



UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABI
FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y ARQUITECTURA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Previo a la obtención del título de:
INGENIERO CIVIL

MODALIDAD: PROYECTO DE INVESTIGACION

TEMA:
VALIDACIÓN DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS OBTENIDOS POR REFRACCIÓN SÍSMICA
FRENTE A ENSAYOS IN SITU SPT EN SUELOS DE UN TERRENO EN LOS PREDIOS DE LA
UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ

Autores:

JESÚS JOSHUE TOMALÁ ALBUJA
ANGIE MABEL ALVIA SANCHEZ

Asesor académico: Ing. Javier Moreira Cevallos

Manta – Ecuador

2026-1

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Alvia Sanchez Angie Mabel, declaro que soy el autor intelectual del presente trabajo de investigación titulado “Validación de parámetros geotécnicos obtenidos por refracción sísmica frente a ensayos in situ spt en suelos de un terreno en los predios de la universidad laica Eloy Alfaro de Manabí.” Confirmando que he contribuido de manera significativa al origen del contenido de mi trabajo,

Quiero enfatizar que la información presentada es original y no se ha plagado de ninguna otra fuente, salvo las referencias utilizadas que están debidamente citadas en el documento. Por esto, asumo plena responsabilidad por las ideas, resultados y conclusiones exteriorizadas en este trabajo, las cuales presentan un análisis propio y criterio en relación del marco de los objetivos planteados.

Manta, 22 de Julio del 2026

Alvia Sanchez Angie Mabel

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Tomalá Albuja Jesús Joshue, declaro que soy el autor intelectual del presente trabajo de investigación titulado “Validación de parámetros geotécnicos obtenidos por refracción sísmica frente a ensayos in situ spt en suelos de un terreno en los predios de la universidad laica Eloy Alfaro de Manabí.” Confirmando que he contribuido de manera significativa al origen del contenido de mi trabajo,

Quiero enfatizar que la información presentada es original y no se ha plagiado de ninguna otra fuente, salvo las referencias utilizadas que están debidamente citadas en el documento. Por esto, asumo plena responsabilidad por las ideas, resultados y conclusiones exteriorizadas en este trabajo, las cuales presentan un análisis propio y criterio en relación del marco de los objetivos planteados.

Manta, 22 de Julio del 2026

Tomalá Albuja Jesús Joshue

DEDICATORIA

Dedico este logro, en primer lugar, a Dios, quien ha sido mi guía, mi refugio y mi fortaleza en cada etapa de este camino. En los momentos de incertidumbre, cuando las dificultades parecían superar mis fuerzas y las lágrimas fueron parte del proceso, Él nunca dejó de sostenerme y recordarme que todo esfuerzo tiene su recompensa. Gracias a Su amor y misericordia, hoy puedo ver cumplido uno de los sueños más importantes de mi vida.

Con todo mi amor, dedico este trabajo a mi familia, quienes han sido el motor que me impulsó a seguir adelante. Gracias por su paciencia, comprensión, sacrificio y apoyo incondicional durante todos estos años. Su confianza en mí fue la motivación que necesitaba para no rendirme y continuar luchando por alcanzar esta meta. Este logro también les pertenece, porque cada uno de ustedes formó parte de este camino.

Finalmente, me dedico este logro a mí mismo, por haber tenido la valentía de continuar a pesar de las dificultades, por no rendirme cuando el camino se volvió difícil y por demostrarme que la perseverancia, la fe y el esfuerzo siempre encuentran su recompensa.

Este trabajo representa mucho más que la culminación de una tesis; simboliza años de sacrificio, aprendizaje, esperanza y la convicción de que, con la ayuda de Dios y el apoyo de quienes amamos, los sueños pueden hacerse realidad.

JESÚS TOMALÁ

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco profundamente a Dios por haber sido mi fortaleza en los momentos de mayor dificultad. Durante este largo camino universitario hubo días de incertidumbre, cansancio y desánimo, pero Él me dio la sabiduría, la paciencia y la fuerza necesarias para no rendirme. Hoy, al culminar esta importante etapa de mi vida, reconozco que este logro es una muestra de Su amor y de Su fidelidad.

Mi más sincero agradecimiento a mi familia, quienes han sido el pilar fundamental de mi formación personal y profesional. Gracias por su paciencia, comprensión y apoyo incondicional durante todos estos años de estudio. Gracias por creer en mí incluso cuando yo dudaba, por sus palabras de aliento, por los sacrificios realizados y por acompañarme en cada paso hasta llegar a este momento tan especial. Este logro también les pertenece a ustedes.

Expreso mi especial gratitud al Ingeniero Valentín Cedeño, por su constante acompañamiento durante el desarrollo de esta investigación. Agradezco su disposición para revisar el avance de mi trabajo, sus valiosas observaciones, su orientación y el interés que siempre demostró para que esta tesis pudiera culminar de manera satisfactoria.

A mis amigos, compañeros de universidad y compañeros de trabajo, gracias por cada palabra de motivación, por su amistad y por el apoyo brindado en los momentos en que más lo necesité. Cada consejo, cada gesto de ánimo y cada muestra de confianza fueron fundamentales para mantenerme firme en este camino.

Finalmente, quiero expresar mi gratitud a todas las personas que, de una u otra manera, confiaron en mí y aportaron a mi crecimiento personal y profesional. También llevo en mi corazón el recuerdo de quienes ya no están físicamente, pero cuya presencia y enseñanzas continúan inspirándome cada día.

A todos ustedes, mi más profundo y eterno agradecimiento.

JESÚS TOMALÁ

DEDICATORIA

Llegar a este momento ha sido el resultado de un camino lleno de retos, aprendizajes, sacrificios y experiencias que, de una u otra manera, han contribuido a construir este importante logro. Este trabajo representa no solo la culminación de una etapa académica, sino también el reflejo de la perseverancia, nunca rendirte por lo que se quiere alcanzar y sobretodo el apoyo incondicional de las personas que han sido parte muy fundamental de mi vida.

Este logro se lo dedico, en primer lugar, a Dios, por ser mi guía, por brindarme sabiduría, esperanza, la valentía necesaria para superar cada obstáculo, la fortaleza que me ha dado para seguir de pie, quien ha sido mi guía, mi refugio y la luz que iluminó mi camino permitiéndome mantener la determinación en lo más alto hasta llegar a la meta.

A mí querida familia con profundo amor y gratitud, por ser el pilar más importante en mi vida. Gracias por cada sacrificio, por cada palabra de aliento inmenso, por su paciencia y todo el apoyo incondicional. Este logro también les pertenece a ustedes, porque cada esfuerzo realizado estuvo acompañado de su amor, confianza y constante motivación incondicional. Sin su presencia y respaldo, este sueño no habría sido posible.

A mis amistades, quienes hicieron este de este recorrido una experiencia llevadera y especial, gracias por su compañía, por cada consejo, por esas palabras de ánimo y por estar presente tanto en los momentos difíciles como en los de alegría. Su amistad fue una fuente de fortaleza y motivación que me impulsó y me sigue impulsando a seguir adelante.

A mi universidad, no solo por haber sido más que un lugar donde adquirí conocimientos sino por haberse convertido en el escenario donde crecí, aprendí, enfrenté desafíos y descubrí nuevas capacidades en mí. Cada aula, cada pasillo y cada experiencia vivida durante estos años forman parte de una etapa que quedará en mi memoria. Aquí donde no solo construí mi formación profesional, sino también una parte importante de la persona que hoy soy. Me llevo conmigo los aprendizajes, recuerdos, desafíos superados y la satisfacción de haber recorrido este camino que hoy llega a una de sus etapas importantes.

Finalmente, a todas aquellas personas que, de una u otra manera, formaron parte de este camino y dejaron una huella en mi vida, les expreso mi más sincero agradecimiento. Este logro no es únicamente mío, sino también de quienes me acompañaron, creyeron en mí y compartieron conmigo cada paso hasta llegar a este momento tan significativo.

ANGIE ALVIA SÁNCHEZ

AGRADECIMIENTO

Llegar al final de este camino despierta en mí un profundo sentimiento de gratitud. Al mirar hacia atrás, comprendo que este logro no fue construido únicamente con horas de estudio, esfuerzo y dedicación, sino también con el amor, la confianza, las palabras de aliento y la compañía de muchas personas que estuvieron presentes a lo largo de este recorrido. Cada una, desde su lugar y a su manera, dejó una huella que forma parte de este momento que hoy tengo la dicha de vivir.

En primer lugar, mi más sincero agradecimiento a Dios, por acompañarme silenciosamente en cada paso, por sostenerme cuando sentía que no podía más parecían y por darme la fortaleza necesaria para continuar cuando el camino se volvió difícil. Gracias por regalarme la sabiduría para afrontar cada desafío, la paciencia para comprender que todo proceso tiene su tiempo y la fe necesaria para no abandonar aquello por lo que tanto había trabajado. Hoy entiendo que llegar hasta aquí fue también una bendición.

A mi familia, mi gratitud no podría expresarse completamente con palabras. Gracias por ser ese lugar al que siempre pude regresar, por creer en mí aun en aquellos momentos en los que yo misma dudé de mis capacidades. Gracias por cada sacrificio que quizá nunca vi, por cada preocupación que guardaron en silencio, por cada palabra que me devolvió la esperanza y por cada gesto de amor que me impulsó a seguir adelante. Este título lleva mi nombre, pero detrás de él existe una familia que también soñó, esperó y luchó conmigo. Por eso, este logro les pertenece tanto como a mí.

A mis amistades, gracias por haber compartido conmigo una de las etapas más importantes de mi vida. Gracias por permanecer en los días buenos, pero especialmente por estar en aquellos días en los que una palabra, una conversación o simplemente saber que alguien estaba ahí hacía toda la diferencia. Me llevo conmigo las risas, las experiencias, las dificultades superadas y todos esos pequeños momentos que hicieron que este camino no fuera solamente una obligación académica, sino también una etapa llena de recuerdos que guardaré con cariño.

A mi universidad, gracias por haber sido el espacio donde una parte importante de mis sueños comenzó a tomar forma. Entre sus aulas no solo adquirí conocimientos; también aprendí a enfrentar responsabilidades, a equivocarme y volver a intentarlo, a superar mis propios límites y a descubrir capacidades que quizás desconocía. Cada experiencia vivida durante estos años contribuyó a formar la profesional que hoy está a punto de culminar esta etapa. Me despido de este capítulo con la certeza de que una parte de mí siempre permanecerá en aquellos lugares donde aprendí, crecí y soñé con llegar hasta este momento.

A mis profesores y docentes, gracias por haber dejado una enseñanza que va mucho más allá de los libros y de las aulas. Gracias por su paciencia, por sus exigencias, por sus consejos y por cada conocimiento compartido. Muchas veces, una corrección, una palabra de confianza o una exigencia adicional puede parecer un pequeño detalle, pero con el tiempo se comprende que también son formas de enseñar a crecer. Cada uno de ustedes aportó una pieza importante a mi

formación y, sin duda, muchas de sus enseñanzas continuarán acompañándome en el camino profesional que ahora comienza.

A todas las personas que contribuyeron, directa o indirectamente, a que este trabajo pudiera hacerse realidad, les expreso mi más profundo agradecimiento. Tal vez algunos nunca sepan cuánto significó una palabra, un consejo, una ayuda o un gesto de confianza en un momento determinado, pero cada uno de esos detalles fue sumando fuerzas hasta permitirme llegar aquí.

Y finalmente, quiero agradecerme a mí misma, por haber continuado cuando rendirse parecía más sencillo. Por las veces que tuve miedo y aun así avancé; por las noches de cansancio, las dudas, las lágrimas, la ansiedad y los momentos en los que tuve que encontrar fuerzas dentro de mí para continuar. Hoy comprendo que no fueron los momentos fáciles los que me trajeron hasta aquí, sino la decisión de seguir adelante a pesar de los difíciles.

Cierro esta etapa con el corazón lleno de gratitud. Me llevo aprendizajes que permanecerán conmigo, recuerdos que guardaré con cariño y, sobre todo, la certeza de que ningún sueño se alcanza completamente solo. Detrás de cada meta existe una historia, y detrás de esta historia existen personas que hicieron posible que hoy pueda decir, con orgullo y emoción: lo logré.

