicado deberá proveer todos los consumibles requeridos para la correcta preparación, sellado y ejecución del ensayo:

- Parafina sólida purificada (Refinada) y brea: Utilizada en el Método B para el sellado hermético de muestras irregulares. Debe poseer una densidad conocida y constante verificada en laboratorio (típicamente entre 0.87 y 0.91 g/cm³).
- Agua limpia o destilada: Utilizada para llenar el tanque de inmersión en el método de desplazamiento volumétrico o balanza hidrostática.
- Formatos e impresión: Planillas de laboratorio normalizadas para el registro de dimensiones lineales, pesajes al aire, pesajes sumergidos, control de taras de parafina y temperaturas del horno.
- Insumos de corte y marcación: Hilos de alambre fino de acero, cuchillos de campo, espátulas de laboratorio (para el perfilado y tallado de muestras), marcadores industriales y etiquetas adhesivas.

MAQUINARIA Y EQUIPO

Todos los aparatos empleados en el laboratorio deberán contar con certificados de calibración vigentes emitidos por laboratorios acreditados ante el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC) o su equivalente internacional. El conjunto mínimo de equipos incluye:

Balanzas de Precisión e Hidrostática

- Balanza de precisión (Operación estándar): Con capacidad suficiente según el tamaño del espécimen y una legibilidad mínima de 0.01 g (Clase GP1)

para muestras de menos de 200 g, o de 0.1 g para muestras mayores, garantizando una resolución óptima para el cálculo de densidades.

- Balanza Hidrostática (Método B): Balanza adaptada con un gancho inferior que permite suspender una canastilla de alambre sumergida dentro de un tanque de agua, diseñada para registrar la masa sumergida de la muestra sin interferencias dinámicas.

Instrumentos de Medición Lineal (Método A)

- Calibrador Vernier (Pie de rey): Digital o analógico, con una legibilidad mínima de 0.02 mm o 0.01 mm, utilizado para tomar múltiples lecturas de altura y diámetro (mínimo tres lecturas por dimensión) en especímenes con geometría regular.

Horno de Secado (Estufa Térmica)

- Horno con sistema de ventilación forzada controlado por termostato digital, capaz de mantener de manera continua y uniforme una temperatura de 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F), utilizado para determinar la humedad final de la muestra y calcular el peso unitario seco. Para suelos orgánicos o con presencia de yeso se calibrará a 60 ± 4 °C.

Dispositivo de Fundición de Parafina (Método B)

- Estufa eléctrica portátil o crisol con control de temperatura para fundir la parafina de forma segura, evitando que esta llegue a su punto de ignición o sobrecalentamiento, lo cual alteraría su densidad estructural.

Herramientas Auxiliares de Tallado

- Mitre de laboratorio, torno manual para tallado de cilindros, sierras de alambre, y desbastadores de bordes para garantizar caras perfectamente planas y paralelas en las muestras regulares.

EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS

El procedimiento técnico de ensayo se ejecutará siguiendo estrictamente los siguientes pasos secuenciales:

Preparación de la Muestra

- La muestra (suelo inalterado o roca) se extraerá cuidadosamente de su empaque de campo (tubo Shelby o caja nucleera), evitando la pérdida de humedad natural o su desmoronamiento.
- Se seleccionará el método de ensayo (A o B) dependiendo de si la cohesión intrínseca del material permite o no un tallado geométrico regular.

Procedimiento por el Método A (Especímenes Regulares)

1. Se talla un espécimen cilíndrico o prismático de dimensiones controladas (se sugiere un diámetro mínimo de 35 mm y una relación altura/diámetro entre 2.0 y 2.5).
2. Se determina y registra la masa húmeda inicial de la muestra (M_t) con la balanza de precisión.
3. Se miden con el calibrador vernier la altura (H) y el diámetro (D) en diferentes puntos del cilindro. Se calcula el volumen promedio (V) aplicando fórmulas geométricas estándar.
4. Se introduce la muestra en el horno a 110 ± 5 °C por un mínimo de 16 horas para determinar la masa seca (M_s).

Procedimiento por el Método B (Especímenes Irregulares por Parafinado)

1. Se selecciona un fragmento firme e irregular de la muestra y se determina su masa húmeda inicial al aire (M_t).

2. Utilizando un pincel o por inmersión rápida, se recubre la totalidad de la muestra con una capa uniforme de parafina fundida. Se deja enfriar y se verifica que no existan burbujas de aire atrapadas ni fisuras que permitan la entrada de agua.

3. Se determina la masa de la muestra parafinada al aire (M_{tp}). La masa de la parafina agregada se calcula como: $M_p = M_{tp} - M_t$.

4. Se suspende la muestra parafinada en la balanza hidrostática y se registra su masa sumergida en el agua (M_{sub}).

5. Cálculo del Volumen: El volumen total del espécimen sin parafina (V) se determina restando el volumen ocupado por la parafina ($V_p = M_p / \rho_p$) al volumen total desplazado:

Donde ρ_w es la densidad del agua a la temperatura de ensayo y ρ_p es la densidad de la parafina.

6. Se retira la capa de parafina, se toma una porción interna del suelo y se seca en el horno a 110 ± 5 °C para hallar el contenido de humedad (w).

Cálculos Analíticos

Con los datos obtenidos, se calculan las siguientes propiedades:

- Peso Unitario Húmedo (γ): $\gamma = (M_t \times g) / V$ (expresado en kN/m^3).
- Peso Unitario Seco (γ_d): $\gamma_d = (\gamma) / (1 + (w/100))$ o $\gamma_d = (M_s \times g) / V$ (expresado en kN/m^3).
- El informe de resultados del laboratorio reportará los valores de densidad y peso unitario con una aproximación mínima al 0.01 g/cm^3 (o 0.1 kN/m^3).

CONDICIONES DE CONTROL DE CALIDAD

La Supervisión rechazará el ensayo y ordenará su repetición a costo del Contratista si se detecta alguna de las siguientes anomalías:

- Especímenes del Método A con caras imperfectas, no paralelas o con desmoronamientos visibles que alteren el cálculo del volumen geométrico.
- Capas de parafina defectuosas (con burbujas de aire visibles o fisuras que permitan la absorción de agua por el suelo durante la inmersión).
- Omitir la corrección por densidad de la parafina o por temperatura del agua en los cálculos volumétricos del Método B.
- Uso de balanzas descalibradas o instrumentos de medición lineal con resoluciones inferiores a las especificadas por la norma ASTM D7263-21.

MEDIDA Y PAGO

La unidad de medida para el pago de esta actividad será la Unidad (un) de ensayo de peso unitario para suelo y roca completamente ejecutado e informado a satisfacción. La medición se realizará contabilizando de forma individual cada determinación completada (húmeda y seca) que cuente con su respectiva planilla de cálculos, metodología de ensayo especificada (Método A o B) y reporte de resultados, debidamente avalado por el Ingeniero Geotecnista o Especialista de Laboratorio y aprobado por la Supervisión. El pago se efectuará al precio unitario contractual fijado para el ítem. Este precio y pago constituirán la compensación total y única por la ejecución de la actividad, cubriendo todos los costos directos e indirectos detallados a continuación:

- Mano de obra calificada (técnicos de laboratorio, torneros de muestras, auxiliares) y el costo del personal profesional que revisa, calcula y firma el informe técnico definitivo.
- Costos asociados al uso, consumo de energía eléctrica, depreciación, calibración periódica y mantenimiento preventivo de la maquinaria de

laboratorio (balanzas de precisión, sistemas de balanza hidrostática con tanques de inmersión, calibradores vernier digitales, hornos de secado con termostato).

- Suministro, uso y reposición de consumibles y herramientas menores (parafina refinada, brea, pinceles, hilos de alambre de acero, mitres de tallado, espátulas y cápsulas de humedad).
- Insumos de papelería, impresión de planillas técnicas de laboratorio y procesamiento digital de la información.
- Costos indirectos de operación del Contratista (la administración se reconoce por separado mediante el factor de administración del 13,4% del Presupuesto Oficial), de conformidad con el estricto cumplimiento de la norma internacional ASTM **D7263-21**.

1,08 ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN SUELO (suelos granulares o cohesivos) INV E 125 - 126 :2013.

DESCRIPCIÓN

Este trabajo consiste en la determinación en laboratorio de la resistencia al esfuerzo cortante de una muestra de suelo (fino cohesivo o granular), sometida a un proceso de consolidación previa bajo una carga normal conocida y, posteriormente, a una falla por corte a lo largo de un plano de deslizamiento horizontal predeterminado a una velocidad de deformación lo suficientemente lenta para garantizar condiciones drenadas (disipación total de presiones de poros). El ensayo se ejecutará de forma estrictamente obligatoria bajo los lineamientos metodológicos de la norma oficial colombiana INV E-154-13 o su referente internacional de validación ASTM D3080/D3080M-11. A través de esta prueba de laboratorio se obtienen los parámetros de resistencia al corte del suelo:

- Cohesión efectiva (c'): Resistencia intrínseca de la matriz de suelo debida a fuerzas electroquímicas entre partículas finas, expresada en kilopascales (kPa) o kilogramos fuerza por centímetro cuadrado (kgf/cm^2).
- Ángulo de fricción interna (ϕ'): Resistencia al deslizamiento debida a la fricción y entrelazamiento mecánico entre los granos del suelo, expresada en grados sexagesimales ($^\circ$).

