

AUXILIAR DE INGENIERÍA EN LOS PROYECTOS DESARROLLADOS POR EL
LABORATORIO DE SUELOS, MATERIALES, CONCRETOS Y PAVIMENTOS,
GEOFÍSICA S.A.S

MARÍA CAMILA CALDERÓN CERQUERA

CÓDIGO: 100417020568

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
POPAYÁN

2023

AUXILIAR DE INGENIERÍA EN LOS PROYECTOS DESARROLLADOS POR EL
LABORATORIO DE SUELOS, MATERIALES, CONCRETOS Y PAVIMENTOS,
GEOFÍSICA S.A.S

MARÍA CAMILA CALDERÓN CERQUERA

Código: 100417020568

PROYECTO DE TRABAJO DE GRADO MODALIDAD PASANTÍA, PARA
OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

DIRECTOR:

ING. LUIS ILDEMAR BOLAÑOS ANDRADE

UNIVERSIDAD DEL CAUCA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

POPAYÁN

2023

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Popayán, julio 11 del 2023

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	10
2. OBJETIVOS	11
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	11
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
3. JUSTIFICACIÓN	12
4. MARCO CONTEXTUAL.....	14
4.1. DESCRIPCIÓN	14
4.2. MISIÓN	15
4.3. VISIÓN.....	15
5. MARCO CONTEXTUAL.....	16
6. METODOLOGÍA.....	20
7. DESARROLLO DE LA PASANTÍA	22
7.1. ELABORACIÓN DE LA ACTUALIZACIÓN DEL PLANO ARQUITECTÓNICO DE LA EMPRESA.....	22
7.2. VISITA DE CAMPO A LA OBRA BOSQUE ENCANTADO	26
7.3. VISITA DE CAMPO A OBRA DE CONSTRUCCIÓN, REHABILITACIÓN, MEJORAMIENTO VIAL DEL TRAMO 5B DE LA CARRERA 9 DEL MUNICIPIO DE POPAYÁN	36
7.4. VISITA DE CAMPO OBRA CONSTRUCCIÓN DE LA CUBIERTA DEL POLIDEPORTIVO INSTITUCIÓN MARÍA OCCIDENTE SEDE LOMAS DE GRANADA.....	46
7.5. VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA ESPEFICACIÓN INV E – 151 PARA EL ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE SUELOS.	61
7.6. VERIFICACIÓN METROLÓGICA DE EQUIPOS Y MATERIALES DE LABORATORIO.....	66
7.6.1. MÁQUINA CENTRÍFUGA	67
7.6.2. MÁQUINA DE ENSAYO A COMPRESIÓN INCONFINADA.....	68
7.6.3. BALANZA DIGITAL.....	71
7.6.4. PIE DE REY ANÁLOGO	74
7.6.5. JUEGO DE PESAS DE LOS EQUIPOS DE CONSOLIDACIÓN TRIPLE BRAZO	76
7.6.6. VERIFICACIÓN DE LA VELOCIDAD DEL EQUIPO DE CORTE DIRECTO ...	79

7.7. DIGITACIÓN DE ENSAYO DE CORTE DIRECTO E IDENTIFICACIÓN DE VALORES TÍPICOS DE COHESIÓN Y ÁNGULO DE FRICCIÓN.....	83
7. CONCLUSIONES.....	98
8. BIBLIOGRAFÍA	101
9. ANEXOS	104

LISTA DE IMÁGENES

	Pág.
IMAGEN 1. LOGOTIPO DE LA EMPRESA GEOFÍSICA S.A.S.....	14
IMAGEN 2. PLANO ARQUITECTÓNICO DE LA EMPRESA GEOFÍSICA S.A.S. .	24
IMAGEN 3. ALZADA TRANSVERSAL DEL PLANO ARQUITECTÓNICO DE LA EMPRESA GEOFÍSICA S.A.S.....	25
IMAGEN 4. UBICACIÓN DE LA OBRA BOSQUE ENCANTADO.....	26
IMAGEN 5. PLANO ARQUITECTÓNICO DE CASA TIPO DEL CONDOMINIO EL BOSQUE	27
IMAGEN 6. VISITA DE CAMPO A LA OBRA BOSQUE ENCANTADO.....	28
IMAGEN 7. VERTIDO DEL CONCRETO EN EL MOLDE TRONCO-CÓNICO.....	30
IMAGEN 8. REMOCIÓN DEL MOLDE Y MEDIDA DE ASENTAMIENTO DEL CONCRETO.	31
IMAGEN 9. ELABORACIÓN DE 9 CILINDROS DE 4” EN CONCRETO PARA OBRA GRACOL S.A.S.	35
IMAGEN 10. REMOCIÓN DE MOLDES Y MARCACIÓN DE CILINDROS	35
IMAGEN 11. LOCALIZACIÓN DE LA OBRA DE CONSTRUCCIÓN, REHABILITACIÓN, MEJORAMIENTO VIAL DEL TRAMO 5B.	36
IMAGEN 12. ACOMPAÑAMIENTO A TOMA DE DENSIDADES.....	37
IMAGEN 13. EXCAVACIÓN PARA TOMA DE DENSIDAD EN EL EJE DE LA VÍA	38
IMAGEN 14. EQUIPO MISCELÁNEO	40
IMAGEN 15. ELABORACIÓN DE HUECO PARA ENSAYO DE DENSIDAD	42
IMAGEN 16. LLENADO DEL HUECO CON ARENA EN ENSAYO DE DENSIDAD	43
IMAGEN 17. RESULTADOS DE ENSAYO DE DENSIDAD Y PESO UNITARIO POR EL MÉTODO DEL CONO Y ARENA.....	45
IMAGEN 18. PUNTOS DE SONDEO DE ENSAYO A PERCUSIÓN.....	48
IMAGEN 19. EQUIPO DE PERFORACIÓN POR PERCUSIÓN UTILIZADO POR LA EMPRESA GEOFÍSICA.....	49
IMAGEN 20. EQUIPO DE PERFORACIÓN POR PERCUSIÓN CON MALACATE	50
IMAGEN 21. MUESTRA CON TUBO MEDIA CAÑA	51
IMAGEN 22. TABLA DE COLORES DE MUNSELL	52
IMAGEN 23. PERFORACIÓN 1- MUESTRA 4, TOMADA CON MUESTREADOR MEDIA CAÑA.....	53
IMAGEN 24. PERFORACIÓN 1- MUESTRA 6, TOMADA CON MUESTREADOR MEDIA CAÑA.....	54
IMAGEN 25. PERFORACIÓN 1- MUESTRA 7, TOMADA CON MUESTREADOR MEDIA CAÑA.....	54

IMAGEN 26. PERFORACIÓN 1- MUESTRA 8, TOMADA CON MUESTREADOR MEDIA CAÑA.....	54
IMAGEN 27. PERFORACIÓN 4 - MUESTRA 3, TOMADA CON MUESTREADOR MEDIA CAÑA.....	55
IMAGEN 28. PERFORACIÓN 4 - MUESTRA 5, TOMADA CON MUESTREADOR MEDIA CAÑA.....	55
IMAGEN 29. PERFORACIÓN 4 - MUESTRA 6, TOMADA CON MUESTREADOR MEDIA CAÑA.....	55
IMAGEN 30. EQUIPO DE CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL	62
IMAGEN 31. TALLADO DE MUESTRA PARA CONSOLIDACIÓN	65
IMAGEN 32. FORMATO PARA TOMA DE DATOS DE ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL	66
IMAGEN 33. MÁQUINA CENTRÍFUGA	67
IMAGEN 34. CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE MÁQUINA CENTRÍFUGA...68	
IMAGEN 35. MÁQUINA PARA ENSAYO DE COMPRESIÓN INCONFINADA.....	69
IMAGEN 36. CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE MÁQUINA DE ENSAYO A COMPRESIÓN	70
IMAGEN 37. BALANZA DIGITAL DE 15KG	71
IMAGEN 38. CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE BALANZA DIGITAL DE 15KG	72
IMAGEN 39. BALANZA DIGITAL DE 3000 G	73
IMAGEN 40. CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE BALANZA DE 3000G	73
IMAGEN 41. VERIFICACIÓN DE CALIBRACIÓN DE PIE DE REY ANÁLOGO....	75
IMAGEN 42. DIGITACIÓN DE ENSAYO DE CORTE DIRECTO.....	84
IMAGEN 43. INTERVALO DE CONFIANZA DEL 95%.....	93
IMAGEN 44. MAPA DE SUELOS DE COLOMBIA	96

LISTA DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1. CHEQUEO DE EQUIPO DE ENSAYO DE ASENTAMIENTO.....	29
TABLA 2. CLASIFICACIÓN DEL CONCRETO DE UNA MEZCLA EN ESTADO FRESCO, PARA DIVERSOS TIPOS DE CONSTRUCCIÓN, Y SISTEMAS DE COLOCACIÓN Y COMPACTACIÓN.	32
TABLA 3. CHEQUEO DE EQUIPO DE ELABORACIÓN Y CURADO EN OBRA DE ESPECÍMENES DE CONCRETO PARA ENSAYO.	33
TABLA 4. REQUISITOS SOBRE MÉTODO DE CONSOLIDACIÓN.	34
TABLA 5. CHEQUEO DE EQUIPO DE ENSAYO DE DENSIDAD Y PESO UNITARIO EN EL TERRENO.	39

TABLA 6. VOLÚMENES MÍNIMOS DEL HUECO DE ENSAYO DE ACUERDO CON EL TAMAÑO MÁXIMO DE LAS PARTÍCULAS DEL SUELO A ENSAYAR. .	42
TABLA 7. CLASIFICACIÓN DE LAS UNIDADES DE CONSTRUCCIÓN POR CATEGORÍA.....	47
TABLA 8. NÚMERO MÍNIMO DE SONDEOS Y PROFUNDIDAD POR CADA UNIDAD DE CONSTRUCCIÓN.....	47
TABLA 9. CONDICIONES DE HUMEDAD	52
TABLA 10. CRITERIOS PARA DESCRIBIR LA CONSISTENCIA.....	53
TABLA 11. DESCRIPCIÓN DE MUESTRAS EXTRAÍDAS CON TUBOS DE PARED DELGADA.	53
TABLA 12. REGISTRO DE PERFORACIÓN 1 CON PROFUNDIDAD DE 6.00M.	57
TABLA 13. REGISTRO DE PERFORACIÓN 2 CON PROFUNDIDAD DE 3.00M.	58
TABLA 14. REGISTRO DE PERFORACIÓN 3 CON PROFUNDIDAD DE 3.00M.	59
TABLA 15. REGISTRO DE PERFORACIÓN 4 CON PROFUNDIDAD DE 6.00M.	60
TABLA 16. INCREMENTOS DE CARGA SEGÚN LA CONSISTENCIA DEL SUELO.....	61
TABLA 17. CHEQUEO DE EQUIPO DE ENSAYO DE DENSIDAD Y PESO UNITARIO EN EL TERRENO.....	63
TABLA 18. MASA REAL DE LAS PESAS DE LOS EQUIPOS 1 Y 2 DE CONSOLIDACIÓN.....	76
TABLA 19. PORCENTAJE DE VARIACIÓN DE MASAS PARA EQUIPOS 1 Y 2.	77
TABLA 20. VERIFICACIÓN DE VELOCIDAD EQUIPOS DE CORTE DIRECTO..	79
TABLA 21. VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD DE LOS EQUIPOS DE CORTE DIRECTO.....	81
TABLA 22. REGRESIÓN LINEAL DE VELOCIDAD TEÓRICA Y REAL PARA LOS EQUIPOS DE CORTE DIRECTO.....	83
TABLA 23. TIEMPOS SEGÚN LA VELOCIDAD DEL CORTE.	87
TABLA 28. EJEMPLO DE TABLA DE CONSOLIDACIÓN.....	89
TABLA 29. ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COHESIÓN DE UNA ARENA LIMOSA DEL DEPARTAMENTO DEL CAUCA.....	91
TABLA 30. ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COHESIÓN DE UNA ARCILLA INORGÁNICA DE BAJA PLASTICIDAD DEL DEPARTAMENTO DEL CAUCA....	92
TABLA 27. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN	94
TABLA 28. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE COHESIÓN.....	94
TABLA 29. SUELOS DEL CAUCA Y VALLE DEL CAUCA.....	97

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
GRÁFICA 1. PORCENTAJE DE VARIACIÓN DE MASAS DE EQUIPO 1	78
GRÁFICA 2. PORCENTAJE DE VARIACIÓN DE MASAS DE EQUIPO 2	78
GRÁFICA 3. PRUEBA 1 EN EQUIPO 1: VELOCIDAD TEÓRICA DE 2MM/MIN...	82
GRÁFICA 4. CURVA DE DEFORMACIÓN DEL SUELO, EVIDENCIA DE LÍNEA TENDENCIA	84
GRÁFICA 5. CURVA DEFORMACIÓN DEL SUELO CON T90 Y T50 SEÑALADOS	85
GRÁFICA 7. EJEMPLO DE CURVA DE ESFUERZO CORTANTE NOMINAL VS DESPLAZAMIENTO LATERAL.	90
GRÁFICA 8. ENVOLVENTE DE FALLA-CRITERIO DE FALLA DE MORH COULOMB.....	90
GRÁFICA 9. CURVA DE ESFUERZO CORTANTE NOMINAL VS DESPLAZAMIENTO LATERAL DE ARENA LIMOSA DEL DEPARTAMENTO DEL CAUCA	91
GRÁFICA 10. CURVA DE ESFUERZO CORTANTE NOMINAL VS DESPLAZAMIENTO LATERAL DE UNA ARCILLA INORGÁNICA DE BAJA PLASTICIDAD DEL DEPARTAMENTO DEL CAUCA	92

1. INTRODUCCIÓN

Antes de realizar una obra civil es importante identificar o establecer las condiciones geotécnicas en las cuales se encuentra el lugar donde se cimentará el proyecto. Para establecer lo anterior es importante realizar diferentes ensayos, los cuales dependiendo del tipo de obra están reglamentados en Colombia por la Norma Técnica Colombiana (NTC) y el Instituto Nacional de Vías (INVIAS).

Este tipo de procedimientos deben ser realizados por personal calificado (geotecnólogos), dentro de los cuales debe estar un ingeniero civil con conocimientos y destrezas en las áreas de suelos, concretos y pavimentos, el cual aporta su experiencia adquirida durante su formación académica y profesional para proveer recomendaciones, las cuales pueden ser en el diseño del tipo de cimentación, obras complementarias para estabilizar un terreno, entre otras.

Actualmente, en Colombia existen múltiples empresas dedicadas a estas actividades, las cuales han pasado a tener un papel muy importante debido a que facilitan la ejecución de proyectos ingenieriles. A nivel regional, una de las empresas que presta este servicio es Geofísica S.A.S. ubicada en la ciudad de Popayán, y la cual centra su actividad en el departamento del Cauca.

De acuerdo con lo anterior, en el presente documento se evidencian las actividades realizadas por el pasante como auxiliar de ingeniería en los proyectos desarrollados por el laboratorio de suelos, materiales, concretos y pavimentos, Geofísica S.A.S.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Participar como auxiliar de ingeniería en proyectos desarrollados por el laboratorio de suelos, materiales, concretos y pavimentos, Geofísica S.A.S.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

2.2.1. Realizar visitas de campo a las obras donde Geofísica S.A.S. preste sus servicios, para verificar que los ensayos den cumplimiento con las especificaciones técnicas.

2.2.2. Realizar actualizaciones al plano arquitectónico de las instalaciones de Geofísica S.A.S

2.2.3. Apoyar en la elaboración de informes de estudio de suelos e identificar valores típicos de la región.

2.2.4. Efectuar control de calidad de algunos equipos y materiales del laboratorio

3. JUSTIFICACIÓN

Las obras civiles según el DANE son “el conjunto de activos que prestan servicios para la satisfacción de necesidades de una nación, asociadas con la generación y provisión de energía, transporte, comunicación, recreación...”¹ Por tanto, son generadoras de impacto social, ambiental, económico y deben ser funcionales estructuralmente para las condiciones y el tiempo que fue diseñado, a excepción que se presente un evento extraordinario como un sismo.

La ingeniería civil al ser una rama tan importante en el desarrollo de una población debe ejercerse de manera responsable, prevaleciendo siempre los principios de rectitud y honestidad acentuados en el claustro universitario; debido a que la buena ejecución y desarrollo de una obra obtiene un gran impacto social, cultural y económico de una población. Por lo tanto, mediante los acuerdos 002 de 1989, 003 y 004 de 1994 y 027 de 2012 a través, de la resolución 820 de 2014 del Consejo de Facultad de Ingeniería Civil se reglamentó el trabajo de grado en la modalidad pasantía emanado del consejo académico de la universidad del Cauca²; por lo que permite a la pasante obtener el título de ingeniero civil.

Uno de los principales problemas que se identifican en las obras civiles son los causados por asentamientos del terreno, que son generalmente por el desconocimiento de las características intrínsecas del mismo y de los materiales utilizados en obra. Por lo cual, antes y durante la ejecución de una obra civil es necesario conocer las propiedades de estos suelos y materiales, las cuales se analizan mediante ensayos reglamentados en las normas de INVIAS y NTC.

¹ DANE, Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Glosario Indicador de inversión en Obras Civiles [página web]. [Consultado el 1, febrero, 2023]. Disponible en Internet: <<https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/construccion/indicador-de-inversion-en-obras-civiles/glosario-obras-civiles#:~:text=Obras%20civiles:%20conjunto%20de%20activos,,%20comunicación,%20recreación,%20etc.>>>.

² Facultad de Ingeniería Civil. Resolución No. 8.3.2-90.13/440, 2022. 2p.

Cabe resaltar que en la pasantía realizada por la estudiante se identificó la falta de ingenieros civiles que proporcionan una guía desde su experiencia y conocimiento en el propio qué hacer, puesto que, son de gran importancia en el campo de la geotecnia, pues son los autorizados para firmar los estudios geotécnicos para cimentaciones de edificaciones según lo describe la NSR-10 en el título H, a su vez referenciado por la ley 400 de 1997 en los artículos 26 y 27, posteriormente modificada y adicionada en 2008 por la ley 1229³. Además, son los instruidos o capacitados para calcular las cargas admisibles del suelo, las cargas de proyecto o cargas últimas y de este modo tomar decisiones de diseño como lo es el tipo y dimensiones de las cimentaciones.

En la empresa Geofísica S.A.S, se realizan estos ensayos certificados con sellos de calidad, lo cual le permite al pasante de ingeniería aplicar lo aprendido en su etapa académica y adquirir conocimientos técnicos, con el fin de identificar la finalidad o propósito de cada ensayo e interpretarlos, para que de este modo contribuyan de manera positiva en su vida laboral.

Es por esto que con esta pasantía el estudiante logra adquirir una visión más amplia y asentada de la realidad, además alcanza a dimensionar las consecuencias que conlleva tomar una decisión en cada proyecto. El estudiante en la práctica alcanza habilidades de trabajo en equipo, mejora relaciones comunicativas con el personal y adquiere destrezas en los ensayos o pruebas realizadas en campo y laboratorio. Asimismo, es capaz de verificar que los ensayos y equipos se encuentren acorde a la norma, ofreciendo de esta manera seguridad y confianza a la comunidad en la cual se está ejecutando el servicio. Finalmente, los aportes realizados son una muestra de la alta preparación estudiantil que se brinda en el claustro institucional.

³ ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. NSR-10: REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE. Capítulo H.1 – Introducción. Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010. 1440 p.

4. MARCO CONTEXTUAL

Imagen 1. Logotipo de la empresa Geofísica S.A.S.



Fuente: Tomado del documento de la empresa, 2023.

Empresa: Geofísica S.A.S

Nit: 9002248840

Teléfono: 3216423999

Página web: <http://geofisica.com.co/>

Gerente: Fernando Octavio Muñoz Fuentes

Dirección: Calle 6 # 11-35, Barrio Valencia,
Popayán, Colombia

4.1. DESCRIPCIÓN

Somos una empresa colombiana, creada como laboratorio dedicado a la prestación de servicios de control de calidad para el sector de la construcción, mediante la combinación de técnicas establecidas en las normas, equipos y personal competente.

Nuestra operación se posiciona continuamente en la región del Cauca por brindar día a día calidad y eficiencia en nuestros procesos; somos reconocidos en el medio

de la ingeniería a nivel local y regional. Participamos en los proyectos de mayor importancia que se desarrollan en la ciudad de Popayán y buscamos expandirnos mediante la prestación del servicio permanente en proyectos por fuera de la ciudad.

4.2. MISIÓN

Geofísica SAS es un laboratorio comprometido en satisfacer la necesidad de nuestros clientes mediante la prestación de servicios profesionales de ensayos normalizados en el área de suelos, materiales, concretos, y pavimentos, sirviendo con calidad y confiabilidad antes, durante y posterior a la construcción de obras civiles y ramas afines.

4.3. VISIÓN

En el año 2026, Geofísica SAS, consolidará su liderazgo en el mercado del Cauca y Valle del Cauca, haciendo de su nombre un sinónimo de calidad, cumplimiento y confianza, convirtiéndose en el mejor aliado de sus clientes.

5. MARCO CONTEXTUAL

El laboratorio Geofísica S.A.S. genera confianza en sus clientes por encontrarse certificado por el sello de calidad estipulado en el ICONTEC bajo la Norma ISO 9001:2015, dado que sus estudios son realizados por personal altamente calificado.

En Colombia existen dos entes reguladores de estudios de suelos el cual es el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) y El Instituto Nacional de Vías (INVIAS). A continuación, se mostrarán las normativas más relevantes utilizadas en el presente proyecto:

La NSR-10 como se indica en el título A, es “aplicable a edificaciones o construcciones de uso primordial habitacional o de seres humanos”⁴, por lo tanto, en el Título H: Estudios Geotécnicos se referencia la Norma Técnica Colombiana (NTC) y la Sociedad Americana de Ensayos y Materiales (ASTM) con el fin de certificar y estandarizar todos los procedimientos o parámetros para la realización de ensayos a suelos de cimentación y materiales utilizados en obra.

El INVIAS ha desarrollado el Manual de Normas de Ensayo de materiales de carretera que, según este, tiene como propósito estandarizar los procedimientos de muestreo y ensayos en los laboratorios que realizan pruebas para los proyectos a cargos del Instituto Nacional de Vías sobre la infraestructura de la red Nacional de carretera. Por tal motivo, para esta práctica, se tuvieron en cuenta los siguientes procedimientos:

Según INVIAS y NTC las normas: I.N.V.E-401 y NTC-454, fueron necesarias en la obra para obtener una muestra de concreto fresco representativa⁵, con las normas I.N.V.E- 404 y NTC-3696 se realizó la determinación de fluidez, que consiste en

⁴ ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. NSR-10: REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE. Capítulo A1 — Introducción. Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, .2010. 44 p.

⁵ MINISTERIO NACIONAL DE VÍAS. NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS. Sección 400 concreto hidráulico. Bogotá: Instituto Nacional de Vías, 2012. E-401 p.

llenar un cono en tres capas de concreto aplicando apisonamiento, posteriormente levantarlo a una velocidad constante y medir la distancia desplazada⁶.

Una vez se tiene la muestra con las especificaciones anteriores, se siguió la norma: INV E – 420 y NTC-550 la cual consigna los procedimientos para la elaboración y curado en obra de especímenes de concreto en vías y edificaciones, respectivamente⁷.

Durante la práctica profesional se observó que diversas empresas a cargo de obras donde se cimentarían estructuras con cargas considerables enviaron sus muestras a ensayar en el laboratorio Geofísica S.A.S. para tener un diseño más seguro y cercano a la realidad, que evite el sobre diseño en cimentación y obras complementarias. “Una determinación más precisa de la resistencia al corte del suelo, trae como consecuencia un diseño más acorde con el estado y la capacidad del subsuelo, lo que implica ahorro en los costos de construcción de las obras”⁸

Así mismo, para la correcta elaboración de este ensayo de corte se tuvieron en cuenta las especificaciones del INVIAS y NTC: I.N.V E-154: Ensayo de corte directo en condición consolidada drenada (CD) y NTC 1917: Determinación de la resistencia al corte. Método de corte directo (CD). (ASTM D 3080)

“Toda edificación tiene base sobre un suelo, si no se tiene cuidado en la selección del suelo de fundación, mucho peor si no se da tratamiento y estudio adecuado del mismo, sería catastrófico los efectos en el tiempo”⁹. Por lo tanto, en un proyecto es indispensable realizar un estudio detallado del suelo, sin minimizar costos en su correcta elaboración, ya que posteriormente será más dispendioso y requiere más

⁶ MINISTERIO NACIONAL DE VÍAS. NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS. Sección 400 concreto hidráulico. Bogotá: Instituto Nacional de Vías, 2012. E-404 p.

⁷ MINISTERIO NACIONAL DE VÍAS. NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS. Sección 400 concreto hidráulico. Bogotá: Instituto Nacional de Vías, 2012. E-420 p.

⁸ Soacha Ortega, Adriana Del Pilar y Camacho Tauta, Javier Fernando. Construcción de la máquina para el ensayo de corte directo en suelos. En: revista de la facultad de ingeniería universidad nueva granada, 1995. 3, 86 p. <https://doi.org/10.18359/rcin.1571>

⁹ ONCEBAY CUYA, EDGAR. Determinación de las isócronas de consolidación unidimensional para cimentación en arcillas del Centro Educativo de Moya, Distrito de Quinua-Ayacucho. Trabajo de grado. Ayacucho - Perú: Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, 2018. 178 p.

recursos recuperar la estructura o si es el caso, pagar por la responsabilidad de ejecutar un mal procedimiento y causar la pérdida de la vida de un individuo.

Teniendo en cuenta lo anterior, en los títulos A y H de la NSR-10 se estipulan parámetros para tener en cuenta en la elaboración de un estudio geotécnico de suelos, alcanzando de este modo un reconocimiento e identificación del suelo y sus características. Particularmente para este estudio desarrollado durante la práctica, se identificaron: la profundidad, número de sondeos, la cantidad y tipo de ensayos a realizar, con información procedente del tipo de estructura a cimentar, el grado de importancia de esta, las cargas del proyecto, los parámetros de sitio o la zona de amenaza sísmica en la cual se encontraba ubicada la obra¹⁰.

Para los sondeos se tuvo en cuenta las siguientes especificaciones:

NTC 2121 (ASTM D1587) e I.N.V.E-105 para la obtención de muestras inalteradas con tubo shelby, en las cuales están establecidos los parámetros para utilizar adecuadamente los tubos de pared delgada o tubos shelby y de este modo se logre obtener muestras de suelo inalteradas que sean aptas para realizar los ensayos en el laboratorio¹¹.

Durante la ejecución del sondeo se realizó muestreo con tubo o cuchara partida por el método de ensayo de penetración normal, para esto se tomó de referencia las normas I.N.V E-111.

Por otro lado, “La importancia de la compactación de suelos estriba en el aumento de la resistencia y disminución de la capacidad de deformación que se obtiene al someter el suelo a técnicas convenientes, que aumentan el peso específico seco,

¹⁰ ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. NSR-10: REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE Capítulo A.2 — Zonas de amenaza sísmica y movimientos sísmicos de diseño. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010. A-13 – A-38 p.

¹¹ MINISTERIO NACIONAL DE VÍAS. NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS. Sección 100 Suelos. Bogotá: Instituto Nacional de Vías, 2012. E-105 p.

disminuyendo sus vacíos”¹², como ocurre en campo que para determinar la compactación de las capas de pavimento de una vía es necesario conocer su densidad, para ello se realizó el seguimiento de la norma INV E-161: Determinación y peso unitario del suelo en el terreno por método del cono y arena para material grueso e INV E-150: Determinación de la humedad de suelos empleando un probador con carburo de calcio para suelos finos.

Este ensayo consiste en excavar manualmente un hueco y rellenar con arena de densidad conocida, para poder calcular el volumen del hueco y de este modo conocer la densidad del suelo¹³. Para la fracción fina de suelo se introduce en el medidor de humedad Speedy el carburo de calcio, las dos esferas y el suelo, al entrar en contacto estos dos, se obtiene el contenido de humedad¹⁴. En cuanto a laboratorio para corrección del peso unitario u contenido de agua de suelos que contienen sobre tamaños, se usó la norma INV E -143 (2013)

¹² GUERRÓN AVECILLAS, SILVIA ALEXANDRA. Comparación de resultados de densidad de campo por los métodos cono y arena, volumétrico y densímetro nuclear. Trabajo de grado. Quito – Ecuador: Universidad Central del Ecuador, 2013. 4 p.

