



UNIVERSIDAD REGIONAL AMAZÓNICA IKIAM

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y AGUA

CARRERA GEOCIENCIAS

**CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA-GEOFÍSICA DEL TERRENO DE
CIMENTACIÓN DE UNA VIVIENDA AGRIETADA: CASO DE ESTUDIO TENA,
ECUADOR**

Proyecto de investigación previo a la obtención del Título de:

INGENIERO EN GEOCIENCIAS

AUTOR: JIMMY EDGAR ERAZO MANITIO

TUTOR: MSc. JORGE RONNY ESPIN CAMPOS

Tena – Ecuador

2024

Unidad de Titulación

Carrera Geociencias

Declaración de derecho de autor, autenticidad y responsabilidad

Tena, 03 de julio de 2024-


De mi consideración:

Yo, Jimmy Edgar Erazo Manitio con documento de identidad 1724444391, declaro que los resultados obtenidos en la investigación que presento en este documento final, previo a la obtención del título "Ingeniero en Geociencias", son absolutamente inéditos, originales, auténticos y personales.

En virtud de lo cual, el contenido, criterios, opiniones, resultados, análisis, interpretaciones, conclusiones, recomendaciones y todos los demás aspectos vertidos en el presente documento, son de mi autoría y de mi absoluta responsabilidad.

Por la favorable atención a la presente, suscribo de usted,

Atentamente,



Firma

Nombres y apellidos: Jimmy Edgar Erazo Manitio

CI: 1724444391

FO-GDC-135-V.1.0

Página 1 de 1

Unidad de Titulación

Carrera Geociencias

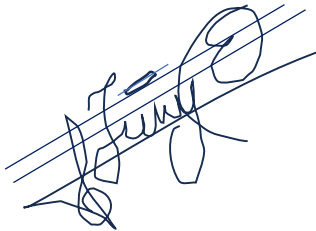
Autorización de publicación en el repositorio institucional

Tena, 03 de julio de 2024

Yo, Jimmy Edgar Erazo Manitio, con documento de identidad 1724444391 en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “Caracterización Geotécnica-Geofísica del terreno de cimentación de una vivienda agrietada: Caso de estudio Tena, Ecuador”, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN, reconozco a favor de la Universidad Regional Amazónica Ikiam una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Así mismo autorizo a la Universidad Regional Amazónica Ikiam para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Atentamente,



Firma

Jimmy Edgar Erazo Manitio

CI: 1724444391

Unidad de Titulación

Carrera Geociencias

Certificado de dirección de trabajo de titulación

Tena, 03 de julio de 2024

Certifico que el trabajo de titulación: "Caracterización Geotécnica-Geofísica del terreno de cimentación de una vivienda agrietada: Caso de estudio Tena, Ecuador", aprobado bajo el mecanismo de titulación de: artículo, fue realizado por Jimmy Edgar Erazo Manitio, bajo mi dirección.

El mismo ha sido revisado en su totalidad y analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto, cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad Regional Amazónica Ikiam, para su entrega y defensa.



Firma Tutor/a

Nombres y apellidos: Jorge Ronny Espín Campos

C.I: 1600488207



Firma Cotutor/a

Nombres y apellidos: José Sebastián Araujo Soria

C.I: 1802672871

NOMBRE DEL TRABAJO

TESIS Jimmy Edgar Erazo Manitio Geociencias.pdf

AUTOR

Jimmy Edgar Erazo Manitio

RECUENTO DE PALABRAS

6229 Words

RECUENTO DE CARACTERES

35551 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

28 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

1.5MB

FECHA DE ENTREGA

Jul 3, 2024 4:30 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jul 3, 2024 4:31 PM GMT-5**● 0% de similitud general**

Esta entrega no coincidió con ningún contenido comparado.

- 0% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 0% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Fuentes excluidas manualmente
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 8 palabras)
- Bloques de texto excluidos manualmente



El escáner de códigos QR muestra por:
ROGER SONNY ESPIN
CAREPOS

Agradecimientos

Con profundo sentimiento, agradezco a Dios, por darme la oportunidad de culminar mis estudios de nivel superior. Agradezco a la vida por darme un padre y una madre que se han dedicado a trabajar como equipo, a tiempo completo y con horas extra para proveer oportunidades a sus 3 hijos que han logrado con éxito finalizar sus estudios de nivel superior. Mis logros no son sólo míos son nuestros papá y mamá. Porque nada de lo que he logrado pudiera haberlo hecho al nivel que logré hacerlo y con la concentración que apliqué sin las atenciones diarias de mi madre quien fue maestra, psicóloga, la mejor chef, entre otras y no menos importantes actividades. Este logro es el resultado del sacrificio que hizo mi padre al dejar sus mejores años de vida trabajando como maestro soldador bajo el intenso e indiferente sol o lluvia, mi padre no titubeo ni desertó, con valor resistió las duras condiciones por eso y mucho más a través de estas palabras abrazo sus tiernos rostros a los que dedico el resultado de toda mi preparación.

Con un corazón rebosante de gratitud incapaz de esconder una sonrisa agradezco a mis profesores, de los que pude aprender mucho y expandir mi mente hasta el punto de transformarme en un hombre diferente, un mejor yo. A mi padrino Daniel Coronel, por extenderme su mano bondadosa en mis momentos de necesidad, a Bryan Valencia y su esposa Angie por compartir conmigo charlas, una cena y un estupendo viaje que me hizo aspirar a nuevas oportunidades. Al profesor Oswaldo Gutiérrez y su esposa Corina Campos por enseñarme a trabajar en equipo y como combinar la flexibilidad con la responsabilidad, de todos mis profesores disfruté aprender Geociencias. He dejado el final para agradecerle a mi tutor Ronny Espín por su dedicación y muy valiosos aportes para este trabajo de investigación, con quien aspiro profundizar más el tema que presentamos.

A mis compañeros por ser parte del camino, en especial a: Raúl, por saberme escuchar, a Yandry por su amistad, a Marcelo haberme apoyado tan desinteresadamente, así como a Melissa con quien disfruto charlar sobre temas que me sacan de onda, pero, casi siempre me agradan. Entre risas por lo mencionado anteriormente agradezco a todo el personal de Ikiam por su cordialidad durante mi estadía como estudiante.

TABLA DE CONTENIDOS

Declaración de derecho de autor, autenticidad y responsabilidad	ii
Autorización de publicación en el repositorio institucional	iii
Certificado de dirección de trabajo de titulación	iv
Reporte de similitud	v
Agradecimientos	vi
INDICE DE FIGURAS	vivi
Resumen	vi
Abstract	vix
1 Introducción.....	1
1.1 Configuración Geológica	2
1.1.1 Formaciones Tena, Napo, Tiyuyacu y depósitos aluviales	3
2 Metodología	4
2.1 Visita Técnica/ Inspección.....	4
2.2 Prospección Geofísica	4
2.3 Geotecnia	5
2.4 Procesamiento de datos.....	6
2.4.1 Tomografía de Refracción Sísmica (SRT)	7
2.4.2 Curva L.....	7
2.4.3 Análisis Multicanal de Ondas superficiales (MASW)	7
2.5 Detección de grietas y fisuras.....	9
3 Resultados	9
3.1 Validación de SRT	9
3.2 Modelo 2D de la onda VP.....	10
3.3 Modelo 2D de la onda VS.....	11
3.4 Calicata	11
3.5 Sondeo manual.....	12
3.6 Grietas y fisuras	13
4 Discusión de Resultados	15
4.1 Perfiles 2D	15
4.2 Diagnóstico	16
4.3 Análisis del Estado de la Pared Adosada	17
5 Conclusión.....	18
6	Referencias

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Pruebas realizadas para obtener el modelo MASW definitivo.....	8
Tabla 2. Resultados de laboratorio y velocidades sísmicas.....	12
Tabla 3. Irregularidades en la pared adosada	14

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Zona de estudio	2
Figura 2 Mapa Geológico.....	3
Figura 2. Sondeo manual.....	5
Figura 3. Calicata y metodología de extracción del núcleo	6
Figura 4. Pasos realizados para la obtención del Modelo MASW	8
Figura 5. Validación de modelo SRT	10
Figura 6. Tomografía de refracción sísmica (SRT)	10
Figura 7. Análisis Multicanal de Ondas superficiales (MASW)	11
Figura 8. Descripción sedimentológica de la calicata	12
Figura 9. Esquema de grietas y fisuras registradas	14
Figura 10. Irregularidades de la pared adosada.....	18

Resumen

Los materiales geológicos de cimentación, suelen ser en algunas ocasiones los responsables de los fallos y deformaciones observadas en las obras de ingeniería civil. Es bien conocido que existen terrenos sobre los cuales las construcciones resultan dificultosas. El presente estudio tiene como fin, investigar las causas de la aparición de grietas y fisuras en una pared adosada de dos viviendas unifamiliares ubicadas en la ciudad de Tena, provincia de Napo. Para esto, mediante métodos Geotécnicos y Geofísicos se realizó una caracterización del suelo empleando: una calicata, un sondeo manual, ensayos de laboratorio, así como la aplicación de los métodos SRT y MASW. Con la información obtenida se pudo conocer las velocidades sísmicas de los estratos y el tipo de suelo. Los resultados obtenidos permitieron concluir que las causas del agrietamiento en las paredes adosadas se deben a: asentamientos diferenciales, presencia de altos índices de plasticidad, y posiblemente a la influencia de un estrato que posee valores bajos de VS ubicado a 4 m de profundidad.

