



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,

INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DETERMINACIÓN DE ONDAS CORTE VS Y COMPRESIÓN

VP, PARA CORRELACIONAR CON VALORES DE N60 Y

PARÁMETROS GEOMECÁNICOS DEL SUELO

PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL

TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

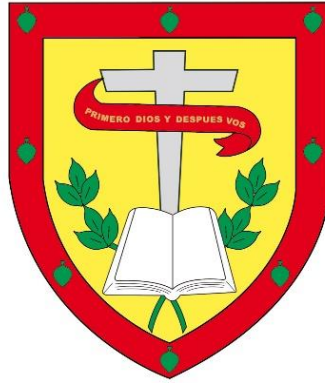
AUTORES: BORIS IVAN MOGROVEJO RODRIGUEZ

DIRECTOR: ING. LUIS MARIO ALMACHE SANCHEZ

CUENCA-ECUADOR

2023

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN.**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL.

**DETERMINACIÓN DE ONDAS CORTE VS Y COMPRESIÓN VP, PARA
CORRELACIONAR CON VALORES DE N_{60} Y PARÁMETROS GEOMECÁNICOS
DEL SUELO**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

AUTORES: BORIS IVAN MOGROVEJO RODRIGUEZ.

DIRECTOR: ING. LUIS MARIO ALMACHE SANCHEZ.

CUENCA - ECUADOR

2023

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD

Boris Iván Mogrovejo Rodríguez portador de la cédula de ciudadanía N.º 0105872808. Declaro ser el autor de la obra: “Determinación de ondas corte Vs y compresión Vp, para correlacionar con valores de N60 y parámetros geomecánicos del suelo.” sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declarando que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que esta obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 12 de octubre del 2023.

F: 

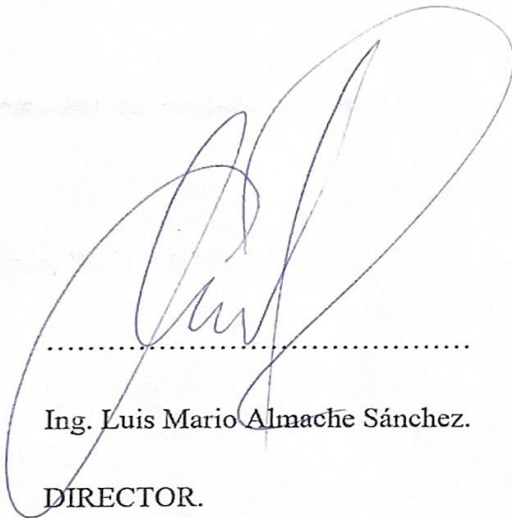
Boris Iván Mogrovejo Rodríguez

0105872808

CERTIFICACIÓN

Yo, Ing. Luis Mario Almache Sánchez con CI: 0103401451 en calidad de director de tesis certifico que el trabajo “Determinación de ondas corte Vs y compresión Vp, para correlacionar con valores de N60 y parámetros geomecánicos del suelo.”, fue realizado por el estudiante Boris Iván Mogrovejo Rodríguez, bajo mi supervisión.

Cuenca, 12 de octubre de 2023



.....

Ing. Luis Mario Almache Sánchez.

DIRECTOR.

DEDICATORIA

Dedico este logro de manera infinita a mi madre Irma Eulalia Rodríguez Solís, que con su esfuerzo, amor y dedicación día a día me brindo su gran apoyo para poder tener la fuerza y ganas de seguir adelante.

También a mis hermanos y padre que fueron una parte muy importante en este proceso ya que con su apoyo emocional supieron darme ánimos para nunca decaer y poder cumplir un gran logro.

Boris Iván Mogrovejo Rodríguez

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Ing. Luis Mario Almache Sánchez, quien ha sido el que en este proceso de titulación con paciencia y conocimientos me guio, también agradezco a los ingenieros laboratoristas: Ing. Juan Monje y el Ing. Marco González, quienes fueron los que me guiaron y acompañaron en la parte práctica de la tesis, brindando sus consejos y conocimientos para así poder cumplir con los objetivos propuestos.

RESUMEN

Esta investigación se realizó con el objetivo de determinar ondas de corte V_s y compresión V_p , para correlacionar con valores de N_{60} y parámetros geomecánicos del suelo; para lo cual se realizó el método directo SPT y el ensayo indirecto de refracción sísmica; y determinar los parámetros del tipo de suelo en el laboratorio (granulometría, ensayo de corte directo, clasificación SUCS, límites de Atterberg, contenido de humedad).

De acuerdo a los resultados obtenidos por la clasificación SUCS, en el área de estudio se encuentra diferentes tipos de suelo: una arena (SM) limosa, también la presencia de un limo (MH) de alta plasticidad y arcilla (CH) de alta plasticidad. Para la geofísica, se usó el equipo Doremi Sara 24 bits, teniendo en cuenta que la longitud de cada línea tiene un total de 76 metros, se usaron 19 geófonos, para así poder determinar las velocidades V_s y V_p , permitiendo obtener la información requerida para saber el tipo de estratos que se encuentran en el lugar y también los datos necesarios para la correlación que se está buscando en la investigación.

Tomando como referencia ecuaciones empíricas encontradas en la bibliografía revisada se realiza la relación entre los parámetros: ángulo de fricción en función de N_{60} , V_p y V_s , cohesión en función de V_p y V_s , número de golpes del SPT N_{60} en función de V_p y la velocidad de onda V_s en función del valor de N_{60} del SPT y se obtuvieron ecuaciones para el área de estudio.

Palabras clave: SPT, Sísmica de refracción, geofísica, V_s , V_p

ABSTRACT

This research was carried out with to determine shear waves V_s and compression V_p to correlate with N60 values and geomechanical parameters of the soil. In order to accomplish this objective, the direct SPT method and the indirect seismic refraction test were carried out, and it was determined the parameters of the soil type in the laboratory (granulometry, direct shear test, SUCS classification, Atterberg limits, moisture content).

According to the results obtained by the SUCS classification, in the study area, there are different types of soil: silty sand (SM), silt (MH) of high plasticity, and clay (CH) of high plasticity. For geophysics, the Doremi Sara 24-bit equipment was used; considering that the length of each line is a total of 76 meters, 19 geophones were used to determine the velocities V_s and V_p , allowing the information required to be obtained to know the type of strata found in the place and also the data necessary for the correlation in the investigation.

Based on empirical equations found in the reviewed bibliography, the relationship between the parameters: friction angle as a function of N60, V_p and V_s , cohesion as a function of V_p and V_s , number of blows of the SPT N60 as a function of V_p and the wave velocity V_s as a function of the N60 value of the SPT and the equations for the study area were obtained.

Keywords: SPT, Refraction seismic, geophysics, V_s , V_p .

INDICE DE CONTENIDO

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD	3
CERTIFICACIÓN	4
DEDICATORIA	5
AGRADECIMIENTOS	6
RESUMEN	7
ABSTRACT	8
Capítulo I: Generalidades	1
1.1 Introducción	1
1.2 Formulación del Problema	2
1.3 Objetivos	2
1.4 Justificación	3
1.5 Descripción y ubicación de la zona de estudio	3
Capítulo II: Marco Teórico	5
2.1 Geología de la zona	5
2.2 Geomorfología de la zona	7
2.3 Ensayos de Campo	7
2.4 Ensayos de Laboratorio	16
2.5 Geofísica aplicada en la geotecnia	28
Capítulo III: Ensayos Geotécnicos y Geofísicos	35
3.1 Ensayos Geotécnicos	35
3.2 Ensayo Geofísico	52
Capítulo IV: Resultados	59
Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones	88
5.1 Conclusiones	88
5.2 Recomendaciones	89
BIBLIOGRAFIA	90
ANEXOS	92
Índice de Anexos	92

INDICE DE TABLAS

Coordenadas de los sondeos.....	36
Datos del Sondeo N° 1 del Ensayo SPT.....	37
Datos del Sondeo N° 1 del Ensayo SPT.....	38
Valores Factor de corrección de acuerdo al martillo.....	39
Valores Factor de corrección de acuerdo al martillo.....	39
Valores Factor de corrección de acuerdo al martillo.....	39
Valores Factor de corrección de acuerdo al martillo.....	39
Resultados de N ₆₀ Pto1.....	40
Resultados de N ₆₀ Pto2.....	40
Resultados del contenido de Humedad	40
Resultados de los Limites de Atterberg.....	48
Resultados de la Clasificación SUCS de las muestras	51
Resultados del ensayo de Corte directo.....	52
Coordenadas de las líneas geofísicas.	53
Tabla general o global con los parámetros físicos y mecánicos del ensayo directo	59
Tabla de Vs (m/s) línea 1.	62
Tabla de Vs (m/s) línea 2.	64
Tabla de Vs (m/s) línea 3	67
Tabla de Vs (m/s) línea 4.	70
Tabla general de Vs y Vp, en relación con la profundidad de los sondeos.....	71

INDICE DE IMÁGENES

Ubicación del Estudio.	4
Paletas rectangulares y trapezoidales.	9
Ensayo Dilatómetro.	11
Sísmica de Refracción.	14
Sísmica de Refracción.	15
Clasificación de Partículas.	17
Clasificación de Partículas.	18
Límites de Atterberg.	20
Relación de tensión tangencial y tensión normal.	21
Carta de Plasticidad Casagrande.	23
Sistema unificado de clasificación de suelos SUCS (ASTM D 2487).	24
Relación de consistencia a compresión simple de arcillas.	26
Comportamiento frágil y dúctil.	27
Formulas método ruso.	30
Formulas método Japones.	31
Formulas Correlaciones entre Vs y N.	32
Formulas Correlaciones entre Vs y N.	32
Formulas método mexicano.	33
Formula método turco.	33
Especificaciones según el tipo de suelo.	34
Especificaciones según el tipo de suelo.	34
Factores de inocuidad y presiones admisibles según el suelo.	34
Ubicación de los sondeos.	36
Tamices usados en la granulometría.	41
Curva Granulométrica del Sondeo 1. Profundidad 2.00 a 2.50 m.	42

Curva Granulométrica del Sondeo 1. Profundidad 3.00 a 3.50 m.	42
Curva Granulométrica del Sondeo 2.	43
Curva Granulométrica del Sondeo 1. bosque.....	43
Equipo para obtener los límites de Atterberg.....	44
Límite líquido Sondeo 1. (2.00-2.45m).....	45
Límite líquido Sondeo 1. (3.00-3.45m).....	46
Límite líquido Sondeo 2.....	46
Límite líquido Sondeo 1. Bosque.....	47
Muestras de los rollos de 3mm para obtener el Límite Plástico.....	48
Resultado de la Carta de Plasticidad Sondeo 1. (2.00-2.45m).....	49
Resultado de la Carta de Plasticidad Sondeo 1. (3.00-3.45m).....	49
Resultado de la Carta de Plasticidad Sondeo 2.....	50
Resultado de la Carta de Plasticidad Sondeo 1. Bosque.....	50
Ubicación líneas geofísicas.....	53
Curva de Dispersión (frecuencia vs fase de velocidad) línea 1.....	54
Curva de Dispersión (frecuencia vs fase de velocidad) línea 2.....	55
Curva de Dispersión (frecuencia vs fase de velocidad) línea 3.....	55
Curva de Dispersión (frecuencia vs fase de velocidad) línea 4.....	56
Perfil estratigráfico ReMi línea 1.....	57
Perfil estratigráfico ReMi línea 2.....	57
Perfil estratigráfico ReMi línea 3.....	58
Perfil estratigráfico ReMi línea 4.....	58
Sísmica de refracción línea 1. (LRS1) V_p m/s.....	60
Resultados Ensayo Ondas Superficiales línea 1. (LS1).....	61
Curva de Dispersión datos de campo línea 1.....	63
Sísmica de refracción línea 2 (LRS1) V_p m/s.....	63
Resultados Ensayo Ondas Superficiales línea 2 (LS2).....	64

Curva de Dispersión datos de campo línea 2.	65
Sísmica de refracción línea 3 (LRS1) Vp m/s.....	65
Resultados Ensayo Ondas Superficiales línea 3 (LS2)	66
Curva de Dispersión datos de campo línea 3.	68
Sísmica de refracción línea 4 (LRS1) Vp m/s.....	68
Resultados Ensayo Ondas Superficiales línea 4 (LS2)	69
Curva de Dispersión datos de campo línea 4.	71
Clasificación de perfiles de suelo CNA, 1993 y ASTM D5777	73
Clasificación de perfiles de suelo norma E.030.	73
N60 en función de Vs de la línea 2.	74
N60 en función de Vs de la línea 3.	75
N60 en función de Vp de la línea 2.....	76
N60 en función de Vp de la línea 3.....	77
N60 en función de la cohesión de la línea 2.....	78
N60 en función de la cohesión de la línea 3.....	79
N60 en función del Angulo de fricción de la línea 2.	80
N60 en función del Angulo de fricción de la línea 3.	81
N60 en función del peso específico de la línea 2.	¡Error! Marcador no definido.
N60 en función del peso específico de la línea 3.	¡Error! Marcador no definido.
Ecuaciones encontradas.....	82
Comparación de la humedad de la línea 1.....	83
Comparación de resultados de la cohesión en función de Vs y Vp.	83
Comparación de resultados del ángulo de fricción en función de Vs y Vp.	84
Comparación de resultados de N60 en función de Vp.	84
Comparación de resultados de Vs en función de N60.	85
Comparación de tipo de suelo de acuerdo a la clasificación SUCS, Vp y fuentes en las imágenes 56, 57.....	86

Capítulo I: Generalidades

1.1 Introducción

Con el paso de los años y los problemas que se han dado en la realización de proyectos civiles tanto como en viviendas, edificaciones, proyectos de agua potable entre otros, la necesidad de cubrir o satisfacer el correcto diseño de los mismos da lugar a que se realicen de manera minuciosa estudios del área donde se vaya a realizar cada proyecto y así seguir con el crecimiento y evolución de las ciudades.

Siendo de gran importancia para los proyectos el saber identificar las propiedades tanto físicas como mecánicas del suelo donde se va construir el proyecto, para lo cual se dispone diferentes tipos de métodos para la identificación de estas, teniendo así métodos directos e indirectos; refiriéndose a métodos directos a los que se realizan con una investigación del suelo tomando una muestra del mismo ya sea alterada o inalterada, mismas que provienen de calicatas a cielo abierto y también de perforación a percusión y rotación, para luego ser analizados en el laboratorio, también mediante el ensayo de cono dinámico (DCP), sobre el área de terreno analizada para conocer así la resistencia del suelo. El método indirecto está basado en ensayos que involucran métodos geofísicos, como: sistema de refracción sísmica, que mediante el análisis de las propiedades físicas analiza el tipo de suelo.

Teniendo en cuenta lo antes mencionado este proyecto busca correlacionar parámetros de ensayos directos e indirectos, siendo específico correlacionar parámetros mecánicos y físicos en función de N_{60} y así poder conocer el área de estudio y garantizar el uso correcto de la misma, esto teniendo una revisión bibliográfica previa que sirve como guía, ya que cada área estudiada tiene diferentes parámetros y la correlación no será igual que de otro lugar.

1.2 Formulación del Problema

Con el fin de evitar problemas en la construcción de proyectos, es muy importante realizar un análisis del área donde se va a trabajar, para así garantizar la confiabilidad y seguridad del mismo, siendo el estudio de suelos muy importante, a pesar de aquello en ciertas ocasiones por el ahorro de tiempo y costos, este no se realiza de manera correcta, provocando grandes problemas futuros.

Por lo cual en esta investigación se procede a estudio del área mediante métodos o exploraciones directas e indirectas; siendo los métodos directos los analizados en el laboratorio y mediante fórmulas, se busca obtener una correlación de los parámetros: físicos (granulometría, límites de Atterberg, humedad, pesos específicos, clasificación del suelo), mecánicos (cohesión, ángulo de fricción) y elásticos (coeficiente de Poisson, módulo de elasticidad, módulo de rigidez); que con el resultado de este análisis se puede indicar el método más óptimo y confiable para realizar el estudio en el área o áreas con características de suelos similares.

1.3 Objetivos

1.3.1 General

Determinar ondas de corte V_s y compresión V_p , para correlacionar con valores de N_{60} y parámetros geomecánicos del suelo.

1.3.2 Específicos

Determinar parámetros físicos mediante exploración directa del suelo.

Determinar parámetros mecánicos por medio de exploración directa.

Determinar las velocidades de onda V_p y V_s del suelo.

Crear perfiles estratigráficos.

Obtener correlación entre los resultados de los ensayos de refracción sísmica y de laboratorio.

1.4 Justificación

Todo proyecto de Ingeniería Civil, debe tener estudios geotécnicos previos y seguros, con el fin de garantizar un correcto desarrollo de la obra para evitar problemas en la edificación; por lo que es indispensable obtener parámetros geomecánicos del subsuelo.

De acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción, el ensayo SPT está considerado como un método directo; sin embargo, el equipo no siempre es posible utilizarlo ya que, limitantes como fuertes pendientes, suelos muy rígidos, presencia de rocas en coluviales, etc., imposibilitan su uso en todo proyecto. (Galarza Armijos Daniela Fernanda, 2021)

Como alternativa práctica, segura y económica se tienen los métodos indirectos avalados en la NEC. La geofísica es uno de estos métodos, actualmente en el país su uso está en auge; permitiendo por medio de correlaciones determinar parámetros geomecánicos del subsuelo en zonas que el ensayo SPT no sea posible realizar.

Para poder llegar a esta correlación, el proyecto ubicado en Ricaurte en el predio de la Universidad Católica de Cuenca lado N/O, ver imagen 1; plantea ensayos de campo geofísicos y geotécnicos, así como ensayos de laboratorio. En todos los casos se determinarán propiedades geomecánicas del subsuelo y, posteriormente se buscará la relación de los resultados entre los métodos aplicados.

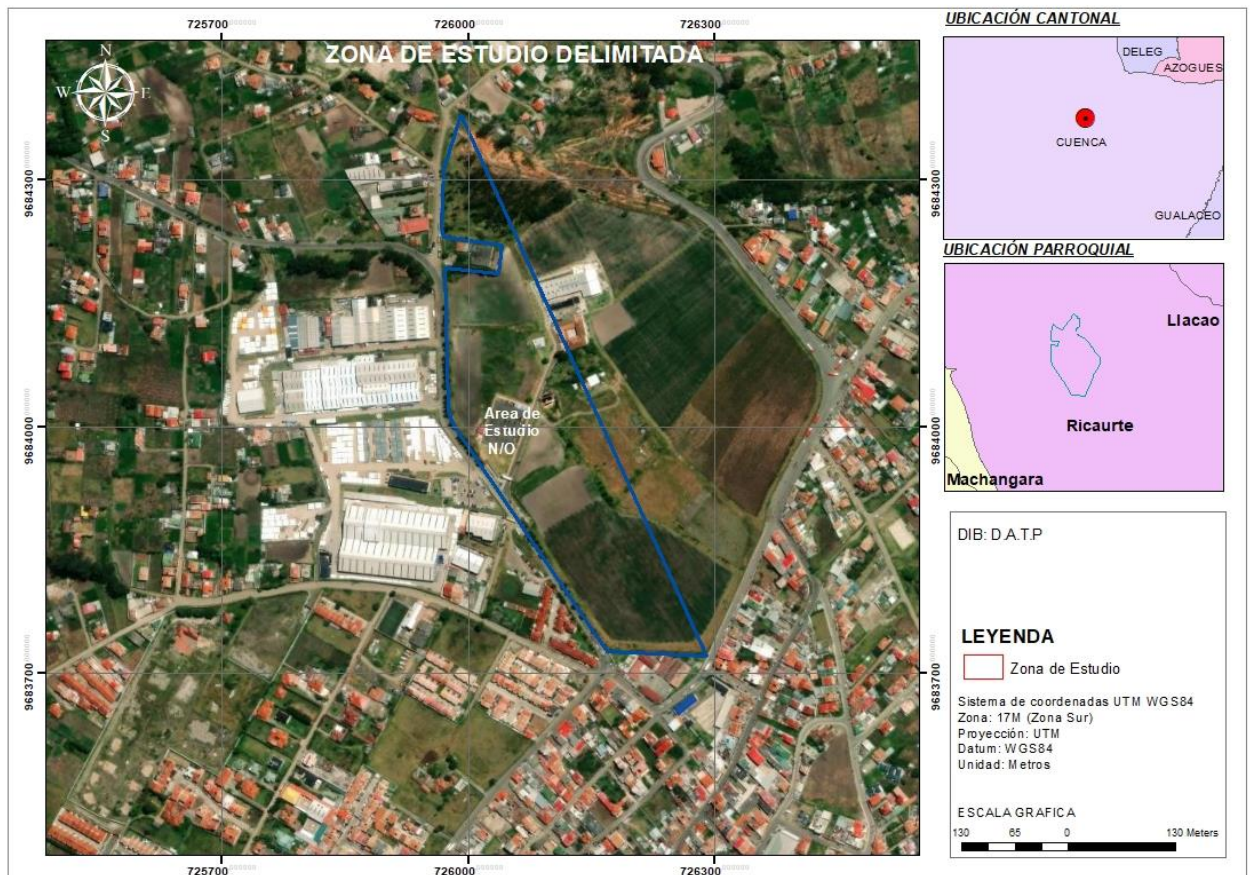
1.5 Descripción y ubicación de la zona de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en la provincia del Azuay, cantón Cuenca, en la parroquia rural de Ricaurte, sector de Molinopamba, donde se encuentra el Estancia

Miracielos, que en la actualidad funciona el campus de la Universidad Católica de Cuenca, con un área total de 21 hectáreas y una altitud de 2547 msnm. Como se puede observar en la imagen 1.

Imagen 1

Ubicación del Estudio.



1 Fuente: El autor.

Capítulo II: Marco Teórico

2.1 Geología de la zona

La geología es una parte muy importante en el estudio y análisis general de todo terreno y/o área donde se vaya a realizar cualquier tipo de obra civil, ya que de esta manera se va obtener información sobre el estado del suelo y ciertos minerales que se encuentren en la zona, dando paso de esta manera a una correcta planificación y dirección de las exploraciones a realizar en el lugar, logrando así facilitar las excavaciones para extraer las muestras necesarias para los diferentes estudios a realizar posteriormente, así también para realizar los ensayos de refracción sísmica.

Este tipo de estudios geológicos se los realizara de diferente forma, es decir su profundidad dependerá de la magnitud e importancia del proyecto que se va a dar, por lo cual es necesario conocer la geología regional, local, para posterior a eso conocer la geología específica del lugar, en este caso del Campus Miracielos.

2.1.1 Geología Regional

La geología de la ciudad de Cuenca se encuentra formada por la cuenca sedimentaria Azuay-Cañar, ubicada en la región austral ecuatoriana, siendo esta una depresión interandina con una longitud aproximada de 100 kilómetros, en sentido norte-sur, y un ancho de 25 kilómetros en sentido este-oeste, con sedimentos detríticos del Terciario Superior e intercalaciones volcánicas, que se encuentran sobre rocas cretáceas, que sirven como basamento.