¹³ MINISTERIO NACIONAL DE VÍAS. NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS. Sección 100 Suelos. Bogotá: Instituto Nacional de Vías, 2012. E-161 p.

¹⁴ MINISTERIO NACIONAL DE VÍAS. NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS. Sección 100 Suelos. Bogotá: Instituto Nacional de Vías, 2012. E-150 p.

6. METODOLOGÍA

La práctica profesional se llevó a cabo en el laboratorio de suelos Geofísica S.A.S. el cual fue elegido en reiteradas ocasiones por diferentes habitantes del Cauca y Valle del Cauca para la realización de estudios de suelos, toma de muestras, control de calidad de obras civiles, análisis de resultados y ensayos a concretos, materiales y pavimentos, ya que estos procedimientos son de gran importancia antes, durante y posteriormente a la ejecución de una obra.

Para la realización de los ensayos geotécnicos a los suelos, concretos y pavimentos en el campo de trabajo, se requirió personal altamente calificado como: auxiliares de laboratorio, geotecnólogos y especialistas; debido a que sus procedimientos tienen como propósito garantizar que el suelo, los materiales y el concreto utilizado en obra, cumplan con las condiciones estipuladas en las normas.

La pasantía dio inicio el 19 de enero del 2023, donde la pasante tuvo que cumplir con una semana de inducción, dado al grado de importancia que tienen estos ensayos para controlar la calidad de un proyecto. En este lapso, la pasante fue instruida acerca de la misión y la visión que tiene la empresa al ofrecer sus servicios y de la responsabilidad que se debe adquirir a la hora de ejecutar un ensayo. Además, se realizó una revisión de la normativa que rige en Colombia para el desarrollo de diferentes ensayos, con el propósito de tener los conceptos claros antes de iniciar con procedimientos en el laboratorio.

Conjuntamente, la responsable del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST) brindó la información de los elementos de seguridad que se debían llevar dentro de la empresa y en campo, de las rutas de evacuación de la empresa y de las acciones que se realizan a la hora de presentarse algún evento que ponga en riesgo la vida de algún integrante de la empresa.

Una vez finalizada esta etapa de inducción, la pasante empezó a ejecutar las actividades suministradas por el gerente de la empresa Geofísica S.A.S., cumpliendo con los objetivos, las cuales fueron:

1. La actualización del plano arquitectónico de la empresa, el cual tomó un tiempo aproximado de 3 semanas, desde el inicio de toma de medidas con cinta métrica y medidor láser hasta la revisión, y aprobación de este.
2. Verificación de los siguientes ensayos, de acuerdo con la normativa NTC, ASTM y el manual de normas de ensayos de materiales para carreteras INVIAS: asentamiento de concreto hidráulico (Slump), elaboración y curado en obra de especímenes de concreto, densidad y peso unitario del suelo en el terreno por el método del cono y arena. Teniendo contacto con concretos utilizados para fundición de columnas, carburo cálcico, agregados gruesos para base y subbase, molde troncocónico, balanza, cinta métrica, Speedy, cuchara partida, formaletas cilíndricas, formaletas rectangulares, entre otras.
3. Asistencia en área de corte directo y consolidación unidimensional, haciendo uso de elementos como cronómetro, balanzas, computadores, máquina de corte directo y consolidación.
4. Revisión de la calibración de los equipos de laboratorio como balanzas, pie de rey análogo, máquina centrífuga, máquina de compresión confinada y pesas de equipo de consolidación.
5. Toma de estudios de suelo siguiendo lo estipulado en el código o en las especificaciones técnicas vigentes en Colombia, interactuando en campo con suelos de diferentes clasificaciones obtenidos de sondeos y elementos como tubos shelby, martillo, percutor, trípode, tubería de perforación, cabeza, uniones y guía de golpeo.

El desarrollo de estas actividades finalizó el 15 de abril de 2023, cumpliendo con las 384 horas estipuladas por la universidad del Cauca para la modalidad de trabajo de grado, práctica profesional empresarial - pasantía.

7. DESARROLLO DE LA PASANTÍA

A continuación, se indica la ejecución de cada actividad realizada durante la pasantía en el laboratorio de suelos, concretos y pavimentos Geofísica S.A.S., cada una de estas se evidencia con un ejemplo que demuestra cada ensayo realizado.

7.1. ELABORACIÓN DE LA ACTUALIZACIÓN DEL PLANO ARQUITECTÓNICO DE LA EMPRESA

Se le asignó al pasante la actualización del plano arquitectónico de las instalaciones de la empresa Geofísica S.A.S. ubicada en la Calle 6 # 11-35, Barrio Valencia, Popayán; para ello se puso a disposición un plano arquitectónico del año 2017, el cual sirvió de guía para la nueva elaboración, además se contó con un auxiliar geotecnólogo que aportó con las respectivas medidas de las distribuciones.

Se utilizaron distintas herramientas para la medición de las distancias: una cinta métrica de 10 m para las distancias cortas y un medidor laser para las distancias largas.

De esta manera se inició con el área de servicio, para esto, se midió con cinta métrica el perímetro o contorno de cada instalación y se sobrescribieron estas nuevas medidas en el plano existente. Seguidamente, se realizó el mismo procedimiento con los cuartos del patio 1, 2 y 3, los cuales están comprendidos por la gerencia técnica, administrativa y financiera, el almacén, el baño, la cafetería, el cuarto de tamizaje, el cuarto de la máquina de los ángeles, el cuarto de secado y curado.

Para las zonas abiertas o patios internos 1, 2 y 3, se tomaron las medidas con el medidor laser, dado que poseía longitudes considerables; durante esta toma se

verificó que el medidor estuviera nivelado y que el láser se marcara hasta la superficie que se deseaba medir, para obtener un resultado correcto.

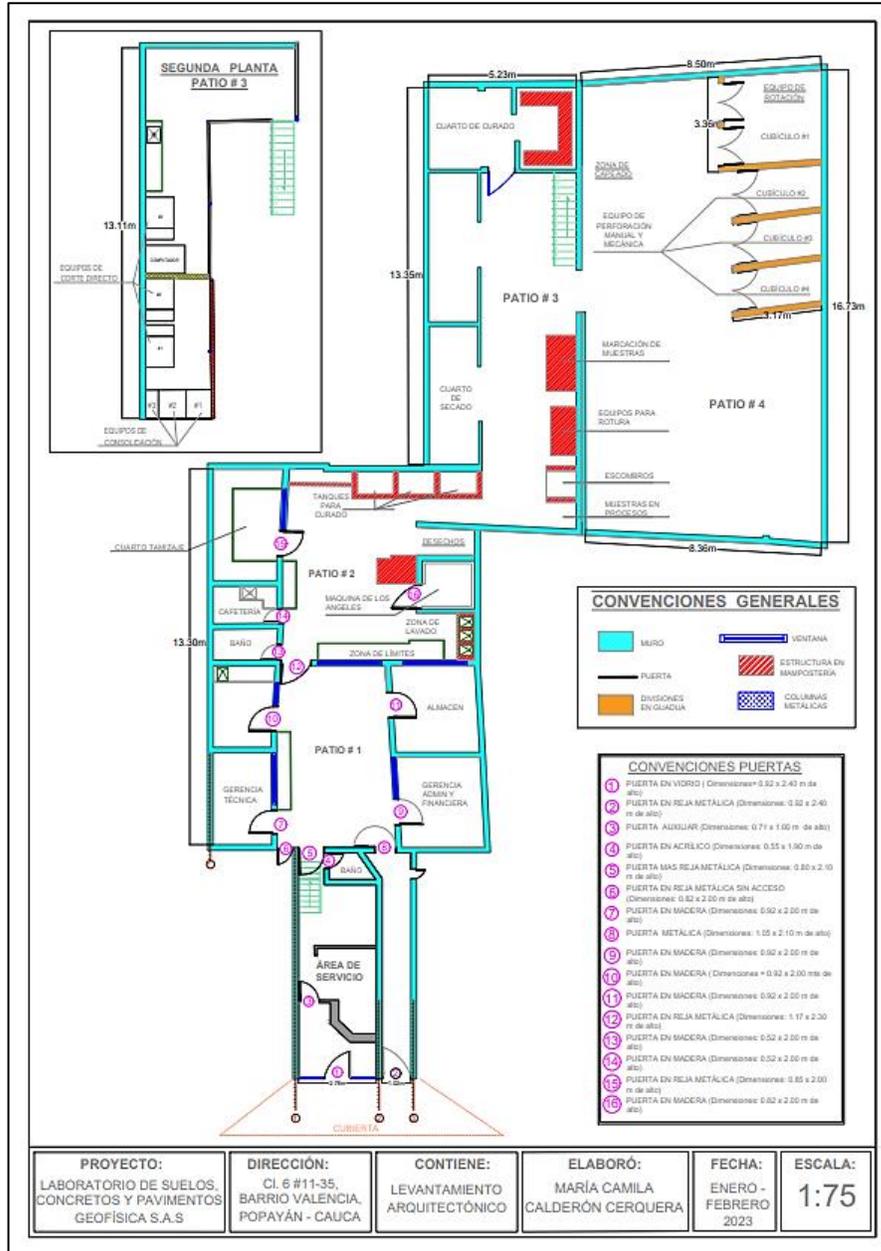
La segunda planta del patio 3 y el patio 4 al ser zonas nuevas de la empresa, no se encontraban ilustradas en el plano existente, por lo tanto, durante la toma de medidas se realizó un bosquejo a mano alzada de los espacios y se le asignaron los respectivos valores.

Al terminar con la medición, se pasó a la etapa de elaboración del plano. Para ello, se compararon las nuevas medidas con las del plano existente y se realizaron las respectivas correcciones, posteriormente se adjuntaron las zonas adquiridas recientemente por la empresa y las redistribuciones de los espacios.

Cabe resaltar que al plasmar las medidas del patio 4 en el plano, surgieron algunos percances, puesto que, este era un lote asimétrico y los valores de sus lados no coincidían, por lo tanto, se tomaron varios registros para encontrar esas inclinaciones y el plano se adaptara mejor a la realidad.

Al finalizar la elaboración del plano, se revisó por el gerente técnico y la encargada de gestión de calidad, en primera instancia se realizaron algunas sugerencias con respecto a los nombres de las locaciones y una vez corregidas, se aceptó y se obtuvo la Imagen 2:

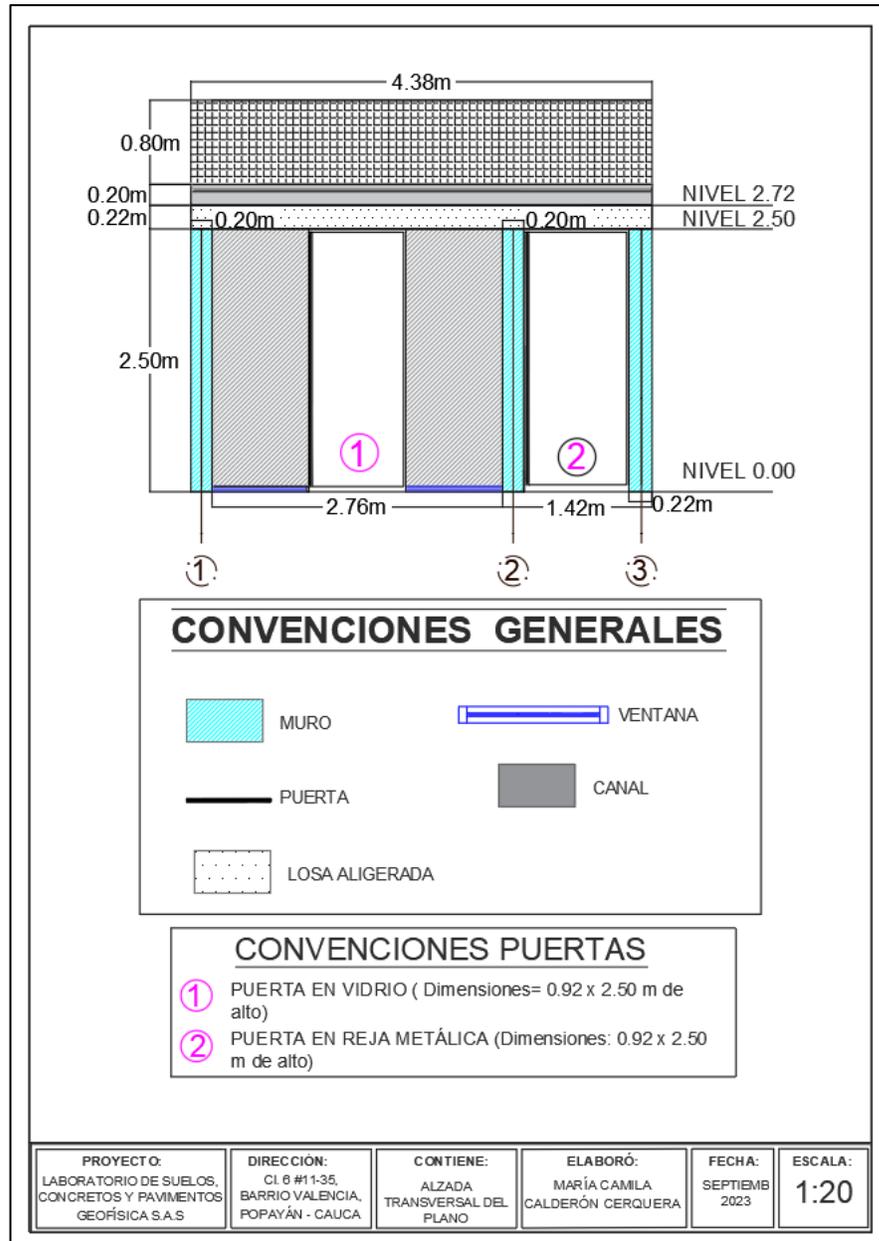
Imagen 2. Plano arquitectónico de la empresa Geofísica S.A.S.



Nota: Se muestran las distribuciones de la planta física de la empresa Geofísica S.A.S., con sus respectivas convenciones. Cabe resaltar que, las medidas no se encuentran a escala, puesto que es una captura; el tamaño de la hoja del proyecto es inferior al de la elaboración del plano.

Fuente: elaboración propia [captura]. Febrero, 2023.

Imagen 3. Alzada transversal del plano arquitectónico de la empresa Geofísica S.A.S



Nota: Se muestra una vista en perfil de la fachada de la planta física de la empresa Geofísica S.A.S., con sus respectivas convenciones. Cabe resaltar que, las medidas no se encuentran a escala, puesto que es una captura; el tamaño de la hoja del proyecto es inferior al de la elaboración del plano.

Fuente: elaboración propia [captura]. Septiembre, 2023.

7.2. VISITA DE CAMPO A LA OBRA BOSQUE ENCANTADO

El condominio el bosque, se encuentra localizado en la vía variante Popayán - Cali con calle 53 norte contiguo a la universidad autónoma como se evidencia en la Imagen 4, este proyecto se encuentra a cargo de la constructora Gracol S.A.S., el cual cuenta con 342 casas de 2 plantas y zonas sociales como: un salón social abierto, una piscina para adultos y niños, zona de juegos infantiles, parqueaderos de visitantes, portería y zonas verdes.

Imagen 4. Ubicación de la obra Bosque encantado



Nota: Se muestra una vista de Google Maps de la ubicación del proyecto Bosque encantado, resaltado la variante y calle 53 N.

Fuente: Tomado de ciudadela en bosque – Gracol S.A.S. [video]. Junio, 2020. https://www.youtube.com/watch?v=JY0hsnluvMU&ab_channel=vivaestudios7.

Las casas tienen un área construida de 78.14m² con medidas de 4.50 m de frente por 11.80 m de fondo como se muestra en la Imagen 5, distribuidas de la siguiente forma: en el primer nivel se encuentra el parqueadero, la sala, el comedor, la cocina,

una alcoba, el patio de ropas, la escalera con espacio para baño, y en el segundo piso el estudio, dos baños, la alcoba principal, un espacio disponible para vestier y otro para la ampliación de una habitación posterior.

Imagen 5. Plano arquitectónico de casa tipo del condominio el bosque



Nota: en el segundo piso se encuentra un espacio denominado ampliación el cual se encuentra sujeto a modificaciones futuras.

Fuente: Tomado de presentación Power Point El bosque ciudadela - casas y apartamentos – (VIS) Popayán – Cauca. <https://gracolsas.com/wp-content/uploads/2022/01/PRESENTACION-BOSQUE-ENCANTADO-V1-Agosto.pdf>

Durante la etapa de construcción del condominio, la empresa Gracol S.A.S. contrató al laboratorio de suelos, concretos y pavimentos Geofísica S.A.S. para la elaboración de ensayos y el cumplimiento a las especificaciones de calidad.

En el mes de febrero, la obra se encontraba en la fase de construcción de muros en pantallas, por tal motivo se acompañó a los geotecnólogos a chequear el concreto utilizado como se observa en la Imagen 6. Para esto, se realizaron los ensayos de asentamiento del concreto hidráulico (Slump), y la elaboración y curado en obra de especímenes de concreto.

Imagen 6. *Visita de campo a la obra Bosque encantado.*



Nota: *se muestra a la pasante tomando registro de la recolección de muestras de concreto fresco en la obra Bosque encantado.*

Fuente: elaboración propia. [fotografía]. Febrero, 2023.

El primer ensayo trató acerca del asentamiento del concreto de cemento hidráulico, el cual consistió en ubicar un molde tronco-cónico húmedo en una superficie horizontal, plana, humedecida, donde se llenó con muestra de concreto en tres capas apisonadas cada una con 25 golpes. Esta prueba tuvo como finalidad medir el asentamiento del concreto al evidenciar la distancia vertical entre la posición inicial del cono y la posición final de la muestra.¹⁵

¹⁵ AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL, ASTM. Designación C 143. Método de Ensayo Estándar para revenimiento del concreto de cemento hidráulico.

Para la realización del ensayo el geotecnólogo encargado, obtuvo la muestra de acuerdo con la Norma Técnica Colombiana – NTC 454: Toma de muestra de hormigón fresco, teniendo en cuenta que se encontraba el mixer de placas TJT-678, con el concreto listo para el procedimiento.

En la obra se realizó el registro de la empresa concretera la cual era “Concretos del Cauca” y se tomó nota de la hora en la que se recolectó la muestra, corroborando que el tiempo empleado de la toma y conformación de la muestra fuera menor a 15 minutos, seguidamente se realizó el mezclado de la muestra para garantizar la uniformidad y se inició con el ensayo de asentamiento.

Mientras el geotecnólogo trasladaba la muestra del lugar de recolección a sitio de disposición final, el pasante verificó que los implementos o equipos cumplieran con las especificaciones de este ensayo como se identificó en la Tabla 1.

Tabla 1. Chequeo de equipo de ensayo de asentamiento.

<i>EQUIPO</i>	<i>PARÁMETRO</i>	<i>REQUERIMIENTO OBTENIDO</i>	<i>REQUERIMIENTO NTC 3696</i>	<i>CUMPLE / NO CUMPLE</i>
<i>Molde</i>	Material	Metálico con pintura anticorrosiva	Metálico con revestimiento antioxidante	CUMPLE
	Espesor de lámina	2 mm	>1.5 mm	CUMPLE
	Diámetro de base mayor	20.3 cm	20 cm	CUMPLE
	Diámetro de base menor	9.8 cm	10 cm	CUMPLE
	Altura	30.2 cm	30 cm	CUMPLE
	Agarraderas y estribos	Se disponía de estos elementos	Se disponía de estos elementos	CUMPLE
<i>Varilla apisonadora</i>	Material	Acero	Acero	CUMPLE
	Textura	Lisa	Lisa	CUMPLE
	Forma	Cilíndrica recta con extremos hemisféricos	Cilíndrica recta con extremos hemisféricos	CUMPLE
	Diámetro	5/8"	5/8 ± 1/16"	CUMPLE

EQUIPO	PARÁMETRO	REQUERIMIENTO OBTENIDO	REQUERIMIENTO NTC 3696	CUMPLE / NO CUMPLE
	Longitud	50 cm	de 40 a 60 cm	CUMPLE
Flexómetro	Material	Metálico	Metálico	CUMPLE
	Longitud	2m	>30cm	CUMPLE
	Graduación	1/4"	≤1/4"	CUMPLE

Nota: se presentan los valores y observaciones, obtenidas de los diferentes equipos utilizados para el ensayo de asentamiento del concreto fresco. En la cuarta columna, se localizan los requerimientos de la norma NTC 3696 y se comparan, obteniendo la última columna de verificación de cumplimiento.

Fuente: elaboración propia. Febrero, 2023.

Durante la ejecución del ensayo, se garantizaron la planicidad y humedad, para esto el geotecnólogo debió humedecer el molde y la superficie. Cabe resaltar que, debido a la falta de una superficie impermeable en la obra, se ubicó un papel humedecido en la base como se logra evidenciar en la Imagen 7.

Imagen 7. Vertido del concreto en el molde tronco-cónico



Nota: se observa la colocación del concreto en el molde, evidenciando las condiciones del lugar y especialmente la superficie donde se realizó el ensayo de asentamiento.

Fuente: elaboración propia. [fotografía]. Febrero, 2023

El ensayo se realizó en 3 capas y 25 golpes distribuidos uniformemente; el tiempo que empleó el geotecnólogo para retirar el cono de la muestra fue de 6 segundos y 2 minutos en total para el ensayo.

Una vez retirado el cono, se observó que no presentaba desplome pronunciado o desprendimiento del concreto hacia un extremo, por tanto, se procedió a tomar la medida de asentamiento como se muestra en la Imagen 8, la cual fue igual a 18,5 cm equivalente a 185 mm \approx 7.3", cumpliendo con la especificación dada por la planta de producción del concreto la cual era de 8 ± 1 ".

Imagen 8. Remoción del molde y medida de asentamiento del concreto.



Nota: contiene la remoción del molde troncocónico y la medición de la distancia del asentamiento del concreto usando el flexómetro.

Fuente: elaboración propia. [fotografía]. Febrero, 2023

Se tomó como guía la Tabla 2 para analizar la mezcla, lo cual indicó que esta poseía una consistencia muy húmeda, dado que su asentamiento fue superior a 150 mm, por tanto, este concreto pudo ser utilizado en elementos muy esbeltos, como lo son pilotes fundidos "in situ", además, su sistema de colocación recomendado era de Tubo-embudo Tremie y su sistema de compactación era por secciones altamente reforzadas sin vibración, sin embargo, se evidenció que en la obra fue utilizado para la construcción de pantallas de muros, presentando una discordancia con la tabla mencionada.

Este procedimiento se realizó debido a la necesidad de tener un concreto fluido, para garantizar que la mezcla penetrara uniformemente dentro del encofrado, y evitar la presencia de vacíos. Cabe resaltar que además de esta verificación, al concreto también se le tomó la resistencia con los cilindros, esto con el fin de certificar que la mezcla presentara las propiedades o dosificaciones adecuadas para tener el comportamiento deseado.

Tabla 2. Clasificación del concreto de una mezcla en estado fresco, para diversos tipos de construcción, y sistemas de colocación y compactación.

CONSISTENCIA	ASENTAMIENTO (mm)	EJEMPLO DE TIPO DE CONSTRUCCIÓN	SISTEMA DE COLOCACIÓN	SISTEMA DE COMPACTACIÓN
Muy seca	0-20	Prefabricados de alta resistencia, revestimiento de pantallas de cimentación.	Con vibradores de formaletas; concretos de proyección neumática (lanzado).	Secciones sujetas a vibración extrema, puede requerirse presión.
Seca	20-35	Pavimentos	Pavimentadoras con terminadora vibratoria	Secciones sujetas a vibración intensa
Semi-seca	35-50	Pavimentos fundaciones en concreto simple	Colocación con máquinas operadas manualmente	Secciones simplemente reforzadas con vibración
Media	50-100	Pavimentos compactados a mano, losas, muros, vigas	Colocación manual	Secciones medianamente reforzadas sin vibración
Húmeda	100-150	Elementos estructurales esbeltos	Bombeo	Secciones bastante reforzadas sin vibración
Muy húmeda	150 o más	Elementos muy esbeltos, pilotes fundidos "in situ"	Tubo-embudo Tremie	Secciones altamente reforzadas sin vibración (normalmente no adecuadas para vibrarse)

Nota: se encuentran diferentes rangos de asentamientos del concreto por el ensayo de cono y su respectiva consistencia, sistema de colocación, compactación y ejemplos del tipo de construcción en donde se puede utilizar.

Fuente. SÁNCHEZ DE GUZMÁN, DIEGO y UNIVERSIDAD JAVERIANA. *Tecnología del concreto y del mortero*. 5a ed. Bogotá: Bhandar editores, 2001. 321 - 322 p. ISBN 9589247040.

El segundo ensayo abarcó la elaboración y curado en obra de especímenes de concreto, en esta obra se requirió la fabricación de 9 cilindros de 4" de diámetro. Para ello, el geotecnólogo con la muestra restante del ensayo anterior procedió a fundir los cilindros cumpliendo con los requisitos detallados en la NTC 550.

Antes del llenado de las camisas o moldes, el pasante se aseguró que el equipo cumpliera las condiciones descritas en la mencionada norma, quedando como evidencia en la Tabla 3 cada uno de los parámetros medidos o visualizados.

Tabla 3. Chequeo de equipo de elaboración y curado en obra de especímenes de concreto para ensayo.

EQUIPO	PARÁMETRO	REQUERIMIENTO OBTENIDO	REQUERIMIENTO NTC 550 ¹⁶	CUMPLE/ NO CUMPLE
Molde	Forma	Cilíndricos rectos con tope abierto	Cilíndricos rectos con tope abierto	CUMPLE
	Material	Hierro, con aceite que funcionaba como desmoldante	Rígido, no absorbente y no reactivo con el concreto	CUMPLE
	Diámetro	4"	4 o 6 o 9"	CUMPLE
Varilla apisonadora	Material	Acero	Acero	CUMPLE
	Forma	Redonda, recta	Redonda, recta	CUMPLE
	Longitud	50 cm	de 40 a 60 cm	CUMPLE
	Diámetro	3/8"	3/8 ± 1/16"	CUMPLE
Mazo	Material	Cabeza de caucho	Cabeza de caucho o cuero	CUMPLE
	Masa	0.74kg	0.6±2Kg	CUMPLE

Nota: se muestran los valores y observaciones obtenidas de los diferentes equipos utilizados para la elaboración de 9 cilindros de concreto, situándose en la cuarta columna los requerimientos de la norma NTC 550. En la última columna se plasman el cumplimiento de estos parámetros.

Fuente: elaboración propia. Febrero, 2023.

Una vez se verificaron los materiales, el geotecnólogo basándose en la información de la Tabla 4 realizó la determinación del método de consolidación a emplear. Al comparar el resultado del ensayo anterior se observó que se podían utilizar los dos

¹⁶ NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. NTC 550. Concretos, Elaboración y curado de especímenes de concreto en obra.

métodos (apisonamiento o vibración) dado que el valor era mayor a 25 mm o 1”, por lo tanto, en este caso se eligió el método de apisonamiento.

Tabla 4. Requisitos sobre método de consolidación.

ASENTAMIENTO, mm (pulgadas)	MÉTODO DE CONSOLIDACIÓN
≥ 25 (1)	Apisonado o vibración
< 25 (1)	vibración

Nota: se muestran los métodos de consolidación a utilizar, según el valor obtenido en el ensayo de asentamiento en milímetros o

Fuente: MINISTERIO NACIONAL DE VÍAS. NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS. Sección 400 concreto hidráulico. Bogotá: Instituto Nacional de Vías, 2012. E-420 p. [tabla 420-2]

Por consiguiente, el pasante inspeccionó que se llenara el molde en 2 capas de igual altura y se apisonaran cada una con 25 golpes. Para ello, el geotecnólogo inició introduciendo concreto en el molde hasta la mitad, seguido a esto apisonó con los golpes indicados anteriormente y finalizó golpeando ligeramente con el mazo 12 veces. En la última capa se realizó el mismo procedimiento y terminó con el enrasado del molde, produciendo de este modo una superficie plana como se expone en la Imagen 9.