Palabras clave

Grietas, MASW, SRT, SUCS, asentamientos diferenciales

Revista: LA GRANJA, REVISTA DE CIENCIAS DE LA VIDA

Abstract

Geological foundation materials are often responsible for failures and deformations observed in civil engineering works. It is well known that there are terrains on which construction is challenging. This study aims to investigate the causes of cracks and fissures in an adjoining wall of two single-family homes located in the city of Tena, in the province of Napo. For this purpose, geotechnical and geophysical methods were used to characterize the soil, employing a test pit, a manual borehole, laboratory tests, as well as the application of the SRT and MASW methods. The information obtained allowed us to determine the seismic velocities of the strata and the type of soil. The results obtained led to the conclusion that the causes of the cracking in the adjoining walls are due to: differential settlements, the presence of high plasticity indices, and possibly the influence of a stratum with low VS values located at a depth of 4 meters.

Key words

Cracks, soil characterization, MASW, SRT, USCS, differential settlements

CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA-GEOFÍSICA DEL TERRENO DE CIMENTACIÓN DE UNA VIVIENDA AGRIETADA: CASO DE ESTUDIO TENA, ECUADOR

1 Introducción

Las características del terreno juegan un rol importante a la hora de recibir cargas de la infraestructura, y dependiendo de las mismas se condiciona su comportamiento. Varios investigadores han dado a conocer los tipos de suelo que suelen causar daños a la infraestructura, por ejemplo: suelos colapsables (Anwar y Sarbast, 2019; Lawton, Fragaszy & Hetherington, 1994), suelos expansivos (Zumrawi y Zumrawi, 2013) así como la licuefacción de suelos (Andrus et al., 1999; Wang *et al.*, 2016). Desde tiempos remotos, hasta el presente se han observado grandes problemas por asentamientos diferenciales (Burland, Jamiolkowski y Viggiani, 1998; Salamatpoor, Jafarian y Hajiannia, 2019) por lo que para evitar problemas durante o después de concluir la construcción de infraestructuras cada país establece normas de construcción.

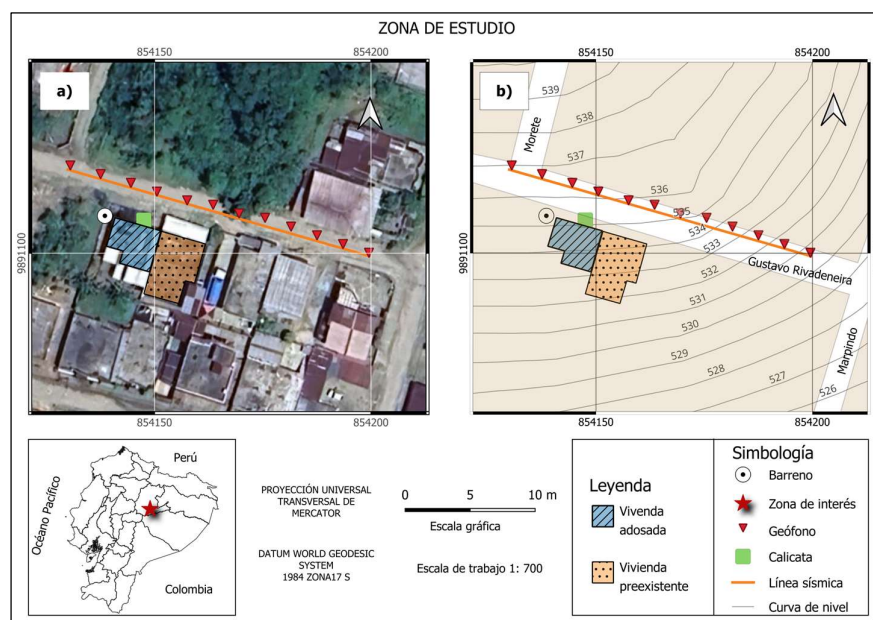


Figura 1. Zona de estudio. Las figuras a) y b) señalan los análisis realizados en la zona de estudio ubicada en la Provincia de Napo – Ecuador. En la figura a) se observa que tanto la calicata como el barreno manual se realizaron alejados de la línea sísmica, la separación de las perforaciones respecto a la línea sísmica fue de 3 m medidos de forma perpendicular a esta. En la figura a) se puede apreciar con la imagen satelital el adosamiento entre la vivienda adosada de color azul y la vivienda preexistente de color naranja. En la figura b) las curvas de nivel permiten apreciar que la topografía de la zona va desde 526 a 539 m.s.n.m. La figura se elaboró en QGIS (2024) con imágenes de Google Earth (2024).

En Ecuador el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda y la Cámara de la Industria de la Construcción (2014) establecieron la Normativa Ecuatoriana para la Construcción (NEC) donde se dictamina que se debe realizar estudios geotécnicos, sin embargo, gobiernos municipales encargados de regular las construcciones en las ciudades, no solicitan dichos estudios como un requisito obligatorio para todo tipo de construcción. En el cantón Tena sólo se exigen estudios de suelo para construcciones con altura igual o superior a los 3 pisos de elevación (GAD Municipal de Tena, 2023). Esto ocasiona que los constructores no posean información general ni precisa de: la resistencia admisible del suelo, asentamientos, o características físicas y mecánicas. Sowers (1993) tras estudiar 500 fallos de cimentación demostró que el 88 % de estos se debían a errores humanos y sólo el 12 % a la falta de tecnología. La inversión que se debe dedicar para realizar estudios geotécnicos puede bordear un 10 % del costo total de la infraestructura, esto según la relevancia de la obra (González de Vallejo *et al.*, 2002).

En la ciudad de Tena a inicios del 2020 (Figura 1) se construyó una vivienda adosada a una vivienda preexistente. Las dos viviendas son de hormigón armado y están cimentadas en un terreno que posee una pendiente 10° en. Al cabo de dos meses de finalizar la construcción de la vivienda adosada se empezaron a observar grietas y fisuras en la junta de las paredes vecinas. Por lo tanto, el presente trabajo se enfocó en analizar las posibles causas asociadas al suelo que pudieran favorecer la aparición de grietas y fisuras, sin embargo, no se descarta que la parte estructural de las viviendas pudo haber tenido una aportación adicional.

1.1 Configuración Geológica

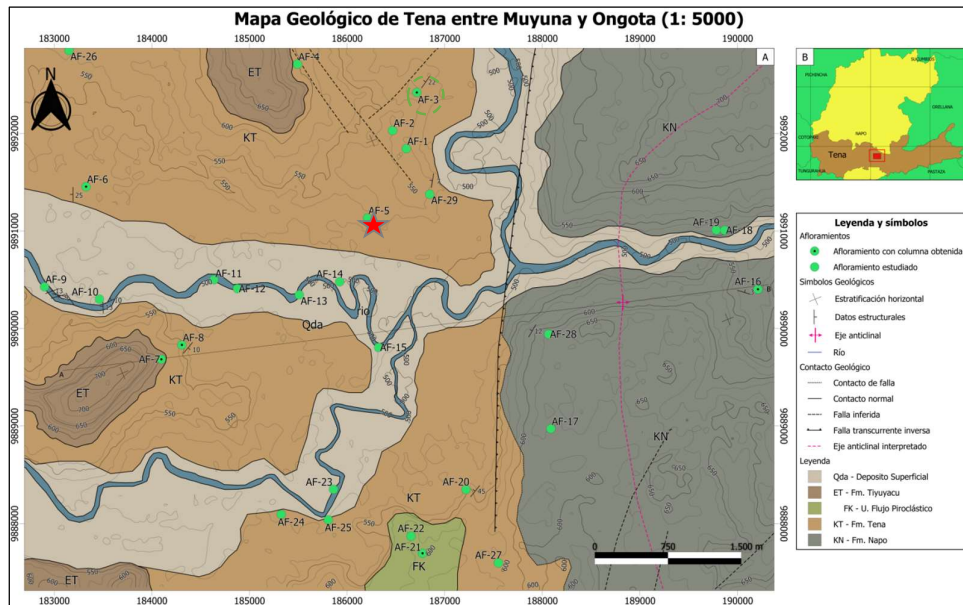


Figura 2. De acuerdo con el **Mapa geológico** actualizado por Abarca (2022) la zona de estudio, representada con una estrella roja, está rodeada principalmente por las formaciones Tena, Napo y Tiyuyacu, además de depósitos aluviales, el círculo verde representa el sitio mencionado en la discusión.