Luego de diferentes estudios e investigaciones las llamadas formaciones rojizas de la

cuenca denominadas por Humboldt como “Red Sandstone”, Teodoro Wolf (1892) denominó a la estratigrafía de Humboldt con el nombre de “Areniscas del Río Azogues”, la cual tuvo dos divisiones una superior y otra inferior simultáneamente, siendo la superior más arcillosa (Arcillas Pizarrosas) y la inferior más arenosa (areniscas), observando también una clara división donde la unidad superior constaba de formaciones que iban desde la formación Guapan hasta la Santa Rosa y la inferior desde la formación Biblián hasta la Azogues. (Ing. Eugenio Núñez del Arco Ms, 2003)

2.1.2 Geología Local

La geología de la parroquia de Ricaurte, presenta las siguientes características: depósitos aluviales, rocas sedimentarias, adésitas, lutita, conglomerados base, mismos que forman relieves y conglomerado de base piro plástico; de acuerdo al período perteneció a la era cenozoica, período terciario y cuaternario. (Parra Gualán, 2016)

El período terciario inició hace aproximadamente sesenta y cinco millones de años con una duración estimada de 1.8 millones de años, en la parroquia Ricaurte las formaciones del terciario existentes son: Formación Azogues, Llacao, Mangan, y Turi. (Parra Gualán, 2016)

El período cuaternario que inició hace aproximadamente 2 y 1.65 millones de años hasta la actualidad, en este se dan las formaciones: Depósitos Coaluvial, Terrazas aluviales y Depósitos Aluviales recientes.

2.1.3 Geología Específica

En la zona de estudio Campus Miracielos se encontraron las siguientes formaciones: Terrazas Aluviales.

2.1.3.1 Terrazas Aluviales

Se trata de formas de relieve de superficies planas, mismas que presentan una pequeña pendiente que se da o nacen a partir de la inundación de llanura de inundación antigua, estas

presentan litologías que se forman por depósitos aluviales.(Páez Molineros Juan Andrés, 2019) En los sectores de Tiopamba, Ucubamba y Molinopamba se componen de limo, arena, finos y gravas, en el área de estudio se encontraron terrazas t1-t5; las terrazas (t1-t4) se encuentran formadas por bloques boleos subangulares casi redondeados y subesfericos, en matriz de grava areno arcillosa, mientras que la terraza t5 se encuentra formada por estratos erráticos de arena limo y deposito aluvial de potencia variada. GALARZA Siendo entonces un tipo de terreno que presenta una ruptura en formaciones de arcillas saturadas en la base y también de acuerdo a su morfología donde se da desgaste del suelo al inicio del talud y mayor pendiente en las terrazas específicamente en los bordes. (Galarza Armijos Daniela Fernanda, 2021)

2.2 Geomorfología de la zona

En el campus de la Universidad Católica de Cuenca Ricaurte CITT, se encuentra en la cordillera Occidental en la cuenca del rio Paute, a su vez dando lugar a parte de la microcuenca del Machángara; que de acuerdo a información del SIGTIERRAS consta de tres tipos de relieves: Terrazas indiferenciadas, Superficie de cono de espaciamiento disectado y vertiente heterogénea.

2.3 Ensayos de Campo

2.3.1 Métodos Directos

Siendo el estudio de los suelos una parte muy importante para el desarrollo de los proyectos que se vayan a realizar en cualquier área para que estos brinden seguridad y confiabilidad los métodos directos que cita la Norma Ecuatoriana de la Construcción son: Calicatas, veletas, cono estático (CPT), cono dinámico (DCP), dilatómetro y ensayo de penetración estándar (SPT).

2.3.1.1 Calicatas

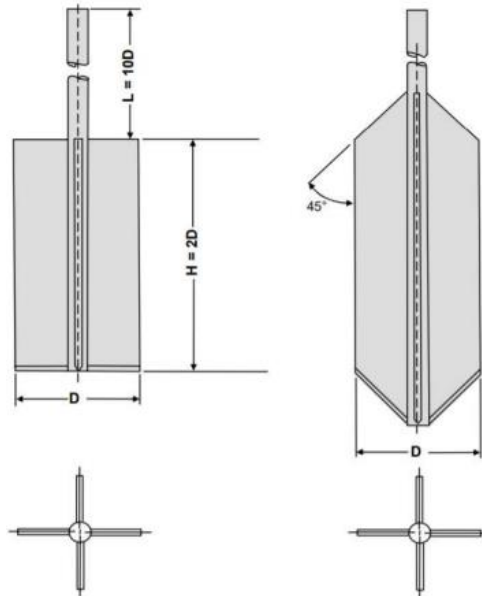
Este ensayo se caracteriza por ser excavaciones con una profundidad pequeña misma que facilita el reconocimiento del subsuelo de una cimentación, la cual nos proporciona de una información confiable especialmente en suelos con grava; se las realiza de forma manual en el caso de que la profundidad requerida sea hasta 1.5m o con una retroexcavadora al requerir una profundidad de hasta 5m. La profundidad de excavación para este ensayo va depender de las exigencias del proyecto y así tomar la muestra del suelo necesaria para su estudio o análisis en un laboratorio. (Pazmiño Agulema Luis Enrique, 2017)

2.3.1.2 Veletas

Este es un ensayo in situ, que permite conocer la resistencia al corte no drenado (Cu) del suelo, mismo que al realizarse no es necesario tomar muestras del suelo ni llevarlas a un laboratorio para su estudio, el ensayo está recomendada para suelos arcillosos de consistencia muy suave y alterable. El equipo usado para el ensayo consta de una barra que contiene cuatro hojas en un extremo, donde la altura de la veleta es el doble de su diámetro, siendo estas veletas rectangulares o trapezoidales. (Galarza Armijos Daniela Fernanda, 2021)

Imagen 2.

Paletas rectangulares y trapezoidales.



2 Fuente:(Ing. Hurtado Alva Jorge E., n.d.)

Consiste en hincar la cruzeta metálica de las cuatro hojas o veletas en el suelo inalterado debajo de la perforación, al encontrarse insertado el equipo se procede a girar, para lograr el corte que genera las veletas en una superficie de forma cilíndrica, una vez realizado este paso se retira la veleta y se toma la lectura máxima y esta fuerza de corte será la resistencia unitaria de dicha área, proceso que se lo repite por 10 veces. (Coronel Martínez Diego Ismael, 2020)

2.3.1.3 Cono Estático (CPT)

Este ensayo consiste en hincar una punta cónica con presión en el suelo a una velocidad constante midiendo así el esfuerzo que se necesita para penetrar el cono que se denomina q.c. es un ensayo que por lo general se lo hace en suelos con granulometría más fina que una arena con grava, el ensayo tiene rechazo al realizarse o existir presencia de gravas, suelos cementados o roca, ya que esto puede ocasionar daños al equipo. El equipo está compuesto por una punta o sonda, varilla de hinca, equipo recolector de datos, un sistema de empuje. (Cristina & González, 2002)

2.3.1.4 Cono Dinámico (DCP)

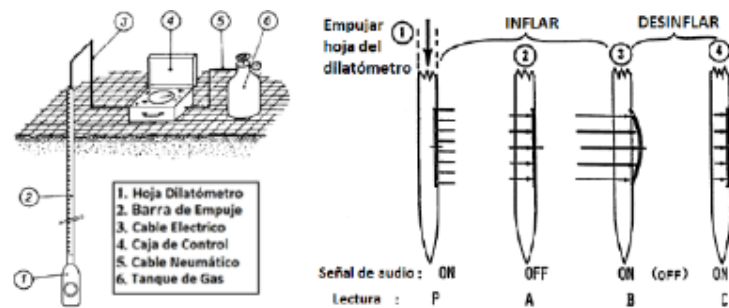
Método que está basado en diferentes variaciones de penetración dependiendo de las características del suelo y la variación de las mismas, en el cual se procede a conectar en las varillas de perforación el penetrómetro, para luego introducirlas en el suelo que será analizado y se ira contando la cantidad necesaria de golpes por cada 30cm de penetración de acuerdo a la profundidad de análisis que se requiera, para así obtener la gráfica en la cual se muestra el número de golpes contra la profundidad y con el ayuda de una tabla clasificar el material; método muy usado en la estimación del valor CBR en los suelos compactados, siendo este un parámetro importante en la evaluación de la resistencia de la subrasante, base y subbase. (Galarza Armijos Daniela Fernanda, 2021)

2.1.3.5 Dilatómetro

Ensayo de penetración el cual no requiere de sondeos previos y permite obtener resultados independientes del operador, garantizando la repetitividad, es considerado una herramienta útil en la exploración del suelo siendo estandarizado a nivel mundial por la ASTM. Este consiste en la penetración de una paleta que se ubica al final de una serie de barras, por medio de un equipo de penetración similar a los usados en el SPT y CPT, al llegar a la profundidad optima la membrana circular que se encuentra en la paleta se infla de manera horizontal 1,1mm con un gas a presión. Este ensayo es óptimo para limos, arenas y arcillas, partículas de un tamaño menor al diámetro de la membrana de 60mm, no es un ensayo recomendado para gravas o rocas, pero aun así es un equipo que tiene resistencia a capas de grava, siempre y cuando esta cuente con una correcta reacción en superficie. (Villalobos Felipe, 2016)

Imagen 3.

Ensayo Dilatómetro.



3 Fuente:(Villalobos Felipe, 2016)

2.3.1.6 Ensayo de penetración estándar (SPT)

Ensayo definido en el ASTM D 1586, el cual nos proporciona información con equipos de perforación, el muestreo, martillo, yunque, sistema de caída, tamaño del pozo, considerado un ensayo in situ, se lo realiza tomando muestras alteradas representativas obteniendo así mejores resultados, este método al realizarse en suelos friccionantes nos permite conocer la densidad de los mantos y en los suelos plásticos da una idea preliminar de la resistencia a la compresión simple. (Valentina et al., 2021)

Se lo realiza introduciendo un tomamuestras unido a un tren de varillas en el pozo de sondeo, donde mediante golpes en la parte superior de estas varillas o cabeza de las mismas con una masa de 63.5 kg, que cae desde una altura de 76cm, el golpe es contabilizado en tres tramos cada uno con un avance de 15 cm, donde se denomina a la suma de los segundos y terceros valores N_{30} . (Alexandra & Cabrera, 2017)

Este ensayo consiste en contabilizar y anotar el número de golpes necesarios para hincar la cuchara los 15cm iniciales, luego se continúa introduciendo otros 30cm contabilizando y anotando de igual forma el número de golpes que se requieren para hincar en cada intervalo de 15cm de penetración, dando como resultado del ensayo la resistencia a la penetración estándar. (Pazmiño Agulema Luis Enrique, 2017)

Si el valor de N_{30} supera el valor de 50, será considerado el punto como rechazo, registrando $N_{30}=50$; luego de haber obtenido el rechazo se extrae la cuchara partida y la zapata de penetración, con el fin de continuar con el sondeo se las cambiará por una punta de penetración y así se podrá comprobar el rechazo del estrato, sin olvidar que se deberá también anotar la longitud de la hincada a los 50 golpes. (Pazmiño Agulema Luis Enrique, 2017)

Al terminar la penetración se toma una muestra de suelo y se la coloca en un lugar óptimo para evitar la pérdida de humedad y será transportada al laboratorio, para proceder a las pruebas de clasificación SUCS (contenido de humedad, granulometría y límites de Atterberg. Es un ensayo que se lo realiza en suelos arenosos o arcilla blanda, ya que no es recomendable realizarlo en depósitos de grava, roca o arcilla consolidada, porque podría causar daños en el equipo durante la perforación. (Pazmiño Agulema Luis Enrique, 2017)

2.3.2 Métodos Indirectos

Este tipo de métodos comprenden una exploración superficial del área estudiada es decir las pruebas para determinar las propiedades físicas de los suelos y rocas se las realiza sin necesidad de acceder directamente al terreno. Entre estos ensayos están: Sísmica de refracción, ReMi, análisis espectral de ondas superficiales, sondeos eléctricos verticales. (Pérez Ricardo, 2 C.E.)

2.3.2.1 Sísmica de Refracción.

Es un ensayo que permite obtener los perfiles de ondas P de un área estudiada, consiste en medir el tiempo que tarda en llegar las ondas de compresión desde una fuente artificial (golpes con martillo, caída de peso, etc.); a medida que la longitud de la línea se mas grande la energía que se necesitara será mayor, de acuerdo a ello se ocuparan equipos óptimos. Al encontrar materiales más compactos en el lugar, muestran estas velocidades altas de ondas de compresión, comparándolos con materiales no consolidados. (Análisis, n.d.)

Este ensayo se lo realiza a lo largo de los perfiles, usando varios sensores conocidos como geófonos, colocados de forma alineada, usando impactos de peso en los extremos de la línea longitudinal y una en el centro del tendido, los resultados que se obtengan de la onda de compresión (V_p), permiten conocer áreas de contraste entre los materiales de acuerdo a las velocidades y densidades respectivamente.(Análisis, n.d.)

Es un ensayo que se basa como se mencionó anteriormente en determinar el tiempo de recorrido de las ondas de compresión desde un punto (fuente sísmica) hasta los sensores o geófonos, que se encuentran alineados en el perfil longitudinal, una vez conocida esta información se podrá conocer la propagación del lugar, este ensayo permite conocer el perfil bidimensional de ondas P (V_p) en función de la profundidad a lo largo de los geófonos alineados; velocidades controladas por parámetros elásticos mismos que describen el material y podrán tener correlación con las diferentes propiedades geomecánicas del suelo.(Análisis, n.d.)

Los equipos utilizados en el ensayo son:

Sismógrafo

Geófonos

Cable de refracción

Fuente de energía

Placa

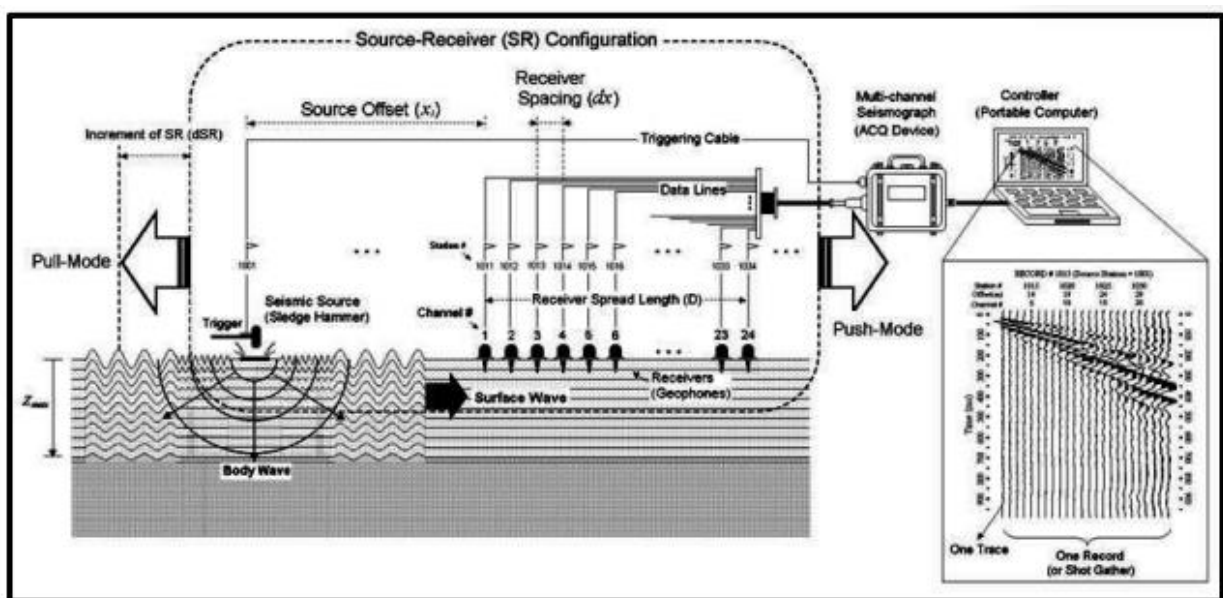
Software de análisis de datos.

El proceso de la refracción sísmica consiste en: se determina la línea longitudinal ,para luego colocar de manera alineada los geófonos y los cables de conexión hacia al equipo de datos, los espacios entre los geófonos dependerán de la profundidad de la exploración y el

área de trabajo; luego de esto se coloca en un lugar plano y limpio el equipo receptor de datos, conectando a él los cables (refracción y red), una vez realizado estos procesos se procede a utilizar la fuente de energía y por medio de golpes sobre una placa, se genera la excitación del medio y por ende las señales sísmicas; proceso ilustrado en la imagen 4. (Análisis, n.d.)

Imagen 4.

Sísmica de Refracción.

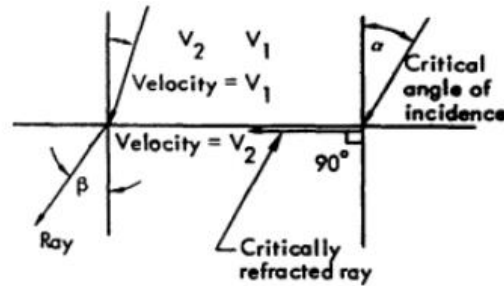


4 Fuente:(Análisis, n.d.)

La propagación de estas ondas son descritas por las leyes de los rayos de luz por un medio transparente; la ley fundamental que las describe es la Ley de Snell y junto con el fenómeno de la incidencia crítica, consta del fundamento físico de los sondeos de refracción, mostrando un medio con una velocidad V_1 subtendido por un medio con una velocidad mayor V_2 , que indica cuando el ángulo de incidencia o refracción es alcanzado, la energía de compresión se transmite o refracta al medio con más velocidad, y al sobrepasar el ángulo casi toda la energía no se refracta o refleja a la capa con más velocidad, como se indica en la imagen 5. (Pazmiño Agulema Luis Enrique, 2017)

Imagen 5.

Sísmica de Refracción.



5 Fuente:(Pazmiño Agulema Luis Enrique, 2017)

$$\text{Ley de Snell: } \frac{\text{sen}\alpha}{\text{sen}\beta} = \frac{V_1}{V_2}$$

Dándose entonces el ángulo de incidencia cuando: $\beta=90^\circ$, entonces $\text{sen}\alpha = \frac{V_1}{V_2}$

2.3.2.2 ReMi

Ensayo con características similares al de refracción sísmica, está basado en medir las vibraciones que se producen en el ambiente, las cuales se generan por el paso de vehículos, maquinarias o microsismos, que se suscitan diariamente, es decir es el registro del sonido de los estos acontecimientos, haciendo uso de los microtemores que se producen por fuentes lejanas, identificando coherencia entre sismogramas mediante la correlación auto espacial, obteniendo así una curva de dispersión, donde se derivan los valores de la velocidad de onda S, que está en función de la profundidad. (Ramírez & Ángel, 2017)

Considerará una de las técnicas más actuales en la geofísica, óptimas para zonas urbanas, considerada también muy económica, para la realización de proyectos civiles, para la obtención de los datos se usa: sismógrafo y geófonos verticales de onda S. (Galarza Armijos Daniela Fernanda, 2021)

2.3.2.3 Análisis Espectral de Ondas Superficiales

Se habla de MAS W a la técnica geofísica, que se utiliza para la definición de la velocidad de onda cortante (V_s) de una área específica de estudio; este método es muy usado en el mundo ya que no es invasivo ni destructivo, basado en la generación de vibraciones sinusoidales estacionarias usando diferentes elementos de oscilación sísmica a determinadas distancias, donde estas vibraciones son registradas en un equipo que procesa la información y así obtener una gráfica de dispersión misma que involucra: velocidad, frecuencia y longitud de onda, que al interpretar esta información nos da las características del lugar, como la rigidez, perfil estratigráfico u otras irregularidades que se pueden dar al compactar el material del sitio. (Vargas et al., 2009)

2.4 Ensayos de Laboratorio

Ensayos geotécnicos realizados para poder conocer las características de las muestras que se obtuvieron in situ, determinando los parámetros geomecánicas y elásticos del suelo que proporcionan datos necesarios para realizar cualquier tipo de obra civil en el lugar, teniendo en cuenta el correcto manejo de cada una de las máquinas para obtener la información veraz.

Para proceder a realizar los ensayos de laboratorio una vez obtenida las muestras de los sondeos, al tener poco material del ensayo de SPT, bajo la supervisión del Ing. Juan Monje se realizó los ensayos tomando las muestras representativas ya que los materiales una vez revisados por el Ing. En el laboratorio tienen características similares, es decir basado en el primero sondeo las muestras fueron tres ya que antes de tener rechazo en el ensayo del SPT, se usó dos muestras ya que de las tres profundidades dos eran materiales similares hablamos de la muestra 1 y 2 (profundidad 1.00-1.45m y 2.00-2.45m) para la cual se unifico la muestra para poder tener material y poder cumplir con los ensayos; y en el caso del segundo sondeo el ensayo de SPT tuvo rechazo desde la primera profundidad (1.00-1.45m) y para corroborar este dato se procedió a realizar otra practica en los 2.00-2.45m dando aún más rechazo indicando material

consolidado, entonces en los ensayos del laboratorio se unifico el material de las dos profundidades y se realizó los ensayos, estos datos fueron comparados también con pequeñas muestras que se sacaron humedades y peso específico, para ser comparados con fuentes secundarias de tesis anteriores que hicieron estudios de calicatas cercanas a las muestras que obtuvimos con el SPT, dando datos muy cercanos.

2.4.1 Granulometría

Se trata de una propiedad del suelo, relacionada con su comportamiento mismo que dependerá del tipo de suelo, dependiendo de la retención o cantidad de nutrientes que se encuentran en la muestra, este análisis se lo obtiene por medio de ensayos o pruebas de laboratorio, siendo las partículas minerales y orgánicas las que determinen las propiedades físicas del suelo.(Andrés & Erráez, 2021)

La clasificación de las partículas se ha determinado de acuerdo al diámetro de la partícula, para considerar así material fino o gruesa, teniendo en cuenta que para ser fina será menor a 2mm y si el 40% del volumen de la muestra es mayor a 2mm se consideran partículas pedregosas; en las siguientes imágenes 6 y 7 se indica el sistema de clasificación de las partículas. (Andrés & Erráez, 2021)

Imagen 6.

Clasificación de Partículas.

		USDA	IUSS
		µm (micrómetros)	µm (micrómetros)
Arena	muy gruesa	2000-1000	-
	gruesa	1000-500	2000-200
	media	500-250	-
	fina	250-100	20-200
	muy fina	100-50	-
Limo		50-2	20-2
Arcilla		< 2	< 2

6 Fuente:(Andrés & Erráez, 2021)

Imagen 7.

Clasificación de Partículas.

Forma y tamaño		
Fragmentos de roca irregulares, cubos angulares o subangulares, equiaxiales		
Diámetro (mm)	2 – 5	Grava fina
	5 – 20	Grava media
	20 – 75	Grava gruesa
	75 – 250	Guijarro
	250 – 600	Piedra
	> 600	Canto rodado
Fragmentos planos		
Longitud (mm)	2 – 150	Esquisto
	150 – 380	Laja
	380 – 600	Piedra
	> 600	Canto rodado

7 Fuente:(Andrés & Erráez, 2021)

2.4.2 Contenido de humedad (ASTM D2216)

Es la relación entre el peso de los sólidos y el peso del agua que va contener un suelo, este ensayo se lo realiza primero, es decir una vez se obtienen las muestras y se las lleva al laboratorio, de manera inmediata se procede hacer la prueba para que el contenido de humedad en ella no se pierda, para este ensayo se usara la Norma ASTM 2216, el cual nos da el correcto procedimiento para que los datos obtenidos sean confiables.(Andrés Corredor & Johana Moreno Fonseca, 2011)

Para realizar el ensayo es necesario tener recipientes para colocar la muestra, una balanza para el pesado de las mismas; primero se pesara el recipiente antes de colocar la muestra, una vez colocada la muestra que tendrá una peso aproximado de 100gr de material se procede a ingresar en el horno para el secado de la misma con un tiempo mínimo de 18 horas antes de sacarla, una vez este frio el recipiente se lo vuelve a pesar y con la siguiente formula se obtendrá la humedad, es recomendable realizar dos muestras para obtener un promedio de los resultados y sean más confiables los datos.(Andrés Corredor & Johana Moreno Fonseca, 2011)

$$W(\%) = \frac{W_h - W_s}{W_s - W_t} * 100 = \frac{W_w}{W_s}$$

W (%): contenido de humedad.