Estos parámetros se deducen a partir de la envolvente de falla de Mohr-Coulomb, obtenida al ensayar un mínimo de tres (3) especímenes idénticos bajo diferentes esfuerzos normales (σ), graficando los esfuerzos cortantes máximos o residuales (τ) mediante la ecuación lineal fundamental:

$$\tau = c' + \sigma * \tan(\phi')$$

MATERIALES E INSUMOS

El Contratista o el Laboratorio adjudicado deberá proveer todos los consumibles menores requeridos para el correcto acondicionamiento y ejecución del ensayo:

- Agua destilada o desmineralizada: Requerida obligatoriamente para inundar la caja de corte durante la fase de saturación y consolidación de la muestra, impidiendo perturbaciones iónicas en arcillas activas.
- Piedras porosas: Discos o placas permeables de óxido de aluminio o carburo de silicio con porosidad adecuada para permitir el libre flujo de agua sin que los finos del suelo penetren en ellas. Deberán limpiarse mediante ultrasonido o ebullición antes de cada uso.

- Papel de filtro: Discos de papel absorbente de filtración lenta (tipo Whatman No. 54 o equivalente) colocados entre el suelo y las piedras porosas para evitar la colmatación de estas últimas.
- Grasa de silicona o teflón líquido: Aplicada en las caras internas de las dos mitades de la caja de corte para minimizar la fricción parásita entre el marco metálico y el suelo durante la aplicación de la fuerza tangencial.
- Formatos técnicos: Planillas impresas o digitales parametrizadas para registrar lecturas de deformación vertical (consolidación), deformación horizontal y fuerza de corte en tiempo real.

MAQUINARIA Y EQUIPO

Todos los aparatos empleados deberán contar con certificados de calibración y verificación metrológica vigentes expedidos por laboratorios acreditados ante el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC). El conjunto mínimo de equipos incluye:

Máquina de Corte Directo

- Equipo motorizado con un sistema de velocidad de avance horizontal regulable y controlado de forma electrónica mediante un motor paso a paso, capaz de mantener velocidades constantes desde 0.0001 mm/min hasta 2.0 mm/min de manera ininterrumpida.

Caja de Corte (Split Box)

- Caja de acero inoxidable o bronce dividida horizontalmente en dos mitades simétricas. Puede ser de sección circular o cuadrada (con dimensiones típicas mínimas de 60 mm de lado/diámetro y un espesor inicial mínimo de muestra de 20 mm). El diseño debe garantizar que la relación diámetro/espesor sea de por lo menos 3:1.

Sistemas de Aplicación de Carga y Medición

- Carga Normal: Sistema de palancas mecánicas con pesas muertas o pistón neumático/hidráulico calibrado para aplicar y mantener esfuerzos normales constantes sobre la muestra con una precisión de $\pm 1\%$.
- Transductor de Fuerza (Célula de Carga): Dispositivo electrónico acoplado al marco de corte para medir la fuerza cortante horizontal con una resolución mínima de 0.1 N o 0.01 kgf.
- Indicadores de Deformación (LVDT o Comparadores de Carátula):
- Un sensor horizontal para medir el desplazamiento de corte con rango mínimo de 15 mm y resolución de 0.01 mm.
- Un sensor vertical para medir los cambios volumétricos (asentamiento o dilatación) durante la consolidación y la falla, con resolución mínima de 0.001 mm.

Horno de Secado y Balanza de Precisión

- Horno de secado: Con control térmico digital por convección forzada ajustado continuamente a $110 \pm 5^\circ\text{C}$.
- Balanza de precisión (Clase GP1): Con legibilidad de 0.01 g, obligatoria para determinar las densidades iniciales y contenidos de humedad antes y después de la falla.

EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS

El procedimiento técnico de ensayo se ejecutará siguiendo estrictamente los siguientes pasos secuenciales:

Preparación y Tallado de los Especímenes

1. Suelos Cohesivos: A partir de un bloque inalterado o tubo Shelby, se corta un prisma grueso y, empleando un anillo cortador metálico de dimensiones

idénticas al interior de la caja de corte, se perfila la muestra con un cuchillo de campo o sierra de alambre hasta que encaje perfectamente sin dejar vacíos perimetrales. Las caras superior e inferior deben quedar completamente planas y rasantes.

2. Suelos Granulares: El suelo seco o a la humedad de control se compacta directamente dentro de la caja de corte ensamblada (con los pines de seguridad puestos) en un número determinado de capas utilizando un pisón de cara plana, controlando la masa de suelo vertida para garantizar la densidad de campo o de diseño preestablecida.

Fase de Consolidación y Saturación

1. Se ensambla la caja de corte en la máquina, se colocan las piedras porosas húmedas y el papel de filtro envolviendo al suelo.
2. Se aplica el pistón de carga vertical e inmediatamente se llena la cámara exterior con agua destilada para inundar el espécimen (fase de saturación).
3. Se aplica el primer esfuerzo normal seleccionado (σ_1 , por ejemplo 50 kPa). Se toman lecturas del deformímetro vertical a intervalos de tiempo normalizados (0.1, 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8, 15, 30 min, y hasta 24 horas) para construir la curva de consolidación vertical (método de Taylor o Casagrande).
4. La muestra se considera consolidada cuando ha alcanzado el 100% de la consolidación primaria (t_{100}).

Determinación de la Velocidad de Corte (Criterio Drenado)

Para asegurar que no se generen presiones de poros espúreas durante la falla de suelos finos, la velocidad máxima de deformación horizontal (r) se calculará de forma analítica en función del tiempo requerido para alcanzar la falla (t_f): $T_f = 50 * t_{50} r = df / t_f$ Donde t_{50} es el tiempo necesario para alcanzar el 50% de la consolidación primaria y df es el desplazamiento horizontal estimado al cual ocurrirá la falla (típicamente entre 4 mm y 6 mm para suelos plásticos). Para arenas limpias de libre drenaje, la velocidad estándar permitida suele ser de 0.5 mm/min a 1.0 mm/min.

Fase de Cizalladura o Corte

1. Se retiran los pines de alineación vertical que mantenían unidas las dos mitades de la caja y se ajusta el tornillo de separación perimetral para crear una luz milimétrica entre marcos (evitando la fricción metal-metal).
2. Se inicia el motor a la velocidad calculada (r). Se registran de forma simultánea las lecturas de deformación horizontal, deformación vertical y fuerza de corte a intervalos regulares de desplazamiento (cada 0.2 mm de avance).
3. El ensayo progresa hasta que la fuerza de corte alcance un valor máximo (pico) y se estabilice (valor residual), o hasta que el desplazamiento horizontal supere el 10% del diámetro o longitud de la muestra (aproximadamente 6 mm).
4. Se repite el procedimiento completo en los otros dos especímenes restantes utilizando esfuerzos normales superiores (por ejemplo, $\sigma_2 = 100$ kPa y $\sigma_3 = 200$ kPa).

Cálculos y Gráficas del Informe Técnico

El informe final emitido por el laboratorio deberá contener de forma rigurosa:

- Curvas de Esfuerzo Cortante vs. Desplazamiento Horizontal para los tres especímenes ensayados.
- Curvas de Deformación Vertical (cambio volumétrico) vs. Desplazamiento Horizontal (identificación de comportamiento contractivo o dilatante).

- Gráfico de la Envolvente de Falla de Mohr-Coulomb (Esfuerzo Cortante Máximo vs. Esfuerzo Normal), indicando mediante regresión lineal el valor numérico de la Cohesión (c') con aproximación al decimal y el Ángulo de Fricción (ϕ') en grados enteros.

CONDICIONES DE CONTROL DE CALIDAD

La Supervisión ordenará la inmediata anulación del ensayo y su repetición a costo exclusivo del Contratista ante cualquiera de las siguientes desviaciones técnicas:

- Velocidades de corte excesivamente rápidas que impidan el drenaje del agua en suelos cohesivos finos, transformando el ensayo de forma errónea en una prueba no drenada.
- Pérdida de material (suelo) por la luz interna de separación entre las mitades de la caja durante la cizalladura.
- Ensayar menos de tres (3) puntos de carga normal o emplear muestras que no sean homogéneas o idénticas en su estructura y densidad original.
- Errores de cierre en el balance de masas secas/húmedas mayores al 0.5% al finalizar la prueba.