1.1.1 Formaciones Tena, Napo, Tiyuyacu y depósitos aluviales

Descritas por Brito Villarroel (1985), INEMIN (1986) y discutidas por Abarca (2022) se dice que la formación Tena se compone de areniscas conglomeráticas de grano grueso de color gris en su parte basal, en la parte media estas están intercaladas con limolitas y arcillolitas rojo claro que al aflorar intensifican el color rojo, esta formación posee una textura suave y lanosa. La formación Napo por otro lado se compone de areniscas, calizas y lutitas de color negro, gris verdoso y gris claro, esta formación posee se una textura gruesa y dispareja. La formación Tiyuyacu se caracteriza por conglomerados de cuarzo y chert en una matriz areno-limosa color pardo rojizo y café amarillento, esta formación posee una textura gruesa y rugosa. Finalmente se menciona que los depósitos aluviales se componen de gravas, arenas, limos y arcillas.

2 Metodología

2.1 Visita Técnica/ Inspección

Se realizó una visita para evaluar el caso, verificándose la presencia de fisuras en las paredes, además de la falta de profundidad en los cimientos por parte de la vivienda adosada. La información obtenida se sintetizó para proceder a realizar sus respectivos esquemas en los que se muestren: la longitud de las grietas y su respectiva inclinación.

2.2 Prospección Geofísica

Considerando las directrices para la buena práctica del análisis de ondas superficiales (Foti et al., (2018)). En el mes de diciembre de 2022, se llevó a cabo una línea sísmica de 60 m de largo con la finalidad de obtener los perfiles en dos dimensiones (2D) de las ondas VP (velocidad de compresión), y VS (velocidad de corte). La longitud de mencionada se estableció con la finalidad de obtener datos con una profundidad igual o menor a 20 m. El estudio geofísico se realizó con el sismógrafo Geometrics ES-3000 OS al cual se conectaron 12 geófonos de frecuencia natural de 4.5 Hz, ya que estos alcanzan una profundidad mayor en comparación a los geófonos de alta frecuencia (10- 14 Hz). Para alcanzar la longitud propuesta, los geófonos se ubicaron de forma equidistante, cada 5 m. Se configuró la grabación de las secciones sísmicas para que duraran 2 s cada una. Para generar ondas sísmicas, se empleó un mazo de 6 kg que impactó sobre una placa de aluminio de 3 cm espesor, entre los geófonos cada 2.5 m. Los datos obtenidos se emplearon para desarrollar la tomografía de refracción sísmica (SRT) y el análisis multi canal de ondas superficiales (MASW).

La Tomografía de Refracción Sísmica, conocida también como *Seismic Refraction Tomography* (SRT), consiste en la detección y registro de ondas primarias (VP) a través del material terrestre después de haberse generado señales sísmicas en diferentes puntos, empleando un martillo (Hayashi y Takahashi, 2001). Para obtener un modelo sísmico consistente con las observaciones en campo, Rawlinson et al. (2010) menciona que el método requiere de la resolución del problema inverso.

El Análisis Multicanal de Ondas Superficiales, conocido como *Multi-Chanel Analysis of Surface Waves (MASW)* se basa en el análisis de las propiedades dispersivas de las ondas de Rayleigh (Aki y Richards, 1980). El MASW consiste en registrar ondas superficiales generadas con un martillo a través de un arreglo lineal de geófonos, aplicar una transformada de Fourier a los datos, obtener la curva de dispersión (relación entre velocidad de fase y frecuencia) y resolver el problema inverso para finalmente obtener el perfil de velocidad de la onda VS (Park, Miller y Xia, 1999).

2.3 Geotecnia



Figura 2. Sondeo manual. a) Uso del barreno manual, las flechas blancas representan los movimientos circulares y las flechas azules la dirección de empuje. b) Extracción y organización de muestras, el orden de extracción va de izquierda a derecha. c) Muestras enviadas para el análisis SUCS, la selección de las muestras se hizo conforme a los cambios de color que presentaba cada estrato.

Con el objetivo de correlacionar la información geofísica con la información geológica, se realizaron investigaciones in situ, lo cual consistió en realizar un sondeo manual (Figura 2) que llegó a 3.70 m de profundidad y una calicata (Figura 3) que llegó a 1.80 m de profundidad. Producto del sondeo, se seleccionaron 4 muestras que se enviaron al laboratorio para realizar la clasificación de suelo conforme al Sistema Único de

Clasificación de Suelos SUCS (ASTM, 2000), para determinar el porcentaje de humedad natural (w) se empleó la norma ASTM-D-2216-98 (1998) y el Índice de Plasticidad (IP) conforme a lo establecido en la ASTM International (2010). Como resultado de la calicata se obtuvo un núcleo en donde se visualizan los estratos de forma continua.

La descripción de la calicata se realizó mediante procedimiento manual y visual conforme a la norma ASTM (2009) en la que se emplea: el nombre del grupo, seguido de su acrónimo; porcentaje de gravas, arenas o finos según quien predomine; angularidad de las partículas; tamaño máximo; plasticidad; color y comentarios adicionales que se consideren relevantes como por ejemplo la presencia de raíces problemas de desprendimiento de las paredes de la calicata o dificultad para excavar. La norma mencionada emplea el termino de suelo para partículas inferiores a 75 mm.

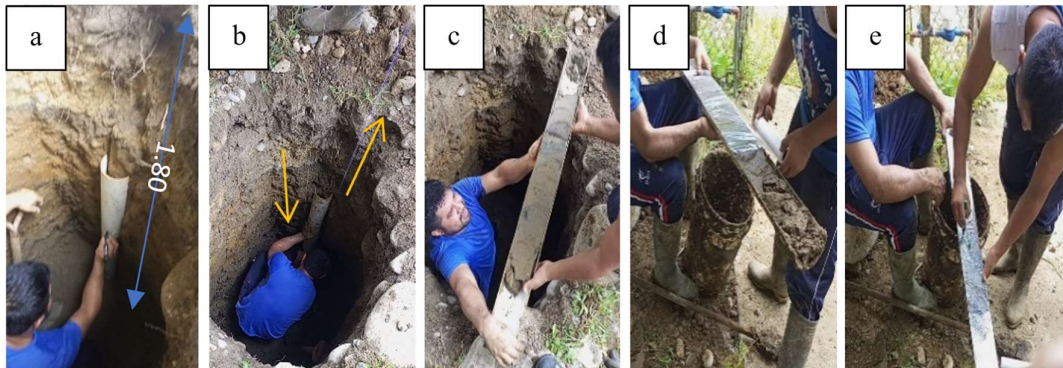


Figura 3. Calicata y metodología de extracción del núcleo. a) Profundidad de la calicata, etiquetado de la muestra y registro de información. b) Empotramiento del tubo PVC y corte con hilo nylon, las flechas indican el sentido del nylon. c), d) Extracción y embalado. e) Dirección del sentido de extracción. La presencia de agua a 1.80 m de profundidad ocasionó que sea imposible continuar con la extracción del núcleo a más profundidad.

2.4 Procesamiento de datos

Los análisis geofísicos se llevaron a cabo utilizando el paquete integral de computación de “SeisImager” (Geometrics Inc, 2009) Para la Tomografía de Refracción Sísmica (SRT).. Para realizar el método MASW Wizard se empleó el software Surface Wave Analysis, con el cual fue necesario realizar 14 modelos hasta lograr reducir al máximo el valor del RMS.

2.4.1 Tomografía de Refracción Sísmica (SRT)

Como paso previo a obtener el modelo a priori se limpió el ruido de las ondas de llegada en el software Pickwin, una vez limpios los datos, se cargaron al software Plotrefa de Geometrics Inc. (2009) junto con el modelo de elevación de la zona de estudio. El modelo a priori se estableció inicialmente con una profundidad de 20 m con velocidades de 0.1 a 3 km/s, sin embargo, debido a que no se obtuvo datos a esa profundidad, tras realizar varias pruebas, en las que se varió la profundidad, así como las velocidades máximas y mínimas, se determinó el modelo a priori con una profundidad de 15 m junto a velocidades de 0.4 a 2 km/s. Una vez que se obtuvo el modelo a priori se procedió a realizar la tomografía con 50 iteraciones, 8 nodos, 2 fases de suavizado horizontal, 1 fase de suavizado vertical y 10 capas de suavizado.