Para el curado, también se contrató al laboratorio Geofísica S.A.S, en donde se dejaron los cilindros en obra hasta que estos alcanzaron el curado inicial, el cual se logró a las 48 horas. Con ayuda del geotecnólogo se ubicaron los cilindros en una superficie nivelada, bajo techo con lo cual se evitó que la muestra sufriera alteraciones por efectos climáticos.

Imagen 9. Elaboración de 9 cilindros de 4" en concreto para obra Gracol S.A.S.



Nota: consta de 9 cilindros frescos, posicionados en una superficie plana para su curado inicial. Además, se resalta que la captura fue tomada en el interior de una vivienda adelantada, por tal motivo los cilindros se encontraron protegidos de condiciones climáticas.

Fuente: elaboración propia. [fotografía]. Febrero, 2023

Pasadas las 48 horas, se recogieron los cilindros en la obra y se transportaron al laboratorio, protegiendo de las condiciones ambientales y de posibles fracturaciones; una vez en el laboratorio, se realizó la remoción de los moldes y la marcación para su debida identificación, observándose en la Imagen 10.

Imagen 10. Remoción de moldes y marcación de cilindros



Nota: en la parte izquierda se muestran los cilindros que han completado su curado inicial y se les realizó la remoción de los moldes o camisas. En la parte derecha se observa al auxiliar de laboratorio realizando su respectiva marcación.

Fuente: elaboración propia. [fotografía]. Febrero, 2023

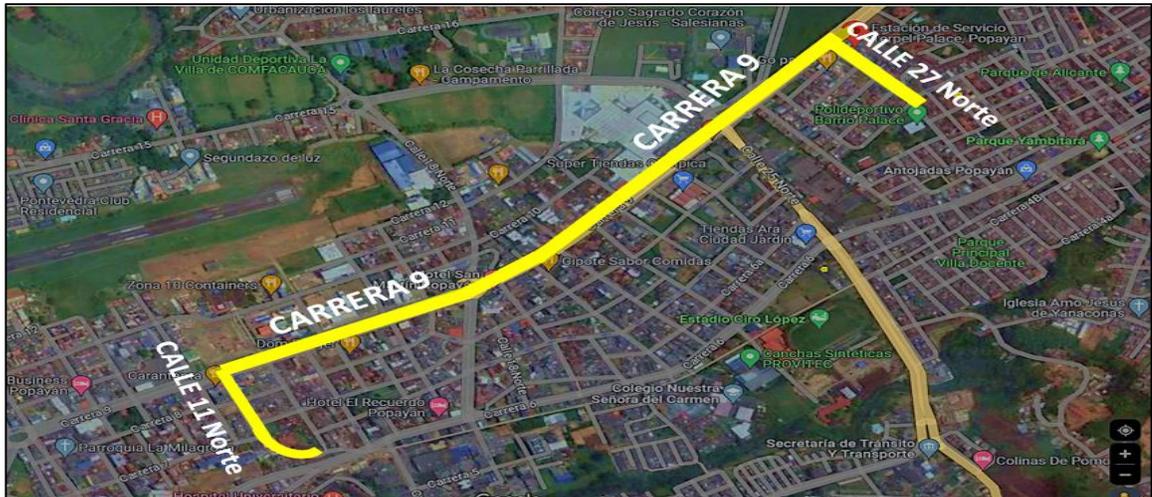
Después de la remoción de los moldes se verificó que el tiempo transcurrido no excediera 30 minutos; finalmente, se alcanzó el curado en el cuarto húmedo a una temperatura controlada de $23 \pm 2^\circ \text{C}$.

Debido al cambio de las instrucciones en la empresa, la pasante fue enviada a un frente de trabajo diferente, por lo cual no pudo llevarse a cabo bajo su supervisión la rotura de los cilindros y el curado completo de estos.

7.3. VISITA DE CAMPO A OBRA DE CONSTRUCCIÓN, REHABILITACIÓN, MEJORAMIENTO VIAL DEL TRAMO 5B DE LA CARRERA 9 DEL MUNICIPIO DE POPAYÁN

La obra se encuentra localizada en la ciudad de Popayán, en la calzada secundaria este de la Carrera 9 entre calles 11N y 27N identificándose en la Imagen 11. Consta de la construcción, rehabilitación y mejoramiento del tramo 5B, incluida la construcción del espacio público; se encuentra a cargo del consorcio Sannazaro y su interventoría es responsabilidad de la entidad Movilidad Futura S.A.S., comprendiendo aproximadamente 1.6 Km. Esta obra dio inicio frente al restaurante Carantanta y finaliza en la Estación de Servicio Terpel de Palace.

Imagen 11. Localización de la obra de construcción, rehabilitación, mejoramiento vial del tramo 5B.



Nota: se muestra una vista de Google Maps de la localización del proyecto, resaltando la carrera 9, calles 11 y 27 Norte.

Fuente: Google Maps, [captura].

Durante la etapa de construcción y rehabilitación de la vía, el consorcio Sannazaro contrató al laboratorio de suelos Geofísica S.A.S. para realizar los ensayos exigidos por la interventoría. Por tal motivo, para la verificación de la compactación de la carrera 9 con calle 19 N, se requirió el servicio de toma de densidades. Para ello, el pasante acompañó al geotecnólogo en la toma de este ensayo en tres puntos de la subbase granular como se observa en la Imagen 12.

Durante el ensayo se verificó que se diera cumplimiento con las especificaciones técnicas INV E-150, INV E-161 e INV E-143. Resaltando que, las densidades calculadas con Proctor y con gravedad teórica, fueron datos suministrados previamente por el consorcio.

Imagen 12. *Acompañamiento a toma de densidades*



Nota: se observa el área donde se realizaron los ensayos de densidades, evidenciándose la subbase granular compactada.

Fuente: elaboración propia. [fotografía]. Febrero, 2023

Al llegar a la obra, el geotecnólogo tomó las muestras a tres bolillos, consiguiendo una muestra representativa como se indica en la norma, es decir, que tomó una al lado izquierdo de la vía, otra en el eje y otra al lado derecho.

Con la aprobación del interventor, para el caso de la toma de la densidad en el eje, se realizó una excavación de aproximadamente 40 x 40 cm por 15 cm de

profundidad y se introdujo la placa hasta el suelo a ensayar, como se muestra en la Imagen 13. Esto debido a que se siguió con la compactación de la siguiente capa sin elaborar el ensayo.

Imagen 13. Excavación para toma de densidad en el eje de la vía



Nota: en la parte izquierda de se muestra al ayudante de obra iniciando la excavación con pica y en la parte derecha se captura al geotecnólogo alistando su equipo para la toma del ensayo en la capa de subbase inferior.

Fuente: *elaboración propia*. [fotografía]. Febrero, 2023

El procedimiento fue desarrollado aplicando las especificaciones INV E-161 dado que esta norma es aplicable para material grueso de tamaño superior a 1 ½",¹⁷ para establecer la humedad del suelo se utilizó la norma INV E-150 que corresponde a la determinación de humedad de suelos con partículas menores o iguales a 4.75 mm empleando un Speedy o probador con carburo de calcio¹⁸, puesto que se necesitaban resultados inmediatos para proseguir con la ejecución de la obra. Posteriormente, para la corrección de las densidades del material con sobre tamaños se utilizó la norma INV E-143.

Los equipos o materiales que se utilizaron en la práctica fueron los expuestos en la Tabla 5 e Imagen 14.

¹⁷ MINISTERIO NACIONAL DE VÍAS. NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS. Sección 100 Suelos. Bogotá: Instituto Nacional de Vías, 2012. E-161 p.

¹⁸ MINISTERIO NACIONAL DE VÍAS. NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS. Sección 100 Suelos. Bogotá: Instituto Nacional de Vías, 2012. E-150 p.

Tabla 5. Chequeo de equipo de ensayo de densidad y peso unitario en el terreno.

<i>EQUIPO - MATERIAL</i>	<i>PARÁMETRO</i>	<i>REQUERIMIENTO OBTENIDO</i>	<i>REQUERIMIENTO INVE - 161 e INVE - 150</i>	<i>CUMPLE/ NO CUMPLE</i>
Frasco	Capacidad	4 litros	Aproximadamente 4 litros	CUMPLE
Balanza	Capacidad	20 kg	20 kg	CUMPLE
	Sensibilidad	5g	Mínimo 5 g	CUMPLE
Cono	Diámetro de válvula	1/2"	1/2"	CUMPLE
	Material	Metálico	Metal suficientemente rígido	CUMPLE
Placa base	Material	Metálico	Metal	CUMPLE
	Característica	Orificio central	Orificio central con pestaña moldeada	CUMPLE
	Forma	Cuadrada	Redonda o cuadrada	CUMPLE
Arena	Característica	Sin un anterior uso y almacenada en un lugar seco, por lo tanto, poseía todas las características indicadas en el empaque, las cuales cumplieron con la normativa	Limpia, seca, tener densidad y gradación uniformes, no cementada, durable y que fluya libremente	CUMPLE
	Tamaño máximo	Pasante por tamiz No. 10	Menor a 2.0 mm	CUMPLE
Reactivo de Carburo de Calcio	Estado	Pulverizado	Finamente pulverizado	CUMPLE
	Almacenamiento	Recipiente de plástico sellado con rosca	Recipiente hermético	CUMPLE

<i>EQUIPO - MATERIAL</i>	<i>PARÁMETRO</i>	<i>REQUERIMIENTO OBTENIDO</i>	<i>REQUERIMIENTO INV E - 161 e INV E - 150</i>	<i>CUMPLE/ NO CUMPLE</i>
Probador de presión de Carburo de Calcio	Característica	Poseía un manómetro en uno de sus extremos	Con manómetro adaptado en su tapa	CUMPLE

Nota: se muestran los valores y observaciones obtenidas de los diferentes equipos utilizados para el ensayo de densidad y peso unitario en el terreno, situándose en la cuarta columna los requerimientos de la norma INV E-161 y 150. En la última columna se plasma el cumplimiento de estos parámetros, cabe resaltar que el equipo misceláneo utilizado no se encuentra adjunto en esta tabla, pero se encontró en óptimas condiciones para el ensayo.

Fuente: elaboración propia. Febrero, 2023.

Antes de partir a la toma del ensayo se chequearon los valores de la densidad de la arena y el valor de la constante del cono, los cuales fueron de $\rho=1.566\text{g/cm}^3$ y $C=1794\text{ g}$, una vez con estos datos el geotecnólogo y el pasante dirigieron a la obra a la toma de las densidades.

Al llegar a campo se inició observando los puntos estratégicos donde se desarrolló la toma de los datos, de tal forma que se obtuvo una muestra representativa del entorno existente.

Imagen 14. Equipo misceláneo



Nota: Se observa el equipo misceláneo utilizado para los ensayos de densidad y peso unitario en el terreno, y el ensayo de determinación de humedad de suelos con Speedy. Este equipo se conformó por una pica pequeña, cinceles, recipientes, una brocha, tamices, una cuchara y un trapo.

Fuente: Elaboración propia. [fotografía]. Febrero, 2023

Para chequear el volumen del hueco se necesitó el tamaño máximo de las partículas del material, pero, dado que el cliente no había suministrado esta información, se buscaron las especificaciones generales de construcción para subbases granulares¹⁹ y la profundidad de la excavación se realizó de aproximadamente 12 cm basado en la experiencia del geotecnólogo.

Tabla 5. Franjas granulométricas del material de subbase granular.

TIPO DE GRADACIÓN	TAMIZ (mm / U.S. Standard)								
	50.0 2"	37.5 1 ½"	25.0 1"	12.5 ½"	9.5 ¾"	4.75 No. 4	2.00 No. 10	0.425 No. 40	0.075 No. 200
	% PASA								
SBG-50	100	70-95	60-90	45-75	40-70	25-55	15-40	6-25	2-15
SBG-38	-	100	75-95	55-85	45-75	30-60	20-45	8-30	2-15
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)	0%	7%			6%			3%	

Nota: se exponen los valores de gradación para una subbase granular tipo SBG-38, que fue la identificada en la obra por la importancia de la vía, con la cual se analizó y se obtuvo el tamaño máximo de las partículas.

Fuente: INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS Capítulo 3 – Afirmados subbases y bases. Bogotá: Especificaciones generales de construcción de carreteras, 2012. Artículo 320. [tabla 320-3]

Luego, se identificó que el tamaño máximo de las partículas debía encontrarse entre ½" y 1" según lo analizado con la gradación de la Imagen 14.

Tabla 5. Con esta información se identificó en la Tabla 6 que el volumen mínimo para el hueco era de 2125 a 1415 cm³ y al compararlo con los volúmenes del ensayo los cuales son de 1996.6, 2266.7 y 1680.4 cm³ se pudo apreciar que cumplió con lo especificado, obteniéndose una muestra representativa.

¹⁹ MINISTERIO NACIONAL DE VÍAS. NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS. Capítulo 3 – Afirmados subbases y bases. Bogotá: Especificaciones generales de construcción de carreteras, 2012. Artículo 320.

Tabla 6. Volúmenes mínimos del hueco de ensayo de acuerdo con el tamaño máximo de las partículas del suelo a ensayar.

TAMAÑO MÁXIMO DE PARTÍCULAS		VOLUMEN MÍNIMO DEL HUECO DE ENSAYO	
mm	pulgadas	cm ³	pies ³
12.7	½	1415	0.05
25.4	1	2125	0.075
38.0	1 ½	2830	0.1

Nota: se muestran los valores de los volúmenes mínimos del hueco para diferentes tamaños máximos de partículas.

Fuente: MINISTERIO NACIONAL DE VÍAS. NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS. Sección 100 suelos. Bogotá: Instituto Nacional de Vías, 2012. E-161 p. [tabla 161-1]

Para la excavación del hueco, se comprobó que el geotecnólogo cumpliera con lo indicado en la norma como se observa en la Imagen 15; una vez terminado este procedimiento se procedió a pesar el frasco con el cono y la arena inicial.

Imagen 15. Elaboración de hueco para ensayo de densidad



Nota: en la parte izquierda de la imagen se muestra al geotecnólogo dando golpes con un martillo y un cincel a la capa de subbase a ensayar y en la parte derecha se evidencia la extracción del material del hueco usando una cuchara.

Fuente: elaboración propia. [fotografía]. Febrero, 2023

Durante el llenado del hueco se verificó que la arena llene sin que exista vibración, es decir que descendiera libremente por gravedad capturándose en la Imagen 16.

Imagen 16. Llenado del hueco con arena en ensayo de densidad



Nota: se captura el cono ubicado perfectamente encima de agujero de la placa base, el cual está con la válvula abierta para el llenado del hueco con la arena de densidad conocida.

Fuente: elaboración propia. [fotografía]. Febrero, 2023

Con la información anterior se obtuvo el volumen del hueco, el cual fue calculado correctamente. Como en este caso, el material ensayado era granular se procedió a realizar las correcciones indicadas en la norma INV E- 143²⁰.

El contenido de humedad del suelo fue tomado al material pasante por el tamiz #4, el cual se verificaron las cantidades de reactivo y material (6 g). Además, se comprobó que el material permaneciera en contacto con el reactivo después de cerrado el instrumento.

Se inspeccionó que las lecturas de humedad se tomaron con el instrumento ubicado de forma horizontal y se admitió el ensayo al visualizar que la muestra se encontraba totalmente pulverizada.

Para la corrección de los datos, se enviaron las humedades al laboratorio y se corrigieron con la curva de calibración del instrumento. La humedad del material retenido en el tamiz 3/4" se tomó igual a 2% a criterio del geotecnólogo, puesto que, se debía entregar rápidamente el ensayo y este parámetro no contribuía considerablemente, ya que el porcentaje de humedad para estos suelos granulares

²⁰ MINISTERIO NACIONAL DE VÍAS. NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS. Sección 100 Suelos. Bogotá: Instituto Nacional de Vías, 2012. E-143 p.

con sobre tamaños es bajo, correspondiendo un rango entre 2 y 3%. Cabe resaltar que la forma correcta de conocer esta humedad es llevando una muestra al horno²¹.

Una vez se obtuvieron los porcentajes del contenido de agua del material removido del hueco, se procedió a aplicar los cálculos para determinar la compactación de la subbase granular.

En la Imagen 17 se muestran los resultados del ensayo de densidad y peso unitario por el método del cono y arena, entregado por el laboratorio Geofísica S.A.S. al cliente. Para la verificación del cumplimiento de las normas mencionadas anteriormente, se realizó un formato Excel denominado "[DENSIDAD CONO Y ARENA.xlsx](#)" en el que se evidencia la normativa utilizada en cada cálculo y su respectivo resultado.

²¹ MINISTERIO NACIONAL DE VÍAS. NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS. Sección 100 Suelos. Bogotá: Instituto Nacional de Vías, 2012. E-122 p.

Imagen 17. Resultados de ensayo de densidad y peso unitario por el método del cono y arena

		DENSIDAD Y PESO UNITARIO DEL SUELO EN EL TERRENO POR EL MÉTODO DEL CONO Y ARENA INV E - 161 Y 143 - 13		FGSAR-03 Versión 06	
CLIENTE: Consorcio Sannazaro		ORDEN SERVICIO No.: 167			
OBRA: Realizar las obras de construcción, rehabilitación mejoramiento vial del tramo 5B "calzada secundaria este de la carrera 9 entre calles 11N y 27N" incluida la construcción des espacio publico, para el SETP de la ciudad de Popayán					
LOCALIZACIÓN OBRA: Carrera 9 desde la calle 11N (carantanta) hasta la calle 27N (La Floresta)					
CONTRATISTA: Consorcio Sannazaro					
INTERVENTOR: Consorcio INCOL-ALEP-Zambrano					
FECHA DE ENSAYO: 07-feb-2023		ESPECIFICACIÓN SUMINISTRADA EN OBRA: 95%			
ENCARGADO EN OBRA: Ingeniero Alexis Caicedo					
RESULTADOS DE LABORATORIO					
ENSAYO No.	1		2		3
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	Sub Base Granular		Sub Base granular		Sub Base granular
FUENTE DEL MATERIAL	Conexpe		Conexpe		Conexpe
ELEMENTO O LUGAR DE TOMA	Via		Via		Via
LOCALIZACIÓN Y/O ABCISA DE ENSAYO	Carrera 9 con calle 19N		Carrera 9 con calle 19N		Carrera 9 con calle 19N
LADO	Izquierdo		Eje		Derecho
Peso Frasco + arena Inicial	g	7054	6996	6917	
Peso frasco + arena restante	g	2134	1653	2492	
Peso arena total usada	g	4920	5343	4425	
Constante del cono	g	1794	1794	1794	
Peso arena en el hueco	g	3126	3549	2631	
Densidad de la arena	g/cm ³	1,566	1,566	1,566	
Volumen del hueco	cm ³	1996,6	2266,7	1680,4	
Masa material extraído húmedo	Pasa 3/4", MMF	g	3757	3784	3362
	Retenido 3/4", MMC	g	906	1559	703
Recipiente No.			*	*	*
Masa recipiente + muestra húmeda	g	*	*	*	*
Masa recipiente + muestra seca	g	*	*	*	*
Masa recipiente	g	*	*	*	*
Humedad material pasa 3/4", WF	%	4,0	7,4	7,6	
Humedad material retenido 3/4", Wc	%	2,0	2,0	2,0	
Masa material extraído seco	Pasa 3/4", MDF	g	3612,5	3523,3	3124,5
	Retenido 3/4", MDC	g	888,2	1528,4	689,2
Porcentaje en peso seco de fracciones	Pasa 3/4", PFE	%	80,3	69,7	81,9
	Retenido 3/4", PFG	%	19,7	30,3	18,1
Humedad Corregida, Cw	%	3,6	5,8	6,6	
Densidad húmeda del Terreno	g/cm ³	2,336	2,357	2,419	
Densidad seca del Terreno	g/cm ³	2,254	2,229	2,270	
Densidad máxima de laboratorio	Normal, yf	g/cm ³	2,180	2,180	2,180
	Corregida, Cyd	g/cm ³	2,266	2,315	2,259
Humedad óptima laboratorio	%	8,5%	8,5%	8,5%	
COMPACTACIÓN		99	96	100	
OBSERVACIONES: Datos suministrados por personal del cliente. Ensayo realizado por personal de Geofísica SAS. Densidades calculadas con proctor realizado el 14 de marzo del 2022, suministrado por el cliente. Densidades calculadas con gravedad teórica, por solicitud del cliente.					
ESPECIFICACIÓN					
DESCRIPCIÓN DE ESTRUCTURA		ESPECIF. APLICABLE		REQUISITO	
SUB BASE GRANULAR		ART INV 320 - 13		≥ 95 % del PM	
REVISÓ  KAREN SOFIA MOSQUERA GOMEZ GEOTECNOLOGO M.P. # 19516030791 CAU		APROBO  FERNANDO MUÑOZ FUENTES GERENTE TÉCNICO M. P.# 19516001294 CAU			
<small>LOS RESULTADOS PRESENTADOS CORRESPONDEN ÚNICAMENTE A LOS MATERIALES ENCONTRADOS Y SOMETIDOS A ENSAYO ESTA PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO</small>					

Nota: se muestran los resultados del ensayo de densidad y peso unitario en el terreno por el método del cono y arena con sus respectivas correcciones por sobre tamaños. La información se dividió en tres etapas, las cuales fueron: Los datos del cliente y obra, los resultados del laboratorio y las firmas de la persona que revisó y aprobó el ensayo.

Fuente: tomado del documento de la empresa Geofísica S.A.S, [Captura], 2023.

Cuando se compararon los valores suministrados por el laboratorio y los calculados en el Excel, se pudo identificar que coincidían perfectamente, por ende, se corroboró que el laboratorio cumplió con los cálculos expuestos en la norma.

De acuerdo con los resultados obtenidos del ensayo, se pudo observar que la subbase cumple con $GC \geq 95\%$,²² ya que todas las muestras presentaron un valor superior a este y por tanto la interventoría debió aceptar la compactación de esta sub base para seguir con la siguiente capa.

7.4. VISITA DE CAMPO OBRA CONSTRUCCIÓN DE LA CUBIERTA DEL POLIDEPORTIVO INSTITUCIÓN MARÍA OCCIDENTE SEDE LOMAS DE GRANADA

Según lo indicado en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente un estudio preliminar es “el conjunto de actividades necesarias para aproximarse a las características geotécnicas de un terreno, con el fin de establecer las condiciones que limitan su aprovechamiento, los problemas potenciales que puedan presentarse, los criterios geotécnicos y parámetros generales para la elaboración de un proyecto”²³.

Teniendo en cuenta la importancia de realizar estos estudios preliminares en las obras, la empresa DYE ingenierías S.A.S contrató al laboratorio Geofísica S.A.S. para la elaboración de un estudio de suelos preliminar a percusión en la construcción de la cubierta del polideportivo de la Institución Educativa Metropolitana Maria Occidente sede Lomas de Granada, ubicada en el municipio de Popayán en el barrio Lomas de Granada.

Para ello, el cliente requirió dos sondeos a percusión hasta una profundidad de 6 metros y otros dos hasta 3 metros, también solicitó extraer material para la realización de un ensayo de consolidación y uno de corte directo. Se estudió esta

²² MINISTERIO NACIONAL DE VÍAS. NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS. Capítulo 3 – Afirmanos subbases y bases. Bogotá: Especificaciones generales de construcción de carreteras, 2012. Artículo 320. Ítem 320.5.2.2.2 Compactación

²³ ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. NSR-10: REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE. Capítulo H.2 — Definiciones. Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010. H.2.1.1.

petición con lo exigido en la norma NSR-10 en el título H: Estudios geotécnicos, para una obra categorizada como unidad de construcción baja tal como lo es una cubierta evidenciándose en la Tabla 7, se requerían mínimo de 3 sondeos a una profundidad mínima de 6 m que se muestra en la Tabla 8, por ende, se cumplió con el número mínimo de sondeos, pero no con la profundidad de sondeos.

Aunque, cabe resaltar que la norma no obliga la presentación de este estudio preliminar, se recomienda que se realice de forma correcta para evitar problemas futuros con asentamientos.

Tabla 7. Clasificación de las unidades de construcción por categoría

Categoría de la unidad de construcción	Según los niveles de construcción	Según las cargas máximas de servicio en columnas (kN)
Baja	Hasta 3 niveles	Menores de 800 kN
Media	Entre 4 y 10 niveles	Entre 801 y 4,000 kN
Alta	Entre 11 y 20 niveles	Entre 4,001 y 8,000 kN
Especial	Mayor de 20 niveles	Mayores de 8,000 kN

Nota: se identifican cuatro categorías de unidad de construcción, basadas en los niveles y las cargas máximas de servicio en columnas medidas en KN.

Fuente: NSR-10 — H.3– Caracterización geotécnica del subsuelo. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, [Tabla H.3.1-1], 2010.

Tabla 8. Número mínimo de sondeos y profundidad por cada unidad de construcción

Categoría Baja	Categoría Media	Categoría Alta	Categoría Especial
Profundidad Mínima de sondeos: 6 m. Número mínimo de sondeos: 3	Profundidad Mínima de sondeos: 15 m. Número mínimo de sondeos: 4	Profundidad Mínima de sondeos: 25 m. Número mínimo de sondeos: 4	Profundidad Mínima de sondeos: 30 m. Número mínimo de sondeos: 5

Nota: se plasman los valores mínimos para la profundidad y número de sondeos según la categoría de la unidad de construcción.

Fuente: NSR-10 — H.3– Caracterización geotécnica del subsuelo. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, [Tabla H.3.2-1], 2010.

Una vez con esta información, el personal se dirigió al lugar de la toma de las muestras. Al llegar a la institución la arquitecta y el geotecnólogo, plantearon los

puntos de toma de muestra de tal forma que obtuvieron los datos representativos del lugar, como se muestra en la Imagen 18.

Imagen 18. *Puntos de sondeo de ensayo a percusión.*



Nota: se presenta una captura aérea del área donde se realizó el estudio de suelos, identificando con puntos y números de color rojo la ubicación de los cuatro lugares donde se realizaron los sondeos a percusión.

Fuente: tomado de Google Earth [Captura]. Febrero, 2023

Dado que el polideportivo poseía una losa de concreto rígido, el primer paso a ejecutar fue extraer el diámetro del orificio y se adjuntó al registro de campo. Igualmente, se realizó el mismo procedimiento para el material de relleno de residuos de construcción que se encontró en algunas de las capas del estrato superficial, dado que se encontraba en estado suelto, no triturado. Además, cabe notar que debido a su naturaleza de “relleno de residuos de construcción”, no es mecánicamente apto para portar cargas, por lo tanto, se realizó la prueba al estrato que poseía soporte.

El equipo de perforación utilizado estaba compuesto por barras de perforación, acoples, un cabezal de golpeo, una guía y un martillo de 140 lbf.

Para la recolección de muestras en suelos blandos como arcillas se utilizaron los tubos de pared delgada (tubos shelby), mientras que para suelos arenosos o gravas se utilizaron los tubos partidos o también denominados media caña. Es preciso

señalar que con los primeros tubos se obtuvieron muestras inalteradas y con los segundos muestras alteradas.

La recolección con tubos de pared delgada se realizó de la siguiente forma: Primero se avanzó con la perforación del suelo hasta la profundidad donde se deseaba obtener la muestra, seguidamente se acopló el tubo shelby en el extremo de los tubos de avance y se realizó el posicionamiento de todo el equipo de perforación para el hincado del tubo de forma vertical en el orificio. Para este estudio los golpes se realizaron de forma manual por el personal de campo como se muestra en la Imagen 19, sin embargo, la norma también establece que se puede utilizar un sistema de poleas como se muestra en la Imagen 20 haciendo girar un malacate.

