



**UNIVERSIDAD MAYOR REAL Y PONTIFICIA DE
SAN FRANCISCO XAVIER
DE CHUQUISACA**

**Diagnostico Geotécnico y Simulación Numérica de
Asentamientos Diferenciales – Caso de estudio: Centro
de Investigación e Innovación Agrotecnológica “La
Barranca”**

Mariana Erika Rojas Montalvo

Tutor:

M.Sc. Mirko Ivan Cuellar Quinteros

Maestría en Ingeniería Geotécnica

2025

Declaración de originalidad y derechos de autor

Como autora declaro que el presente trabajo académico es original, excepto donde he reconocido la información generada por otros autores por medio de citaciones en el estilo requerido.

En caso de existir información confidencial (*e.g.*, información proveniente de reportes gubernamentales, institucionales, privados o similares, personas naturales, *etc.*), manifiesto que he obtenido el permiso por escrito para incluir esa información en este trabajo académico.

Autorizo a las instancias competentes de la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca (USFX) someter este trabajo académico a una evaluación de integridad académica por medio de una herramienta establecida para este propósito.

Autorizo a la USFX hacer de este trabajo académico un documento disponible para su lectura en el repositorio institucional.

Finalmente, manifiesto mi consentimiento para que este trabajo académico pueda ser publicado, total o parcialmente, respetando la propiedad intelectual del autor.

Mariana Erika Rojas Montalvo

13/08/2025

“La resiliencia no es la ausencia de dificultad, sino la capacidad de adaptarse, reconstruirse y avanzar con propósito.”
Como afirma Viktor Frankl (1946)

Agradecimientos

A Dios, por ser guía silenciosa en cada paso, por sostenerme en los momentos de incertidumbre y por enseñarme que la fe también se expresa en el compromiso con el conocimiento. Sin su presencia constante, este camino no habría tenido sentido ni dirección.

A mi padre, el Ing. Abel R. S., cuya ausencia física no ha apagado su luz en mi vida. Su legado de esfuerzo, ética y amor por la ingeniería sigue inspirando cada decisión que tomo. Este trabajo honra su memoria y su ejemplo.

A mi madre, María de Rosario M. I., por su ternura firme, su fe inquebrantable y su apoyo constante. Su presencia ha sido el equilibrio entre fortaleza y sensibilidad, y su confianza en mí ha sido esencial para llegar hasta aquí.

A mi hijo, por recordarme cada día el valor de construir con propósito y mirar el futuro con esperanza. Su existencia da sentido profundo a cada esfuerzo.

A mi esposo, por caminar a mi lado con paciencia, respeto y compromiso. Su apoyo discreto pero firme ha sido un pilar en este proceso.

A todos ellos, gracias por sostenerme, impulsarme y creer en mí. Este trabajo es también suyo.

Contenido

	Página
Declaración de originalidad y derechos de autor	III
Dedicatoria.....	V
Agradecimientos.....	VII
Contenido.....	IX
Lista de figuras.....	XIV
Lista de tablas.....	XIX
Resumen.....	XXIII
Abstract.....	XXIV
1. Introducción	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Problema de investigación	3
1.3. Justificación	4
1.4. Pregunta de investigación	5
1.5. Objetivos	6
1.5.1. Objetivo general.....	6
1.5.2. Objetivos específicos	6
1.6. Hipótesis de la investigación	6
1.7. Contribución al estado del conocimiento.....	7
2. Marco teórico.....	9
2.1. Patologías Estructurales por Asentamientos Diferenciales	9
2.1.1. Definición de asentamiento	9
2.1.1.1 Factores de los asentamientos	10
2.2. Asentamientos Diferenciales.....	12

2.3. Causas de Asentamientos Diferenciales.....	13
2.4. Propiedades Geotécnicas Relevantes.....	14
2.4.1. Densidades Unitarias	14
2.4.1.1. La densidad unitaria o peso unitario (γ)	14
2.4.1.2. Peso Unitario Seco (γ_d)	15
2.4.1.3. Peso Unitario Saturado (γ_{sat})	16
2.4.1.4. Importancia geotécnica	16
2.4.2. Contenido de agua (ω) y porosidad (n)	17
2.4.2.1. Contenido de agua o humedad gravimétrica (ω).....	17
2.4.2.2. Porosidad (n).....	18
2.4.2.3. Relación entre contenido de agua y porosidad	19
2.4.3. Límites de Atterberg (LL, LP)	20
2.4.3.1. Límite líquido (LL).....	20
2.4.3.2. Límite Plástico (PL).....	21
2.4.3.3. Índice de plasticidad (IP)	21
2.4.4. Propiedades mecánicas	22
2.4.4.1. Cohesión (c).....	26
2.4.4.2. Ángulo de Fricción Interna (ϕ)	27
2.4.5. Módulos elásticos y relación esfuerzo – deformación	28
2.4.5.1. Módulo de elasticidad (E).....	29
2.4.5.2. Módulo secante (E_s).....	30
2.4.5.3. Módulo de corte (G).....	30
2.4.6. Permeabilidad (k):	32
2.4.6.1. Coeficiente de Permeabilidad (k).....	33
2.4.6.2. Coeficiente de Permeabilidad en función del Caudal (Q)	33
2.4.7. Coeficientes de consolidación cv y compresibilidad (mv, Cc, Cs)	34
2.4.7.1. Coeficientes de consolidación cv	35
2.4.7.1.1. Interpretación del coeficiente de consolidación (cv)	36
2.4.7.2. Coeficiente de Compresibilidad Volumétrica (mv)	39
2.5. Patologías Estructurales Asociadas.....	42
2.5.1. Criterios de Asentamiento Tolerable	43

2.5.1.1. Asentamiento Total Máximo (δ_{max} ó <i>Stotal max</i>).....	43
2.5.1.1.1. Método clásico de consolidación unidimensional (Terzaghi)	44
2.5.1.2. Asentamiento Diferencial Máximo (Δ máx)	46
2.5.1.3. Distorsión Angular (β):	46
2.5.2. Manifestaciones Típicas de Fallas por Asentamiento	48
2.5.2.1. Fisuras y Grietas	48
2.5.3.1. Evaluación del sistema porticado como unidad estructural	53
2.5.3.1.2. Grietas inclinadas.....	55
2.5.3.1.3. Grietas en elementos con vacíos.....	57
2.5.3.1.4. Grietas en muros con asentamientos diferenciales	58
2.5.3.1.6. Grietas por suelos expansivos en estructuras livianas	59
3. Marco metodológico.....	61
3.1. Ubicación del caso del estudio.....	61
3.2. Metodología Aplicada.....	63
3.2.1. Inspección Visual de la Estructura	63
3.2.1.1. Clasificación de grietas	63
3.2.1.1.1. Nomenclatura	64
3.2.1.1.2. Otros tipos de clasificaciones.....	66
3.2.1.2.1 Tendencia de la discontinuidad.....	66
3.2.1.2.2. Probabilidad de aparición	66
3.2.1.2.3. Probabilidad de aparición	67
3.3. Ensayos Geotécnicos	81
3.3.1. Ensayo de Penetración Estándar (SPT) Según (AASHTO T 2006 – ASTM D 1586)	81
3.3.1.1. Características del Equipo.....	85
3.3.1.2. Procedimiento en Campo.....	85
3.3.1.3. Correcciones del Valor NSPT.....	87
3.3.1.3.1. Corrección por eficiencia de energía: N_{60}	87
3.3.1.3. Determinación de la Humedad Higroscópica.....	89
3.3.1.3.1. Procedimiento.....	89
3.3.1.3.2. Cálculo Esencial	90

3.3.1.4. Determinación de límites de consistencia (Atterberg)	93
3.3.1.4.1. Límite Líquido (LL).....	94
3.3.1.4.2. Límite Líquido (LP).....	94
3.3.1.4.3. Índice de Plasticidad (IP)	95
3.3.2. Ensayo Geofísico	102
3.3.2.1. Características del equipo utilizado:	103
3.3.2.2. Procedimiento:	104
3.3.2.3. Fundamento y ecuaciones.....	106
3.3.2.3.1. Ondas sísmicas — velocidad y tiempos	106
3.3.2.3.2. Velocidad electromagnética GPR	107
3.3.2.3.3. Adquisición de datos	107
4. Análisis y discusión de resultados	121
4.1. Parámetros iniciales de los materiales obtenidos de los documentos anteriores (Proceso constructivo).....	121
4.1.1. Estudio de Suelos inicial	122
4.2. Modelación Numérica para verificación de Esfuerzos y Asentamientos	124
4.2.1. Parámetros de compresibilidad del suelo (Spring)	125
4.3. Modelación bidimensional de zapatas.....	132
4.3.1. Modelación geotécnica para una zapata.	¡Error! Marcador no definido.
4.3.2. Modelación numérica geotécnica para dos zapatas	134
5. Conclusiones y recomendaciones	141
5.1 Conclusiones	141
Recomendaciones	143
Referencias bibliográficas	144
A. PLANILLA DE INSPECCION VISUAL EN OBRA.....	151
B. ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS SPT	208
C. ENSAYO GEOFÍSICO	223
D. PLANOS	233

Lista de figuras

	Página
Figura 2.1. Asentamiento total (δ) en una fundación superficial aislada..	9
Figura 2.2. Método gráfico de Casagrande (Método del Logaritmo del Tiempo) para determinar el coeficiente de consolidación (c_v). (Lambe y Whitman).	31
Figura 2.3. Curva Deformación versus Logaritmo Tiempo Determinación Gráfica según Casagrande de t_{50}	32
Figura 2.4. Curva Deformación Versus Raíz de Tiempo Determinación Gráfica según Taylor de t_{90}	33
Figura 2.5. Curva de Compresibilidad utilizada para calcular el Índice de Compresión C_c (Lambe y Whitman).	36
Figura 2.6. Pendientes de compresibilidad y recompresión en la relación $e - \log \sigma'$ (Lambe y Whitman).	37
Figura 2.7. Asentamiento total y diferencial. (a) para Losa de Fundación, (b) Para Fundaciones Aisladas, zapatas continuas y cuadradas. (Skempton y MacDonald (1956) y Grant et al. (1972)).	40
Figura 2.8. Fisuraciones por asentamientos relativos en los apoyos. (fuente: de Guía de patologías constructivas, estructurales y no estructurales).	47
Figura 2.9. Distribución de esfuerzos por asentamiento de columna 3-4. Fuente: (F. López et al., 2004).	48
Figura 2.10. Esfuerzos adicionales por asentamientos de cimentaciones. (F. López et al., 2004).	49
Figura 2.11. Deformación de los marcos. Fuente: (F. López et al., 2004)..	49

Figura 2.12. Fenómeno de agrietamientos por asentamientos en esquinas. Fuente:(López et al., 2004).	50
Figura 2.13. Asentamiento en esquina debido a una carga puntual. (López et al., 2004).	50
Figura 2.14. Esfuerzos en grietas inclinadas (López et al., 2004).	51
Figura 2.15. Grietas inclinadas por diferentes casos de asentamientos. (López et al.,2004).	51
Figura 2.16. Curva de Compresibilidad utilizada para calcular el Índice de Compresión Cc (Lambe y Whitman).	52
Figura 2.17. Agrietamientos por cedencia de dos elementos centrales contiguos. (López et al., 2004).	52
Figura 2.18. Distorsión por huecos en pórticos. (Fathy et al., 2024).	53
Figura 2.19. Grietas en mampostería. (López et al., 2004).	53
Figura 2.20. Esquema de agrietamientos por asentamiento en esquinas y en zona central de edificio (López et al., 2004).	54
Figura 2.21. Esquema de agrietamientos por giros. (F. López et al., 2004).	54
Figura 2.22. Daños por suelos expansivos. (F. López et al., 2004).	55
Figura 2.23. Daños por empujes horizontales de suelos expansivos. Fuente: (F. López et al., 2004).	55
Figura 3.1. Distribución territorial del área en Sucre (All Rights Reserved).	57
Figura 2.18. Distorsión por huecos en pórticos. (Fathy et al., 2024).	53
Figura 2.19. Grietas en mampostería. (López et al., 2004).	53
Figura 2.20. Esquema de agrietamientos por asentamiento en esquinas y en zona central de edificio (López et al., 2004).	54
Figura 2.21. Esquema de agrietamientos por giros. (F. López et al., 2004).	54
Figura 2.22. Daños por suelos expansivos. (F. López et al., 2004).	55
Figura 2.23. Daños por empujes horizontales de suelos expansivos. Fuente: (F. López et al., 2004).	55
Figura 3.1. Distribución territorial del área en Sucre (All Rights Reserved).	57
Figura 3.2. Centro de Investigación e Innovación Agrotecnológica “La Barranca”.	58
Figura 2.19. Grietas en mampostería. (López et al., 2004).	53

Figura 2.20. Esquema de agrietamientos por asentamiento en esquinas y en zona central de edificio (López et al., 2004).	54
Figura 2.21. Esquema de agrietamientos por giros. (F. López et al., 2004).	54
Figura 2.22. Daños por suelos expansivos. (F. López et al., 2004).	55
Figura 2.23. Daños por empujes horizontales de suelos expansivos. Fuente: (F. López et al., 2004).	55
Figura 3.1. Distribución territorial del área en Sucre (All Rights Reserved).	57
Figura 3.2. Centro de Investigación e Innovación Agrotecnológica “La Barranca”	58
Figura 3.3. Muro externo Planta Baja Eje: D3-D4.	64
Figura 3.4. Muro externo nivel 1: Eje: D2-D3.	64
Figura 3.5. Muro externo PB: Eje: D2-D3.	65
Figura 3.6. Muro externo PB: Eje: D2-D3.	65
Figura 3.7. Muro externo (N1) y Muro externo (PB) Eje E1-E2	66
Figura 3.8. Muro interno (N1) y Muro interno (N1) Eje E1-E2	67
Figura 3.9. Piso interno (N2) Eje D3-D2	68
Figura 3.10. Piso interno - columna (N2) Eje D3-D2	68
Figura 3.11. Piso interno - columna (N2) Eje E'5	68
Figura 3.12. Muro Externo (PB) E1-D1 12.28.	69
Figura 3.13. Muro Externo (PB) - (N2) Eje E1	69
Figura 3.14. Ubicación del caso de estudio	71
Figura 3.15. Talud de transición con muro de contención y estancamiento hídrico en superficie.	71
Figura 3.16. Mapa de ubicación de los sondeos del ensayo SPT realizados.	73
Figura 3.17. Ensayo de Penetración Estándar (SPT)	73
Figura 3.18. Extracción de muestras	73
Figura 3.19. Ensayo de Limite Liquido.	82
Figura 3.20. Ensayo de Limite Plástico	82
Figura 3.21. Ensayo SPT – Sondeo 1	84
Figura 3.22. Ensayo SPT – Sondeo 2	85
Figura 3.23. Ubicación del Ensayo Geofísico.	91
Figura 3.24. Ensayo de Limite Plástico	82

Figura 3.25. a) sección transversal de corte del eje D. b) sección transversal de corte del eje 1.....	100
Figura 3.26. Resultado final del análisis MASW: En un corte transversal 2D de velocidades de onda de corte (Vs) versus profundidad a los 10 m.	101
Figura 3.27. Resultado final del análisis MASW: En un corte transversal 2D de velocidades de onda de corte (Vs) versus profundidad a los 34 m.	105
Figura 4.1. Georeferenciación del Emplazamiento del Edificio de la Barranca y la ubicación del bloque N°4 – Caso de Estudio. (Google Earth 2024)..	108
Figura 4.2 Captura obtenida del estudio de suelos inicial, en el cual se muestra los datos de capacidad portante para el diseño de las zapatas. (Documentos proporcionados del Proyecto Inicial)..	109
Figura 4.3. Sección Transversal del análisis Estructural y de fundaciones, con sus respectivas cotas y dimensiones. (Elaboración propia)..	110
Figura 4.4. a)Esfuerzos Máximos de flexión M33, b) Cortantes máximas V22 (Elaboración propia).	113
Figura 4.5. a)Modelo MT2 con su deformación final para las cargas aplicadas y parámetros del suelo, b) Geometría y dimensiones del eje crítico para el análisis de asentamientos (Elaboración propia).	114
Figura 4.6 . a)Esfuerzos Máximos de flexión M33, b) Cortantes máximas V22 (Elaboración propia).....	115
Figura 4.7. a)Modelo MT3 con su deformación final para las cargas aplicadas y parámetros del suelo, b) Geometría y dimensiones del eje crítico para el análisis de asentamientos (Elaboración propia).	116
Figura 4.8 Verificación de Distorsiones angulares en la estructura, del Eje transversal. (Elaboración propia).....	116
Figura 4.8. a)Deformación con fisuras entre el sobrecimiento encima de la viga de arriostre +0.00 Eje 1, b) Fisuras transversales debido a los asentamientos diferenciales con fisuras en las vigas de los otros niveles (Elaboración propia).....	115
Figura 4.9. Modelo constitutivo elástico lineal Mohr-Coulomb (Al-Taie, Al-Ansari & Knutsson, 2016.).....	118

Figura 4.10. Generación del Mallado más densificado en la parte central y donde se tienen el contacto entre elementos. (Elaboración propia).	119
Figura 4.11. Deformación Direccional debido a la carga que provoca la deformación mayor en la fundación. (Elaboración propia).	120
Figura 4.13. Proceso final del esfuerzo de Von Mises para arcillas plásticas (Elaboración propia).....	121
Figura 4.14. Identificación y sobreposición de los niveles de fundación en base a los ensayos geofísicos para la modelación numérica (Elaboración propia).....	118
Figura 4.15. Deformación para verificación de asentamientos en modelo numérico 2D (Elaboración propia)...	123
Figura 4.16. Deformación para verificación de asentamientos en modelo numérico 2D (Elaboración propia).....	124
Figura 4.17. Daños localizados por asentamientos según el Anexo A, de la columna E-1 (Elaboración propia).....	126

Lista de tablas

	Página
Tabla 2.1. Valores Típicos de Resistencia al Corte Efectiva (c y ϕ) según el Tipo y Estado del Suelo.	24
Tabla 2.2. Rangos típicos de módulos elásticos según tipo de suelo.	212
Tabla 2.3. Clasificación típica del coeficiente de permeabilidad en suelos.	30
Tabla 2.4. Parámetros típicos (Adaptado de FAO).	38
Tabla 2.5. Tipos de Asentamiento y su Impacto.	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 2.6. Valores admisibles de asentamiento total según tipo de diferentes fuentes	41
Tabla 2.7. Límites de Distorsión Angular.....	43
Tabla 2.8. Criterios de Asentamiento Diferencial Admisible.....	43
Tabla 2.9. T Clasificación de fisuras y grado de repercusión en la estructura.....	45
Tabla 2.10. Clasificación de grietas y grado de repercusión en la estructura	46
Tabla 3.1. Clasificación de discontinuidades según su separación..	60
Tabla 3.2. Clasificación de discontinuidades según su textura	60
Tabla 3.3. Dirección de propagación en muros.	61
Tabla 3.4. Dirección de propagación en Pisos.	61
Tabla 3.5. Tendencia de la discontinuidad..	62
Tabla 3.6 Probabilidad de aparición.	62
Tabla 3.7. Grado de discontinuidad.....	63
Tabla 3.9. Muestra 1: Profundidad: 0.45 - 0.90 (m).....	72
Tabla 3.10. Muestra 2: Profundidad: 1.65 - 2.10 (m).....	79
Tabla 3.11. Muestra 3: Profundidad: 2.55 - 3.00 (m).....	79

Tabla 3.12. Muestra 4: Profundidad: 3.45 - 3.90 (m).....	79
Tabla 3.13. Muestra 5: Profundidad: 4.65 - 5.10 (m).....	80
Tabla 3.14. Muestra 1: Profundidad: 0.45 - 0.90 (m).....	80
Tabla 3.15. Muestra 2: Profundidad: 1.65 – 2.10 (m).....	80
Tabla 3.16. Muestra 3: Profundidad: 2.55 – 3.00 (m).	81
Tabla 3.17. Muestra 4: Profundidad 3.45 - 3.90 (m).....	81
Tabla 3.18. Muestra 5: Profundidad 4.65 – 5.10 (m).	81
Tabla 3.19. Muestra 6: Profundidad 5.55 – 6.00 (m)	81
Tabla 3.20. Coordenadas del sondeo 2	87
Tabla 3.21. Granulometría y Límites de Atterberg.....	87
Tabla 3.22. Ensayo de Penetración Estándar. 1.....	88
Tabla 3.23. Ensayo de Penetración Estándar 2	88
Tabla 3.24. Datos geográficos de los sondeos.....	89
Tabla 3.25. Equipo de Refracción Sísmica	92
Tabla 3.26. Ensayo Geofísico.....	93
Tabla 3.27. registro visual de las ondas sísmicas tal como fueron captadas por los geófonos en "La Barranca".	97
Tabla 3.28. Espectro de energía que indica cómo la velocidad de las ondas cambia con la frecuencia y por ende con la profundidad..	98
Tabla 3.29. Estimación de rigidez del terreno según el resultado MASW	102
Tabla 3.30. Clasificación del suelo según la velocidad de onda - CNBDS.	103
Tabla 3.31. Estimación de rigidez del terreno según el resultado CNBDS.	104
Tabla 4.1. Documentos para la evaluación geotécnica estructural.....	107
Tabla 4.2. Parámetros de los estudios de suelos para la Modelación numérica.....	113
Tabla 4.3. Documentos para la evaluación geotécnica estructural.....	107
Tabla 3.31. Estimación de rigidez del terreno según el resultado CNBDS.	104
Tabla 4.1. Documentos para la evaluación geotécnica estructural.....	107
Tabla 4.2. Parámetros de la zapata y el suelo para la modelación numérica.	118
Tabla 4.1. Documentos para la evaluación geotécnica estructural.....	107

Resumen

El propósito de esta investigación fue analizar los asentamientos diferenciales que afectan al edificio “La Barranca” en la ciudad de Sucre, relacionando las patologías estructurales observadas con las condiciones geotécnicas del terreno mediante técnicas de modelación numérica, con el fin de proponer soluciones técnicas para su rehabilitación.

Las actividades desarrolladas incluyeron inspección visual de la estructura, clasificación de grietas, ensayos geotécnicos (SPT, humedad, límites de Atterberg), estudios geofísicos (ondas sísmicas, GPR), y modelación numérica bidimensional con software ANSYS especializado para simular esfuerzos y asentamientos. Se analizó la interacción suelo-estructura y se evaluaron medidas correctivas.

Los resultados obtenidos confirmaron la presencia de suelos heterogéneos con capas sedimentarias irregulares y depósitos aluviales, lo que genera asentamientos diferenciales significativos que comprometen la estabilidad del edificio. La modelación numérica permitió reproducir los patrones de daño observados y validar las hipótesis planteadas.

Entre los principales hallazgos se destaca que la variabilidad lateral del subsuelo en Sucre representa un factor crítico para la estabilidad estructural. La ausencia de estudios geotécnicos detallados en etapas de diseño incrementa el riesgo de fallas. La modelación numérica se consolida como una herramienta eficaz para predecir y mitigar asentamientos en suelos problemáticos, y se proponen medidas correctivas específicas para mejorar la seguridad y funcionalidad de la edificación.

Palabras clave: Diagnostico Geotécnico; Modelación Numérica; Patología; Asentamientos.

Abstract

The purpose of this research was to analyze the differential settlements affecting the “La Barranca” building in Sucre, Bolivia, by correlating observed structural pathologies with the geotechnical conditions of the site through numerical modeling, and to propose technical solutions for its rehabilitation.

The investigative activities included visual inspection of the structure, crack classification, geotechnical testing (SPT, moisture content, Atterberg limits), geophysical studies (seismic waves, GPR), and two-dimensional numerical modeling using specialized software ANSYS to simulate stresses and settlements. Soil–structure interaction was analyzed, and corrective measures were evaluated.

The results confirmed the presence of heterogeneous soils with irregular sedimentary layers and nearby alluvial deposits, which generate significant differential settlements compromising the building’s stability. Numerical modeling successfully reproduced the observed damage patterns and validated the research hypotheses.

Key findings highlight that lateral variability of subsurface materials in Sucre is a critical factor for structural stability. The lack of detailed geotechnical studies during design stages increases the risk of failure. Numerical modeling proves to be an effective tool to predict and mitigate settlements in problematic soils, and specific corrective measures are proposed to improve the safety and functionality of the building.

Keywords: Geotechnical Diagnosis; Numerical Modeling; Pathology; Settlements.

1. Introducción

Este trabajo aborda un tema fundamental en la ingeniería civil, la evaluación geotécnica y la modelación numérica de los asentamientos diferenciales que afectan al edificio "La Barranca" en la ciudad de Sucre. La estabilidad de cualquier construcción depende, en gran medida, de las propiedades del suelo donde se apoya (Terzaghi, Peck y Mesri, 1996). La relación entre el terreno y la cimentación es crucial, ya que un comportamiento desigual del suelo puede ocasionar movimientos que ponen en riesgo la integridad estructural del edificio.

La geotecnia se enfoca en estudiar las características mecánicas del suelo y cómo estas reaccionan frente a las cargas que recibe la estructura, siendo la base para diseñar cimentaciones seguras (Das, 2010), que se manifiestan en daños visibles como fisuras, grietas en las paredes, fallas en elementos de soporte y deformaciones en la construcción. Estas señales no solo afectan la apariencia del edificio, sino que también representan un peligro para su estabilidad con el tiempo. En el caso particular de "La Barranca", se han detectado diversas patologías que indican la presencia de estos asentamientos, lo que hace imprescindible un análisis detallado para identificar sus causas.

Para enfrentar este reto, la modelación numérica se presenta como una herramienta útil y efectiva. Gracias a las simulaciones computacionales es posible reproducir cómo se comporta el suelo ante las cargas estructurales, lo que permite anticipar y analizar los patrones de asentamiento y las tensiones que se generan. Este método ayuda a entender mejor cómo las propiedades del terreno y las cargas aplicadas contribuyen a los daños observados (Bowles, 1996; García, 2018). El propósito principal de este estudio es llevar a cabo un diagnóstico integral de la situación geotécnica del edificio, validar las hipótesis por medio de la modelación numérica y proponer medidas que permitan rehabilitar la estructura y asegurar su estabilidad en el futuro.

1.1. Antecedentes

Los daños estructurales en edificios (grietas, fisuras, desplomes) a menudo están ligados a cómo interactúan la estructura y el suelo de cimentación. Los asentamientos diferenciales

son uno de las fallas más comunes. Estos ocurren casi siempre por la variedad del subsuelo o porque la caracterización geotécnica inicial, hecha durante el diseño, fue deficiente.

Para entender los asentamientos diferenciales, se necesita conocer bien el suelo, su composición, origen y cuán consolidado está, ya que todo eso afecta cómo responde a las cargas del edificio.

En Bolivia, la geotecnia lidia con una gran diversidad de suelos. En el Altiplano, dominan los suelos delgados, pedregosos y que soportan poco peso. En cambio, en los valles interandinos, encontramos arcillas y franco-arcillosos, más plásticos y propensos a hundirse. Por otro lado, en las llanuras orientales y amazónicas, son típicos los depósitos aluviales y coluviales recientes, que mezclan arena, limo y grava. Esta variedad significa que no podemos aplicar métodos generales. Cada territorio necesita evaluaciones geotécnicas muy específicas porque los enfoques estándar a menudo no captan la variabilidad local (Quispe, J., & Mamani, L 2021).

En Chuquisaca, donde se ubica Sucre, la variedad de suelos es aún más notable. Se han identificado casi 30 tipos, formados por depósitos cuaternarios (aluviales, coluviales, etc.) y materiales sedimentarios más duros. La mezcla de areniscas rojizas, limolitas, lutitas y conglomerados (suelos sedimentarios) crean suelos residuales, es decir, que los suelos sedimentarios han pasado un proceso de meteorización. Estos suelos residuales con propiedades mecánicas inconsistentes, incluyendo a veces capas de arcillas rojas muy plásticas. Esta heterogeneidad lateral influye en la estabilidad de las cimentaciones. De hecho, es un factor de riesgo para construcciones en zonas de transición entre suelos firmes y materiales sueltos recientes (Studocu, 2022).

Específicamente en la ciudad de Sucre, el edificio en cuestión se asienta sobre formaciones sedimentarias de areniscas, limolitas y lutitas. Estas capas superficiales tienen espesores muy irregulares, a veces tan delgados que las construcciones interactúan directamente con la roca base. A esto hay que añadir la presencia de depósitos aluviales cerca, que rompen la continuidad geotécnica y facilitan los asentamientos diferenciales. Incluso la geología estructural de la zona (pliegues y fallas) afecta la distribución del suelo. Este panorama obliga a hacer estudios de mecánica de suelos y modelación numérica detallados en edificios importantes. El caso de "La Barranca" es un ejemplo claro; los daños observados

sugieren un vínculo directo con la naturaleza inconsistente de su subsuelo (Geotecnia Fácil, 2023)

Estos antecedentes confirman una cosa que no se puede generalizar el comportamiento del terreno en Bolivia, y menos en Chuquisaca y Sucre. Cada proyecto necesita una caracterización del subsuelo muy precisa y una modelación bien ajustada para estimar el riesgo de asentamientos. El estudio de “La Barranca” se inserta en esta problemática, buscando explicar las fallas a partir de las condiciones geotécnicas locales y, a partir de ahí, proponer soluciones técnicas sólidas.

1.2. Problema de investigación

Los asentamientos diferenciales constituyen un fenómeno crítico en la ingeniería geotécnica, ya que generan daños acumulativos en edificaciones y pueden comprometer la estabilidad estructural y la seguridad de los usuarios. Entre las manifestaciones más comunes se encuentran grietas en muros, inclinaciones en elementos verticales, deformaciones en losas y, en casos extremos, colapso parcial de la edificación (Jiménez & López, 2018). Estos problemas se deben a la heterogeneidad de los suelos, a las variaciones en la capacidad de carga y, principalmente, a la falta de estudios geotécnicos adecuados en las etapas iniciales de los proyectos (Soto & Arcos, 2020)

A nivel internacional, se han demostrado que los asentamientos diferenciales son uno de los problemas más frecuentes en suelos arcillosos y limosos de baja resistencia. Por ejemplo, en México, Álvarez y García (2017) identificaron que edificaciones en zonas urbanas con suelos lacustres presentaban fallas tempranas debido a la consolidación lenta de arcillas blandas. En España, Fernández y Martínez (2019) señalaron que los cambios de humedad en suelos expansivos provocan levantamientos y descensos diferenciales que deterioran viviendas e infraestructuras viales. En Chile, estudios realizados por Herrera y Campos (2021) concluyeron que la ausencia de modelación numérica en la etapa de diseño incrementa la vulnerabilidad de las estructuras frente a asentamientos, especialmente en suelos colapsables.

En Bolivia, la problemática se repite en gran parte de las ciudades intermedias, donde los proyectos constructivos suelen ejecutarse sin estudios geotécnicos exhaustivos. Esta

deficiencia ha conducido a fallas estructurales prematuras, incrementando los costos de mantenimiento y rehabilitación (Quispe & Mamani, 2021). En el caso particular del departamento de Chuquisaca, la presencia de arcillas de alta plasticidad y limos poco densificados constituye un factor de riesgo que, sumado a la variabilidad estacional de la humedad, favorece la aparición de asentamientos diferenciales (Gutiérrez, 2022).

La edificación conocida como La Barranca, ubicada en la ciudad de Sucre, presenta manifestaciones de patologías estructurales atribuibles a este tipo de asentamientos, evidenciadas en fisuras en muros, desniveles en pisos y deformaciones que afectan su estabilidad y seguridad. Sin embargo, hasta la fecha no se cuenta con un estudio integral que relacione las condiciones geotécnicas del suelo con el comportamiento estructural del edificio, mediante el uso de herramientas de modelación numérica que permitan simular y predecir su respuesta.

El problema central de esta investigación radica en la ausencia de estudios que integren la caracterización geotécnica de los suelos de Sucre con la modelación numérica de la edificación La Barranca. Esta falta de información impide comprender con precisión las causas de los asentamientos diferenciales y limita la propuesta de soluciones técnicas efectivas para su mitigación y prevención. este contexto.

1.3. Justificación

Esta investigación es sumamente importante porque busca ofrecer respuestas técnicas y científicas a un problema que afecta a Sucre con frecuencia en los asentamientos diferenciales en edificios. Estos movimientos causan daños estructurales que ponen en peligro la seguridad y la funcionalidad de las construcciones. La evaluación geotécnica y la modelación numérica son instrumentos esenciales para entender cómo interactúan el suelo y la estructura y para predecir el comportamiento de los edificios bajo distintas cargas.

Desde el punto de vista social, este estudio protegerá la seguridad de los residentes, disminuirá el riesgo de colapso y resguardará la inversión en infraestructura urbana. Tal como indican Rodríguez y Pérez (2020), detectar a tiempo los daños estructurales causados por asentamientos es vital para prevenir pérdidas humanas y materiales. En México, por

ejemplo, la falta de estudios geotécnicos detallados en zonas de suelos blandos llevó a fallas graves en viviendas y edificios públicos (Álvarez & García, 2017).

En el ámbito académico, la modelación numérica ya es una herramienta indispensable para analizar las interacciones complejas entre el suelo y la estructura. En Chile, Herrera y Campos (2021) demostraron que la simulación numérica permite estimar mejor los asentamientos en suelos colapsables, lo que resulta en intervenciones de diseño más eficaces. De igual forma, en España, Fernández y Martínez (2019) confirmaron que aplicar la modelación computacional a suelos expansivos mejora la predicción de deformaciones en estructuras urbanas, bajando la incertidumbre en el diseño.

Esta investigación también aporta al campo metodológico Boliviano, al integrar la caracterización geotécnica local con técnicas avanzadas de simulación. Quispe y Mamani (2021) enfatizan la necesidad urgente de incorporar estudios de suelos y modelación numérica en proyectos de desarrollo urbano para evitar fallas prematuras.

Por lo tanto, la justificación de este estudio se basa en tres ejes principales:

2. La conveniencia Práctica y Social que aporta soluciones directas para garantizar la seguridad estructural de "La Barranca" y sirve de modelo para otras construcciones similares en Sucre.
3. La relevancia Académica y Científica que contribuye al conocimiento de asentamientos diferenciales en suelos arcillosos bolivianos, intercambiando ideas directamente con literatura técnica internacional.
4. La utilidad Metodológica que aplica y valida las técnicas de modelación numérica avanzada que otros proyectos de ingeniería y futuras investigaciones en el país podrán replicarse.

1.4 Pregunta de investigación

La investigación se orienta, por tanto, a responder la siguiente inquietud:

¿Cómo influyen las características geotécnicas del suelo en los asentamientos diferenciales y en la aparición de patologías estructurales en la edificación La Barranca de la ciudad de Sucre, y de qué manera la modelación numérica puede predecir y mitigar estos efectos?

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Analizar la influencia de las condiciones geotécnicas del suelo en los asentamientos diferenciales y su relación con las patologías estructurales de la edificación La Barranca, en la ciudad de Sucre, con el propósito de proponer soluciones técnicas orientadas a su mitigación.

1.5.2 Objetivos específicos

- Caracterizar las propiedades geotécnicas del terreno mediante ensayos in situ y de laboratorio.
- Identificar las patologías estructurales presentes en la edificación y establecer su posible relación con los asentamientos diferenciales del terreno.
- Desarrollar un modelo numérico que simule los asentamientos diferenciales observados.
- Analizar la interacción suelo-estructura y proponer medidas correctivas basadas en los resultados del modelo.

1.6 Hipótesis de la investigación

Se realiza una caracterización geotécnica detallada de los suelos en el emplazamiento de la edificación La Barranca y se aplican modelos numéricos de interacción de suelo con la estructura, para identificar con precisión las causas de los asentamientos diferenciales y proponer soluciones técnicas que reduzcan las patologías estructurales presentes en la construcción

1.7 Contribución al estado del conocimiento

Esta investigación busca ampliar el conocimiento científico y técnico dentro de la ingeniería civil, con foco en la geotecnia y la interacción del suelo con la estructura. Al evaluar las propiedades geotécnicas de los suelos de Sucre y aplicar la modelación numérica al caso de "La Barranca," podremos generar un diagnóstico integral sobre los asentamientos diferenciales. Este es un tema poco estudiado en el contexto boliviano.

A nivel global, diversos estudios ya han demostrado que la caracterización precisa del suelo y la simulación computacional son cruciales para predecir asentamientos. En México, por ejemplo, Álvarez y García (2017) señalaron la eficiencia de los modelos numéricos para analizar suelos lacustres, lo que les permitió anticipar deformaciones que fácilmente habrían sido ignoradas durante la fase de diseño. De manera similar, en España, Fernández y Martínez (2019) confirmaron que modelar suelos expansivos aumenta la precisión al estimar movimientos diferenciales, minimizando así el riesgo de patologías en las viviendas. Más aún, en Chile, Herrera y Campos (2021) probaron que la simulación numérica en suelos colapsables ofrece soluciones técnicas efectivas para reforzar estructuras ya afectadas.

En Bolivia, sin embargo, la literatura técnica sobre cómo usar la modelación numérica para evaluar fallas estructurales sigue siendo escasa. Gran parte de las investigaciones se limitan a caracterizar los suelos sin vincular esa información directamente con la respuesta de la estructura (Quispe & Mamani, 2021; Gutiérrez, 2022).

En este sentido, la propuesta de investigación aportará significativamente al estado del conocimiento al integrar de forma sistemática la caracterización geotécnica de suelos locales con la modelación numérica aplicada a una edificación real, generando evidencia empírica y datos concretos sobre los asentamientos diferenciales en un caso representativo de la ciudad de Sucre que también es ofrecer un marco metodológico replicable para futuros estudios de ingeniería y proyectos constructivos situados en zonas con suelos problemáticos similares en Bolivia y Latinoamérica.

Así, el estudio no solo profundiza la comprensión de la interacción del suelo con respecto a la estructura en un contexto local, sino que también expande la base científica internacional al proveer datos y metodologías útiles para regiones con condiciones geotécnicas con similitud.

2. Marco teórico

2.1. Patologías Estructurales por Asentamientos Diferenciales

El diseño y la construcción de edificaciones se sustentan en el principio de que la cimentación proporcionará un apoyo estable. Sin embargo, cuando el terreno bajo la estructura se deforma de manera no uniforme, surge una de las patologías más críticas en ingeniería civil que es el asentamiento diferencial. Este fenómeno introduce tensiones y deformaciones que no fueron consideradas en el diseño original, comprometiendo la integridad y la funcionalidad de la estructura (Tomlinson, M. J.)

2.1.1. Definición de asentamiento

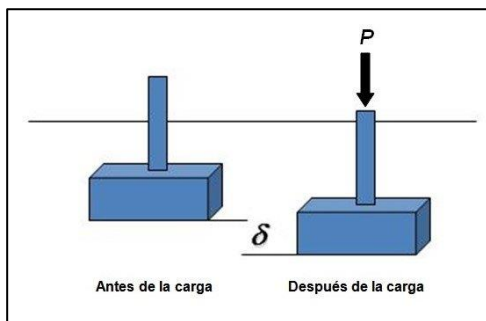


Figura 2.1. Asentamiento total (δ) en una fundación superficial aislada.

Las cimentaciones transmiten cargas al terreno y como consecuencia, el suelo responde con deformaciones verticales. Este fenómeno de deformación es conocido como compresibilidad del suelo, existiendo una clara conexión entre el nivel de presión aplicada denominada esfuerzo y la magnitud de la disminución de volumen que es la deformación en el terreno. Siendo más notorios en suelos finos (Das, 2012).

Las manifestaciones patológicas en edificaciones asociadas al desplazamiento del terreno suelen originarse en una caracterización insuficiente del comportamiento del suelo, producto de estudios geotécnicos mal planteados o incompletos. Anticipar a los asentamientos que podrían presentarse en el futuro resulta complicado si no se comprende adecuadamente la mecánica del suelo, ya que estos fenómenos pueden desarrollarse incluso sin que la carga estructural sea el factor principal. La estimación de estos asentamientos requiere una combinación de experiencia profesional, criterio técnico, reglas empíricas, conocimiento general, antecedentes locales y resultados específicos de investigaciones en el área de estudio (Delgado, 1996).

Al ser determinada la capacidad portante del terreno, es imprescindible realizar un estudio detallado de los asentamientos esperados, comparándolos con los límites admisibles para la estructura. La severidad de los daños dependerá, en gran medida, del tipo de construcción. Por ejemplo, es ampliamente reconocido que las edificaciones de mampostería presentan mayor vulnerabilidad frente a los asentamientos, debido a su naturaleza frágil. A diferencia, las estructuras de concreto armado muestran una resistencia intermedia, mientras que las metálicas tienden a ser más tolerantes ante deformaciones del terreno (Day, 2011).

El análisis técnico de los asentamientos busca determinar tanto su magnitud total como la diferencia entre puntos de la estructura, así como el momento en que estos se producirán. Esta información es clave para diseñar soluciones preventivas y correctivas que garanticen la estabilidad y funcionalidad de la obra a largo plazo.

En síntesis, el estudio de asentamientos implica determinar no solo la magnitud total de la deformación y el asentamiento diferencial, sino también el intervalo de tiempo en el que se espera que ocurran estos movimientos.

2.1.1.1 Factores de los asentamientos

El asentamiento del suelo depende de los siguientes factores:

- **El asentamiento inmediato o distorsional (Si)**

Es el asentamiento que se presenta justo después de aplicar una carga sobre el suelo, sin que intervenga el drenaje de agua, esto se debe a la deformación elástica del suelo y es más común en suelos granulares como arenas y gravas. Este tipo de asentamiento es rápido y puede influir en la estabilidad de las estructuras desde el inicio de su construcción (Coduto, 2001; Das, 2010).

➤ **El asentamiento por consolidación primaria (Sc)**

Es el hundimiento lento de un suelo saturado, principalmente suelos arcillosos. Al colocar una carga sobre el suelo, el agua atrapada entre sus poros comienza a salir poco a poco, provocando que el suelo se comprima gradualmente. Después del drenaje del agua intersticial, el suelo alcanza un nuevo equilibrio donde la presión de poros desaparece, los esfuerzos efectivos aumentan y el asentamiento principal se completa. A partir de entonces, puede continuar una deformación lenta conocida como consolidación secundaria, causada por el reajuste de las partículas del suelo. Este tipo de asentamiento por consolidación primaria no ocurre de forma instantánea, sino que puede tomar semanas, meses o incluso años, dependiendo de cuán permeable sea el terreno y cuán intensa sea la carga aplicada. La teoría de Terzaghi nos ayuda a entender este fenómeno, que es clave en la ingeniería geotécnica, ya que puede comprometer la estabilidad y el funcionamiento de estructuras construidas sobre suelos blandos (Coduto, 2001; Holtz, Kovacs & Sheahan, 2011).

➤ **La Reducción Volumétrica por Consolidación Secundaria (Ss):**

También conocida comúnmente como fluencia o creep, es un fenómeno de deformación del suelo que se manifiesta como una disminución progresiva del volumen. Esta etapa de asentamiento sucede una vez que el proceso de consolidación primaria ha llegado a su fin, es decir, cuando toda el agua en exceso ha sido drenada y la tensión efectiva es constante (Das, 2012).

Este asentamiento no es provocado por el drenaje de fluidos, sino por el reajuste plástico y una lenta reorganización interna de todas las partículas sólidas del suelo (Braja D., 2012; Muñoz et al., 2015). Constituye un proceso de larga duración que puede extenderse por varias décadas (Olek, 2019). Su relevancia es máxima en arcillas blandas y, particularmente, en suelos con alto contenido orgánico, donde la magnitud de este

asentamiento puede ser la contribución dominante al hundimiento total a largo plazo (Fathy, M.,2024). Su cuantificación se realiza en ingeniería geotécnica a través del Índice de Compresión Secundaria.

Tabla 2.1. Diferencias en tiempos y mecanismos de asentamiento entre suelos cohesivos y no cohesivos

TIPOS DE SUELOS				
ARCILLAS Y LIMOS			ARENAS Y GRAVAS	
TIEMPO CONSIDERADO	PROCESO	MAGNITUD	PROCESO	MAGNITUD
Corto plazo	Distorsión	Despreciable o pequeña	Distorsión	Despreciable o pequeña
			Consolidación	Pequeña a moderada
Largo plazo	Consolidación	Moderada a grande	Compresión secundaria	Despreciable o pequeña
	Compresión secundaria	Pequeña a grande		

Fuente: (Coduto, 2016)

El asentamiento que ocurre bajo una cimentación proviene de la suma de tres componentes principales ya mencionamos. En la tabla 2.1, Coduto (2016) compara cómo se desarrollan estos asentamientos en suelos cohesivos y en suelos granulares o no cohesivos, tanto a corto como a largo plazo, además de dar una idea aproximada de la magnitud de estos movimientos. Lo que se puede notar es que los suelos no cohesivos tienden a sufrir deformaciones menos intensas debido a los procesos de consolidación primaria y secundaria, mientras que los suelos finos pueden experimentar deformaciones bastante más significativas por esos mismos procesos.

2.2. Asentamientos Diferenciales

Los asentamientos diferenciales son representados como ΔS , es la variación en el hundimiento vertical entre distintos puntos de una cimentación. Este fenómeno ocurre cuando el suelo de apoyo no responde de manera uniforme ante las cargas estructurales, lo que genera deformaciones internas, fisuras y redistribución de esfuerzos que pueden comprometer la estabilidad de la edificación (Coduto, 2016; Das, 2012).

Este proceso de consolidación se entiende mejor como una expulsión del agua que está atrapada en los poros del suelo. A medida que ese fluido es desalojado, la carga que estaba

soportando pasa a ser transferida gradualmente a las partículas sólidas, obligándolas a acercarse entre sí citada por Das (2012). Este concepto esencial de cómo se reparten las tensiones se describe mediante la ecuación del esfuerzo efectivo definido por la ecuación

$$\sigma' = \sigma - u \quad (2.1)$$

Donde:

σ' : es el esfuerzo efectivo.

σ : es el esfuerzo total

u : es la presión del agua que se encuentra en los poros.

Cuando se construye sobre un estrato de suelo, es natural que ocurran asentamientos como resultado del reacomodo de partículas y la salida de agua de los poros. El problema surge cuando este ajuste no es uniforme, ya que puede concentrar esfuerzos en sectores puntuales de la cimentación y modificar la forma en que se distribuyen las cargas hacia la superestructura, generando así posibles riesgos tanto para los elementos estructurales como para los no estructurales.

2.3. Causas de Asentamientos Diferenciales

Aunque las causas de los asentamientos diferenciales son predominantemente geotécnicas, también pueden estar influenciadas por decisiones de diseño y ejecución. A continuación, se describen las más relevantes:

➤ Heterogeneidad del Terreno

Una de las causas más frecuentes es la presencia de estratos con propiedades variables bajo una misma cimentación genera diferencias en la capacidad de carga y en la compresibilidad del suelo, lo que produce hundimientos desiguales (Budhu, 2011).

La causa más común es que el suelo bajo una edificación es, simplemente, heterogéneo. Cuando una cimentación descansa simultáneamente sobre estratos con propiedades muy distintas, por ejemplo, una zona sobre arcilla blanda y la otra sobre arena densa, la capacidad de carga y la compresibilidad varían drásticamente. Esto asegura que el

asentamiento será desigual, ya que cada material responde a la carga de forma diferente (Coduto et al., 2011)

➤ **Deficiencias Geotécnicas**

La ausencia de un estudio de suelos adecuado, o la interpretación incorrecta de los datos obtenidos, puede derivar en un diseño de cimentación que no responde a las condiciones reales del terreno. Esto incluye errores en la estimación de parámetros como el módulo de deformación, el índice de compresibilidad o la resistencia al corte, lo que compromete la estabilidad de la estructura (Das, 2012).

➤ **Cambios Hidrológicos:**

Variaciones en el nivel freático o filtraciones ocasionadas por roturas de tuberías alteran el contenido de humedad del suelo. Esto provoca fenómenos como expansión en suelos arcillosos expansivos o contracción y pérdida de material en suelos colapsables y arenosos (Terzaghi & Peck, 1967).

➤ **Sobrecargas:**

Finalmente, la superación de las cargas de diseño es una causa directa. Esto ocurre cuando se añaden pisos adicionales a la estructura sin reforzar la cimentación, cuando se exceden las capacidades de carga especificadas, o cuando el reparto de cargas estructurales se desvía drásticamente del modelo de diseño inicial.

Las áreas con una sobrecarga puntual o no prevista se comprimirán más que el resto, que pueden generar incrementos diferenciales de esfuerzos en el suelo, produciendo asentamientos irregulares y localizados (Coduto, 2016).

2.4. Propiedades Geotécnicas Relevantes

2.4.1. Densidades Unitarias

2.4.1.1. La densidad unitaria o peso unitario (γ)

La densidad unitaria o peso unitario (γ) es, quizás, la propiedad índice más intuitiva y fundamental en mecánica de suelos. Se define como la relación entre el peso total de una muestra de suelo y su volumen total, y su relevancia radica en que permite calcular las

presiones totales (esfuerzos) que el suelo ejerce o soporta a diferentes profundidades (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 2010).

El peso unitario total o húmedo (γ), también llamada peso unitario natural, se define como la relación entre el peso total del suelo (incluyendo sólidos y agua) y su volumen total:

$$\gamma = \frac{W_t}{V_t} \quad (2.2)$$

Donde:

- γ = Peso unitario total o húmedo (kN/m³).
- W_t = Peso total de la muestra (sólidos + agua) (kN).
- V_t = Volumen total de la muestra (m³).

Este valor proporciona una medida del peso que ejerce el suelo por unidad de volumen en su estado natural, incluyendo tanto el agua contenida como el aire en los poros.

Al comprender que la cantidad de agua puede variar drásticamente el peso de un suelo, los ingenieros geotécnicos recurren a dos conceptos derivados de gran valor predictivo, el peso unitario seco y el peso unitario saturado (Das, 2017).

2.4.1.2. Peso Unitario Seco (γ_d)

El peso unitario seco γ_d es un indicador clave de la compactación o densidad de los sólidos del suelo, independientemente de su contenido de humedad. Esta propiedad es esencial para interpretar la compactación de un suelo, ya que refleja la proporción de masa sólida sin considerar el contenido de agua. A mayor densidad seca, mayor grado de compactación, lo cual es deseable en obras de ingeniería geotécnica como cimentaciones o terraplenes (Das & Sobhan, 2017), y se define como la relación entre el peso de los sólidos y el volumen total de la muestra:

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V_t} \quad (2.3)$$

Donde:

W_s es el peso de los sólidos (kN). Alternativamente, se puede obtener a partir del peso unitario húmedo y el contenido de humedad (ω) de la siguiente manera (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 2010):

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+\omega} \quad (2.4)$$

2.4.1.3. Peso Unitario Saturado (γ_{sat})

Por otro lado, el peso unitario saturado (γ_{sat}) representa el peso de la unidad de volumen del suelo cuando todos los espacios vacíos (volumen de vacíos, V_v) están completamente llenos de agua. Este parámetro es crítico en el análisis de suelos sumergidos o en el estudio de niveles freáticos altos, donde la condición de saturación es la más desfavorable en términos de estabilidad.

La relación fundamental para el estado saturado se puede expresar de la siguiente manera:

$$\gamma_{sat} = \frac{W_s + W_w}{V_t} \quad (2.5)$$

Donde:

- γ_{sat} = densidad saturada (kN/m³)
- W_w = peso del agua (kN).

Esta propiedad es crucial para evaluar la estabilidad de suelos bajo condiciones de saturación, como las que pueden presentarse en temporadas de lluvia intensa o durante la subida del nivel freático.

En resumen, la correcta determinación de γ , γ_d , y γ_{sat} no solo proporciona información para el cálculo directo de los esfuerzos totales que actúan sobre la masa de suelo, sino que también permite inferir indirectamente la relación de vacíos y la porosidad, marcando la pauta para los análisis de asentamientos y estabilidad más detallados del proyecto (Das, 2017).

2.4.1.4. Importancia geotécnica

La determinación precisa de estas densidades es esencial en el cálculo de presiones totales (σ), que se obtienen multiplicando la densidad por la profundidad:

$$\sigma = \gamma \cdot z \quad (2.6)$$

Donde:

- σ = presión total (kPa),

- z = profundidad (m).

Asimismo, estas propiedades influyen en la estimación de la presión efectiva y la presión de poros, aspectos fundamentales en problemas de consolidación y estabilidad. Cabe señalar que una caracterización adecuada del suelo en función de sus densidades unitarias contribuye significativamente a una mejor predicción del comportamiento mecánico del terreno bajo cargas estructurales (Terzaghi, Peck & Mesri, 1996)

2.4.2. Contenido de agua (ω) y porosidad (n)

El contenido de agua y la porosidad son propiedades índice fundamentales en la caracterización geotécnica de los suelos, ya que influyen directamente en su comportamiento mecánico, hidráulico y volumétrico. Comprender estos parámetros permite estimar la capacidad de carga, la susceptibilidad a deformaciones y la respuesta frente a procesos de consolidación o licuefacción.

2.4.2.1. Contenido de agua o humedad gravimétrica (ω)

El contenido de agua (w), también conocido como humedad gravimétrica, es un parámetro fundamental que refleja la cantidad de agua presente en una muestra de suelo. Es, sencillamente, el "pulso hídrico" del material, dictando gran parte de su plasticidad, cohesión y potencial de cambio volumétrico. Su determinación es rutinaria en el laboratorio, ya que representa la relación entre el peso del agua y el peso de las partículas sólidas (Das, 2017).

Esta variable representa la cantidad relativa de agua presente en el suelo en comparación con su masa sólida, y se expresa como un porcentaje:

$$\omega(\%) = \frac{W_w}{W_s} * 100 \quad (2.7)$$

Donde:

- ω = Contenido de agua (adimensional, expresado generalmente en porcentaje).
- W_w = Peso del agua en la muestra (kN).
- W_s = Peso de los sólidos en la muestra (kN).

El peso del agua se obtiene por diferencia entre el peso del suelo húmedo y el peso del suelo secado al horno, un proceso que simula la condición de referencia de un material libre de humedad (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 2010).

La determinación precisa del contenido de agua es esencial, ya que influye en múltiples procesos geotécnicos, como la compactación, la resistencia al corte y la capacidad de carga. Además, el agua contenida en los poros afecta la presión de poros (u) y, por ende, la presión efectiva, parámetro clave en la mecánica de suelos según el principio de Terzaghi (Terzaghi, Peck & Mesri, 1996)

$$\sigma' = \sigma - \mu \quad (2.8)$$

Donde:

- σ' = presión efectiva (kPa),
- σ = presión total (kPa),
- μ = presión de poros (kPa).

Desde una perspectiva práctica, el contenido de humedad también permite evaluar la susceptibilidad de los suelos a deformarse o licuarse bajo cargas dinámicas o sísmicas, especialmente en suelos saturados o limosos (Das & Sobhan, 2017).

2.4.2.2. Porosidad (n)

La porosidad (n) es una medida volumétrica que revela la proporción de espacios vacíos ocupados por agua o aire, dentro del volumen total del suelo. Si el contenido de agua nos dice cuánto líquido hay, la porosidad nos dice cuánto espacio hay disponible para ese líquido y el aire. En esencia, la porosidad cuantifica la capacidad de almacenamiento y el potencial de flujo de fluidos, siendo un indicador clave para el análisis de permeabilidad y consolidación (Terzaghi, Peck, & Mesri, 1996).

Matemáticamente, la porosidad se define como la relación entre el volumen de vacíos (V_v) y el volumen total de la muestra (V_t)

$$n = \frac{V_v}{V_t} * 100 \quad (2.9)$$

Donde:

- n = porosidad (%),

- V_v = volumen de vacíos (aire + agua),
- V_t = volumen total del suelo.

Este parámetro describe la capacidad del suelo para almacenar fluidos y permite entender su comportamiento hidráulico, así como su tendencia a compactarse o expandirse bajo determinadas condiciones de carga y humedad. La porosidad está directamente relacionada con el índice de vacíos (e) mediante la siguiente relación:

$$n = \frac{e}{1+e} * 100 \quad (2.10)$$

La porosidad de un suelo, al estar vinculada directamente a la distribución y el tamaño de los vacíos, influye en la compresibilidad y la resistencia al corte. Un suelo altamente poroso, por lo general, tiende a ser más compresible y menos resistente bajo carga que un suelo denso, lo que subraya su valor predictivo en la ingeniería de cimentaciones (Craig, 2012).

2.4.2.3. Relación entre contenido de agua y porosidad

Existe una estrecha correlación entre el contenido de agua y la porosidad, especialmente cuando se analiza el grado de saturación (S_r), el cual se expresa como:

$$S_r = \frac{\omega * G_s}{e} * 100 \quad (2.11)$$

Donde:

- S_r = grado de saturación (%),
- G_s = peso específico relativo (sin unidades),
- e = índice de vacíos.

Este parámetro proporciona información sobre qué fracción del espacio poroso está efectivamente ocupado por agua. El conocimiento de esta relación es clave para entender fenómenos como la succión capilar, el potencial de expansión o colapso del suelo, y la permeabilidad (Holtz, Kovacs & Sheahan, 2011).

2.4.3. Límites de Atterberg (LL, LP)

Los límites de Atterberg constituyen parámetros fundamentales en la clasificación y caracterización de suelos finos, especialmente aquellos con alto contenido de arcilla. Estos límites permiten identificar el comportamiento plástico del suelo en función de su contenido de humedad, lo cual resulta esencial para evaluar su estabilidad, capacidad de carga y susceptibilidad a deformaciones. (Casagrande, 1932).

Los dos límites más comunes y utilizados en ingeniería civil son el límite líquido (LL) y el límite plástico (PL). Ambos permiten determinar el intervalo en el que un suelo cambia de estado: desde sólido a semisólido, plástico y líquido, en función de su humedad.

2.4.3.1. Límite líquido (LL)

El límite líquido (LL) representa el contenido de agua a partir del cual un suelo pasa del estado plástico al estado líquido. En términos prácticos, es el porcentaje de humedad en el cual el suelo se comporta como un fluido viscoso, perdiendo su resistencia al corte.

Este parámetro se determina en laboratorio mediante el aparato de Casagrande o el cono de caída. El método estándar establece que el LL corresponde al contenido de agua con el cual una muestra se cierra a lo largo de una ranura normalizada en 25 golpes de caída del dispositivo (ASTM D4318, 2020)

$$LL = \frac{W_w}{W_s} * 100 \quad (2.12)$$

Donde:

- LL = límite líquido (%),
- W_w = masa de agua en la muestra (g),
- W_s = masa de sólidos secos (g).

Un LL alto, característico de arcillas muy activas, indica que el suelo requiere una gran cantidad de agua para perder su resistencia al corte, lo que conlleva riesgos significativos de grandes cambios volumétricos y compresibilidad.

2.4.3.2. Límite Plástico (PL)

El Límite Plástico (PL) es el contenido de agua, también expresado en porcentaje, en el cual el suelo pasa de un estado plástico al semisólido. Es el umbral superior donde el suelo aún puede ser moldeado o deformado sin agrietarse ni desmoronarse (Terzaghi et al., 1996). En este estado, el suelo comienza a agrietarse al ser moldeado. El PL se determina mediante el método del hilo, en el cual se enrolla una muestra hasta que se rompe al alcanzar un diámetro de 3 mm.

Al igual que el Límite Líquido, el PL es un valor de contenido de agua para una condición específica del suelo:

$$PL = \frac{W_w}{W_s} * 100 \quad (2.13)$$

El valor del PL permite identificar la humedad mínima necesaria para que el suelo sea moldeable sin fracturarse. Suelos con bajo PL tienden a ser más sensibles a la desecación y a la formación de grietas superficiales (Coduto, 2011).

La fórmula es idéntica en forma al LL, pero los valores obtenidos son distintos, ya que se corresponden con diferentes comportamientos físicos del suelo.

2.4.3.3. Índice de plasticidad (IP)

La verdadera potencia de los Límites de Atterberg reside en la diferencia entre ellos, que define el Índice de Plasticidad (IP). Este índice cuantifica el rango de contenido de agua en el cual el suelo se comporta de manera plástica y es un indicador directo de la cohesión del suelo fino y de su potencial de expansión y contracción. Es, en esencia, una medida de la actividad de las partículas de arcilla (Casagrande, 1948).

El IP es la métrica clave utilizada para clasificar los suelos finos bajo sistemas como el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y se calcula como:

$$IP = LL - PL \quad (2.14)$$

El valor obtenido permite clasificar los suelos según su comportamiento. Por ejemplo, el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) (Unified Soil Classification System) establece que los suelos con IP menor a 7 se consideran de baja plasticidad, lo cual significa que sus cambios volumétricos y su tendencia a deformarse son reducidos. En cambio, cuando el IP supera 20, el suelo se clasifica como de alta plasticidad, lo que indica que es

más susceptible a cambios significativos de volumen al variar su humedad, aumentando el riesgo de asentamientos diferenciales o problemas de expansión y contracción (Terzaghi, Peck & Mesri, 1996).

En términos prácticos, esto significa que una arcilla con bajo IP se comportará de manera más estable bajo cargas, mientras que una arcilla con alto IP tendrá un comportamiento más complejo y crítico para el diseño geotécnico. Por ello, el índice de plasticidad se convierte en una herramienta clave para predecir y controlar el desempeño del suelo en cimentaciones y estructuras.

En proyectos de infraestructura, los límites de Atterberg se utilizan para clasificar suelos según el sistema unificado SUCS y prever comportamientos como la expansividad, retracción, colapsabilidad o sensibilidad a cargas cíclicas. Por ejemplo, un suelo con un LL superior al 50% y un IP elevado puede considerarse de alta plasticidad, lo que implica mayores riesgos de asentamientos diferenciales o pérdida de capacidad portante bajo cargas variables (Das & Sobhan, 2017).

2.4.4. Propiedades mecánicas

En el campo de la ingeniería geotécnica, la resistencia al corte es una de las propiedades más relevantes para el diseño y evaluación de estructuras fundadas sobre o dentro del suelo. Esta propiedad refleja la capacidad del terreno para resistir fuerzas tangenciales antes de fallar o experimentar desplazamientos significativos. Su determinación es esencial en el análisis de estabilidad de taludes, capacidad portante de cimentaciones, muros de contención y túneles, entre otros (Holtz, Kovacs & Sheahan, 2011).

El análisis de la resistencia al corte se basa, en gran parte, en la interacción entre las partículas del suelo. Dicha interacción está determinada principalmente por dos parámetros mecánicos: la cohesión (c) y el ángulo de fricción interna (ϕ). Estos dos componentes definen la envolvente de falla del suelo a través del criterio de Mohr-Coulomb, ampliamente utilizado en geotecnia.

2.4.4.1. Criterio de Mohr – Coulomb

El criterio de falla de Mohr-Coulomb es uno de los modelos más utilizados en la mecánica de suelos y de rocas para describir la resistencia al corte de los materiales geotécnicos. Este

criterio se basa en la relación entre el esfuerzo cortante (τ) y el esfuerzo normal (σ) que actúan sobre un plano potencial de falla dentro del suelo o la roca (Das & Sobhan, 2018). En el plano de esfuerzos (σ - τ), la envolvente de Mohr-Coulomb es una recta con pendiente igual a $\tan(\phi)$ y ordenada al origen igual a la cohesión c . Los diferentes círculos de Mohr representan los estados de esfuerzo para distintos niveles de carga. La falla ocurre cuando uno de estos círculos toca la envolvente de falla, indicando el punto crítico de ruptura (Das, 2019).

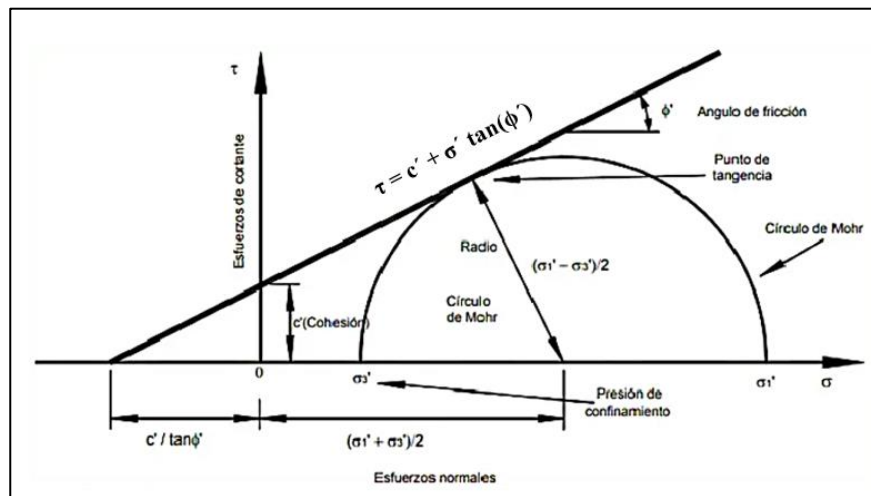


Figura 2.2. La gráfica representa el criterio de falla de Mohr-Coulomb, es utilizado en mecánica de suelos y rocas para describir la resistencia al corte de un material.

El Círculo de Mohr muestra el estado de esfuerzos en un punto del material, donde:

- σ'_1 es el esfuerzo principal mayor y σ'_3 el esfuerzo principal menor.
- La línea recta tangente al círculo representa la envolvente de falla, definida por la ecuación:

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

donde:

- τ : esfuerzo cortante en el plano de falla,
- c' : cohesión del material,
- σ : esfuerzo normal efectivo,
- ϕ' : ángulo de fricción interna del material.

El punto de tangencia entre el círculo y la línea de falla indica la condición crítica de rotura de material. En suelos cohesivos la línea intercepta el eje τ que sería la cohesión distinta de cero, y en suelos granulares pasa por el origen y la cohesión es nula.

Esta relación lineal fue propuesta inicialmente por Charles-Augustin de Coulomb (1776) y posteriormente reinterpretada por Christian Otto Mohr (1900), quien introdujo la representación gráfica mediante el círculo de Mohr, donde la falla ocurre cuando el círculo de esfuerzos tangencia la envolvente definida por la ecuación anterior (Budhu, 2015).

El criterio combina dos mecanismos de resistencia:

- **Cohesión (c)** que representa la atracción interna entre las partículas, predominante en suelos cohesivos como las arcillas.
- **Fricción interna (ϕ)** que refleja la resistencia al deslizamiento debida al rozamiento entre partículas, dominante en suelos granulares como las arenas (Lambe & Whitman, 1979).

Por tanto, el modelo Mohr-Coulomb interpreta la falla como una interacción entre fuerzas cohesivas y friccionales, dependiendo del tipo de suelo. En suelos cohesivos saturados, la resistencia está dominada por la cohesión, mientras que, en suelos no cohesivos, la resistencia se debe principalmente a la fricción (Craig, 2004).

2.4.4.1.1. Suelos Cohesivos (arcillas)

En los suelos cohesivos, como las arcillas, la resistencia al corte está dominada por la cohesión, debido a las fuerzas de atracción electrostática entre las partículas. En estos materiales, el ángulo de fricción interna es reducido, y en algunos casos puede considerarse casi nulo (Terzaghi, Peck & Mesri, 1996).

Bajo condiciones no drenadas (UU), el comportamiento se describe principalmente por la cohesión no drenada c_u , mientras que el ángulo ϕ_u se aproxima a cero. La ecuación se simplifica entonces a:

$$\tau = c_u$$

Esto significa que la resistencia al corte no depende del esfuerzo normal efectivo, sino de la cohesión total del suelo saturado (Craig, 2004). Sin embargo, bajo condiciones drenadas

(CD), el suelo presenta un valor significativo de fricción interna debido a la interacción partícula a partícula (Budhu, 2015).

En el círculo de Mohr, los suelos cohesivos muestran una envolvente casi horizontal (pequeño ángulo ϕ), representando un comportamiento más dependiente de la cohesión que del confinamiento.

2.4.4.1.2. Suelos no Cohesivos (arenas)

Los suelos granulares, como las arenas y gravas, carecen de cohesión significativa ($c \approx 0$), por lo que su resistencia al corte depende casi exclusivamente del ángulo de fricción interna ϕ . Este ángulo está relacionado con la densidad relativa, la forma de las partículas y el grado de compactación (Lambe & Whitman, 1979).

La ecuación se reduce a:

$$\tau = \sigma \tan(\phi)$$

En el círculo de Mohr, la envolvente pasa por el origen y tiene una pendiente igual a $\tan(\phi)$, mostrando que el aumento del esfuerzo normal incrementa proporcionalmente la resistencia al corte. A mayor densificación del material, mayor será el ángulo de fricción, alcanzando valores entre 30° y 45° (Das, 2019).

En suelos sueltos, el comportamiento es contractivo y puede producir licuefacción bajo cargas cíclicas, mientras que en suelos densos el comportamiento es dilatante y más estable (Budhu, 2015).

2.4.4.1.3. Suelos mixtos o de baja plasticidad (limos)

Los limos presentan un comportamiento intermedio entre suelos cohesivos y no cohesivos. Poseen baja cohesión aparente y moderado ángulo de fricción, lo que hace que su resistencia al corte dependa tanto de la succión capilar como del grado de saturación (Das & Sobhan, 2018).

En condiciones secas o parcialmente saturadas, los limos pueden desarrollar cierta cohesión aparente debido a las fuerzas capilares. Sin embargo, bajo saturación completa, esta cohesión disminuye drásticamente y el suelo se comporta más como una arena fina (Craig, 2004).

La envolvente de Mohr-Coulomb para limos es ligeramente inclinada y con una ordenada al origen pequeña, reflejando un equilibrio entre fricción y cohesión. En suelos limosos de baja plasticidad (ML), el ángulo de fricción suele variar entre 25° y 32° , y la cohesión efectiva entre 5 y 15 kPa (Terzaghi et al., 1996).

Tipo de suelo	Cohesión (c)	Ángulo de fricción (ϕ)	Comportamiento dominante	Ecuación simplificada	Fuente
Arcilloso (cohesivo)	Alta (20–80 kPa)	Baja (0– 15°)	Cohesión	$\tau = c$	(Terzaghi, Peck & Mesri, 1996; Craig, 2004)
Arenoso (no cohesivo)	Casi nula (≈ 0)	Alta (30– 45°)	Fricción	$\tau = \sigma \tan(\phi)$	(Lambe & Whitman, 1979; Das, 2019)
Limoso (baja plasticidad)	Moderada (5–15 kPa)	Media (25– 32°)	Cohesivo–friccional	$\tau = c + \sigma \tan(\phi)$	(Budhu, 2015; Das & Sobhan, 2018)

Tabla 2.2. Tabla de rangos propuestos según diferentes literaturas

Los valores presentados en la tabla provienen de rangos propuestos en literatura geotécnica clásica y moderna. Según Terzaghi, Peck y Mesri (1996), las arcillas saturadas muestran una alta cohesión y baja fricción, mientras que Craig (2004) complementa indicando que la resistencia está dominada por la cohesión en condiciones no drenadas.

Por otro lado, Lambe y Whitman (1979) y Das (2019) destacan que los suelos arenosos, al ser no cohesivos, presentan una resistencia que depende únicamente del ángulo de fricción interna. Finalmente, Budhu (2015) y Das & Sobhan (2018) describen a los limos como materiales intermedios

2.4.4.2. Cohesión (c)

La cohesión es la fuerza interna que mantiene unidas las partículas del suelo, aun cuando no se aplica una presión externa. Este atributo es característico de los suelos finos, como las arcillas y limos, y depende de la naturaleza de las partículas y de la humedad presente.