2.4.2 Curva L

La curva L propuesta por Hansen (1992) se fundamenta en la regularización de Thikhonov. Esta herramienta gráfica permite encontrar el valor óptimo del parámetro de regularización horizontal mediante la elección del punto de máxima curvatura similar a la esquina de una L. Por esta razón, con el modelo a priori se elaboraron 5 tomografías en las que se varió el parámetro de regularización desde 0.1 hasta 0.5. La raíz cuadrática media (RMS) obtenida de cada modelo se procesó en Octave (Eaton, 2007), tal como lo hizo Araujo *et al.*, (2023a), empleando 3 normas diferentes y su correspondiente gráfica de convergencia de RMS, para determinar el valor óptimo de la curva L Figura 5.

2.4.3 Análisis Multicanal de Ondas superficiales (MASW)

Las ondas de llegada que se limpiaron previamente fueron insertadas en el software “Surface Wave Analysis Wizard” (Geometrics Inc, 2009). Para llevar a cabo este método se requería conocer la velocidad de fase, por lo que se emplearon las ecuaciones (1) (Stokoe *et al.*, 1994 ; Moura *et al.*, 2015) y (2) (Stein y Wyession, 2003), obteniendo 1.1 km/s de V_{fase} , con este valor se realizaron 14 modelos, variando el filtrado de frecuencias en la curva de dispersión y el parámetro de regularización, tal como se muestra en la Figura 4 y la Tabla 1.

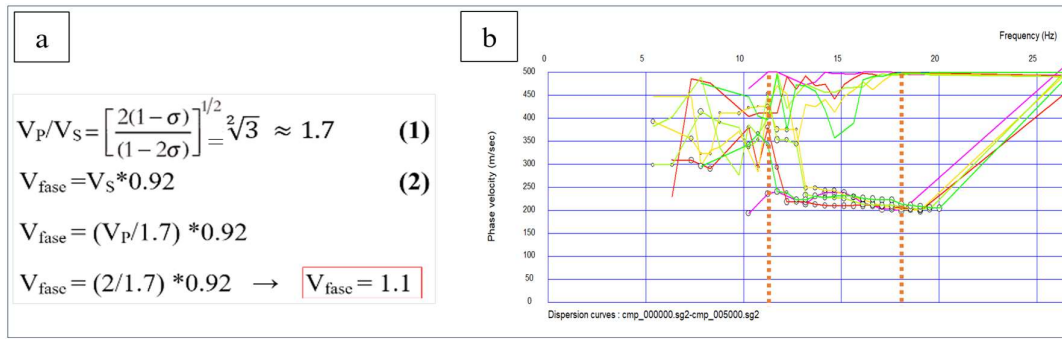


Figura 4. Pasos realizados para la obtención del Modelo MASW. a) Cálculos para obtener la velocidad de fase. b) Curva de dispersión, la imagen muestra el rango con el que se estableció el modelo definitivo, el cual se encuentra entre las líneas verticales entrecortadas de color naranja. Elaborado con *Surface Wave Analysis Wizard* de SeisImager (Geometrics Inc, 2009).

Tabla 1. Pruebas realizadas para obtener el modelo MASW definitivo

M	PR	Rango	RMS (m/s)
1	0.1	6 – 17	17.92
2	0.2	6 – 17	18.02
3	0.3	6 - 17	18.94
4	0.1	7 – 17	18.15
5	0.2	7 – 17	19.04
6	0.3	7 - 17	15.71
7	0.1	9 – 17	16.07
8	0.2	9 – 17	16.60
9	0.3	9 - 17	10.93
10	0.1	11 – 17	10.56
11	0.2	11 - 17	10.93
12	0.1	12 - 17	10.53
*13	0.1	12.4 – 17	8.42
14	0.1	12.4 - 17	8.56

M es el número del modelo realizado y PR es el parámetro de regularización. El modelo *13 obtuvo el

menor RMS posible por lo cual se estableció como modelo definitivo.

2.5 Detección de grietas y fisuras

Con el fin de señalar y clasificar las irregularidades (grietas/fisuras) en la pared adosada, se tomaron datos de longitud, ángulo de inclinación y abertura de las irregularidades. Se asumió, que si la irregularidad atraviesa la pared por completo es considerada grieta, y fisura cuando no atraviesa toda la pared. El ángulo de inclinación se midió de acuerdo a Flah et al. (2020). Y la abertura fue tomada, como la distancia perpendicular que existe entre los bordes de cada irregularidad. Finalmente, para conocer el estado de afectación de la estructura, se empleó el código norteamericano para estructuras de hormigón armado, el cual presenta un intervalo admisible de abertura entre 0.1 y 0.4 mm (Townsend, 1981) y la guía rápida de evaluación de daños de López et al. (2024)

3 Resultados

3.1 Validación de SRT

De las 3 diferentes normas usadas para encontrar la curva L, sólo la norma L2, conocida como norma euclídea permitió encontrar el parámetro de suavizado que como se señala con la flecha azul fue de 0.5 el cual, una vez utilizado como parámetro de entrada en la gráfica de convergencia de RMS muestra que el suavizado converge correctamente al alcanzar 50 iteraciones (Figura 5).

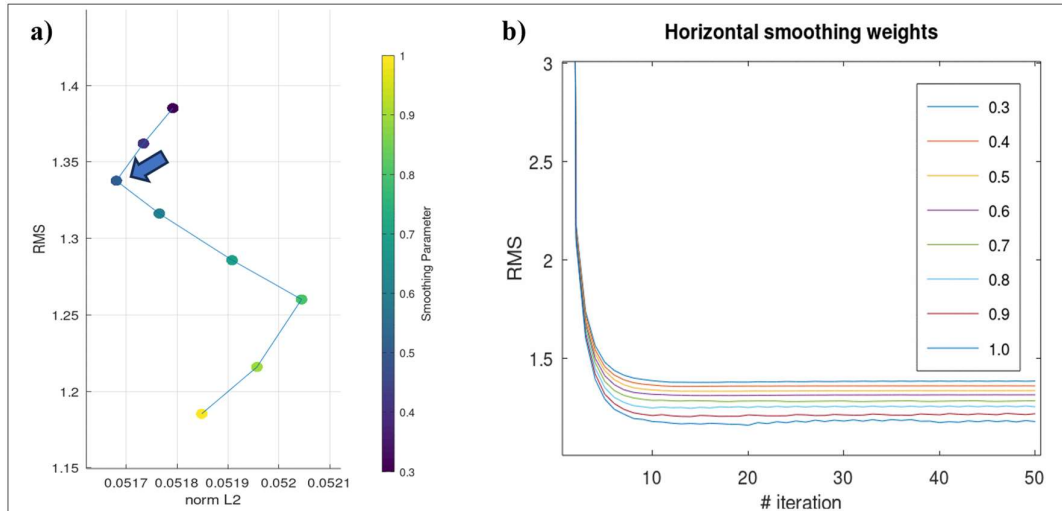


Figura 5. Validación de modelo SRT. a) La Curva L muestra el valor del parámetro de suavizado horizontal con el que se obtiene el modelo óptimo de la SRT. b) Gráfica de convergencia, se emplea como una comprobación que valida el resultado de la curva L. Elaborado con Octave 7.1.0 GUI (Eaton, 2007).

3.2 Modelo 2D de la onda VP

La **Figura 6** muestra el modelo 2D definitivo de la onda VP, donde se incluye el sondeo, la calicata, y la correlación interpretada entre ellos. Los valores de la onda VP están entre 0.45 km/s a 1.66 km/s desde la superficie hasta alcanzar 5 m de profundidad. Además, producto de la correlación de información se delimitaron 5 estratos, cada una con su respectivo rango de velocidades.

