	GESTIÓN DE SERVICIOS ACADÉMICOS Y BIBLIOTECARIOS	CÓDIGO	FO-GS-15
		VERSIÓN	02
	ESQUEMA HOJA DE RESUMEN	FECHA	03/04/2017
		PÁGINA	1 de 1
ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ	
Jefe División de Biblioteca	Equipo Operativo de Calidad	Líder de Calidad	

RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTOR(ES): NOMBRES Y APELLIDOS COMPLETOS

NOMBRE(S): Jose Miguel **APELLIDOS:** Canavate Parra

FACULTAD: Ingeniería

PLAN DE ESTUDIOS: Ingeniería Civil

DIRECTOR:

NOMBRE(S): Claudia Patricia **APELLIDOS:** Chaustre Sanchez

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS): DISEÑO DE PLAN DE MONITOREO CON INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA EN EL ACOPIO TEMPORAL B6A UBICADO ENTRE LAS ABSCISAS K12+500 Y K12+750 EN UN SECTOR CONOCIDO COMO "EL GUAMO" DENTRO DEL PROYECTO AUTOPISTA CONEXIÓN PACIFICO 1 EN EL DPTO. DE ANTIOQUIA

El desarrollo de la infraestructura del país presenta grandes retos y trae consigo la ejecución de obras de alta complejidad, las cuales requieren monitoreos constantes que permitan conocer con mayor claridad el comportamiento del suelo antes, durante y después de terminar las actividades de construcción. Este plan de monitoreo geotécnico se compone de un sistema de medición con inclinómetros, piezómetro y puntos de control topográfico para la recolección periódica de datos.

PALABRAS CLAVES: (ESCRIBIR MÁXIMO 5)

-Monitoreo Geotécnico. -Zodme. -Inclinómetro. -Piezómetro. -Litoestratigrafía.

CARACTERÍSTICAS:

PÁGINAS: 124 **ILUSTRACIONES:** 56 **PLANOS:** NO **CD ROOM:** NO

ACTA DE SUSTENTACION DE TRABAJO DE GRADO

FECHA: 23 DE MAYO DE 2023 HORA: 10:00 a. m.

LUGAR: SALA DE JUNTAS INGENIERIA CIVIL

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERIA CIVIL

TITULO DE LA TESIS: "DISEÑO DE PLAN DE MONITOREO CON INSTRUMENTACION GEOTECNICA EN EL ACOPIO TEMPORAL B6A UBICADO ENTRE LAS ABCISAS K12+500 Y K12+750 EN UN SECTOR CONOCIDO COMO "EL GUAMO", DENTRO DEL PROYECTO AUTOPISTA CONEXIÓN PACIFICO I EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA".

JURADOS: ING. JOSE HERNANDO GARCIA JAIMES
ING. JORGE IVAN ARIAS FLOREZ

DIRECTOR: INGENIERA CLAUDIA PATRICIA CHAUSTRE SANCHEZ

NOMBRE DE LOS ESTUDIANTES:	CODIGO	CALIFICACION
		NUMERO LETRA
JOSE MIGUEL CANAVATE PARRA	1112576	4,0 CUATRO, CERO

APROBADA


ING. JOSE HERNANDO GARCIA JAIMES


ING. JORGE IVAN ARIAS FLOREZ

Vo. Bo. 
JAVIER ALFONSO CARDENAS GUTIERREZ
Coordinador Comité Curricular

Betty M.

DISEÑO DE PLAN DE MONITOREO CON INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA EN EL
ACOPIO TEMPORAL B6A UBICADO ENTRE LAS ABCISAS K12+500 Y K12+750 EN
UN SECTOR CONOCIDO COMO “EL GUAMO” DENTRO DEL PROYECTO AUTOPISTA
CONEXIÓN PACIFICO 1 EN EL DPTO. DE ANTIOQUIA

JOSE MIGUEL CANAVATE PARRA

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS
INGENIERÍA CIVIL
SAN JOSE DE CÚCUTA
2022

DISEÑO DE PLAN DE MONITOREO CON INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA EN EL
ACOPIO TEMPORAL B6A UBICADO ENTRE LAS ABCISAS K12+500 Y K12+750 EN
UN SECTOR CONOCIDO COMO “EL GUAMO” DENTRO DEL PROYECTO AUTOPISTA
CONEXIÓN PACIFICO 1 EN EL DPTO. DE ANTIOQUIA

JOSE MIGUEL CANAVATE PARRA

Proyecto presentado para optar por el título de ingeniero civil

Director

CLAUDIA PATRICIA CHAUSTRE SANCHEZ
ING. CIVIL, ESP. PRACTICA PEDAGOGICA UNIVERSITARIA, MAGISTER EN CIENCIA
Y TECNOLOGIA DE MATERIALES

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS

INGENIERÍA CIVIL

SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2022

Contenido

Introducción	15
1. Problema	16
1.1. Título	16
1.2. Planteamiento del problema	16
1.3. Formulación del problema	17
1.4. Objetivos	18
1.4.1. Objetivo general	18
1.4.2. Objetivos específicos	18
1.5. Justificación	19
1.6. Alcances y limitaciones	19
1.6.1. Alcances	19
1.6.2. Limitaciones	20
1.7. Delimitaciones	20
1.7.1. Delimitación especial	20
1.7.2. Delimitación temporal	20
1.7.3. Delimitación conceptual	20
2. Marco referencial	21
2.1. Antecedentes	21
2.2. Marco teórico	23
2.2.1. Zona de Disposición de Material de Excavación Sobrante (ZODME)	23
2.2.2. Geología regional donde se encuentra el sector del guamo	24
2.2.3. Litoestratigrafía general de la zona de estudio	25
2.2.3.1. Paleozoico	26

2.2.3.2. Cretáceo	26
2.2.3.3. Paleógeno	27
2.2.3.4. Neógeno	28
2.2.4. Tectónica	29
2.2.5. Topografía Regional donde se encuentra el sector del guamo	30
2.2.6. Sistema de monitoreo empleado con inclinómetros	32
2.2.6.1. Inclinómetro RST MEMS digital	32
2.2.6.2. Software Inclinalysis de análisis de inclinómetro digital	34
2.2.6.3. Tubería para inclinómetro digital RST	36
2.2.6.4. Ejes de la sonda Inclinómetro Digital RST	37
2.2.7. Sistema de Monitoreo Empleado con Piezómetros	39
2.2.7.1. Medidor de Nivel de Agua RST	39
2.2.7.2. Tubería ranurada para piezómetro	40
2.2.8. Sistema de monitoreo con puntos de control topográficos	41
2.2.9. Herramientas para la recolección de datos en el sistema de monitoreo con puntos de control topográficos	42
2.2.9.1. Estación topográfica total	43
2.2.6.4. Estación RTK (Real Time Kinematic)	44
2.3. Marco contextual	45
2.3.1. Localización de la zona de estudio	45
2.3.2. Clima y Temperatura de la zona de estudio	47
2.4. Marco legal	49
3. Diseño metodológico	50
3.1. Tipo de investigación	50
3.2. Población y Muestra	51

3.2.1.	Población	51
3.2.2.	Muestra	51
3.5.	Presentación de resultados	52
4.	Fases del proyecto	53
4.1.	Fase 1: Analizar estudios geológicos	53
4.2.	Fase 2: Analizar la topografía de la zona	56
4.3.	Fase 3: Reconocer los puntos claves para la instalación de los inclinómetros, piezómetros y puntos de control topográfico	58
4.3.1.	Ubicación de los puntos y Profundidad de diseño para la exploración directa e instalación de los inclinómetros y piezómetro	58
4.3.2.	Ubicación de los puntos de control topográfico en la zona	59
4.4.	Fase 4: Costo de la exploración geotécnica directa e indirecta en el acopio temporal B6A	61
4.5.	Fase 5: Examinar y describir las muestras recuperadas en campo	62
4.5.1.	Sondeo P1 – Inclinómetro 01 (E:1144821; N:1156556)	63
4.5.1.1.	Perfil estratigráfico de perforación - sondeo P1 – Inclinómetro 01	68
4.5.2.	Sondeo P2 – Piezómetro 02 (E:1144918; N:1156456)	69
4.5.2.1.	Perfil estratigráfico de perforación - sondeo P2 – Piezómetro 02	73
4.5.3.	Sondeo P3 – Inclinómetro 03 (E:1144849; N:1156369)	74
4.5.3.1.	Perfil estratigráfico de perforación - sondeo P3 – Inclinómetro 03	78
4.5.4.	Sondeo P4 – Inclinómetro 04 (E:1144731; N:1156422)	79
4.5.4.1.	Perfil estratigráfico de perforación - sondeo P4 – Inclinómetro 04	83
4.6.	Fase 6: Diseño del plan de monitoreo geotécnico	84
4.6.1.	Sistema de monitoreo empleado con inclinómetros	88
4.6.2.	Sistema de monitoreo empleado con piezómetros	89

4.6.3.	Sistema de monitoreo empleado con puntos de control topográficos	90
4.7.	Fase 6: Análisis e interpretación de datos	91
4.7.1.	Lecturas recolectadas en el punto de control P1 – Inclinómetro 01	91
4.7.2.	Lecturas recolectadas en el punto de control P3 – Inclinómetro 03	96
4.7.3.	Lecturas recolectados en el punto de control P4 – Inclinómetro 04	101
4.7.4.	Lecturas recolectadas en el punto de control P2 – Piezómetro 02	106
4.7.5.	Lecturas recolectadas por los puntos de control topográficos	108
5.	Conclusiones	120
6.	Bibliografía	122
7.	Anexos	124

Lista de figuras

Figura 1 – Topografía regional (Topographic-map.com, 2022)	30
Figura 2 – vista del trazado pacifico 1 (Topographic-map.com, 2022)	31
Figura 3 – Referencia plano de coordenadas en AutoCAD (Oficina Tecnica, 2020)	32
Figura 4 - Resumen del sistema (RST Instrumens Manual, 2016)	33
figura 5 – llave USB de seguridad (fuente: propia, fotografía tomada con teléfono celular)	34
Figura 6 – Vista inicial del software Inclinalysis (Fuente: propia, capture de pantalla)	35
Figura 7 – Vista de las diferentes formas de procesar los datos recolectados en campo (Fuente: propia, capture de pantalla)	35
Figura 8 - Orientación de la tubería con respecto al eje A+ en función de los movimientos esperados (RST Instrumens Manual, 2016)	37
Figura 9 – convención de signos con respecto a su eje (RST Instrumens Manual, 2016)	38
Figura 10 – representación de ejes (RST Instrumens Manual, 2016)	38
Figura 11 – instrumento medidor de nivel de agua (RST INSTRUMENTS, 2022)	39
Figura 12 – Tubo piezométrico vertical (RST Instruments, 2022)	40
Figura 13 – Esquema de piezómetro instalado en campo (Fernández, 2010)	41
Figura 14 – Promedio Mensual de lluvia en el Guamo (Weather Spark, 2022)	48
Figura 15 - Lecturas ejecutadas en el INC 01, eje A y eje B. (fuente: propia)	92
Figura 16 - Vector de deformaciones INC 01. (fuente: propia)	93
Figura 17 - Lecturas ejecutadas en el INC 03, eje A y eje B. (fuente: propia)	97
Figura 18 - Vector de deformaciones INC 03 (fuente: propia)	98
Figura 19 - Lecturas ejecutadas en el INC 04, eje A y eje B. (fuente: propia)	102
Figura 20 - Vector de deformaciones INC 04 (fuente: propia)	103

Figura 21 – grafica del nivel freático piezómetro 02 (fuente: propia)	107
Figura 22 – ejes desplazamiento lineal (fuente: propia)	110
Figura 23 - gráfico de desplazamiento lineal en metros por monitoreo (fuente: propia)	111
Figura 24 - gráfico de asentamiento en metros por monitoreo (fuente: propia)	112

Lista de ilustraciones

Ilustración 1 - Localización Planta del proyecto por Unidad Funcional (UF) (Cimentaciones, Estudio de Estabilidad y Estabilizacion de Taludes Sitio Critico El Guamo, 2017)	22
Ilustración 2 – Fotografía de referencia Acopio Temporal B6A (fuente: propia)	23
Ilustración 3 - Características geológicas regionales (Fuente: SGC. Geología de la Plancha 166 Jericó, año 1980 versión digital 2009) (Colombiano, 2009)	25
Ilustración 4 – Máquina de perforación utilizada para la instalación de las tuberías (fuente: propia, fotografía tomada con teléfono celular)	36
Ilustración 5 – tubería de ABS para inclinómetros, Diámetro interno de 2.4" (6cm) (DIRIMPEX, 2022)	36
Ilustración 6 – Esquema de referencia, ubicación de puntos de control topográficos (Spiral Ingenieria, 2022)	42
Ilustración 7 – Referencia de estación topográfica total (Spiral Ingenieria, 2022)	43
Ilustración 8 – Referencia de estación topográfica RTK (Spiral Ingenieria, 2022)	44
Ilustración 9 – Plano general de la Unidad Funcional 1 (Proinvipacifico SAS, 2022)	46
Ilustración 10 – Localización de coordenadas planas E=1144909.771 y N=1156453.416 del acopio temporal B6A (Google Earth PRO, 2022)	47
Ilustración 11 - Fotointerpretación geológica del sector inestable en estudio. Imagen aérea Dron, año 2016. (Cimentaciones, Estudio de Estabilidad y Estabilizacion de Taludes Sitio Critico El Guamo, 2017)	54
Ilustración 12 - Leyenda Fotointerpretación Imagen Dron, año 2016. (Cimentaciones, Estudio de Estabilidad y Estabilizacion de Taludes Sitio Critico El Guamo, 2017)	55
Ilustración 13 – Acopio temporal B6A (fuente: propia)	57

Ilustración 14 – Puntos estratégicos para la instalación de los inclinómetros y piezómetro. (fuente: ortofoto acopio temporal B6A – pacifico 1, 2022)	59
Ilustración 15 – Ubicación de los puntos de control topográficos (SPIRAL, 2022)	60
Ilustración 16 – Maquina de perforación a Percusión y Rotación (fuente: propia)	63
Ilustración 17 – muestra #1 recuperada, sondeo P1 – 0,00 m - 4.55 m (fuente: propia)	63
Ilustración 18- muestra #2 recuperada, sondeo p1 – 4,55 m – 8,55 m (fuente: propia)	64
Ilustración 19 - muestra #3 recuperada, sondeo p1 – 8,55 m – 12,55 m (fuente: propia)	65
Ilustración 20 - muestra #4 recuperada, sondeo p1 – 12,55 m – 18,00 m (fuente: propia)	65
Ilustración 21 - muestra #5 recuperada, sondeo p1 – 18,00 m – 22,00 m (fuente: propia)	66
Ilustración 22 - muestra #6 recuperada, sondeo p1 – 22,00 m – 26,00 m (fuente: propia)	66
ilustración 23 - muestra #7 recuperada, sondeo p1 – 26,00 m – 30,00 m (fuente: propia)	67
Ilustración 24 - muestra #1 recuperada, sondeo p2 – 0,00 m – 4,00 m (fuente: propia)	69
Ilustración 25 - muestra #2 recuperada, sondeo p2 – 4,00 m – 8,00 m (fuente: propia)	69
Ilustración 26 - muestra #3 recuperada, sondeo p2 – 8,00 m – 11,00 m (fuente: propia)	70
Ilustración 27 - muestra #4 recuperada, sondeo p2 – 11,00 m – 16,00 m (fuente: propia)	70
Ilustración 28 - muestra #5 recuperada, sondeo p2 – 16,00 m – 20,00 m (fuente: propia)	71
Ilustración 29 - muestra #6 recuperada, sondeo p2 – 20,00 m – 24,00 m (fuente: propia)	72
Ilustración 30 - muestra #6 recuperada, sondeo p2 – 24,00 m – 28,00 m (fuente: propia)	72
Ilustración 31 - muestra #7 recuperada, sondeo p2 – 28,00 m – 30,00 m (fuente: propia)	72
Ilustración 32 - muestra #1 recuperada, sondeo p3 – 00,00 m – 4,00 m (fuente: propia)	74
Ilustración 33 - muestra #2 recuperada, sondeo p3 – 4,00 m – 8,00 m (fuente: propia)	74
Ilustración 34 - muestra #3 recuperada, sondeo p3 – 8,00 m – 12,00 m (fuente: propia)	75
Ilustración 35 - muestra #4 recuperada, sondeo p3 – 12,00 m – 16,00 m (fuente: propia)	75

Ilustración 36 - muestra #5 recuperada, sondeo p3 – 16,00 m – 20,00 m (fuente: propia)	76
Ilustración 37 - muestra #6 recuperada, sondeo p3 – 20,00 m – 24,00 m (fuente: propia)	76
Ilustración 38 - muestra #7 recuperada, sondeo p3 – 24,00 m – 28,00 m (fuente: propia)	77
Ilustración 39 - muestra #8 recuperada, sondeo p3 – 28,00 m – 30,00 m (fuente: propia)	77
Ilustración 40 - muestra #1 recuperada, sondeo p4 – 0,00 m – 3,45 m (fuente: propia)	79
Ilustración 41 - muestra #2 recuperada, sondeo p4 – 3,45 m – 8,00 m (fuente: propia)	79
Ilustración 42 - muestra #3 recuperada, sondeo p4 – 8,00 m – 12,50 m (fuente: propia)	80
Ilustración 43 - muestra #4 recuperada, sondeo p4 – 12,50 m – 17,00 m (fuente: propia)	80
Ilustración 44 - muestra #5 recuperada, sondeo p4 – 17,00 m – 21,00 m (fuente: propia)	81
Ilustración 45 - muestra #6 recuperada, sondeo p4 – 21,00 m – 25,00 m (fuente: propia)	81
Ilustración 46 - muestra #7 recuperada, sondeo p4 – 25,00 m – 29,00 m (fuente: propia)	82
Ilustración 47 - muestra #8 recuperada, sondeo p4 – 29,00 m – 30,00 m (fuente: propia)	82
Ilustración 48 – Ubicación del plan de monitoreo con INC y PZ (Oficina Tecnica, 2020)	86
Ilustración 49 – Ubicación de diseño de los puntos de control topográficos (SPIRAL, 2022)	87
Ilustración 50 – punto de control pi – inclinómetro 01 (fuente: propia)	91
Ilustración 51 – punto de control p3 – inclinómetro 03 (fuente propia)	96
Ilustración 52 – punto de control p4 – inclinómetro 04	102
Ilustración 53 – punto de control p2 – piezómetro 02 (fuente: propia)	106
Ilustración 54 - ortofoto pate superior acopio temporal B6A, junio 2022 (Proinvipacifico SAS, 2022)	115
Ilustración 55 – ortofoto vía en construcción acopio temporal B6A, junio 2022 (Proinvipacifico SAS, 2022)	116
Ilustración 56 – ortofoto parte inferior acopio temporal B6A, junio 2022 (Proinvipacifico SAS, 2022)	116

Lista de tablas

Tabla 1 – Sectorización - Intervención por unidad funcional (UF) (Proinvipacifico SAS, 2014)	46
Tabla 2 – Coordenadas de los puntos de exploración e instalación de la instrumentación. (fuente: propia)	59
Tabla 3 – Coordenadas iniciales de los puntos de control topográfico (SPIRAL, 2022)	61
Tabla 4 - Cotización de servicios para la exploración geotécnica (ingeniería, AQUASOLUM SAS, 2022)	62
Tabla 5 - Perfil estratigráfico de perforación - sondeo P1 (AQUASOLUM ingeniería SAS, 2022)	68
Tabla 6 - Perfil estratigráfico de perforación - sondeo P2 (AQUASOLUM ingeniería SAS, 2022)	73
Tabla 7 - perfil estratigráfico de perforación - sondeo P3 (AQUASOLUM ingeniería SAS, 2022)	78
Tabla 8 - perfil estratigráfico de perforación - sondeo P4 (AQUASOLUM ingeniería SAS, 2022)	83
Tabla 9 – Coordenadas iniciales y de diseño de los puntos de control topográficos (fuente: propia)	87
Tabla 10 – frecuencia inclinómetros (fuente: propia)	89
Tabla 11 – frecuencia piezómetro (fuente: propia)	90
Tabla 12 – frecuencia puntos de control topográficos (fuente: propia)	91
Tabla 13 – datos del vector de deformación (fuente: propia)	94
Tabla 14 - Trazabilidad de lecturas ejecutadas – INC 01. (fuente: propia)	94
Tabla 15 - datos del vector de deformación (fuente: propia)	98

Tabla 16 - Trazabilidad de lecturas ejecutadas – INC 03. (fuente: propia)	99
Tabla 17 - datos del vector de deformación (fuente: propia)	103
Tabla 18 - Trazabilidad de lecturas ejecutadas – INC 03. (fuente: propia)	104
Tabla 19 – datos piezómetro 02 (fuente: propia)	107
Tabla 20 – trazabilidad del total de lecturas realizadas (fuente: propia)	110
Tabla 21 – trazabilidad de lecturas ejecutadas hasta el 5 de mayo 2022 (fuente: propia)	112
Tabla 22 - trazabilidad de lecturas ejecutadas en el mes de mayo 2022 (fuente: propia)	113
Tabla 23 - trazabilidad de lecturas ejecutadas en el mes de junio 2022 (fuente: propia)	114
Tabla 24 - trazabilidad de lecturas ejecutadas en el mes de julio 2022 (fuente: propia)	117
Tabla 25 - trazabilidad de lecturas ejecutadas en el mes de agosto 2022 (fuente: propia)	118
Tabla 26 - trazabilidad de lecturas ejecutadas en el mes de agosto 2022 (fuente: propia)	119

Agradecimientos

Quiero dar un especial agradecimiento a la empresa “Proyectos de inversión vial del pacifico 1 SAS” por darme la oportunidad de trabajar con ellos en el desarrollo de uno de los proyectos más complejos de infraestructura vial en Colombia, además quiero agradecerles por facilitarme las herramientas de recolección de datos para la instrumentación geotécnica y por donar los resultados de dicho monitoreo para la interpretación y el análisis de este proyecto de investigación. Agradecer también a mi jefe directa la ing. Alexandra Puerto por todos los conocimientos transmitidos y a mi directora de proyecto la ing. Claudia Chaustre por guiarme en este proceso para culminar con mis estudios profesionales. Finalmente agradecer a Dios, a mis compañeros de trabajo y mi a madre especialmente por transmitirme siempre las mejores energías y bendición

Introducción

El desarrollo de la infraestructura del país presenta grandes retos y trae consigo la ejecución de obras de alta complejidad, las cuales requieren monitoreos constantes que permitan conocer con mayor claridad el comportamiento del suelo antes, durante y después de terminar las actividades de construcción.

En el presente proyecto de investigación se desarrollará el diseño de un plan de monitoreo con instrumentación geotécnica en la zona geológicamente inestable presente en el acopio temporal B6A ubicado entre las abscisas k12+500 y k12+750 en un sector conocido como “el guamo” dentro del proyecto autopista conexión pacífico 1 que se está construyendo en el suroeste antioqueño colombiano. El diseño de un plan de monitorio con instrumentación geotécnica se emplea con el fin de conocer el comportamiento del suelo a determinada profundidad y en superficie, de manera que, este conocimiento sirva como criterio para la toma de decisiones que permitan la construcción de obras de mitigación competentes.

Se analizará estudios geológicos y topográficos que permitirán conocer la composición del suelo y la dirección esperada del movimiento en este sector, puesto que, es necesario para determinar los puntos de perforación e instalación estratégicos para la instrumentación.

El plan de monitoreo geotécnico se compone de un sistema de medición con inclinómetros, piezómetros y puntos de control topográfico para la recolección periódica de datos.

1. Problema

1.1. Titulo

Diseño de plan de monitoreo con instrumentación geotécnica en el acopio temporal B6A ubicado entre las abscisas k12+500 y k12+750 en un sector conocido como “el guamo” dentro del proyecto autopista conexión pacifico 1 en el dpto. de Antioquia.

1.2. Planteamiento del problema

Este proyecto de investigación se enfoca en una zona crítica presente en el proyecto en construcción “autopista conexión pacifico 1” que conectara a Bolombolo en el municipio de Venecia hasta Camilo-Cé en Amaga-Antioquia con 32.2 km de vía 4G nueva; esta zona crítica es conocida como “el guamo”.

Entre las abscisas k12+500 y k12+750 del proyecto pacifico 1, existe una estructura conocida comúnmente en la ingeniería civil como ZODME (zonas de disposición de material de excavación sobrante), llamado en este caso “Acopio Temporal B6A”, el objetivo de dicho acopio temporal es el de reunir y compactar temporalmente el material sobrante resultado de las excavaciones y movimientos de tierras correspondiente a una parte del proyecto pacifico 1.

En esta dicha zona se han observado desplazamientos en el terreno, causados en parte, por los esfuerzos transmitidos al suelo por el peso del “acopio temporal B6A” que ha afectado considerablemente la integridad de la vía en construcción.

El agua también juega un papel importante en la resistencia del suelo y la presencia de lluvias constantes aumenta las preocupaciones del personal encargado de la construcción de la vía, por esta razón, también se busca proponer la instalación de piezómetros cuya función es la de medir el nivel del agua en el suelo.

Finalmente, lo que se busca es diseñar un plan de monitoreo con instrumentación geotécnica confiable, que permita comprender la profundidad, la magnitud y la dirección real del movimiento presente en la zona donde se encuentra el acopio temporal B6A. Las perforaciones verticales en el suelo que se llevan a cabo para la instalación de dicha instrumentación vienen acompañadas, si se requiere, de recuperación de muestras donde se puede observar los materiales poco competentes que podrían presentar un mayor desplazamiento.

1.3. Formulación del problema

¿Es posible conocer la profundidad, la magnitud y la dirección real del movimiento presente en la zona crítica donde se encuentra el acopio temporal B6A entre las abscisas k12+500 y k12+750 del proyecto autopista conexión pacífico 1 en el dpto. de Antioquia diseñando un plan de monitoreo con instrumentación geotécnica?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Diseñar un plan de monitoreo con instrumentación geotécnica en el acopio temporal B6A ubicado entre las abscisas k12+500 y k12+750 en el sector conocido como “el guamo” dentro del proyecto autopista conexión pacífico 1 en el dpto. de Antioquia

1.4.2. Objetivos específicos

- Analizar estudios geológicos de la zona crítica conocida como “el guamo” para conocer la naturaleza de la composición del suelo.
- Analizar la topografía de la zona donde se encuentra el acopio temporal B6A para identificar la orientación del movimiento esperado.
- Reconocer los puntos claves para la instalación de los inclinómetros, piezómetros y puntos de control topográfico.
- Examinar las muestras recuperadas en los puntos de perforación vertical donde se solicite, para identificar los materiales más susceptibles al desplazamiento.
- Diseñar el plan de monitoreo con el que se busca recolectar los datos de la instrumentación en un periodo definido de tiempo.
- Presupuestar los costos de instalación de la instrumentación geotécnica.
- Analizar e interpretar los resultados arrojados por la instrumentación geotécnica.

1.5. Justificación

Como respuesta a las incertidumbres que presenta el comportamiento del suelo, la necesidad de conocer su composición y la importancia de un eficaz desarrollo en la construcción de obras civiles se hace necesario implementar un sistema de monitoreo geotécnico confiable, que nos permita conocer e interpretar los movimientos presentes en el terreno donde se ejecuta la obra.

Conocer la dirección real, la profundidad y la magnitud de los desplazamientos que se presentan en el acopio temporal B6A, ayudara en la toma de decisiones que permitan la construcción de obras de mitigación con el objetivo de frenar los movimientos. La implementación de un sistema de monitoreo geotécnico nos permitirá conocer la profundidad a la que ocurre el mayor desplazamiento y los materiales responsables.

1.6. Alcances y limitaciones

1.6.1. Alcances

En este proyecto de investigación se busca diseñar un plan de monitoreo con instrumentación geotécnica que permita conocer el comportamiento del suelo en el área que ocupa el acopio temporal B6A entre las abscisas k12+500 y k12+750 en un sector conocido como “el guamo” dentro del proyecto autopista conexión pacifico 1 que se está construyendo en el suroeste antioqueño, de esta forma se espera tener una visión más clara de la magnitud y la dirección real del movimiento a través del tiempo.

1.6.2. Limitaciones

Se presentan limitaciones en las especificaciones técnicas y de diseño del acopio temporal B6A, debido a que dicha estructura aún está sujeta a modificaciones por actividades constructivas que se adelantan en la zona.

1.7. Delimitaciones

1.7.1. Delimitación especial

El estudio para el diseño del plan de monitoreo se desarrollará en el sector conocido como “el guamo” dentro del proyecto autopista conexión pacifico 1 específicamente en el acopio temporal B6A ubicado al costado izquierdo del trazado del proyecto entre las abscisas k12+500 y k12+750 en dirección Bolombolo-Medellín.

1.7.2. Delimitación temporal

Este proyecto de investigación se viene desarrollando desde el día 10 de junio-2022 por el estudiante Jose Miguel Canavate Parra identificado con c.c.1090506644 que ocupa el cargo de Aux. de ingeniería en instrumentación geotécnica de la Oficina técnica del proyecto pacifico 1 y se espera concluir el día 30 de noviembre-2022.

1.7.3. Delimitación conceptual

Estudios geológicos, topografía, conceptos de instrumentación geotécnica, conceptos y análisis del comportamiento del suelo y funcionamiento de software para inclinómetros.

2. Marco referencial

2.1. Antecedentes

En los últimos años, el incremento de la infraestructura vial en el país se viene adelantando de la mano del estado y de la inversión privada, la necesidad de conectar física y eficientemente a una ciudad con otra ha sido fundamental para el crecimiento del comercio y el desarrollo de la sociedad. hoy en día se vienen implementando las vías de cuarta generación que corresponden a autopistas de doble calzada, cuyo beneficio es aumentar la competitividad del país disminuyendo el costo de la operación vehicular y el tiempo de viaje en el transporte de carga y personas, así como, el acceso a las regiones más alejadas.

Dada la necesidad de construir las vías de cuarta generación en el país, nace “COVIPACÍFICO S.A.S” (concesión vial del pacifico 1), la cual fue adjudicada por la ANI el 3 de junio del año 2014, convirtiéndose, junto a los proyectos pacifico 2 y pacifico 3, en el primer grupo de concesiones viales de cuarta generación impulsado por el gobierno nacional. Este proyecto de infraestructura vial es uno de los más ambiciosos y complejos que comprende la construcción, mantenimiento y operación de vía en doble calzada que se lleva a cabo en el suroeste antioqueño beneficiando directamente a los municipios de Amagá, Titiribí, Bolombolo, Venecia y caldas. El proyecto Pacifico 1 en referencia está compuesto por la construcción de 32.2 km de vía nueva, 18 km de mantenimiento a la vía existente, para un total de 50.2 km de vía concesionada, además, cuenta con 67 puentes, 2 túneles y 3 intercambios viales de tipo desnivel. (Covipacifico S.A.S, 2014)

En algunos tramos críticos o geológicamente inestables de la vía en construcción y otros más ya terminados se está implementado planes de monitoreo con instrumentación

geotécnica para identificar los movimientos del suelo que podrían afectar la integridad de las obras, sin embargo, en la zona del guamo específicamente entre las abscisas k12+500 y k12+750 donde se ubica el Acopio temporal B6A objeto de estudio del presente proyecto de investigación, aun no se ha desarrollado un plan de monitoreo geotécnico. La geología de la zona donde se ubica el acopio temporal B6A es inestable y ya se han evidenciado movimientos de los cuales aún no se conoce detalles como la profundidad, la magnitud y la dirección real, por esta razón se busca Diseñar un nuevo plan de monitoreo geotécnico que permita conocer el comportamiento del suelo en esta zona.