Wh: peso de la muestra humedad.

Ww: peso del agua

Ws: peso de la muestra seca más recipiente.

Wt: peso del recipiente.

2.4.3 Límites de Atterberg (ASTM 4318)

Están definidos como límites arbitrarios en diferentes estados de consistencia, Atterberg fue el que propuso que exista dos límites de contenido de humedad en las muestras, siendo que estas pueden adquirir consistencias indeseables, como los son un límite líquido adquiriendo un comportamiento de masa viscosa y límite plástico donde la muestra podrá moldearse fácilmente por una fuerza aplicada. (Silvia Angelone Mg Ing María Teresa Garibay, n.d.)

Entre los estados que puede contener la humedad del suelo están: líquido siendo el que posee alto contenido de humedad, siendo separadas las partículas por el agua provocando poca o nada resistencia; Estado plástico, el suelo tomará característica moldeable y estable; Estado semisólido este tiene una apariencia sólida, pero a medida que se seque va a presentar variaciones en su volumen y por último estado sólido en el cual no se van a dar cambios de volumen o contracciones del mismo. (Silvia Angelone Mg Ing María Teresa Garibay, n.d.)

Los estados antes mencionados tienen fronteras como estableció Atterberg, conocidos como límites:

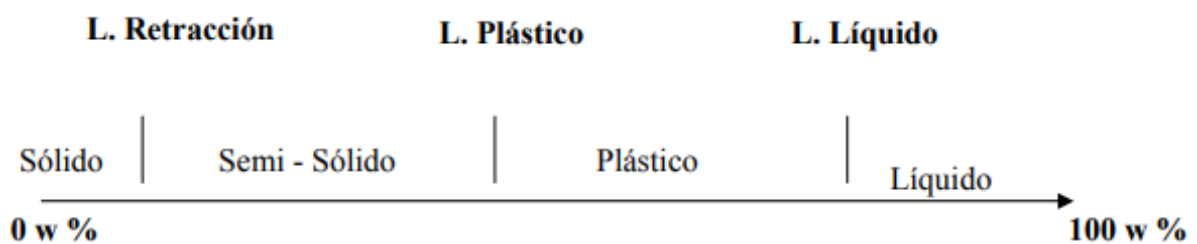
Límite de Contracción: cantidad de humedad existente entre los estados de consistencia semisólido y sólido, tratándose del contenido de humedad que al darse una pérdida de la misma no ocasionara cambio de volumen. (Silvia Angelone Mg Ing María Teresa Garibay, n.d.)

Limite Plástico: se refiere a la cantidad de humedad entre el estado de consistencia plástico y semisólido, donde el suelo comenzara a tener grietas al amasarse en cilindros de 3mm de diámetro. (Silvia Angelone Mg Ing María Teresa Garibay, n.d.)

Limite Líquido: se trata de la cantidad de humedad entre el estado de consistencia plástico y líquido, siendo el contenido de humedad para el que 2 secciones de una pasta de suelo, alcanzaran a unirse en 12mm luego de 25 golpes, en el cascador de Casagrande. (Silvia Angelone Mg Ing María Teresa Garibay, n.d.)

Imagen 8.

Límites de Atterberg.



8 Fuente:(Silvia Angelone Mg Ing María Teresa Garibay, n.d.)

2.4.4 Corte Directo

Se trata de un ensayo, que busca obtener la resistencia de un material, aplicando cargas combinadas, determinando la fuerza de corte a lo largo de una superficie horizontal determinada, simulando este efecto a problemas que se pueden suscitar en áreas de terreno donde se aplican cargas, para que el suelo tenga resistencia a cizallamiento y los problemas suscitados sean analizados correctamente, este procedimiento se rige por las normas: ISO 17892-10:2019 o ASTM D-6528.(Ugalde Luis, 2006)

Esta resistencia es interna por unidad de área que la masa del suelo ofrece a la falla a lo largo de un plano de deslizamiento interior, el procedimiento de consiste que en una muestra

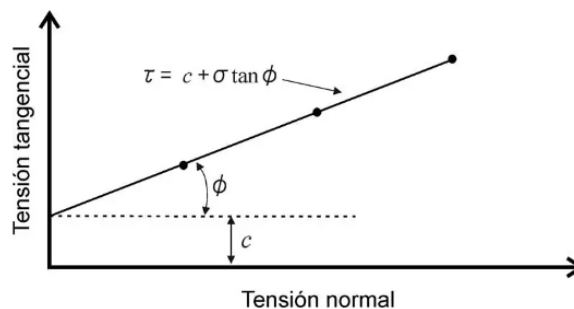
actúan dos esfuerzos, uno normal y otro cortante, obteniendo así valores de cohesión y ángulo de rozamiento interno, formula según la ley de Mohr-Coulumbo.(Ugalde Luis, 2006)

$$\tau = c + \sigma \tan \phi$$

El proceso de este ensayo consiste en que en la caja de corte se coloca la cantidad de muestra calculada, para que esta sea sometida a una carga vertical y una carga horizontal que permitirá el deslizamiento dando lugar al corte de la muestra; datos que nos proyectaran una gráfica con la que se obtendrá la resistencia al corte para la carga aplicada.(Ugalde Luis, 2006)

Imagen 9.

Relación de tensión tangencial y tensión normal.



9 Fuente:(Ugalde Luis, 2006)

2.4.5 Clasificación del suelo SUCS (ASTM D 2487)

Esta desarrollado básicamente con el propósito ingenieril usado en la mayoría de trabajos de ingeniería geotécnica, esta clasificación se desarrolla por Casagrande pero no fue aprobado si no hasta en el año 1952 en EE:UU, estandarizando los lineamientos en la norma ASTM D 2487-93, dentro de un sistema unificado los suelos con un símbolo de dos letras, considerando la primera letra como el componente de la tierra y la segunda es la que describe las características que presenta la curva granulométrica; letras utilizadas: G para gravas, S para

arenas, M para limos, C par arcillas, O suelo orgánico y P para turbas.(Dr. Lorenzo Borselli, 2022)

Las consideraciones para la clasificación de los suelos son las siguientes:

Si menos del 50% de las partículas del suelo pasa el tamiz No. 200, se considera suelo grueso y tendrá como primera letra G o S.

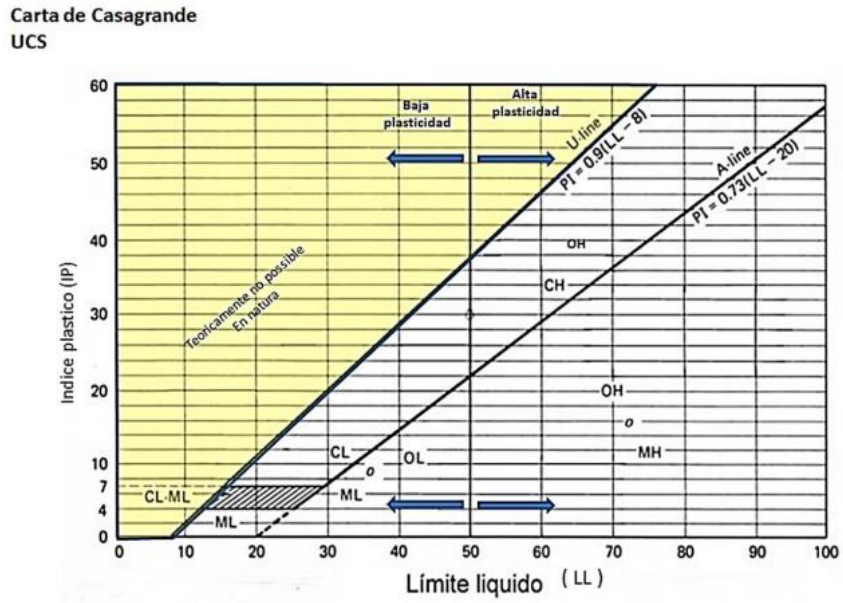
Si más del 50% de las partículas del suelo pasa el tamiz No. 200, será un suelo fino y la primera letra será M o C.

Siendo arenas y gravas que sus partículas pasan menos del 5% el tamiz 200 se les otorga una segunda letra (P) si están mala graduadas o (W) si son bien graduadas, y si pasa más del 12% de las partículas el tamiz 200 se les dará la segunda letra M si son limosas o C si son arcillosas.

Arenas y gravas que tendrán entre 5 y 12% se dan clasificaciones duales como SP-SM; limos, arcillas y suelos orgánicos se les da la segunda letra H o L para designar si es alta o baja plasticidad.

Imagen 10.

Carta de Plasticidad Casagrande.



10 Fuente:(Dr. Lorenzo Borselli, 2022)

Imagen 11.

Sistema unificado de clasificación de suelos SUCS (ASTM D 2487).

Criterios para la asignación de símbolos de grupo y nombre de grupo con el uso de ensayos de laboratorio			Clasificación de suelos			
			Símbolo de grupo	Nombre del grupo		
GRUESOS Suelos de partículas gruesas mas del 50% es retenido en la malla No. 200	Gravas Mas del 50% de la fracción gruesa es retenida en la malla No. 4	Gravas limpias Menos del 5% pasa la malla No. 200	$Cu \geq 4$ y $1 \leq Cc \leq 3$	GW	Grava bien graduada	
			$Cu < 4$ y $1 > Cc > 3$	GP	Grava mal graduada	
		Gravas con finos Mas del 12% pasa la malla No. 200	$IP < 4$ o debajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	GM	Grava limosa	
			$IP > 7$ o arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	GC	Grava arcillosa	
	Arenas El 50% o mas de la fracción gruesa pasa la malla No. 4	Arenas limpias Menos del 5% pasa la malla No. 200	Cumple los criterios para GW y GM	GW-GM	Grava bien graduada con limo	
			Cumple los criterios para GW y GC	GW-GC	Grava bien graduada con arcilla	
		Arenas con finos Mas del 12% pasa la malla No. 200	Cumple los criterios para GP y GM	GP-GM	Grava mal graduada con limo	
			Cumple los criterios para GP y GC	GP-GC	Grava mal graduada con arcilla	
			Arenas limpias y con finos Entre el 5 y 12% pasa malla No.200	$Cu \geq 6$ y $1 \leq Cc \leq 3$	SW	Arena bien graduada
				$Cu < 6$ y $1 > Cc > 3$	SP	Arena mal graduada
Arenas con finos Mas del 12% pasa la malla No. 200	$IP < 4$ o debajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	SM	Arena limosa			
	$IP > 7$ o arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	SC	Arena arcillosa			
	Cumple los criterios para SW y SM	SW-SM	Arena bien graduada con limo			
	Cumple los criterios para SW y SC	SW-SC	Arena bien graduada con arcilla			
FINOS Suelos de partículas finas El 50% o mas pasa la malla No. 200	Limos y arcillas Limite Liquido menor que 50	Inorgánicos	$IP > 7$ y se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	CL	Arcilla de baja plasticidad	
			$IP < 4$ y se grafica en la carta de plasticidad abajo de la línea "A"	ML	Limo de baja plasticidad	
	Limos y arcillas Limite Liquido mayor que 50	Orgánicos	Limite liquido - secado al horno ----- limite liquido - no secado < 0.75	OL	Arcilla orgánica Limo orgánico	
		Inorgánicos	$IP > 7$ y se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	CH	Arcilla de alta plasticidad	
	Limos y arcillas Limite Liquido mayor que 50	Inorgánicos	$IP < 4$ y se grafica en la carta de plasticidad abajo de la línea "A"	MH	Limo de alta plasticidad	
		Orgánicos	Limite liquido - secado al horno ----- limite liquido - no secado < 0.75	OH	Arcilla orgánica Limo orgánica	
	Suelos altamente orgánicos	Principalmente materia orgánica de color oscuro		PT	Turba	

11 Fuente:(Dr. Lorenzo Borselli, 2022)

2.4.6 Pesos específicos

En el caso de los suelos se determinan dos tipos de pesos específicos el uno es peso específico húmedo y el otro peso específico seco, estos pesos son la relación del peso para el volumen de un material.(Galarza Armijos Daniela Fernanda, 2021)

Para determinar el peso específico húmedo se divide el peso total de la muestra de suelo para su volumen, como se indica en la siguiente formula:

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

Considerando. W como peso total de la muestra de suelo y V como el volumen total del suelo.

Para obtener el peso específico seco, se considera la relación del peso de los sólidos con el volumen total del suelo, de la siguiente manera (formula).

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V}$$

Donde W_s es el peso de los sólidos y V volumen total de la muestra de suelo; otra forma de obtener el peso específico seco es al emplear el valor del peso específico húmedo y su porcentaje de humedad, como lo indica la formula.

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \frac{w(\%)}{100}}$$

Donde: w (%) es el porcentaje de humedad y γ es el peso específico húmedo.

2.4.7 Compresión Simple (ASTM 2166)

Es un ensayo realizado a las muestras del suelo, considerado de cierta forma sencillo, el mismo que permite obtener la resistencia a la compresión y de forma indirecta a la resistencia al corte; consiste específicamente en aplicar una carga de forma axial sobre una probeta cilíndrica con esbeltez de 2:1, hasta que se produzca la falla, es un ensayo que se caracteriza por realizarlo en suelos cohesivos, que se lo hace en condiciones no drenadas, para que los resultados sean expresados en términos de esfuerzos totales. (Asmae Mouhsine, 2020)

Como se mencionó antes es un ensayo que no arroja información correcta sobre la resistencia del corte esto se concluyó luego de realizar varios proyectos por lo que se recomienda realizar el ensayo correcto para cada parámetro que se requiera obtener, siendo un ensayo que está destinado para suelos cohesivos, específicamente como la arcilla con baja permeabilidad, en la siguiente imagen se indica los rangos de valores que muestran los

diferentes tipos de arcilla dependiendo de su consistencia.(Asmae Mouhsine, 2020)

Imagen 12.

Relación de consistencia a compresión simple de arcillas

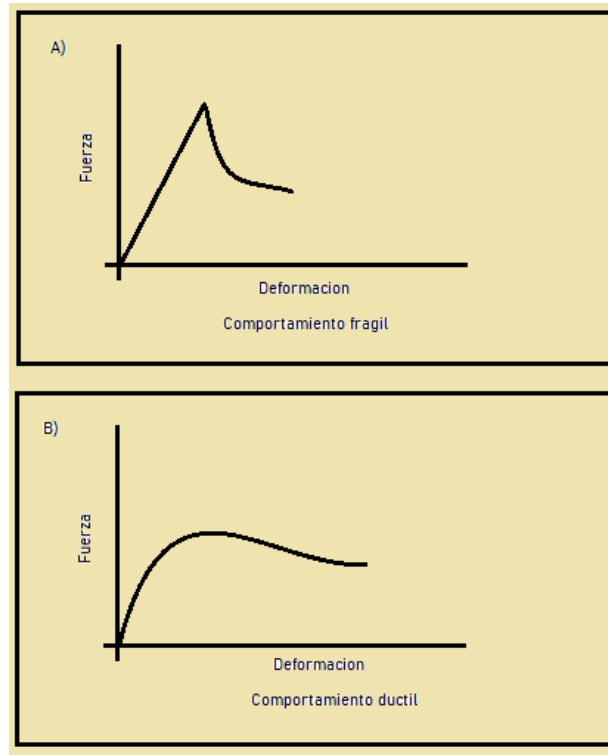
Consistencia	q_u (kN/m ²)
Muy blanda	0–25
Blanda	25–50
Media	50–100
Firme	100–200
Muy firme	200–400
Dura	> 400

12 Fuente:(Asmae Mouhsine, 2020)

Al culminarse el ensayo se presenta una gráfica la cual representa la relación de deformación unitaria y tensión vertical aplicada sobre la muestra; la ruptura de la probeta será alcanzada cuando la tensión vertical comience a disminuir o también cuando la deformación unitaria sea del 15%; algo muy importante es que dependiendo del material se obtendrá diferente curva de esfuerzo deformación, es decir si el material de la muestra tiene comportamiento de forma frágil, formara una falla en un plano específico, pero sí de comporta de forma dúctil, la muestra se embobara y podrá resistir mucha carga para mucha deformación, como se indica en la imagen 13.(Asmae Mouhsine, 2020)

Imagen 13.

Comportamiento frágil y dúctil.



13 Fuente:(Asmae Mouhsine, 2020)

2.4.8 Compresión Triaxial (ASTM 2850)

Este ensayo brinda muy buena información sobre la resistencia de los suelos, el mismo que es realizado en una muestra cilíndrica a la cual se le aplica fuerzas de compresión vertical y por otra parte se aplica una presión alrededor de los laterales de la muestra, a los que se transmite a través de un fluido que rodea a esta última. En la parte superior se encuentra un drenaje para el contenido de agua en el suelo.(Asmae Mouhsine, 2020)

Mediante un tubo que se encuentra en contacto con la muestra permite medir la presión intersticial, mediante algunos ensayos realizados al mismo tipo de suelo se obtendrá la envolvente de Mohr; además ofrece otras medidas como la rigidez, deformación y características de consolidación o la permeabilidad de la muestra.(Asmae Mouhsine, 2020)

Entre los ensayos triaxiales tenemos los siguientes:

Ensayo Consolidado-Drenado: este se ejecuta de manera lenta lo cual permite drenar el agua dentro de la muestra, es uno de los ensayos más usados para analizar laderas y taludes.

Ensayo Consolidado-No drenado: permite drenar al aplicar el esfuerzo de confinamiento, pero se impide durante la aplicación del esfuerzo desviador.

Ensayo No consolidado-drenado: es el que no permite el drenaje durante el ensayo

2.5 Geofísica aplicada en la geotecnia

Luego de varias investigaciones realizadas en diferentes países a nivel mundial como: Rusia, Japón, México y Turquía, se pudo tener una relación de correlación de las características físico-mecánicas la información obtenida con la geofísica; donde los valores obtenidos de las velocidades V_p y V_s , basado en la teoría lineal se pueden obtener: el coeficiente de Poisson, módulo de Young, módulo de corte, modulo volumétrico, siendo estos los parámetros usados para la correlación antes mencionada, teniendo una relación de entre las velocidades de propagación de las ondas elásticas y coeficiente de Poisson, lo que da a entender que las velocidades (V_p y V_s) no están en una relación directa ,si no se encuentran en función del valor del coeficiente de Poisson del suelo.(Naranjo Aguay Héctor, 2012)

Teniendo en cuenta también que una de las principales características físico-mecánicas de los suelos es el módulo de deformación, determinado por el método de exploración sísmica considerado de mejor perspectiva; permitiendo encontrar la correlación entre el módulo de deformación y modulo elástico luego de varias investigaciones, teniendo claro también que estas investigaciones no contienen información teórica ya que no es del todo clara el tipo y estructura de las correlaciones buscadas, por lo que para las correlaciones se deben tener tanto datos de campo como de laboratorio de las características físico-mecánicas.(Naranjo Aguay Héctor, 2012)

Dentro de las investigaciones sobre la geofísica aplicada a la geotecnia las fórmulas usadas por los métodos realizados en la revisión bibliográfica son las siguientes:

Método Ruso: método que establece correlación entre ciertas características físico – mecánicas y las que se obtienen en la refracción sísmica.(Naranjo Aguay Hector, 2012)

Imagen 14.

Formulas método ruso.

METODO RUSO	
Modulo de deformacion	Tipo de Suelo
$E_{def} = 0.1425 Vp + 1.9848 Vs - 270 \left[\frac{kgf}{cm^2} \right]$	arenoso 2-2,5m sobre nivel freatico
$E_{def} = 1.5175 Vs - 189 \left[\frac{kgf}{cm^2} \right]$ $E_{def} = 2.261 * 10^3 Vs^2 + 42 \left[\frac{kgf}{cm^2} \right]$	arenoso 0,5m bajo el nivel fratico
$E_{def} = \frac{V_p^{N.F} - V_p(Z)}{V_p^{N.F}} * E_d + \frac{V_p(Z)}{V_p^{N.F}} * E_d^a$	arenoso cerca del nivel freatico
$E_{def} = 0.0738 Vp + 2.5 Vs - 348 \left[\frac{kgf}{cm^2} \right]$	suelo saprolitico de los Urales
$E_{def} = 0.099 Vp + 2.343 Vs - 331.5 \left[\frac{kgf}{cm^2} \right]$	areno arcilloso excepto arcillas
Cohesion	
$C = 24 * 10^{-4} Vp - 0.63$	en condiciones de laboratorio
$C = 0.908 - 0.168 \frac{Vp}{Vs}$	Saproliticos de los Urales
Angulo de Friccion Interna	
$\varphi = 46.4 - 9.65 \frac{Vp}{Vs}$	Saproliticos de los Urales
Peso Volumetrico	
$\gamma = 1.516 * 10^{-2} \sqrt{Vp} + 1.597 \left[\frac{gr}{cm^3} \right]$	Saproliticos de los Urales
Densidad	
$d_e = 1.19 + 475 * 10^{-6} Vs \left[\frac{gr}{cm^3} \right]$	
Coeficiente de colapsabilidad relativa	
$i = 0.6768 * \frac{10^6}{Vp^3} - 0.0003$	limos colapsables
Humedad de los suelos	
$w = 0.0105 Vp + 4.65 \quad (\%)$	limos de los Urales
SPT	
$N = 0.0284 Vp - 7.6 \quad \frac{golpes}{dm}$	

14 Fuente:(Naranjo Aguay Hector, 2012)

Método Japonés: en este método se acumularon datos de terrenos blandos, estudiando así la variación de (V_p y V_s) y el coeficiente de Poisson (η) relacionado con la geología y el tipo de suelo. (Naranjo Aguay Hector, 2012)

Imagen 15.

Formulas método Japonés.

METODO JAPONES	
Tipo de Suelo según la velocidad	
Tipo I	velo. max. menor a 1000 m/s turba, arcilla y marga
Tipo II	velo. max. mayor que 1000 m/s deluvios, arena, arcilla y grava
Tipo III	los dos maximos que se indican para suelos aluviales de
Formulas	
Coeficiente de Poisson	$\eta = \frac{1 - 2\left(\frac{V_s}{V_p}\right)^2}{2 - 2\left(\frac{V_s}{V_p}\right)^2}$
Coeficiente de correlacion 0,889	$V_s = 91.0 * N^{0.337}$

15 Fuente: (Naranjo Aguay Hector, 2012)

Imagen 16.

Formulas Correlaciones entre Vs y N

Investigadores	Ecuación	Observaciones
Imai y Yoshimura (1970)	$V_s = 76 * N^{0.33}$	
Ohba y Toriumi (1970)	$V_s = 84 * N^{0.31}$	
Imai (1977)	$V_s = a * N^b$	$a = 102, b = 0.29$ Arcilla Holoceno $a = 81, b = 0.33$ Arena Holoceno $a = 114, b = 0.29$ Arcilla Pleistoceno $a = 97, b = 0.32$ Arena Pleistoceno
Ohta y Goto (1978)	$V_s = 85.34 * N^{0.348}$	Para todo tipo de suelo

16 Fuente.(Naranjo Aguay Hector, 2012)

Imagen 17.

Formulas Correlaciones entre Vs y N

Okamoto et al. (1989)	$V_s = 125 * N^{0.3}$	Arena del Pleistoceno
Japan Road Association (2002)	$V_s = 80 * N^{1/3}$	Arenas
	$V_s = 100 * N^{1/3}$	Arcillas
Vs=velocidad de ondas de corte en m/s; N=número de golpes del SPT		

17 Fuente:(Naranjo Aguay Hector, 2012)

Método Mexicano: investigación concentrada en la presencia de arcillas lacustres, considerando a este material como intermedio entre sólido y líquido.(Naranjo Aguay Hector, 2012)

Imagen 18.