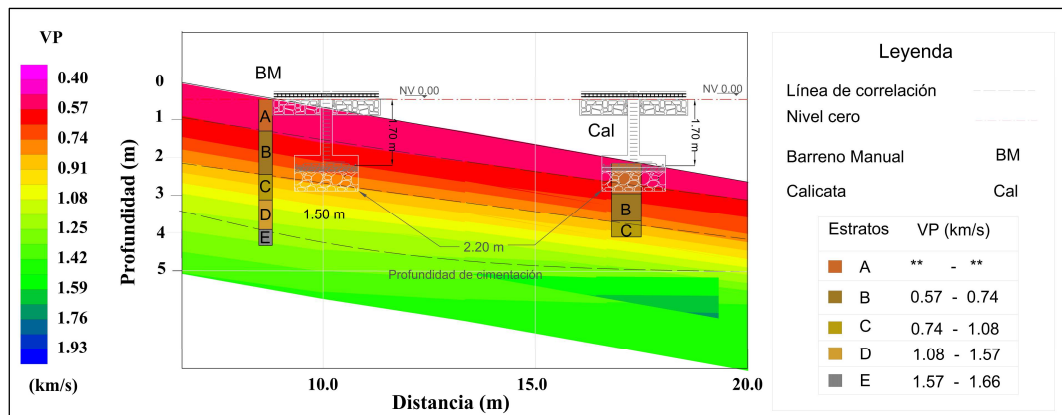


Figura 6. Tomografía de refracción sísmica (SRT). La imagen abarca los primeros 20 m de longitud total y 5 m de profundidad de la línea sísmica, esto se hizo con la finalidad de hacer énfasis en el sitio donde se ubican las cimentaciones y la profundidad que se logró alcanzar con la SRT. Elaborado con Plotrefa de SeisImager (Geometrics Inc, 2009) y AutoCAD 2023 (Autodesk Inc., 2023).

3.3 Modelo 2D de la onda VS

La **Figura 7** Muestra el modelo 2D de la onda VS, al igual que en la **Figura 6**, incluye el sondeo y la calicata manual. La onda VS muestra valores entre 0.15 km/s a 0.49 km/s. Se evidencia un descenso abrupto de la onda VS cercano a 4 m de profundidad. Los perfiles de velocidades de las ondas VP y VS no presentan una variación significativa respecto al eje horizontal.

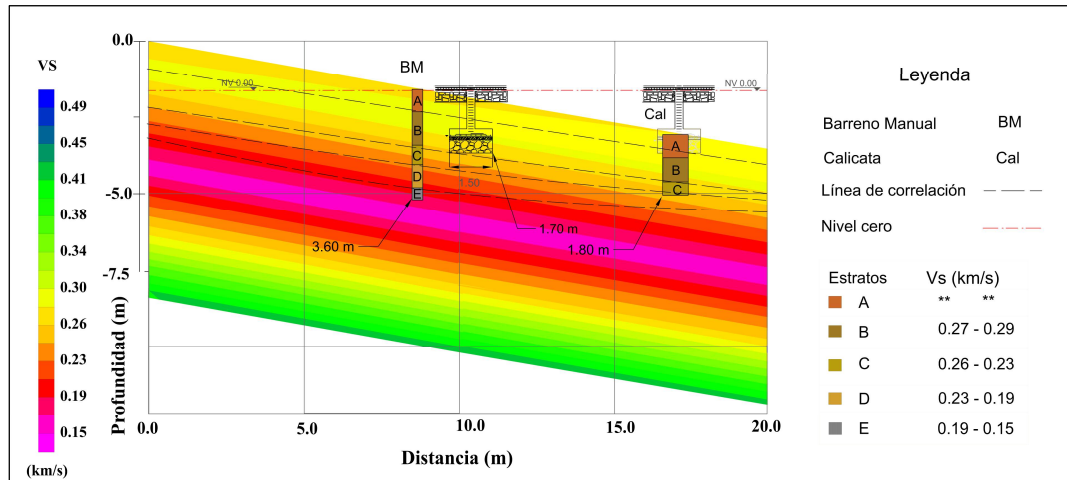


Figura 7. Análisis Multicanal de Ondas superficiales (MASW). La imagen abarca los primeros 20 m de longitud total de la línea sísmica y la profundidad máxima que se alcanzó con este método, la cual es cercana a 7.5 m de profundidad. Elaborado con Plotrefa de SeisImager (Geometrics Inc, 2009) y AutoCAD 2023 (Autodesk Inc., 2023).

3.4 Calicata

En la **Figura 8** se observan 3 estratos con su respectiva descripción geotécnica, al lado izquierdo se incluye una fotografía del núcleo que se extrajo de la calicata. Es importante señalar el estrato A se definió como material antrópico, mas no como relleno estructural, pese a ello se adjunta su correspondiente descripción visual manual.

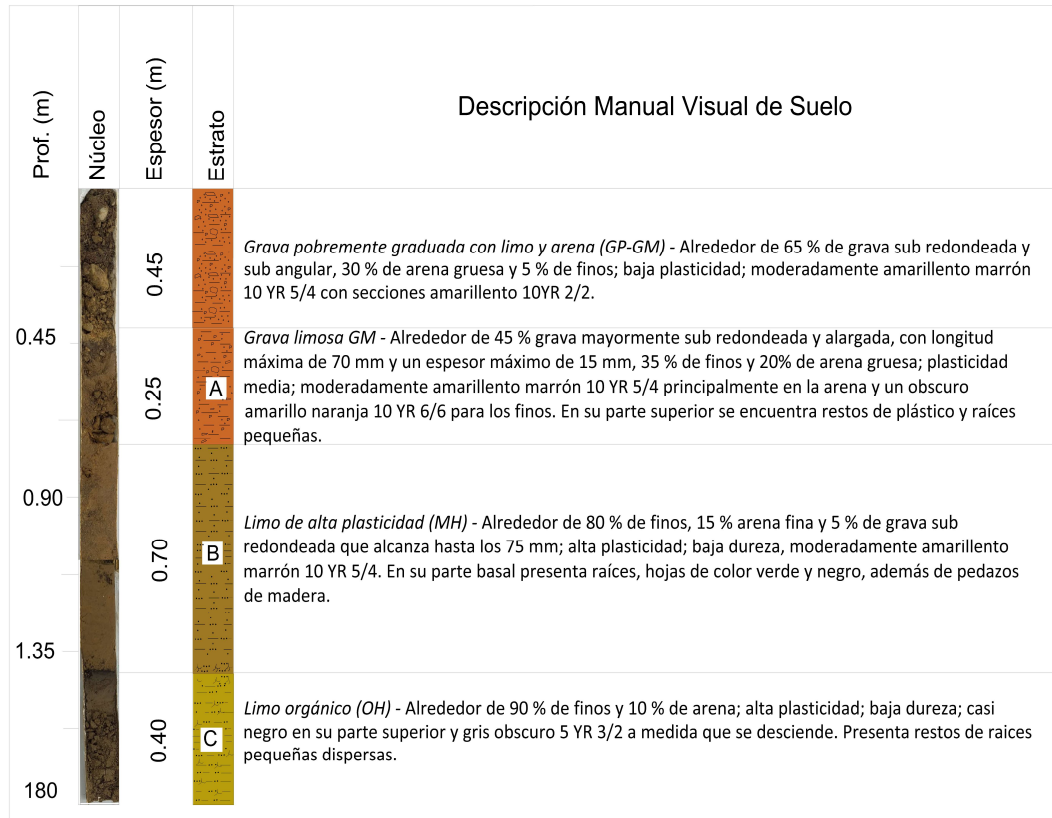


Figura 8. Descripción sedimentológica de la calicata. Elaborado con AutoCAD 2023.

3.5 Sondeo manual

La **Tabla 2** contiene los resultados de las muestras que se enviaron al laboratorio, de las cuales se obtuvo: la correspondiente clasificación SUCS, el índice de plasticidad (IP) y porcentaje de humedad natural. La tabla incluye además los rangos de las velocidades VP y VS que se obtuvieron a partir de las figuras 6 y 7 para cada estrato. Como dato complementario también se incluyen los promedios de las velocidades mencionadas.

Tabla 2. Resultados de laboratorio y velocidades sísmicas

Profundidad (m)	Espesor (m)	Estrato	Muestra	Clasificación SUCS	Índice de Plasticidad	VP (km/s)	VP Promedio (km/s)	VS (km/s)	VS Promedio (km/s)	W
0.50	0.80	A			**	**	**	**	**	**
1.00	1.30	B	M1	MH	78	0.57 - 0.74	0.55	0.27 - 0.29	0.28	91
2.00	0.55	C	M2	OH	33	0.74 - 1.08	0.91	0.26 - 0.23	0.25	94
2.50	0.65	D	M3	OH	28	1.08 - 1.57	1.33	0.23 - 0.19	0.21	53
3.50	0.4	E	M4	ML	4	1.57 - 1.66	1.62	0.19 - 0.15	0.17	29

Elaborado con AutoCAD 2023.

3.6 Grietas y fisuras

Producto de la inspección a la parte interna de las 2 viviendas se obtuvo un esquema de las grietas y fisuras presentes en la pared adosada de la vivienda preexistente, donde se incluye: el tamaño y su correspondiente inclinación (Tabla 3 y Figura 9). El resultado arrojado son 14 irregularidades (grietas y fisuras) en total, 7 grietas y 7 fisuras. Para las irregularidades que mostraban la misma inclinación se empleó el mismo acrónimo (A, B etc.).