MEDIDA Y PAGO

La unidad de medida para el pago de esta actividad será la Unidad (un) de ensayo de corte directo completo (compuesto obligatoriamente por la rotura de la serie mínima de tres especímenes independientes a diferentes esfuerzos normales). La medición se validará únicamente cuando el laboratorio entregue el informe técnico completo que contenga las planillas de datos de consolidación, las gráficas de esfuerzo-deformación y la deducción geométrica de los parámetros de resistencia (c') y (ϕ'), debidamente firmado por el Ingeniero Geotecnista Especialista y aprobado por la Supervisión. El pago se efectuará al precio unitario contractual fijado para el ítem. Este precio y pago constituirán la compensación total y única por la ejecución de la actividad, cubriendo todos los costos directos e indirectos detallados a continuación:

- Mano de obra calificada (técnicos especialistas en ensayos mecánicos de suelos, laboratoristas de soporte) y el costo del personal profesional especialista que procesa las lecturas de los LVDT, calibra las áreas corregidas de contacto de la caja y modela la envolvente de falla.
- Costos asociados al uso, consumo de energía eléctrica, depreciación, mantenimiento mecánico y calibración oficial periódica ante la ONAC de la máquina de corte directo, células de carga y sensores de desplazamiento digital.
- Suministro, uso y reposición de las herramientas menores de precisión y consumibles (anillos de tallado, sierras de alambre, piedras porosas calibradas, papel de filtro Whatman, grasa de silicona protectora, agua destilada y cápsulas de humedad).
- Insumos de papelería, licencias de software geotécnico para la adquisición y procesamiento gráfico de datos, y almacenamiento magnético de los registros.
- Costos indirectos de operación del Contratista (la administración se reconoce por separado mediante el factor de administración del 13,4% del Presupuesto Oficial), de conformidad con el estricto cumplimiento de la norma oficial colombiana

INV E-154-13.

1,09 COMPRESION INCONFINADA (SUELO) (Norma técnica: INVE-152-13 NTC-1527-00 ASTM D2166/D2166M-16.)

DESCRIPCIÓN

Este trabajo consiste en la determinación en laboratorio de la resistencia a la compresión inconfinada (q_u) de suelos cohesivos (arcillas y limos) en estado inalterado, compactado o remoldeado. El ensayo se ejecutará de forma estrictamente obligatoria bajo los lineamientos metodológicos de las normas INV E-152-13 (Instituto Nacional de Vías), su homóloga nacional NTC 1527:2000 (ICONTEC) y la norma de referencia internacional ASTM D2166/D2166M-16. El principio del ensayo se basa en someter un espécimen cilíndrico de suelo tallado, libre de confinamiento lateral (esfuerzo radial o de celda $\sigma_3 = 0$), a una carga axial que se aplica de manera continua mediante deformación controlada hasta que se produzca la falla por cortante o hasta que la deformación axial alcance el 15%. A través de esta prueba de laboratorio se obtienen dos parámetros fundamentales:

- Resistencia a la compresión inconfinada (q_u): Es el máximo esfuerzo axial soportado por el suelo antes de la falla, o el esfuerzo axial correspondiente al 15% de deformación axial, lo que ocurra primero.
- Resistencia al corte no drenado (s_u o c_u): Para suelos cohesivos saturados, bajo la hipótesis de que el ángulo de fricción interna no drenado es cero ($\phi_u = 0$), la cohesión no drenada equivale matemáticamente a la mitad de la resistencia a la compresión inconfinada:

$$s_u = q_u/2$$

Este ensayo proporciona una evaluación rápida y económica de la resistencia al corte de suelos finos saturados, siendo un insumo clave para el diseño preliminar de cimentaciones superficiales, estabilidad de taludes a corto plazo y la estimación de la sensibilidad de la arcilla.

MATERIALES E INSUMOS

El Contratista o el Laboratorio adjudicado deberá proveer todos los consumibles menores requeridos para la preparación, protección y ejecución del ensayo:

- Formatos técnicos de laboratorio: Planillas impresas o digitales parametrizadas para el registro de lecturas de fuerza axial, deformación unitaria, cálculo de áreas corregidas y esfuerzo calculado en tiempo real.
- Elementos para el control de humedad: Membranas plásticas delgadas o recipientes herméticos para proteger el espécimen de pérdidas de humedad por evaporación durante el proceso de tallado y el tiempo de espera previo al montaje.
- Insumos de marcado y rotulado: Etiquetas térmicas permanentes y marcadores de tinta indeleble para identificar las cápsulas de control de humedad de las muestras ensayadas.

MAQUINARIA Y EQUIPO

Todos los aparatos empleados en el laboratorio deberán contar con certificados de calibración y verificación metrológica vigentes expedidos por laboratorios acreditados ante el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC) o su equivalente internacional. El conjunto mínimo de equipos incluye:

Prensa de Compresión Mecánica o Digital

- Dispositivo de carga accionado por motor eléctrico capaz de aplicar la fuerza axial a una velocidad de deformación constante y regulable de manera electrónica. El equipo debe garantizar un avance uniforme dentro del rango

especificado por la norma (entre 0.5% y 2.0% por minuto de la altura inicial del espécimen).

Aparatos de Medición e Instrumentación

- Indicador de Carga: Célula de carga electrónica o anillo de carga calibrado acoplado al pistón superior, con una precisión mínima de $\pm 1\%$ de la carga máxima estimada y una sensibilidad de hasta 1 N o 0.1 kgf.
- Indicador de Deformación Axial (LVDT o Dial Comparador): Transductor digital o comparador de carátula mecánica con un rango mínimo de carrera de 25 mm y una resolución de 0.01 mm, utilizado para medir el desplazamiento vertical del espécimen durante la compresión.

Instrumentos de Medición Lineal y Tallado

- Calibrador Vernier (Pie de Rey): Digital o analógico, con una resolución mínima de 0.02 mm o superior, empleado para realizar un mínimo de tres lecturas de diámetro (en la parte superior, media e inferior del espécimen)

y tres lecturas de altura para calcular los valores geométricos promedio iniciales.

- Herramientas de Perfilado: Torno manual para tallado de cilindros de suelo, mitre metálico, sierras de alambre fino de acero, cuchillos de campo con borde recto y espátulas flexibles para refrentar las caras extremas del cilindro, asegurando que queden perfectamente planas, ortogonales al eje longitudinal y paralelas entre sí.

Horno de Secado y Balanza de Precisión

- Horno de secado: Con control térmico digital por convección forzada ajustado continuamente a 110 ± 5 °C (o 60 ± 4 °C para suelos con alto contenido orgánico).
- Balanza de precisión (Clase GP1): Con legibilidad mínima de 0.01 g, obligatoria para determinar la masa inicial del cilindro húmedo y la masa final seca para el cálculo de la densidad y humedad exacta

EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS

El procedimiento técnico de ensayo se ejecutará siguiendo estrictamente los siguientes pasos secuenciales:

Dimensiones y Preparación del Especimen

1. Relación Geométrica: El espécimen cilíndrico debe poseer un diámetro mínimo de 30 mm. Las partículas de mayor tamaño dentro del suelo no deben superar el 10% del diámetro del cilindro. La relación entre la altura inicial (H_0) y el diámetro inicial (D_0) debe mantenerse obligatoriamente en un rango de 2.0 a 2.5.
2. Tallado: A partir de un bloque inalterado o muestra de tubo Shelby, se perfila el suelo en el torno manual hasta obtener el diámetro objetivo. Se corta longitudinalmente con el mitre y la sierra de alambre, y se refrentan los extremos. Se determinan la masa húmeda inicial y las dimensiones promedio con el calibrador vernier.

Montaje y Aplicación de la Carga Axial

1. Se coloca el espécimen sobre el platillo inferior de la prensa de compresión, centrando perfectamente su eje vertical con respecto al pistón superior.
2. Se aproxima el platillo superior hasta que haga un contacto milimétrico con la cara de la muestra, ajustando los deformímetros de carga y desplazamiento vertical a cero.
3. Se inicia la aplicación de la carga accionando la prensa a la velocidad calculada según la altura de la muestra (por ejemplo, para un espécimen de

80 mm de altura, a una tasa estándar de 1.0 mm/min, equivalente al 1.25% por minuto).

4. Se registran simultáneamente los valores de fuerza axial y deformación vertical a intervalos de desplazamiento preestablecidos (típicamente cada 0.2 mm o cada 0.5% de deformación).

Criterio de Falla y Fin del Ensayo

El ensayo continuará aplicándose de manera ininterrumpida hasta que se cumpla una de las siguientes tres condiciones:

- La fuerza axial aplicada alcance un valor máximo y empiece a decrecer de forma evidente (falla frágil por plano de corte definido).
- La fuerza axial se estabilice en un valor constante durante tres lecturas sucesivas.
- La deformación unitaria axial (ϵ) alcance el 15.0% (falla plástica o abultamiento lateral sin plano de rotura visible).

Inmediatamente finalizada la prueba, se retira el espécimen, se realiza un croquis o fotografía del tipo de falla (fractura inclinada, fisuras verticales o abultamiento), y se introduce la totalidad del suelo en el horno a 110 ± 5 °C por 16 horas para determinar su contenido de humedad final (w).

Cálculos Analíticos

Para cada punto registrado, se calcularán las siguientes variables:

1. Deformación Unitaria Axial (ϵ): $\epsilon = \Delta H / H_0$.
2. Área Corregida del Especimen (A): Debido al abultamiento lateral que experimenta el cilindro durante la compresión, el área transversal se corrige continuamente mediante la ecuación: $A = A_0 / (1 - \epsilon)$

Donde A_0 es el área transversal inicial promedio de la muestra.

3. Esfuerzo Compresivo Axial (σ): $\sigma = P / A$, donde P es la carga axial aplicada en ese instante.

El informe final reportará de manera rigurosa la curva de Esfuerzo vs. Deformación Unitaria, indicando explícitamente el valor de la Resistencia a la Compresión Inconfinada (q_u) con aproximación a la unidad en kPa y la Cohesión No Drenada (c_u).