Formulas método mexicano.

$\eta = \left\{ \left(\frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 2 \right\} / 2 \left\{ \left(\frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 1 \right\}$	Relación de Poisson
$G = \delta V_s^2$	Módulo de Rigidez
$E = 2 G(1 + \eta)$	Módulo Elástico
$K = \frac{E}{3(1 - 2\eta)}$	Módulo de Bulk

18 Fuente:(Naranjo Aguay Hector, 2012)

Método Turco: se basa en la variedad de casos históricos de investigaciones, corroborando esta investigación con los resultados de la teoría clásica, usando solo los parámetros de terreno y velocidad de la onda de cizallamiento u onda “S” y el peso específico del suelo.(Naranjo Aguay Hector, 2012)

Imagen 19.

Formula método turco.

METODO TURCO	
Peso específico	$\gamma = \gamma_o + 0.002 V_p$

19 Fuente:(Naranjo Aguay Hector, 2012)

Imagen 20.*Especificaciones según el tipo de suelo.*

(γ_o)	Especificaciones
$\gamma_o = 16$	Suelo arenoso
$\gamma_o = 17$	Arena densa y grava

20 Fuente:(Naranjo Aguay Hector, 2012)

Imagen 21.*Especificaciones según el tipo de suelo.*

$\gamma_o = 18$	Roca caliza y conglomerado
$\gamma_o = 20$	Arenisca
$\gamma_o = 24$	Rocas firmes

21 Fuente:(Naranjo Aguay Hector, 2012)

Imagen 22.*Factores de inocuidad y presiones admisibles según el suelo.*

Soil Type	Vs - range	n	qa (kN/m2)
Hard rocks	$Vs - range \geq 4000$	n = 1.4	qa = 0.071 γ Vs
Soft weak rocks	$750 \leq Vs \leq 4000$	n = 4.6 - 0,0008	qa = 0.01 γ Vs/n
Soils	$750 \geq Vs$	n = 4.0	qa = 0.025 γ Vs α

22 Fuente:(Naranjo Aguay Hector, 2012)

Capítulo III: Ensayos Geotécnicos y Geofísicos

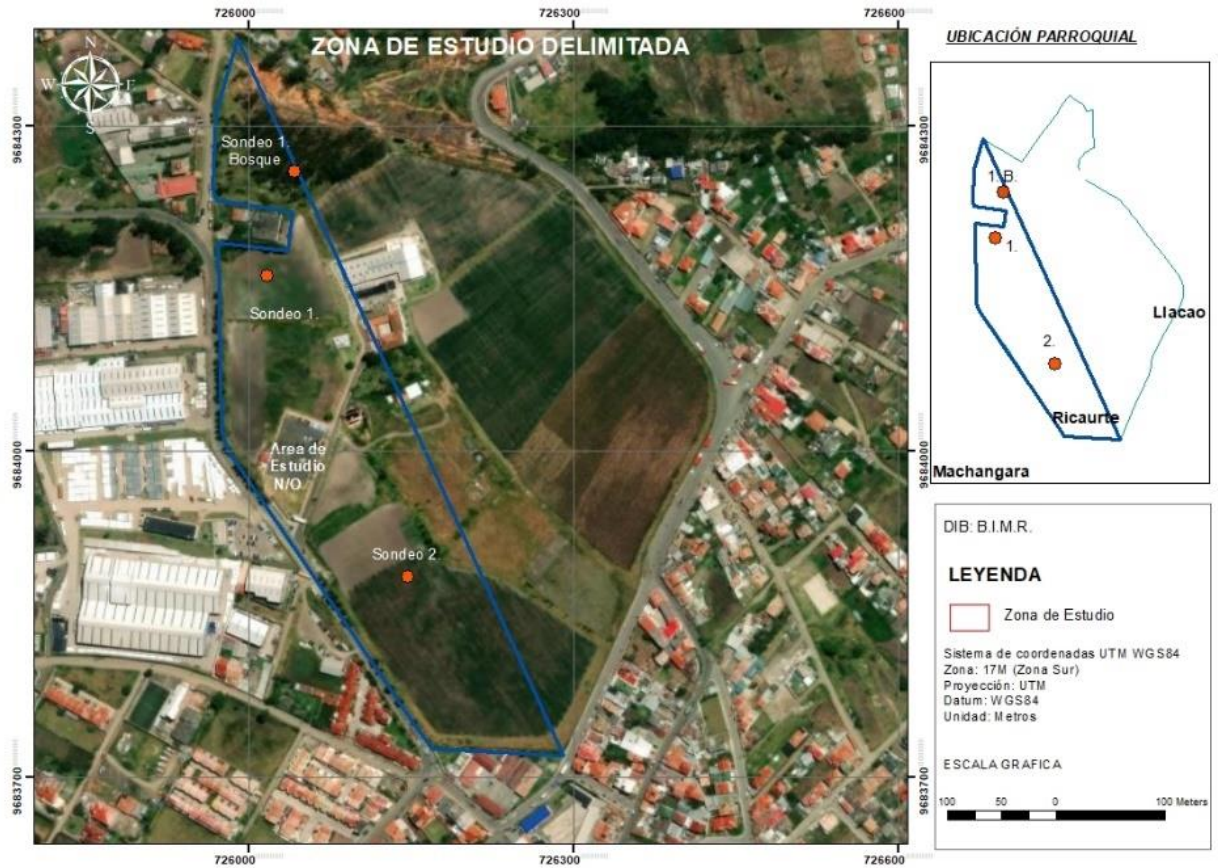
3.1 Ensayos Geotécnicos

3.1.1 SPT

Para realizar este ensayo se procedió a la ubicación de tres puntos estratégicos mismos que se ubicaron bajo la dirección del tutor Ing. Luis Mario Almache, basado en la experiencia, geología y en estudios antes realizados en la zona como se indica en la imagen 14, presentándose un inconveniente en el primer punto ya que el tipo de suelo no permitió realizar el ensayo por sus características que dificultaban el uso del equipo y podría causar daños en el mismo, se optó por no realizar SPT en el primer punto y se tomó los siguientes, siendo dos los sondeos hechos con SPT, sin embargo del primer punto luego se tomó una muestra superficial que más adelante se indica y se realizó la clasificación del mismo.

Imagen 23.

Ubicación de los sondeos.



23 Fuente: El Autor

Tabla 1.

Coordenadas de los sondeos.

COORDENADAS		
Sondeo	X	Y
1.B	726038,722	9684261,14
1	726017,37	9684161,82
2	726146,798	9683884,61

Tabla 1 Fuente: El Autor

Una vez ubicado los puntos de los sondeos para la tesis se usó el equipo de acuerdo a la norma establecida ASTM D1586, el cual consta de un martillo de 63.5kg, para la perforación

un diámetro de 60mm, el equipo para la penetración en el suelo se lo realizo a partir de un metro hasta el 1.50, luego de 2.00 hasta 2.50 y de 3.00 hasta 3.50 esto para el primer sondeo; para el segundo punto o sondeo se partió de 1.00 a 1.50 y luego de 2.00 a 2.50, estas longitudes de perforación se dieron porque al llegar a esas medidas el suelo nos dio rechazo, así como lo especifican las siguientes tablas 1 y 2. Teniendo así una profundidad máxima alcanzada de 3.5m.

Es muy importante también decir que para el sondeo 1. Bosque por el tipo de suelo no se pudo realizar el ensayo directo SPT, por lo cual de manera manual se procede a realizar una excavación superficial para obtener una muestra del suelo y pueda ser analizada y verifique que el ensayo directo no se puede realizar por ser un conglomerado proceso realizado bajo la autorización del Ing. Luis Mario Almache.

Tabla 2.

Datos del Sondeo N° 1 del Ensayo SPT

SPT	1		 Universidad Católica de Cuenca
Coordenadas de Ubicación	726017,37; 9684161,823		
Profundidad (m)	3,5		
Fotografías	Espesor (m)	No de Golpes	
	Capa Vegetal	0,6	0
	Es. 1.1	1,15	4
	Es.1.2	1,30	7
	Es. 1.3	1,45	11
	Es. 2.1	2,15	11
	Es. 2.2	2,3	15
	Es. 2.3	2,45	17
	Es. 3.1	3,15	24
	Es. 3.2	3,3	30
	Es. 3.3	3,45	30

Tabla 2 Fuente: El Autor

Tabla 3.

Datos del Sondeo N° 1 del Ensayo SPT



SPT	2		 Universidad Católica de Cuenca
Coordenadas de Ubicación	726146,798; 9683884,606		
Profundidad (m)	2,5		
Fotografías	Espesor (m)		No de Golpes
	Capa Vegetal	0,6	0
	Es. 1.1	1,15	17
	Es. 1.2	1,3	22
	Es. 1.3	1,45	30
	Es. 2.1	2,15	35
	Es. 2.2	2,3	35
	Es. 2.3	2,45	35

Tabla 3 Fuente: del Autor

En el procesamiento de los datos se consideran factores de corrección, de acuerdo al tipo de martillo, diámetro de perforación, longitud de la varilla y el tipo de muestro mismos que se indican en las siguientes tablas 4, 5, 6 y 7, que de acuerdo al equipo usado en el ensayo se tomara correctamente el valor del factor y posterior a ello emplear en la ecuación, siendo estos resaltados que cada tabla de acuerdo a los requerimientos del estudio.

$$N_{60} = N_m * n_H * n_B * n_S * n_R$$

N_{60} : número de golpes estándar corregido por las condiciones de campo.

N_m : número de golpes obtenido en campo.

n_H : Factor de corrección de eficiencia del martinete (%)

n_B : Factor de corrección por diámetro de la perforación.

n_S : Factor de corrección por longitud de la barra.

n_R : Factor de corrección por método de muestreo.

Tabla 4.*Valores Factor de corrección de acuerdo al martillo*

Factor de corrección nH según el tipo de martillo		
Autor	Tipo de Martillo	
	Donut	Safety
Bowles (1996)	0,64	1
Skempton (1986)	0,75	0,9

*Tabla 4 Fuente: El Autor***Tabla 5.***Valores Factor de corrección de acuerdo al martillo*

Factor de corrección nB según el diámetro de perforación			
Autor	Diámetro de perforación (mm)		
	60-120	150	200
Bowles (1996)	1	1,05	1,15
Skempton (1986)	1	1,05	1,15

*Tabla 5 Fuente: El Autor***Tabla 6.***Valores Factor de corrección de acuerdo al martillo*

Factor de corrección nS según longitud de varilla	
Longitud de la varilla (m)	Factor de corrección
> 10	1
6-10	0,95
4-6	0,85
0-4	0,75

*Tabla 6 Fuente: El Autor***Tabla 7.***Valores Factor de corrección de acuerdo al martillo*

Factor de corrección nR por método de muestreo	
Método muestreo	Factor de corrección
Muestra estandar	1,00
Muestra sin revestimiento	1,20

Tabla 7 Fuente: El Autor

Una vez seleccionado los factores y con la ecuación mencionada se obtuvieron los resultados expuestos en las tablas 8 y 9, información que nos servirá para la correlación que

se busca hacer con la geofísica.

Tabla 8.

Resultados de N₆₀ Pto1.

Sondeo	Profundidad (m)	SPT			Nm	Factor de Corrección				N ₆₀
		15	30	45		nH	nB	nS	nR	
Pto. 1	1,00-1,45	4	7	11	18	0,75	1	0,85	1,00	11
	2,00-2,45	11	15	17	32	0,75	1	0,85	1,00	20
	3,00-3,45	24	30	30	60	0,75	1	0,85	1,00	38

Tabla 8 Fuente: El Autor

Tabla 9.

Resultados de N₆₀ Pto2.

Sondeo	Profundidad (m)	SPT			Nm	Factor de Corrección				N ₆₀
		15	30	45		nH	nB	nS	nR	
Pto. 2	1,00-1,45	17	22	30	52	0,75	1	0,85	1,00	33
	2,00-2,45	35	35	35	70	0,75	1	0,85	1,00	45

Tabla 9 Fuente: El Autor

3.1.2 Contenido de Humedad

Una vez realizados los sondeos y teniendo las muestras bajo la norma ASTM D2216-19 se prosiguió a determinar el contenido de humedad de cada muestra de suelo, para la cual se tomó un cierto peso de cada muestra, se las peso a cada una en un recipiente de forma individual, para luego ser llevadas al horno por un tiempo de 24 horas y luego sean retiradas del mismo para poder determinar el contenido de humedad exacto que nos den cada una.

Tabla 10.

Resultados del contenido de Humedad

Muestra	Estrato	Espesor	Humedad (%)
1	1	0,5	21,67
	2	0,5	21,75
2	1	0,5	22,48

Tabla 10 Fuente: del autor.

3.1.3 Granulometría

Para la granulometría se la realizo en base a la norma ASTM D 422, el cual indica que se usara: una balanza y recipientes medianos. Para este ensayo se aprovechó lo más que se pudo de la muestra ya obtuvimos poca de cada sondeo, realizándose para esta investigación una granulometría solo para finos y gruesos, teniendo como cantidad de muestra 500 gr para el sondeo del pto. 2 y 300 gr para los otros sondeos del pto. 1; los tamices utilizados fueron los siguientes: N° 4, N° 10, N° 40, N° 200 y el tamiz de fondo.

Imagen 24.

Tamices usados en la granulometría.

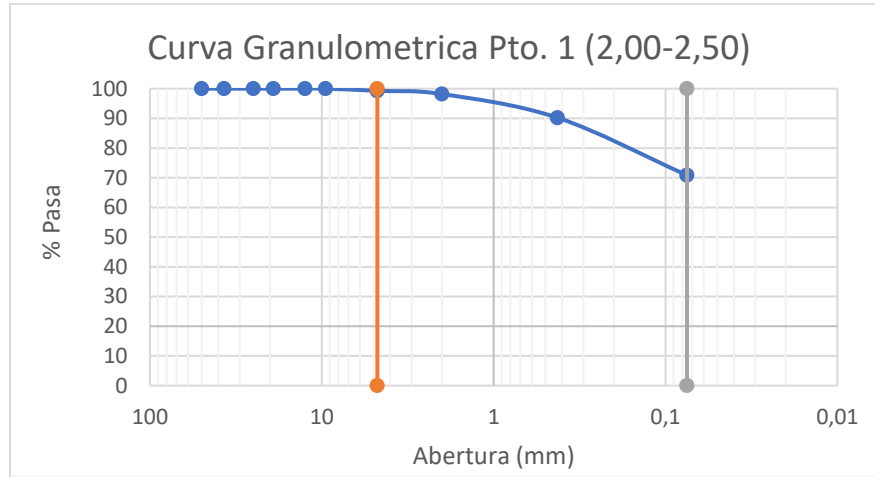


24 Fuente: El autor

Con cada muestra una vez colocadas en los recipientes, se procede a lavar hasta tener una muestra lo más limpia posible, posterior a ello se lleva las muestras a el horno por un tiempo de 24 horas, sin olvidar de tomar los pesos antes y luego del ingreso al horno, al pasar las el tiempo antes mencionado en el horno se saca y se procede al tamizado, para luego proceder al pesado del material que quedara retenido en cada tamiz, una vez pesada la muestra retenida de cada tamiz se realiza la sumatoria de todas para verificar que sea igual al peso inicial, sin embargo bajo la norma se puede tener un error del 2% del peso inicial. A continuación, se podrán ver las gráficas granulométricas obtenidas.

Imagen 25.

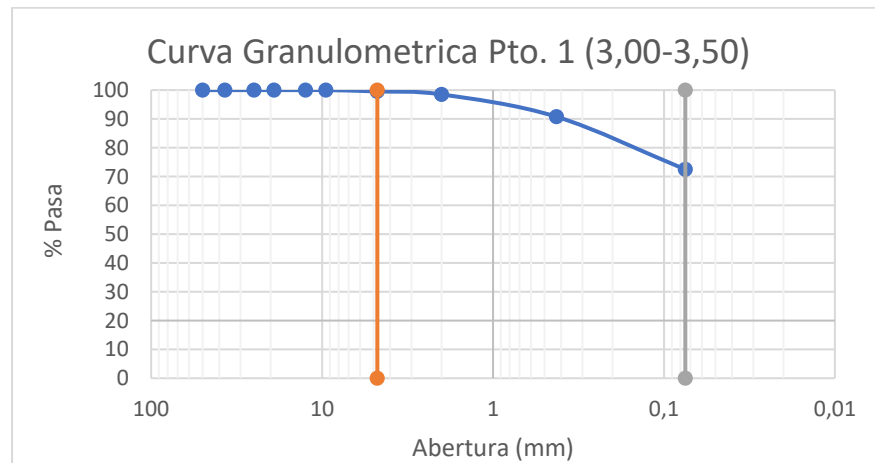
Curva Granulométrica del Sondeo 1. Profundidad 2.00 a 2.50 m.



25 Fuente: El autor

Imagen 26.

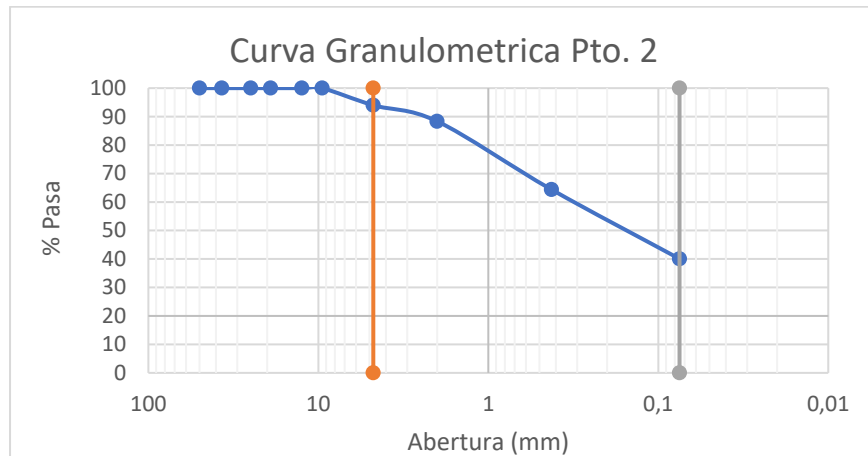
Curva Granulométrica del Sondeo 1. Profundidad 3.00 a 3.50 m.



26 Fuente: El autor

Imagen 27.

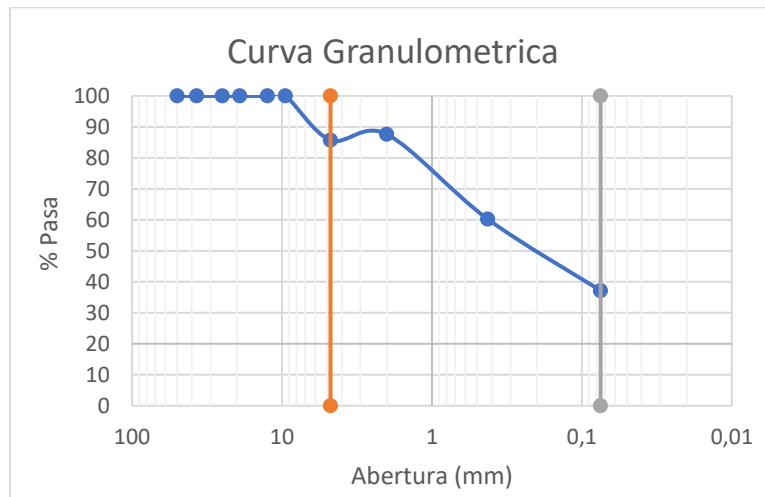
Curva Granulométrica del Sondeo 2.



27 Fuente: El autor

Imagen 28.

Curva Granulométrica del Sondeo 1. bosque



28 Fuente: El autor

De acuerdo a la granulometría realizada los agregados predominantes en las muestras son de grava, arena y finos, los mismos que presentan diversos porcentajes de acuerdo a la

muestra: en la muestra del sondeo 1. Profundidad 2.00 a 2.50m existe mayor presencia de finos representado con un porcentaje del 70%, así como un 29 % de arenas y una presencia mínima de 1% de gravas; para la muestra del sondeo 1. Profundidad 3.00 a 3.50m tenemos también un mayor porcentaje en finos representado en un 72%, arenas 28% y no existen gravas; mientras que para la muestra del sondeo 2. Hay presencia de un mayor porcentaje de arenas 56%, presencia de finos de 38% y un mínimo de grava de 6%.

Teniendo en cuenta estos datos, podemos observar que los estratos se componen mayormente por agregados finos, esto quiere decir que en la clasificación nos darán resultados entre arenas, arcillas o limos.

3.1.4 Límites de Atterberg

Para este ensayo se siguió la norma ASTM D4318, el cual indica que la muestra debe estar seca y ser pasada por el tamiz número 40, como se indica en la imagen 29.

Imagen 29.

Equipo para obtener los límites de Atterberg.



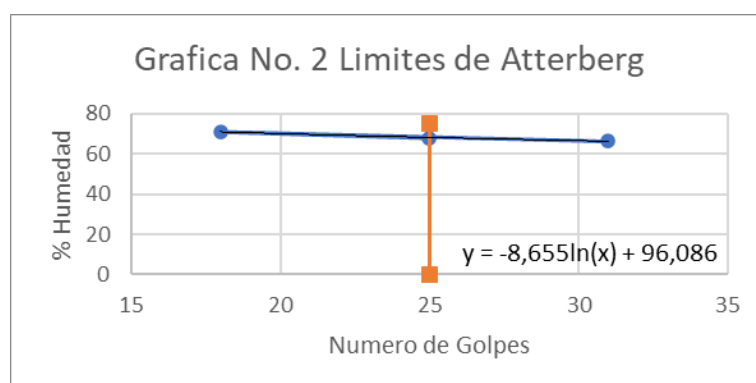
Una vez tamizado el material se procede a usar un recipiente para realizar la mezcla, la cuchara de Casagrande, una paleta y un gotero, el proceso a seguir será con una cantidad de muestra seca colocada en el recipiente se le agrega agua para así lograr obtener una consistencia homogénea más moldeable, la cual será colocada en la cuchara de Casagrande de manera uniforme, y con la ayuda de un ranurador se la separa por la mitad.

Es entonces que con la ayuda de un mango que se encuentra al extremo derecho la cuchara el cual se lo manipula para que provoque los golpes y así la ranura que se hizo vaya cerrándose a cierta cantidad de golpes entre 37-42, proceso el cual se repite, con la única diferencia de que cada muestra se le aumentara cierta cantidad de agua y de acuerdo a esto el número de golpes ira disminuyendo con una diferencia aproximada de 8 a 4 golpes menor al anterior, proceso que se repite 5 veces, pero en este caso se lo realizo 3 veces por la escases de la muestra.

Con lo que se obtuvo una tabla con el número de golpes generados en cada muestra y obtener la información necesaria para obtener el Limite Liquido.

Imagen 30.

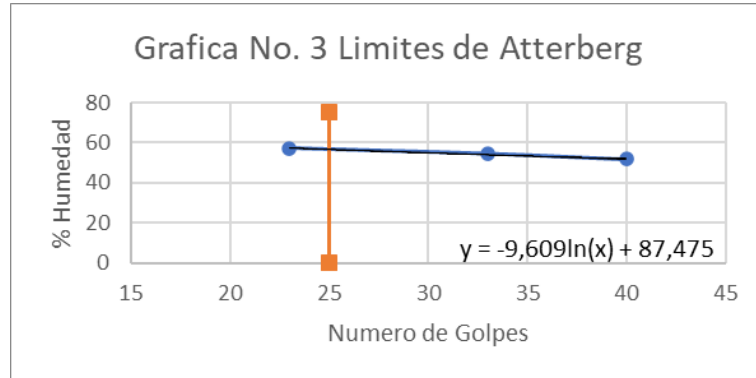
Limite liquido Sondeo 1. (2.00-2.45m).