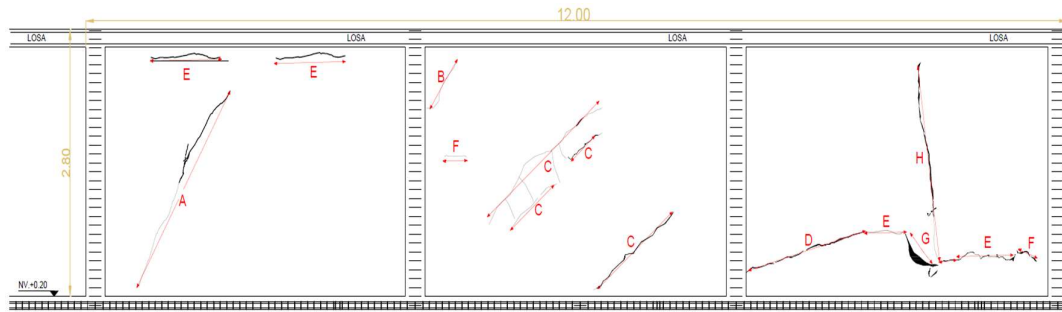


Figura 9. Esquema de grietas y fisuras registradas. El esquema representa de forma espacial las irregularidades encontradas, las líneas rojas representan la longitud e la inclinación. También se observa como varios acrónimos se repiten, esto se debe a que ciertas irregularidades poseen una inclinación igual o cercana. Elaborado con AutoCAD 2023.

Tabla 3. Irregularidades en la pared adosada

Núm.	ID	In °	Lon (cm)	Abertura (mm)	Tipo	Daño
1	A'	33	255	0.1 – 0.3	grieta	moderado
2	B'	37	70	0.2	fisura	leve
3	C'	53	215	0.2 – 0.4	grieta	leve
4	C'	53	84	0.1	fisura	leve
5	C'	53	46	0.3	grieta	leve
6	C'	53	144	0.3 – 1.3	grieta	moderado
7	D'	76	185	0.5 – 1.3	grieta	moderado
8	E'	89	65	0.1	fisura	leve
9	E'	88	87	0.1 – 0.2	fisura	leve
10	E'	89	109	0.2	fisura	leve
11	E'	89	109	0.2	fisura	leve
12	F'	85	31	0.1	fisura	leve
13	G'	45	48	0.5 - 5	grieta	severo
14	H'	9	222	0.1 – 1.2	grieta	moderado

ID representa el tipo de grieta, se repite cuando ésta presente la misma inclinación (In) que se mide en grados. Lon representa la longitud.

4 Discusión de Resultados

4.1 Perfiles 2D

A pesar de que inicialmente se planteó obtener datos con una profundidad de 20 m, la sobre estimación propuesta en un principio permitió obtener una profundidad de 8 m que fue suficiente para determinar de forma indirecta cómo se acomodan los estratos y la resistencia que estos poseen. Es importante explicar que los resultados las figuras 6 y 7 abarcan una distancia en el eje x desde el punto 0.0 al 20.0, ya que como se menciona en la metodología la longitud total de la línea sísmica fue de 60 m y este estudio pretende situar su enfoque en el lugar de las cimentaciones, también es necesario mencionar que las velocidades VS y VP en el estrato A, no fueron tomadas en cuenta, debido a que dicho estrato corresponde a un relleno compactado, el cual forma parte de la conformación de la vía. Al analizar las líneas de correlación (Figura 6) obtenidas a partir de los resultados de las perforaciones (barreno manual y calicata) y el modelo 2D de la onda VP, se puede considerar que se obtuvo una aproximación muy cercana al ordenamiento de los estratos. No obstante, al analizar el modelo 2D de la onda VS (Figura 7) no se logró identificar espesores que coincidan con los contactos señalados por las líneas de correlación obtenidas en la figura 6, no se descarta una falta de resolución en la imagen, la cual se podría mejorar aumentando al doble el número de geófonos en la misma distancia (Foti et al., 2018). El hecho de que el perfil de la onda VS no coincida con el arreglo stratigráfico, puede deberse a que el método más adecuado para hacerlo sea el SRT como lo indican Babacan et al., (2014), Sarkar et al., (2021) y Araujo et al., (2023). Por el contrario, el método MASW que se emplea generalmente en la ingeniería de cimentaciones y mecánica de suelos (Babacan et al., 2014) con el cual se obtiene la resistencia del suelo de manera indirecta (Jafri et al., 2018) lo cual, como se observa en la figura 7 parece ser independiente del espesor stratigráfico. Autores como Gonfa, Tamiru, and Tesema, (2018) mencionan la importancia que tiene para la planificación de construcciones de estructuras civiles el análisis de la onda VS ya que con este se puede caracterizar la rigidez del suelo.

4.2 Diagnóstico

Debido a que los resultados de los análisis geotécnicos (análisis de laboratorio y calicata) llegan a la misma clasificación de suelos, se puede emplear los mismos términos para todo el análisis, en la tabla 2 se agrupan todos los datos obtenidos. Además, se muestra como a pesar de que los estratos B y C poseen las VS más altas (mayor resistencia), también poseen los IP más altos, con 78 y 33% respectivamente. Al comparar con los criterios de Asuri and Keshavamurthy, (2016) Mehra, (2007) Chen, (1975) y Holtz and Gibbs, (1956) se infiere que los estratos B y C poseen un potencial de expansión de suelo muy alto, seguidos del estrato D que posee un potencial de expansión alto, lo cual contribuye a la variación del volumen del suelo, con excepción del estrato E que tiene un bajo potencial de expansión.

Se puede ver en la Figura 6 como los cimientos están sobre diferentes estratos, es decir, el cimiento de la izquierda está sobre el estrato C, a lado del barreno manual con una VP en promedio de 0.25 km/s. A diferencia del cimiento de la derecha que se encuentra sobre el horizonte de A y B, al lado de la de la calicata, con una VP promedio de 0.28 km/s, en la imagen 6 se puede apreciar como el estrato B principalmente está recibiendo la carga. Debido a que las cimentaciones están sobre diferentes estratos es necesario observar la figura 7 para cuantificar la variación de resistencia de suelo a través del análisis de la onda VS. Para determinar los rangos de la onda VS se emplearon los límites estratigráficos establecidos en la figura 6, con los cuales se determinó la VS promedio de cada estrato. Es por eso que al analizar la figura 7 se determina que el cimiento de la izquierda posee una VS promedio de 0.25 km/s y el cimiento de la derecha una VS de 0.28 km/s. Además, en la figura se evidencia claramente la existencia de una zona con un valor de VS = 0.15 km/s, lo cual significa que el material geológico posee resistencia muy blanda aproximadamente a 4 m de profundidad, cabe recalcar que el barreno no logró profundizar más debido a un estrato de arena gruesa ubicado a 3.60 m de profundidad. Es posible que el estrato que no se logró superar sea el estrato reportado por Abarca (2022), ya que al revisar su columna estratigráfica en el punto AF-3 (Figura 2) sus datos coinciden con los de esta investigación, este estrato considerado muy blanco por el análisis geofísico puede aportar a las inestabilidades en las viviendas analizadas.

De acuerdo a Mazariegos de la Serna, (2015) en zapatas aisladas la profundidad de influencia de la carga que soportan las zapatas es de 1.5 a 2 veces su anchura, esto es similar al modelo del bulbo de tensiones propuesto por Hunt, (1984). Por esta razón, se considera que parte de la carga de la estructura está alcanzando la zona de resistencia muy blanda ($V_S = 0.15$). De acuerdo con el modelo inicial que propone Eslami (2018), al tener construcciones adosadas los bulbos de tensiones generados por zapatas aisladas que soportan cargas desiguales y que no poseen la distancia correcta podrían entrar en interferencia provocando que la cimentación de la zapata más débil ceda en dirección de la zapata con mayor carga. A esto, Salamatpoor, Jafarian y Hajiannia (2019) proponen que para cimentaciones adosadas una zapata de cimentación antigua se inclinará en dirección de la nueva, generando afectaciones similares a las del presente estudio.