La cohesión contribuye significativamente a la resistencia al corte del suelo, ayudando a que mantenga su forma y estabilidad frente a cargas o deslizamientos.

2.4.4.3. Ángulo de Fricción Interna (ϕ)

El ángulo de fricción interna refleja la resistencia al corte proporcionado por el engranaje entre las partículas y la fricción que se genera cuando estas intentan deslizarse unas sobre otras. Su magnitud depende de la forma, angularidad, tamaño relativo y distribución granulométrica de las partículas. En general, los suelos granulares presentan valores elevados de ángulo de fricción interna, mientras que, en suelos finos, el ángulo tiende a disminuir debido a su plasticidad y menor resistencia al esfuerzo tangencial. En conclusión, a mayor ángulo de fricción interna nos indica una mejor capacidad de resistencia, generalmente asociada a partículas angulares y un buen grado de compacidad (Lambe & Whitman, 1969).

La resistencia al corte de los suelos no puede determinarse únicamente a partir de teorías; requiere ser medida mediante ensayos empíricos, ya sea en campo o en laboratorio, que reflejen las condiciones reales del terreno. No obstante, en etapas preliminares de diseño o cuando se busca realizar comparaciones generales entre tipos de suelo, resulta útil recurrir a valores de referencia ampliamente documentados en la literatura geotécnica.

En ese sentido, la Tabla 2.1 reúne un conjunto de valores típicos para la cohesión efectiva (c) y el ángulo de fricción interna efectiva (ϕ), parámetros esenciales en el análisis de estabilidad de estructuras geotécnicas bajo condiciones drenadas, es decir, a largo plazo. Estos rangos han sido recopilados y sistematizados a partir de las contribuciones de investigadores reconocidos como Terzaghi, Peck y Das, cuyas obras han marcado un antes y un después en la comprensión del comportamiento mecánico de los suelos.

Tabla 2.3: Valores Típicos de Resistencia al Corte Efectiva (c y ϕ) según el Tipo y Estado del Suelo

Clasificación del Suelo	Estado del Suelo / Densidad	Cohesión Efectiva (c) (kPa)	Ángulo de Fricción Efectiva (ϕ)	Referencia Clave
Suelos Granulares (Arena y Grava)	Suelta	≈ 0	27,5 – 33	Terzaghi y Peck (1967)
	Media	≈ 0	33 – 36	Das (2017)
	Densa	≈ 0	36 – 45	Braja M. Das (2017); Terzaghi y Peck (1967)
Limos Inorgánicos	Suelto	$\approx 0 - 5$	27 – 30	Terzaghi y Peck (1967)
	Denso	$\approx 0 - 10$	30 – 35	Braja M. Das (2017)
Arcillas	Blanda a Media (Normalmente Consolidada)	0 – 5	17 – 25	Braja M. Das (2017)
	Rígida / Sobreconsolidada	5 – 20	26 – 32	Braja M. Das (2017)

Fuente: Adaptado de Terzaghi y Peck (1967) y Das (2017).

Es imperativo reconocer que los valores tabulados para la cohesión efectiva (c) son notablemente bajos o nulos en suelos puramente granulares (arenas y gravas). Esto se debe a que la resistencia al corte en estos materiales está dominada casi exclusivamente por la fricción (ϕ), que es directamente proporcional a la tensión normal efectiva. En el caso de las arcillas sobreconsolidadas, la presencia de una cohesión significativa refleja la historia de precarga o cementación (Das, 2017).

2.4.5. Módulos elásticos y relación esfuerzo – deformación

2.4.5. Módulos elásticos y relación esfuerzo-deformación

En la ingeniería geotécnica, el análisis del comportamiento del suelo ante la aplicación de cargas externas se basa, en gran medida, en la observación de su respuesta mecánica específicamente de cómo se deforma cuando es sometido a esfuerzos.

Más allá de la capacidad de un suelo para resistir la falla al corte, que es un aspecto igualmente importante en la ingeniería es su respuesta ante la carga, es decir, cómo se deforma. Esta característica es esencial para predecir asentamientos y la interacción del suelo con la estructura que se describe mediante los módulos elásticos y la relación esfuerzo

- deformación (Terzaghi, Peck, & Mesri, 1996). Estos módulos actúan como la rigidez del material, indicando cuánta fuerza se necesita para producir una deformación.

Los fundamentos de la relación esfuerzo - deformación analiza cómo responde un suelo ante un incremento de carga. En los primeros momentos de aplicación de carga, el suelo suele presentar un comportamiento aparentemente elástico. En esta fase, la deformación es proporcional al esfuerzo aplicado y reversible si se elimina la carga. Esta relación se representa mediante la ley de Hooke:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (2.15)$$

Donde:

- σ = esfuerzo normal (kPa)
- ε = deformación unitaria (sin dimensión)
- E = módulo de elasticidad (kPa)

Sin embargo, a medida que la carga continúa aumentando el suelo entra en una fase plástica, donde la deformación ya no es proporcional ni reversible. En esta zona, el material comienza a sufrir daños internos como deslizamiento entre partículas o reacomodo estructural, lo que provoca una pérdida de rigidez.

Esta transición entre el comportamiento elástico y plástico se denomina límite elástico. En muchos suelos, este punto es confuso y depende de factores como el grado de compactación, la humedad y la historia de tensiones del terreno (Holtz, Kovacs & Sheahan, 2011).

2.4.5.1. Módulo de elasticidad (E)

El módulo de elasticidad también llamado módulo de Young representa la pendiente inicial de la curva esfuerzo - deformación en su parte lineal. Es un parámetro que indica la rigidez del suelo ante esfuerzos normales. Cuanto mayor es el valor de E , menor será la deformación para un mismo esfuerzo aplicado es decir Valores más altos de E indican suelos más rígidos y menos deformables.

Este módulo se determina habitualmente mediante ensayos de laboratorio como el ensayo edométrico para condiciones unidimensionales de carga o el triaxial para condiciones tridimensionales. El valor de E no es constante varía según la densidad del suelo, el tipo de

material, el contenido de humedad, el grado de cementación y el nivel de confinamiento efectivo. (Das & Sobhan, 2017). Por ejemplo, una arena densa mostrará un módulo significativamente mayor que una arcilla blanda.

En suelos no saturados o parcialmente compactados, el módulo de elasticidad puede reducirse drásticamente debido a la menor interacción entre partículas.

2.4.5.2. Módulo secante (E_s)

El módulo secante es una medida de la rigidez del suelo que indica cuánto se deforma cuando se le aplica una carga, y representa la relación promedio entre el esfuerzo aplicado y la deformación producida. Debido a que la mayoría de los suelos presentan un comportamiento no lineal, se utiliza el módulo secante (E_s) como una forma más realista de describir la rigidez del suelo bajo cargas de servicio. Este módulo se define como la pendiente de la línea que une el origen de la curva con un punto específico en ella, y representa una medida promedio de rigidez dentro de un intervalo de deformación (Holtz et al., 2011)

$$E_s = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2.16)$$

Este módulo es útil en análisis de deformaciones donde se espera que el suelo se someta a niveles moderados o altos de carga, en los que el comportamiento no es puramente elástico. Por ello, el módulo secante es ampliamente empleado en diseño de cimentaciones y evaluación de asentamientos.

A diferencia de E , que se limita a la fase elástica, el módulo E_s es útil para modelar asentamientos y deformaciones bajo cargas reales, especialmente en suelos cohesivos y en análisis de consolidación primaria.

2.4.5.3. Módulo de corte (G)

Mientras que el módulo secante (E_s) rige la deformación volumétrica, el Módulo de Corte o de Cizalladura (G) gobierna la capacidad del suelo para resistir la deformación por distorsión o cizalla. Este parámetro es crucial en análisis dinámicos sísmicos y en problemas de propagación de ondas de corte, ya que se relaciona con la rigidez del suelo ante esfuerzos tangenciales (Das, 2017).

El módulo de corte se define como la relación entre el esfuerzo cortante (τ) y la deformación angular (γ_d) que este induce:

$$G = \frac{\tau}{\gamma_d} \quad (2.17)$$

Donde:

- G = Módulo de Corte (kPa o MPa).
- τ = Esfuerzo cortante (kPa o MPa).
- γ_d = Deformación angular (adimensional).

El módulo de corte G mide la resistencia del suelo frente a deformaciones tangenciales. Es de gran importancia en el análisis de estabilidad de taludes, vibraciones, licuefacción y en estudios dinámicos del suelo. Su valor está relacionado con el módulo de elasticidad y el coeficiente de Poisson. En un material isotrópico y elástico, los módulos E , G y el coeficiente de Poisson (ν) están intrínsecamente ligados. El coeficiente de Poisson (ν) es un parámetro adimensional que describe la tendencia de un material a expandirse lateralmente cuando es comprimido axialmente (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 2010). La relación fundamental que vincula los módulos es:

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (2.18)$$

Donde:

- G : módulo de corte (kPa)
- ν : coeficiente de Poisson (adimensional)

El coeficiente de Poisson representa la relación entre la deformación lateral y axial del suelo. Su valor varía típicamente entre 0.25 y 0.50 para la mayoría de los suelos.

Esta ecuación es de gran utilidad, ya que a menudo el módulo secante (E_s) y el coeficiente de Poisson (ν) se determinan más directamente en laboratorio, permitiendo el cálculo indirecto de G .

Este parámetro permite evaluar la capacidad del suelo de resistir esfuerzos cortantes, que son los que generan fallas por deslizamiento o deformación lateral. En materiales granulares densos, como las gravas, el módulo de corte tiende a ser elevado, lo que se traduce en una buena resistencia ante deformaciones por corte (Das & Sobhan, 2017).

Tabla 2.4: Rangos típicos de módulos elásticos según tipo de suelo

Tipo de suelo	Módulo de Elasticidad E (kPa)	Módulo de Corte G (kPa)	Coef. de Poisson ν
Arcilla blanda	5,000 – 15,000	2,000 – 6,000	0.45 – 0.50
Arcilla rígida	20,000 – 60,000	8,000 – 24,000	0.35 – 0.45
Arena suelta	10,000 – 30,000	4,000 – 12,000	0.30 – 0.40
Arena densa	40,000 – 100,000	16,000 – 40,000	0.25 – 0.35
Grava compacta	> 100,000	> 40,000	0.25 – 0.35

Fuente: Adaptado de Das y Sobhan (2017); Holtz, Kovacs y Sheahan (2011).

La tabla 2.2 muestra cómo varía la rigidez en diferentes suelos, clave para calcular asentamientos. La rigidez, medida por los módulos E y G, aumenta con la densidad; por ejemplo, la grava compacta es muy rígida, mientras que la arcilla blanda es más flexible y compresible. El coeficiente de Poisson (ν) indica cuánto cambia el volumen del suelo bajo carga: valores cercanos a 0.50, como en la arcilla blanda, muestran poco cambio volumétrico, mientras que valores más bajos, como en la grava, reflejan mayor compactación. En resumen, la tabla sirve para elegir parámetros que describen cómo se deformará la cimentación según el suelo.

En conclusión, los módulos elásticos E y G, junto con el coeficiente de Poisson ν , son esenciales para la ingeniería de la deformación. Permiten al diseñador transformar las complejas curvas esfuerzo-deformación del suelo en parámetros manejables para la predicción de asentamientos y la evaluación de la rigidez de la masa de suelo.

2.4.6. Permeabilidad (k):

El coeficiente de Permeabilidad no es solo una velocidad, sino que también es una medida de la conductividad hidráulica del suelo. Este concepto es vital porque el agua en el subsuelo, conocida como agua intersticial, es la que transmite las presiones y, por lo tanto, la que rige la estabilidad y la deformación de la masa de suelo.

La base para la cuantificación de la permeabilidad es la Ley de Darcy, formulada por Henry Darcy en 1856 a partir de experimentos con el flujo de agua a través de filtros de arena (Rozas Cárdenas, 2002), siendo la siguiente ecuación:

$$v = k \cdot i \quad (2.19)$$

Donde:

- v : es la velocidad de descarga o velocidad de flujo aparente (m/s).
- k : Coeficiente de permeabilidad o Conductividad hidráulica (m/s).
- i : Gradiente hidráulico (adimensional)

La gradiente hidráulica está definida como la pérdida de carga (h) por la unidad de longitud (L) en la dirección del flujo.

$$i = \frac{h}{L} \quad (2.20)$$

2.4.6.1. Coeficiente de Permeabilidad (k)

Al despejar k de la Ley de Darcy, se obtiene una definición más práctica (FCEIA, 2009):

$$k = \frac{v}{i} \quad (2.21)$$

El coeficiente k se puede interpretar como la velocidad de descarga del agua a través del suelo cuando el gradiente hidráulico es unitario ($i = 1$) (FCEIA, 2009).

2.4.6.2. Coeficiente de Permeabilidad en función del Caudal (Q)

El caudal (Q), que es el volumen de agua por unidad de tiempo (Volumen/Tiempo), se relaciona con la velocidad de descarga (v) mediante el área total (A) del flujo ($Q = v \cdot A$). Sustituyendo v en la ecuación de Darcy tenemos:

$$Q = k \cdot i \cdot A \quad (2.22)$$

Donde:

- Q : Caudal o Gasto (m³/s).

- A : Área de la sección transversal del flujo (m^2).

El valor de k no es una constante universal, sino que depende de las propiedades del medio poroso y de las propiedades del fluido (Chapuis, R. P. & Aubertin M., 2003)

Tabla 2.5: Clasificación típica del coeficiente de permeabilidad en suelos

Tipo de suelo	k típica (m/s) (rango aproximado)
Arcilla fina	$\approx 10^{-9} - 10^{-7}$
Limo	$\approx 10^{-7} - 10^{-5}$
Arena fina	$\approx 10^{-5} - 10^{-3}$
Arena gruesa	$\approx 10^{-4} - 10^{-2}$
Grava	$\approx 10^{-3} - 10^{-1}$

Fuente: Adaptado de FAO. (s.f.).

En la tabla 2.3 nos muestra los términos prácticos, este rango progresivo muestra cómo el tamaño de las partículas y el grado de interconexión de los poros influyen directamente en la facilidad con la que el agua atraviesa el suelo.

2.4.7. Coeficientes de consolidación c_v y compresibilidad (m_v , C_c , C_s)

Cuando se construye sobre suelos saturados, especialmente arcillosos, es crucial entender cómo responden ante cargas. Dos parámetros fundamentales en este análisis son el coeficiente de consolidación y el coeficiente de compresibilidad. Estos permiten estimar la velocidad de asentamiento y la deformación del suelo, por lo que lo convierte un factor de gran importancia para el diseño de cimentaciones seguras.

- **Compresibilidad** se refiere a la capacidad del suelo para comprimirse o cambiar el volumen todo bajo un cambio de tensión efectiva.
- **Consolidación** es el proceso por el cual ese cambio de volumen ocurre lenta y gradualmente mediante la expulsión de agua retenida en los espacios vacíos contenida en los poros del suelo.

Los coeficientes que veremos permiten cuantificar la rapidez del proceso y la magnitud del cambio volumétrico.

2.4.7.1. Coeficientes de consolidación c_v

El coeficiente de consolidación vertical es, quizás, el parámetro más crítico para la planificación temporal de proyectos de construcción. Su significado radica en que gobierna la rapidez con la que un depósito de suelo alcanza un cierto porcentaje de su asentamiento total (Das, 2021).

La teoría de la consolidación unidimensional de Terzaghi (1943) se basa en una analogía hidráulica donde la disipación de la presión de poros se modela como un flujo transitorio. La solución a esta ecuación diferencial requiere el coeficiente de consolidación, el cual se define por la siguiente ecuación fundamental:

$$c_v = \frac{k}{\gamma_w * m_v} \quad (2.23)$$

Donde:

- **k**: coeficiente de permeabilidad (m/s)
- **m_v** : coeficiente de compresibilidad volumétrica (m^2/kN)
- **γ_w** : peso unitario del agua (kN/m^3)

Este parámetro se determina experimentalmente a partir del ensayo de consolidación unidimensional, utilizando métodos gráficos como los de Casagrande (1938) o Taylor (1942), que interpretan la curva de asentamiento en función del tiempo.

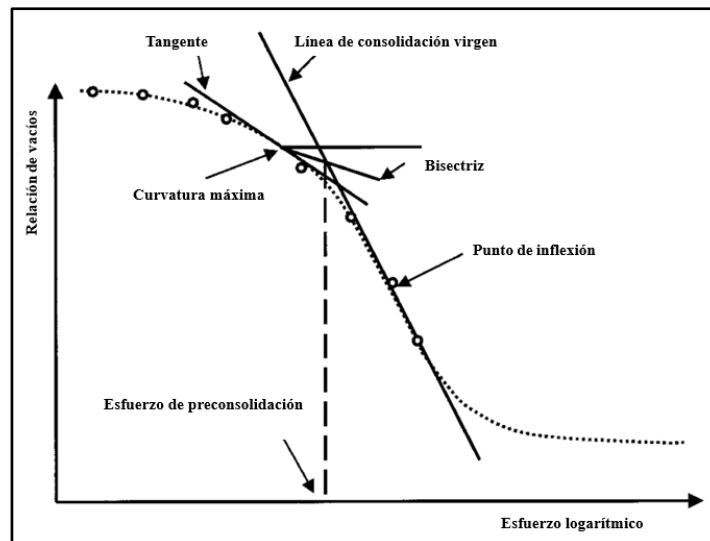


Figura 2.3. Método gráfico de Casagrande (Método del Logaritmo del Tiempo) para determinar el coeficiente de consolidación (c_v). (Lambe y Whitman)

En la a figura 2.1 nos muestra el Método Gráfico de Casagrande para la determinar la presión de preconsolidación de un suelo. A partir de la curva de consolidación que es relación de vacíos respecto al logaritmo del esfuerzo, se identifica el punto de máxima curvatura y se trazan líneas auxiliares como la horizontal, tangente y bisectriz, junto con la extensión de la línea de compresión virgen. El punto de intersección de la bisectriz y la línea de compresión extendida marca la presión de preconsolidación.

Tenemos algunos valores típicos de c_v oscilan entre 10^{-9} y 10^{-7} (m^2/s) para arcillas blandas, y entre 10^{-7} y 10^{-5} (m^2/s) para arcillas más rígidas (Lambe y Whitman, 1969). Muntohar (2009) observó que el valor de c_v disminuye a medida que aumenta la presión efectiva, debido al cierre de poros y la disminución de la permeabilidad.

2.4.7.1.1. Interpretación del coeficiente de consolidación (c_v)

El coeficiente de consolidación se obtiene del ensayo edométrico o de consolidación unidimensional, según (ASTM D2435/D2435M-20). Los dos métodos más comunes para interpretarlo son el método logarítmico del tiempo de Casagrande y método de la raíz cuadrada del tiempo de Taylor Ambos fueron desarrollados a partir de la teoría de consolidación unidimensional de Karl Terzaghi (1923) y siguen siendo los más usados en laboratorios geotécnicos actuales.

➤ Método Logarítmico del Tiempo de Casagrande

Este método, propuesto originalmente por Casagrande y Fadum (1940), consiste en graficar el asentamiento (Δh) frente al logaritmo decimal del tiempo, utilizando la curva de asentamiento versus el logaritmo del tiempo para encontrar el tiempo necesario para el 50% de consolidación (t_{50}).

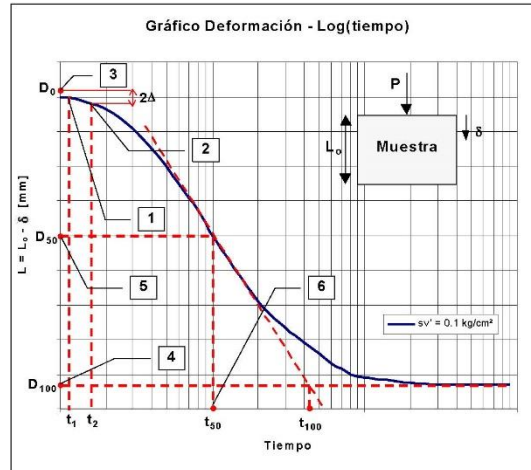


Figura 2.4. Curva Deformación versus Logaritmo Tiempo Determinación Gráfica según Casagrande de t_{50} .

Para determinar el tiempo correspondiente al 50 % de consolidación, primero se traza una línea recta que representa la consolidación secundaria. Luego, se dibuja una línea tangente en el punto de curvatura máxima de la zona de consolidación primaria. Finalmente, se traza la bisectriz entre ambas líneas, y el punto donde esta bisectriz intersecta la curva experimental indica el tiempo (t_{50}), que corresponde al 50 % del proceso de consolidación. Con el valor de t_{50} se calcula c_v con la expresión:

$$c_v = \frac{T_{50} * H_{dr}^2}{t_{50}} \quad (2.24)$$

donde:

- $T_{50} = 0.197$ (factor de tiempo para 50 % de consolidación),
- H_{dr} = espesor de la capa de drenaje efectiva (m).

➤ Método de la raíz del tiempo ($\sqrt{t}$)

Este método fue propuesto por Taylor (1948) y se basa en graficar el asentamiento frente a la raíz cuadrada del tiempo ($\sqrt{t}$), en lugar de usar el logaritmo. Se fundamenta en la teoría analítica de Terzaghi, que predice que el asentamiento varía linealmente con $\sqrt{t}$ en las primeras etapas de consolidación.

Utiliza la curva de asentamiento versus la raíz cuadrada del tiempo para encontrar el tiempo necesario para el 90% de consolidación (t_{90}).

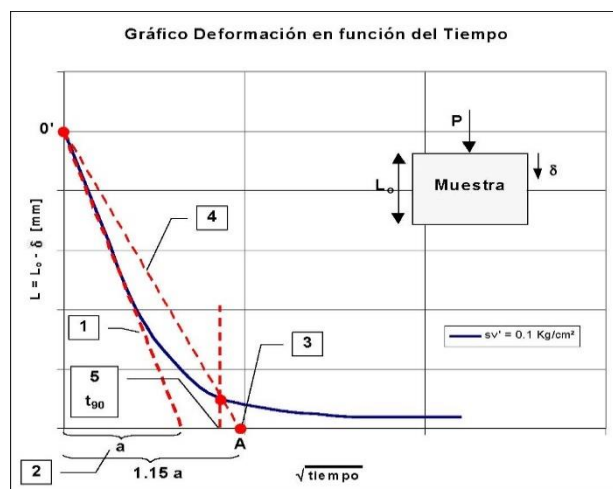


Figura 2.5. Curva Deformación Versus Raíz de Tiempo Determinación Gráfica según Taylor de t_{90} .

En la figura 2.2 nos muestra un gráfico de deformación en función del tiempo para una muestra de suelo. Se observa una curva de deformación que disminuye con el tiempo, indicando el asentamiento del suelo bajo una carga aplicada (P).

El método descrito es una técnica gráfica importante en la mecánica de suelos, diseñada para determinar la velocidad de asentamiento de la arcilla, un proceso llamado consolidación. Todo empieza con la gráfica, tomamos los datos de la deformación (Δh) y los comparamos con la raíz cuadrada del tiempo ($\sqrt{t}$). La raíz ayuda a que endereza la parte inicial del proceso de asentamiento, creando una línea recta que facilita para analizar.

El primer paso es trazar la ruta inicial, tomamos una regla y la alineamos con esa porción recta del inicio y la extendemos hasta que cruce el eje de la deformación. Esta línea representa el patrón de asentamiento más rápido.

El segundo paso es la clave para hallar el momento cumbre, el 90% de la consolidación ($U=90\%$). Para esto, trazamos una segunda línea recta que es paralela a la primera, pero está ligeramente desplazada. El factor de desplazamiento es el 1.15, esta segunda línea debe tener un valor de deformación que sea exactamente 1.15 veces el valor de la deformación de la primera línea en cualquier punto. Este factor no es arbitrario, es el secreto matemático que, según la teoría, nos garantiza que el punto donde esta segunda línea corta la curva experimental original es el instante exacto en que la muestra ha alcanzado el 90% de su asentamiento total.

Al encontrar esa intersección, leemos el valor en el eje horizontal ($\sqrt{t}$). Ese número es la raíz cuadrada del tiempo al 90% ($\sqrt{t_{90}}$). Al elevarlo al cuadrado, obtenemos el tiempo t_{90} , el dato fundamental que usa es para predecir cuánto tardará un suelo real en asentarse bajo el peso de una estructura.

La intersección de esta línea con la curva experimental permite determinar t_{90}

Con este valor, se calcula:

$$c_v = \frac{T_{90} * H_{dr}^2}{t_{90}} \quad (2.25)$$

donde $t_{90} = 0.848$ es el factor de tiempo para el 90 % de consolidación.

En la práctica ambos métodos son válidos y muchos laboratorios aplican para comparar resultados y obtener un promedio representativos.

El método log t se prefiere por su sencillez y porque está estandarizado en normas como la ASTM D2435-11, mientras que el método de la raíz del tiempo ofrece mayor exactitud en suelos de baja permeabilidad y con consolidación primaria bien definida.

La correcta interpretación del coeficiente de consolidación c_v permite estimar con precisión el tiempo de asentamiento y el comportamiento del suelo bajo carga, aspectos fundamentales en el diseño de cimentaciones sobre arcillas compresibles.

2.4.7.2. Coeficiente de Compresibilidad Volumétrica (m_v)

El coeficiente de compresibilidad volumétrica es un indicador directo de la deformación que experimentará el volumen del suelo al variar el esfuerzo efectivo es decir que representa la variación volumétrica de un suelo por unidad de incremento de esfuerzo efectivo. Se calcula a partir de los datos del ensayo de consolidación en el equipo edométrico en un intervalo de esfuerzo efectivo ($\Delta\sigma'$).

$$m_v = \frac{\Delta e}{\Delta\sigma'(1+e_0)} \quad (2.26)$$

Donde:

- Δe : Cambio en la relación de vacíos debido al cambio de esfuerzo.
- $\Delta\sigma'$: Cambio en el esfuerzo efectivo aplicado.
- e_0 : Relación de vacíos inicial.

El valor de m_v no es constante; depende del nivel de esfuerzo efectivo al que esté sometido el suelo.

➤ **Índices de Compresión (C_c) y Hinchamiento/Expansión (C_s)**

Los índices de compresión y el índice de expansión o hinchamiento son parámetros adimensionales que caracterizan la relación lineal entre la relación de vacíos (e) y el logaritmo del esfuerzo efectivo ($\log \sigma'$) en diferentes etapas del proceso de carga y descarga, respectivamente (Lambe & Whitman, 1969). Esta representación es la forma estándar de analizar la compresibilidad.

- **Índice de Compresión (C_c)**

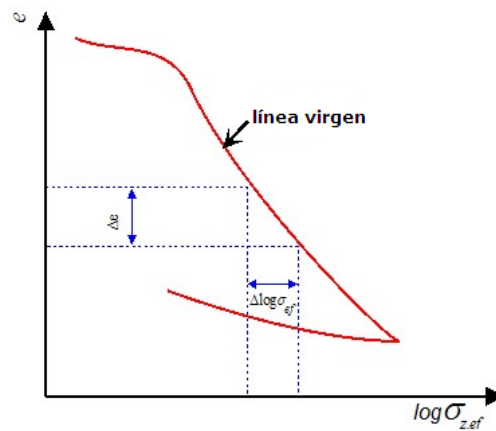


Figura 2.6. Curva de Compresibilidad utilizada para calcular el Índice de Compresión C_c (Lambe y Whitman)

Aquí tienes una imagen de alta resolución que muestra la curva de compresibilidad utilizada para calcular el índice de compresión C_c en suelos blandos. Este tipo de gráfico es fundamental en ensayos de consolidación unidimensional y suele representar la relación entre el índice de vacíos (e) y el logaritmo de la presión efectiva vertical ($\log \sigma'$), donde la pendiente en el tramo virgen define el valor de C_c .

El índice de compresión (C_c) es la pendiente de la porción virgen o normalmente consolidada representada con la siguiente ecuación:

$$C_c = \frac{(e_1 - e_2)}{(\log (\sigma'_{v2}) - \log (\sigma'_{v1}))} \quad (2.27)$$

Este índice representa la compresibilidad del suelo cuando la estructura de las partículas se está reacomodando bajo un esfuerzo nunca antes experimentado.

- Índice de Hinchamiento o Expansión (C_s)

El índice de hinchamiento o de expansión, a veces denotado como C_r (índice de recompresión), es la pendiente de la porción de descarga o recarga de la curva $e - \log \sigma'$ (Holtz & Kovacs, 1981)

Es significativamente menor que el índice de compresión C_c y refleja la compresibilidad elástica y menos destructiva de la estructura del suelo. El índice de recompresión (C_s) se determina de forma similar, pero considerando los esfuerzos dentro del rango elástico:

$$C_s = \frac{(e_i - e_f)}{(\log(\sigma'_f) - \log(\sigma'_i))} \quad (2.28)$$

Estos coeficientes son adimensionales y permiten estimar el asentamiento por consolidación primaria mediante:

$$\Delta H = \frac{C_c}{1+e_o} * H_o * \log\left(\frac{\sigma'_f}{\sigma'_o}\right) \quad (2.29)$$

donde:

- ΔH : asentamiento por consolidación (m)
- H_o : espesor inicial de la capa (m)
- σ'_o y σ'_f : esfuerzos efectivos inicial y final (kPa)

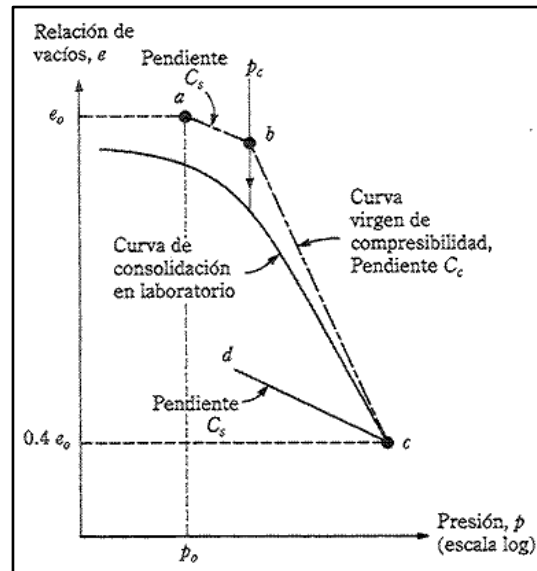


Figura 2.7. Pendientes de compresibilidad y recompresión en la relación $e - \log \sigma'$
(Lambe y Whitman)

La gráfica muestra la relación entre el índice de vacíos (e) y el logaritmo de la presión efectiva (σ'). En ella se observan dos pendientes, la pendiente del índice de hinchamiento o de expansión C_s , que representa la recompresión con pequeñas deformaciones, y el índice de compresión C_c , que corresponde a la compresión virgen del suelo con mayores deformaciones. Esta curva permite evaluar la compresibilidad del suelo y su comportamiento ante cargas.

Según Budhu (2015), los valores de C_c para arcillas blandas oscilan entre 0.2 y 1.0, mientras que para arcillas más duras o limos densos varían entre 0.05 y 0.3. Por su parte, C_s suele representar entre el 10 % y el 30 % de C_c .

Tabla 2.6: Parámetros típicos (valores orientativos)

Parámetro	Ejemplo / Rango típico	Fuente
arcillas blandas (C_v)	$10^{-9} - 10^{-7} \text{ (m}^2/\text{s)}$	Lambe & Whitman (1969).
arcillas más rígidas (C_v)	$10^{-7} - 10^{-5} \text{ (m}^2/\text{s)}$	Lambe & Whitman (1969).
índice de compresión (C_c)	0.1 – 1.0 (depende de plasticidad)	Terzaghi et al. (1996).
recompresión (C_s)	mucho menor que (C_c)	Terzaghi et al. (1996).

Fuente: Adaptado de FAO. (s.f.).

Los coeficientes de consolidación y compresibilidad son esenciales para el diseño geotécnico, pues determinan la velocidad (c_v) y magnitud (m_v , C_c , C_s) de los asentamientos. Con un correcto análisis de estos parámetros permite prever el comportamiento de estructuras apoyadas sobre suelos cohesivos, evitando fallas o deformaciones excesivas. Su interpretación debe basarse en ensayos de laboratorio confiables, complementados con análisis numéricos que consideren la heterogeneidad y el comportamiento no lineal de los suelos naturales.

2.5. Patologías Estructurales Asociadas a Asentamientos

Las patologías estructurales son los daños, fallas o deterioros que afectan la capacidad de carga o la durabilidad de una edificación. Cuando estas se asocian a asentamientos, el origen del problema no está en la estructura misma (vigas, columnas, losas), sino en la interfaz suelo-estructura, es decir, en el cimiento que se mueve de manera no uniforme. La causa principal de estos problemas es el asentamiento diferencial, donde una parte de la

estructura desciende más que otra, induciendo esfuerzos internos no previstos en el diseño (Crespo Villalaz, 2004).

Tabla 2.7: Tipos de Asentamiento y su Impacto

Tipo de Asentamiento	Definición	Consecuencia Estructural Primaria
Asentamiento Uniforme	Toda la estructura desciende la misma magnitud.	No genera tensiones internas, pero puede comprometer el acceso y los servicios.
Asentamiento Diferencial	Variación en la magnitud del descenso entre distintos puntos del cimiento	Genera grietas y fisuras, fallas por corte, torsión y flexión en elementos estructurales y no estructurales.

Fuente: Adaptado Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 2011

El asentamiento diferencial causa distorsiones angulares que es la relación entre el asentamiento diferencial y la distancia horizontal, que exceden la capacidad de la estructura para deformarse elásticamente, llevando a la rotura (Burland & Wroth, 1974).

2.5.1. Criterios de Asentamiento Tolerable

La evaluación no solo busca el asentamiento total, sino que lo compara con los límites permisibles.

2.5.1.1. Asentamiento Total Máximo (δ_{max} ó $S_{total max}$)

El asentamiento total máximo es la deformación vertical acumulada que sufre una cimentación o el suelo bajo una carga aplicada, resultado de este proceso es el asentamiento inmediato, la consolidación primaria y la consolidación secundaria. Este parámetro es esencial en el diseño geotécnico, ya que permite evaluar la estabilidad y funcionalidad de estructuras como edificios, puentes o carreteras. Un control adecuado del asentamiento es crucial para evitar fisuras, inclinaciones, pérdida de capacidad portante o incluso colapsos estructurales, garantizando así la seguridad y durabilidad de la obra. (Burland et al., 1977; Alva Hurtado, 2009).

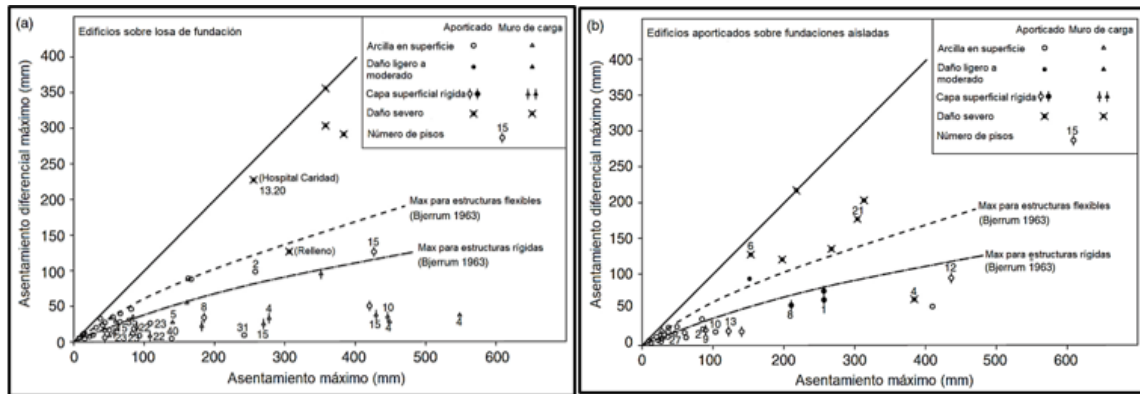


Figura 2.8. Asentamiento total y diferencial. (a) para Losa de Fundación, (b) Para Fundaciones Aisladas, zapatas continuas y cuadradas. (Skempton y MacDonald (1956) y Grant et al. (1972))

2.5.1.1.1. Método clásico de consolidación unidimensional (Terzaghi)

Sí ponemos a considerar un estrato de suelo que este saturado bajo una carga incremental, podremos estimar el asentamiento de consolidación primaria mediante la teoría clásica de consolidación unidimensional de Terzaghi utilizando la siguiente ecuación:

$$S_c = \frac{C_c}{1+e_0} \cdot H \cdot \log\left(\frac{\sigma' + \Delta\sigma}{\sigma'}\right) \quad (2.30)$$

Donde:

- C_c : Índice de compresión
- e_0 : Índice de vacíos inicial
- H : espesor drenante del estrato
- σ' : Tensión efectiva inicial
- $\Delta\sigma$: Incremento de tensión efectiva inducido por la carga

Para el asentamiento inmediato o elástico se tiene la siguiente ecuación:

$$S_i = \frac{q(1-v^2)}{E_s} \cdot I_p \quad (2.31)$$

Donde:

- q : Es la presión aplicada.
- v : Coeficiente de Poisson.
- E_s : Módulo de elasticidad del suelo.
- I_p : Factor de influencia dependiendo de la geometría de la cimentación.

Para el asentamiento secundario es la siguiente ecuación:

$$S_s = c_\alpha \cdot H \cdot \log \left(\frac{t_2}{t_1} \right) \quad (2.32)$$

Donde:

c_α : Coeficiente de compresión secundaria.

t_1 : Tiempo inicial de finalización de consolidación primaria.

t_2 : Tiempo mayor.

De manera que se tiene la siguiente ecuación del asentamiento máximo total:

$$S_{total\ max} = S_i + S_c + S_s \quad (2.30)$$

donde

- S_i : Asentamiento inmediato o elástico.
- S_c : Asentamiento por consolidación primaria
- S_s : Asentamiento por consolidación secundaria o compresión retardada

En conclusión, el valor máximo admisible del asentamiento depende del tipo de estructura, del uso previsto y de las características del suelo. A continuación, se presenta una tabla con valores típicos:

Tabla 2.8: Valores admisibles de asentamiento total según tipo de diferentes fuentes

Tipo de Estructura	Asentamiento Total Máximo (δ) Recomendado	Fuente
Cimentaciones sobre Arcilla (Típico)	25 a 30 mm	Terzaghi & Peck (1967)
Cimentaciones sobre Arena (Típico)	25 mm	Terzaghi & Peck (1967)
Silos y Chimeneas	75 a 150 mm	Tomlinson (1995)
Losa de cimentación	50 mm	Alva Hurtado (2009)

2.5.1.2. Asentamiento Diferencial Máximo (Δ máx)

El asentamiento diferencial máximo se refiere a la diferencia vertical entre dos puntos de una cimentación, por ejemplo, entre columnas adyacentes o a lo largo de un muro que experimentan distintos niveles de deformación bajo carga. A diferencia del asentamiento total que puede ser uniforme y tolerable, el asentamiento diferencial genera deformación angular o la inclinación inducida por un asentamiento no uniforme que pueden comprometer la integridad de la estructura, especialmente en elementos rígidos como muros o vigas.

El asentamiento diferencial ocurre cuando distintas partes de una estructura descienden de manera desigual, generando esfuerzos de corte y momentos que pueden superar la capacidad resistente de los materiales (Ingeniero de Caminos, 2023).

El asentamiento diferencial (Δ) se expresa comúnmente como la diferencia entre los asentamientos totales de dos puntos:

$$\Delta = S_{t2} - S_{t1} \quad (2.31)$$

Donde:

Δ : Asentamiento Diferencial.

S_{t2} : Asentamiento total.

2.5.1.3. Distorsión Angular (β):

La variable que más determina en el proceso de diseño estructural es la deformación angular o también conocida como distorsión angular (β), la cual se calcula como el cociente entre el asentamiento diferencial (Δ) y la separación horizontal (L) existente entre los puntos evaluados. Esta relación permite estimar el grado de inclinación o rotación que puede experimentar una estructura debido a asentamientos no uniformes.

$$\beta = \frac{\Delta}{L} \quad (2.32)$$

Para asegurar que una estructura funcione correctamente y conserve su estabilidad a lo largo del tiempo, las normativas geotécnicas establecen parámetros sobre cuánto puede deformarse angularmente una edificación. Esta deformación, conocida como distorsión angular, está directamente relacionada con el asentamiento diferencial máximo que puede

tolerarse sin comprometer la seguridad. Estos límites provienen de la experiencia y de estudios realizados por investigadores como Skempton, Bjerrum y Polshin & Tokar.

Tabla 2.9: Límites de Distorsión Angular

Condición y Tipo de Estructura	Distorsión Angular (β) Máxima (Límite de Δ/L)	Efectos Típicos
Límite de seguridad estructural (general)	1/150	Fisuración estructural significativa.
Marco de acero o concreto reforzado (límite de daño estructural)	1/300	Daño estructural tolerable.
Daño arquitectónico (muros de mampostería, yeso)	1/500	Grietas visibles en particiones y acabados.
Maquinaria sensible (grúas, equipos de precisión)	1/750 a 1/1000	Disfunción o falla del equipo.
Puentes con apoyos fijos	1/250	Riesgo de problemas en apoyos.

Fuente: Adaptado (Adaptado de Bjerrum, 1963; Skempton & Bjerrum, 1957)

El valor $\beta = 1/300$ es considerado el referente principal en la ingeniería aplicada, es muy utilizado para prevenir daños estructurales significativos en edificios convencionales. (Coduto, 2011).

Tabla 2.10: Criterios de Asentamiento Diferencial Admisible

Tipo de Estructura	Distorsión angular admisible (Δ/L)	Asentamiento diferencial máximo (mm)
Edificios de mampostería	1/500	20–30 mm
Estructuras de concreto	1/300	30–50 mm
Puentes y estructuras flexibles	1/150–1/250	50–100 mm

Fuente: Adaptado Coduto (2011); Poulos & Davis (1974); Geotecnia Fácil (2025)

Esta tabla resume de forma clara cómo distintos tipos de estructuras toleran el asentamiento desigual del terreno. Por ejemplo, los edificios de mampostería, que son más rígidos, solo admiten pequeñas deformaciones angulares hasta 1/500, lo que se traduce en un asentamiento máximo de unos 20 a 30 mm. En cambio, las estructuras de concreto pueden soportar un poco más 1/300, y los puentes o estructuras flexibles son los más tolerantes, con distorsiones de hasta 1/150 y asentamientos diferenciales que pueden llegar a 100 mm.

2.5.2. Manifestaciones Típicas de Fallas por Asentamiento

Las fisuras y grietas son el síntoma más evidente. Su patrón y ubicación revelan la naturaleza de la deformación que experimenta el cimiento (Crespo Villalaz, 2004; Das, 2008).

2.5.2.1. Fisuras y Grietas

Las fisuras y grietas que son provocadas por asentamientos del terreno son una de las patologías más frecuentes en edificaciones. Estas discontinuidades pueden comprometer la estabilidad estructural si no se identifican y corrigen a tiempo. El asentamiento ocurre cuando el suelo bajo una estructura se comprime o desplaza, generando esfuerzos diferenciales que se traducen en fisuras visibles.

➤ Fisuras

Una fisura puede describirse como una pequeña abertura que aparece en la superficie de elementos como el concreto, afectando sobre todo su recubrimiento o acabado. Aunque puede resultar preocupante a la vista, suele tratarse más de un daño estético o relacionado con la durabilidad del material, que de una amenaza directa para la estabilidad estructural (Difech, s.f.).

Las fisuras suelen originarse por fenómenos naturales del propio material, como la contracción al secarse o durante su etapa plástica, así como por ligeras variaciones de temperatura o por la falta de compatibilidad entre diferentes capas de materiales. En el fondo, son el resultado de tensiones superficiales que el material no logró absorber adecuadamente (HM Rubber, s.f.).

Aunque no representan un peligro estructural inmediato, sí pueden convertirse en una vía de entrada para agentes externos como la humedad, el dióxido de carbono o los cloruros, especialmente en ambientes agresivos. Esto puede desencadenar procesos de corrosión en las armaduras de acero, comprometiendo con el tiempo la durabilidad de la estructura (CIP 04-NRMCA, 2014).

Tabla 2.11: Clasificación de fisuras y grado de repercusión en la estructura

Tipo de Fisura	Ancho Típico de Abertura (e)	Nivel de Riesgo y Patología
Microfisura	$e < 0.05 \text{ mm}$	Muy Bajo. Afecta solo la apariencia. No requiere reparación urgente.
Fisura Fina	$0.05 \text{ mm} < e \leq 0.1 \text{ mm}$	Bajo. Estética y durabilidad superficial.
Fisura	$0.1 \text{ mm} < e \leq 0.2 \text{ mm}$	Bajo a Moderado. Punto de partida de la corrosión en ambientes agresivos.
Macrofisura	$0.2 \text{ mm} < e \leq 0.4 \text{ mm}$	Moderado. Requiere monitoreo. Puede indicar inicios de repercusiones estructurales o daños al refuerzo

Fuente: Sotomayor C., (2024)

Según lo establecido por el ACI 224R, el ancho de las fisuras en elementos de concreto armado debe mantenerse dentro de ciertos límites para evitar que el acero interno se deteriore. Estos valores oscilan entre 0.10 mm y 0.40 mm, y se ajustan en función del tipo de esfuerzo que soporta el elemento, ya sea flexión o tracción y también del nivel de agresividad del entorno en el que se encuentra. En esencia, se busca prevenir que agentes corrosivos lleguen al acero de refuerzo (Sotomayor C., 2024).

➤ Grieta

Una grieta se manifiesta como una abertura considerablemente amplia y profunda que puede llegar a extenderse a lo largo de todo el espesor de un componente estructural, como un muro, una viga o una losa. Su presencia revela que el material ha sido sometido a tensiones tan intensas que han superado por completo su capacidad de resistencia, provocando una fractura significativa.

Las grietas suelen estar vinculadas a problemas de tipo mecánico o estructural que afectan directamente la estabilidad de una edificación. Entre las causas más comunes se encuentran los asentamientos desiguales del terreno, sobre cargas imprevistas, fallos por esfuerzos de corte o compresión, e incluso la corrosión avanzada del acero de refuerzo que debilita el interior del elemento (ACI 201.2R., 2016).

Tabla 2.12: Clasificación de grietas y grado de repercusión en la estructura

Tipo de Grieta	Ancho Típico de Abertura (e)	Nivel de Riesgo y Patología
Grieta	$0.4\text{ mm} < e \leq 1.0\text{ mm}$	Alto. Potencial reducción de la capacidad sismorresistente. El monolitismo y la rigidez están comprometidos
Grieta Estructural	$e > 1.0\text{ mm}$	Muy Alto. Puede indicar fallas graves en la cimentación o sobrecargas excesivas. A menudo requiere inyección para restituir la continuidad
Rajadura (Uso no normativo, pero común)	$e > 1.5\text{ mm}$	Máximo nivel de riesgo, asociado a fallas evidentes en cimientos o movimientos críticos

Fuente: Adaptado, Sotomayor C., (2024); Toirac Corral, J. (2004)

Desde el punto de vista técnico, estas grietas representan un riesgo elevado. No solo reducen la rigidez del elemento, sino que también disminuyen su capacidad para soportar cargas y comprometen su comportamiento ante movimientos sísmicos. Por ello, es fundamental realizar un estudio detallado de vulnerabilidad estructural que permita entender el alcance del daño y definir las medidas correctivas necesarias (Sotomayor C., 2024; Difech, s.f.)

2.5.3. Patologías asociadas a suelos de cimentación

Durante el diseño estructural se consideran ciertas deformaciones menores como parte del comportamiento esperado del sistema. No obstante, factores externos como la variación en la humedad del suelo pueden alterar sus propiedades mecánicas, generando asentamientos diferenciales entre los puntos de apoyo. Este fenómeno se ilustra en la Figura (FOPAE & AIS, 2011).

En la Figura 2.8. nos muestra la aparición de fisuras ocasionadas por asentamientos diferenciales en los puntos de apoyo de la estructura, donde las distintas partes de la cimentación se desplazan de manera desigual, generando esfuerzos internos que provocan la apertura de grietas.

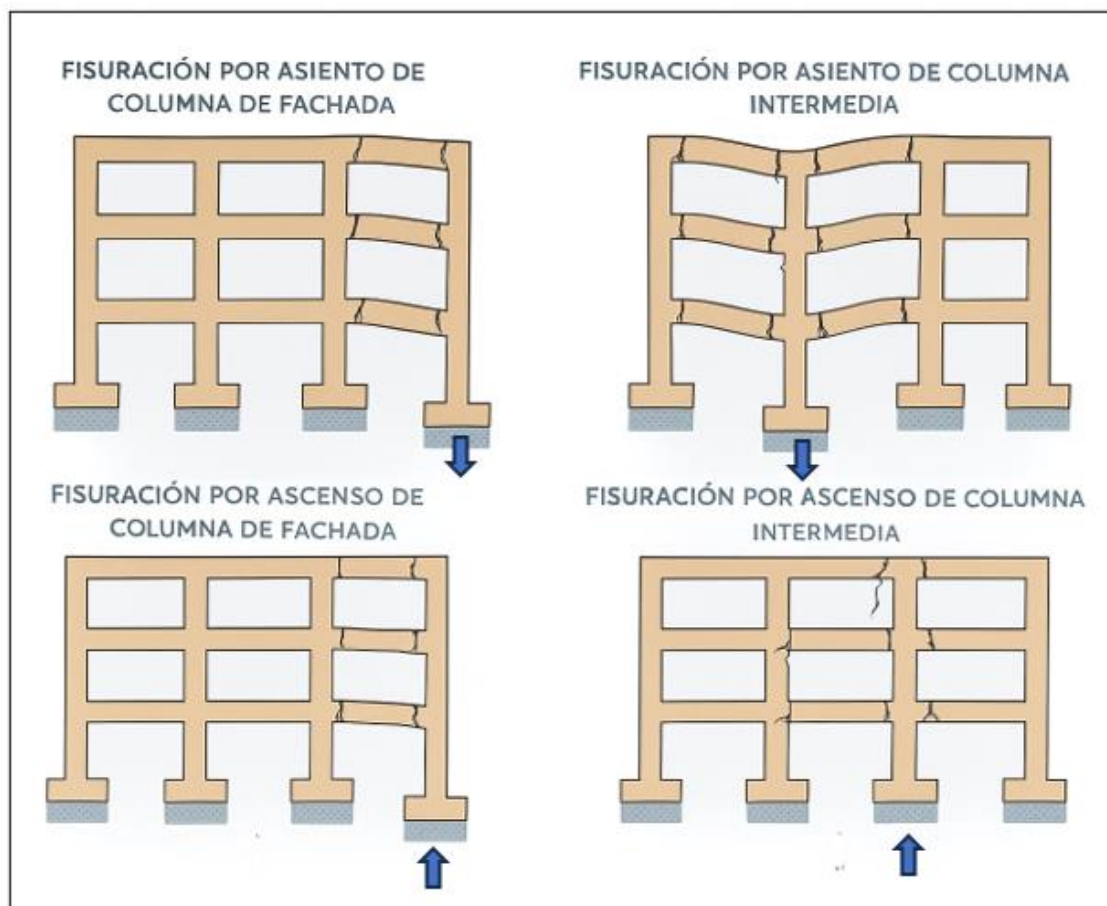


Figura 2.9. Fisuraciones por asentamientos relativos en los apoyos. (fuente: de Guía de patologías constructivas, estructurales y no estructurales).

La forma en que una edificación responde ante asentamientos diferenciales está determinada por su rigidez estructural, la geometría del sistema y los materiales empleados en su construcción. En estructuras compuestas por pórticos de hormigón con uniones rígidas, estos asentamientos inducen una redistribución interna de esfuerzos que puede provocar la formación de rótulas plásticas en los nodos, deformaciones por flexión en las vigas y un incremento de la carga axial en las columnas directamente afectadas por el desplazamiento del terreno. (F. López et al., 2004; El Naggar et al., 2023b; Desbrousses & Lin, 2021).

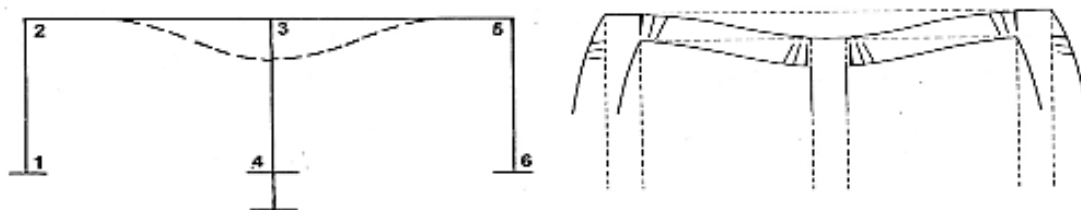


Figura 2.10. Distribución de esfuerzos por asentamiento de columna 3-4. Fuente: (F. López et al., 2004)

La Figura 2.9. evidencia la aparición de momentos negativos en los nodos 2 y 5 como consecuencia directa del asentamiento de la columna 4. Al mismo tiempo, en el nodo 3 se desarrolla una curvatura con concavidad superior, asociada a la generación de momentos positivos (F. López et al., 2004).

Los asentamientos diferenciales generan esfuerzos de flexión y cortante que pueden provocar fisuras en los elementos estructurales. En particular, las vigas experimentan un cambio en el signo de los momentos en el nodo correspondiente a la columna que se desplaza verticalmente (El Naggar et al., 2023b).

La manera en que se redistribuyen los esfuerzos dentro de una estructura aporticada está condicionada por su configuración geométrica y por el punto específico donde ocurre el asentamiento. Investigaciones recientes señalan que los daños más críticos tienden a concentrarse en el nivel más próximo a la cimentación, especialmente en las conexiones y vigas adyacentes a la columna afectada. (Desbrousses & Lin, 2021)

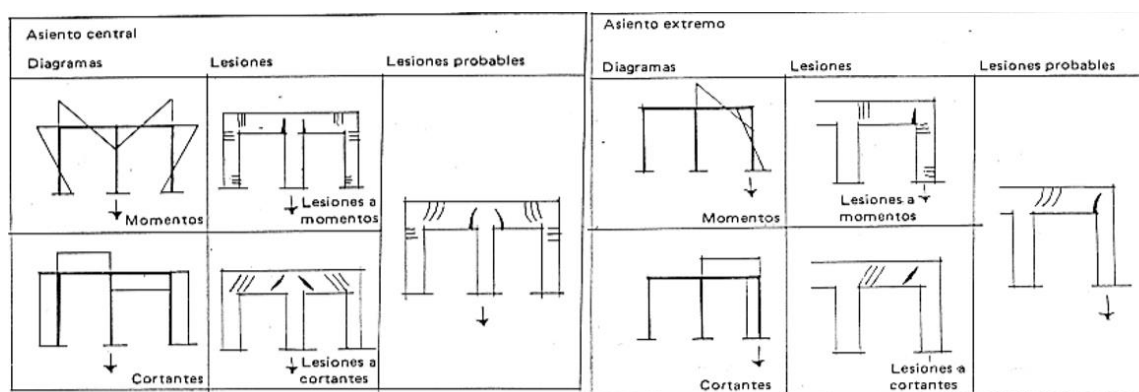


Figura 2.11. Esfuerzos adicionales por asentamientos de cimentaciones. (F. López et al., 2004)

En la Figura 2.10 ilustra distintas configuraciones en la distribución de los daños estructurales, según el lugar específico donde se produce el asentamiento. Este fenómeno puede interpretarse como una carga de tracción orientada hacia abajo, que altera el equilibrio interno del sistema.

2.5.3.1. Evaluación del sistema porticado como unidad estructural

Para comprender mejor cómo se forman las grietas en las edificaciones, es útil representar el problema a través de un marco estructural. Este marco se define como un espacio limitado por columnas en sentido vertical y vigas en sentido horizontal, lo que permite analizar de forma más precisa cómo se comporta la estructura ante distintos tipos de esfuerzos (López et al., 2004)

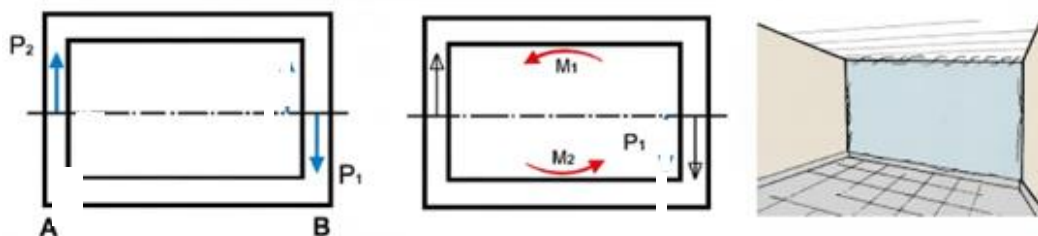


Figura 2.12. Deformación de los marcos. Fuente: (F. López et al., 2004)

La Figura 2.11 muestra cómo un asentamiento en una columna genera fuerzas y momentos que provocan giros en el marco. Esto se refleja en grietas con forma de “S” cerca del techo, evidenciando la deformación estructural (F. López et al., 2004).

2.5.3.1.1. Grietas en las esquinas de las edificaciones

Las grietas en las esquinas de los edificios varían en forma e inclinación según su distancia al punto de origen. Comienzan horizontales en la base y se transforman en fisuras verticales hacia el centro, formando un patrón radial que refleja cómo se distribuyen los esfuerzos en la estructura (López et al., 2004). Tal como se muestra en la figura 2.12.

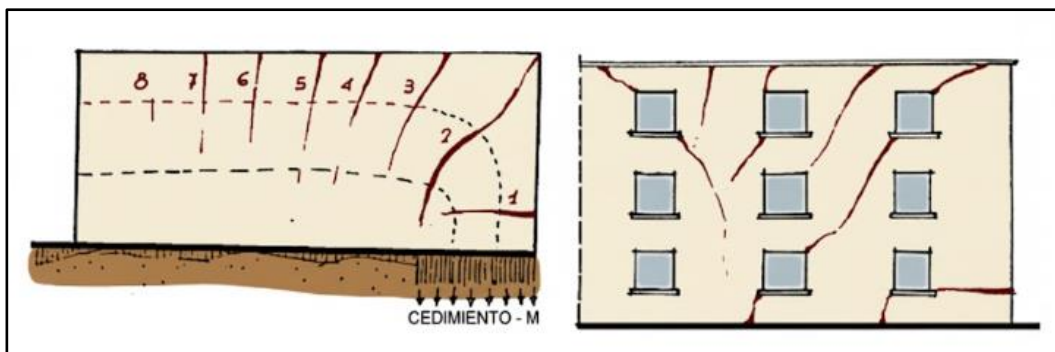


Figura 2.13. Fenómeno de agrietamientos por asentamientos en esquinas. Fuente:(López et al., 2004)

Una característica relevante es que las grietas tienden a desarrollarse dentro del mismo plano donde ocurre el asentamiento. Además, la presencia de vacíos o aberturas influye en su forma, provocando un mayor ensanchamiento en las esquinas de dichas zonas (López et al., 2004).

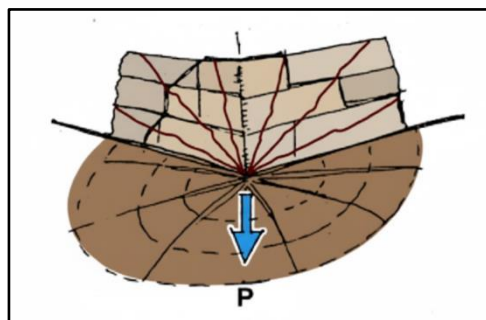


Figura 2.14. Asentamiento en esquina debido a una carga puntual. (López et al., 2004)

Cuando el asentamiento se origina por una carga puntual aplicada en una esquina, así como se muestra en la Figura 2.13. se generan líneas isostáticas de compresión con disposición radial, lo que da lugar a distintos planos de fractura. Las fisuras más amplias suelen coincidir con el plano más próximo al punto de aplicación de la carga, lo que permite identificar esta patología en edificaciones afectadas (López et al., 2004).

2.5.3.1.2. Grietas inclinadas

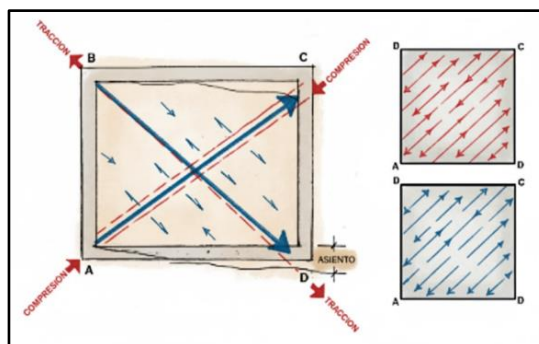


Figura 2.15. Esfuerzos en grietas inclinadas (López et al., 2004)

En la figura 2.14 muestra cuando se produce un asentamiento en una esquina del marco, se generan fuerzas que lo halan en esa dirección. Esto provoca tensiones y compresiones en distintas zonas, dando lugar a fisuras diagonales. Las fibras cercanas a estas grietas se comprimen o se tensan según su orientación, lo que permite visualizar cómo se deforma la estructura (López et al., 2004).

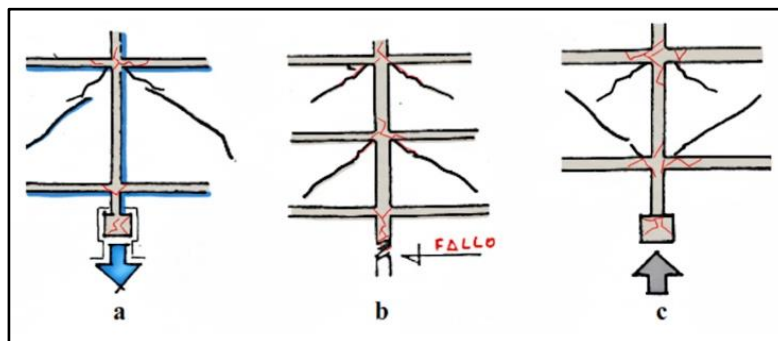


Figura 2.16. Grietas inclinadas por diferentes casos de asentamientos. (López et al., 2004)

Las grietas en el marco estructural surgen cuando los materiales no resisten los esfuerzos de tracción, provocando su rotura. Estas fisuras suelen aparecer en la línea donde se concentra la mayor compresión isostática (López et al., 2004). Al analizar cómo se distribuyen estos esfuerzos dentro del marco, es posible identificar el origen de ciertas patologías estructurales, como asentamientos por falla en zapatas o columnas, o incluso

levantamientos causados por la expansión del suelo, tal como se ilustra en la figura 2.15

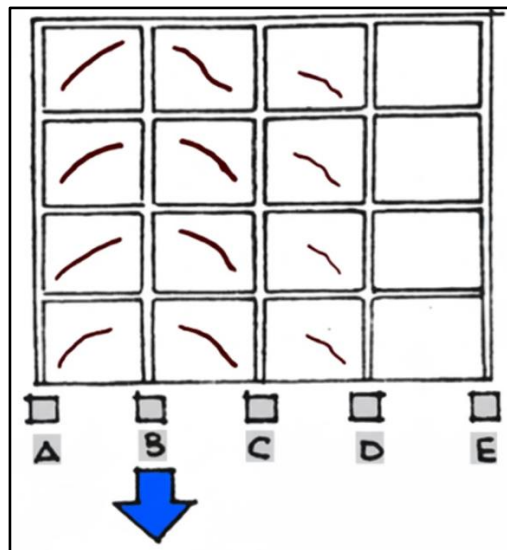


Figura 2.17. Agrietamientos por cedencia del elemento B. (López et al., 2004)

En estructuras de varios niveles, como la mostrada en la figura 2.16. el asentamiento del elemento B provoca la aparición de grietas inclinadas a ambos lados de dicho componente. Además, este tipo de deformación puede generar fisuras adicionales en los pórticos cercanos, conocidas como fisuras secundarias (López et al., 2004).

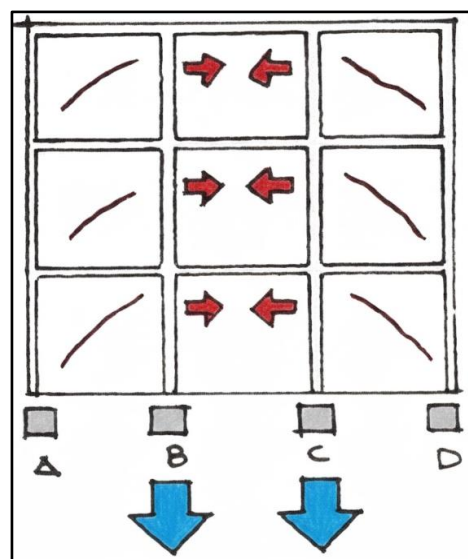


Figura 2.18. Agrietamientos por cedencia de dos elementos centrales contiguos. (López et al., 2004)

Cuando dos elementos centrales contiguos de una estructura se asientan mientras los demás permanecen estables, las grietas tienden a formarse en los pórticos laterales, adoptando trayectorias curvas o en forma de parábola. En cambio, el marco ubicado entre los elementos que se asientan no presenta fisuras, ya que en esa zona los esfuerzos de compresión se equilibran entre sí y no se generan tensiones significativas. Esta condición se ilustra en la figura 2.17.(López et al., 2004).

2.5.3.1.3. Grietas en elementos con vacíos

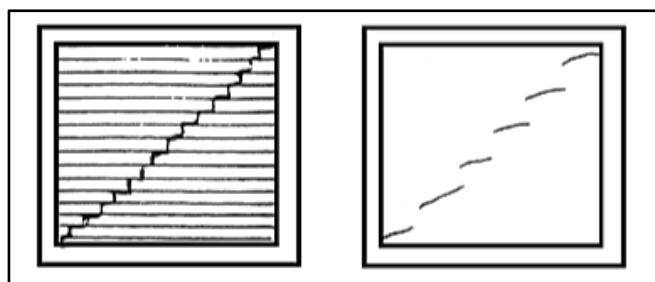


Figura 2.19. Distorsión por huecos en pórticos. (Fathy et al., 2024)

Cuando los pórticos presentan vacíos, como ventanas o puertas, los esfuerzos de tracción tienden a concentrarse en las esquinas de esas aberturas. Es en esas zonas donde suelen aparecer las grietas, tal como se muestra en la figura 2.18. (Fathy et al., 2024).

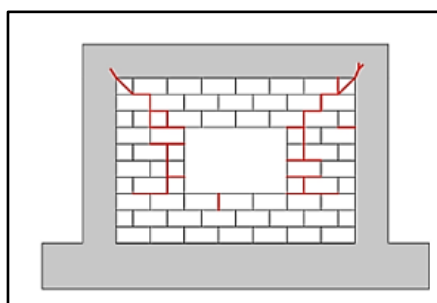


Figura 2.20. Grietas en mampostería. (López et al., 2004)

En la figura 2.19 nos muestra que en los muros de mampostería, las grietas inclinadas suelen aparecer de forma escalonada, siguiendo el recorrido de las juntas entre el mortero y los bloques o ladrillos. Esto ocurre porque el mortero, que actúa como elemento de unión, generalmente presenta menor resistencia que las piezas que conecta. Por esa razón, las

fisuras tienden a desarrollarse a lo largo de estas juntas, que representan los puntos más débiles del sistema.

2.5.3.1.4. Grietas en muros con asentamientos diferenciales

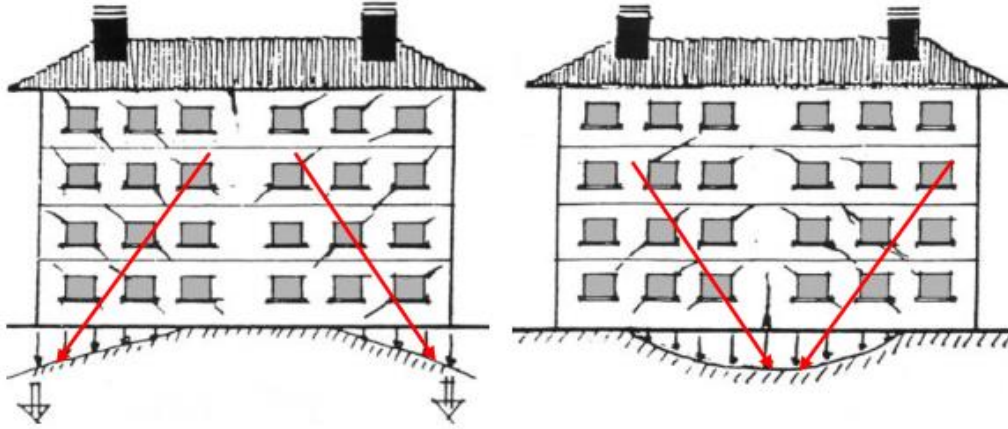


Figura 2.21. Esquema de agrietamientos por asentamiento en esquinas y en zona central de edificio (López et al., 2004)

Cuando se producen asentamientos en las esquinas de un muro y el centro permanece fijo, las grietas tienden a distribuirse en forma radial, siguiendo las líneas de compresión. En cambio, si el centro se asienta y las esquinas se mantienen estables, las fisuras diagonales aparecen en dirección opuesta, y en el centro se forma una grieta por compresión. La orientación de las grietas cambia según el punto donde se origina el movimiento (López et al., 2004).

2.5.3.1.5. Volteo en edificaciones

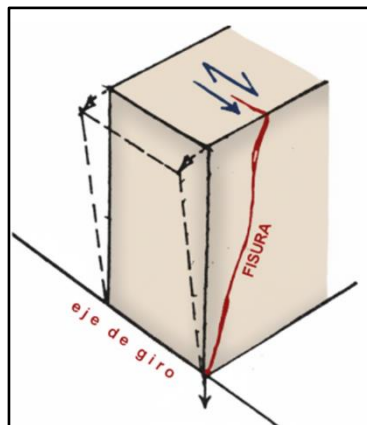


Figura 2.22. Esquema de agrietamientos por giros. (F. López et al., 2004)

El volteo ocurre en estructuras esbeltas cuando los cimientos se hunden de forma desigual, provocando un giro vertical que genera fisuras por tracción en los muros cercanos (López et al., 2004).

2.5.3.1.6. Grietas por suelos expansivos en estructuras livianas

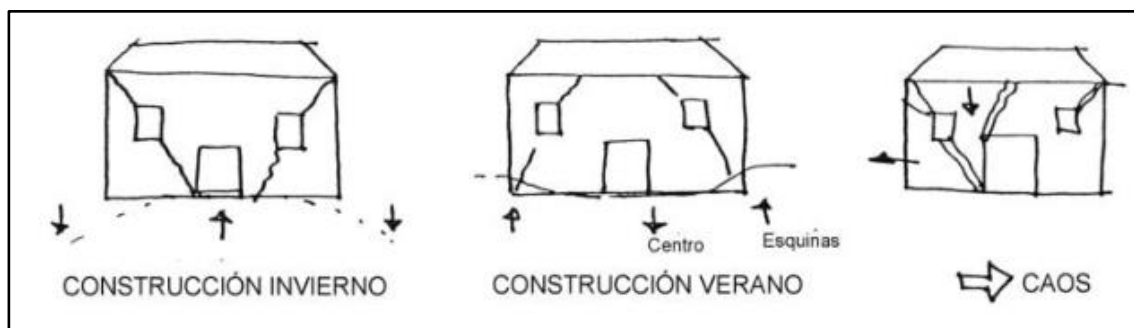


Figura 2.23. Daños por suelos expansivos. (F. López et al., 2004)

Cuando el suelo se expande, puede levantar ciertas zonas de la cimentación mientras otras permanecen más bajas, generando un comportamiento similar al de los asentamientos diferenciales. La diferencia está en que los puntos “fijos” se encuentran a un nivel inferior respecto a las áreas elevadas. Esta variación provoca tensiones en la estructura y da lugar a grietas inclinadas, como se muestra en la figura 2.22. (F. López et al., 2004).