30 Fuente: El autor

Imagen 31.

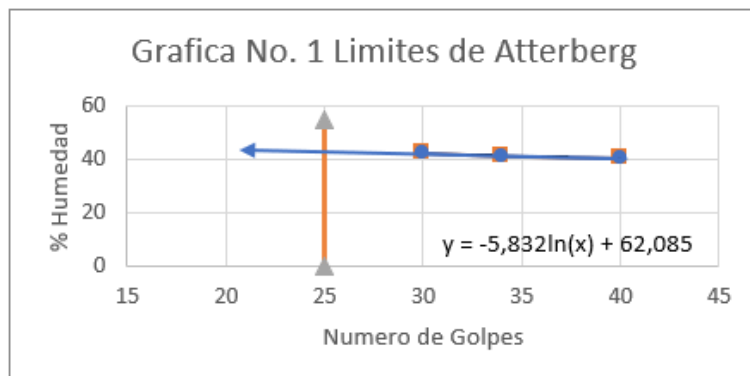
Limite liquido Sondeo 1. (3.00-3.45m)



31 Fuente: El autor

Imagen 32.

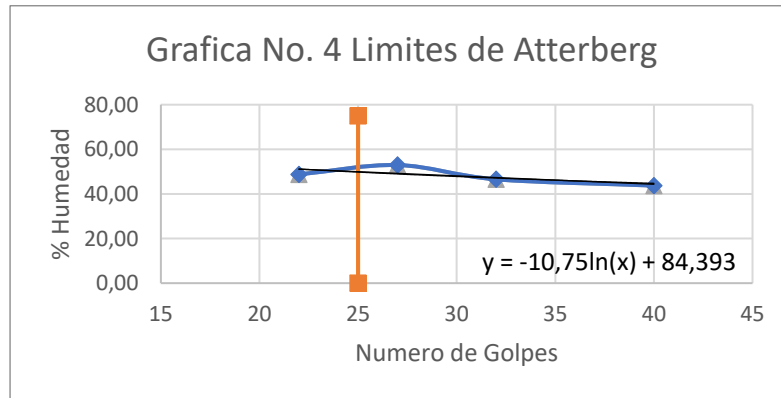
Limite liquido Sondeo 2.



32 Fuente: El autor

Imagen 33.

Limite liquido Sondeo 1. Bosque



33 Fuente: El autor

Para obtener el Limite Plástico con la muestra seca se le agrega un porcentaje mínimo de agua para así obtener una masa que pueda ser manipulable, posterior a ello se toma un poco de la muestra y en una superficie plana se las gira con la mano hasta formar unos rollos con diámetro aproximado de 3mm, se lo realiza hasta obtener grietas en toda la muestra; proceso que se lo repite por otras tres veces en este caso por la escases de la muestra obtenida en campo, pero el proceso es recomendable realizarlo 5 veces. En las siguientes imágenes podemos observar cómo se realizó el ensayo.

Imagen 34.

Muestras de los rollos de 3mm para obtener el Limite Plástico.



34 Fuente El autor.

Una vez terminado el proceso del ensayo se obtienen los resultados presentados en la tabla 11 donde se detalla cada límite: líquido y plástico. Esto nos ayudará a determinar el tipo de suelo que se encuentra en la zona sin embargo para determinar con exactitud esta información debe ser usada la carta de plasticidad que nos permite conocer exactamente el tipo de suelo.

Tabla 11.

Resultados de los Limites de Atterberg.

Muestra	Estrato	Espesor	Limite Liquido (LL)	Limite Plastico (LP)	Indice Plasticidad (IP)
1	1	0,5	68,04	42,71811	25,32
	2	0,5	56,54	18,72925	37,82
2	1	0,5	43,31	32,03617	11,28
3	1	0,4	49,79	36,50668	13,28

Tabla 11 Fuente: del autor

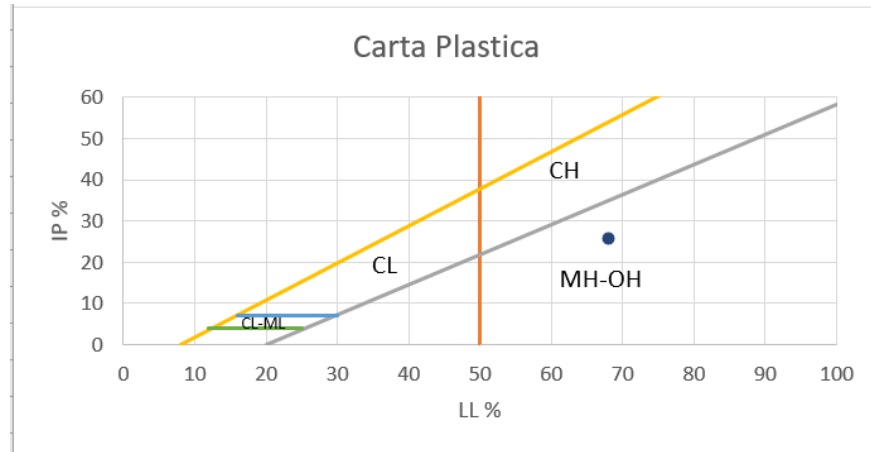
3.1.5 Clasificación del suelo mediante SUCS

La clasificación está basada en la gráfica que relaciona al límite plástico y limite liquido de la carta de Casagrande, en las que se detalla los suelos: arcillosos y limos de alta y baja plasticidad, la cual busca la clasificación de los suelos finos de acuerdo a los valores

obtenidos; a continuación, en las imágenes 35, 36, 37 se observa la categoría de los estratos.

Imagen 35.

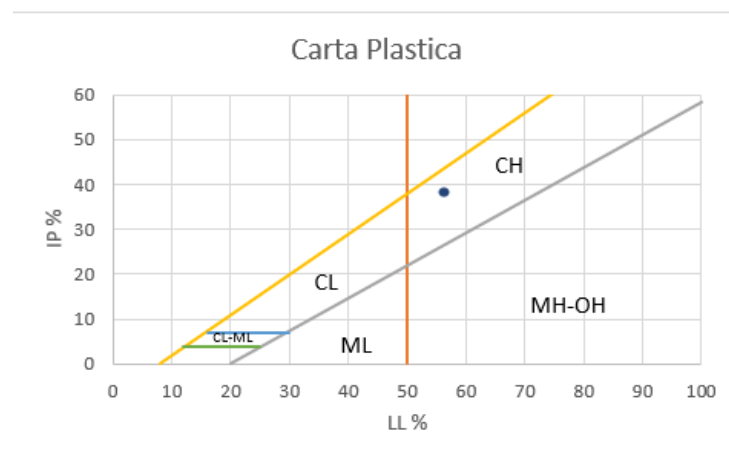
Resultado de la Carta de Plasticidad Sondeo 1. (2.00-2.45m)



35 Fuente: El autor

Imagen 36.

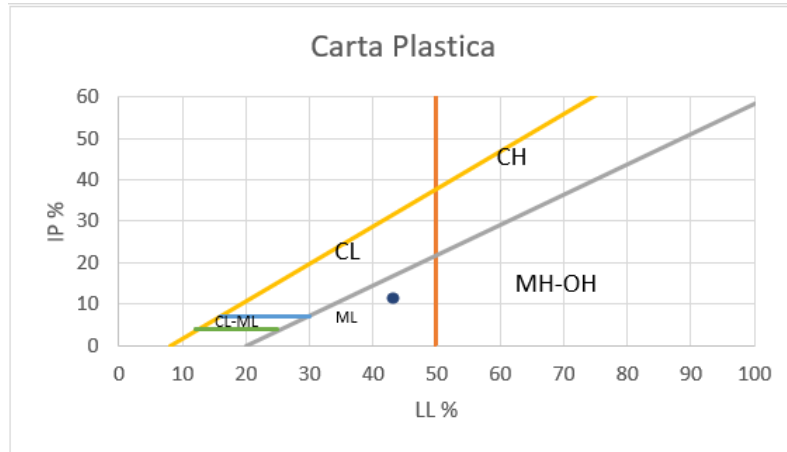
Resultado de la Carta de Plasticidad Sondeo 1. (3.00-3.45m)



36 Fuente: El autor

Imagen 37.

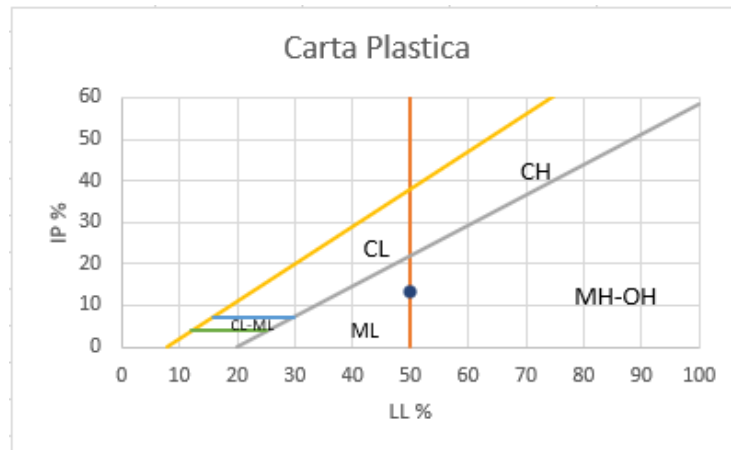
Resultado de la Carta de Plasticidad Sondeo 2.



37 Fuente: El autor

Imagen 38.

Resultado de la Carta de Plasticidad Sondeo 1. Bosque



38 Fuente: El autor

Al tener la categoría de los estratos en la tabla 12 se tiene un resumen de todos los porcentajes de humedad y la clasificación de cada estrato, de acuerdo a Casagrande.

Tabla 12.

Resultados de la Clasificación SUCS de las muestras

Clasificación del suelo (SUCS)								
Sondeos	Estrato	Espesor (m)	w (%)	LL	LP	IP	Descripción	Símbolo
1	1	0,5	21,67	68,04	42,71811	25,32	Limo de alta plasticidad	MH
	2	0,5	21,75	56,54	18,72925	37,82	Arcilla de alta plasticidad	CH
2	1	0,5	22,48	43,31	32,03617	11,28	Arena limosa	SM
1. B	1	0,4	13,08	49,79	36,50668	13,28	Arena limosa	SM

Tabla 12 Fuente: El autor

Una vez que se obtuvieron los resultados granulométricos se tienen tres tipos de suelo, un Limo de alta plasticidad, una arcilla de alta plasticidad y una arena de baja plasticidad, siendo la plasticidad un parámetro muy importante para la calidad del suelo, decimos en el suelo con alto contenido de plasticidad no es recomendado para la construcción, en este caso el MH y CH.

3.1.6 Ensayo corte directo

Siendo un ensayo de suma importancia ya que del mismo se obtiene la resistencia del suelo, el proceso para el mismo se realizó según la norma ASTM D3080, para el cual se tomaron tres muestras inalteradas de cada sondeo y se las colocó en un molde de forma rectangular y acero inoxidable, esto se lo hizo de forma manual colocando la cantidad de muestra necesario a presión compactando hasta que toda la cantidad de muestra calculada este en el molde para luego ser colocada en la máquina de corte directo, es importante tener las medidas de la muestra es decir el lado y espesor, también el peso de la misma.

Una vez en la máquina se le agrega un peso y esta se encarga de simular tanto cargas verticales o normales y horizontales, en el plano de movimiento, lo cual va a producir un deslizamiento en una porción del suelo con respecto a otra; esto tarda cierto tiempo hasta darnos el esfuerzo máximo cortante, para luego con la información obtenida procesarla y poder realizar la gráfica formada por el esfuerzo normal y esfuerzo cortante máximo.

Posterior a la gráfica de la misma se obtendrá los valores de la cohesión y ángulo de fricción, la cohesión no es más que la intercepción que se da entre la línea generada en la relación de esfuerzos con el eje vertical; y el ángulo de fricción será el formado la línea de la gráfica con el eje horizontal, para así poder conocer la fricción que tiene el suelo.

A continuación, se presenta en la tabla 13 la información obtenida del ensayo.

Tabla 13.

Resultados del ensayo de Corte directo

Sondeo	Profundidad de extracción de muestra (m)	Cohesion (kg/cm ²)	Angulo de fricción	Humedad w(%)	Peso específico (gr/cm ³)	Tipo de Suelo
1	2,5	1,26	35,1	21,75	1,97	Limo de alta plasticidad
	3,5	0,61	18,03	21,67	1,97	Arcilla de alta plasticidad
2	2,5	0,64	32,85	22,48	1,89	Arena Limosa

Tabla 13 Fuente: El autor

3.2 Ensayo Geofísico

Para este ensayo se realizaron 4 líneas de refracción sísmica como se observa en la imagen 39, con las coordenadas expresadas en la misma imagen, las cuales como se mencionó en el ensayo de SPT, tuvieron un previo análisis de ubicación para tener accesibilidad al sitio y sean realizadas en una parte estratégica para el estudio correspondiente.

3.2.1 Ubicación de Perfiles Geofísicos

Imagen 39.

Ubicación líneas geofísicas.

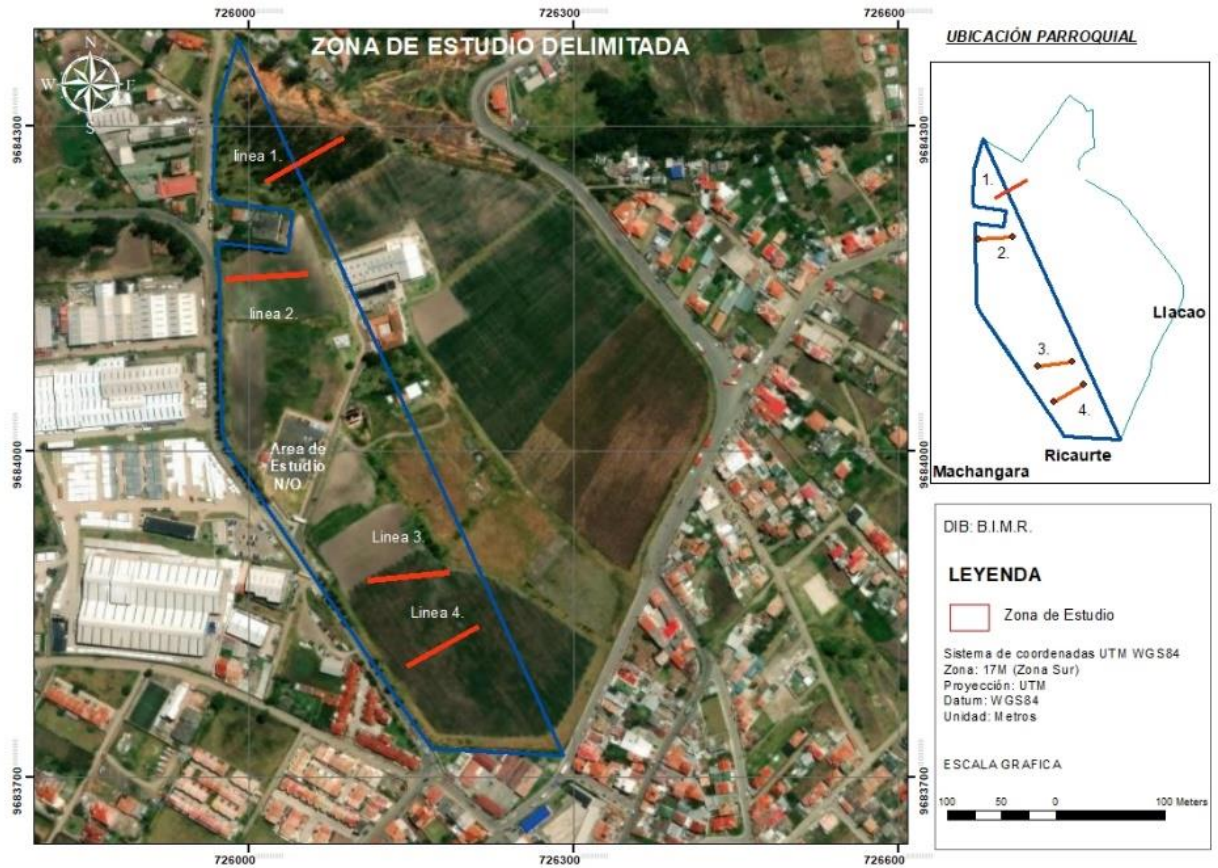


Ilustración 39 Fuente: El autor

Tabla 14.

Coordenadas de las líneas geofísicas.

COORDENADAS				
Lineas	Inicio		Final	
	Este	Norte	Este	Norte
1	726014,877	9684248,89	726088,099	9684290,06
2	725979,231	9684159,16	726055,052	9684164,38
3	726110,336	9683880,89	726185,92	9683888,83
4	726145,533	9683801,5	726211,782	9683838,75

Tabla 14 Fuente: El autor

3.3 Sísmica de Refracción

Para la sismica de refracción se utilizó el equipo Doremi Sara 24 bits, usando un total de 19 geófonos colócalos de manera vertical, con una espaciamiento entre ellos constante de 4m, para tener un total de distancia horizontal de 76m en cada línea; este ensayo se realizó con golpes del martillo o mazo de 8.6 kg sobre una placa, para la línea uno y para la línea 2 se usó una masa con un peso superior; siendo este peso considerado por el equipo como la energía, y de esta forma la información que registra el equipo sea procesada y se obtiene las velocidades P y S, por lo general estos golpes de energía se los toman en varios puntos, para nuestro ensayo se tomó en 5 puntos a los largo de la línea uno al inicio entre los geófonos 4-5, el siguiente entre los geófonos 10-11, el siguiente entre el 15-16 y el ultimo al final de la línea, proceso que nos permite conocer el tipo de suelo rigidez, hundimiento y movimientos que ocurran en las infraestructuras del área de estudio.

Imagen 40.

Curva de Dispersión (frecuencia vs fase de velocidad) línea 1.

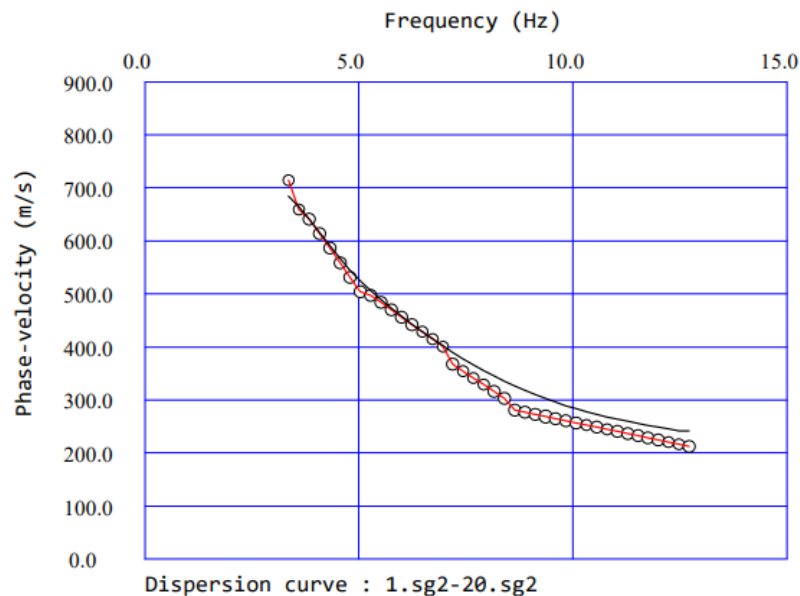
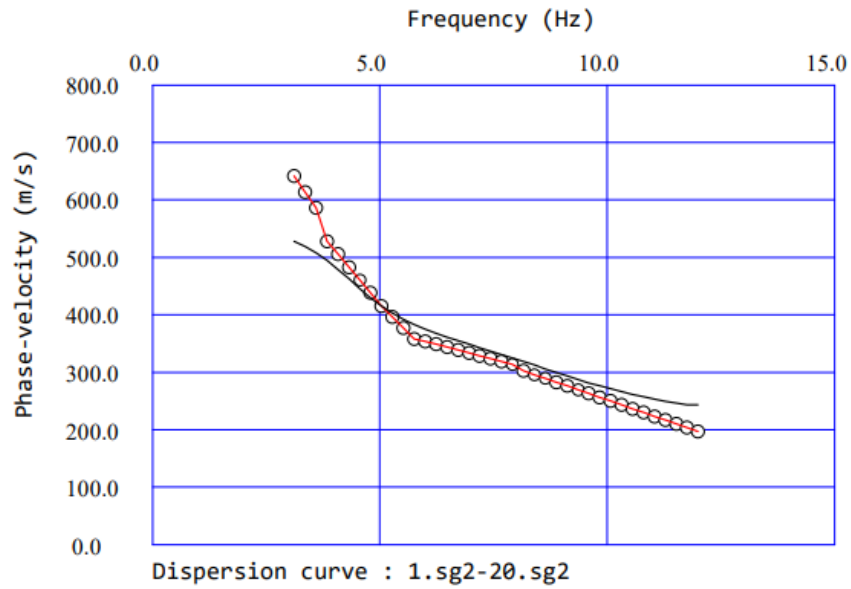


Ilustración 40 Fuente: El autor

Imagen 41.

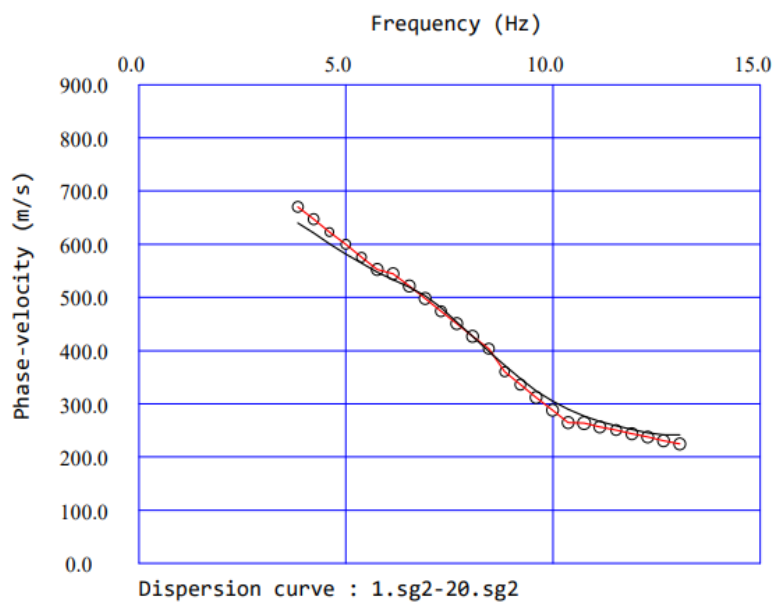
Curva de Dispersión (frecuencia vs fase de velocidad) línea 2.



41 Fuente: El autor

Imagen 42.