4.3 Análisis del Estado de la Pared Adosada

Las grietas con mayor longitud detectadas in situ son de tipo diagonal, Abbas and Abdelgowad, (2024) Burland and Wroth (1974) mencionan que la deformación por cizallamiento con agrietamiento en paredes se debe a la deformación por tracción diagonal, es por eso que al analizar las grietas y fisuras de la pared adosada que se muestran en la Tabla 3, se puede ver que en las irregularidades de tipo A', B', C' y G' existe una tendencia de inclinación cercana a los 45° , similares a las de Tjandra et al., (2021), (Mohafezatkar Sereshkeh and Jamshidi Chenari, (2017) y Anastasopoulos, (2013) en casos que también incluían construcciones adosadas, donde se asoció el problema a asentamientos diferenciales. Smith, (2015) menciona que la dirección de los asentamientos diferenciales generalmente coincide perpendicularmente con la orientación de grietas, tal como se muestra en la **Figura 10**.

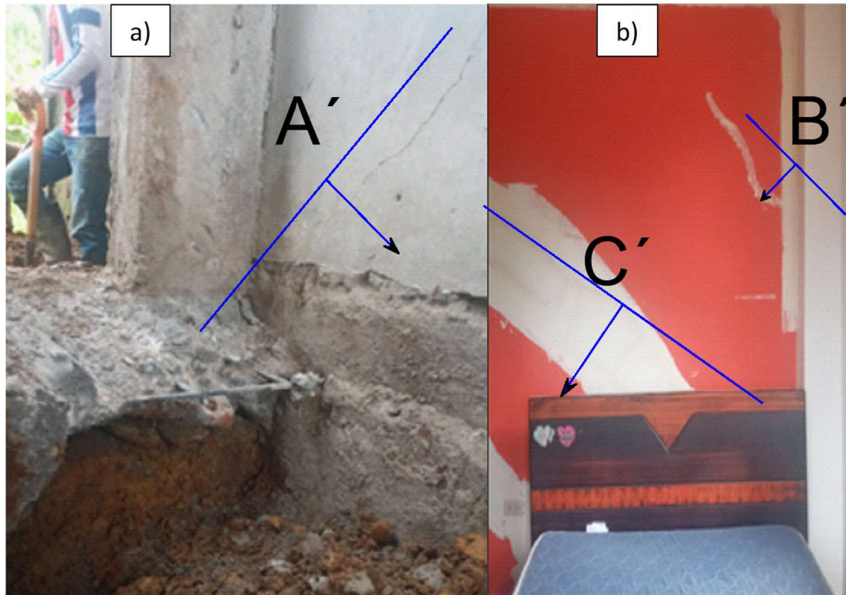


Figura 10. Irregularidades de la pared adosada. La imagen a) muestra la fisura de la pared adosada, donde se evidencia los 45° de inclinación. Además, se observa, la escasa profundidad de la cimentación. La imagen b) muestra el lado opuesto de la pared que se aprecia en a), con la particularidad que la pared ya se encuentra reparada. Las flechas azules, representan la dirección de asentamiento, y las letras mayúsculas A', B' y C' corresponden a la identificación de las irregularidades.

Respecto a la grieta H, se considera que fue ocasionada principalmente por asentamiento diferencial del suelo, coincidiendo con la zona donde el terreno poseía una variación considerable de pendiente. Evidencia de ello, son las medidas de las aberturas de las grietas, ya que, en este sitio se registraron las aberturas de mayores dimensiones. Además, se cree que el asentamiento inicio en esta zona.

5 Conclusión

La aparición de grietas y fisuras en la pared adosada, fue en gran medida debido a las características del terreno. La principal razón corresponde a que la cimentación se encontró dispuesta en estratos de diferente resistencia con valores de $V_S = 0,25 \text{ km/s}$ y $V_S = 0,28 \text{ km/s}$, con la particularidad e influencia sustancial de una zona de resistencia muy blanda encontrada a 4 m de profundidad en base al modelo MASW 2D Figura 7, cuya $V_S=0,15 \text{ km/s}$. La evidencia de lo mencionado fueron las grietas y fisuras detectadas las cuales presentaron una inclinación aproximada de 45° .

Además, los suelos compresibles de los estratos B, C, y D y el relieve topográfico jugó un rol clave en el inicio de los asentamientos diferenciales, ya que, estos sucedieron en dirección a la zona de mayor pendiente (véase b) de la figura 1). La delimitación de la zona de asentamiento inicial se encuentra definida por la grieta H principalmente, justo en esta zona es donde se tuvieron las grietas de mayor dimensión. Prueba de ello, son las grietas D', G' y H', las cuales se disponen perpendicularmente a la zona de asentamiento.

En base al tipo de suelo: limo de alta plasticidad (MH) y limos orgánicos (OH), y a sus índices de plasticidad sumado a ello la escasa profundidad del plano de cimentación de una de las zapatas (zapata cercana a Cal) se considera que el agua de escorrentía favoreció cambios de volumen en los estratos B y C, lo cual tuvo un aporte adicional al problema de asentamientos.

6 Referencias

Abarca, K. M. (2022) *GEOLOGÍA DE SUPERFICIE EN LOS ALREDEDORES DEL RÍO TENA ENTRE MUYUNA Y ONGOTA - CUENCA ORIENTE DEL ECUADOR*. Universidad Regional Amazónica Ikiam.

Abbas, M. A. y Abdelgowad, A. M. (2024) "Application of seismic refraction and MASW geophysical techniques to characterize the subsoil structure under damaged buildings in Qeft city, Upper Egypt", *Modeling Earth Systems and Environment*, (0123456789). doi: 10.1007/s40808-024-01960-1.

Aki, K. y Richards, P. (1980) *Quantitative seismology*.

Anastasopoulos, I. (2013) "Structural Damage of a 5-Storey Building : Differential Settlement Due To Construction of an Adjacent Building or Because of Construction Defects ?", *Seventh International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering*, pp. 1–10.

Andrus, R., Stokoe, K. y Chung, R. (1999) "Draft Guidelines for Evaluating Liquefaction Resistance Using Shear Wave Velocity Measurements and Simplified Procedures", en. Disponible en: https://www.mendeley.com/catalogue/9f19a0ee-5305-3d13-84f7-170e9bd82502/?utm_source=desktop&utm_medium=1.19.8&utm_campaign=open_catalog&userDocumentId=%7Badd38c92-f0b7-4d92-85ac-6dbb03e23d37%7D.

Anwar, L. y Sarbast, S. (2019) "COLLAPSIBLE SOILS CHARACTERISTICS ; THEIR SUITABILITY FOR PROJECTS Spring 2019 Dr . Nihad Baban ☒ Lina Anwer ☒ Sarkan Sarbast", (May).

Araujo, S. *et al.* (2023a) "Seismic refraction tomography in San Luis, headward Coca River erosion zone", *Journal of Applied Geophysics*, 212, p. 104981. doi: 10.1016/j.jappgeo.2023.104981.

Araujo, S. *et al.* (2023b) "Seismic refraction tomography in San Luis, headward Coca River erosion zone", *Journal of Applied Geophysics*, 212(March). doi: 10.1016/j.jappgeo.2023.104981.

ASTM-D-2216-98 (1998) *Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass*, ASTM International. Disponible en: <https://www.astm.org/d2216-98.html> (Consultado: el 26 de octubre de 2023).

ASTM (2000) "Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System) D2487-00", *Annual book of ASTM. Committee D18.07 on Identification and Classification of Soils*. Editado por SUCS, 04, pp. 249–260. Disponible en: <https://www.astm.org/d2487-17e01.html> (Consultado: el 18 de agosto de 2023).

ASTM (2009) "Standard practice for description and identification of soils (visual-manual procedure). D

2488-00. ASTM annual book of standards. Vol 04.08", 04.08(09a), pp. 1–12. doi: 10.1520/D2488-09A.

ASTM International (2010) *D4318 - Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils*. Disponible en: <https://www.astm.org/d4318-17e01.html> (Consultado: el 30 de julio de 2024).

Asuri, S. y Keshavamurthy, P. (2016) "Expansive Soil Characterisation: an Appraisal", *INAE Letters*, 1(1), pp. 29–33. doi: 10.1007/s41403-016-0001-9.

Autodesk Inc. (2023) *Autodesk AutoCAD 2024 | Obtenga precios y suscribase al software AutoCAD*.

Disponible en:

https://latinoamerica.autodesk.com/products/autocad/overview?panel=buy&plc=ACDIST&term=1-YEAR&support=ADVANCED&quantity=1&mktvar002=afc_latam_nmpi_ppc&AID=13955714&PID=8299320&gclid=743e75e6fb8f1ebee2e310cc114bae6d&gclsrc=3p.ds&ds_rl=1232386&ds_rl=1232407

(Consultado: el 14 de octubre de 2023).

Babacan, A. E., Gelisli, K. y Ersoy, H. (2014) "Seismic tomography and surface wave analysis based methodologies on evaluation of geotechnical properties of volcanic rocks: A case study", *Journal of Earth Science*, 25(2), pp. 348–356. doi: 10.1007/s12583-014-0417-7.