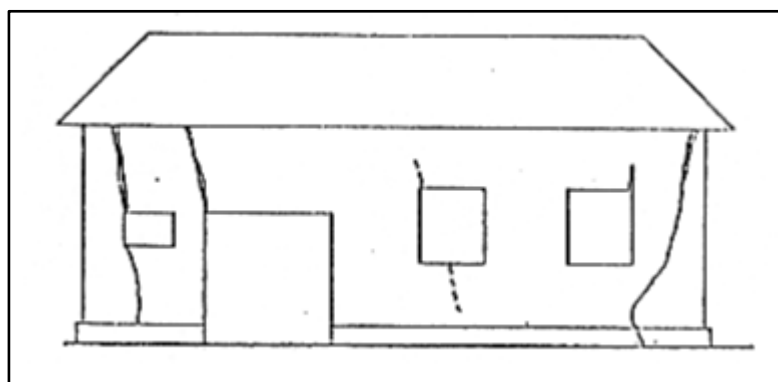


Figura 2.24. Daños por empujes horizontales de suelos expansivos. Fuente: (F. López et al., 2004).

Como se muestra en la figura 2.23, los efectos que provocan los suelos expansivos pueden parecerse mucho a los que generan los asentamientos diferenciales. Por eso, es clave observar con atención si las zonas afectadas han bajado, subido o se han mantenido en su nivel original. Esta diferencia ayuda a entender el origen del problema. Además, cuando el suelo se expande, no solo empuja hacia arriba, también puede ejercer presión horizontal sobre los muros, lo que complica aún más el comportamiento estructural (Day, 2011; F. López et al., 2004).

Los ejemplos de grietas que se han presentado pueden servir como guía para identificar daños por asentamientos. Sin embargo, no todas las fisuras inclinadas tienen el mismo origen. En construcciones antiguas, por ejemplo, pueden deberse a la retracción térmica cerca de los techos, o al pandeo de columnas y fachadas por falta de refuerzo o por cargas mal distribuidas. Para confirmar que se trata de asentamientos diferenciales, es necesario ir más allá de la observación visual y realizar estudios geotécnicos que permitan evaluar si el suelo tiene la capacidad suficiente para soportar las cargas, o si ha sido afectado por otros factores como construcciones vecinas, pérdida de humedad o cambios en el estrato

3. Marco metodológico

3.1. Ubicación del caso del estudio

El departamento de Chuquisaca, ubicado en el sur de Bolivia, presenta una notable diversidad en tipología de suelos esto debido a su variada topografía, altitud y condiciones climáticas. Esta heterogeneidad se refleja también en la ciudad de Sucre, donde los suelos juegan un papel crucial en el desarrollo urbano.

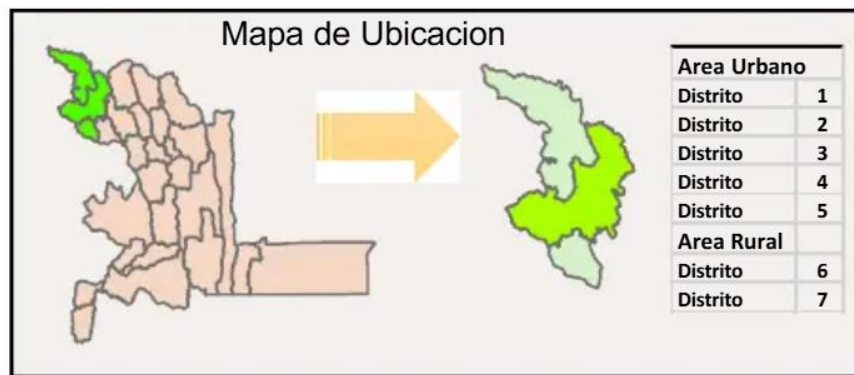


Figura 3.1. Distribución territorial del área en Sucre (All Rights Reserved)

La ciudad de Sucre, se encuentra en una región geológicamente compleja, lo que representa un desafío constante para el desarrollo de obras de ingeniería civil. En este contexto, la geotecnia local se enfoca en trabajar con materiales que presentan una alta sensibilidad a fenómenos como la inestabilidad y los cambios de volumen de los suelos.

En la figura 3.1. nos indica como es la división territorial del área de la ciudad de Sucre, diferenciando claramente los distritos urbanos (1 al 5) y rurales (6 y 7). La zona resaltada en verde nos indica el área de interés en la que está ubicado el área de estudio.



Figura 3.2. Centro de Investigación e Innovación Agrotecnológica “La Barranca”

El Centro de Investigación e Innovación Agrotecnológica “La Barranca” se encuentra en la comunidad de Llinfi, aproximadamente a 14 kilómetros del centro urbano de Sucre. Está situado dentro del cantón San Sebastián, perteneciente al municipio de Sucre, en el distrito 6 de la provincia Oropeza, departamento de Chuquisaca.

Este estudio se enfoca en comprender cómo se comporta el suelo que sostiene al edificio “La Barranca”, a partir de una evaluación integral que combina observación directa, ensayos geotécnicos y geofísicos, y modelación numérica. El objetivo es identificar las causas de los asentamientos diferenciales que afecta a la edificación y proponer soluciones fundamentadas.

La metodología sigue un ciclo estructurado en tres fases primero, se reconoce el fenómeno mediante inspección visual. Luego, se realiza una investigación de campo y laboratorio con ensayos SPT y geofísicos y finalmente, se interpretan los datos a través de simulaciones numéricas que permiten correlacionar las fallas observadas con las condiciones del terreno.

El enfoque es aplicado de manera cuantitativa y explicativa, orientado a describir las características geotécnicas del suelo y a explicar el mecanismo que origina la deformación estructural. En resumen, el estudio se centra en el volumen de suelo directamente influenciado por las cargas del edificio, con el fin de entender su comportamiento y garantizar la estabilidad de la infraestructura a través de medidas correctivas fundamentadas en evidencia técnica.

3.2. Metodología Aplicada

3.2.1. Inspección Visual de la Estructura

La inspección visual es el primer paso y muchas veces el más revelador en el diagnóstico de patologías estructurales. En el caso del edificio “La Barranca”, construido a principios del año 2014 en la ciudad de Sucre, esta técnica adquiere especial relevancia debido a los asentamientos diferenciales que han comenzado a manifestarse en su estructura.

Este tipo de inspección no se limita a observar grietas o fisuras superficiales. Implica una lectura técnica del comportamiento del edificio en su entorno, así como la manera como se deforman los elementos, qué patrones siguen las fallas, qué zonas concentran esfuerzos, y cómo interactúan las cimentaciones con el suelo que las sostiene. En estructuras jóvenes como “La Barranca”, que aún se encuentran dentro de su ciclo de vida útil, la aparición de asentamientos puede indicar una incompatibilidad entre el diseño estructural y las condiciones reales del terreno.

La inspección visual, cuando se realiza de forma sistemática, nos permite establecer hipótesis preliminares sobre el origen de las fallas. Por ejemplo, fisuras verticales en muros portantes podrían sugerir asentamientos localizados, mientras que grietas diagonales en esquinas podrían indicar torsión o pérdida de rigidez.

En el caso de “La Barranca”, esta lectura inicial será clave para entender cómo el suelo ha respondido a las cargas impuestas desde 2014, y qué medidas correctivas pueden garantizar su estabilidad futura.

3.2.1.1. Clasificación de grietas

Para el análisis de la inspección visual según Audell proporciona un sistema o pasos para la clasificación de las grietas

3.2.1.1.1. Nomenclatura

Se utiliza un sistema de codificación secuencial para clasificar las grietas según sus características, lo que permite identificar rápidamente los patrones de movimiento de la estructura.

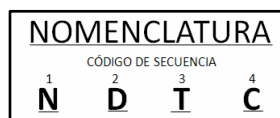


Tabla 1. Clasificación de discontinuidades según su separación.

Separación de discontinuidades	
Clasificación	Separación (mm)
Cerrado	0
Muy estrecho	0 - 0.5
Estrecho	0.5 - 1.0
Amplio	1.0 - 5.0
Muy amplio	> 5.0

Fuente: (Juan C. Vivesca., 2010).

Tabla 2. Clasificación de discontinuidades según su textura.

Textura Superficial	
Clasificación	Descripción
Muy Suave	No se detectan asperezas ni a la vista ni al tacto
Suave	No se detectan asperezas ni a la vista ni al tacto
Rugoso	Las asperezas son claramente visibles y se siente abrasivo
Muy rugoso	Las asperezas son claramente visibles y se siente abrasivo

Fuente: (Juan C. Vivesca., 2010).

Para la clasificación se hace una lectura secuencial:

1. Sentido del movimiento del suelo

Las grietas suelen aparecer como resultado de distintos tipos de movimientos del suelo: hundimientos verticales (**N**), expansiones hacia arriba (**R**), desplazamientos laterales por deslizamientos o flujos, otorgando la componente lateral u horizontal (**P**), y movimientos combinados provocados por sismos (**S**). (Juan C. Vivesca., 2010).

2. Orientación de la grieta

➤ **Muros:**

La orientación de las grietas en los muros se clasifica según su dirección: verticales (**V**) cuando son perpendiculares a la cimentación, diagonales (**D**) en esquinas del muro con algún ángulo respecto a la cimentación, y horizontales (**H**) cuando siguen el trazo paralelo a la cimentación. Esta clasificación ayuda a interpretar el tipo de movimiento estructural que las genera.

➤ **Losas de piso:**

Las grietas en losas de piso se clasifican según su forma y ubicación: las paralelas (**P**) aparecen en los bordes siguiendo la línea de cimentación, las oblicuas (**O**) se trazan en ángulo en los extremos, y las radiales (**R**) surgen en el centro, dispersándose como un domo. Esta lectura ayuda a entender el tipo de esfuerzo que afecta la losa. (Juan C. Vivesca., 2010).

En las tablas 3, 4 y 5 estas tablas que nos proporciona Audell (1996) para mejor comprensión y entendimiento.

Tabla 3. Dirección de propagación en muros.

Dirección de Propagación para Muros	
Clasificación	Descripción
Descendente	Hacia el piso
Ascendente	Hacia el techo
Lateral	Recorre todo el muro de forma vertical
Paralela	Recorre todo el muro de forma horizontal

Fuente: (Juan C. Vivesca., 2010).

Tabla 4. Dirección de propagación en Pisos.

Dirección de Propagación para Pisos	
Clasificación	Descripción
Interno	Propagación hacia el interior del piso
Externo	Propagación hacia el exterior del piso
Paralelo	Propagación que recorre toda la extensión del piso

Fuente: (Juan C. Vivesca., 2010).

3. Tipo de esfuerzo

Las grietas reflejan distintos tipos de esfuerzo según la presión que recibe una estructura. Las de tensión (T) suelen mostrar aperturas visibles; las de cortante (S) son

más estrechas y presentan desplazamientos laterales; mientras que las de compresión (C) se caracterizan por estar cerradas y mostrar abultamientos en la superficie. (Juan C. Vivesca., 2010).

4. Tipo de rasgo o discontinuidad

Sí mide 5 mm o menos, se considera una fisura (G); si supera ese valor, se clasifica como grieta (C). A lo largo del estudio, estas categorías se utilizarán para interpretar los movimientos del suelo y su impacto en las estructuras.

3.2.1.2. Otros tipos de clasificaciones

3.2.1.2.1 Tendencia de la discontinuidad

Las grietas suelen seguir patrones que ayudan a reconocer el tipo de esfuerzo que las originó. A continuación, se presenta una tabla con las distintas formas en que estas tendencias se manifiestan. Las siguientes tablas 5, 6 y 7 son adaptaciones según Audell, (1996).

Tabla 5. Tendencia de la discontinuidad.

Tendencia de la Discontinuidad	
Clasificación	Descripción
Lineal	Tendencia con ausencia de curvas
Moderadamente lineal	Curvatura prácticamente imperceptible
Moderadamente curvilínea	Tendencia de curvatura en los extremos de la discontinuidad
Curvilínea	Ausencia de secciones rectas
Irregular	Tendencia errática y bifurcada

Fuente: (Juan C. Vivesca., 2010).

3.2.1.2.2. Probabilidad de aparición

La probabilidad de aparición se refiere al estudio de la zona afectada y de las causas que originan las discontinuidades. Este análisis permite determinar si el daño es frecuente, por la intensidad del movimiento, cuando la fisura o grieta no corresponde a lo esperado en ese contexto. (Juan C. Vivesca., 2010).

Tabla 6. Probabilidad de aparición.

Probabilidad de Aparición	
Clasificación	Descripción
Común	Aparición frecuente
Raro	Aparición poco frecuente

Fuente: (Juan C. Vivesca., 2010).

3.2.1.2.3. Probabilidad de aparición

El grado de discontinuidad indica el nivel de daño que presenta una edificación, considerando la cantidad de grietas en relación con la superficie total de muros o losas de piso. Este concepto se detalla en el cuadro siguiente para facilitar su interpretación.

Tabla 7: Grado de discontinuidad.

Grado de Discontinuidad	
Clasificación	Descripción
General	>7.62 m por cada 9.29 m ²
Moderado	4.57 m a 7.62 m por cada 9.29 m ²
Ocasional	3.05 m a 4.57 m por cada 9.29 m ²
Particular	<3.05 m por cada 9.29 m ²

Fuente: (Juan C. Vivesca., 2010).

Antes de realizar una visita técnica, es importante revisar con anticipación los recursos necesarios para analizar las discontinuidades. Contar con los instrumentos adecuados y formatos de apoyo facilita la recolección precisa de datos y mediciones clave, lo que contribuye a comprender mejor el origen de los movimientos observados en la estructura. Para evaluar correctamente las discontinuidades en una estructura, es fundamental contar con herramientas sencillas pero confiables. La cámara fotográfica es una aliada clave, nos permite capturar el estado de muros y losas en un instante preciso, aunque las fisuras muy delgadas pueden requerir mayor cuidado al fotografiar. El flexómetro, idealmente de más de ocho metros, no solo ayuda a medir áreas afectadas, sino que también sirve como escala visual en las imágenes. El pie de rey, sobre todo en su versión electrónica, permite medir con gran precisión el grosor de las grietas, aunque en algunos casos puede sustituirse por

tarjetas ranuradas, que agilizan la lectura. Y por supuesto, no hay que olvidar los materiales para tomar apuntes: lápices, lapiceros de colores, hojas y una tabla de apoyo son esenciales para registrar cada detalle sin dejar nada al azar durante la visita.

Para cada inspección visual del caso de estudio Bloque 4 de La Barranca, se completó una tabla de inspección, disponible en el Anexo A.

Para la inspección, localización y mejor interpretación se tiene el plano de cimentaciones y los cortes longitudinales de la estructura seleccionándose especialmente el bloque 4 como unidad de análisis.

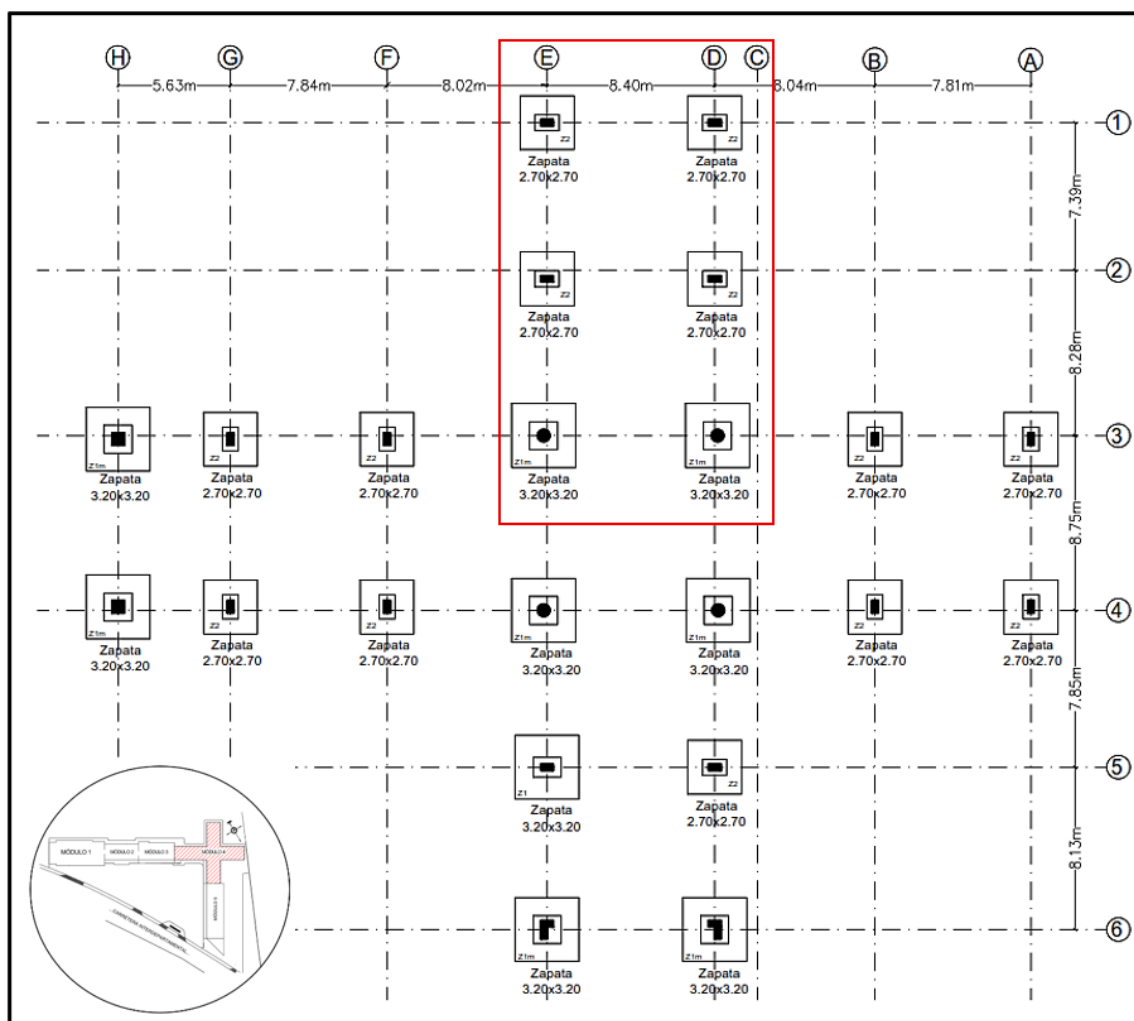


Figura 3.3. Planos de cimentación

La figura 3.3 muestra la planta de cimentaciones del bloque elegido, donde se aprecia la distribución ordenada de las zapatas aisladas dentro de una retícula estructural definida por ejes verticales rotulados de la A a la H y ejes horizontales del 1 al 6. Cada punto de cruce

entre ejes donde existe una columna está asociado a una zapata cuadrada, cuyas dimensiones se indican directamente en el dibujo. Predominan las zapatas de 2.70×2.70 m, destinadas a columnas con cargas moderadas, y las de 3.20×3.20 m, ubicadas en posiciones donde la demanda estructural o las condiciones del terreno requieren un área mayor para asegurar una adecuada capacidad portante. Las distancias entre ejes, que varían entre aproximadamente 5.63 m y 8.40 m, muestran que el Bloque 4 posee una modulación amplia y relativamente regular, característica de una edificación destinada a laboratorios, oficinas técnicas o áreas funcionales del centro de innovación.

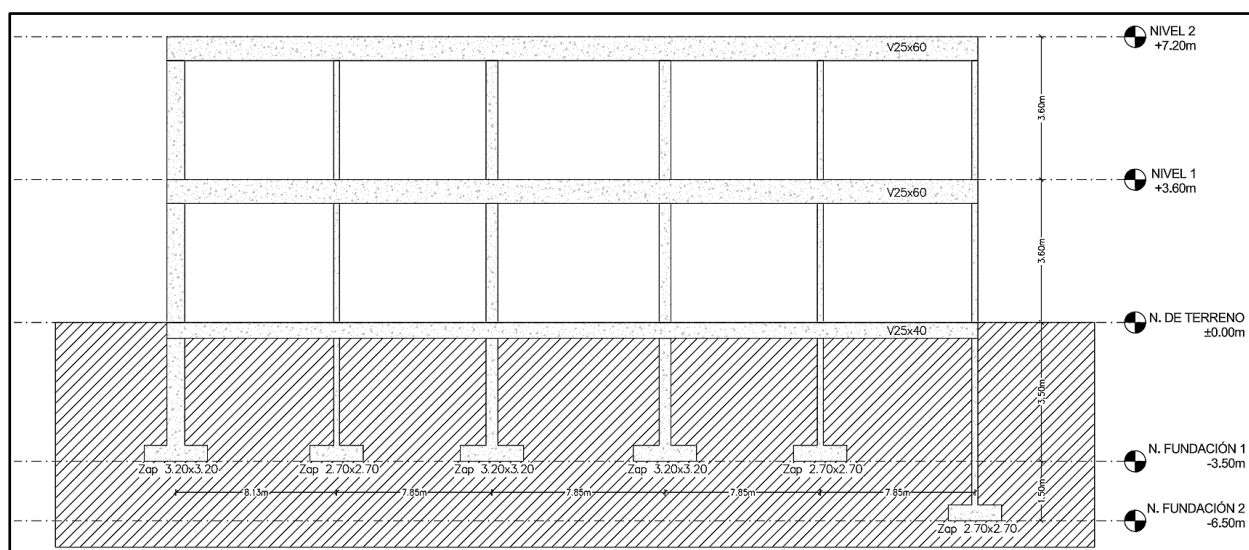
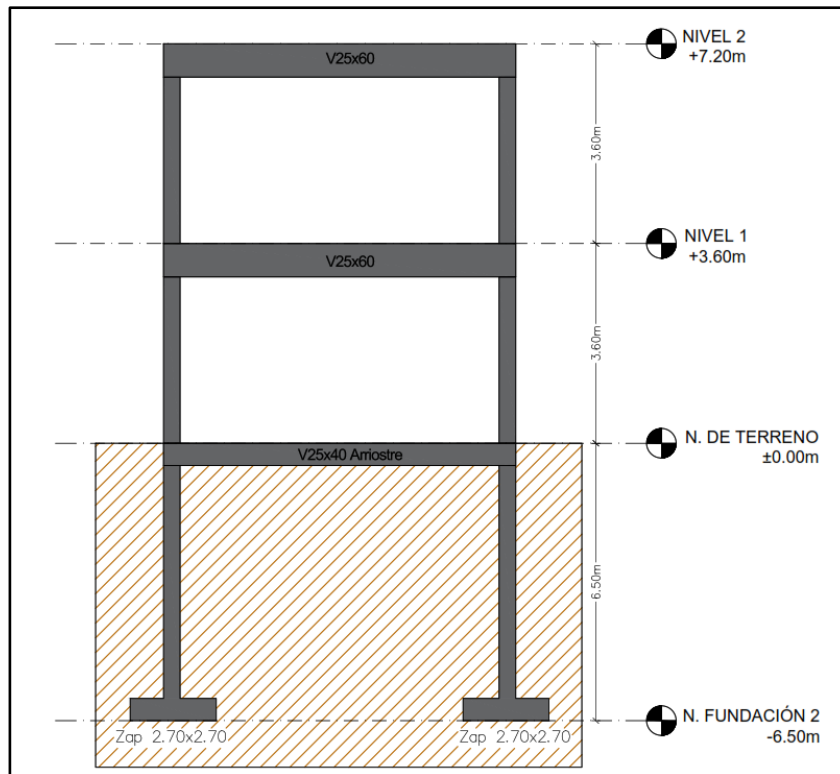


Figura 3.4. Corte Longitudinal

La figuras 3.4 y la figura 3.5 complementa esta información mediante un corte longitudinal y transversal del mismo bloque, donde se observa la estructura superior conformada por pórticos de hormigón armado.



El bloque presenta dos niveles elevados ubicados a las cotas **+3.60 m** y **+7.20 m**, definidos por vigas de 25×60 cm que conectan las columnas verticales, generando alturas libres de 3.60 m entre niveles. Bajo el terreno natural, identificado en la cota **0.00 m**, se representa el estrato de suelo que envuelve la cimentación y define los niveles de excavación. Se distinguen los niveles de fundación **-3.50 m** y **-6.50 m**, el último de los cuales corresponde a la profundidad a la que se encuentran las zapatas aisladas del Bloque 4.

Inspección visual

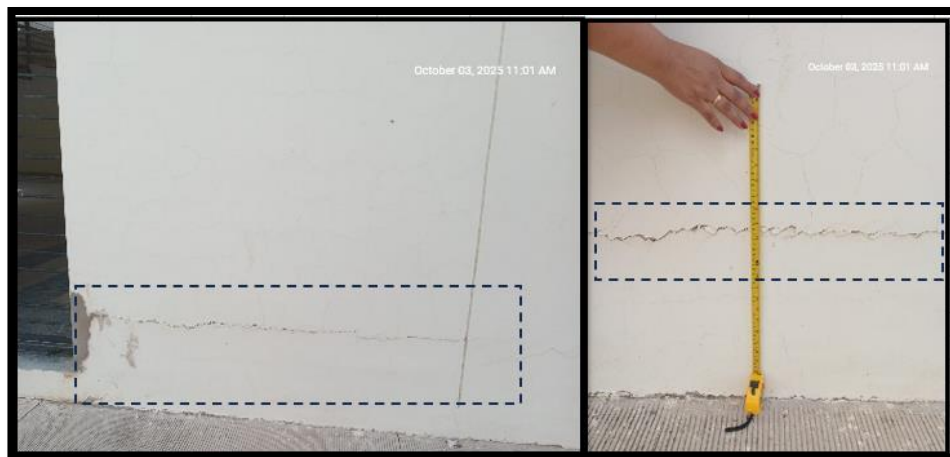


Figura 3.3. Muro externo Planta Baja Eje: D3-D4

La grieta de 1.1 mm en el muro exterior se clasifica como amplia (C) y horizontal (H), lo que sugiere que está relacionada con movimientos laterales del terreno o esfuerzos de tensión. Su forma lineal y ubicación indican que el daño es visible pero no crítico, aunque debe ser monitoreado. Si no hay otras grietas similares en la zona, se considera una discontinuidad particular. Documentarla con precisión ayudará a evaluar su evolución y tomar decisiones técnicas si se agrava.



Figura 3.5. Muro externo nivel 1: Eje: D2-D3

La grieta de 1.1 mm en el muro exterior del segundo nivel se clasifica como amplia y horizontal, lo que sugiere que está relacionada con movimientos laterales del terreno o

esfuerzos de tensión. Su forma lineal indica un patrón constante, y aunque no parece crítica, sí merece seguimiento. Por su ubicación y tamaño, se considera una discontinuidad particular, pero si aparecen más, conviene evaluar el grado de afectación total.

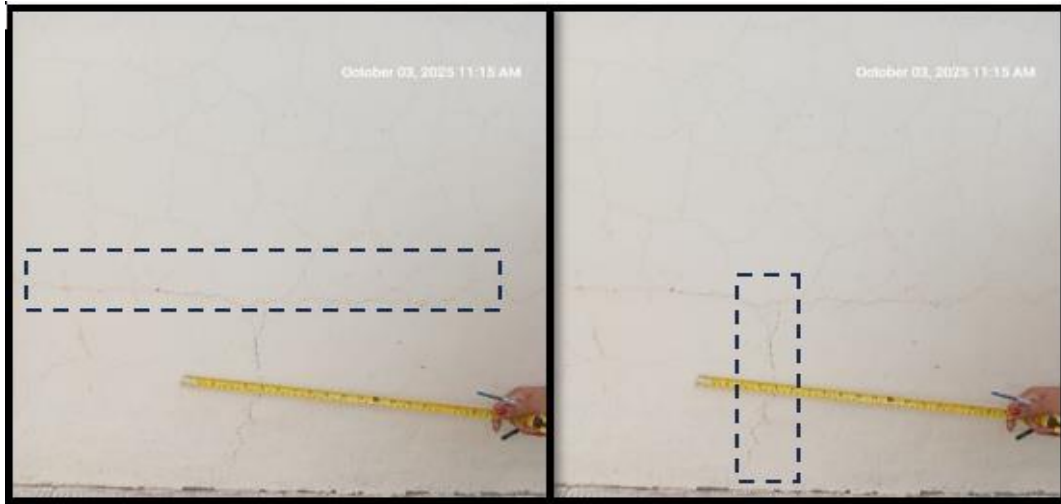


Figura 3.6. Muro externo PB: Eje: D2-D3

La grieta de 0.6 mm en el muro exterior de la planta baja se clasifica como estrecha (G). Por su orientación (horizontal y vertical), puede estar asociada a tensión (T) y cortante (S). Su trazo lineal indica un esfuerzo constante. Al estar en contacto con el terreno, es común en zonas con asentamientos. Si es aislada, se considera una discontinuidad particular y debe ser monitoreada

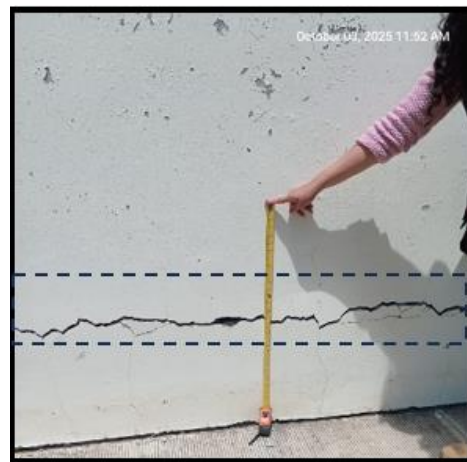


Figura 3.7. Muro externo PB: Eje: D2-D3

La grieta de 34.15 mm en el muro exterior de planta baja se clasifica como muy amplia (C) y representa una afectación seria. Por su orientación horizontal (H) y ubicación baja,

puede estar relacionada con desplazamientos laterales (P) o asentamientos del terreno. Este tipo de daño, según estudios estructurales, requiere atención urgente y seguimiento técnico, ya que podría comprometer la estabilidad del muro si no se interviene a tiempo.

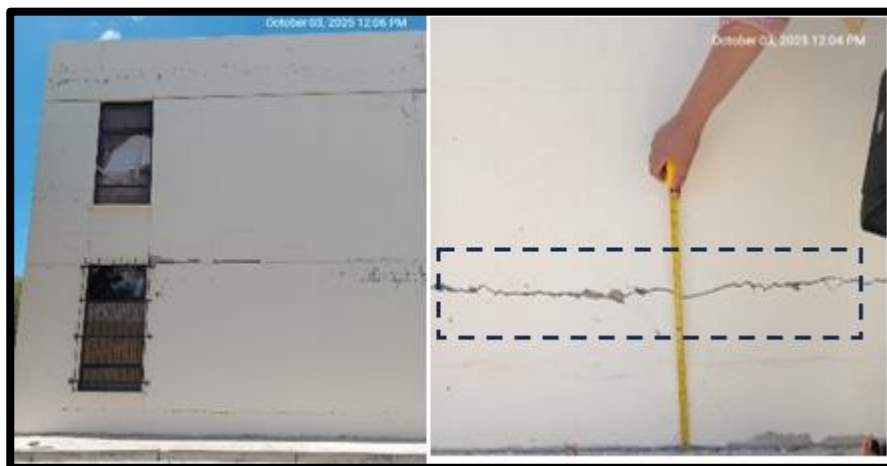


Figura 3.8. Muro externo (N1) y Muro externo (PB) Eje E1-E2

La grieta de 16.75 mm en el muro exterior de planta baja se clasifica como muy amplia (C) y presenta una orientación horizontal (H), lo que sugiere un desplazamiento lateral del terreno (P) y esfuerzos de tensión acumulados (T). Este tipo de discontinuidad, por su tamaño y ubicación en contacto directo con el suelo, puede estar relacionada con asentamientos diferenciales o pérdida de capacidad portante. Su trazo lineal indica que el esfuerzo ha sido constante en el tiempo. Según estudios técnicos y literatura especializada, grietas mayores a 15 mm requieren atención inmediata, ya que podrían comprometer la estabilidad del muro si no se interviene.



Figura 3.9. Muro interno (N1) y Muro interno (N1) Eje E1-E2

La grieta de 12.45 mm ubicada en el muro exterior del nivel 1 se clasifica como muy amplia (C), lo que indica una discontinuidad significativa. Su orientación horizontal (H) sugiere que está vinculada a movimientos laterales del terreno (P) y a esfuerzos de tensión (T) que han generado apertura visible en el muro. Por su tamaño y ubicación, esta grieta no debe considerarse superficial: puede estar relacionada con asentamientos diferenciales o pérdida de capacidad portante en la base estructural.

Además, su trazo lineal indica que el esfuerzo ha sido constante, posiblemente acumulativo, lo que refuerza la necesidad de seguimiento técnico. Según estudios científicos y literatura especializada, las grietas que superan los 10 mm pueden comprometer la estabilidad del muro si no se atienden a tiempo.



Figura 3.10. Piso interno (N2) Eje D3-D2

La grieta de 16.95 mm en el muro exterior del nivel 2 se clasifica como muy amplia (C) y tiene una orientación horizontal (H), lo que indica desplazamiento lateral del terreno (P) y esfuerzo de tensión (T). Su trazo lineal sugiere un patrón constante, y por su tamaño, requiere atención técnica especializada.

En el piso interno, se observan levantamientos y fisuras que podrían estar relacionados con expansión por humedad (R) o asentamientos diferenciales. Esta combinación de daños en muro y piso apunta a una afectación estructural más profunda.



Figura 3.11. Piso interno - columna (N2) Eje D3-D2

La grieta de 1.6 mm en la columna interna se clasifica como amplia (C). Por su orientación vertical (V) y ubicación en un elemento de carga, puede estar asociada a hundimiento (N) o esfuerzo de tensión (T). Aunque no es crítica, su presencia en una columna requiere seguimiento técnico, ya que podría evolucionar si hay asentamientos o sobrecargas.



Figura 3.12. Piso interno - columna (N2) Eje E'5

La grieta de 1.1 mm en la columna interna se clasifica como amplia (C). Su orientación vertical (V) sugiere un posible hundimiento (N) o esfuerzo de tensión (T). Aunque no representa un daño crítico, al estar en un elemento de carga, requiere seguimiento técnico. Su trazo irregular indica que el esfuerzo no ha sido uniforme, por lo que se recomienda inspección y monitoreo para evitar que evolucione.



Figura 3.13. Muro Externo (PB) E1-D1 12.28

Las imágenes muestran una grieta horizontal significativa en un muro, cuya apertura ha sido medida con un calibrador. Se observan dos mediciones distintas de esta misma grieta, una de 34.15 mm y otra de 16.8 mm que es atribuible al desplazamiento ocasionado por asentamiento.



Figura 3.14. Muro Externo (PB) - (N2) Eje E1

La grieta observada en el muro, junto con el daño visible en la base y el concreto erosionado, sugiere una afectación estructural por asentamiento o presión lateral del terreno. Por su apertura, se clasifica como muy amplia (C). Su orientación horizontal (H) indica desplazamiento lateral (P) y esfuerzo de tensión (T), posiblemente agravado por

humedad acumulada o drenaje deficiente. La tendencia irregular del trazo refuerza la idea de un esfuerzo no uniforme.

Al tratarse de un muro que conecta el interior y el exterior, y considerando la diferencia de niveles y la presencia de rejillas de drenaje, es probable que el terreno esté ejerciendo presión desigual, generando fisuras tanto estructurales como superficiales.

Todo el material de soporte técnico que fundamenta este diagnóstico y sus recomendaciones se presenta en los Anexos del presente informe.

se tiene como resultados de la inspección visual en los siguientes planos

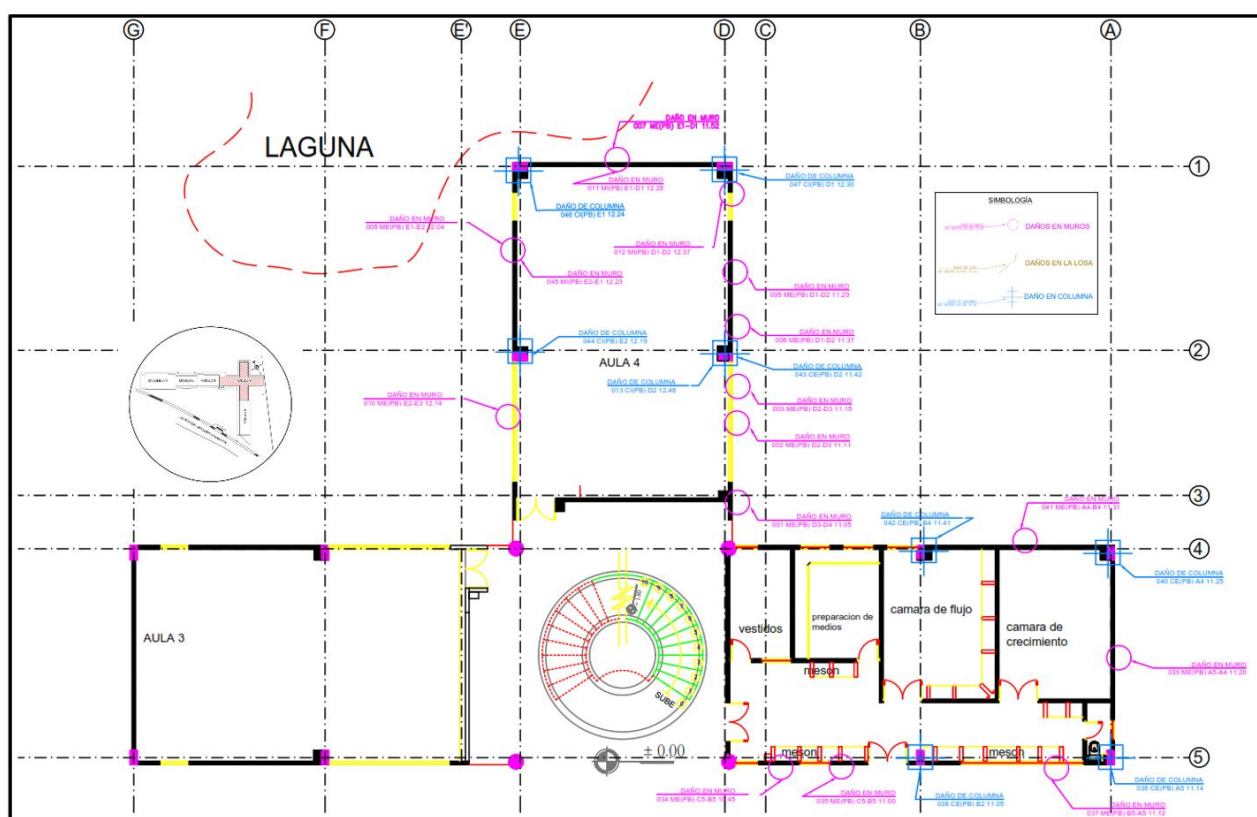


Figura 3.15. Planos de Patología (Planta Baja – Nivel+0.00)

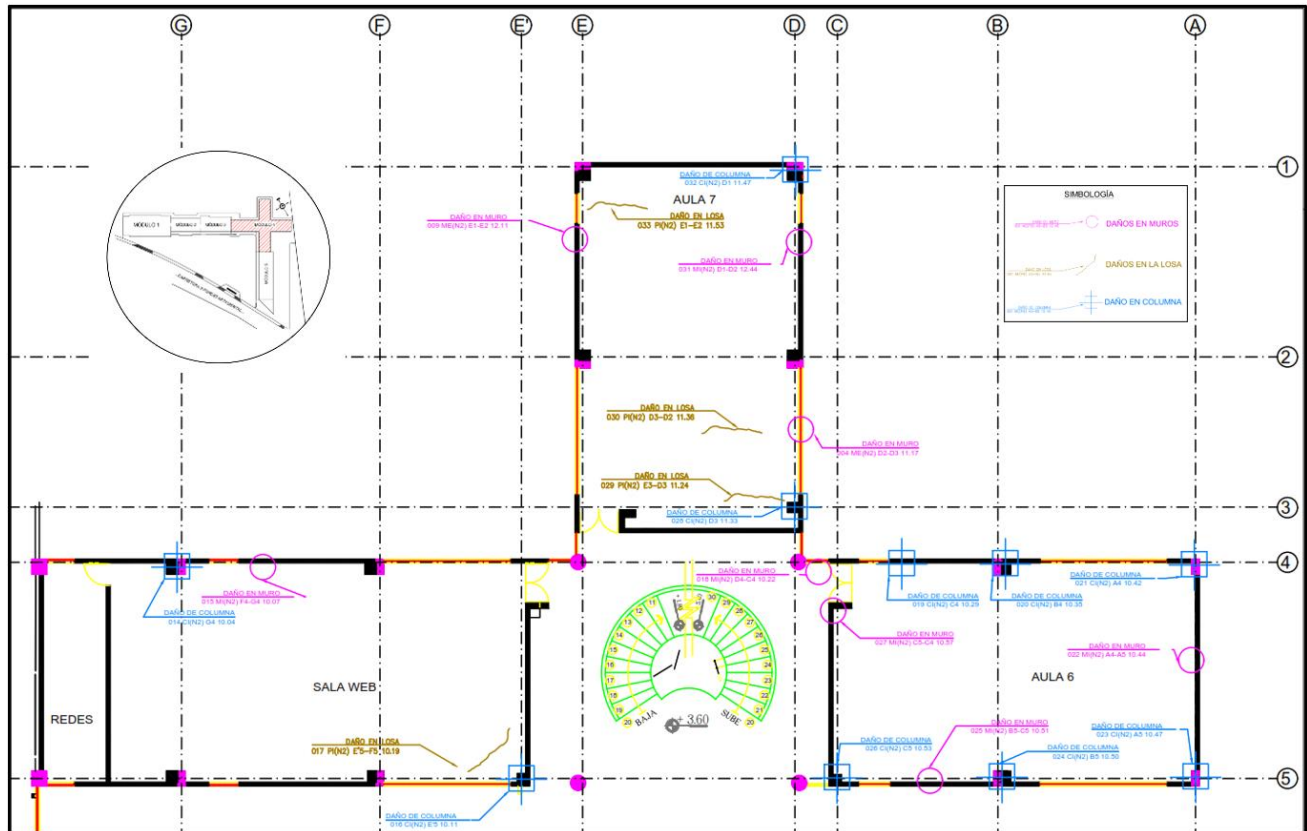


Figura 3.16. Planos de Patología (Planta Alta – Nivel+3.60)

Las vistas en planta y los cortes frontales del bloque no solo identifican daños aislados, sino que revelan un patrón sistémico de fallas que converge en una causa de origen geotécnico. La simbología de la inspección muestra una concentración de la lesión de Asentamiento, ubicada específicamente en la base de los muros y en las losas de la planta baja (Nivel de Terreno). Esta ubicación es el foco de la patología, ya que representa el punto de contacto directo donde los movimientos desiguales del suelo transfieren esfuerzos a la superestructura.

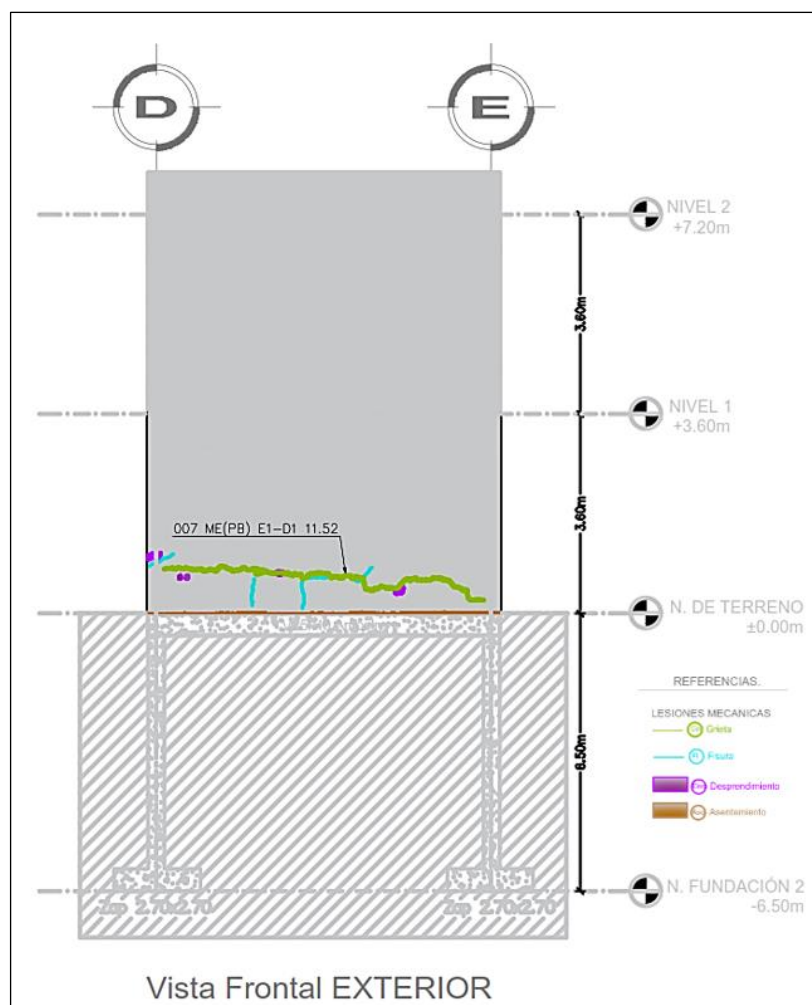


Figura 3.17. fachada frontal

La diferencia en el hundimiento entre distintos puntos de apoyo genera tensiones de tracción y cizallamiento para las cuales los muros no fueron diseñados. Esto se manifiesta a través de las simbologías de Grieta (verde) y Fisura (turquesa), que se extienden en patrones diagonales u horizontales, típicos de los muros sometidos a la torsión y deformación impuestas por un apoyo inestable. Las grietas se observan con mayor intensidad cerca de las esquinas y los vanos, donde se concentran los esfuerzos cortantes.

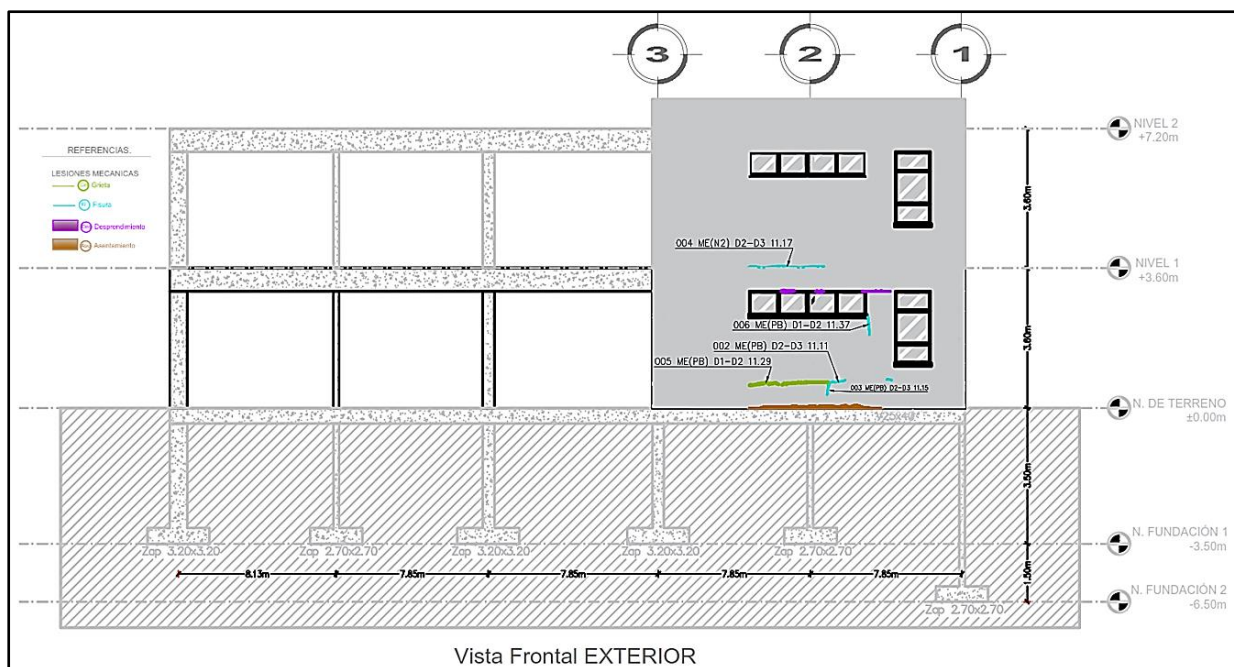


Figura 3.18. Planos de Patología (fachada frontal el lado izquierdo del caso de estudio)

En las figuras muestran daños en los muros y desprendimientos que son consecuencias visibles de los asentamientos los cuales provocan grietas que hacen un desprendimiento de revocado, visible en diversas áreas y en la interfaz viga-columna, comprometiendo no solo la estética, sino también la durabilidad de la estructura.

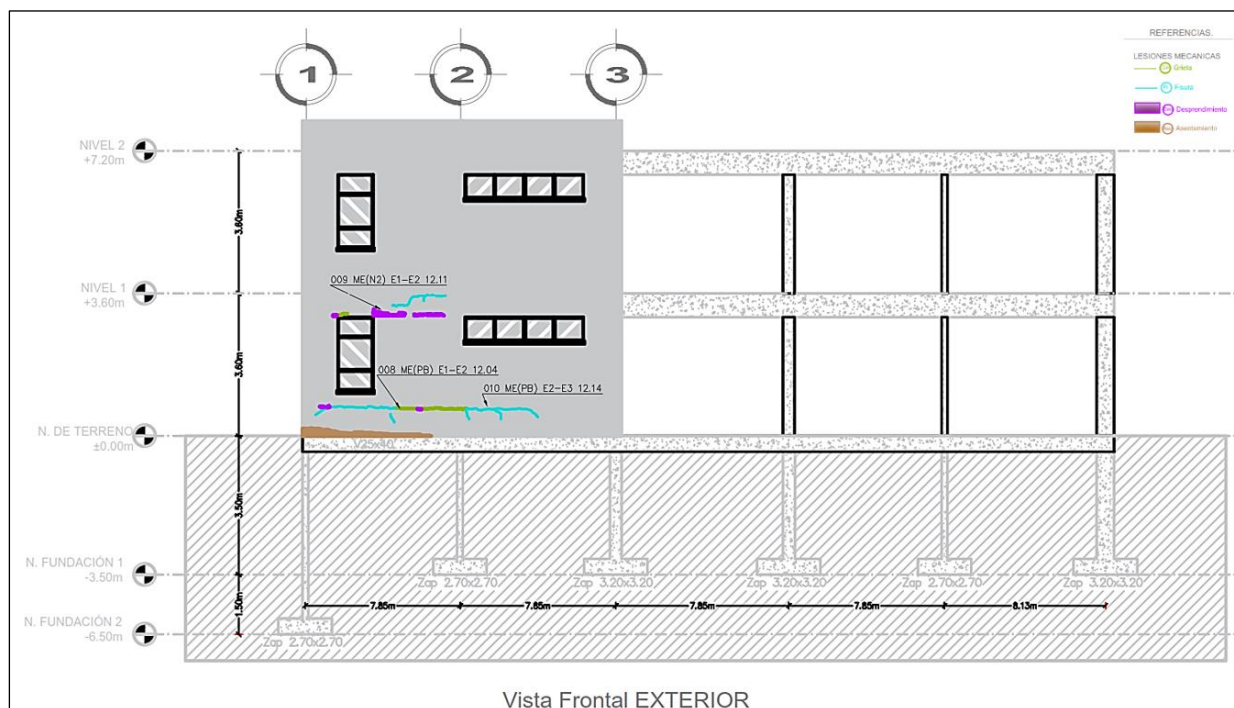


Figura 3.19. Planos de Patología (fachada frontal el lado derecho del caso de estudio)

La inspección visual del Bloque 4, con su clara evidencia de Asentamiento en el nivel de cimentación y la consecuente aparición de Grietas estructurales en el cuerpo de los muros, es el resultado directo de la patología central analizada. Lo que indica que la estructura esta sufriendo asentamientos diferenciales por lo que se evidencia las patologías en dicha estructura.

3.3. Ensayos Geotécnicos

3.3.1. Ensayo de Penetración Estándar (SPT) Según (AASHTO T 2006 – ASTM D 1586)

Se realizo el ensayo de penetración estándar (SPT) en dos puntos de sondeo seleccionados estratégicamente dentro del área de intervención. los ensayos geotécnicos se realizaron en el departamento de Chuquisaca, municipio de Sucre, zona La Barranca, dentro del área es donde se encuentra la estructura afectada.



Figura 3.20. Ubicación del caso de estudio Fuente: Google earth.

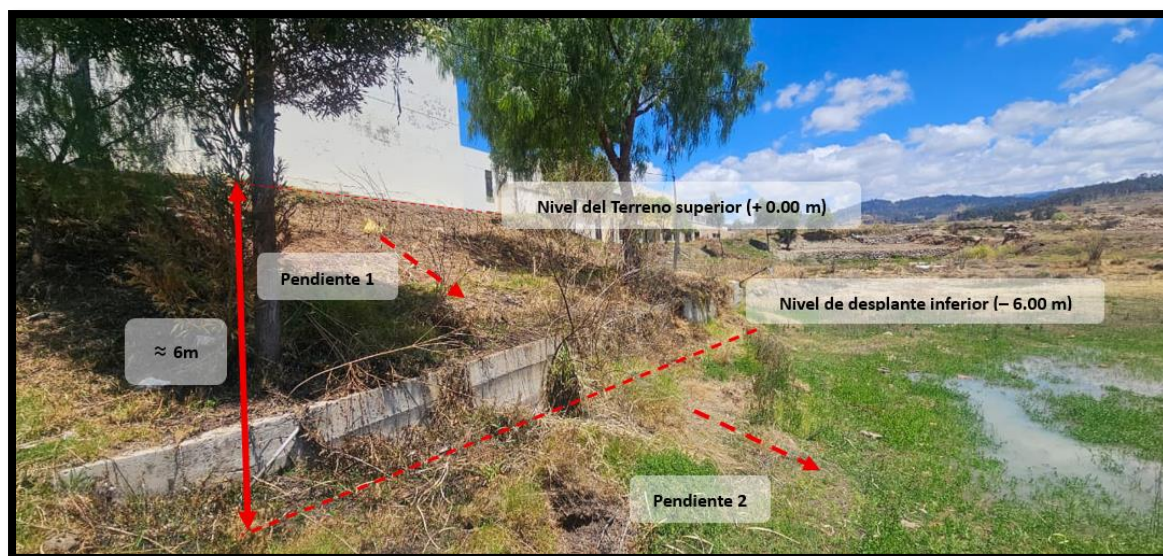


Figura 3.21. Talud de transición con muro de contención y estancamiento hídrico en superficie.

La figura muestra una transición altimétrica entre dos niveles de terreno, con una variación aproximada de 6 m entre el nivel superior (+0.00) y el nivel del desplante inferior. Esta disposición genera dos pendientes laterales, la pendiente 1 y la pendiente 2 que delimitan el talud y a la misma vez condicionan la estabilidad geotécnica del entorno.

Según testimonios de trabajadores de la institución que estuvieron presentes desde el inicio de la construcción del Bloque 4, indicaron que se realizó un relleno artificial en la zona correspondiente a la Pendiente 1, con el propósito de nivelar el terreno y conectar de forma funcional con la fachada frontal de la estructura vista en la figura. Este relleno modificó de manera significativa de la geometría original del terreno.

Sin embargo, no se cuenta con ningún registro técnico del análisis estructural del muro de contención, ni con un perfil geotécnico del relleno ejecutado en el sitio. Esta ausencia de información limita la capacidad de diagnóstico, no obstante, se tiene una acumulación de agua en la superficie a consecuencia de la escorrentía superficial.

Según autores como Terzaghi y Peck (1967) y Braja M. Das (2015) coinciden en que, ante la presencia de asentamientos diferenciales o grietas estructurales, recomienda ubicar los sondeos en puntos como las esquinas o por el medio de la estructura, en donde pueden producirse cambios abruptos en la rigidez o capacidad portante del terreno y en áreas donde ya se observan grietas o hundimientos.

Por tanto, los dos sondeos se ubicaron en las zonas con mayores hundimientos y grietas, consideradas las recomendaciones de autores, así mismo se consideró tomar el sondeo en el suelo inalterado.

La documentación completa de los ensayos de laboratorio realizados, incluyendo su tabulación detallada, se presenta en el Anexo B para referencia y comprensión exhaustiva de la caracterización geotécnica.



Figura 3.22. Mapa de ubicación de los sondeos del ensayo SPT realizados. Fuente: Google earth.

Tabla 3.1: Datos geográficos de los sondeos

Sondeos	Latitud	Longitud	Altura m. n.s.m.
Sondeo 1	18°58'59.92"S	65°18'11.35"O	2953
Sondeo 2	18°58'59.67"S	65°18'10.78"O	2953

Fuente: Google earth.

La tabla 3.1 presenta los datos geográficos de dos puntos de los dos puntos donde se realizó cada sondeo, ambos ubicados a una altitud de 2953 m s.n.m.. Las coordenadas dan una referencia exacta de cada ensayo.

En cada uno de estos sondeos se extrajo una muestra representativa del estrato con mayor relevancia para el comportamiento estructural, las cuales fueron analizadas en laboratorio para determinar la distribución de tamaños en la fracción fina.



Figura 3.23. Ensayo de Penetración Estándar (SPT)

El propósito central de esta etapa se divide en dos acciones complementarias. Por un lado, se busca medir directamente la resistencia del suelo en su estado natural mediante el valor N del ensayo SPT, el cual representa el número de golpes necesarios para hincar el muestreador. Este indicador empírico permite estimar el grado de compacidad en suelos granulares y la consistencia en suelos cohesivos.



Figura 3.24. Extracción de muestras

Por otro lado, se recolectan muestras representativas de los distintos estratos atravesados durante la perforación, con el fin de analizarlas en laboratorio. Este análisis permite

confirmar la clasificación del suelo ya sea arcilloso, limoso o arenoso y aporta una información de importancia para comprender su comportamiento frente a cargas estructurales.

3.3.1.1. Características del Equipo

Para la ejecución del Ensayo de Penetración Estándar (SPT) en el estudio del edificio La Barranca, se empleó un conjunto de equipos especializados que permiten avanzar en el terreno y obtener mediciones confiables de resistencia del suelo.

- **Equipo de perforación:** Se utilizó una máquina de sondeo capaz de avanzar verticalmente en el terreno mediante sistemas de rotación o circulación de agua, permitiendo alcanzar la profundidad requerida para el ensayo.
- **Martillo de impacto:** El golpeo se realiza con una masa metálica de 63.5 kg, diseñada para caer desde una altura controlada y generar la energía necesaria para hincar el muestreador en el suelo.
- **Sistema de Levantamiento y Guía:** Este mecanismo, que puede ser manual o automatizado, garantiza que la masa caiga desde una altura de 76.2 cm de forma vertical y sin interferencias, asegurando la repetibilidad del ensayo.
- **Muestreador tipo SPT (tubo partido):** Se emplea un tubo de acero dividido longitudinalmente, con un diámetro externo de 50.8 mm y una punta cónica endurecida. Este elemento penetra en el suelo y permite extraer muestras representativas de los estratos atravesados.
- **Varillaje de perforación:** Consiste en una serie de tubos que conectan el muestreador ubicado en el fondo del pozo con el sistema de golpeo en superficie, transmitiendo la energía de impacto de manera eficiente.

3.3.1.2. Procedimiento en Campo

El procedimiento se ejecuta a intervalos de profundidad preestablecidos generalmente cada 1.5 m o ante un cambio perceptible en el tipo de suelo. Y se realiza los siguientes pasos:

- **Paso 1: Preparación del fondo de perforación**

Una vez alcanzada la profundidad deseada por ejemplo a los 3 metros, se procede a limpiar cuidadosamente el fondo del pozo. Esta limpieza es esencial para asegurar que el muestreador penetre directamente en suelo intacto, evitando interferencias de material previamente removido o alterado.

Por lo que se realizaron dos ensayos de penetración estándar SPT, de acuerdo a las normas internacionales ASTM D1586 y AASHTO T-206-70.

- Paso 2: Penetración inicial (Los Primeros 15 cm)

Se acopla el tubo partido al varillaje y se introduce suavemente hasta el fondo del pozo. Luego, se inicia el golpeo mediante la caída libre de una masa de 63.5 kg desde una altura de 76.2 cm. Se registra el número de golpes necesarios para que el muestreador avance los primeros 15 cm. Este tramo se considera de asentamiento y no se incluye en el cálculo del valor N, ya que su función es estabilizar el muestreador y superar cualquier perturbación superficial.

- Paso 3: Penetración efectiva a los 30 cm evaluados

A partir de los 15 cm, se continúa con el golpeo y se contabilizan los golpes necesarios para avanzar en dos tramos consecutivos de 15 cm cada uno.

- **N₁:** número de golpes para el segundo tramo (15–30 cm)
- **N₂:** número de golpes para el tercer tramo (30–45 cm)

- Paso 4: Cálculo del valor N-SPT

El valor estándar de resistencia a la penetración se obtiene sumando los golpes de los últimos dos tramos:

$$N_{SPT} = N_1 + N_2 \quad (3.1)$$

Este valor proporciona una medida empírica de la compacidad o consistencia del suelo en ese punto específico.

- Paso 5: Extracción y conservación de la muestra

De cada metro de perforación se extrajeron muestras de suelo, y adicionalmente en cada cambio de material, siguiendo los procedimientos y técnicas especificadas en la normativa correspondiente. Todas las muestras obtenidas fueron representativas de las condiciones del subsuelo.

Posteriormente, las muestras fueron descritas, correctamente identificadas, conservadas bajo las condiciones adecuadas y remitidas al laboratorio para la realización de los análisis pertinentes.

3.3.1.3. Correcciones del Valor N_{SPT}

El número de golpes obtenido en campo durante el ensayo SPT conocido como N en bruto o N campo, da una representación de una primera aproximación de la resistencia del suelo. Sin embargo, este valor puede verse afectado por múltiples factores como el tipo de equipo utilizado, la profundidad del sondeo, el nivel freático y las condiciones de perforación. Por ello, es necesario aplicar correcciones que permitan estandarizar el resultado y hacerlo útil para correlaciones geotécnicas confiables, como las que se emplean en el análisis de capacidad portante o licuefacción.

3.3.1.3.1. Corrección por eficiencia de energía: N_{60}

La primera corrección se realiza sobre la energía entregada por el sistema de golpeo. Se ajusta el valor N campo a una eficiencia de referencia del 60% utilizando la siguiente fórmula:

$$N_{60} = N_{spt} * \left(\frac{E_{rf}}{60}\right) \quad (3.2)$$

Donde:

- N_{60} : número de golpes corregido
- E_{rf} : eficiencia real del equipo (%)

Este ajuste permite comparar resultados obtenidos con diferentes equipos bajo un mismo estándar energético. Para una evaluación más precisa, se incorporan otros factores que

compensan variaciones en el procedimiento según Braja M. Das (2001) para suelos cohesivos:

$$N_{60} = \frac{E_{rf} \cdot N_{spt}}{60} \cdot C_B \cdot C_S \cdot C_R \quad (3.3)$$

Donde:

- E_{rf} : eficiencia real del martillo
- C_B : corrección por diámetro de perforación
- C_S : corrección por uso de camisa en el muestreador
- C_R : corrección por longitud del varillaje
- N_{spt} : valor de SPT medido

Cada uno de estos factores ajusta el resultado según las condiciones reales del ensayo, permitiendo una interpretación más confiable del comportamiento del suelo.

Para aplicar correlaciones de diseño en suelos granulares como estimar el ángulo de fricción interna o evaluar el potencial de licuefacción, es necesario corregir el valor N_{60} por la presión vertical efectiva que actúa sobre el suelo en el punto de ensayo. Esto se hace mediante el factor de sobrecarga C_N .

$$N_{1(60)} = N_{60} \cdot C_N \quad (3.4)$$

Una expresión común para calcular C_N es:

$$C_N = \sqrt{\frac{P_a}{\sigma'_v}} \quad (3.5)$$

Donde:

- P_a : presión atmosférica de referencia (≈ 100 kPa)
- σ'_v : presión vertical efectiva, calculada según el peso específico del suelo y el nivel freático

Este valor corregido $N_{1(60)}$, es el que se utiliza en correlaciones empíricas para estimar parámetros fundamentales como:

- Ángulo de fricción interna (ϕ')
- Módulo de elasticidad (E_s)
- Capacidad portante del terreno

Estos parámetros son esenciales para alimentar la modelación numérica y tomar decisiones de diseño estructural seguras y contextualizadas.

El equipo SPT, las herramientas utilizadas, y metodologías cuentan con certificación y calibración realizados por la empresa nacional INCOTEC INGENIERIA Y CONSTRUCCION

Los cuales como resultado de la calibración se determinó que la energía entregada al conjunto de varillas por parte del equipo SPT manual es:

$$E_{rf} = 45.4\%$$

3.3.1.3. Determinación de la Humedad Higroscópica

Este ensayo es rápido y nos dice cuánta agua retiene el suelo fino de los sondeos extraído del campo de estudio "La Barranca" solo por la humedad del ambiente. Es clave para estandarizar el peso de la muestra en todos los demás análisis de laboratorio.

3.3.1.3.1. Procedimiento

- Para el muestreo y peso inicial ($W_{c+s \text{ aire}}$) se toma una pequeña porción de la muestra de suelo ya seca al aire y pasada el tamiz N° 40 y registramos su peso junto al recipiente.
- Luego se realiza el secado total de la muestra y se introduce en el horno a 105 °C a 110 °C durante 12 a 16 horas, hasta alcanzar un peso constante. Esto asegura que se elimine hasta la última molécula de agua higroscópica, sin dañar las arcillas.
- Para luego proceder al peso final ($W_{c+s \text{ horno}}$): Retiramos la muestra del horno, la enfriamos en un desecador esto para evitar que reabsorba humedad y registramos su peso final.

3.3.1.3.2. Cálculo Esencial

La humedad higroscópica (WH) se calcula como la pérdida de peso del agua dividida entre el peso final del suelo completamente seco:

$$W_H = \frac{\text{Peso del Agua Perdida}}{\text{Peso del Suelo Seco}} * 100$$

$$W_H = \frac{W_{c+s \text{ aire}} - W_{c+s \text{ horno}}}{W_{c+s \text{ horno}} - W_c} * 100 \quad (3.6)$$

- **Sondeo 1:**

El sondeo 1 incluye cinco muestras distribuidas entre los 0.45 m y los 5.10 m de profundidad, con énfasis en los estratos intermedios y profundos.

El informe presenta los resultados de los ensayos de laboratorio para determinar la humedad higroscópica (que oscila entre 0.2% y 0.4%) y el peso total seco de cinco muestras de suelo extraídas a profundidades variables, desde los 0.45 m hasta los 5.10 m, detallando también la cantidad de material que pasa el tamiz N° 4

Tabla 3.2: Muestra 1: Profundidad: 0.45 - 0.90 (m)

HUMEDAD HIGROSCÓPICA		MUESTRA TOTAL SECA	
Peso suelo húmedo + cápsula	61.20 grs,	Muestra total húmeda	506.0 grs,
Peso suelo seco + capsula	61.10 grs,	Agregado grueso	9.0 grs,
Peso del agua	0.1 grs,	Pasa N° 4 húmedo	497.0 grs,
Peso de la cápsula	20.56 grs,	Pasa N° 4 seco	495.8 grs,
Peso del suelo seco	40.54 grs,		
Porcentaje de Humedad %	0.2 %	Muestra total seca	504.8 grs,

Tabla 3.3: Muestra 2: Profundidad: 1.65 - 2.10 (m)

HUMEDAD HIGROSCÓPICA		MUESTRA TOTAL SECA	
Peso suelo húmedo + cápsula	58.30 grs,	Muestra total húmeda	428.0 grs,
Peso suelo seco + capsula	58.20 grs,	Agregado grueso	0.0 grs,
Peso del agua	0.1 grs,	Pasa N° 4 húmedo	428.0 grs,
Peso de la cápsula	20.81 grs,	Pasa N° 4 seco	426.9 grs,
Peso del suelo seco	37.39 grs,		
Porcentaje de Humedad %	0.3 %	Muestra total seca	426.9 grs,

Tabla 3.4: Muestra 3: Profundidad: 2.55 - 3.00 (m)

HUMEDAD HIGROSCÓPICA		MUESTRA TOTAL SECA	
Peso suelo húmedo + cápsula	47.80 grs,	Muestra total húmeda	366.0 grs,
Peso suelo seco + capsula	47.70 grs,	Agregado grueso	0.0 grs,
Peso del agua	0.1 grs,	Pasa N° 4 húmedo	366.0 grs,
Peso de la cápsula	19.46 grs,	Pasa N° 4 seco	364.7 grs,
Peso del suelo seco	28.24 grs,		
Porcentaje de Humedad %	0.4 %	Muestra total seca	364.7 grs,

Tabla 3.5: Muestra 4: Profundidad: 3.45 - 3.90 (m)

HUMEDAD HIGROSCÓPICA		MUESTRA TOTAL SECA	
Peso suelo húmedo + cápsula	66.80 grs,	Muestra total húmeda	428.0 grs,
Peso suelo seco + capsula	66.70 grs,	Agregado grueso	5.0 grs,
Peso del agua	0.1 grs,	Pasa N° 4 húmedo	423.0 grs,
Peso de la cápsula	21.24 grs,	Pasa N° 4 seco	422.1 grs,
Peso del suelo seco	45.46 grs,		
Porcentaje de Humedad %	0.2 %	Muestra total seca	427.1 grs,

Tabla 3.6: Muestra 5: Profundidad: 4.65 - 5.10 (m)

HUMEDAD HIGROSCÓPICA		MUESTRA TOTAL SECA	
Peso suelo húmedo + cápsula	66.80 grs,	Muestra total húmeda	567.0 grs,
Peso suelo seco + capsula	66.70 grs,	Agregado grueso	0.0 grs,
Peso del agua	0.1 grs,	Pasa N° 4 húmedo	567.0 grs,
Peso de la cápsula	21.05 grs,	Pasa N° 4 seco	565.8 grs,
Peso del suelo seco	45.65 grs,		
Porcentaje de Humedad %	0.2 %	Muestra total seca	565.8 grs,

- **Sondeo 2:**

El sondeo 2 presenta seis muestras entre los 0.45 m y los 6.00 m que detallan los resultados de humedad y peso seco de muestras de suelo tomadas. En todas las muestras se observó una humedad higroscópica muy baja, con valores que oscilaron entre 0.2 % y 0.4 %, lo que sugiere una limitada capacidad de retención de agua en los materiales analizados.

En cuanto al peso total seco, solo las muestras 1 y 6 presentaron presencia de agregado grueso con 15.0 g y 12.0 g, mientras que el resto correspondió exclusivamente a suelo fino. Los pesos totales secos registrados varían entre 323.8 g y 614.5 g en las muestras 1 y 6.