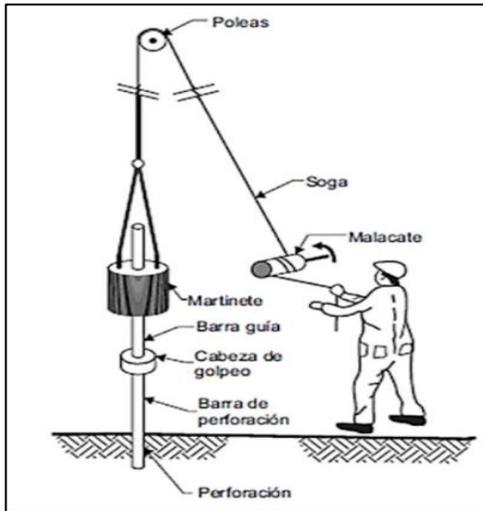
Imagen 19. *Equipo de perforación por percusión utilizado por la empresa Geofísica*



Nota: *Se muestra la caída semiautomática del martillo para la perforación del suelo, evidenciándose la elevación del martillo sobre el tubo guía. Además, se evidencian los tubos de perforación, la cabeza de golpeo y el personal que ejecuta la extracción.*

Fuente: *elaboración propia*. [fotografía]. Marzo, 2023

Imagen 20. Equipo de perforación por percusión con malacate



Nota: Se muestra el equipo de perforación utilizando un malacate, en el cual se evidencia la adición de una polea, una soga y un malacate para facilitar el golpeo del martillo al hincar los tubos en el suelo.

Fuente: tomado de imágenes de Google - Equipos para Sondaje con Ensayo de Penetración Estándar o Ensayo SPT, 2023

Tan pronto la muestra alcanzó la profundidad deseada se registró la longitud de avance del tubo, se procedió con la extracción del muestreador de forma cuidadosa. Seguidamente, se eliminaron los residuos del extremo del tubo e inmediatamente se sellaron, introduciendo sus extremos en parafina para evitar la pérdida de humedad de las muestras.

Se ejecutó la rotulación de la muestra con una etiqueta, la cual fue anexada a la muestra con papel vinipel transparente, protegiéndola de condiciones ambientales no favorables.

Para la recolección con tubos media caña se midió la resistencia del suelo por medio del conteo de golpes. Por lo tanto, una vez se realizó la perforación se procedió a acoplar el tubo muestreador en el extremo de la tubería de avance o perforación y se introdujo hasta hacer contacto con el fondo; seguidamente, se colocó la cabeza de golpeo, el martillo, la guía y se marcaron los tubos de perforación en tres incrementos de 0.15 m.

Cabe resaltar que durante la práctica todas las muestras presentaron un avance normal, es decir, que cuando aplicaron los golpes descendía el tubo muestreador sin presentar anomalías como hincarse con el propio peso del equipo de perforación, sin aplicar golpes o presentar rechazo por estratos muy duros. Por lo tanto, una vez tomado registro del número de golpes se procedió a desmontar el martillo y sacar la tubería.

Posteriormente, se abrió el muestreador como se observa en la Imagen 21 y se registró la longitud del espécimen, la descripción del suelo se realizó según la norma INV E-102 y se tomó una porción representativa que se llevó al laboratorio. Estas muestras se colocaron en bolsas plásticas selladas, para conservar la humedad y se etiquetaron para su reconocimiento.

Imagen 21. Muestra con tubo media caña



Nota: Se captura una muestra extraída del suelo con un muestreador media caña, en la que se presenta la etiqueta con la identificación de la muestra, compuesta por: la fecha, la orden de servicio, el cliente, el nombre de la obra, la localización, la profundidad, el número del sondeo y la muestra.

Fuente: *elaboración propia*. [fotografía]. Marzo, 2023

La descripción de las muestras recolectadas con tubos shelby se dejaron para su posterior realización en el laboratorio, debido a que se encontraban selladas e inalteradas.

Cuando se inició el procedimiento para la descripción de suelos, se percibió que todas las muestras se clasificaron como suelos finos, ya que, no presentaba una cantidad considerable de partículas con tamaño mayor a la del tamiz #200,

seguidamente se chequeó que siguiera con la caracterización para suelos finos descritos en esta norma.

Para la identificación del color de las muestras de suelo, se observó la tonalidad predominante y se tuvo en cuenta la presencia de trazas o franjas con otras características. Además, los geotecnólogos tenían conocimiento de la tabla de colores Munsell para definir el color correctamente, como se evidencia en la Imagen 22.

Imagen 22. Tabla de colores de Munsell



Nota: Se evidencia la comparación de coloración de una muestra de suelo con la tabla de colores de Munsell, para la determinación del color exacto del suelo.

Fuente: tomado de imágenes de Google - Libro de color de suelos Munsell - Maser, 2023

Seguidamente, el geotecnólogo determinó la condición de humedad de la muestra observando el suelo, y tomando una pequeña fracción en su mano verificó la presencia de agua, clasificándose como seco, húmedo y saturado según fuera el caso, siguiendo con los lineamientos presentados por la norma en la Tabla 9.

Tabla 9. Condiciones de humedad

DESCRIPCIÓN	CRITERIOS
Seca:	Ausencia de humedad, polvorosa, seca al tacto
Húmeda:	Húmeda pero sin agua visible
Saturada:	Agua libre visible; generalmente bajo el nivel freático

Nota: Se muestran los criterios para describir un suelo según tres condiciones de humedad.

Fuente: MINISTERIO NACIONAL DE VÍAS. NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS. Sección 100 suelos. Bogotá: Instituto Nacional de Vías, 2012. E-102 p. [tabla 102-3]

El geotecnólogo ya con la muestra penetró con su dedo pulgar, verificando la consistencia de este al compararlo con los criterios de la Tabla 10, de esta manera encontró que las muestras recolectadas se encontraban entre consistencia muy blanda, blanda y firme.

Tabla 10. Criterios para describir la consistencia

DESCRIPCIÓN	CRITERIOS
Muy blanda:	El dedo pulgar penetra en el suelo más de 25 mm
Blanda:	El dedo pulgar penetra aproximadamente 25 mm
Firme:	El dedo pulgar deja una marca de unos 6 mm
Dura:	El dedo pulgar no deja marca, pero sí lo penetra la uña
Muy dura:	La uña del pulgar no hace mella en el suelo

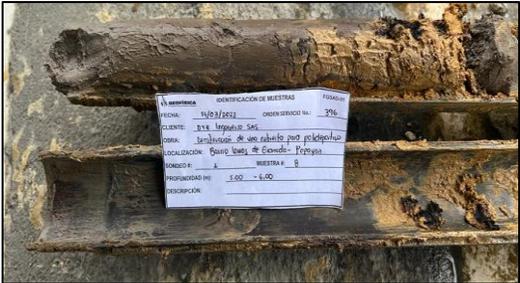
Nota: Se observan los criterios para describir un suelo según las cinco condiciones de consistencia al penetrar con la uña o el dedo pulgar.

Fuente: MINISTERIO NACIONAL DE VÍAS. NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS. Sección 100 suelos. Bogotá: Instituto Nacional de Vías, 2012. E-102 p. [tabla 102-5]

En la Tabla 11 se muestran unos ejemplos de los suelos recolectados a los cuales se les realizó su debida descripción.

Tabla 11. Descripción de muestras extraídas con tubos de pared delgada.

ID. MUEST	DESCRIPCIÓN	IMAGEN DEL LA MUESTRA
P1 – M4 (1,50-2,50m)	Arcilla limosa color gris claro de consistencia muy blanda en estado húmedo, con presencia de roca meteorizada.	<p>Imagen 23. Perforación 1- Muestra 4, Tomada con muestreador media caña</p>  <p>Fuente: elaboración propia. [fotografía]. Marzo, 2023</p>

ID. MUEST	DESCRIPCIÓN	IMAGEN DEL LA MUESTRA
P1 – M6 (3,00-4,00m)	Arcilla limosa color gris claro de consistencia blanda de estado húmedo a saturado con presencia de roca meteorizada.	<p>Imagen 24. Perforación 1- Muestra 6, Tomada con muestreador media caña.</p>  <p>Fuente: elaboración propia. [fotografía]. Marzo, 2023</p>
P1 – M7 (4,00-5,00m)	Arcilla limosa color gris de consistencia blanda de estado húmedo a saturado con presencia de roca meteorizada.	<p>Imagen 25. Perforación 1- Muestra 7, Tomada con muestreador media caña</p>  <p>Fuente: elaboración propia. [fotografía]. Marzo, 2023</p>
P1 – M8 (5,00-6,00m)	Arcilla limosa color gris oscuro de consistencia blanda de estado saturado con presencia de roca meteorizada y franjas orgánicas color negro.	<p>Imagen 26. Perforación 1- Muestra 8, Tomada con muestreador media caña</p>  <p>Fuente: elaboración propia. [fotografía]. Marzo, 2023</p>

ID. MUEST	DESCRIPCIÓN	IMAGEN DEL LA MUESTRA
<p>P4 – M3</p> <p>(1,50- 2,50m)</p>	<p>Suelo fino arcillo limoso color gris claro con vetas café amarilloso de consistencia firme en estado húmedo.</p>	<p>Imagen 27. Perforación 4 - Muestra 3, Tomada con muestreador media caña</p>  <p>Fuente: elaboración propia. [fotografía]. Marzo, 2023</p>
<p>P4 – M5</p> <p>(3,00- 4,50m)</p>	<p>Suelo fino arcilloso color gris claro con vetas café amarillosa de consistencia blanda en estado húmedo a saturado con presencia de roca meteorizada.</p>	<p>Imagen 28. Perforación 4 - Muestra 5, Tomada con muestreador media caña</p>  <p>Fuente: elaboración propia. [fotografía]. Marzo, 2023</p>
<p>P4 – M6</p> <p>(4,50- 6,00m)</p>	<p>Suelo fino arcilloso color gris claro con vetas café amarilloso de consistencia blanda en estado húmedo a saturado con presencia de roca meteorizada y oxidaciones rojas.</p>	<p>Imagen 29. Perforación 4 - Muestra 6, Tomada con muestreador media caña</p>  <p>Fuente: elaboración propia. [fotografía]. Marzo, 2023</p>

Nota: se identifica la muestra con un número antecedido por las siglas: *P* correspondiente al número de perforación, *M* al número de muestra, y en paréntesis se situó la profundidad a la cual se extrajo la muestra. También se describe el suelo usando la norma INV E-102 y se pueden observar las imágenes capturadas en campo.

Fuente: elaboración propia. Marzo, 2023.

A continuación, se adjuntan la Tabla 12, Tabla 13, Tabla 14 y Tabla 15 con los registros o toma de datos de las cuatro perforaciones realizadas, para el estudio de suelo preliminar de la construcción de una cubierta en la Institución Educativa Metropolitana María Occidente sede Lomas de Granada.

Tabla 12. Registro de perforación 1 con profundidad de 6.00m

REGISTRO DE PERFORACIÓN EN CAMPO / TOMA DE DATOS										
FECHA INICIAL:		17/03/2023		FECHA FINAL:				ORDEN SERVICIO No. 396		
CLIENTE:		DYE Ingeniería SAS								
OBRA:		Construcción de una cubierta para polideportivo								
LOCALIZACIÓN OBRA:		Barrio Lomas de Granada - Popayán								
PERFORACIÓN No :		1		COORDENADAS Y/O ABCISAS:				NIVEL DE AGUA FREÁTICA		
								PROF. INICIAL : 3.40 FECHA: 17/03/2023		
								PROF. FINAL: FECHA:		
PROFUNDIDAD (m)		MUESTRA			GOLPES POR CADA 6 PULGADAS			PENETROMETRO	RECOBRO	DESCRIPCIÓN
DE	HASTA	No.	CAJA No.	TUBO TIPO	N1	N2	N3	(Kg/cm2)	(cm)	
0.00	0.08			Apique						Losa de concreto rígido
0.08	0.40	1		Apique						Suelo fino limo arenoso color café oliva claro de cementación moderada en estado húmedo.
0.40	1.00	2		Apique					50	Suelo fino areno limoso color amarillo cafésoso de cementación moderada en estado húmedo.
1.00	1.50	3		Shelby						
1.50	2.00	4		SPT	1	1	1			Arcilla limosa color gris claro de consistencia muy blanda en estado húmedo, con presencia de roca meteorizada.
2.50	2.50				1	1	1			
2.50	3.00	5		Shelby					50	
3.00	3.50	6		SPT	1	1	1			Arcilla limosa color gris claro de consistencia blanda de estado húmedo a saturado con presencia de roca meteorizada.
3.50	4.00				2	2	4			
4.00	4.50	7		SPT	2	2	2			Arcilla limosa color gris de consistencia blanda de estado húmedo a saturado con presencia de roca meteorizada.
4.50	5.00				4	1	2			
5.00	5.50	8		SPT	1	2	2			Arcilla limosa color gris oscuro de consistencia blanda de estado saturado con presencia de roca meteorizada y franjas orgánicas color negro.
5.50	6.00				3	4	7			

Nota: se encuentran enmarcadas dos secciones, en la primera, se sitúa la información suministrada por el cliente, el número de perforación, las coordenadas si se tienen y el nivel freático, de 3.40m para este caso.

En la segunda, se ubican los registros o datos de las muestras obtenidas, identificando la profundidad, el número de la muestra, el tipo de tubo muestreador, la descripción del suelo, el número de golpes y los centímetros de recobro.

Fuente: Tomado de formato de Geofísica S.A.S. Marzo, 2023.

Tabla 13. Registro de perforación 2 con profundidad de 3.00m

REGISTRO DE PERFORACIÓN EN CAMPO / TOMA DE DATOS												
FECHA INICIAL:		17/03/2023		FECHA FINAL:			_____		ORDEN SERVICIO No. 396			
CLIENTE:		DYE Ingeniería SAS										
OBRA:		Construcción de una cubierta para polideportivo							NIVEL DE AGUA FREÁTICA			
LOCALIZACIÓN OBRA:		Barrio Lomas de Granada - Popayán							PROF. INICIAL : _____ FECHA: _____			
PERFORACIÓN No :		2		COORDENADAS Y/O ABCISAS: _____							PROF. FINAL: _____ FECHA: _____	
MUESTRA				GOLPES POR CADA 6 PULGADAS			PENETROM ETRO	RECOBRO (cm)	DESCRIPCIÓN			
DE	HASTA	No.	CAJA No.	TUBO TIPO	N1	N2	N3			(Kg/cm2)		
0.00	0.10									Losa de concreto rígido		
0.10	0.90	1		Apique						Suelo fino limo arcilloso color café claro oliva de consistencia firme en estado húmedo.		
1.00	1.50	2		Shelby								
1.50	2.00	3		Avance					50			
2.00	2.50		Corte - Consolidación									
2.50	3.00	4		Shelby					50			

Nota: se encuentra la identificación de cuatro muestras de suelo hasta 3.00m de profundidad, en la última columna se identifican casillas vacías, puesto que, no se describieron las muestras inalteradas en campo.

Fuente: Tomado de formato de Geofísica S.A.S. Marzo, 2023.

Tabla 14. Registro de perforación 3 con profundidad de 3.00m

REGISTRO DE PERFORACIÓN EN CAMPO / TOMA DE DATOS										
FECHA INICIAL:		17/03/2023		FECHA FINAL:				ORDEN SERVICIO No. 396		
CLIENTE:		DYE Ingeniería SAS								
OBRA:		Construcción de una cubierta para polideportivo								
LOCALIZACIÓN OBRA:		Barrio Lomas de Granada - Popayán							NIVEL DE AGUA FREÁTICA	
PERFORACIÓN No :		3		COORDENADAS Y/O		ABSCISAS:		PROF. INICIAL : FECHA:		PROF. FINAL: FECHA:
MUESTRA				GOLPES POR CADA 6 PULGADAS			PENETROM ETRO (Kg/cm2)	RECOBRO (cm)	DESCRIPCIÓN	
PROFUNDIDAD (m)		No.	CAJA No.	TUBO TIPO	N1	N2				N3
DE	HASTA									
0.00	0.10								Losa de concreto rígido	
0.10	0.40								Relleno: Suelo fino color café mezclado con suelo café amarilloso en estado suelto y húmedo con presencia de agregado y fragmento de ladrillo.	
0.40	0.50								Losa de concreto rígido	
0.50	1.30	1		Apique					Suelo fino orgánico color negro muy oscuro en estado húmedo.	
2.50	1.80	2		Shelby						
2.50	2.00			Avance						
2.50	2.50	3		Corte - Consolidación				50		
2.50	3.00	4		Shelby				50		

Nota: se encuentran 7 estratos diferentes de suelos, evidenciando la recolección de 4 muestras, dado que las primeras se componen de relleno de demolición y losa de concreto. En la última columna se identifican casillas vacías, puesto que, no se describieron las muestras inalteradas en campo.

Fuente: Tomado de formato de Geofísica S.A.S. Marzo, 2023.

Tabla 15. Registro de perforación 4 con profundidad de 6.00m

REGISTRO DE PERFORACIÓN EN CAMPO / TOMA DE DATOS											
FECHA INICIAL:		17/03/2023		FECHA FINAL:				ORDEN SERVICIO No. 396			
CLIENTE:		DYE Ingeniería SAS						NIVEL DE AGUA FREÁTICA			
OBRA:		Construcción de una cubierta para polideportivo						PROF. INICIAL : FECHA: _____			
LOCALIZACIÓN OBRA:		Barrio Lomas de Granada - Popayán						PROF. FINAL: FECHA: _____			
PERFORACIÓN No :		4		COORDENADAS Y/O ABCISAS:							
MUESTRA				GOLPES POR CADA 6 PULGADAS			PENETROMETRO	RECOBRO	DESCRIPCIÓN		
PROFUNDIDAD (m)		No.	CAJA No.	TUBO TIPO	PULGADAS			(Kg/cm2)	(cm)		
DE	HASTA				N1	N2	N3				
0.00	0.10								Losas de concreto rígido		
0.10	0.40								Relleno: Suelo fino color café mezclado con suelo café amarilloso en estado suelto y húmedo con presencia de agregado.		
0.40	0.55								Losas de concreto rígido		
0.55	1.00	1		Apique					Suelo fino orgánico color negro en estado húmedo.		
1.00	1.50	2		Shelby				50			
1.50	2.00	3		SPT	1	2	3			Suelo fino arcillo limoso color gris claro con vetas café amarilloso de consistencia firme en estado húmedo.	
2.00	2.50				1	2	3				
2.50	3.00	4		Shelby				50			
3.00	3.50	5		SPT	1	1	1			Suelo fino arcilloso color gris claro con vetas café amarillosa de consistencia blanda en estado húmedo a saturado con presencia de roca meteorizada.	
3.50	4.00				1	1	1				
4.00	4.50				1	2	2				
4.50	5.00	6		SPT	2	1	2			Suelo fino arcilloso color gris claro con vetas café amarilloso de consistencia blanda en estado húmedo a saturado con presencia de roca meteorizada y oxidaciones rojas.	
5.00	5.50				2	2	3				
5.50	6.00				4	3	2				

Nota: se identifica que el suelo poseía características buenas de consistencia y presencia de roca, por lo tanto, el geotecnólogo para la mayoría de los estratos utilizó el ensayo de penetración estándar con muestreador media caña.

Fuente: Tomado de formato de Geofísica S.A.S. Marzo, 2023.

7.5. VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA ESPEFICACIÓN INV E – 151 PARA EL ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE SUELOS.

Los ensayos de consolidación unidimensional a los cuales el pasante tuvo asistencia en el laboratorio fueron los desarrollados por el método B, que consistió en tomar las lecturas de tiempo-deformación para todos los incrementos de carga según lo establecido por la norma INV E – 151.²⁴

Durante esta práctica, se pudo observar que la mayoría de los suelos se encontraban inalterados; es decir, que fueron extraídos de campo, en donde se procuró conservar sus propiedades de sitio, como lo son: la humedad y estructura; pero a su vez se evidenció un par de suelos con muestras alteradas o remoldeadas.

Para el incremento de carga la norma indica que el cliente es el encargado de especificar su magnitud y su secuencia, por tal motivo, la empresa Geofísica S.A.S. a partir de su conocimiento en el comportamiento de los suelos y su experiencia, desarrolló una clasificación interna de los suelos, para ello, dividió los suelos en tres grupos dependiendo su consistencia, los cuales son: Blanda-Muy blanda, Media-Firme, Muy firme-Dura; con esta información se chequeó en la Tabla 16 los escalones de carga y de este modo se conocieron los intervalos de carga o presión que se le deben aplicar al suelo.

Tabla 16. Incrementos de carga según la consistencia del suelo

CONSISTENCIA	INTERVALOS DE PRESIÓN (Kg/cm ²)					
BLANDA-MUY BLANDA	0,00 -0,50	0,50 -1,00	1,00 -2,00	2,00 -4,00	4,00 -8,00	8,00 -16,00
MEDIA-FIRME	0,00 -0,25	0,25 -0,50	0,50 -1,00	1,00 -200	2,00 -4,00	4,00 -8,00

²⁴ MINISTERIO NACIONAL DE VÍAS. NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS. Sección 100 Suelos. Bogotá: Instituto Nacional de Vías, 2012. E-151 p.

CONSISTENCIA	INTERVALOS DE PRESIÓN (Kg/cm ²)					
	MUY FIRME-DURA	0,00-0,125	0,125-0,25	0,25 -0,50	0,50 -1,00	1,00 -2,00

Nota: Se muestran los incrementos de carga aplicados en la empresa Geofísica S.A.S. para tres tipos de consistencias de los suelos. Cabe resaltar, que los incrementos se encuentran en unidades de Kg/cm² y llevan una secuencia.

Fuente: Tomada de datos Geofísica S.A.S. Marzo, 2023.

Observando la tabla anterior, se pudo apreciar que se cumplió con: “el esfuerzo axial aplicado en un intervalo es el doble del correspondiente al intervalo anterior”²⁵.

Para este ensayo, dos de los equipos poseían 3 brazos, es decir que en ellos se realizaron instantáneamente 3 ensayos, y el otro equipo de tipo tradicional en el que se realizó solo un ensayo como se evidencian en la Imagen 30.

Imagen 30. Equipo de consolidación unidimensional



Nota: Se observan los equipos de consolidación unidimensional de la empresa Geofísica S.A.S. Evidenciándose, en la parte izquierda el equipo tripe brazo y en la parte derecha el equipo tradicional de un solo brazo. En la imagen, también se identifican las pesas, los cronómetros, los deformímetros y las hojas de registros de datos.

Fuente: elaboración propia. [fotografía]. Marzo, 2023

²⁵ MINISTERIO NACIONAL DE VÍAS. NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS. Sección 100 Suelos. Bogotá: Instituto Nacional de Vías, 2012. E-151 p, Inciso 4.3

El pasante se aseguró que el equipo cumplió con las condiciones descritas en la mencionada norma, quedando en la Tabla 17 cada uno de los parámetros medidos o visualizados.

Tabla 17. Chequeo de equipo de ensayo de densidad y peso unitario en el terreno.

EQUIPO	PARÁMETRO	REQUERIMIENTO OBTENIDO	REQUERIMIENTO INV E - 151	CUMPLE/ NO CUMPLE
Anillo del consolidómetro tradicional	Diámetro	50.4 mm 61.8 mm	> 50 mm	CUMPLE
	Altura	20.5 mm 19.9 mm	> 12 mm	CUMPLE
Anillo del consolidómetro triple brazo	Relación Diámetro - Altura	2.5 3.1	≥ 2.5	CUMPLE
	Material	Metálico grueso, antioxidante	Rígido	CUMPLE
Piedras porosas	Material	Carburo de silicio	Carburo de silicio, óxido de aluminio o un material con rigidez similar	CUMPLE
	característica	Limpios, con partículas muy finas	Suficientemente finos	CUMPLE
	Diámetro disco inferior Diámetro disco superior	Semejante a la base 47.2 mm 59.0 mm	Igual a la base 0.3 mm menor al del anillo	CUMPLE
Deformímetros	Resolución	0.0001"	0.0001" o mayor	CUMPLE

<i>EQUIPO</i>	<i>PARÁMETRO</i>	<i>REQUERIMIENTO OBTENIDO</i>	<i>REQUERIMIENTO INV E - 151</i>	<i>CUMPLE/ NO CUMPLE</i>
	Característica	Calibrados con sellos de Concrelab vigentes	Calibrados	CUMPLE
Balanza	Precisión	0.01g	Con al menos cuatro dígitos significativos	CUMPLE
	Característica	Nivelada y calibrada. Con sellos de Concrelab vigentes	Calibrados	CUMPLE

Nota: Se adjuntan los valores y observaciones obtenidas de los diferentes equipos utilizados para el ensayo de consolidación unidimensional, situándose en la cuarta columna los requerimientos de la norma INV E-151.

Fuente: elaboración propia. Marzo, 2023.

Como los suelos a ensayar eran finos, es decir, pasantes por el tamiz No. 4, sus partículas poseían diámetros inferiores a 4,75 mm. Al decuplicar este valor, se comprobó que era mayor al diámetro de los anillos mostrados en la segunda fila de la Tabla 17, por lo tanto, cumplió con la normativa.

Para la preparación de la muestra, primero, se verificó que el recipiente de almacenamiento estuviera sellado y que no presente variación de su humedad natural. Seguidamente, se comprobó que el geotecnólogo al momento de montar la muestra en el anillo tuviera los respectivos cuidados para que no vibre o comprima el suelo y que cuando termine con el tallado, la muestra se ajuste dentro del anillo sin percibir vacíos como se capturó en la Imagen 31.

Imagen 31. Tallado de muestra para consolidación



Nota: en la parte izquierda se captura el tallado de una muestra en el anillo y en la parte derecha se ilustra el resultado final, evidenciándose el enrase perfecto entre el suelo y el anillo.

Fuente: Elaboración propia. [fotografía]. Marzo, 2023.

Los incrementos de carga propuestos en la norma son de 0.09, 0.25, 0.49, 1, 4, 9 minutos, etc. Sin embargo, la empresa adaptó incrementos menores dado que se pueden tomar intervalos de tiempo menores a los mostrados anteriormente para aumentar la precisión y obtener una mejor interpretación de los datos²⁶.

Para la toma de datos del ensayo, la empresa ha desarrollado el formato de la Imagen 32.