Brito Villarroel, S. (1985) *Geología del Cuadrángulo 77°45'-78°00' de Longitud Oeste y 1° 00'-01°10' de Latitud Sur, escala 1:50.000 (Área aproximada: 500 Km², localizada en Puerto Napo, Provincia de Napo"*. ESPOL. FICT. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/3442> (Consultado: el 27 de julio de 2024).

Burland, J. B., Jamiolkowski, M. y Viggiani, C. (1998) "Stabilising the leaning tower of Pisa", *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 57(1), pp. 91–99. doi: 10.1007/s100640050025.

Burland, J. B. y Wroth, C. P. (1974) "Settlement of buildings and associated damage", *Settlement of Structures, Proceedings of the Conference of the British Geotechnical Society*, (January 1975), pp. 611–654.

Chen, F. H. (1975) *FOUNDATIONS ON EXPANSIVE SOILS., Found on Expansive Soils*. Elsevier Scientific Pub. Co. doi: 10.1139/t89-099.

Eaton, J. W. (2007) "GNU Octave", *Distribution*, (July).

Eslami, A. (2018) "Complications Caused by Neighboring and Building Construction in Urban Areas- Three Case Studies", *Civil Engineering Research Journal*, 5(4), pp. 143–152. doi: 10.19080/cej.2018.05.555668.

Flah, M., Suleiman, A. R. y Nehdi, M. L. (2020) "Classification and quantification of cracks in concrete

structures using deep learning image-based techniques”, *Cement and Concrete Composites*, 114(January), p. 103781. doi: 10.1016/j.cemconcomp.2020.103781.

Foti, S. et al. (2018) *Guidelines for the good practice of surface wave analysis: a product of the InterPACIFIC project, Bulletin of Earthquake Engineering*. doi: 10.1007/s10518-017-0206-7.

GAD Municipal de Tena (2023) “Plan de uso y gestión de suelo y Plan de ordenamiento integral sustentable de la ciudad de Tena - POUIS”, pp. 1–772.

Geometrics Inc (2009) “SeisImager/2D Manual”, (October), p. 257.

Gonfa, B., Tamiru, F. y Tesema, B. (2018) “Characterization of Building Foundation Using Geophysical and Geotechnical Techniques : A Case Study of Wollega”, 10(3), pp. 72–80. doi: 10.5829/idosi.ejas.2018.72.80.

González de Vallejo, L. et al. (2002) *Ingeniería Geológica, Editorial Pearson Education, Madrid*.

Google Earth (2024) *Área de caso de estudio Caracterización Geotécnica-Geofísica del Terreno de Cimentación de Una Vivienda Agrietada en Tena, Ecuador*. Disponible en: <https://earth.google.com/web/@-0.98369716,-77.81856523,529.57452236a,149.46048293d,35y,359.99979142h,0t,0r/data=OgMKATA> (Consultado: el 31 de julio de 2024).

Hansen, C. (1992) “Analysis of discrete ill-posed problems”, *Rank-Deficient and Discrete Ill-Posed Problems*, 34(4), pp. 561–580.

Hayashi, K. y Takahashi, T. (2001) “High resolution seismic refraction method using surface and borehole data for site characterization of rocks”, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 38(6), pp. 807–813. doi: 10.1016/S1365-1609(01)00045-4.

Holtz, W. G. y Gibbs, H. J. (1956) “Engineering Properties of Expansive Clays”, *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 121(1), pp. 641–663. doi: 10.1061/taceat.0007325.

Hunt, R. E. (1984) “Geotechnical Engineering Investigation Manual” McGraw–Hill Book Company”, *New York*, p. 983. Disponible en: https://books.google.com/books/about/Geotechnical_Engineering_Investigation_M.html?hl=es&id=Y-VRAAAAMAAJ (Consultado: el 6 de junio de 2024).

Jafri, N. J. S. et al. (2018) “Assessment of soil compaction properties based on surface wave techniques”, *E3S Web of Conferences*, 34(January). doi: 10.1051/e3sconf/20183401002.

Lawton, E. C., Frigaszy, R. J. y Hetherington, M. D. (1994) “Closure to ‘ Review of Wetting-Induced

- Collapse in Compacted Soil ' by Evert C. Lawton, Richard J. Frigaszy, and Mark D. Hetherington (September, 1992, Vol. 118, No. 9)", *Journal of Geotechnical Engineering*, 120(7), pp. 1283–1284. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9410(1994)120:7(1283).
- López, O. A. *et al.* (2024) "EVALUACIÓN RÁPIDA DE DAÑOS EN EDIFICACIONES . Boletín de la Academia", en.
- Mazariegos de la Serna, A. (2015) *El Estudio geotécnico : campaña de campo y ensayos de laboratorio*. Ibergarceta.
- Mehra, S. R. (2007) "Classification and identification of soils for general engineering purposes", *Indian Standards, Bureau of Indian Standards*, pp. 1–28.
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda y Cámara de la Industria de la Construcción (2014) *Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-DS, Norma Ecuatoriana de la Construcción*. Disponible en: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/2.-NEC-SE-DS-Peligro-Sismico-parte-1.pdf>.
- Mohafezatkar Sereshkeh, A. y Jamshidi Chenari, R. (2017) "Induced Settlement Reduction of Adjacent Masonry Building in Residential Constructions", *Civil Engineering Journal*, 3(7), pp. 450–462. doi: 10.28991/cej-2017-00000104.
- Moura, M. C., Rocha, M. P. y Seimetz, E. X. (2015) "MASW method applied to study the seismic structure beneath a future metro station in Brasília: Preliminary Results", (Figure 1), pp. 543–546. doi: 10.1190/sbgf2015-108.
- Park, C. B., Miller, R. D. y Xia, J. (1999) "Multichannel analysis of surface waves", *Geophysics*, 64(3), pp. 800–808. doi: 10.1190/1.1444590.
- QGIS (2024) *Spatial without Compromise · QGIS Web Site*. Disponible en: <https://qgis.org/> (Consultado: el 27 de julio de 2024).
- Rawlinson, N., Pozgay, S. y Fishwick, S. (2010) "Seismic tomography: A window into deep Earth", *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 178(3–4), pp. 101–135. doi: 10.1016/j.pepi.2009.10.002.
- Salamatpoor, S., Jafarian, Y. y Hajiannia, A. (2019) "Bearing Capacity and Uneven Settlement of Consecutively Constructed Adjacent Footings Rested on Saturated Sand Using Model Tests", *International Journal of Civil Engineering*, 17(6), pp. 737–749. doi: 10.1007/s40999-018-0295-y.
- Sarkar, R. *et al.* (2021) "Near-surface seismic refraction tomography and MASW for site characterization in Phuentsholing, Bhutan Himalaya", *SN Applied Sciences*, 3(4), pp. 1–18. doi: 10.1007/s42452-021-04347-4.

Smith, N. B. and M. V. (2015) "Forensic Engineering 2015 113 Interpreting Damage to Existing Structures Adjacent to Construction Sites", *7th ASCE Forensic Engineering Congress*, pp. 113–123.

Sowers, G. F. (1993) "HUMAN FACTORS IN CIVIL AND GEOTECHNICAL ENGINEERING FAILURES By", *Manager*, 119(2), pp. 238–256.

Stein, S. y Wyssession, M. (2003) *An Introduction to Seismology, Earthquakes, and Earth Structure*, Blackwell Publishing Ltd. doi: 10.1029/2003eo220007.

Stokoe, K. H. *et al.* (1994) "Characterization of geotechnical sites by SASW method", en *Geophysical characterization of sites*, pp. 15–25. Disponible en: <https://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=6402538> (Consultado: el 30 de octubre de 2023).

Tjandra, D. *et al.* (2021) "Potential damage to residential building due to adjacent surcharge fill loading-case studies in Surabaya, Indonesia", *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 907(1). doi: 10.1088/1755-1315/907/1/012030.

Townsend, C. (1981) "Control of Cracking in Mass Concrete Structures", *Water Resources Technical*, p. 71. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=Mbb0ZFUoeP8C&oi=fnd&pg=PA4&ots=7oiFXglKh2&sig=oLLBJQvnDiTGBJ_F5klLhK1lfDc&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false (Consultado: el 3 de febrero de 2024).

Wang, H. *et al.* (2016) "Effect of saturation on liquefaction resistance of iron ore fines and two sandy soils", *Soils and Foundations*, 56(4), pp. 732–744. doi: 10.1016/j.sandf.2016.07.013.

Zumrawi, M. y Zumrawi, M. M. E. (2013) "Geotechnical Aspects for Roads on Expansive Soils", *International Journal of Science and Research*, 4(April), pp. 2319–7064. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/272476852>.