Tabla 3.7: Muestra 1: Profundidad: 0.45 - 0.90 (m)

HUMEDAD HIGROSCÓPICA		MUESTRA TOTAL SECA	
Peso suelo húmedo + cápsula	58.70 grs,	Muestra total húmeda	616.0 grs,
Peso suelo seco + capsula	58.60 grs,	Agregado grueso	15.0 grs,
Peso del agua	0.1 grs,	Pasa N° 4 húmedo	601.0 grs,
Peso de la cápsula	18.40 grs,	Pasa N° 4 seco	599.5 grs,
Peso del suelo seco	40.2 grs,		
Porcentaje de Humedad %	0.2 %	Muestra total seca	614.5 grs,

Tabla 3.8: Muestra 2: Profundidad: 1.65 – 2.10 (m)

HUMEDAD HIGROSCÓPICA		MUESTRA TOTAL SECA	
Peso suelo húmedo + cápsula	57.80 grs,	Muestra total húmeda	390.0 grs,
Peso suelo seco + capsula	57.70 grs,	Agregado grueso	0.0 grs,
Peso del agua	0.1 grs,	Pasa N° 4 húmedo	390.0 grs,
Peso de la cápsula	19.91 grs,	Pasa N° 4 seco	389.0 grs,
Peso del suelo seco	37.79 grs,		
Porcentaje de Humedad %	0.3 %	Muestra total seca	389.0 grs,

Tabla 3.9: Muestra 3: Profundidad: 2.55 – 3.00 (m)

HUMEDAD HIGROSCÓPICA		MUESTRA TOTAL SECA	
Peso suelo húmedo + cápsula	48.30 grs,	Muestra total húmeda	333.0 grs,
Peso suelo seco + capsula	48.20 grs,	Agregado grueso	0.0 grs,
Peso del agua	0.1 grs,	Pasa N° 4 húmedo	333.0 grs,
Peso de la cápsula	20.14 grs,	Pasa N° 4 seco	331.8 grs,
Peso del suelo seco	28.06 grs,		
Porcentaje de Humedad %	0.4 %	Muestra total seca	331.8 grs,

Tabla 3.10: Muestra 4: Profundidad 3.45 - 3.90 (m)

HUMEDAD HIGROSCÓPICA		MUESTRA TOTAL SECA	
Peso suelo húmedo + cápsula	59.00 grs,	Muestra total húmeda	400.0 grs,
Peso suelo seco + capsula	58.90 grs,	Agregado grueso	0.0 grs,
Peso del agua	0.1 grs,	Pasa N° 4 húmedo	400.0 grs,
Peso de la cápsula	16.70 grs,	Pasa N° 4 seco	399.1 grs,
Peso del suelo seco	42.2 grs,		
Porcentaje de Humedad %	0.2 %	Muestra total seca	399.1 grs,

Tabla 3.11: Muestra 5: Profundidad 4.65 – 5.10 (m)

HUMEDAD HIGROSCÓPICA		MUESTRA TOTAL SECA	
Peso suelo húmedo + cápsula	43.90 grs,	Muestra total húmeda	327.0 grs,
Peso suelo seco + capsula	43.80 grs,	Agregado grueso	0.0 grs,
Peso del agua	0.1 grs,	Pasa N° 4 húmedo	327.0 grs,
Peso de la cápsula	14.35 grs,	Pasa N° 4 seco	325.9 grs,
Peso del suelo seco	29.45 grs,		
Porcentaje de Humedad %	0.3 %	Muestra total seca	325.9 grs,

Tabla 3.12: Muestra 6: Profundidad 5.55 – 6.00 (m)

HUMEDAD HIGROSCÓPICA		MUESTRA TOTAL SECA	
Peso suelo húmedo + cápsula	41.70 grs,	Muestra total húmeda	325.0 grs,
Peso suelo seco + capsula	41.60 grs,	Agregado grueso	12.0 grs,
Peso del agua	0.1 grs,	Pasa N° 4 húmedo	313.0 grs,
Peso de la cápsula	16.34 grs,	Pasa N° 4 seco	311.8 grs,
Peso del suelo seco	25.26 grs,		
Porcentaje de Humedad %	0.4 %	Muestra total seca	323.8 grs,

Los registros obtenidos en los dos sondeos realizados en el área de influencia del edificio “La Barranca” permiten establecer una base teórica para comprender la estratigrafía local, la variabilidad de los materiales y su respuesta frente a cargas estructurales. Cada muestra

recolectada representa un punto de lectura del subsuelo, y su análisis conjunto revela patrones que orientan el diagnóstico geotécnico.

3.3.1.4. Determinación de límites de consistencia (Atterberg)

Este ensayo es crucial para el estudio en "La Barranca" porque indica cómo se comporta el suelo fino ante diferentes niveles de humedad. Al ser un suelo fino, su resistencia y volumen están directamente controlados por el agua. Los límites de Atterberg nos ayudan a entender cómo cambia el comportamiento del suelo según su contenido de humedad. Son como puntos de referencia que marcan la transición entre distintos estados de consistencia.

- **Estado líquido:** El suelo se comporta como un barro espeso, fluye fácilmente y no mantiene forma.
- **Estado plástico:** Puede moldearse sin romperse, como una masa maleable; es el rango más útil para trabajos de ingeniería.
- **Estado semisólido:** El suelo empieza a perder cohesión; si se intenta moldear, se quiebra.
- **Estado sólido:** Solo conserva la humedad más superficial (higroscópica) y se comporta como un material rígido.

Estos estados no solo describen cómo se siente el suelo al tacto, sino que también nos hablan de su estabilidad, su capacidad de deformarse y su respuesta frente a cargas estructurales. Son claves para entender cómo interactúa el terreno con una edificación como La Barranca

3.3.1.4.1. Límite Líquido (LL)



Figura 3.25. Ensayo de Límite Líquido

El límite líquido determina la humedad a la cual el suelo pasa de un estado plástico a un estado líquido. Es el punto donde el suelo comienza a comportarse como un fluido.

Se prepara una pasta de suelo fino que es pasado el tamiz N° 40 y se coloca en la Copa de Casagrande. Con una herramienta estandarizada, se hace una ranura en la pasta. Luego, la copa se levanta y se deja caer repetidamente. El Límite Líquido (LL) es el porcentaje de humedad al que la ranura se cierra en una distancia de 12.7 mm aproximadamente a 1/2 pulgada al aplicar 25 golpes.

3.3.1.4.2. Límite Líquido (LP)



Figura 3.26. Ensayo de Límite Plástico

Este ensayo determinar la humedad a la cual el suelo pasa de un estado plástico a un estado semisólido. Es la humedad mínima a la que el suelo todavía puede ser moldeado. Se toma una porción de suelo y se comienza a amasar y secar ligeramente. El Límite Plástico (LP) es el porcentaje de humedad al que el suelo, al ser enrollado con la mano sobre una superficie, se agrieta y se rompe cuando su diámetro alcanza 3 mm, para luego ser pesado y llevarlo al horno.

3.3.1.4.3. Índice de Plasticidad (IP)

El IP no es un ensayo, sino el resultado más importante de la prueba: es la gama de humedades en la que el suelo es maleable es plástico.

$$IP = LL - LP \quad (3.7)$$

Por tanto, una vez que se desarrolló todo el procedimiento en laboratorio se tiene la siguiente tabulación:

- **Sondeo 1:**



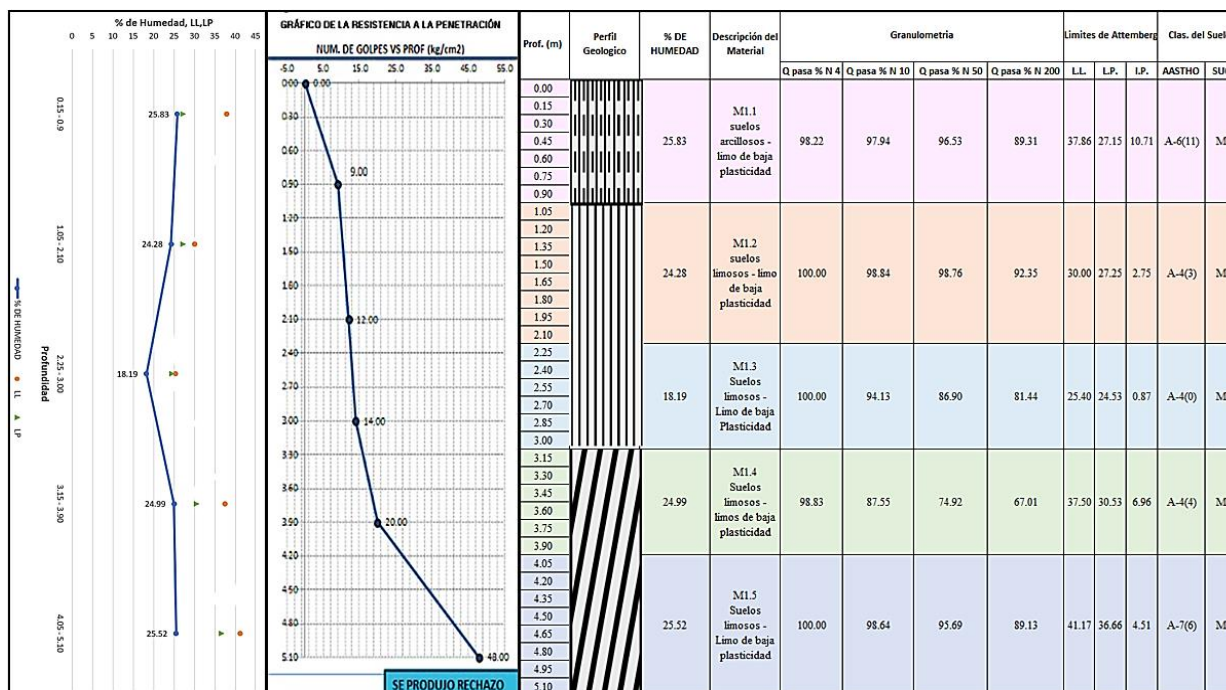
Figura 3.27. Ensayo SPT – Sondeo 1

En la figura 3.21 se observa el desarrollo del ensayo SPT del sondeo 1 que fue ejecutado con éxito, el sondeo 1 tiene las siguientes coordenadas,

Tabla 3.13: Coordenadas del sondeo 1

Sondeos	Latitud	Longitud	Altura m.n.s.m.
Sondeo 1	18°58'59.92"S	65°18'11.35"O	2953

Tabla 3.14: Granulometría y Límites de Atterberg



En el sondeo 1 indica que el terreno bajo el edificio “La Barranca” está compuesto casi en su totalidad por suelos finos que predominan limos de baja plasticidad. El perfil geotécnico está compuesto principalmente por suelos limosos y arcillo-limosos de baja plasticidad (clasificados como ML según SUCS y A-4 a A-6 según AASHTO), con un alto contenido de finos y bajos índices de plasticidad. Estas propiedades reflejan materiales de compresibilidad media y baja permeabilidad, de manera que se dará deformaciones tanto por cargas inmediatas como por procesos de consolidación lenta.

Primero se dará los asentamientos inmediatos que son aquellas deformaciones del terreno que ocurren justo después de aplicar una carga, sin que el agua contenida en el suelo tenga tiempo de drenarse, es decir que son deformaciones elásticas o instantáneas del suelo producidas por el reacomodo de partículas a la compresión del suelo ocasionado por el peso de la estructura.

También se dará por consolidación primaria que ocurre de forma lenta y progresiva ya que el agua contenida en los poros que no puede drenarse rápidamente al aplicarse una carga, provocando que el incremento de presión sea absorbido casi totalmente por el agua intersticial, y solo con el paso del tiempo, a medida que el agua evacua el suelo reduce su

volumen gradualmente. Además, la variación de estratos y las diferencias en los límites de Atterberg entre los niveles M1.1 y M1.5 provocan una respuesta desigual ante las cargas, lo que incrementa el riesgo de asentamientos diferenciales, los cuales suelen manifestarse en las estructuras con fisuras o grietas. Según estudios geotécnicos clásicos (Terzaghi, Peck, Mesri), este tipo de suelos, por su sensibilidad a la humedad y su heterogeneidad, son propensos a generar asentamientos irregulares.

- **Sondeo 2**



Figura 3.28. Ensayo SPT – Sondeo 2

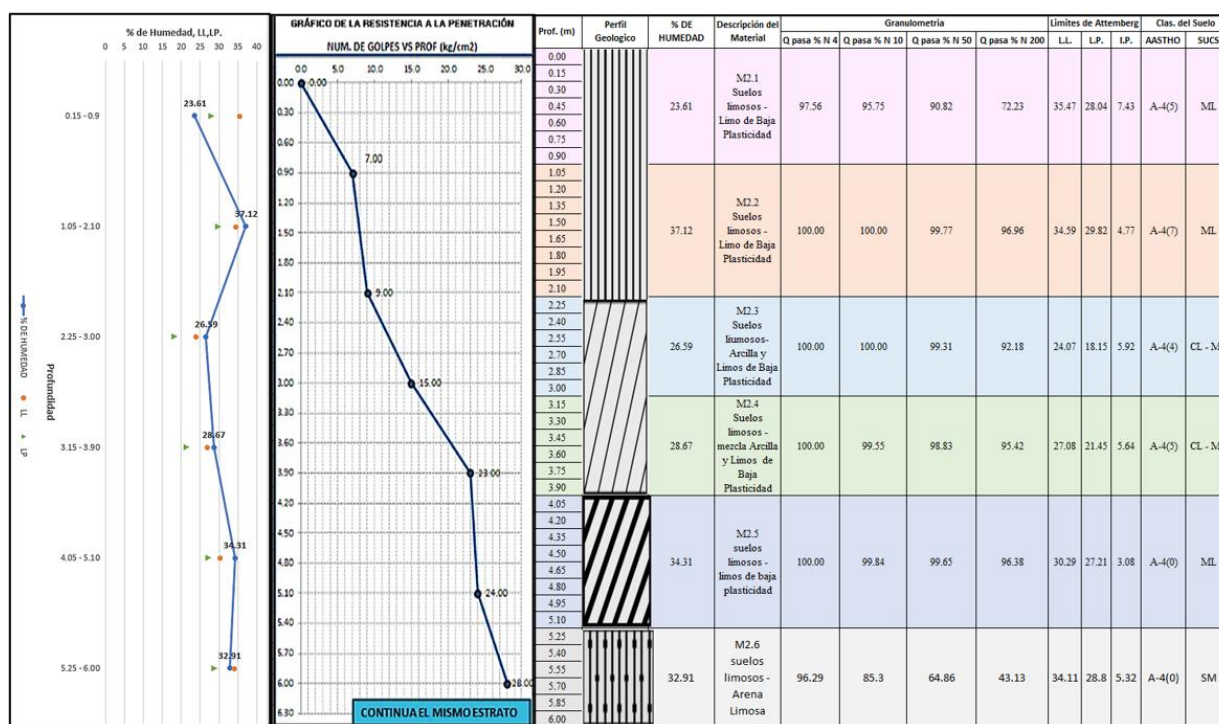
En la figura 3.22 se observa el desarrollo del ensayo SPT del sondeo 2 que fue ejecutado con éxito, el sondeo 1 tiene las siguientes coordenadas

Tabla 3.15: Coordenadas del sondeo 2

Sondeos	Latitud	Longitud	Altura m.n.s.m.
Sondeo 2	18°58'59.67"S	65°18'10.78"O	2953

Fuente: Google earth

Tabla 3.16: Granulometría y Límites de Atterberg



El perfil geotécnico muestra una secuencia estratigráfica que conforma principalmente por suelos limosos y arcillo-limosos de baja plasticidad (ML y CL-ML), con un nivel inferior de arena limosa (SM). Los resultados indican un alto contenido de finos que son superiores al 90%, mientras que los límites de Atterberg presentan índices de plasticidad bajos a moderados entre 3.08 y 7.43%, confirmando una compresibilidad media y permeabilidad baja. Este tipo de suelos desarrolla principalmente asentamientos por consolidación primaria, debido a la expulsión gradual del agua intersticial bajo cargas estructurales, generando deformaciones diferidas en el tiempo. Al tener baja permeabilidad y estructura heterogénea, presentan consolidación lenta y variable, lo que aumenta el riesgo de asentamientos diferenciales.

El Sondeo 2 refuerza los hallazgos del Sondeo 1 al confirmar que el terreno está compuesto por suelos con alto contenido de finos y baja permeabilidad, responsables del asentamiento que afectan a la estructura.

Por tanto, con los resultados anteriores se logra tabular el resultado del ensayo de penetración estándar, que ayudará a determinar la resistencia, compresibilidad y capacidad de carga del suelo.

Para estimar la capacidad portante, se aplica el criterio basado en la ecuación de Terzaghi:

$$q_u = 1.3 C N_c + \gamma D_f N_q + 0.4 \gamma B N_\gamma \quad (3.8)$$

Donde:

q_u : Capacidad de carga última del suelo.

C: Cohesión del suelo (en algunos casos se usa el caso de corte local por seguridad).

γ : Peso específico del material

D_f : Nivel de desplante de la fundación o nivel de fundación.

B: Dimensión menor de la cimentación.

N_c, N_q, N_γ : Factores de Capacidad de Carga de Terzaghi (dependen del ángulo de fricción interna ϕ)

La Capacidad Portante Admisible (q_{adm}), que es el valor que el informe proporciona como resultado, se calcula dividiendo la capacidad de carga última entre un Factor de Seguridad (FS):

$$q_{adm} = \frac{q_u}{F.S.} \quad (3.9)$$

El Factor de Seguridad (FS) generalmente se asume como **FS=3**.

El **asentamiento total (S_t)** de cada sondeo, aplicando la fórmula empírica:

$$S_t = \frac{q_{adm} \cdot B}{E_s} * I_s \quad (3.10)$$

q_{adm} : carga admisible del SPT (kPa)

B: ancho de la zapata (Zapata ya construida en obra 2.7x 2.7 m)

E_s : módulo de elasticidad estimado por correlación SPT ($E = 2.5 \cdot N_{60} \cdot 10^3$ kPa)

I_s : factor de forma y profundidad (≈ 1 para zapata cuadrada)

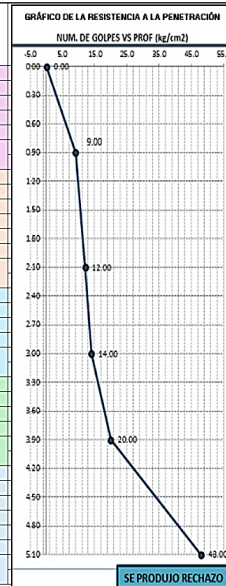
Capa de Cimentaciones	Tipo de Suelo	Asentamiento Elástico (Se)	Asentamiento por Consolidación (Sc)	Asentamiento total (St=Se+Sc)
Profundidad (≈ 4-5 m)	Arenas limosas (SM)	1.43 cm	≈ 0.0 cm (insig.)	1.43 cm
Profundidad (≈ 5-6 m)	Limo de Baja Plasticidad (ML)	3.7 cm	5.5 cm	9.2 cm

Si la cimentación se asienta en la capa de limo de baja plasticidad (ML), nos indica que el asentamiento total es de 9.2 cm (≈ 3.6 pulgadas) dando un indicio alto y excede los límites permisibles para una estructura que generalmente es de 2.5 cm, a lo que confirma que, la consolidación a largo plazo es el factor crítico que debió utilizarse para el diseño de la cimentación en ese tipo de suelo.

- **Sondeo 1**

Tabla 3.17: Ensayo de Penetración Estándar

DESCRIPCIÓN	Perfil Geológico	Prof. (m)	% DE HUMEDAD	Descripción del Material	Granulometría				Límites de Atterberg			Clas. del Suelo		Nº de golpes C/15	N campo SPT	N(60)	N1(60) SOLO ARENAS	c (kg/cm2)	ANGULO DE FRICCIÓN	qsam (kg/cm2)	GRÁFICO DE LA RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN NUM. DE GOLPES VS PROF (kg/cm2) <table><thead><tr><th>Prof (m)</th><th>qsam (kg/cm2)</th></tr></thead><tbody><tr><td>0.00</td><td>0.52</td></tr><tr><td>0.90</td><td>0.90</td></tr><tr><td>2.10</td><td>1.20</td></tr><tr><td>3.00</td><td>1.31</td></tr><tr><td>4.35</td><td>1.31</td></tr><tr><td>5.40</td><td>2.74</td></tr></tbody></table>	Prof (m)	qsam (kg/cm2)	0.00	0.52	0.90	0.90	2.10	1.20	3.00	1.31	4.35	1.31	5.40	2.74
					Prof (m)	qsam (kg/cm2)																													
0.00	0.52																																		
0.90	0.90																																		
2.10	1.20																																		
3.00	1.31																																		
4.35	1.31																																		
5.40	2.74																																		
Q pasa % N4	Q pasa % N 10	Q pasa % N50	Q pasa % N 200	LL	LP	LP	AASHTO	SUCS																											
SUELOS ARCILLOSO - LIMO DE BAJA PLASTICIDA	0.00	25.83	MI.1 suelos arcillosos - limo de baja plasticidad	98.22	97.94	96.53	89.31	37.86	27.15	10.71	A-4(1)	ML	4	9	5	13	0.20	29	0.52																
	0.15												5																						
	0.30																																		
	0.45																																		
	0.60																																		
	0.75																																		
	0.90																																		
SUELOS LIMOSOS - LIMO DE BAJA PLASTICIDA	1.05	24.28	MI.2 suelos limosos - limo de baja plasticidad	100.00	98.84	98.76	92.35	30.00	27.25	2.75	A-4(3)	ML	4	12	7	11	0.26	29	0.69																
	1.20												8																						
	1.35																																		
	1.50																																		
	1.65																																		
	1.80																																		
	1.95																																		
SUELOS LIMOSOS - LIMO DE BAJA PLASTICIDA	2.10	18.19	MI.3 Suelos limosos - Limo de baja Plasticidad	100.00	94.13	86.90	81.44	25.40	24.53	0.87	A-4(0)	ML	4	14	8	11	0.30	29	0.81																
	2.25												10																						
	2.40																																		
	2.55																																		
	2.70																																		
	2.85																																		
	3.00																																		
SUELOS LIMOSOS - LIMO DE BAJA PLASTICIDA	3.15	24.99	MI.4 Suelos limosos - limos de baja plasticidad	98.83	87.55	74.92	67.01	37.50	30.33	6.96	A-4(4)	ML	7.00	20	11	13	0.43	0.30	1.31																
	3.30												13.00																						
	3.45																																		
	3.60																																		
	3.75																																		
	3.90																																		
	4.05																																		
SUELOS LIMOSOS - LIMO DE BAJA PLASTICIDA	4.20	25.32	MI.5 Suelos limosos - Limo de baja plasticidad	100.00	98.64	95.69	89.13	41.17	36.66	4.51	A-7(6)	ML	20.00	48	31	31	1.18	36	2.74																
	4.35												25.00																						
	4.50																																		
	4.65																																		
	4.80																																		
	4.95																																		
	5.10																																		
	5.25																																		
	5.40																																		
														MÁS DE 50 GOLPES																					



A partir de los de 5.10 m se produjo rechazo y en el ensayo no se evidencio nivel freático, se han aplicado un total de 50 golpes de martillo sucesivos y no se vio avance del muestreador. Por tanto, no se pudo continuar con la perforación por que se reconoce la presencia de limos consolidadas y firmes de tonalidades marrones y no se tiene una perforadora con diamantina para llegar a los estratos inferiores por lo cual se da por finalizado.

En la tabla 3.14 del sondeo 1 muestra una estratigrafía compuesta por suelos arcillosos y limosos de baja plasticidad, con variaciones en la resistencia a la penetración según la profundidad. Los valores de resistencia (N60) aumentan progresivamente con la profundidad, desde los 5 golpes en los primeros 0.90 m hasta más de 50 golpes a 5.10 m donde se produce rechazo, evidenciando una transición de materiales blandos a muy compactos. En los primeros 3.0 metros, el suelo muestra baja cohesión del orden de 0.20 a 0.30 kilogramos por centímetro cuadrado y un ángulo de fricción de 29°, representando un estrato compresible con posibilidad de asentamientos diferenciales. A mayor profundidad, entre 3.0 y 5.10 metros, el incremento de la cohesión hasta 1.18 kg/cm² y el ángulo de fricción de hasta 36° indica una mayor capacidad portante y menor deformabilidad.

• Sondeo 2

Tabla 3.18: Ensayo de Penetración Estándar

DESCRIPCIÓN	Perfil Geológico	Prof. (m)	% DE HUMEDAD	Descripción del Material	Granulometría				Límites de Atterberg			Clas. del Suelo		Nº de golpes C/15	Nº campo SPT	N(60)	c (kg/cm2)	ANGULO DE FRICCIÓN	qadm (kg/cm2)	GRÁFICO DE LA RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN NUM. DE GOLPES VS PROF (kg/cm2)					
					Q pasa % N 4	Q pasa % N 10	Q pasa % N 50	Q pasa % N 200	L.L.	L.P.	I.P.	AASHO	SUCS												
SUELOS LIMOSOS - LIMO DE BAJA PLASTICIDA		0.00	23.61	M2.1 Suelos limosos - Limo de Baja Plasticidad	97.56	95.75	90.82	72.23	35.47	28.04	7.43	A-4(5)	ML												
		0.15																							
		0.30																							
		0.45																							
		0.60																							
		0.75																							
		0.90												3	7	4	0.15	28	0.41						
SUELOS LIMOSOS - LIMO DE BAJA PLASTICIDA		1.05	37.12	M2.2 Suelos limosos - Limo de Baja Plasticidad	100.00	100.00	99.77	96.96	34.59	29.82	4.77	A-4(7)	ML												
		1.20																							
		1.35																							
		1.50																							
		1.65																							
		1.80																							
		1.95												3	9	5	0.20	29	0.52						
SUELOS LIMOSOS - MEZCLA DE LIMOS Y DE ARCILLA		2.10	26.59	M2.3 Suelos limosos - Arcilla y Limos de Baja Plasticidad	100.00	100.00	99.31	92.18	24.07	18.15	5.92	A-4(4)	CL - ML												
		2.25																							
		2.40																							
		2.55																							
		2.70																							
		2.85																							
		3.00												7	15	9	0.33	30	0.87						
SUELOS LIMOSOS - ARENA ARCILLOSAS		3.15	28.67	M2.4 Suelos limosos - mezcla Arcilla y Limos de Baja Plasticidad	100.00	99.55	98.83	95.42	27.08	21.45	5.64	A-4(5)	CL - ML												
		3.30																							
		3.45																							
		3.60																							
		3.75																							
		3.90												10.00											
														13.00	23	13	0.50	31	1.31						
SUELOS LIMOSOS - LIMO DE BAJA PLASTICIDA		4.05	34.31	M2.5 suelos limosos - limos de baja plasticidad	100.00	99.84	99.65	96.38	30.29	27.21	3.08	A-4(0)	ML												
		4.20																							
		4.35																							
		4.50																							
		4.65																							
		4.80																							
		4.95												10.00											
SUELOS LIMOSOS - ARENAS LIMOSAS		5.10	32.91	M2.6 suelos limosos - Arena Limosa	96.29	85.3	64.86	43.13	34.11	28.79	5.32	A-4(0)	SM												
		5.25																							
		5.40																							
		5.55																							
		5.70																							
		5.85																							
		6.00												13											
		6.15																							
		6.30																							
		CONTINUA EL MISMO ESTRATO														CONTINUA EL MISMO ESTRATO									

El Sondeo 2 confirma que el terreno está conformado por estratos de limos de baja plasticidad, que va alternando en capas de mezcla de limo y de arcillas, también se encuentra la mezcla de limo y de arena. En la profundidad que va del nivel hasta 2.10 m, los valores de resistencia va entre 4 y 5 que indican una baja resistencia y alta

compresibilidad, lo que sugiere que es susceptible a asentamientos inmediatos y diferenciales bajo carga estructural.

Entre los 2.10 m y 3.90 m, incrementa los valores de resistencia (N60) hasta 13 y el aumento del ángulo de fricción de 30° a 31° que evidencian una mejor densificación del suelo y la profundidad de 4.20 m hasta los 6.30 m, los valores de resistencia alcanzan a 18, con cohesión de 0.69 kg/cm^2 y un ángulo de fricción de 32° . Por lo que el terreno presenta riesgo de asentamientos diferenciales. La principal causa de deformación es la consolidación primaria debido a la baja permeabilidad y alta compresibilidad de los limos. Por tanto, el sondeo 1 como el sondeo 2 confirman que predomina la presencia de suelos limosos de baja plasticidad.

3.3.2. Ensayo Geofísico



Figura 3.29. Ubicación del Ensayo Geofísico

El ensayo geofísico esta tiene las siguientes coordenadas del punto de inicio que es el geófono de inicio o geófono 1 y el geófono final o geófono 24.

Tabla 3.19: Datos geográficos de los sondeos

GEOFONO	LATITUD	LONGITUD
Geófono inicio	18°58'59.95"S	65°18'10.41"O
Geófono final	18°59'03.27"S	65°18'12.65"O

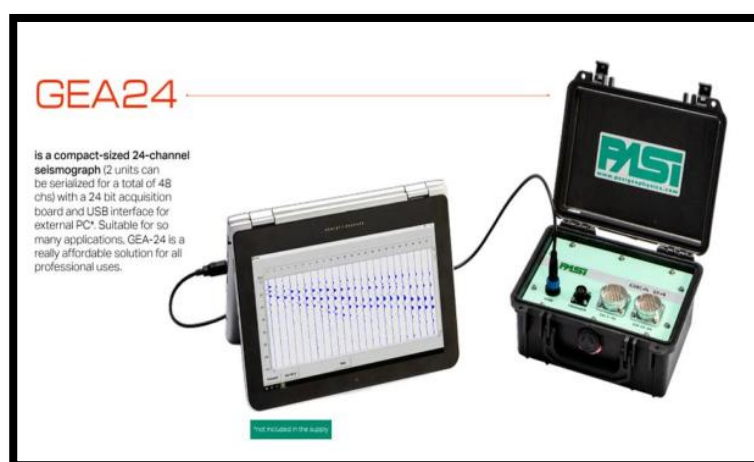
Fuente: Google earth

El objetivo es conocer, sin alterar el terreno, cómo se comporta el subsuelo en profundidad. Para ello se aplican métodos geofísicos que permiten medir propiedades dinámicas como la velocidad de las ondas sísmicas (P y S), el perfil de velocidad de corte (V_s), la rigidez del suelo, su resistividad eléctrica y la presencia de zonas con mayor humedad o alteración. Estos datos se integran con los resultados de los sondeos SPT para tener una visión más completa del terreno, su capacidad para soportar cargas, su respuesta frente a vibraciones y su vulnerabilidad a asentamientos diferenciales.

3.3.2.1. Características del equipo utilizado:

El equipo registrar la respuesta vibratoria del subsuelo y caracteriza sus propiedades dinámicas se instala un sistema de medición que interactúa entre el terreno y los sensores.

Para la ejecución del ensayo geofísico se utilizó el equipo GEA 24 de la marca PASI INSTRUMENTS. Este instrumento está equipado con lo siguiente:

**Figura 3.30.** Equipo de Refracción Sísmica

- **Sismógrafo de 24 canales**

Es el instrumento que registra las ondas sísmicas captadas por los geófonos. Cada canal corresponde a un geófono, permitiendo obtener una lectura simultánea y detallada del comportamiento del subsuelo.

- **Geófonos de 4.5 Hertz**

Los Geófonos son sensores que convierten las vibraciones del suelo en señales eléctricas. Los de 4.5 Hz son de baja frecuencia, ideales para detectar ondas sísmicas superficiales en estudios geotécnicos y de refracción sísmica. Se colocan en línea, separados cada 2 o 5 metros. Estos sensores captan las vibraciones y las convierten en señales eléctricas.

- **Cables sísmicos**

Este cable es el que conecta los geófonos al sismógrafo, transmitiendo las señales registradas sin pérdida de información, garantizando precisión en los tiempos de llegada de las ondas.

- **Mazo de emisión de golpes sísmicos**

El mazo es el elemento usado para generar la fuente de energía o vibración en el terreno. Su impacto produce ondas sísmicas que se propagan en el subsuelo y son registradas por los geófonos.

- **Geófono trigger o disparador**

Este geófono es especial ya que sincroniza el inicio del registro de datos con el momento exacto del golpe, asegurando precisión en la medición del tiempo de viaje de las ondas. Se golpea el suelo en un extremo del tendido (punto de disparo), y el sismógrafo comienza a registrar desde ese instante (llamado “tiempo cero”). Luego se repite el golpe en el otro extremo y en el centro para validar los datos

3.3.2.2. Procedimiento:

Se realizó un reconocimiento del terreno seleccionando un área plana, libre de obstáculos y representativa de las condiciones del subsuelo. Sobre esta superficie se trazó una línea de adquisición recta, donde se instalaron 24 geófonos de 4.5 Hz con un espaciamiento uniforme de 5 metros, asegurando su correcta fijación al suelo para garantizar un buen acoplamiento. Los geófonos fueron conectados mediante cables sísmicos al sismógrafo

GEA 24 de la marca PASI Instruments, y se verificó el orden de los canales y la polaridad de las conexiones.



Figura 3.31. Ensayo Geofísico

Para la fuente sísmica consistió en un mazo metálico que impactó sobre una placa de acero colocada en el extremo del tendido, generando las ondas superficiales requeridas para el análisis. Junto a la fuente se ubicó un geófono trigger que registró el instante exacto del impacto, permitiendo sincronizar la adquisición. Se realizaron al menos tres registros con la fuente ubicada en distintas posiciones (extremo izquierdo, centro y extremo derecho para la configuración geométrica del sistema de medición) para mejorar la calidad de los datos. Cada captura de señales de las ondas sísmicas se configuró con una frecuencia de muestreo entre 500 y 1000 Hz y un tiempo de registro de aproximadamente 1 a 2 segundos, asegurando la captura completa de las ondas Rayleigh.

Durante el desarrollo del ensayo, se controló la calidad del registro individual de la señal captada por un geófono, observando la coherencia y amplitud de las señales registradas. Los datos se almacenaron en el sismógrafo con su respectiva identificación (se encuentra en el anexo c).

Finalmente, el resultado del trabajo de campo consistió en una serie de registros sísmicos multicanal que contienen la propagación de ondas superficiales (Rayleigh). Estos datos se procesarán posteriormente para generar las curvas de dispersión y los modelos de inversión que permitirán obtener el perfil de velocidad V_s y, con ello, evaluar la rigidez dinámica del terreno y calcular el parámetro, fundamental para la clasificación del sitio.

3.3.2.3. Fundamento y ecuaciones

3.3.2.3.1. Ondas sísmicas — velocidad y tiempos

Las ondas sísmicas nos permiten registrar la respuesta vibratoria del subsuelo. Su velocidad depende de qué tan rápido recorren una distancia en un tiempo determinado. En su forma más simple, la relación es directa:

$$v = \frac{x}{t} \quad (3.11)$$

Donde:

- **v:** es la velocidad de la onda
- **x:** es la distancia recorrida
- **t:** es el tiempo que tarda en llegar

Cuando una onda atraviesa una interfaz entre dos capas de suelo, su trayectoria cambia. Este fenómeno se llama refracción, y nos ayuda a estimar la profundidad y las velocidades de cada capa. En un modelo simple de dos capas, el gráfico tiempo-distancia nos da dos claves:

- El tiempo de arranque (t_0)
- La pendiente de la curva

Con estos datos, se pueden calcular:

- v_1 : velocidad en la capa superficial
- v_2 : velocidad en la capa profunda
- h : profundidad de la interfaz
- **Ley de Snell (refracción):**

$$\frac{\sin\theta_1}{v_1} = \frac{\sin\theta_2}{v_2} \quad (3.12)$$

y el **ángulo crítico** θ_c tal que $\sin\theta_1 = v_1/v_2$ (si $v_2 > v_1$).

3.3.2.3.1. Resistividad eléctrica

- Resistividad aparente medida en campo:

$$\rho_a = k \frac{\Delta V}{I} \quad (3.13)$$

Donde

- ΔV : diferencia de potencial medida
- I : corriente inyectada
- K : factor geométrico determinado por la geometría de electrodos. Para interpretación, se realiza inversión numérica para obtener resistividad verdadera ρ en subsuelo.

3.3.2.3.2. Velocidad electromagnética GPR

Relación entre velocidad y permitividad:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (3.14)$$

Donde

- c : velocidad de la luz en vacío ($\sim 3 \cdot 10^8$ m/s)
- ϵ_r : permitividad relativa del medio.

Esto permite estimar profundidad a partir del tiempo de retorno.

Antes de iniciar cualquier medición geofísica, es fundamental asegurarse de que todo el sistema esté bien calibrado y sincronizado:

3.3.2.3.3. Adquisición de datos

➤ La Gráfica Tiempo-Distancia

1. **Dromocrónica:** Los datos se grafican en un diagrama de tiempo de llegada (eje Y) versus distancia del geófono al punto de disparo (eje X). Esta gráfica se llama Dromocrónica.
2. **Identificación de Velocidades (V):** La Dromocrónica no es una línea recta, sino una serie de segmentos rectos. Cada segmento corresponde a una capa del subsuelo. La velocidad sísmica de cada estrato (V_1 , V_2 , etc.) se calcula como la inversa de la pendiente de cada segmento recto:

$$V = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (3.15)$$

Las ondas directas que viajan por la capa superficial llegan primero a los geófonos cercanos. Pero a una distancia crítica, las ondas refractadas que se hunden hasta la capa más rápida y regresan, debido a que el estrato profundo, aunque más largo, es mucho más rápido. El punto donde se intersectan las trayectorias directa y refractada define la Distancia Crítica (x_c).

➤ Cálculo para la Profundidad

El objetivo final es calcular el espesor (Z) de la capa superior (V_1) para saber a qué profundidad se encuentra el estrato más rígido (V_2).

A. Ángulo Crítico de Incidencia (i_c): El Desvío Mínimo

Para que la onda se refracte y regrese a la superficie, debe golpear el límite de las capas con un ángulo específico, llamado el **Ángulo Crítico (i_c)**.

$$\text{sen}_{i_c} = \frac{V_1}{V_2} \quad (3.16)$$

Donde:

- i_c : Ángulo de incidencia crítico.
- V_1 : Velocidad de la capa superficial (más lenta).

- V2: Velocidad de la capa inferior (más rápida).

B. Espesor del Estrato Superior (Z): La Falla de Tiempo

Una vez que se conoce el tiempo de intersección (t_i) y las velocidades, se puede calcular la profundidad (Z) a la que se encuentra la interfaz entre los dos estratos. La ecuación más común, derivada del análisis de la Dromocrónica, es para un modelo de dos capas:

$$z = t_i \frac{V_1 \cdot V_2}{2 \cdot \sqrt{V_2^2 - V_1^2}} \quad (3.17)$$

Donde:

- Z: Espesor de la capa superior. t_i : Tiempo de intersección (intercepto) en el eje Y (tiempo de llegada) del segmento refractado.
- V1, V2: Velocidades de la capa superior e inferior, respectivamente

3.3.2.3.4. Sísmica refracción (MASW -Multichannel Analysis of Surface Waves)

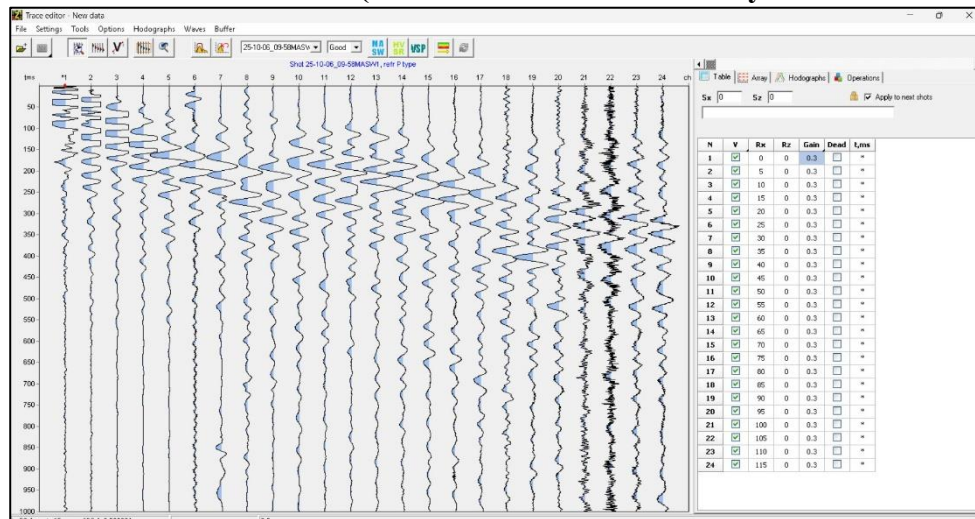


Figura 3.32. registro visual de las ondas sísmicas tal como fueron captadas por los geófonos en "La Barranca".

La figura 3.24 muestra el sismograma de refracción observamos que corresponde a un disparo sísmico generado con martillo que fue registrado por una línea de 24 geófonos.

Cada columna vertical representa la señal captada por un geófono, y el eje vertical indica el tiempo que tardó la onda en llegar, desde el instante del golpe 0 ms hasta aproximadamente 1 segundo. Las primeras trazas, especialmente en los geófonos cercanos al 1 y 8, muestran ondas directas que viajan por la capa superficial del suelo. A medida que nos alejamos del punto de disparo el geófono el 9 al 24, las primeras llegadas cambian de pendiente, lo que indica que la onda ha penetrado más profundo, hasta encontrar una capa más rígida y ha regresado a la superficie y eso es la onda refractada.

Este cambio de pendiente visible alrededor del geófono 8 al 10 marca la distancia crítica, clave para calcular el espesor de la capa superficial.

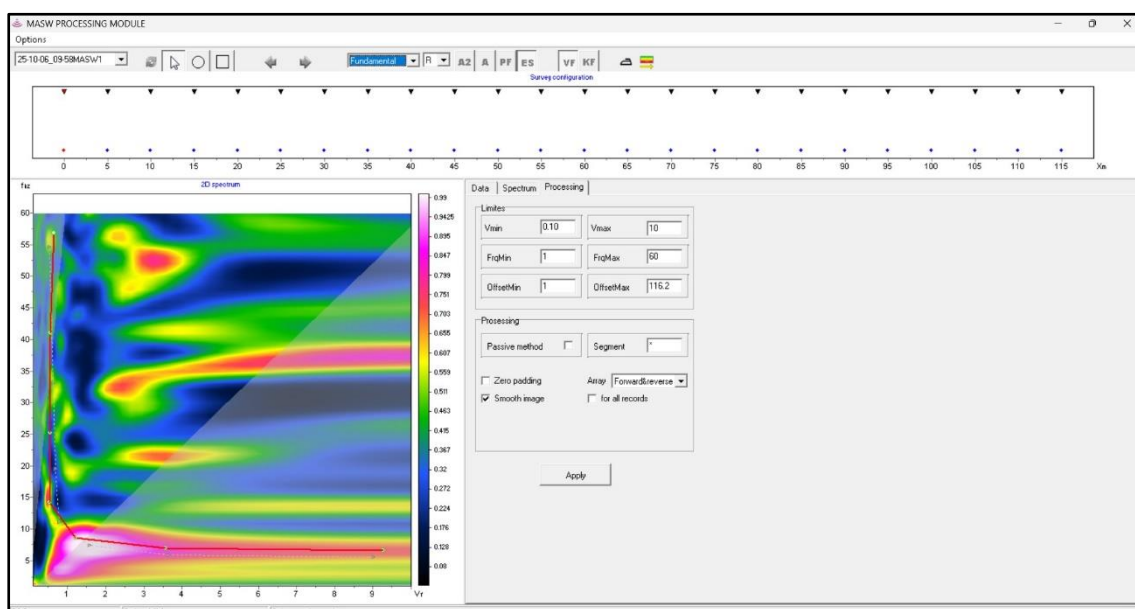


Figura 3.33. Espectro de energía que indica cómo la velocidad de las ondas cambia con la frecuencia y por ende con la profundidad.

La imagen muestra un espectro de dispersión, una herramienta clave del método MASW que permite entender la rigidez del suelo a distintas profundidades sin necesidad de perforar. El mapa de colores indica cómo se propagan las ondas superficiales (Rayleigh), los tonos cálidos señalan zonas donde la energía es máxima, revelando cómo se comporta el terreno según la frecuencia y la velocidad de las ondas. Las ondas de alta frecuencia exploran capas superficiales, mientras que las de baja frecuencia alcanzan zonas más profundas.

Sobre este espectro se traza una línea roja, la curva de dispersión fundamental. Esta línea representa la velocidad dominante de las ondas más energéticas en cada frecuencia, y su pendiente nos indica cómo cambia la rigidez del suelo con la profundidad. Si la curva muestra velocidades bajas en frecuencias altas llega a ser zonas superficiales, confirma la presencia de estratos blandos y compresibles en los primeros metros del terreno de “La Barranca”.

➤ **Tomografía 1**

Los valores de capacidad portante son estimaciones empíricas basadas en correlaciones típicas entre la velocidad de onda V_s y la resistencia del suelo (q_u) según estudios geotécnicos (Seed & Idriss, 1981; Kramer, 1996; Rix & Stokoe, 1991).

El resultado revela una variabilidad lateral y vertical en la rigidez del suelo, con sectores superficiales de baja velocidad (material blando) y un incremento progresivo de la velocidad con la profundidad. Se optó por analizar la tomografía 1 del resultado final del análisis MASW. Debido a que la velocidad de onda de corte llega a 10 m de profundidad, dando lugar para mejor entendimiento para el desarrollo del análisis de estudio.

A una profundidad desde el nivel del terreno hasta los 6.5 m se encuentra construido dos zapatas de 2.7 x 2.7m de dimensión ubicados en los ejes D1 y E1 del plano estructural de cimentaciones del bloque 4 (para mayor comprensión se recomienda observar el anexo D correspondiente al plano.), estas zapatas están construidas en la zona donde se observan mayores fallas patológicas en la estructura, a la misma vez se tiene entendido de que hubo un relleno en ese sector, la figura 3.15 nos proporciona una mejor claridad del contexto.

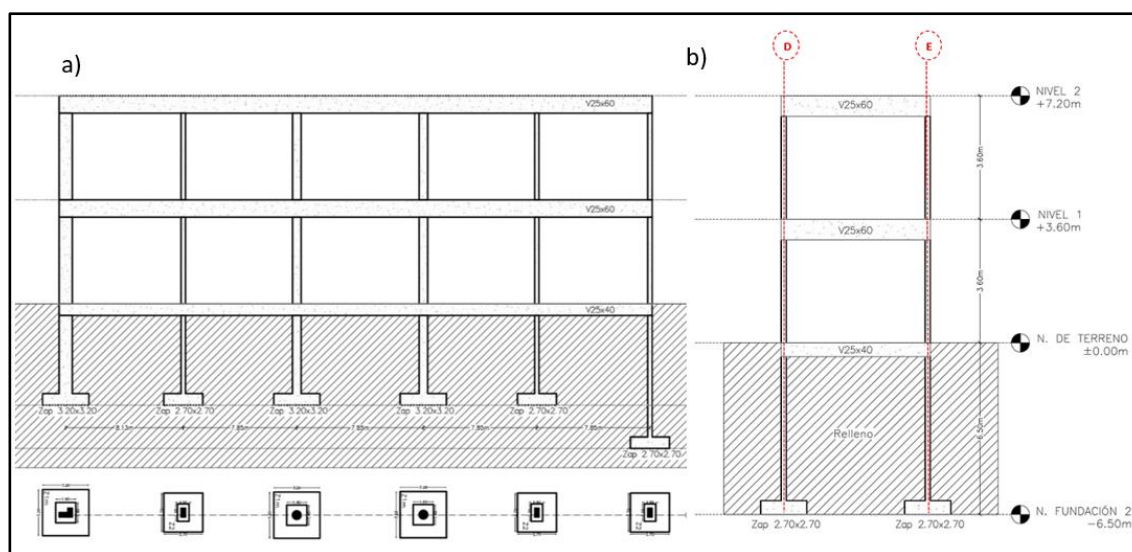


Figura 3.34. a) sección transversal de corte del eje D. b) sección transversal de corte del eje 1.

El gráfico de análisis MASW muestra un perfil de velocidades de onda de corte indicando la rigidez del suelo con la profundidad. Los colores cálidos como el rosa y el rojo señalan suelos con alta rigidez, los colores fríos azules y verdes nos indica que existen suelos blandos.

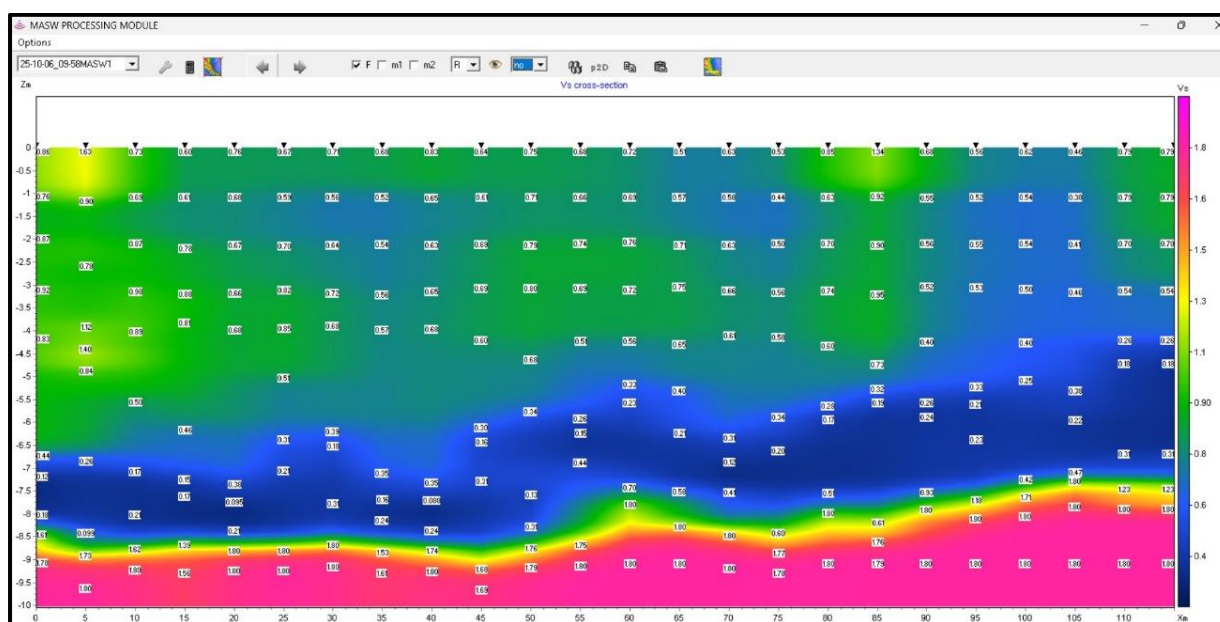


Figura 3.35. Resultado final del análisis MASW: En un corte transversal 2D de velocidades de onda de corte (V_s) versus profundidad a los 10 m.

Para la tomografía 1 de la figura 3.29, se obtiene los datos de la velocidad de onda de corte a la profundidad de 10 m. Los resultados que están resaltados, son aquellos de gran importancia para el desarrollo de este proyecto ya que se tiene las zapatas construidas a 6.5 m de profundidad.

Profundidad d H (m)	Punto 1 VS (m/s)	Punto 2 VS (m/s)	Punto 3 VS (m/s)	Punto 4 VS (m/s)	Punto 5 VS (m/s)	Punto 6 VS (m/s)	Punto 7 VS (m/s)	Punto 8 VS (m/s)
1	860	1630	730	600	760	670	710	680
2	760	900	690	610	680	590	560	520
3	870	780	870	780	670	700	640	540
4	920	1120	980	880	660	820	720	560
5	830	1400	890	810	680	850	680	570
6	440	840	500	460	380	510	390	350
7	120	260	170	150	95	310	180	160
8	180	99	210	170	210	210	310	240
9	1610	1730	1620	1390	1800	1800	1800	1530
10	1780	1800	1800	1560	1800	1800	1800	1610

Fuente: Equipo Geofísico

Profundidad d H (m)	Punto 9 VS (m/s)	Punto 10 VS (m/s)	Punto 11 VS (m/s)	Punto 12 VS (m/s)	Punto 13 VS (m/s)	Punto 14 VS (m/s)	Punto 15 VS (m/s)	Punto 16 VS (m/s)
1	830	640	750	680	720	510	630	530
2	650	610	710	660	690	570	580	440
3	630	690	790	740	760	710	630	500
4	650	690	800	690	720	750	660	560
5	680	600	680	510	560	650	610	580
6	350	300	340	260	330	400	310	340
7	88	160	130	150	230	210	120	200
8	240	310	310	440	700	580	410	600
9	1740	1680	1760	1750	1800	1800	1800	1770
10	1800	1690	1790	1800	1800	1800	1800	1780

Fuente: Equipo Geofísico

Profundidad d d H (m)	Punto 17 VS (m/s)	Punto 18 VS (m/s)	Punto 19 VS (m/s)	Punto 20 VS (m/s)	Punto 21 VS (m/s)	Punto 22 VS (m/s)	Punto 23 VS (m/s)	Punto 24 VS (m/s)
1	850	1340	680	560	620	460	790	790
2	630	920	550	520	540	380	790	790
3	700	900	560	550	540	410	700	700
4	740	950	520	530	500	460	540	540
5	600	730	400	330	400	380	260	260
6	280	320	260	210	250	220	180	180
7	170	190	240	230	420	470	310	310
8	510	610	930	1180	1710	1800	1230	1230
9	1800	1760	1800	1800	1800	1800	1800	1800
10	1800	1790	1800	1800	1800	1800	1800	1800

Fuente: Equipo Geofísico

Para la estimación de rigidez del terreno según la tomografía 1, se desarrolló según MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) y también se realizó la estimación de rigidez del terreno según el resultado CNBDS (Clasificación Nacional de Edificación Sismo-Resistente de Bolivia)

Tabla 3.20: Estimación de rigidez del terreno según el resultado MASW

Profundidad aproximada (m)	Rango de Vs (km/s)	Color predominante en el perfil	Descripción del material probable	Rigidez del suelo	Comportamiento geotécnico e interpretación
0 - 3 m	0.5 - 0.9	Verde – azul claro	Limos, arenas finas o arcillas medianamente compactas	Media	Suelo superficial con rigidez moderada. Puede presentar cierta deformabilidad bajo carga. Influye en asentamientos inmediato o elástico
3 - 8.5 m	0.1 - 0.4	Azul oscuro	Arcillas blandas o suelos saturados	Baja	Capa blanda y compresible. Alta deformabilidad, probable asiento diferencial. Zona crítica para fundaciones.
8.5 - 9.5 m	1.7 - 1.8	Rosado – magenta	Gravas densas o roca madre	Alta	Soporte rígido que controla la respuesta sísmica y el asentamiento total. Nivel de apoyo potencial para cimentaciones profundas.

Variabilidad lateral en todo el perfil	-----	Ondulaciones entre azul y rosado	-----	Variable	Se observan cambios en la profundidad del estrato rígido, indicando heterogeneidad lateral del subsuelo. Esto puede generar diferencias locales de rigidez y comportamiento dinámico.
---	-------	----------------------------------	-------	----------	---

El ensayo MASW muestra una alta variabilidad vertical y lateral de la rigidez, con presencia de una capa blanda intermedia sobre un basamento rígido irregular. Este contraste puede generar asentamientos diferenciales y amplificación sísmica localizada.

Para la estimación de rigidez del terreno según el resultado CNBDS (Clasificación Nacional de Edificación Sismo-Resistente de Bolivia) se utilizó la tabla 3.21.

Tabla 3.21 Clasificación del suelo según la velocidad de onda - CNBDS

Clasificación del suelo según la velocidad de onda Vs — CNBDS			
Clase de Suelo / Perfil CNBDS	Tipo de Material Predominante	Velocidad de Onda Cortante (Vs) (m/s)	Interpretación Geotécnica / Geofísica
S ₁ – Roca dura	Basalto, granito, caliza compacta	> 1500	Suelo rígido, mínima amplificación sísmica
S ₂ – Roca blanda o grava densa	Gravas densas, arenas muy compactas	760 – 1500	Alta capacidad portante, baja deformabilidad
S ₃ – Suelo denso a medianamente denso	Arenas o limos medianamente compactos	360 – 760	Moderada rigidez y asentamientos controlables
S ₄ – Suelo blando	Limos, arcillas blandas, rellenos medianamente consolidados	180 – 360	Alta deformabilidad, riesgo de amplificación sísmica
S ₅ – Suelo muy blando / Orgánico	Arcillas muy plásticas, limos saturados, turbas, rellenos sueltos	< 180	Muy baja rigidez, alto riesgo de asentamiento diferencial

Fuente: Norma Boliviana de Diseño Sísmico (NBDS-2023)

Tabla 3.22 Estimación de rigidez del terreno según el resultado CNBDS

Profundidad aproximada (m)	Rango de Vs (m/s)	Clasificación CNBDS (por rigidez dinámica)	Tipo de suelo	Comportamiento sísmico y rigidez relativa	Interpretación geotécnica
0 - 3 m	500 - 900	S2 – Suelo intermedio	Limos o arcillas medianamente densas	Respuesta sísmica moderada, con cierta amplificación	Capa superficial medianamente rígida; contribuye al asentamiento inmediato o elástico.
3 - 8.5 m	100 - 400	S3 – Suelo blando	Arcillas blandas o suelos saturados	Alta amplificación sísmica, baja rigidez, deformable	Capa crítica con menor módulo cortante, propensa a asentamientos diferenciales y deformaciones no uniformes.
8.5 - 9.5 m	> 1700	S0 – Roca o material muy rígido	Roca o gravas densas cementadas	Baja amplificación sísmica, alta rigidez	Estrato competente que limita los asentamientos totales; actúa como apoyo estructural firme.
Variabilidad lateral en todo el perfil	-----	Transición S2 - S3 - S0	-----	Variaciones locales de rigidez y respuesta dinámica	Indica heterogeneidad del subsuelo y posible comportamiento diferencial frente a cargas o vibraciones.

El ensayo MASW revela una alta variabilidad de rigidez (S2 a S3, con base rígida S0), lo que significa que el subsuelo es heterogéneo y parcialmente compresible. De acuerdo con la CNBDS, este tipo de perfil corresponde a un suelo de comportamiento dinámico variable, donde se combinan zonas blandas intermedias con un basamento firme a profundidad, generando riesgo de asentamientos diferenciales y amplificación sísmica localizada.

➤ Tomografía 2

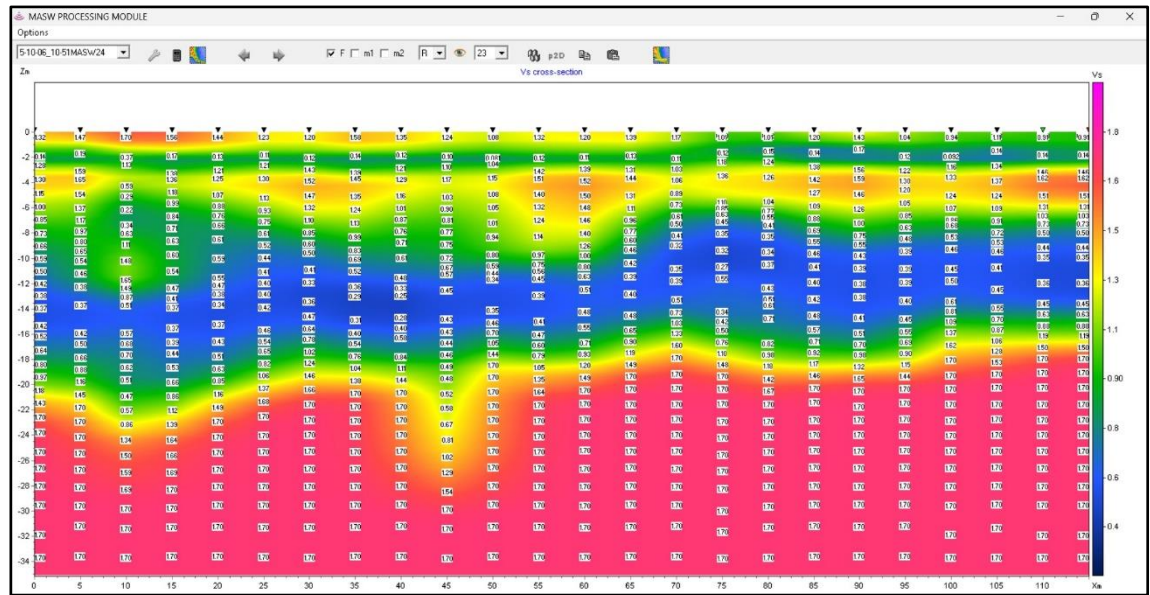


Figura 3.36. Resultado final del análisis MASW: En un corte transversal 2D de velocidades de onda de corte (V_s) versus profundidad a los 34 m.

Este corte transversal generado por el método MASW muestra cómo varía la rigidez del suelo con la profundidad y a lo largo del tendido geofísico. Los colores representan velocidades de onda de corte (V_s), que nos indican qué tan firme o compresible es cada estrato.

El perfil geofísico mostrado corresponde al resultado del ensayo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), que permite determinar la variación de la velocidad de onda de corte (V_s) en profundidad. En la imagen se observa una estratificación definida: una capa superficial de baja rigidez de 0 a 3 m con V_s entre 0.25 y 0.40 km/s, correspondiente a suelos sueltos o de relleno; una capa intermedia de 3 a 10 m con V_s entre 0.45 y 0.70 km/s, asociada a arenas limosas compactas; y una capa profunda de 10 a 25 m con V_s superiores a 1.0 km/s, representando gravas densas o roca alterada. Este aumento progresivo de velocidad con la profundidad indica un terreno de rigidez media a alta, aunque con zonas de heterogeneidad lateral que podrían vincularse con asentamientos diferenciales observados en la edificación La Barranca.

3.3.2.4 Propiedades elásticas del suelo

El comportamiento elástico del suelo se define mediante tres parámetros básicos:

- **Módulo de Young (E):** mide la rigidez axial ante cargas uniaxiales.
- **Módulo de corte (G):** describe la rigidez al esfuerzo cortante.
- **Coefficiente de Poisson (v):** relaciona la deformación lateral con la longitudinal.

Estas propiedades están vinculadas entre sí por la relación general de elasticidad isotrópica:

$$E=2G(1+v) \quad (3.18)$$

Esta expresión se aplica tanto en condiciones estáticas como dinámicas, aunque los valores de G y E dependen del rango de deformación.

3.3.2.4.1 Obtención del módulo de corte a partir de Vs

Los ensayos MASW permiten determinar la velocidad de la onda de corte V_s , la cual está directamente relacionada con el módulo de corte inicial o de pequeña deformación G_o , según la ecuación:

$$G_o = \rho V_s^2 \quad (3.19)$$

donde:

- G_o : módulo de corte a pequeñas deformaciones (Pa),
- ρ : densidad del suelo (kg/m^3),
- V_s : velocidad de onda de corte (m/s).

Esta relación es fundamental en geotecnia dinámica y se encuentra en numerosos estudios clásicos (Hardin & Drnevich, 1972; Kramer, 1996; Richart, Hall & Woods, 1970). El valor de G_o representa la máxima rigidez del suelo antes de que ocurra degradación por esfuerzos cíclicos o estáticos.

3.3.2.4.2. Obtención del módulo dinámico de Young

El módulo de Young dinámico se obtiene reemplazando el valor de G_o en la ecuación (1):

$$E_{dyn} = 2 G_o (1+v) \quad (3.20)$$

Este módulo es válido únicamente para deformaciones muy pequeñas ($\epsilon \approx 10^{-6}$). En la práctica de ingeniería geotécnica, las cargas estáticas de cimentación generan deformaciones mucho mayores, por lo que debe aplicarse un **factor de reducción** para obtener el módulo estático equivalente (Hardin & Drnevich, 1972; Das & Sobhan, 2018).

3.3.2.4.3. Conversión a módulo estático

Los valores dinámicos se ajustan a condiciones de carga cuasi-estática mediante un factor empírico de corrección (α):

$$E_{static} = \alpha E_{dyn} \quad (3.21)$$

Tabla 3.23 El coeficiente α depende del tipo de suelo y del nivel de deformación (Lambe & Whitman, 1979; Bowles, 1997):

Tipo de suelo	Rango de α	Recomendado
Arena densa	0.6–0.8	0.6
Limo o arcilla blanda	0.3–0.5	0.4
Roca o suelo cementado	0.8–0.9	0.9

Fuente: Estos factores fueron aplicados a tus estratos según su descripción MASW.

3.3.2.4.4. Coeficiente de Poisson (ν)

El coeficiente de Poisson expresa la proporción entre la deformación lateral y la axial. Valores típicos:

- Suelos granulares secos: 0.25–0.35
- Suelos cohesivos saturados: 0.35–0.45
- Roca: 0.20–0.30

Los valores adoptados ($\nu=0.30$, 0.35 y 0.25) se basan en el tipo de material de cada capa, de acuerdo con los resultados de tus ensayos geofísicos.

3.3.2.4.5. Densidad y peso unitario

La densidad (ρ) y el peso unitario (γ) son parámetros esenciales para el cálculo de esfuerzos efectivos y para definir la masa en análisis dinámicos.

$$\gamma = \rho g \quad (3.22)$$

donde

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

Los valores se obtuvieron de tu perfil MASW o se asumieron según rangos típicos de cada tipo de suelo.

Tabla 3.23 Tabla de Parámetros Geotécnicos por estrato

Estrato	Prof. (m)	Vs (m/s)	γ (kN/m ³)	ρ (kg/m ³)	G _o (Pa)	E (MPa)	ν	ϕ' (°)	ψ (°)	c' (kPa)	c _u (kPa)
A (superficial)	0 – 3	700	18.64	1900	9.31×10 ⁸	22.5	0.3	29	6	3	12.5
B (intermedia)	3 – 8.5	250	17.66	1800	1.13×10 ⁸	12.5	0.35	20	0	0	22.5
C (competente)	8.5– 10	1750	21.58	2200	6.74×10 ⁹	125	0.25	38	10	10	≥125

Los parámetros geotécnicos presentados fueron determinados a partir de la integración de resultados del ensayo SPT y del análisis geofísico MASW, y los parámetros de fricción interna (ϕ'), dilatancia (ψ) y cohesión (c', c_u) se obtuvieron por correlaciones empíricas basadas en los valores corregidos del SPT (N60N_{60}N60) y en la clasificación litológica de cada estrato, considerando criterios de Bowles (1996), Das (2019) y Terzaghi et al. (1996).

4. Análisis y discusión de resultados

En esta sección se presentan y analizan los resultados obtenidos a partir del estudio geotécnico y estructural de un caso real de patologías en una edificación afectada por asentamientos diferenciales. El análisis se basa en un enfoque integral que combina métodos observacionales de daños presentados, ensayos geotécnicos (pruebas de suelo y laboratorio) y geofísicos sísmicos (métodos indirectos para caracterizar los estratos), así como modelación numérica estructural y geotécnica. Se desarrollaron tres modelos estructurales con diferentes condiciones de carga y caracterización del terreno, además de una simulación bidimensional en ANSYS para evaluar los esfuerzos y deformaciones en las zapatas críticas. Los resultados se comparan con estudios previos encontrados en la literatura técnica, lo que ayuda a entender mejor los hallazgos y comprobar si las hipótesis planteadas son coherentes con investigaciones similares.

4.1. Parámetros iniciales de los materiales obtenidos de los documentos anteriores (Proceso constructivo).

Como parte de un proceso de evaluación y diagnóstico estructural, es necesario obtener toda la documentación posible de los estudios anteriores realizados, además de planos estructurales de diseño estructural, planos arquitectónicos y los planos Asbuilt, por lo tanto, es necesario indicar que a través de la información obtenida se tiene el siguiente resumen de parámetros de diseño inicial.

Se debe tomar en cuenta que, para poder obtener los parámetros finales para los modelos numéricos, es necesario usar los datos obtenidos de los ensayos geotécnicos y geofísicos, por lo tanto, datos que no se lleguen a poder obtener de forma directa con ensayos, serán aproximados con datos de correlaciones según investigaciones científicas de artículos como los indican, Martínez, et al. (2023).

Tabla 4.1. Documentos para la evaluación geotécnica estructural

Documentos	Cuenta	No cuenta	Observaciones
Memoria de Calculo	x		Especifica parámetros físico mecánico de los materiales.
Planos Estructurales	x		configuración estructural.
Planos Arquitectónicos	x		Ubicación de muros.
Planos Topográficos		x	No se tiene información.
Planos Asbuilt	x		Existe variación con las zapatas del diseño inicial.
Planillas de Obra		x	No se tiene información.
Libro de Ordenes		x	No se tiene información.
Estudio de Suelos	x		Sondeos SPT de todo el proyecto.

De la tabla 4.1 es necesario indicar que el proyecto cuenta con 5 bloques distribuidos por lo tanto la información obtenida es de todo el proyecto, por lo tanto, el presente proyecto se abocara a realizar la evaluación técnica integral del bloque N°4, como se puede observar en la figura N°4.1.

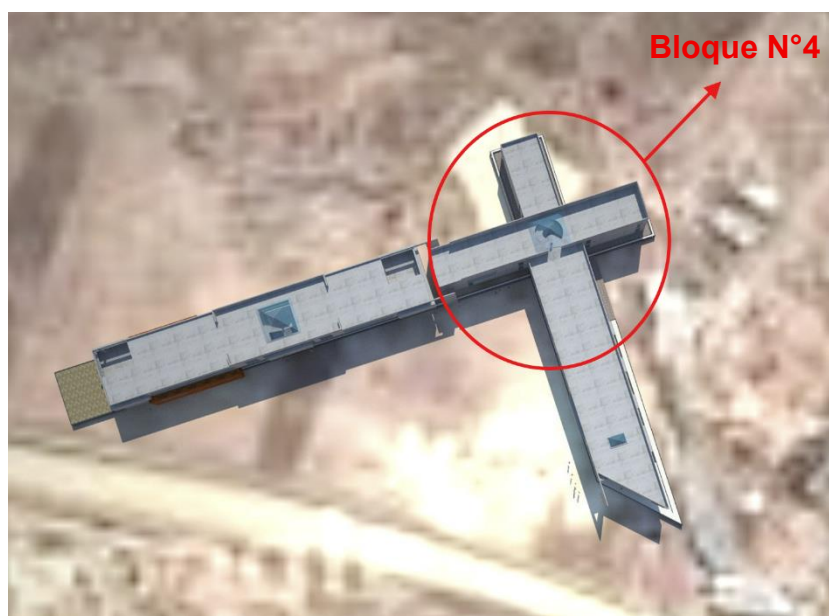


Figura 4.1. Georeferenciación del Emplazamiento del Edificio de la Barranca y la ubicación del bloque N°4 – Caso de Estudio. (Google Earth 2024).

4.1.1. Estudio de Suelos inicial

Es necesario hacer un análisis del estudio inicial que se realizó el año 2014, donde se realizaron 4 puntos de exploración con el ensayo de penetración estándar (SPT), el cual se

emplea para evaluar la resistencia del terreno y su caracterización mecánica del suelo, por lo tanto, en base a otros parámetros, se obtiene la capacidad portante admisible para el análisis y diseño de las fundaciones. Por tanto, en la figura 4.2 se muestra el resultado del sondeo N°3, que es el más desfavorable, el cual se induce que fue en el sector donde se encuentra el Bloque N°4, el cual esta haciendo analizado para esta tesis.