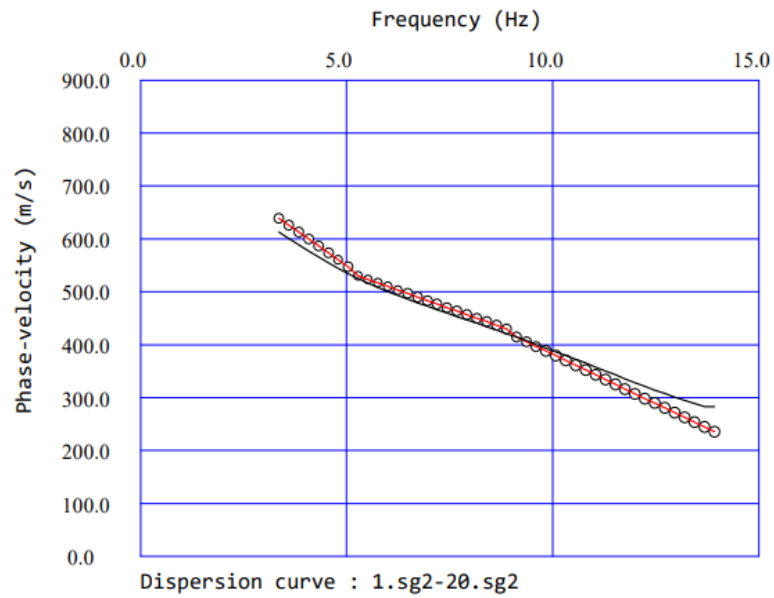
Curva de Dispersión (frecuencia vs fase de velocidad) línea 3.



42 Fuente: El autor

Imagen 43.

Curva de Dispersión (frecuencia vs fase de velocidad) línea 4.



43 Fuente: El autor

Luego de obtener los datos con el ensayo geofísico y procesarlos se obtienen los perfiles estratigráficos de las pruebas ReMi, obteniendo los siguientes resultados que se indican en las imágenes 44, 45, 46 y 47

Imagen 44.

Perfil estratigráfico ReMi línea 1.

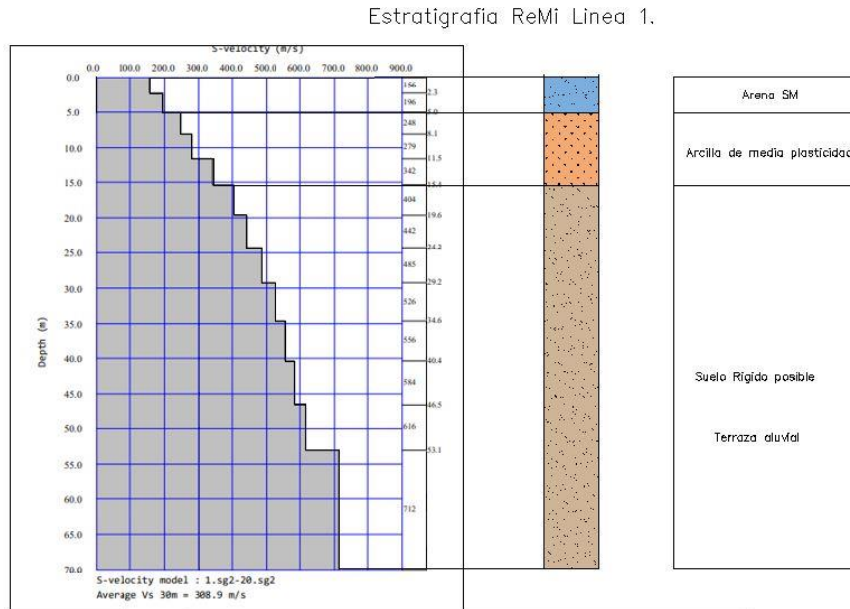
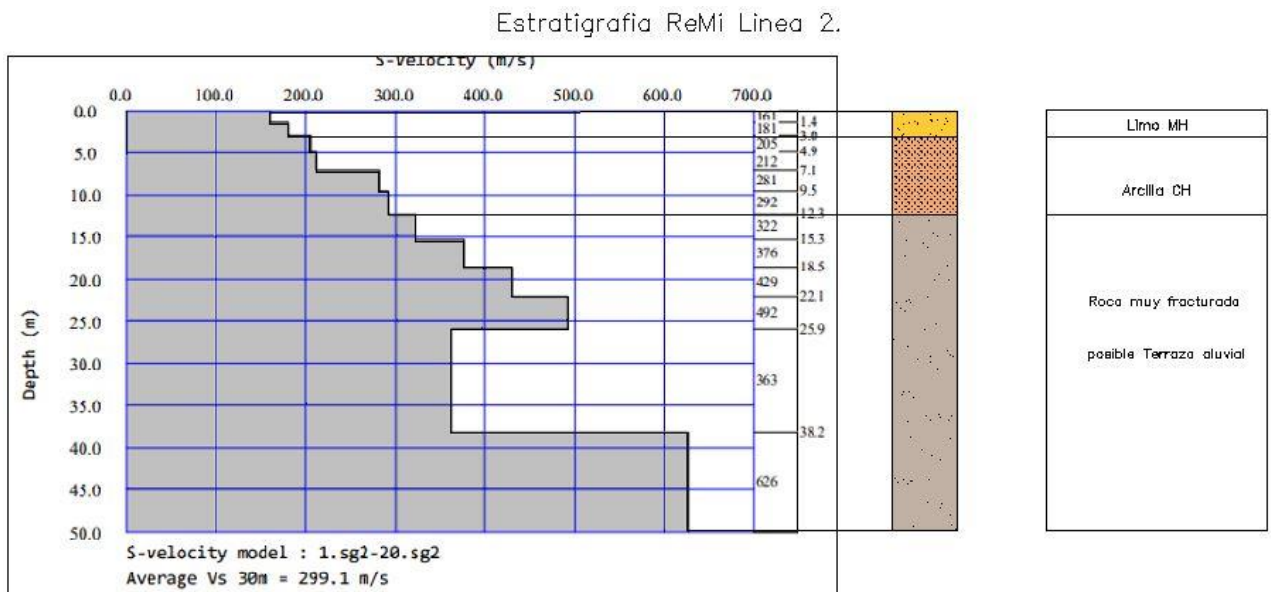


Ilustración 44 Fuente: El autor

Imagen 45.

Perfil estratigráfico ReMi línea 2.

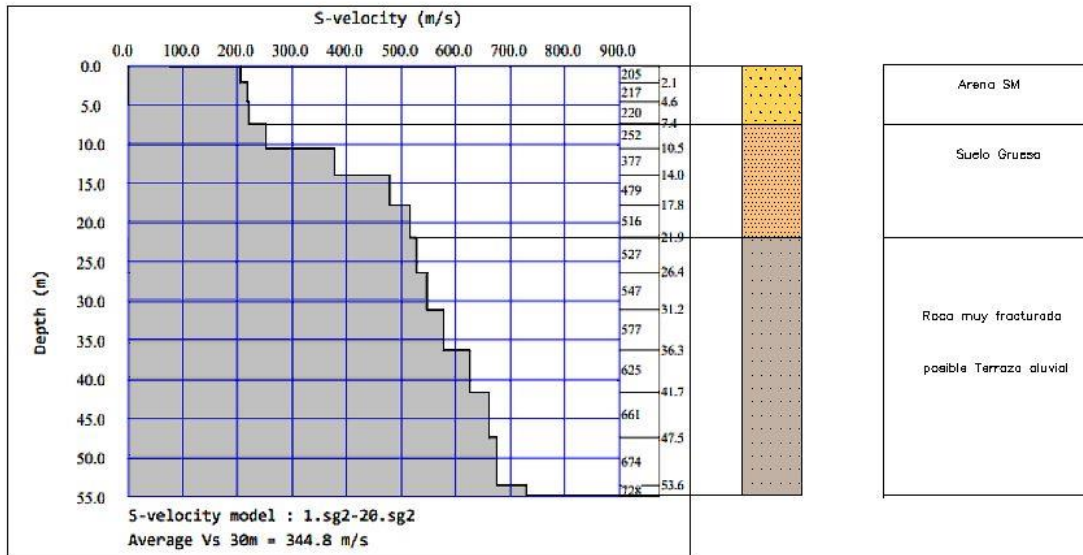


45 Fuente: El autor

Imagen 46.

Perfil estratigráfico ReMi línea 3.

Estratigrafía ReMi Línea 3.

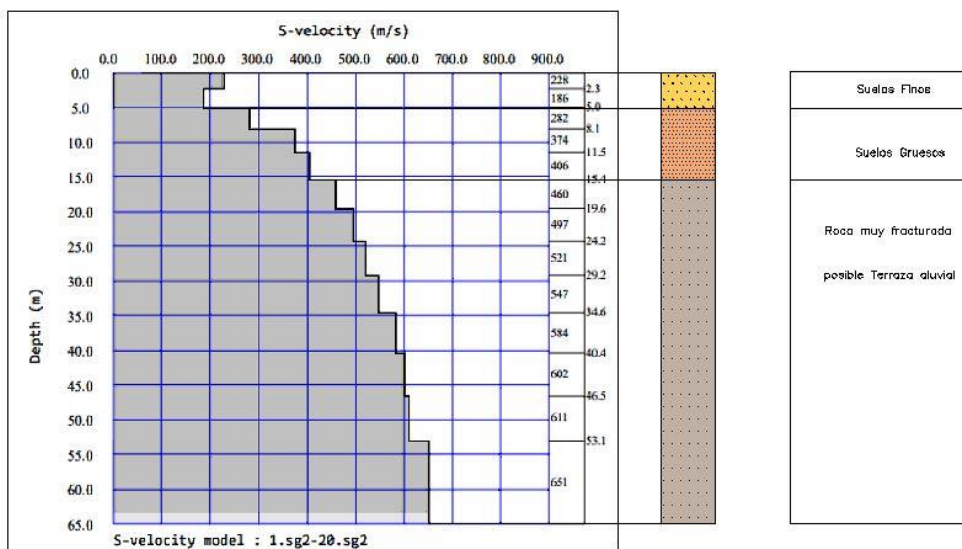


46 Fuente: El autor

Imagen 47.

Perfil estratigráfico ReMi línea 4.

Estratigrafía ReMi Línea 4.



47 Fuente: El autor

Capítulo IV: Resultados

Al aplicar los métodos de exploración directos (SPT) e indirectos (Sísmica de Refracción) que se han detallado en los capítulos anteriores así como también los ensayos de laboratorio (contenido de humedad, granulometría, límites de Atterberg, clasificación SUCS y ensayo de corte directo), siendo estos datos muy importantes para buscar correlacionar las características físicas, mecánicas y plásticas y los parámetros que se obtienen de cada estrato para poder saber si la geofísica son pruebas del todo confiable, respecto a las maneras tradicionales y convencionales que se obtiene esta información del suelo.

4.1 Determinar parámetros del suelo método directo (SPT)

Una vez se realizó el método de ensayo directo (SPT) y se obtuvo el N_{60} corregido con los factores correctos dependiendo del equipo usado, obtuvimos un N_{60} para cada sondeo: N_{60_1} , N_{60_2} , N_{60_3} , siendo este parámetro muy importante, así como los parámetros obtenidos con los ensayos de laboratorio y los parámetros mecánicos, directamente del ensayo de corte directo que son: el ángulo de fricción y cohesión que serán utilizados en la correlación, con los parámetros de la geofísica.

En la siguiente tabla 13 se indica tanto los parámetros físicos como mecánicos de la investigación.

Tabla 15.

Tabla general o global con los parámetros físicos y mecánicos del ensayo directo

Sondeo		1		2
Profundidad (m)		2,5	3,5	2,5
Estrato		1	2	1-2
Espesor (m)		0,5	0,5	1
Parámetros Físicos	Humedad (%)	21,67	21,75	22,48
	LL	68,04	56,54	43,31
	LP	42,72	18,73	32,04
	IP	25,32	37,82	11,28
	Grava (%)	1,00	0,00	6,00

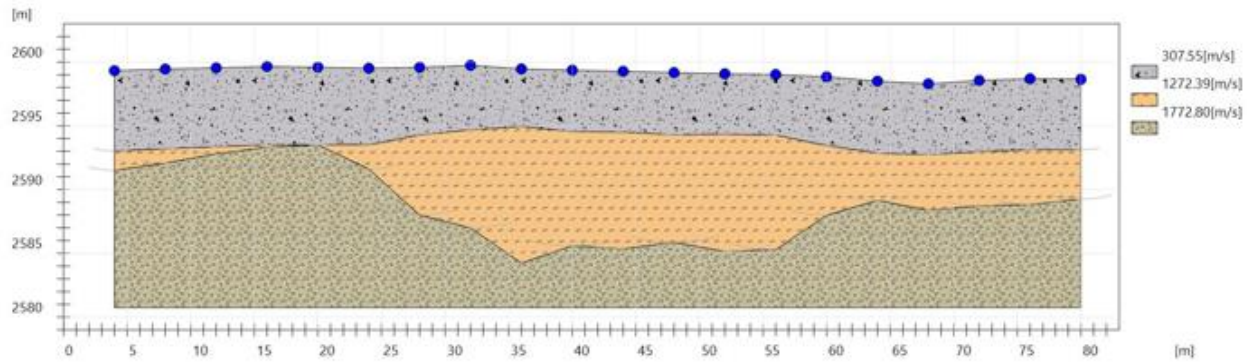
	Arena (%)	29,00	28,00	56,00
	Finos (%)	70,00	72,00	38,00
	SUCS	MH	CH	ML
Parámetros Mecánicos	Cohesion (kg/cm2)	1,26	0,61	0,64
	Angulo de Fricción (°)	35,1	18,03	32,85

Tabla 15 Fuente: El autor

4.2 Determinación de parámetros del suelo método indirecto.

Imagen 48.

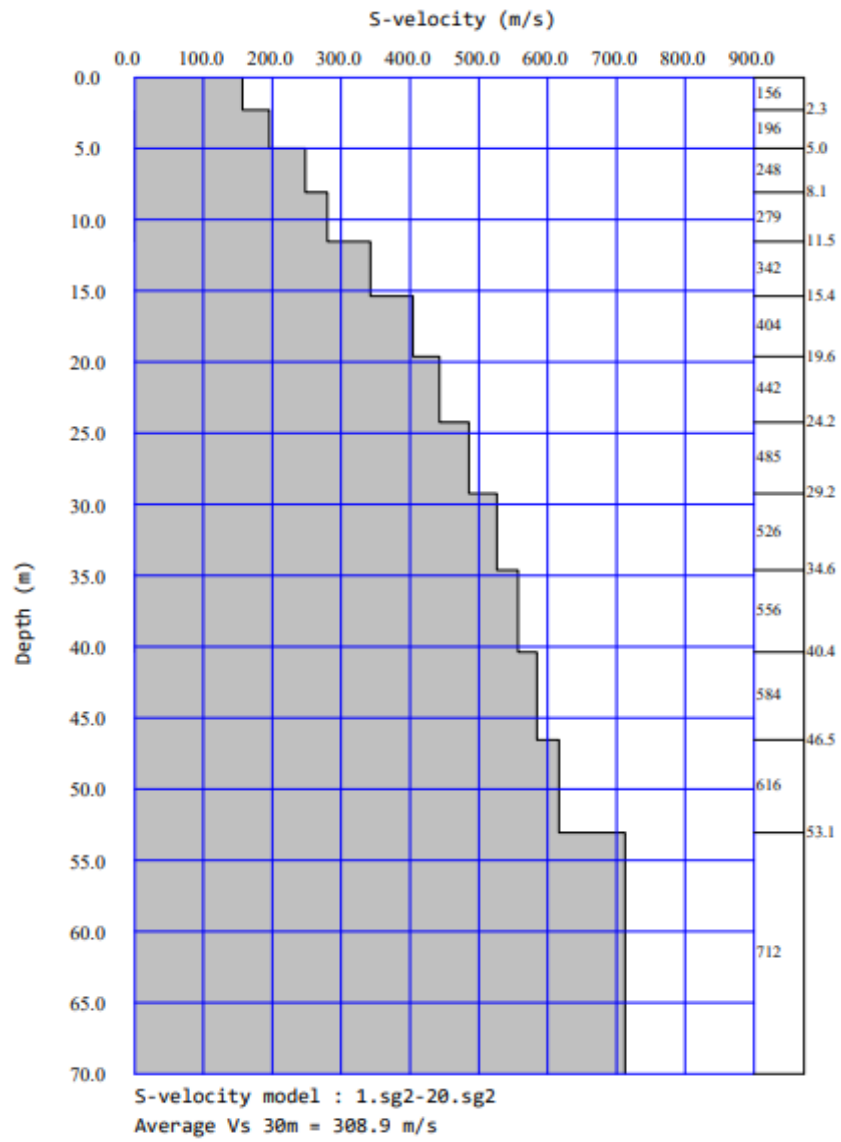
Sísmica de refracción línea 1. (LRS1) Vp m/s



48 Fuente: El autor

Imagen 49.

Resultados Ensayo Ondas Superficiales línea 1. (LS1)



49 Fuente: El autor

Tabla 16.

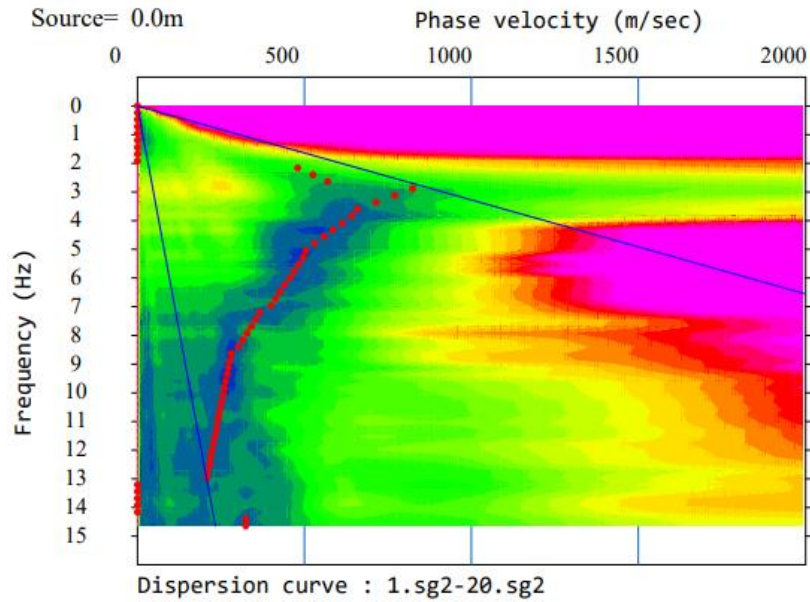
Tabla de Vs (m/s) línea 1.

Línea Sísmica 1.	
Profundidad (m)	Vs (m/s)
0 - 2,3	156
2,3 - 5,0	196
5,0 - 8,1	248
8,1 - 11,5	279
11,5 - 15,4	342
15,4 - 19,6	404
19,6 - 24,2	442
24,2 - 29,2	485
29,2 - 34,6	526
34,6 - 40,4	556
40,4 - 46,5	584
46,5 - 53,1	616
53,1 - 70,0	712

Tabla 16 Fuente: El autor

Imagen 50.

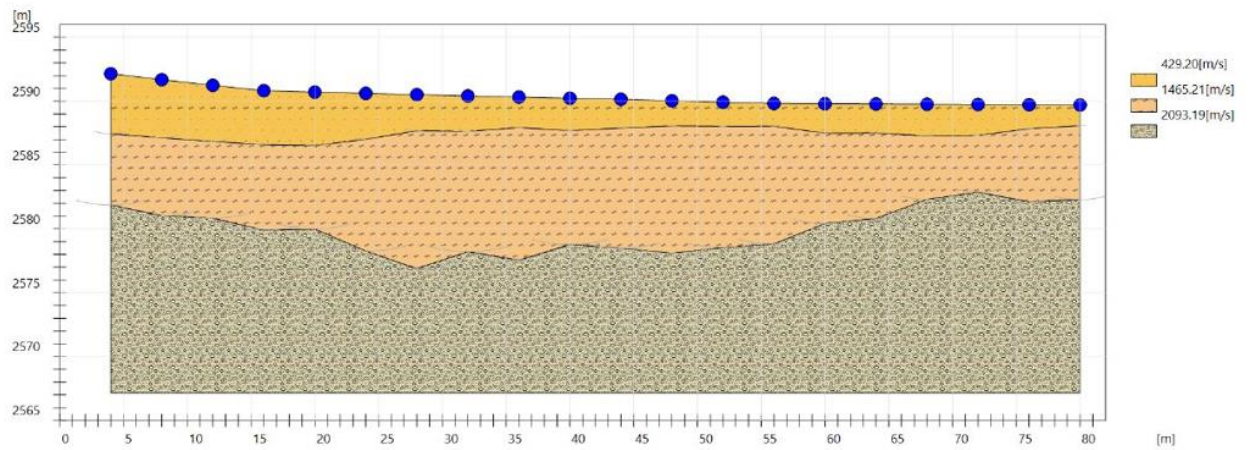
Curva de Dispersión datos de campo línea 1.



50 Fuente: El autor

Imagen 51.

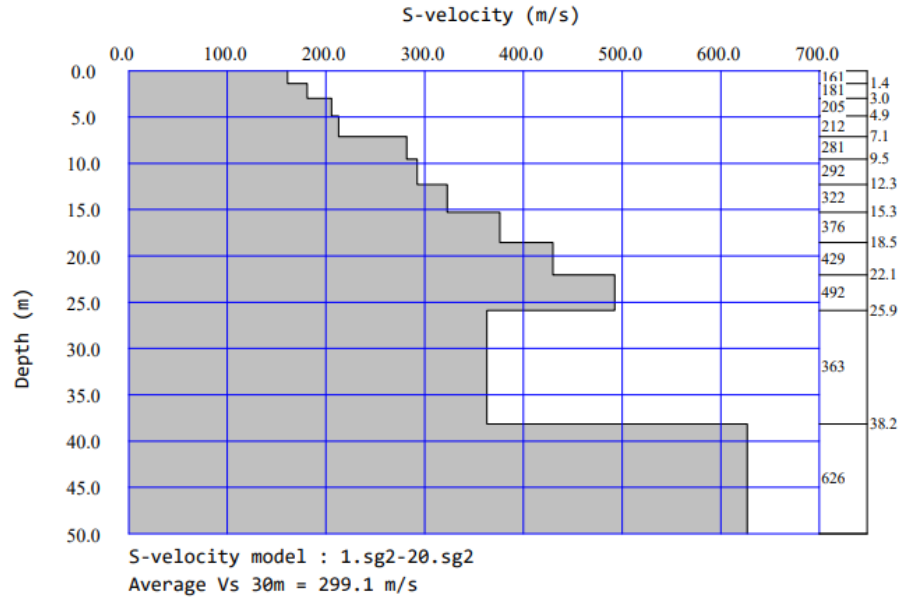
Sísmica de refracción línea 2 (LRS1) Vp m/s



51 Fuente: El autor

Imagen 52.

Resultados Ensayo Ondas Superficiales línea 2 (LS2)



52 Fuente: El autor

Tabla 17.

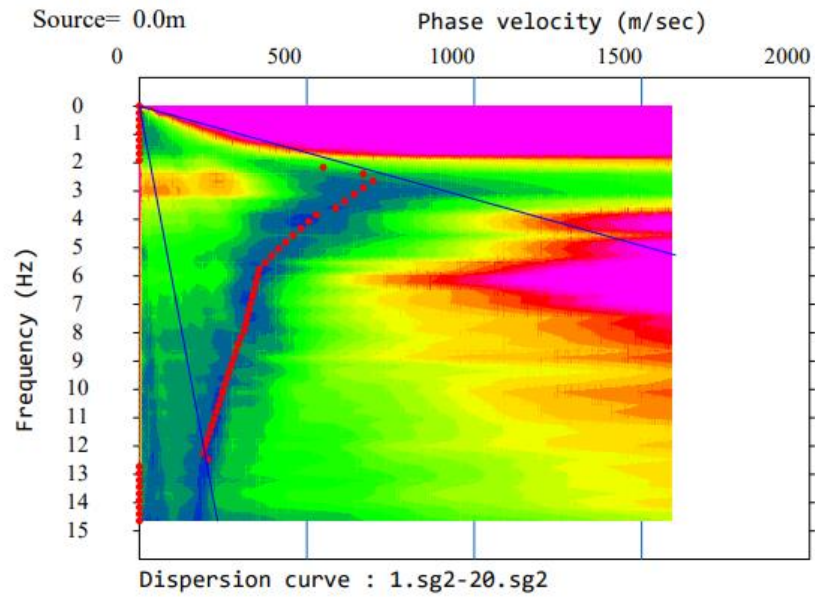
Tabla de Vs (m/s) línea 2.