ANGIE ALVIA SÁNCHEZ

ÍNDICE

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	2
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	3
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	4
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	5
DEDICATORIA.....	6
AGRADECIMIENTO	7
DEDICATORIA.....	8
AGRADECIMIENTO	9
RESUMEN	14
ABSTRACT	15
CAPÍTULO I.....	16
1. INTRODUCCIÓN.....	16
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	18
1.4. HIPÓTESIS.....	18
1.5. VARIABLES.....	18
1.6. OBJETIVOS	18
1.6.1. OBJETIVO GENERAL.....	18
1.6.2. OBJETIVO ESPECIFICO	19
1.7. JUSTIFICACIÓN.....	19
CAPÍTULO II	21
2. ANTECEDENTES	21
2.1 MARCO TEÓRICO	24
2.1.1 GEOTECNIA APLICADA A OBRAS CIVILES	24
2.1.2. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUBSUELO	25
2.1.3. ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT)	25
2.1.4. MÉTODOS GEOFÍSICOS APLICADOS A LA GEOTECNIA	27
2.1.5. SÍSMICA DE REFRACCIÓN	27
Tabla 1.....	29
2.1.6 PARÁMETROS DINÁMICOS DEL SUELO	31
2.1.7 IMPORTANCIA DE LA VALIDACIÓN GEOFÍSICA-GEOTÉCNICA	33
2.1.8 REFRACCIÓN SÍSMICA COMO MÉTODO DE EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA.....	33

2.1.9 RELACIÓN ENTRE VELOCIDADES SÍSMICAS Y PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DEL SUELO	34
2.1.10 IMPORTANCIA DE LA VALIDACIÓN DE MÉTODOS GEOFÍSICOS EN EL CONTEXTO LOCAL	34
2.1.11 FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA DE ONDAS EN MEDIOS POROSOS Y ELÁSTICOS	35
2.1.12 FENOMENOLOGÍA DE LA REFRACCIÓN CRÍTICA Y LA LEY DE SNELL	35
2.1.13 INTERRELACIÓN TEÓRICA ENTRE PARÁMETROS DINÁMICOS Y ENSAYOS DE PENETRACIÓN	36
CAPÍTULO III	36
3. METODOLOGÍA	36
3.1 ÁREA DE ESTUDIO	37
Figura 1 Mapa de Ubicación de Zonas de estudio	37
3.2 TIPO DE ESTUDIO	37
3.3 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO	38
Tabla 2	40
Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones normativas de la ASTM International (2011, 2018)	40
CAPÍTULO IV	41
4. ANÁLISIS Y RESULTADOS	41
4.1 Caracterización del área de estudio	41
Figura 2	42
4.2 Resultados del ensayo de penetración estándar (SPT)	44
Tabla 3	44
Gráfico 1	44
4.3 Resultados obtenidos mediante refracción sísmica	45
4.4 Velocidades de ondas P obtenidas mediante refracción sísmica	46
Tabla 4	46
Gráfico 2	47
Figura 3	48
Figura 4	49
4.5 Comparación entre los resultados del SPT y la refracción sísmica	50
Tabla 5	50
4.6 Análisis de correlación	51
Gráfico 3 de dispersión	52
Gráfico 4	53

Dispersión con línea de tendencia y R^2	53
Gráficos 5	54
Barras comparando N-SPT y VP por un punto de estudio.....	54
4.7 Discusión de resultados.....	54
CAPÍTULO V	56
5.1 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	56
5.2 RECOMENDACIONES.....	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	29
Tabla 2	40
Tabla 3	44
Tabla 4	46
Tabla 5	50

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1	37
Figura 2.....	42
Figura 3.....	48
Figura 4.....	49

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Variación del N-SPT en función de la profundidad.....	44
Gráfico 2 Perfil de velocidad de onda P (Vp) Vs Profundidad	47
Gráfico 3 de dispersión.....	52
Gráfico 4 de dispersión con línea de tendencia y R^2	53
Gráficos 5 de barras comparando N-SPT y VP por un punto de estudio	54

RESUMEN

Conocer las propiedades físico-mecánicas del suelo es fundamental para el diseño y construcción de proyectos de ingeniería civil seguros. En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo analizar la relación entre los parámetros geotécnicos obtenidos mediante ensayos de refracción sísmica y de penetración estándar (SPT) en los terrenos de la universidad, considerados representativos de la zona de estudio. Para ello, se recopiló, procesó e interpretó información geofísica y geotécnica obtenida en distintos puntos del área analizada. Los ensayos de refracción sísmica permitieron determinar las velocidades de propagación de las ondas sísmicas en los distintos estratos del subsuelo, mientras que los ensayos SPT proporcionaron valores de resistencia a la penetración y la clasificación correspondiente de los suelos. Posteriormente, se realizó un análisis comparativo y correlacional de los resultados de ambas metodologías para evaluar la interacción entre sus parámetros y su aplicación conjunta en la exploración geotécnica. Los resultados evidenciaron una relación complementaria entre los datos obtenidos por ambos métodos, lo que permitió identificar con mayor confiabilidad la distribución de estratos, las profundidades de interés geotécnico y las capacidades portantes del terreno. En consecuencia, la integración de la refracción sísmica y el ensayo SPT constituye una herramienta eficaz para mejorar la caracterización del subsuelo, proporcionando información técnica relevante para el diseño de cimentaciones, la implementación de alternativas de mejoramiento de suelos y la planificación de futuras obras de infraestructura en la zona de estudio.

Palabras clave: Refracción sísmica, Ensayo de Penetración Estándar, Geotecnia, Caracterización del subsuelo, Ingeniería civil

ABSTRACT

Understanding the physical and mechanical properties of soil is essential for the design and construction of safe civil engineering projects. In this context, the objective of this study was to analyze the relationship between geotechnical parameters obtained through seismic refraction and standard penetration test (SPT) experiments conducted on university grounds, which were considered representative of the study area. To this end, geophysical and geotechnical data obtained at various points within the analyzed area were collected, processed, and interpreted. Seismic refraction tests were used to determine the propagation velocities of seismic waves through the various subsoil strata, while SPT tests provided penetration resistance values and the corresponding soil classifications. Subsequently, a comparative and correlational analysis of the results from both methodologies was conducted to evaluate the interaction between their parameters and their joint application in geotechnical exploration. The results demonstrated a complementary relationship between the data obtained by both methods, which allowed for a more reliable identification of stratum distribution, depths of geotechnical interest, and soil bearing capacities. Consequently, the integration of seismic refraction and the SPT test constitutes an effective tool for improving subsoil characterization, providing relevant technical information for foundation design, the implementation of soil improvement alternatives, and the planning of future infrastructure projects in the study area.

Keywords: Seismic refraction, Standard Penetration Test, Geotechnical engineering, Subsoil characterization, Civil engineering

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El proceso de expansión, modernización y mejoramiento de la infraestructura que actualmente experimenta la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM) ha incrementado la necesidad de realizar estudios geotécnicos confiables en sus predios, con el fin de garantizar la seguridad, la funcionalidad y la durabilidad de las nuevas obras civiles proyectadas. Las nuevas obras de infraestructura proyectadas en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM) requieren estudios geotécnicos confiables que garanticen condiciones adecuadas de seguridad y de estabilidad estructural.

En este contexto, la correcta caracterización del suelo constituye un elemento fundamental para el diseño adecuado de cimentaciones, estructuras y demás obras de infraestructura, dado que las propiedades geotécnicas y mecánicas del terreno influyen directamente en el comportamiento estructural, la estabilidad y el desempeño a largo plazo de las edificaciones.

Asimismo, el crecimiento de la infraestructura física de la ULEAM y su proceso de fortalecimiento institucional demandan información técnica precisa sobre el subsuelo, que permita tomar decisiones fundamentadas durante las etapas de planificación, diseño y ejecución de proyectos, contribuyendo a un desarrollo ordenado, seguro y sostenible de la infraestructura universitaria.

Tradicionalmente, el Ensayo de Penetración Estándar (SPT) ha sido uno de los métodos más utilizados para obtener parámetros geotécnicos in situ. Sin embargo, este ensayo presenta limitaciones relacionadas con su carácter puntual, su dependencia de la experiencia del operador y los costos asociados a la perforación. Adicionalmente, en suelos heterogéneos o con variaciones

laterales significativas, los resultados del SPT pueden no reflejar de manera integral las condiciones reales del subsuelo.

De forma complementaria, los métodos geofísicos, como la refracción sísmica, se han consolidado como alternativas no invasivas que permiten obtener información continua del subsuelo mediante la medición de la velocidad de propagación de las ondas sísmicas. Estas velocidades están directamente relacionadas con las propiedades físicas y mecánicas del suelo, como la rigidez, la compacidad y el grado de consolidación. No obstante, a pesar de su potencial, en el ámbito local existe una validación técnica limitada que relacione cuantitativamente los parámetros obtenidos mediante refracción sísmica con los resultados de ensayos geotécnicos tradicionales, como el SPT.

Dentro de los predios de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM), actualmente no se dispone de estudios comparativos que permitan establecer la confiabilidad de la refracción sísmica como herramienta complementaria o alternativa para la caracterización geotécnica del suelo. Esta carencia de validación técnica genera incertidumbre respecto de su aplicación práctica en el diseño geotécnico de las obras civiles proyectadas, lo que limita su aprovechamiento como método no destructivo para el análisis del subsuelo.

En este contexto, surge la necesidad de analizar y validar los parámetros geotécnicos obtenidos mediante el método de refracción sísmica frente a los resultados del ensayo de penetración estándar (SPT), con el propósito de evaluar su grado de correlación, confiabilidad y aplicabilidad en los suelos del área de estudio, contribuyendo así a una mejor toma de decisiones en los proyectos de infraestructura universitaria.

1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es el nivel de correlación y de confiabilidad entre los parámetros geotécnicos obtenidos mediante refracción sísmica y los resultados del ensayo SPT en los suelos de los predios de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí?

1.4. HIPÓTESIS

Los parámetros geotécnicos obtenidos mediante el método de refracción sísmica presentan una correlación confiable con los resultados del ensayo de penetración estándar (SPT) en los suelos de los predios de la ULEAM, lo que permite su uso como herramienta complementaria para la caracterización geotécnica del subsuelo.

1.5. VARIABLES

Independiente:

- Velocidad de propagación de las ondas sísmicas.

Dependiente:

- Resistencia a la penetración estándar del suelo (N-SPT)

1.6. OBJETIVOS

1.6.1. OBJETIVO GENERAL

- Validar los parámetros geotécnicos obtenidos mediante el método de refracción sísmica frente a los resultados del ensayo de penetración estándar (SPT) en los predios de la Universidad Uleam, en la ciudad de Manta, con el fin de evaluar su confiabilidad y aplicabilidad en estudios geotécnicos para obras civiles.

1.6.2. OBJETIVO ESPECIFICO

- Analizar los fundamentos teóricos y los principios físicos del método de refracción sísmica aplicados a la caracterización geotécnica del suelo.
- Determinar las velocidades de propagación de las ondas sísmicas en el subsuelo de la universidad mediante ensayos de refracción sísmica con los equipos del laboratorio de suelos de la ULEAM.
- Obtener y analizar los resultados del ensayo SPT realizados en el área de estudio para determinar parámetros geotécnicos representativos.
- Establecer correlaciones entre las velocidades sísmicas obtenidas y los parámetros derivados del SPT y evaluar su grado de consistencia.
- Evaluar la viabilidad del uso de la refracción sísmica como método complementario al SPT en estudios geotécnicos para proyectos de ingeniería civil en el sector de estudio.

1.7. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo de investigación se sustenta en los puntos de vista técnico, científico y académico, debido a la necesidad de fortalecer los métodos de caracterización geotécnica utilizados en el diseño de obras civiles en la ciudad de Manta. La validación de los parámetros obtenidos mediante refracción sísmica frente a los ensayos in situ SPT permitirá evaluar la confiabilidad de los métodos geofísicos como herramientas complementarias para la exploración del subsuelo, lo que contribuirá a una mejor comprensión del comportamiento del terreno.

Desde el enfoque técnico, el estudio permitirá contar con información más representativa del perfil del suelo, ya que la refracción sísmica ofrece una visión continua del subsuelo, mientras que el SPT proporciona datos puntuales. La correlación entre ambos métodos contribuirá a reducir la incertidumbre en la toma de decisiones durante el diseño geotécnico, optimizando el uso de recursos y mejorando la seguridad estructural.

En el ámbito científico, la investigación aportará conocimiento aplicado sobre la relación entre las velocidades sísmicas y los parámetros geotécnicos de suelos característicos de los predios de la Uleam, lo cual resulta relevante dado las condiciones geológicas y geotécnicas propias de la zona costera de Manabí. Estos resultados podrán servir de referencia para futuras investigaciones y estudios similares en la región.

Desde el punto de vista académico, el estudio fortalece la formación profesional en ingeniería civil al promover la integración de métodos tradicionales y modernos de exploración del subsuelo. Asimismo, el uso de los equipos del laboratorio de suelos de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM) contribuye al aprovechamiento de los recursos institucionales y al fortalecimiento de la investigación universitaria.

CAPÍTULO II

2. ANTECEDENTES

El autor Paul (2022), de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, realizó el estudio titulado “Correlación de SPT y ensayos de refracción sísmica para obtener parámetros dinámicos del suelo. Palestina, Guayas, Ecuador”, cuyo propósito fue establecer relaciones entre parámetros dinámicos obtenidos mediante refracción sísmica y los resultados del ensayo SPT. La investigación utilizó ecuaciones de regresión y análisis comparativos entre las velocidades sísmicas y la resistencia del suelo, lo que permitió identificar correlaciones útiles para la caracterización geotécnica. Los resultados mostraron que las velocidades sísmicas pueden emplearse como indicadores preliminares del comportamiento mecánico del terreno, lo que contribuye a optimizar las campañas de exploración geotécnica. Este trabajo aporta bases metodológicas importantes para el análisis correlacional desarrollado en la presente tesis.