SONDEO No. 3

Encontramos los siguientes resultados

PROFUNDIDAD			DESCRIPCIÓN	q ult	UNIDAD	TIPO DE SUELO
0.00	A	0.00	Pozo Cielo Abierto			ESTRATO A
0.00	A	0.30	con una fatiga de	0.08	kg/cm ²	
0.30	A	0.60	con una fatiga de	0.45	kg/cm ²	
0.60	A	0.90	con una fatiga de	1.31	kg/cm ²	
0.90	A	1.20	con una fatiga de	1.60	kg/cm ²	
1.20	A	1.50	con una fatiga de	1.96	kg/cm ²	
1.50	A	1.80	con una fatiga de	2.06	kg/cm ²	ESTRATO B
1.80	A	2.10	con una fatiga de	0.78	kg/cm ²	
2.10	A	2.40	con una fatiga de	0.96	kg/cm ²	ESTRATO A
2.40	A	2.70	con una fatiga de	0.85	kg/cm ²	
2.70	A	3.00	con una fatiga de	1.27	kg/cm ²	
3.00	A	3.30	con una fatiga de	1.80	kg/cm ²	ESTRATO B
3.30	A	3.60	con una fatiga de	1.68	kg/cm ²	
3.60	A	3.90	con una fatiga de	1.35	kg/cm ²	ESTRATO A
3.90	A	4.20	con una fatiga de	1.43	kg/cm ²	
4.20	A	4.50	con una fatiga de	1.51	kg/cm ²	
4.50	A	4.59	RECHAZO			

Figura 4.2. Captura obtenida del estudio de suelos inicial, en el cual se muestra los datos de capacidad portante para el diseño de las zapatas. (Documentos proporcionados del Proyecto Inicial).

Según el diseño estructural inicial y la memoria de cálculo, el valor para el diseño de las fundaciones fue de 1.60 kg/cm², este valor se encuentra en los planos estructurales, además que la profundidad de fundación indicada era de 2.5 metros, algo que en los planos Asbuilt de la construcción indican que las zapatas están fundadas a 3.5 metros, solo dos que están a 5.00 metros de profundidad de fundación por lo tanto, como son documentos oficiales y de obra, se entiende que estas fundaciones tienen ese desplante y que ese será nuestro punto de partida para el análisis estático y de asentamientos de las zapatas indicadas. Así Como se puede observar en la figura 4.3 donde se tiene un corte de la sección transversal del

bloque de estudio, solo las zapatas del eje D, están a una profundidad de 6.5m, lo cual esa zona fue rellenada y todo ese peso, está ejerciendo presión en las zapatas.

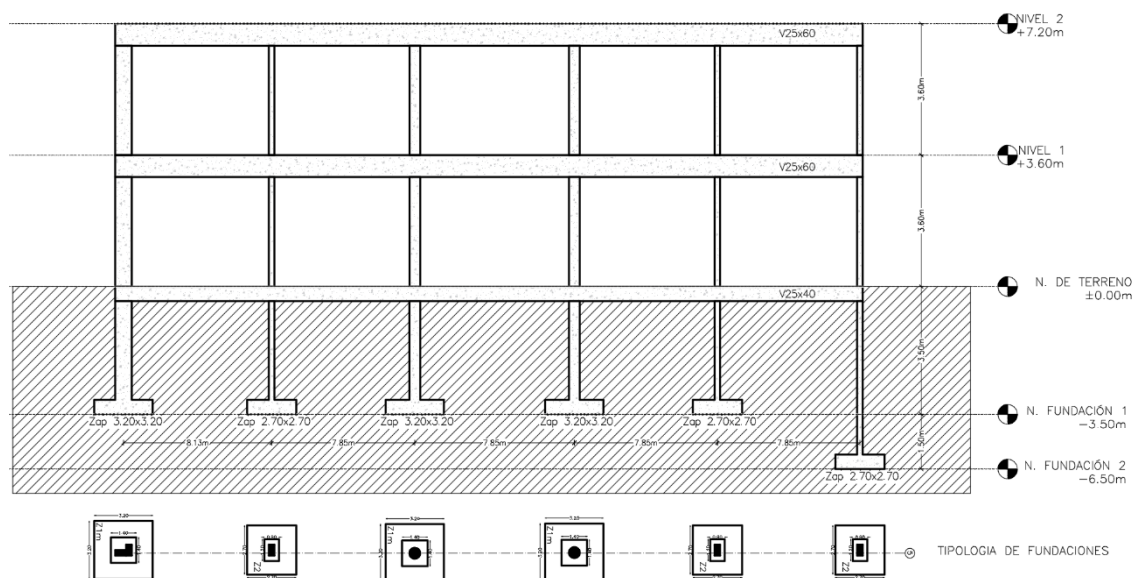


Figura 4.3. Sección Transversal del análisis Estructural y de fundaciones, con sus respectivas cotas y dimensiones. (Elaboración propia).

4.2. Modelación Numérica para verificación de Esfuerzos y Asentamientos

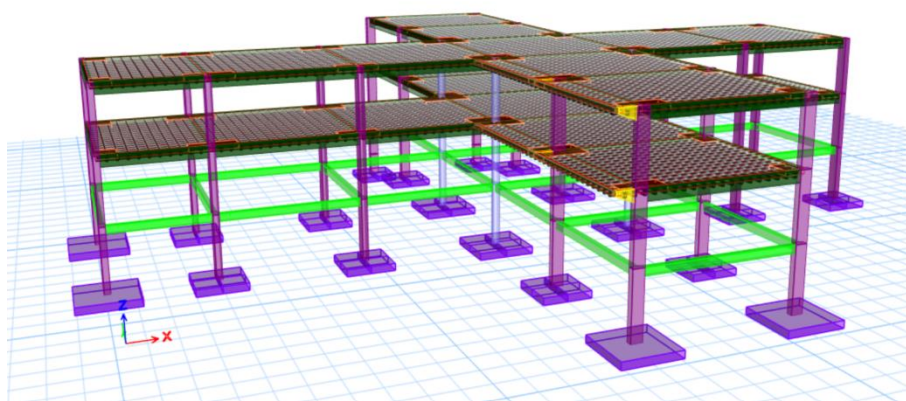


Figura 4.3. Modelo tridimensional de la estructura simplificada para la evaluación de las fundaciones (Elaboración propia).

Para realizar el análisis estructural de las fundaciones de la edificación en el trabajo de investigación, se elaboró un modelo computacional simplificado mediante elementos

finitos en el programa ETABS, el cual nos permite representar de mejor manera la distribución de cargas en las zapatas y el suelo, además de evaluar los esfuerzos, deformaciones y asentamientos. Esta simplificación se basó en elementos finitos lineales, lo cual es el más usado para el cálculo y diseño estructural de edificaciones, por lo que tiene una aproximación a los resultados reales, pero como señalan los investigadores Brinkgreve y Swolfs (Delft University, 2015), este tipo de modelos que no tienen más detalle del comportamiento no lineal, pueden tener desviaciones en los resultados. Mayor cantidad de ensayos y laboratorios, además el uso de modelación avanzada mejorara esa incertidumbre que se tiene, pero también incrementan los costos.

Las cargas gravitacionales fueron definidas conforme a los lineamientos de la norma ASCE 7-16, considerando la sobrecarga de uso según el tipo de ocupación del edificio. Asimismo, se incorporaron las cargas permanentes derivadas de los materiales empleados en la construcción, como concreto, mampostería y acabados. De manera complementaria, se aplicaron cargas lineales sobre las vigas, representando los efectos de muros y elementos no estructurales que inciden directamente sobre las fundaciones.

El modelo permitió identificar zonas de mayor concentración de esfuerzos y estimar los asentamientos diferenciales, los cuales fueron posteriormente comparados con los daños observacionales y los resultados obtenidos en los modelos geotécnicos. Esta verificación numérica fue clave para validar las hipótesis sobre el origen de las patologías estructurales.

4.2.1. Parámetros de compresibilidad del suelo (Spring)

En el presente estudio, debido a la imposibilidad de realizar ensayos directos como el ensayo de placa de carga, se optó por estimar el coeficiente de balasto mediante métodos empíricos y teóricos basados en parámetros geotécnicos simples como la capacidad portante, el peso específico del suelo y correlaciones bibliográficas.

Varios escritores han sugerido métodos para calcular esto. Con el módulo de elasticidad, el coeficiente de Poisson y el ancho de la cimentación, Vesic (1961) creó una fórmula simplificada para determinar el módulo de reacción del terreno. Por su parte, Nelson

Morrison (1993) desarrolló una tabla empírica muy empleada en programas como SAFE, que vincula el coeficiente de balasto (módulo de Winkler) con la capacidad portante admisible del suelo (presión máxima que el terreno puede soportar sin fallar), ofreciendo valores de referencia para diferentes clases de suelo. En Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones, Braja M. Das (2012) proporciona intervalos habituales del coeficiente de balasto ($K_{0.30}$) en función de la clase y la consistencia del terreno. Además, David Millones (2021) enfatiza que es legítimo emplear promedios de valores referenciales en caso de no tener ensayos concretos y correlaciones empíricas ajustadas a las condiciones locales. Para este estudio, se utilizó un valor medio del coeficiente de balasto. Este dato fue extraído de la comparación de las fuentes citadas y adaptado en función de las propiedades del terreno local, por ejemplo: consistencia del suelo, granulometría y resultados de los ensayos geotécnicos existentes. La Tabla 4.2 muestra estos valores, incluyendo los rangos que se tuvieron en cuenta y el valor final escogido para la modelación. Esta perspectiva posibilitó una representación numérica consistente con los daños detectados en la estructura, y comprendió que el coeficiente de balasto no es una característica permanente del suelo. En base a estos datos y correlaciones se tomó en cuenta los siguientes parámetros más importantes para la modelación numérica del suelo, se tomaron en cuenta tres modelos de estudio para verificar la situación actual del edificio evaluado y poder aproximar los daños ocasionados por los asentamientos diferenciales:

Tabla 4.2. Parámetros de los estudios de suelos para la Modelación numérica.

Modelo Tipo	q_{adm} (kg/cm²)	Coeficiente de Balasto (kg/cm³)	Carga Aplicada a las Zapatas (kN/m²)	Carga Por la Estructura en Servicio (kN)	Tipo de Zapata
Modelo 1 (MT1)	1.60	3.05	0.00	490.26	Flexible
Modelo 2 (MT2)	1.60	3.05	81.00	490.26	Flexible
Modelo 3 (MT3)	1.31	2.50	81.00	490.26	Flexible

Nota: La carga aplicada a las zapatas, es la presión ejercida por los 4.60m de relleno que se tiene por encima ejerciendo una carga importante y pudiendo ser adecuado para la verificación de asentamientos totales.

Modelo N°1 (MT1): Condiciones iniciales (Estudio de suelo 2014)

En este modelo se realizó la idealización de la estructura completa en tres dimensiones, pero se enfatizará el análisis total en el área más crítica el cual es del Eje 1, donde se tienen dos zapatas que tienen dimensiones de 2.70 m x 2.70m, y un espesor de 40cm, además se

consideró una capacidad portante admisible de 1.60 kg/cm² como indicaba el diseño estructural.

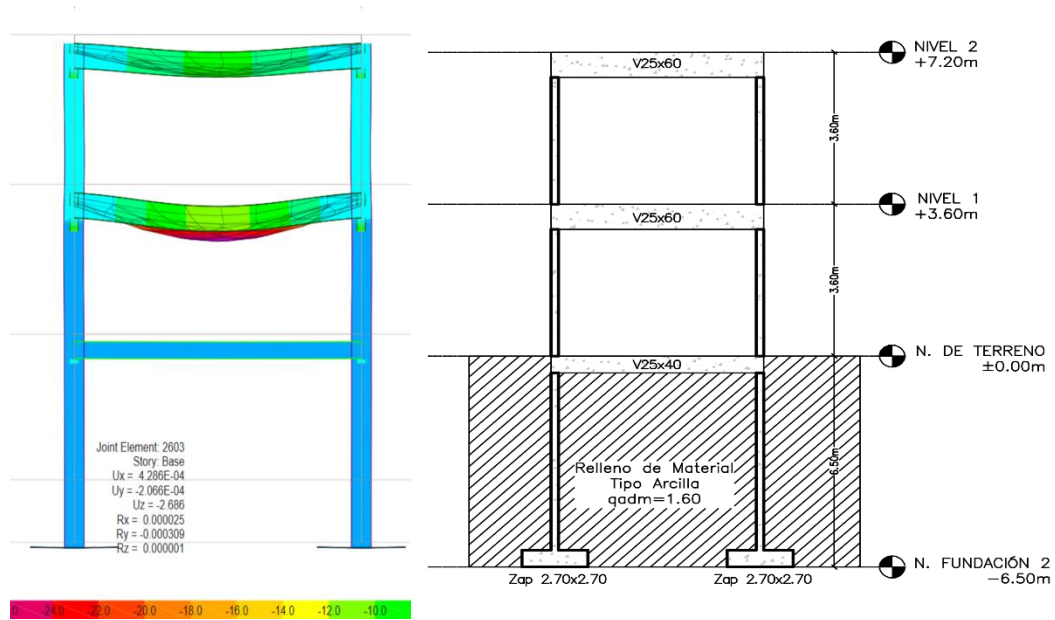


Figura 4.3. a) Modelo MT1 con su deformación final para las cargas aplicadas y parámetros del suelo, b) Geometría y dimensiones del eje crítico para el análisis de asentamientos (Elaboración propia).

En la figura 4.3, podemos observar los datos de la deformación máxima por asentamiento instantáneo del modelo MT1, que es aproximadamente de 2.70mm en la base de la fundación, esto según los datos de la tabla 4.2, que nos dan los parámetros para la modelación numérica.

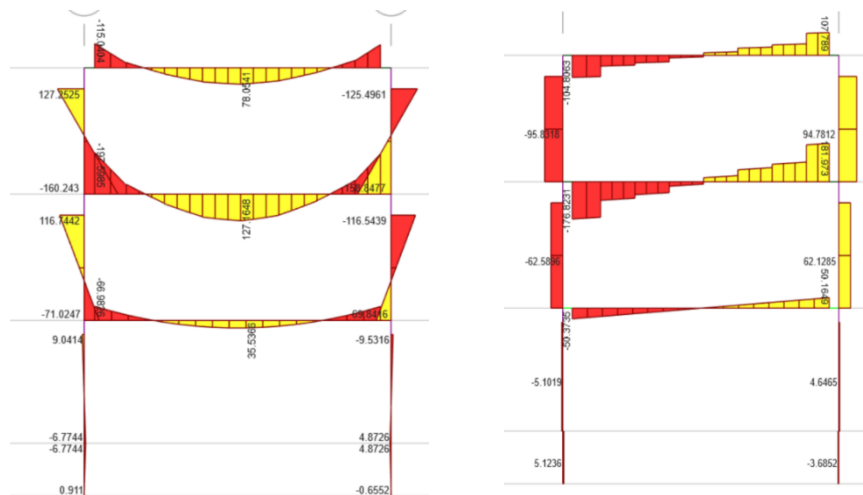


Figura 4.4. a) Esfuerzos Máximos de flexión M_{33} , b) Cortantes máximas V_{22} (Elaboración propia).

Es necesario hacer una revisión de los esfuerzos de momentos máximos de diseño y cortante en el pórtico de evaluación según la figura 4.4, en ambos casos, donde el momento máximo de la viga de arriostre a nivel del terreno es de 35.5 kN-m, y en la viga 3.60m, se tiene un momento máximo positivo de 127.2 kN-m. y una cortante máximo en el último nivel de 95.12 KN.

Modelo N°2 (MT2): Condiciones iniciales (Estudio de suelo 2014)

Este modelo representa las mismas características propias del modelo MT1, pero con la diferencia de la inclusión de la carga de 4.60 metros sobre las zapatas debido al relleno que se tiene y la profundidad de fundación. Por lo que es importante ver el caso con el estudio inicial y si se hubiera tomado en cuenta la carga de relleno sobre la zapata.

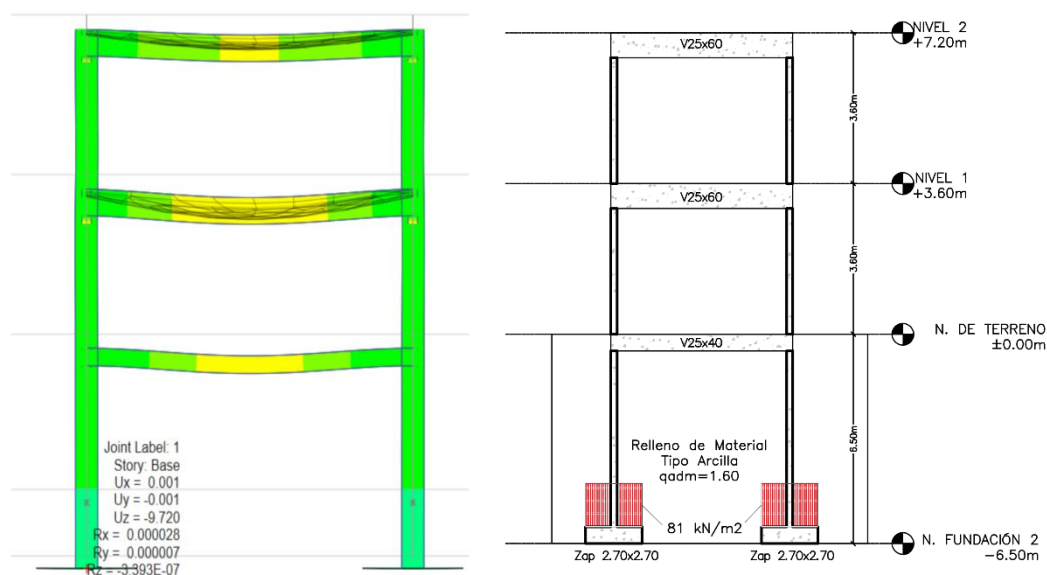


Figura 4.5. a) Modelo MT2 con su deformación final para las cargas aplicadas y parámetros del suelo, b) Geometría y dimensiones del eje crítico para el análisis de asentamientos (Elaboración propia).

En la figura 4.5, podemos observar los datos de la deformación máxima por asentamiento instantáneo del modelo MT2, que es aproximadamente de 10.5 mm en la base de la fundación, esto según los datos de la tabla 4.2, que nos dan los parámetros para la modelación numérica. Esto considerando la carga sobre las zapatas.

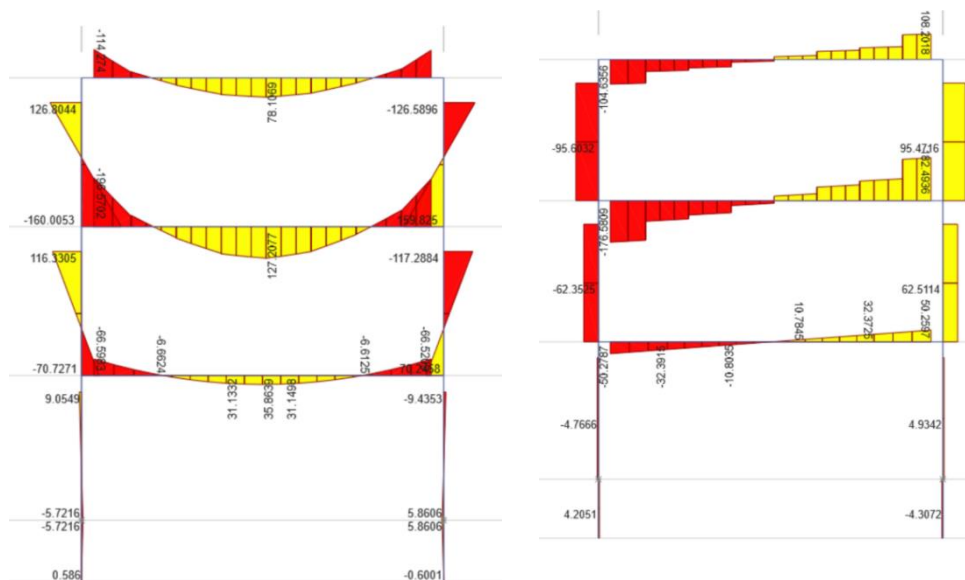


Figura 4.6. a) Esfuerzos Máximos de flexión M33, b) Cortantes máximas V22
(Elaboración propia).

En la revisión de los esfuerzos de momentos máximos de diseño y cortante en ese pórtico de evaluación por lo que se tiene que, en ambos casos como se observa en la figura 4.6, donde el momento máximo de la viga de arriostre a nivel del terreno es de 35.9 kN-m, y en la viga 3.60m, se tiene un momento máximo positivo de 127.2 kN-m. y una cortante máximo en el último nivel de 95.6 kN.

Modelo N°3 (MT3): Condiciones reales actuales (Estudio de suelos actualizado)

Para este modelo se tomaron en cuenta los valores analizados con los estudios y ensayos realizados para la evaluación integral geotécnica y estructural, además del relevamiento de las patologías encontradas en la edificación. En este modelo están los datos reales y actualizados para estas nuevas condiciones de sitio, según los datos del ensayo geofísico del capítulo 3 de refracción sísmica que correlaciona la información más importante de esta

zona crítica y genera una perspectiva sobre el tipo de suelo obtenido en el ensayo SPT, como se muestra en la tabla 4.2.

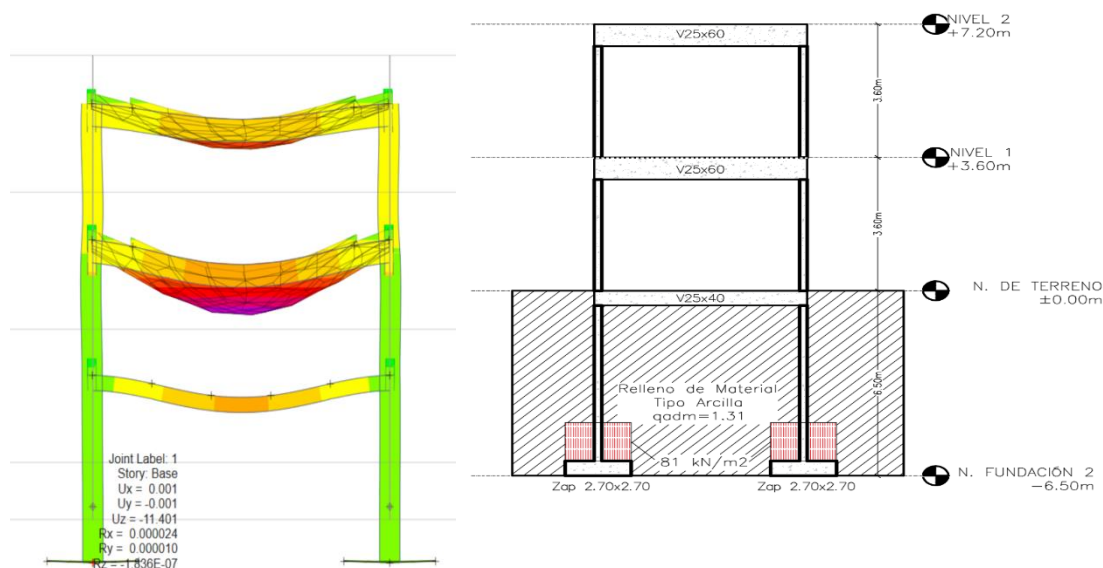


Figura 4.7 a)Modelo MT3 con su deformación final para las cargas aplicadas y parámetros del suelo, b) Geometría y dimensiones del eje crítico para el análisis de asentamientos (Elaboración propia).

En la figura 4.7, podemos observar los datos de la deformación máxima por asentamiento instantáneo del modelo MT3, que es aproximadamente de 11.4 mm en la base de la fundación, es necesario indicar que la viga de arriostre a nivel +0.00 tiene una deformación instantánea de 1.8 cm, esto según los datos de la tabla 4.2, que nos dan los parámetros para la modelación numérica. Esto considerando la carga sobre las zapatas.

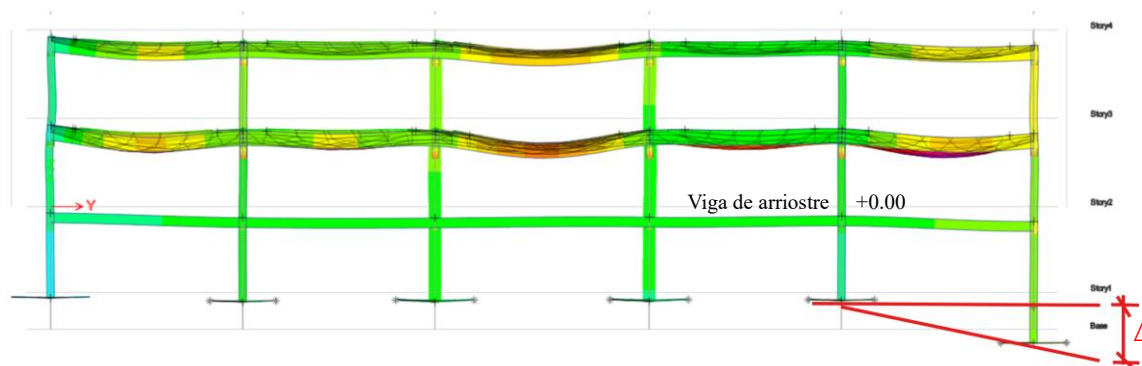


Figura 4.8 Verificación de Distorsiones angulares en la estructura, del Eje transversal. (Elaboración propia).

Según los resultados del modelo numérico se tiene una diferencia entre asentamientos entre columnas de 5.75mm, por lo tanto, la longitud entre ejes de ese tramo es de 7.50m, entonces la distorsión angular es de 0.001, el límite para este tipo de edificaciones es de 0.002, por lo tanto la diferencia entre asentamientos no conlleva a asentamientos diferenciales críticos, pero sí que puedan generar fisuras como las observadas en los datos observacionales, además que debido a la diferencia de profundidades de zapatas, se tiene esfuerzos y deformaciones más pronunciadas en la viga de arriostre, la cual es donde se encuentran fisuras entre la viga y el muro del orden de los 3.50cm. aproximadamente.



Figura 4.8 a) Deformación con fisuras entre el sobrecimiento encima de la viga de arriostre +0.00 Eje 1, **b)** Fisuras transversales debido a los asentamientos diferenciales con fisuras en las vigas de los otros niveles (Elaboración propia).

Según lo que se puede observar en la figura 4.8, las fisuras encontradas en la zona crítica, corresponden a similares deformaciones generadas en el modelo numérico MT3, el cual se tomó en cuenta con los ensayos y estudios actualizados. Además, hay que considerar que para obtener el asentamiento final de los modelos numéricos, faltan complementar el asentamiento por fluencia (creep) y el asentamiento por consolidación o a largo plazo, algo que ya está sucediendo en la estructura, al tener grandes deformaciones.

Es necesario indicar que estas deformaciones fueron generadas por modelos lineales directos con la metodología de coeficiente de balasto (modulo de winkler), el cual es un método directo para las comparaciones respectivas, y asumiblemente al análisis inicial con el que se determino el proyecto.

4.3. Modelación bidimensional de zapatas

Para complementar el análisis estructural y geotécnico del caso de estudio, se desarrolló una modelación bidimensional mediante el software ANSYS Mechanical R2025, enfocada en la evaluación de esfuerzos y deformaciones en las zapatas más comprometidas. La simulación se realizó siguiendo una secuencia metodológica que incluyó: la definición de los materiales del suelo y del concreto de las zapatas, la creación de geometrías representativas del sistema suelo-estructura, la generación de una malla adecuada para capturar los gradientes de esfuerzo, la aplicación de condiciones de contorno que simulan el confinamiento lateral y la carga vertical, la resolución del modelo mediante el método de elementos finitos, y finalmente el análisis de los resultados obtenidos

Tabla 4.2. Parámetros de la zapata y el suelo para la modelación numérica en Ansys2025

Tipo	Material	Dimensiones (mxm)	Peso Específico (kN/m ³)	Modulo Elástico (Mpa)	Poisson	Cohesión (Mpa)	Angulo Fricción (grados)
Fundación	Concreto armado	2.70 x 0.40	25.00	18000	0.2	-	-
Suelo T1	Suelos limosos	4x40 Celeste	17.66	12.5	0.35	0.0	20
Suelo T2	Suelo 2	2x40 Verde	19.00	25.0	0.30	5.0	28
Suelo T2	Suelo 3 Rocoso	14x40 Magenta	21.58	125.0	0.25	10	38

Nota: Datos obtenidos de los ensayos realizados según la tabla 3.15 y 3.16, además fue resumido según todos los datos obtenido en la tabla 3.24 Modulo elástico se basó en las ecuaciones de Meigh & Nixon (1961).

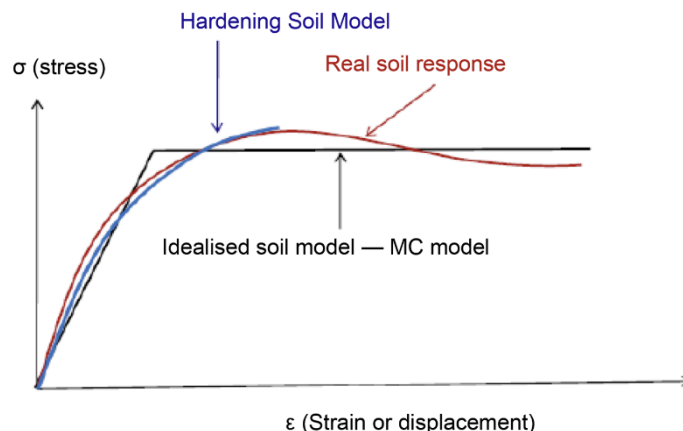


Figura 4.9 Modelo constitutivo elástico lineal Mohr-Coulomb (Al-Taie, Al-Ansari & Knutsson, 2016.)

El modelo constitutivo Mohr-Coulomb, que se observa en la figura 4.9 de una relación lineal entre el esfuerzo normal y el esfuerzo cortante, como el usado en el estudio realizado para asentamientos en cimentaciones de los autores, Al-Taie, Al-Ansari y Knutsson (2016). Esta correlación respalda la validez del modelo utilizado en el presente estudio para suelos limosos de baja plasticidad, permitiendo interpretar de manera confiable el comportamiento mecánico del terreno ante cargas de servicio.

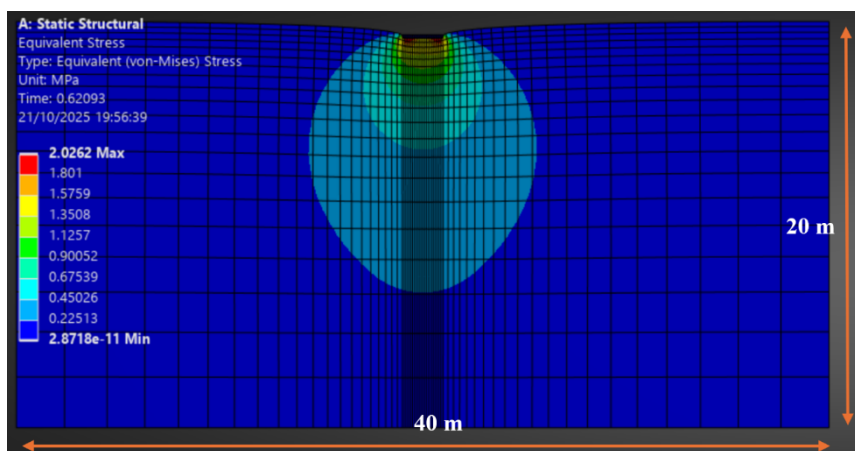
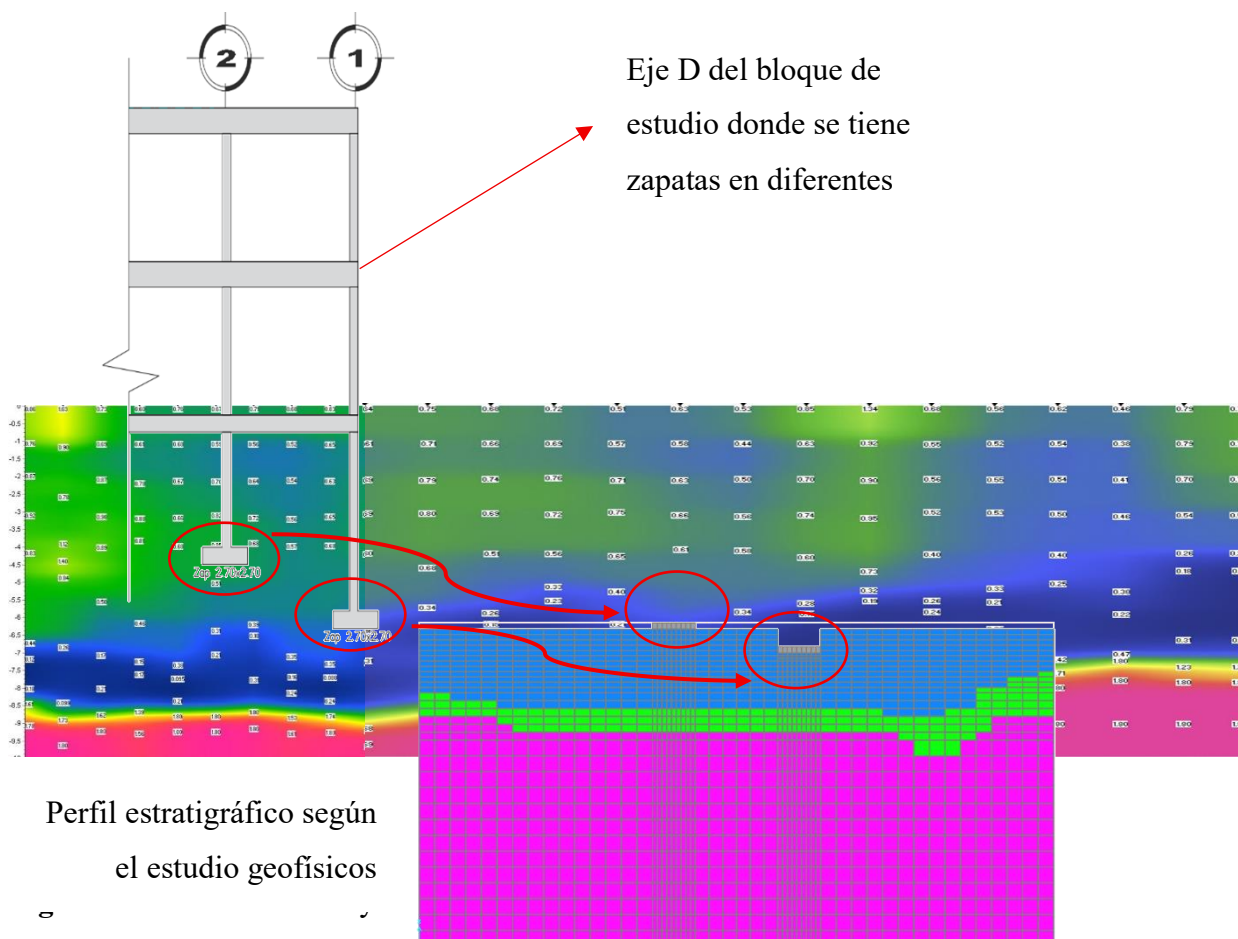


Figura 4.10 Generación del Mallado más densificado en la parte central y donde se tienen el contacto entre elementos. (Elaboración propia).

4.3.1. Modelación numérica geotécnica para dos zapatas



sobreposición de los niveles de fundación en base a los ensayos geofísicos para la modelación numérica (Elaboración propia).

Se realizó una modelación numérica computacional, en base a los estudios geotécnicos y también geofísicos para dos zapatas que se encuentran en la zona crítica según lo mostrado en el capítulo 3 y en el perfil de la figura 4.3, para revisar y analizar los asentamientos y las presiones generadas por las cargas de la tabla 4.2.

Después de procesar el estudio geofísico, se puede observar un estrato blando y muy blando (color azul) según las características descritas en función de las velocidades de onda de corte del ensayo MSAW, y en base a lo indicado en la Norma Boliviana de Estudios Geotécnicos (NBEG) entre las profundidades 6.5m a 8.5m, de aproximadamente 2 metros. Este estrato corresponde a suelos arcillosos de baja – media plasticidad y también arenas limosas blandas, el cual se puede también identificar en los datos extraídos a esa profundidad de los ensayos de laboratorio.

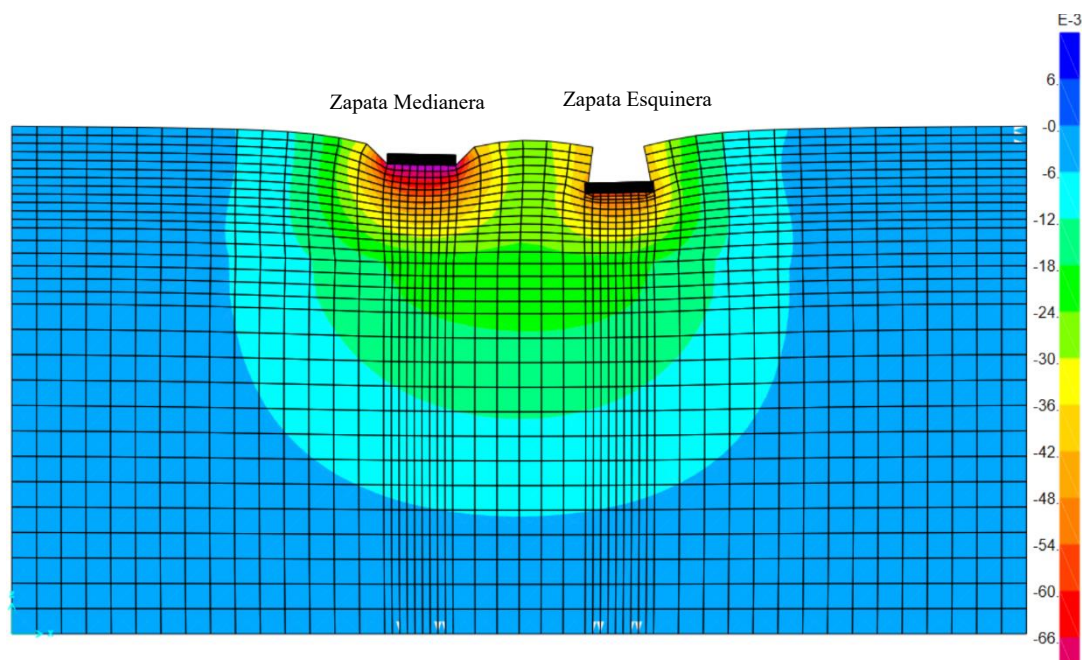


Figura 4.15 Deformación para verificación de asentamientos en modelo numérico 2D del eje 6 en zapatas (Elaboración propia).

4.3.1.1. Análisis de Resultados del Modelo Numérico 2D (Plane Strain)

Con el objetivo de examinar la conducta de dos zapatas aisladas situadas a 7.85 metros entre ejes, se llevó a cabo un análisis numérico bidimensional bajo condiciones de deformación plana (plane strain). Las dos zapatas tienen dimensiones de 2,70 metros; sin embargo, están expuestas a distintas condiciones de carga por su ubicación estructural: una es una zapata medianera y la otra esquinera.

El modelo contempla la estratigrafía derivada del análisis geofísico, en el que se determinó que las dos zapatas descansan sobre un nivel intermedio más rígido, y por debajo de este hay otro nivel blando que tiene un impacto significativo en la deformación bajo la zapata. Este análisis del estudio geofísico y caracterización de estratigrafía se realizó con los datos de la tabla 3.20, donde se especifica los parámetros obtenidos del ensayo MASW.

Los resultados del análisis muestran diferencias notables en los asentamientos de ambas zapatas, atribuibles tanto a la variación en las cargas aplicadas como a la profundidad de empotramiento. La zapata esquinera, al estar sometida a una carga más concentrada y posiblemente menor confinamiento lateral, presenta un asentamiento diferencial mayor en comparación con la zapata medianera.

La Figura 4.15 muestra los contornos de deformación obtenidos del modelo, donde se observa una gradación de colores que va desde el azul (menores deformaciones) hasta el rojo (mayores deformaciones), permitiendo identificar zonas críticas de desplazamiento. Los desplazamientos nodales registrados en puntos específicos del modelo, como el nodo 1057 de la zapata medianera (D-2), indican valores de asentamiento de 75mm, y por el otro lado la zapata esquinera (D-1), tiene una deformación total de 56mm.

Por tanto, se evidencia la existencia de asentamiento en las dos zapatas que exceden el límite admisible, lo que también es necesario indicar, es la diferencia de alturas que existe entre una zapata y otra, lo cual hace más difícil el análisis de asentamientos diferenciales que atribuye a fisuras diagonales como se puede observar en las fichas patológicas.

4.3.1.2. Distribución de Presiones en Modelo Numérico 2D (Plane Strain)

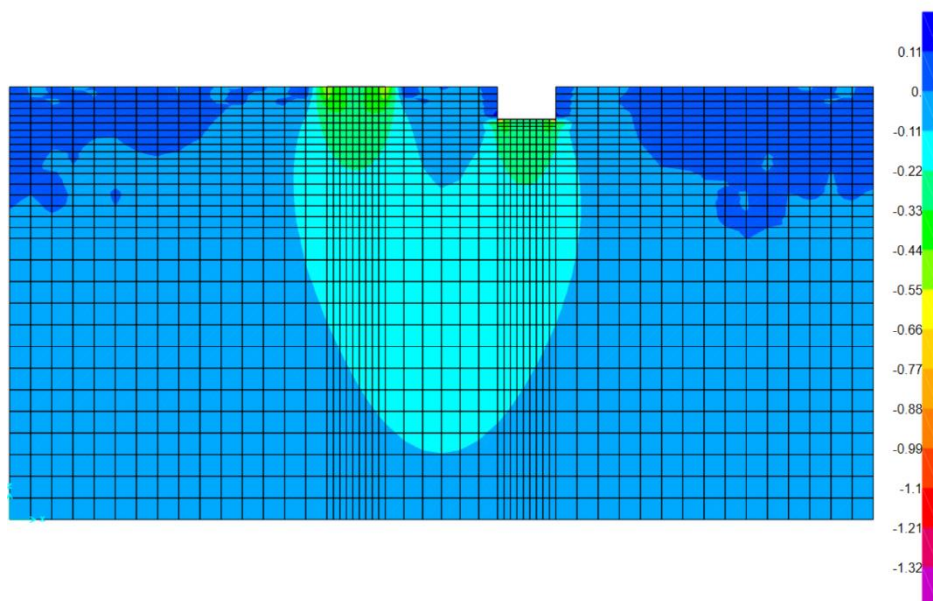


Figura 4.16 Deformación para verificación de asentamientos en modelo numérico 2D (Elaboración propia).

La distribución de los esfuerzos cortantes S12, que se obtuvo por medio del análisis numérico en SAP2000 en condiciones de deformación plana (plane strain), aplicada a un sistema de dos zapatas aisladas, se observa en la Figura 4.16. Este tipo de esfuerzo es crucial para analizar cómo se transfiere la carga al suelo y cómo responde el terreno a las sollicitaciones diferenciales. Estos valores muestran esfuerzos de 1.32 Mpa en las esquinas de las zapatas, y a partir de los 5 metros ya se tiene una presión combinada de 0.22 MPa aproximadamente.

El modelo muestra una distribución de presiones que es parecida al tradicional bulbo de presiones que Boussinesq ideó para cargas puntuales en un medio elástico semi-infinito. Las áreas donde la intensidad de esfuerzo cortante es más alta se encuentran justo debajo de las zapatas y se extienden lateralmente y en profundidad, tomando una forma lobular, lo cual refleja la disipación de esfuerzos hacia el estrato inferior más blando.

Esta diferencia es debido a las condiciones de carga no uniformes (una zapata esquinera y otra medianera) y a las distintas profundidades de fundación, lo que genera un

comportamiento diferenciado en términos de esfuerzos cortantes y asentamientos. El modelo permite visualizar cómo el suelo responde de forma no lineal ante estas condiciones, proporcionando una herramienta más precisa para la evaluación geotécnica y estructural.

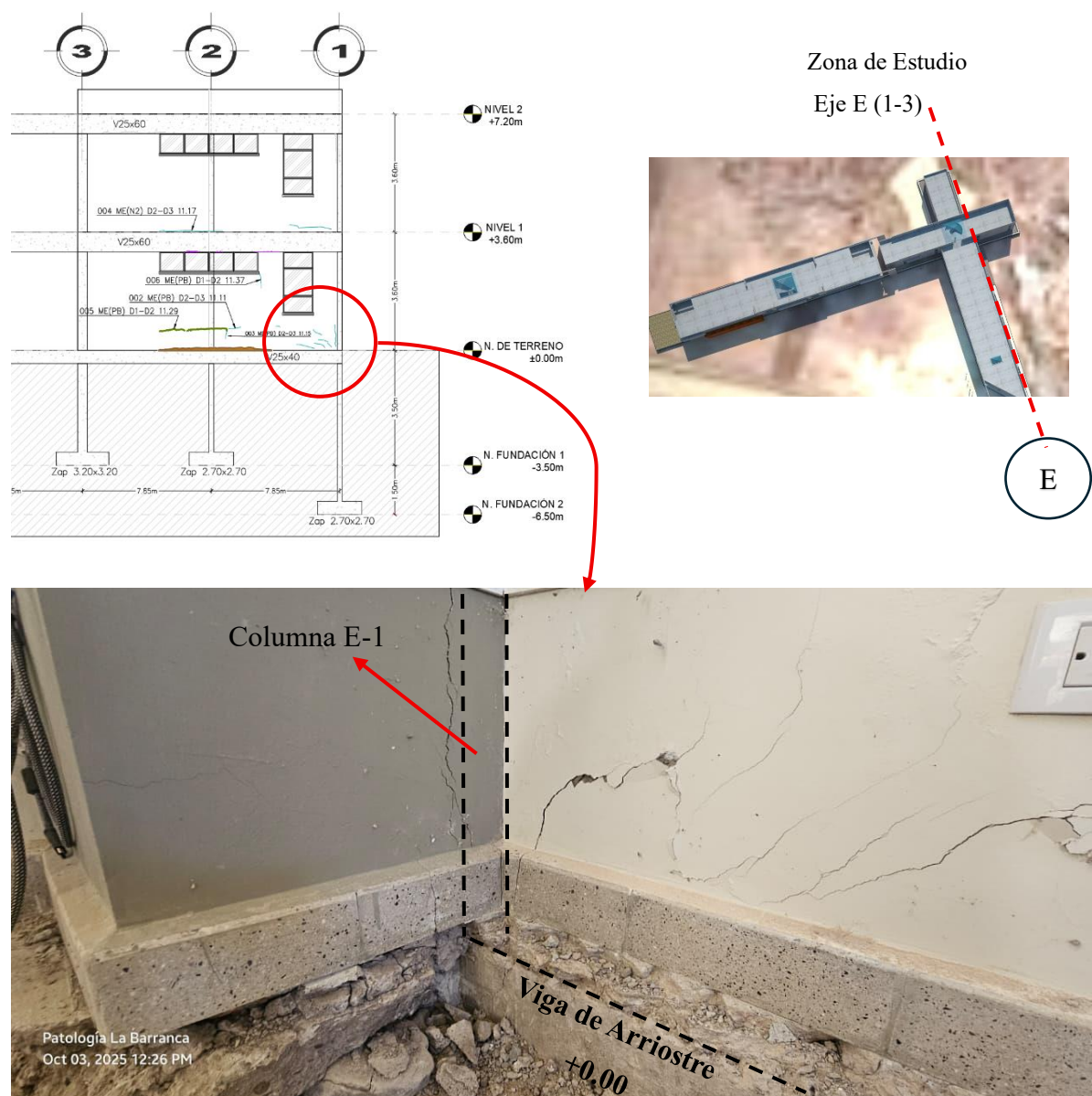


Figura 4.16 Daños localizados por asentamientos según el Anexo A, de la columna E-1 (Elaboración propia).

La figura 4.16 muestra una fotografía asociada a las diferentes de fisuras halladas en el edificio examinado, que abarcan fisuras diagonales en los ángulos, fisuras verticales en los

muros portantes y desprendimientos localizados en componentes no estructurales. Estos daños están vinculados de manera estrecha con los asentamientos diferenciales debido a las profundidades de fundación, que se han observado en la estructura, los cuales han producido deformaciones y concentraciones de esfuerzos que no son compatibles con la reacción esperada del sistema estructural. Se puede ver una correlación relevante entre las áreas con concentraciones de tensión más altas y los lugares donde se han generado fisuras entre valores de 38mm hasta 55mm, lo cual tiene relación con los valores obtenidos en los modelos numéricos con los datos analizados, al comparar estos síntomas patológicos con los resultados que se obtienen a través de la modelación numérica. Esta correspondencia confirma la suposición de que los asentamientos han creado mecanismos de falla localizados, lo que ha dañado la integridad estructural del edificio en el sector estudiado.

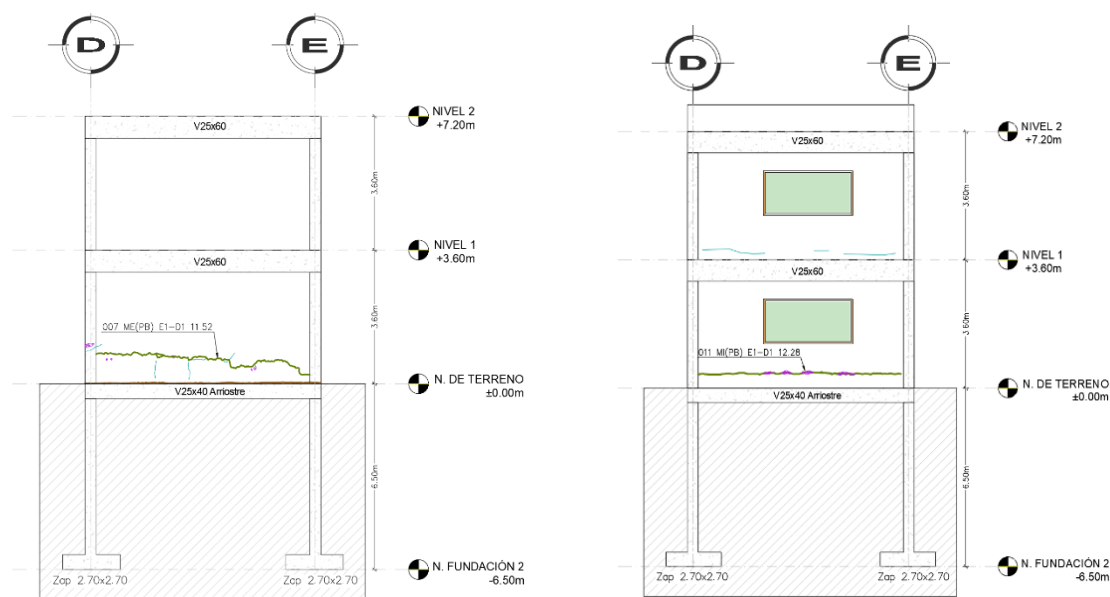


Figura 4.17 Daños localizados por asentamientos según el Anexo A, del Eje 1 Columnas D y E (Elaboración propia).

Las imágenes muestran una grieta horizontal significativa en un muro, cuya apertura ha sido medida con un calibrador. Se observan dos mediciones distintas de esta misma grieta, una de 34.15 mm y otra de 16.8 mm que es atribuible al desplazamiento ocasionado por asentamiento, En los resultados obtenidos en la modelación numérica se observa que llego

a tener una deformación total de 55 mm en la zapata D1, siendo así una de las cimentaciones mas criticas que muestran una deformación de consideración.

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

Este estudio se realizó con el objetivo de analizar las condiciones geotécnicas del suelo y utilizar la modelación numérica para examinar los asentamientos diferenciales en el Bloque N°4 del Centro de Investigación e Innovación Agrotecnológica “La Barranca”, que tiene su sede en la ciudad de Sucre. Se consiguió determinar la relación entre las patologías estructurales detectadas y el estado del subsuelo mediante un enfoque integral que combinó simulaciones computacionales, pruebas in situ, estudios geofísicos e inspección de estructuras. Esto permitió confirmar hipótesis y sugerir medidas técnicas para mitigar los efectos.

En función de los objetivos específicos, se concluye lo siguiente:

El estudio permitió comprender que los asentamientos diferenciales que afectan a la edificación “La Barranca” se deben principalmente a la heterogeneidad del subsuelo, que está conformado por suelos arcillosos y limos de baja plasticidad. Estas variaciones en los estratos provocan diferencias en la rigidez y en la capacidad portante del terreno, lo que explica el comportamiento las patologías visibles en la estructura.

Se identificaron fisuras transversales en vigas, sobrecimientos y muros, especialmente en la zona donde se presentan las zapatas construidas a una profundidad de 6.5 m y que también están sometidas a cargas adicionales por relleno. La distorsión angular calculada fue de 0.001, dentro del límite permisible de 0.002, pero suficiente para generar fisuras visibles, lo que confirma la influencia de los asentamientos diferenciales en las patologías estructurales.

Los resultados del Ensayo de Penetración Estándar (SPT) dieron valores N_{60} bajos obtenidos en los primeros metros del subsuelo, indicando la presencia de suelos de consistencia media a blanda, con baja resistencia al corte y alta susceptibilidad a deformarse bajo cargas moderadas. Esas condiciones, sumadas con la existencia de suelos de transición limo–arcillosos, evidencia una capacidad portante reducida. La presencia de capas con diferentes rigideces genera discontinuidades en el terreno, lo que explica las deformaciones diferenciales observadas en la estructura.

El ensayo geofísico MASW permitió obtener un perfil de las velocidades de ondas de corte (V_s), reflejando el comportamiento dinámico del subsuelo. Las velocidades menores a 400 m/s ubican al terreno dentro del tipo S2 o de tipo B según la Clasificación de la Norma Boliviana de Diseño Sísmico (CNBDS), correspondiente a un suelo de rigidez media. No obstante, la variación de las ondas de corte entre diferentes sectores del bloque 4 evidencia discontinuidades laterales importantes, lo que confirma que el suelo no responde de manera homogénea ante las cargas estructurales, generando concentraciones locales de esfuerzos y desplazamientos diferenciales.

La modelación numérica bidimensional realizada en ANSYS permitió analizar cómo interactúa el suelo con la estructura bajo las condiciones reales del terreno. Los resultados indican que las deformaciones verticales son mayores en la zona de la zapata esquinera, alcanzando entre 75 y 56 mm de asentamientos totales, coincidiendo con los sectores donde el suelo presenta menor rigidez, generando distorsiones angulares que son suficientes para causar fisuras visibles en muros portantes y elementos no estructurales. Al comparar los resultados de la modelación con la inspección visual de la edificación, se observa una clara correspondencia entre las áreas de mayor asentamiento y las grietas detectadas, lo que confirma y valida la hipótesis planteada sobre la influencia de los asentamientos diferenciales en las patologías estructurales.

Las patologías estructurales documentadas que contiene grietas verticales, inclinadas y horizontales en muros portantes, al igual que deformaciones en pisos y desprendimientos en juntas son el resultado directo de los movimientos diferenciales del terreno. El análisis de fisuras evidenció un patrón compatible con un comportamiento de asentamientos progresivos, asociado tanto al gradiente topográfico como a la falta de uniformidad en el

apoyo de las zapatas. Estas evidencias confirman que la interacción entre el suelo y la estructura no fue adecuada y que el diseño del sistema de cimentación no consideró la variabilidad del terreno, explicando así las manifestaciones de daño observadas en la edificación.

En conclusión, los resultados de este estudio fortalecen el conocimiento geotécnico en Bolivia, donde las investigaciones sobre la interacción suelo–estructura y modelación numérica todavía aún son limitadas. La caracterización detallada del subsuelo, combinada con la simulación computacional, constituye como una herramienta clave no solo para identificar y comprender las fallas existentes, sino también para orientar la planificación de medidas de rehabilitación y el diseño de cimentaciones más seguras y sostenibles. De esta manera, el trabajo aporta soluciones prácticas y fundamentadas que pueden guiar futuras intervenciones en edificaciones existentes y mejorar la resiliencia de las estructuras frente a las condiciones variables del terreno.

Recomendaciones

Entre las recomendaciones se propone:

- Se recomienda implementar un sistema integral de drenaje, tanto superficial como subterráneo, alrededor de la edificación, con el objetivo de controlar la humedad en los estratos limosos de baja plasticidad identificados mediante los ensayos SPT y MASW. Esta medida permitirá evitar la acumulación de agua pluvial y su infiltración hacia los suelos blandos para reducir la saturación y, con ello, el riesgo de asentamientos diferenciales que se correlacionan con las fisuras y deformaciones observadas en la estructura.
- Para garantizar la estabilidad de la edificación a largo plazo, se recomienda reforzar las cimentaciones existentes mediante técnicas de recalce estructural. Esto puede incluir inyecciones de lechada cementicia, pilotes cortos, micropilotes o la ampliación de zapatas. La elección de la técnica más adecuada debe fundamentarse en un análisis económico y técnico, así como en los resultados obtenidos de la modelación numérica, garantizando así una intervención efectiva y sustentable.

- Después de la implementación a la solución de reparación del área crítica se recomienda hacer un monitoreo riguroso implementando un sistema de monitoreo activo en las grietas más críticas después de la intervención. Esto confirmará que el movimiento diferencial ha sido detenido antes de proceder a cualquier reparación superficial.
- Se recomienda implementar un programa de monitoreo geotécnico continuo mediante instrumentación especializada, como niveles de asentamiento, piezómetros y fisurómetros, para registrar la evolución de los asentamientos y de la presión de poros en el suelo. Este seguimiento permitirá validar el comportamiento real del suelo frente a las medidas de mitigación adoptadas. De esta manera, se podrá ajustar oportunamente el plan de mantenimiento y garantizar la estabilidad y seguridad estructural a largo plazo, fortaleciendo la gestión preventiva de la edificación frente a los movimientos diferenciales del subsuelo.

Referencias bibliográficas

- Álvarez, J., & García, M. (2017). *Asentamientos diferenciales en edificaciones sobre suelos lacustres: estudio de casos en Ciudad de México*. Revista de Ingeniería Geotécnica, 23(2), 55–70.

-
- Alva Hurtado, J. E. (2009). *Cimentaciones Superficiales*.
 - Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica [AIS], (2011). Guía de patologías constructivas, estructurales y no estructurales (3 a ed.). Alcaldía Mayor de Bogotá D.C
 - American Psychological Association [APA]. (2020). Publication Manual of the American Psychological Association (7 a ed.). American Psychological Association.
 - ATTEWELL y TAYLOR. (1984). *Ground Movement and their Effects on Structures*. Londres, editorial Surrey University Press.
 - ASTM D4318. (2020). *Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils*. ASTM International.
 - **Bjerrum, L.** (1963). Engineering geology of normally consolidated marine clays as related to settlements of buildings. *Géotechnique*, 13(1), 1-28.
 - Braja D. (2012). *Principios de Ingeniería de Cimentaciones* (8.^a ed.). Cengage Learning.
 - **Bowles, J. E.** (1997). *Foundation analysis and design* (5th ed.). McGraw-Hill.
 - Bowles, J. E. (1996). *Foundation analysis and design*. McGraw-Hill.
 - Budhu, M. (2011). *Soil Mechanics and Foundations* (3.^a ed.). John Wiley & Sons.
 - Burland, J. B., Broms, B. B., & de Mello, V. F. B. (1977). Behaviour of foundations and structures. *Proceedings of the Ninth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering* (Vol. 2, pp. 495-546). Tokio.
 - Burland, J. B., & Wroth, C. P. (1974). Settlement of buildings and associated damage. *BRE Research Paper CP33/74*.
 - Casagrande, A. (1932). Research on the Atterberg Limits of Soils. *Public Roads*, 13(8), 121-130.
 - Casagrande, A. (1938). Determination of the preconsolidation load and its practical significance. *Proc. 1st International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 1, 60-64.

- Casagrande, A. (1948). Classification and Identification of Soils. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 113, 901–930.
- Chen, Z., Yu, H., Abousleiman, Y., & Kees, D. (2024). One-dimensional consolidation in large deformations with variable material properties. *arXiv preprint arXiv:2410.04623*.
- Craig, R. F. (2012). *Craig's Soil Mechanics* (8th ed.). CRC Press.
- Coduto, D. P. (2001). *Fundamentos de geotecnia* (2.^a ed.). Pearson Educación.
- Coduto, D. P. (2016). *Foundation Design: Principles and Practices* (3.^a ed.). Pearson.
- Chapuis, R. P., & Aubertin, M. (2003). *Predicting the coefficient of permeability of soils using the Kozeny–Carman equation* (Report EPM–RT–2003-03). École Polytechnique de Montréal.
- Crespo Villalaz, C. (2004). *Mecánica de suelos y cimentaciones* (5ta ed.). Limusa.
- Cruz, E. C. V. (202X). *Method to Estimate the Maximum Settlement of a Cluster* (Capítulo).
- Das, B. M. (2010). *Principles of geotechnical engineering*. Cengage Learning.
- Das, B. M. (2012). *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones* (CENGAGE Learning, Ed.; Séptima).
- Das, B. M. (2017). *Principles of Geotechnical Engineering* (9th ed.). Cengage Learning.
- Day, R. W. (2011). *Forensic Geotechnical and Foundation Engineering* (II). McGraw-Hill.
- Delgado, M. (1996). *Ingeniería de Fundaciones. Fundamentos e introducción al análisis geotécnico*. In *Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería*. Nuevas Ediciones Ltda.
- Desbrousses, R. L. E., & Lin, L. (2021). Enhancing Building Resistance to Differential Settlement with Canadian Seismic Design Provisions. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 26(2). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)sc.1943-5576.0000575](https://doi.org/10.1061/(asce)sc.1943-5576.0000575)

-
- El Naggar, A., Youssef, M. A., El Naggar, H., & El Ansary, A. M. (2023a). *Differential Settlement Effect on RC Framed Structures. Lecture Notes in Civil Engineering*, 248, 683–694. https://doi.org/10.1007/978-981-19-1004-3_56
 - Fathy, M., Salem, M. F., Shafay, A. M., Ahmed, , Ebid, M., Tarek,, Hassa
 -
 - n, K., & Ors, D. M. (2024). *Strengthening the RC Frames To Resist Lateral Loads and DifferentialSettlement-Review(Issue2)*.
 - FCEIA. (2009). *Geología y Geotecnia: Permeabilidad de suelos*. Universidad Nacional de Rosario.
 - FOPAE. (2010). *Zonificaicón de la respuesta sísmica de Bogotá para el diseño sísmico resistente de edificaciones*.
 - Fernández, R., & Martínez, P. (2019). *Influencia de los suelos expansivos en la estabilidad de edificaciones urbanas en España*. *Ingeniería Civil Internacional*, 31(1), 88–104
 - Frank, R. (s.f.). *Geotechnical aspects of building design (Eurocode guidance)*. European Commission / Eurocodes dissemination. [Eurocodes](#)
 - García, J. (2018). *Análisis de suelos y cimentaciones*. Editorial Universitaria.
 - Geotecnia Fácil. (2023). *Geología de Sucre, Bolivia*.
 - Gutiérrez, R. (2022). *Caracterización de suelos arcillosos y su influencia en la estabilidad de edificaciones en Chuquisaca*. *Revista Boliviana de Ingeniería Civil*, 12(2), 45–59.
 - Herrera, C., & Campos, L. (2021). *Patologías estructurales por asentamientos en suelos colapsables del norte de Chile*. *Revista Chilena de Ingeniería Geotécnica*, 14(3), 115–132.
 - Head, K. H. (1994). *Manual of Soil Laboratory Testing: Volume 1—Soil Classification and Compaction Tests* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
 - Holtz, R. D., Kovacs, W. D., & Sheahan, T. C. (2011). *An introduction to geotechnical engineering* (2nd ed.). Pearson Education.

- Holtz, R. (1991) “*Stress Distribution and Settlement of Shallow Foundations*”. Foundation Engineering Handbook. Second Edition. Van Nostrand Reinhold. New York, USA.
- Jiménez, P., & López, A. (2018). *Patologías estructurales asociadas a asentamientos diferenciales: un enfoque geotécnico*. Ingeniería y Terreno, 6(1), 77–91.
- Juárez Badillo, E., & Rico Rodríguez, A. (2010). *Mecánica de suelos: Fundamentos de la mecánica de suelos* (4a ed., Vol. 1). Limusa.
- Juan Camilo Vivescas Restrepo (2010). *Grietas en Construcciones Ocasionadas por problemas Geotécnicos*.
- Lambe, T. W., & Whitman, R. V. (1969). *Soil mechanics*. John Wiley & Sons.
- López, F., Rodríguez, V., Cruz, J., Torreño, I., & Ubeda, P. (2004). Manual de Patología de la Edificación Tomo 1.
- López, L., & Gómez, A. (2014). Estudios de subsidencias para excavaciones subterráneas en la primera línea del metro de Bogotá (PLMB) priorizado en el tramo III.
- Meyerhof, G. G. (1982). Limit states design in geotechnical engineering. *Ingeniería Geotécnica*.
- Mamani Quispe, M. (2021). *Clasificación multivariante de suelos en el altiplano y valles de Bolivia*. Revista Boliviana de Ciencias de la Tierra, 3(2), 45-56.
- Martínez, A. S., (2023). Metodologías para la investigación de fallas en estructuras de concreto. [en línea] Bogotá : Escuela Colombiana de Ingeniería, 2023255 páginas.
- Ministerio de Obras Públicas, Servicios y Vivienda. (2023). *Norma Boliviana de Diseño Sísmico (NBDS-2023)*. La Paz, Bolivia.
- Ministerio de Obras Públicas, Servicios y Vivienda. (2024). *Norma Boliviana de Estudios Geotécnicos (NBEG 2024)*.
- Muñoz, S. P., Sánchez, W. A., & García, J. M. (2015). *Teoría de consolidación, una revisión de la literatura*. Revista de Ingeniería, 7(2), 121–135.
- Muntohar, A. S. (2009). Coefficient of consolidation of soft clay treated with lime–rice husk ash admixture. *Civil Engineering Dimension*, 11(2), 74–81.

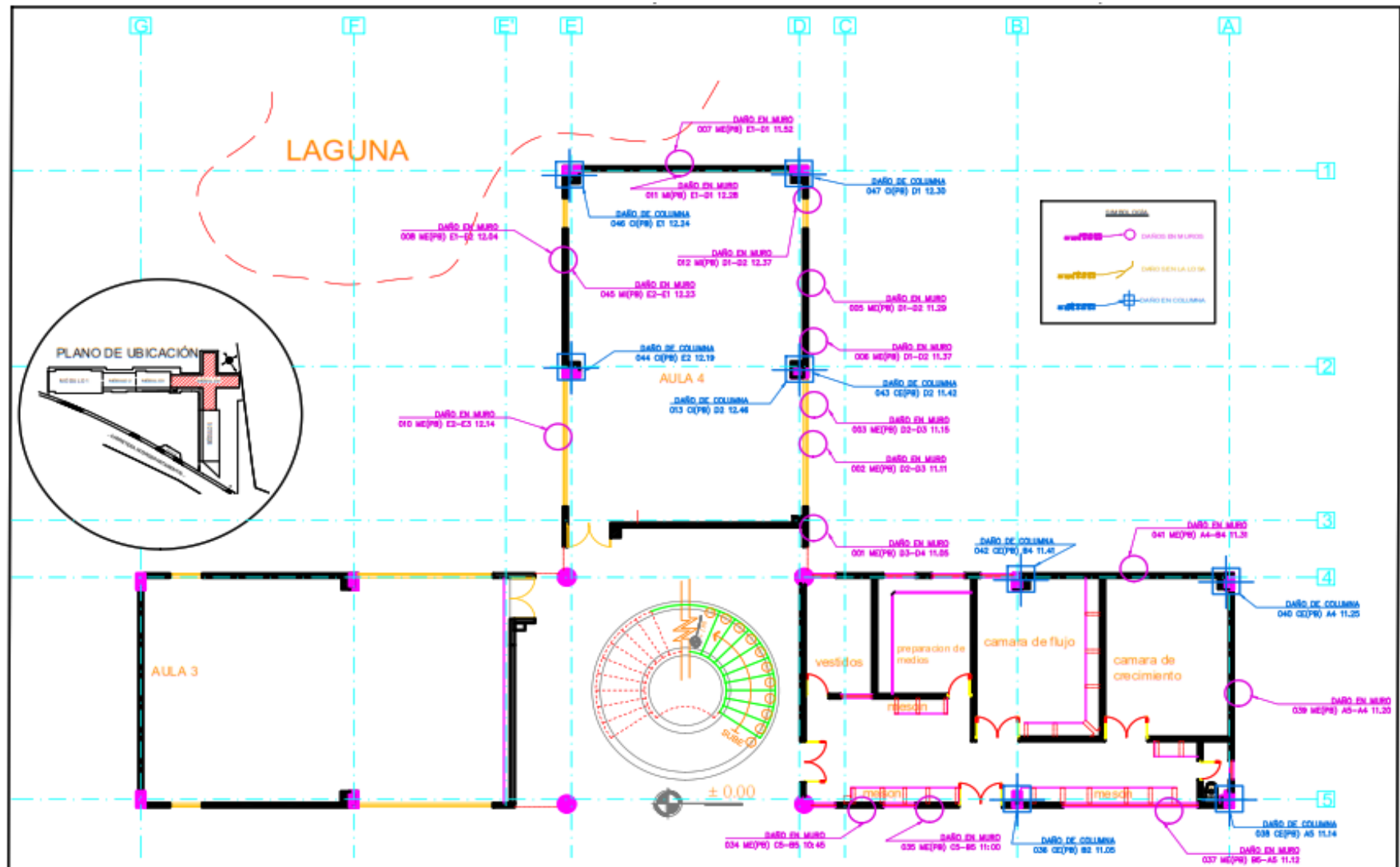
-
- NSR-10. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, Título H: Estudios Geotécnicos*. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.
 - Olek, S. W. (2019). *Development and Verification of a New Simplified Method for Calculating Settlement of a Thick Soil Layer with Nonlinear Compressibility and Creep*. *International Journal of Geomechanics*, 20(3), 04019184. doi:10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0001562.
 - **Polshin, D. E., & Tokar, R. A.** (1957). Maximum allowable uniform settlement of structures. *Proceedings of the 4th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1*, 402-405.
 - Poulos, H. G., & Davis, E. H. (1974). *Elastic Solutions for Soil and Rock Mechanics*. Wiley.
 - Quispe, J., & Mamani, L. (2021). *Deficiencias en estudios de mecánica de suelos en edificaciones urbanas de Bolivia*. *Revista Técnica de la Construcción*, 15(3), 34–48.
 - Rodríguez, D., & Pérez, M. (2020). *Impacto social y económico de las patologías estructurales en edificaciones latinoamericanas*. *Revista Latinoamericana de Ingeniería*, 18(2), 66–82.
 - Rozas Cárdenas, R. E. (2002). *Permeabilidad de medios porosos: experimentos numéricos y teoría* (Tesis de Magíster). Universidad de Concepción.
 - SERRANO A, Francisco. (2005). *Patología de la Edificación: El lenguaje de las grietas*, tercera edición. Madrid, Fundación Escuela de la Edificación.
 - S.C. Department of Transportation. (2022). *Chapter 10 – Geotechnical Performance Limits*. SCDOT.
 - Simons, N. (1957). *Settlement studies on two structures in Norway*. Norwegian Geotechnical Institute
 - Sired Udenar. (2018). *Análisis geotécnico del proyecto de construcción del nuevo bloque uno...* (Tesis de Grado). Universidad de Nariño, Colombia.
 - Sismica Institute. (2023). *Estimación de asientos de cimentaciones en base al ensayo SPT*.