CONDICIONES DE CONTROL DE CALIDAD

La Supervisión ordenará la anulación del ensayo y su repetición a costo exclusivo del Contratista ante cualquiera de las siguientes desviaciones técnicas:

- Muestras que presenten una relación altura/diámetro fuera del rango de 2.0 a 2.5, o con caras extremas no paralelas que induzcan excentricidades en la aplicación de la carga.
- Velocidades de avance de la prensa mecánica superiores al 2.0% por minuto o inferiores al 0.5% por minuto, que alteren la respuesta al esfuerzo de la matriz arcillosa.
- Omitir la corrección del área transversal ($A = A_0 / (1 - \epsilon)$) en el procesamiento de los datos analíticos del informe.
- Especímenes que se agrieten o desmoronen durante la fase de tallado debido a una baja cohesión intrínseca (el ensayo no es aplicable a arenas limpias o suelos no cohesivos).

MEDIDA Y PAGO

La unidad de medida para el pago de esta actividad será la Unidad (un) de ensayo de compresión inconfinada completamente ejecutado e informado a

satisfacción. La medición se realizará computando de forma individual cada ensayo de cilindro finalizado que cuente con su respectiva planilla de datos, curva de esfuerzo-deformación calculada, descripción visual del tipo de rotura e informe técnico de laboratorio, debidamente avalado por el Ingeniero Geotecnista o Especialista de Laboratorio y aprobado por la Supervisión. El pago se efectuará al precio unitario contractual fijado para el ítem. Este precio y pago constituirán la compensación total y única por la ejecución de la actividad, cubriendo todos los costos directos e indirectos detallados a continuación:

- Mano de obra calificada (técnicos de laboratorio especialistas en ensayos mecánicos, laboratoristas de soporte) y el costo del personal profesional que procesa las lecturas de deformación, calcula las áreas corregidas y valida el informe de resultados.
- Costos asociados al uso, consumo de energía eléctrica, depreciación, calibración oficial periódica ante la ONAC y mantenimiento preventivo de la prensa de compresión, transductores electrónicos de carga, sensores LVDT, calibradores vernier y hornos de secado.
- Suministro, uso y reposición de las herramientas menores de precisión y consumibles (tornos de tallado, mitres, sierras de alambre de acero, espátulas, películas de plástico protectoras y cápsulas de humedad).
- Insumos de papelería, licencias de software de adquisición de datos y almacenamiento magnético de los informes.
- Costos indirectos de operación del Contratista (la administración se reconoce por separado mediante el factor de administración del 13,4% del Presupuesto Oficial), de conformidad con el estricto cumplimiento de las normas INV E-152-13, NTC 1527:2000 y ASTM D2166/D2166M-16.

1,10 LINEAS DE REFRACCION SISMICA + MEDICIONES DE ONDAS SUPERFICIALES MASW/SASW (que permitan profundidad de exploración de mín 30 m)

DESCRIPCIÓN

Este trabajo consiste en la planificación, adquisición en campo, procesamiento digital, modelación e interpretación de ensayos geofísicos combinados de Refracción Sísmica y Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW /

SASW).

El objetivo principal es la caracterización dinámica no destructiva de las capas del subsuelo mediante la determinación de las velocidades de propagación de las ondas sísmicas de cuerpo (Ondas de Compresión, (V_p) y ondas de superficie (Ondas Rayleigh / de Corte, V_s). La configuración geométrica, espaciamiento de sensores y potencia de la fuente sísmica se diseñarán de forma obligatoria para garantizar una profundidad mínima de exploración de treinta metros (30 m) desde la superficie actual del terreno. Esto permitirá calcular de manera directa el parámetro de velocidad de onda de corte promedio en los primeros 30 metros (vs_{30}), indispensable para la clasificación del perfil de suelo según los requisitos sismorresistentes vigentes (v.g., Norma NSR-10 en Colombia o códigos internacionales equivalentes). La actividad incluye de forma integral:

- La localización topográfica y replanteo de los ejes de las líneas sísmicas en campo.
- El despliegue de las líneas sísmicas (geófonos, cables de extensión multicanal y sismógrafo).
- La generación de energía elástica mediante fuentes sísmicas activas (impactos controlados).

- El registro y control de calidad de los sismogramas en tiempo real.
- El procesamiento e inversión matemática de las curvas de dispersión y hodócrinas.
- La entrega de modelos de tomografía sísmica 2D (V_p) y perfiles unidimensionales o bidimensionales de velocidad de onda de corte (V_s), debidamente correlacionados con la geología local.

MATERIALES E INSUMOS

El Contratista deberá suministrar la totalidad de los materiales fungibles y elementos de protección menor necesarios para el desarrollo seguro y eficiente de los ensayos en campo:

- Insumos de Marcación y Replanteo: Estacas de madera o varillas metálicas, pintura en aerosol de alta visibilidad (no biodegradable para marcas temporales), cinta de peligro reflectiva y banderas de señalización para los puntos de geófono.
- Consumibles de Operación: Baterías de ciclo profundo (12V de gel o litio) de respaldo para el sismógrafo, cables de conexión, conectores impermeables de repuesto, cinta aislante industrial y bolsas plásticas de protección contra intemperie o lluvia para los módulos electrónicos.
- Formatos de Campo: Libretas de campo impermeables o formatos digitales para el registro de la geometría de adquisición (coordenadas de geófonos, posiciones de disparo, desfases, ruidos ambientales identificados).

MAQUINARIA Y EQUIPO

Todos los equipos geofísicos e instrumental de medición propuestos por el Contratista deberán encontrarse en perfecto estado operativo y contar con sus respectivas fichas técnicas de homologación de fábrica. El conjunto mínimo de equipos incluye:

Sismógrafo de Alta Resolución

- Sismógrafo digital de grado geofísico con un mínimo de 24 canales activos simultáneos.
- Debe poseer convertidores análogo-digitales (A/D) de 24 bits reales por canal, con un rango dinámico mínimo de 110 dB, bajo nivel de ruido instrumental interno, filtros analógicos/digitales configurables y capacidad de apilamiento térmico de señales (stacking) en tiempo real para optimizar la relación señal/ruido.

Sensores Sísmicos (Geófonos)

- Para Refracción Sísmica (V_p): Una serie mínima de 24 geófonos verticales de frecuencia natural intermedia a alta (10 Hz a 14 Hz) con sus respectivas puntas de hincapié (spikes) de acero para garantizar un acople mecánico firme con el terreno natural.
- Para Ondas Superficiales (MASW / SASW - V_s): Una serie mínima de 24 geófonos verticales de baja frecuencia natural (4.5 Hz o inferior), indispensables para capturar las longitudes de onda largas necesarias para alcanzar y superar el umbral de los 30 metros de profundidad de exploración con fuentes activas.

Tuberías de Conexión y Cables Sísmicos

- Cables multicanal (spread cables) con blindaje electromagnético de alta resistencia mecánica, con espaciamientos fijos entre tomas (take-outs) adaptados al diseño geométrico del ensayo.

Fuentes de Excitación Sísmica (Activa)

Para asegurar la profundidad de penetración de 30 metros en conglomerados, rocas o suelos densos, se prohíbe el uso exclusivo de martillos ligeros. Se exige el uso de:

- Martillo manual pesado tipo mandarria (mínimo 16 lb a 22 lb) impactando sobre una placa de golpeo de aluminio de alta resistencia o polímero de alta densidad.
- Sistema mecánico asistido por gravedad o resorte tensionado (tipo Weight Drop) o micro - detonaciones controladas, en caso de que las condiciones de atenuación geométrica del terreno amortigüen severamente la señal del martillo manual y la supervisión lo requiera.

Equipos Auxiliares y Posicionamiento

- Sistema de posicionamiento global GPS de precisión o estación total para amarrar topográficamente las coordenadas de inicio, fin y elevación de cada línea sísmica.
- Radio-comunicadores de alta frecuencia para la coordinación entre el operador del sismógrafo y el operador de la fuente sísmica a lo largo del tendido.

EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS

El procedimiento técnico de campo y oficina se estructurará rigurosamente en las siguientes fases secuenciales:

Diseño Geométrico de Adquisición (Criterio de Profundidad ≥ 30 m)

Para asegurar una profundidad de investigación efectiva de 30 metros de acuerdo con la teoría de ondas elásticas, el Contratista implementará las siguientes reglas de diseño en campo:

1. Longitud Total del Tendido Sísmico (L): La longitud total de la línea sísmica debe ser de por lo menos 3 a 4 veces la profundidad máxima de exploración analizada. Por lo tanto, para alcanzar los 30 m, cada línea tendrá una longitud total mínima en campo de 90 a 120 metros.
2. Espaciamiento entre Geófonos (Δx): Se fijará una distancia constante entre sensores de 2.0 a 5.0 metros, dependiendo de la rigidez estimada del terreno, balanceando la resolución en capas superficiales con la profundidad del modelo.
3. Configuración de Disparos (Shots):
 - Para Refracción Sísmica: Se realizarán mínimo 5 a 7 disparos por línea: Dos extremos externos (off-end shots a una distancia de 10- 15 m del primer y último geófono para capturar los refractores profundos), dos disparos en los extremos internos, y disparos intermedios distribuidos simétricamente.
 - Para MASW: Se realizarán disparos externos (off-end) a distancias variables (v.g., 5 m, 10 m y 15 m) desde ambos extremos de la línea, utilizando la técnica de perfilado multicanal de cobertura completa (Roll-along).