²⁶ MINISTERIO NACIONAL DE VÍAS. NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS. Sección 100 Suelos. Bogotá: Instituto Nacional de Vías, 2012. E-151-17 p, Nota 17

Imagen 32. Formato para toma de datos de ensayo de consolidación unidimensional

		CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS - TOMA DE DATOS INV E-151 - 13 / NTC - 1987				FGLD-09 Versión 09 Página 1 de 1	
CLIENTE:		ORDEN SERVICIO No.:					
OBRA:							
DESCRIPCIÓN MATERIAL:							
LOCALIZACIÓN DE LA MUESTRA:							
FECHA DE RECIBO:		FECHA DE ENSAYO:					
SONDEO N°:		MUESTRA N°:		PROFUNDIDAD: (m)			
<input type="checkbox"/> CONSOLIDÓMETRO AZUL		<input type="checkbox"/> CONSOLIDÓMETRO TRIPLE BRAZO				<input type="checkbox"/> I <input type="checkbox"/> II <input type="checkbox"/> III	
MASA ANILLO: g		MASA ANILLO+MUESTRA HUMEDA: g					
MASA ANILLO+MUESTRA SATURADA: g		MASA ANILLO+MUESTRA SECA: g					
ESCALONES DE CARGA							
INTERVALO DE PRESIÓN (Kg/cm ²), Marque con X los escalones aplicados	0,00-0,50	0,50-1,00	1,00-2,00	2,00-4,00	4,00-8,00	8,00-16,00	
	0,00-0,25	0,25-0,50	0,50-1,00	1,00-2,00	2,00-4,00	4,00-8,00	
	0,00-0,125	0,125-0,25	0,25-0,50	0,50-1,00	1,00-2,00	2,00-4,00	
TIEMPO hh:mm:ss	00:00:00	00:00:15	00:00:30	00:00:45	00:01:00	00:01:15	00:01:30
	00:02:00	00:02:15	00:02:30	00:02:45	00:03:00	00:03:15	00:03:30
	00:03:45	00:04:00	00:04:15	00:04:30	00:04:45	00:05:00	00:05:15
	00:05:30	00:05:45	00:06:00	00:06:15	00:06:30	00:06:45	00:07:00
	00:07:15	00:07:30	00:07:45	00:08:00	00:08:15	00:08:30	00:08:45
	00:09:00	00:09:15	00:09:30	00:09:45	00:10:00	00:10:15	00:10:30
	00:10:45	00:11:00	00:11:15	00:11:30	00:11:45	00:12:00	00:12:15
	00:12:30	00:12:45	00:13:00	00:13:15	00:13:30	00:13:45	00:14:00
	00:14:15	00:14:30	00:14:45	00:15:00	00:15:15	00:15:30	00:15:45
	00:16:00	00:16:15	00:16:30	00:16:45	00:17:00	00:17:15	00:17:30
	00:17:45	00:18:00	00:18:15	00:18:30	00:18:45	00:19:00	00:19:15
	00:19:30	00:19:45	00:20:00	00:20:15	00:20:30	00:20:45	00:21:00
	00:21:15	00:21:30	00:21:45	00:22:00	00:22:15	00:22:30	00:22:45
	00:23:00	00:23:15	00:23:30	00:23:45	00:24:00	00:24:15	00:24:30
	00:24:45	00:25:00	00:25:15	00:25:30	00:25:45	00:26:00	00:26:15
	00:26:30	00:26:45	00:27:00	00:27:15	00:27:30	00:27:45	00:28:00
	00:28:15	00:28:30	00:28:45	00:29:00	00:29:15	00:29:30	00:29:45
	00:30:00	00:30:15	00:30:30	00:30:45	00:31:00	00:31:15	00:31:30
	00:31:45	00:32:00	00:32:15	00:32:30	00:32:45	00:33:00	00:33:15
	00:33:30	00:33:45	00:34:00	00:34:15	00:34:30	00:34:45	00:35:00
	00:35:15	00:35:30	00:35:45	00:36:00	00:36:15	00:36:30	00:36:45
	00:37:00	00:37:15	00:37:30	00:37:45	00:38:00	00:38:15	00:38:30
	00:38:45	00:39:00	00:39:15	00:39:30	00:39:45	00:40:00	00:40:15
	00:40:30	00:40:45	00:41:00	00:41:15	00:41:30	00:41:45	00:42:00
	00:42:15	00:42:30	00:42:45	00:43:00	00:43:15	00:43:30	00:43:45
	00:44:00	00:44:15	00:44:30	00:44:45	00:45:00	00:45:15	00:45:30
	00:45:45	00:46:00	00:46:15	00:46:30	00:46:45	00:47:00	00:47:15
	00:47:30	00:47:45	00:48:00	00:48:15	00:48:30	00:48:45	00:49:00
	00:49:15	00:49:30	00:49:45	00:50:00	00:50:15	00:50:30	00:50:45
	00:51:00	00:51:15	00:51:30	00:51:45	00:52:00	00:52:15	00:52:30
	00:52:45	00:53:00	00:53:15	00:53:30	00:53:45	00:54:00	00:54:15
	00:54:30	00:54:45	00:55:00	00:55:15	00:55:30	00:55:45	00:56:00
	00:56:15	00:56:30	00:56:45	00:57:00	00:57:15	00:57:30	00:57:45
	00:58:00	00:58:15	00:58:30	00:58:45	00:59:00	00:59:15	00:59:30
	00:59:45	00:59:59					
DESCARGA							
	INTERVALO DE PRESIÓN (Kg/cm ²)			LECTURAS DIAL DE DEFORMACIÓN (0,0001 pulg)			
OBSERVACIONES: REALIZAR LAS LECTURAS EN PULGADAS (in)							
REALIZÓ		COORD. LABORATORIO			DIGITÓ		

Nota: se evidencian cinco secciones para el control de los datos del ensayo de consolidación. En la primera sección se localizan los datos del cliente, en la sección 2, se referencian las muestras, en la sección 3, se indica el tipo de consolidómetro utilizado, las masas de los anillos y la muestra con sus diferentes humedades, en la sección 4, se registran las lecturas de carga y descarga. Finalmente, en la sección 5, se sitúan las firmas de quienes realizaron, coordinaron y digitaron el ensayo.

Fuente: tomado del documento de la empresa Geofísica S.A.S, [Captura], 2023.

7.6. VERIFICACIÓN METROLÓGICA DE EQUIPOS Y MATERIALES DE LABORATORIO

Con el propósito de verificar que algunos equipos y materiales del laboratorio Geofísica S.A.S. estuvieran calibrados y en óptimas condiciones, se realizó la revisión metrológica. A continuación, se describen algunos de los equipos:

7.6.1. MÁQUINA CENTRÍFUGA

La máquina centrífuga es un instrumento de laboratorio que ha sido diseñado para utilizar la fuerza centrífuga, que se genera en los movimientos de rotación, con el fin de separar los elementos constituyentes de una mezcla²⁷. En la mecánica de suelos es utilizada para “simular de forma artificial, fuerzas de gravedad nuevas y mayores a la terrestre. De esta manera, se consigue acelerar los procesos geotécnicos en el tiempo, tales como: consolidación, deformaciones, roturas, asientos, etc”²⁸.

Imagen 33. Máquina centrífuga



Nota: Se observa en la parte inferior de la máquina el sello de calibración otorgado por el laboratorio Concrelab.

Fuente: elaboración propia. [fotografía]. Marzo, 2023

En la revisión del equipo de la Imagen 33 se inspeccionó que la máquina se encontraba limpia, sobre una superficie plana y posee su respectivo sello de calibración, expedido el 26 de diciembre del 2022 por el laboratorio de metrología “Concrelab”. Conjuntamente, se solicitó el certificado que se muestra en la Imagen 34, donde se corroboró que el equipo se encontraba en óptimas condiciones.

²⁷ Organización Panamericana de la Salud. Área de tecnología y prestación de servicios de salud. Unidad de medicamentos esenciales, vacunas y tecnologías en salud. Manual de mantenimiento para equipo de laboratorio. Washington, D.C. 2005

²⁸ JIMÉNEZ GARCÍA, Eugenio y MELENTIJEVIC, Svetlana. Aplicación de ensayos de centrífuga en distintas técnicas de mejora del terreno. *En: Ingeniería civil*. 2015. no. 180, p. 19-32. ISSN 0213-8468.

Imagen 34. Certificado de calibración de máquina centrífuga

Concrelab MEDICIÓN CONFIABLE		<table border="1"> <tr><td>NÚMERO:</td><td>1486 L</td></tr> <tr><td>Number</td><td></td></tr> <tr><td>PÁGINAS:</td><td>1 de 2</td></tr> <tr><td>Pages</td><td></td></tr> <tr><td>FECHA DE EXPEDICIÓN:</td><td>2022-12-26</td></tr> <tr><td>Date of Issue</td><td></td></tr> </table>	NÚMERO:	1486 L	Number		PÁGINAS:	1 de 2	Pages		FECHA DE EXPEDICIÓN:	2022-12-26	Date of Issue																			
NÚMERO:	1486 L																															
Number																																
PÁGINAS:	1 de 2																															
Pages																																
FECHA DE EXPEDICIÓN:	2022-12-26																															
Date of Issue																																
INSTRUMENTO: MÁQUINA CENRIFUGA FABRICANTE: ZHEJIANG TUNGONG INSTRUMENT Co., Ltd. MODELO: STCT-4A NÚMERO DE SERIE: 220680 CÓDIGO: CEN 677 SOLICITANTE: GEOFISICA S.A.S. DIRECCIÓN, CIUDAD: CALLE 6 No. 11 - 35 / POPAYÁN - CAUCA FECHA DE CALIBRACIÓN: 2022-12-21 SITIO DE CALIBRACIÓN: PATIO 3 NÚMERO DE PÁGINAS DEL CERTIFICADO INCLUYENDO ANEXOS: DOS (2)		<table border="1"> <tr><td>NÚMERO:</td><td>1486 L</td></tr> <tr><td>Number</td><td></td></tr> <tr><td>PÁGINAS:</td><td>2 de 2</td></tr> <tr><td>Pages</td><td></td></tr> <tr><td>FECHA DE EXPEDICIÓN:</td><td>2022-12-26</td></tr> <tr><td>Date of Issue</td><td></td></tr> </table>	NÚMERO:	1486 L	Number		PÁGINAS:	2 de 2	Pages		FECHA DE EXPEDICIÓN:	2022-12-26	Date of Issue																			
NÚMERO:	1486 L																															
Number																																
PÁGINAS:	2 de 2																															
Pages																																
FECHA DE EXPEDICIÓN:	2022-12-26																															
Date of Issue																																
<p>Los resultados contenidos en el presente certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos calibrados.</p> <p>El presente certificado no puede ser reproducido total o parcialmente sin la aprobación escrita por parte de CONCRELAB S.A.S.</p> <p>El usuario es responsable de la nueva calibración de sus instrumentos a intervalos apropiados.</p>		<table border="1"> <tr><td>METODO DE MEDICIÓN:</td><td>Comparación según especificación</td></tr> <tr><td>Method of measurement</td><td></td></tr> <tr><td>NORMA TÉCNICA N°:</td><td>Norma INV E-155 método A</td></tr> <tr><td>Standard</td><td></td></tr> </table>	METODO DE MEDICIÓN:	Comparación según especificación	Method of measurement		NORMA TÉCNICA N°:	Norma INV E-155 método A	Standard																							
METODO DE MEDICIÓN:	Comparación según especificación																															
Method of measurement																																
NORMA TÉCNICA N°:	Norma INV E-155 método A																															
Standard																																
<p>FIRMAS AUTORIZADAS:</p> <p>Revisado por - Checked By</p>		<p>RESULTADOS DE LA MEDICIÓN (o CALIBRACIÓN):</p> <table border="1"> <thead> <tr><th colspan="2">Revoluciones Por Minuto (RPM)</th></tr> <tr><th>VALOR INDICADO CENTRIFUGA</th><th>3600</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>L1</td><td>3595</td></tr> <tr><td>L2</td><td>3596</td></tr> <tr><td>L3</td><td>3596</td></tr> <tr><td>L4</td><td>3596</td></tr> <tr><td>L5</td><td>3595</td></tr> <tr><td>L6</td><td>3597</td></tr> <tr><td>L7</td><td>3597</td></tr> <tr><td>L8</td><td>3597</td></tr> <tr><td>L9</td><td>3595</td></tr> <tr><td>L10</td><td>3596</td></tr> <tr><td>PROMEDIO</td><td>3596,0</td></tr> <tr><td>DESVIACIÓN</td><td>0,816</td></tr> <tr><td>INCERTIDUMBRE U</td><td>0,52</td></tr> </tbody> </table>	Revoluciones Por Minuto (RPM)		VALOR INDICADO CENTRIFUGA	3600	L1	3595	L2	3596	L3	3596	L4	3596	L5	3595	L6	3597	L7	3597	L8	3597	L9	3595	L10	3596	PROMEDIO	3596,0	DESVIACIÓN	0,816	INCERTIDUMBRE U	0,52
Revoluciones Por Minuto (RPM)																																
VALOR INDICADO CENTRIFUGA	3600																															
L1	3595																															
L2	3596																															
L3	3596																															
L4	3596																															
L5	3595																															
L6	3597																															
L7	3597																															
L8	3597																															
L9	3595																															
L10	3596																															
PROMEDIO	3596,0																															
DESVIACIÓN	0,816																															
INCERTIDUMBRE U	0,52																															
<p>Concrelab S.A.S. Nit 860.036.365-9 Sede Bogotá Carrera 15 Sur No 76 - 82 Bod. 2 Calle 63D No 71A - 70 PBX: (571) 223 5656 www.concrelab.com</p>		<p>La incertidumbre expandida de la medición reportada, se han determinado de acuerdo al documento GTC 51 y se establece como la incertidumbre estándar de la medición multiplicada por el factor de cobertura "k=2" y la probabilidad de cobertura, la cual debe ser aproximada al 95% y no menor a este valor.</p> <p>TRAZABILIDAD</p> <table border="1"> <thead> <tr><th>Equipo</th><th>Marca</th><th>Capacidad</th><th>Serie</th><th>Modelo</th><th>Entidad emito certificado</th><th>Certificado No.</th><th>Fecha de calibración</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Tacómetro Digital</td><td>EXTECH</td><td>0,1 a 999 RPM</td><td>B151532510</td><td>SP-4001</td><td>COLMETRIK</td><td>CMC-TIC-17002</td><td>2017-01-06</td></tr> </tbody> </table> <p>OBSERVACIONES:</p> <p>* Se debe mantener el equipo en óptimas condiciones de aseó.</p> <p>**FIN DEL CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**</p> <p>Concrelab S.A.S. Nit 860.036.365-9 Sede Bogotá Carrera 15 Sur No 76 - 82 Bod. 2 Calle 63D No 71A - 70 PBX: (571) 223 5656 www.concrelab.com</p>	Equipo	Marca	Capacidad	Serie	Modelo	Entidad emito certificado	Certificado No.	Fecha de calibración	Tacómetro Digital	EXTECH	0,1 a 999 RPM	B151532510	SP-4001	COLMETRIK	CMC-TIC-17002	2017-01-06														
Equipo	Marca	Capacidad	Serie	Modelo	Entidad emito certificado	Certificado No.	Fecha de calibración																									
Tacómetro Digital	EXTECH	0,1 a 999 RPM	B151532510	SP-4001	COLMETRIK	CMC-TIC-17002	2017-01-06																									

Nota: en la parte inferior se observan las lecturas de las revoluciones demarcando una incertidumbre aceptable, también se anexa la trazabilidad de la calibración del equipo.

Fuente: Certificado de calibración - Concrelab S.A.S. [Captura]. Diciembre, 2022.

7.6.2. MÁQUINA DE ENSAYO A COMPRESIÓN INCONFINADA

El ensayo de compresión inconfinada de muestras de suelos, permite “determinar la resistencia a la compresión no confinada de suelos cohesivos, mediante la aplicación de una carga axial con control de deformación”²⁹.

²⁹ MINISTERIO NACIONAL DE VÍAS. NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS. Sección 100 Suelos. Bogotá: Instituto Nacional de Vías, 2012. E-152-1 p

Para la medición de la carga de este ensayo, se utilizó una celda de carga fija al marco, como se indica en la normativa del Ministerio Nacional de Vías y se evidencia en la Imagen 35.

Imagen 35. Máquina para ensayo de compresión inconfiada



Nota: se observa en el marco de la máquina los stickers o sellos de calibración y en la parte superior el indicador de carga.

Fuente: elaboración propia. [fotografía]. Marzo, 2023

Durante el control de calidad se observó que la celda de carga se encontraba acoplada perfectamente al marco, también se verificó el indicador se mantuviera en 0.00 al estar sin uso y se revisó el sello de calibración de Concrelab. Esta calibración fue expedida el 28 de diciembre del 2022 y se encontraba vigente a la fecha de verificación como se muestra en la Imagen 36.

Imagen 36. Certificado de calibración de máquina de ensayo a compresión



ISO/IEC 17025:2017
14.LAC.003

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
CALIBRATION CERTIFICATE

NÚMERO:	2140F
PÁGINAS:	3 de 4
FECHA DE EXPEDICIÓN:	2022-12-28



ISO/IEC 17025:2017
14.LAC.003

INSTRUMENTO: MAQUINA DE ENSAYO A COMPRESION
Instrument: TRUMAX

FABRICANTE DEL MARCO: TRUMAX
Frame Manufacturer

MODELO DEL MARCO: SA - 500 kg
Frame Model

NÚMERO DE SERIE DEL MARCO: J 190416189
Frame Serial Number

CÓDIGO DEL MARCO: CAR654
Frame Code

CAPACIDAD MÁXIMA: 400 kg → 3,92kN
Maximum Capacity

SOLEATANTE: GEOFISICA S.A.S.
Customer

DIRECCIÓN, CIUDAD: CALLE 6 No. 11 - 35 / POPOPAYAN - CAUCA
Address

SITIO DE CALIBRACIÓN: PATIO 2
Site calibration

FECHA DE CALIBRACIÓN: 2022-12-20
Date of calibration

NÚMERO DE PÁGINAS DEL CERTIFICADO INCLUYENDO ANEXOS: Cuatro(4)
Number of pages of this certificate and Documents Attached

Este certificado se expide de acuerdo con los requisitos de la norma ISO/IEC 17025:2017.
This certificate is issued in accordance with the requirements of the ISO/IEC 17025:2017 standard.

Los resultados incluidos en este certificado, se relacionan únicamente con el ítem suministrado por el cliente, momento y condiciones de la calibración. El laboratorio que lo emite no es responsable de los perjuicios que puedan derivarse de uso inadecuado de estos resultados.
The results included in this certificate relate only to the item supplied by the customer, time and conditions of the calibration. The laboratory that issues it is not responsible for the damages that may arise from the inappropriate use of these results.

El laboratorio no fue responsable de la etapa de muestreo, por lo tanto, los resultados se aplican al ítem como se recibió.
The laboratory was not responsible for the testing stage, therefore the results apply to the item as received.

El laboratorio es responsable de toda la información suministrada en el certificado, excepto cuando ésta sea suministrada por el cliente.
The laboratory is responsible for all the information provided in the certificate, except when it is provided by the client.

El presente certificado no puede ser reproducido parcialmente sin la aprobación escrita de CONCRELAB S.A.S., con el fin de asegurar que partes del mismo, no se saquen de contexto.
This certificate may not be partially reproduced without the written approval of CONCRELAB S.A.S., in order to ensure that parts of it are not taken out of context.

FIRMAS AUTORIZADAS:
Authorized signatures

Metrología

Remedio digitalizado por
SISTEMAS LAFIZ
Fecha: 2022-12-28
10:44:02 AM

Revisado por / Checked By

Concrelab

Remedio digitalizado por
SISTEMAS LAFIZ
Fecha: 2022-12-28
10:44:02 AM

Aprobado por / Approved By

Sede Bogotá | Calle 63D No 71A - 51 | PBX: (571) 223 5656 | www.concrelab.com
Código: F-443 / Versión: 08 / Actualización: 2022-11-23



ISO/IEC 17025:2017
14.LAC.003

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
CALIBRATION CERTIFICATE

NÚMERO:	2140F
PÁGINAS:	2 de 4
FECHA DE EXPEDICIÓN:	2022-12-28



ISO/IEC 17025:2017
14.LAC.003

MARCO NOMINATIVO

METODO DE MEDICIÓN Method of measurement: Fuerza Indicada Constante
NORMA TÉCNICA Standard: NTC 5000 7000 7020 7025
INTERVALO CALIBRADO Calibration Interval: 0,50 kN a 3,53 kN

INDICADOR DEL MENSURANDO

TIPO DE INDICACIÓN (Type): Digital
FABRICANTE (Manufacturer): LEISIS
MODELO (Model): MATRUX
NÚMERO DE SERIE (Serial Number): C511334
CÓDIGO (Code): CAR654

TRANSDUCTOR DEL MENSURANDO

FABRICANTE (Manufacturer): TRUMAX
MODELO (Model): SA - 500 kg
NÚMERO DE SERIE (Serial Number): 7180410189 / BN 193008
CÓDIGO (Code): CAR 654

1. RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN:

Indicación del Mensurado kN	Indicación del Instrumento Patrón (unidades)					Resolución: 0,0001 kN
	Letra 1 (L1)	Letra 2 (L2)	Letra 3 (L3)	Letra Accesorios (L4)	Letra (L2)	
0,5884	0,5859	0,5857	0,5866	-	-	0,5859
0,7845	0,7817	0,7808	0,7788	-	-	0,7804
1,1768	1,1724	1,1713	1,1673	-	-	1,17035
1,5691	1,5642	1,5621	1,5568	-	-	1,56103
1,9613	1,9564	1,9525	1,9469	-	-	1,95234
2,3536	2,3484	2,3445	2,3382	-	-	2,34201
2,7459	2,7407	2,7361	2,7286	-	-	2,73446
3,1381	3,1328	3,1274	3,1175	-	-	3,12591
3,5304	3,5254	3,5193	3,5131	-	-	3,51827
Indicación residual de la muestra kN	-0,0001	0,0002	0,0002	-	-	-

5 Metrología Sede Bogotá | Calle 63D No 71A - 51 | PBX: (571) 223 5656 | www.concrelab.com
Código: F-443 / Versión: 08 / Actualización: 2022-11-23



ISO/IEC 17025:2017
14.LAC.003

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
CALIBRATION CERTIFICATE

NÚMERO:	2140F
PÁGINAS:	3 de 4
FECHA DE EXPEDICIÓN:	2022-12-28



ISO/IEC 17025:2017
14.LAC.003

IND (kN)	Errores calculados e incertidumbre (% de lectura)					Errores calculados e incertidumbre (kN)					k		
	a*	q*	b*	v*	Acc.	U	a*	q*	b*	v*		Acc.	U
0,588	1,67E-02	0,51	0,21	-	-	0,37	9,80E-05	0,0030	0,0014	-	-	0,0022	1,99
0,785	1,25E-02	0,52	0,36	-	-	0,42	9,80E-05	0,0041	0,0028	-	-	0,0033	2,06
1,177	8,34E-03	0,53	0,43	-	-	0,47	9,80E-05	0,0065	0,0051	-	-	0,0055	2,14
1,569	6,25E-03	0,51	0,47	-	-	0,49	9,80E-05	0,0081	0,0074	-	-	0,0076	2,18
1,961	5,00E-03	0,47	0,49	-	-	0,50	9,80E-05	0,0091	0,0095	-	-	0,0097	2,20
2,354	4,17E-03	0,45	0,52	-	-	0,52	9,80E-05	0,011	0,012	-	-	0,012	2,23
2,746	3,57E-03	0,42	0,52	-	-	0,52	9,80E-05	0,011	0,014	-	-	0,014	2,23
3,138	3,14E-03	0,39	0,49	-	-	0,49	9,80E-05	0,012	0,015	-	-	0,015	2,18
3,530	2,78E-03	0,32	0,35	-	-	0,41	9,80E-05	0,011	0,012	-	-	0,015	2,05
f₀		0,01					f₀					0,000	

2. TEMPERATURA DURANTE LA CALIBRACIÓN (°C):

	Letra 1 (L1)	Letra 2 (L2)	Letra 3 (L3)	Letra Accesorios (L4)	Letra (L2)
T. Inicial	21,5	21,5	21,5	-	-
T. Final	21,5	21,5	21,5	-	-

3. INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN:
La incertidumbre expandida de la medición reportada se establece como la incertidumbre estándar de medición multiplicada por el factor de cobertura "k" y la probabilidad de cobertura, la cual debe ser aproximada al 95% y no menor a este valor.

5 Metrología Sede Bogotá | Calle 63D No 71A - 51 | PBX: (571) 223 5656 | www.concrelab.com
Código: F-443 / Versión: 08 / Actualización: 2022-11-23



ISO/IEC 17025:2017
14.LAC.003

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
CALIBRATION CERTIFICATE

NÚMERO:	2140F
PÁGINAS:	4 de 4
FECHA DE EXPEDICIÓN:	2022-12-28



ISO/IEC 17025:2017
14.LAC.003

4. TRAZABILIDAD AL SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES (SI):
El laboratorio de metrología de Concrelab S.A.S establece y mantiene la trazabilidad metrología de los resultados de sus mediciones, por medio de una cadena ininterrompida y documentada de calibraciones, realizadas por laboratorios acreditados o institutos nacionales de metrología, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de medición, vinculándose con la referencia apropiada nacional o internacional y asegurando que los resultados de la medición son trazables al Sistema Internacional de Unidades (SI).

TRAZABILIDAD METROLOGICA					
CAPACIDAD DE MEDICIÓN	SERIE	MODELO	CLASE	CERTIFICADO	VIGENTE HASTA
5 kN	071730628	Z30A	0,0	5210	2023-08-04
0° C a 50° C	AG.42180	PHB-318	NO APLICABLE	CLT 77421	2023-03-12

5. OBSERVACIONES:

- La máquina de ensayo debe ser calibrada inmediatamente después de cualquier reparación del sistema eléctrico o mecánico ya que esto afecta la operación del sistema de medida.
- CONCRELAB S.A.S., puede abstenerse de expedir un certificado cuando por características técnicas que considere que el equipo no es apto para ser calibrado.
- Fuente de los factores de conversión NIST 811.
- Factor de conversión un kilogramo fuerza (kg) = kilonewton (kN) 9,80665E-03

****FIN DEL CERTIFICADO****

5 Metrología Sede Bogotá | Calle 63D No 71A - 51 | PBX: (571) 223 5656 | www.concrelab.com
Código: F-443 / Versión: 08 / Actualización: 2022-11-23

Nota: en la primera tabla se observan los valores de cargas arrojados durante la calibración y en la segunda se encuentra el análisis estadístico de estos.

Fuente: Certificado de calibración - Concrelab S.A.S. [Captura]. Diciembre, 2022.

7.6.3. BALANZA DIGITAL

El laboratorio Geofísica S.A.S. lleva un control constante de las balanzas digitales, puesto que son utilizadas para la determinación del peso o masa de las muestras, y a su vez, de ellas se desprenden otros valores; evidenciando que la precisión de los ensayos depende en gran medida de ellas.

Por esta razón, para su metrología se observó que cada una de estas niveló con su ojo de agua, la marcación designada cuando no se le aplicó peso fue igual a cero y la superficie se conservaba estable. Para las balanzas de alta precisión o sensibilidad se evidenció la presencia de la caja y además se comprobó que todas las balanzas presentaron el sello de calibración o certificado de control de calidad vigente.

Cabe resaltar que, en el laboratorio se realiza la calibración a una balanza de cada modelo o balanzas principales y a las masas patrón, con las cuales posteriormente se lleva un control metrológico interno, donde se garantiza que todos los equipos se encuentren calibrados.

A continuación, se observan dos modelos de balanzas con su respectivo certificado de calibración vigente otorgado por el laboratorio metrológico “Concrelab” plasmados en la Imagen 37, Imagen 38, Imagen 39 e Imagen 40.

Imagen 37. Balanza digital de 15Kg



Nota: en la parte izquierda de la imagen se encuentra la balanza de capacidad de 15 Kg, en la cual se observa que su indicador está en 0,000 al encontrarse en una superficie nivelada; en la parte derecha se encuentra su certificado de calibración.

Fuente: elaboración propia. [fotografía]. Marzo, 2023.