Línea Sísmica 2.	
Profundidad (m)	Vs (m/s)
0 - 1,4	161
1,4 - 3	181
3 - 4,9	205
4,9 - 7,1	212
7,1 - 9,5	281
9,5 - 12,3	292
12,3 - 15,3	322
15,3 - 18,5	376
18,5 - 22,1	429
22,1 - 25,9	492
25,9 - 38,2	363
38,2 - 50	626

Tabla 17 Fuente: El autor

Imagen 53.

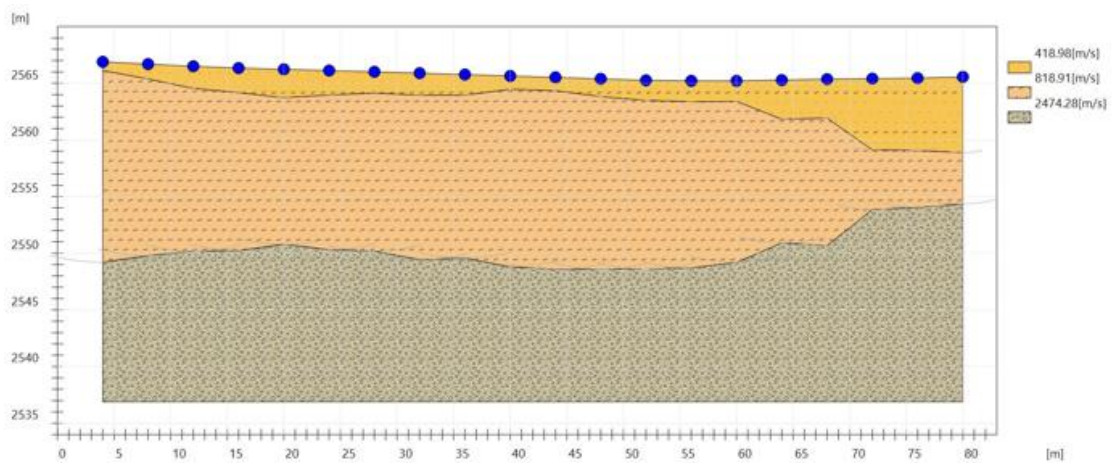
Curva de Dispersión datos de campo línea 2.



53 Fuente: El autor

Imagen 54.

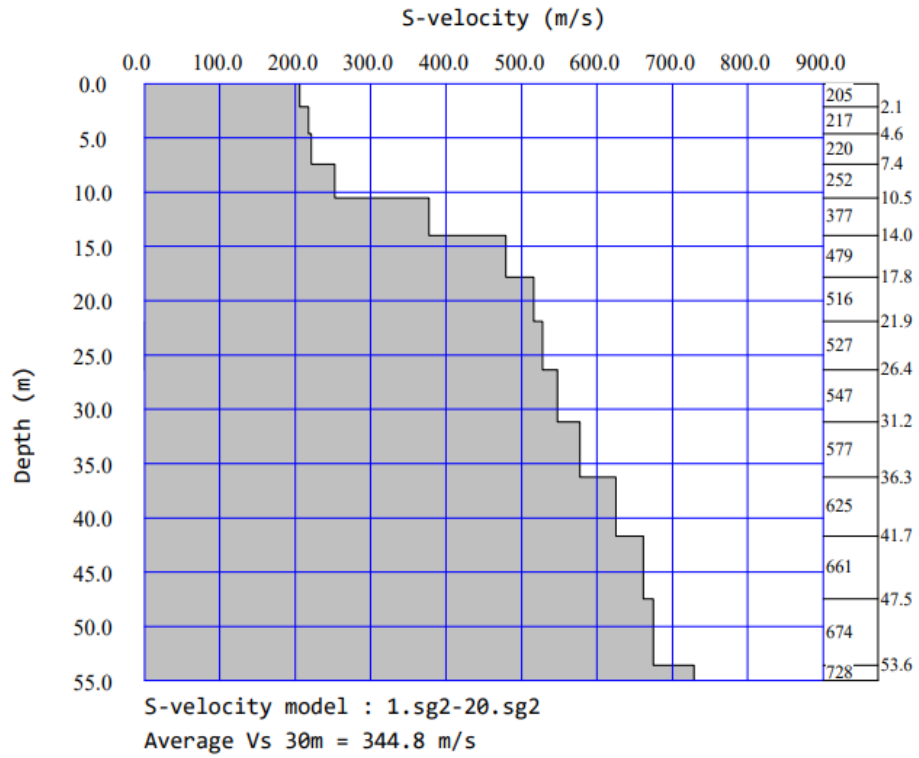
Sísmica de refracción línea 3 (LRS1) Vp m/s



54 Fuente: El autor

Imagen 55.

Resultados Ensayo Ondas Superficiales línea 3 (LS2)



55 Fuente: El autor

Tabla 18.

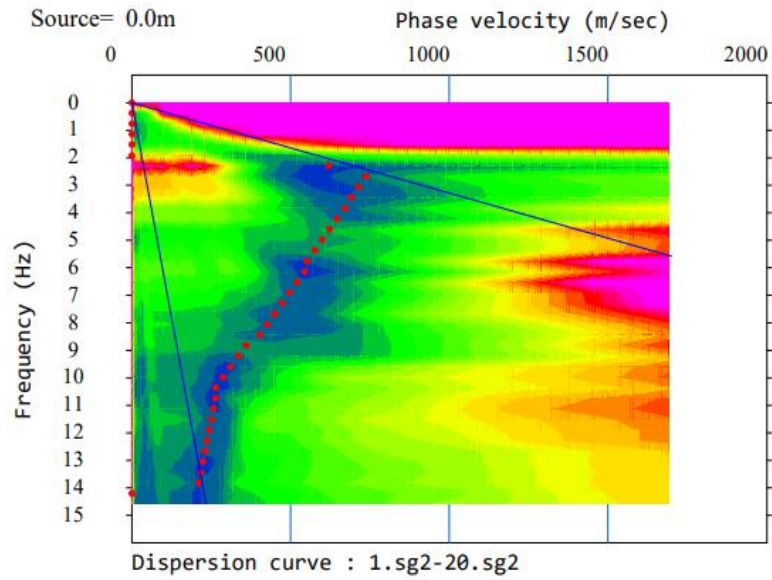
Tabla de Vs (m/s) línea 3.

Línea Sísmica 3.	
Profundidad (m)	Vs (m/s)
0 - 2,1	205
2,1 - 4,6	217
4,6 - 7,4	220
7,4 - 10,5	252
10,5 - 14,0	377
14,0 - 17,8	479
17,8 - 21,9	516
21,9 - 26,4	527
26,4 - 31,2	547
31,2 - 36,3	577
36,3 - 41,7	625
41,7 - 47,5	661
47,5 - 53,6	674
53,6 - 55,0	728

Tabla 18 Fuente: El autor

Imagen 56.

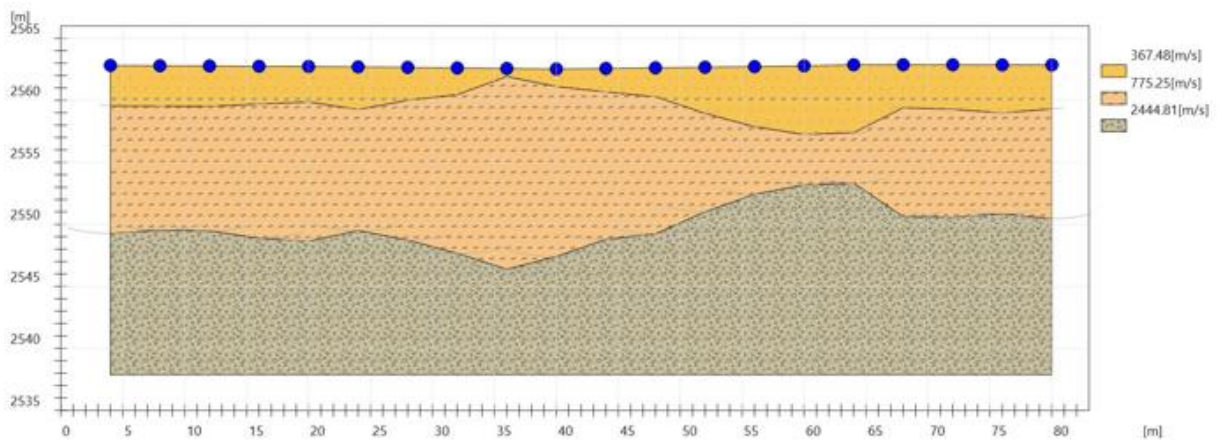
Curva de Dispersión datos de campo línea 3.



56 Fuente: El autor

Imagen 57.

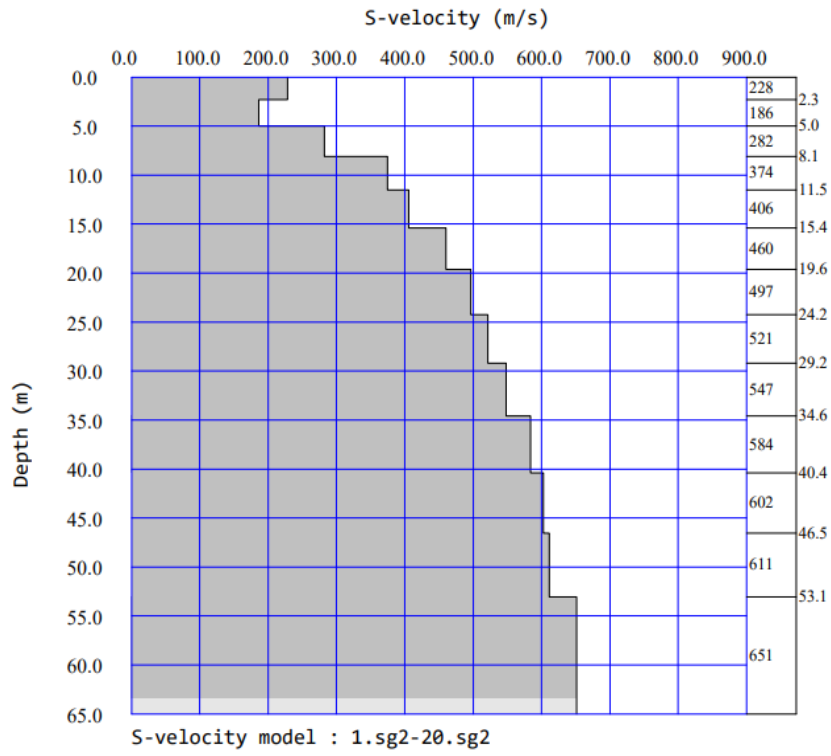
Sísmica de refracción línea 4 (LRS1) Vp m/s



57 Fuente: El autor

Imagen 58.

Resultados Ensayo Ondas Superficiales línea 4 (LS2)



58 Fuente: El autor

Tabla 19.

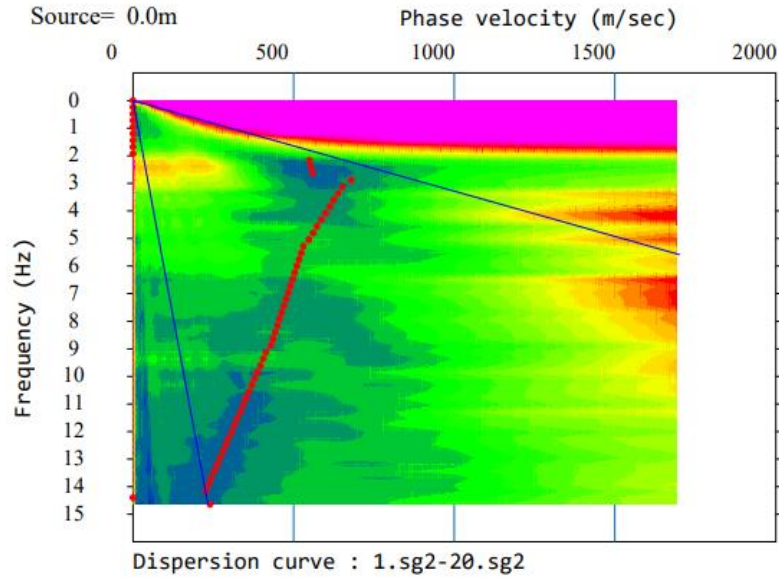
Tabla de Vs (m/s) línea 4.

Línea Sísmica 4.	
Profundidad (m)	Vs (m/s)
0 - 2,3	228
2,3 - 5,0	186
5,0 - 8,1	282
8,1 - 11,5	374
11,5 - 15,4	406
15,4 - 19,6	460
19,6 - 24,2	497
24,2 - 29,2	521
29,2 - 34,6	547
34,6 - 40,4	584
40,4 - 46,5	602
46,5 - 53,1	611
53,1 - 65,0	651

Tabla 19 Fuente: El autor

Imagen 59.

Curva de Dispersión datos de campo línea 4.



59 Fuente: El autor

Tabla 20.

Tabla general de Vs y Vp, en relación con la profundidad de los sondeos.

Tabla general de datos de la Geofísica								
Profundidad	Linea 1		Linea 2.		Linea 3		Linea 4,	
	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Vs (m/s)
1,00 - 1,5	307,55	156	429	161	418,98	205	367,48	228
2,00 - 2,5	1272,39	196	1465	181	818,91	217	775,25	186
3,00 - 3,5	1772,8	248	2093	205	2474,28	217	2444,81	186

Tabla 20 Fuente: El autor

4.3 Análisis de Datos y correlación de los resultados

Para el análisis de la correlación de datos se lo realizara con tres puntos, dentro de los cuales para el primero sondeo y línea de refracción sísmica la correlación será con los datos de la fuente secundaria (Tesis: “Determinación de parámetros geo mecánicos del subsuelo lado N/O, campus Miracielos Ricaurte, necesarios para el proyecto investigativo microzonificación sísmica y mapa de riesgos”, de Coronel Martínez y Ortiz Andrade) ya que en este presente estudio al ser un suelo rocoso no se pudo realizar el ensayo de SPT, pero de la tesis mencionada se tomaran los datos al tener un los parámetros de laboratorio mediante el ensayo directo de calicatas y también para que tenga mejor relación se realizó una toma de muestra superficial del sondeo 1. Bosque lo cual nos sirvió para la clasificación SUCS del lugar; mientras que para los sondeos siguientes se usaran los datos obtenidos en la presente investigación.

Una vez se tenga la correlación las variables que serán evaluadas de acuerdo a los ensayos directos e indirectos son: el N60 con V_p (), N60 con V_s (), N60 con la cohesión y N60 con el ángulo de fricción, para así obtener ecuaciones lineales que nos permitan hacer evaluaciones en terrenos con características similares al área de estudio y agilizar ciertos procesos de evaluación de un suelo, en este caso de acuerdo a la clasificación SUCS una arena una arcilla y un limo.

Con la revisión bibliográfica hecha para la relación de la geofísica aplicada en la geotecnia pudimos observar que estudios previos en diferentes países tienen ecuaciones de acuerdo a las características del área estudiada en cada uno de sus intereses, de acuerdo a ello se tomaron de los métodos ruso y mexicano fórmulas para evaluar suelos con las características como el de la investigación que se está llevando a cabo en el presente trabajo y así poder tener una verificación

Usando la NEC se clasifico el perfil estratigráfico de los puntos: con las tablas del ASTM D5777, tablas de clasificación de suelos CNA 1993 y la norma E0.30.

Imagen 60.

Clasificación de perfiles de suelo CNA, 1993 y ASTM D5777

CNA, 1993		ASTM-D5777	
Velocidad Vp [m/s]	Descripción	Velocidad Vp [m/s]	Descripción
170 – 450	Suelos arenosos	240 - 610	Suelo intemperizado
300 – 650	Suelos con finos	460 - 915	Grava o arena seca
500 – 900	Suelos gruesos	1830 - 1220	Arena saturada
800 – 1,400	Depósitos de Talud	910 - 2750	Arcilla saturada
1,450 – 1,550	Materiales saturados	1430 - 1665	Agua
1,400 – 2,000	Roca blanda	1460 - 1525	Agua de mar
1,800 – 2,500	Roca muy fracturada	1830 - 3960	Arenisca
2,000 – 3,000	Roca fracturada	2750 - 4270	Esquisto, arcilla esquistosa
3,000 – 5,000	Roca intacta	1830 - 3960	Tiza
4,500 – 6,500	Granito sano	2134 - 6100	Caliza
6,000 – 7,500	Rocas Metamórficas	4575 - 5800	Granito
5,500 – 8,000	Caliza intacta	3050 - 7000	Roca metamórfica

60 Fuente: (De et al., 2020)

Imagen 61.

Clasificación de perfiles de suelo norma E.030.

Clasificación de los perfiles de Suelo				
Nº	Vs		Norma E.030	Descripción
1	< 180 m/s	S ₃	Suelo blando	Suelo blando
2	180 m/s a 350 m/s	S ₂	Suelo medianamente rígido	Suelo moderadamente rígido
3	350 m/s a 500 m/s			Suelo rígido
4	500 m/s a 800 m/s	S ₁	Roca o suelo muy rígido	Suelo muy rígido o roca blanda
5	800 m/s a 1500 m/s			Roca moderadamente dura
6	> 1500 m/s	S ₀	Roca dura	Roca dura

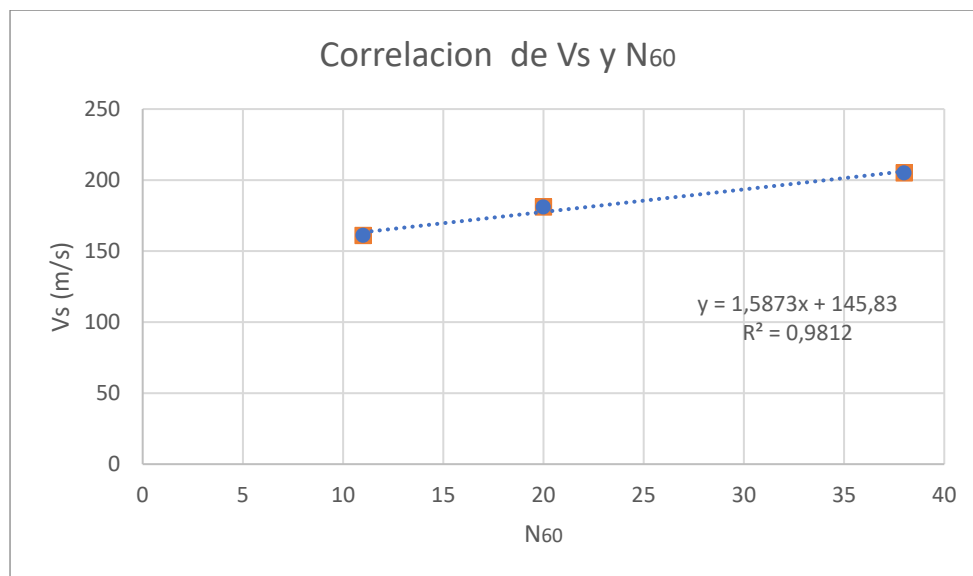
Ilustración 61 Fuente:(De et al., 2020)

En las siguientes imágenes 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70 y 71 se indican las relaciones entre si, de manera que se mantenga un criterio de proximidad, es decir que serán evaluados

criterios de resistencia con los de SPT, en este caso este criterio sería bajo el ensayo de corte directo y criterios de relación mecánica, que para el tipo de suelo que se tiene en el lugar, en el caso de las arenas los valores de N_{60} se relacionan con el ángulo de fricción, tomando en cuenta también como se mencionó antes la bibliografía del método ruso. que se realizaron en función de SPT N_{60} , con las velocidades de onda V_s y V_p de la geofísica, así como también con los parámetros obtenidos en el ensayo de laboratorio (cohesión, ángulo de fricción y peso específico).

Imagen 62.

V_s en función de N_{60} de la línea 2.

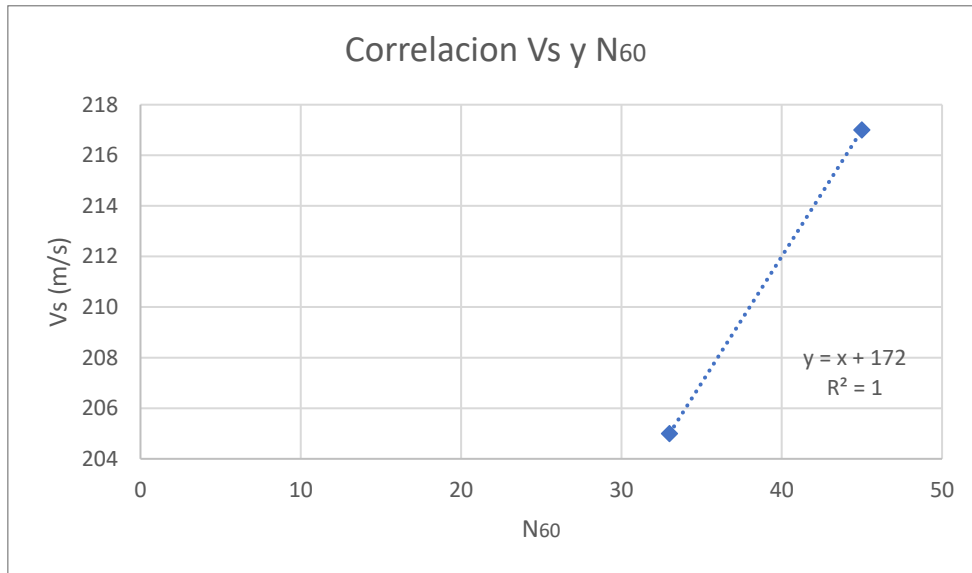


62 Fuente: El autor

Nota. En esta imagen obtenemos la correlación de las dos variables (V_s y N_{60}), indicando que al usar la ecuación de la correlación va a tener una exactitud del 98% acertado es decir que según el análisis realizado es confiable sustituir el ensayo indirecto por el directo.

Imagen 63.

Vs en función de N60 de la línea 3.

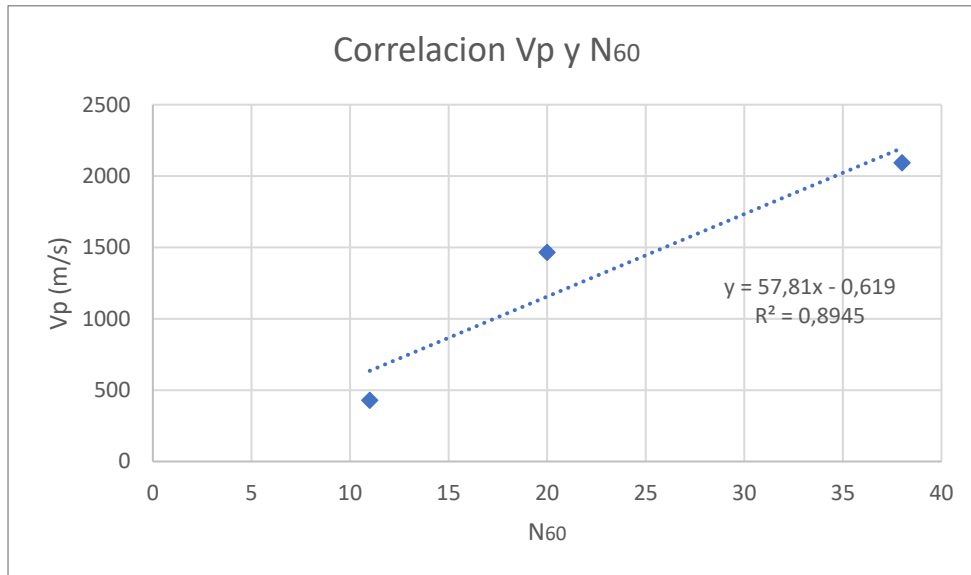


63 Fuente: El autor

Nota. En la correlación de las mismas variables Vs en función de N60 para la línea 3, la ecuación que nos arroja con el valor de ajuste indica que el resultado usando la ecuación será 100% es decir se podrá realizar confiablemente el ensayo indirecto ya que los resultados serán los mismos que al realizar el ensayo SPT, cabe recalcar que esta ecuación será netamente para el área de estudio o suelos que cumpla con las características similares y profundidad similar ya que las variables para la correlación en este punto fueron limitadas por la profundidad alcanzada.