Adquisición de Datos en Campo

1. Acople Mecánico: Cada geófono se hincará verticalmente en el terreno asegurando que la punta metálica quede completamente empotrada y firme. En superficies pavimentadas o roca expuesta donde no sea posible la hinca, se utilizarán bases circulares pesadas (tripods o planchuelas de acople) recubiertas con masilla plástica densa para evitar registros espúreos por viento o vibración parásita del marco.

2. Control de Ruido Ambiental: El operador del sismógrafo realizará monitoreos continuos del ruido ambiental del sitio de exploración. Los disparos se ejecutarán en momentos de calma vial o industrial. Se utilizará el

apilamiento digital (stacking) de un mínimo de 5 a 10 impactos sucesivos por punto de disparo para cancelar el ruido aleatorio y amplificar la señal sísmica coherente.

Procesamiento de Datos e Inversión en Oficina

El procesamiento analítico será realizado por un ingeniero geofísico especialista empleando software comercial especializado debidamente licenciado:

1. Para Refracción Sísmica (V_p):

- Se identificará de forma manual o semi-asistida el primer arribo de la onda elástica (fase de la onda $\backslash(P\backslash)$) en cada traza del sismograma para construir las curvas de tiempo de viaje versus distancia (hodócrinas).
- Se ejecutará un modelo de Tomografía de Refracción Sísmica 2D mediante algoritmos de inversión de rayos computarizados (Ray- tracing), generando un perfil de velocidades continuas que delimite el espesor de la capa vegetal, suelo meteorizado, conglomerados y el tope de la roca sana.

2. Para MASW / SASW (V_s):

- Se transformarán los sismogramas del dominio del tiempo-espacio (t-x) al dominio de la frecuencia-velocidad de fase o número de onda (f-c) mediante transformadas matemáticas rápidas (FFT / Radón).
- Se identificará visualmente el modo fundamental de la curva de dispersión de las ondas Rayleigh, descartando modos superiores o ruidos del tráfico.
- Se aplicará un proceso de inversión matemática iterativa 1D mediante mínimos cuadrados amortiguados, variando las rigideces y espesores del modelo teórico de capas hasta que la curva de dispersión calculada concuerde con un error menor al 5% con la curva medida en campo.

Entregables e Informe Técnico Final

Al finalizar los trabajos, el Contratista entregará un informe detallado que contendrá:

- Planos de localización exacta de las líneas con coordenadas georreferenciadas.
- Secciones longitudinales a escala de la tomografía 2D de velocidad de onda $P(V_p)$.
- Perfiles unidimensionales (1D) de velocidad de onda de corte (V_s) versus profundidad para cada tramo del proyecto.
- Tabla resumen con el cálculo analítico del parámetro (vs_{30}) y la consiguiente clasificación técnica del perfil de suelo según los parámetros del código sismorresistente local.

CONDICIONES DE CONTROL DE CALIDAD

La Supervisión rechazará las líneas geofísicas y ordenará su repetición en campo si se detectan las siguientes anomalías críticas:

- Líneas de adquisición con longitudes totales inferiores a 90 metros que impidan asegurar físicamente el frente de onda a los 30 m de profundidad mínima exigida.
- Uso de geófonos de frecuencias naturales mayores a 4.5 Hz para el procesamiento de MASW, lo cual recorta las bajas frecuencias y anula el modelado profundo.
- Sismogramas con relaciones señal/ruido deficientes donde no sea posible realizar el picado del primer arribo de la onda $\backslash(P\backslash)$ o delimitar el modo fundamental en la curva de dispersión de ondas Rayleigh.
- Errores de convergencia (RMS) superiores al 5% en los modelos de inversión de ondas superficiales.

MEDIDA Y PAGO

La unidad de medida para el pago de esta actividad será la Unidad (und), entendida como una (1) línea de refracción sísmica con mediciones de ondas superficiales MASW/SASW (y/o SASW) de longitud y profundidad de exploración mínima de treinta metros (30 m). La medición y el pago se efectuarán POR UNIDAD (línea) completamente ejecutada, procesada e interpretada a satisfacción y avalada mediante el informe geofísico final aprobado por la Supervisión, independientemente de la longitud horizontal del tendido sísmico requerido para asegurar la profundidad de exploración exigida. Para el presente proyecto se ejecutarán dos (2) líneas. No se pagará por metro lineal; el precio unitario retribuye la línea completa incluyendo los tramos de extensión para disparos externos (off-end).

El pago se efectuará al precio unitario contractual estipulado en el contrato para el ítem. Este precio unitario y su respectiva compensación constituirán el pago total y único por la ejecución de la actividad, cubriendo los siguientes costos directos e indirectos:

- Mano de obra calificada en campo (ingenieros geofísicos, topógrafos, operadores de fuente, ayudantes de línea) y el costo del personal especializado en oficina para el procesamiento de inversiones y modelado matemático.
- Suministro, depreciación, amortización, consumibles y mantenimiento técnico de los sismógrafos de 24 bits, geófonos de baja y alta frecuencia, cables multicanal blindados, fuentes de impacto pesado (mandarrias/placas) y equipos GPS.
- Suministro de consumibles de campo (estacas, pinturas, baterías, empaques, cintas de peligro).
- Costos de transporte automotor de personal, herramientas y equipos geofísicos de alta precisión desde la central hasta los diferentes sitios de exploración del proyecto, incluyendo cargue y descargue.
- Licenciamiento de software especializado para la edición de señales, cálculo de espectros de dispersión, tomografía sísmica por inversión y modelamiento 2D.
- Elaboración y entrega del reporte de resultados del ítem (insumo del informe final por sitio, que se paga en el ítem 2.1), con memorias de cálculo, curvas de dispersión medidas e invertidas, tomografías Vp a color de alta definición, perfiles Vs y la clasificación normativa del vs30.

1,11 LÍNEAS DE TOMOGRAFÍA DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA 2D (Profundidad mínima de exploración de 30 m)

OBJETO Y DESCRIPCIÓN

Este trabajo consiste en la planificación, adquisición en campo, procesamiento e interpretación de ensayos geofísicos no destructivos de Tomografía de Resistividad Eléctrica 2D (ERT), con el fin de determinar la distribución de la resistividad eléctrica del subsuelo. El ensayo permite la identificación y delimitación de estratos, la detección del nivel freático y la localización de anomalías (cavidades, rellenos, contactos litológicos, zonas de fractura o saturación). El arreglo geométrico de electrodos, el espaciamiento y la longitud del tendido se diseñarán para garantizar una profundidad mínima de exploración de treinta metros (30 m) desde la superficie actual del terreno.

NORMAS

La ejecución e interpretación se realizarán conforme a las buenas prácticas geofísicas aplicables a la prospección eléctrica (ASTM D6431 - Guía estándar para el uso del método de resistividad eléctrica en la investigación del subsuelo) y a los lineamientos técnicos de la Norma NSR-10 para la caracterización geotécnica y geofísica del subsuelo.

MÉTODO Y EQUIPO

El ensayo se ejecutará mediante un resistivímetro multielectrodo de grado geofísico con selección automática de canales, empleando arreglos tipo Wenner, Schlumberger y/o Dipolo-Dipolo según el objetivo de resolución y profundidad. El conjunto mínimo de equipo incluye:

- Resistivímetro digital multicanal con inyección de corriente controlada y registro automático de potenciales.
- Cables multielectrodo, electrodos de acero inoxidable y conectores de baja resistencia de contacto.
- Fuente de energía (batería/generador) y sistema de posicionamiento GPS o estación total para georreferenciar los electrodos.

El procesamiento se realizará mediante software de inversión 2D por mínimos cuadrados amortiguados, generando perfiles (secciones) de resistividad real del subsuelo con error de convergencia (RMS) admisible.

UNIDAD DE MEDIDA

La unidad de medida será la Unidad (und), entendida como una (1) línea de tomografía de resistividad eléctrica 2D con profundidad de exploración mínima de treinta metros (30 m).

CRITERIO DE MEDICIÓN Y FORMA DE PAGO

La medición y el pago se efectuarán POR UNIDAD (línea) completamente ejecutada, procesada e interpretada a satisfacción y avalada mediante el informe geofísico final aprobado por la Supervisión. Para el presente proyecto se ejecutarán dos (2) líneas. El precio unitario constituye la compensación total y única e incluye mano de obra calificada de campo y oficina; suministro, depreciación y mantenimiento del resistivímetro, cables y electrodos; consumibles; transporte de personal y equipos; licenciamiento de software de inversión; y la elaboración y entrega del informe con memorias e interpretación.

ENTREGABLES

- Perfiles (secciones) de resistividad 2D a color, georreferenciados y a escala.
- Memoria de cálculo del proceso de inversión con parámetros y error de convergencia (RMS).
- Interpretación geológico-geotécnica: delimitación de estratos, nivel freático y anomalías detectadas.
- Plano de localización de las líneas con coordenadas georreferenciadas.