Imagen 38. Certificado de calibración de balanza digital de 15Kg

CERTIFICADO DE CALIBRACION
CONCRELAB MEDICIÓN CONFIABLE **ONAC** COLOMBIANO
 NO. REC. 17023/2017 14 LAC 003

NUMERO: 3811 M
PAGINAS: 2 de 4
FECHA DE EXPIRACION: 2023-01-18

INSTRUMENTO: BALANZA DIGITAL
FABRICANTE: LEXUS
MODELO: FENEX
NUMERO DE SERIE: VS 142428
COORDENADAS INTERNAS: BAL 156
INTERVALO DE MEDICION: 50 g a 15000 g
MANEJO: Maximización Intervalal
SOLICITANTE: GEORFICA S.A.S
DIRECCION CIUDAD: CALLE 6 No. 11-35 / FORAYAN - CAUCA
FECHA DE CALIBRACION: 2022-12-20
NUMERO DE PAGINAS DEL CERTIFICADO INCLUYENDO ANEXOS: Cuatro (4)
Este certificado es copia de acuerdo con los requisitos de la norma ISO/IEC 17025:2017.
El laboratorio no es responsable de la exactitud de los resultados, por lo tanto, los resultados se aplican al ítem como se recibió.
Los resultados contenidos en el presente certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las calibraciones. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los parámetros que puedan derivarse del uso inadecuado de estos resultados.
El laboratorio es responsable de toda la información suministrada en el certificado, excepto cuando ésta sea suministrada por el cliente. El presente certificado no puede ser reproducido parcialmente sin la aprobación escrita de CONCRELAB S.A.S., con el fin de asegurar que partes del mismo, no se requieran de contexto.
FIRMAS AUTORIZADAS: Autorización Legítima

Metrología Sede Bogotá | Calle 630 No 71A - 51 | PBX: (57) 223 5656 | www.concrelab.com
 Código F-405 / Versión 06 / Actualización: 2022-01-25

CERTIFICADO DE CALIBRACION
CONCRELAB MEDICIÓN CONFIABLE **ONAC** COLOMBIANO
 NO. REC. 17023/2017 14 LAC 003

NUMERO: 3811 M
PAGINAS: 2 de 4
FECHA DE EXPIRACION: 2023-01-18

METODO DE MEDICION: Pesar
UBICACION INSTRUMENTO: Oficina 3

CONDICIONES AMBIENTALES DURANTE LA MEDICION

Medida	Temperatura del aire (°C)	Humedad Relativa del Aire (%)RH	Presión Atmosférica (kPa)
Inicial	21.6	75.2	101.7
Final	22.0	77.8	101.7
Promedio	21.8	76.50	101.70

RESULTADOS DE LA CALIBRACION

Carga Máxima (Máx)	15000 g
División de escala (E)	50 g
Carga Mínima (Mín)	50 g
Desviación Estándar (σ)	1 g

1. PRUEBA DE EXCENTRICIDAD

LADO	Carga + Fuerza	Indicación	Diferencia
1	5000 g	5000.0	0.0
2	5000 g	5000.0	0.0
3	5000 g	5000.0	0.0
4	5000 g	5000.0	0.0
5	5000 g	5000.0	0.0
6	5000 g	5000.0	0.0

2. PRUEBA DE REPRODUCIBILIDAD

Carga	INDICACION	SD	S
1	5000	0.00001	0.00001
2	5000	0.00001	0.00001
3	5000	0.00001	0.00001
4	5000	0.00001	0.00001
5	5000	0.00001	0.00001
6	5000	0.00001	0.00001
7	5000	0.00001	0.00001
8	5000	0.00001	0.00001
9	5000	0.00001	0.00001
10	5000	0.00001	0.00001

Metrología Sede Bogotá | Calle 630 No 71A - 51 | PBX: (57) 223 5656 | www.concrelab.com
 Código F-405 / Versión 06 / Actualización: 2022-01-25

CERTIFICADO DE CALIBRACION
CONCRELAB MEDICIÓN CONFIABLE **ONAC** COLOMBIANO
 NO. REC. 17023/2017 14 LAC 003

NUMERO: 3811 M
PAGINAS: 2 de 4
FECHA DE EXPIRACION: 2023-01-18

3. PRUEBA PARA LOS ERRORES DE LA INDICACION

Patrón de Calibración	Indicación Asumida (g)	Error Asumido (g)	Medición	Desviación (g)	Error Desviación (g)	Expendida de Medida Relativa (g)	k	Indicación Ponderada	Proceso Empleado en la Medición
10000.0000	10000	-0.0000	10000.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.00	10000.0000	1. Aumento por Pesar con Descarga
10000.0010	10000	-0.0010	10000.0010	0.0010	0.0010	0.0010	1.00	10000.0010	
10000.0020	10000	-0.0020	10000.0020	0.0020	0.0020	0.0020	1.00	10000.0020	
10000.0030	10000	-0.0030	10000.0030	0.0030	0.0030	0.0030	1.00	10000.0030	
10000.0040	10000	-0.0040	10000.0040	0.0040	0.0040	0.0040	1.00	10000.0040	
10000.0050	10000	-0.0050	10000.0050	0.0050	0.0050	0.0050	1.00	10000.0050	
10000.0060	10000	-0.0060	10000.0060	0.0060	0.0060	0.0060	1.00	10000.0060	
10000.0070	10000	-0.0070	10000.0070	0.0070	0.0070	0.0070	1.00	10000.0070	
10000.0080	10000	-0.0080	10000.0080	0.0080	0.0080	0.0080	1.00	10000.0080	
10000.0090	10000	-0.0090	10000.0090	0.0090	0.0090	0.0090	1.00	10000.0090	
10000.0100	10000	-0.0100	10000.0100	0.0100	0.0100	0.0100	1.00	10000.0100	

Uso de la Incertidumbre Expendida Medida Relativa: $U = 1 - U(\text{exp. rel.})$

Gráfico de Error

Metrología Sede Bogotá | Calle 630 No 71A - 51 | PBX: (57) 223 5656 | www.concrelab.com
 Código F-405 / Versión 06 / Actualización: 2022-01-25

CERTIFICADO DE CALIBRACION
CONCRELAB MEDICIÓN CONFIABLE **ONAC** COLOMBIANO
 NO. REC. 17023/2017 14 LAC 003

NUMERO: 3811 M
PAGINAS: 2 de 4
FECHA DE EXPIRACION: 2023-01-18

4. FUNCIÓN APROXIMADA DE ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

Uso: Incertidumbre Expendida (k=2), en (g) R. Valor a pesar en (g) $U(W) = 1.28 \cdot 0.01 + 1.35 \cdot 0.01 \cdot R$

La incertidumbre expendida de la medición reportada se establece como la incertidumbre estándar de medición multiplicada por el factor de cobertura "k" y la probabilidad de cobertura, la cual debe ser aproximada al 95% y no menor a este valor.

5. TRABAJABILIDAD

El laboratorio de metrología de Concrelab S.A.S establece y mantiene la trazabilidad metrológica de los resultados de sus mediciones, por medio de una cadena ininterumpida y documentada de calibraciones, realizadas por laboratorios acreditados o institutos nacionales de metrología, cada uno de los cuales contribuye a la trazabilidad de medición, vinculadas con la referencia apropiada nacional o internacional y asegurando que los resultados de la medición son trazables al Sistema Internacional de Unidades (SI).

Equipo	Marca	Capacidad	Serie	Certificado	Fecha de Calibración	Entidad Que Emite el Documento
Set de pesas	Kern	1g - 1kg	0204544	3118 M	2021-06-17	CONCRELAB S.A.S.
Set de pesas	Kern	2 kg - 10 kg	0204544	M210453	2021-06-17	COMETRO
Set de pesas	PRODUPRESA	10 kg	001 a 025	3798 M	2022-11-21	CONCRELAB S.A.S.
BAROMETRO	LUTRON	°C / %RH	AG-42180	CLT 77421 / CUM 27421	2021-03-12	CONAMET
BAROMETRO	LUTRON	10 MPa - 1100 MPa	AG-42180	CLP 19821	2021-03-10	CONAMET

6. OBSERVACIONES

- De acuerdo con los resultados anteriores se anexa el sello de calibración: 3811M
- Mantener la balanza nivelada, antes, durante y después de su uso.
- Los errores reportados son calculados con la corrección por la indicación residual de cero y la masa convencional de los patrones utilizados en las pruebas de los numerales 1, 3 y 4 del presente certificado de calibración. (GUSA SIM MWG7/g 0.1v 0.00, Numeral 4.4.1).
- La función de estimación de incertidumbre se calcula de acuerdo al Apéndice C de la guía SIM MWG7/g 0.1v 0.00.

"FIN DEL CERTIFICADO"

Metrología Sede Bogotá | Calle 630 No 71A - 51 | PBX: (57) 223 5656 | www.concrelab.com
 Código F-405 / Versión 06 / Actualización: 2022-01-25

Nota: se muestran los valores de cargas aplicadas, la excentricidad y el error gráfico obtenidos con la calibración.

Fuente: Certificado de calibración - Concrelab S.A.S. [Captura]. Diciembre, 2022.

Imagen 39. Balanza digital de 3000 g



Nota: en la parte izquierda de la imagen se encuentra la balanza de capacidad de 3000 g.

Fuente: elaboración propia. [fotografía]. Marzo, 2023.

Imagen 40. Certificado de calibración de balanza de 3000g

CERTIFICADO DE CALIBRACION
COB-001/01-18

NÚMERO:	3010 M
PÁGINAS:	1 de 4
FECHA DE EMISIÓN:	2023-01-18

INSTRUMENTO: BALANZA DIGITAL
FABRICANTE: LEBUS
MODELO: MDA
NÚMERO DE SERIE: Y5126127
INTERVALO DE MEDICIÓN: 5 g a 3000 g
SOLICITANTE: GEORISCA S.A.S.
DIRECCIÓN CIUDAD: CALLE 6 No. 11-35 / POPAYAN - CAUCA
FECHA DE CALIBRACION: 2022-12-20

RESULTADOS DE LA CALIBRACION:

Temperatura del aire (°C)	Humedad Relativa del Aire (%RH)	Presión Atmosférica (hPa)
Inicial: 21.0	74.4	815.1
Final: 21.0	73.4	815.4
Promedio: 20.96	73.90	826.20

1. PRUEBA DE EXCENTRICIDAD

LADO	Carga = Máx (g)	Indicación	Diferencia
1	1000.0	999.7	-0.3
2	1000.0	1000.0	0.0
3	1000.0	999.9	-0.1
4	1000.0	999.8	-0.2
5	1000.0	1000.1	0.1
6	1000.0	999.9	-0.1

2. PRUEBA DE REPETIBILIDAD

Carga	MDN	S.O	g
1	5.0	0.0000	5.0000
2	5.0	0.0000	5.0000
3	5.0	0.0000	5.0000
4	5.0	0.0000	5.0000
5	5.0	0.0000	5.0000
6	5.0	0.0000	5.0000
7	5.0	0.0000	5.0000
8	5.0	0.0000	5.0000
9	5.0	0.0000	5.0000
10	5.0	0.0000	5.0000

DEVIACION ESTÁNDAR FABRICANTE: 5.0 g
DEVIACION ESTÁNDAR MÁXIMA CALCULADA: 0.0480 g

CERTIFICADO DE CALIBRACION
COB-001/01-18

NÚMERO:	3010 M
PÁGINAS:	2 de 4
FECHA DE EMISIÓN:	2023-01-18

MARCO NORMATIVO: PESAJE DIRECTO, Pondera de Instrumentos Pesaje, MÉTODO INDICADO EN LA CUIDA 1581 (Método) g 01 v 0 00 (Normas) 4.4, 5.1, 5.2, 5.3, 6.0

CONDICIONES AMBIENTALES DURANTE LA MEDICIÓN:

Temperatura del aire (°C)	Humedad Relativa del Aire (%RH)	Presión Atmosférica (hPa)
Inicial: 21.0	74.4	815.1
Final: 21.0	73.4	815.4
Promedio: 20.96	73.90	826.20

RESULTADOS DE LA CALIBRACION:

Carga Máxima (Máx)	3000.0 g
División de escala (e)	0.1 g
Carga Máxima (Máx)	5.0 g
Desviación Estándar (s)	1.0 g

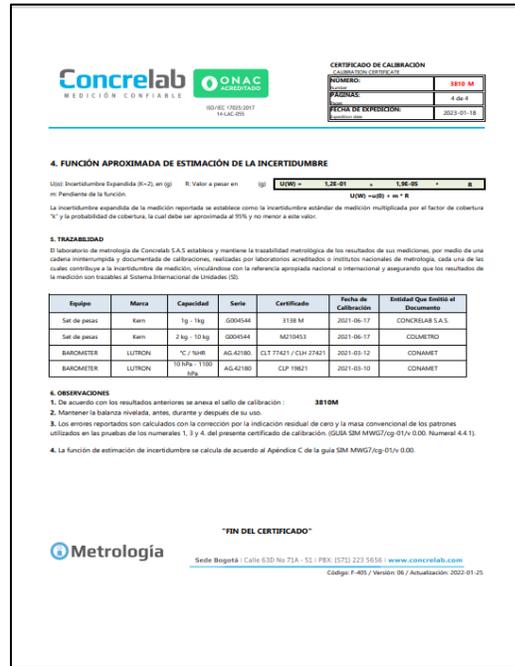
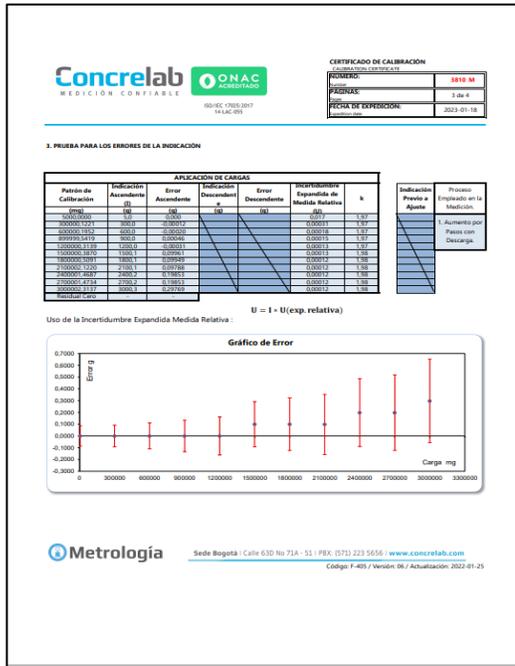
1. PRUEBA DE EXCENTRICIDAD

LADO	Carga = Máx (g)	Indicación	Diferencia
1	1000.0	999.7	-0.3
2	1000.0	1000.0	0.0
3	1000.0	999.9	-0.1
4	1000.0	999.8	-0.2
5	1000.0	1000.1	0.1
6	1000.0	999.9	-0.1

2. PRUEBA DE REPETIBILIDAD

Carga	MDN	S.O	g
1	5.0	0.0000	5.0000
2	5.0	0.0000	5.0000
3	5.0	0.0000	5.0000
4	5.0	0.0000	5.0000
5	5.0	0.0000	5.0000
6	5.0	0.0000	5.0000
7	5.0	0.0000	5.0000
8	5.0	0.0000	5.0000
9	5.0	0.0000	5.0000
10	5.0	0.0000	5.0000

DEVIACION ESTÁNDAR FABRICANTE: 5.0 g
DEVIACION ESTÁNDAR MÁXIMA CALCULADA: 0.0480 g



Nota: se muestran los valores de cargas aplicadas, la excentricidad y el error gráfico obtenidos con la calibración.

Fuente: Certificado de calibración - Concrelab S.A.S. [Captura]. Diciembre, 2022.

7.6.4. PIE DE REY ANÁLOGO

El pie de rey es un instrumento utilizado en el laboratorio para medir distancias principalmente para medir los diámetros de los anillos y las muestras. Para el control de calidad de este elemento, la empresa cuenta con un pie de rey digital calibrado, el cual funcionó como patrón en la verificación de las medidas.

Cabe mencionar que el equipo patrón es un instrumento que no se utiliza continuamente en el laboratorio al que solamente se le da uso para calibrar los otros equipos y, por ende, su certificado de calibración permanece vigente para un periodo prolongado.

Para este caso, el equipo patrón utilizado se calibró el 9 de agosto del 2017 por el laboratorio "Concrelab" y su código de registro asignado es 2540 D. La verificación consistió en tomar 3 valores de referencia con el equipo patrón y posteriormente se

midió 5 veces con el pie de rey análogo para encontrar el error y su respectiva clasificación de exactitud, como se observa en la Imagen 41.

Imagen 41. Verificación de calibración de pie de rey análogo

		VERIFICACIÓN DE EQUIPO PIE DE REY ANÁLOGO		Versión 02																																																																	
				Página 1 de 1																																																																	
INSTRUCTIVO DE EQUIPO: N.A			DOCUMENTO DE REFERENCIA: TESIS USON, Doc 22841, Cap 7: ANEXOS. "Formato de verificación rápida de error", hoja 3 de 3, pág 16.																																																																		
CÓDIGO DE EQ: PIE666			FECHA DE VERIFICACIÓN: feb 15 de 2023																																																																		
1. Valores de referencia con Pie de rey Análogo <table border="1"> <thead> <tr> <th>Medidas (mm)</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>40,05</td> <td>49,50</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>39,97</td> <td>49,95</td> <td>61</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>40,08</td> <td>49,99</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>39,91</td> <td>50,50</td> <td>61,4</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>40,10</td> <td>51,20</td> <td>61</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>40,02</td> <td>50,01</td> <td>60,68</td> </tr> <tr> <td>Valor referencia Patrón (mm)</td> <td>40</td> <td>50</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>Error absoluto o Sesgo</td> <td>Valor de referencia Patrón - Promedio</td> <td>0,022</td> <td>0,007</td> <td>0,68</td> </tr> <tr> <td>Error relativo (%)</td> <td>(Error ABS/Valor de referencia)*100</td> <td>0,055</td> <td>0,014</td> <td>1,133333333</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Error relativo promedio (%)</td> <td colspan="3">0,4</td> </tr> <tr> <td>Cumple</td> <td>Si <input checked="" type="checkbox"/></td> <td colspan="2">No <input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Clasificación :</td> <td colspan="5">El equipo es : Instrumento aceptable</td> </tr> </tbody> </table>			Medidas (mm)	1	2	3	1	40,05	49,50	60	2	39,97	49,95	61	3	40,08	49,99	60	4	39,91	50,50	61,4	5	40,10	51,20	61	Promedio	40,02	50,01	60,68	Valor referencia Patrón (mm)	40	50	60	Error absoluto o Sesgo	Valor de referencia Patrón - Promedio	0,022	0,007	0,68	Error relativo (%)	(Error ABS/Valor de referencia)*100	0,055	0,014	1,133333333	Error relativo promedio (%)		0,4			Cumple	Si <input checked="" type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>			Clasificación :	El equipo es : Instrumento aceptable					2. CLASIFICACIÓN DE EXACTITUD DEL INSTRUMENTO <table border="1"> <thead> <tr> <th>< 0,4 %</th> <th>> 0,4 % Y < 0,9 %</th> <th>> 0,9 %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Instrumento suficientemente exacto</td> <td>Instrumento aceptable</td> <td>Instrumento no aceptable</td> </tr> </tbody> </table>			< 0,4 %	> 0,4 % Y < 0,9 %	> 0,9 %	Instrumento suficientemente exacto	Instrumento aceptable	Instrumento no aceptable
Medidas (mm)	1	2	3																																																																		
1	40,05	49,50	60																																																																		
2	39,97	49,95	61																																																																		
3	40,08	49,99	60																																																																		
4	39,91	50,50	61,4																																																																		
5	40,10	51,20	61																																																																		
Promedio	40,02	50,01	60,68																																																																		
Valor referencia Patrón (mm)	40	50	60																																																																		
Error absoluto o Sesgo	Valor de referencia Patrón - Promedio	0,022	0,007	0,68																																																																	
Error relativo (%)	(Error ABS/Valor de referencia)*100	0,055	0,014	1,133333333																																																																	
Error relativo promedio (%)		0,4																																																																			
Cumple	Si <input checked="" type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>																																																																			
Clasificación :	El equipo es : Instrumento aceptable																																																																				
< 0,4 %	> 0,4 % Y < 0,9 %	> 0,9 %																																																																			
Instrumento suficientemente exacto	Instrumento aceptable	Instrumento no aceptable																																																																			
3. Equipo patrón utilizado (Pie de rey Digital) <table border="1"> <thead> <tr> <th>Cód. interno</th> <th>Rango de medición</th> <th>Fecha de calibración (cada 6 años)</th> <th>N° Certificado</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PAT263</td> <td>0,00mm - 300,00mm</td> <td>ago 09 de 2017</td> <td>2540 D</td> </tr> </tbody> </table>						Cód. interno	Rango de medición	Fecha de calibración (cada 6 años)	N° Certificado	PAT263	0,00mm - 300,00mm	ago 09 de 2017	2540 D																																																								
Cód. interno	Rango de medición	Fecha de calibración (cada 6 años)	N° Certificado																																																																		
PAT263	0,00mm - 300,00mm	ago 09 de 2017	2540 D																																																																		

Nota: en la parte superior derecha se muestran las referencias utilizadas para la utilización de este método de verificación.

Fuente: Documentos de Geofísica S.A.S. [Captura]. Febrero, 2023.

Con lo anterior se evidencia que el pie de rey análogo codificado como PIE666 se encontró calibrado a la fecha de verificación y cumplió con lo exigido en el control de calidad.

7.6.5. JUEGO DE PESAS DE LOS EQUIPOS DE CONSOLIDACIÓN TRIPLE

BRAZO

Los equipos de consolidación triple brazo están compuestos por un porta pesas y un juego de 12 pesas. Durante la verificación de su calibración se utilizaron dos balanzas calibradas, una con capacidad de 5000g y sensibilidad de 0.1g que sirvió para pesar el porta pesas de 319g hasta la carga de 2550g y la otra balanza de capacidad de 15 Kg para las pesas de 5100g, donde se obtuvieron los valores de la Tabla 18.

Tabla 18. Masa real de las pesas de los equipos 1 y 2 de consolidación

NOMBRE DE LA PESA (g)	MASA REAL DE LA PESA (g)					
	EQUIPO 1			EQUIPO 2		
	B1	B2	B3	B1	B2	B3
Porta pesas	319.5	319.9	317.2	318.1	322.2	320.1
319	318.6	318.8	318.8	320.5	322.5	320.2
637	638.3	637.6	636.2	637.5	637.9	637.6
1275	1277.5	1276.7	1277.7	1280.2	1277.9	1282.4
2550	2551.0	2553.8	2553.0	2551.9	2557.6	2554.6
2550	2551.0	2553.3	2550.5	2548.2	2556.1	2560.2
2550	2553.8	2553.4	2551.8	2564.5	2562.4	2558.5
5100	5097	5097	5098	5105	5097	5097
5100	5095	5095	5098	5103	5100	5103
5100	5096	5096	5097	5096	5097	5100
5100	5100	5096	5096	5099	5089	5089
5100	5099	5096	5092	5100	5086	5086
5100	5095	5101	5095	5103	5098	5096

Nota: en la columna designada como nombre de pesa, se encuentra el valor real de masa para las cargas aplicadas y en las siguientes columnas los valores medidos.

Fuente: elaboración propia. Marzo, 2023.

$$\% \text{variación} = \frac{\text{Masa real} - \text{Masa medida}}{\text{Masa real}} * 100 \quad (1)$$

Para el análisis de estos datos, se utilizó la ecuación (1), de la cual se obtuvieron los datos de la Tabla 19 y para su mejor interpretación, esta información se representó con las Gráfica 1 y Gráfica 2.

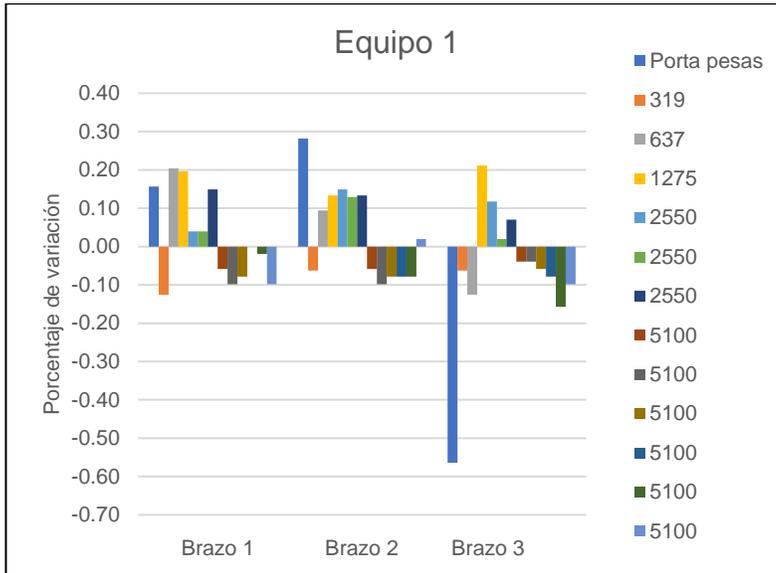
Tabla 19. *Porcentaje de variación de masas para equipos 1 y 2*

NOMBRE DE LA PESA (g)	%Variación					
	EQUIPO 1			EQUIPO 2		
	B1	B2	B3	B1	B2	B3
319	0.16	0.28	-0.56	-0.28	1.00	0.34
319	-0.13	-0.06	-0.06	0.47	1.10	0.38
637	0.20	0.09	-0.13	0.08	0.14	0.09
1275	0.20	0.13	0.21	0.41	0.23	0.58
2550	0.04	0.15	0.12	0.07	0.30	0.18
2550	0.04	0.13	0.02	-0.07	0.24	0.40
2550	0.15	0.13	0.07	0.57	0.49	0.33
5100	-0.06	-0.06	-0.04	0.10	-0.06	-0.06
5100	-0.10	-0.10	-0.04	0.06	0.00	0.06
5100	-0.08	-0.08	-0.06	-0.08	-0.06	0.00
5100	0.00	-0.08	-0.08	-0.02	-0.22	-0.22
5100	-0.02	-0.08	-0.16	0.00	-0.27	-0.27
5100	-0.10	0.02	-0.10	0.06	-0.04	-0.08

Nota: se evidencian algunos valores con signo negativo, significando que la masa medida está por debajo del valor real y para los valores positivos se indica que se encuentran por encima de este.

Fuente: elaboración propia. Marzo, 2023

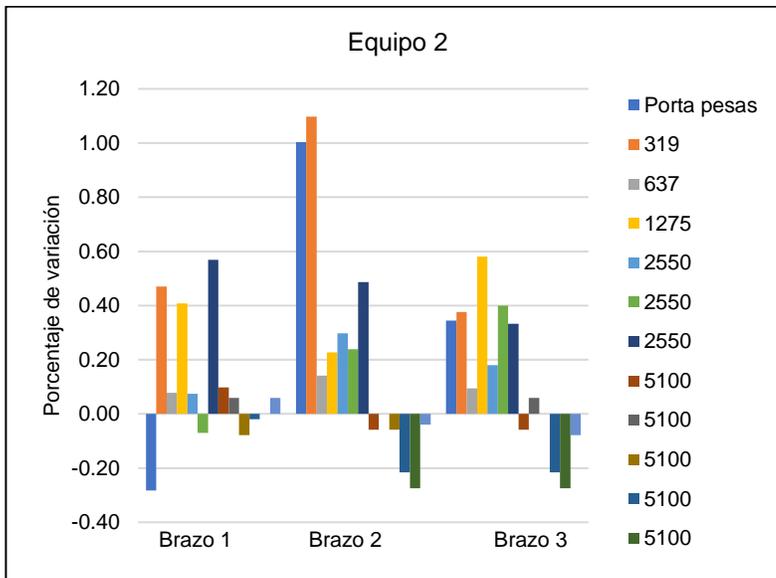
Gráfica 1. Porcentaje de variación de masas de equipo 1



Nota: se muestran las variaciones de las masas del equipo 1 y se observa que el porta pesas del brazo 3 es el más crítico.

Fuente: elaboración propia. Marzo, 2023.

Gráfica 2. Porcentaje de variación de masas de equipo 2



Nota: Se observa que el porta pesas y la pesa de 319 g del brazo 2 son los elementos que presentan mayor porcentaje de variación.

Fuente: elaboración propia. Marzo, 2023.

Con lo evidenciado en la Gráfica 1 se puede inferir que los datos presentan un buen comportamiento, pues solo el porta pesas del brazo 3 supera el -0.5% de variación, por lo tanto, dada la importancia de llevar un control de calidad y al uso reiterativo del porta pesas, se recomienda realizar su respectivo ajuste para tener menor sesgo de error o variación.

Para el Equipo 2, se observa que el porta pesas y la pesa de 319 g del brazo 2 superan en gran medida el porcentaje de variación, por lo tanto, al igual que con el equipo anterior, se recomienda realizar su respectivo ajuste para disminuir este sesgo, evitando que supere el $\pm 0.5\%$

7.6.6. VERIFICACIÓN DE LA VELOCIDAD DEL EQUIPO DE CORTE DIRECTO

Para la verificación de la velocidad de corte, en el adaptador de la última caja se adecuó un deformímetro y seguidamente se configuró el controlador de velocidad a 2, 1.5, 1.0 y 0.05 mm/min, tomando las lecturas de las distancias o deformaciones a diferentes tiempos como se muestran en la Tabla 20.

Tabla 20. Verificación de velocidad equipos de corte directo

PRUEBA N°	VEL. TEÓRICA (mm/min)	TIEMPO (min)	DISTANCIA (mm)		
			EQUIPO 1	EQUIPO 2	EQUIPO 3
1	2	1	1.972	2.000	1.973
		2	3.972	3.952	3.821
		3	5.981	5.976	5.976
2	1.5	1	1.474	1.485	1.397
		2	2.907	2.978	2.871
		3	4.481	4.467	4.331
		4	5.743	5.979	5.747
3	1	1	0.994	0.884	0.937
		2	1.872	1.918	1.917
		3	2.757	2.886	2.893
		4	3.764	3.863	3.867
		5	4.762	4.868	4.871
		6	5.768	5.890	5.773

Nota: se aprecia la distancia tomada con el deformímetro en unidades de milímetro. Además, se identifica que a menor velocidad teórica mayores los incrementos de tiempo elegidos para el ensayo.