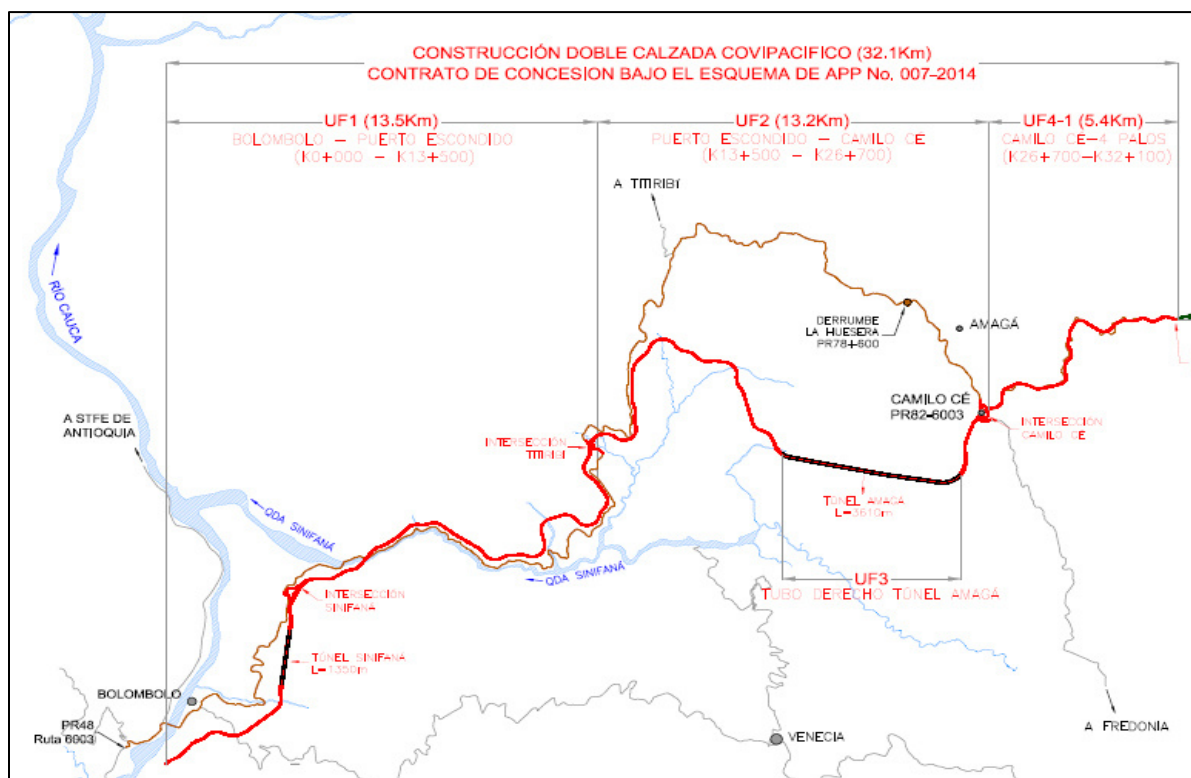


ILUSTRACIÓN 1 - LOCALIZACIÓN PLANTA DEL PROYECTO POR UNIDAD FUNCIONAL (UF) (CIMENTACIONES, ESTUDIO DE ESTABILIDAD Y ESTABILIZACION DE TALUDES SITIO CRITICO EL GUAMO, 2017)

2.2. Marco teórico

El seguimiento de las obras civiles mediante un plan de monitoreo geotécnico durante su etapa de construcción contribuye a mejorar la gestión de riesgo del proyecto.

2.2.1. Zona de Disposición de Material de Excavación Sobrante (ZODME)

Las Zonas de disposición de material de excavación sobrante o ZODME son lugares en los cuales se ejecuta la disposición final del material de excavación que no pudo ser aprovechado en la obra. Estas zonas deben ser cuidadosamente seleccionadas de manera que no afecten en forma negativa el medio ambiente y sus ecosistemas.



ILUSTRACIÓN 2 – FOTOGRAFÍA DE REFERENCIA ACOPIO TEMPORAL B6A (FUENTE: PROPIA)

2.2.2. Geología regional donde se encuentra el sector del guamo

El estudio geológico de un terreno se define como un documento que analiza todas las características geológicas del suelo donde se van a realizar, perforaciones, cimentaciones y en general cualquier obra de algún tipo.

Las particularidades geológicas presentes en el sector del guamo están definidas por una serie de sucesos relacionados con el levantamiento de la Cordillera Central y de sucesos secuenciales consecuencia de los diferentes esfuerzos compresivos e incidentes de sedimentación que caracterizan a cada una de las unidades geológicas que se identifican interviniendo directamente con el sector inestable y las unidades adyacentes al mismo. De las características mencionadas anteriormente podemos resaltar eventos de metamorfismo durante el Paleozoico que conformaron las rocas metamórficas del complejo Cajamarca, este metamorfismo está asociado a procesos que resultan de la solidificación de magma ascendente entre las rocas solidas de la corteza terrestre ya existentes que dieron origen a las rocas dioríticas cretáceas de la Formación Diorita de Pueblito, localizada al oriente del sector inestable, encontrándose en contacto fallado con rocas de la Formación Amagá, a este periodo también se atribuyen eventos volcánicos que constituyeron el Miembro Volcánico de la Formación Quebrada Grande, localizado al occidente del sector inestable, donde se encuentra en contacto fallado con las rocas del Complejo Cajamarca y Amagá. Los eventos que ayudaron a la formación del paisaje actual y que está directamente relacionado con la actividad tectónica entre las placas Sudamericana y Nazca, se han generado una serie de sistemas de fallas y lineamientos locales como fallas satélites, determinados como potencialmente activas, esto hace que se presenten variaciones físicas y químicas de los materiales en superficie generando meteorización y suelos transportados que cubren en parte

las formaciones importantes y que de acuerdo a su disposición generan en diferentes sectores inestabilidades que interactúan con las obras de ingeniería existentes, tal como sucede en el sector inestable objeto del presente estudio. (Cimentaciones, Estudio de Estabilidad y Estabilización de Taludes Tramo 5.1A K10+750-K12+750, 2017)

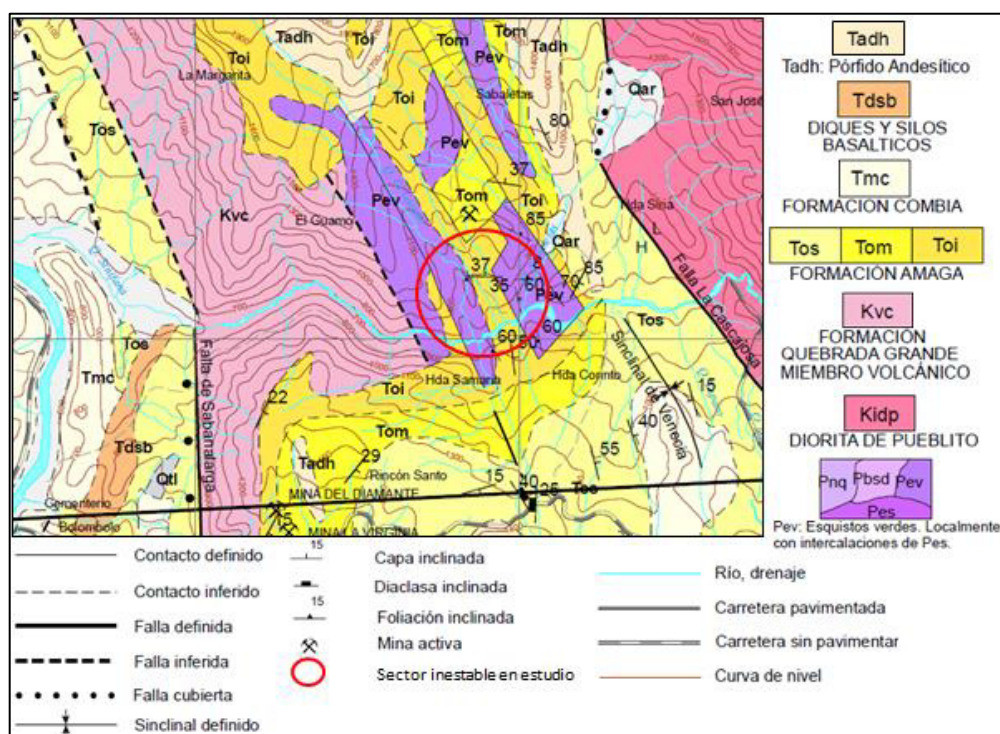


ILUSTRACIÓN 3 - CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS REGIONALES (FUENTE: SGC. GEOLOGÍA DE LA PLANCHA 166 JERICÓ, AÑO 1980 VERSIÓN DIGITAL 2009) (COLOMBIANO, 2009)

2.2.3. Litoestratigrafía general de la zona de estudio

La Litoestratigrafía es una segmentación especializada de la estratigrafía que estudia las formaciones de los estratos y su relación geométrica especial con relación a la estructura y composición de las rocas.

Se describen a continuación de la más antigua a la más reciente las unidades geológicas que caracterizan la geología regional del sector, ajustando las convenciones geológicas a las descripciones de la Carta Estratigráfica Internacional.

2.2.3.1. Paleozoico

- **Complejo Cajamarca**

Esquistos verdes (Pev): Miembro constituido por esquistos verdosos a grises cuarzosos con niveles de cuarcita, se presentan algunas intercalaciones de filitas y esquistos cuarzosericíticos del Miembro Pes. (Cimentaciones, Estudio de Estabilidad y Estabilización de Taludes Sitio Critico El Guamo, 2017).

2.2.3.2. Cretáceo

- **Diorita de Pueblito (Kidp)**

Unidad ígnea intrusiva, constituida principalmente por dioritas, con algunas facies de gabros, estas rocas de textura fanerítica presentan un tamaño de grano medio a grueso y son de coloraciones que van de gris claro hasta gris oscuro. Estas rocas presentan generalmente una estructura maciza. (Cimentaciones, Estudio de Estabilidad y Estabilización de Taludes Sitio Critico El Guamo, 2017)

- **Formación Quebrada Grande - Miembro Volcánico (Kvc)**

Litológicamente constituida por espilitas, diabasas, basaltos y piroclastos, con algunas intercalaciones de chert, grauvacas, areniscas y limolitas, que contradicen un origen de las rocas volcánicas asociado a la dorsal oceánica. (Cimentaciones, Estudio de Estabilidad y Estabilización de Taludes Sitio Critico El Guamo, 2017)

2.2.3.3. Paleógeno

- **Formación Amagá**

Miembro Inferior (E3ai): Unidad constituida de base a techo por interestratificaciones de conglomerados poligínicos, areniscas y arcillolitas arenosas, con delgados mantos de carbón muy locales, las cuales se exponen en su mayor expresión a lo largo de la quebrada Sinifaná. (Cimentaciones, Estudio de Estabilidad y Estabilización de Taludes Sitio Critico El Guamo, 2017)

Miembro Medio (E3am): Miembro constituido en su mayor proporción por arcillolitas grises y menores niveles de areniscas de grano grueso a medio color gris, además de mantos explotables e inexplotables de carbón. (Cimentaciones, Estudio de Estabilidad y Estabilización de Taludes Sitio Critico El Guamo, 2017)

Miembro Superior (E3as): Unidad constituida predominantemente por areniscas de grano fino a medio color gris azulado a gris verdoso, con niveles de arcillolitas de color habano a ocre, con ausencias de los mantos de carbón y conglomerados dominantes en los

miembros medio e inferior. (Cimentaciones, Estudio de Estabilidad y Estabilizacion de Taludes Sitio Critico El Guamo, 2017)

2.2.3.4. Neógeno

- **Formación Combia (N1c)**

Unidad constituida por intercalaciones de estratos volcánicos y sedimentarios asociados a eventos geológicos secuenciales de diferente origen. El miembro Volcánico forma parte de sector inferior de la formación, donde se identifican aglomerados de matriz tobácea, tobas de cristales, tobas de cenizas, brechas volcánicas y derrames de basaltos y andesitas. (Cimentaciones, Estudio de Estabilidad y Estabilizacion de Taludes Sitio Critico El Guamo, 2017)

- **Dique y Silos Andesíticos (N2dsb)**

Cuerpos intrusivos de composición basáltica que afloran en forma de silos y diques a lo largo de rocas asociadas a las Formaciones Combia y Amagá. (Cimentaciones, Estudio de Estabilidad y Estabilizacion de Taludes Sitio Critico El Guamo, 2017)

- **Pórfido Andesítico (N2adh)**

Cuerpos que en planta presentan una sección semicircular, y que generalmente sobresalen en el terreno. Estos cuerpos varían composicionalmente de andesitas a dacitas. (Cimentaciones, Estudio de Estabilidad y Estabilizacion de Taludes Sitio Critico El Guamo, 2017)

2.2.4. Tectónica

La Tectónica consiste en el estudio científico de los movimientos y deformaciones de las rocas que conforman la corteza de la Tierra y las fuerzas que los causan; Regionalmente podemos determinar en el área una serie de sistemas de fallas asociados a la actividad tectónica entre las placas Sudamericana (Continental) y Nazca (Oceánica), a la cual se atribuye el levantamiento de la Cordillera de los Andes Colombiano.

En relación con el sector en estudio podemos destacar una serie de fallas principales, potencialmente activas, las fallas localizadas adyacentes al sector en estudio corresponden a lineamientos asociados a los sistemas de fallas de Romeral y Caldas al oriente, La Pintada al Suroccidente y El Sistema Cauca Occidental al occidente del sector inestable, de estos sistemas principales se desprenden fallas locales de menor extensión de las cuales sobresalen al oriente del sector inestable las fallas de Amagá y La Cascajosa, la primera con rumbo NW limita el sector oriental de la Formación Diorita de Pueblito, poniendo en contacto esta unidad cretácea intrusiva con rocas sedimentarias paleógenas de la Formación Amagá al oriente de la estructura, mientras que la Falla Cascajosa limita el costado occidental de la Formación Diorita de Pueblito, con un rumbo NW, donde también se encuentra en contacto con rocas sedimentarias de la Formación Amagá al occidente de la estructura. Al occidente del sector inestable podemos destacar la falla de Sabanalarga, la cual corresponde a una estructura de rumbo N-S a N-W poniendo en contacto las rocas volcánicas de la Formación Quebrada Grande (Miembro Volcánico) al oriente de la estructura con rocas sedimentarias de la Formación Amagá al occidente de esta. (Cimentaciones, Estudio de Estabilidad y Estabilización de Taludes Sitio Crítico El Guamo, 2017)

Además de estas estructuras principales descritas anteriormente también se identifican una serie de lineamientos, determinados como fallas de satélite mucho más locales con direcciones de rumbo asociadas a las fallas principales y que afectan intensamente las unidades que caracterizan al sector inestable en estudio.

2.2.5. Topografía Regional donde se encuentra el sector del guamo

La topografía consiste en describir la superficie o relieve de un terreno; En la topografía de la región donde se encuentra el sector conocido como el guamo podemos observar una zona con múltiples desniveles lo cual dificulta la construcción de las obras de infraestructura vial del proyecto pacífico 1, en consecuencia, se han realizado grandes movimientos de material para lograr la construcción de la vía diseñada. (figura 1 y 2).

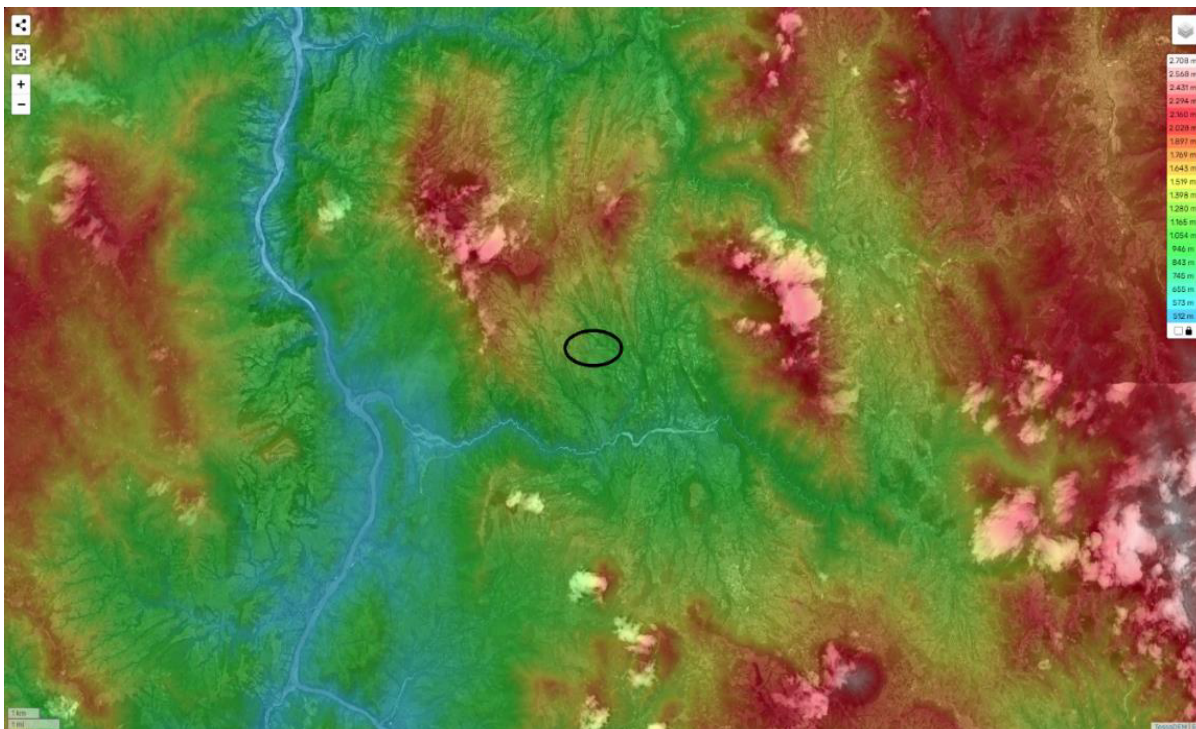


FIGURA 1 – TOPOGRAFÍA REGIONAL (TOPOGRAPHIC-MAP.COM, 2022)



FIGURA 2 – VISTA DEL TRAZADO PACIFICO 1 (TOPOGRAPHIC-MAP.COM, 2022)

En la figura 2 mostrada anteriormente se puede observar el trazado del proyecto pacifico 1 pasando por el sector materia de estudio (encarrado en un círculo negro); esta figura es utilizada para ilustrar la topografía del terreno de manera general. Las curvas de nivel se ven representadas en una escala de colores para facilitar su interpretación, también podemos definir la dirección esperada del movimiento consecuencia del desnivel y la pendiente que se observa en dirección suroeste.

Usando como apoyo las imágenes satelitales y las visitas realizadas en campo es posible identificar la dirección esperada de los movimientos de manera que la instrumentación, especialmente los inclinómetros, puedan ser instalados de manera correcta. La adecuada interpretación de la dirección esperada del movimiento permite al diseño del plan de monitoreo recolectar datos confiables sobre el comportamiento del terreno en este sector objeto de estudio.

A continuación, en la figura 3, se observa la representación del acopio temporal B6A en un plano de coordenadas en AutoCAD con el fin mostrar el sentido del plano de coordenadas norte-sur este-oeste.

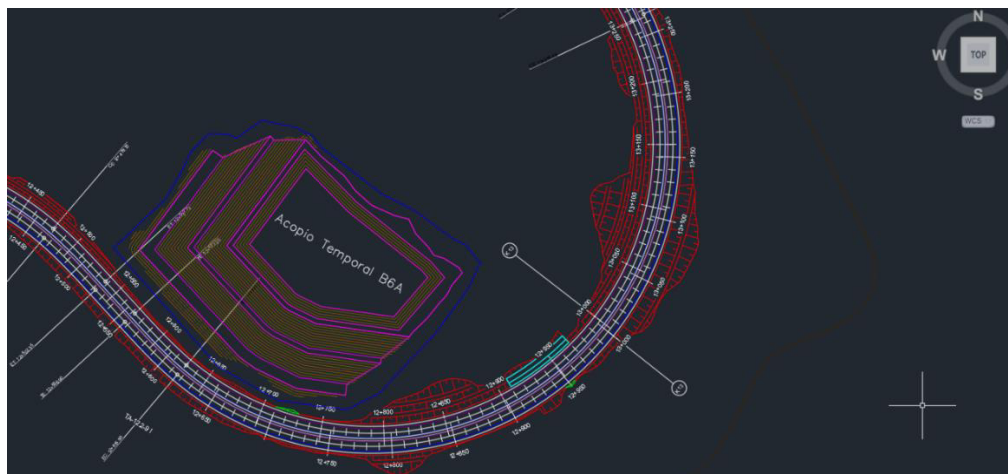


FIGURA 3 – REFERENCIA PLANO DE COORDENADAS EN AUTOCAD (OFICINA TECNICA, 2020)

2.2.6. Sistema de monitoreo empleado con inclinómetros

2.2.6.1. Inclinómetro RST MEMS digital

Este sistema digital de medición RST MEMS, es un adelanto en la tecnología de inclinómetros que suministra una precisión, eficiencia y facilidad en su manipulación sin comparación. El sistema consta de una sonda de inclinómetro digital, un cable (50 o 75 metros de longitud), un carrete alimentado por una batería recargable y una PC de campo muy resistente con un sistema Microsoft Windows™ portátil que trabaja como una herramienta de recolección, análisis y almacenamiento de datos. La conectividad entre la PC y el carrete de control del inclinómetro se realiza de forma inalámbrica facilitando su uso al eliminar la conexión física.

La sonda del inclinómetro digital RST presenta tecnología MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) de última generación que suministra alta resistencia y exactitud. el sistema puede medir con alta precisión la velocidad, la magnitud y la profundidad de los movimientos que ocurren en el subsuelo. (RST Instrumens Manual, 2016)



FIGURA 4 - Resumen del sistema (**RST INSTRUMENS MANUAL, 2016**)

1. Maleta de cobertura blanda
2. Sonda de inclinómetro digital (con capa protectora)
3. Sujetador de cable de 70 mm/2,75" de diámetro externo
4. Sujetador de cable de 85 mm/3,34" de diámetro externo
5. PC de campo muy resistente
6. Lubricante de silicona (para uso en conectores)
7. Esfero de PC de campo
8. Cable USB para PC de campo
9. Adaptador de CA para PC de campo
10. Adaptador de CA para cargador de batería de carrete
11. Carrete de cable con sistema de comunicación inalámbrica
12. Estuche de transporte del carrete
13. Paño de limpieza de microfibra
14. DVD de instalación del software

2.2.6.2. Software Inclinalysis de análisis de inclinómetro digital

El software RST inclinalysis, es un poderoso complemento del sistema de inclinómetro digital RST, este permite el procesamiento de un gran volumen de datos rápido y eficientemente para de esta forma reducirlos a una gran variedad de formatos necesarios para su exposición (RST Instruments Ltd., 2012)

Este software de computadora es para uso profesional y cuenta con una llave USB de seguridad que solo podrá ser usada por la persona a cargo de procesar la información recolectada, de otra forma el programa no se ejecutará.



FIGURA 5 – LLAVE USB DE SEGURIDAD (FUENTE: PROPIA, FOTOGRAFÍA TOMADA CON TELÉFONO CELULAR)

Las figuras 6 y 7 mostradas a continuación, son una representación del software inclinalysis. Los datos arrojados por el sistema de monitoreo empleado con inclinómetros son procesados por el software y posteriormente graficados en un Excel para facilitar su interpretación y exposición. La exposición de los datos del movimiento en este proyecto será representada en un Excel.

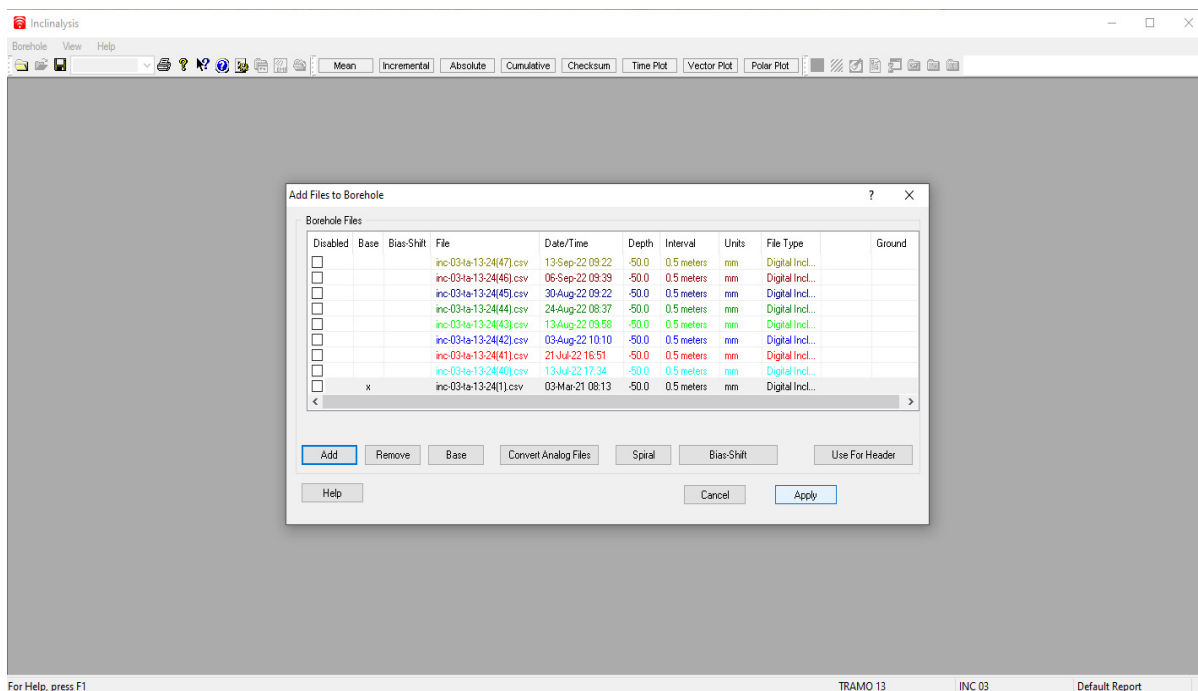


FIGURA 6 – VISTA INICIAL DEL SOFTWARE INCLANALYSIS (FUENTE: PROPIA, CAPTURE DE PANTALLA)

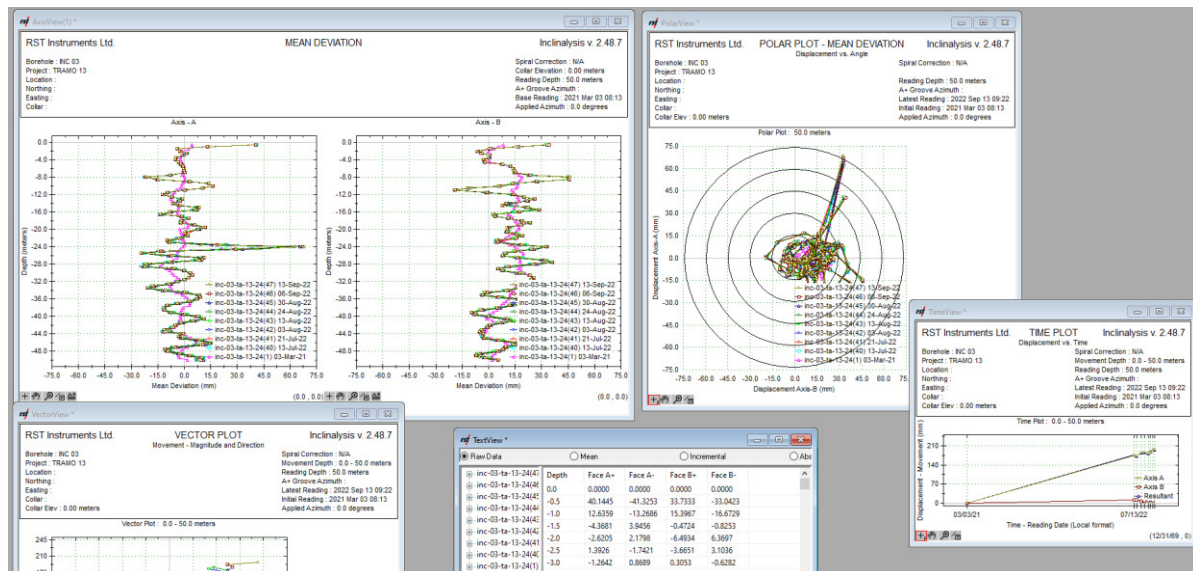


FIGURA 7 – VISTA DE LAS DIFERENTES FORMAS DE PROCESAR LOS DATOS RECOLECTADOS EN CAMPO (FUENTE: PROPIA, CAPTURE DE PANTALLA)

2.2.6.3. Tubería para inclinómetro digital RST

La tubería utilizada para el inclinómetro digital RST, se caracteriza por ser un tubo ranurado especial que se instala en un orificio perforado a determinada profundidad, generalmente se busca que uno de los dos ejes ranurados quede en dirección del movimiento. Esta tubería cumple la función de guiar la sonda del inclinómetro digital RST y de reflejar las deformaciones presentes en el suelo donde se instaló. El material de la tubería puede ser en fibra de vidrio, aluminio o plástico, siendo este último el más utilizado.