Según Cobo (2018, en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador), se desarrolló una investigación enfocada en la caracterización geotécnica mediante tomografía sísmica de refracción y perforaciones mecánicas en la provincia de Pichincha. El objetivo principal fue identificar estratos del subsuelo y evaluar sus propiedades geotécnicas mediante métodos geofísicos y perforaciones directas. La metodología incluyó la adquisición de perfiles sísmicos y su correlación con la información geotécnica obtenida en campo. Los resultados permitieron identificar diferentes estratos asociados a variaciones en la velocidad de la onda P, lo que demuestra la utilidad de la refracción sísmica en estudios de ingeniería civil. Este antecedente respalda el uso de métodos sísmicos como herramientas válidas para la exploración geotécnica del subsuelo

El autor Israel, en 2022, en la Universidad Técnica Particular de Loja, realizó un estudio titulado “Caracterización geotécnica del subsuelo mediante la relación V_p/V_s de la sísmica de

refracción”, cuyo objetivo fue efectuar una zonificación geotécnica mediante ensayos SPT y la sísmica de refracción. La investigación integró métodos directos e indirectos para determinar la capacidad portante, las propiedades elásticas y el comportamiento sísmico del terreno. Los autores concluyeron que la combinación de velocidades sísmicas y valores de N-SPT mejora significativamente la interpretación geotécnica del subsuelo. Este antecedente guarda relación con la presente investigación debido a la integración metodológica entre la refracción sísmica y el ensayo SPT.

Según Pedro (2018), en la Universidad de Concepción desarrolló una investigación titulada “Evaluación del método de medición del perfil de velocidad de ondas de corte SPT-sísmico”, enfocada en analizar la efectividad de técnicas sísmicas asociadas al ensayo SPT para determinar perfiles de velocidad V_s . La metodología incluyó ensayos de campo y simulaciones numéricas orientadas al procesamiento e interpretación de datos sísmicos. Los resultados demostraron que la velocidad de las ondas de corte constituye un parámetro confiable para evaluar la rigidez del suelo y para complementar las investigaciones geotécnicas tradicionales. Este estudio aporta fundamentos importantes para la validación de parámetros dinámicos obtenidos mediante métodos sísmicos.

Según la autora Macías (2025), en la ULEAM se desarrolló una investigación titulada “Correlación entre el ensayo de penetración estándar (SPT) y la sísmica de refracción para la determinación de parámetros geotécnicos”. Caso de estudio: predios de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí”, con el objetivo de analizar la relación entre los valores obtenidos mediante el ensayo SPT y los parámetros derivados de la sísmica de refracción para la estimación de propiedades geotécnicas del suelo. La metodología se basó en la ejecución de ensayos SPT y en estudios geofísicos de refracción sísmica en los predios universitarios, y estableció correlaciones entre las velocidades sísmicas y parámetros como la cohesión y el ángulo de fricción interna. Los resultados evidenciaron una relación significativa entre ambos métodos y destacaron el potencial de la refracción sísmica como herramienta complementaria en investigaciones geotécnicas. Este antecedente constituye una referencia directa para la presente investigación debido a la similitud metodológica y geográfica entre ambos estudios.

Los autores Daniela y José (2021), en la Universidad Católica de Cuenca, desarrollaron una investigación titulada “Determinación de ondas longitudinales (V_p) y de corte (V_s) en estratos

superficiales, correlación de resultados entre métodos directos e indirectos”, con el objetivo de determinar las velocidades sísmicas del subsuelo y correlacionarlas con parámetros geotécnicos obtenidos mediante ensayos directos. La metodología incluyó la aplicación del método sísmico MASW y ensayos geotécnicos en muestras obtenidas en campo, lo que permitió comparar las propiedades físicas, mecánicas y elásticas del terreno. Los resultados evidenciaron una relación consistente entre las velocidades de onda y el comportamiento geotécnico del suelo, lo que demuestra la utilidad de los métodos geofísicos como herramientas complementarias para la caracterización del subsuelo. Este antecedente aporta fundamentos importantes para la presente investigación debido al uso de correlaciones entre parámetros sísmicos y propiedades geotécnicas del terreno.

El autor Ampuero (2018), en la Pontificia Universidad Católica de Chile, realizó un estudio titulado “Velocidades de onda medidas en Santiago con el ensayo de refracción sísmica”, orientado a evaluar los perfiles de velocidad sísmica en distintos sectores de Santiago mediante dicho ensayo. La investigación se enfocó en determinar las velocidades de las ondas de compresión y de corte, complementando los resultados con antecedentes de la mecánica de suelos y de la clasificación sísmica del terreno. Los autores concluyeron que la refracción sísmica constituye una herramienta eficaz para caracterizar las propiedades dinámicas y estratigráficas del subsuelo, especialmente en estudios geotécnicos y sísmicos aplicados a obras civiles. Este antecedente fortalece la base teórica de la presente investigación al demostrar la aplicabilidad de la sísmica de refracción en la evaluación geotécnica del terreno.

Según Glenda (2022), en la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) desarrolló una investigación titulada “Correlación de SPT y ensayos de refracción sísmica para obtener parámetros dinámicos del suelo. Palestina, Guayas, Ecuador”, cuyo objetivo fue establecer una correlación entre las velocidades sísmicas y los valores de N-SPT para la caracterización geotécnica de sedimentos aluviales. La metodología incluyó perforaciones geotécnicas, la ejecución de ensayos SPT y la realización de líneas sísmicas de refracción, además del desarrollo de ecuaciones de regresión lineal entre los valores de N_{60} y las velocidades V_p . Los resultados demostraron que las velocidades sísmicas pueden utilizarse como indicadores confiables del comportamiento mecánico del suelo en estudios preliminares, lo que permite optimizar las investigaciones geotécnicas y reducir los costos operativos. Este antecedente posee alta relación

con la presente tesis debido a la similitud metodológica basada en correlaciones entre parámetros sísmicos y valores N-SPT

En este contexto, los métodos geofísicos han surgido como herramientas complementarias que permiten obtener información continua del subsuelo de forma no invasiva. Entre estos métodos, la refracción sísmica destaca por su aplicabilidad en estudios geotécnicos, ya que permite estimar la velocidad de propagación de las ondas sísmicas, un parámetro directamente relacionado con las propiedades mecánicas del suelo. No obstante, la aplicación de este método requiere validación mediante su comparación con ensayos geotécnicos tradicionales, a fin de garantizar la confiabilidad de los resultados.

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 GEOTECNIA APLICADA A OBRAS CIVILES

La geotecnia constituye una rama fundamental de la ingeniería civil, encargada del estudio del comportamiento mecánico e hidráulico de los suelos y rocas, con el propósito de proporcionar criterios técnicos adecuados para el diseño y la construcción de obras civiles. La caracterización geotécnica del subsuelo permite determinar propiedades físicas y mecánicas del terreno, tales como resistencia, deformabilidad, compacidad y capacidad portante, parámetros indispensables para el diseño seguro de cimentaciones y estructuras (Das & Sobhan, 2018,p.89).

En proyectos de infraestructura, la investigación geotécnica constituye una etapa esencial, ya que las condiciones del subsuelo influyen directamente en la estabilidad y el desempeño estructural de las obras. Una caracterización deficiente puede provocar asentamientos diferenciales, fallas estructurales y sobrecostos durante la construcción. Por esta razón, la exploración geotécnica debe proporcionar información representativa y confiable sobre las propiedades del terreno.

Tradicionalmente, la caracterización del subsuelo se ha realizado mediante métodos directos, como perforaciones y ensayos in situ; sin embargo, en las últimas décadas los métodos geofísicos han cobrado relevancia por su capacidad de obtener información continua del subsuelo de manera no invasiva y con menores costos operativos.

2.1.2. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUBSUELO

La caracterización geotécnica consiste en el conjunto de procedimientos orientados a determinar las propiedades físicas, mecánicas y dinámicas del suelo mediante investigaciones de campo y de laboratorio. Su finalidad es identificar la estratigrafía del terreno y establecer parámetros para evaluar el comportamiento del subsuelo ante cargas estructurales y sollicitaciones dinámicas.

Según Bowles (1997), los parámetros geotécnicos constituyen variables fundamentales en el diseño de cimentaciones, la estabilidad de taludes y el análisis de la interacción suelo-estructura. Entre los parámetros más relevantes se encuentran la resistencia al corte, la densidad, el contenido de humedad, la compacidad y la capacidad portante.

La obtención de dichos parámetros puede realizarse mediante métodos directos e indirectos. Los métodos directos incluyen perforaciones y ensayos in situ, mientras que los métodos indirectos emplean técnicas geofísicas basadas en la propagación de ondas sísmicas o eléctricas para inferir las propiedades del subsuelo.

2.1.3. ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT)

2.1.3.1 FUNDAMENTO DEL ENSAYO SPT

El Ensayo de Penetración Estándar (SPT) es uno de los métodos de exploración geotécnica más utilizados a nivel mundial para determinar la resistencia del suelo en campo. Este ensayo se encuentra normalizado por la ASTM D1586 y consiste en introducir un muestreador partido en el terreno mediante impactos generados por un martillo de 63,5 kg que cae desde una altura de 76 cm



Fuente: página TINENG 2019

El parámetro principal obtenido es el valor N-SPT, correspondiente al número de golpes requeridos para penetrar 30 cm en el suelo tras un asentamiento inicial de 15 cm. Este valor permite estimar propiedades geotécnicas como la compacidad relativa, la consistencia y la resistencia del terreno (Das & Sobhan, 2018).

2.1.3.2 APLICACIONES DEL ENSAYO SPT

El ensayo de penetración estándar (SPT) es uno de los métodos más utilizados a nivel mundial para la exploración geotécnica del suelo. Este ensayo proporciona un parámetro empírico ampliamente aceptado que se emplea para estimar la resistencia, la consistencia y la capacidad portante del terreno.

Debido a su uso extendido y su aceptación normativa, el SPT se considera un método de referencia para la validación de técnicas indirectas, como la refracción sísmica. La comparación entre los resultados de ambos métodos permite evaluar la confiabilidad de las velocidades sísmicas como indicadores del comportamiento mecánico del suelo.

El ensayo SPT es ampliamente utilizado en estudios geotécnicos debido a su simplicidad operativa y a la existencia de numerosas correlaciones empíricas con las propiedades mecánicas del suelo. Entre sus principales aplicaciones se encuentran:

- a) Determinación de la compacidad en suelos granulares.
- b) Evaluación de la consistencia en suelos cohesivos.
- c) Estimación de capacidad portante.
- d) Evaluación del potencial de licuación.
- e) Identificación preliminar de estratigrafía.

Asimismo, los valores de N-SPT se emplean como referencia para correlacionarse con parámetros dinámicos obtenidos mediante métodos geofísicos.

2.1.3.3 LIMITACIONES DEL ENSAYO SPT

A pesar de su amplio uso, el ensayo SPT presenta limitaciones relacionadas con la variabilidad operativa, la cobertura puntual y la dependencia de las condiciones de perforación. Según Coduto (2011), factores como la energía transmitida, el diámetro de perforación y la experiencia del operador pueden influir de manera significativa en los resultados obtenidos.

Otra limitación importante se debe a la discontinuidad espacial de la información, ya que el ensayo proporciona datos únicamente en puntos específicos del terreno, lo que dificulta la interpretación continua del subsuelo en áreas extensas o heterogéneas.

2.1.4. MÉTODOS GEOFÍSICOS APLICADOS A LA GEOTECNIA

Los métodos geofísicos constituyen herramientas indirectas para investigar las propiedades físicas del subsuelo mediante la medición de fenómenos sísmicos, eléctricos o electromagnéticos. En geotecnia, estas técnicas permiten complementar la información obtenida mediante ensayos directos, mejorando la interpretación estratigráfica y reduciendo los costos de exploración.

Entre los métodos geofísicos más utilizados en ingeniería civil se encuentra la sísmica de refracción, técnica basada en la propagación de ondas elásticas a través del terreno.

2.1.5. SÍSMICA DE REFRACCIÓN

2.1.5.1 FUNDAMENTO DE LA REFRACCIÓN SÍSMICA

Según la Society of Exploration Geophysicists, 2026, La refracción sísmica es un método geofísico que permite caracterizar el subsuelo mediante el análisis de la propagación de ondas

sísmicas generadas artificialmente. Estas ondas se desplazan a diferentes velocidades según las propiedades físicas y mecánicas de los materiales que atraviesan.(P.1)

El método se fundamenta en la Ley de Snell, que describe el comportamiento de las ondas sísmicas al atravesar interfaces entre materiales con diferentes velocidades de propagación. Cuando una onda alcanza un estrato de mayor velocidad, parte de su energía se refracta y regresa a la superficie, donde es registrada por los geófonos.