PRUEBA N°	VEL. TEÓRICA (mm/min)	TIEMPO (min)	DISTANCIA (mm)		
			EQUIPO 1	EQUIPO 2	EQUIPO 3
4	0.05	5	0.180	0.157	0.217
		10	0.273	0.405	0.441
		15	0.521	0.656	0.670
		20	0.773	0.914	0.909
		25	1.003	1.174	1.148
		30	1.251	1.452	1.395
		35	1.502	1.722	1.642
		40	1.755	1.943	1.894
		45	2.005	2.234	2.136
		50	2.251	2.414	2.384
		55	2.503	2.712	2.630
		60	2.748	2.949	2.903
		70	3.222	3.397	3.397
		80	3.737	3.888	3.881
		90	4.223	4.381	4.436
		100	4.709	4.989	4.861
110	5.221	5.400	5.861		
120	5.723	5.899	5.770		

Fuente: Tomado del documento de la empresa Geofísica S.A.S, [Captura], 2023.

Posteriormente, se determinó la velocidad real del equipo con la ecuación (2) con lo cual se calculó un promedio de velocidades para cada prueba y se determinó la variación existente entre la velocidad teórica y la velocidad real haciendo uso de la ecuación (3).

$$v = \frac{d}{t} \quad (2)$$

$$\%variación = \frac{velocidad\ real - velocidad\ medida}{velocidad\ real} * 100 \quad (3)$$

Los resultados de los procedimientos anteriormente mencionados se muestran en la Tabla 21.

Tabla 21. Variación de la velocidad de los equipos de corte directo

PRUEBA N°	VEL. TEÓRICA (mm/min)	EQUIPO No.1			EQUIPO No.2			EQUIPO No.3		
		VEL. REAL (mm/min)	VEL. REAL PROMEDI (mm/min)	VARIACIÓN (%)	VEL. REAL (mm/min)	VEL. REAL PROMEDIO (mm/min)	VARIACIÓN (%)	VEL. REAL (mm/min)	VEL. REAL PROMEDIO (mm/min)	VARIACIÓN (%)
1	2.0	1.97	1.98	0.8	2.00	1.99	0.5	1.97	1.96	2.1
		1.99			1.98			1.91		
		1.99			1.99			1.99		
2	1.5	1.47	1.46	2.4	1.49	1.49	0.7	1.40	1.43	4.8
		1.45			1.49			1.44		
		1.49			1.49			1.44		
		1.44			1.49			1.44		
3	1	0.99	0.95	4.9	0.88	0.95	4.6	0.94	0.96	4.0
		0.94			0.96			0.96		
		0.92			0.96			0.96		
		0.94			0.97			0.97		
		0.95			0.97			0.97		
		0.96			0.98			0.96		
4	0.05	0.04	0.04	14.7	0.03	0.05	6.1	0.04	0.05	5.3
		0.03			0.04			0.04		
		0.03			0.04			0.04		
		0.04			0.05			0.05		
		0.04			0.05			0.05		
		0.04			0.05			0.05		
		0.04			0.05			0.05		
		0.04			0.05			0.05		
		0.04			0.05			0.05		
		0.05			0.05			0.05		
		0.05			0.05			0.05		
		0.05			0.05			0.05		
		0.05			0.05			0.05		
		0.05			0.05			0.05		
		0.05			0.05			0.05		
		0.05			0.05			0.05		

Nota: para el equipo N° 1, se observa una variación de los datos entre 0.8 y 14.66% lo cual no es bueno, puesto que el valor que presentó mayor variación corresponde a la velocidad teórica de 0.05 mm/min y es una de las más utilizadas en el laboratorio, porque con ella se logra una mejor definición del comportamiento de los datos.

Para el equipo N°2 se evidencia que las primeras pruebas poseen una variación pequeña de los datos, indicando que el equipo se encuentra calibrado para estas velocidades. Pero, la prueba 4 se debería chequear con mayor detenimiento puesto que supera el 5% de variación.

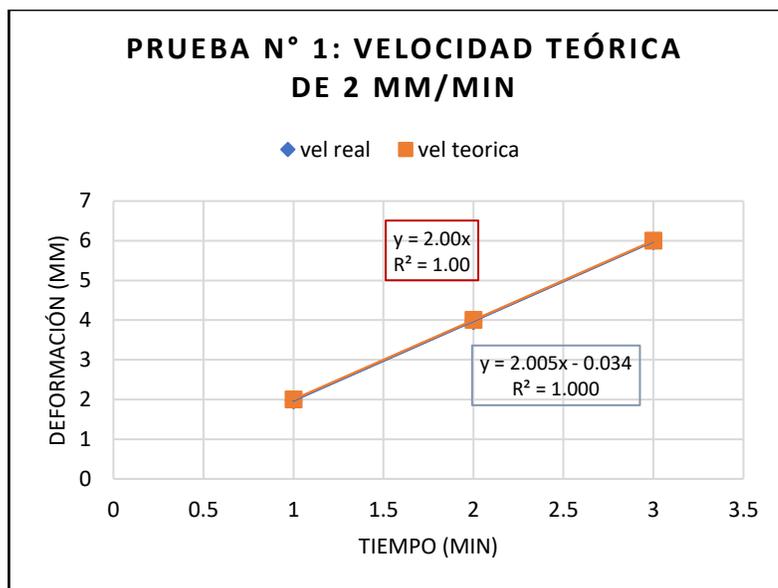
El equipo N°3 presenta una variación entre el 2.1 y 5.34% lo cual es aceptable, pero se recomienda revisar constantemente el equipo en especial la prueba 4, para llevar un control de calidad y evitar que esta variación aumente significativamente, dado que, se encuentra en el límite admisible del 5%.

Fuente: elaboración propia. Marzo, 2023.

Se realizó un análisis estadístico representando cada una de las velocidades de corte en gráficas de distancia vs tiempo, con el fin de visualizar mejor esta información,

Al graficar estos datos, se obtuvo la regresión lineal (R^2) de las velocidades teóricas y reales para cada equipo. Por practicidad solo se anexó la Gráfica 3, correspondiente al equipo N°1, sin embargo, en la Tabla 22 se presentó el resumen de los tres equipos.

Gráfica 3. Prueba 1 en Equipo 1: Velocidad teórica de 2mm/min



Nota: se muestra que la regresión lineal de la velocidad real es igual a 1.00, lo que significa que para esta prueba el equipo se encuentra trabajando de manera correcta, es decir, está cortando a la velocidad indicada en el controlador.

Fuente: elaboración propia. Marzo, 2023.

Tabla 22. Regresión lineal de velocidad teórica y real para los equipos de corte directo

PRUEBA N°	REGRESIÓN LINEAL - R ²			
	VEL. TEÓRICA	VEL. REAL		
		EQUIPO No.1	EQUIPO No.2	EQUIPO No.3
1.0	1.0	1.0000	1.0000	1.0000
2.0		1.0000	1.0000	0.9999
3.0		0.9999	0.9999	0.9998
4.00		0.9996	0.9996	0.9958

Nota: se observa que la prueba N° 4 es la que presenta menor regresión lineal para todos los equipos.

Fuente: elaboración propia. Marzo, 2023.

Dado que la prueba N°4 correspondiente a velocidad de 0.05 mm/min, fue la más utilizada en el laboratorio y también la que presentó el mayor porcentaje de variación y menor porcentaje de correlación en el cálculo de regresión lineal, se recomienda revisar con mayor detenimiento los equipos en esta prueba y si es posible que se evalúe la posibilidad de realizar su respectivo ajuste, para que el porcentaje de variación de estas velocidades no supere el 5% y de este modo llevar un mejor control de calidad.

7.7. DIGITACIÓN DE ENSAYO DE CORTE DIRECTO E IDENTIFICACIÓN DE VALORES TÍPICOS DE COHESIÓN Y ÁNGULO DE FRICCIÓN.

Una vez verificado y ampliado el campo de conocimientos respecto al ensayo de corte directo, el pasante digitó los resultados como se capturó en la Imagen 42 e identificó la tendencia del ángulo de fricción y la cohesión de los suelos, según el tipo de suelo para la región del Valle del Cauca y Cauca.

Imagen 42. Digitación de ensayo de corte directo

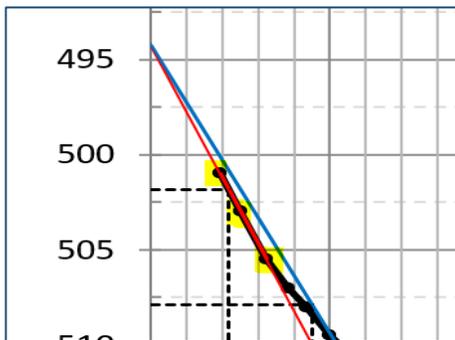


Nota: captura de la pasante en el área de corte directo, digitando los datos obtenidos en el ensayo; como son: las masas de las muestras y de los anillos, la velocidad del corte, las lecturas de consolidación, la deformación horizontal y vertical.

Fuente: elaboración propia. [fotografía]. Abril, 2023.

La digitación inició con el ingreso de las lecturas de consolidación, obtenidas durante un periodo de 2:00 horas y se comprobó el cumplimiento de la norma INV E -151³⁰, verificando que la curva de deformación tenía los 3 primeros puntos completamente alineados como se evidencia en la Gráfica 4. Seguidamente, se obtuvo la deformación en el 0 % de la consolidación primaria al prolongar la línea de tendencia de estos puntos.

Gráfica 4. Curva de deformación del suelo, evidencia de línea tendencia



Nota: se presenta la curva de deformación vs la raíz del tiempo, en donde resaltaron con color amarillo los tres primeros puntos de consolidación. La línea roja corresponde a la línea de tendencia de estos, prolongada hasta intersectar el eje de las ordenadas, donde se localiza la deformación del t0%.

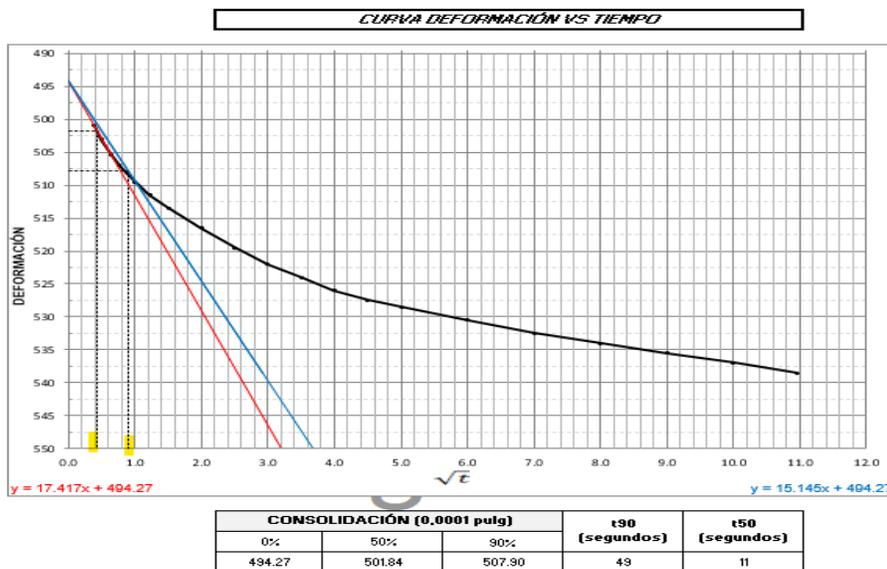
Fuente: tomado del documento de la empresa Geofísica S.A.S, [Captura], 2023

³⁰ MINISTERIO NACIONAL DE VÍAS. NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS. Sección 100 Suelos. Bogotá: Instituto Nacional de Vías, 2012. E-151-24 p, Inciso 11.5.2

Se observó que el valor del t_{90} (“tiempo requerido para que el espécimen alcance el 90% de consolidación, bajo el máximo incremento de esfuerzo normal, min^{31}) estuviera acorde a lo estipulado, es decir, se chequeó que se hubiera trazado una línea recta con origen en la deformación del 0% de la consolidación primaria y que la abscisa fuera la correspondiente a 1.15 de la línea de tendencia mencionada anteriormente, de este modo se consiguió el t_{90} con la intersección de esta línea recta y la curva.

Se tuvo en cuenta calcular correctamente el t_{50} , es decir que corresponda al 5/9 de la diferencia de entre 0 y 90 % de consolidación como se representa en la Gráfica 5.

Gráfica 5. Curva deformación del suelo con t_{90} y t_{50} señalados



Nota: en la parte superior se observa la curva de deformación vs tiempo, en las cuales se ubican dos líneas. La línea roja corresponde a la línea de tendencia de los primeros puntos, la línea azul tiene como origen el intercepto de la curva anterior y tiene la función de cortar la curva para obtener el t_{90} . Seguidamente, se encuentran las ecuaciones de las curvas con su respectivo color y finaliza con una tabla en la que se ubican los datos hallados con la gráfica.

Fuente: tomado del documento de la empresa Geofísica S.A.S, [Captura], 2023

³¹ MINISTERIO NACIONAL DE VÍAS. NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS. Sección 100 Suelos. Bogotá: Instituto Nacional de Vías, 2012. E-154-15 p, Inciso 8.10.2

El pasante verificó que se calcule correctamente el tiempo total estimado para alcanzar la falla, puesto que, se aplicó el producto de 11.6 y el t_{90} , por ser una curva bien definida en la compresión secundaria.

En el laboratorio se ensayaban las muestras por el método consolidado drenado, por lo tanto, para la determinación de la velocidad del corte la norma indica que el valor de desplazamiento lateral debe ser igual a 10mm (5”), pero, en la práctica se tomó igual a 3mm, originando una discrepancia.

Se pidió una explicación de lo evidenciado al coordinador del laboratorio, a lo que él sustentó que: “el valor propuesto por la norma es muy grande para que se ensayen los suelos del Valle y del Cauca, dado que, estos presentan unas deformaciones pequeñas y al tomar este valor no se puede evidenciar el comportamiento del suelo al ser cortado”³². Seguidamente, se dividió el desplazamiento lateral entre el tiempo total estimado para alcanzar la falla y se obtuvo la velocidad del corte.

Dado que la norma afirma que “Se elige y anota una velocidad de desplazamiento que sea igual o menor a la obtenida al aplicar la ecuación”³³, en términos de realizar el ensayo de una manera conservadora o segura. La empresa para mantener la calidad en sus ensayos asume que: “Si la velocidad es mayor a 0,05 mm/min se estima la velocidad real de 0,05 mm/min, pero si la velocidad es menor a 0,05 mm/min toma la velocidad teórica”³⁴

Para estandarizar los valores de velocidades y tiempos de corte, la empresa desarrolló la

Tabla 23, en este sentido, se pudo evidenciar que el tiempo empleado para la ejecución del ensayo es menor.

³² ROTAVISTA, Albeiro. Coordinador de laboratorio GEOFISICA S.A.S, 10 abril 2023.

³³ MINISTERIO NACIONAL DE VÍAS. NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS. Sección 100 Suelos. Bogotá: Instituto Nacional de Vías, 2012. E-154-17 p, Inciso 8.11.

³⁴ GEOFISICA S.A.S. FGLR-CORTEDIRECTOP6-6. Popayán Cauca, Colombia. 2023. Documentos de la empresa Geofísica S.A.S.

Por otra parte, se analizó y comparó esta tabla con lo exigido en la presente norma, para identificar que los rangos son menores a los indicados, lo cual fue muy útil porque se observó mejor el comportamiento que presentaban los datos.

Tabla 23. *Tiempos según la velocidad del corte.*

<i>TIEMPOS (min) SEGÚN VELOCIDAD m/min</i>				
<i>0.00001</i>	<i>0.00002</i>	<i>0.00003</i>	<i>0.00004</i>	<i>0.00005</i>
0	0	0	0	0
5	2	2	2	1
10	4	4	4	2
15	6	6	6	3
20	8	8	8	4
25	10	10	10	5
30	12	12	12	6
35	14	14	14	7
40	16	16	16	8
45	18	18	18	9
50	20	20	20	10
60	25	25	25	11
70	30	30	30	12
80	35	35	35	13
90	40	40	40	14
100	45	45	45	15
110	30	50	50	20
120	40	55	55	25
140	50	60	60	30
150	60	65	65	35
160	80	70	70	40
170	90	75	75	45
180	100	80	80	50
190	110	85	85	55
200	120	90	90	60
220	130	95	95	65
240	140	100	100	70
260	150	110	105	75
280	160	120	110	80
300	170	130	115	85
320	180	140	120	90
340	200	150	125	95
360	220	160	130	100
380	240	170	135	105
400	260	180	140	110
420	280	190	150	115
440	300	200	160	120
460	320	220	170	
480	340	240	180	

Nota: *contiene la clasificación de los tiempos para 5 velocidades de corte, donde se observa que a mayor velocidad de corte menores son los intervalos de tiempo ente lecturas.*

Fuente: tomado del documento de la empresa Geofísica S.A.S, [Captura], 2023

Para la mayoría de los ensayos realizados en el laboratorio se observó que el valor tomado de velocidad correspondía a 0.00005 m/min, por lo tanto, los suelos se cortaron en un tiempo de 2 horas (120min).

Se verificó que el porcentaje de humedad y el peso unitario se calcule correctamente, es decir que las fórmulas estuvieran de la siguiente manera:

$$\%Humedad = \frac{P1 - P2}{P2 - P3} * 100 \quad (4)$$

$$\gamma = \frac{P4 - P5}{V} \quad (5)$$

Donde:

P1: masa del recipiente con muestra húmeda

P4: masa del anillo con muestra húmeda

P2: masa del recipiente con muestra seca

P5: masa del anillo

V: volumen del anillo

P3: masa del recipiente

Se revisó que la deformación vertical fuera relativa para graficar las curvas, es decir, que se reste el primer valor. Seguidamente se chequeó el esfuerzo cortante con la ecuación (6):

$$\tau = \frac{F_s}{A} \quad (6)$$

Donde:

Fs: Fuerza cortante (KN)

A: Área de la caja de corte (m²)

Se identificó que en el informe se incluya la siguiente información:

- Las tablas con el esfuerzo normal nominal, el desplazamiento normal final y la duración de los incrementos de carga durante la consolidación como se ejemplifica en la Tabla 28.

Tabla 24. Ejemplo de tabla de consolidación

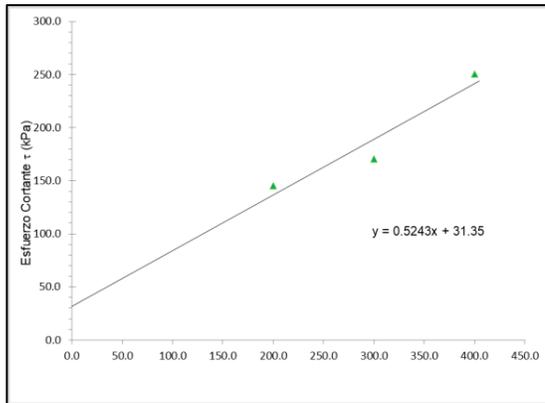
	TIEMPO min	\sqrt{t}	LECTURAS DE DEFORMACIÓN (0.001pulg)
0:00:09	0.15	0.4	501
0:00:15	0.25	0.5	503
0:00:25	0.42	0.6	506
0:00:35	0.58	0.8	507
0:00:45	0.75	0.9	508
0:01:00	1	1	510
0:01:30	1.5	1.2	512
0:02:15	2.25	1.5	514
0:04:00	4	2	517
0:06:15	6.25	2.5	520
...

Nota: Se observan las lecturas de deformación de un suelo ensayado en el laboratorio Geofísica S.A.S., hallando valores muy cercanos para las primeras lecturas. Además, se evidencia que, al aumentar los intervalos de tiempo, también aumentan significativamente los valores de las lecturas de deformación.

Fuente: tomado del documento de la empresa Geofísica S.A.S, [Captura], 2023

- Las tablas con el esfuerzo normal nominal, el esfuerzo cortante nominal, el desplazamiento lateral relativo, el desplazamiento normal y la velocidad de deformación durante el corte.
- La gráfica de la raíz cuadrada del tiempo versus la deformación para los incrementos de carga usados para determinar la rata de corte (Gráfica 5).
- La gráfica del esfuerzo cortante nominal versus el desplazamiento lateral.

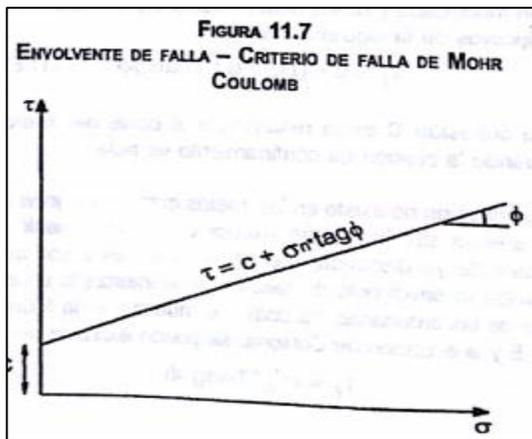
Gráfica 6. Ejemplo de curva de esfuerzo cortante nominal vs desplazamiento lateral.



Nota: se muestran la representación de los datos de esfuerzo cortante vs esfuerzo nominal, con su respectiva línea de tendencia cortando el eje de las ordenadas, simbolizando la cohesión.

Fuente: tomado del documento de la empresa Geofísica S.A.S, [Captura], 2023

Gráfica 7. Envolvente de falla-criterio de falla de Mohr Coulomb



Nota: se percibe que la inclinación de la línea de tendencia de los datos corresponde al ángulo de fricción y el intercepto a la cohesión.

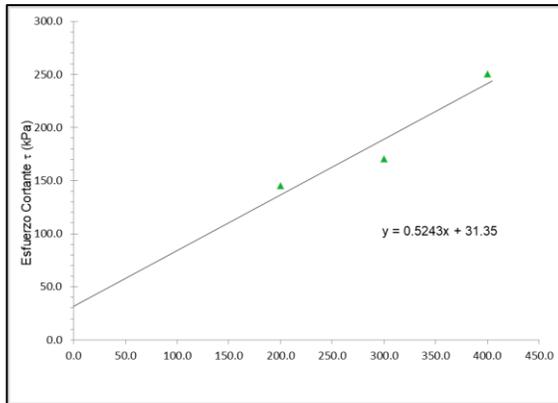
Fuente: tomado de Polanco, Margarita

Para el ángulo de fricción y la cohesión, se usó la Gráfica 6 de esfuerzo cortante nominal vs desplazamiento lateral, de este modo si se cumplió con lo indicado en la teoría de Mohr Coulomb representada en la Gráfica 7.

Durante este proceso de digitación el pasante pudo evidenciar la tendencia de la cohesión y el ángulo de fricción de los suelos según su origen, es decir, que los suelos del Cauca y del Valle poseen características propias, las cuales, a su vez,

dependen del tipo de material. A continuación, se anexan dos ejemplos en Tabla 29, Tabla 25, Tabla 26, Gráfica 8 y Gráfica 9 donde se evidencia las tendencias de los datos mencionadas anteriormente.

Gráfica 8. Curva de esfuerzo cortante nominal vs desplazamiento lateral de Arena limosa del departamento del Cauca



Nota: se muestra que la cohesión se determinó con el intercepto de las ordenadas, siendo igual a 31.35 KPa y la pendiente que representa la $\tan\phi$ es de 0.543.

Fuente: tomado del documento de la empresa Geofísica S.A.S, [Captura], 2023

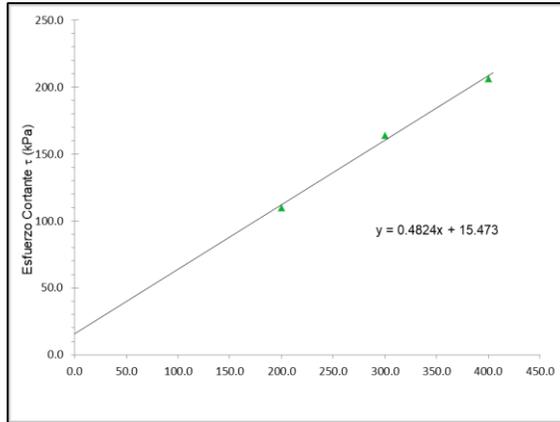
Tabla 25. Ángulo de fricción y cohesión de una Arena limosa del departamento del Cauca

MUESTRA N°	1	2	3
PESO UNITARIO γ_t (Kg/m ³)	1905.3	1905.69	1905.7
HUMEDAD (%)	13.7	13.7	13.7
σ_n (kPa)	200.0	300.0	400.0
τ (kPa)	145.35	170.36	250.21
m	0.5243		
\tan^{-1}	0.483		
Ángulo de fricción ϕ (°)	27.67		
Cohesión (kPa)	31.342		

Nota: se evidencia una arena limosa del Cauca con un ángulo de fricción aproximado de 28° y que presenta cohesión alta al tener presencia de partículas finas.

Fuente: tomado del documento de la empresa Geofísica S.A.S, [Captura], 2023

Gráfica 9. Curva de esfuerzo cortante nominal vs desplazamiento lateral de una arcilla inorgánica de baja plasticidad del departamento del Cauca



Nota: se muestra la ecuación de la línea de tendencia del ensayo de corte directo, indicándose la cohesión en el origen de la recta igual a 15.473 KPa y 0.4824 a la pendiente, que en este caso representa la $\tan\phi$.

Fuente: tomado del documento de la empresa Geofísica S.A.S, [Captura], 2023

Tabla 26. Ángulo de fricción y cohesión de una arcilla inorgánica de baja plasticidad del departamento del Cauca

MUESTRA N°	1	2	3
PESO UNITARIO γ_t (Kg/m ³)	2066.4	2066.72	2063.5
HUMEDAD (%)	20.4	20.4	20.0
σ_n (kPa)	200.0	300.0	400.0
τ (kPa)	109.98	164.14	206.46
m		0.4824	
\tan^{-1}		0.449	
Ángulo de fricción ϕ (°)		25.75	
Cohesión (kPa)		15.473	

Nota: se evidencia que las arcillas inorgánicas de baja plasticidad del Cauca presentan un ángulo de fricción aproximado de 26° y una cohesión baja, dado que, posee baja plasticidad.

Fuente: tomado del documento de la empresa Geofísica S.A.S, [Captura], 2023

Después de realizar diversas pruebas de corte directo a los suelos del Valle del Cauca y Cauca se tomó una muestra del ángulo de fricción y la cohesión para distintos tipos de suelos como se evidencia en el Anexo 1. Para analizar esta información, se realizó un estudio estadístico utilizando las siguientes ecuaciones de Excel:

$$\text{Media } (\mu) = \text{PROMEDIO}(\text{Rango}) \quad (7)$$

$$\text{Desviación estándar } S = \text{DESVEST.M}(\text{Rango}) \quad (8)$$

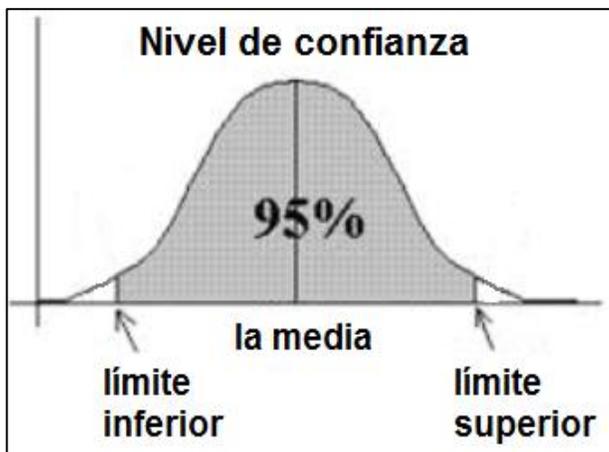
Con estos valores se calculó un intervalo de confianza, aplicando una confianza del 95% como se representa en la Imagen 43 y de este modo se obtuvo un margen de error por encima y por debajo del 2.5%.

$$\text{Límite inferior} = \mu - \text{INTERVALO.CONFIANZA}(\alpha; S; \mu) \quad (9)$$

$$\text{Límite superior} = \mu + \text{INTERVALO.CONFIANZA}(\alpha; S; \mu) \quad (10)$$

Alfa: $\alpha = 100\% - 95\% = 5\%$

Imagen 43. Intervalo de confianza del 95%



Nota: se muestra la representación gráfica del intervalo de confianza del 95%, donde el límite inferior y superior posee un error del 2.5%.