ILUSTRACIÓN 4 – MÁQUINA DE PERFORACIÓN UTILIZADA PARA LA INSTALACIÓN DE LAS TUBERÍAS (FUENTE: PROPIA, FOTOGRAFÍA TOMADA CON TELÉFONO CELULAR)

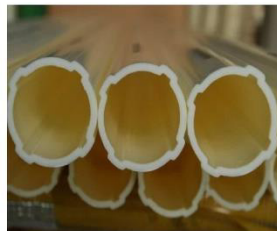


ILUSTRACIÓN 5 – TUBERÍA DE ABS PARA INCLINÓMETROS, DIÁMETRO INTERNO DE 2.4" (6CM) (DIRIMPEX, 2022)

2.2.6.4.Ejes de la sonda Inclínómetro Digital RST

La sonda del inclinómetro digital tiene dos acelerómetros MEMS, que miden la inclinación en dos ejes. En la instalación correcta de la tubería del inclinómetro se debe intentar alinear el juego de ranuras con el eje del movimiento esperado que en este caso se denomina eje A+. El juego de ranuras perpendiculares al eje A+ se llama eje B+. El eje A+ o eje principal debe quedar por lo general en la misma dirección del movimiento esperado. La resolución de datos es de 0.005 mm por cada 500mm y un margen de error de desplazamiento de ± 2 mm por cada 25m. (RST Instrumens Manual, 2016)

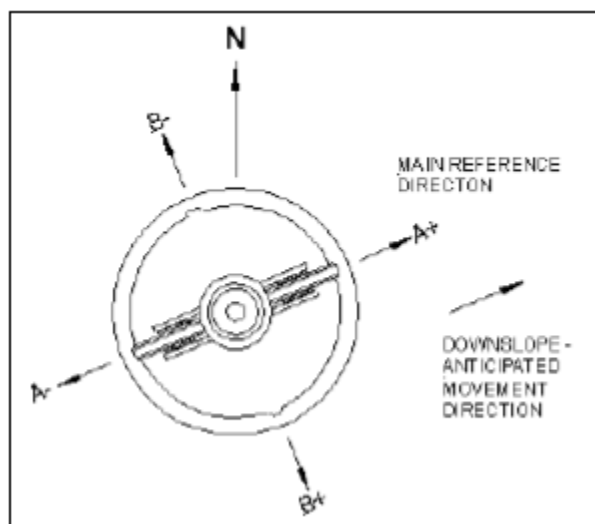


FIGURA 8 - ORIENTACIÓN DE LA TUBERÍA CON RESPECTO AL EJE A+ EN FUNCIÓN DE LOS MOVIMIENTOS ESPERADOS (RST INSTRUMENS MANUAL, 2016)

La inclinación en la dirección de las ruedas superiores da como resultado una desviación positiva y la inclinación en la dirección de las ruedas inferiores da como resultado una desviación negativa (RST Instrumens Manual, 2016)

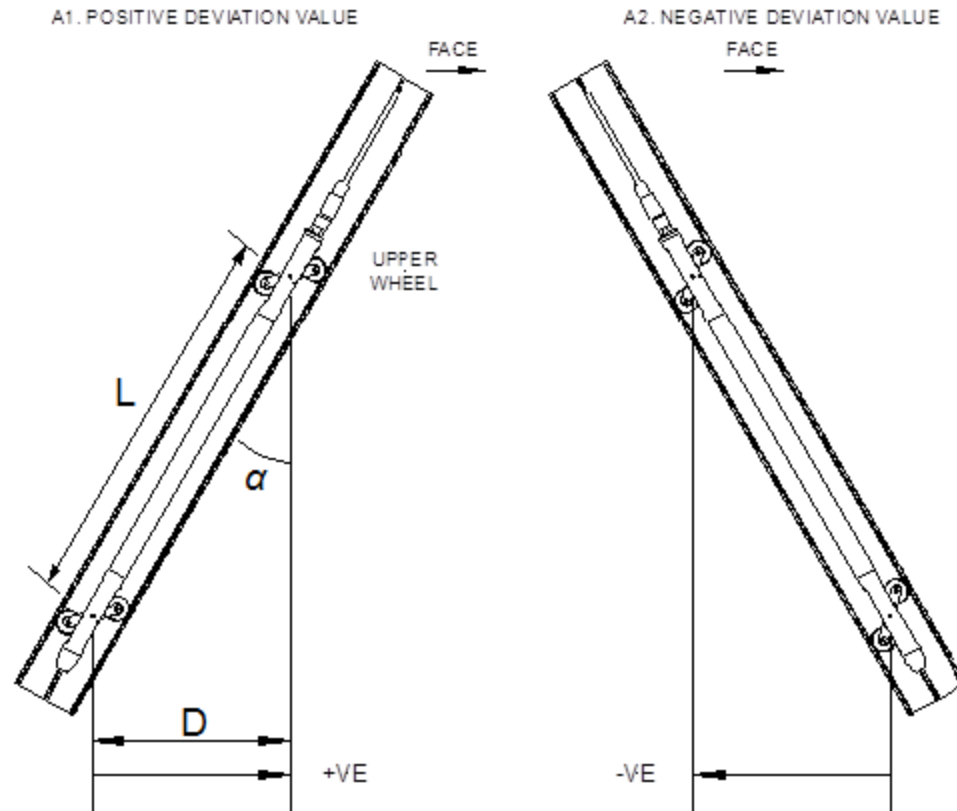


FIGURA 9 – CONVENCION DE SIGNOS CON RESPECTO A SU EJE (RST INSTRUMENS MANUAL, 2016)

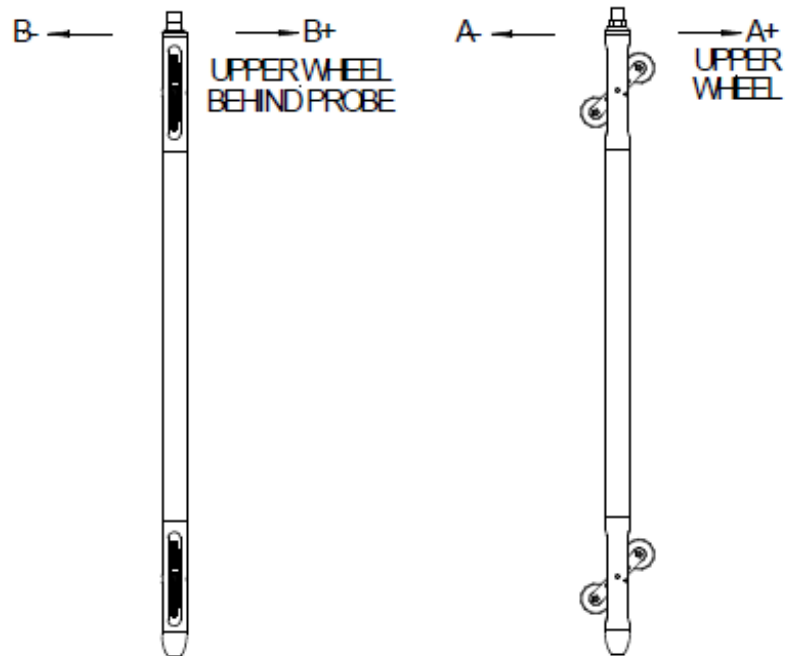


FIGURA 10 – REPRESENTACION DE EJES (RST INSTRUMENS MANUAL, 2016)

2.2.7. Sistema de Monitoreo Empleado con Piezómetros

2.2.7.1. Medidor de Nivel de Agua RST

Los medidores de nivel de agua RST se utilizan para medir la elevación del agua a determinada profundidad a través de un tubo piezométrico instalado en el terreno, también se usa para conocer el nivel de agua en pozos. Este instrumento cuenta con una cinta plana de alta precisión diseñada con los estándares de NIST (El Instituto Nacional de Normas y Tecnología, por sus siglas en inglés) en diferentes longitudes no estirable y marcada permanentemente desde milímetros a metros (RST INSTRUMENTS, 2022)



FIGURA 11 – INSTRUMENTO MEDIDOR DE NIVEL DE AGUA (RST INSTRUMENTS, 2022)

2.2.7.2. Tubería ranurada para piezómetro

El tubo piezométrico para el medidor de agua RST está hecho de plástico PVC ranurado en un extremo. El piezómetro de tubería vertical se utiliza especialmente para seguimiento de presiones intersticiales en presas y terraplenes, investigación de estabilidad de taludes y extracción de lixiviados, Operaciones de muestreo, monitoreo, drenaje de aguas subterráneas y para medir niveles piezométricos. La elevación del agua en la tubería ascendente se mide con un medidor de nivel de agua RST. (RST Instruments, 2022)

Esta tubería ranurada se instala en un orificio perforado a determinada profundidad, su diseño ranurado permite el paso del agua, luego de que esta atraviese una pequeña capa de grava que funciona como filtro evitando que pase material granular no deseado.



FIGURA 12 – TUBO PIEZOMÉTRICO VERTICAL (RST INSTRUMENTS, 2022)

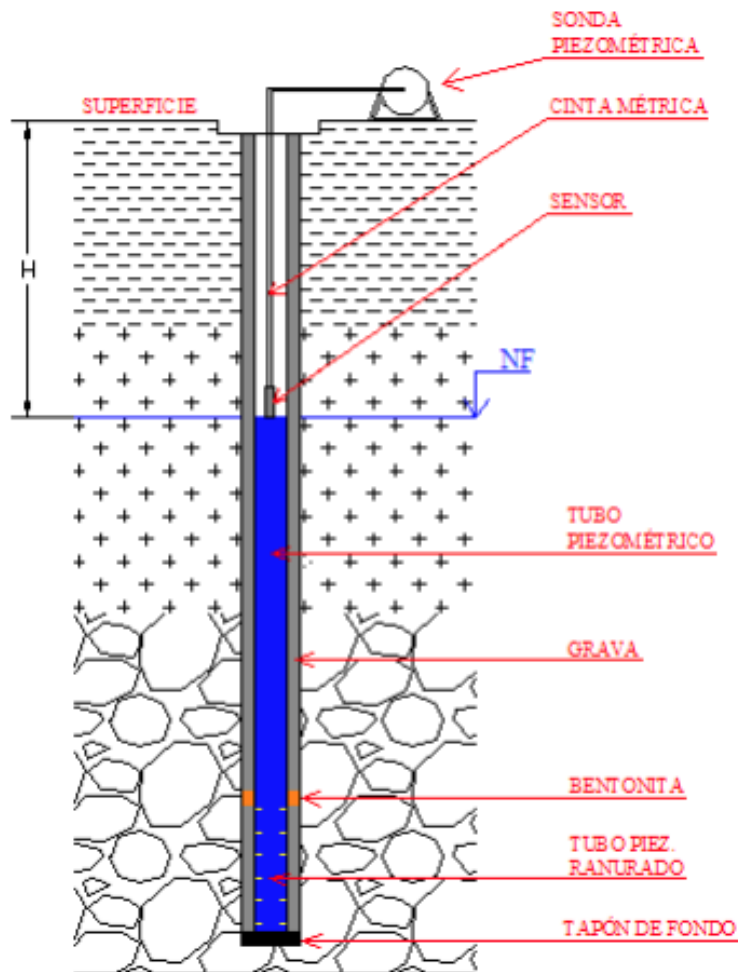


FIGURA 13 – ESQUEMA DE PIEZÓMETRO INSTALADO EN CAMPO (FERNÁNDEZ, 2010)

2.2.8. Sistema de monitoreo con puntos de control topográficos

Este sistema de monitoreo con puntos de control topográficos consiste en el replanteo de puntos previamente instalados y de los que se conoce su localización bajo un sistema de coordenadas. Se pueden instalar mojones (puntos de control anclados), dianas adhesivas reflectantes o puntos de referencia directamente sobre la estructura que se desee monitorear, se hace un replanteo periódico de los mismos puntos y se comparan con el resultado inmediatamente anterior para identificar que tanto se ha desplazado dicho punto en ese

intervalo de tiempo, adicional a esto, se calcula el vector de desplazamiento y asentamiento acumulado.

Es importante que el delta donde se arme la estación sea un punto fijo, libre de movimientos causados por las actividades de construcción.

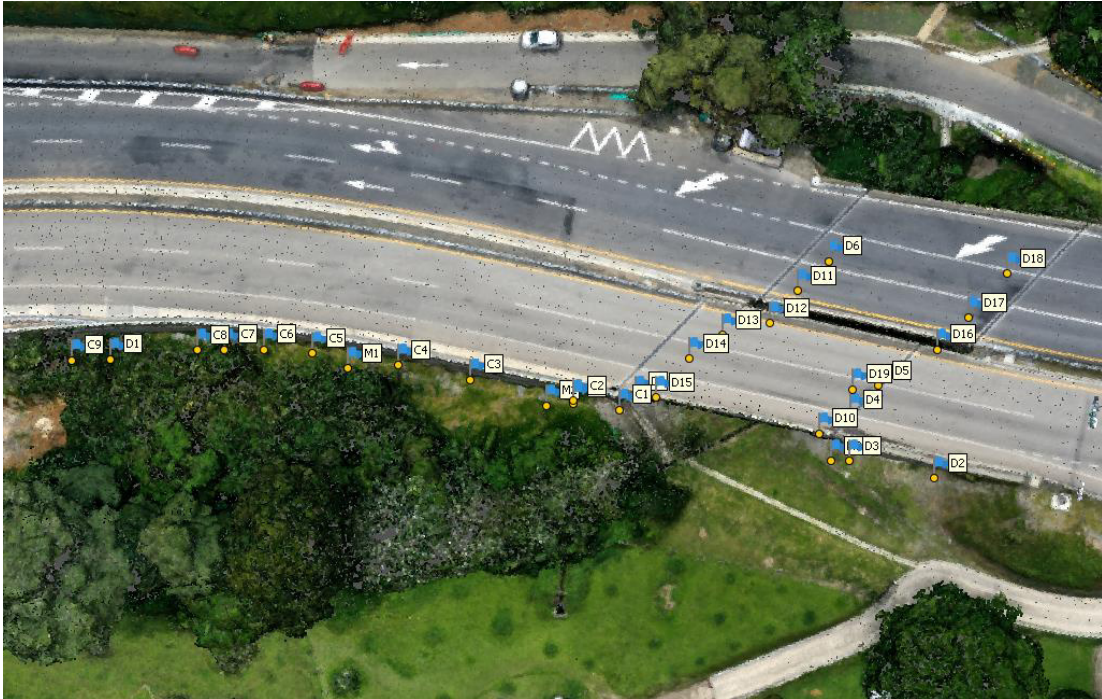


ILUSTRACIÓN 6 – ESQUEMA DE REFERENCIA, UBICACIÓN DE PUNTOS DE CONTROL TOPOGRÁFICOS (SPIRAL INGENIERIA, 2022)

2.2.9. Herramientas para la recolección de datos en el sistema de monitoreo con puntos de control topográficos

Las herramientas utilizadas para el monitoreo con puntos de control topográficos en el proyecto pacifico 1 son:

- Estación topografía total
- Estación RTK (Real Time Kinematic)

2.2.9.1. Estación topográfica total

La estación topográfica total es una herramienta de medición electro-óptica utilizada ampliamente en los diferentes campos de la ingeniería. Su uso es indispensable en el desarrollo de las actividades de construcción y en este caso como herramienta de monitoreo periódico del terreno o estructuras.



ILUSTRACIÓN 7 – REFERENCIA DE ESTACIÓN TOPOGRÁFICA TOTAL (SPIRAL INGENIERIA, 2022)

2.2.6.4. Estación RTK (Real Time Kinematic)

La estación RTK (Real Time Kinematic) es una herramienta de alta precisión satelital en tiempo real, se usa en topografía para facilitar los levantamientos topográficos y la ubicación de puntos de control haciendo más sencillo y rápido el trabajo, no necesita de un cadenero para su operación como si ocurre con una estación de topografía total convencional, basta con nivelarla y el GPS de alta precisión toma las coordenadas del punto. Es una herramienta muy útil para el monitoreo con puntos de control topográfico, ya que, reduce el tiempo de lectura y aumentando la precisión.



ILUSTRACIÓN 8 – REFERENCIA DE ESTACIÓN TOPOGRÁFICA RTK (SPIRAL INGENIERIA, 2022)

2.3. Marco contextual

El presente proyecto de investigación se realizará en el acopio temporal B6A que se encuentra dentro del proyecto autopista conexión pacifico 1 en el departamento de Antioquia.

Covipacífico S.A.S es una sociedad cuyos accionistas principales son empresas de organizaciones sólidas y líderes en el desarrollo de proyectos de transporte e infraestructura a nivel nacional e internacional, esta sociedad está a cargo de la ejecución del contrato de concesión #007 el cual incluye la construcción y operación del Proyecto Autopista Conexión Pacífico1 que se desarrollará en el trayecto Bolombolo – Camilo C – Primavera – Ancón Sur, conectando a Medellín con el Valle del Río del Cauca.

Proyectos de Inversión Vial del Pacífico S.A.S (Proinvipacífico S.A.S) es la empresa constructora del Proyecto Autopista Conexión Pacífico 1, encargada del diseño y construcción de 32.2 km de vía desde Bolombolo en el municipio de Venecia hasta Camilo Cé en Amagá y del mantenimiento de 18 km de vía entre Cuatro Palos y Ancón Sur, para un total de 50.2 km.

La Concesión fue adjudicada por la ANI (Agencia Nacional de Infraestructura) el pasado 3 de junio de 2014 y el acta de inicio se firmó el 11 de noviembre de 2014, actualmente el Proyecto desarrolla su fase de construcción de los 32.2 km de vía nueva en doble calzada en el suroeste de Antioquia, entre los municipios de Amagá, Titiribí, Venecia y Caldas con un Avance General de Obra del 95%.

2.3.1. Localización de la zona de estudio

El diseño del plan de monitoreo con instrumentación geotécnica se realizará específicamente en el acopio temporal B6A localizado al costado izquierdo en sentido

Bolombolo – Medellín entra las abscisas k12+500 y k12+750, tramo de la vía perteneciente a la Unidad Funcional 1 del proyecto autopista conexión pacifico 1, el sector donde se ubica dicho abscisado es conocido como “el guamo” dentro del departamento de Antioquia.

UNIDAD FUNCIONAL (UF)	OTIGEN	DESTINO	Longitud de referencia Origen - Destino (KM)	INTERVENCIÓN PREVISTA	OBRAS PRINCIPALES
1	Bolombolo (PK0+000) X:1.136.730,46 Y:1.150.866,87	PK13+540 (Tramo Bolombolo - Camilo Cé)	13.5	Construcción doble calzada	Túnel Sinifaná, 17 Puentes incluyendo el Intercambio de Sinifaná
2	PK13+540 (Tramo Bolombolo - Camilo Cé)	PK26+740	13.2	Construcción doble calzada, salvo el túnel Amagá	Calzada a Izquierda del Túnel de Amagá y 9 Puentes
3	PR20+930	PR24+940	4.1	Construcción de un tubo del Túnel de Amagá	Calzada derecha del Túnel de Amagá
4	Ancón Sur PR64 (Ruta 2509)	Carretera Primavera - Camilo Cé	18.0	Operación y Mantenimiento	
	Carretera Primavera - Camilo Cé (PR88+100)	Camilo Cé	5.0	Construcción de doble calzada	Inchive Intercambiador en Camilo Cé y 6 Puentes

TABLA 1 – Sectorización - Intervención por unidad funcional (UF) (PROINVIPACIFICO SAS, 2014)

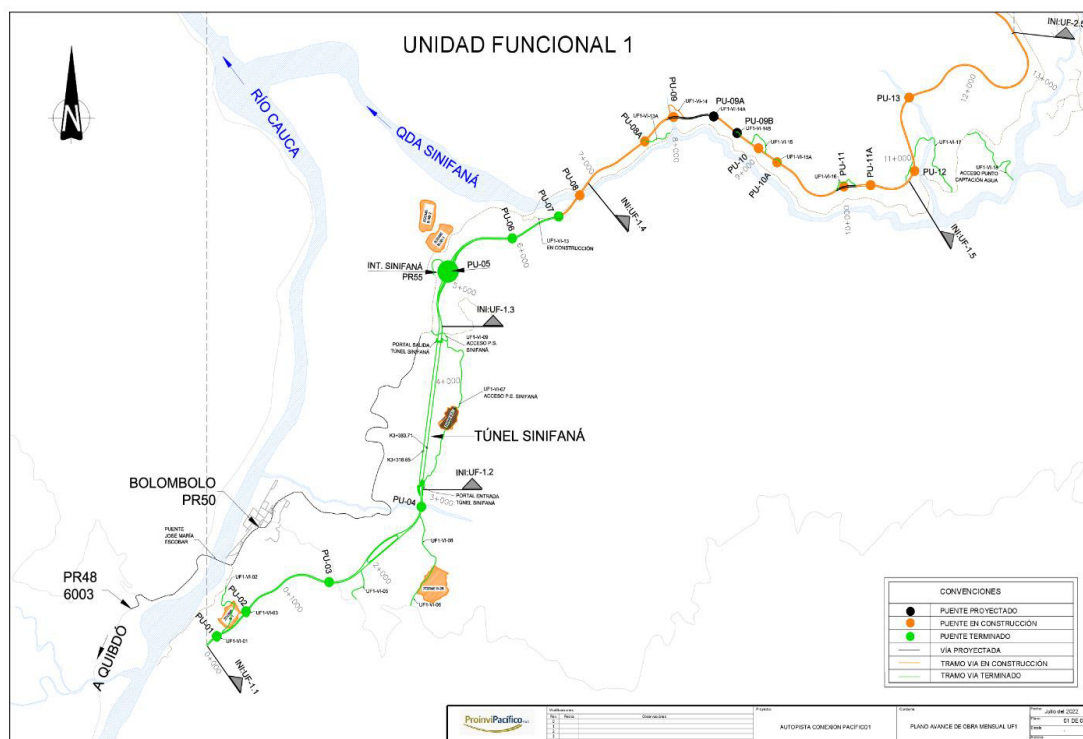


ILUSTRACIÓN 9 – PLANO GENERAL DE LA UNIDAD FUNCIONAL 1 (PROINVIPACIFICO SAS, 2022)

El acopio temporal B6A tiene coordenadas planas E=1144909.771 y N=1156453.416 específicamente, a continuación, se puede observar las coordenadas planas representadas en el programa GOOGLE EARTH PRO, adicionalmente se muestra el trazado preliminar del proyecto autopista conexión pacifico 1 con el objetivo de orientar de forma más clara la localización del sitio materia de estudio.



ILUSTRACIÓN 10 – LOCALIZACIÓN DE COORDENADAS PLANAS E=1144909.771 Y N=1156453.416 DEL ACOPIO TEMPORAL B6A (GOOGLE EARTH PRO, 2022)

2.3.2. Clima y Temperatura de la zona de estudio

El clima y la temperatura juegan un papel importante en el comportamiento del suelo, más aún cuando se ejecutan obras de construcción, excavación y movimiento de tierras.

Durante el transcurso del año 2022 la temperatura en esta zona conocida como “el guamo”,

generalmente varía entre 22°C a 36°C y rara vez baja a menos de 21°C o sube más de 38°C, esta variación de temperatura tiene un efecto en las características de compresibilidad (grado en que una masa de suelo disminuye su volumen), velocidad y grado de asentamiento del suelo. En el año 2022 se han presentado lluvias constantes en esta zona objeto de estudio, con una temporada lluviosa que se espera dure hasta 8,6 meses, desde el 8 de abril al 26 de diciembre de este mismo año 2022 aproximadamente, el grado de saturación del suelo depende en gran medida de estas épocas de lluvia. La saturación del suelo es un gran problema para la estabilidad de las obras de infraestructura vial, dicho de otro modo, la saturación del suelo genera desplazamientos y/o deslizamientos de material. Un milímetro de lluvia equivale a un litro de agua por metro cuadrado (figura 14) (Weather Spark, 2022)

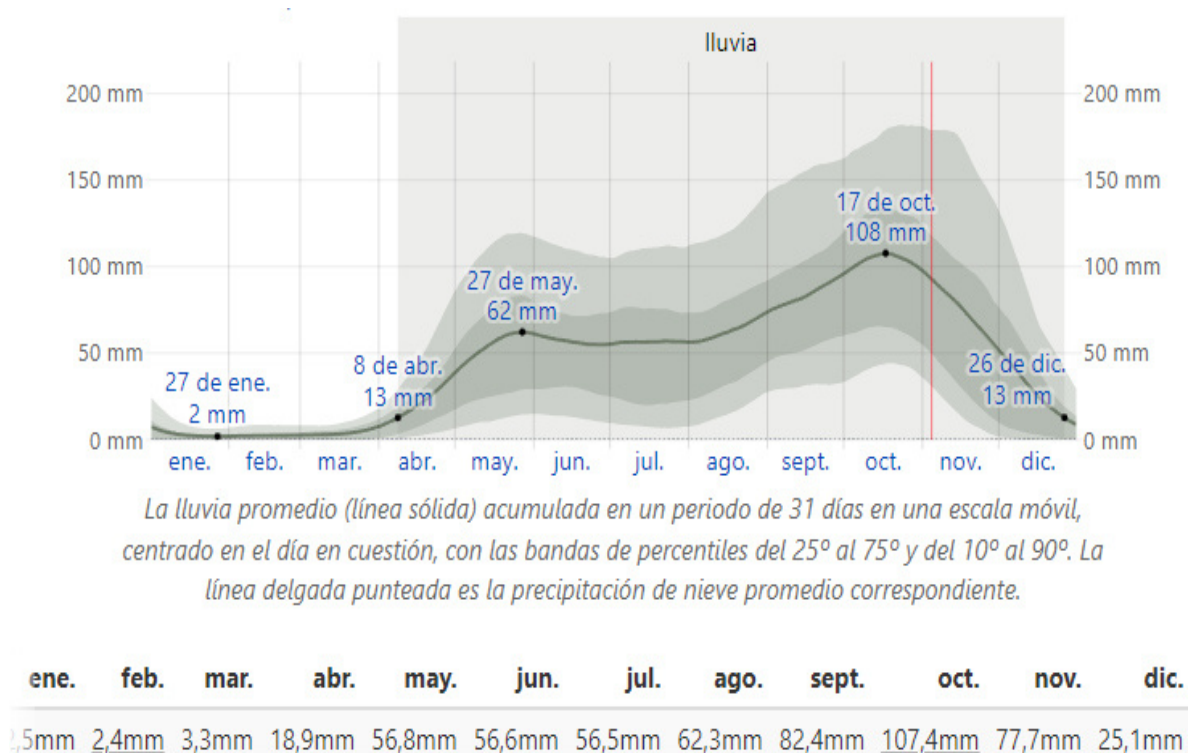


FIGURA 14 – PROMEDIO MENSUAL DE LLUVIA EN EL GUAMO (WEATHER SPARK, 2022)

2.4. Marco legal

- En el trabajo de campo realizado se aplica la política del sistema de gestión integral versión 03 del 11 de junio de 2020, donde se es consciente de los hábitos empresariales amables con el medio ambiente, calidad, seguridad y salud en el trabajo que exige la sociedad colombiana; es decir, se utilizaron todos los elementos de protección para la seguridad e identificación del personal y se mantiene un especial cuidado de la fauna y flora pertenecientes a la zona objeto de estudio. Se cumple con los parámetros definidos en el artículo 2.2.4.6.6 del decreto 1072 de 2015.

- La NSR-10 colombiana en su título H – Estudios Geotécnicos, más específicamente en los Índices H.2.2.3, H.7.1.3 párrafo (c) y H.8.1 párrafo (c), menciona de manera general la importancia de implementar una Instrumentación adecuada en caso de que se observen inestabilidades en el terreno antes, durante y después de la construcción con el objetivo de identificar los esfuerzos y deformaciones de los suelos de apoyo, sin embargo, deja a consideración del ingeniero Geotécnico la elección de los instrumentos que mejor se adapten a las necesidades del proyecto, así como, la ubicación e instalación de los mismos teniendo en cuenta los estudios geológicos previos al desarrollo constructivo. Por último, es importante resaltar que los instrumentos del monitoreo geotécnico utilizados en el presente proyecto fueron definidos por los especialistas encargados de los estudios iniciales dentro del contrato de la concesión vial adjudicado con ocasión de la Licitación Pública No. VJ-VE-IP-LP-007-2013 abierta por la AGENCIA NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA – ANI.

- Los instrumentos de medición geotécnicos como lo son el piezómetro de cinta plana e inclinómetro digital ambos de la marca RST están diseñados y construidos bajo las normas del INSTITUTO NACIONAL DE ESTÁNDARES Y TECNOLOGÍA (NIST, por

sus siglas en inglés), esta es una agencia de la Administración de Tecnología del Departamento de Comercio de los Estados Unidos.

3. Diseño metodológico

3.1. Tipo de investigación

El presente proyecto de investigación pretende diseñar y dar a conocer el desarrollo de la implementación de un plan de monitoreo con instrumentación geotécnica en el acopio temporal B6A localizado al costado izquierdo en sentido Bolombolo – Medellín entra las abscisas k12+500 y k12+750 dentro de la Unidad Funcional 1 del proyecto autopista conexión pacifico 1 en el departamento de Antioquia, teniendo en cuenta, los estudios geológicos y la topografía de la zona objeto de estudio. de esta forma, se busca conocer las propiedades del movimiento que se está presentando, de manera que, los ingenieros encargados de la construcción de la vía puedan usar dicha información para implementar obras de mitigación que permitan disminuir al máximo estos movimientos y mejorar la matriz de riesgo del proyecto de infraestructura vial.

No se busca de ninguna manera diseñar, implementar o sugerir dichas obras de mitigación, dicho esto, solo se busca disponer de datos confiables mediante un sistema de monitoreo geotécnico que serán utilizados con fines ajenos a el objetivo específico de este proyecto de investigación. Se mostrarán los datos arrojados por el monitoreo periódico y sus conclusiones.

3.2. Población y Muestra

3.2.1. Población

Habitantes de los municipios de Amagá, Titiribí, Venecia y Caldas en el suroeste antioqueño que se ven directamente influenciados por el proyecto de inversión vial autopista conexión pacífico 1.

3.2.2. Muestra

Datos recolectados en campo por el sistema de medición de inclinómetros, piezómetros y puntos de control topográfico en un periodo determinado de tiempo, iniciando el día 10 de junio-2022 y concluirá el día 30 de noviembre-2022 aproximadamente.

3.3. Instrumentos para la recolección de información

- Estudios previos. Estudio geológico de la zona conocida como “el guamo” adelantado por la empresa contratista Cimentaciones SAS – Geotecnia y Características geológicas regionales del sector en estudio expuestas por el Servicio Geológico Colombiano en Geología de la Plancha 166 Jericó, año 1980 versión digital 2009.
- Conocimiento del sitio. Características topográficas del sector objeto de estudio que se pueden observar en <https://es-co.topographic-map.com> y datos del clima y temperatura expuestos por <https://es.weatherspark.com/> del sector conocido como “el guamo”. Visitas y observaciones hechas en campo.
- Sistema de medición implementados en el monitoreo. Sistema de medición de inclinómetros, piezómetros y puntos de control topográfico, manuales de uso e

implementación de la instrumentación RST, conceptos y procesador de datos Inclinalysis™ Digital Inclinometer Analysis Software.

3.4. Técnicas de análisis y procesamiento de datos

La recolección de datos en la zona de estudio será posible gracias a un sistema de mediciones compuesto por tres pilares fundamentales de monitoreo como lo son el sistema de monitoreo con inclinómetros, piezómetros y puntos de control topográfico. Dicha recolección de datos se realizará de forma periódica hasta culminar con el tiempo esperado del estudio, con estos datos se analizará la velocidad del movimiento presente en la zona. Los datos que correspondan a el sistema de monitoreo con puntos de control topográfico y a los arrojados por los piezómetros se procesaran de forma manual con la ayuda de la herramienta digital Excel, por otra parte, los datos arrojados por el sistema de monitoreo con inclinómetros serán procesados por un software especializado llamado “Inclinalysis™ Digital Inclinometer Analysis Software”, es con la ayuda de dicho software que se convertirán los datos crudos tomados en campo a una serie de datos acumulados con respecto a la lectura base en un formato llamado “.csv.Cumulative.TextView.csv”, una vez hecho esto los datos estarán listos para ser analizados y graficados en una tabla de Excel.

3.5. Presentación de resultados

Descripción del análisis e interpretación de los movimientos reflejados en los tres pilares de monitoreo, así como, la representación gráfica y cuantitativa de los mismo.