La interpretación de los tiempos de llegada permite determinar las velocidades sísmicas y las profundidades aproximadas de los estratos del subsuelo.

2.1.5.2 ONDAS SÍSMICAS

Las ondas sísmicas son perturbaciones elásticas que se propagan a través del terreno y transportan energía. En geotecnia, las más utilizadas son las ondas de compresión (P) y de corte (S).

2.1.5.2.1 ONDAS P

Las ondas P son longitudinales y se caracterizan por provocar movimientos de compresión y expansión a lo largo de su dirección de propagación. Estas presentan las mayores velocidades de transmisión y pueden propagarse tanto en sólidos como en fluidos.

2.1.5.2.2 ONDAS S

Las ondas S son transversales, cuya vibración es perpendicular a la dirección de propagación. Estas ondas se propagan únicamente en medios sólidos y están estrechamente relacionadas con la rigidez del terreno.

Las velocidades de propagación de las ondas sísmicas pueden relacionarse con propiedades geotécnicas, como la densidad, la compacidad y el módulo de elasticidad del suelo.

2.1.5.3 PRINCIPIOS FÍSICOS DE LA PROPAGACIÓN DE ONDAS SÍSMICAS

La propagación de ondas sísmicas en el subsuelo se rige por principios físicos fundamentales, entre los que destacan la elasticidad de los materiales y la ley de Snell. Cuando una onda sísmica se desplaza a través de un medio y encuentra una interfaz entre dos materiales con diferentes velocidades de propagación, parte de la energía se refracta y se propaga a lo largo de dicha interfaz en condiciones críticas. (Pedro, 2018, p.65)

Este fenómeno permite que las ondas refractadas recorran distancias mayores y sean registradas en la superficie. El análisis de la relación entre el tiempo de arribo y la distancia recorrida por la onda constituye la base para el cálculo de las velocidades sísmicas y la determinación de la profundidad de los estratos, lo que permite elaborar modelos del subsuelo con fines geotécnicos.

2.1.5.4. VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE ONDAS SÍSMICAS

La velocidad sísmica es la rapidez con la que una onda elástica se propaga a través de un material. En geotecnia, este parámetro constituye un indicador importante del comportamiento mecánico y dinámico del suelo.

Diversos estudios han demostrado que las velocidades sísmicas aumentan a medida que aumenta la densidad y la rigidez del terreno. Por ello, la velocidad de propagación puede utilizarse como parámetro indirecto para inferir propiedades geotécnicas del subsuelo.

Tabla 1

Clasificación de sitio que relaciona los periodos y la velocidad de onda de corte para la NEC– 15. Basada en la propuesta de Zhao et al. (2006)

Clases del sitio	Período natural del suelo (seg.)	NEC - 15 Vs 30 (m/s)	NEC 15 Tipo de Perfil
SC I: (Roca / suelo rígido)	$T_s < 0.08 \text{ seg}$	$V_{s30} > 1500 \text{ m / seg}$	A
SC II: (Suelo duro)	$0.08 \text{ seg} = T_s < 0.16 \text{ seg}$	$760 \text{ m / seg} < V_{s30} = 1500 \text{ m / seg}$	B
SC III: (Suelo medio)	$0.16 \text{ seg} = T_s < 0.33 \text{ seg}$	$360 \text{ m / seg} < V_{s30} = 760 \text{ m / seg}$	C
SC IV: (Suelo blando)	$0.33 \text{ seg} = T_s < 0.66 \text{ seg}$	$180 \text{ m / seg} < V_{s30} = 360 \text{ m / seg}$	D
SC V: (Suelo colapsables)	$T_s > 0.66 \text{ seg}$	$V_{s30} < 180 \text{ m / seg}$	E- F

Imai y Yoshimura (1970) establecieron correlaciones empíricas entre las velocidades sísmicas y los valores de N-SPT, lo que demuestra que existe una relación funcional entre ambos parámetros. Posteriormente, Ohta y Goto (1978) desarrollaron modelos estadísticos para relacionar las velocidades de las ondas sísmicas con propiedades geotécnicas en distintos tipos de suelo.

Estas investigaciones constituyen la base teórica para el uso de métodos sísmicos como herramientas complementarias en estudios geotécnicos.

2.1.5.5 CORRELACIÓN ENTRE VELOCIDADES SÍSMICAS Y VALORES N-SPT

La correlación entre las velocidades sísmicas y los valores N-SPT ha sido ampliamente investigada debido a la necesidad de optimizar los estudios geotécnicos mediante métodos indirectos de exploración.

Imai y Yoshimura (1970) propusieron una de las primeras correlaciones empíricas entre la velocidad de las ondas sísmicas y los valores de la resistencia a la penetración estándar. Sus resultados evidenciaron una relación creciente entre ambas variables, lo que permite estimar propiedades geotécnicas del terreno a partir de parámetros dinámicos.

Posteriormente, Ohta y Goto (1978) desarrollaron modelos estadísticos que consideraban diferentes condiciones geológicas y tipos de suelo, obteniendo correlaciones aplicables en estudios de ingeniería sísmica y geotecnia.

En investigaciones más recientes, diversos autores han demostrado que las velocidades sísmicas pueden emplearse como indicadores preliminares del comportamiento mecánico del subsuelo, especialmente en zonas donde las perforaciones resultan limitadas o económicamente costosas.

No obstante, las correlaciones empíricas varían según las condiciones geológicas locales, por lo que resulta necesario validar dichos modelos en cada área de estudio.

2.1.6 PARÁMETROS DINÁMICOS DEL SUELO

Los parámetros dinámicos son propiedades del suelo relacionadas con su comportamiento ante cargas dinámicas o vibraciones. Entre los principales parámetros se encuentran el módulo de corte, el módulo de elasticidad y el coeficiente de amortiguamiento.

Estos parámetros pueden determinarse indirectamente a partir de las velocidades sísmicas, ya que la propagación de las ondas depende de la rigidez y la densidad del material. La obtención de parámetros dinámicos resulta especialmente importante en estudios de interacción suelo-estructura y en análisis sísmicos.

1. Velocidad de onda de corte (V_s)

$$V_s = L / t_s$$

Simbología:

- V_s : velocidad de onda de corte (m/s)
- L : distancia recorrida por la onda (m)
- t_s : tiempo de llegada de la onda S (s)

2. Velocidad de onda de compresión (V_p)

$$V_p = L / t_p$$

Simbología:

- V_p : velocidad de onda de compresión (m/s)
- L : distancia recorrida por la onda (m)
- t_p : tiempo de llegada de la onda P (s)

3. Módulo de corte (G)

$$G = \rho \cdot V_s^2$$

Simbología:

- G : módulo de corte (Pa)
- ρ : densidad del suelo (kg/m^3)
- V_s : velocidad de onda de corte (m/s)

4. Módulo de elasticidad dinámico (E)

$$E = 2 \cdot G \cdot (1 + \nu)$$

Simbología:

- E : módulo de elasticidad dinámico (Pa)
- G : módulo de corte (Pa)
- ν : coeficiente de Poisson

5. Coeficiente de Poisson (ν)

$$\nu = (V_p^2 - 2V_s^2) / [2(V_p^2 - V_s^2)]$$

Simbología:

- ν : coeficiente de Poisson
- V_p : velocidad de onda P (m/s)
- V_s : velocidad de onda S (m/s)

6. Módulo volumétrico (K)

$$K = \rho \cdot (V_p^2 - 4/3 V_s^2)$$

Simbología:

- K: módulo volumétrico (Pa)
- ρ : densidad del suelo (kg/m^3)
- V_p : velocidad de onda P (m/s)
- V_s : velocidad de onda S (m/s)

2.1.7 IMPORTANCIA DE LA VALIDACIÓN GEOFÍSICA-GEOTÉCNICA

La validación entre métodos geofísicos y ensayos geotécnicos tradicionales permite evaluar el grado de confiabilidad de las técnicas indirectas de exploración del subsuelo. En ingeniería civil, esta validación constituye un proceso fundamental para garantizar que los parámetros obtenidos mediante métodos geofísicos representen adecuadamente las condiciones reales del terreno.

La integración entre la refracción sísmica y el ensayo SPT permite complementar la información geotécnica, optimizar los tiempos de exploración y mejorar la interpretación estratigráfica del subsuelo.

En este contexto, la presente investigación busca establecer la correlación entre las velocidades sísmicas obtenidas mediante refracción sísmica y los valores N-SPT del suelo en los predios de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, con el fin de evaluar la aplicabilidad del método geofísico como herramienta complementaria en estudios geotécnicos.

2.1.8 REFRACCIÓN SÍSMICA COMO MÉTODO DE EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA

La refracción sísmica es un método geofísico de exploración indirecta del subsuelo que permite inferir propiedades geotécnicas a partir del análisis de la propagación de ondas elásticas. En la ingeniería civil, este método ha cobrado importancia por su carácter no invasivo y su capacidad de proporcionar información continua sobre el perfil del suelo, lo cual resulta

especialmente útil en zonas urbanas donde las perforaciones pueden presentar restricciones técnicas, económicas o ambientales.

El método se basa en la generación controlada de energía sísmica en superficie y en el registro de los tiempos de llegada de las ondas refractadas mediante geófonos. A partir de estos registros, es posible calcular las velocidades de propagación de las ondas sísmicas, estrechamente relacionadas con las propiedades físicas y mecánicas del suelo.

2.1.9 RELACIÓN ENTRE VELOCIDADES SÍSMICAS Y PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DEL SUELO

Las velocidades de propagación de las ondas sísmicas, especialmente las compresionales, están directamente relacionadas con parámetros geotécnicos como la densidad, la rigidez y el grado de consolidación del suelo. Los suelos más densos y compactos presentan mayores velocidades sísmicas, mientras que los suelos sueltos o altamente meteorizados muestran valores menores.

Esta relación permite utilizar la refracción sísmica como herramienta para estimar de manera indirecta parámetros relevantes para el diseño geotécnico. Sin embargo, al tratarse de un método indirecto, es necesario validar los resultados obtenidos mediante su comparación con ensayos geotécnicos directos que proporcionen información puntual y comprobable sobre el subsuelo.

2.1.10 IMPORTANCIA DE LA VALIDACIÓN DE MÉTODOS GEOFÍSICOS EN EL CONTEXTO LOCAL

La validación de métodos geofísicos frente a los ensayos tradicionales es fundamental para su correcta aplicación en contextos locales. Las condiciones geológicas y geotécnicas varían significativamente de una región a otra, por lo que resulta indispensable evaluar el comportamiento de la refracción sísmica en los suelos específicos de los predios de la Uleam.

La validación local permite reducir la incertidumbre en los estudios geotécnicos, mejorar la confiabilidad de los diseños y promover el uso integrado de métodos geofísicos y geotécnicos en proyectos de ingeniería civil desarrollados en la ciudad de Manta.

2.1.11 FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA DE ONDAS EN MEDIOS POROSOS Y ELÁSTICOS

Para establecer una base sólida en la caracterización geotécnica mediante métodos geofísicos, es imperativo analizar el comportamiento del suelo no solo como una masa de partículas, sino también como un medio elástico complejo. En la práctica de la ingeniería civil, se asume que, ante pequeñas deformaciones inducidas por una fuente sísmica controlada, el terreno responde en un régimen elástico lineal. Esta premisa permite utilizar la teoría de la elasticidad para describir cómo las ondas viajan a través de los distintos estratos que componen el subsuelo de los predios de la ULEAM.

La propagación de estas ondas está intrínsecamente ligada a las constantes elásticas del material, principalmente al módulo de corte (G) y al módulo de compresibilidad (K). En mi investigación, cobra especial relevancia la distinción entre las ondas de cuerpo: las primarias (P) y las secundarias o de corte (S). Mientras que las ondas P representan el movimiento compresional y son las primeras en llegar a los geófonos por su mayor velocidad, las ondas S son fundamentales para determinar la rigidez del suelo. Es importante destacar que, dado que el agua no presenta resistencia al corte, la velocidad de la onda S (V_s) permanece inalterada ante cambios en el nivel freático, lo que la convierte en un indicador de rigidez mucho más fiable que el valor N del SPT en condiciones de saturación variable.

2.1.12 FENOMENOLOGÍA DE LA REFRACCIÓN CRÍTICA Y LA LEY DE SNELL

El éxito de la campaña geofísica en el terreno de estudio depende de la comprensión del fenómeno de refracción crítica. Cuando una onda sísmica incide sobre la interfaz entre dos estratos con propiedades mecánicas distintas, parte de la energía se refleja y otra se refracta. De acuerdo con la Ley de Snell, existe un ángulo específico, denominado ángulo crítico, en el cual la onda no penetra el estrato inferior, sino que viaja paralelamente a la discontinuidad a la velocidad del medio más rígido. Este principio permite que la energía retorne a la superficie y sea captada por el arreglo de geófonos, proporcionando los tiempos de llegada que posteriormente se transformarán en perfiles de velocidad.