- Soto, M., & Arcos, D. (2020). *Asentamientos diferenciales en edificaciones latinoamericanas: causas y soluciones*. Revista Geotécnica Latinoamericana, 28(4), 112–129.
- Studocu. (2022). *Estudio geotécnico y sísmológico en Chuquisaca y Potosí*. Documento universitario.
- Taylor, D. W. (1948). *Fundamentals of Soil Mechanics*. John Wiley & Sons.
- Terzaghi, K., & Peck, R. B. (1967). *Soil Mechanics in Engineering Practice* (2.^a ed.). Wiley.
- Terzaghi, K., Peck, R. B., & Mesri, G. (1996). *Soil Mechanics in Engineering Practice* (3rd ed.). Wiley-Interscience.
- Ter-Martirosyan, Z. G., Ter-Martirosyan, A. Z., & Vanina, Y. V. (2022). Mathematical Computations of Long-Term Settlement and Bearing Capacity of Soil Bases and Foundations near Vertical Excavation Pits. *Axioms*, 11(12), 679. <https://doi.org/10.3390/axioms11120679>
- Tomlinson, M. J. (1995). *Foundation Design and Construction* (6th ed.). Longman Scientific & Technical.
- Vivekananda, R., & Nagaraj, T. S. (2025). Prediction of coefficient of volume compressibility of fine-grained soils using statistical models. *Scientific Reports*, 15(1), 124–136. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-85345-z>
- Yaroslavskii, L. V. (1982). Determination of the maximum allowable settlements of holding structures. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 19, 140–143. <https://doi.org/10.1007/BF02314828>

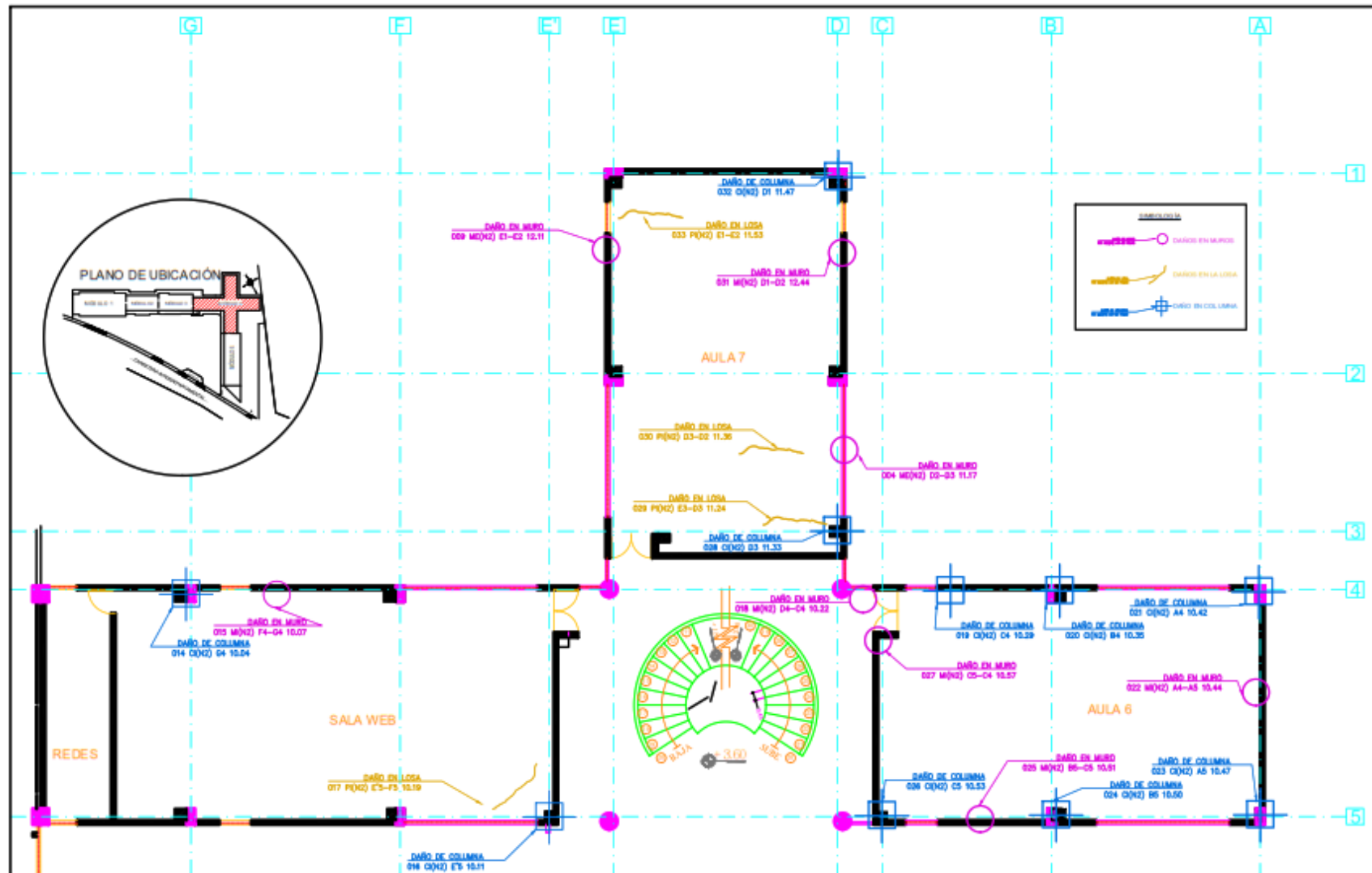
A. PLANILLA DE INSPECCION VISUAL EN OBRA

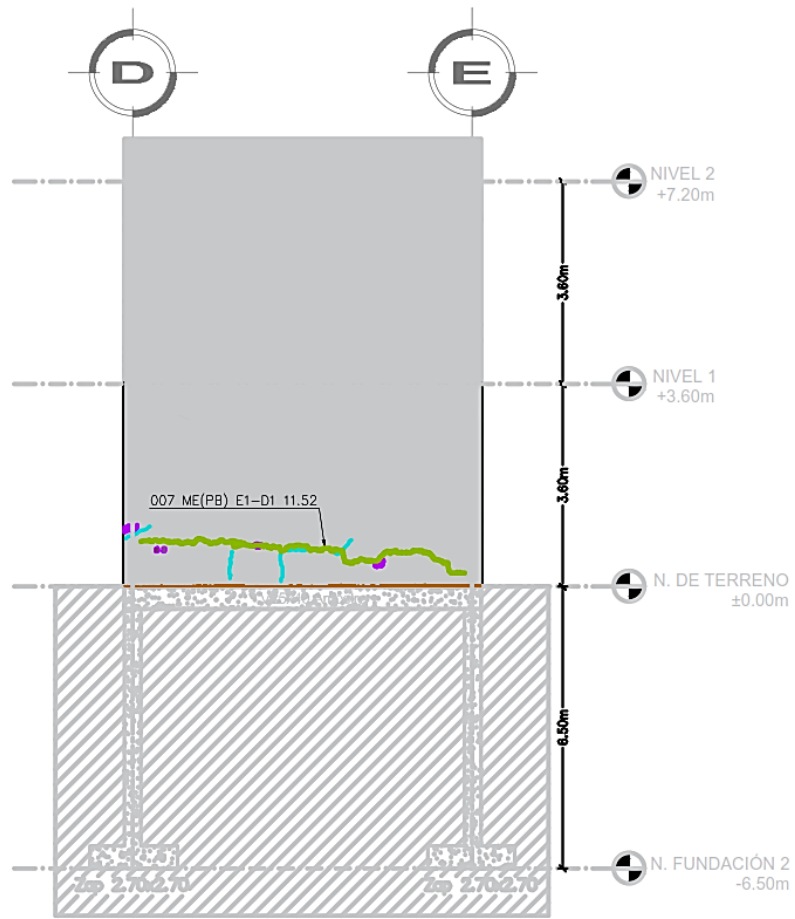
DISCONTINUIDAD	SEPARACIÓN (T1)				TEXTURA (T2)	DIRECCION DE PROPAGACION T 3,4	TENDENCIA T5	PROBABILIDADES DE APARICION T6	UBICACIÓN	HORA	CÓDIGO FOTO	COMENTARIO
	N°	mm	Clasificación	Tipo								
INSPECCIÓN VISUAL												
NHCC	1	1.1	Amplio	Grieta	Rugoso	Paralela	Lineal	Común	Muro externo (PB) D3-D4	11:05	001 ME(PB) D3-D4 11.05	Desprendimiento de recubrimiento de base de viga.
NHCG	2	1	Estrecho	Fisura	Suave	Paralela	Lineal	Común	Muro externo (PB) D2-D3	11:11	002 ME(PB) D2-D3 11.11	
NVTG	3	0.6	Estrecho	Fisura	Suave	Lateral	Moderadamente Lineal	Común	Muro externo (PB) D2-D3	11:15	003 ME(PB) D2-D3 11.15	
NHCC	4	1.3	Amplio	Grieta	Rugoso	Paralela	Moderadamente Curvilínea	Común	Muro externo (N2) D2-D3	11:17	004 ME(N2) D2-D3 11.17	Asentamiento visible, rotura de vidrio, desprendimiento superior del marco de la ventana.
NHCC	5	1.1	Amplio	Grieta	Rugoso	Paralela	Lineal	Raro	Muro externo (PB) D1-D2	11:29	005 ME(PB) D1-D2 11.29	
NDCC	6	1.6	Amplio	Grieta	Rugoso	Descendente	Moderadamente Curvilínea	Raro	Muro externo (PB) D1-D2	11:37	006 ME(PB) D1-D2 11.37	
NHCC	7	34.15 16.8	Muy amplio	Grieta Grieta	Muy Rugoso	Paralela	Irregular	Raro	Muro externo (PB) E1-D1	11:52	007 ME(PB) E1-D1 11.52	Medición con vernier en área externa e interna del revocado.
NDCC	8	2.5	Amplio	Grieta	Muy Rugoso	Paralela	Moderadamente Curvilínea	Raro	Muro externo (PB) E1-E2	12:04	008 ME(PB) E1-E2 12.04	
NDCC	9	1.2	Amplio	Grieta	Rugoso	Paralela	Moderadamente Curvilínea	Común	Muro externo (N2) E1-E2	12:11	009 ME(N2) E1-E2 12.11	
NHCG	10	0.4	Muy estrecho	Fisura	Suave	Paralela	Lineal	Común	Muro externo (PB) E2-E3	12:14	010 ME(PB) E2-E3 12.14	Fisura que atraviesa el muro. Medición con vernier en área externa e interna del revocado.
NHCC	11	11.1 16.95 14.7	Muy amplio	Grieta Grieta Grieta	Muy Rugoso	Paralela	Irregular	Raro	Muro interno (PB) E1-D1	12:28	011 MI(PB) E1-D1 12.28	
NHCC	12	1.6	Amplio	Grieta	Rugoso	Paralela	Lineal	Común	Muro interno (PB) D1-D2	12:37	012 MI(PB) D1-D2 12.37	
(P)NDSC	13	1.6	Amplio	Grieta	Rugoso	Descendente	Moderadamente Lineal	Común	Columna interna (PB) D2	12:46	013 CI(PB) D2 12.46	Grietas lineales en columna.
NVSG	14	0.4	Muy estrecho	Fisura	Suave	Lateral	Moderadamente Lineal	Raro	Columna interna (N2) G4	10:04	014 CI(N2) G4 10.04	Salón de informática
NHCG	15	0.3	Muy estrecho	Fisura	Suave	Descendente	Moderadamente Lineal	Común	Muro interno (N2) F4-G4	10:07	015 MI(N2) F4-G4 10.07	Salón de informática
NVCC	16	1.3	Amplio	Grieta	Rugoso	Lateral	Moderadamente Lineal	Raro	Columna interna (N2) E'5	10:11	016 CI(N2) E'5 10.11	Salón de informática
ROTC	17	1.1	Amplio	Grieta	Rugoso	Externo	Lineal	Raro	Piso interno (N2) E'5-F5	10:19	017 PI(N2) E'5-F5 10.19	Salón de informática
NHCG	18	0.9	Estrecho	Fisura	Suave	Paralelo	Lineal	Común	Muro interno (N2) D4-C4	10:22	018 MI(N2) D4-C4 10.22	Ventana quebrada cerca de viga.
NHTG	19	0.4	Muy estrecho	Fisura	Suave	Lateral	Lineal	Raro	Columna interna (N2) C4	10:29	019 CI(N2) C4 10.29	Cubre 2 caras de la columna.
NVCC	20	1	Estrecho	Fisura	Muy Rugoso	Ascendente	Lineal	Raro	Columna interna (N2) B4	10:35	020 CI(N2) B4 10.35	Pizarra quebrada
NHCG	21	0.7	Estrecho	Fisura	Suave	Descendente	Moderadamente Lineal	Raro	Columna interna (N2) A4	10:42	021 CI(N2) A4 10.42	
NHCG	22	0.4	Muy estrecho	Fisura	Suave	Descendente	Moderadamente Lineal	Común	Muro interno (N2) A4-A5	10:44	022 MI(N2) A4-A5 10.44	
NVCG	23	0.4	Muy estrecho	Fisura	Suave	Ascendente	Irregular	Raro	Columna interna (N2) A5	10:47	023 CI(N2) A5 10.47	Cubre 2 caras de la columna.
NHCG	24	0.6	Estrecho	Fisura	Rugoso	Descendente	Curvilíneo	Raro	Columna interna (N2) B5	10:50	024 CI(N2) B5 10.50	
NHCC	25	2	Amplio	Grieta	Rugoso	Lateral	Irregular	Raro	Muro interno (N2) B5-C5	10:51	025 MI(N2) B5-C5 10.51	
NHCC	26	1	Estrecho	Fisura	Suave	Paralelo	Lineal	Raro	Columna interna (N2) C5	10:53	026 CI(N2) C5 10.53	Muro externo también presenta a la misma altura.
NHCG	27	0.4	Muy estrecho	Fisura	Suave	Lateral	Moderadamente Lineal	Raro	Muro interno (N2) C5-C4	10:57	027 MI(N2) C5-C4 10.57	

NHCG	27	0.4	Muy estrecho	Fisura	Suave	Lateral	Moderadamente Lineal	Raro	Muro interno (N2) C5-C4	10:57	027 MI(N2) C5-C4 10:57	Muro externo también presenta a la misma altura.
NHCG	28	0.1	Muy estrecho	Fisura	Suave	Paralelo	Moderadamente Lineal	Común	Columna interna (N2) D3	11:33	028 CI(N2) D3 11:33	
ROCC	29	2	Amplio	Grieta	Rugoso	Externo	Irregular	Raro	Piso interno (N2) E3-D3	11:24	029 PI(N2) E3-D3 11:24	
RRTC	30	1.2	Amplio	Grieta	Rugoso	Interno	Curvilíneo	Raro	Piso interno (N2) D3-D2	11:36	030 PI(N2) D3-D2 11:36	
NHCC	31	1.8	Amplio	Grieta	Muy Rugoso	Paralelo	Curvilíneo	Común	Muro interno (N2) D1-D2	11:44	031 MI(N2) D1-D2 11:44	
NVCC	32	1.1	Amplio	Grieta	Rugoso	Lateral	Moderadamente Lineal	Raro	Columna interna (N2) D1	11:47	032 CI(N2) D1 11:47	
PRTC	33	2.5	Amplio	Grieta	Rugoso	Paralelo	Irregular	Raro	Piso interno (N2) E1-E2	11:53	033 PI(N2) E1-E2 11:53	Desprendimiento, separación de losa
NHCG	34	0.4	Cerrado	Fisura	Suave	Paralela	Lineal	Común	Muro Externo(PB) C5-B5	10:45	034 ME(PB)-C5-B5-10:45	
NHCG	35	0.7	Estrecho	Fisura	Suave	Paralela	Lineal	Común	Muro Externo(PB) C5-B5	11:00	035 ME(PB)-C5-B5-11:00	
NDTC	36	1.2	Amplio	Grieta	Rugoso	Descendente	Irregular	Común	ColumnaExterno(PB) B5	11:05	036 CE(PB)-B5-11:05	
NHCG	37	0.5	Muy estrecho	Fisura	Suave	Paralelo	Lineal	Común	Muro Externo(PB) B5-A5	11:12	037 ME(PB)-B5-A5-11:12	
NVTG	38	0.8	Estrecho	Fisura	Suave	Descendente	Irregular	Común	Columnaexterna(PB) A5	11:14	038 CE(PB)-A5-11:14	
NHTG	39	0.3	Muy estrecho	Fisura	Muy Suave	Paralelo	Lineal	Común	Muro Externo(PB) A5-A4	11:20	039 ME(PB)-A5-A4-11:20	
NHTG	40	0.1	Muy estrecho	Fisura	Muy Suave	Paralelo	Lineal	Común	ColumnaExterior(PB) A4	11:25	040 CE(PB)-A4-11:25	
NHTG	41	0.4	Muy estrecho	Fisura	Muy Suave	Paralelo	Lineal	Común	Muro Externo(PB) A4-B4	11:31	041 ME(PB)-A4-B5-11:31	
NHTG	42	0.2	Muy estrecho	Fisura	Muy Suave	Paralelo	Lineal	Común	Columnaexterior(PB) B4	11:35	042 CE(PB)-B4-11:41	Separación con acera de 3 cm
NVTC	43	1.4	Amplio	Grieta	Rugoso	Descendente	Irregular	Común	Columnaexterior(PB) D2	11:42	043 CE(PB)-D2-11:42	Separación con acera de 3 cm
NHTG	44	0.4	Muy estrecho	Fisura	Suave	Paralelo	Lineal	Común	Columna E2	12:19	044 CI(PB)-E2-12:19	
NHTC	45	1.8	Amplio	Grieta	Rugoso	Paralelo	Lineal	Común	Muro Interno(PB) E2-E1	12:23	045 MI(PB)-E2-E1-12:23	
NVCC	46	2.5	Amplio	Grieta	Rugoso	Descendente	Irregular	Común	Columna E1	12:24	046 CI(PB)-E1-12:24	
NVCC	47	1.8	Amplio	Grieta	Rugoso	Descendente	Irregular	Común	Columna Interna(PB) D1	12:30	047 CI(PB)-D1-12:30	

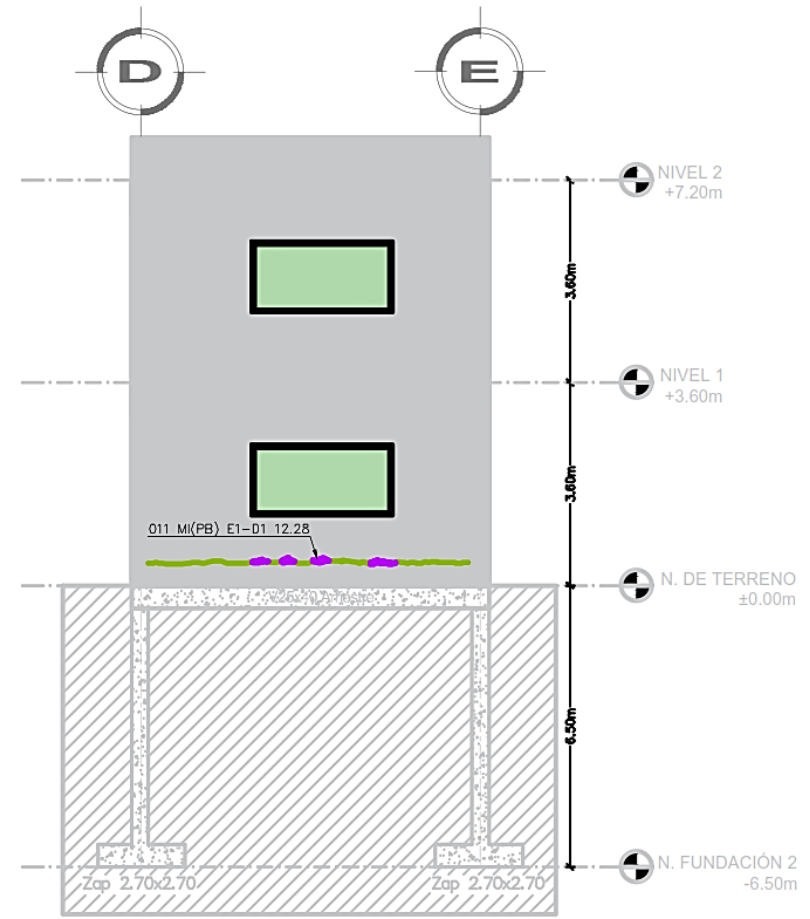


PLANOS PATOLÓGICOS (PLANTA 1 – NIVEL +3.60)





Vista Frontal EXTERIOR



Vista Frontal INTERNO

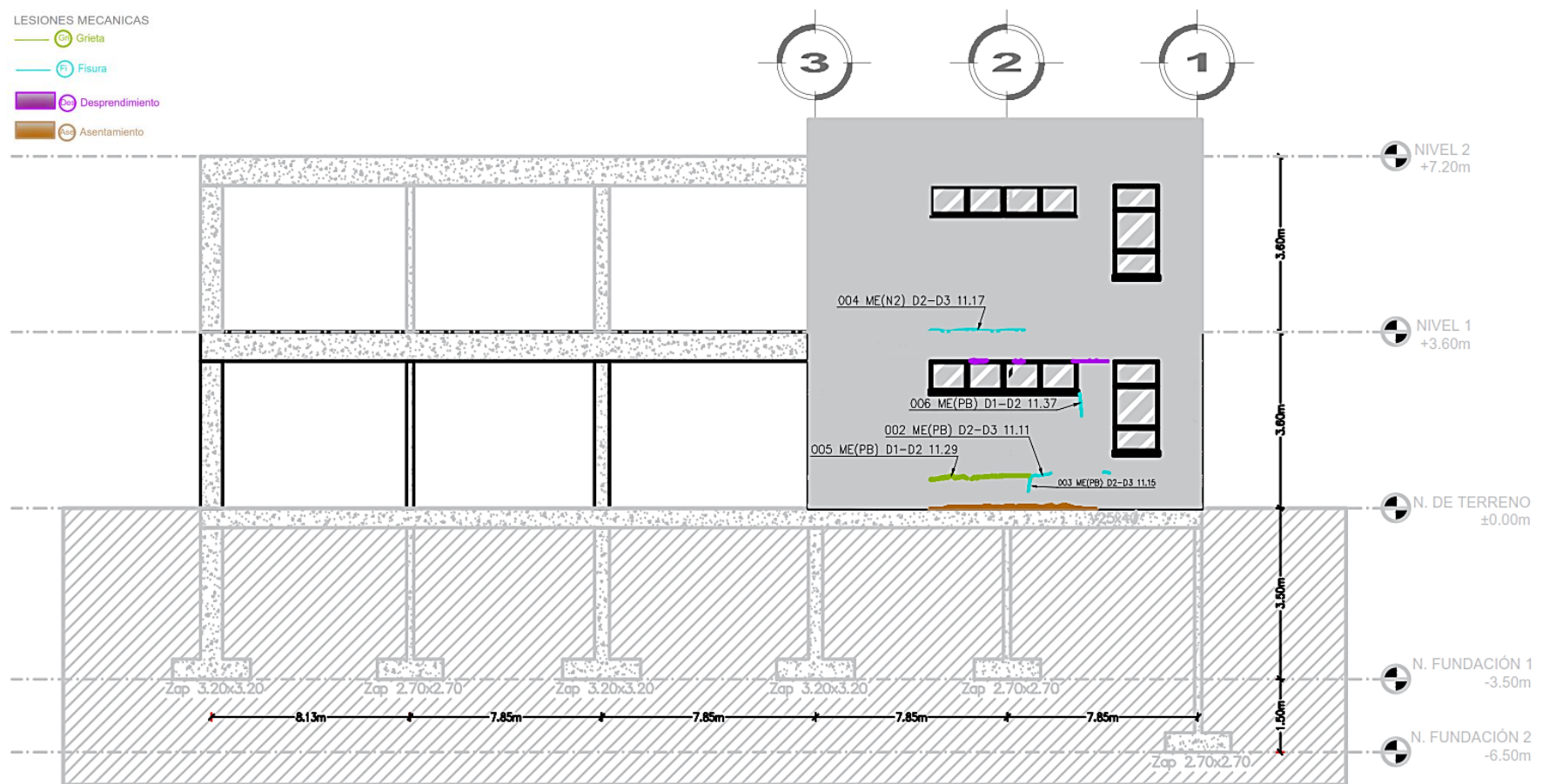
REFERENCIAS.

- LESIONES MECANICAS
- (G) Grieta
 - (F) Fisura
 - (Des) Desprendimiento
 - (As) Asentamiento

REFERENCIAS.

LESIONES MECANICAS

-  Grieta
-  Fisura
-  Desprendimiento
-  Asentamiento

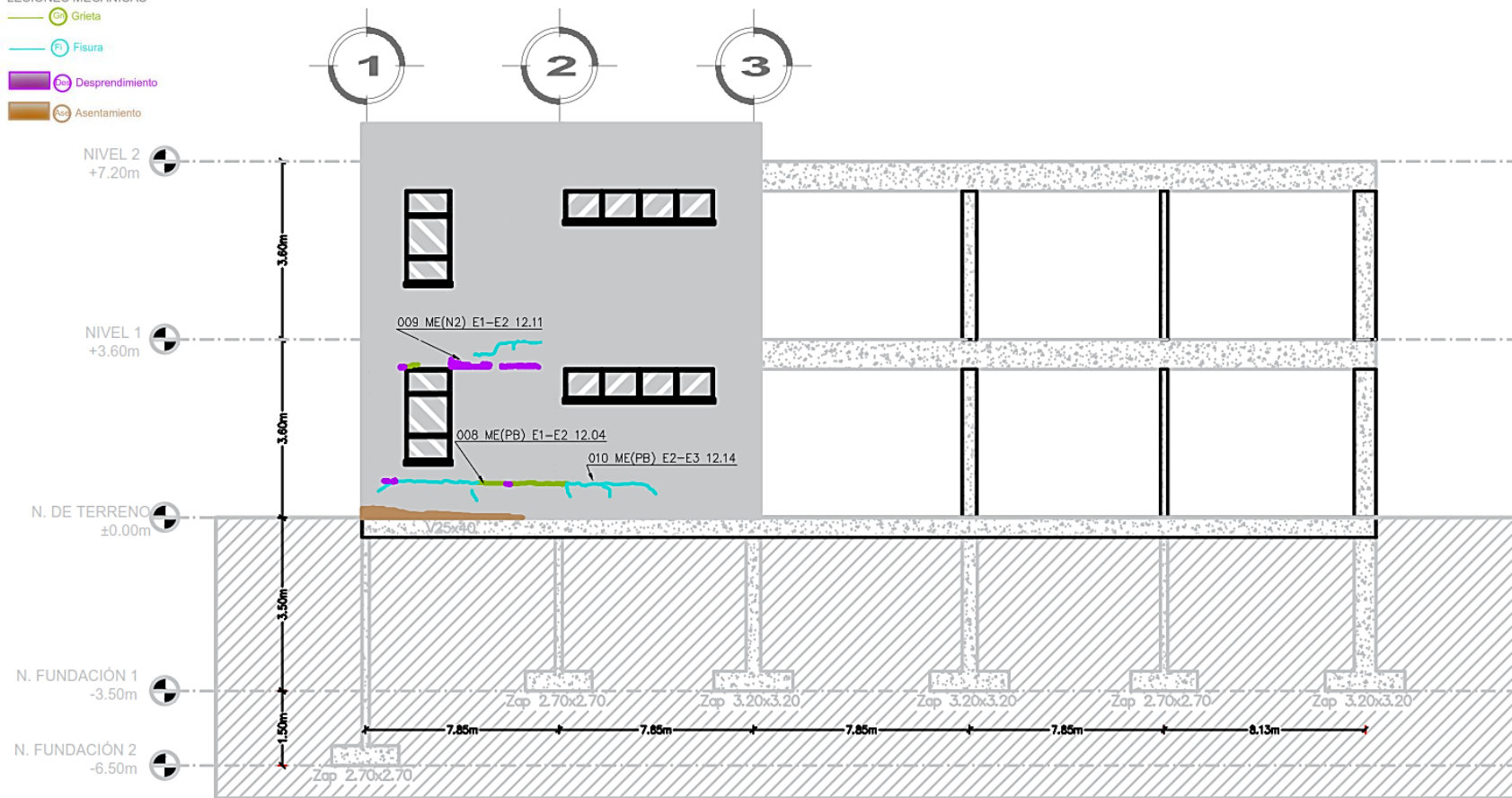


Vista Frontal EXTERIOR

REFERENCIAS.

LESIONES MECANICAS

-  Grieta
-  Fisura
-  Desprendimiento
-  Asentamiento



Vista Frontal EXTERIOR

TOMA DE DATOS PRELIMINARES DE LA BARRANCA CON DISCONTINUIDADES									
Fecha: 03/10/2025		Caso N° : 1		Fecha Construcción: 2017					
Localización (ciudad, barrio): Sucre, comunidad				Dirección: Carretera a la Barranca, comunidad L					
Imagen Patológica				Observaciones					
									
Dato de la foto									
Fotos: 001ME(PB) D3-D4 11.05				ubicación estimada: Muro externo (PB) D3-D4					
Características de la construcción:									
Material	Baque:		Niveles	1	Tipo de cimentación	Zapatas:	X		
	Mampostería:	X		2		Pilas:			
	Madera:			3		Pilotes:			
	Concreto:	X		4		Losa:			
	Otro:					Vigas de Fierro:	X		
				cuantos: 2		Otro:			
Profundidad de Cimentación: 3.27 m				Profundidad Nivel freático:					
Factores que afectan la vivienda.									
Deslizamiento:				Características:					
Desconfinamiento:				Características:					
Agua:				Características:					
Cambios de tráfico:				Características:					
Otros:				Características:					
Características geológicas de la zona									
Suelo		Arena		Limo		Arcilla	X		
		Orgánico		Lleno		Otro			
Roca		Fresca		Meteorizada		Fracturada			
		Tipo roca:							
Características de las grietas									
Grietas en muros									
Separación de discontinuidades				1.1 mm	Textura superficial	Muy suave			
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad				Suave			
Cerrado	0					Rugoso	X		
Muy estrecho	0 - 0,5					Muy Rugoso			
Estrecho	0,5 - 1,0					Probabilidad de aparición			
Amplio	1,0 - 5,0	X			Común	X			
Muy amplio	> 5,0				Raro				
Tendencia				Dirección de propagación					
Lineal				X		Descendente			
Moderadamente lineal						Ascendente			
Moderadamente curvilínea						Lateral			
Curvilínea						Paralela		X	
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									
Grietas en losa de piso									
Separación de discontinuidades					Textura superficial	Muy suave			
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad				Suave			
Cerrado	0					Rugoso			
Muy estrecho	0 - 0,5					Muy Rugoso			
Estrecho	0,5 - 1,0					Probabilidad de aparición			
Amplio	1,0 - 5,0				Común				
Muy amplio	> 5,0				Raro				
Tendencia				Dirección de propagación					
Lineal						Interno			
Moderadamente lineal						Externo			
Moderadamente lineal						Paralelo			
Curvilínea									
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									

TOMA DE DATOS PRELIMINARES DE LA BARRANCA CON DISCONTINUIDADES									
Fecha: 03/10/2025			Caso N°: 2			Fecha Construcción: 2017			
Localización (ciudad, barrio): Sucre, comunidad Llinfi					Dirección: Carretera a la Barranca, comunidad L				
Imagen Patológica					Observaciones				
					endimiento de recubrimiento de base de				
Dato de la foto									
Fotos: 002 ME(PB) D2-D3 11.11 y 002 ME(PB) D2-D3					ubicación estimada: Muro externo (PB) D2-D3				
Características de la construcción:									
Material	Baque:		Niveles	1	Tipo de cimentación	Zapatas:	X		
	Mampostería:	X		2		Pilas			
	Madera:			3		Pilotes			
	Concreto:	X		4		Losa			
	Otro:				Otro:	Vigas de Fur X			
Profundidad de Cimentación: 3.27 m					Profundidad Nivel freático:				
Factores que afectan la vivienda.									
Deslizamiento:					Características:				
Desconfinamiento:					Características:				
Agua:					Características:				
Cambios de tráfico:					Características:				
Otros:					Características:				
Características geológicas de la zona									
Suelo		Arena		Limo		Arcilla	X		
		Orgánico		Lleno		Otro			
Roca		Fresca		Meteorizada		Fracturada			
		Tipo roca:							
Características de las grietas									
Grietas en muros									
Separación de discontinuidades					1 mm				
Clasificación	Separación (mm)		Discontinuidad		Textura superficial	Muy suave			
Cerrado	0					Suave	X		
Muy estrecho	0 - 0,5					Rugoso			
Estrecho	0,5 - 1,0		X			Muy Rugoso			
Amplio	1,0 - 5,0					Probabilidad de aparición			
Muy amplio	> 5,0				Común	X			
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal			X		Descendente				
Moderadamente lineal					Ascendente				
Moderadamente curvilínea					Lateral				
Curvilínea					Paralela		X		
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados / # m2 totales de muro) x 100									
Grietas en losa de piso									
Separación de discontinuidades					1 mm				
Clasificación	Separación (mm)		Discontinuidad		Textura superficial	Muy suave			
Cerrado	0					Suave			
Muy estrecho	0 - 0,5					Rugoso			
Estrecho	0,5 - 1,0					Muy Rugoso			
Amplio	1,0 - 5,0					Probabilidad de aparición			
Muy amplio	> 5,0				Común				
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal					Interno				
Moderadamente lineal					Externo				
Moderadamente lineal					Paralelo				
Curvilínea									
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados / # m2 totales de muro) x 100									

TOMA DE DATOS PRELIMINARES DE LA BARRANCA CON DISCONTINUIDADES									
Fecha: 03/10/2025			Caso N° : 3			Fecha Construcción: 2017			
Localización (ciudad, barrio): Sucre, comunidad Dirección: Carretera a la Barranca, comunidad L									
Imagen Patológica					Observaciones				
					endimiento de recubrimiento de base de				
Dato de la foto									
Fotos: 003 ME(PB) D2-D3 11.15					ubicación estimada: Muro externo (PB) D2-D3				
Características de la construcción:									
Material	Baque:		Niveles	1	Tipo de cimentación	Zapatas:	X		
	Mampostería:	X		2		Pilas			
	Madera:			3		Pilotes			
	Concreto:	X		4		Losa			
	Otro:					Vigas de Fur	X		
				cuantos: 2		Otro:			
Profundidad de Cimentación: 3.27 m					Profundidad Nivel freático:				
Factores que afectan la vivienda.									
Deslizamiento:					Características:				
Desconfinamiento :					Características:				
Agua:					Características:				
Cambios de tráfico:					Características:				
Otros:					Características:				
Características geológicas de la zona									
Suelo		Arena		Limo		Arcilla	X		
		Orgánico		Lleno		Otro			
Roca		Fresca		Meteorizada		Fracturada			
		Tipo roca:							
Características de las grietas									
Grietas en muros									
Separación de discontinuidades					0.6 mm				
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad		Textura superficial	Muy suave				
Cerrado	0				Suave	X			
Muy estrecho	0 - 0,5				Rugoso				
Estrecho	0,5 - 1,0	X			Muy Rugoso				
Amplio	1,0 - 5,0				Común	X			
Muy amplio	> 5,0			Raro					
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal					Descendente				
Moderadamente lineal					Ascendente				
Moderadamente curvilínea					Lateral				
Curvilínea					Paralela				
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									
Grietas en losa de piso									
Separación de discontinuidades									
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad		Textura superficial	Muy suave				
Cerrado	0				Suave				
Muy estrecho	0 - 0,5				Rugoso				
Estrecho	0,5 - 1,0				Muy Rugoso				
Amplio	1,0 - 5,0				Común				
Muy amplio	> 5,0			Raro					
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal					Interno				
Moderadamente lineal					Externo				
Moderadamente lineal					Paralelo				
Curvilínea									
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									

TOMA DE DATOS PRELIMINARES DE LA BARRANCA CON DISCONTINUIDADES									
Fecha: 03/10/2025			Caso N°: 4			Fecha Construcción: 2017			
Localización (ciudad, barrio): Sucre, comunidad			Dirección: Carretera a la Barranca, comunidad L						
Imagen Patológica					Observaciones				
									
Dato de la foto									
Fotos: 004 ME(N2) D2-D3 11.17			ubicación estimada: Muro externo (N2) D2-D3						
Características de la construcción:									
Material	Baque:		Niveles	1	Tipo de cimentación	Zapatas:	X		
	Mampostería:	X		2		Pilas			
	Madera:			3		Pilotes			
	Concreto:	X		4		Losa			
	Otro:						Vigas de Fur	X	
			cuantos: 2		Otro:				
Profundidad de Cimentación: 3.27 m					Profundidad Nivel freático:				
Factores que afectan la vivienda.									
Deslizamiento:			Características:						
Desconfinamiento:			Características:						
Agua:			Características:						
Cambios de tráfico:			Características:						
Otros:			Características:						
Características geológicas de la zona									
Suelo		Arena		Limo		Arcilla	X		
		Orgánico		Lleno		Otro			
Roca		Fresca		Meteorizada		Fracturada			
		Tipo roca:							
Características de las grietas									
Grietas en muros									
Separación de discontinuidades				1.3 mm					
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad		Textura superficial	Muy suave				
Cerrado	0				Suave				
Muy estrecho	0 - 0,5				Rugoso	X			
Estrecho	0,5 - 1,0				Muy Rugoso				
					Probabilidad de aparición				
Amplio	1,0 - 5,0	X		Común	X				
Muy amplio	> 5,0			Raro					
Tendencia				Dirección de propagación					
Lineal				Descendente					
Moderadamente lineal				Ascendente					
Moderadamente curvilínea				Lateral					
Curvilínea				Paralela					
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									
Grietas en losa de piso									
Separación de discontinuidades									
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad		Textura superficial	Muy suave				
Cerrado	0				Suave				
Muy estrecho	0 - 0,5				Rugoso				
Estrecho	0,5 - 1,0				Muy Rugoso				
					Probabilidad de aparición				
Amplio	1,0 - 5,0			Común					
Muy amplio	> 5,0			Raro					
Tendencia				Dirección de propagación					
Lineal				Interno					
Moderadamente lineal				Externo					
Moderadamente lineal				Paralelo					
Curvilínea									
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									

TOMA DE DATOS PRELIMINARES DE LA BARRANCA CON DISCONTINUIDADES									
Fecha: 03/10/2025			Caso N° : 5			Fecha Construcción: 2017			
Localización (ciudad, barrio): Sucre, comunidad Llinfi			Dirección: Carretera a la Barranca, comunidad L						
Imagen Patológica					Observaciones				
					Asentamiento visible, rotura de vidrio, desprendimiento superior del marco de la ventana.				
Dato de la foto									
Fotos: 005 ME(PB) D1-D2 11.29 y 005 ME(PB) ubicación estimada: Muro externo (PB) D1-D2									
Características de la construcción:									
Material	Baque:		Niveles	1	Tipo de cimentación	Zapatas:	X		
	Mampostería:	X		2		Pilas			
	Madera:			3		Pilotes			
	Concreto:	X		4		Losa			
	Otro:					Vigas de Fierro	X		
			cuantos: 2		Otro:				
Profundidad de Cimentación: 3.27 m					Profundidad Nivel freático:				
Factores que afectan la vivienda.									
Deslizamiento:					Características:				
Desconfinamiento :					Características:				
Agua:					Características:				
Cambios de tráfico:					Características:				
Otros:					Características:				
Características geológicas de la zona									
Suelo	Arena		Limo		Arcilla	X			
	Orgánico		Lleno		Otro				
Roca	Fresca		Meteorizada		Fracturada				
	Tipo roca:								
Características de las grietas									
Grietas en muros									
Separación de discontinuidades					1.1 mm				
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad			Textura superficial	Muy suave			
Cerrado	0					Suave			
Muy estrecho	0 - 0,5					Rugoso	X		
Estrecho	0,5 - 1,0					Muy Rugoso			
						Probabilidad de aparición			
Ampio	1,0 - 5,0	X			Común				
Muy amplio	> 5,0				Raro	X			
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal			X		Descendente				
Moderadamente lineal					Ascendente				
Moderadamente curvilínea					Lateral				
Curvilínea					Paralela				
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									
Grietas en losa de piso									
Separación de discontinuidades					1.1 mm				
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad			Textura superficial	Muy suave			
Cerrado	0					Suave			
Muy estrecho	0 - 0,5					Rugoso			
Estrecho	0,5 - 1,0					Muy Rugoso			
						Probabilidad de aparición			
Ampio	1,0 - 5,0				Común				
Muy amplio	> 5,0				Raro				
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal					Interno				
Moderadamente lineal					Externo				
Moderadamente lineal					Paralelo				
Curvilínea									
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									

TOMA DE DATOS PRELIMINARES DE LA BARRANCA CON DISCONTINUIDADES									
Fecha: 03/10/2025			Caso N° : 6			Fecha Construcción: 2017			
Localización (ciudad, barrio): Sucre, comunidad			Dirección: Carretera a la Barranca, comunidad L						
Imagen Patológica					Observaciones				
					Asentamiento visible, rotura de vidrio, desprendimiento superior del marco de la ventana.				
Dato de la foto									
Fotos: 006 ME(PB) D1-D2 11.37			ubicación estimada: Muro externo (PB) D1-D2						
Características de la construcción:									
Material	Baque:		Niveles	1	Tipo de cimentación	Zapatas:	X		
	Mampostería:	X		2		Pilas			
	Madera:			3		Pilotes			
	Concreto:	X		4		Losa			
	Otro:					Vigas de Fierro	X		
			cuantos: 2		Otro:				
Profundidad de Cimentación: 3.27 m					Profundidad Nivel freático:				
Factores que afectan la vivienda.									
Deslizamiento:			Características:						
Desconfinamiento :			Características:						
Agua:			Características:						
Cambios de tráfico:			Características:						
Otros:			Características:						
Características geológicas de la zona									
Suelo	Arena		Limo		Arcilla	X			
	Orgánico		Lleno		Otro				
Roca	Fresca		Meteorizada		Fracturada				
	Tipo roca:								
Características de las grietas									
Grietas en muros									
Separación de discontinuidades			1.6 mm		Textura superficial	Muy suave			
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad				Suave			
Cerrado	0					Rugoso	X		
Muy estrecho	0 - 0,5					Muy Rugoso			
Estrecho	0,5 - 1,0					Probabilidad de aparición			
Amplio	1,0 - 5,0	X			Común				
Muy amplio	> 5,0				Raro	X			
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal					Descendente		X		
Moderadamente lineal					Ascendente				
Moderadamente curvilínea			X		Lateral				
Curvilínea					Paralela				
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									
Grietas en losa de piso									
Separación de discontinuidades			1.6 mm		Textura superficial	Muy suave			
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad				Suave			
Cerrado	0					Rugoso			
Muy estrecho	0 - 0,5					Muy Rugoso			
Estrecho	0,5 - 1,0					Probabilidad de aparición			
Amplio	1,0 - 5,0				Común				
Muy amplio	> 5,0				Raro	X			
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal					Interno				
Moderadamente lineal					Externo				
Moderadamente lineal					Paralelo				
Curvilínea									
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									
Observaciones y Análisis									

TOMA DE DATOS PRELIMINARES DE LA BARRANCA CON DISCONTINUIDADES									
Fecha: 03/10/2025			Caso N°: 7			Fecha Construcción: 2017			
Localización (ciudad, barrio): Sucre, comunidad Dirección: Carretera a la Barranca, comunidad L									
Imagen Patológica					Observaciones				
					Medición con vernier en área externa e interna del revocado.				
Dato de la foto									
Fotos: 007 ME(PB) E1-D11.52					ubicación estimada: Muro externo (PB) E1-D1				
Características de la construcción:									
Material	Baque:		Niveles	1	Tipo de cimentación	Zapatas:	X		
	Mampostería:	X		2		Pilas			
	Madera:			3		Pilotes			
	Concreto:	X		4		Losa			
	Otro:					Vigas de Fierro	X		
					cuantos: 2		Otro:		
Profundidad de Cimentación: 3.27 m					Profundidad Nivel freático:				
Factores que afectan la vivienda.									
Deslizamiento:			Características:						
Desconfinamiento:			Características:						
Agua:			Características:						
Cambios de tráfico:			Características:						
Otros:			Características:						
Características geológicas de la zona									
Suelo	Arena		Limo		Arcilla	X			
	Orgánico		Lleno		Otro				
Roca	Fresca		Meteorizada		Fracturada				
	Tipo roca:								
Características de las grietas									
Grietas en muros									
Separación de discontinuidades					34.15-16.8 mm	Textura superficial	Muy suave		
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad			Suave				
Cerrado	0				Rugoso				
Muy estrecho	0 - 0,5				Muy Rugoso		X		
Estrecho	0,5 - 1,0				Probabilidad de aparición				
Amplio	1,0 - 5,0				Común				
Muy amplio	> 5,0	X			Raro	X			
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal					Descendente				
Moderadamente lineal					Ascendente				
Moderadamente curvilínea					Lateral				
Curvilínea					Paralela				
Irregular					X				
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									
Grietas en losa de piso									
Separación de discontinuidades						Textura superficial	Muy suave		
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad			Suave				
Cerrado	0				Rugoso				
Muy estrecho	0 - 0,5				Muy Rugoso				
Estrecho	0,5 - 1,0				Probabilidad de aparición				
Amplio	1,0 - 5,0				Común				
Muy amplio	> 5,0				Raro				
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal					Interno				
Moderadamente lineal					Externo				
Moderadamente lineal					Paralelo				
Curvilínea									
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									

TOMA DE DATOS PRELIMINARES DE LA BARRANCA CON DISCONTINUIDADES									
Fecha: 03/10/2025			Caso N° : 8			Fecha Construcción: 2017			
Localización (ciudad, barrio): Sucre, comunidad Llínfi			Dirección: Carretera a la Barranca, comunidad L						
Imagen Patológica					Observaciones				
					Rotura de vidrio.				
Dato de la foto									
Fotos: 008 ME(PB) E1-E2 12.04 y 008 ME(PB) ubicación estimada: Muro externo (PB) E1-E2									
Características de la construcción:									
Material	Baque:		Niveles	1	Tipo de cimentación	Zapatas:	X		
	Mampostería:	X		2		Pilas			
	Madera:			3		Pilotes			
	Concreto:	X		4		Losa			
	Otro:					Vigas de Fur	X		
			cuantos: 2		Otro:				
Profundidad de Cimentación: 3.27 m					Profundidad Nivel freático:				
Factores que afectan la vivienda.									
Deslizamiento:			Características:						
Desconfinamiento :			Características:						
Agua:			Características:						
Cambios de trafico:			Características:						
Otros:			Características:						
Características geológicas de la zona									
Suelo		Arena		Limo		Arcilla	X		
		Orgánico		Lleno		Otro			
Roca		Fresca		Meteorizada		Fracturada			
		Tipo roca:							
Características de las grietas									
Grietas en muros									
Separación de discontinuidades				2.5 mm	Textura superficial	Muy suave			
Clasificación	Separación (mm)		Discontinuidad			Suave			
Cerrado	0					Rugoso			
Muy estrecho	0 - 0,5					Muy Rugoso	X		
Estrecho	0,5 - 1,0					Probabilidad de aparición			
Amplio	1,0 - 5,0		X		Común				
Muy amplio	> 5,0				Raro	X			
Tendencia				Dirección de propagación					
Lineal						Descendente			
Moderadamente lineal						Ascendente			
Moderadamente curvilínea				X		Lateral			
Curvilínea						Paralela		X	
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									
Grietas en losa de piso									
Separación de discontinuidades				2.5 mm	Textura superficial	Muy suave			
Clasificación	Separación (mm)		Discontinuidad			Suave			
Cerrado	0					Rugoso			
Muy estrecho	0 - 0,5					Muy Rugoso			
Estrecho	0,5 - 1,0					Probabilidad de aparición			
Amplio	1,0 - 5,0				Común				
Muy amplio	> 5,0				Raro				
Tendencia				Dirección de propagación					
Lineal						Interno			
Moderadamente lineal						Externo			
Moderadamente lineal						Paralelo			
Curvilínea									
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									

TOMA DE DATOS PRELIMINARES DE LA BARRANCA CON DISCONTINUIDADES									
Fecha: 03/10/2025		Caso N°: 9		Fecha Construcción: 2017					
Localización (ciudad, barrio): Sucre, comunidad				Dirección: Carretera a la Barranca, comunidad L					
Imagen Patológica				Observaciones					
				Rotura de vidrio.					
Dato de la foto									
Fotos: 009 ME(N2) E1-E2 12.11				ubicación estimada: Muro externo (N2) E1-E2					
Características de la construcción:									
Material	Baque:		Niveles	1	Tipo de cimentación	Zapatas:	X		
	Mampostería:	X		2		Pilas			
	Madera:			3		Pilotes			
	Concreto:	X		4		Losa			
	Otro:					Vigas de Fur	X		
				cuantos: 2		Otro:			
Profundidad de Cimentación: 3.27 m				Profundidad Nivel freático:					
Factores que afectan la vivienda.									
Deslizamiento:				Características:					
Desconfinamiento:				Características:					
Agua:				Características:					
Cambios de tráfico:				Características:					
Otros:				Características:					
Características geológicas de la zona									
Suelo	Arena		Limo		Arcilla	X			
	Orgánico		Lleno		Otro				
Roca	Fresca		Meteorizada		Fracturada				
	Tipo roca:								
Características de las grietas									
Grietas en muros									
Separación de discontinuidades				1.2 mm					
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad		Textura superficial	Muy suave				
Cerrado	0				Suave				
Muy estrecho	0 - 0,5				Rugoso	X			
Estrecho	0,5 - 1,0				Muy Rugoso				
Amplio	1,0 - 5,0	X			Común	X			
Muy amplio	> 5,0			Raro					
Tendencia				Dirección de propagación					
Lineal				Descendente					
Moderadamente lineal				Ascendente					
Moderadamente curvilínea				Lateral					
Curvilínea				Paralela					
Irregular				X					
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									
Grietas en losa de piso									
Separación de discontinuidades									
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad		Textura superficial	Muy suave				
Cerrado	0				Suave				
Muy estrecho	0 - 0,5				Rugoso				
Estrecho	0,5 - 1,0				Muy Rugoso				
Amplio	1,0 - 5,0				Común				
Muy amplio	> 5,0			Raro					
Tendencia				Dirección de propagación					
Lineal				Interno					
Moderadamente lineal				Externo					
Moderadamente lineal				Paralelo					
Curvilínea									
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									

TOMA DE DATOS PRELIMINARES DE LA BARRANCA CON DISCONTINUIDADES									
Fecha: 03/10/2025			Caso N° : 10			Fecha Construcción: 2017			
Localización (ciudad, barrio): Sucre, comunidad			Dirección: Carretera a la Barranca, comunidad L						
Imagen Patológica					Observaciones				
									
Dato de la foto									
Fotos: 010 ME(PB) E2-E3 12.14			ubicación estimada: Muro externo (PB) E2-E3						
Características de la construcción:									
Material	Baque:		Niveles	1	Tipo de cimentación	Zapatas:	X		
	Mampostería:	X		2		Pilas			
	Madera:			3		Pilotes			
	Concreto:	X		4		Losa			
	Otro:					Vigas de Fur	X		
			cuantos: 2	Otro:					
Profundidad de Cimentación: 3.27 m					Profundidad Nivel freático:				
Factores que afectan la vivienda.									
Deslizamiento:			Características:						
Desconfinamiento :			Características:						
Agua:			Características:						
Cambios de trafico:			Características:						
Otros:			Características:						
Características geológicas de la zona									
Suelo	Arena		Limo		Arcilla	X			
	Orgánico		Lleno		Otro				
Roca	Fresca		Meteorizada		Fracturada				
	Tipo roca:								
Características de las grietas									
Grietas en muros									
Separación de discontinuidades			0.4 mm		Textura superficial	Muy suave			
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad				Suave	X		
Cerrado	0					Rugoso			
Muy estrecho	0 - 0,5	X				Muy Rugoso			
Estrecho	0,5 - 1,0					Probabilidad de aparición			
Amplio	1,0 - 5,0				Común	X			
Muy amplio	> 5,0				Raro				
Tendencia			Dirección de propagación						
Lineal			X		Descendente				
Moderadamente lineal					Ascendente				
Moderadamente curvilínea					Lateral				
Curvilínea					Paralela		X		
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									
Grietas en losa de piso									
Separación de discontinuidades			0.4 mm		Textura superficial	Muy suave			
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad				Suave			
Cerrado	0					Rugoso			
Muy estrecho	0 - 0,5					Muy Rugoso			
Estrecho	0,5 - 1,0					Probabilidad de aparición			
Amplio	1,0 - 5,0				Común				
Muy amplio	> 5,0				Raro				
Tendencia			Dirección de propagación						
Lineal					Interno				
Moderadamente lineal					Externo				
Moderadamente lineal					Paralelo				
Curvilínea									
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									

TOMA DE DATOS PRELIMINARES DE LA BARRANCA CON DISCONTINUIDADES										
Fecha: 03/10/2025			Caso N°: 11			Fecha Construcción: 2017				
Localización (ciudad, barrio): Sucre, comunidad Llinfi					Dirección: Carretera a la Barranca, comunidad L					
Imagen Patológica					Observaciones					
					Fisura que atraviesa el muro.					
Dato de la foto										
Fotos: 011 MI(PB) E1-D1 12.28 y 011 MI(PB) E1-D1 Ubicación estimada: Muro interno (PB) E1-D1										
Características de la construcción:										
Material	Baque:		Niveles	1	Tipo de cimentación	Zapatas:	X			
	Mampostería:	X		2		Pilas				
	Madera:			3		Pilotes				
	Concreto:	X		4		Losa				
	Otro:					Vigas de Fur	X			
			cuantos: 2	Otro:						
Profundidad de Cimentación: 3.27 m					Profundidad Nivel freático:					
Factores que afectan la vivienda.										
Deslizamiento:					Características:					
Desconfinamiento:					Características:					
Agua:					Características:					
Cambios de tráfico:					Características:					
Otros:					Características:					
Características geológicas de la zona										
Suelo	Arena		Limo		Arcilla	X				
	Orgánico		Lleno		Otro					
Roca	Fresca		Meteorizada		Fracturada					
	Tipo roca:									
Características de las grietas										
Grietas en muros										
Separación de discontinuidades					11.1, 16.95,	Textura superficial	Muy suave			
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad			Suave					
Cerrado	0				Rugoso					
Muy estrecho	0 - 0,5				Muy Rugoso		X			
Estrecho	0,5 - 1,0									
Amplio	1,0 - 5,0				Común					
Muy amplio	> 5,0	X			Raro	X				
Tendencia					Dirección de propagación					
Lineal					Descendente					
Moderadamente lineal					Ascendente					
Moderadamente curvilínea					Lateral					
Curvilínea					Paralela					
Irregular					X					
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100										
Grietas en losa de piso										
Separación de discontinuidades						Textura superficial	Muy suave			
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad			Suave					
Cerrado	0				Rugoso					
Muy estrecho	0 - 0,5				Muy Rugoso					
Estrecho	0,5 - 1,0									
Amplio	1,0 - 5,0				Común					
Muy amplio	> 5,0				Raro					
Tendencia					Dirección de propagación					
Lineal					Interno					
Moderadamente lineal					Externo					
Moderadamente lineal					Paralelo					
Curvilínea										
Irregular										
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100										

TOMA DE DATOS PRELIMINARES DE LA BARRANCA CON DISCONTINUIDADES									
Fecha: 03/10/2025			Caso N°: 12			Fecha Construcción: 2017			
Localización (ciudad, barrio): Sucre, comunidad			Dirección: Carretera a la Barranca, comunidad L						
Imagen Patológica					Observaciones				
					Separación muro-viga en sección base, grieta de ventana en marco superior.				
Dato de la foto									
Fotos: 012 MI(PB) D1-D2 12.37			ubicación estimada: Muro interno (PB) D1-D2						
Características de la construcción:									
Material	Baque:		Niveles	1	Tipo de cimentación	Zapatas:	X		
	Mampostería:	X		2		Pilas:			
	Madera:			3		Pilotes:			
	Concreto:	X		4		Losa:			
	Otro:					Vigas de Fierro:	X		
			cuantos: 2		Otro:				
Profundidad de Cimentación: 3.27 m					Profundidad Nivel freático:				
Factores que afectan la vivienda.									
Deslizamiento:			Características:						
Desconfinamiento:			Características:						
Agua:			Características:						
Cambios de tráfico:			Características:						
Otros:			Características:						
Características geológicas de la zona									
Suelo	Arena		Limo		Arcilla	X			
	Orgánico		Lleno		Otro				
Roca	Fresca		Meteorizada		Fracturada				
	Tipo roca:								
Características de las grietas									
Grietas en muros									
Separación de discontinuidades			1.6 mm		Textura superficial	Muy suave			
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad				Suave			
Cerrado	0					Rugoso	X		
Muy estrecho	0 - 0,5					Muy Rugoso			
Estrecho	0,5 - 1,0					Probabilidad de aparición			
Amplio	1,0 - 5,0		X		Común	X			
Muy amplio	> 5,0				Raro				
Tendencia			Dirección de propagación						
Lineal			X		Descendente				
Moderadamente lineal					Ascendente				
Moderadamente curvilínea					Lateral				
Curvilínea					Paralela		X		
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados / # m2 totales de muro) x 100									
Grietas en losa de piso									
Separación de discontinuidades			1.6 mm		Textura superficial	Muy suave			
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad				Suave			
Cerrado	0					Rugoso			
Muy estrecho	0 - 0,5					Muy Rugoso			
Estrecho	0,5 - 1,0					Probabilidad de aparición			
Amplio	1,0 - 5,0				Común				
Muy amplio	> 5,0				Raro				
Tendencia			Dirección de propagación						
Lineal					Interno				
Moderadamente lineal					Externo				
Moderadamente lineal					Paralelo				
Curvilínea									
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados / # m2 totales de muro) x 100									

TOMA DE DATOS PRELIMINARES DE LA BARRANCA CON DISCONTINUIDADES									
Fecha: 03/10/2025			Caso N° : 13			Fecha Construcción: 2017			
Localización (ciudad, barrio): Sucre, comunidad			Dirección: Carretera a la Barranca, comunidad L						
Imagen Patológica					Observaciones				
					Grietas lineales en columna.				
Dato de la foto									
Fotos: 013 CI(PB) D2 12.46			Ubicación estimada: Columna interna (PB) D2						
Características de la construcción:									
Material	Baque:		Niveles	1	Tipo de cimentación	Zapatillas:	X		
	Mampostería:	X		2		Pilas:			
	Madera:			3		Pilotes:			
	Concreto:	X		4		Losa:			
	Otro:					Vigas de Fierro:	X		
			cuantos: 2		Otro:				
Profundidad de Cimentación: 3.27 m					Profundidad Nivel freático:				
Factores que afectan la vivienda.									
Deslizamiento:			Características:						
Desconfinamiento:			Características:						
Agua:			Características:						
Cambios de tráfico:			Características:						
Otros:			Características:						
Características geológicas de la zona									
Suelo	Arena		Limo		Arcilla	X			
	Orgánico		Lleno		Otro				
Roca	Fresca		Meteorizada		Fracturada				
	Tipo roca:								
Características de las grietas									
Grietas en muros									
Separación de discontinuidades			1.6 mm		Textura superficial	Muy suave			
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad				Suave			
Cerrado	0					Rugoso	X		
Muy estrecho	0 - 0,5					Muy Rugoso			
Estrecho	0,5 - 1,0					Probabilidad de aparición			
Amplio	1,0 - 5,0		X		Común	X			
Muy amplio	> 5,0				Raro				
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal					Descendente		X		
Moderadamente lineal			X		Ascendente				
Moderadamente curvilínea					Lateral				
Curvilínea					Paralela				
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados / # m2 totales de muro) x 100									
Grietas en losa de piso									
Separación de discontinuidades			1.6 mm		Textura superficial	Muy suave			
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad				Suave			
Cerrado	0					Rugoso			
Muy estrecho	0 - 0,5					Muy Rugoso			
Estrecho	0,5 - 1,0					Probabilidad de aparición			
Amplio	1,0 - 5,0				Común				
Muy amplio	> 5,0				Raro				
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal					Interno				
Moderadamente lineal					Externo				
Moderadamente lineal					Paralelo				
Curvilínea									
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados / # m2 totales de muro) x 100									

TOMA DE DATOS PRELIMINARES DE LA BARRANCA CON DISCONTINUIDADES									
Fecha: 06/10/2025		Caso N°: 14		Fecha Construcción: 2017					
Localización (ciudad, barrio): Sucre, comunidad		Dirección: Carretera a la Barranca, comunidad L							
Imagen Patológica				Observaciones					
				Salón de informática					
Dato de la foto									
Fotos: 014 CI(N2) G4 10.04				ubicación estimada: Columna interna (N2) G4					
Características de la construcción:									
Material	Baque:		Niveles	1	Tipo de cimentación	Zapatas:	X		
	Mampostería:	X		2		Pilas			
	Madera:			3		Pilotes			
	Concreto:	X		4		Losa			
	Otro:					Vigas de Fierro	X		
				cuantos: 2		Otro:			
Profundidad de Cimentación: 3.27 m				Profundidad Nivel freático:					
Factores que afectan la vivienda.									
Deslizamiento:				Características:					
Desconfinamiento:				Características:					
Agua:				Características:					
Cambios de tráfico:				Características:					
Otros:				Características:					
Características geológicas de la zona									
Suelo	Arena		Limo		Arcilla	X			
	Orgánico		Lleno		Otro				
Roca	Fresca		Meteorizada		Fracturada				
	Tipo roca:								
Características de las grietas									
Grietas en muros									
Separación de discontinuidades				0.4 mm					
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad		Textura superficial	Muy suave				
Cerrado	0				Suave	X			
Muy estrecho	0 - 0,5	X			Rugoso				
Estrecho	0,5 - 1,0				Muy Rugoso				
Amplio	1,0 - 5,0				Probabilidad de aparición				
Muy amplio	> 5,0			Común					
				Raro	X				
Tendencia				Dirección de propagación					
Lineal				Descendente					
Moderadamente lineal				Ascendente					
Moderadamente curvilínea				Lateral					
Curvilínea				Paralela					
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados / # m2 totales de muro) x 100									
Grietas en losa de piso									
Separación de discontinuidades				0.4 mm					
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad		Textura superficial	Muy suave				
Cerrado	0				Suave				
Muy estrecho	0 - 0,5				Rugoso				
Estrecho	0,5 - 1,0				Muy Rugoso				
Amplio	1,0 - 5,0				Probabilidad de aparición				
Muy amplio	> 5,0			Común					
				Raro	X				
Tendencia				Dirección de propagación					
Lineal				Interno					
Moderadamente lineal				Externo					
Moderadamente lineal				Paralelo					
Curvilínea									
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados / # m2 totales de muro) x 100									

TOMA DE DATOS PRELIMINARES DE LA BARRANCA CON DISCONTINUIDADES									
Fecha: 06/10/2025			Caso N° : 15			Fecha Construcción: 2017			
Localización (ciudad, barrio): Sucre, comunidad			Dirección: Carretera a la Barranca, comunidad L						
Imagen Patológica					Observaciones				
					Salón de informática				
Dato de la foto									
Fotos: 015 MI(N2) F4-G4 10.07			ubicación estimada: Muro interno (N2) F4-G4						
Características de la construcción:									
Material	Baque:		Niveles	1	Tipo de cimentación	Zapatas:	X		
	Mampostería:	X		2		Pilas			
	Madera:			3		Pilotes			
	Concreto:	X		4		Losa			
	Otro:					Vigas de Fierro	X		
			cuantos: 2		Otro:				
Profundidad de Cimentación: 3.27 m					Profundidad Nivel freático:				
Factores que afectan la vivienda.									
Deslizamiento:			Características:						
Desconfinamiento:			Características:						
Agua:			Características:						
Cambios de tráfico:			Características:						
Otros:			Características:						
Características geológicas de la zona									
Suelo	Arena		Limo		Arcilla	X			
	Orgánico		Lleno		Otro				
Roca	Fresca		Meteorizada		Fracturada				
	Tipo roca:								
Características de las grietas									
Grietas en muros									
Separación de discontinuidades			0.3 mm		Textura superficial	Muy suave			
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad				Suave	X		
Cerrado	0					Rugoso			
Muy estrecho	0 - 0,5	X				Muy Rugoso			
Estrecho	0,5 - 1,0					Probabilidad de aparición			
Amplio	1,0 - 5,0				Común	X			
Muy amplio	> 5,0				Raro				
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal					Descendente		X		
Moderadamente lineal			X		Ascendente				
Moderadamente curvilínea					Lateral				
Curvilínea					Paralela				
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados / # m2 totales de muro) x 100									
Grietas en losa de piso									
Separación de discontinuidades					Textura superficial	Muy suave			
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad				Suave			
Cerrado	0					Rugoso			
Muy estrecho	0 - 0,5					Muy Rugoso			
Estrecho	0,5 - 1,0					Probabilidad de aparición			
Amplio	1,0 - 5,0				Común				
Muy amplio	> 5,0				Raro				
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal					Interno				
Moderadamente lineal					Externo				
Moderadamente lineal					Paralelo				
Curvilínea									
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados / # m2 totales de muro) x 100									

TOMA DE DATOS PRELIMINARES DE LA BARRANCA CON DISCONTINUIDADES									
Fecha: 06/10/2025		Caso N° : 16		Fecha Construcción: 2017					
Localización (ciudad, barrio): Sucre, comunidad				Dirección: Carretera a la Barranca, comunidad L					
Imagen Patológica				Observaciones					
				Salón de informática					
Dato de la foto									
Fotos: 016 CI(N2) E'5 10.11				ubicación estimada: Columna interna (N2) E'5					
Características de la construcción:									
Material	Baque:		Niveles	1	Tipo de cimentación	Zapatas:	X		
	Mampostería:	X		2		Pilas:			
	Madera:			3		Pilotes:			
	Concreto:	X		4		Losa:			
	Otro:					Vigas de Fur:	X		
				cuantos: 2		Otro:			
Profundidad de Cimentación: 3.27 m				Profundidad Nivel freático:					
Factores que afectan la vivienda.									
Deslizamiento:				Características:					
Desconfinamiento:				Características:					
Agua:				Características:					
Cambios de tráfico:				Características:					
Otros:				Características:					
Características geológicas de la zona									
Suelo		Arena		Limo		Arcilla	X		
		Orgánico		Lleno		Otro			
Roca		Fresca		Meteorizada		Fracturada			
		Tipo roca:							
Características de las grietas									
Grietas en muros									
Separación de discontinuidades				1.3 mm					
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad		Textura superficial	Muy suave				
Cerrado	0				Suave				
Muy estrecho	0 - 0,5				Rugoso	X			
Estrecho	0,5 - 1,0				Muy Rugoso				
Amplio	1,0 - 5,0	X			Común				
Muy amplio	> 5,0			Raro	X				
Tendencia				Dirección de propagación					
Lineal						Descendente			
Moderadamente lineal				X		Ascendente			
Moderadamente curvilínea						Lateral		X	
Curvilínea						Paralela			
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									
Grietas en losa de piso									
Separación de discontinuidades									
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad		Textura superficial	Muy suave				
Cerrado	0				Suave				
Muy estrecho	0 - 0,5				Rugoso				
Estrecho	0,5 - 1,0				Muy Rugoso				
Amplio	1,0 - 5,0				Común				
Muy amplio	> 5,0			Raro					
Tendencia				Dirección de propagación					
Lineal						Interno			
Moderadamente lineal						Externo			
Moderadamente lineal						Paralelo			
Curvilínea									
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									

TOMA DE DATOS PRELIMINARES DE LA BARRANCA CON DISCONTINUIDADES									
Fecha: 06/10/2025			Caso N° : 17			Fecha Construcción: 2017			
Localización (ciudad, barrio): Sucre, comunidad			Dirección: Carretera a la Barranca, comunidad L						
Imagen Patológica					Observaciones				
					Salón de informática				
Dato de la foto									
Fotos: 017 PI(N2) E'5-F5 10.19			ubicación estimada: Piso interno (N2) E'5-F5						
Características de la construcción:									
Material	Baque:		Niveles	1	Tipo de cimentación	Zapatas:	X		
	Mampostería:	X		2		Pilas			
	Madera:			3		Pilotes			
	Concreto:	X		4		Losa			
	Otro:					Vigas de Fur	X		
			cuantos: 2		Otro:				
Profundidad de Cimentación: 3.27 m					Profundidad Nivel freático:				
Factores que afectan la vivienda.									
Deslizamiento:			Características:						
Desconfinamiento :			Características:						
Agua:			Características:						
Cambios de tráfico:			Características:						
Otros:			Características:						
Características geológicas de la zona									
Suelo	Arena		Limo		Arcilla	X			
	Orgánico		Lleno		Otro				
Roca	Fresca		Meteorizada		Fracturada				
	Tipo roca:								
Características de las grietas									
Grietas en muros									
Separación de discontinuidades									
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad	Textura superficial	Muy suave					
Cerrado	0			Suave					
Muy estrecho	0 - 0,5			Rugoso					
Estrecho	0,5 - 1,0			Muy Rugoso					
Amplio	1,0 - 5,0			Común					
Muy amplio	> 5,0		Raro						
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal						Descendente			
Moderadamente lineal						Ascendente			
Moderadamente curvilínea						Lateral			
Curvilínea						Paralela			
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									
Grietas en losa de piso									
Separación de discontinuidades									
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad	Textura superficial	Muy suave					
Cerrado	0			Suave					
Muy estrecho	0 - 0,5			Rugoso	X				
Estrecho	0,5 - 1,0			Muy Rugoso					
Amplio	1,0 - 5,0	X		Común					
Muy amplio	> 5,0		Raro	X					
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal			X			Interno			
Moderadamente lineal						Externo		X	
Moderadamente lineal						Paralelo			
Curvilínea									
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									

TOMA DE DATOS PRELIMINARES DE LA BARRANCA CON DISCONTINUIDADES									
Fecha: 06/10/2025		Caso N°: 18		Fecha Construcción: 2017					
Localización (ciudad, barrio): Sucre, comunidad Dirección: Carretera a la Barranca, comunidad L									
Imagen Patológica					Observaciones				
					Ventana quebrada cerca de viga.				
Dato de la foto									
Fotos: 018 MI(N2) D4-C4 10.22			ubicación estimada: Muro interno (N2) D4-C4						
Características de la construcción:									
Material	Baque:		Niveles	1	Tipo de cimentación	Zapatas:	X		
	Mampostería:	X		2		Pilas:			
	Madera:			3		Pilotes:			
	Concreto:	X		4		Losa:			
	Otro:					Vigas de Fierro:	X		
				cuantos: 2	Otro:				
Profundidad de Cimentación: 3.27 m					Profundidad Nivel freático:				
Factores que afectan la vivienda.									
Deslizamiento:			Características:						
Desconfinamiento:			Características:						
Agua:			Características:						
Cambios de tráfico:			Características:						
Otros:			Características:						
Características geológicas de la zona									
Suelo	Arena		Limo		Arcilla	X			
	Orgánico		Lleno		Otro				
Roca	Fresca		Meteorizada		Fracturada				
	Tipo roca:								
Características de las grietas									
Grietas en muros									
Separación de discontinuidades			0.9 mm		Textura superficial	Muy suave			
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad				Suave	X		
Cerrado	0					Rugoso			
Muy estrecho	0 - 0,5					Muy Rugoso			
Estrecho	0,5 - 1,0	X				Probabilidad de aparición			
Amplio	1,0 - 5,0				Común	X			
Muy amplio	> 5,0				Raro				
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal			X		Descendente				
Moderadamente lineal					Ascendente				
Moderadamente curvilínea					Lateral				
Curvilínea					Paralela		X		
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									
Grietas en losa de piso									
Separación de discontinuidades					Textura superficial	Muy suave			
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad				Suave			
Cerrado	0					Rugoso			
Muy estrecho	0 - 0,5					Muy Rugoso			
Estrecho	0,5 - 1,0					Probabilidad de aparición			
Amplio	1,0 - 5,0				Común				
Muy amplio	> 5,0				Raro				
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal					Interno				
Moderadamente lineal					Externo				
Moderadamente lineal					Paralelo				
Curvilínea									
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									