4. Fases del proyecto

4.1. Fase 1: Analizar estudios geológicos

Se toma como referencia el informe titulado “Estabilidad y Estabilización de Taludes Sitio Crítico El Guamo K12+120-K12+400” realizado por la empresa contratista GEOTECNIA & CIMENTACIONES (compañía de Diseño y consultoría) en el mes de abril del año 2017, dicho informe detalla de forma general las condiciones que presenta el suelo dentro del sector del “Guamo” y por tal razón es de gran utilidad para el desarrollo de este proyecto teniendo en cuenta que se trata en general de la misma zona de estudio donde se encuentra el acopio temporal B6A. Este informe permite conocer las fallas geológicas presentes en el sitio crítico “el guamo” y sus respectivas unidades geológicas. Reconocer las fallas geológicas locales es fundamental para identificar un sitio crítico y es una de las razones por la cual se implementa un monitoreo geotécnico.

En la exploración geotécnica indirecta realizada en el “guamo” y expuesta en el informe “Estabilidad y Estabilización de Taludes Sitio Crítico El Guamo K12+120-K12+400”, se contemplan profundidades de diseño de 30 metros para obras de estabilización. En vista de ello se buscará instalar la instrumentación a esta misma profundidad de 30 metros teniendo en cuenta que se trata de las mismas condiciones geológicas.

Se identifican un sistema principal de fallas localizadas adyacentes al sector en estudio que corresponden a lineamientos asociados a los sistemas de fallas de Romeral y Caldas al oriente, La Pintada al Suroccidente y El Sistema Cauca Occidental al occidente del sector inestable, de igual forma se identificó unas fallas locales de menor extensión de las que sobresalen al oriente del sector inestable las fallas de Amagá y La Cascajosa, con rumbo NW. Al occidente del sector inestable podemos destacar la falla de Sabanalarga, la cual

corresponde a una estructura de rumbo N-S a N-W poniendo en contacto las rocas volcánicas de la Formación quebrada Grande (Miembro Volcánico) al oriente de la estructura con rocas sedimentarias de la Formación Amagá al occidente de esta.

Las unidades geológicas presentes en la zona del “guamo” son el Complejo Cajamarca - Esquistos verdes (Pev), Diorita de Pueblito (Kidp), la Formación Quebrada Grande - Miembro Volcánico (Kvc), la Formación Amagá (Miembro Inferior (E3ai), Miembro Medio (E3am) y Miembro Superior (E3as)), Formación Combia (N1c), Dique, Silos Andesíticos (N2dsb) y Pórfido Andesítico (N2adh).

Para finalizar se observaron una serie de escarpes principales y secundarios dentro de la naturaleza del sitio, estos escarpes se producen por efectos de la gravedad y generan depósitos de material de flujo sobre la superficie del sitio. Esto también nos da una idea de la dirección esperada del movimiento y el material responsable de la inestabilidad del sitio. A continuación, se observa la fotogrametría del sitio crítico del “guamo”.

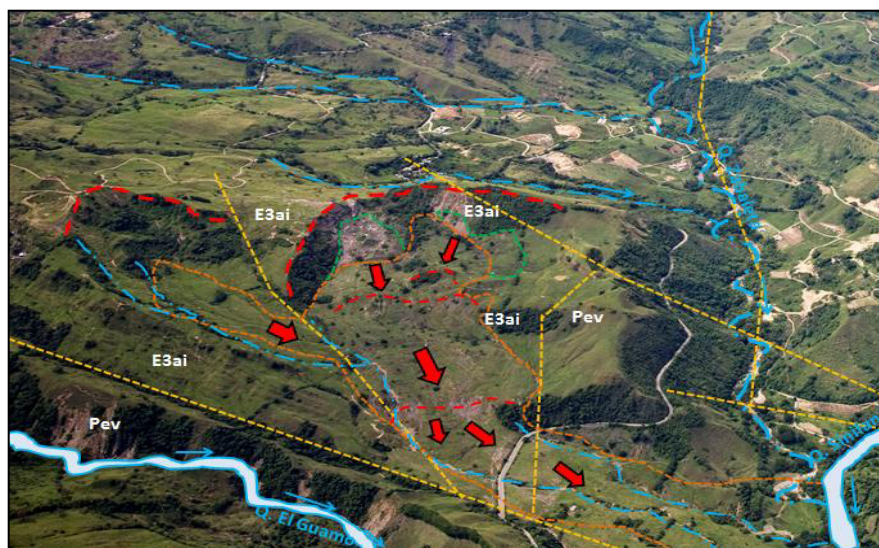


ILUSTRACIÓN 11 - FOTOINTERPRETACIÓN GEOLÓGICA DEL SECTOR INESTABLE EN ESTUDIO. IMAGEN AÉREA DRON, AÑO 2016. (CIMENTACIONES, ESTUDIO DE ESTABILIDAD Y ESTABILIZACIÓN DE TALUDES SITIO CRÍTICO EL GUAMO, 2017)

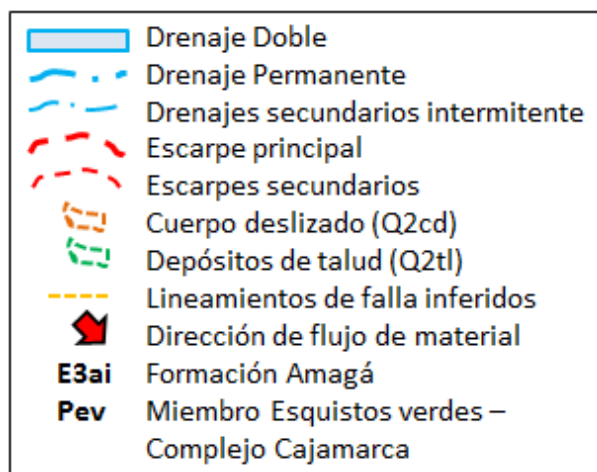


ILUSTRACIÓN 12 - LEYENDA FOTOINTERPRETACIÓN IMAGEN DRON, AÑO 2016.
(CIMENTACIONES, ESTUDIO DE ESTABILIDAD Y ESTABILIZACIÓN DE TALUDES SITIO
CRITICO EL GUAMO, 2017)

La información de referencia y antecedentes expuesta en el informe “Estabilidad y Estabilización de Taludes Sitio Crítico El Guamo K12+120-K12+400” es tomada de los estudios ejecutados previamente a este informe conformado por:

- Volumen III. Estudio de Geología para Ingeniería (UF-1). Elaborado por Consorcio INTEGRAL-ICEACSA.
- Volumen V. Estudio de estabilidad y estabilización de taludes (UF-1). 30 de septiembre de 2015. Elaborado por Consorcio INTEGRAL-ICEACSA.
- SUAREZ, J (1998) Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Ediciones UIS.
- BOWLES, J. (1996), “Foundation Analysis and Design” 5th Edition, McGraw-Hill.
- GARCÍA LÓPEZ, M. Manual De Estabilidad De Taludes, INVIAS, 1998.

- CASAGRANDE, A. (1948) “Classification and Identification of Soils”, Transactions ASCE, 1,992.
- MESRI AND ABDEL-GHAFFAR (August 1993 Geotechnical Journal)
- CARTER, M AND BENTLEY, S. P., Correlations Of Soil Properties, Pentech Press, London, 1991.
- DAY, ROBERT W., Foundation Engineering Handbook, McGraw Hill, New York, 2006
- DAS, BRAJA M, Principles Of Geotechnical Engineering, Fifth Ed, Thomas Learning, United States, 2002.
- MCCARTHY, DAVID F., Essentials Of Soil Mechanics And Foundations Basic Geotechnics, Fifth Edition, Prentice Hall, 1998.

4.2. Fase 2: Analizar la topografía de la zona

Se realizaron varias visitas al sitio donde se encuentra “el acopio temporal B6A” de manera que, se pudo analizar las pendientes del terreno que rodea a dicha estructura, adicionalmente se utilizó como referencia topográfica la página web “topographic-map.com” la cual muestra un mapa satelital donde se observan las diferentes curvas de nivel presentes en la zona representadas por un espectro de colores, de esta forma se pudo analizar la dirección esperada del movimiento y se identificó los puntos estratégicos para la instalación de los inclinómetros, piezómetros y los puntos de control topográficos.



ILUSTRACIÓN 13 – ACOPIO TEMPORAL B6A (FUENTE: PROPIA)

Se concluyo luego de analizar las pendientes del terreno en la zona, que la dirección espera del movimiento será en sentido **suroeste**, dicho esto, el eje principal de la tubería para los inclinómetros se instalará en este mismo sentido. Es importante identificar y tener como referencia en primera instancia la dirección en la que se espera que el terreno se desplace para una correcta instalación de los inclinómetros que serán los encargados de reflejar más precisamente los movimientos a profundidad. Una vez el eje principal de la tubería se instale en dirección del movimiento esperado, se toma un azimut que representa el Angulo que existe entre la norte real y la dirección del movimiento esperado, esto ayuda a graficar el vector de deformación de cada inclinómetro.

4.3. Fase 3: Reconocer los puntos claves para la instalación de los inclinómetros, piezómetros y puntos de control topográfico

Luego de analizar los estudios geotécnicos y la topografía de la zona donde se encuentra el acopio temporal B6A, se identificaron los puntos clave para la instalación de un sistema de monitoreo geotécnico. Se implementará un sistema de monitoreo conformado por tres (3) inclinómetros, un (1) piezómetro y un total de trece (13) puntos de control topográfico distribuidos a lo largo y ancho de la zona objeto de estudio del presente proyecto de investigación, esto con el objetivo de recolectar la mayor cantidad de datos posibles que permita identificar los movimientos que se puedan presentar.

4.3.1. Ubicación de los puntos y Profundidad de diseño para la exploración directa e instalación de los inclinómetros y piezómetro

Teniendo en cuenta la exploración indirecta de la zona crítica “el guamo” realizada en estudios geotécnicos anteriores para los diseños de cimentación y estabilización donde se define teórica y experimentalmente una profundidad de 30 metros en la cual se considera que el suelo es más competente para soportar las cargas, se toma esta misma profundidad de diseño para la exploración directa (perforaciones verticales) e instalación de los inclinómetros y del piezómetro que se pretende implementar en este monitoreo. El objetivo de instalar la instrumentación a esta profundidad es la anclar la base de la tubería especialmente la de los inclinómetros a un suelo competente que no permita el desplazamiento en ese extremo pero que refleje los movimientos de los diferentes estratos de suelo menos competentes que están por encima de la base de los inclinómetros. Adicionalmente se busca superar la profundidad en la que se pueden encontrar las fallas locales presentes en la zona y reconocer los materiales que conforman el suelo hasta esa determinada profundidad.

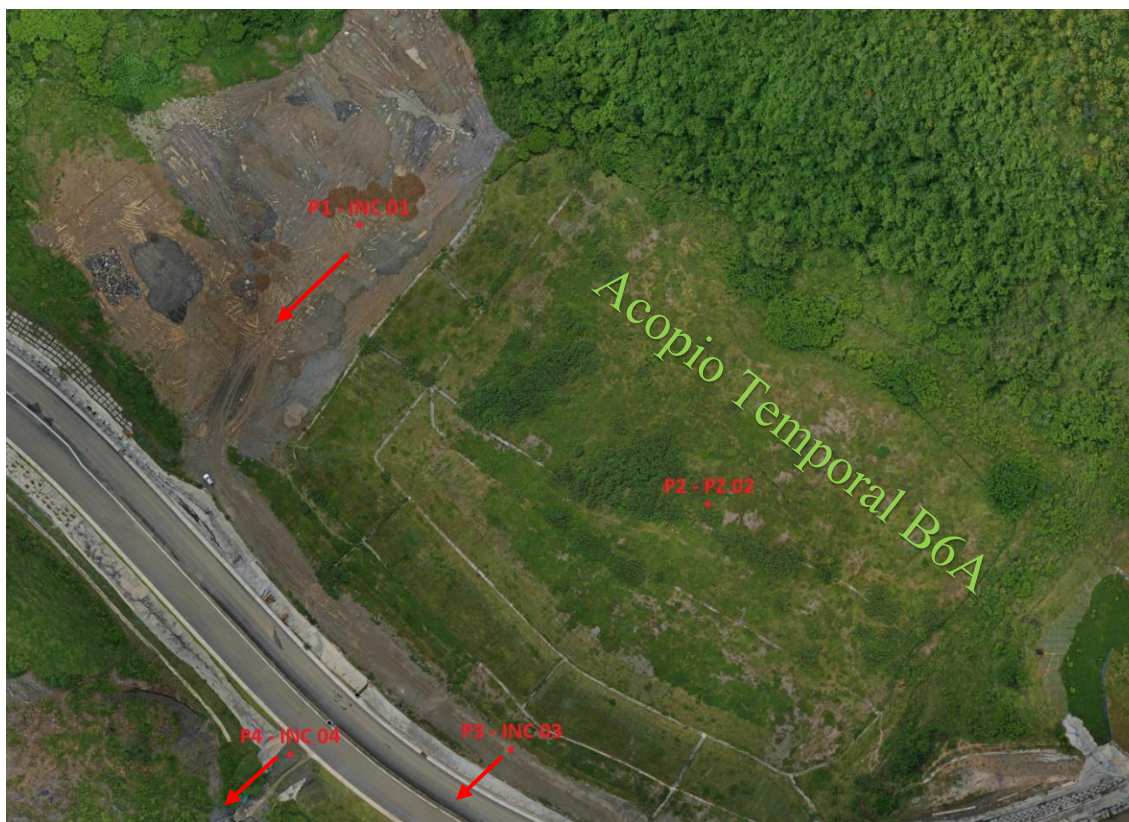


ILUSTRACIÓN 14 – PUNTOS ESTRATÉGICOS PARA LA INSTALACIÓN DE LOS INCLINÓMETROS Y PIEZÓMETRO. (FUENTE: ORTOFOTO ACOPIO TEMPORAL B6A – PACIFICO 1, 2022)

EXPLORACIÓN	COORDENADAS		LONGITUD
	ESTE	NORTE	
P1 - INCLINOMETRO 01	1144821	1156556	30 m
P2 - PIEZOMETRO 02	1144918	1156456	30 m
P3 - INCLINOMETRO 03	1144849	1156369	30 m
P4 - INCLINOMETRO 04	1144731	1156422	30 m

TABLA 2 – COORDENADAS DE LOS PUNTOS DE EXPLORACIÓN E INSTALACIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN. (FUENTE: PROPIA)

4.3.2. Ubicación de los puntos de control topográfico en la zona

Se solicitó la instalación de puntos de control topográfico que cubren toda la zona que ocupa el acopio temporal B6A para identificar los movimientos superficiales, esta instalación está a cargo de la empresa contratista SPIRAL INGENIERIA. Los datos arrojados por este seguimiento topográfico que consiste en un sistema de replanteo de puntos son procesados y

analizados por el autor de este proyecto de investigación con el fin de identificar el comportamiento de los movimientos superficiales que se presentan en la zona. Estos datos no solo muestran movimientos en el plano norte sur - este oeste, sino también en el eje vertical “Y” denominados asentamientos de suelo que no son posibles de observar en los inclinómetros.

Se instalaron un total de trece (13) puntos de control dispersos sobre el acopio temporal B6A, ubicados de la siguiente manera:

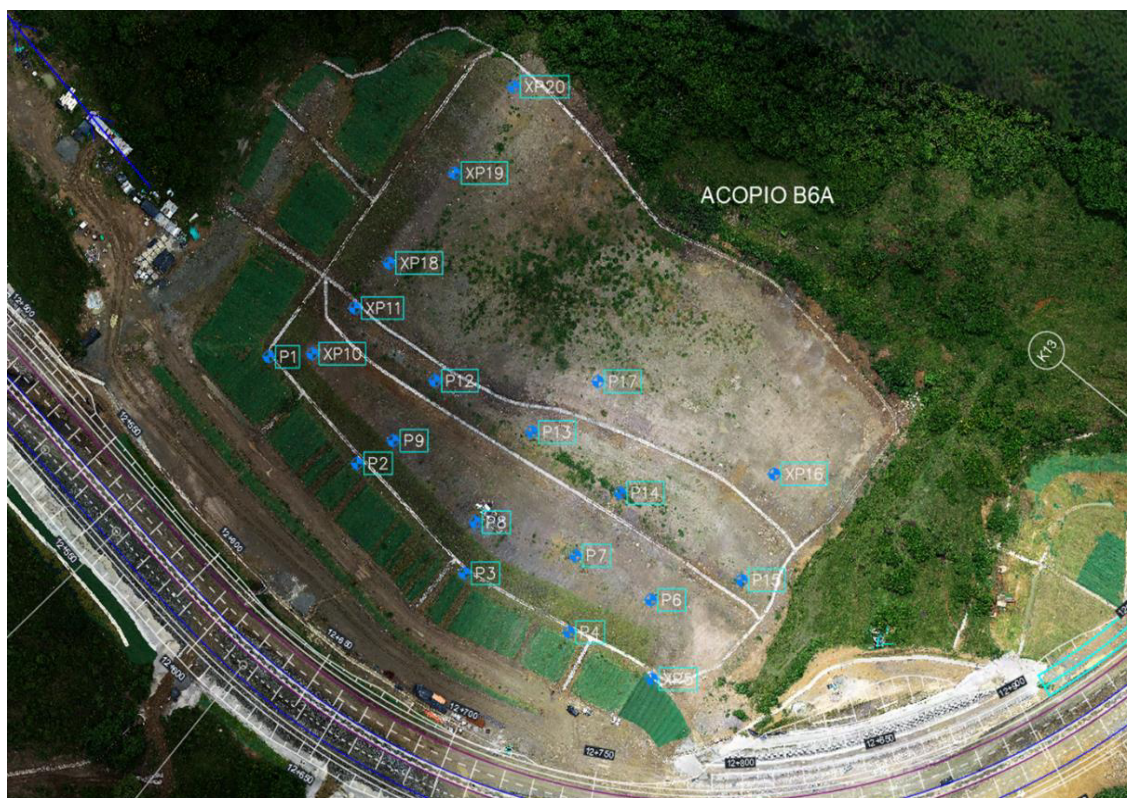


ILUSTRACIÓN 15 – UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE CONTROL TOPOGRÁFICOS (SPIRAL, 2022)

PUNTO	COORDENADAS PUNTOS INICIALES			OBSERVACIONES
	NORTE	ESTE	COTA	
P1	1156462.675	1144810.871	994.423	
P2	1156429.415	1144839.945	994.378	
P3	1156395.118	1144875.264	994.240	
P4	1156376.742	1144909.612	994.696	
XP5	1156362.112	1144936.930	994.488	PUNTO DE ARMADO - ESTACION TOTAL
P6	1156386.778	1144936.563	998.919	
P7	1156400.603	1144911.763	998.818	
P8	1156411.066	1144878.773	998.073	
P9	1156436.483	1144851.805	997.902	
XP10	1156463.622	1144825.157	997.757	PUNTO DE ARMADO - ESTACION TOTAL
XP11	1156477.883	1144839.099	999.365	PUNTO DE ARMADO - ESTACION TOTAL
P12	1156455.181	1144865.481	999.916	
P13	1156439.224	1144897.422	1000.632	
P14	1156420.179	1144926.455	1000.607	
P15	1156392.981	1144966.435	1000.405	
XP16	1156426.075	1144977.129	1002.504	PUNTO DE ARMADO - ESTACION TOTAL
P17	1156454.961	1144919.157	1002.147	
XP18	1156491.895	1144850.437	1000.823	PUNTO DE ARMADO - ESTACION TOTAL
XP19	1156519.991	1144871.939	1001.202	PUNTO DE ARMADO - ESTACION TOTAL
XP20	1156546.929	1144891.380	1001.028	PUNTO DE ARMADO - ESTACION TOTAL

TABLA 3 – COORDENADAS INICIALES DE LOS PUNTOS DE CONTROL TOPOGRÁFICO (**SPIRAL, 2022**)

4.4. Fase 4: Costo de la exploración geotécnica directa e indirecta en el acopio temporal

B6A

El costo de las perforaciones verticales con y sin recuperación de muestras e instalación de los tres (3) inclinómetros y un (1) piezómetro con un plazo de construcción de 60 días calendario, se cotizo con la empresa contratista AQUASOLUM INGENIERÍA S.A.S. y fue aprobado por el jefe de la Oficina Técnica del proyecto pacifico 1. El costo final para el total de las actividades fue de 80,863,324 \$ pesos colombianos. Estas actividades contemplan diferentes ensayos de campo y laboratorio que no son relevantes para el objetivo específico del presente proyecto de investigación, pero si como criterio para la implementación de obras de mitigación.

CAMPAÑA DE EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA DIRECTA E INDIRECTA ACOPIO TEMPORAL B6A TRAMO 5 - PACIFICO 1 (ANTIOQUIA)					
ITEM	OBRA O SERVICIO (DESCRIPCIÓN)	CANTIDAD	UNIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
1.	EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA E INSTRUMENTACIÓN DE CAMPO				\$ 48,995,220
1.1.	Exploración Directa				\$ 32,286,600
1.1.1.	Perforación con Maquina a Percusión y Rotación Sin Recuperación de Muestras Alteradas e Inalteradas	60	ml	\$ 135,000	\$ 8,100,000
1.1.1.	Perforación con Maquina a Percusión y Rotación Con Recuperación de Muestras Alteradas e Inalteradas	120	ml	\$ 201,555	\$ 24,186,600
1.2.	Instrumentación				\$ 16,708,620
1.2.1.	Suministro e Instalación de Inclínómetros, Incluye tapón y Accesorios	150	und	\$ 97,699	\$ 14,654,850
1.2.2.	Suministro e Instalación de Piezómetro, Incluye tapón y Accesorios	30	und	\$ 68,459	\$ 2,053,770
2.	INSUMOS, VIÁTICOS, MOVILIZACIONES Y TRANSPORTE				\$ 19,649,367
2.1.	Insumos, Viáticos, Movilizaciones y Transporte				\$ 19,649,367
2.1.1.	Viáticos para Personal en Campo (Hospedaje, Alimentación, Hidratación, Lavada de Ropa, Transporte Interno), Movilización de Maquinas de Perforación, Personal de Apoyo en las Movilizaciones, Celaduría de Equipos de Perforación, Acameo de Agua para Desarrollo de Actividades de Campo y Todos los Costos Asociados con la Perforación	1	GL	\$ 19,649,367	\$ 19,649,367
Notas Importantes:				SUBTOTAL =	\$ 68,644,587
1. Se realiza una facturación acorde a las cantidades exploradas, instrumentadas (metraje realmente ejecutado) ya que las cantidades aca expuestas son estimadas con información de materiales secundarios posiblemente encontrados en la zona de estudio.				Administración e Imprevistos (12%) =	\$ 8,237,350
2. El tiempo ofertado esta sujeto a variación climática y a condiciones contractuales iniciales. Incluye la exploración de campo e instrumentación.				Utilidad (5%) =	\$ 3,432,229
3. La forma de pago es a las fechas de corte estipuladas por Proinviapacífico S.A.S. y con la respectiva fecha de corte. Este cobro se realizara con actas de obra segun metraje ejecutado. Importante en la relación comercial, un valor anticipado para viáticos, movilizaciones y transporte del personal y equipo de perforación.				IVA (16%) sobre la Utilidad =	\$ 549,157
4. El costo de la perforación incluye la recuperacion de las muestras en tubo shelby, estandar o cajas porta nucleos.				TOTAL =	\$ 80,863,324
5. El costo de la propuesta incluye el costo de la celaduría de equipos de perforación y el costo para el suministro de agua para actividades.					
6. Para la realización de las actividades se proponen 1 maquinas de perforación a roto - percusión.					
7. Se plantea un costo de \$ 1.250.000 / día - maquina, a partir del segundo día de para de actividades y que las razones sean ajenas a nuestro equipo de trabajo.					
8. Una vez se conozcan precisamente los sitios de perforación e instrumentación, y si da a lugar con item de movilización se podra realizar ajuste a los valores presentados.					

TABLA 4 - COTIZACIÓN DE SERVICIOS PARA LA EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA (INGENIERIA, AQUASOLUM SAS, 2022)

4.5. Fase 5: Examinar y describir las muestras recuperadas en campo

Las muestras recuperadas en campo corresponden a 120 metros lineales de perforación vertical dividido en los 4 puntos estratégicos de perforación e instalación de la instrumentación geotécnica previamente definidos, es decir, 30 metros lineales por cada punto de perforación. A continuación, se describen los materiales encontrados en cada uno de los puntos. Perforaciones realizadas con Maquina a Percusión y Rotación.



ILUSTRACIÓN 16 – MAQUINA DE PERFORACIÓN A PERCUSIÓN Y ROTACIÓN (FUENTE: PROPIA)

4.5.1. Sondeo P1 – Inclínómetro 01 (E:1144821; N:1156556)

Muestra #1: En los primeros 4,00 metros de profundidad se encontró Gravas y fragmentos de roca de coloración gris claro y pardo, impregnados en una matriz limo arcillosa y arenas de tamaño de grano fino. Entre los 4,00 a 4,55 metros se encontró arcilla limosa de coloración variada entre gris claro verdoso y beige, con presencia de pequeñas gravas, el material posee apariencia de depósito de lleno antrópico.



ILUSTRACIÓN 17 – MUESTRA #1 RECUPERADA, SONDEO P1 – 0,00 M - 4.55 M (FUENTE: PROPIA)

Muestra #2: Entre los 4,55 a 5,55 metros de profundidad se encontró arcilla limosa de coloración variada entre gris claro verdoso y beige, con presencia de pequeñas gravas, de igual forma entre los 5,55 a 6,00 metros la muestra presenta las mismas características, pero con un alto grado de humedad. Desde los 6,00 a 8.55 metros se observa arcilla limosa de coloración variada entre gris claro verdoso y beige, con presencia de gravas y fragmentos de roca, el material posee apariencia de depósito de lleno antrópico.



ILUSTRACIÓN 18- MUESTRA #2 RECUPERADA, SONDEO P1 – 4,55 M – 8,55 M (FUENTE: PROPIA)

Muestra #3: Entre los 8.55 a 10,00 metros de profundidad se encontró arcilla limosa de coloración variada entre gris claro verdoso y beige, con presencia de gravas y fragmentos de roca. Desde los 10,00 a 11,00 metros se observan fragmentos de roca de tonalidad gris clara y zonas pardas, embebidos en una matriz arillo limosa de coloración beige y gris claro. De 11,00 a 12,00 metros se encontró una muestra compuesta por dos materiales; el primero son fragmentos de roca de tonalidad gris clara y zonas pardas, embebidos en una matriz arillo limosa de coloración beige y gris claro, con apariencia de depósito de lleno antrópico. El segundo es una arcilla densa de coloración beige, con presencia de gravas y apariencia de depósito de vertiente tipo flujo de lodos y adicionalmente entre 12,00 a 12,55 metros encontramos arcilla densa, de coloración beige, con presencia de gravas, el material posee apariencia de depósito de vertiente tipo flujo de lodos.



ILUSTRACIÓN 19 - MUESTRA #3 RECUPERADA, SONDEO P1 – 8,55 M – 12,55 M (FUENTE: PROPIA)

Muestra #4: Entre los 12,55 a 13,55 metros de profundidad se encontró Arcilla densa, de coloración beige, con presencia de gravas, el material posee apariencia de depósito de vertiente tipo flujo de lodos. De 13,55 a 14,55 metros se observa muestra de lavado, compuesta por arcillas y limos de coloración beige, el material posee apariencia de matriz de depósito de vertiente tipo flujo de lodos. De 14,00 a 18,00 metros encontramos roca moderadamente alterada y meteorizada, de coloración gris y zonas parda producto de la oxidación de los minerales, el material posee apariencia de roca metamórfica tipo esquisto, se observa un alto grado de fracturamiento, algunas producto de la presión de la máquina al extraer la muestra y otras producto de la naturaleza.



ILUSTRACIÓN 20 - MUESTRA #4 RECUPERADA, SONDEO P1 – 12,55 M – 18,00 M (FUENTE: PROPIA)

Muestra #5: Entre los 18,00 a 22,00 metros de profundidad encontramos roca moderadamente alterada y meteorizada, de coloración gris y zonas parda producto de la oxidación de los minerales, el material posee apariencia de roca metamórfica tipo esquisto, se observa un alto grado de fracturamiento y se recupera muestra de lavado compuesta de arenas y finos.



ILUSTRACIÓN 21 - MUESTRA #5 RECUPERADA, SONDEO P1 – 18,00 M – 22,00 M (FUENTE: PROPIA)

Muestra #6: Entre los 22,00 a 26,00 metros de profundidad encontramos roca moderadamente alterada y meteorizada, de coloración gris y zonas parda producto de la oxidación de los minerales, el material posee apariencia de roca metamórfica tipo esquisto, se observa un alto grado de fracturamiento, algunas producto de la presión de la máquina al extraer la muestra y otras producto de la naturaleza y se recupera muestra de lavado compuesta de arenas y finos.



ILUSTRACIÓN 22 - MUESTRA #6 RECUPERADA, SONDEO P1 – 22,00 M – 26,00 M (FUENTE: PROPIA)

Muestra #7: Entre los 26,00 a 28,00 metros de profundidad encontramos roca altamente alterada y meteorizada, de coloración gris, el material posee apariencia de roca metamórfica tipo arcillolita, se recuperan algunas arcillas blandas, se observa un alto grado de fracturamiento, no se recupera muestra de lavado. De 28,00 a 30,00 metros se observa roca moderadamente alterada y meteorizada, de coloración gris, el material posee apariencia de roca metamórfica tipo arcillolita, se observa un alto grado de fracturamiento, algunas producto de la presión de la máquina al extraer la muestra y otras producto de la naturaleza, no se recupera muestra de lavado.