1,12 ENSAYO CBR EN ESTADO INALTERADO Y/O SUMERGIDO.

DESCRIPCIÓN

Este trabajo consiste en la determinación en laboratorio de la Relación de Soporte de California (CBR) a partir de especímenes de suelo en estado inalterado (tallados u obtenidos directamente en campo mediante moldes cilíndricos especiales) y/o especímenes evaluados en estado sumergido (sometidos a un proceso previo de inundación en agua para evaluar su expansión potencial y la consecuente pérdida de resistencia por saturación). El ensayo se ejecutará de forma estrictamente obligatoria bajo los lineamientos

metodológicos de las normas del Instituto Nacional de Vías INV E-148-13, su homóloga nacional NTC 2122 y los referentes internacionales de validación ASTM D1883-21 y ASTM D4429-09 (para CBR in-situ/inalterado). El índice CBR es un parámetro de resistencia mecánica que mide la capacidad de soporte de un suelo cohesivo o granular frente al esfuerzo cortante por

penetración, comparándolo con la resistencia de una piedra triturada patrón bien gradada tomada como el 100%. El procedimiento metodológico incluye obligatoriamente:

- La obtención técnica de la muestra cilíndrica inalterada en campo.
- El enrasado y preparación de las caras del espécimen en laboratorio.
- El registro inicial de peso y humedad natural.
- El montaje del sistema de sobrecargas y la fase opcional de saturación por inmersión durante un periodo mínimo de 96 horas (4 días), registrando los cambios volumétricos de expansión vertical mediante deflectómetros.
- El ensayo final de penetración mediante un pistón cilíndrico normalizado a una velocidad de avance constante controlada.
- El cálculo analítico del índice CBR para las profundidades normativas de 2.54 mm (0.1") y 5.08 mm (0.2").

Esta propiedad mecánica fundamental es el insumo principal para el diseño estructural de pavimentos (métodos AASHTO, INVIAS, etc.), permitiendo dimensionar los espesores de las capas de subrasante, subbase y base granular.

MATERIALES E INSUMOS

El Contratista o el Laboratorio adjudicado deberá proveer todos los consumibles requeridos para el correcto aislamiento, preservación y procesamiento del ensayo:

- Agua limpia o destilada: Requerida para el llenado de los tanques de inmersión en la fase de saturación (estado sumergido). Debe estar libre de ácidos o sales nocivas que alteren las propiedades químicas de las arcillas.
- Formatos técnicos de laboratorio: Planillas impresas o digitales parametrizadas para registrar lecturas de expansión diaria, deformación vertical, lecturas del anillo o celda de carga vs. penetración y curvas de corrección.
- Elementos de preservación de humedad: Parafina sólida purificada, brea, lona, películas plásticas impermeables de alta densidad y cinta industrial adhesiva para sellar los moldes inalterados tras su extracción en campo y evitar pérdidas de agua durante su traslado.
- Papel de filtro: Discos de papel absorbente circular de filtración gruesa y rápida, de diámetro idéntico al interior del molde CBR, para colocar entre el plato perforado y el suelo impidiendo el lavado de finos.

MAQUINARIA Y EQUIPO

Todos los aparatos empleados en el laboratorio deberán contar con certificados de calibración y verificación metrológica vigentes expedidos por laboratorios acreditados ante el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC) o su equivalente internacional. El conjunto mínimo de equipos incluye:

Prensa de Penetración CBR

- Prensa motorizada o mecánica equipada con un sistema de engranajes capaz de aplicar una carga axial continua a una velocidad de penetración uniforme y controlada de 1.27 mm/min (0.05 pulgadas por minuto). No se

permitirán prensas con variaciones manuales bruscas que afecten la curva esfuerzo-penetración.

Pistón de Penetración Cilíndrico

- Pistón metálico de acero templado altamente resistente con un diámetro exterior de 49.63 ± 0.05 mm (1.954 pulgadas) y un área transversal neta de 19.35 cm^2 (3 pulgadas²).

Moldes de Extracción Inalterada y Accesorios

- Moldes cilíndricos metálicos rígidos de acero con un diámetro interior de 152.40 ± 0.66 mm (6 pulgadas) y una altura útil de 177.80 ± 0.46 mm.
- Borde cortante (CBR Drive Shoe): Accesorio de acero biselado que se acopla al extremo inferior del molde para permitir la hincada vertical directa en el terreno natural sin distorsionar el núcleo de suelo inalterado.
- Discos de sobrecarga metálicos: Pesas de plomo o acero anulares o ranuradas con una masa de 2.27 ± 0.02 kg (5 lb) cada una. Se requiere un mínimo de dos sobrecargas por molde para simular la presión del pavimento existente.

Equipos para la Fase de Inmersión (Saturación y Expansión)

- Plato perforado con vástago regulable: Disco de bronce con perforaciones uniformes para permitir el libre paso del agua hacia el suelo.
- Trípode y Deflectómetro de Expansión: Soporte metálico rígido acoplable al molde que sostiene un dial comparador de carátula o transductor digital (LVDT) con rango mínimo de carrera de 25 mm y una resolución de 0.01 mm, encargado de medir el hinchamiento vertical del suelo durante la inundación.
- Tanque de Inundación: Recipiente o batea con capacidad volumétrica suficiente para albergar los moldes CBR sumergidos por completo en agua de manera horizontal o vertical.

Instrumentos de Medición de Carga y Desplazamiento

- Indicador de Carga: Anillo de carga calibrado con dial mecánico o célula de carga electrónica con capacidad mínima de 50 kN (11200 lbf) y una resolución mínima de 10 N (2.2 lbf).
- Indicador de Penetración: Dial comparador de carátula o transductor digital con rango de 25 mm y resolución mínima de 0.01 mm, acoplado directamente al pistón de penetración.

Horno de Secado y Balanzas

- Horno de secado: Con control térmico digital por convección forzada ajustado continuamente a 110 ± 5 °C.
- Balanzas de Precisión: Una balanza de alta capacidad (mínimo 20 kg) con legibilidad de 1.0 g para el pesaje de los moldes llenos, y una balanza Clase GP1 con legibilidad de 0.01 g para el control de humedades.

EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS

El procedimiento técnico se ejecutará siguiendo estrictamente los siguientes pasos secuenciales:

Obtención del Espécimen Inalterado en Campo

1. Se limpia la superficie del terreno natural en el sitio de exploración eliminando la capa vegetal suercial.
2. Se acopla el borde cortante al molde CBR y se hinca verticalmente de forma suave utilizando un gato hidráulico apoyado contra una estructura pesada (v.g., camión de perforación) o mediante golpes controlados con un martinete protegido para evitar perturbar la estructura interna del suelo.

3. Se excava perimetralmente para liberar el molde, se corta el suelo excedente con una sierra de alambre, se nivelan las caras rasantes con una regla metálica, se sellan los extremos con parafina fundida y se transporta de inmediato al laboratorio de forma amortiguada.

Fase de Inmersión y Medición de Expansión (Estado Sumergido)

1. En el laboratorio se retira el sello temporal, se pesa el molde con el suelo húmedo y se coloca un disco de papel de filtro sobre la cara superior.
2. Se instala el plato perforado con vástago y se colocan encima los discos de sobrecarga equivalentes al peso del pavimento de diseño (mínimo 4.54 kg o dos pesas).
3. Se monta el trípode con el deflectómetro axial ajustando la lectura inicial a cero.
4. Se introduce el conjunto en el tanque de inundación permitiendo que el agua acceda libremente por la base perforada del molde y la superficie superior.
5. El espécimen se mantendrá sumergido por un periodo mínimo de 96 horas (4 días). Se registrarán lecturas diarias de deformación vertical en la planilla técnica. Al término de los 4 días se calcula el porcentaje de expansión relativa:

$$\text{Expansión (\%)} = (\Delta H / \text{Altura inicial del espécimen}) * 100$$

6. Se retira el molde del tanque, se deja drenar el exceso de agua libre verticalmente por un lapso de 15 minutos sin alterar las sobrecargas, y se procede inmediatamente al ensayo de penetración.

Procedimiento de Penetración Mecánica

1. Se coloca el molde CBR en el platillo de la prensa de penetración.
2. Se centra el pistón cilíndrico metálico y se le aplica una precarga inicial menor a 45 N (10 lbf) para garantizar un contacto pleno y uniforme con la superficie del suelo. Se ajustan a cero los diales de carga y penetración.
3. Se acciona el motor de la prensa a la velocidad normativa de 1.27 mm/min.
4. Se registran de forma simultánea las lecturas de esfuerzo o carga aplicados para los siguientes valores tabulados de penetración: 0.64 mm, 1.27 mm, 1.91 mm, 2.54 mm, 3.18 mm, 3.81 mm, 4.45 mm, 5.08 mm, 7.62 mm, 10.16 mm y 12.70 mm.