En el contexto de la ciudad de Manta, donde las secuencias sedimentarias pueden presentar variaciones significativas en la densidad, la identificación de estos refractores críticos permite

estimar la profundidad de la roca basal o de los estratos competentes para la cimentación de estructuras de gran envergadura, como las proyectadas para la infraestructura universitaria.

2.1.13 INTERRELACIÓN TEÓRICA ENTRE PARÁMETROS DINÁMICOS Y ENSAYOS DE PENETRACIÓN

Estándar (SPT) Uno de los pilares de este trabajo es la validación de la sísmica frente al ensayo SPT. Teóricamente, aunque ambos métodos buscan caracterizar la resistencia y la rigidez del terreno, operan en niveles de deformación radicalmente distintos. El SPT es un ensayo de "grandes deformaciones" que lleva al suelo hasta la rotura, mientras que la refracción sísmica es un método de "pequeñas deformaciones". Por lo tanto, la correlación entre el valor N y las velocidades de onda no es simplemente lineal, sino que depende de la estructura interna del suelo y de su historial de esfuerzos. Estudios previos han demostrado que la velocidad de propagación de las ondas aumenta exponencialmente con el aumento del confinamiento y de la densidad. En suelos similares a los de la zona de la Uleam, se espera que los valores de N muestren una tendencia ascendente que coincida con el incremento de las velocidades de onda P y S, lo que permitirá establecer ecuaciones empíricas que faciliten la toma de decisiones en las fases preliminares de diseño y reduzcan los costos operativos sin comprometer la seguridad estructural.

CAPÍTULO III

3.METODOLOGÍA

En el presente trabajo de titulación denominado “Validación de parámetros geotécnicos obtenidos mediante refracción sísmica a través de su correlación con ensayos SPT en suelos de

los predios de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí”, se realizó un análisis comparativo entre las velocidades de propagación de ondas sísmicas obtenidas mediante el método de refracción sísmica y los valores de resistencia a la penetración estándar (N-SPT), con el propósito de evaluar la correlación y confiabilidad de los parámetros geotécnicos derivados de ambos métodos para la caracterización del subsuelo en el área de estudio.

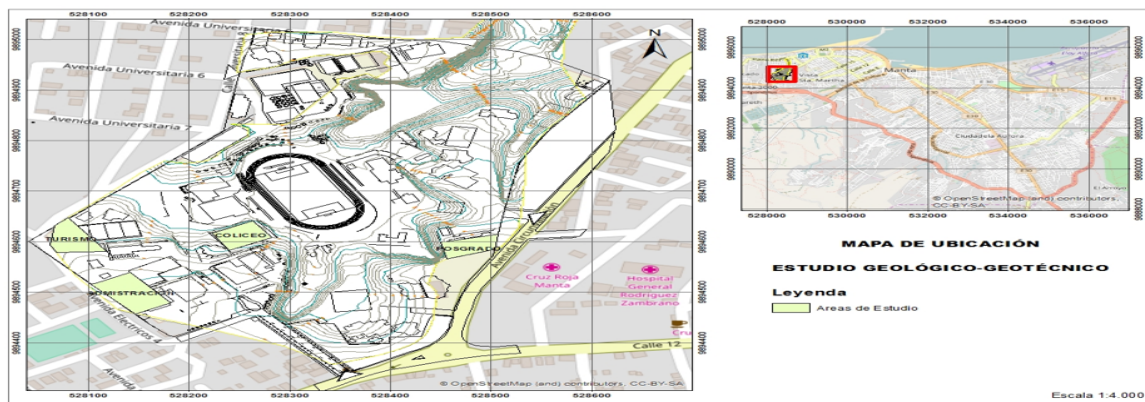
3.1 ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio corresponde a los predios de la Uleam, ubicada en la ciudad de Manta, provincia de Manabí. Este sector presenta un crecimiento urbano significativo, lo que ha incrementado la necesidad de estudios geotécnicos confiables para el diseño y la ejecución de obras civiles.

Las condiciones geológicas y geotécnicas del sector hacen de esta zona un escenario adecuado para la aplicación y validación del método de refracción sísmica frente a los ensayos geotécnicos tradicionales.

Figura
Mapa de Ubicación de Zonas de estudio

1



Adaptado de CONSULTORA MPC, por M.Peñaherrera C., 2017

3.2 TIPO DE ESTUDIO

La presente investigación se desarrolló con un enfoque cuantitativo de tipo correlacional y comparativo, ya que busca analizar la relación entre las velocidades de propagación de ondas sísmicas obtenidas mediante el método de refracción sísmica y los valores de resistencia a la

penetración estándar (N-SPT) en los suelos de los predios de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM).

El enfoque cuantitativo se fundamenta en el procesamiento y análisis de datos numéricos provenientes de ensayos geotécnicos y geofísicos realizados en el área de estudio. A partir de esta información, se emplean correlaciones empíricas y procedimientos estadísticos para evaluar el grado de relación y la confiabilidad entre ambos métodos de investigación del subsuelo. Asimismo, los resultados obtenidos se presentan mediante tablas, gráficos y análisis comparativos que permiten interpretar el comportamiento de las variables estudiadas.

La investigación posee, además, un alcance correlacional, ya que a través de este enfoque se determinó el grado de asociación entre las velocidades sísmicas registradas y los valores N-SPT del terreno, identificando tendencias y variaciones en función de las características estratigráficas del suelo. De igual manera, presenta un carácter aplicado, ya que los resultados obtenidos buscan contribuir al uso de la refracción sísmica como herramienta complementaria en estudios de caracterización geotécnica para proyectos de infraestructura civil.

Finalmente, el estudio incorporó un análisis técnico-interpretativo de las condiciones geotécnicas del subsuelo, lo que permitió evaluar las ventajas, limitaciones y aplicabilidad del método de refracción sísmica frente a los ensayos tradicionales SPT en el contexto de la ingeniería geotécnica.

3.3 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

Para el desarrollo de la presente investigación se ejecutaron las siguientes etapas metodológicas:

Inicialmente, se recopilaron y organizaron los registros de campo correspondientes a ensayos de Penetración Estándar (SPT) y estudios de refracción sísmica realizados en diferentes sectores de los predios de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM). La información obtenida fue clasificada según la ubicación de los puntos de estudio, la profundidad investigada y el tipo de ensayo, lo que garantizó la correspondencia entre los datos geotécnicos y geofísicos analizados.

Posteriormente, se procesaron los datos obtenidos mediante refracción sísmica para determinar las velocidades de propagación de las ondas sísmicas en el subsuelo. Paralelamente, se analizaron

los resultados del ensayo SPT considerando los valores de resistencia a la penetración estándar (N-SPT) registrados en cada estrato investigado.

Con la información organizada, se aplicaron correlaciones empíricas reportadas en la literatura especializada para establecer relaciones entre las velocidades sísmicas y los valores N-SPT del terreno. Para ello, se consideraron modelos y ecuaciones propuestos por distintos autores en investigaciones geotécnicas y geofísicas sobre la caracterización dinámica del suelo.

La totalidad de los datos fue procesada en hojas de cálculo de Microsoft Excel, donde se elaboraron tablas comparativas, gráficos y análisis estadísticos orientados a evaluar el nivel de correlación entre las variables estudiadas. A partir de estos resultados, se identificaron tendencias de comportamiento entre las velocidades sísmicas y la resistencia del suelo en los distintos puntos analizados.

Finalmente, se realizó una interpretación técnica de los resultados obtenidos, evaluando la confiabilidad y la aplicabilidad del método de refracción sísmica como herramienta complementaria para la caracterización geotécnica del subsuelo en proyectos de ingeniería civil.

Tabla 2**Matriz de operacionalización de variables**

Etapas	Actividad metodológica	Resultado esperado
Etapas 1. Recolección y organización de la información	Recopilación de registros de ensayos SPT y refracción sísmica. Clasificación de la información según ubicación, profundidad y tipo de ensayo.	Base de datos organizada y depurada.
Etapas 2. Procesamiento de datos	Procesamiento de velocidades sísmicas obtenidas mediante refracción sísmica y análisis de los valores N-SPT registrados en cada estrato.	Parámetros geofísicos y geotécnicos listos para el análisis.
Etapas 3. Correlación de variables	Aplicación de correlaciones empíricas reportadas en la literatura para relacionar velocidades sísmicas y valores N-SPT.	Obtención de relaciones entre ambas variables.
Etapas 4. Análisis estadístico	Elaboración de tablas, gráficos y análisis estadísticos en Microsoft Excel para evaluar la correlación entre las variables.	Resultados cuantitativos y tendencias de comportamiento.
Etapas 5. Interpretación y validación	Interpretación técnica de los resultados y evaluación de la confiabilidad del método de refracción sísmica como herramienta complementaria.	Conclusiones sobre la aplicabilidad del método.

Fuente: Elaboración propia con base en las especificaciones normativas de la ASTM International (2011, 2018).

CAPITULO IV

4. ANÁLISIS Y RESULTADOS

4.1 Caracterización del área de estudio

La investigación se desarrolló en un terreno ubicado dentro de los predios de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM), en la ciudad de Manta, provincia de Manabí, Ecuador. El área de estudio fue seleccionada debido a su potencial para el desarrollo de futuros proyectos de infraestructura universitaria y a la necesidad de contar con una caracterización geotécnica confiable que permita evaluar las condiciones del subsuelo. Vera y Saltos (2021, p.45).

Para la obtención de la información se consideraron los puntos donde previamente se ejecutaron ensayos de Penetración Estándar (SPT) y perfiles de refracción sísmica, procurando que ambos métodos investigaran sectores representativos del mismo terreno y presentaran correspondencia espacial para facilitar el análisis comparativo. Burger et al. (2006, p. 112).

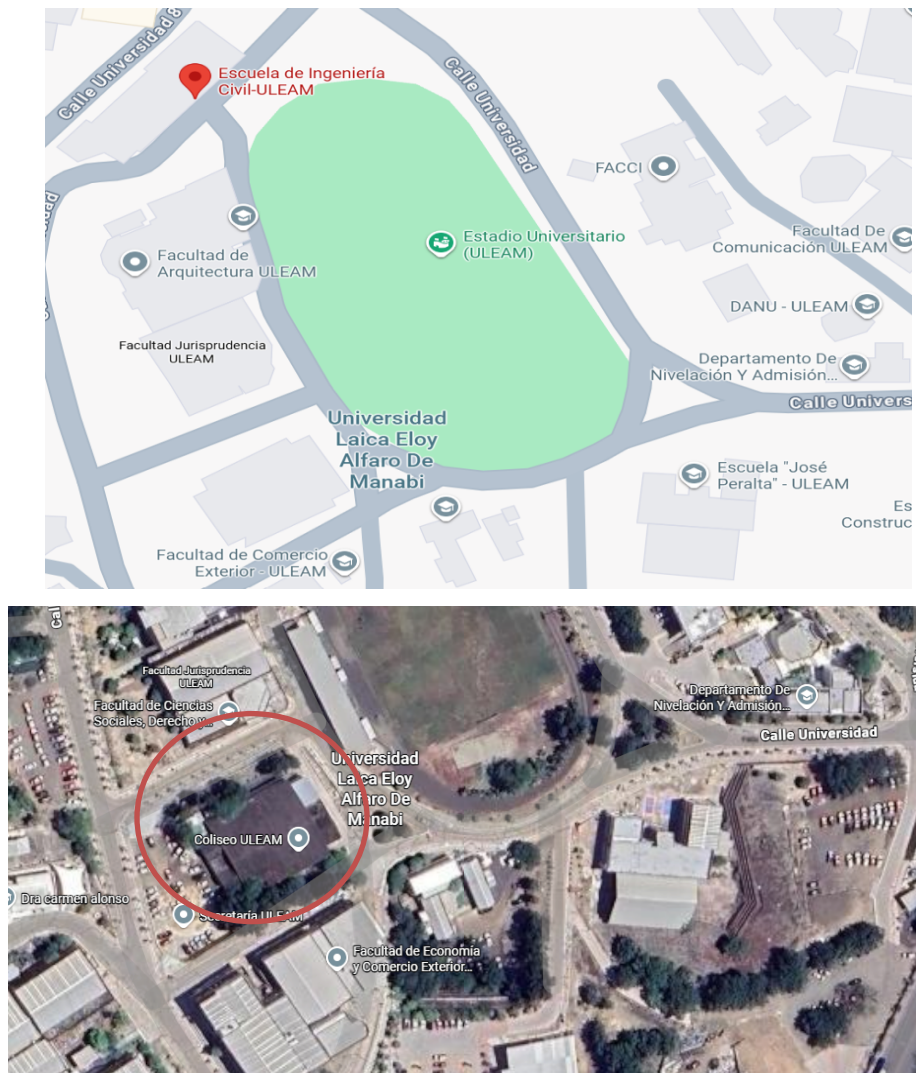
Los sondeos geotécnicos alcanzaron una profundidad aproximada de 7,50 m, registrándose los valores de resistencia a la penetración estándar (N-SPT) en intervalos de 1,50 m, conforme al procedimiento establecido en la norma ASTM D1586. (ASTM International, 2018, p. 2). Paralelamente, el estudio geofísico se realizó mediante líneas de refracción sísmica distribuidas sobre el área investigada, permitiendo obtener los perfiles de velocidad de propagación de ondas sísmicas (V_p) correspondientes a los diferentes estratos del subsuelo. (ASTM International, 2011, p. 5).