ILUSTRACIÓN 23 - MUESTRA #7 RECUPERADA, SONDEO P1 – 26,00 M – 30,00 M (FUENTE: PROPIA)

4.5.1.1. Perfil estratigráfico de perforación - sondeo P1 – Inclinómetro 01

Profundidad	PERFIL ESTRATIGRÁFICO DE PERFORACIÓN - SONDEO P1
1.00 m	<p>Depósito de Lleno Antrópico: Material compuesto por gravas y fragmentos de roca de formas variada entre subangulosas y subredondeadas embembidas en una matriz arcillo limosa con arenas de tamaño de grano fino y de coloración variada entre beige, crema, gris claro y café amarillento, el material se denomina depósito de lleno antrópico dado que su conformación se debe a la depositación de materiales provenientes de diversas fuentes que fueron bien seleccionadas y compactadas.</p>
2.00 m	
3.00 m	
4.00 m	
5.00 m	
6.00 m	
7.00 m	
8.00 m	
9.00 m	
10.00 m	
11.00 m	
12.00 m	<p>Depósito de Vertiente Tipo Flujo de Lodos: Material arcilloso con gravas.</p>
13.00 m	<p>Depósito de Vertiente Tipo Flujo de Lodos: Material compuesto por fragmentos de roca de formas subangulosas y angulosas embebidas en una matriz limo arcillosa de coloración beige y con arenas de tamaño de grano fino, el material es proveniente de la depositación de material de las vertientes aledañas por efectos de gravedad.</p>
14.00 m	
15.00 m	N.F.
16.00 m	16,80 m
17.00 m	<p>Horizonte III Roca Moderadamente Meteorizada: Material compuesto por una roca metamórfica tipo esquisto, de coloración gris claro verdoso, con leves lentes de cuarzo, producto del relleno de sílice en las fracturas de la roca. El material presenta unas fracturas, posiblemente se deban a zonas de debilidad del macizo rocoso; se puede interpretar que se trata de la unidad litológica Grupo Ayurá Montebello.</p>
18.00 m	
19.00 m	
20.00 m	
21.00 m	
22.00 m	
23.00 m	
24.00 m	
25.00 m	
26.00 m	
27.00 m	<p>Horizonte IV Roca Altamente Meteorizada: Material compuesto de roca arcillolita, se puede interpretar que se trata de la unidad litológica Formación Amagá bello.</p>
28.00 m	<p>Horizonte III Roca Moderadamente Meteorizada: Material compuesto de roca arcillolita, se puede interpretar que se trata de la unidad litológica Formación Amagá.</p>
29.00 m	
30.00 m	

TABLA 5 - PERFIL ESTRATIGRÁFICO DE PERFORACIÓN - SONDEO P1 (AQUASOLUM INGENIERIA SAS, 2022)

4.5.2. Sondeo P2 – Piezómetro 02 (E:1144918; N:1156456)

Muestra #1: En los primeros 4,00 metros de profundidad se encontró limo arenoso de coloración gris claro, limo arcilloso con arenas de tamaño de grano fino, de coloración variada entre crema y gris claro, con presencia de gravas de forma subredondeadas. Se observa un limo arcilloso de coloración beige, con una zona crema y café amarillento, gravas y fragmentos de roca de coloración gris verdoso, con presencia de limo, el material posee apariencia de depósito de lleno antrópico.



ILUSTRACIÓN 24 - MUESTRA #1 RECUPERADA, SONDEO P2 – 0,00 M – 4,00 M (FUENTE: PROPIA)

Muestra #2: Entre los 4,00 a 8,00 metros de profundidad encontramos fragmentos de roca de tonalidad gris claro y gravas de forma subredondeadas, impregnadas en una matriz limo arenoso de coloración café amarillento y beige, arcilla limosa de coloración variada entre gris claro y beige, con presencia de gravas, limo arcilloso de coloración variada entre beige, gris claro y café amarillento el material posee alta humedad y una apariencia de depósito de lleno antrópico.



ILUSTRACIÓN 25 - MUESTRA #2 RECUPERADA, SONDEO P2 – 4,00 M – 8,00 M (FUENTE: PROPIA)

Muestra #3: Entre los 8,00 a 11,00 metros de profundidad encontramos arcilla limosa de coloración variada entre gris claro, beige y café amarillento, con presencia de gravas, se observa un fragmento como de roca sedimentaria con intercalaciones de carbón, con presencia de gravas, el material posee alto contenido de humedad y apariencia de depósito de lleno antrópico.



ILUSTRACIÓN 26 - MUESTRA #3 RECUPERADA, SONDEO P2 – 8,00 M – 11,00 M (FUENTE: PROPIA)

Muestra #4: Entre los 11,00 a 16,00 metros de profundidad encontramos Gravas de forma subredondeadas y fragmentos de roca, embebidos en una matriz arcillo limoso de coloración beige. Se observa Arcilla muy densa, de coloración beige, con pequeñas gravas de forma subangulosas, el material posee apariencia de depósito de vertiente.



ILUSTRACIÓN 27 - MUESTRA #4 RECUPERADA, SONDEO P2 – 11,00 M – 16,00 M (FUENTE: PROPIA)

Muestra #5: Entre los 16,00 a 20,00 metros de profundidad encontramos gravas de forma subredondeadas y fragmentos de roca, embebidos en una matriz arcillo limoso de coloración beige, se recupera principalmente muestra de lavado, el material posee apariencia de depósito de vertiente. Se observa Roca moderada y débilmente alterada y meteorizada, de coloración parda producto de la oxidación de los minerales y zonas grises claro, el material posee apariencia de roca metamórfica tipo filita con zonas locales con apariencia a un esquisto, se observa un alto grado de fracturamiento, algunas producto de la presión de la máquina al extraer la muestra y otras producto de la naturaleza.



ILUSTRACIÓN 28 - MUESTRA #5 RECUPERADA, SONDEO P2 – 16,00 M – 20,00 M (FUENTE: PROPIA)

Muestra #6: Entre los 20,00 a 24,00 metros de profundidad encontramos roca débilmente alterada y meteorizada, de coloración parda producto de la oxidación de los minerales y zonas grises claro, el material posee apariencia de roca metamórfica tipo esquisto, se observa algunas fracturas, algunas producto de la presión de la máquina al extraer la muestra y otras producto de la naturaleza.



ILUSTRACIÓN 29 - MUESTRA #6 RECUPERADA, SONDEO P2 – 20,00 M – 24,00 M (FUENTE: PROPIA)

Muestra #7 y #8: Entre los 24,00 a 30,00 metros de profundidad encontramos roca débilmente alterada y meteorizada, de coloración parda producto de la oxidación de los minerales y zonas grises claro, el material posee apariencia de roca metamórfica tipo esquistos, se observa un alto grado de fracturamiento, algunas producto de la presión de la máquina al extraer la muestra y otras producto de la naturaleza.



ILUSTRACIÓN 30 - MUESTRA #6 RECUPERADA, SONDEO P2 – 24,00 M – 28,00 M (FUENTE: PROPIA)



ILUSTRACIÓN 31 - MUESTRA #7 RECUPERADA, SONDEO P2 – 28,00 M – 30,00 M (FUENTE: PROPIA)

4.5.2.1. Perfil estratigráfico de perforación - sondeo P2 – Piezómetro 02

Profundidad	PERFIL ESTRATIGRÁFICO DE PERFORACIÓN - SONDEO P2
1.00 m	<p><u>Depósito de Lleno Antrópico:</u> Material compuesto por gravas y fragmentos de roca de formas variada entre subangulosas y subredondeadas impregnadas en una matriz arcillo limosa con arenas de tamaño de grano fino y de coloración variada entre beige, crema, gris claro y café amarillento, el material se denomina depósito de lleno antrópico dado que su conformación se debe a la depositación de materiales provenientes de diversas fuentes que fueron bien seleccionadas y compactadas.</p>
2.00 m	
3.00 m	
4.00 m	
5.00 m	
6.00 m N.F.	
7.00 m 7,50 m	
8.00 m	
9.00 m	
10.00 m	<p><u>Depósito de Lleno Antrópico:</u> Material con la misma composición que el material descrito entre la profundidad de 0,00 m a 9,00 m; compuesto por gravas y fragmentos de roca de formas subangulosas y angulosas embebidas en una matriz limo arcillosa de coloración variada entre beige, crema, gris claro y café amarillento.</p>
11.00 m	<p><u>Depósito de Vertiente Tipo Flujo de Lodos:</u> Material compuesto por fragmentos de roca de formas subangulosas y angulosas embebidas en una matriz limo arcillosa de coloración beige y con arenas de tamaño de grano fino, el material es proveniente de la depositación de material de las vertientes aledañas por efectos de gravedad.</p>
12.00 m	
13.00 m	
14.00 m	
15.00 m	
16.00 m	
17.00 m	
18.00 m	<p><u>Horizonte III Roca Moderadamente Meteorizada</u></p>
19.00 m	<p><u>Horizonte II Roca Débilmente Meteorizada:</u> Material compuesto por una roca metamórfica tipo esquisto, de coloración gris claro verdoso, con leves lentes de cuarzo, producto del relleno de sílice en las fracturas de la roca. El material presenta unas fracturas, posiblemente se deban a zonas de debilidad del macizo rocoso; se puede interpretar que se trata de la unidad litológica Gripo Ayurá Montebello.</p>
20.00 m	
21.00 m	
22.00 m	
23.00 m	
24.00 m	
25.00 m	
26.00 m	
27.00 m	
28.00 m	
29.00 m	
30.00 m	

TABLA 6 - PERFIL ESTRATIGRÁFICO DE PERFORACIÓN - SONDEO P2 (AQUASOLUM INGENIERIA SAS, 2022)

4.5.3. Sondeo P3 – Inclínómetro 03 (E:1144849; N:1156369)

Muestra #1: En los primeros 4,00 metros de profundidad se encontró gravas de forma angulosas de coloración gris y parda, embebidas en una matriz limo arcillosa de coloración beige y arenas de tamaño de grano fino, el material posee apariencia de depósito de lleno antrópico.



ILUSTRACIÓN 32 - MUESTRA #1 RECUPERADA, SONDEO P3 – 00,00 M – 4,00 M (FUENTE: PROPIA)

Muestra #2: Entre los 4,00 a 8,00 metros de profundidad encontramos gravas y fragmentos de roca de forma angulosas de coloración gris y parda, impregnadas en una matriz limo arcillosa de coloración beige y arenas de tamaño de grano fino, limo arenoso de coloración beige, con una consistencia densa, se observan algunas gravas de forma subangulosa y angulosa, el material posee apariencia de depósito de lleno antrópico.



ILUSTRACIÓN 33 - MUESTRA #2 RECUPERADA, SONDEO P3 – 4,00 M – 8,00 M (FUENTE: PROPIA)

Muestra #3: Entre los 8,00 a 12,00 metros de profundidad encontramos limo arenoso de coloración beige, con una consistencia densa, se observan algunas gravas de forma

subangulosa y angulosa, fragmentos de roca de coloración verdoso con zonas pardas, de forma subangulosa y subredondeada impregnados en una matriz limo arcillosa de coloración gris y beige, se recupera muestra de lavado compuesta principalmente por arenas de grano fino, también se recupera muestra de lavado, compuesta de arenas de tamaño de grano fino a medio y limo de coloración beige, el material posee apariencia de depósito de vertiente tipo flujo de lodos hasta los 11,00 metros de profundidad y por debajo de este posee apariencia de depósito de vertiente tipo flujo de lodos.



ILUSTRACIÓN 34 - MUESTRA #3 RECUPERADA, SONDEO P3 – 8,00 M – 12,00 M (FUENTE: PROPIA)

Muestra #4: Entre los 12,00 a 16,00 metros de profundidad encontramos arcilla densa, de coloración variada entre beige y gris verdoso, se logran observar cristales de cuarzo, el material posee apariencia de roca sedimentaria tipo arcillolita altamente meteorizada.



ILUSTRACIÓN 35 - MUESTRA #4 RECUPERADA, SONDEO P3 – 12,00 M – 16,00 M (FUENTE: PROPIA)

Muestra #5: Entre los 16,00 a 20,00 metros de profundidad encontramos fragmentos de roca de coloración gris claro, se observan algunas arenas de tamaño de grano fino y arcilla blanda proveniente de la meteorización de la misma roca, también se observan fragmentos de roca de coloración beige con leves zonas gris claro, se observan algunos fragmentos con alto contenido de arenas de tamaño de grano fino a medio, el material posee apariencia de roca sedimentaria tipo arcillolita con lentes de areniscas altamente alterada y meteorizada.



ILUSTRACIÓN 36 - MUESTRA #5 RECUPERADA, SONDEO P3 – 16,00 M – 20,00 M (FUENTE: PROPIA)

Muestra #6 y #7: Entre los 20,00 a 28,00 metros de profundidad encontramos fragmentos de roca de coloración variada entre beige y gris verdoso, se observan algunos fragmentos con alto contenido de arenas de tamaño de grano fino a medio, se recupera muestra de lavado compuesta por arenas de tamaño de grano fino a medio de coloración gris, el material posee apariencia de roca sedimentaria tipo arcillolita con lentes de areniscas altamente alterada y meteorizada y también apariencia de roca sedimentaria tipo arenisca que varía entre alta y moderadamente alterada y meteorizada.



ILUSTRACIÓN 37 - MUESTRA #6 RECUPERADA, SONDEO P3 – 20,00 M – 24,00 M (FUENTE: PROPIA)



ILUSTRACIÓN 38 - MUESTRA #7 RECUPERADA, SONDEO P3 – 24,00 M – 28,00 M (FUENTE: PROPIA)

Muestra #8: Entre los 28,00 a 30,00 metros de profundidad encontramos roca sedimentaria tipo arenisca de coloración gris y tamaño de grano fino, se observan fracturas producto de la máquina al extraer la muestra, la roca se encuentra levemente alterada y meteorizada.



ILUSTRACIÓN 39 - MUESTRA #8 RECUPERADA, SONDEO P3 – 28,00 M – 30,00 M (FUENTE: PROPIA)

4.5.3.1. Perfil estratigráfico de perforación - sondeo P3 – Inclímetro 03

Profundidad	PERFIL ESTRATIGRÁFICO DE PERFORACIÓN - SONDEO P3
1.00 m	<p><u>Depósito de Lleno Antrópico:</u> Material compuesto por gravas y fragmentos de roca de formas subangulosas y angulosas embebidas en una matriz limo arcillosa de coloración beige y con arenas de tamaño de grano fino, el material se denomina depósito de lleno antrópico dado que su conformación se debe a la depositación de materiales provenientes de diversas fuentes que fueron bien seleccionadas y compactadas.</p>
2.00 m	
3.00 m	
4.00 m	
5.00 m	
6.00 m	
7.00 m	
8.00 m	
9.00 m	
10.00 m	<p><u>Depósito de Vertiente Tipo Flujo de Lodos:</u> Material compuesto por fragmentos de roca de formas subangulosas y angulosas embebidas en una matriz limo arcillosa de coloración beige y con arenas de tamaño de grano fino, el material es proveniente de la depositación de material de las vertientes aledañas por efectos de gravedad.</p>
11.00 m	
12.00 m	
13.00 m	<p><u>Horizonte IV Roca Altamente Meteorizada:</u> Material compuesto por una arcilla densa de coloración gris con presencia de cristales de cuarzo y fragmentos roca sólida tipo arenisca, se interpreta que el material corresponde a la alteración y meteorización de una roca sedimentaria perteneciente a la unidad litológica Formación Amagá Miembro Medio.</p>
14.00 m	
15.00 m	
16.00 m	
17.00 m	
18.00 m	<p><u>Horizonte IV Roca Altamente Meteorizada:</u> Material compuesto por fragmentos de roca sólida tipo arenisca de forma subangulosas de coloración predominante de gris claro y cristales de cuarzo, embebidos en una arcilla densa de coloración gris se interpreta que el material corresponde a la alteración y meteorización de una roca sedimentaria perteneciente a la unidad litológica Formación Amagá Miembro Medio (estrato idéntico al de la profundidad de 13,00 m a 18,00 m).</p>
19.00 m	
20.00 m	
21.00 m	
22.00 m	
23.00 m	
24.00 m	
25.00 m	
26.00 m	<p><u>Horizonte III Roca moderadamente Meteorizada:</u> Material compuesto por roca sedimentaria tipo arenisca de grano de arena fino y coloración gris claro, con menos del 50% del macizo rocoso descompuesto, perteneciente a la unidad litológica Formación Amagá Miembro Medio.</p>
27.00 m	
28.00 m	
29.00 m	
30.00 m	

TABLA 7 - PERFIL ESTRATIGRÁFICO DE PERFORACIÓN - SONDEO P3 (AQUASOLUM INGENIERIA SAS, 2022)

4.5.4. Sondeo P4 – Inclínómetro 04 (E:1144731; N:1156422)

Muestra #1: En los primeros 3,45 metros de profundidad se encontró gravas de forma subredondeadas y subangulosas, embebidas en una matriz arcillo limosa de coloración variada entre beige y gris claro, fragmentos de roca y cristal de cuarzo, embebidos en una matriz arcillo limosa de coloración variada entre beige y gris claro, el material posee apariencia de depósito de vertiente.



ILUSTRACIÓN 40 - MUESTRA #1 RECUPERADA, SONDEO P4 – 0,00 M – 3,45 M (FUENTE: PROPIA)

Muestra #2: Entre los 3,45 a 8,00 metros de profundidad se encontró arcilla de coloración gris, muy densa y con alta plasticidad, el material posee apariencia de roca sedimentaria tipo arcillolita altamente alterada y meteorizada, se observan leves intercalaciones de roca tipo arenisca. (figura 62).



ILUSTRACIÓN 41 - MUESTRA #2 RECUPERADA, SONDEO P4 – 3,45 M – 8,00 M (FUENTE: PROPIA)

Muestra #3: Entre los 8,00 a 12,50 metros de profundidad se encontró arcilla de coloración gris, muy densa y con alta plasticidad, el material posee apariencia de roca sedimentaria tipo arcillolita altamente alterada y meteorizada, se observan leves intercalaciones de roca tipo arenisca y lentes de carbón.



ILUSTRACIÓN 42 - MUESTRA #3 RECUPERADA, SONDEO P4 – 8,00 M – 12,50 M (FUENTE: PROPIA)

Muestra #4: Entre los 12,50 a 17,00 metros de profundidad se encontró arcilla de coloración gris, muy densa y con alta plasticidad, el material posee apariencia de roca sedimentaria tipo arcillolita altamente alterada y meteorizada, se observan leves intercalaciones de roca tipo arenisca.



ILUSTRACIÓN 43 - MUESTRA #4 RECUPERADA, SONDEO P4 – 12,50 M – 17,00 M (FUENTE: PROPIA)

Muestra #5: Entre los 17,00 a 21,00 metros de profundidad se encontró roca sedimentaria tipo arenisca de coloración gris claro de tamaño de grano fino, moderadamente alterada y meteorizada con intercalaciones de roca arcillolita, se observan fracturas. Se encuentra también arcilla de coloración gris, muy densa y con alta plasticidad, el material posee apariencia de roca sedimentaria tipo arcillolita altamente alterada y meteorizada, se observan leves intercalaciones de roca tipo arenisca.



ILUSTRACIÓN 44 - MUESTRA #5 RECUPERADA, SONDEO P4 – 17,00 M – 21,00 M (FUENTE: PROPIA)

Muestra #6: Entre los 21,00 a 25,00 metros de profundidad se encontró roca sedimentaria tipo arenisca de coloración gris claro de tamaño de grano fino, moderadamente alterada y meteorizada, se observan pequeños lentes de carbón con intercalaciones leves de roca arcillolita y fracturas, algunas producto de la naturaleza y otras producto de la máquina al extraer la muestra.



ILUSTRACIÓN 45 - MUESTRA #6 RECUPERADA, SONDEO P4 – 21,00 M – 25,00 M (FUENTE: PROPIA)

Muestra #7 y #8: Entre los 25,00 a 29,00 metros de profundidad se encontró roca sedimentaria tipo arenisca de coloración gris claro de tamaño de grano fino, moderadamente alterada y meteorizada, se observan pequeños lentes de carbón y fracturas. Se recuperan una roca sedimentaria con dos texturas, la primera es una arenisca de coloración gris claro, con tamaño de grano fino y pequeñas intercalaciones de carbón; la segunda es una arenisca de coloración gris muy claro y blanco, con tamaño de grano medio, muy porosa. También se observan dos materiales, el primero es una roca sedimentaria tipo arenisca de coloración gris claro y blanco, de tamaño de grano medio a grueso con leve textura conglomerática y el segundo, es una roca sedimentaria tipo arcillolita de coloración gris moderadamente meteorizada. Entre los 29,00 a 30,00 metros se observa roca sedimentaria tipo arcillolita de coloración gris con algunas fracturas principalmente por la presión de la máquina al extraer la muestra y otras leves producto natural de la roca.



ILUSTRACIÓN 46 - MUESTRA #7 RECUPERADA, SONDEO P4 – 25,00 M – 29,00 M (FUENTE: PROPIA)



ILUSTRACIÓN 47 - MUESTRA #8 RECUPERADA, SONDEO P4 – 29,00 M – 30,00 M (FUENTE: PROPIA)

4.5.4.1. Perfil estratigráfico de perforación - sondeo P4 – Inclínómetro 04

Profundidad	PERFIL ESTRATIGRÁFICO DE PERFORACIÓN - SONDEO P4
1.00 m	<p>Depósito de Vertiente Tipo Flujo de Lodos: Material compuesto por fragmentos de roca de formas subangulosas y angulosas embebidas en una matriz limo arcillosa de coloración beige y con arenas de tamaño de grano fino, el material es proveniente de la depositación de material de las vertientes aledañas por efectos de gravedad.</p>
2.00 m	
3.00 m	
4.00 m	
5.00 m	
6.00 m	<p>Horizonte IV Roca Altamente Meteorizada: Material compuesto por una arcilla densa de coloración gris con presencia de cristales de cuarzo y fragmentos roca sólida tipo arenisca, se interpreta que el material corresponde a la alteración y meteorización de una roca sedimentaria perteneciente a la unidad litológica Formación Amagá Miembro Medio.</p>
7.00 m	
8.00 m	
9.00 m	
10.00 m	
11.00 m N.F.	
12.00 m 11,70 m	
13.00 m	
14.00 m	
15.00 m	
16.00 m	
17.00 m	<p>Horizonte III Roca Moderadamente Meteorizada: Material compuesto por una arcilla densa de coloración gris con presencia de pequeños lentes de areniscas y a a su vez, lentes de areniscas de grano fino con intercalaciones de arcillolita, se interpreta que el material corresponde a la alteración y meteorización de una roca sedimentaria perteneciente a la unidad litológica Formación Amagá Miembro Medio.</p>
18.00 m	
19.00 m	
20.00 m	
21.00 m	
22.00 m	
23.00 m	
24.00 m	
25.00 m	
26.00 m	
27.00 m	
28.00 m	
29.00 m	
30.00 m	

TABLA 8 - PERFIL ESTRATIGRÁFICO DE PERFORACIÓN - SONDEO P4 (AQUASOLUM INGENIERIA SAS, 2022)

4.6. Fase 6: Diseño del plan de monitoreo geotécnico

El diseño del plan de monitoreo con instrumentación geotécnica para la recolección de datos que permitan conocer con mayor precisión los movimientos del suelo se divide en dos objetivos específicos principales:

- El primero es identificar los puntos estratégicos para la instalación de los tres pilares del monitoreo geotécnico teniendo en cuenta las características del terreno en la zona objeto de estudio.
- El segundo es el de determinar la velocidad o frecuencia en la que se toman los datos en cada uno de estos puntos del monitoreo geotécnico. las actividades de recolección de datos y su frecuencia teniendo en cuenta las necesidades del proyecto vial pacifico 1.

Se decidió diseñar un plan de monitoreo conformado por tres (3) inclinómetros digitales RST, un (1) piezómetro de tubo abierto para un medidor de nivel del agua RST, ambos sistemas instalados hasta una profundidad de 30 metros y un total de trece (13) puntos de control topográfico sobre la superficie del acopio temporal B6A.

La ubicación estratégica de los tres inclinómetros se determinó teniendo en cuenta la dirección esperada del movimiento de acuerdo con la topografía y los materiales presentes en la zona de la siguiente manera:

- Inclinómetro 01: Este inclinómetro estará ubicado en las coordenadas E:1144821 y N:1156556 al pie del costado Izquierdo en sentido Medellín – Bolombolo del acopio temporal B6A con el objetivo de identificar el desplazamiento lateral del suelo hacia este costado. Profundidad de diseño 30

metros. Azimut de 246° entre la norte real y la dirección esperada del movimiento.

- Inclínómetro 03: Este inclinómetro estará ubicado en las coordenadas E:1144849 y N:1156369 al pie y de frente al acopio temporal B6A con el objetivo de identificar los desplazamientos que se generen sobre el trazado de la vía. Profundidad de diseño 30 metros. Azimut de 250° entre la norte real y la dirección esperada del movimiento.
- Inclínómetro 04: Este inclinómetro estará ubicado en las coordenadas E:1144731 y N:1156422 cruzando el trazado de la vía, de frente y hacia el costado izquierdo en sentido Medellín – Bolombolo del acopio temporal B6A con el objetivo de identificar los desplazamientos que se generen sobre el costado derecho del trazado de la vía. Profundidad de diseño 30 metros. Azimut de 240° entre la norte real y la dirección esperada del movimiento.
- Piezómetro 02: Este piezómetro estará ubicado en las coordenadas E:1144918 y N:1156456 sobre el acopio temporal B6A con el objetivo de identificar el nivel freático dentro de la estructura.

El objetivo de este sistema de inclinómetros y piezómetro es identificar los movimientos que se pueden presentar en el subsuelo y registrar el comportamiento del nivel freático en el material que conforma el acopio temporal B6A. A continuación, se muestra la ubicación del plan de monitoreo diseñado con INC (inclinómetro) y PZ (piezómetro) en AutoCAD.

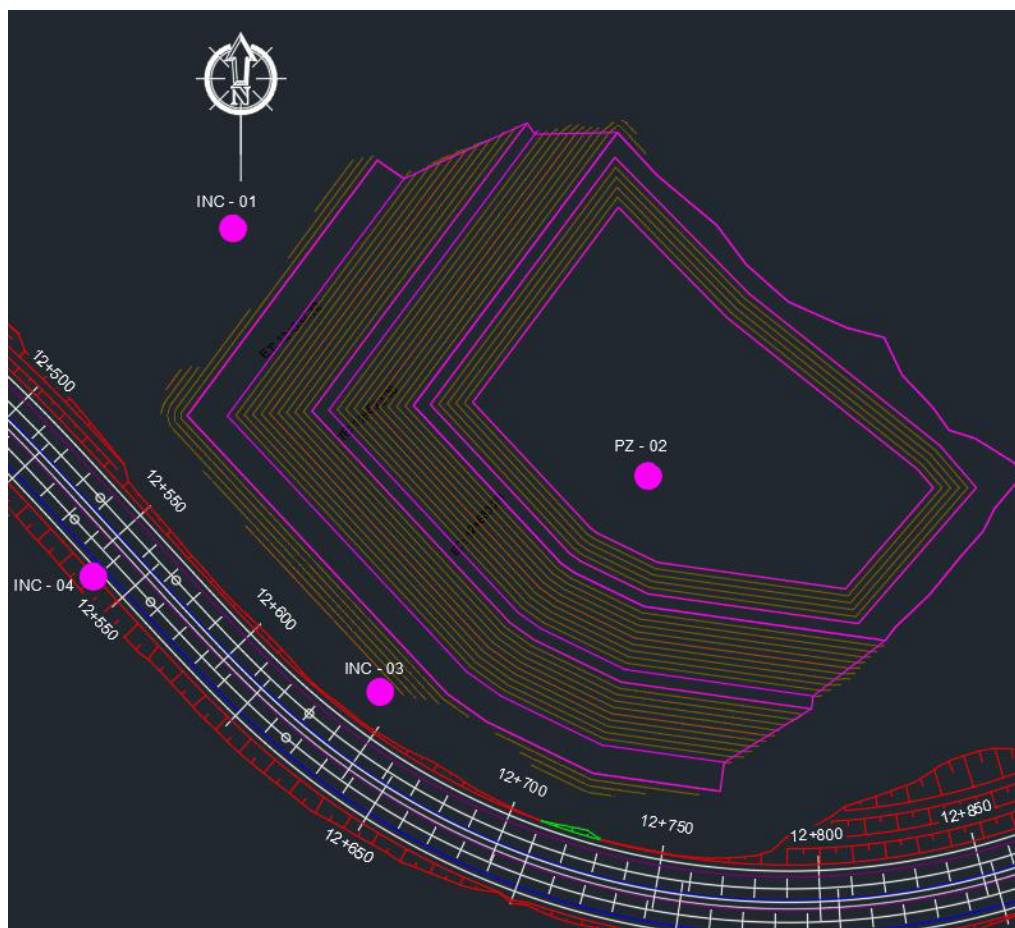


ILUSTRACIÓN 48 – UBICACIÓN DEL PLAN DE MONITOREO CON INC Y PZ (OFICINA TECNICA, 2020)

La localización de los puntos de control topográficos se definió teniendo en cuenta la estructura que se desee monitorear, el principal objetivo de este sistema de monitoreo es cubrir la mayor superficie posible de la estructura o área que se desee monitorear e identificar los desplazamientos superficiales. La ubicación de los puntos de control topográficos en el acopio temporal B6A, estarán ubicados principalmente de frente a el trazado de la vía, pero sobre la estructura y retirados de la ladera de la montaña, puesto que se espera que esta zona sea la que sufra mayor deformación debido a que no está confinada por la ladera de la

montaña. A continuación, se muestra un esquema con las ubicaciones de todos los puntos de control.

PUNTO	COORDENADAS PUNTOS INICIALES			OBSERVACIONES
	NORTE	ESTE	COTA	
P1	1156462.675	1144810.871	994.423	
P2	1156429.415	1144839.945	994.378	
P3	1156395.118	1144875.264	994.240	
P4	1156376.742	1144909.612	994.696	
XP5	1156362.112	1144936.930	994.488	PUNTO DE ARMADO - ESTACION TOTAL
P6	1156386.778	1144936.563	998.919	
P7	1156400.603	1144911.763	998.818	
P8	1156411.066	1144878.773	998.073	
P9	1156436.483	1144851.805	997.902	
XP10	1156463.622	1144825.157	997.757	PUNTO DE ARMADO - ESTACION TOTAL
XP11	1156477.883	1144839.099	999.365	PUNTO DE ARMADO - ESTACION TOTAL
P12	1156455.181	1144865.481	999.916	
P13	1156439.224	1144897.422	1000.632	
P14	1156420.179	1144926.455	1000.607	
P15	1156392.981	1144966.435	1000.405	
XP16	1156426.075	1144977.129	1002.504	PUNTO DE ARMADO - ESTACION TOTAL
P17	1156454.961	1144919.157	1002.147	
XP18	1156491.895	1144850.437	1000.823	PUNTO DE ARMADO - ESTACION TOTAL
XP19	1156519.991	1144871.939	1001.202	PUNTO DE ARMADO - ESTACION TOTAL
XP20	1156546.929	1144891.380	1001.028	PUNTO DE ARMADO - ESTACION TOTAL

TABLA 9 – COORDENADAS INICIALES Y DE DISEÑO DE LOS PUNTOS DE CONTROL TOPOGRÁFICOS
(FUENTE: PROPIA)

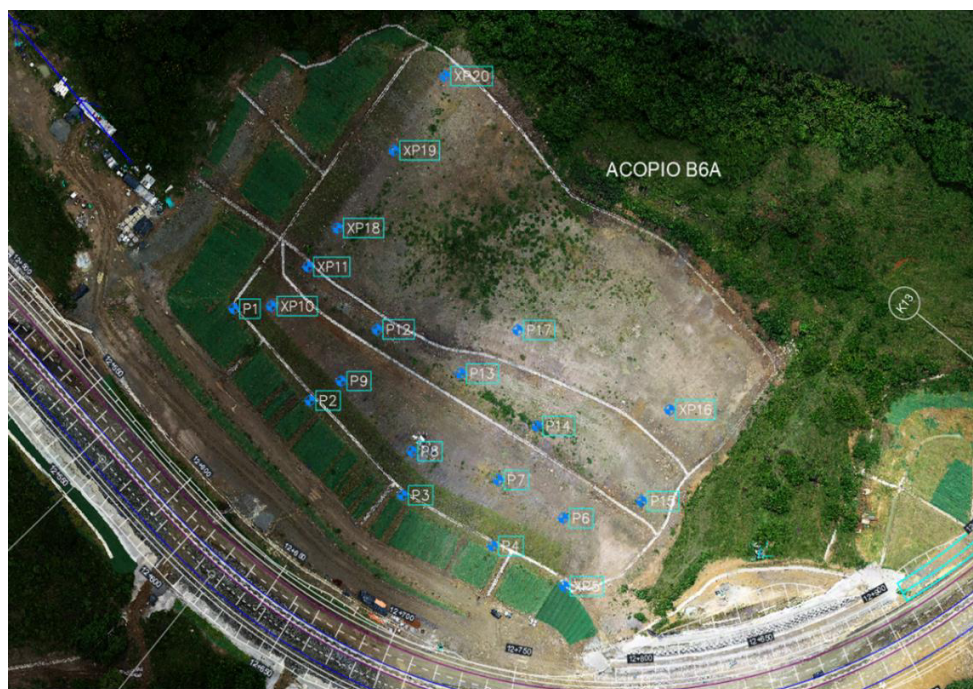


ILUSTRACIÓN 49 – UBICACIÓN DE DISEÑO DE LOS PUNTOS DE CONTROL TOPOGRÁFICOS
(SPIRAL, 2022)

Las frecuencias para la recolección de datos del plan de monitoreo se definieron teniendo en cuenta la inestabilidad del sitio objeto del estudio. Se concretó las siguientes frecuencias para el diseño del plan de monitoreo en esta zona:

- Frecuencia ALTA: Dos (2) veces por semana (7 días).
- Frecuencia MEDIA/ALTA: Una (1) vez por semana (7 días).
- Frecuencia MEDIA/BAJA: Una (1) vez por quincena (15 días).
- Frecuencia BAJA: Una (1) vez por mes (30 días).