Fuente: sitio web, <http://www.learningaboutelectronics.com/Articulos/Calculadora-de-intervalo-de-confianza.php>

Tabla 27. Análisis estadístico del ángulo de fricción

Ángulo de fricción (°)					
Tipo de suelo		Arcilla	Limo	Arena fina	Arena gruesa
Promedio		23.71	25.92	27.54	30.54
Desviación estándar		2.248	0.579	0.479	2.153
Intervalos de confianza	Z ₁	22.8	25.7	27.4	29.8
	Z ₂	24.6	26.1	27.7	31.3

Nota: se muestran los intervalos de confianza dependiendo el ángulo de fricción para distintos tipos de suelo.

Fuente: Elaboración propia, 2023

Tabla 28. Análisis estadístico de cohesión

Cohesión (KPa)			
Tipo de suelo		Suelo fino	Suelo grueso
Promedio		26.205	20.092
Desviación estándar		4.301	6.737
Intervalos de confianza	Z ₁	24.6	17.1
	Z ₂	27.9	23.0

Nota: se muestran los intervalos de confianza dependiendo la cohesión para distintos tipos de suelos con base en la media muestral y la desviación estándar.

Fuente: Elaboración propia, 2023

Según los intervalos de confianza calculados en las tablas anteriores, se obtiene que el ángulo de fricción y la cohesión son características representativas y significativas del tipo de suelo. Por lo tanto, si se tiene la clasificación del tipo de suelo, se puede inferir su ángulo de fricción y cohesión con la

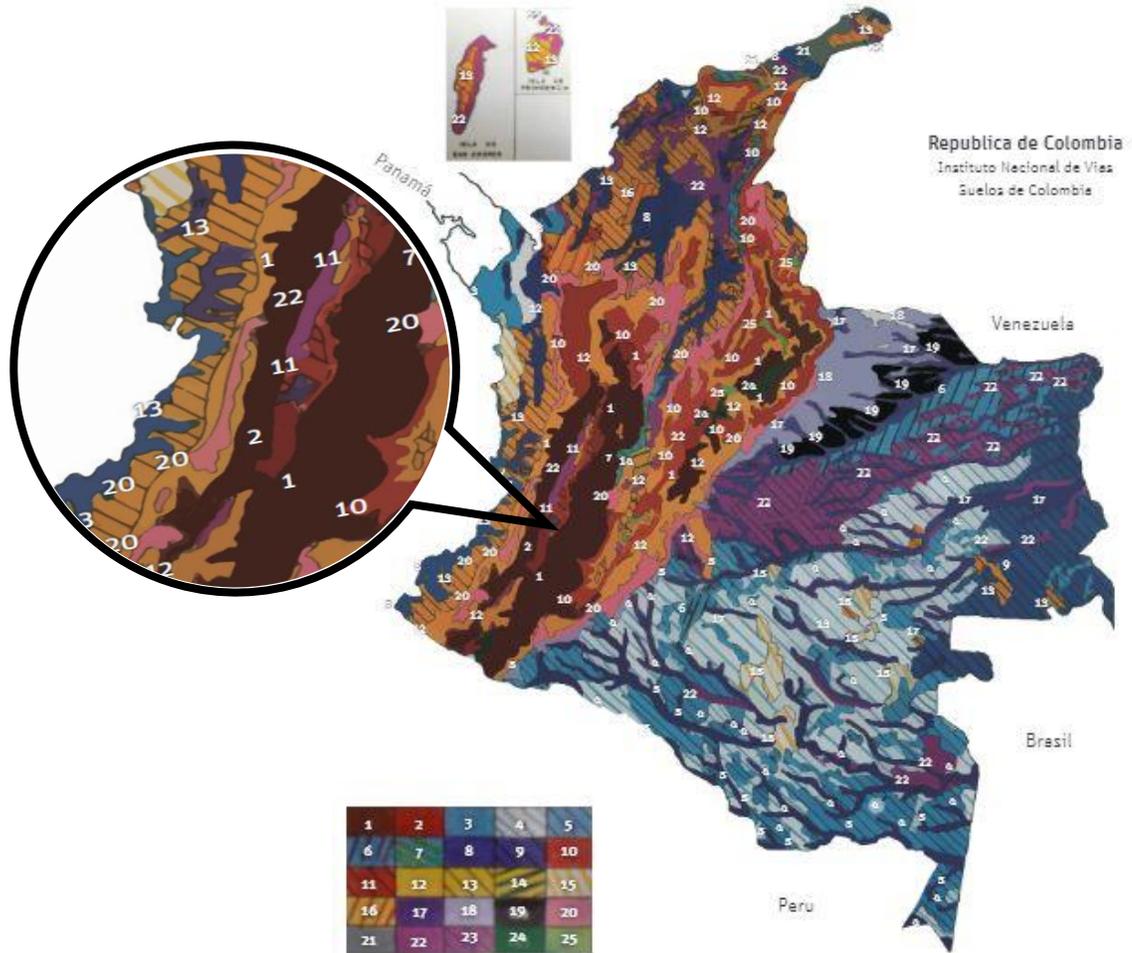
Tabla 27 y Tabla 28 respectivamente, con un margen de error del 5%. Es decir, que al tener un limo existe una probabilidad del 95% de obtener un ángulo de fricción entre 25.7 y 26.1°, y su cohesión estará entre 24.6 y 27.9 KPa.

Analizando estos valores según las características regionales, se evidenció que son consecuencia de la actividad sísmica recurrente en el Cauca y Valle del Cauca, pues al encontrarse rodeado de volcanes, sus suelos presentan una incidencia considerable de cenizas volcánicas según lo evidenciado en la Imagen 44 y Tabla 29 e igualmente “presentan relaciones de vacíos muy elevadas”³⁵. Lo que significa que, al cimentar sobre ellos sin estudios previos, se pueden originar grandes asentamientos.

Por otro lado, durante la manipulación de muestras en este ensayo de corte directo, se destacó el predominio de los suelos muy duros para el Valle del Cauca como se corrobora en la Tabla 29. Además, se observó que estos suelos al entrar en contacto con el agua la absorben produciendo expansión, y al secarse, se contraen originando grandes cambios volumétricos. Por lo tanto, es muy evidente la importancia de realizar un ensayo de corte previo, dado que, al elegir un suelo con estas características contracto-expansivas para fundación, sin antes chequear o evaluar que la carga admisible sea superior a las cargas impuestas, a futuro se podrían generar grandes problemas de fracturas en las estructuras.

³⁵ A. Lizcano, M.C. Herrera y J.C. Santamarina. Suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia. Universidad de Los Andes, Rev. Int. de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil. Vol. 6(2), “Suelos derivados de cenizas volcánicas presentan relaciones de vacíos muy elevadas”, 2006.

Imagen 44. Mapa de suelos de Colombia



Nota: se observa el mapa de Colombia con diferentes números y tonalidades. En la parte inferior se muestra una tabla, en la que se indica el color correspondiente a cada número. En la parte izquierda se amplían los departamentos del Cauca y Valle del Cauca.

Fuente: Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito. Capítulo 4: Caracterización del valor representativo de respuesta de la subrasante, [Figura 4.1-Mapa de suelos de Colombia], 78 p

Tabla 29. Suelos del Cauca y Valle del Cauca

DPTO	CONVENCIÓN	DESCRIPCIÓN	CLIMA
CAUCA	1. Café	Cenizas volcánicas con abundancia de fragmentos rocosos limo-arenosos, ubicados en montañas.	De medio a frío con altas humedades.
	2. Rojo claro	Cenizas volcánicas, limo-arenosas, ubicadas en lomeríos y altiplanicies.	Fríos húmedos.
	10. Naranja	Cenizas volcánicas, limo arenosas, ubicadas en montañas.	Medios, húmedos y muy húmedos.
	13. Amarillo rayas negras	Suelos con altos contenidos de fragmentos de roca y afloramientos rocosos, ubicados en relieve quebrado.	Cálido y muy húmedo.
	20. Rosado	Suelos arcillo arenosos, ubicados en montaña.	Cálidos húmedos y muy húmedos.
VALLE DEL CAUCA	1. Café	Cenizas volcánicas con abundancia de fragmentos rocosos limo-arenosos, ubicados en montañas.	De medio a frío con altas humedades.
	11. Naranja rayas negras	Cenizas volcánicas con altos contenidos de arcillas, ubicadas en pie de montañas.	Cálidos, secos y húmedos.
	22. Magenta	Suelos de planicies y valles aluviales, areno arcillosos.	Cálidos, secos y húmedos.

Nota: se muestran los tipos de suelos que contienen los departamentos del Cauca y Valle del Cauca según lo evidenciado con la imagen 43.

Fuente: Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito. Capítulo 4: Caracterización del valor representativo de respuesta de la subrasante, [tabla 4.1- Principales suelos de Colombia], 76-77 p.

7. CONCLUSIONES

7.1. Durante la visita a campo se realizó la supervisión del ensayo de asentamiento ejecutado por el laboratorio Geofísica S.A.S, donde se evidenció la importancia de ejecutar este ensayo al concreto, siguiendo los procedimientos descritos en la normativa NTC 3696; el valor cumplió la función de indicar la calidad y consistencia de la mezcla, evitando que se originen problemas constructivos al tener una mezcla muy fluida o dura.

7.2. En la supervisión del ensayo de elaboración y curado de cilindros de concreto se identificó que se cumplieran con todas las especificaciones descritas en la NTC 550 y en la INV E – 420 – 13.

7.3. En la visita a campo en la obra de construcción, rehabilitación y mejoramiento vial del tramo 5b de Popayán, se observó que no es conveniente y no está permitido por la norma, que se compacte el material una capa tras otra en una vía, sin antes realizar el respectivo ensayo de densidad, dado que, si no cumple con las especificaciones se debe remover la capa superior, perdiendo tiempo y por consiguiente dinero.

7.4. En la actualización del plano arquitectónico la pasante tuvo la oportunidad de contar con la ayuda de un auxiliar para la toma de medidas, lo que le permitió desarrollar habilidades de liderazgo, mediante la asignación y observación de los procedimientos a ejecutar. Por otra parte, la pasante fortaleció los conocimientos técnicos y teóricos para el manejo del software AutoCAD, siendo de gran utilidad para su vida profesional.

7.5. Con la elaboración de informes se evidenció que los materiales granulares del Valle del Cauca, bajo la condición consolidada drenada, presentan altos ángulos de fricción. Además, se identificó que los suelos arcillosos como los del Cauca bajo esta misma condición poseían una alta cohesión entre sus partículas.

7.6. En la búsqueda de los valores típicos del ángulo de fricción de los suelos del Cauca y Valle del Cauca, se encontró que están entre 22.8 y 26.1° para suelos finos, y de 27.4 a 31.3° para suelos gruesos. Por otro lado, la cohesión presentó valores típicos de entre 24.6 y 27.9 KPa para suelos finos, y 17.1 a 23.0 KPa para suelos gruesos.

7.7. Mediante la digitación del ensayo de corte directo se apreció su importancia en la ingeniería civil, puesto que, al otorgar información sobre el ángulo de fricción interna de un suelo, permite conocer cómo se deben manejar los taludes o cortes en el terreno. De igual manera, se evidenció que al obtener la cohesión se puede identificar la interacción del agua y el suelo, indicando si existe una unión de las partículas o que, por el contrario, trabajen de forma separada, originando el desprendimiento del terreno que causan daños a las estructuras.

7.8. La pasante realizó el control de calidad de los equipos mediante la revisión de certificados de calibración y la evaluación visual de estos, corroborando que todos los equipos de ensayo cumplían con la reglamentación exigida; a excepción del equipo pie de rey análogo, que no contando con el sello de calibración la pasante tuvo que comprobar su funcionalidad, por medio de la comparación de resultados con un pie de rey digital calibrado, determinando que el equipo si estaba dando resultados precisos. Mediante el control de calidad de los equipos la estudiante noto la importancia de garantizar la operación de estos, pues son los que definen las características de los materiales a evaluar.

7.9. Se puede concluir que la pasante cumplió con sus objetivos propuestos, dado que, identificando las normas exigidas por la reglamentación del país, pudo ayudar de manera correcta a la empresa Geofísica S.A.S. Además, el desarrollo de la pasantía posibilitó que la estudiante tuviera una visión más amplia y asentada de la realidad, desarrollando un criterio que le permite dimensionar las consecuencias que conlleva tomar una decisión en cada proyecto y asociarlas con los problemas cotidianos y reales de la sociedad.

8. BIBLIOGRAFÍA

DANE - DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA. Glosario obras civiles. DANE [página web]. [Consultado el 1, febrero, 2023]. Disponible en Internet: <<https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/construccion/indicador-de-inversion-en-obras-civiles/glosario-obras-civiles#:~:text=Obras%20civiles:%20conjunto%20de%20activos,%20comunicación,%20recreación,%20etc.>>

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL. Resolución No. 8.3.2-90.13. 440. Popayán, 2022. 2 p.

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. NSR-10: REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE. Capítulo H.1 – Introducción. Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010. 1440 p.

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. NSR-10: REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE. Capítulo A1 — Introducción. Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, .2010. 44 p.

MINISTERIO NACIONAL DE VÍAS. NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS. Sección 400 concreto hidráulico. Bogotá: Instituto Nacional de Vías, 2012. E-401 p.

MINISTERIO NACIONAL DE VÍAS. NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS. Sección 400 concreto hidráulico. Bogotá: Instituto Nacional de Vías, 2012. E-404 p.

MINISTERIO NACIONAL DE VÍAS. NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS. Sección 400 concreto hidráulico. Bogotá: Instituto Nacional de Vías, 2012. E-420 p.

SOACHA ORTEGA, ADRIANA DEL PILAR y CAMACHO TAUTA, JAVIER FERNANDO. Construcción de la máquina para el ensayo de corte directo en suelos. En: REVISTA DE LA FACULATAD DE INGENIERÍA UNIVERSIDAD NUEVA GRANADA. 1, junio, 1995. vol. 3, p. 86.

ONCEBAY CUYA, EDGAR. Determinación de las isócronas de consolidación unidimensional para cimentación en arcillas del Centro Educativo de Moya, Distrito

de Quinoa-Ayacucho. Trabajo de grado. Ayacucho - Perú: Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, 2018. 178 p.

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. NSR-10: REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE. Capítulo A.2 — Zonas de amenaza sísmica y movimientos sísmicos de diseño. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010. A-13 – A-38 p.

GUERRÓN AVECILLAS, SILVIA ALEXANDRA. Comparación de resultados de densidad de campo por los métodos cono y arena, volumétrico y densímetro nuclear. Trabajo de grado. QUITO – ECUADOR: UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR, 2013. 4 p.

MINISTERIO NACIONAL DE VÍAS. NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS. Sección 100 Suelos. Bogotá: Instituto Nacional de Vías, 2012. E-161 p.

MINISTERIO NACIONAL DE VÍAS. NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS. Sección 100 Suelos. Bogotá: Instituto Nacional de Vías, 2012. E-150 p.

SÁNCHEZ DE GUZMÁN, DIEGO y UNIVERSIDAD JAVERIANA. Tecnología del concreto y del mortero. 5a ed. Bogotá: Bhandar editores, 2001. 321 - 322 p. ISBN 9589247040.

MINISTERIO NACIONAL DE VÍAS. NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS. Capítulo 3 – Afirmados subbases y bases. Bogotá: Especificaciones generales de construcción de carreteras, 2012. Artículo 320.

MINISTERIO NACIONAL DE VÍAS. NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS. Sección 100 Suelos. Bogotá: Instituto Nacional de Vías, 2012. E-143 p.

MINISTERIO NACIONAL DE VÍAS. NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS. Sección 100 Suelos. Bogotá: Instituto Nacional de Vías, 2012. E-122 p.

MINISTERIO NACIONAL DE VÍAS. NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS. Capítulo 3 – Afirmados subbases y bases. Bogotá: Especificaciones generales de construcción de carreteras, 2012. Artículo 320. Ítem 320.5.2.2.2 Compactación.

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. NSR-10: REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE. Capítulo H.2 —

Definiciones. Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010. H.2.1.1.

¿Qué es el Sondaje SPT? ENSAYOS de Suelos [GRATIS] [Anónimo]. Geotecnia y Mecánica de Suelos [página web]. [Consultado el 5, abril, 2023]. Disponible en Internet: <<https://geotecniaymecanicasuelosabc.com/sondaje-spt/>>.

LIBRO DE color de suelos Munsell - Maser [Anónimo]. Maser [página web]. [Consultado el 5, abril, 2023]. Disponible en Internet: <<http://maser.com.co/producto/libro-de-color-de-suelos-munsell/>>.

GEOFÍSICA S.A.S. FGLR-CORTEDIRECTOP6-6. Popayán Cauca, Colombia. 2023. Documentos de la empresa Geofísica S.A.S.

A. Lizcano, M.C. Herrera y J.C. Santamarina. Suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia. Universidad de Los Andes, Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil. Vol. 6,2006

INVIAS, MINTRANSPORTE. Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito. Popayán: Universidad del Cauca, 2018. p.

JIMÉNEZ GARCÍA, Eugenio y MELENTIJEVIC, Svetlana. Aplicación de ensayos de centrífuga en distintas técnicas de mejora del terreno. En: Ingeniería civil. 2015. no. 180, p. 19-32. ISSN 0213-8468.

Ciudadela en bosque – Gracol S.A.S. [video]. Junio, 2020. https://www.youtube.com/watch?v=JY0hsnluvMU&ab_channel=vivaestudios7

El bosque ciudadela - casas y apartamentos – (VIS) Popayán – Cauca. [presentación Power Point] <https://gracolsas.com/wp-content/uploads/2022/01/PRESENTACION-BOSQUE-ENCANTADO-V1-Agosto.pdf>

9. ANEXOS

Anexo 1. Datos suministrados por el laboratorio Geofísica S.A.S. para estudio estadístico del ensayo de corte directo para suelos del Valle del Cauca y Cauca.

	Localización	Tipo de suelo		Ángulo de fricción (°)	Cohesión (Kpa)
1	Vía Silvia - Jambaló, Cauca	Arcilla	SUELO FINO	14.44	24.726
2	Yotoco, Valle del Cauca	Arcilla	SUELO FINO	21.24	19.126
3	Barrio Terronal urbanización villa Rica - Cabecera municipal de Villa Rica, Cauca	Arcilla	SUELO FINO	21.77	28.660
4	Yotoco, Valle del Cauca	Arcilla	SUELO FINO	22.1	28.871
5	Yotoco, Valle del Cauca	Arcilla	SUELO FINO	22.54	25.341
6	Yotoco, Valle del Cauca	Arcilla	SUELO FINO	23.75	31.601
7	Yotoco, Valle del Cauca	Arcilla	SUELO FINO	24.21	26.544
8	Yotoco, Valle del Cauca	Arcilla	SUELO FINO	24.24	22.262
9	Vía Silvia - Jambaló, Cauca	Arcilla	SUELO FINO	24.28	30.408
10	Vía Silvia - Jambaló, Cauca	Arcilla	SUELO FINO	24.28	25.927
11	Vía Silvia - Jambaló, Cauca	Arcilla	SUELO FINO	24.44	30.207
12	Vía Silvia - Jambaló, Cauca	Arcilla	SUELO FINO	24.5	24.430
13	Vía Silvia - Jambaló, Cauca	Arcilla	SUELO FINO	24.52	24.360
14	Campo bello - Popayán, Cauca	Arcilla	SUELO FINO	24.61	27.160
15	Yotoco, Valle del Cauca	Arcilla	SUELO FINO	24.61	28.034
16	Yotoco, Valle del Cauca	Arcilla	SUELO FINO	24.66	13.346
17	Vía Silvia - Jambaló, Cauca	Arcilla	SUELO FINO	24.67	28.656

	Localización	Tipo de suelo		Ángulo de fricción (°)	Cohesión (Kpa)
18	Vía Silvia - Jambaló, Cauca	Arcilla	SUELO FINO	24.67	25.537
19	Municipio de Sevilla, Valle del Cauca	Arcilla	SUELO FINO	24.67	30.960
20	Municipio de Sevilla, Valle del Cauca	Arcilla	SUELO FINO	24.83	25.780
21	Yotoco, Valle del Cauca	Arcilla	SUELO FINO	24.85	27.594
22	Campo bello - Popayán, Cauca	Arcilla	SUELO FINO	25.03	26.160
23	Vía Silvia - Jambaló, Cauca	Arcilla	SUELO FINO	25.07	21.050
24	Vía Silvia - Jambaló, Cauca	Arcilla	SUELO FINO	25.15	25.517
25	Vía Silvia - Jambaló, Cauca	Limo	SUELO FINO	25.15	16.651
26	Vía Silvia - Jambaló, Cauca	Limo	SUELO FINO	25.15	26.166
27	Vía Silvia - Jambaló, Cauca	Limo	SUELO FINO	25.23	29.587
28	Instituto Técnico Agropecuario y forestal, vereda Fondas, Municipio del El Tambo, Cauca	Limo	SUELO FINO	25.23	26.953
29	Campo bello - Popayán, Cauca	Limo	SUELO FINO	25.3	24.280
30	Vía Silvia - Jambaló, Cauca	Limo	SUELO FINO	25.38	27.733
31	Vía Silvia - Jambaló, Cauca	Limo	SUELO FINO	25.46	26.054
32	Vía Silvia - Jambaló, Cauca	Limo	SUELO FINO	25.46	30.445
33	Vía Silvia - Jambaló, Cauca	Limo	SUELO FINO	25.62	29.793
34	Vía Silvia - Jambaló, Cauca	Limo	SUELO FINO	25.62	25.561
35	Campo bello - Popayán, Cauca	Limo	SUELO FINO	25.67	31.248

	Localización	Tipo de suelo		Ángulo de fricción (°)	Cohesión (Kpa)
36	Vía Silvia - Jambaló, Cauca	Limo	SUELO FINO	25.69	20.987
37	Yotoco, Valle del Cauca	Limo	SUELO FINO	25.76	17.856
38	Vía Silvia - Jambaló, Cauca	Limo	SUELO FINO	25.77	25.203
39	Yotoco, Valle del Cauca	Limo	SUELO FINO	25.77	28.902
40	Vía Silvia - Jambaló, Cauca	Limo	SUELO FINO	25.85	29.624
41	Vía Silvia - Jambaló, Cauca	Limo	SUELO FINO	25.85	25.565
42	Vía Silvia - Jambaló, Cauca	Limo	SUELO FINO	26.16	28.653
43	Vía Silvia - Jambaló, Cauca	Limo	SUELO FINO	26.16	25.837
44	Vía Silvia - Jambaló, Cauca	Limo	SUELO FINO	26.31	26.440
45	Yotoco, Valle del Cauca	Limo	SUELO FINO	26.58	29.575
46	Barrio Santa Isabel - Cartago, Valle del Cauca	Limo	SUELO FINO	26.62	13.370
47	Barrio Santa Isabel - Cartago, Valle del Cauca	Limo	SUELO FINO	26.64	26.333
48	Vía Silvia - Jambaló, Cauca	Limo	SUELO FINO	26.7	31.512
49	Vía Silvia - Jambaló, Cauca	Limo	SUELO FINO	26.7	28.815
50	Vía Silvia - Jambaló, Cauca	Limo	SUELO FINO	26.93	32.522
51	Vía Silvia - Jambaló, Cauca	Limo	SUELO FINO	27	28.529
52	Vía Silvia - Jambaló, Cauca	Arena fina	SUELO GRUESO	27.08	18.759
53	Vía Silvia - Jambaló, Cauca	Arena fina	SUELO GRUESO	27.08	27.137
54	Vía Silvia - Jambaló, Cauca	Arena fina	SUELO GRUESO	27.15	14.718
55	Vía Silvia - Jambaló, Cauca	Arena fina	SUELO GRUESO	27.15	20.732

	Localización	Tipo de suelo		Ángulo de fricción (°)	Cohesión (Kpa)
56	Vía Silvia - Jambaló, Cauca	Arena fina	SUELO GRUESO	27.23	19.117
57	Vía Silvia - Jambaló, Cauca	Arena fina	SUELO GRUESO	27.3	51.943
58	Vía Silvia - Jambaló, Cauca	Arena fina	SUELO GRUESO	27.38	15.505
59	Campo bello - Popayán, Cauca	Arena fina	SUELO GRUESO	27.63	24.000
60	Vía Silvia - Jambaló, Cauca	Arena fina	SUELO GRUESO	27.77	19.752
61	Municipio de Sevilla, Valle del Cauca	Arena fina	SUELO GRUESO	28	20.900
62	Municipio de Morales, Cauca	Arena fina	SUELO GRUESO	28.28	21.050
63	Puente peatonal sobre río cañas, municipio de florida, Valle del Cauca	Arena fina	SUELO GRUESO	28.43	17.140
64	Barrio Santa Isabel - Cartago, Valle del Cauca	Arena gruesa	SUELO GRUESO	28.72	13.810
65	Municipio de Sevilla, Valle del Cauca	Arena gruesa	SUELO GRUESO	29	23.300
66	Municipio de Sevilla, Valle del Cauca	Arena gruesa	SUELO GRUESO	29	17.300
67	Puente peatonal sobre río cañas, municipio de florida, Valle del Cauca	Arena gruesa	SUELO GRUESO	29.02	23.500
68	Río desbaratado, vía florida - Chococito - El ortigal, Valle del Cauca	Arena gruesa	SUELO GRUESO	29.38	11.860
69	Río desbaratado, vía florida - Chococito - El	Arena gruesa	SUELO GRUESO	29.38	17.100

	Localización	Tipo de suelo		Ángulo de fricción (°)	Cohesión (Kpa)
	ortigal, Valle del Cauca				
70	Río desbaratado, vía florida - Chococito - El ortigal, Valle del Cauca	Arena gruesa	SUELO GRUESO	29.38	24.000
71	Puente peatonal sobre río cañas, municipio de florida, Valle del Cauca	Arena gruesa	SUELO GRUESO	29.6	18.780
72	Puente peatonal sobre río cañas, municipio de florida, Valle del Cauca	Arena gruesa	SUELO GRUESO	29.67	21.510
73	Puente peatonal sobre río cañas, municipio de florida, Valle del Cauca	Arena gruesa	SUELO GRUESO	29.67	24.940
74	Vía Silvia - Jambaló, Cauca	Arena gruesa	SUELO GRUESO	29.74	16.818
75	Río desbaratado, vía florida - Chococito - El ortigal, Valle del Cauca	Arena gruesa	SUELO GRUESO	29.74	14.080
76	Municipio de Sevilla, Valle del Cauca	Arena gruesa	SUELO GRUESO	30	19.500
77	Vía Silvia - Jambaló, Cauca	Arena gruesa	SUELO GRUESO	30.03	18.735
78	Río desbaratado, vía florida - Chococito - El ortigal, Valle del Cauca	Arena gruesa	SUELO GRUESO	30.31	17.040
79	Río desbaratado, vía florida - Chococito - El	Arena gruesa	SUELO GRUESO	30.6	16.950

	Localización	Tipo de suelo		Ángulo de fricción (°)	Cohesión (Kpa)
	ortigal, Valle del Cauca				
80	Puente peatonal sobre río cañas, municipio de florida, Valle del Cauca	Arena gruesa	SUELO GRUESO	31.02	16.560
81	Puente peatonal sobre río cañas, municipio de florida, Valle del Cauca	Arena gruesa	SUELO GRUESO	32.62	21.690
82	Vereda cinco días, municipio de Timbío, Cauca	Arena gruesa	SUELO GRUESO	33.64	15.100
83	Municipio de Sevilla, Valle del Cauca	Arena gruesa	SUELO GRUESO	33.02	22.400
84	Municipio de Sevilla, Valle del Cauca	Arena gruesa	SUELO GRUESO	37.87	17.300

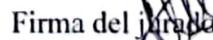
NOTA DE ACEPTACIÓN

El director y los jurados han evaluado este documento, escuchando la sustentación del mismo por su autor y lo encuentran satisfactorio, por lo cual autorizan al egresado para que desarrolle las gestiones administrativas para optar al título de Ingeniero Civil.



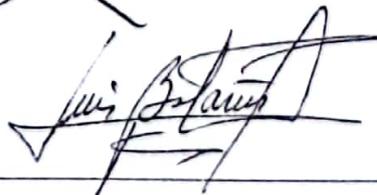
A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Palabay', written above a horizontal line.

Firma del presidente del Jurado



A handwritten signature in black ink, consisting of a dense, circular scribble, written above a horizontal line.

Firma del jurado



A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Luis Blanes', written above a horizontal line.

Firma del director

Popayán, Septiembre de 2023.