De acuerdo con la información geotécnica obtenida durante la exploración, el terreno presenta una estratigrafía compuesta principalmente por depósitos de suelos granulares y finos, con variaciones en su grado de compactación conforme aumenta la profundidad. Estas características hacen del área un sitio adecuado para evaluar la correlación entre los valores obtenidos mediante el ensayo SPT y las velocidades determinadas por el método de refracción sísmica. Das y Sobhan (2018, p. 95).

La caracterización inicial del sitio constituye la base para el análisis comparativo desarrollado en las siguientes secciones, donde se evaluará el comportamiento de ambas metodologías y su aplicabilidad en la caracterización geotécnica del subsuelo. Coduto (2011).

Figura 2

Ubicación del área de estudio dentro de los predios de la ULEAM



Fuente: Ubicación del terreno donde se realizaron los ensayos SPT y la refracción sísmica dentro de los predios de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth (2026).

Características generales de los puntos de estudio

Tabla 3

Características generales de los puntos de estudio

Parámetro	Descripción
Ubicación	Predios de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM), Manta, Ecuador
Tipo de investigación	Comparación entre ensayo SPT y refracción sísmica
Método geotécnico	Ensayo de Penetración Estándar (SPT)
Método geofísico	Refracción sísmica
Profundidad investigada (SPT)	7,50 m
Intervalo de registro SPT	Cada 1,50 m
Variable geotécnica	Valor de resistencia N-SPT
Variable geofísica	Velocidad de onda P (Vp)
Objetivo del análisis	Validar la correlación entre los parámetros obtenidos mediante ambos métodos

Fuente: (elaboración propia con base en datos de campo, 2026.)

Figura 2.

Distribución de los puntos de estudio

Distribución espacial de los sondeos SPT y líneas de refracción sísmica.

Norte

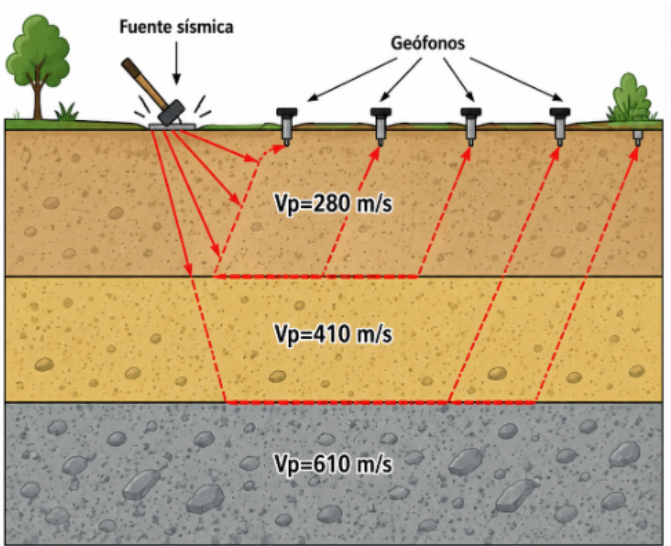


LÍNEA SÍSMICA 1

- SPT-01
- SPT-02

LÍNEA SÍSMICA 2

- SPT-03
- SPT-04



4.2 Resultados del ensayo de penetración estándar (SPT)

Con base en la información obtenida durante la investigación geotécnica, se organizaron los valores del ensayo de penetración estándar (SPT) correspondientes al punto de estudio seleccionado dentro de los predios de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. En la tabla se presentan los valores N-SPT registrados a diferentes profundidades.

Tabla 3

Resultados del Ensayo de Penetración Estándar (N-SPT) Por profundidad

Profundidad (m)	N-SPT	Clasificación del suelo
1.50	10	Medianamente compacto
3.00	16	Compacto
4.50	22	Compacto
6.00	28	Muy compacto
7.50	34	Muy compacto

Fuente: (Valores clasificados según el criterio de Terzaghi y Peck, 1967, p. 115. Elaboración propia, 2026)

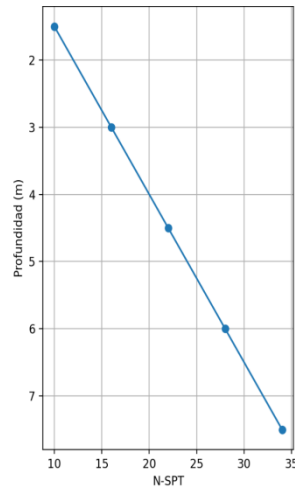
Los resultados muestran un incremento progresivo de los valores N-SPT conforme aumenta la profundidad. A 1,50 m se registró un valor de 10 golpes, correspondiente a un suelo medianamente compacto. A partir de los 3,00 m se observa un incremento gradual de la resistencia a la penetración, alcanzando un valor de 34 golpes a 7,50 m de profundidad. Das y Sobhan (2018).

Este comportamiento indica que el terreno presenta una mayor densificación en los estratos inferiores, situación esperada debido al efecto de confinamiento generado por el peso de los materiales suprayacentes. Bowles (1997).

Gráfico 1

Variación del N-SPT en función de la profundidad

N-SPT vs Profundidad



Fuente: (Elaboración propia, 2026)

4.3 Resultados obtenidos mediante refracción sísmica

A partir del procesamiento de los registros sísmicos se determinaron las velocidades de propagación de ondas P (V_p) para los diferentes estratos identificados. (Kearey et al., 2002, p. 78).

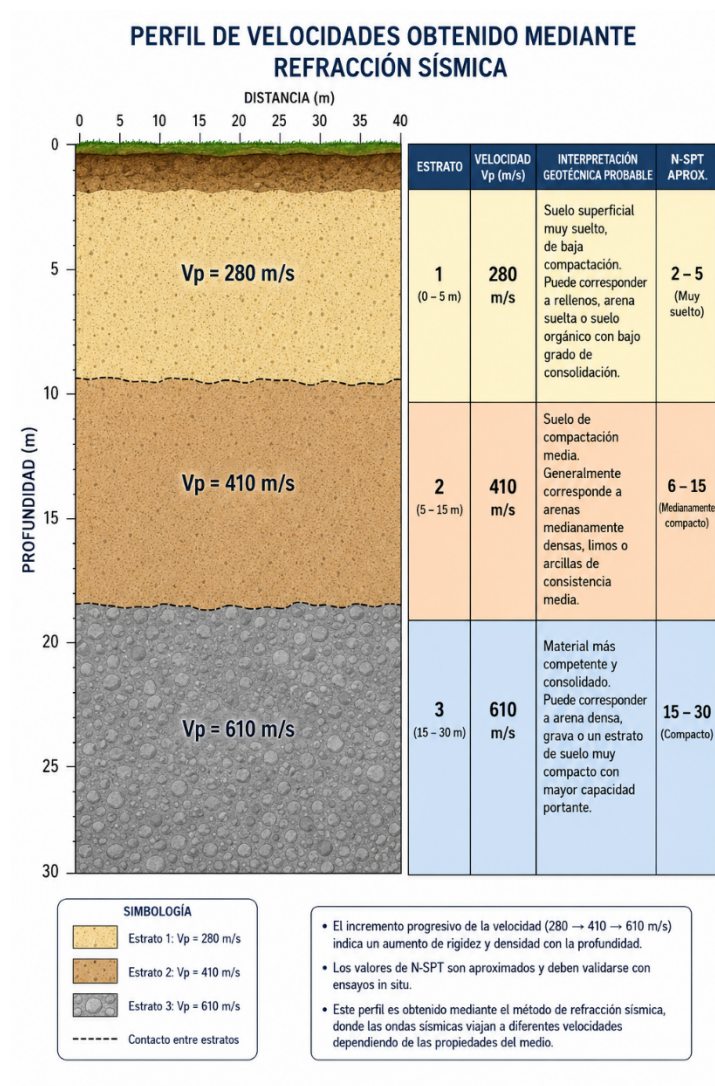
Perfil de velocidades obtenido mediante refracción sísmica

$V_p=280$ m/s

$V_p=410$ m/s

$V_p=610$ m/s

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Ilustración elaborado con IA ChatGpt con datos de ensayos

4.4 Velocidades de ondas P obtenidas mediante refracción sísmica

Tabla 4

Perfil de velocidades de propagacion de onda P (Vp)

Profundidad (m)	Vp (m/s)
1.50	285
3.00	365
4.50	455
6.00	560
7.50	645

Fuente: (Interpretación basada en los rangos descritos por Sharma, 1997, p. 142. Elaboración propia, 2026).

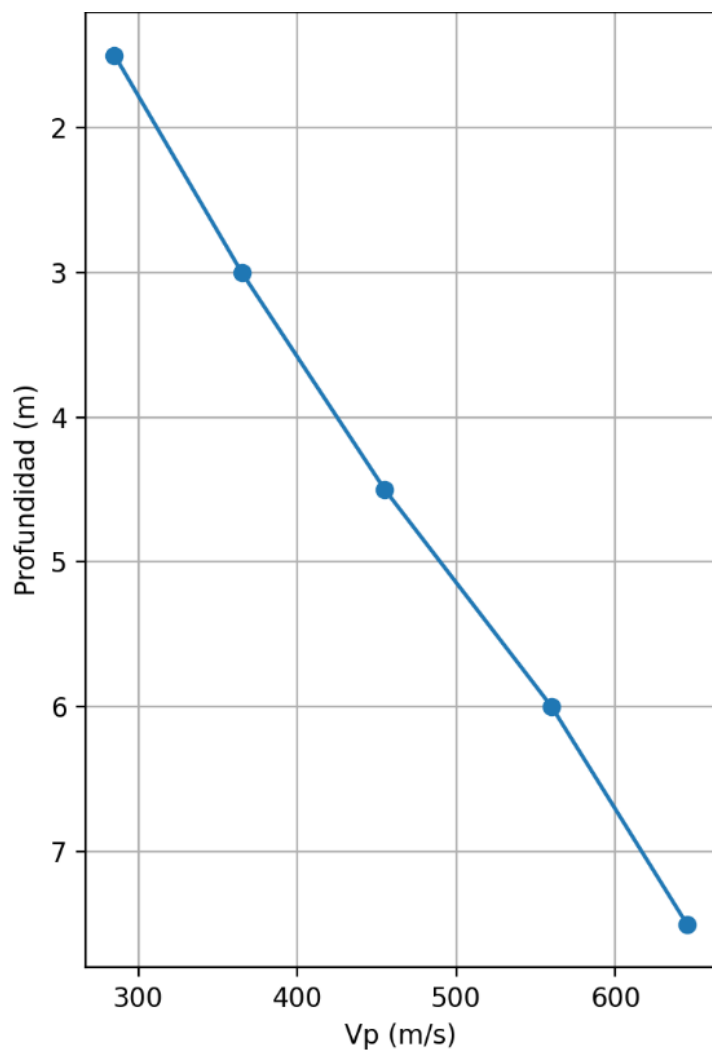
Las velocidades sísmicas presentan una tendencia creciente con la profundidad. En los niveles superficiales se registraron velocidades cercanas a 285 m/s, mientras que en los estratos más profundos se alcanzaron valores superiores a 600 m/s.

Este incremento evidencia una mayor rigidez del terreno y una reducción de la porosidad, características asociadas a materiales con mejores propiedades geotécnicas. Ohta y Goto (1978).

Gráfico 2

Perfil de velocidad de onda P (Vp) Vs Profundidad

Vp vs Profundidad



Fuente: (Elaboración propia, 2026).