Estas frecuencias podrían aumentar o disminuir dependiendo del comportamiento del suelo en la zona.

4.6.1. Sistema de monitoreo empleado con inclinómetros

Basándose en las cicatrices observadas en cada sitio por movimientos de suelo anteriores y por los posibles desplazamientos que se puedan presentar, se definió en campo a criterio de un Ingeniero Geotécnista la posición de las perforaciones a realizar para la construcción de los inclinómetros. La lectura se tomó introduciendo la sonda en la dirección de desviación positiva alineada con la rueda superior del mismo (eje A+), se desciende hasta la profundidad estimada y se inicia con la medición cada 500mm hasta llegar nuevamente a la superficie. Luego de terminada la primera lectura se gira la sonda 180° y se repite la prueba alineando la rueda inferior con el eje principal A+. la suma de ambas lecturas teóricamente debería ser cero, sin embargo, los resultados son diferentes debido a que la sonda tiene una desviación, por lo que se calcula la deformación media como el promedio de la diferencia de las lecturas positivas y negativas en cada una de las profundidades.

Para este sistema de monitoreo se definió una frecuencia de recolección de datos MEDIA/ALTA o una vez por semana teniendo en cuenta la importancia del sitio, esta frecuencia podría aumentar o disminuir dependiendo de las velocidades de los movimientos que se puedan presentar a lo largo del seguimiento. Adicionalmente se definió el azimut que corresponde al ángulo que existe entre la dirección esperada del movimiento y la norte real. La “fecha de inicio lectura” es diferente en cada uno de los inclinómetros y corresponde a el día exacto donde se finaliza la instalación de la tubería en cada uno de los puntos, es muy importante tomar la lectura inicial o lectura base, inmediatamente después de finalizar el proceso constructivo de la instrumentación para evitar omitir datos que pudieran ser relevantes dentro del seguimiento.

Sector	Id Inclinómetro	Fecha de inicio lectura	Frecuencia	Azimut
TRAMO 5.1	P1 - INCLINOMETRO 01	11/08/2022	MEDIA/ALTA	246°
	P3 - INCLINOMETRO 03	13/07/2022	MEDIA/ALTA	250°
	P4 - INCLINOMETRO 04	9/09/2022	MEDIA/ALTA	240°

TABLA 10 – FRECUENCIA INCLINÓMETROS (FUENTE: PROPIA)

4.6.2. Sistema de monitoreo empleado con piezómetros

La medición de los niveles piezométricos se considera importante para evaluar la estabilidad de un sitio en especial. Para esto se definió en campo la instalación de un piezómetro sencillo de tubo abierto al cual se le hace seguimiento con una frecuencia BAJA o una (1) vez al mes con el objetivo de medir el nivel de agua, verificando su operatividad y validando su funcionalidad.

Las lecturas se realizaron con la utilización de una sonda piezométrica o medidor de nivel de agua que se compone principalmente de una cinta métrica plana la cual tiene un

sensor metálico que produce un sonido al entrar en contacto con el agua permitiendo detectar la profundidad del nivel freático dentro de la tubería.

Sector	Id piezometro	Fecha de inicio lectura	Frecuencia
TRAMO 5.1	P2 - PIEZOMETRO 02	2/08/2022	BAJA

TABLA 11 – FRECUENCIA PIEZÓMETRO (FUENTE: PROPIA)

4.6.3. Sistema de monitoreo empleado con puntos de control topográficos

Se realizó un control topográfico por medio de la implementación de puntos de control en sitios donde se puede asegurar su permanencia, donde no se van a perder con el tiempo, ubicados a lo largo y ancho de la estructura y con una frecuencia MEDIA/ALTA o una (1) vez por semana. Para determinar las coordenadas iniciales de estos puntos y su posterior seguimiento se utilizó una estación topográfica total a distancias considerables que garantizo la correcta ejecución de las lecturas a realizadas. Se debe anotar que los puntos de control pueden ser afectados por medios antrópicos o actividades propias de la obra. Lo que se busca es conocer si se presentan desplazamientos o deformaciones y que comportamiento presentan de acuerdo con el avance en la construcción de la doble calzada.

Sector	Id Puntos de control	Fecha de inicio lectura	Frecuencia
TRAMO 5.1	P1	29/04/2022	MEDIA/ALTA
	P2	29/04/2022	MEDIA/ALTA
	P3	29/04/2022	MEDIA/ALTA
	P4	29/04/2022	MEDIA/ALTA
	P6	29/04/2022	MEDIA/ALTA
	P7	29/04/2022	MEDIA/ALTA
	P8	29/04/2022	MEDIA/ALTA
	P9	29/04/2022	MEDIA/ALTA
	P12	29/04/2022	MEDIA/ALTA
	P13	29/04/2022	MEDIA/ALTA
	P14	29/04/2022	MEDIA/ALTA
	P15	29/04/2022	MEDIA/ALTA
	P17	29/04/2022	MEDIA/ALTA

TABLA 12 – FRECUENCIA PUNTOS DE CONTROL TOPOGRÁFICOS (FUENTE: PROPIA)

4.7. Fase 6: Análisis e interpretación de datos

4.7.1. Lecturas recolectadas en el punto de control P1 – Inclinómetro 01

Se realizó la lectura inicial o lectura base del instrumento el 11 de agosto del año 2022 donde también se verificó la correcta instalación y la profundidad de diseño previamente definida.



ILUSTRACIÓN 50 – PUNTO DE CONTROL PI – INCLINÓMETRO 01 (FUENTE: PROPIA)

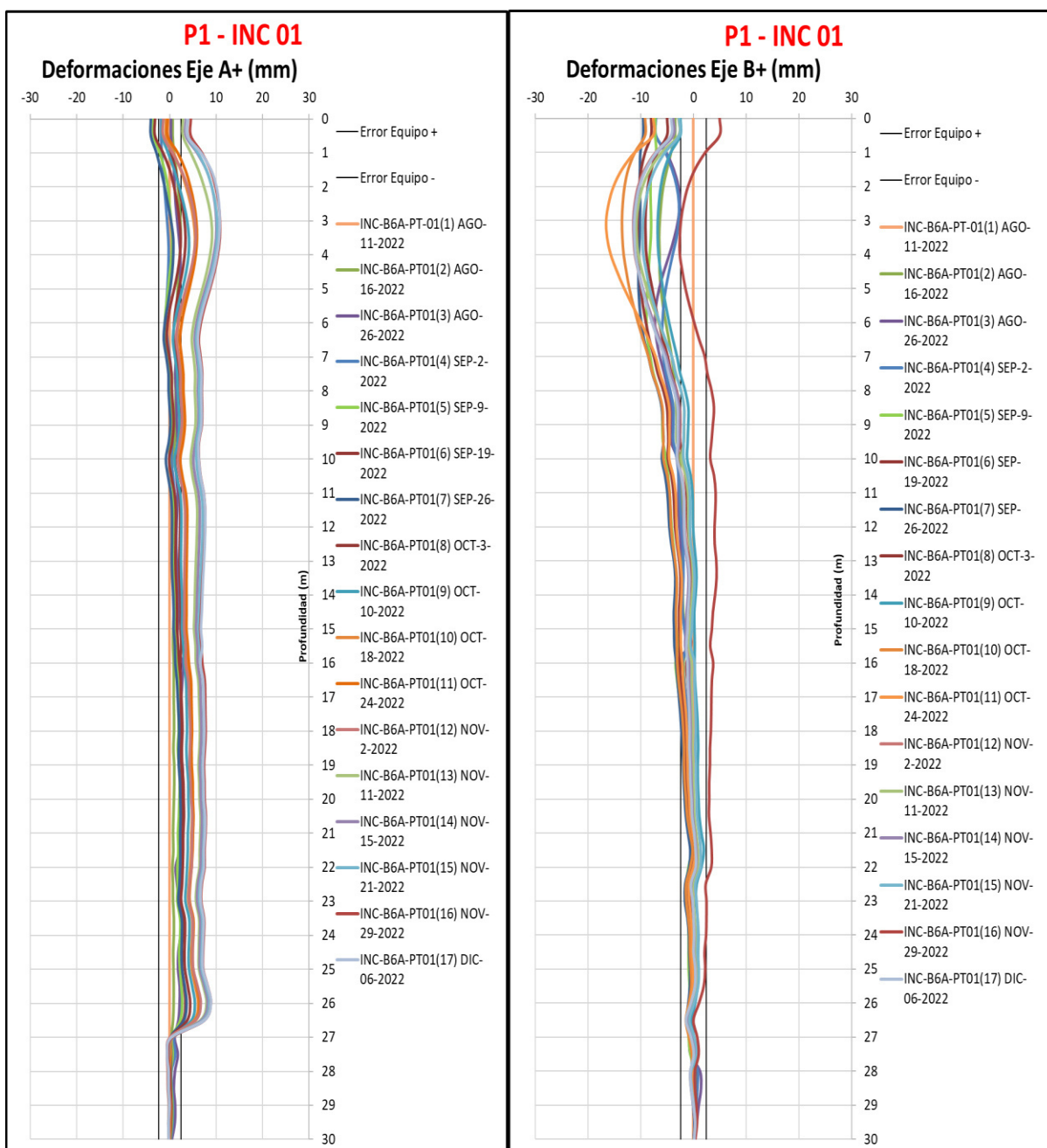


FIGURA 15 - LECTURAS EJECUTADAS EN EL INC 01, EJE A Y EJE B. (FUENTE: PROPIA)

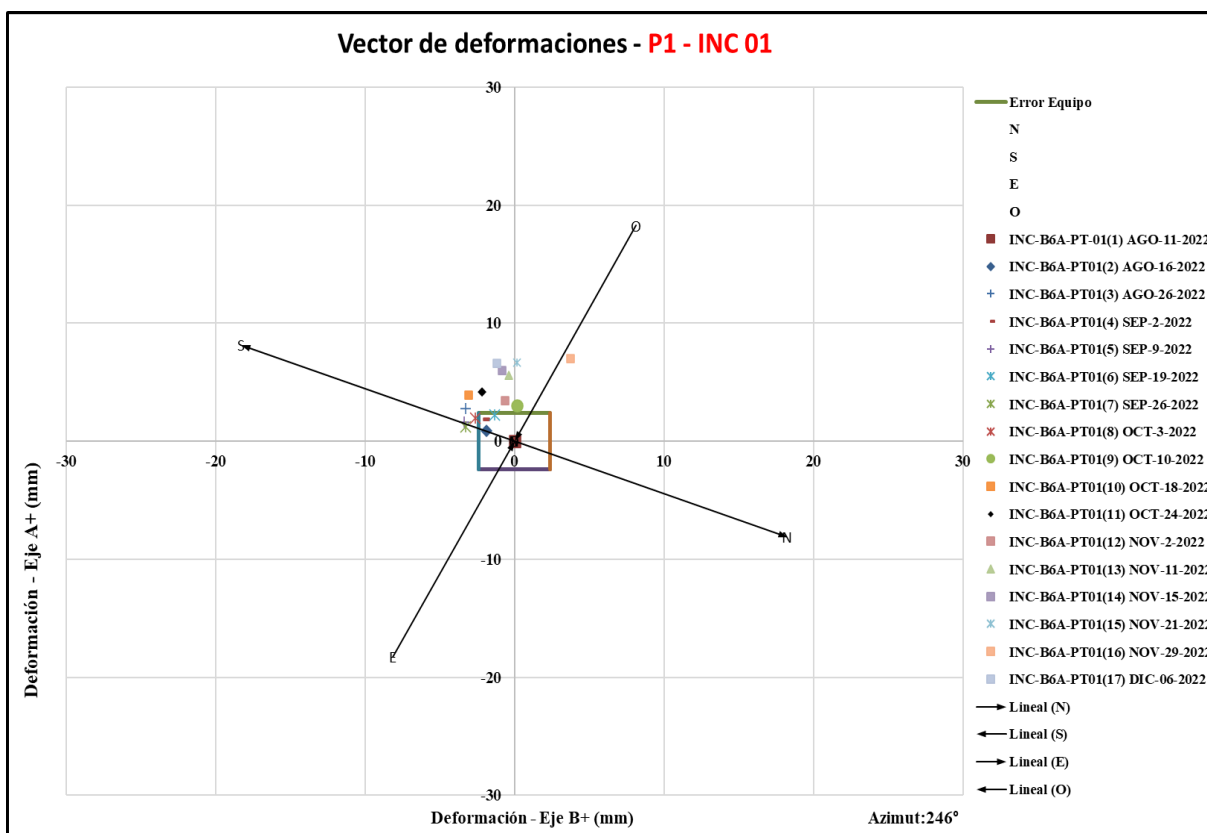


FIGURA 16 - VECTOR DE DEFORMACIONES INC 01. (FUENTE: PROPIA)

Lectura	Face A+[mm]	Face B+[mm]	Error Equipo
INC-B6A-PT-01(1) AGO-11-2022	0.00	0.00	2.4 2.4
INC-B6A-PT01(2) AGO-16-2022	0.86	-1.88	2.4 -2.4
INC-B6A-PT01(3) AGO-26-2022	2.78	-3.27	-2.4 2.4
INC-B6A-PT01(4) SEP-2-2022	1.88	-2.08	-2.4 -2.4
INC-B6A-PT01(5) SEP-9-2022	1.62	-3.36	Profundidad del vector 16 m
INC-B6A-PT01(6) SEP-19-2022	2.21	-1.35	
INC-B6A-PT01(7) SEP-26-2022	1.19	-3.27	
INC-B6A-PT01(8) OCT-3-2022	1.99	-2.62	
INC-B6A-PT01(9) OCT-10-2022	3.07	0.17	
INC-B6A-PT01(10) OCT-18-2022	3.90	-3.05	
INC-B6A-PT01(11) OCT-24-2022	4.15	-2.15	
INC-B6A-PT01(12) NOV-2-2022	3.41	-0.62	
INC-B6A-PT01(13) NOV-11-2022	5.61	-0.36	
INC-B6A-PT01(14) NOV-15-2022	6.03	-0.81	
INC-B6A-PT01(15) NOV-21-2022	6.63	0.19	
INC-B6A-PT01(16) NOV-29-2022	6.98	3.74	
INC-B6A-PT01(17) DIC-06-2022	6.58	-1.18	

TABLA 13 – DATOS DEL VECTOR DE DEFORMACIÓN (FUENTE: PROPIA)

Puntos de Control	Nomenclatura de Lectura en Función del Equipo	Trazabilidad de Lectura Ejecutada	Fecha de Ejecución
P1 - INCLINOMETRO 01	P1 - INC 01 (01)	Base	jueves, 11 de agosto de 2022
P1 - INCLINOMETRO 01	P1 - INC 01 (02)	1	martes, 16 de agosto de 2022
P1 - INCLINOMETRO 01	P1 - INC 01 (03)	2	viernes, 26 de agosto de 2022
P1 - INCLINOMETRO 01	P1 - INC 01 (04)	3	viernes, 2 de septiembre de 2022
P1 - INCLINOMETRO 01	P1 - INC 01 (05)	4	viernes, 9 de septiembre de 2022
P1 - INCLINOMETRO 01	P1 - INC 01 (06)	5	lunes, 19 de septiembre de 2022
P1 - INCLINOMETRO 01	P1 - INC 01 (07)	6	lunes, 26 de septiembre de 2022
P1 - INCLINOMETRO 01	P1 - INC 01 (08)	7	lunes, 3 de octubre de 2022
P1 - INCLINOMETRO 01	P1 - INC 01 (09)	8	lunes, 10 de octubre de 2022
P1 - INCLINOMETRO 01	P1 - INC 01 (10)	9	martes, 18 de octubre de 2022
P1 - INCLINOMETRO 01	P1 - INC 01 (11)	10	lunes, 24 de octubre de 2022
P1 - INCLINOMETRO 01	P1 - INC 01 (12)	11	miércoles, 2 de noviembre de 2022
P1 - INCLINOMETRO 01	P1 - INC 01 (13)	12	viernes, 11 de noviembre de 2022
P1 - INCLINOMETRO 01	P1 - INC 01 (14)	13	martes, 15 de noviembre de 2022
P1 - INCLINOMETRO 01	P1 - INC 01 (15)	14	lunes, 21 de noviembre de 2022
P1 - INCLINOMETRO 01	P1 - INC 01 (16)	15	martes, 29 de noviembre de 2022
P1 - INCLINOMETRO 01	P1 - INC 01 (17)	16	martes, 6 de diciembre de 2022

TABLA 14 - TRAZABILIDAD DE LECTURAS EJECUTADAS – INC 01. (FUENTE: PROPIA)

Se realizaron lecturas con una frecuencia MEDIA/ALTA aproximadamente en este instrumento. Se obtuvieron diecisiete (17) datos hasta el 6 de diciembre del año 2022 por parte del personal encargado de la instrumentación geotécnica del proyecto. El error del equipo calculado para una profundidad de 30 metros corresponde a $\pm 2.4\text{mm}$ en ambos ejes. El vector de deformación se ubicó a una profundidad de 16 metros teniendo en cuenta que el perfil del suelo en este punto aproximadamente muestra una separación entre el primer horizonte de roca encontrado y un depósito de flujo de lodo, es decir, se consideró que el material por encima de esta profundidad es más propenso al desplazamiento.

El registro tomado el 16 de agosto 2022 indica tendencia del inicio de movimientos por fuera del margen de error del equipo sobre el EJE B- indicando dirección de movimiento aparentemente en sentido SUR. Los movimientos en el EJE A+ permanecieron dentro del margen de error hasta el registro tomada el 26 de agosto con un movimiento aparentemente en sentido OESTE.

Para el corte del mes de agosto 2022 se toman tres (3) lecturas de control hasta el 26 de agosto. Los resultados indicaron desplazamientos totales máximos de 2.77mm en sentido del EJE A+ y 7.33mm en sentido del EJE B-, lo que indica un movimiento poco considerable en sentido SUROESTE en lo recorrido de este mes.

Para el corte del mes de septiembre 2022 se tomaron cuatro (4) lectura de control hasta el 26 de septiembre. Los resultados indicaron desplazamientos totales máximos de 3.59mm en sentido del EJE A+ y 10.45mm en sentido del EJE B-, lo que indica un aumento en el movimiento poco considerable en sentido SUROESTE en lo recorrido del mes agosto y septiembre. Hasta este punto no se observa un aumento progresivo considerable entre una lectura y otra.

Para el corte del mes de octubre 2022 se tomaron cuatro (4) lecturas de control hasta el 24 de octubre. Los resultados indicaron desplazamientos totales máximos de 6.48mm en sentido del EJE A+ y 13.14mm en sentido del EJE B-, lo que indica un aumento poco considerable en sentido SUROESTE en lo recorrido del mes de agosto, septiembre y octubre.

Para el ultimo corte que corresponde al mes de noviembre y los primero días del mes de diciembre 2022 se tomaron un total de seis (6) lecturas de control hasta el 6 de diciembre. Los resultados indicaron desplazamientos totales máximos de 8.84mm en sentido del EJE A+

y -9.71mm en sentido del EJE B-, lo que indica un aumento despreciable en el EJE A y un estancamiento en los datos del EJE B en el total del tiempo transcurrido.

Los resultados del monitoreo arrojados por este instrumento en un periodo de tiempo de 117 días desde el 11 de agosto al 6 de diciembre del año 2022 no muestran movimientos en aumento. La grafica del vector de deformación muestra puntos dispersos lo que indica que no existe una tendencia de movimiento en aumento. Las gráficas de los EJES del movimientos tampoco muestra una tendencia clara del movimiento, dicho esto, es importante resaltar que los movimientos que se presentaron en los primeros cinco (5) metros de profundidad fueron provocados por actividades de construcción que se adelantan en el sitio.

Para finalizar se concluye que hasta el momento este instrumento no refleja una tendencia clara en los movimientos que sean considerables o preocupantes. Este punto de control se considera estable.

4.7.2. Lecturas recolectadas en el punto de control P3 – Inclinómetro 03

Se realizo la lectura inicial o lectura base del instrumento el 13 de julio del año 2022 donde también se verifico la correcta instalación y la profundidad de diseño previamente definida.



ILUSTRACIÓN 51 – PUNTO DE CONTROL P3 – INCLINÓMETRO 03 (FUENTE PROPIA)

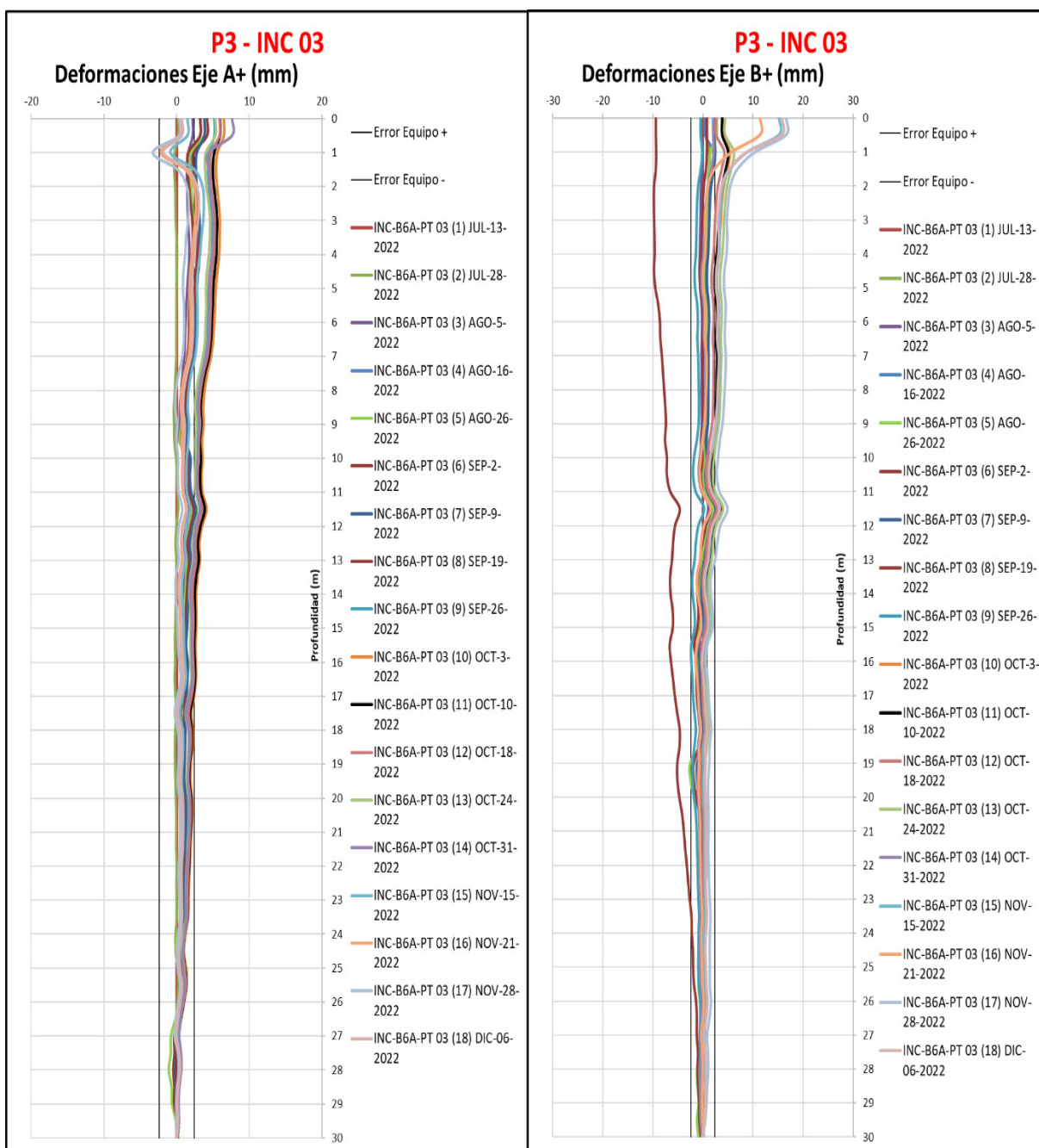


FIGURA 17 - LECTURAS EJECUTADAS EN EL INC 03, EJE A Y EJE B. (FUENTE: PROPIA)

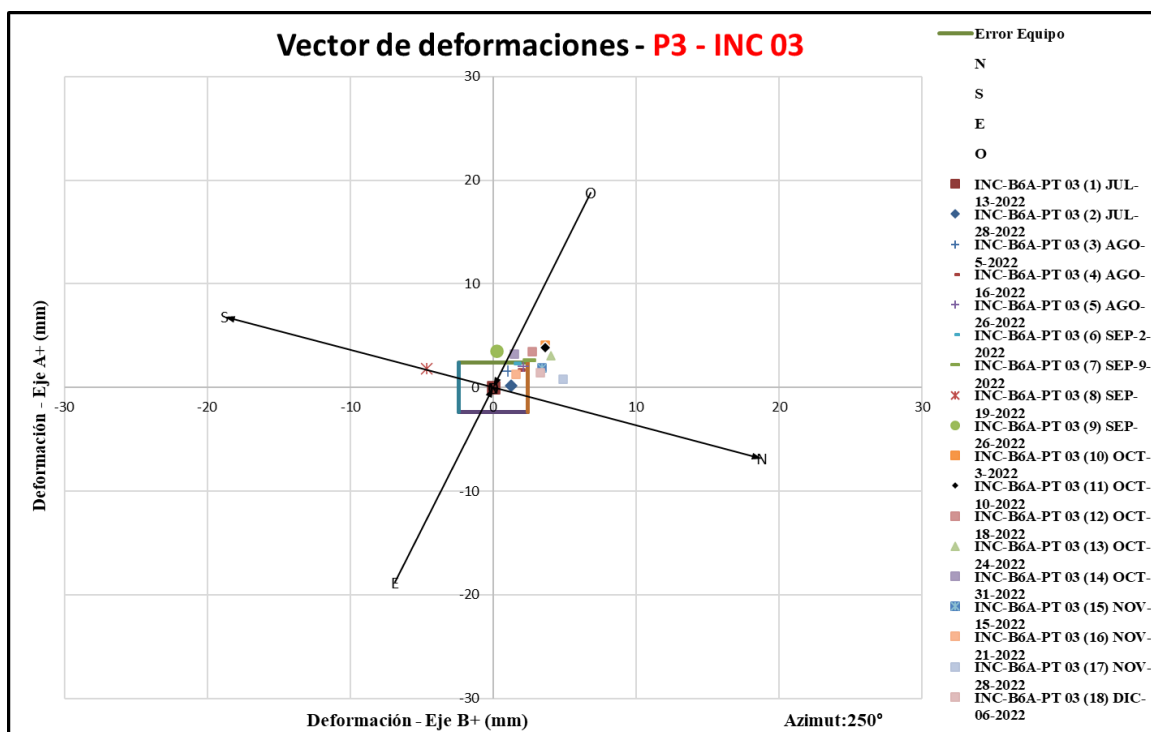


FIGURA 18 - VECTOR DE DEFORMACIONES INC 03 (FUENTE: PROPIA)

Lectura	Face A+[mm]	Face B+[mm]	Error Equipo
INC-B6A-PT 03 (1) JUL-13-2022	0.00	0.00	2.4 2.4
INC-B6A-PT 03 (2) JUL-28-2022	0.19	1.23	2.4 -2.4
INC-B6A-PT 03 (3) AGO-5-2022	1.58	1.02	-2.4 2.4
INC-B6A-PT 03 (4) AGO-16-2022	1.77	1.79	-2.4 -2.4
INC-B6A-PT 03 (5) AGO-26-2022	2.04	2.10	Profundidad del vector
INC-B6A-PT 03 (6) SEP-2-2022	2.36	1.48	
INC-B6A-PT 03 (7) SEP-9-2022	2.69	2.52	11.5 m
INC-B6A-PT 03 (8) SEP-19-2022	1.82	-4.66	
INC-B6A-PT 03 (9) SEP-26-2022	3.52	0.24	
INC-B6A-PT 03 (10) OCT-3-2022	4.13	3.65	
INC-B6A-PT 03 (11) OCT-10-2022	3.85	3.62	
INC-B6A-PT 03 (12) OCT-18-2022	3.49	2.75	
INC-B6A-PT 03 (13) OCT-24-2022	3.08	4.06	
INC-B6A-PT 03 (14) OCT-31-2022	3.23	1.49	
INC-B6A-PT 03 (15) NOV-15-2022	1.90	3.43	
INC-B6A-PT 03 (16) NOV-21-2022	1.30	1.61	
INC-B6A-PT 03 (17) NOV-28-2022	0.81	4.87	
INC-B6A-PT 03 (18) DIC-06-2022	1.42	3.28	

TABLA 15 - DATOS DEL VECTOR DE DEFORMACIÓN (FUENTE: PROPIA)

Puntos de Control	Nomenclatura de Lectura en Función del Equipo	Trazabilidad de Lectura Ejecutada	Fecha de Ejecución
P3 - INCLINOMETRO 03	P3 - INC 03 (01)	Base	miércoles, 13 de julio de 2022
P3 - INCLINOMETRO 03	P3 - INC 03 (02)	1	jueves, 28 de julio de 2022
P3 - INCLINOMETRO 03	P3 - INC 03 (03)	2	viernes, 5 de agosto de 2022
P3 - INCLINOMETRO 03	P3 - INC 03 (04)	3	martes, 16 de agosto de 2022
P3 - INCLINOMETRO 03	P3 - INC 03 (05)	4	viernes, 26 de agosto de 2022
P3 - INCLINOMETRO 03	P3 - INC 03 (06)	5	viernes, 2 de septiembre de 2022
P3 - INCLINOMETRO 03	P3 - INC 03 (07)	6	viernes, 9 de septiembre de 2022
P3 - INCLINOMETRO 03	P3 - INC 03 (08)	7	lunes, 19 de septiembre de 2022
P3 - INCLINOMETRO 03	P3 - INC 03 (09)	8	lunes, 26 de septiembre de 2022
P3 - INCLINOMETRO 03	P3 - INC 03 (10)	9	lunes, 3 de octubre de 2022
P3 - INCLINOMETRO 03	P3 - INC 03 (11)	10	lunes, 10 de octubre de 2022
P3 - INCLINOMETRO 03	P3 - INC 03 (12)	11	martes, 18 de octubre de 2022
P3 - INCLINOMETRO 03	P3 - INC 03 (13)	12	lunes, 24 de octubre de 2022
P3 - INCLINOMETRO 03	P3 - INC 03 (14)	13	lunes, 31 de octubre de 2022
P3 - INCLINOMETRO 03	P3 - INC 03 (15)	14	martes, 15 de noviembre de 2022
P3 - INCLINOMETRO 03	P3 - INC 03 (16)	15	lunes, 21 de noviembre de 2022
P3 - INCLINOMETRO 03	P3 - INC 03 (17)	16	lunes, 28 de noviembre de 2022
P3 - INCLINOMETRO 04	P3 - INC 03 (18)	17	martes, 6 de diciembre de 2022

TABLA 16 - TRAZABILIDAD DE LECTURAS EJECUTADAS – INC 03. (FUENTE: PROPIA)

Se realizaron lecturas con una frecuencia MEDIA/ALTA aproximadamente en este instrumento. Se obtuvieron dieciocho (18) datos hasta el 6 de diciembre de 2022 por parte del personal encargado de la instrumentación geotécnica del proyecto. El error del equipo calculado para una profundidad de 30 metros corresponde a $\pm 2.4\text{mm}$ en ambos ejes. El vector de deformación se ubicó a una profundidad de 11.5 metros teniendo en cuenta que el perfil del suelo en este punto aproximadamente muestra una separación entre el primer horizonte de roca encontrado y un depósito de flujo de lodo, es decir, se consideró que el material por encima de esta profundidad es más propenso al desplazamiento.