TOMA DE DATOS PRELIMINARES DE LA BARRANCA CON DISCONTINUIDADES									
Fecha: 06/10/2025		Caso N° : 19		Fecha Construcción: 2017					
Localización (ciudad, barrio): Sucre, comunidad		Dirección: Carretera a la Barranca, comunidad L							
Imagen Patológica				Observaciones					
				Cubre 2 caras de la columna.					
Dato de la foto									
Fotos: 019 CI(N2) C4 10.29				ubicación estimada: Columna interna (N2) C4					
Características de la construcción:									
Material	Baque:		Niveles	1	Tipo de cimentación	Zapatillas:	X		
	Mampostería:	X		2		Pilas			
	Madera:			3		Pilotes			
	Concreto:	X		4		Losa			
	Otro:					Vigas de Fierro	X		
				cuantos: 2		Otro:			
Profundidad de Cimentación: 3.27 m				Profundidad Nivel freático:					
Factores que afectan la vivienda.									
Deslizamiento:		Características:							
Desconfinamiento :		Características:							
Agua:		Características:							
Cambios de tráfico:		Características:							
Otros:		Características:							
Características geológicas de la zona									
Suelo	Arena		Limo		Arcilla	X			
	Orgánico		Lleno		Otro				
Roca	Fresca		Meteorizada		Fracturada				
	Tipo roca:								
Características de las grietas									
Grietas en muros									
Separación de discontinuidades				0.4 mm					
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad		Textura superficial	Muy suave				
Cerrado	0				Suave	X			
Muy estrecho	0 - 0,5	X			Rugoso				
Estrecho	0,5 - 1,0				Muy Rugoso				
Amplio	1,0 - 5,0				Común				
Muy amplio	> 5,0			Raro	X				
Tendencia				Dirección de propagación					
Lineal		X		Descendente					
Moderadamente lineal				Ascendente					
Moderadamente curvilínea				Lateral		X			
Curvilínea				Paralela					
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									
Grietas en losa de piso									
Separación de discontinuidades									
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad		Textura superficial	Muy suave				
Cerrado	0				Suave				
Muy estrecho	0 - 0,5				Rugoso				
Estrecho	0,5 - 1,0				Muy Rugoso				
Amplio	1,0 - 5,0				Común				
Muy amplio	> 5,0			Raro					
Tendencia				Dirección de propagación					
Lineal				Interno					
Moderadamente lineal				Externo					
Moderadamente lineal				Paralelo					
Curvilínea									
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									

TOMA DE DATOS PRELIMINARES DE LA BARRANCA CON DISCONTINUIDADES									
Fecha: 06/10/2025			Caso N° : 20			Fecha Construcción: 2017			
Localización (ciudad, barrio): Sucre, comunidad					Dirección: Carretera a la Barranca, comunidad L				
Imagen Patológica					Observaciones				
									
Dato de la foto									
Fotos: 020 CI(N2) B4 10.35			ubicación estimada: Columna interna (N2) B4						
Características de la construcción:									
Material	Baque:		Niveles	1	Tipo de cimentación	Zapatas:	X		
	Mampostería:	X		2		Pilas			
	Madera:			3		Pilotes			
	Concreto:	X		4		Losa			
	Otro:					Vigas de Fierro	X		
			cuantos: 2	Otro:					
Profundidad de Cimentación: 3.27 m					Profundidad Nivel freático:				
Factores que afectan la vivienda.									
Deslizamiento:			Características:						
Desconfinamiento :			Características:						
Agua:			Características:						
Cambios de tráfico:			Características:						
Otros:			Características:						
Características geológicas de la zona									
Suelo	Arena		Limo		Arcilla	X			
	Orgánico		Lleno		Otro				
Roca	Fresca		Meteorizada		Fracturada				
	Tipo roca:								
Características de las grietas									
Grietas en muros									
Separación de discontinuidades			1 mm	Textura superficial	Muy suave				
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad			Suave				
Cerrado	0				Rugoso				
Muy estrecho	0 - 0,5				Muy Rugoso	X			
Estrecho	0,5 - 1,0	X	Probabilidad de aparición						
Amplio	1,0 - 5,0		Común						
Muy amplio	> 5,0		Raro		X				
Tendencia			Dirección de propagación						
Lineal			X	Descendente					
Moderadamente lineal				Ascendente		X			
Moderadamente curvilínea				Lateral					
Curvilínea				Paralela					
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									
Grietas en losa de piso									
Separación de discontinuidades			1 mm	Textura superficial	Muy suave				
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad			Suave				
Cerrado	0				Rugoso				
Muy estrecho	0 - 0,5				Muy Rugoso				
Estrecho	0,5 - 1,0		Probabilidad de aparición						
Amplio	1,0 - 5,0		Común						
Muy amplio	> 5,0		Raro						
Tendencia			Dirección de propagación						
Lineal				Interno					
Moderadamente lineal				Externo					
Moderadamente lineal				Paralelo					
Curvilínea									
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									
Observaciones y Anotaciones									

TOMA DE DATOS PRELIMINARES DE LA BARRANCA CON DISCONTINUIDADES										
Fecha: 06/10/2025			Caso N° : 21			Fecha Construcción: 2017				
Localización (ciudad, barrio): Sucre, comunidad Dirección: Carretera a la Barranca, comunidad L										
Imagen Patológica					Observaciones					
										
Dato de la foto										
Fotos: 021 CI(N2) A4 10.42					ubicación estimada: Columna interna (N2) A4					
Características de la construcción:										
Material	Baque:		Niveles	1	Tipo de cimentación	Zapatas:	X			
	Mampostería:	X		2		Pilas:				
	Madera:			3		Pilotes:				
	Concreto:	X		4		Losa:				
	Otro:						Vigas de Fur:	X		
					cuantos: 2		Otro:			
Profundidad de Cimentación: 3.27 m					Profundidad Nivel freático:					
Factores que afectan la vivienda.										
Deslizamiento:					Características:					
Desconfinamiento:					Características:					
Agua:					Características:					
Cambios de tráfico:					Características:					
Otros:					Características:					
Características geológicas de la zona										
Suelo		Arena		Limo		Arcilla	X			
		Orgánico		Lleno		Otro				
Roca		Fresca		Meteorizada		Fracturada				
		Tipo roca:								
Características de las grietas										
Grietas en muros										
Separación de discontinuidades					0.7 mm					
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad			Textura superficial	Muy suave				
Cerrado	0					Suave	X			
Muy estrecho	0 - 0,5					Rugoso				
Estrecho	0,5 - 1,0	X				Muy Rugoso				
Amplio	1,0 - 5,0					Probabilidad de aparición				
Muy amplio	> 5,0				Común					
					Raro	X				
Tendencia					Dirección de propagación					
Lineal					Descendente					X
Moderadamente lineal					Ascendente					
Moderadamente curvilínea					Lateral					
Curvilínea					Paralela					
Irregular										
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100										
Grietas en losa de piso										
Separación de discontinuidades										
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad			Textura superficial	Muy suave				
Cerrado	0					Suave				
Muy estrecho	0 - 0,5					Rugoso				
Estrecho	0,5 - 1,0					Muy Rugoso				
Amplio	1,0 - 5,0					Probabilidad de aparición				
Muy amplio	> 5,0				Común					
					Raro	X				
Tendencia					Dirección de propagación					
Lineal					Interno					
Moderadamente lineal					Externo					
Moderadamente lineal					Paralelo					
Curvilínea										
Irregular										
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100										
Observaciones y Análisis										

TOMA DE DATOS PRELIMINARES DE LA BARRANCA CON DISCONTINUIDADES									
Fecha: 06/10/2025			Caso N° : 22			Fecha Construcción: 2017			
Localización (ciudad, barrio): Sucre, comunidad			Dirección: Carretera a la Barranca, comunidad L						
Imagen Patológica					Observaciones				
					Pizarra quebrada				
Dato de la foto									
Fotos: 022 MI(N2) A4-A5 10.44			ubicación estimada: Muro interno (N2) A4-A5						
Características de la construcción:									
Material	Baque:		Niveles	1	Tipo de cimentación	Zapatas:	X		
	Mampostería:	X		2		Pilas			
	Madera:			3		Pilotes			
	Concreto:	X		4		Losa			
	Otro:					Vigas de Fierro	X		
				cuantos: 2		Otro:			
Profundidad de Cimentación: 3.27 m					Profundidad Nivel freático:				
Factores que afectan la vivienda.									
Deslizamiento:			Características:						
Desconfinamiento :			Características:						
Agua:			Características:						
Cambios de tráfico:			Características:						
Otros:			Características:						
Características geológicas de la zona									
Suelo	Arena		Limo		Arcilla	X			
	Orgánico		Lleno		Otro				
Roca	Fresca		Meteorizada		Fracturada				
	Tipo roca:								
Características de las grietas									
Grietas en muros									
Separación de discontinuidades			0.4 mm		Textura superficial	Muy suave			
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad				Suave	X		
Cerrado	0					Rugoso			
Muy estrecho	0 - 0,5	X				Muy Rugoso			
Estrecho	0,5 - 1,0					Probabilidad de aparición			
Amplio	1,0 - 5,0				Común	X			
Muy amplio	> 5,0				Raro				
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal					Descendente		X		
Moderadamente lineal			X		Ascendente				
Moderadamente curvilínea					Lateral				
Curvilínea					Paralela				
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									
Grietas en losa de piso									
Separación de discontinuidades					Textura superficial	Muy suave			
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad				Suave			
Cerrado	0					Rugoso			
Muy estrecho	0 - 0,5					Muy Rugoso			
Estrecho	0,5 - 1,0					Probabilidad de aparición			
Amplio	1,0 - 5,0				Común				
Muy amplio	> 5,0				Raro				
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal					Interno				
Moderadamente lineal					Externo				
Moderadamente lineal					Paralelo				
Curvilínea									
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									

TOMA DE DATOS PRELIMINARES DE LA BARRANCA CON DISCONTINUIDADES									
Fecha: 06/10/2025			Caso N° : 23			Fecha Construcción: 2017			
Localización (ciudad, barrio): Sucre, comunidad			Dirección: Carretera a la Barranca, comunidad L						
Imagen Patológica					Observaciones				
									
Dato de la foto									
Fotos: 023 CI(N2) A5 10.47			ubicación estimada: Columna interna (N2) A5						
Características de la construcción:									
Material	Baque:		Niveles	1	Tipo de cimentación	Zapatas:	X		
	Mampostería:	X		2		Pilas			
	Madera:			3		Pilotes			
	Concreto:	X		4		Losa			
	Otro:					Vigas de Fur	X		
				cuantos: 2		Otro:			
Profundidad de Cimentación: 3.27 m					Profundidad Nivel freático:				
Factores que afectan la vivienda.									
Deslizamiento:			Características:						
Desconfinamiento :			Características:						
Agua:			Características:						
Cambios de tráfico:			Características:						
Otros:			Características:						
Características geológicas de la zona									
Suelo	Arena		Limo		Arcilla	X			
	Orgánico		Lleno		Otro				
Roca	Fresca		Meteorizada		Fracturada				
	Tipo roca:								
Características de las grietas									
Grietas en muros									
Separación de discontinuidades			0.4 mm		Textura superficial	Muy suave			
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad				Suave	X		
Cerrado	0					Rugoso			
Muy estrecho	0 - 0,5	X				Muy Rugoso			
Estrecho	0,5 - 1,0					Probabilidad de aparición			
Amplio	1,0 - 5,0				Común	X			
Muy amplio	> 5,0				Raro				
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal					Descendente		X		
Moderadamente lineal			X		Ascendente				
Moderadamente curvilínea					Lateral				
Curvilínea					Paralela				
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									
Grietas en losa de piso									
Separación de discontinuidades					Textura superficial	Muy suave			
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad				Suave			
Cerrado	0					Rugoso			
Muy estrecho	0 - 0,5					Muy Rugoso			
Estrecho	0,5 - 1,0					Probabilidad de aparición			
Amplio	1,0 - 5,0				Común				
Muy amplio	> 5,0				Raro				
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal					Interno				
Moderadamente lineal					Externo				
Moderadamente lineal					Paralelo				
Curvilínea									
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									

TOMA DE DATOS PRELIMINARES DE LA BARRANCA CON DISCONTINUIDADES									
Fecha: 06/10/2025			Caso N° : 24			Fecha Construcción: 2017			
Localización (ciudad, barrio): Sucre, comunidad			Dirección: Carretera a la Barranca, comunidad L						
Imagen Patológica					Observaciones				
					Pizarra quebrada				
Dato de la foto									
Fotos: 024 CI(N2) B5 10.50			ubicación estimada: Columna interna (N2) B5						
Características de la construcción:									
Material	Baque:		Niveles	1	Tipo de cimentación	Zapatas:	X		
	Mampostería:	X		2		Pilas			
	Madera:			3		Pilotes			
	Concreto:	X		4		Losa			
	Otro:					Vigas de Fierro	X		
			cuantos: 2		Otro:				
Profundidad de Cimentación: 3.27 m					Profundidad Nivel freático:				
Factores que afectan la vivienda.									
Deslizamiento:			Características:						
Desconfinamiento :			Características:						
Agua:			Características:						
Cambios de tráfico:			Características:						
Otros:			Características:						
Características geológicas de la zona									
Suelo		Arena		Limo		Arcilla	X		
		Orgánico		Lleno		Otro			
Roca		Fresca		Meteorizada		Fracturada			
		Tipo roca:							
Características de las grietas									
Grietas en muros									
Separación de discontinuidades				0.6 mm					
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad		Textura superficial	Muy suave				
Cerrado	0				Suave				
Muy estrecho	0 - 0,5				Rugoso	X			
Estrecho	0,5 - 1,0	X			Muy Rugoso				
Ampio	1,0 - 5,0				Probabilidad de aparición				
Muy amplio	> 5,0			Común					
				Raro	X				
Tendencia				Dirección de propagación					
Lineal				Descendente		X			
Moderadamente lineal				Ascendente					
Moderadamente curvilínea				Lateral					
Curvilínea		X		Paralela					
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									
Grietas en losa de piso									
Separación de discontinuidades				0.6 mm					
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad		Textura superficial	Muy suave				
Cerrado	0				Suave				
Muy estrecho	0 - 0,5				Rugoso				
Estrecho	0,5 - 1,0				Muy Rugoso				
Ampio	1,0 - 5,0				Probabilidad de aparición				
Muy amplio	> 5,0			Común					
				Raro	X				
Tendencia				Dirección de propagación					
Lineal				Interno					
Moderadamente lineal				Externo					
Moderadamente lineal		X		Paralelo					
Curvilínea									
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									

TOMA DE DATOS PRELIMINARES DE LA BARRANCA CON DISCONTINUIDADES									
Fecha: 06/10/2025			Caso N° : 25			Fecha Construcción: 2017			
Localización (ciudad, barrio): Sucre, comunidad					Dirección: Carretera a la Barranca, comunidad L				
Imagen Patológica					Observaciones				
									
Dato de la foto									
Fotos: 025 MI(N2) B5-C5 10.51					ubicación estimada: Muro interno (N2) B5-C5				
Características de la construcción:									
Material	Baque:		Niveles	1	Tipo de cimentación	Zapatas:	X		
	Mampostería:	X		2		Pilas:			
	Madera:			3		Pilotes:			
	Concreto:	X		4		Losa:			
	Otro:						Vigas de Fur:	X	
					cuantos: 2		Otro:		
Profundidad de Cimentación: 3.27 m					Profundidad Nivel freático:				
Factores que afectan la vivienda.									
Deslizamiento:					Características:				
Desconfinamiento:					Características:				
Agua:					Características:				
Cambios de tráfico:					Características:				
Otros:					Características:				
Características geológicas de la zona									
Suelo	Arena		Limo		Arcilla	X			
	Orgánico		Lleno		Otro				
Roca	Fresca		Meteorizada		Fracturada				
	Tipo roca:								
Características de las grietas									
Grietas en muros									
Separación de discontinuidades					2 mm				
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad			Textura superficial	Muy suave			
Cerrado	0					Suave			
Muy estrecho	0 - 0,5					Rugoso	X		
Estrecho	0,5 - 1,0					Muy Rugoso			
Amplio	1,0 - 5,0	X				Común			
Muy amplio	> 5,0				Raro	X			
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal					Descendente				
Moderadamente lineal					Ascendente				
Moderadamente curvilínea					Lateral				
Curvilínea					Paralela				
Irregular					X				
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									
Grietas en losa de piso									
Separación de discontinuidades					2.00mm				
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad			Textura superficial	Muy suave			
Cerrado	0					Suave			
Muy estrecho	0 - 0,5					Rugoso			
Estrecho	0,5 - 1,0					Muy Rugoso			
Amplio	1,0 - 5,0	X				Común			
Muy amplio	> 5,0				Raro	X			
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal					Interno				
Moderadamente lineal					Externo				
Moderadamente lineal					Paralelo				
Curvilínea									
Irregular					X				
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									

TOMA DE DATOS PRELIMINARES DE LA BARRANCA CON DISCONTINUIDADES									
Fecha: 06/10/2025		Caso N° : 26		Fecha Construcción: 2017					
Localización (ciudad, barrio): Sucre, comunidad		Dirección: Carretera a la Barranca, comunidad L							
Imagen Patológica				Observaciones					
				Cubre 2 caras de la columna.					
Dato de la foto									
Fotos: 026 CI(N2) C5 10.53				ubicación estimada: Columna interna (N2) C5					
Características de la construcción:									
Material	Baque:		Niveles	1	Tipo de cimentación	Zapatas:	X		
	Mampostería:	X		2		Pilas:			
	Madera:			3		Pilotes:			
	Concreto:	X		4		Losa:			
	Otro:						Vigas de Fur:	X	
				cuantos: 2		Otro:			
Profundidad de Cimentación: 3.27 m				Profundidad Nivel freático:					
Factores que afectan la vivienda.									
Deslizamiento:				Características:					
Desconfinamiento:				Características:					
Agua:				Características:					
Cambios de tráfico:				Características:					
Otros:				Características:					
Características geológicas de la zona									
Suelo		Arena		Limo		Arcilla	X		
		Orgánico		Lleno		Otro			
Roca		Fresca		Meteorizada		Fracturada			
		Tipo roca:							
Características de las grietas									
Grietas en muros									
Separación de discontinuidades				1 mm		Textura superficial	Muy suave		
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad			Suave		X		
Cerrado	0				Rugoso				
Muy estrecho	0 - 0,5				Muy Rugoso				
Estrecho	0,5 - 1,0	X			Probabilidad de aparición				
Amplio	1,0 - 5,0				Común				
Muy amplio	> 5,0				Raro	X			
Tendencia				Dirección de propagación					
Lineal				X		Descendente			
Moderadamente lineal						Ascendente			
Moderadamente curvilínea						Lateral			
Curvilínea						Paralela		X	
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									
Grietas en losa de piso									
Separación de discontinuidades				1 mm		Textura superficial	Muy suave		
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad			Suave				
Cerrado	0				Rugoso				
Muy estrecho	0 - 0,5				Muy Rugoso				
Estrecho	0,5 - 1,0				Probabilidad de aparición				
Amplio	1,0 - 5,0				Común				
Muy amplio	> 5,0				Raro				
Tendencia				Dirección de propagación					
Lineal						Interno			
Moderadamente lineal						Externo			
Moderadamente lineal						Paralelo			
Curvilínea									
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									
Observaciones / Anotaciones									

TOMA DE DATOS PRELIMINARES DE LA BARRANCA CON DISCONTINUIDADES									
Fecha: 06/10/2025			Caso N° : 27			Fecha Construcción: 2017			
Localización (ciudad, barrio): Sucre, comunidad Dirección: Carretera a la Barranca, comunidad L									
Imagen Patológica					Observaciones				
					o externo también presenta a la mirada				
Dato de la foto									
Fotos: 027 MI(N2) C5-C4 10.57					ubicación estimada: Muro interno (N2) C5-C4				
Características de la construcción:									
Material	Baque:		Niveles	1	Tipo de cimentación	Zapatas:	X		
	Mampostería:	X		2		Pilas			
	Madera:			3		Pilotes			
	Concreto:	X		4		Losa			
	Otro:					Vigas de Fierro	X		
					cuantos: 2		Otro:		
Profundidad de Cimentación: 3.27 m					Profundidad Nivel freático:				
Factores que afectan la vivienda.									
Deslizamiento:					Características:				
Desconfinamiento:					Características:				
Agua:					Características:				
Cambios de tráfico:					Características:				
Otros:					Características:				
Características geológicas de la zona									
Suelo		Arena		Limo		Arcilla	X		
		Orgánico		Lleno		Otro			
Roca		Fresca		Meteorizada		Fracturada			
		Tipo roca:							
Características de las grietas									
Grietas en muros									
Separación de discontinuidades					0.4 mm	Textura superficial	Muy suave		
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad			Suave		X		
Cerrado	0				Rugoso				
Muy estrecho	0 - 0,5	X			Muy Rugoso				
Estrecho	0,5 - 1,0				Probabilidad de aparición				
Amplio	1,0 - 5,0				Común				
Muy amplio	> 5,0				Raro	X			
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal					Descendente				
Moderadamente lineal					Ascendente				
Moderadamente curvilínea					Lateral				
Curvilínea					Paralela				
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									
Grietas en losa de piso									
Separación de discontinuidades						Textura superficial	Muy suave		
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad			Suave				
Cerrado	0				Rugoso				
Muy estrecho	0 - 0,5				Muy Rugoso				
Estrecho	0,5 - 1,0				Probabilidad de aparición				
Amplio	1,0 - 5,0				Común				
Muy amplio	> 5,0				Raro				
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal					Interno				
Moderadamente lineal					Externo				
Moderadamente curvilínea					Paralelo				
Curvilínea									
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									
Observaciones y Análisis									

TOMA DE DATOS PRELIMINARES DE LA BARRANCA CON DISCONTINUIDADES									
Fecha: 06/10/2025			Caso N° : 28			Fecha Construcción: 2017			
Localización (ciudad, barrio): Sucre, comunidad			Dirección: Carretera a la Barranca, comunidad L						
Imagen Patológica					Observaciones				
									
Dato de la foto									
Fotos: 028 CI(N2) D3 11.33			ubicación estimada: Columna interna (N2) D3						
Características de la construcción:									
Material	Baque:		Niveles	1	Tipo de cimentación	Zapatas:	X		
	Mampostería:	X		2		Pilas:			
	Madera:			3		Pilotes:			
	Concreto:	X		4		Losa:			
	Otro:					Vigas de Fur:	X		
				cuantos: 2		Otro:			
Profundidad de Cimentación: 3.27 m					Profundidad Nivel freático:				
Factores que afectan la vivienda.									
Deslizamiento:			Características:						
Descontaminamiento:			Características:						
Agua:			Características:						
Cambios de tráfico:			Características:						
Otros:			Características:						
Características geológicas de la zona									
Suelo	Arena		Limo		Arcilla	X			
	Orgánico		Lleno		Otro				
Roca	Fresca		Meteorizada		Fracturada				
	Tipo roca:								
Características de las grietas									
Grietas en muros									
Separación de discontinuidades			0.1 mm		Textura superficial	Muy suave			
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad				Suave	X		
Cerrado	0					Rugoso			
Muy estrecho	0 - 0,5	X				Muy Rugoso			
Estrecho	0,5 - 1,0					Probabilidad de aparición			
Amplio	1,0 - 5,0				Común	X			
Muy amplio	> 5,0				Raro				
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal					Descendente				
Moderadamente lineal			X		Ascendente				
Moderadamente curvilínea					Lateral				
Curvilínea					Paralela		X		
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									
Grietas en losa de piso									
Separación de discontinuidades			0.1 mm		Textura superficial	Muy suave			
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad				Suave			
Cerrado	0					Rugoso			
Muy estrecho	0 - 0,5					Muy Rugoso			
Estrecho	0,5 - 1,0					Probabilidad de aparición			
Amplio	1,0 - 5,0				Común				
Muy amplio	> 5,0				Raro				
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal					Interno				
Moderadamente lineal					Externo				
Moderadamente lineal					Paralelo				
Curvilínea									
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									

TOMA DE DATOS PRELIMINARES DE LA BARRANCA CON DISCONTINUIDADES									
Fecha: 06/10/2025		Caso N° : 29			Fecha Construcción: 2017				
Localización (ciudad, barrio): Sucre, comunidad Dirección: Carretera a la Barranca, comunidad L									
Imagen Patológica					Observaciones				
									
Dato de la foto									
Fotos: 029 PI(N2) E3-D3 11.24					ubicación estimada: Piso interno (N2) E3-D3				
Características de la construcción:									
Material	Baque:		Niveles	1	Tipo de cimentación	Zapatas:	X		
	Mampostería:	X		2		Pilas			
	Madera:			3		Pilotes			
	Concreto:	X		4		Losa			
	Otro:						Vigas de Fierro	X	
					cuantos: 2		Otro:		
Profundidad de Cimentación: 3.27 m					Profundidad Nivel freático:				
Factores que afectan la vivienda.									
Deslizamiento:					Características:				
Desconfinamiento:					Características:				
Agua:					Características:				
Cambios de tráfico:					Características:				
Otros:					Características:				
Características geológicas de la zona									
Suelo		Arena		Limo		Arcilla	X		
		Orgánico		Lleno		Otro			
Roca		Fresca		Meteorizada		Fracturada			
		Tipo roca:							
Características de las grietas									
Grietas en muros									
Separación de discontinuidades									
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad	Textura superficial	Muy suave					
Cerrado	0			Suave					
Muy estrecho	0 - 0,5			Rugoso					
Estrecho	0,5 - 1,0			Muy Rugoso					
Amplio	1,0 - 5,0			Común					
Muy amplio	> 5,0		Raro						
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal					Descendente				
Moderadamente lineal					Ascendente				
Moderadamente curvilínea					Lateral				
Curvilínea					Paralela				
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									
Grietas en losa de piso									
Separación de discontinuidades									
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad	Textura superficial	Muy suave					
Cerrado	0			Suave					
Muy estrecho	0 - 0,5			Rugoso	X				
Estrecho	0,5 - 1,0			Muy Rugoso					
Amplio	1,0 - 5,0	X		Común					
Muy amplio	> 5,0		Raro	X					
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal					Interno				
Moderadamente lineal					Externo				
Moderadamente lineal					Paralelo				
Curvilínea									
Irregular					X				
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									

TOMA DE DATOS PRELIMINARES DE LA BARRANCA CON DISCONTINUIDADES									
Fecha: 06/10/2025		Caso N° : 30			Fecha Construcción: 2017				
Localización (ciudad, barrio): Sucre, comunidad		Dirección: Carretera a la Barranca, comunidad L							
Imagen Patológica					Observaciones				
									
Dato de la foto									
Fotos: 030 PI(N2) D3-D2 11.36				ubicación estimada: Piso interno (N2) D3-D2					
Características de la construcción:									
Material	Baque:		Niveles	1	Tipo de cimentación	Zapatas:	X		
	Mampostería:	X		2		Pilas			
	Madera:			3		Pilotes			
	Concreto:	X		4		Losa			
	Otro:					Vigas de Fur	X		
			cuantos: 2		Otro:				
Profundidad de Cimentación: 3.27 m					Profundidad Nivel freático:				
Factores que afectan la vivienda.									
Deslizamiento:			Características:						
Desconfinamiento:			Características:						
Agua:			Características:						
Cambios de tráfico:			Características:						
Otros:			Características:						
Características geológicas de la zona									
Suelo		Arena		Limo		Arcilla	X		
		Orgánico		Lleno		Otro			
Roca		Fresca		Meteorizada		Fracturada			
		Tipo roca:							
Características de las grietas									
Grietas en muros									
Separación de discontinuidades									
Clasificación		Separación (mm)		Discontinuidad		Textura superficial	Muy suave		
Cerrado		0					Suave		
Muy estrecho		0 - 0,5					Rugoso		
Estrecho		0,5 - 1,0					Muy Rugoso		
Amplio		1,0 - 5,0					Común		
Muy amplio		> 5,0				Raro			
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal					Descendente				
Moderadamente lineal					Ascendente				
Moderadamente curvilínea					Lateral				
Curvilínea					Paralela				
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									
Grietas en losa de piso									
Separación de discontinuidades 1.2 mm									
Clasificación		Separación (mm)		Discontinuidad		Textura superficial	Muy suave		
Cerrado		0					Suave		
Muy estrecho		0 - 0,5					Rugoso	X	
Estrecho		0,5 - 1,0					Muy Rugoso		
Amplio		1,0 - 5,0		X			Común		
Muy amplio		> 5,0				Raro	X		
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal					Interno				
Moderadamente lineal					Externo				
Moderadamente lineal					Paralelo				
Curvilínea					X				
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									

Fecha: 06/10/2025		Caso N°: 31		Fecha Construcción: 2017			
Localización (ciudad, barrio): Sucre, comunidad				Dirección: Carretera a la Barranca, comunidad L			
Imagen Patológica			Observaciones				
							
Dato de la foto							
Fotos: 031MI(N2) D1-D2 11.44			ubicación estimada: Muro interno (N2) D1-D2				
Características de la construcción:							
Material	Baque:		Niveles	1	Tipo de cimentación	Zapatas:	X
	Mampostería:	X		2		Pilas	
	Madera:			3		Pilotes	
	Concreto:	X		4		Losa	
	Otro:						Vigas de Fur
			cuantos: 2		Otro:		
Profundidad de Cimentación: 3.27 m			Profundidad Nivel freático:				
Factores que afectan la vivienda.							
Deslizamiento:		Características:					
Desconfinamiento:		Características:					
Agua:		Características:					
Cambios de tráfico:		Características:					
Otros:		Características:					
Características geológicas de la zona							
Suelo	Arena		Limo		Arcilla	X	
	Orgánico		Lleno		Otro		
Roca	Fresca		Meteorizada		Fracturada		
	Tipo roca:						
Características de las grietas							
Grietas en muros							
Separación de discontinuidades			1.8 mm				
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad	Textura superficial	Muy suave			
Cerrado	0			Suave			
Muy estrecho	0 - 0,5			Rugoso			
Estrecho	0,5 - 1,0			Muy Rugoso	X		
				Probabilidad de aparición			
Ampio	1,0 - 5,0	X	Común	X			
Muy amplio	> 5,0		Raro				
Tendencia			Dirección de propagación				
Lineal			Descendente				
Moderadamente lineal			Ascendente				
Moderadamente curvilínea			Lateral				
Curvilínea			X	Paralela	X		
Irregular							
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100							
Grietas en losa de piso							
Separación de discontinuidades			1.8 mm				
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad	Textura superficial	Muy suave			
Cerrado	0			Suave			
Muy estrecho	0 - 0,5			Rugoso			
Estrecho	0,5 - 1,0			Muy Rugoso			
				Probabilidad de aparición			
Ampio	1,0 - 5,0		Común				
Muy amplio	> 5,0		Raro				
Tendencia			Dirección de propagación				
Lineal			Interno				
Moderadamente lineal			Externo				
Moderadamente lineal			Paralelo				
Curvilínea							
Irregular							
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100							

TOMA DE DATOS PRELIMINARES DE LA BARRANCA CON DISCONTINUIDADES									
Fecha: 06/10/2025			Caso N° : 32			Fecha Construcción: 2017			
Localización (ciudad, barrio): Sucre, comunidad			Dirección: Carretera a la Barranca, comunidad L						
Imagen Patológica					Observaciones				
									
Dato de la foto									
Fotos: 032 CI(N2) D111.47			ubicación estimada: Columna interna (N2) D1						
Características de la construcción:									
Material	Baque:		Niveles	1	Tipo de cimentación	Zapatas:	X		
	Mampostería:	X		2		Pilas			
	Madera:			3		Pilotes			
	Concreto:	X		4		Losa			
	Otro:					Vigas de Fur	X		
			cuantos: 2		Otro:				
Profundidad de Cimentación: 3.27 m					Profundidad Nivel freático:				
Factores que afectan la vivienda.									
Deslizamiento:			Características:						
Descontaminamiento :			Características:						
Agua:			Características:						
Cambios de tráfico:			Características:						
Otros:			Características:						
Características geológicas de la zona									
Suelo	Arena		Limo		Arcilla	X			
	Orgánico		Lleno		Otro				
Roca	Fresca		Meteorizada		Fracturada				
	Tipo roca:								
Características de las grietas									
Grietas en muros									
Separación de discontinuidades			1.1 mm		Textura superficial	Muy suave			
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad				Suave			
Cerrado	0					Rugoso	X		
Muy estrecho	0 - 0,5					Muy Rugoso			
Estrecho	0,5 - 1,0					Probabilidad de aparición			
Amplio	1,0 - 5,0	X			Común				
Muy amplio	> 5,0				Raro	X			
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal					Descendente				
Moderadamente lineal			X		Ascendente				
Moderadamente curvilínea					Lateral		X		
Curvilínea					Paralela				
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									
Grietas en losa de piso									
Separación de discontinuidades					Textura superficial	Muy suave			
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad				Suave			
Cerrado	0					Rugoso			
Muy estrecho	0 - 0,5					Muy Rugoso			
Estrecho	0,5 - 1,0					Probabilidad de aparición			
Amplio	1,0 - 5,0				Común				
Muy amplio	> 5,0				Raro				
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal					Interno				
Moderadamente lineal					Externo				
Moderadamente lineal					Paralelo				
Curvilínea									
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									

TOMA DE DATOS PRELIMINARES DE LA BARRANCA CON DISCONTINUIDADES									
Fecha: 06/10/2025			Caso N° : 33			Fecha Construcción: 2017			
Localización (ciudad, barrio): Sucre, comunidad					Dirección: Carretera a la Barranca, comunidad L				
Imagen Patológica					Observaciones				
					Desprendimiento, separación de losa.				
Dato de la foto									
Fotos: 033 PI(N2) E1-E2 11.53			ubicación estimada: Piso interno (N2) E1-E2						
Características de la construcción:									
Material	Baque:		Niveles	1	Tipo de cimentación	Zapatas:	X		
	Mampostería:	X		2		Pilas			
	Madera:			3		Pilotes			
	Concreto:	X		4		Losa			
	Otro:					Vigas de Fierro	X		
				cuantos: 2	Otro:				
Profundidad de Cimentación: 3.27 m					Profundidad Nivel freático:				
Factores que afectan la vivienda.									
Deslizamiento:			Características:						
Desconfinamiento:			Características:						
Agua:			Características:						
Cambios de tráfico:			Características:						
Otros:			Características:						
Características geológicas de la zona									
Suelo	Arena		Limo		Arcilla	X			
	Orgánico		Lleno		Otro				
Roca	Fresca		Meteorizada		Fracturada				
	Tipo roca:								
Características de las grietas									
Grietas en muros									
Separación de discontinuidades									
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad	Textura superficial	Muy suave					
Cerrado	0			Suave					
Muy estrecho	0 - 0,5			Rugoso					
Estrecho	0,5 - 1,0			Muy Rugoso					
Amplio	1,0 - 5,0			Probabilidad de aparición					
Muy amplio	> 5,0		Común						
			Raro						
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal					Descendente				
Moderadamente lineal					Ascendente				
Moderadamente curvilínea					Lateral				
Curvilínea					Paralela				
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados / # m2 totales de muro) x 100									
Grietas en losa de piso									
Separación de discontinuidades 2.5 mm									
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad	Textura superficial	Muy suave					
Cerrado	0			Suave					
Muy estrecho	0 - 0,5			Rugoso	X				
Estrecho	0,5 - 1,0			Muy Rugoso					
Amplio	1,0 - 5,0	X		Común					
Muy amplio	> 5,0		Raro	X					
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal					Interno				
Moderadamente lineal					Externo		X		
Moderadamente lineal					Paralelo				
Curvilínea									
Irregular			X						
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados / # m2 totales de muro) x 100									

TOMA DE DATOS PRELIMINARES DE LA BARRANCA CON DISCONTINUIDADES									
Fecha: 03/10/2025			Caso N° : 42			Fecha Construcción: 2017			
Localización (ciudad, barrio): Sucre, comunidad			Dirección: Carretera a la Barranca, comunidad L						
Imagen Patológica					Observaciones				
					Separación con acera de 3 cm				
Dato de la foto									
Fotos: 042 CE(PB)-B4-11.41			ubicación estimada: Columna exterior(PB) B4						
Características de la construcción:									
Material	Baque:		Niveles	1	Tipo de cimentación	Zapatas:	X		
	Mampostería:	X		2		Pilas:			
	Madera:			3		Pilotes:			
	Concreto:	X		4		Losa:			
	Otro:					Vigas de Fur:	X		
			cuantos: 2		Otro:				
Profundidad de Cimentación: 3.27 m					Profundidad Nivel freático:				
Factores que afectan la vivienda.									
Deslizamiento:			Características:						
Desconfinamiento :			Características:						
Agua:			Características:						
Cambios de trafico:			Características:						
Otros:			Características:						
Características geológicas de la zona									
Suelo	Arena		Limo		Arcilla	X			
	Orgánico		Lleno		Otro				
Roca	Fresca		Meteorizada		Fracturada				
	Tipo roca:								
Características de las grietas									
Grietas en muros									
Separación de discontinuidades			0.2 mm		Textura superficial	Muy suave	X		
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad				Suave			
Cerrado	0					Rugoso			
Muy estrecho	0 - 0,5	X				Muy Rugoso			
Estrecho	0,5 - 1,0					Probabilidad de aparición			
Amplio	1,0 - 5,0				Común	X			
Muy amplio	> 5,0				Raro				
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal			X		Descendente				
Moderadamente lineal					Ascendente				
Moderadamente curvilínea					Lateral				
Curvilínea					Paralela		X		
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									
Grietas en losa de piso									
Separación de discontinuidades					Textura superficial	Muy suave			
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad				Suave			
Cerrado	0					Rugoso			
Muy estrecho	0 - 0,5					Muy Rugoso			
Estrecho	0,5 - 1,0					Probabilidad de aparición			
Amplio	1,0 - 5,0				Común				
Muy amplio	> 5,0				Raro				
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal					Interno				
Moderadamente lineal					Externo				
Moderadamente lineal					Paralelo				
Curvilínea									
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									

TOMA DE DATOS PRELIMINARES DE LA BARRANCA CON DISCONTINUIDADES									
Fecha: 03/10/2025			Caso N° : 34			Fecha Construcción: 2017			
Localización (ciudad, barrio): Sucre, comunidad Dirección: Carretera a la Barranca, comunidad L									
Imagen Patológica					Observaciones				
									
Dato de la foto									
Fotos: 034 ME(PB)-C5-B5-10.45					ubicación estimada: Muro Externo(PB) C5-B5				
Características de la construcción:									
Material	Baque:		Niveles	1	Tipo de cimentación	Zapatas:	X		
	Mampostería:	X		2		Pilas			
	Madera:			3		Pilotes			
	Concreto:	X		4		Losa			
	Otro:						Vigas de Fur	X	
					cuantos: 2		Otro:		
Profundidad de Cimentación: 3.27 m					Profundidad Nivel freático:				
Factores que afectan la vivienda.									
Deslizamiento:					Características:				
Desconfinamiento:					Características:				
Agua:					Características:				
Cambios de tráfico:					Características:				
Otros:					Características:				
Características geológicas de la zona									
Suelo		Arena		Limo		Arcilla	X		
		Orgánico		Lleno		Otro			
Roca		Fresca		Meteorizada		Fracturada			
		Tipo roca:							
Características de las grietas									
Grietas en muros									
Separación de discontinuidades					0.4 mm				
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad			Textura superficial	Muy suave			
Cerrado	0					Suave	X		
Muy estrecho	0 - 0,5	X				Rugoso			
Estrecho	0,5 - 1,0					Muy Rugoso			
						Probabilidad de aparición			
Amplio	1,0 - 5,0				Común	X			
Muy amplio	> 5,0				Raro				
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal					X				
Moderadamente lineal									
Moderadamente curvilínea									
Curvilínea									
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									
Grietas en losa de piso									
Separación de discontinuidades					0.4 mm				
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad			Textura superficial	Muy suave			
Cerrado	0					Suave			
Muy estrecho	0 - 0,5					Rugoso			
Estrecho	0,5 - 1,0					Muy Rugoso			
						Probabilidad de aparición			
Amplio	1,0 - 5,0				Común				
Muy amplio	> 5,0				Raro				
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal									
Moderadamente lineal									
Moderadamente lineal									
Curvilínea									
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									

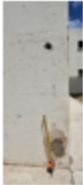
TOMA DE DATOS PRELIMINARES DE LA BARRANCA CON DISCONTINUIDADES									
Fecha: 03/10/2025			Caso N° : 35			Fecha Construcción: 2017			
Localización (ciudad, barrio): Sucre, comunidad									
Dirección: Carretera a la Barranca, comunidad L									
Imagen Patológica					Observaciones				
									
Dato de la foto									
Fotos: 035 ME(PB)-C5-B5-11.00					ubicación estimada: Muro Externo(PB) C5-B5				
Características de la construcción:									
Material	Baque:		Niveles	1	Tipo de cimentación	Zapatas:	X		
	Mampostería:	X		2		Pilas:			
	Madera:			3		Pilotes:			
	Concreto:	X		4		Losa:			
	Otro:					Vigas de Fur:	X		
					cuantos: 2		Otro:		
Profundidad de Cimentación: 3.27 m					Profundidad Nivel freático:				
Factores que afectan la vivienda.									
Deslizamiento:					Características:				
Desconfinamiento:					Características:				
Agua:					Características:				
Cambios de tráfico:					Características:				
Otros:					Características:				
Características geológicas de la zona									
Suelo	Arena		Limo		Arcilla	X			
	Orgánico		Lleno		Otro				
Roca	Fresca		Meteorizada		Fracturada				
	Tipo roca:								
Características de las grietas									
Grietas en muros									
Separación de discontinuidades					0.7 mm				
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad			Textura superficial				
Cerrado	0				Muy suave				
Muy estrecho	0 - 0,5				Suave	X			
Estrecho	0,5 - 1,0	X			Rugoso				
Amplio	1,0 - 5,0				Muy Rugoso				
Muy amplio	> 5,0				Probabilidad de aparición				
					Común	X			
					Raro				
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal					X				
Moderadamente lineal					Descendente				
Moderadamente curvilínea					Ascendente				
Curvilínea					Lateral				
Irregular					Paralela				
					X				
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									
Grietas en losa de piso									
Separación de discontinuidades									
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad			Textura superficial				
Cerrado	0				Muy suave				
Muy estrecho	0 - 0,5				Suave				
Estrecho	0,5 - 1,0				Rugoso				
Amplio	1,0 - 5,0				Muy Rugoso				
Muy amplio	> 5,0				Probabilidad de aparición				
					Común				
					Raro				
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal					Interno				
Moderadamente lineal					Externo				
Moderadamente lineal					Paralelo				
Curvilínea									
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									

TOMA DE DATOS PRELIMINARES DE LA BARRANCA CON DISCONTINUIDADES									
Fecha: 03/10/2025		Caso N°: 36		Fecha Construcción: 2017					
Localización (ciudad, barrio): Sucre, comunidad		Dirección: Carretera a la Barranca, comunidad L							
Imagen Patológica					Observaciones				
									
Dato de la foto									
Fotos: 036 CE(PB)-B5-11.05		ubicación estimada: Columna Externo(PB) B5							
Características de la construcción:									
Material	Baque:		Niveles	1	Tipo de cimentación	Zapatas:	X		
	Mampostería:	X		2		Pilas			
	Madera:			3		Pilotes			
	Concreto:	X		4		Losa			
	Otro:					Vigas de Fur	X		
				cuantos: 2		Otro:			
Profundidad de Cimentación: 3.27 m					Profundidad Nivel freático:				
Factores que afectan la vivienda.									
Deslizamiento:		Características:							
Desconfinamiento:		Características:							
Agua:		Características:							
Cambios de tráfico:		Características:							
Otros:		Características:							
Características geológicas de la zona									
Suelo	Arena		Limo		Arcilla	X			
	Orgánico		Lleno		Otro				
Roca	Fresca		Meteorizada		Fracturada				
	Tipo roca:								
Características de las grietas									
Grietas en muros									
Separación de discontinuidades					1.2 mm				
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad		Textura superficial	Muy suave				
Cerrado	0				Suave				
Muy estrecho	0 - 0,5				Rugoso	X			
Estrecho	0,5 - 1,0				Muy Rugoso				
					Probabilidad de aparición				
Amplio	1,0 - 5,0	X		Común	X				
Muy amplio	> 5,0			Raro					
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal				Descendente		X			
Moderadamente lineal				Ascendente					
Moderadamente curvilínea				Lateral					
Curvilínea				Paralela					
Irregular		X							
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									
Grietas en losa de piso									
Separación de discontinuidades									
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad		Textura superficial	Muy suave				
Cerrado	0				Suave				
Muy estrecho	0 - 0,5				Rugoso				
Estrecho	0,5 - 1,0				Muy Rugoso				
					Probabilidad de aparición				
Amplio	1,0 - 5,0			Común					
Muy amplio	> 5,0			Raro					
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal				Interno					
Moderadamente lineal				Externo					
Moderadamente lineal				Paralelo					
Curvilínea									
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									

TOMA DE DATOS PRELIMINARES DE LA BARRANCA CON DISCONTINUIDADES									
Fecha: 03/10/2025			Caso N° : 37			Fecha Construcción: 2017			
Localización (ciudad, barrio): Sucre, comunidad			Dirección: Carretera a la Barranca, comunidad L						
Imagen Patológica					Observaciones				
									
Dato de la foto									
Fotos: 037 ME(PB)-B5-A5-11.12					ubicación estimada: Muro Externo(PB) B5-A5				
Características de la construcción:									
Material	Baque:		Niveles	1	Tipo de cimentación	Zapatas:	X		
	Mampostería:	X		2		Pilas:			
	Madera:			3		Pilotes:			
	Concreto:	X		4		Losa:			
	Otro:					Vigas de Fur:	X		
			cuantos: 2		Otro:				
Profundidad de Cimentación: 3.27 m					Profundidad Nivel freático:				
Factores que afectan la vivienda.									
Deslizamiento:			Características:						
Desconfinamiento:			Características:						
Agua:			Características:						
Cambios de tráfico:			Características:						
Otros:			Características:						
Características geológicas de la zona									
Suelo	Arena		Limo		Arcilla	X			
	Orgánico		Lleno		Otro				
Roca	Fresca		Meteorizada		Fracturada				
	Tipo roca:								
Características de las grietas									
Grietas en muros									
Separación de discontinuidades			0.5 mm		Textura superficial	Muy suave			
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad				Suave	X		
Cerrado	0					Rugoso			
Muy estrecho	0 - 0,5	X				Muy Rugoso			
Estrecho	0,5 - 1,0					Probabilidad de aparición			
Amplio	1,0 - 5,0				Común	X			
Muy amplio	> 5,0				Raro				
Tendencia			Dirección de propagación						
Lineal			X		Descendente				
Moderadamente lineal					Ascendente				
Moderadamente curvilínea					Lateral				
Curvilínea					Paralela		X		
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									
Grietas en losa de piso									
Separación de discontinuidades			0.5 mm		Textura superficial	Muy suave			
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad				Suave			
Cerrado	0					Rugoso			
Muy estrecho	0 - 0,5					Muy Rugoso			
Estrecho	0,5 - 1,0					Probabilidad de aparición			
Amplio	1,0 - 5,0				Común				
Muy amplio	> 5,0				Raro				
Tendencia			Dirección de propagación						
Lineal					Interno				
Moderadamente lineal					Externo				
Moderadamente lineal					Paralelo				
Curvilínea									
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									

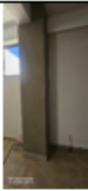
TOMA DE DATOS PRELIMINARES DE LA BARRANCA CON DISCONTINUIDADES									
Fecha: 03/10/2025			Caso N° : 38			Fecha Construcción: 2017			
Localización (ciudad, barrio): Sucre, comunidad					Dirección: Carretera a la Barranca, comunidad L				
Imagen Patológica					Observaciones				
									
Dato de la foto									
Fotos: 038 CE(PB)-A5-11.14					Ubicación estimada: Columna externa (PB) A5				
Características de la construcción:									
Material	Baque:		Niveles	1	Tipo de cimentación	Zapatas:	X		
	Mampostería:	X		2		Pilas			
	Madera:			3		Pilotes			
	Concreto:	X		4		Losa			
	Otro:					Vigas de Fur	X		
				cuantos: 2	Otro:				
Profundidad de Cimentación: 3.27 m					Profundidad Nivel freático:				
Factores que afectan la vivienda.									
Deslizamiento:					Características:				
Desconfinamiento :					Características:				
Agua:					Características:				
Cambios de tráfico:					Características:				
Otros:					Características:				
Características geológicas de la zona									
Suelo		Árena		Limo		Arcilla	X		
		Orgánico		Lleno		Otro			
		Fresca		Meteorizada		Fracturada			
Roca		Tipo roca:							
Características de las grietas									
Grietas en muros									
Separación de discontinuidades					0.8 mm				
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad		Textura superficial	Muy suave				
Cerrado	0				Suave	X			
Muy estrecho	0 - 0,5				Rugoso				
Estrecho	0,5 - 1,0	X			Muy Rugoso				
Amplio	1,0 - 5,0				Común	X			
Muy amplio	> 5,0			Raro					
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal					Descendente				
Moderadamente lineal					Ascendente				
Moderadamente curvilínea					Lateral				
Curvilínea					Paralela				
Irregular					X				
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									
Grietas en losa de piso									
Separación de discontinuidades									
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad		Textura superficial	Muy suave				
Cerrado	0				Suave				
Muy estrecho	0 - 0,5				Rugoso				
Estrecho	0,5 - 1,0				Muy Rugoso				
Amplio	1,0 - 5,0				Común				
Muy amplio	> 5,0			Raro					
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal					Interno				
Moderadamente lineal					Externo				
Moderadamente lineal					Paralelo				
Curvilínea									
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									
Observaciones y Afectaciones									

TOMA DE DATOS PRELIMINARES DE LA BARRANCA CON DISCONTINUIDADES									
Fecha: 03/10/2025			Caso N° : 39			Fecha Construcción: 2017			
Localización (ciudad, barrio): Sucre, comunidad			Dirección: Carretera a la Barranca, comunidad L						
Imagen Patológica					Observaciones				
									
Dato de la foto									
Fotos: 039 ME(PB)-A5-A4-11.20					ubicación estimada: Muro Externo(PB) A5-A4				
Características de la construcción:									
Material	Baque:		Niveles	1	Tipo de cimentación	Zapatas:	X		
	Mampostería:	X		2		Pilas:			
	Madera:			3		Pilotes:			
	Concreto:	X		4		Losa:			
	Otro:					Vigas de Fur:	X		
			cuantos: 2		Otro:				
Profundidad de Cimentación: 3.27 m					Profundidad Nivel freático:				
Factores que afectan la vivienda.									
Deslizamiento:			Características:						
Desconfinamiento :			Características:						
Agua:			Características:						
Cambios de tráfico:			Características:						
Otros:			Características:						
Características geológicas de la zona									
Suelo	Arena		Limo		Arcilla	X			
	Orgánico		Lleno		Otro				
Roca	Fresca		Meteorizada		Fracturada				
	Tipo roca:								
Características de las grietas									
Grietas en muros									
Separación de discontinuidades			0.3 mm		Textura superficial	Muy suave	X		
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad				Suave			
Cerrado	0					Rugoso			
Muy estrecho	0 - 0,5	X				Muy Rugoso			
Estrecho	0,5 - 1,0					Probabilidad de aparición			
Amplio	1,0 - 5,0				Común	X			
Muy amplio	> 5,0				Raro				
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal			X		Descendente				
Moderadamente lineal					Ascendente				
Moderadamente curvilínea					Lateral				
Curvilínea					Paralela		X		
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									
Grietas en losa de piso									
Separación de discontinuidades					Textura superficial	Muy suave			
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad				Suave			
Cerrado	0					Rugoso			
Muy estrecho	0 - 0,5					Muy Rugoso			
Estrecho	0,5 - 1,0					Probabilidad de aparición			
Amplio	1,0 - 5,0				Común				
Muy amplio	> 5,0				Raro				
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal					Interno				
Moderadamente lineal					Externo				
Moderadamente lineal					Paralelo				
Curvilínea									
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									

TOMA DE DATOS PRELIMINARES DE LA BARRANCA CON DISCONTINUIDADES									
Fecha: 03/10/2025			Caso N° : 40			Fecha Construcción: 2017			
Localización (ciudad, barrio): Sucre, comunidad			Dirección: Carretera a la Barranca, comunidad L						
Imagen Patológica					Observaciones				
									
Dato de la foto									
Fotos: 040 CE(PB)-A4-11.25			ubicación estimada: Columna Exterior(PB) A4						
Características de la construcción:									
Material	Baque:		Niveles	1	Tipo de cimentación	Zapatas:	X		
	Mampostería:	X		2		Pilas:			
	Madera:			3		Pilotes:			
	Concreto:	X		4		Losa:			
	Otro:						Vigas de Fur:	X	
			cuantos: 2		Otro:				
Profundidad de Cimentación: 3.27 m					Profundidad Nivel freático:				
Factores que afectan la vivienda.									
Deslizamiento:			Características:						
Desconfinamiento:			Características:						
Agua:			Características:						
Cambios de tráfico:			Características:						
Otros:			Características:						
Características geológicas de la zona									
Suelo		Arena		Limo		Arcilla	X		
		Orgánico		Lleno		Otro			
Roca		Fresca		Meteorizada		Fracturada			
		Tipo roca:							
Características de las grietas									
Grietas en muros									
Separación de discontinuidades				0.1 mm	Textura superficial	Muy suave	X		
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad				Suave			
Cerrado	0					Rugoso			
Muy estrecho	0 - 0,5	X				Muy Rugoso			
Estrecho	0,5 - 1,0					Probabilidad de aparición			
Amplio	1,0 - 5,0				Común	X			
Muy amplio	> 5,0				Raro				
Tendencia				Dirección de propagación					
Lineal				X		Descendente			
Moderadamente lineal						Ascendente			
Moderadamente curvilínea						Lateral			
Curvilínea						Paralela		X	
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									
Grietas en losa de piso									
Separación de discontinuidades					Textura superficial	Muy suave			
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad				Suave			
Cerrado	0					Rugoso			
Muy estrecho	0 - 0,5					Muy Rugoso			
Estrecho	0,5 - 1,0					Probabilidad de aparición			
Amplio	1,0 - 5,0				Común				
Muy amplio	> 5,0				Raro				
Tendencia				Dirección de propagación					
Lineal						Interno			
Moderadamente lineal						Externo			
Moderadamente lineal						Paralelo			
Curvilínea									
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									

TOMA DE DATOS PRELIMINARES DE LA BARRANCA CON DISCONTINUIDADES									
Fecha: 03/10/2025			Caso N° : 41			Fecha Construcción: 2017			
Localización (ciudad, barrio): Sucre, comunidad						Dirección: Carretera a la Barranca, comunidad L			
Imagen Patológica					Observaciones				
									
Dato de la foto									
Fotos: 041ME(PB)-A4-B4-11.31					ubicación estimada: Columna exterior(PB) A4-B4				
Características de la construcción:									
Material	Baque:		Niveles	1	Tipo de cimentación	Zapatas:	X		
	Mampostería:	X		2		Pilas			
	Madera:			3		Pilotes			
	Concreto:	X		4		Losa			
	Otro:					Vigas de Fierro	X		
					cuantos: 2	Otro:			
Profundidad de Cimentación: 3.27 m					Profundidad Nivel freático:				
Factores que afectan la vivienda.									
Deslizamiento:					Características:				
Desconfinamiento :					Características:				
Agua:					Características:				
Cambios de tráfico:					Características:				
Otros:					Características:				
Características geológicas de la zona									
Suelo	Arena		Limo		Arcilla		X		
	Orgánico		Lleno		Otro				
Roca	Fresca		Meteorizada		Fracturada				
	Tipo roca:								
Características de las grietas									
Grietas en muros									
Separación de discontinuidades					0.4 mm	Textura superficial	Muy suave	X	
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad			Suave				
Cerrado	0				Rugoso				
Muy estrecho	0 - 0,5	X			Muy Rugoso				
Estrecho	0,5 - 1,0				Probabilidad de aparición				
Ampio	1,0 - 5,0				Común	X			
Muy amplio	> 5,0				Raro				
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal					X	Descendente			
Moderadamente lineal						Ascendente			
Moderadamente curvilínea						Lateral			
Curvilínea						Paralela			
Irregular						X			
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									
Grietas en losa de piso									
Separación de discontinuidades						Textura superficial	Muy suave		
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad			Suave				
Cerrado	0				Rugoso				
Muy estrecho	0 - 0,5				Muy Rugoso				
Estrecho	0,5 - 1,0				Probabilidad de aparición				
Ampio	1,0 - 5,0				Común				
Muy amplio	> 5,0				Raro				
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal						Interno			
Moderadamente lineal						Externo			
Moderadamente lineal						Paralelo			
Curvilínea									
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									

TOMA DE DATOS PRELIMINARES DE LA BARRANCA CON DISCONTINUIDADES									
Fecha: 03/10/2025			Caso N° : 43			Fecha Construcción: 2017			
Localización (ciudad, barrio): Sucre, comunidad Dirección: Carretera a la Barranca, comunidad L									
Imagen Patológica					Observaciones				
					Separación con acera de 3 cm				
Dato de la foto									
Fotos: 043 CE(PB)-D2-11.42					ubicación estimada: Columna exterior(PB) D2				
Características de la construcción:									
Material	Baque:		Niveles	1	Tipo de cimentación	Zapatas:	X		
	Mampostería:	X		2		Pilas			
	Madera:			3		Pilotes			
	Concreto:	X		4		Losa			
	Otro:					Vigas de Fierro	X		
					cuantos: 2	Otro:			
Profundidad de Cimentación: 3.27 m					Profundidad Nivel freático:				
Factores que afectan la vivienda.									
Deslizamiento:					Características:				
Desconfinamiento:					Características:				
Agua:					Características:				
Cambios de tráfico:					Características:				
Otros:					Características:				
Características geológicas de la zona									
Suelo		Arena		Limo		Arcilla	X		
		Orgánico		Lleno		Otro			
Roca		Fresca		Meteorizada		Fracturada			
		Tipo roca:							
Características de las grietas									
Grietas en muros									
Separación de discontinuidades					1.4 mm	Textura superficial	Muy suave		
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad			Suave		X		
Cerrado	0				Rugoso				
Muy estrecho	0 - 0,5				Muy Rugoso				
Estrecho	0,5 - 1,0				Probabilidad de aparición				
Amplio	1,0 - 5,0	X			Común	X			
Muy amplio	> 5,0				Raro				
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal					Descendente				
Moderadamente lineal					Ascendente				
Moderadamente curvilínea					Lateral				
Curvilínea					Paralela				
Irregular					X				
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									
Grietas en losa de piso									
Separación de discontinuidades						Textura superficial	Muy suave		
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad			Suave				
Cerrado	0				Rugoso				
Muy estrecho	0 - 0,5				Muy Rugoso				
Estrecho	0,5 - 1,0				Probabilidad de aparición				
Amplio	1,0 - 5,0				Común				
Muy amplio	> 5,0				Raro				
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal					Interno				
Moderadamente lineal					Externo				
Moderadamente curvilínea					Paralelo				
Curvilínea									
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									

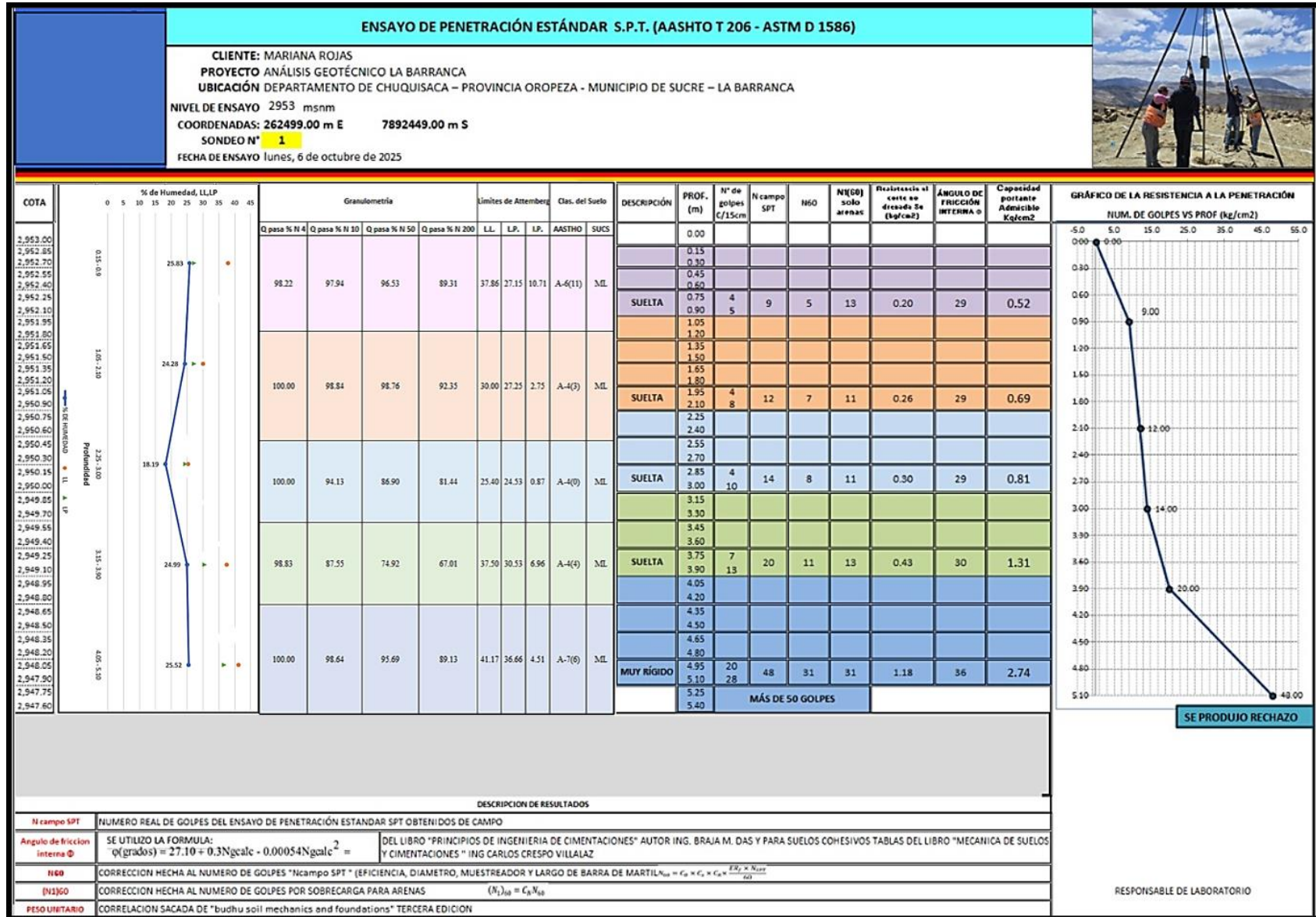
TOMA DE DATOS PRELIMINARES DE LA BARRANCA CON DISCONTINUIDADES									
Fecha: 03/10/2025		Caso N° : 44			Fecha Construcción: 2017				
Localización (ciudad, barrio): Sucre, comunidad		Dirección: Carretera a la Barranca, comunidad L							
Imagen Patológica					Observaciones				
									
Dato de la foto									
Fotos: 044 C(PB)-E2-12.19					ubicación estimada: Columna Interna(PB) E2				
Características de la construcción:									
Material	Baque:		Niveles	1	Tipo de cimentación	Zapatas:	X		
	Mampostería:	X		2		Pilas			
	Madera:			3		Pilotes			
	Concreto:	X		4		Losa			
	Otro:					Vigas de Fur	X		
				cuantos: 2		Otro:			
Profundidad de Cimentación: 3.27 m					Profundidad Nivel freático:				
Factores que afectan la vivienda.									
Deslizamiento:		Características:							
Desconfinamiento:		Características:							
Agua:		Características:							
Cambios de tráfico:		Características:							
Otros:		Características:							
Características geológicas de la zona									
Suelo	Arena		Limo		Arcilla	X			
	Orgánico		Lleno		Otro				
Roca	Fresca		Meteorizada		Fracturada				
	Tipo roca:								
Características de las grietas									
Grietas en muros									
Separación de discontinuidades					0.4 mm				
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad		Textura superficial	Muy suave				
Cerrado	0				Suave	X			
Muy estrecho	0 - 0,5	X			Rugoso				
Estrecho	0,5 - 1,0				Muy Rugoso				
Amplio	1,0 - 5,0				Probabilidad de aparición				
Muy amplio	> 5,0			Común	X				
					Raro				
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal		X			Descendente				
Moderadamente lineal					Ascendente				
Moderadamente curvilínea					Lateral				
Curvilínea					Paralela		X		
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									
Grietas en losa de piso									
Separación de discontinuidades									
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad		Textura superficial	Muy suave				
Cerrado	0				Suave				
Muy estrecho	0 - 0,5				Rugoso				
Estrecho	0,5 - 1,0				Muy Rugoso				
Amplio	1,0 - 5,0				Probabilidad de aparición				
Muy amplio	> 5,0			Común					
					Raro				
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal					Interno				
Moderadamente lineal					Externo				
Moderadamente lineal					Paralelo				
Curvilínea									
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									

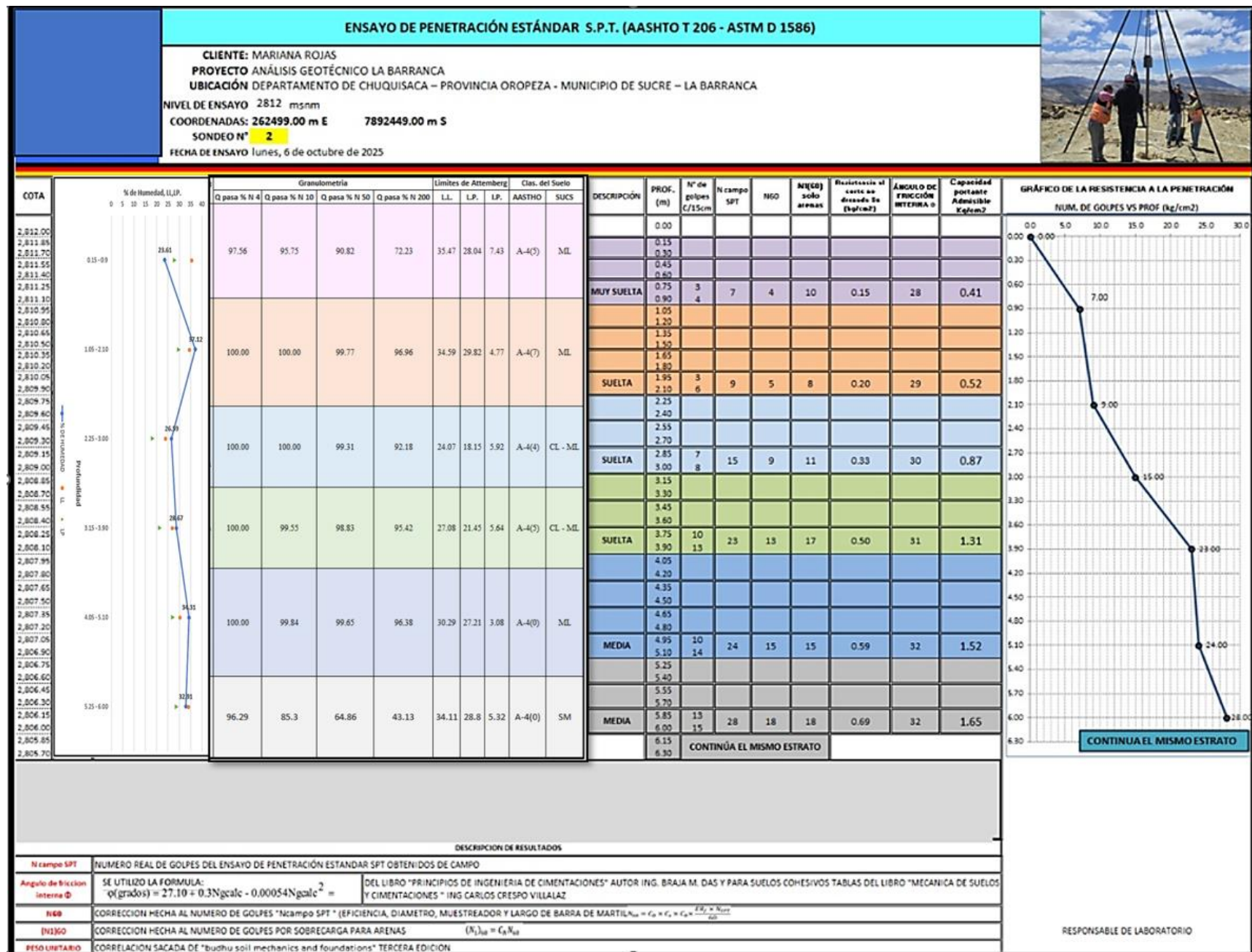
TOMA DE DATOS PRELIMINARES DE LA BARRANCA CON DISCONTINUIDADES									
Fecha: 03/10/2025			Caso N° : 45			Fecha Construcción: 2017			
Localización (ciudad, barrio): Sucre, comunidad			Dirección: Carretera a la Barranca, comunidad L						
Imagen Patológica					Observaciones				
									
Dato de la foto									
Fotos: 045 MI(PB)-E2-E1-12.23			ubicación estimada: Muro Interno(PB) E2-E1						
Características de la construcción:									
Material	Baque:		Niveles	1	Tipo de cimentación	Zapatas:	X		
	Mampostería:	X		2		Pilas			
	Madera:			3		Pilotes			
	Concreto:	X		4		Losa			
	Otro:					Vigas de Fur	X		
			cuantos: 2		Otro:				
Profundidad de Cimentación: 3.27 m					Profundidad Nivel freático:				
Factores que afectan la vivienda.									
Deslizamiento:			Características:						
Descontinuidad:			Características:						
Agua:			Características:						
Cambios de tráfico:			Características:						
Otros:			Características:						
Características geológicas de la zona									
Suelo	Arena		Limo		Arcilla	X			
	Orgánico		Lleno		Otro				
Roca	Fresca		Meteorizada		Fracturada				
	Tipo roca:								
Características de las grietas									
Grietas en muros									
Separación de discontinuidades			1.8 mm		Textura superficial	Muy suave			
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad				Suave			
Cerrado	0					Rugoso	X		
Muy estrecho	0 - 0,5					Muy Rugoso			
Estrecho	0,5 - 1,0					Probabilidad de aparición			
Amplio	1,0 - 5,0	X			Común	X			
Muy amplio	> 5,0				Raro				
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal			X		Descendente				
Moderadamente lineal					Ascendente				
Moderadamente curvilínea					Lateral				
Curvilínea					Paralela		X		
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									
Grietas en losa de piso									
Separación de discontinuidades					Textura superficial	Muy suave			
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad				Suave			
Cerrado	0					Rugoso			
Muy estrecho	0 - 0,5					Muy Rugoso			
Estrecho	0,5 - 1,0					Probabilidad de aparición			
Amplio	1,0 - 5,0				Común				
Muy amplio	> 5,0				Raro				
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal					Interno				
Moderadamente lineal					Externo				
Moderadamente lineal					Paralelo				
Curvilínea									
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									

TOMA DE DATOS PRELIMINARES DE LA BARRANCA CON DISCONTINUIDADES									
Fecha: 03/10/2025			Caso N° : 46			Fecha Construcción: 2017			
Localización (ciudad, barrio): Sucre, comunidad			Dirección: Carretera a la Barranca, comunidad L						
Imagen Patológica					Observaciones				
									
Dato de la foto									
Fotos: 046 CI(PB)-E1-12.24			ubicación estimada: Columna Interna(PB) E1						
Características de la construcción:									
Material	Baque:		Niveles	1	Tipo de cimentación	Zapatas:	X		
	Mampostería:	X		2		Pilas:			
	Madera:			3		Pilotes:			
	Concreto:	X		4		Losa:			
	Otro:					Vigas de Fur:	X		
				cuantos: 2		Otro:			
Profundidad de Cimentación: 3.27 m					Profundidad Nivel freático:				
Factores que afectan la vivienda.									
Deslizamiento:			Características:						
Desconfinamiento :			Características:						
Agua:			Características:						
Cambios de trafico:			Características:						
Otros:			Características:						
Características geológicas de la zona									
Suelo	Arena		Limo		Arcilla	X			
	Orgánico		Lleno		Otro				
Roca	Fresca		Meteorizada		Fracturada				
	Tipo roca:								
Características de las grietas									
Grietas en muros									
Separación de discontinuidades			2.5 mm		Textura superficial	Muy suave			
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad				Suave			
Cerrado	0					Rugoso	X		
Muy estrecho	0 - 0,5					Muy Rugoso			
Estrecho	0,5 - 1,0					Probabilidad de aparición			
Amplio	1,0 - 5,0	X			Común	X			
Muy amplio	> 5,0				Raro				
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal					Descendente		X		
Moderadamente lineal					Ascendente				
Moderadamente curvilínea					Lateral				
Curvilínea					Paralela				
Irregular			X						
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									
Grietas en losa de piso									
Separación de discontinuidades			2.5 mm		Textura superficial	Muy suave			
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad				Suave			
Cerrado	0					Rugoso			
Muy estrecho	0 - 0,5					Muy Rugoso			
Estrecho	0,5 - 1,0					Probabilidad de aparición			
Amplio	1,0 - 5,0				Común				
Muy amplio	> 5,0				Raro				
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal					Interno				
Moderadamente lineal					Externo				
Moderadamente lineal					Paralelo				
Curvilínea									
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									
Observaciones / Anotaciones									

TOMA DE DATOS PRELIMINARES DE LA BARRANCA CON DISCONTINUIDADES									
Fecha: 03/10/2025			Caso N° : 47			Fecha Construcción: 2017			
Localización (ciudad, barrio): Sucre, comunidad Dirección: Carretera a la Barranca, comunidad L									
Imagen Patológica					Observaciones				
									
Dato de la foto									
Fotos: 047 CI(PB)-D1-12.30			ubicación estimada: Columna Interna(PB) D1						
Características de la construcción:									
Material	Baque:		Niveles	1	Tipo de cimentación	Zapatas:	X		
	Mampostería:	X		2		Pilas			
	Madera:			3		Pilotes			
	Concreto:	X		4		Losa			
	Otro:					Vigas de Fur	X		
				cuantos: 2	Otro:				
Profundidad de Cimentación: 3.27 m					Profundidad Nivel freático:				
Factores que afectan la vivienda.									
Deslizamiento:			Características:						
Desconfinamiento :			Características:						
Agua:			Características:						
Cambios de tráfico:			Características:						
Otros:			Características:						
Características geológicas de la zona									
Suelo		Areña		Limo		Arcilla	X		
		Orgánico		Lleno		Otro			
Roca		Fresca		Meteorizada		Fracturada			
		Tipo roca:							
Características de las grietas									
Grietas en muros									
Separación de discontinuidades				1.8 mm	Textura superficial	Muy suave			
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad				Suave			
Cerrado	0					Rugoso	X		
Muy estrecho	0 - 0,5					Muy Rugoso			
Estrecho	0,5 - 1,0					Probabilidad de aparición			
Amplio	1,0 - 5,0	X			Común	X			
Muy amplio	> 5,0				Raro				
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal					Descendente				
Moderadamente lineal					Ascendente				
Moderadamente curvilínea					Lateral				
Curvilínea					Paralela			X	
Irregular			X						
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									
Grietas en losa de piso									
Separación de discontinuidades					Textura superficial	Muy suave			
Clasificación	Separación (mm)	Discontinuidad				Suave			
Cerrado	0					Rugoso			
Muy estrecho	0 - 0,5					Muy Rugoso			
Estrecho	0,5 - 1,0					Probabilidad de aparición			
Amplio	1,0 - 5,0				Común				
Muy amplio	> 5,0				Raro				
Tendencia					Dirección de propagación				
Lineal					Interno				
Moderadamente lineal					Externo				
Moderadamente lineal					Paralelo				
Curvilínea									
Irregular									
Estimado porcentual de daños en los muros (# m2 muros agrietados/ # m2 totales de muro)x100									
Observaciones / Anotaciones									

B. ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS SPT





ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

SEGÚN NORMA AASHTO M 145

EMPRESA:	MARIANA ROJAS	FECHA:	sábado, 11 de octubre de 2025
PROYECTO:	ANÁLISIS GEOTÉCNICO LA BARRANCA		
UBICACIÓN:	DEPARTAMENTO DE CHUQUISACA - PROVINCIA OROPEZA - MUNICIPIO DE SUCRE - LA BARRANCA	SONDEO 1	PROFUND. (m): 0.75 - 1.20 M-1

HUMEDAD HIGROSCÓPICA		MUESTRA TOTAL SECA	
Peso suelo húmedo + cápsula	61.20 grs.	Muestra total húmeda	506.0 grs.
Peso suelo seco + cápsula	61.10 grs.	Agregado grueso	9.0 grs.
Peso del agua	0.1 grs.	Pasa N° 4 húmedo	497.0 grs.
Peso de la cápsula	20.56 grs.	Pasa N° 4 seco	495.8 grs.
Peso del suelo seco	40.54 grs.		
Porcentaje de Humedad %	0.2 %	Muestra total seca	504.8 grs.