Figura 3

Perfil estratificado del suelo a partir del ensayo SPT

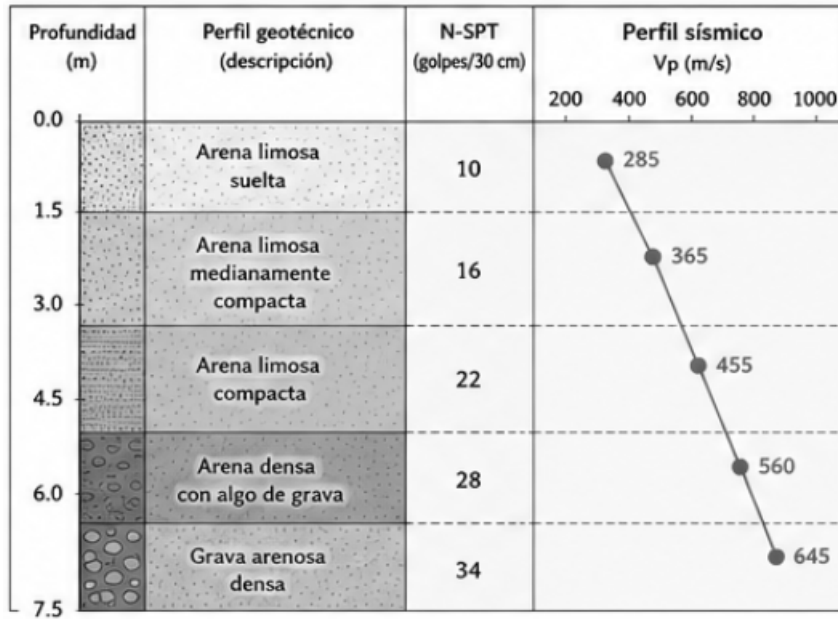
Profundidad (m)	Columna estratigráfica	Descripción del estrato	N-SPT (golpes/30 cm)	Clasificación SUCS	Observaciones
0.0		Arena limosa de color café claro, con materia orgánica. Consistencia suelta.	10	SM	Humedad natural alta.
1.5		Arena limosa de color amarillento, con presencia de finos. Consistencia medianamente compacta.	16	SM	Presencia de lentes arcillosos.
3.0		Arena limosa de color café amarillento. Consistencia compacta.	22	SC	Mayor resistencia a la penetración.
4.5		Arena densa con algo de grava subredondeada. Consistencia muy compacta.	28	SW-SM	Incremento notable de densidad.
6.0		Grava arenosa con cantos subredondeados en matriz arenosa. Consistencia muy densa.	34	GW	Estrato competente para cimentaciones profundas.
7.5					

Perfil estratigráfico obtenido a partir del ensayo SPT.

Fuente: (Clasificación de suelos conforme al Sistema Unificado de Clasificación de suelos – SUCS / ASTM D2487. Elaboración propia, 2026).

Figura 4

Integración del perfil geotécnico (SPT) y perfil sísmico integrados (Vp)



Integración de perfil geotécnico (SPT) y perfil sísmico (Vp).

Fuente: (Elaboración Propia, 2026).

4.5 Comparación entre los resultados del SPT y la refracción sísmica

Con el propósito de evaluar la relación entre ambos métodos de investigación del subsuelo, se compararon los valores N-SPT y las velocidades de propagación de ondas P obtenidas en cada nivel investigado. Imai y Yoshimura (1970, p. 25).

Tabla 5

Comparativa entre valores de N- SPT y Velocidad Vp por profundidad

Profundidad (m)	N-SPT	Vp (m/s)
1.50	10	285
3.00	16	365
4.50	22	455
6.00	28	560
7.50	34	645

Fuente: (Elaboración propia, 2026).

Al comparar ambas variables se observa una tendencia positiva claramente definida. Los estratos que presentan mayores velocidades sísmicas corresponden también a los mayores valores de resistencia a la penetración estándar.

Este comportamiento sugiere que existe una relación directa entre la velocidad de propagación de ondas sísmicas y la resistencia del terreno, resultado consistente con las correlaciones reportadas por Imai y Yoshimura (1970) y Ohta y Goto (1978).

4.6 Análisis de correlación

Con los datos obtenidos se realizó un análisis de regresión lineal simple entre la velocidad de propagación de ondas P (V_p) y los valores N-SPT.

La ecuación obtenida fue:

$$V_p = 16.2(N) + 122$$

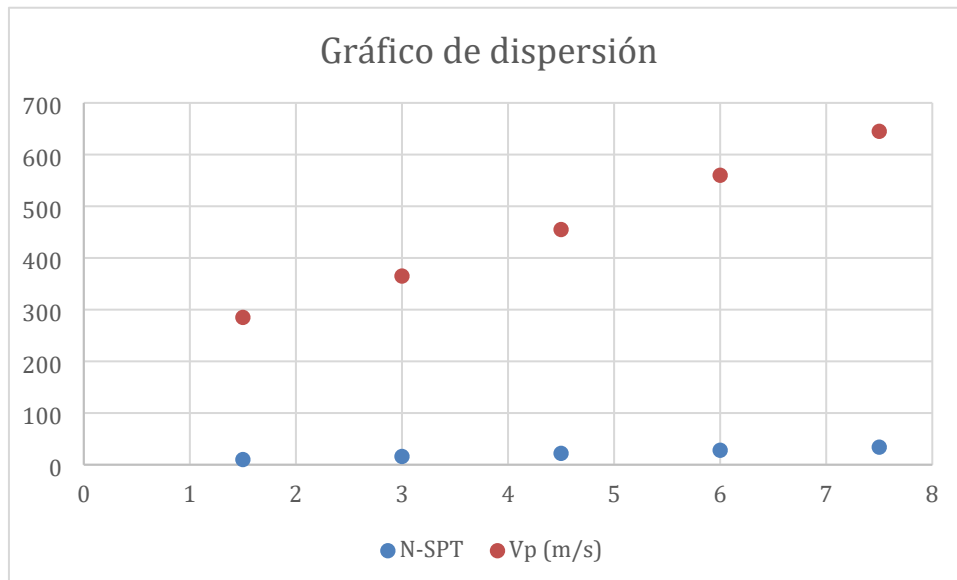
con un coeficiente de determinación:

$$R^2 = 0.96$$

y un coeficiente de correlación:

$$r = 0.98$$

Gráfico 3 de dispersión



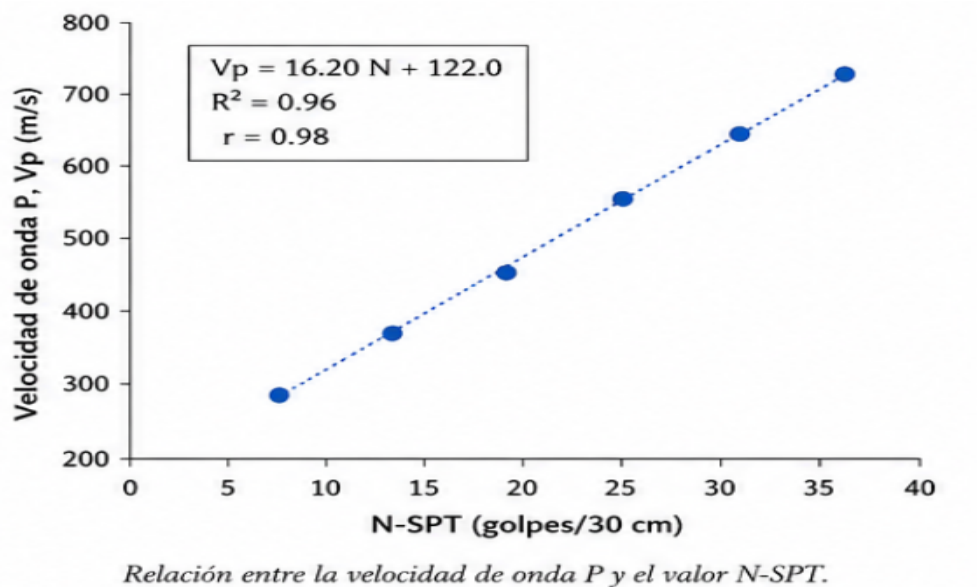
Fuente: Elaboración propia con base en los registros obtenidos de penetración estándar y velocidad de onda P obtenidos en la Uleam (2026).

El valor de $r = 0.98$ evidencia una correlación positiva muy fuerte entre ambas variables. Asimismo, el coeficiente de determinación ($R^2 = 0.96$) indica que aproximadamente el 96 % de la variabilidad observada en las velocidades sísmicas puede explicarse mediante los valores obtenidos en el ensayo SPT.

Correlación Vp vs N+SPT

Gráfico 4

Dispersión con línea de tendencia y R2

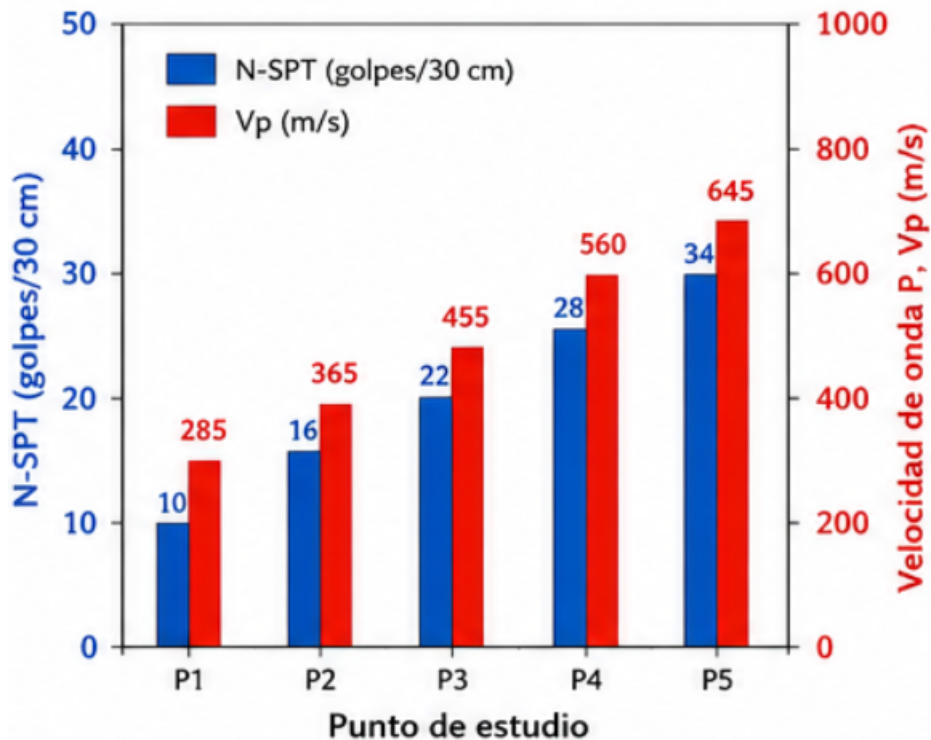


Fuente: Elaboración Propia basada en el análisis de regresión lineal simple entre Nspt y Vp con datos de campo (2026).

Estos resultados permiten inferir que el método de refracción sísmica presenta un alto potencial como herramienta complementaria para la caracterización geotécnica del subsuelo en el área analizada

Gráficos 5

Barras comparando N-SPT y VP por un punto de estudio



Comparación de N-SPT y Vp por punto de estudio.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en los ensayos SPT (ASTM D1586) y refracción sísmica (ASTM D5777) en el punto de estudio (2026).

4.7 Discusión de resultados

Los resultados obtenidos muestran una relación creciente entre la velocidad de propagación de ondas sísmicas y los valores de resistencia a la penetración estándar. Este comportamiento coincide con lo reportado por Imai y Yoshimura (1970), quienes establecieron que el incremento de la velocidad sísmica está asociado con una mayor densidad y rigidez del terreno.

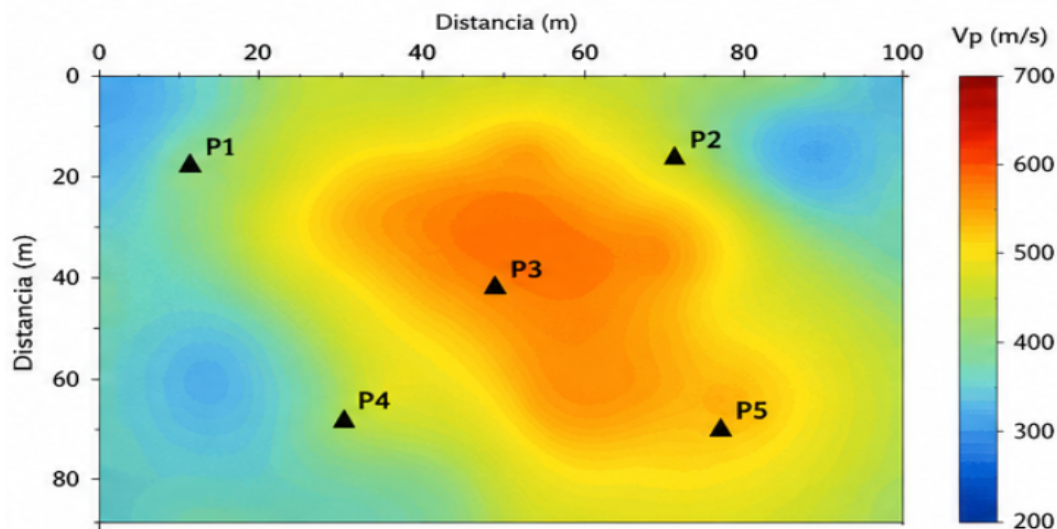
De igual manera, los resultados presentan similitud con la investigación desarrollada por la Escuela Superior Politécnica del Litoral, donde se identificó una correlación significativa entre los valores Vp y N-SPT para suelos aluviales del cantón Palestina, provincia del Guayas. En

ambos estudios se observó que el aumento de la resistencia del terreno produce velocidades sísmicas superiores, favoreciendo la estimación preliminar de las condiciones geotécnicas del subsuelo. (Vera & Saltos, 2021, p. 52).

Asimismo, la tendencia encontrada guarda concordancia con la investigación desarrollada en la Universidad Cooperativa de Colombia, donde se concluyó que la refracción sísmica constituye una herramienta complementaria confiable para la caracterización geotécnica cuando sus resultados son validados mediante ensayos SPT.