El registro tomado el 26 de septiembre de 2022 indica tendencia del inicio de movimientos por fuera del margen de error del equipo sobre el EJE A+ indicando dirección de movimiento aparentemente en sentido OESTE. Los movimientos en el EJE B+ permanecieron dentro del margen de error hasta el registro tomada el 10 de octubre de 2022

con un movimiento aparentemente en sentido NORTE. El registro tomado el día 19 de septiembre 2022 reflejo un movimiento considerable especialmente sentido del EJE B-, sin embargo, dicho movimiento permaneció aislado durante los registros tomados después de esta fecha por lo que se descarta un movimiento en este sentido y se interpreta como un error al momento de tomar la lectura.

Para el corte del mes de septiembre 2022 se toman nueve (9) lecturas de control desde que se inició el monitoreo en este instrumento hasta el 26 de septiembre. Los resultados indicaron desplazamientos totales máximos de 4.92mm en sentido del EJE A+ y 2.37mm en sentido del EJE B-, lo que indica un movimiento despreciable en sentido SUROESTE en lo recorrido del mes de julio, agosto y septiembre.

Para el corte del mes de octubre 2022 se tomaron cinco (5) lectura de control hasta el 31 de octubre. Los resultados indicaron desplazamientos totales máximos de 5.06mm en sentido del EJE A+ y 1.5mm en sentido del EJE B+, lo que indica un aumento despreciable en los movimientos sobre el EJE A+ y una lectura estable en el EJE B+ dentro del error del equipo. Para esta corte la dirección del vector de movimiento cambia aparentemente de sentido SUROESTE a NOROESTE sin mostrar aun una tendencia clara en el aumento de los movimientos.

Para el ultimo corte que corresponde al mes de noviembre y los primero días del mes de diciembre 2022 se tomaron un total cuatro (4) lecturas de control hasta el 6 de diciembre. Los resultados indicaron desplazamientos totales máximos de 3.04mm en sentido del EJE A+ y 3.28mm en sentido del EJE B+, lo que indica un retroceso en los movimientos en el EJE A+ y un aumento despreciable en los movimientos sobre el EJE B+ en el total del tiempo transcurrido. La dirección del vector de movimiento permaneció aparentemente en sentido

NOROESTE en las últimas lecturas mostrando gráficamente una dispersión de puntos en este sentido sin una tendencia clara en el aumento de los movimientos.

Los resultados del monitoreo arrojados por este instrumento en un periodo de tiempo de 146 días desde el 13 de julio al 6 de diciembre del año 2022 no muestran movimientos en aumento. La grafica del vector de deformación muestra puntos dispersos lo que indica que no existe una tendencia de movimiento en aumento. Las gráficas de los EJES del movimientos tampoco muestra una tendencia clara del movimiento, dicho esto, es importante resaltar que los movimientos que se presentaron desde el 15 de noviembre al 6 de diciembre 2022 en los primeros dos (2) metros de profundidad fueron provocados por actividades de construcción que se adelantan en el sitio.

Para finalizar se concluye que hasta el momento este instrumento no refleja una tendencia clara en los movimientos que sean considerables o preocupantes. Este punto de control se considera estable.

4.7.3. Lecturas recolectados en el punto de control P4 – Inclinómetro 04

Se realizo la lectura inicial o lectura base del instrumento el 19 de septiembre del año 2022 donde también se verifico la correcta instalación y la profundidad de diseño previamente definida.



ILUSTRACIÓN 52 – PUNTO DE CONTROL P4 – INCLINÓMETRO 04

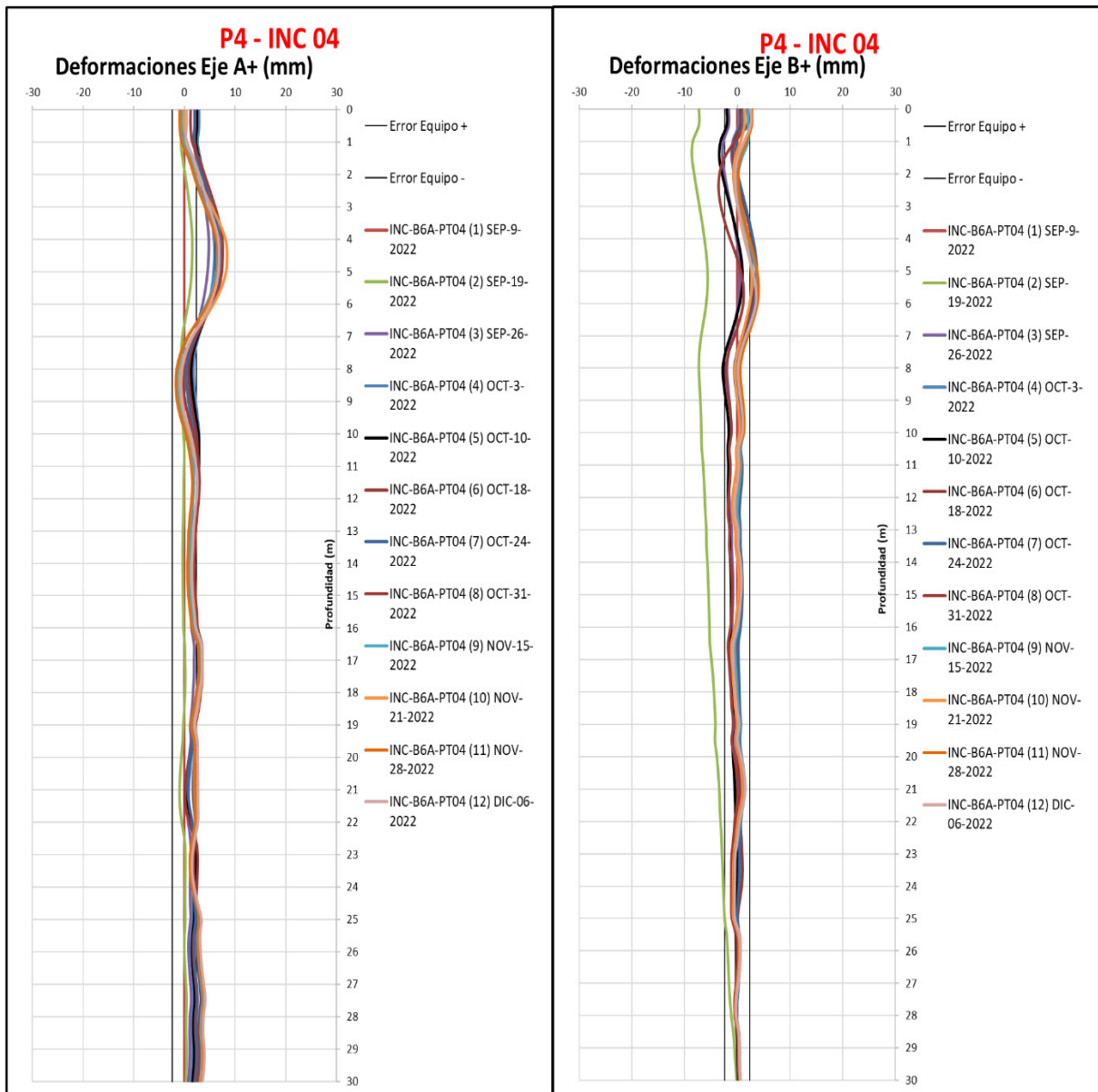


FIGURA 19 - LECTURAS EJECUTADAS EN EL INC 04, EJE A Y EJE B. (FUENTE: PROPIA)

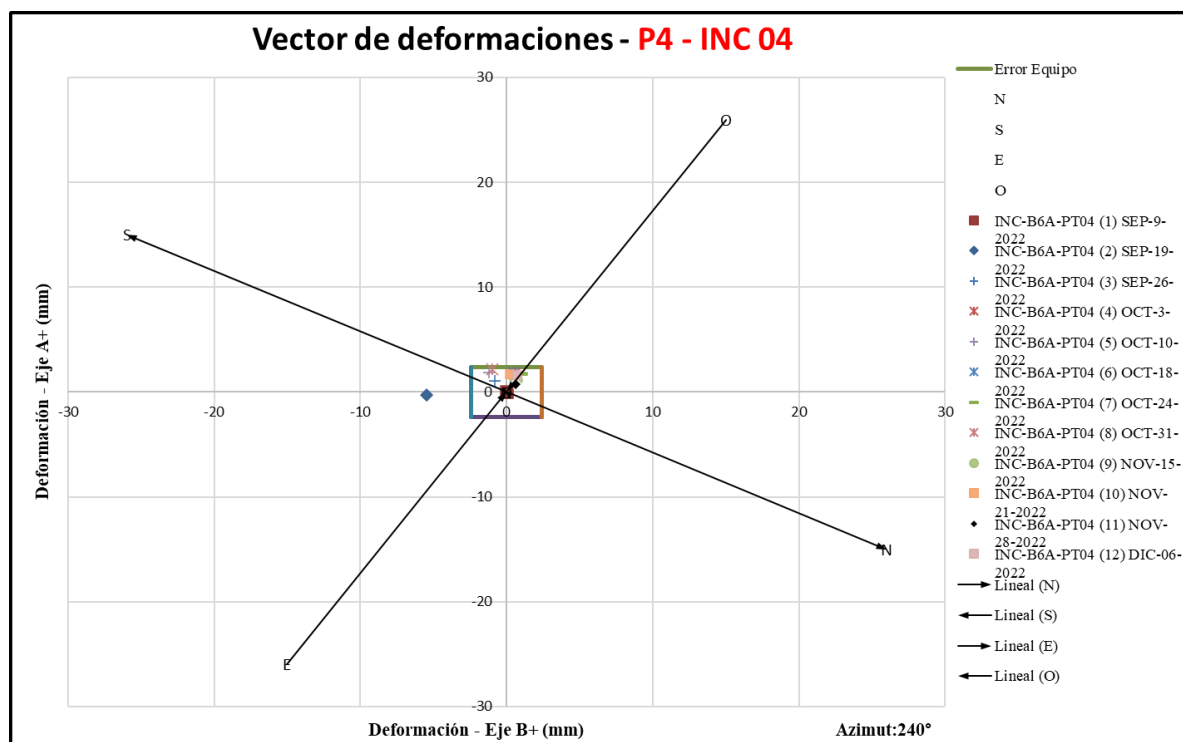


FIGURA 20 - VECTOR DE DEFORMACIONES INC 04 (FUENTE: PROPIA)

Lectura	Face A+[mm]	Face B+[mm]	Error Equipo
INC-B6A-PT04 (1) SEP-9-2022	0.00	0.00	2.4 2.4
INC-B6A-PT04 (2) SEP-19-2022	-0.31	-5.46	2.4 -2.4
INC-B6A-PT04 (3) SEP-26-2022	1.07	-0.83	-2.4 2.4
INC-B6A-PT04 (4) OCT-3-2022	1.80	0.59	-2.4 -2.4
INC-B6A-PT04 (5) OCT-10-2022	1.86	-1.21	Profundidad del vector
INC-B6A-PT04 (6) OCT-18-2022	1.84	0.46	
INC-B6A-PT04 (7) OCT-24-2022	1.76	0.95	15 m
INC-B6A-PT04 (8) OCT-31-2022	2.18	-0.98	
INC-B6A-PT04 (9) NOV-15-2022	1.24	0.64	
INC-B6A-PT04 (10) NOV-21-2022	1.69	0.20	
INC-B6A-PT04 (11) NOV-28-2022	0.77	0.63	
INC-B6A-PT04 (12) DIC-06-2022	1.58	0.73	

TABLA 17 - DATOS DEL VECTOR DE DEFORMACIÓN (FUENTE: PROPIA)

Puntos de Control	Nomenclatura de Lectura en Función del Equipo	Trazabilidad de Lectura Ejecutada	Fecha de Ejecución
P4 - INCLINOMETRO 04	P4 - INC 04 (01)	Base	viernes, 9 de septiembre de 2022
P4 - INCLINOMETRO 04	P4 - INC 04 (02)	1	lunes, 19 de septiembre de 2022
P4 - INCLINOMETRO 04	P4 - INC 04 (03)	2	lunes, 26 de septiembre de 2022
P4 - INCLINOMETRO 04	P4 - INC 04 (04)	3	lunes, 3 de octubre de 2022
P4 - INCLINOMETRO 04	P4 - INC 04 (05)	4	lunes, 10 de octubre de 2022
P4 - INCLINOMETRO 04	P4 - INC 04 (06)	5	martes, 18 de octubre de 2022
P4 - INCLINOMETRO 04	P4 - INC 04 (07)	6	lunes, 24 de octubre de 2022
P4 - INCLINOMETRO 04	P4 - INC 04 (08)	7	lunes, 31 de octubre de 2022
P4 - INCLINOMETRO 04	P4 - INC 04 (09)	8	martes, 15 de noviembre de 2022
P4 - INCLINOMETRO 04	P4 - INC 04 (10)	9	lunes, 21 de noviembre de 2022
P4 - INCLINOMETRO 04	P4 - INC 04 (11)	10	lunes, 28 de noviembre de 2022
P4 - INCLINOMETRO 04	P4 - INC 04 (12)	11	martes, 6 de diciembre de 2022

TABLA 18 - TRAZABILIDAD DE LECTURAS EJECUTADAS – INC 03. (FUENTE: PROPIA)

Se realizaron lecturas con una frecuencia MEDIA/ALTA aproximadamente en este instrumento. Se obtuvieron doce (12) datos hasta el 6 de diciembre de 2022 por parte del personal encargado de la instrumentación geotécnica del proyecto. El error del equipo calculado para una profundidad de 30 metros corresponde a $\pm 2.4\text{mm}$ en ambos ejes. El vector de deformación se ubicó a una profundidad de 15 metros, teniendo en cuenta el perfil del suelo en este punto, se puede observar que a esta profundidad se encuentra presente un horizonte de roca altamente meteorizada, por encima de los 5 metros de profundidad se observa un depósito de flujo de lodo y por debajo de los 18 metros aproximadamente se observa un horizonte de roca moderadamente meteorizada, en otras palabras, podemos afirmar en este caso que el materias más propenso al desplazamiento se encuentra por encima de los 18 metros de profundidad y por tanto ubicar el vector de deformación cerca a esta profundidad permite identificar la dirección real del movimiento.

El registro tomado el 19 de septiembre 2022 indica tendencia del inicio de movimientos considerables por fuera del margen de error del equipo sobre el EJE B-

indicando dirección de movimiento aparentemente en sentido SUR. Los movimientos en el EJE A+ permanecieron dentro del margen de error hasta el registro tomada el 26 de septiembre 2022 con un movimiento aparentemente en sentido OESTE.

El registro tomado el día 19 de septiembre de 2022 reflejo un movimiento considerable especialmente en sentido del EJE B-, sin embargo, dicho movimiento permaneció aislado durante los registros tomados después de esta fecha por lo que se descarta un movimiento en este sentido y se interpreta como un error al momento de tomar la lectura.

Para el corte del mes de octubre 2022 se toman ocho (8) lecturas de control desde que se inició el monitoreo en este instrumento hasta el 31 de octubre. Los resultados indicaron desplazamientos totales máximos de 7.55mm en sentido del EJE A+ y 3.57mm en sentido del EJE B-, lo que indica un movimiento poco considerable en sentido aparentemente SUROESTE en lo recorrido del mes de septiembre y octubre.

Para el ultimo corte que corresponde al mes de noviembre y los primero días del mes de diciembre 2022 se tomaron un total cuatro (4) lecturas de control hasta el 6 de diciembre. Los resultados indicaron desplazamientos totales máximos de 6.88mm en sentido del EJE A+ y 3.58mm en sentido del EJE B+, lo que indica un retroceso en los movimientos en el EJE A+ y un aumento despreciable en los movimientos sobre el EJE B+ en el total del tiempo transcurrido.

Los resultados del monitoreo arrojados por este instrumento en un periodo de tiempo de 88 días desde el 9 de septiembre al 6 de diciembre del año 2022 no muestran movimientos en aumento. La grafica del vector de deformación muestra puntos dispersos dentro del margen de error del equipo, dicho esto, se afirma que no existen movimientos a profundidad

preocupantes o considerables en este punto, sin embargo, si se observó un movimiento considerable en los primeros 7 metros de profundidad, pero sin que estos mostraran una tendencia en aumento constante y por el contrario se mantuvo un desplazamiento máximo total de 8.46mm en sentido del EJE A+ y 4.04mm en sentido del EJE B+ en dirección aparentemente SUROESTE.

Para finalizar se concluye que hasta el momento este instrumento no refleja una tendencia clara en los movimientos que sean considerables o preocupantes. Este punto de control se considera estable por debajo de los primeros 7 metros aparentemente.

4.7.4. Lecturas recolectadas en el punto de control P2 – Piezómetro 02

Se realizó la lectura inicial o lectura base del instrumento el 2 de agosto del año 2022 donde también se verificó la correcta instalación y la profundidad de diseño previamente definida. Se realizaron lecturas con una frecuencia BAJA aproximadamente en este instrumento.



ILUSTRACIÓN 53 – PUNTO DE CONTROL P2 – PIEZÓMETRO 02 (FUENTE: PROPIA)

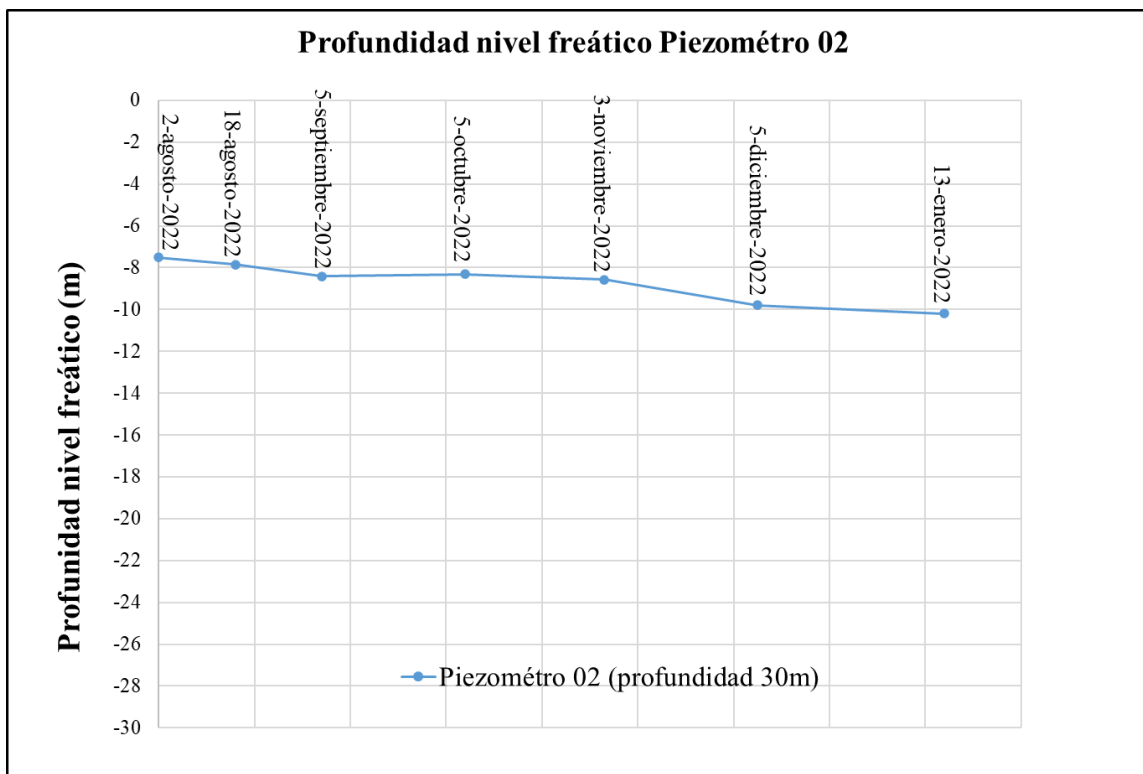


FIGURA 21 – GRAFICA DEL NIVEL FREÁTICO PIEZÓMETRO 02 (FUENTE: PROPIA)

Piezómetro 02 (profundidad 30m)			
Fecha de Lectura	Profundidad Nivel freático (m)	Diferencia entre lecturas (m)	Observaciones
martes, 2 de agosto de 2022	-7.51		lectura inicial
		-0.349	Mensual
jueves, 18 de agosto de 2022	-7.859		
		-0.556	Mensual
lunes, 5 de septiembre de 2022	-8.415		
		0.094	Mensual
miércoles, 5 de octubre de 2022	-8.32		
		-0.26	Mensual
jueves, 3 de noviembre de 2022	-8.58		
		-1.22	Mensual
lunes, 5 de diciembre de 2022	-9.8		
		-0.4	Mensual
viernes, 13 de enero de 2023	-10.2		

TABLA 19 – DATOS PIEZÓMETRO 02 (FUENTE: PROPIA)

Se tomaron un total de siete (7) lecturas de control. El registro de agosto 2022 indica el nivel de agua en 7.86m. En septiembre de 2022 se registra la lámina de agua en 8.4m. En octubre de 2022 se registró el nivel piezométrico en 8.32m sin presentar mayores variaciones. En noviembre 2022 se encuentra la lámina de agua en 8.5m. En diciembre de 2022 se registró el nivel de agua en 9.8m, no se observan mayores variaciones. En enero de 2023 se registró el nivel piezométrico en 10.2m.

Se concluye que el nivel freático en este punto de control presenta una tendencia negativa, es decir, que la altura del nivel de agua viene disminuyendo a lo largo del monitoreo en un total de 2.69 metros desde el 2 de agosto del año 2022 al 13 de enero del año 2023.

4.7.5. Lecturas recolectadas por los puntos de control topográficos

Se realizó la lectura inicial o lectura base de los puntos de control topográficos el 29 de abril del año 2022 donde también se verificó la correcta instalación de estos. La estación topográfica total usada presenta una precisión angular de dos segundos ($0^{\circ}00'2''$) y una precisión a distancia de dos (2) milímetros según el fabricante, sin embargo, el error que se pudo presentar en este tipo de monitoreo corresponde aproximadamente a ± 3 cm, esto debido a errores humanos y a movimientos causados por actores externos a la naturaleza del sitio entre otros. Los puntos de control que presentan diferencias entre una y otra lectura por debajo de ± 1 cm, no se considera como un movimiento preocupante, no obstante, si estos mismos puntos reflejan una tendencia en aumento si se toman en consideración. Los datos arrojados por este tipo de monitoreo geotécnico reflejan los movimientos superficiales en el terreno.

Se tomaron un total de 21 lecturas de control con una frecuencia MEDIA/ALTA aproximadamente en los ejes de movimiento horizontal y vertical que corresponden a las coordenadas NORESTE y COTA respectivamente; para calcular desplazamientos lineales se toman los datos de las coordenadas NORESTE y para calcular asentamientos se toman los datos de las COTAS.

Los desplazamientos lineales presentan una tendencia normalmente positiva (+) y los asentamientos una tendencia normalmente negativa (-). Para encontrar el valor del desplazamiento lineal acumulado en cada punto de control, primero se calcula la diferencia entre las coordenadas NORESTE de la lectura tomada con las coordenadas NORESTE de la lectura base o lectura inicial de la siguiente manera:

$$\text{Desp. N} = \text{NORTE (final)} - \text{NORTE (inicial)}; \text{Desp. E} = \text{ESTE (final)} - \text{ESTE (inicial)}$$

El resultado de dicha operación muestra en metros el movimiento del punto de control en dirección NORTE y en dirección ESTE, posteriormente se toman estos dos valores (Desp. N y Desp. E) y se calcula el desplazamiento lineal acumulado de la siguiente manera:

$$D. \text{Lineal acumulado} = \sqrt{(\text{Desp. N})^2 + (\text{Desp. E})^2}$$

Para encontrar el valor del asentamiento acumulado se calcula la diferencia entre la COTA de la lectura tomada con la COTA de la lectura inicial o lectura base de la siguiente manera:

$$\text{Asent. acumulado} = \text{COTA (final)} - \text{COTA (inicial)}$$

Finalmente, para identificar la dirección real del movimiento en el plano de coordenadas NORTE-SUR, ESTE-OESTE de los desplazamientos lineales se dice que; si el desplazamiento en la NORTE es positivo (+) entonces la dirección del movimiento será en sentido NORTE, pero si por el contrario es negativo (-) entonces la dirección de movimiento será en sentido SUR, de igual forma si el desplazamiento en la ESTE es positivo (+) la dirección del movimiento será en sentido ESTE, pero si por el contrario es negativo (-) entonces la dirección de movimiento será en sentido OESTE figura(91).