ANÁLISIS DE TAMICES DEL AGREGADO GRUESO

Tamices	Peso Retenido en grs.	Retenido acumulado		% que pasa del total
		grs.	%	
2"	0	0	0.00	100.00
1 1/2"	0	0	0.00	100.00
1"	0	0	0.00	100.00
3/4"	0	0	0.00	100.00
3/8"	0	0	0.00	100.00
N° 4	9	9	1.78	98.22

ANÁLISIS DE TAMICES DEL AGREGADO FINO

Pasa N° 4 Húmedo	200 grs.		Pasa N° 4 Seco		199.51 grs.
Tamices	Peso Retenido en grs.	Retenido acumulado		% que pasa del mortero	% que pasa del total
		grs.	%		
N° 10	0.56	0.56	0.28	99.72	97.94
N° 40	2.86	3.42	1.71	98.29	96.53
N° 200	14.68	18.10	9.07	90.93	89.31

ENSAYOS DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA

DETERMINACIÓN DE LÍMITES	LÍQUIDO	PLÁSTICO	CURVA GRANULOMÉTRICA
Número de golpes	36		
Cápsula N°	5	22	
Peso suelo húmedo + cápsula	34.12	26.50	
Peso suelo seco + cápsula	29.82	24.35	
Peso del agua	4.30	2.15	
Peso de la cápsula	17.89	16.43	
Peso del suelo seco	11.93	7.92	
Porcentaje de Humedad %	36.04	27.15	
Límite Líquido a 25 golpes L.L.	37.86		
Límite Plástico L.P.	27.15		
Índice de Plasticidad I.P.	10.71		

Clasificación	AASHTO	A-6(11)	SUELOS ARCILLOSOS
Según:	SUCS	ML	LIMO DE BAJA PLASTICIDAD

*EL MATERIAL FUE EXTRAIDO CON LA CUCHARA BIPARTIDA.

RESPONSABLE DEL LABORATORIO

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS					
SEGÚN NORMA AASHTO M 145					
EMPRESA:	MARIANA ROJAS	FECHA:	sábado, 11 de octubre de 2025		
PROYECTO:	ANÁLISIS GEOTÉCNICO LA BARRANCA				
UBICACIÓN:	DEPARTAMENTO DE CHUQUISACA - PROVINCIA OROPEZA - MUNICIPIO DE SUCRE - LA BARRANCA	SONDEO 1	PROFUND. (m): 1.65 - 2.10	M-2	
HUMEDAD HIGROSCÓPICA			MUESTRA TOTAL SECA		
Peso suelo húmedo + cápsula	58.30 grs.	Muestra total húmeda	428.0 grs.		
Peso suelo seco + cápsula	58.20 grs.	Agregado grueso	0.0 grs.		
Peso del agua	0.1 grs.	Pasa N° 4 húmedo	428.0 grs.		
Peso de la cápsula	20.81 grs.	Pasa N° 4 seco	426.9 grs.		
Peso del suelo seco	37.39 grs.	Muestra total seca	426.9 grs.		
Porcentaje de Humedad %	0.3 %				
ANÁLISIS DE TAMICES DEL AGREGADO GRUESO					
Tamices	Peso Retenido en grs.	Retenido acumulado		% que pasa del total	
		grs.	%		
2"	0	0	0.00	100.00	
1 1/2"	0	0	0.00	100.00	
1"	0	0	0.00	100.00	
3/4"	0	0	0.00	100.00	
3/8"	0	0	0.00	100.00	
N° 4	0	0	0.00	100.00	
ANÁLISIS DE TAMICES DEL AGREGADO FINO					
Pasa N° 4 Húmedo	200 grs.	Pasa N° 4 Seco	199.47 grs.		
Tamices	Peso Retenido en grs.	Retenido acumulado		% que pasa del mortero	% que pasa del total
		grs.	%		
N° 10	0.32	0.32	0.16	99.84	99.84
N° 40	2.16	2.48	1.24	98.76	98.76
N° 200	12.78	15.26	7.65	92.35	92.35
ENSAYOS DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA					
DETERMINACIÓN DE LÍMITES	LÍQUIDO	PLÁSTICO	CURVA GRANULOMÉTRICA		
Número de golpes	8				
Cápsula N°	19	17			
Peso suelo húmedo + cápsula	35.15	28.23			
Peso suelo seco + cápsula	30.49	26.17			
Peso del agua	4.66	2.06			
Peso de la cápsula	16.96	18.61			
Peso del suelo seco	13.53	7.56			
Porcentaje de Humedad %	34.44	27.25			
Límite Líquido a 25 golpes	L.L. 30.00				
Límite Plástico	L.P. 27.25				
Índice de Plasticidad	I.P. 2.75				
Clasificación Según:	AASHTO	A-4 (3)	SUELOS LIMOSOS		
	SUCS	ML	LIMO DE BAJA PLASTICIDAD		
*EL MATERIAL FUE EXTRAIDO CON LA CUCHARA BIPARTIDA.					

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

SEGÚN NORMA AASHTO M 145

EMPRESA:	MARIANA ROJAS	FECHA:	sábado, 11 de octubre de 2025
PROYECTO:	ANÁLISIS GEOTÉCNICO LA BARRANCA		
UBICACIÓN:	DEPARTAMENTO DE CHUQUISACA - PROVINCIA OROPEZA - MUNICIPIO DE SUCRE - LA BARRANCA	SONDEO 1	PROFUND. (m): 4.05 - 4.50 M-3

HUMEDAD HIGROSCÓPICA		MUESTRA TOTAL SECA	
Peso suelo húmedo + cápsula	47.80 grs.	Muestra total húmeda	366.0 grs.
Peso suelo seco + cápsula	47.70 grs.	Agregado grueso	0.0 grs.
Peso del agua	0.1 grs.	Pasa N° 4 húmedo	366.0 grs.
Peso de la cápsula	19.46 grs.	Pasa N° 4 seco	364.7 grs.
Peso del suelo seco	28.24 grs.		
Porcentaje de Humedad %	0.4 %	Muestra total seca	364.7 grs.

ANÁLISIS DE TAMICES DEL AGREGADO GRUESO

Tamices	Peso Retenido en grs.	Retenido acumulado		% que pasa del total
		grs.	%	
2"	0	0	0.00	100.00
1 1/2"	0	0	0.00	100.00
1"	0	0	0.00	100.00
3/4"	0	0	0.00	100.00
3/8"	0	0	0.00	100.00
N° 4	0	0	0.00	100.00

ANÁLISIS DE TAMICES DEL AGREGADO FINO

Pasa N° 4 Húmedo	200 grs.	Pasa N° 4 Seco		199.29 grs.	
Tamices	Peso Retenido en grs.	Retenido acumulado		% que pasa del mortero	% que pasa del total
		grs.	%		
N° 10	11.70	11.70	5.87	94.13	94.13
N° 40	14.40	26.10	13.10	86.90	86.90
N° 200	10.88	36.98	18.56	81.44	81.44

ENSAYOS DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA

DETERMINACIÓN DE LÍMITES	LÍQUIDO	PLÁSTICO	CURVA GRANULOMÉTRICA
Número de golpes	6		
Cápsula N°	12	21	
Peso suelo húmedo + cápsula	36.51	26.32	
Peso suelo seco + cápsula	32.59	24.38	
Peso del agua	3.92	1.94	
Peso de la cápsula	19.57	16.47	
Peso del suelo seco	13.02	7.91	
Porcentaje de Humedad %	30.11	24.53	
Límite Líquido a 25 golpes L.L.	25.40		
Límite Plástico L.P.	24.53		
Índice de Plasticidad I.P.	0.87		

Clasificación	AASHTO	A-4(0)	SUELOS LIMOSOS
Según:	SUCS	ML	LIMO DE BAJA PLASTICIDAD

*EL MATERIAL FUE EXTRAÍDO CON LA CUCHARA BIPARTIDA.

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

SEGÚN NORMA AASHTO M 145

EMPRESA:	MARIANA ROJAS	FECHA:	sábado, 11 de octubre de 2025
PROYECTO:	ANÁLISIS GEOTÉCNICO LA BARRANCA		
UBICACIÓN:	DEPARTAMENTO DE CHUQUISACA - PROVINCIA OROPEZA - MUNICIPIO DE SUCRE - LA BARRANCA	SONDEO 1	PROFUND. (m): 4,50 - 6,00 M-4

HUMEDAD HIGROSCÓPICA		MUESTRA TOTAL SECA	
Peso suelo húmedo + cápsula	66.80 grs.	Muestra total húmeda	428.0 grs.
Peso suelo seco + cápsula	66.70 grs.	Agregado grueso	5.0 grs.
Peso del agua	0.1 grs.	Pasa N° 4 húmedo	423.0 grs.
Peso de la cápsula	21.24 grs.	Pasa N° 4 seco	422.1 grs.
Peso del suelo seco	45.46 grs.		
Porcentaje de Humedad %	0.2 %	Muestra total seca	427.1 grs.

ANÁLISIS DE TAMICES DEL AGREGADO GRUESO

Tamices	Peso Retenido en grs.	Retenido acumulado		% que pasa del total
		grs.	%	
2"	0	0	0.00	100.00
1 1/2"	0	0	0.00	100.00
1"	0	0	0.00	100.00
3/4"	0	0	0.00	100.00
3/8"	0	0	0.00	100.00
N° 4	5	5	1.17	98.83

ANÁLISIS DE TAMICES DEL AGREGADO FINO

Pasa N° 4 Húmedo	200 grs.	Pasa N° 4 Seco		199.56 grs.	
Tamices	Peso Retenido en grs.	Retenido acumulado		% que pasa del mortero	% que pasa del total
		grs.	%		
N° 10	22.78	22.78	11.42	88.58	87.55
N° 40	25.50	48.28	24.19	75.81	74.92
N° 200	15.98	64.26	32.20	67.80	67.01

ENSAYOS DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA

DETERMINACIÓN DE LÍMITES	LÍQUIDO	PLÁSTICO	CURVA GRANULOMÉTRICA
Número de golpes	34		
Cápsula N°	20	4	
Peso suelo húmedo + cápsula	33.66	29.28	
Peso suelo seco + cápsula	29.13	26.48	
Peso del agua	4.53	2.80	
Peso de la cápsula	16.54	17.31	
Peso del suelo seco	12.59	9.17	
Porcentaje de Humedad %	35.98	30.53	
Límite Líquido a 25 golpes L.L.	37.50		
Límite Plástico L.P.	30.53		
Índice de Plasticidad I.P.	6.96		

Clasificación	AASHTO	A-4(4)	SUELOS LIMOSOS
Según:	SUCS	ML	LIMO DE BAJA PLASTICIDAD

*EL MATERIAL FUE EXTRAIDO CON LA CUCHARA PARTIDA.

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

SEGÚN NORMA AASHTO M 145

EMPRESA:	MARIANA ROJAS	FECHA:	sábado, 11 de octubre de 2025
PROYECTO:	ANÁLISIS GEOTÉCNICO LA BARRANCA		
UBICACIÓN:	DEPARTAMENTO DE CHUQUISACA - PROVINCIA OROPEZA - MUNICIPIO DE SUCRE - LA BARRANCA	SONDEO 1	PROFUND. (m): 4,50 - 6,00 M-5

HUMEDAD HIGROSCÓPICA		MUESTRA TOTAL SECA	
Peso suelo húmedo + cápsula	66.80 grs.	Muestra total húmeda	567.0 grs.
Peso suelo seco + cápsula	66.70 grs.	Agregado grueso	0.0 grs.
Peso del agua	0.1 grs.	Pasa N° 4 húmedo	567.0 grs.
Peso de la cápsula	21.05 grs.	Pasa N° 4 seco	565.8 grs.
Peso del suelo seco	45.65 grs.		
Porcentaje de Humedad %	0.2 %	Muestra total seca	565.8 grs.

ANÁLISIS DE TAMICES DEL AGREGADO GRUESO

Tamices	Peso Retenido en grs.	Retenido acumulado		% que pasa del total
		grs.	%	
2"	0	0	0.00	100.00
1 1/2"	0	0	0.00	100.00
1"	0	0	0.00	100.00
3/4"	0	0	0.00	100.00
3/8"	0	0	0.00	100.00
N° 4	0	0	0.00	100.00

ANÁLISIS DE TAMICES DEL AGREGADO FINO

Pasa Nº 4 Húmedo	200 grs.	Pasa Nº 4 Seco		199.56 grs.	
Tamices	Peso Retenido en grs.	Retenido acumulado		% que pasa del mortero	% que pasa del total
		grs.	%		
Nº 10	2.72	2.72	1.36	98.64	98.64
Nº 40	5.88	8.60	4.31	95.69	95.69
Nº 200	13.10	21.70	10.87	89.13	89.13

ENSAYOS DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA

DETERMINACIÓN DE LÍMITES	LÍQUIDO	PLÁSTICO	CURVA GRANULOMÉTRICA
Número de golpes	10		
Cápsula N°	16	13	
Peso suelo húmedo + cápsula	36.18	29.24	
Peso suelo seco + cápsula	30.52	26.63	
Peso del agua	5.66	2.61	
Peso de la cápsula	17.27	19.51	
Peso del suelo seco	13.25	7.12	
Porcentaje de Humedad %	42.72	36.66	
Límite Líquido a 25 golpes L.L.	38.17		
Límite Plástico L.P.	36.66		
Índice de Plasticidad I.P.	1.52		

Clasificación	AASHTO	A-4(4)	SUELOS LIMOSOS
Según:	SUCS	ML	LIMO DE BAJA PLASTICIDAD

*EL MATERIAL FUE EXTRAIDO CON LA CUCHARA PARTIDA.

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

SEGÚN NORMA AASHTO M 145

EMPRESA:	MARIANA ROJAS	FECHA:	sábado, 11 de octubre de 2025
PROYECTO:	ANÁLISIS GEOTÉCNICO LA BARRANCA		
UBICACIÓN:	DEPARTAMENTO DE CHUQUISACA - PROVINCIA OROPEZA - MUNICIPIO DE SUCRE - LA BARRANCA	SONDEO 2	PROFUND. (m): 0.45 - 0.90

M-1

HUMEDAD HIGROSCÓPICA		MUESTRA TOTAL SECA	
Peso suelo húmedo + cápsula	58.70 grs.	Muestra total húmeda	616.0 grs.
Peso suelo seco + cápsula	58.60 grs.	Agregado grueso	15.0 grs.
Peso del agua	0.1 grs.	Pasa N° 4 húmedo	601.0 grs.
Peso de la cápsula	18.40 grs.	Pasa N° 4 seco	599.5 grs.
Peso del suelo seco	40.2 grs.		
Porcentaje de Humedad %	0.2 %	Muestra total seca	614.5 grs.

ANÁLISIS DE TAMICES DEL AGREGADO GRUESO

Tamices	Peso Retenido en grs.	Retenido acumulado		% que pasa del total
		grs.	%	
2"	0	0	0.00	100.00
1 1/2"	0	0	0.00	100.00
1"	0	0	0.00	100.00
3/4"	0	0	0.00	100.00
3/8"	5	5	0.81	99.19
N° 4	10	15	2.44	97.56

ANÁLISIS DE TAMICES DEL AGREGADO FINO

Pasa Nº 4 Húmedo	200 grs.	Pasa Nº 4 Seco		199.50 grs.	
Tamices	Peso Retenido en grs.	Retenido acumulado		% que pasa del mortero	% que pasa del total
		grs.	%		
Nº 10	3.70	3.70	1.85	98.15	95.75
Nº 40	10.08	13.78	6.91	93.09	90.82
Nº 200	38.02	51.80	25.96	74.04	72.23

ENSAYOS DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA

DETERMINACIÓN DE LÍMITES	LÍQUIDO	PLÁSTICO	CURVA GRANULOMÉTRICA
Número de golpes	16		
Cápsula N°	14	23	
Peso suelo húmedo + cápsula	32.38	30.42	
Peso suelo seco + cápsula	28.26	27.40	
Peso del agua	4.12	3.02	
Peso de la cápsula	17.28	16.63	
Peso del suelo seco	10.98	10.77	
Porcentaje de Humedad %	37.52	28.04	
Límite Líquido a 25 golpes L.L.	35.47		
Límite Plástico L.P.	28.04		
Índice de Plasticidad I.P.	7.43		

Clasificación	AASHTO	A-4(5)	SUELOS LIMOSOS
Según:	SUCS	ML	LIMO DE BAJA PLASTICIDAD

*EL MATERIAL FUE EXTRAIDO CON LA CUCHARA BIPARTIDA.

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

SEGÚN NORMA AASHTO M 145

EMPRESA:	MARIANA ROJAS	FECHA:	sábado, 11 de octubre de 2025
PROYECTO:	ANÁLISIS GEOTÉCNICO LA BARRANCA		
UBICACIÓN:	DEPARTAMENTO DE CHUQUISACA - PROVINCIA OROPEZA - MUNICIPIO DE SUCRE - LA BARRANCA	SONDEO 2	PROFUND. (m): 4.05 - 4.50 M-3

HUMEDAD HIGROSCÓPICA		MUESTRA TOTAL SECA	
Peso suelo húmedo + cápsula	48.30 grs.	Muestra total húmeda	333.0 grs.
Peso suelo seco + cápsula	48.20 grs.	Agregado grueso	0.0 grs.
Peso del agua	0.1 grs.	Pasa N° 4 húmedo	333.0 grs.
Peso de la cápsula	20.14 grs.	Pasa N° 4 seco	331.8 grs.
Peso del suelo seco	28.06 grs.		
Porcentaje de Humedad %	0.4 %	Muestra total seca	331.8 grs.

ANÁLISIS DE TAMICES DEL AGREGADO GRUESO

Tamices	Peso Retenido en grs.	Retenido acumulado		% que pasa del total
		grs.	%	
2"	0	0	0.00	100.00
1 1/2"	0	0	0.00	100.00
1"	0	0	0.00	100.00
3/4"	0	0	0.00	100.00
3/8"	0	0	0.00	100.00
N° 4	0	0	0.00	100.00

ANÁLISIS DE TAMICES DEL AGREGADO FINO

Pasa Nº 4 Húmedo	200 grs.	Pasa Nº 4 Seco		199.29 grs.	
Tamices	Peso Retenido en grs.	Retenido acumulado		% que pasa del mortero	% que pasa del total
		grs.	%		
Nº 10	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
Nº 40	1.38	1.38	0.69	99.31	99.31
Nº 200	14.20	15.58	7.82	92.18	92.18

ENSAYOS DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA

DETERMINACIÓN DE LÍMITES	LÍQUIDO	PLÁSTICO	CURVA GRANULOMÉTRICA
Número de golpes	13		
Cápsula N°	32	25	
Peso suelo húmedo + cápsula	33.86	29.54	
Peso suelo seco + cápsula	29.76	27.14	
Peso del agua	4.10	2.40	
Peso de la cápsula	14.06	13.92	
Peso del suelo seco	15.70	13.22	
Porcentaje de Humedad %	26.11	18.15	
Límite Líquido a 25 golpes L.L.	24.07		
Límite Plástico L.P.	18.15		
Índice de Plasticidad I.P.	5.92		

Clasificación	AASHTO	A-4(4)	SUELOS LIMOSOS
Según:	SUCS	CL-ML	MEZCLA DE ARCILLA Y LIMO DE BAJA PLASTICIDAD

*EL MATERIAL FUE EXTRAÍDO CON LA CUCHARA BIPARTIDA.

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

SEGÚN NORMA AASHTO M 145

EMPRESA:	MARIANA ROJAS	FECHA:	sábado, 11 de octubre de 2025
PROYECTO:	ANÁLISIS GEOTÉCNICO LA BARRANCA		
UBICACIÓN:	DEPARTAMENTO DE CHUQUISACA - PROVINCIA OROPEZA - MUNICIPIO DE SUCRE - LA BARRANCA	SONDEO 2	PROFUND. (m): 3,75 - 5,10 M-4

HUMEDAD HIGROSCÓPICA		MUESTRA TOTAL SECA	
Peso suelo húmedo + cápsula	59.00 grs.	Muestra total húmeda	400.0 grs.
Peso suelo seco + cápsula	58.90 grs.	Agregado grueso	0.0 grs.
Peso del agua	0.1 grs.	Pasa N° 4 húmedo	400.0 grs.
Peso de la cápsula	16.70 grs.	Pasa N° 4 seco	399.1 grs.
Peso del suelo seco	42.2 grs.		
Porcentaje de Humedad %	0.2 %	Muestra total seca	399.1 grs.

ANÁLISIS DE TAMICES DEL AGREGADO GRUESO

Tamices	Peso Retenido en grs.	Retenido acumulado		% que pasa del total
		grs.	%	
2"	0	0	0.00	100.00
1 1/2"	0	0	0.00	100.00
1"	0	0	0.00	100.00
3/4"	0	0	0.00	100.00
3/8"	0	0	0.00	100.00
N° 4	0	0	0.00	100.00

ANÁLISIS DE TAMICES DEL AGREGADO FINO

Pasa Nº 4 Húmedo	200 grs.	Pasa Nº 4 Seco		199.53	grs.
Tamices	Peso Retenido en grs.	Retenido acumulado		% que pasa del mortero	% que pasa del total
		grs.	%		
Nº 10	0.90	0.90	0.45	99.55	99.55
Nº 40	1.44	2.34	1.17	98.83	98.83
Nº 200	6.80	9.14	4.58	95.42	95.42

ENSAYOS DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA

DETERMINACIÓN DE LÍMITES	LÍQUIDO	PLÁSTICO	CURVA GRANULOMÉTRICA
Número de golpes	8		
Cápsula N°	31	29	
Peso suelo húmedo + cápsula	31.96	27.33	
Peso suelo seco + cápsula	27.84	25.02	
Peso del agua	4.12	2.31	
Peso de la cápsula	14.59	14.25	
Peso del suelo seco	13.25	10.77	
Porcentaje de Humedad %	31.09	21.45	
Límite Líquido a 25 golpes L.L.	27.08		
Límite Plástico L.P.	21.45		
Índice de Plasticidad I.P.	5.64		

Clasificación	AASHTO	A-4(5)	SUELOS LIMOSOS
Según:	SUCS	CL-ML	MEZCLA DE ARCILLA Y LIMO DE BAJA PLASTICIDAD

*EL MATERIAL FUE EXTRAÍDO CON LA CUCHARA BIPARTIDA.

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

SEGÚN NORMA AASHTO M 145

EMPRESA:	MARIANA ROJAS	FECHA:	sábado, 11 de octubre de 2025
PROYECTO:	ANÁLISIS GEOTÉCNICO LA BARRANCA		
UBICACIÓN:	DEPARTAMENTO DE CHUQUISACA - PROVINCIA OROPEZA - MUNICIPIO DE SUCRE - LA BARRANCA	SONDEO 2	PROFUND. (m): 3,75 - 5,10 M-5

HUMEDAD HIGROSCÓPICA		MUESTRA TOTAL SECA	
Peso suelo húmedo + cápsula	43.90 grs.	Muestra total húmeda	327.0 grs.
Peso suelo seco + cápsula	43.80 grs.	Agregado grueso	0.0 grs.
Peso del agua	0.1 grs.	Pasa N° 4 húmedo	327.0 grs.
Peso de la cápsula	14.35 grs.	Pasa N° 4 seco	325.9 grs.
Peso del suelo seco	29.45 grs.		
Porcentaje de Humedad %	0.3 %	Muestra total seca	325.9 grs.

ANÁLISIS DE TAMICES DEL AGREGADO GRUESO

Tamices	Peso Retenido en grs.	Retenido acumulado		% que pasa del total
		grs.	%	
2"	0	0	0.00	100.00
1 1/2"	0	0	0.00	100.00
1"	0	0	0.00	100.00
3/4"	0	0	0.00	100.00
3/8"	0	0	0.00	100.00
N° 4	0	0	0.00	100.00

ANÁLISIS DE TAMICES DEL AGREGADO FINO

Pasa N° 4 Húmedo	200 grs.		Pasa N° 4 Seco	199.32 grs.	
Tamices	Peso Retenido en grs.	Retenido acumulado		% que pasa del mortero	% que pasa del total
		grs.	%		
N° 10	0.32	0.32	0.16	99.84	99.84
N° 40	0.38	0.70	0.35	99.65	99.65
N° 200	6.52	7.22	3.62	96.38	96.38

ENSAYOS DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA

DETERMINACIÓN DE LÍMITES	LÍQUIDO	PLÁSTICO	CURVA GRANULOMÉTRICA
Número de golpes	12		
Cápsula N°	30	33	
Peso suelo húmedo + cápsula	31.11	25.99	
Peso suelo seco + cápsula	26.90	23.43	
Peso del agua	4.21	2.56	
Peso de la cápsula	14.21	14.02	
Peso del suelo seco	12.69	9.41	
Porcentaje de Humedad %	33.18	27.21	
Límite Líquido a 25 golpes L.L.	30.29		
Límite Plástico L.P.	27.21		
Índice de Plasticidad I.P.	3.09		

Clasificación	AASHTO	A-4(0)	SUELOS LIMOSOS
Según:	SUCS	ML	LIMO DE BAJA PLASTICIDAD

*EL MATERIAL FUE EXTRAÍDO CON LA CUCHARA BIPARTIDA.

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

SEGÚN NORMA AASHTO M 145

EMPRESA:	MARIANA ROJAS	FECHA:	sábado, 11 de octubre de 2025
PROYECTO:	ANÁLISIS GEOTÉCNICO LA BARRANCA		
UBICACIÓN:	DEPARTAMENTO DE CHUQUISACA - PROVINCIA OROPEZA - MUNICIPIO DE SUCRE - LA BARRANCA	SONDEO 2	PROFUND. (m): 3,75 - 5,10

M-6

HUMEDAD HIGROSCÓPICA		MUESTRA TOTAL SECA	
Peso suelo húmedo + cápsula	41.70 grs.	Muestra total húmeda	325.0 grs.
Peso suelo seco + cápsula	41.60 grs.	Agregado grueso	12.0 grs.
Peso del agua	0.1 grs.	Pasa N° 4 húmedo	313.0 grs.
Peso de la cápsula	16.34 grs.	Pasa N° 4 seco	311.8 grs.
Peso del suelo seco	25.26 grs.		
Porcentaje de Humedad %	0.4 %	Muestra total seca	323.8 grs.

ANÁLISIS DE TAMICES DEL AGREGADO GRUESO

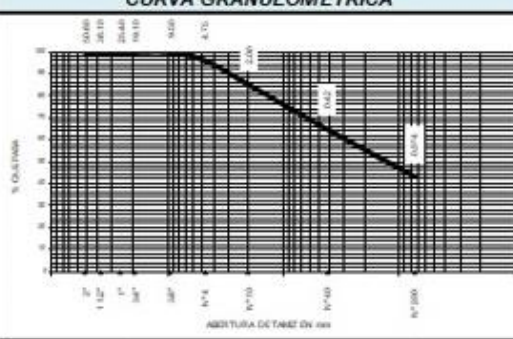
Tamices	Peso Retenido en grs.	Retenido acumulado		% que pasa del total
		grs.	%	
2"	0	0	0.00	100.00
1 1/2"	0	0	0.00	100.00
1"	0	0	0.00	100.00
3/4"	0	0	0.00	100.00
3/8"	0	0	0.00	100.00
N° 4	12	12	3.71	96.29

ANÁLISIS DE TAMICES DEL AGREGADO FINO

Pasa N° 4 Húmedo	200 grs.		Pasa N° 4 Seco	199.21 grs.	
Tamices	Peso Retenido en grs.	Retenido acumulado		% que pasa del mortero	% que pasa del total
		grs.	%		
N° 10	22.74	22.74	11.42	88.58	85.30
N° 40	42.28	65.02	32.64	67.36	64.86
N° 200	44.96	109.98	55.21	44.79	43.13

ENSAYOS DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA

DETERMINACIÓN DE LÍMITES	LÍQUIDO	PLÁSTICO	CURVA GRANULOMÉTRICA
Número de golpes	39		
Cápsula N°	10	3	
Peso suelo húmedo + cápsula	29.82	31.01	
Peso suelo seco + cápsula	26.21	28.52	
Peso del agua	3.61	2.49	
Peso de la cápsula	14.97	19.87	
Peso del suelo seco	11.24	8.65	
Porcentaje de Humedad %	32.12	28.79	
Límite Líquido a 25 golpes L.L.	34.11		
Límite Plástico L.P.	28.79		
Índice de Plasticidad I.P.	5.32		



Clasificación	AASHTO	A-4(0)	SUELOS LIMOSOS
Según:	SUCS	SM	ARENA LIMOSA

*EL MATERIAL FUE EXTRAIDO CON LA CUCHARA BIPARTIDA.

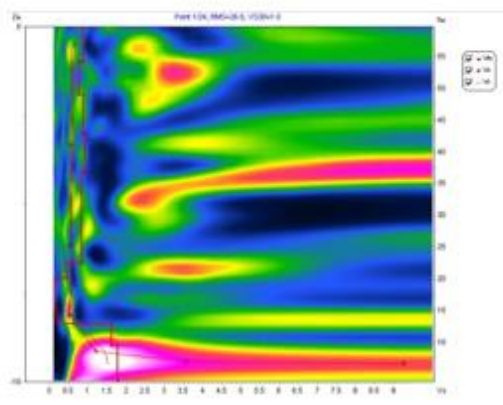
C. ENSAYO GEOFÍSICO

Espectro de energía que indica cómo la velocidad de las ondas cambia con la frecuencia y por ende con la profundidad.

RESULTADOS DE Vs POR GEOPONO

EJE 1 - 0+000 - P1 - (VS30 = 1.0 Km/s)

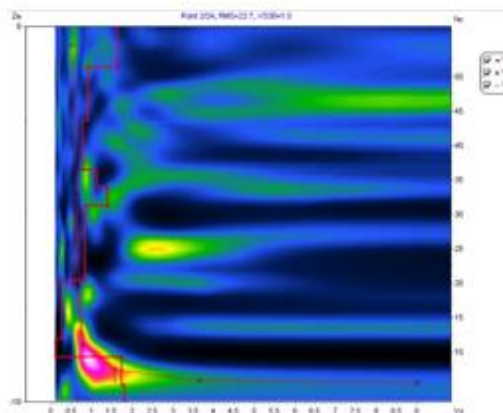
Z (m)	H (m)	Vs (km/s)	Vs (m/s)
0.0	1.0	0.86	860
1.0	0.9	0.76	760
1.9	1.1	0.87	870
3.0	1.1	0.92	920
4.1	2.6	0.83	830
6.6	0.4	0.44	440
7.1	0.8	0.12	120
7.9	0.4	0.18	180
8.4	0.6	1.61	1610
9.0	*	1.78	1780



RESULTADOS DE Vs POR GEOPONO

EJE 1 - 0+005 - P2 - (VS30 = 1.0 Km/s)

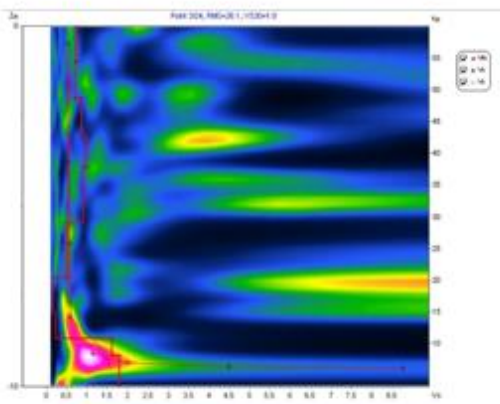
Z (m)	H (m)	Vs (km/s)	Vs (m/s)
0.0	1.1	1.63	1630
1.1	1.4	0.90	900
2.5	1.3	0.78	780
3.8	0.5	1.12	1120
4.3	0.5	1.40	1400
4.8	2.0	0.84	840
6.8	1.6	0.26	260
8.3	0.5	0.10	99
8.8	0.7	1.73	1730
9.5	*	1.80	1800



RESULTADOS DE Vs POR GEOPONO

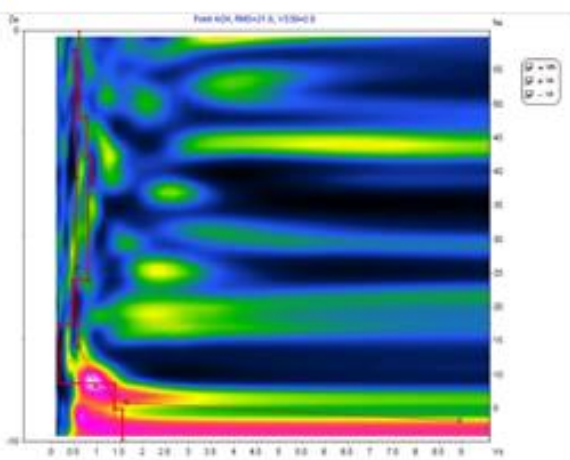
EJE 1 - 0+010 - P3 - (VS30 = 1.0 Km/s)

Z (m)	H (m)	Vs (km/s)	Vs (m/s)
0.0	1.0	0.73	730
1.1	1.0	0.69	690
2.5	1.0	0.87	870
3.8	0.9	0.98	980
4.3	1.6	0.89	890
4.8	1.5	0.50	500
6.8	0.9	0.17	170
8.3	0.7	0.21	210
8.8	0.5	1.62	1620
9.5	*	1.80	1800



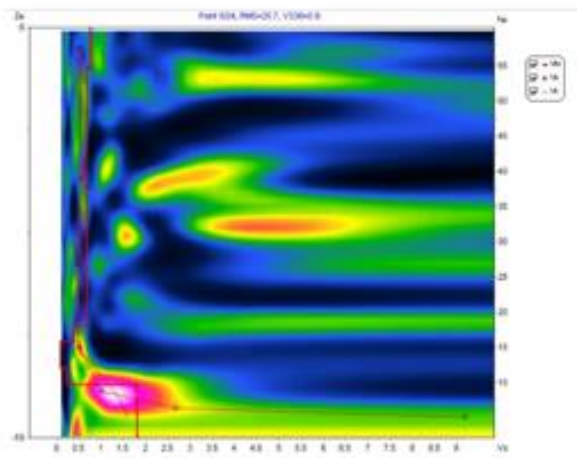
RESULTADOS DE Vs POR GEOPONO
EJE 1 - 0+015 - P4 - (VS30 = 0.9 Km/s)

Z (m)	H (m)	Vs (km/s)	Vs (m/s)
0.0	1.0	0.60	600
1.0	1.1	0.61	610
2.1	1.0	0.78	780
3.1	0.6	0.88	880
3.7	2.3	0.81	810
6.1	1.1	0.46	460
7.2	0.4	0.15	150
7.5	1.1	0.17	170
8.6	0.6	1.39	1390
9.2	*	1.56	1560



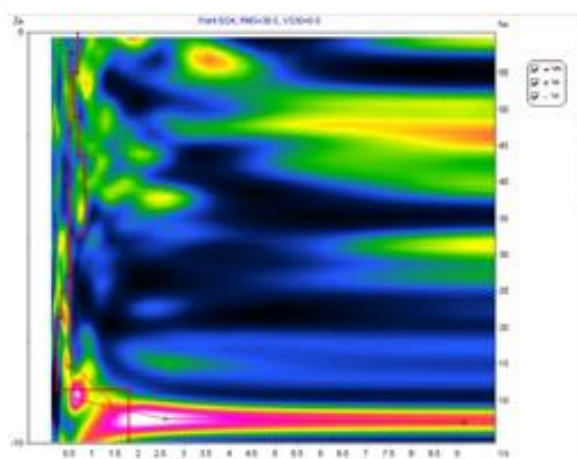
RESULTADOS DE Vs POR GEOPONO
EJE 1 - 0+020 - P5 - (VS30 = 0.9 Km/s)

Z (m)	H (m)	Vs (km/s)	Vs (m/s)
0.0	1.0	0.76	760
1.0	1.0	0.68	680
2.0	1.1	0.67	670
3.1	0.8	0.66	660
3.9	3.4	0.68	680
7.3	0.4	0.38	380
7.7	0.6	0.10	95
8.3	0.4	0.21	210
8.7	0.4	1.80	1800
9.1	*	1.80	1800



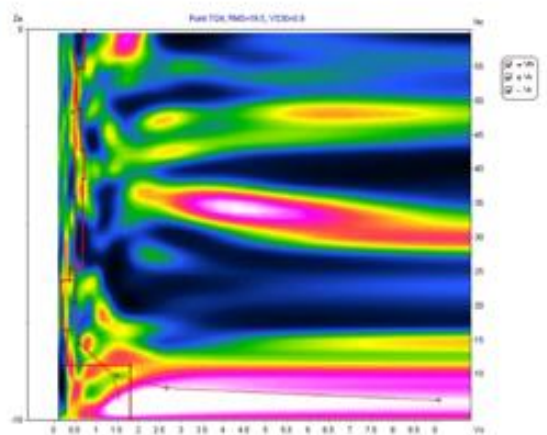
RESULTADOS DE Vs POR GEOPONO
EJE 1 - 0+025 - P6 - (VS30 = 0.9 Km/s)

Z (m)	H (m)	Vs (km/s)	Vs (m/s)
0.0	1.0	0.67	670
1.0	1.1	0.59	590
2.1	1.0	0.70	700
3.0	0.9	0.82	820
3.9	1.1	0.85	850
4.9	1.3	0.51	510
6.3	0.7	0.31	310
7.0	1.7	0.21	210
8.7	0.4	1.80	1800
9.2	*	1.80	1800

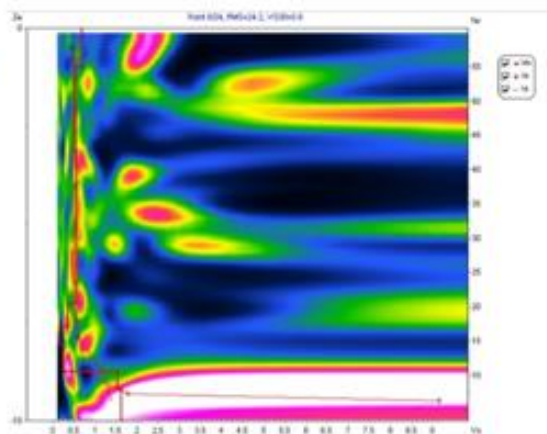


RESULTADOS DE Vs POR GEOPONO**EJE 1 - 0+030 - P7 - (VS30 = 0.9 Km/s)**

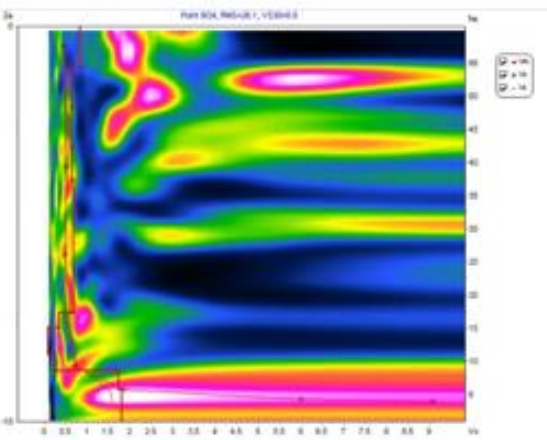
Z (m)	H (m)	Vs (km/s)	Vs (m/s)
0.0	1.0	0.71	710
1.0	1.0	0.56	560
2.0	1.0	0.64	640
3.1	0.7	0.72	720
3.8	2.3	0.68	680
6.1	0.3	0.39	390
6.4	1.3	0.18	180
7.7	0.9	0.31	310
8.6	0.5	1.80	1800
9.1	*	1.80	1800

**RESULTADOS DE Vs POR GEOPONO****EJE 1 - 0+035 - P8 - (VS30 = 0.9 Km/s)**

Z (m)	H (m)	Vs (km/s)	Vs (m/s)
0.0	1.0	0.68	680
1.0	1.0	0.52	520
2.0	1.1	0.54	540
3.1	0.8	0.56	560
3.9	3.1	0.57	570
7.0	0.6	0.35	350
7.6	0.5	0.16	160

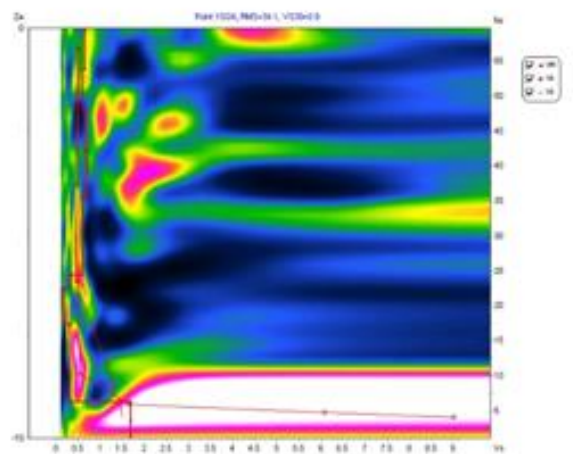
**RESULTADOS DE Vs POR GEOPONO****EJE 1 - 0+040 - P9 - (VS30 = 0.9 Km/s)**

Z (m)	H (m)	Vs (km/s)	Vs (m/s)
0.0	1.0	0.83	830
1.0	1.0	0.65	650
2.0	1.1	0.63	630
3.1	0.8	0.65	650
3.9	3.4	0.68	680
7.2	0.4	0.35	350
7.6	0.7	0.09	88
8.3	0.4	0.24	240
8.7	0.5	1.74	1740
9.2	*	1.80	1800



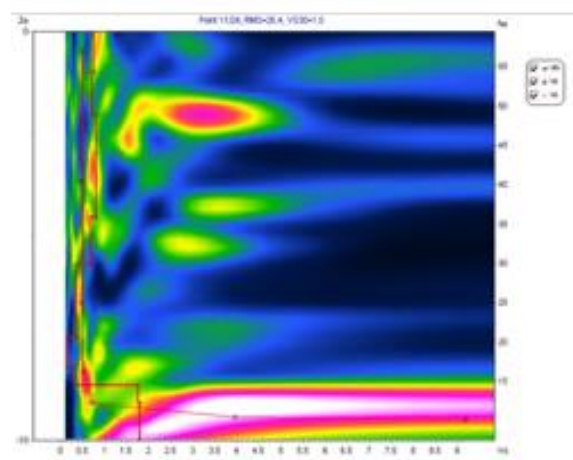
RESULTADOS DE Vs POR GEOPONO
EJE 1 - 0+045 - P10 - (VS30 = 0.9 Km/s)

Z (m)	H (m)	Vs (km/s)	Vs (m/s)
0.0	1.0	0.64	640
1.0	1.0	0.61	610
2.0	1.0	0.69	690
3.0	1.1	0.69	690
4.1	1.9	0.60	600
6.0	0.3	0.30	300
6.3	0.9	0.16	160
7.2	1.9	0.31	310
9.1	0.4	1.68	1680
9.6	*	1.69	1690



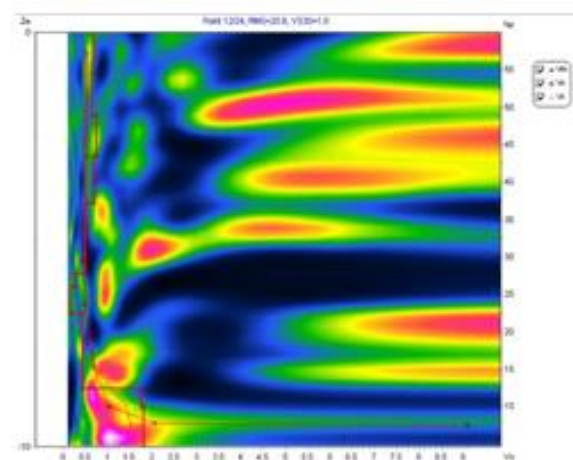
RESULTADOS DE Vs POR GEOPONO
EJE 1 - 0+050 - P11 - (VS30 = 1.0 Km/s)

Z (m)	H (m)	Vs (km/s)	Vs (m/s)
0.0	1.0	0.75	750
1.0	1.0	0.71	710
2.0	0.9	0.79	790
3.0	1.6	0.80	800
4.6	1.1	0.68	680
5.7	1.8	0.34	340
7.5	0.7	0.13	130
8.2	0.5	0.31	310
8.7	0.4	1.76	1760
9.1	*	1.79	1790



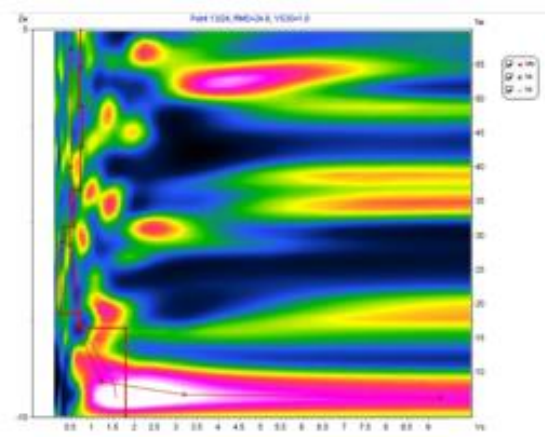
RESULTADOS DE Vs POR GEOPONO
EJE 1 - 0+055 - P12 - (VS30 = 1.0 Km/s)

Z (m)	H (m)	Vs (km/s)	Vs (m/s)
0.0	1.0	0.68	680
1.0	1.0	0.66	660
2.0	1.0	0.74	740
3.0	1.1	0.69	690
4.1	1.7	0.51	510
5.8	0.3	0.26	260
6.1	0.6	0.15	150
6.8	1.8	0.44	440
8.6	0.5	1.75	1750
9.1	*	1.80	1800



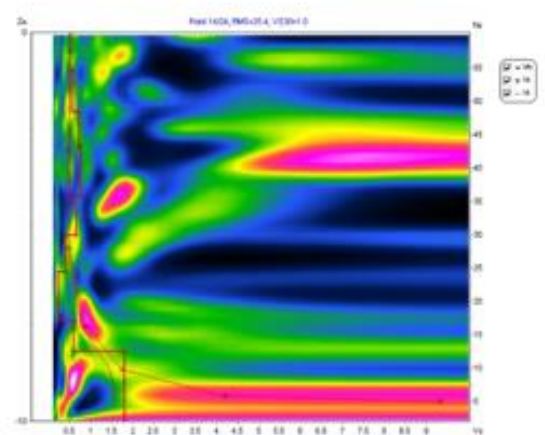
RESULTADOS DE Vs POR GEOPONO
EJE 1 - 0+060 - P13 - (VS30 = 1.0 Km/s)

Z (m)	H (m)	Vs (km/s)	Vs (m/s)
0.0	1.0	0.72	720
1.0	1.0	0.69	690
2.0	1.0	0.76	760
3.0	1.1	0.72	720
4.1	0.9	0.56	560
5.1	0.4	0.33	330
5.5	1.8	0.23	230
7.3	0.4	0.70	700
7.7	1.3	1.80	1800
9.0	*	1.80	1800



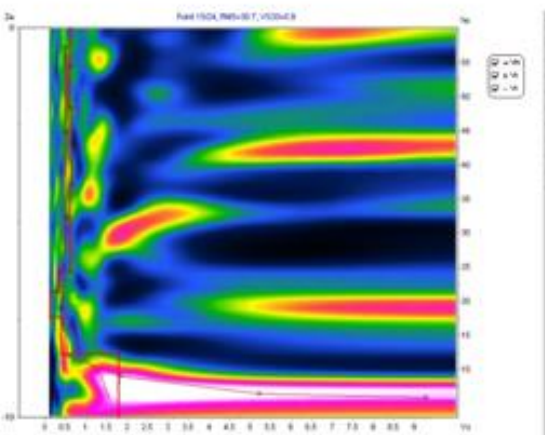
RESULTADOS DE Vs POR GEOPONO
EJE 1 - 0+065 - P14 - (VS30 = 1.0 Km/s)

Z (m)	H (m)	Vs (km/s)	Vs (m/s)
0.0	1.0	0.51	510
1.0	1.0	0.57	570
2.0	0.9	0.71	710
3.0	1.3	0.75	750
4.2	1.0	0.65	650
5.2	0.9	0.40	400
6.2	1.3	0.21	210
7.4	0.8	0.58	580
8.2	0.8	1.80	1800
9.0	*	1.80	1800



RESULTADOS DE Vs POR GEOPONO
EJE 1 - 0+070 - P15 - (VS30 = 0.9 Km/s)

Z (m)	H (m)	Vs (km/s)	Vs (m/s)
0.0	1.0	0.63	630
1.0	1.1	0.58	580
2.1	1.0	0.63	630
3.0	1.0	0.66	660
4.0	2.2	0.61	610
6.3	0.5	0.31	310
6.8	0.7	0.12	120
7.4	0.9	0.41	410
8.4	0.7	1.80	1800
9.1	*	1.80	1800



RESULTADOS DE Vs POR GEOPONO
EJE 1 - 0+075 - P16 - (VS30 = 0.9 Km/s)

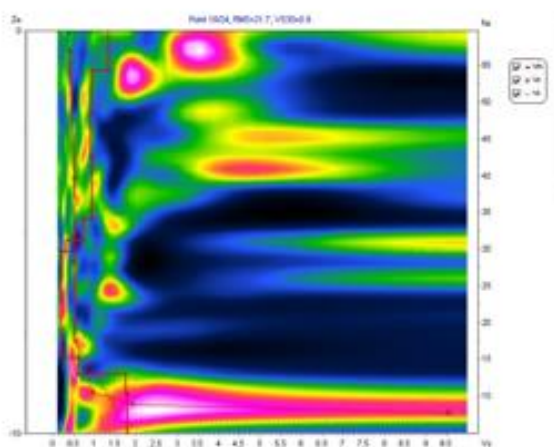
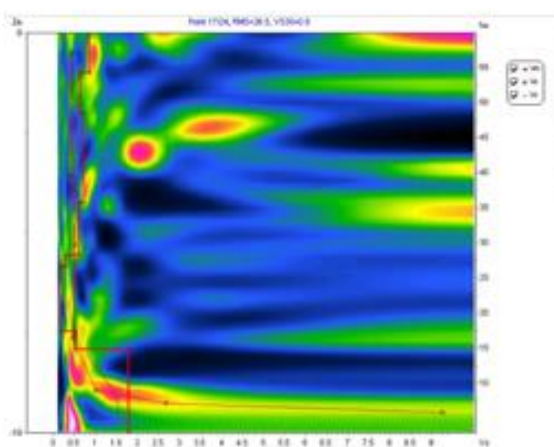
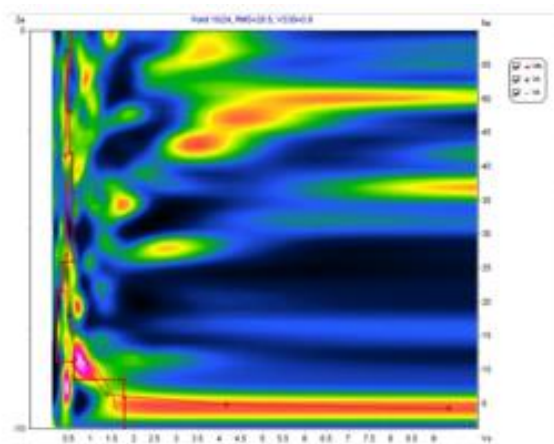
Z (m)	H (m)	Vs (km/s)	Vs (m/s)
0.0	1.0	0.53	530
1.0	1.0	0.44	440
2.0	1.1	0.50	500
3.1	1.0	0.56	560
4.0	1.8	0.58	580
5.8	0.7	0.34	340
6.5	1.8	0.20	200
8.3	0.4	0.60	600
8.8	0.4	1.77	1770
9.2	*	1.78	1780

RESULTADOS DE Vs POR GEOPONO
EJE 1 - 0+080 - P17 - (VS30 = 0.9 Km/s)

Z (m)	H (m)	Vs (km/s)	Vs (m/s)
0.0	1.0	0.85	850
1.0	1.0	0.63	630
2.0	1.0	0.70	700
3.0	1.2	0.74	740
4.2	1.3	0.60	600
5.6	0.3	0.28	280
5.9	1.6	0.17	170
7.5	0.4	0.51	510
7.9	1.1	1.80	1800
9.0	*	1.80	1800

RESULTADOS DE Vs POR GEOPONO
EJE 1 - 0+085 - P18 - (VS30 = 0.9 Km/s)

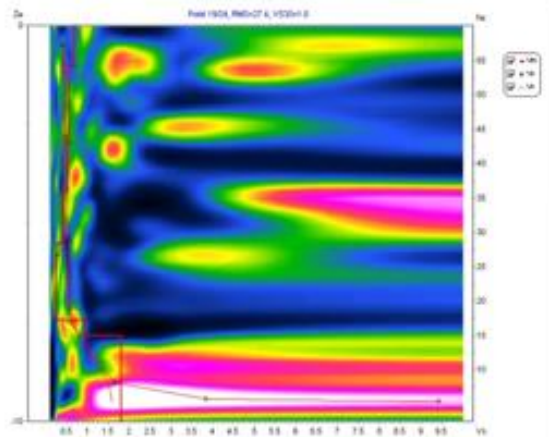
Z (m)	H (m)	Vs (km/s)	Vs (m/s)
0.0	1.0	1.34	1340
1.0	1.1	0.92	920
2.0	1.1	0.90	900
3.1	1.5	0.95	950
4.7	0.5	0.73	730
5.2	0.3	0.32	320
5.5	2.6	0.19	190
8.1	0.4	0.61	610
8.5	0.5	1.76	1760
9.0	*	1.79	1790



RESULTADOS DE Vs POR GEOPONO

EJE 1 - 0+090 - P19 - (VS30 = 1.0 Km/s)

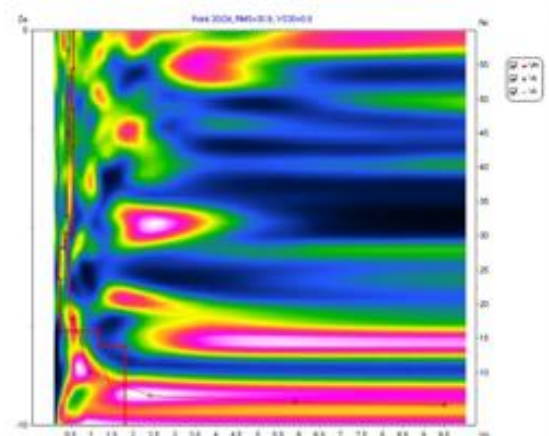
Z (m)	H (m)	Vs (km/s)	Vs (m/s)
0.0	1.0	0.68	680
1.0	1.0	0.55	550
2.0	1.0	0.56	560
3.0	1.2	0.52	520
4.2	1.3	0.40	400
5.5	0.3	0.26	260
5.8	1.6	0.24	240
7.4	0.4	0.93	930
7.8	1.2	1.80	1800
9.0	*	1.80	1800



RESULTADOS DE Vs POR GEOPONO

EJE 1 - 0+095 - P20 - (VS30 = 0.9 Km/s)

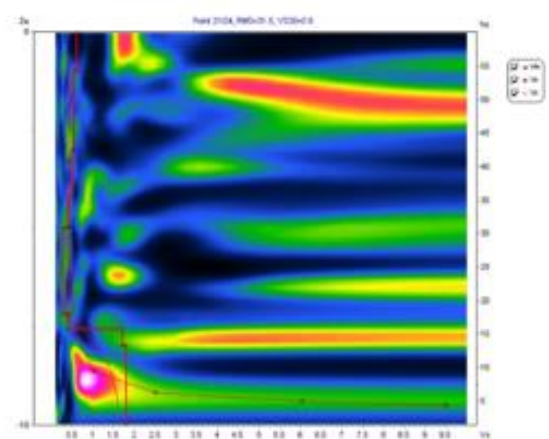
Z (m)	H (m)	Vs (km/s)	Vs (m/s)
0.0	1.0	0.56	560
1.0	1.0	0.52	520
2.0	0.9	0.55	550
3.0	2.2	0.53	530
5.1	0.4	0.33	330
5.5	0.8	0.21	210
6.3	1.3	0.23	230
7.6	0.4	1.18	1180
8.0	1.0	1.80	1800
9.0	*	1.80	1800



RESULTADOS DE Vs POR GEOPONO

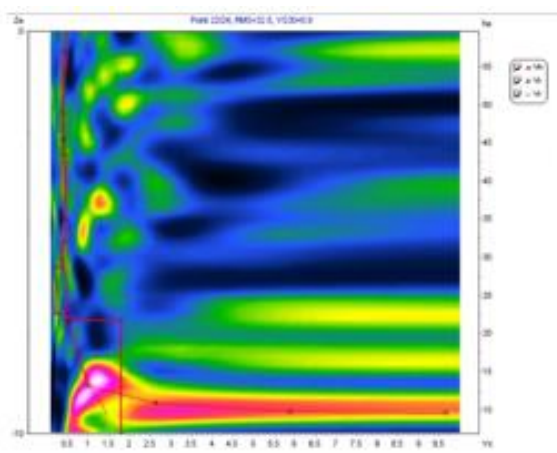
EJE 1 - 0+100 - P21 - (VS30 = 0.9 Km/s)

Z (m)	H (m)	Vs (km/s)	Vs (m/s)
0.0	1.0	0.62	620
1.0	1.0	0.54	540
2.0	1.0	0.54	540
3.0	1.2	0.50	500
4.2	0.8	0.40	400
5.0	2.2	0.25	250
7.2	0.4	0.42	420
7.6	0.4	1.71	1710
8.0	1.0	1.80	1800
9.0	*	1.80	1800



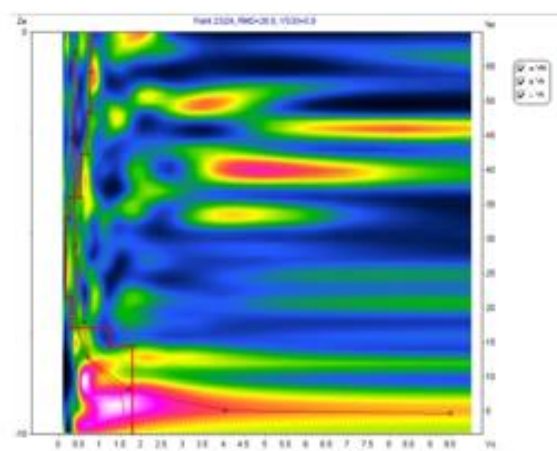
RESULTADOS DE Vs POR GEOPONO
EJE 1 - 0+105 - P22 - (VS30 = 0.9 Km/s)

Z (m)	H (m)	Vs (km/s)	Vs (m/s)
0.0	1.0	0.46	460
1.0	1.0	0.38	380
2.0	1.0	0.41	410
3.1	2.2	0.46	460
5.2	0.6	0.38	380
5.9	1.1	0.22	220
7.0	0.2	0.47	470
7.2	0.6	1.80	1800
7.8	1.2	1.80	1800
9.0	*	1.80	1800



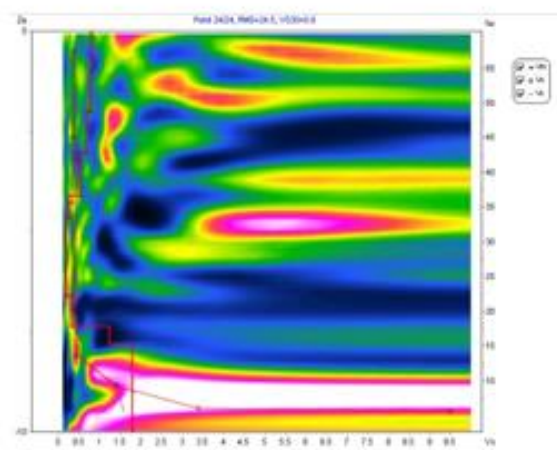
RESULTADOS DE Vs POR GEOPONO
EJE 1 - 0+110 - P23 - (VS30 = 0.9 Km/s)

Z (m)	H (m)	Vs (km/s)	Vs (m/s)
0.0	1.0	0.79	790
1.0	1.0	0.79	790
2.0	1.0	0.70	700
3.0	1.1	0.54	540
4.1	0.5	0.26	260
4.6	2.0	0.18	180
6.6	0.8	0.31	310
7.4	0.4	1.23	1230
7.8	1.2	1.80	1800
9.0	*	1.80	1800



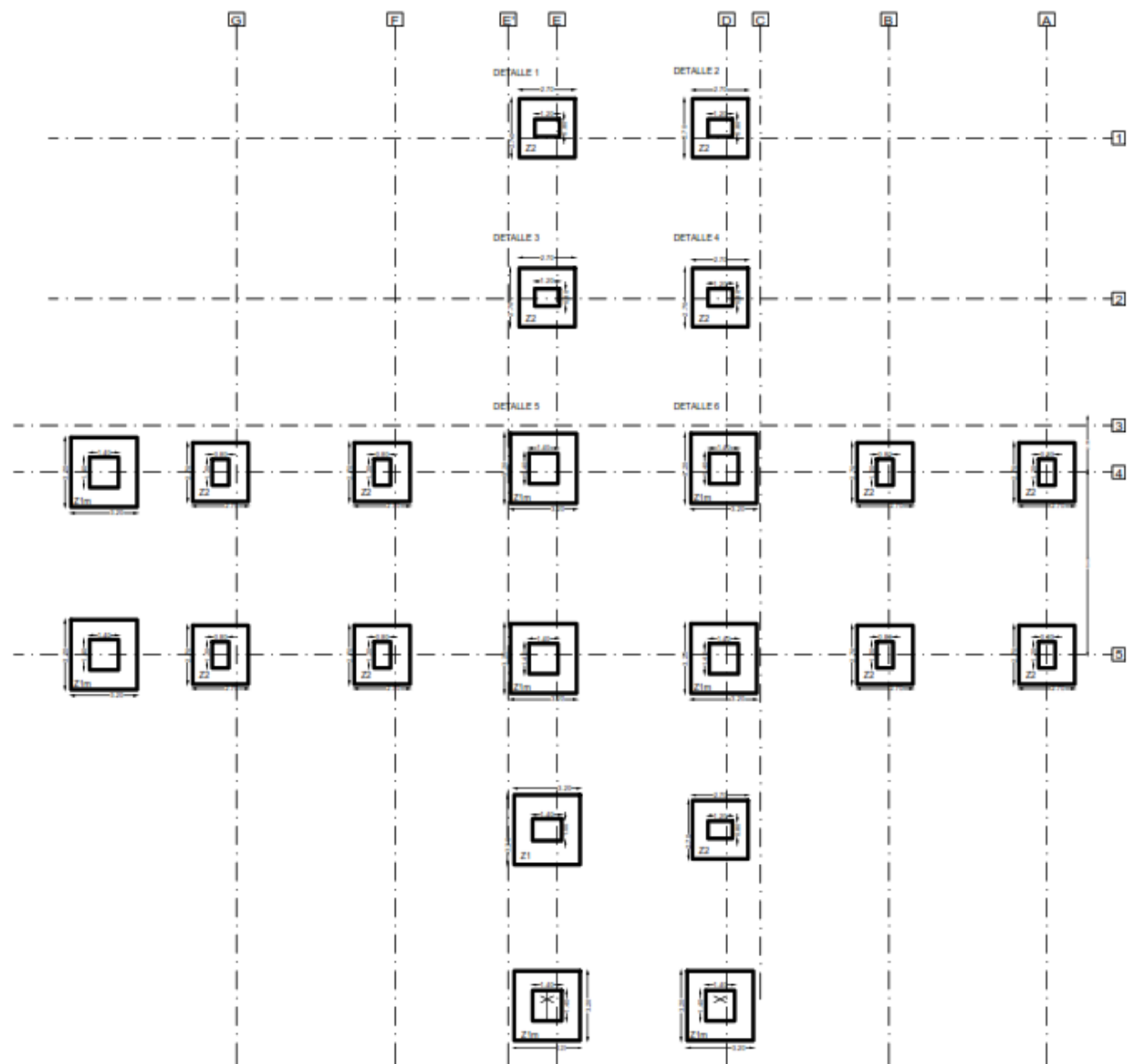
RESULTADOS DE Vs POR GEOPONO
EJE 1 - 0+115 - P24 - (VS30 = 0.9 Km/s)

Z (m)	H (m)	Vs (km/s)	Vs (m/s)
0.0	1.0	0.79	790
1.0	1.0	0.79	790
2.0	1.0	0.70	700
3.0	1.1	0.54	540
4.1	0.5	0.26	260
4.6	2.0	0.18	180
6.6	0.8	0.31	310
7.4	0.4	1.23	1230
7.8	1.2	1.80	1800
9.0	*	1.80	1800



D. PLANOS

PLANOS ESTRUCTURALES - FUNDACIONES (+0.00)



PLANOS

"CONSTRUCCION DEL EDIFICIO DE LA CARRERA DE AGRONOMIA TÉCNICO
SUPERIOR EN EL CENTRO DE INNOVACIÓN AGROTECNOLÓGICA LA BARRANCA"

PLANOS ESTRUCTURALES - PERFIL DE FUNDACIONES Y COLUMNAS