Cálculos e Informe de Resultados

1. Curva de Corrección: Se grafican los datos de Esfuerzo (eje Y) vs. Penetración (eje X). Si la curva presenta una concavidad inicial hacia arriba debido a irregularidades superficiales de la muestra inalterada, se traza una línea tangente en el punto de máxima pendiente para corregir el origen de coordenadas (cero real de penetración).
2. Cálculo de los Índices CBR: Se determinan las presiones corregidas correspondientes a las penetraciones de 2.54 mm (0.1") y 5.08 mm (0.2"), calculando los valores de CBR dividiendo dichos esfuerzos entre las presiones patrón estipuladas por la norma (6.9 MPa o 70 kgf/cm² para 0.1", y 10.3 MPa o 105 kgf/cm² para 0.2"):

$$\text{CBR}_{0.1} = (\text{Presión calculada a 2.54 mm} / 6.9 \text{ MPa}) * 100$$

$$\text{CBR}_{0.2} = (\text{Presión calculada a 5.08 mm} / 10.3 \text{ MPa}) * 100$$

3. El CBR de la muestra será el mayor valor obtenido entre ambos cálculos. El informe técnico final incluirá la curva de penetración corregida, el

porcentaje de expansión, la densidad seca inicial y el contenido de humedad natural del espécimen inalterado.

CONDICIONES DE CONTROL DE CALIDAD

La Supervisión ordenará la anulación inmediata del ensayo y su posterior repetición a costo exclusivo del Contratista si se comprueba cualquiera de las siguientes desviaciones técnicas:

- Especímenes inalterados que muestren desmoronamientos, fisuras visibles o alteración estructural severa debido a un proceso deficiente de hincado o extracción en el campo.
- Velocidades de penetración en la prensa mecánica que difieran del rango normativo de 1.27 ± 0.2 mm/min.
- Omitir el periodo mínimo de 96 horas de saturación continua para los ensayos especificados en estado sumergido, o realizar el ensayo de penetración sin el debido drenaje previo de 15 minutos.
- Uso de instrumentos de medición (anillos, deflectómetros o células de carga) descalibrados o que carezcan del holograma de certificación vigente ante la ONAC.

MEDIDA Y PAGO

La unidad de medida para el pago de esta actividad será la Unidad (un) de ensayo CBR en estado inalterado y/o sumergido completamente ejecutado e informado a satisfacción. La medición se validará de forma individual por cada molde cilíndrico procesado con éxito que cuente con su respectiva planilla de lecturas de campo, registro diario de expansión vertical, curva esfuerzo-penetración debidamente corregida e informe técnico de resultados, avalado por el Ingeniero Geotecnista Especialista y aprobado por la Supervisión. El pago se efectuará al precio unitario contractual fijado para el ítem. Este precio unitario y su respectivo pago constituirán la compensación total y única por la ejecución de la actividad, cubriendo todos los costos directos e indirectos detallados a continuación:

- Mano de obra calificada (técnicos de laboratorio, perforadores auxiliares para la extracción inalterada en campo, laboratoristas de soporte) y el costo del personal profesional que procesa los datos analíticos, ejecuta las correcciones de origen de la curva y firma los reportes definitivos.
- Costos asociados al uso, consumo de energía eléctrica, depreciación, calibración oficial periódica ante la ONAC y mantenimiento preventivo de las prensas de penetración CBR, células de carga de alta resolución, transductores digitales LVDT o diales de carátula, moldes metálicos rígidos y accesorios de sobrecarga.
- Suministro, uso y reposición de herramientas menores y materiales consumibles (bordes cortantes de acero, parafinas purificadas, breas, películas plásticas aislantes, cintas de alta adherencia, papel de filtro circular de filtración rápida y recipientes de humedad).
- Insumos de papelería, licencias de software de adquisición de datos y almacenamiento magnético de los informes.
- Costos indirectos de operación del Contratista (la administración se reconoce por separado mediante el factor de administración del 13,4% del Presupuesto Oficial), de conformidad con el estricto cumplimiento de las normas INV E-148-13, NTC 2122 y ASTM D1883-21.

1,13 PENETROMETRO DINAMICO DE CONO PDC.

DESCRIPCIÓN

Este trabajo consiste en la ejecución en campo de ensayos de penetración dinámica continua utilizando el Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC) [también conocido internacionalmente como Dynamic Cone Penetrometer (DCP)]. El

propósito principal es la evaluación rápida in-situ de la resistencia estructural y la rigidez de las capas de pavimento (subrasante, subbase y base granular no cementada), así como de suelos naturales de cimentación profunda o superficial. El ensayo se ejecutará de forma estrictamente obligatoria bajo los lineamientos metodológicos de la norma oficial colombiana INV E-172-13 (Instituto Nacional de Vías) o su referente internacional de validación ASTM D6951/D6951M-18. El principio del ensayo se basa en medir la penetración vertical por golpe (mm/golpe) producida en el suelo mediante la caída libre de un martinete de masa normalizada que impacta sobre un yunque acoplado a una varilla de acero terminada en una punta cónica. A partir del registro continuo de golpes y penetraciones se calcula el Índice PDC (o DCP Index), el cual se correlaciona de forma analítica mediante ecuaciones empíricas validadas para estimar el valor del CBR in-situ del material en cada horizonte, permitiendo identificar con precisión el espesor y la homogeneidad de las capas del subsuelo sin necesidad de excavar apiques o extraer muestras inalteradas.

MATERIALES E INSUMOS

Dado que el ensayo PDC es una prueba mecánica directa ejecutada in-situ, no requiere materiales cementantes o agregados de construcción. Sin embargo, el Contratista deberá proveer los consumibles mínimos de operación, marcado y control:

- Puntas cónicas desechables (Opcionales): Conos de acero endurecido de repuesto o roscables, aplicables en caso de que el terreno sea altamente friccional (gravas densas) y se decida dejar la punta perdida en el fondo del pozo para facilitar la extracción manual de la sarta de varillas.
- Formatos técnicos de campo: Planillas impresas o digitales parametrizadas para el registro continuo del número de golpes acumulados y la lectura correspondiente en la regla de penetración (en milímetros).
- Insumos de marcado y seguridad: Pintura en aerosol de alta visibilidad para georreferenciación de los puntos ensayados, estacas de madera de replanteo, cinta de peligro y conos de señalización vial para delimitar la zona de operación.

MAQUINARIA Y EQUIPO

Todo el conjunto instrumental del Penetrómetro Dinámico de Cono deberá encontrarse en perfecto estado mecánico (varillas perfectamente rectas, acoples sin juego estructural y cono sin desgaste geométrico). Los componentes deben cumplir estrictamente con las dimensiones de diseño estipuladas en la norma INV E-172-13:

Conjunto Mecánico del Penetrómetro (Sarta PDC)

- Varilla superior de hincapié: Eje de acero de alta resistencia sobre el cual se desplaza verticalmente el martinete de caída libre.
- Martinete (Maza de golpeo): Masa normalizada de $8.0 \text{ kg} \pm 0.01 \text{ kg}$ (17.6 lb). Debe garantizar un canal interno liso para caer libremente y sin fricciones cinemáticas desde una altura fija regulada de $575 \text{ mm} \pm 1.0 \text{ mm}$ (22.6 pulgadas).

- Nota normativa: En suelos extremadamente blandos o capas delgadas de baja resistencia, se permite el uso de un martinete ligero alternativo de 4.6 kg, aplicando los factores de corrección correspondientes en el cálculo del Índice PDC.
- Yunque de impacto: Bloque macizo de acero roscado a la varilla superior encargado de recibir y transmitir la energía cinética del martinete hacia la sarta inferior.
- Varilla inferior de penetración: Varilla de acero de 16 mm (5/8 pulgadas) de diámetro, con una longitud útil que permita alcanzar una profundidad mínima de hinca de 1.0 metro.
- Punta Cónica: Cono de acero templado con un ángulo en el vértice de 60° y un diámetro en la base de 20 mm $\pm$ 0.25 mm (0.79 pulgadas). El diámetro de la base del cono debe ser mayor que el de la varilla inferior para minimizar la fricción por rozamiento lateral del suelo durante el avance vertical.

Sistema de Medición y Regla de Lectura

- Regla graduada de referencia: Regla metálica o plástica de alta resistencia con escala milimétrica (resolución mínima de 1.0 mm), dispuesta de forma paralela a la sarta de hinca mediante un soporte independiente o acople magnético libre de fricción, utilizada para leer de manera directa el avance vertical del cono.

Herramientas Auxiliares y EPP

- Llaves mecánicas fijas o de tubo para el ensamble y desarme de la varilla inferior y el cono.
- Dispositivo extractor manual (gato mecánico o palanca de desasimiento) utilizado para retirar de forma segura la sarta de varillas del interior del suelo una vez finalizado el ensayo, evitando la flexión de los ejes de acero.
- Vehículo de transporte para movilizar la cuadrilla y los maletines protectores del equipo PDC.

EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS

El procedimiento técnico de campo se ejecutará siguiendo estrictamente los siguientes pasos secuenciales:

Ubicación y Preparación del Sitio

El Contratista localizará los puntos de ensayo de acuerdo con la malla de exploración geotécnica aprobada por la Supervisión. Si el suelo de subrasante se encuentra confinado por una estructura de pavimento existente (carpeta asfáltica o losa de concreto), el Contratista deberá realizar previamente una perforación (núcleo) empleando un taladro sacanúcleos o barreno mecánico con un diámetro mínimo de 50 mm (2 pulgadas) para dar paso libre al cono del penetrómetro.