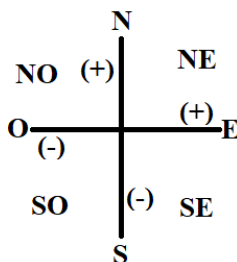


FIGURA 22 – EJES DESPLAZAMIENTO LINEAL (FUENTE: PROPIA)

TRAZABILIDAD DEL TOTAL DE LECTURAS REALIZADAS			
PUNTOS DE CONTROL TOPOGRAFICOS	# LECTURAS	FECHA	OBSERVACIONES
	1	viernes, 29 de abril de 2022	LECTURA INICIAL
	2	jueves, 5 de mayo de 2022	
	3	jueves, 12 de mayo de 2022	
	4	jueves, 19 de mayo de 2022	
	5	miércoles, 25 de mayo de 2022	
	6	miércoles, 1 de junio de 2022	
	7	lunes, 6 de junio de 2022	
	8	lunes, 13 de junio de 2022	
	9	martes, 21 de junio de 2022	
	10	martes, 28 de junio de 2022	
	11	martes, 5 de julio de 2022	
	12	martes, 12 de julio de 2022	
	13	martes, 19 de julio de 2022	
	14	martes, 26 de julio de 2022	
	15	miércoles, 3 de agosto de 2022	
	16	martes, 9 de agosto de 2022	Puntos de control P13 Y P15 arrancados
	17	martes, 16 de agosto de 2022	
	18	martes, 23 de agosto de 2022	
	19	martes, 30 de agosto de 2022	Punto de control P17 perdido
	20	martes, 6 de septiembre de 2022	
21	miércoles, 14 de septiembre de 2022		

TABLA 20 – TRAZABILIDAD DEL TOTAL DE LECTURAS REALIZADAS (FUENTE: PROPIA)

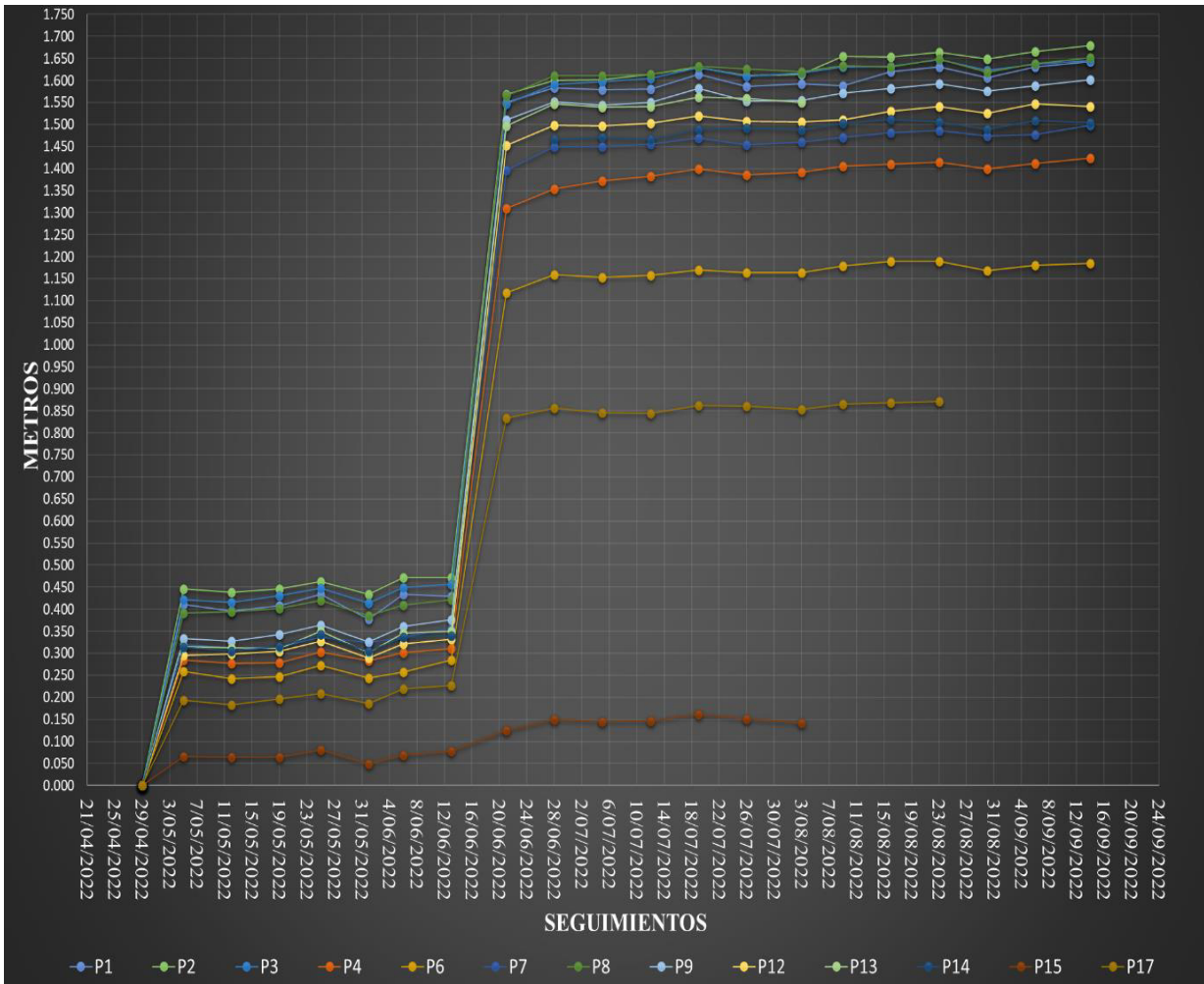


FIGURA 23 - GRÁFICO DE DESPLAZAMIENTO LINEAL EN METROS POR MONITOREO (FUENTE: PROPIA)

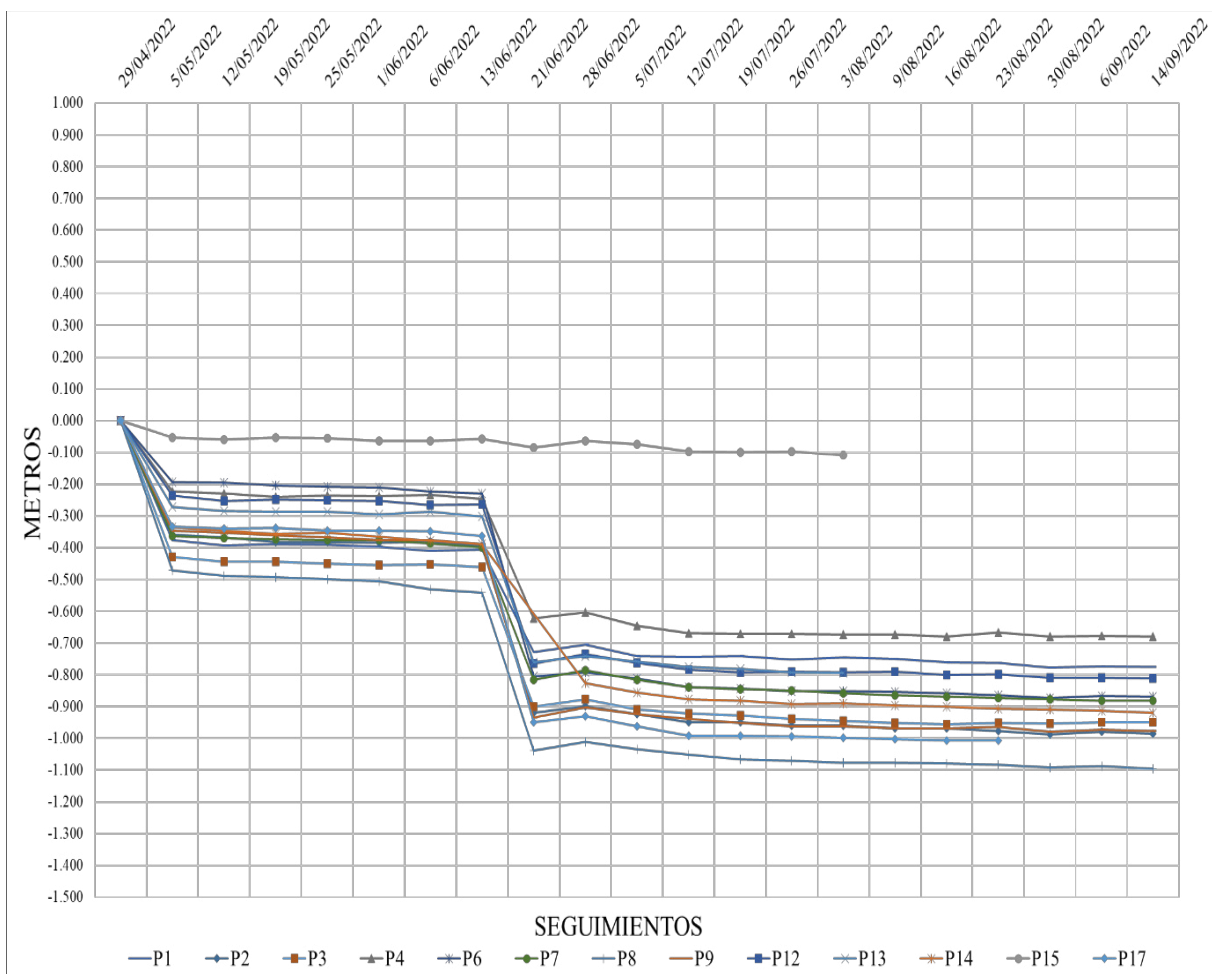


FIGURA 24 - GRÁFICO DE ASENTAMIENTO EN METROS POR MONITOREO (FUENTE: PROPIA)

Puntos de control	Trazabilidad de lectura ejecutada						DESPLAZAMIENTO LINEAL ACUMULADO (m) - ERROR ± 0.03m	ASENTAMIENTO TOTAL ACUMULADO (m) - ERROR ± 0.03m
	Lectura inicial 29/04/2022			5/05/2022				
	coodenadas			coodenadas				
	NORTE	ESTE	COTA	NORTE	ESTE	COTA		
P1	1156462.675	1144810.871	994.423	1156462.428	1144810.542	994.048	0.411	-0.375
P2	1156429.415	1144839.945	994.378	1156429.126	1144839.605	994.020	0.446	-0.358
P3	1156395.118	1144875.264	994.240	1156394.910	1144874.897	993.812	0.422	-0.428
P4	1156376.742	1144909.612	994.696	1156376.554	1144909.399	994.473	0.284	-0.223
P6	1156386.778	1144936.563	998.919	1156386.617	1144936.361	998.726	0.258	-0.193
P7	1156400.603	1144911.763	998.818	1156400.441	1144911.488	998.455	0.319	-0.363
P8	1156411.066	1144878.773	998.073	1156410.872	1144878.433	997.601	0.391	-0.472
P9	1156436.483	1144851.805	997.902	1156436.288	1144851.534	997.556	0.334	-0.346
P12	1156455.181	1144865.481	999.916	1156455.007	1144865.242	999.680	0.296	-0.236
P13	1156439.224	1144897.422	1000.632	1156439.051	1144897.158	1000.360	0.316	-0.272
P14	1156420.179	1144926.455	1000.607	1156420.001	1144926.197	1000.271	0.313	-0.336
P15	1156392.981	1144966.435	1000.405	1156392.985	1144966.370	1000.353	0.065	-0.052
P17	1156454.961	1144919.157	1002.147	1156454.862	1144918.991	1001.814	0.193	-0.333

TABLA 21 – TRAZABILIDAD DE LECTURAS EJECUTADAS HASTA EL 5 DE MAYO 2022 (FUENTE: PROPIA)

Para la información recolectada hasta el 5 de mayo 2022, se tomaron un total de dos (2) lecturas de control desde que se inició el monitoreo en estos puntos de control. los datos arrojados muestran un primer movimiento muy considerable en todos los puntos de control en dirección SUROESTE aparentemente, el desplazamiento lineal total máximo registrado corresponde al punto de control “P2” con 44.5 cm y el asentamiento total máximo ocurrió en el punto de control “P8” con -47.2 cm aproximadamente.

Trazabilidad de lectura ejecutada							DESPLAZAMIENTO LINEAL ACUMULADO (m) - ERROR $\pm 0.03m$	ASENTAMIENTO TOTAL ACUMULADO (m) - ERROR $\pm 0.03m$	DIFERENCIA - D. LINEAL (m)	DIFERENCIA - ASENT. (m)
Puntos de control	5/05/2022			25/05/2022						
	coordenadas			coordenadas						
	NORTE	ESTE	COTA	NORTE	ESTE	COTA				
P1	1156462.428	1144810.542	994.048	1156462.413	1144810.526	994.032	0.433	-0.391	0.022	-0.016
P2	1156429.126	1144839.605	994.020	1156429.121	1144839.588	993.997	0.462	-0.381	0.016	-0.023
P3	1156394.910	1144874.897	993.812	1156394.910	1144874.868	993.789	0.447	-0.451	0.025	-0.023
P4	1156376.554	1144909.399	994.473	1156376.539	1144909.387	994.461	0.303	-0.235	0.019	-0.012
P6	1156386.617	1144936.361	998.726	1156386.614	1144936.346	998.712	0.272	-0.207	0.014	-0.014
P7	1156400.441	1144911.488	998.455	1156400.451	1144911.463	998.443	0.336	-0.375	0.017	-0.012
P8	1156410.872	1144878.433	997.601	1156410.860	1144878.407	997.574	0.420	-0.499	0.029	-0.027
P9	1156436.288	1144851.534	997.556	1156436.270	1144851.510	997.535	0.364	-0.367	0.030	-0.021
P12	1156455.007	1144865.242	999.680	1156454.989	1144865.215	999.666	0.328	-0.250	0.032	-0.014
P13	1156439.051	1144897.158	1000.360	1156439.032	1144897.129	1000.346	0.350	-0.286	0.035	-0.014
P14	1156420.001	1144926.197	1000.271	1156419.991	1144926.168	1000.255	0.343	-0.352	0.030	-0.016
P15	1156392.985	1144966.370	1000.353	1156392.990	1144966.355	1000.351	0.081	-0.054	0.015	-0.002
P17	1156454.862	1144918.991	1001.814	1156454.855	1144918.978	1001.801	0.208	-0.346	0.015	-0.013

TABLA 22 - TRAZABILIDAD DE LECTURAS EJECUTADAS EN EL MES DE MAYO 2022 (FUENTE: PROPIA)

Para el corte del mes de mayo 2022 se tomaron un total de cuatro (4) lecturas de control desde el 5 hasta el 25 de mayo. los datos arrojados muestran un desplazamiento lineal aparentemente estable con pequeñas oscilaciones entre desplazamientos lineales positivos y negativos, sin embargo, la última lectura tomada el 25 de este mismo mes termina reflejando unos desplazamientos lineales positivos considerables llegando a un máximo de 3.5cm en el punto de control “P13” en comparación con la lectura tomada el 5 de mayo. La dirección del desplazamiento lineal acumulado se mantiene en dirección SUROESTE aparentemente, por

otra parte, los asentamientos permanecieron con una tendencia negativa en la mayoría de los puntos de control con otras pequeñas diferencias positivas entre una y otra lectura llegando a un máximo de -49,9 cm en el punto de control “P8” con una diferencia considerable de -2.7 cm en comparación con la lectura tomada el 5 de mayo en este mismo punto de control.

Trazabilidad de lectura ejecutada							DESPLAZAMIENTO LINEAL ACUMULADO (m) - ERROR \pm 0.03m	ASENTAMIENTO TOTAL ACUMULADO (m) - ERROR \pm 0.03m	DIFERENCIA - D. LINEAL (m)	DIFERENCIA - ASENT. (m)
Puntos de control	25/05/2022			28/06/2022						
	coordenadas			coordenadas						
	NORTE	ESTE	COTA	NORTE	ESTE	COTA				
P1	1156462.413	1144810.526	994.032	1156461.699	1144809.625	993.719	1.583	-0.704	1.150	-0.313
P2	1156429.121	1144839.588	993.997	1156428.449	1144838.670	993.480	1.600	-0.898	1.137	-0.517
P3	1156394.910	1144874.868	993.789	1156394.334	1144873.880	993.362	1.591	-0.878	1.143	-0.427
P4	1156376.539	1144909.387	994.461	1156375.963	1144908.505	994.092	1.354	-0.604	1.051	-0.369
P6	1156386.614	1144936.346	998.712	1156386.100	1144935.623	998.127	1.159	-0.792	0.887	-0.585
P7	1156400.451	1144911.463	998.443	1156399.846	1144910.527	998.032	1.449	-0.786	1.113	-0.411
P8	1156410.860	1144878.407	997.574	1156410.232	1144877.395	997.063	1.611	-1.010	1.191	-0.511
P9	1156436.270	1144851.510	997.535	1156435.604	1144850.526	997.000	1.552	-0.902	1.188	-0.535
P12	1156454.989	1144865.215	999.666	1156454.318	1144864.256	999.182	1.498	-0.734	1.170	-0.484
P13	1156439.032	1144897.129	1000.346	1156438.346	1144896.148	999.891	1.547	-0.741	1.197	-0.455
P14	1156419.991	1144926.168	1000.255	1156419.356	1144925.241	999.780	1.467	-0.827	1.124	-0.475
P15	1156392.990	1144966.355	1000.351	1156393.005	1144966.287	1000.342	0.150	-0.063	0.069	-0.009
P17	1156454.855	1144918.978	1001.801	1156454.490	1144918.441	1001.216	0.857	-0.931	0.649	-0.585

TABLA 23 - TRAZABILIDAD DE LECTURAS EJECUTADAS EN EL MES DE JUNIO 2022 (FUENTE: PROPIA)

Para el corte del mes de junio 2022 se tomaron un total de cinco (5) lecturas de control desde el 1 al 28 de junio. Los datos arrojados muestran un movimiento muy considerable en la lectura tomada el día 21 de junio en todos los puntos de control, dicho movimiento se vio reflejado en el terreno con la aparición de grietas sobre la vía en construcción y sobre el terreno natural; el desplazamiento lineal máximo total registrado se presentó el punto control “P2” llegando a 156,9 cm con una diferencia de 110,6 cm en comparación con la última lectura tomada en el mes de mayo en este mismo punto. En promedio todos los puntos de control se desplazaron 1 metro aproximadamente en dirección SUROESTE a excepción del punto de control “P15” que sufrió una deformación considerable pero mucho menor en comparación con todos los demás, por otra parte, el asentamiento

máximo acumulado llegó a los -103,9cm en el punto de control “P8” con una diferencia de -54cm con la última lectura tomada en el mes de mayo, en promedio todos los puntos de control se asentaron medio metro aproximadamente a excepción del punto de control “P15” que sufrió un asentamiento considerable pero en menor medida comparado con todos los demás. En las siguientes imágenes se puede observar la magnitud de los movimientos.



**ILUSTRACIÓN 54 - ORTOFOTO PATE SUPERIOR ACOPIO TEMPORAL B6A, JUNIO 2022
(PROINVIPACIFICO SAS, 2022)**



ILUSTRACIÓN 55 – ORTOFOTO VÍA EN CONSTRUCCIÓN ACOPIO TEMPORAL B6A, JUNIO 2022
(PROINVIPACIFICO SAS, 2022)



ILUSTRACIÓN 56 – ORTOFOTO PARTE INFERIOR ACOPIO TEMPORAL B6A, JUNIO 2022
(PROINVIPACIFICO SAS, 2022)

Trazabilidad de lectura ejecutada							DESPLAZAMIENTO LINEAL ACUMULADO (m) - ERROR \pm 0.03m	ASENTAMIENTO TOTAL ACUMULADO (m) ERROR \pm 0.03m	DIFERENCIA - D. LINEAL (m)	DIFERENCIA - ASENT. (m)
Puntos de control	28/06/2022			26/07/2022						
	coordenadas			coordenadas						
	NORTE	ESTE	COTA	NORTE	ESTE	COTA				
P1	1156461.699	1144809.625	993.719	1156461.701	1144809.618	993.672	1.587	-0.751	0.004	-0.047
P2	1156428.449	1144838.670	993.480	1156428.443	1144838.661	993.418	1.610	-0.960	0.011	-0.062
P3	1156394.334	1144873.880	993.362	1156394.319	1144873.867	993.301	1.609	-0.939	0.019	-0.061
P4	1156375.963	1144908.505	994.092	1156375.928	1144908.490	994.026	1.386	-0.670	0.033	-0.066
P6	1156386.100	1144935.623	998.127	1156386.087	1144935.627	998.067	1.163	-0.852	0.004	-0.06
P7	1156399.846	1144910.527	998.032	1156399.834	1144910.528	997.968	1.455	-0.850	0.005	-0.064
P8	1156410.232	1144877.395	997.063	1156410.216	1144877.386	997.002	1.627	-1.071	0.016	-0.061
P9	1156435.604	1144850.526	997.000	1156435.573	1144850.547	996.939	1.553	-0.963	0.001	-0.061
P12	1156454.318	1144864.256	999.182	1156454.308	1144864.253	999.127	1.507	-0.789	0.008	-0.055
P13	1156438.346	1144896.148	999.891	1156438.329	1144896.145	999.841	1.559	-0.791	0.012	-0.05
P14	1156419.356	1144925.241	999.780	1156419.338	1144925.223	999.716	1.492	-0.891	0.025	-0.064
P15	1156393.005	1144966.287	1000.342	1156393.001	1144966.285	1000.307	0.151	-0.098	0.001	-0.035
P17	1156454.490	1144918.441	1001.216	1156454.479	1144918.443	1001.153	0.861	-0.994	0.004	-0.063

TABLA 24 - TRAZABILIDAD DE LECTURAS EJECUTADAS EN EL MES DE JULIO 2022 (FUENTE: PROPIA)

Para el corte del mes de julio 2022 se tomaron un total de cuatro (4) lecturas de control desde el 5 al 26 de julio. los datos arrojados muestran un desplazamiento lineal con pequeñas variaciones en sentido negativo, pero con una tendencia positiva dominante en todos los puntos de control llegando a un máximo entre lecturas de 3.3cm en el punto de control “P4” desde el 28 de junio al 26 de julio. Los desplazamientos lineales conservan la dirección de movimiento SUROESTE aparentemente. Los asentamientos hasta este corte aumentaron considerablemente con una tendencia negativa llegando a un máximo acumulado de -107,1cm en el punto de control “P8” con una diferencia de -6.1cm en comparación con la lectura tomada el 28 de junio.

Trazabilidad de lectura ejecutada							DESPLAZAMIENTO LINEAL ACUMULADO (m) - ERROR \pm 0.03m	ASENTAMIENTO TOTAL ACUMULADO (m) - ERROR \pm 0.03m	DIFERENCIA - D. LINEAL (m)	DIFERENCIA - ASENT. (m)
Puntos de control	26/07/2022			30/08/2022						
	coordenadas			coordenadas						
	NORTE	ESTE	COTA	NORTE	ESTE	COTA				
P1	1156461.701	1144809.618	993.672	1156461.680	1144809.611	993.645	1.606	-0.778	0.019	-0.027
P2	1156428.443	1144838.661	993.418	1156428.420	1144838.629	993.391	1.649	-0.987	0.039	-0.027
P3	1156394.319	1144873.867	993.301	1156394.314	1144873.855	993.286	1.623	-0.954	0.013	-0.015
P4	1156375.928	1144908.490	994.026	1156375.916	1144908.482	994.017	1.400	-0.679	0.014	-0.009
P6	1156386.087	1144935.627	998.067	1156386.078	1144935.628	998.047	1.168	-0.872	0.005	-0.020
P7	1156399.834	1144910.528	997.968	1156399.826	1144910.509	997.942	1.475	-0.876	0.020	-0.026
P8	1156410.216	1144877.386	997.002	1156410.221	1144877.392	996.982	1.619	-1.091	-0.008	-0.020
P9	1156435.573	1144850.547	996.939	1156435.556	1144850.531	996.924	1.576	-0.979	0.023	-0.015
P12	1156454.308	1144864.253	999.127	1156454.303	1144864.233	999.106	1.526	-0.810	0.019	-0.021
P13	1156438.329	1144896.145	999.841	PUNTO DE C. PERDIDO 3/08/2022			-	-	-	-
P14	1156419.338	1144925.223	999.716	1156419.323	1144925.237	999.698	1.489	-0.909	-0.003	-0.018
P15	1156393.001	1144966.285	1000.307	PUNTO DE C. PERDIDO 3/08/2022			-	-	-	-
P17	1156454.479	1144918.443	1001.153	PUNTO DE C. PERDIDO 23/08/2022			-	-	-	-

TABLA 25 - TRAZABILIDAD DE LECTURAS EJECUTADAS EN EL MES DE AGOSTO 2022 (FUENTE: PROPIA)

Para el corte del mes de agosto 2022 se tomaron un total de cinco (5) lecturas de control desde el 3 al 30 de agosto. los datos arrojados muestran un desplazamiento lineal con variaciones en sentido negativo, pero con una tendencia positiva dominante en la mayoría de los puntos de control llegando a un máximo entre lecturas de 3.9cm en el punto de control “P2” desde el 26 de julio al 30 de agosto. Los desplazamientos lineales conservan la dirección de movimiento SUROESTE aparentemente. Los asentamientos hasta este corte muestran pequeñas variaciones en sentido positivo, otras en sentido negativo, pero poco considerables, sin embargo, en la última lectura del mes se observa un aumento dominante en sentido negativo llegando a un máximo acumulado de -109,1 en el punto de control “P8” con una diferencia de -2cm en comparación con la lectura tomada el 26 de julio. Adicionalmente en lo transcurrido de este mes se perdieron tres (3) puntos de control.

Trazabilidad de lectura ejecutada							DESPLAZAMIENTO LINEAL ACUMULADO (m) - ERROR ± 0.03m	ASENTAMIENTO TOTAL ACUMULADO (m) ERROR ± 0.03m	DIFERENCIA - D. LINEAL (m)	DIFERENCIA - ASENT. (m)
Puntos de control	30/08/2022			14/09/2022						
	coordenadas			coordenadas						
	NORTE	ESTE	COTA	NORTE	ESTE	COTA				
P1	1156461.680	1144809.611	993.645	1156461.666	1144809.574	993.647	1.643	-0.776	0.038	0.002
P2	1156428.420	1144838.629	993.391	1156428.409	1144838.601	993.393	1.679	-0.985	0.030	0.002
P3	1156394.314	1144873.855	993.286	1156394.311	1144873.830	993.291	1.646	-0.949	0.023	0.005
P4	1156375.916	1144908.482	994.017	1156375.915	1144908.453	994.016	1.424	-0.680	0.024	-0.001
P6	1156386.078	1144935.628	998.047	1156386.082	1144935.604	998.051	1.185	-0.868	0.017	0.004
P7	1156399.826	1144910.509	997.942	1156399.831	1144910.480	997.936	1.498	-0.882	0.023	-0.006
P8	1156410.221	1144877.392	996.982	1156410.212	1144877.359	996.978	1.651	-1.095	0.032	-0.004
P9	1156435.556	1144850.531	996.924	1156435.551	1144850.503	996.925	1.601	-0.977	0.025	0.002
P12	1156454.303	1144864.233	999.106	1156454.304	1144864.214	999.105	1.541	-0.811	0.015	-0.001
P13	PUNTO DE C. PERDIDO 3/10/2022						-	-	-	-
P14	1156419.323	1144925.237	999.698	1156419.329	1144925.214	999.688	1.504	-0.919	0.015	-0.010
P15	PUNTO DE C. PERDIDO 3/10/2022						-	-	-	-
P17	PUNTO DE C. PERDIDO 24/10/2022						-	-	-	-

TABLA 26 - TRAZABILIDAD DE LECTURAS EJECUTADAS EN EL MES DE AGOSTO 2022 (FUENTE: PROPIA)

Para el último corte con fecha del 14 de septiembre 2022 y hasta donde se tiene registro del monitoreo con puntos de control topográficos, se tomaron un total de dos (2) lecturas de control desde el 6 al 14 de septiembre. Los resultados arrojados muestran un aumento considerable en sentido positivo en los desplazamientos lineales acumulados en todos los puntos de control llegando a un máximo de 167,9cm en el punto de control “P2” y con una diferencia entre lecturas de 3cm desde el 30 de agosto al 14 de septiembre; por otra parte, los asentamientos se mantuvieron estables en estas dos últimas lecturas del mes reflejando una tendencia positiva poco considerable en la mayoría de los puntos de control.

Para finalizar podemos afirmar que los movimientos durante todo el monitoreo topográfico mantuvieron una dirección SUROESTE que corresponde a la dirección de movimiento esperado. Este monitoreo se suspende el día 14 de septiembre del año 2022 y se considera que los datos recolectados hasta la fecha son bastante útiles para el análisis e interpretación de los movimientos del terreno en la zona.

5. Conclusiones

- El monitoreo con puntos de control topográfico fue la primera herramienta implementada en este estudio para identificar los movimientos en el sitio; se tomaron datos durante 138 días con una frecuencia MEDIA/ALTA desde el 29 de abril al 14 de septiembre del año 2022 donde se identificó un movimiento superficial en el terreno muy considerable en dirección SUROESTE, adicionalmente se observaron desplazamientos lineales muy altos llegando a un pico máximo de 114,6cm y un asentamiento máximo de -58,7cm en un periodo de tiempo de 8 días entre lecturas indicando una gran inestabilidad en toda la superficie del sitio objeto de este estudio.
- Los datos arrojados por el piezómetro indicaron una disminución periódica en la saturación del material presente en el acopio temporal B6A, sin embargo, aún se consideró como una zona muy saturado teniendo en cuenta la profundidad a la que se instaló el piezómetro y a la información arrojada por los sondeos de la exploración geotécnica donde se encuentra un nivel freático alto.
- El sistema de monitoreo empleado con Inclínómetros mostro datos positivos referente a la estabilidad del sitio en profundidad; si bien es cierto que los movimientos más considerables ocurrieron antes de finalizar la instalación de los inclinómetros, se pudo afirmar gracias a la exploración geotécnica y a los datos recolectados posteriormente por este sistema de monitoreo geotécnico, que los movimientos fueron mucho más superficiales de lo que se pensaba.
- Los cuatro (4) sondeos realizados en la exploración geotécnica concuerdan en identificar una franja de material denominado “Deposito de flujo de lodo” con un grosor máximo que llega a los 6m de profundidad de acuerdo al sondeo P1, esto sin tener en cuenta

el material denominada “Deposito de lleno antrópico”, nombre que se le da al material ajeno a la naturaleza del sitio y que fue depositado ahí por el personal encargado de la disposición final del material sobrante de las excavaciones, dicho esto, podemos concluir que el material que se ha desplazado en superficie corresponde al “Deposito de flujo de lodo”, material que es fruto de los escarpes presentes en el terreno de la zona, que con el pasar del tiempo fueron formando depósitos de material y de los cuales se obtiene poca resistencia.

- En la fotogrametría del sitio tomada luego de los grandes movimientos reflejados por los puntos de control topográfico y que se incluyó dentro de este estudio, se pudo observar que el origen del movimiento correspondería a un desplazamiento ocurrido varios metros por debajo en sentido SUROESTE del acopio temporal B6A, este deslizamiento genero una especie de efecto domino que jalo todo el material por encima del mismo y que evidentemente afecto la integridad del acopio temporal B6A y de la vía en construcción.

- De acuerdo a toda la información expuesta en este proyecto de investigación, se puede concluir que no es necesario implementar obras de estabilización con cimentación profunda puesto que los movimientos que se observaron no tienen un origen profundo, en cambio, si se recomienda la implementación de obras de estabilización más superficial como la instalación de trinchos que soporten el material de flujo de lodo mejorando así su resistencia y la construcción de obras de drenaje para evitar que el suelo se siga erosionando y saturando evitando así futuros deslizamientos de material.

- Para finalizar es importante resaltar que los estudios y diseños que conforman el proyecto de infraestructura vial pacifico 1 y de los cuales se hace referencia en este proyecto de investigación, son de interés público y se pueden solicitar a la concesión vial del pacífico 1 a través de los canales de comunicación en la página web www.covipacifico.co.

6. Bibliografía

- AQUASOLUM ingeniería SAS. (2022). *PERFIL ESTRATIGRÁFICO DE PERFORACIÓN - SONDEO P1, P2, P3 Y P4.*
- Cimentaciones, S. G. (2017). *Estudio de Estabilidad y Estabilización de Taludes Sitio Crítico El Guamo.*
- Cimentaciones, S. G. (2017). *Estudio de Estabilidad y Estabilización de Taludes Tramo 5.1A K10+750-K12+750.*
- Colombiano, S. G. (2009). *Geología de la Plancha 166 Jericó.*
- Covipacífico S.A.S. (2014). *PROINVIPACIFICO.* Obtenido de <https://www.covipacifico.co/proinvipacifico/>
- DIRIMPEX. (2022). *DIRIMPEX Ingeniería Consciente y Dinámica.* Obtenido de <https://dirimpex.com/equipos/tuberia-de-abs-para-inclinometros/>
- Fernández, S. P. (2010). *ESTUDIO SOBRE LA INSTRUMENTACIÓN EMPLEADA EN OBRAS DE METRO. CASO DE LA LÍNEA 9 DEL METRO DE BARCELONA.* Barcelona, España.
- Google Earth PRO. (2022).
- ingeniería, AQUASOLUM SAS. (2022). *COTIZACIÓN DE SERVICIOS A1-COT-GTN-116-02062022 V02.*
- Oficina Técnica. (2020). *Plano General del Proyecto - Elguamo.* sector del Guamo.
- Proinvipacífico SAS. (2014). *Sectorización por Unidad Funcional .*

Proinvipacifico SAS. (2022). *Ortofoto - acopio temporal B6A*. sector el guamo .

Proinvipacifico SAS. (2022). *Plano Gneral Unidad Funcional 1*.

RST Instrumens Manual. (2016). *RST MEMS Digital Inclinator Instruction Manual*. Canadá:
Maple Ridge, B.C.

RST Instruments. (2022). *alphaomega-electronics*. Obtenido de <https://www.alphaomega-electronics.com/es/rst-instruments/5751-piezometro-de-tubo-vertical-casagrande-epb0009p.html>

RST INSTRUMENTS. (2022). *rstinstruments*. Obtenido de
<https://rstinstruments.com/product/water-level-meter/>

RST Instruments Ltd. (2012). *Inclinalysis™ Digital Inclinator Analysis Software*. Canadá:
Maple Ridge, BC.

Spiral Ingenieria. (2022). *Ficha Topografica PUENTE ACCESO 1*. MEDELLIN.

Spiral Ingenieria. (2022). *Ficha Topografica, SINIFANA*. MEDELLIN.

SPIRAL, I. (2022). *Acopio temporal B6A*.

Topographic-map.com. (2022). *es-co.topographic-map*. Obtenido de <https://es-co.topographic-map.com/map-dd1zs/El-Guamo/?center=10.0314%2C-74.97542>

Weather Spark. (2022). *es.weatherspark.com*. Obtenido de
<https://es.weatherspark.com/y/23480/Clima-promedio-en-El-Guamo-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o#:~:text=En%20El%20Guamo%2C%20la%20temporada,m%C3%A1s%20de%2038%20%C2%B0C>.

7. Anexos

Anexo 1: Ficha del control topográfico realizado en el acopio temporal B6A.

Anexo 3: Datos y graficas del Inclínómetro 01 instalado en el acopio temporal B6A.

Anexo 4: Datos y graficas del Inclínómetro 03 instalado en el acopio temporal B6A.

Anexo 5: Datos y graficas del Inclínómetro 04 instalado en el acopio temporal B6A.

Anexo 6: Datos y graficas del piezómetro 02 instalado en el acopio temporal B6A.