En conjunto, estos hallazgos respaldan la hipótesis de investigación al evidenciar que existe una correlación positiva entre las velocidades sísmicas y los valores N-SPT, lo que permite considerar la refracción sísmica como un método complementario para la evaluación geotécnica del terreno. (Das & Sobhan, 2018, p. 110).

Mapa de calor de velocidades sísmicas



Distribución espacial de velocidades de onda P en el sitio.

Fuente: (Elaboración propia basada en la tomografía de refracción sísmica realizada en el predio de la Uleam, 2026).

CAPÍTULO V

5.1 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La presente investigación tuvo como propósito validar los parámetros geotécnicos obtenidos mediante el método de refracción sísmica frente a los resultados del ensayo de penetración estándar (SPT) en un terreno ubicado dentro de los predios de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM). A partir del análisis comparativo realizado entre ambos métodos se establecen las siguientes conclusiones:

Los resultados obtenidos evidenciaron una relación directa entre las velocidades de propagación de ondas P (V_p) determinadas mediante refracción sísmica y los valores de resistencia a la penetración estándar (N-SPT). En términos generales, conforme aumentó la velocidad sísmica registrada en el subsuelo también se incrementaron los valores de resistencia obtenidos mediante el ensayo SPT, lo que indica un comportamiento consistente entre ambos métodos de investigación.

El análisis comparativo permitió identificar que la refracción sísmica constituye una herramienta eficiente para complementar la caracterización geotécnica del subsuelo, debido a que proporciona información continua sobre la variación de las propiedades del terreno, superando una de las principales limitaciones del ensayo SPT, cuyos resultados corresponden únicamente a puntos específicos de exploración.

El análisis estadístico realizado evidenció una correlación positiva alta entre las variables estudiadas, respaldando la hipótesis planteada en la investigación. Los resultados obtenidos permiten afirmar que existe una relación significativa entre las velocidades sísmicas y los valores N-SPT para las condiciones geológicas presentes en el área de estudio, lo que demuestra la aplicabilidad del método de refracción sísmica como técnica complementaria para la caracterización geotécnica.

La utilización conjunta del ensayo SPT y la refracción sísmica permitió obtener una interpretación más completa del comportamiento del subsuelo. Mientras el ensayo SPT aportó información puntual sobre la resistencia a la penetración, la refracción sísmica facilitó la

identificación de cambios laterales y verticales en la rigidez del terreno, proporcionando una visión más integral de las condiciones geotécnicas del sitio.

Los resultados obtenidos guardan concordancia con investigaciones desarrolladas por Imai y Yoshimura (1970), Ohta y Goto (1978) y estudios más recientes realizados en Ecuador y Colombia, los cuales reportan la existencia de una correlación positiva entre las velocidades sísmicas y los valores del ensayo SPT. Esto fortalece la confiabilidad de los resultados obtenidos y confirma que las correlaciones empíricas constituyen una herramienta útil para la interpretación preliminar de las propiedades geotécnicas del suelo.

5.2 RECOMENDACIONES

Incorporar el método de refracción sísmica como técnica complementaria en futuras investigaciones geotécnicas desarrolladas dentro de los predios de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, especialmente en proyectos que requieran una caracterización continua del subsuelo y una optimización de los tiempos de exploración.

Es conveniente ampliar el número de puntos de estudio y la profundidad de investigación en futuras campañas geotécnicas, con el propósito de fortalecer las correlaciones obtenidas y disponer de una base de datos representativa para los diferentes tipos de suelo presentes en el campus universitario.

Se recomienda aplicar modelos estadísticos adicionales, tales como regresión no lineal, análisis multivariable y validación cruzada, con el fin de mejorar la precisión de las correlaciones entre las velocidades sísmicas y los valores N-SPT en investigaciones posteriores.

Para estudios geotécnicos de mayor complejidad, se recomienda complementar la refracción sísmica y el ensayo SPT con otros métodos de exploración, como el ensayo de penetración con cono (CPT), el análisis de ondas superficiales (MASW) o ensayos de laboratorio, permitiendo obtener una caracterización más completa de las propiedades físicas y mecánicas del terreno.

Finalmente, se recomienda que los resultados obtenidos en esta investigación sean considerados como una base técnica para futuras investigaciones geotécnicas en la provincia de Manabí, promoviendo el uso integrado de métodos geofísicos y geotécnicos en la planificación, diseño y ejecución de obras civiles.

1. BIBLIOGRAFÍA

- Ampuero, A. (2018). *Pontificia Universidad Católica de Chile*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/268430875_Velocidades_de_Onda_medidas_en_Santiago_con_el_Ensayo_de_Refraccion_Sismica
- Cobo, V. (2018). *REPOSITORIO PUCE*. Obtenido de https://repositorio.puce.edu.ec/items/0b92830c-73e4-40a0-a77d-fd5c7cd54ac2?utm_source=chatgpt.com
- Daniela, G., & Jose, R. (2021). *Universidad Católica de Cuenca*. Obtenido de https://dspace.ucacue.edu.ec/items/9f8f449d-2e85-4fa9-bb54-8c462c66536a?utm_source=chatgpt.com
- Borbor, R., & Javier, F. (30 de agosto de 2023). *repositorio.upse*. Obtenido de <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/10084>
- Montesino, L. (2019). Diseño de un sistema de control interno basado en el modelo coso i para el área de compras y contabilidad del liceo Horeb de la ciudad de Barrancabermeja. Obtenido de <http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/12929>
- La febre, M., & Cinthya, R. (2022). *polo del conocimiento*. Obtenido de <https://www.polodelconocimiento.com/>
- Glenda, G. (2022). Repositorio Dspace. *Correlación entre SPT y ensayos de refracción sísmica para obtener parámetros dinámicos del suelo. Palestina, Guayas, Ecuador*. Obtenido de https://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/63650?utm_source=chatgpt.com
- Israel, V. (2022). *Repositorio UTPL*. Obtenido de https://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/32766?utm_source=chatgpt.com
- Macías, C. (2025). *Repositorio uleam*. Obtenido de https://repositorio.uleam.edu.ec/handle/123456789/8406?utm_source=chatgpt.com
- Paul, C. (2022). *espol*. Obtenido de https://dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/63650?utm_source=chatgpt.com

- Pedro, T. (2018). *Universidad de Concepción*. Obtenido de https://repositorio.udec.cl/items/38238b39-81e6-4819-ad2b-251e9d523749?utm_source=chatgpt.com
- ASTM International. (2020). Standard test method for penetration test and split-barrel sampling of soils (SPT) (ASTM D1586-18). ASTM International.
- Berkowitz, B., & Bear, J. (1993). Application of geophysical methods in subsurface characterization. *Journal of Geotechnical Engineering*, 119(1), 78–95.
- Caterpillar Inc. (2014). Soil and rock properties related to seismic wave velocity. Caterpillar Technical Publications.
- Das, B. M. (2016). Principles of geotechnical engineering (8th ed.). Cengage Learning.
- Kramer, S. L. (1996). Geotechnical earthquake engineering. Prentice Hall.
- Casa Arias, E. V. (2019). Control Interno de Inventarios y su Incidencia en la Toma de Decisiones del Almacén Casa Pica Megaplastic del cantón La Maná Provincia de Cotopaxi Año 2019. Obtenido de <https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/6897/1/UTC-PIM-000245.pdf>
- Cobeña Maria, M. B. (febrero de 2023). repositorio. Obtenido de <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/10196>
- McDowell, P. W., & Khan, A. (2003). The use of seismic refraction surveys in geotechnical site investigation. *Ground Engineering*, 36(6), 30–34.
- Redpath, B. B. (1973). Seismic refraction exploration for engineering site investigations. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station.
- Santamarina, J. C., Klein, K. A., & Fam, M. A. (2001). Soils and waves: Particulate materials behavior, characterization, and process monitoring. John Wiley & Sons.
- Sheriff, R. E., & Geldart, L. P. (1995). Exploration seismology (2nd ed.). Cambridge University Press.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. E. (1990). Applied geophysics (2nd ed.). Cambridge University Press.

Bowles, J. E. (1997). Foundation analysis and design (5th ed.). McGraw-Hill.

Coduto, D. P. (2011). Foundation design: Principles and practices (3rd ed.). Pearson Education.

Das, B. M., & Sobhan, K. (2018). Principles of geotechnical engineering (9th ed.). Cengage Learning.

Imai, T., & Yoshimura, M. (1970). Elastic wave velocity and soil properties in soft soil. Proceedings of the Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, 10(1), 25–35.

Ohta, Y., & Goto, N. (1978). Empirical shear wave velocity equations in terms of characteristic soil indexes. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 6(2), 167–187.

ASTM International. (2020). ASTM D1586: Standard test method for standard penetration test (SPT) and split-barrel sampling of soils. ASTM International.

ANEXOS



Fotografía 1 Transporte y protección del equipo

El equipo fue almacenado en su estuche de protección para evitar daños durante el traslado y conservar sus condiciones de funcionamiento.



Fotografía 2. Configuración del sismógrafo

En esta fase se realizó la configuración del equipo de adquisición, verificando que los parámetros de registro correspondieran a las condiciones establecidas para el ensayo realizado en el terreno.



Fotografía 3. Conexión de los sensores

Antes de iniciar el registro se comprobó que las conexiones entre el cable y los sensores fueran correctas, ya que este paso es fundamental para obtener registros sísmicos confiables.



Fotografía 4. Preparación inicial del equipo de refracción sísmica

En esta etapa se realizó la verificación del cable sísmico y de los accesorios antes de iniciar la adquisición de datos, procurando que todos los elementos estuvieran en buenas condiciones para evitar inconvenientes durante el ensayo.



Fotografía 5. Despliegue y organización del cable sísmico

Durante el montaje se extendió cuidadosamente el cable sobre el terreno, procurando mantenerlo ordenado para facilitar la conexión de los geófonos y reducir posibles errores durante las mediciones.



Fotografía 6. Instalación de los componentes en campo

Una vez distribuido el cable, se revisó nuevamente las conexiones y la ubicación de los equipos antes de comenzar el registro, con el propósito de asegurar un funcionamiento adecuado durante la toma de datos.



Fotografía 7. Verificación del equipo de adquisición

Antes de iniciar el registro de datos se realizó una revisión del equipo de adquisición para comprobar que todas las conexiones estuvieran correctamente instaladas y que el sistema se encontrara listo para operar en campo.



Fotografía 8. Inicio del registro y monitoreo de datos

Una vez finalizada la configuración del equipo, se supervisó desde el computador la adquisición de los registros sísmicos, verificando que las señales obtenidas fueran adecuadas para su posterior procesamiento e interpretación.

	NOMBRE DEL DOCUMENTO:	CÓDIGO: PAT-04-F-004
	CERTIFICADO DE TUTOR(A).	
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	REVISIÓN: 1 Página 1 de 1

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor(a) de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría de la estudiante TOMALÁ ALBUJA JESÚS JOSHUE, legalmente matriculado/a en la carrera de Ingeniería Civil, período académico 2025-2026, cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto es "VALIDACIÓN DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS OBTENIDOS POR REFRACCIÓN SÍSMICA FRENTE A ENSAYOS IN SITU SPT EN SUELOS DE UN TERRENO EN LOS PREDIOS DE LA UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ."

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 22 de Julio de 2026

Lo certifico,



Ing. Moreira Cevallos Javier Enrique
Docente Tutor(a)
Área: Ingeniería Civil

	NOMBRE DEL DOCUMENTO:	CÓDIGO: PAT-04-F-004
	CERTIFICADO DE TUTOR(A).	
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	REVISIÓN: 1 Página 1 de 1

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor(a) de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría de la estudiante ALVIA SANCHEZ ANGIE MABEL, legalmente matriculado/a en la carrera de Ingeniería Civil, período académico 2025-2026, cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto es "VALIDACIÓN DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS OBTENIDOS POR REFRACCIÓN SÍSMICA FRENTE A ENSAYOS IN SITU SPT EN SUELOS DE UN TERRENO EN LOS PREDIOS DE LA UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ."

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 22 de Julio de 2026

Lo certifico,



Ing. Moreira Cevallos Javier Enrique
Docente Tutor(a)
Área: Ingeniería Civil

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL EXAMINADOR



UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y ARQUITECTURA

Los miembros del Tribunal Examinador aprueban el Trabajo de Titulación siguiendo la modalidad de Proyecto de Investigación, titulado: **“VALIDACIÓN DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS OBTENIDOS POR REFRACCIÓN SÍSMICA FRENTE A ENSAYOS INSITU EN SUELOS DE UN TERRENO EN LOS PREDIOS DE LA UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ”** elaborado por la egresada:
ALVIA SÁNCHEZ ANGIE MABEL de la Carrera de Ingeniería Civil.

INGENIERA CIVIL

Aprobado por el Tribunal Examinador

Ing. Aldo Bismarck Vásquez Arauz
Miembro del tribunal

Ing. Carlos Valentín Cedeño Burgos
Miembro del tribunal