Operación del Ensayo en Campo (Cuadrilla Mínima de 2 Operarios)

1. Se ensambla el equipo PDC comprobando el ajuste firme de las uniones roscadas.
2. Un operario sostiene el aparato verticalmente utilizando la empuñadura superior, asegurando que la punta del cono se apoye suavemente sobre el suelo. Se instala la regla milimétrica vertical de referencia apoyada en el piso de forma adyacente.
3. Se registra la lectura inicial (Cero de referencia) en la planilla técnica midiendo la posición del yunque o un marcador solidario con respecto a la regla.

4. El segundo operario eleva manualmente el martinete de 8.0 kg de forma vertical y suave hasta el tope superior de la varilla guía, cuidando de no golpear el límite superior.
5. Se suelta el martinete permitiendo que caiga en caída libre absoluta sobre el yunque, transmitiendo el impacto.
6. Se mide y registra en la planilla el avance vertical acumulado en milímetros.
7. El ciclo de golpeo se repite de manera continua. La frecuencia de lectura de penetración (intervalo de golpes) dependerá de la rigidez del material:
 - Suelos blandos: Se toma lectura cada 1 o 2 golpes.
 - Capas granulares densas (bases/subbases): Se toma lectura cada 5 o 10 golpes.
8. El ensayo progresa verticalmente hasta alcanzar una profundidad mínima de 1.0 metro (1000 mm) o hasta la longitud máxima de las varillas de extensión autorizadas.

Criterio de Parada o Rechazo Técnico

El ensayo se dará por terminado antes de alcanzar la profundidad objetivo si se presenta la condición de Rechazo: cuando el cono no registre un avance apreciable mayor a 2.0 mm tras la aplicación de veinte (20) golpes sucesivos con el martinete de 8.0 kg (presencia de cantos rodados, piedras de gran tamaño o capas cementadas rígidas). Si esto ocurre en horizontes superficiales, el ensayo se repetirá a una distancia de un metro (1 m) del punto original, previa autorización de la Supervisión.

Procesamiento de Datos y Correlación de CBR

A partir de las planillas de campo, se procesarán los datos en la oficina técnica para generar los perfiles del suelo:

1. Se calcula el Índice PDC (mm/golpe) para cada intervalo mediante la pendiente de la curva de penetración acumulada vs. número de golpes.
2. Se segmenta el perfil identificando los límites físicos de cada capa (cambios bruscos en la pendiente de la gráfica).
3. Se calcula el CBR in-situ estimativo (%) aplicando las ecuaciones empíricas estipuladas por la norma INV E-172-13 (v.g., Ecuación de la U.S. Army Corps of Engineers para suelos comunes):

$$\log_{10}(\text{CBR}) = 2.465 - 1.12 * \log_{10}(\text{Índice PDC})$$

(Se aplicarán ecuaciones específicas corregidas en caso de suelos finos plásticos o arenas finas mal gradadas si la norma lo detalla).

CONDICIONES DE CONTROL DE CALIDAD

La Supervisión rechazará la prueba y ordenará su repetición a costo exclusivo del Contratista ante cualquiera de las siguientes desviaciones técnicas:

- Operar el martinete con inclinaciones visibles respecto a la vertical (tolerancia máxima de desviación del eje: 3%), lo cual incrementa la fricción interna en la varilla guía y reduce falseando la energía real de impacto.
- Interrumpir la caída libre del martinete reteniéndolo parcialmente con la mano durante el descenso.
- Utilizar puntas cónicas cuyo diámetro de base sea inferior a 19.0 mm debido al desgaste abrasivo con el suelo (se exige verificación dimensional con calibrador vernier antes de iniciar la jornada de campo).
- Varillas inferiores dobladas o deformadas que rocen lateralmente contra las paredes del pozo de penetración.

MEDIDA Y PAGO

La unidad de medida para el pago de esta actividad será la Unidad (un) de ensayo con Penetrómetro Dinámico de Cono completamente ejecutado, procesado e informado a satisfacción. La medición se validará de forma individual por cada punto de penetración vertical completado (con una profundidad de hasta 1.0 m o detenida por rechazo técnico justificado) que cuente con su respectiva planilla de golpes de campo, gráfica digitalizada de penetración vs. número de golpes, delimitación de espesores de capas e informe analítico de los valores de CBR in-situ calculados, debidamente avalado por el Ingeniero Geotecnista Especialista y aprobado por la Supervisión. El pago se efectuará al precio unitario contractual fijado para el ítem. Este precio unitario y su respectivo pago constituirán la compensación total y única por la ejecución de la actividad, cubriendo todos los costes directos e indirectos detallados a continuación:

- Mano de obra calificada en campo (ingenieros o técnicos operadores del penetrómetro, auxiliares de anotación y golpeo) y el costo del personal profesional que procesa los datos en oficina, aplica los modelos matemáticos logarítmicos de correlación y redacta el informe final.
- Suministro, depreciación, amortización, mantenimiento de taller y reposición por desgaste mecánico del equipo de penetración (martinetes de 8.0 kg, yunques, varillas superiores e inferiores de acero de alta resistencia y reglas milimétricas).
- Suministro y consumo de puntas cónicas de acero templado de 60° (fijas o desechables roscables).
- Costos de transporte automotor de personal y de las herramientas mecánicas desde la central hasta los diferentes puntos geográficos de exploración del proyecto, incluyendo cargue y descargue técnico.
- En caso de requerirse sobre calzadas pavimentadas, incluye el costo de la perforación previa del núcleo asfáltico o de concreto con taladro sacanúcleos y el posterior sello del pozo utilizando mezcla asfáltica en frío o mortero de alta resistencia para restituir la calzada.
- Insumos de papelería, hojas de cálculo digital, impresión de gráficos de perfiles estructurales de capas y almacenamiento digital de la información.
- Costos indirectos de operación del Contratista (la administración se reconoce por separado mediante el factor de administración del 13,4% del Presupuesto Oficial), de conformidad con el estricto cumplimiento de la norma oficial colombiana **INV E-172-13**.

2,1 INFORME FINAL DE ESTUDIO TÉCNICO, GEOTÉCNICO Y GEOFÍSICO (por sitio)

OBJETO Y DESCRIPCIÓN

Este ítem comprende la elaboración y entrega del documento técnico consolidado por cada sitio de exploración, en el cual se integran, analizan e interpretan la totalidad de los resultados de los trabajos de campo, ensayos de laboratorio y prospección geofísica. El informe será elaborado y firmado por un ingeniero civil especialista en geotecnia y contendrá, como mínimo: descripción del proyecto y del sitio, resultados de campo y de laboratorio, perfiles estratigráficos, modelo geológico-geotécnico, parámetros de resistencia y deformabilidad de los materiales, niveles freáticos, análisis de amenaza sísmica local, y las recomendaciones de cimentación y de obras de contención correspondientes.

NORMAS

El informe se elaborará conforme a la Norma Sismo Resistente Colombiana NSR-10, Título H (Estudios Geotécnicos), y a las normas INVIAS, NTC y ASTM aplicables a cada ensayo de campo y laboratorio incluido en el estudio.

MÉTODO Y EQUIPO

La actividad consiste en el trabajo profesional de gabinete para la recopilación, depuración, análisis e interpretación integral de la información. Incluye el procesamiento de registros de perforación, ensayos de laboratorio y líneas geofísicas, la construcción de perfiles y modelos, la ejecución de los análisis geotécnicos (capacidad portante, asentamientos, estabilidad y clasificación del perfil de suelo por vs30) y la redacción del documento con software especializado de cálculo y edición.

UNIDAD DE MEDIDA

La unidad de medida será la Unidad (und), correspondiente a un (1) informe final por sitio.

CRITERIO DE MEDICIÓN Y FORMA DE PAGO

La medición y el pago se efectuarán POR UNIDAD (informe) elaborado, entregado y aprobado a satisfacción por la Supervisión. Para el presente proyecto se elaborarán seis (6) informes, uno por cada sitio. El precio unitario constituye la compensación total y única e incluye el personal profesional especializado, el procesamiento e interpretación de la información, la elaboración de planos y perfiles, la edición e impresión del documento y sus copias, y la entrega en medio físico y digital.

ENTREGABLES

- Informe final consolidado por sitio, firmado por el ingeniero especialista en geotecnia, en medio físico y digital editable (PDF y fuente).
- Perfiles estratigráficos y modelo geológico-geotécnico del sitio.
- Registros de perforación (logs), resultados de ensayos de laboratorio y de las líneas geofísicas.
- Parámetros de resistencia y deformabilidad, niveles freáticos y clasificación del perfil de suelo (vs30).
- Recomendaciones de cimentación y de obras de contención conforme a la NSR-10, Título H.

Original Firmado

ING. CARLOS JAVIER MÉNDEZ SUÁREZ
Secretario de Infraestructura

Proyectó: Ing. Favio Alonso Morales Sanabria — CPS 2115 de 2026 — Secretaría de Infraestructura
Proyectó: Ing. Helmer Cordero Rebolledo -CPS 4093 DE 2026 – Secretaría de Infraestructura.
Revisó: Ing. Jaime Alberto Ruiz Yepes - Subsecretario de Infraestructura.
Revisó y aprobó aspectos técnicos: Ing. Juan Felipe Beltrán Niño -CPS 4078 DE 2026 – Secretaría de Infraestructura.