Imagen 64.

Vp en función de N60 de la línea 2.

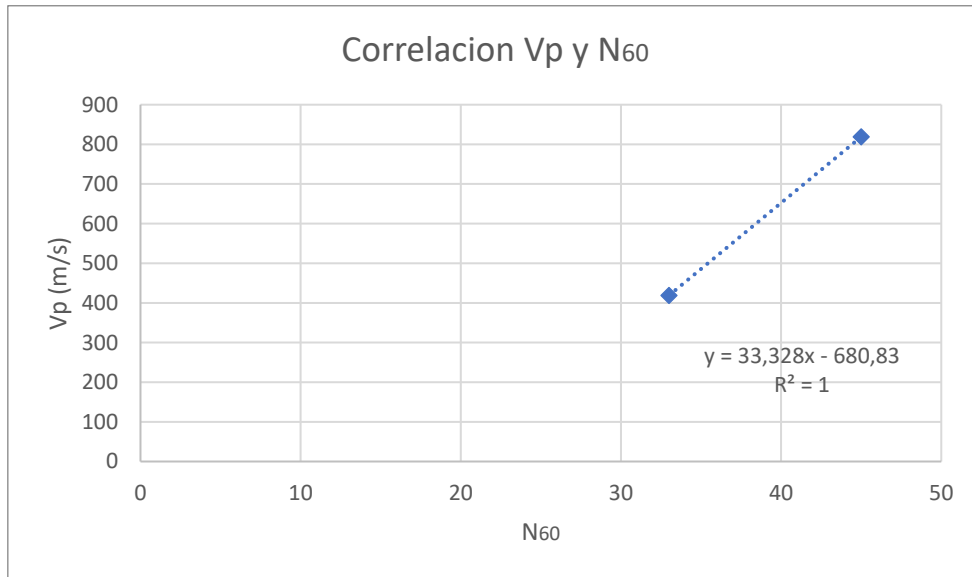


64 Fuente: El autor

Nota. Esta imagen indica la ecuación encontrada de acuerdo a la correlación de la variable Vp en función de N60, siendo un resultado con un porcentaje de confiabilidad al usar la ecuación del 89.45% , indicando de tal manera que el resultado obtenido al aplicar esta ecuación no nos da un resultado favorable en el análisis y será mejor realizar el ensayo directo.

Imagen 65.

Vp en función de N60 de la línea 3.

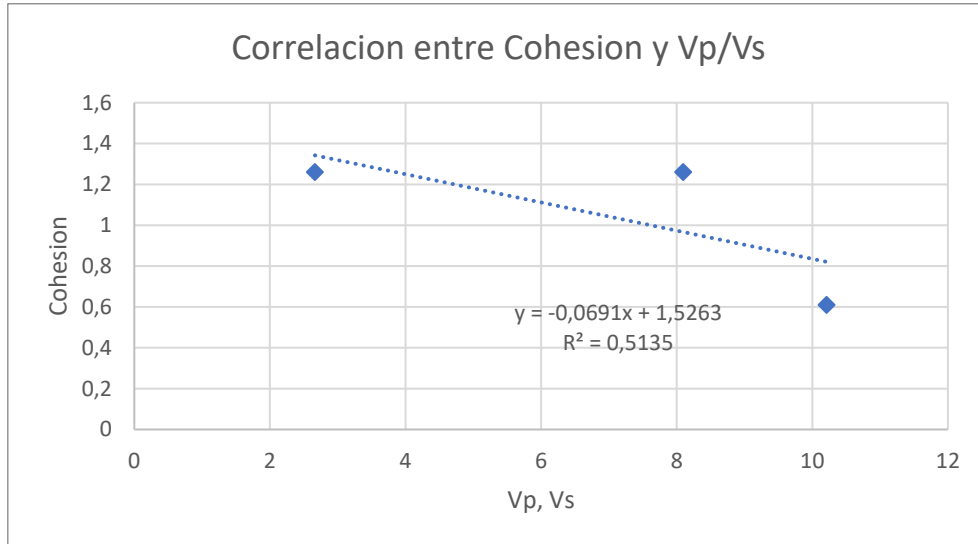


65 Fuente: El autor

Nota. Esta imagen indica la ecuación que se obtuvo de la relación de las variables del ensayo directo y ensayo indirecto, teniendo como resultado un 100% de correlación, que permite usar la misma para sustituir el ensayo directo por un ensayo indirecto de acuerdo a este análisis, sin embargo como se indicó anteriormente en la relación de Vs y N60 esta ecuación será usada solo en caso de que el suelo analizado cumpla con las características y profundidad de extracción como este estudio.

Imagen 66.

Cohesión en función de Vp/Vs de la línea 2.

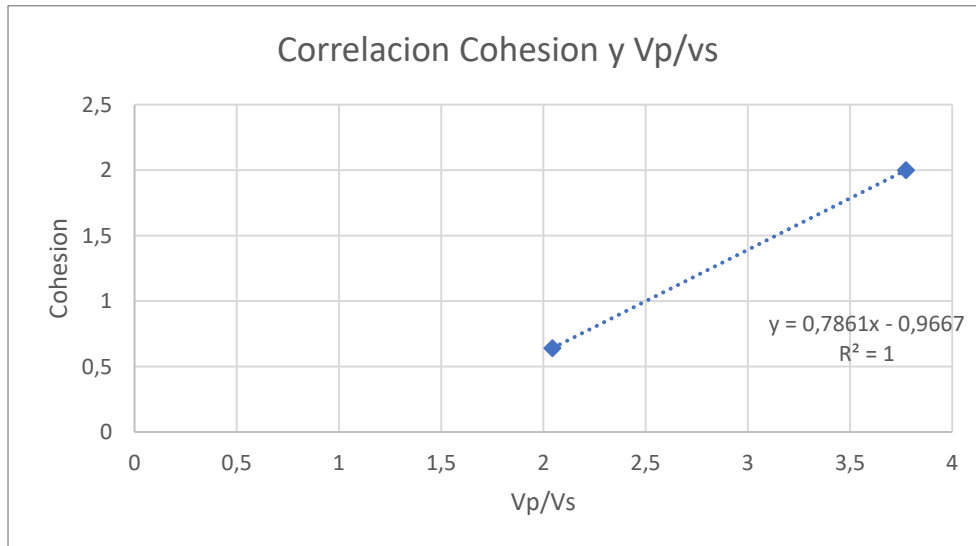


66 Fuente: El autor

Nota. Esta relación se la establece partiendo del criterio donde los suelos granulares son los que la cohesión tiende a cero o es nula, por lo que de acuerdo a la clasificación en este punto se encontró con aproximadamente del 75% de finos, y de acuerdo a la relación de las variables (Cohesión y Vp/Vs) se obtiene una ecuación donde nos dice que al ser usada el resultado que nos será confiable en un 51.35% lo que indica que es mejor realizar los dos ensayos en el sitio para así encontrar el valor exacto de la cohesión del suelo que se encuentra en el lugar.

Imagen 67.

Cohesión en función de Vp/Vs de la línea 3.

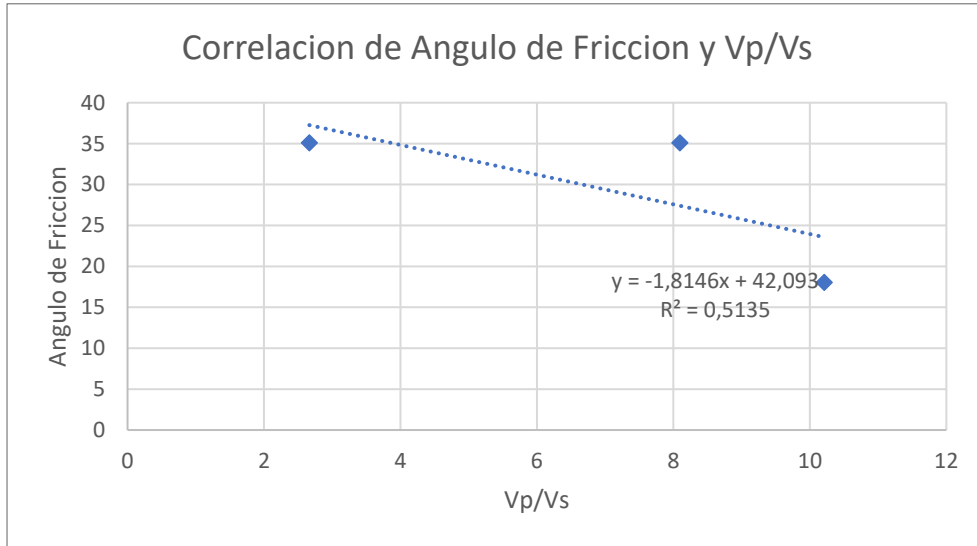


67 Fuente: El autor

Nota. La relación que se establece en la línea 3, en las variables de Cohesión en función de Vp/Vs para este caso nos dice que los valores con la ecuación encontrada serán de total confiabilidad es decir se va poder usar para obtener este parámetro sin necesidad de realizar un ensayo directo y ensayos de laboratorio.

Imagen 68.

Angulo de Friccion en función de Vp/Vs de la línea 2.

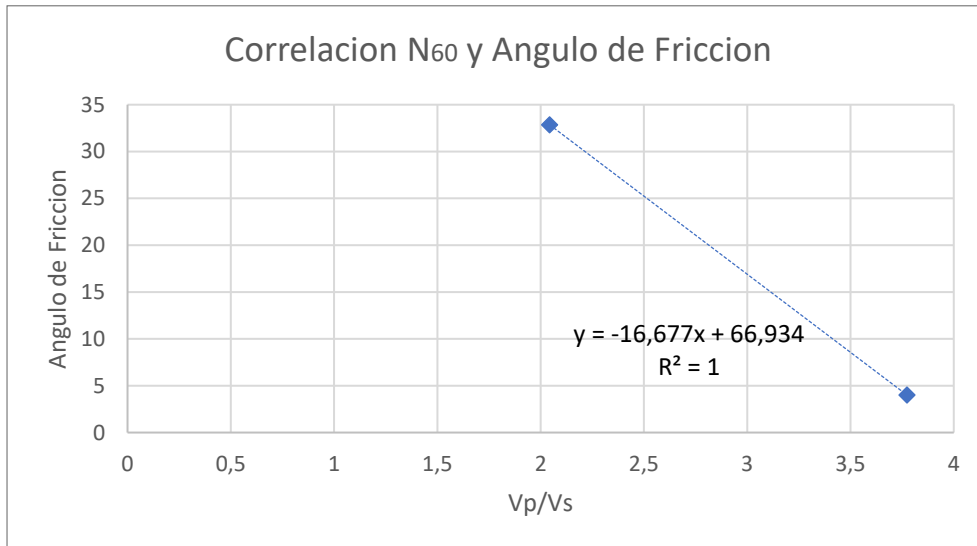


68 Fuente: El autor

Nota. La relación entre el ángulo de fricción en función de Vp/Vs se la realiza en base a que este parámetro nos indica la resistencia al corte del tipo de suelo que se esta evaluando entonces es un parámetro muy importante en el análisis del sitio, para ello en la relación de las variables mencionadas se obtuvo que la ecuación encontrada nos arrojará valores de resultados con un error de 48.65% considerado un valor alto, por lo que no se considera optima para encontrar el parámetro sustituyendo las variables geofísicas (Vp y Vs).

Imagen 69.

Angulo de Friccion en función de Vp/Vs de la línea 3.



69 Fuente: El autor

Nota. En la línea tres la relación establecida entre la variables indicadas, por falta de datos en el análisis, obtenemos una ecuación con la cual indica que al realizar un ensayo geofísica y con las variables Vs y Vp se podrá obtener el valor real del ángulo de fricción en este, siendo innecesario el ensayo directo.

Luego de realizar la correlación de las variables evaluadas bajo una revisión bibliográfica que se la tomo como guía, se obtuvieron las siguientes ecuaciones en la imagen 72.

Imagen 72.

Ecuaciones obtenidas de la correlacion.

ECUACIONES OBTENIDAS DE LA CORRELACION		
Vs en funcion de N ₆₀		Factor de Ajuste
1.1	$V_s = 1,5873 * N_{60} + 145,83$	0,9812
1.2	$V_s = N_{60} + 172$	1
Vp en funcion de N ₆₀		
2.1	$V_p = 57,81 * N_{60} - 0,619$	0,8945
2.2	$V_p = 33,328 * N_{60} - 680,83$	1
Cohesion en funcion de Vp y Vs		
4.1	$C = 1,5263 - 0,0691 * V_p / V_s$	0,5135
4.2	$C = 0,7861 * V_p / V_s - 0,9667$	1
Angulo de Friccion en funcion de N ₆₀		
5.1	$\phi = 42,093 - 1.8146 * V_p / V_s$	0,5135
5.2	$\phi = 66,934 - 16,677146 * V_p / V_s$	1

70 Fuente: El autor

Una vez encontradas las ecuaciones con la correlación de las variables del método directo e indirecto, se procede a obtener los valores para estos ser comparados con los valores de los parámetros obtenidos en el laboratorio y también compararlos con ecuaciones obtenidas de revisiones bibliográficas y métodos antes mencionados de acuerdo a los suelos con características similares; y conocer el porcentaje de diferencia entre los resultados que se tenga de cada una.

Imagen 73.

Comparación de la humedad de la línea 1.

Humedad Línea 1.		
Valores calculados	Valores obtenidos en Laboratorio	Valores de la fuente secundaria
Ecuación referencia		
Metodo Turco		
$w = 0.0105Vp + 4.65$		
7,88	13,08	21,66
18,01	13,08	21,66
Promedio de H	12,94	

71 Fuente: El autor

Imagen 74.

Comparación de resultados de la cohesión en función de Vs y Vp.

Cohesion				
Valores calculados				Valores obtenidos en Laboratorio
Ecuación encontrada	(% Diferencia)	Ecuación referencia	(% Diferencia)	
$C = 1,5263 - 0,0691 * Vp / Vs$				Metodo Turco
$C = 0,7861 * Vp / Vs - 0,9667$		$C = 0,908 - 0,168 \frac{Vp}{Vs}$		
1,46	15,68	-0,42	133,31	1,26
1,57	24,43	-0,74	158,53	1,26
1,37	125,11	-0,81	232,33	0,61
0,64	0,0	0,56	11,77	0,64
2,00	0,0	0,27	86,30	2
% DIFERENCIA PROM	33,05		124,45	

72 Fuente: El autor

Imagen 75.

Comparación de resultados del ángulo de fricción en función de Vs y Vp.

Angulo de Friccion				
Valores calculados				Valores obtenidos en Laboratorio
Ecuacion encontrada	(% Diferencia)	Ecuacion referencia	(% Diferencia)	
$\varphi = 42,093 - 1,8146 \cdot Vp/Vs$				Metodo Turco
$\varphi = 66,934 - 16,677146 \cdot Vp/Vs$		$\varphi = 46,4 - 9,65 \cdot Vp/Vs$		
37,26	6,15	-29,86	-185,08	35,1
37,26	6,15	-48,12	-237,08	35,1
23,57	30,71	-52,12	-389,10	18,03
32,85	0,00	26,68	-18,79	32,85
4,00	0,05	9,98	149,58	4
% DIFERENCIA PROM	8,61		-136,10	

73 Fuente: El autor

Imagen 76.

Comparación de resultados de Vp en función de N60.

Vp				
Valores calculados				Valores de Vp
Ecuacion encontrada	(% Diferencia)	Ecuacion referencia	(% Diferencia)	
$Vp = 57,81 \cdot N60 - 0,619$				Metodo Turco
$Vp = 33,328 \cdot N60 - 680,83$		$Vp = 7,6 + N60 / 0,0284$		
635	48,09	29	159,42	429
1156	-72,25	43	113,74	4165
2196	4,93	52	36,42	2093
419	0,00	4	-86,97	419
819	0,00	16	-65,21	819
% DIFERENCIA PROM	-3,85		31,48	

74 Fuente: El autor

Imagen 77.

Comparación de resultados de Vs en función de N60.

Vs				
Valores calculados				Valores de vs
Ecuacion encontrada	(% Diferencia)	Ecuacion referencia	(% Diferencia)	
$V_s = 1,5873 * N_{60} + 145,83$ $V_s = N_{60} + 172$		Metodo Japonés $V_s = 80 * N^{1/2}$ Arcillas $V_s = 100 * N^{1/2}$ Arenas $V_s = 85,34 * N^{0,348}$ Todo tipo de Sue.		
163,29	1,42	293,33	82,19	161
177,58	-1,89	533,33	194,66	181
206,15	0,56	1013,33	394,31	205
198,21	-3,31	1100,00	436,59	205
217,26	0,12	1500,00	591,24	217
163,29	1,42	196,59	22,10	161
177,58	-1,89	242,05	33,73	181
206,15	0,56	302,63	47,63	205
198,21	-3,31	288,13	40,55	205
217,26	0,12	320,97	47,91	217
% DIFERENCIA PROM	-0,62		189,09	

75 Fuente: El autor

Como notamos en cada una de las tablas anteriores, notamos que el porcentaje promedio de diferencia para cada variable se ajusta más con las ecuaciones que fueron resultado de la correlación con los parámetros obtenidos en el área de estudio por lo que al usarse otras ecuaciones, que aunque nos presente suelos con características similares nos da un porcentaje de diferencia muy alto, lo cual no nos brinda confiabilidad para reemplazar estas ecuaciones en sitios que no sean similares en la mayoría de las características.

Imagen 78.

Comparación de tipo de suelo de acuerdo a la clasificación SUCS, Vp y fuentes en las imágenes 56, 57.

Linea 1		
Vp (m/s)	Tipo de suelo de acuerdo a:	
307,55	SUCS: Arena SM	CNA 1993: suelos con finos
1272,39	Tesis Coronel Martinez. Tenemos un arcilla de media plasticidad	
1772,8	CNA, 1993 Suelo muy rigido o roca blanda y correlacionado con geologia local se considera terraza aluvial	

Linea 2		
Vp (m/s)	Tipo de suelo de acuerdo a:	
429	SUCS: Limo MH	CNA 1993: suelos con finos
1465	SUCS: Arcilla CH	CNA 1993: materiales saturados
2093	CNA, 1993: roca muy fracturada y correlacionado con geologia local se considera terraza aluvial	

Linea 3		
Vp (m/s)	Tipo de suelo de acuerdo a:	
418,98	SUCS: Arena SM	CNA 1993: suelos con finos
818,91	CNA, 1993: Suelos gruesos	
2474,28	CNA, 1993: roca muy fracturada y correlacionado con geologia local se considera terraza aluvial	

Linea 4	
Vp (m/s)	Tipo de suelo de acuerdo a:
367,48	CNA 1993: suelos con finos
775,25	CNA 1993: suelos gruesos
2444,81	CNA, 1993: roca muy fracturada y correlacionado con geologia local se considera terraza aluvial

76 Fuente: El autor

Con la imagen 78 de la clasificación del suelo podemos notar que los datos que se obtienen mediante la geofísica y los ensayos de laboratorio para la clasificación SUCS, brindan una información que verifica que el estrato coincide al comparar los dos métodos (directos e indirectos); teniendo en cuenta que en este estudio no se pudo llegar a una profundidad superior a los 3.5m con el método directo, pero con el método indirecto mediante las ondas podemos tener un perfil con mayor profundidad, lo que permite verificar la geología de la zona de estudio que son terrazas aluviales.

Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

Se determinaron las ondas de corte y compresión del área, las cuales se correlacionaron con los datos del ensayo de penetración estándar (SPT) realizado en el lugar. Luego, se verificaron los valores de los resultados con los valores de los parámetros del laboratorio mediante las ecuaciones obtenidas. Los parámetros físicos obtenidos del ensayo directo de SPT permitieron conocer el tipo de suelo y correlacionar con la geofísica. Por otro lado, los parámetros mecánicos se obtuvieron del análisis en el laboratorio de las muestras extraídas en los sondeos de los ensayos SPT, siendo estos valores los que se compararon con los resultados de la correlación.

Con la obtención de las características del suelo, se pudieron realizar los perfiles estratigráficos de acuerdo al tipo de suelo que se encuentra a diferentes profundidades de estudio. Luego de evaluar la correlación de los parámetros establecidos mediante las variables del ensayo directo e indirecto, se notó que el porcentaje de diferencia entre los valores de los resultados de las ecuaciones encontradas fue menor que los valores obtenidos con las ecuaciones obtenidas por la revisión bibliográfica. Por lo tanto, se concluye que el uso de las ecuaciones encontradas proporciona datos más consistentes que las ecuaciones que se usaron como comparativas de métodos antes estudiados.

En cuanto al tiempo en que se ejecuta cada ensayo pudimos notar claramente que los resultados del ensayo indirecto de refracción sísmica nos dan resultados en menor tiempo, a diferencia de todos los ensayos que se deben llevar a cabo en el laboratorio para conocer el tipo de suelo que se está estudiando, siendo posible tener el perfil estratigráfico de la zona con los resultados de las ondas V_s y V_p .

Podemos también verificar que bajo los valores de V_p que nos da la geofísica tienen verificación las clasificaciones SUCS, ya que por medio de la NEC se pudo clasificar el suelo, al tener ciertas tablas con valores standard que nos ayudan en este proceso.

5.2 Recomendaciones

Un tema muy importante es considerar mucho el clima para poder realizar los ensayos y las tomas de las muestras, garantizando de esta manera que las condiciones del suelo no se vean alteradas y/o afectadas para el estudio ya que esto nos va causar resultados erróneos.

Es muy importante que se realicen ensayos directos, ya que así se garantiza mayor confiabilidad en los resultados que se van a obtener de los parámetros del suelo que se encuentre en el lugar, siendo muy importante al encontrarse con ciertas limitaciones en los ensayos geofísicos como por ejemplo costos.

Se recomienda también el realizar calicatas para tener un mayor estudio a profundidad de la zona ya que en este caso por el ensayo realizado (SPT) no se pudo llegar a una profundidad mayor a 3.5m. y también existió limitación al obtener una cantidad de la muestra del suelo, por lo que se considera usar estos datos de correlaciones, para estudios no mayores a esta profundidad es decir superficiales.

Las correlaciones obtenidas son recomendadas en las siguientes áreas:

En el diseño de cimentaciones superficiales y cálculo de la capacidad de carga de los suelos se recomienda el uso de la correlación entre la cohesión en función de las velocidades de onda.

La correlación entre el ángulo de fricción en función de las velocidades de onda son recomendables aplicarse en el cálculo de empujes y diseño de muros y cálculo de estabilidad de taludes.

La correlación entre velocidades de onda Vs en función del número de golpes del SPT se las puede aplicar en el cálculo de capacidad de carga de los suelos y diseño de cimentaciones superficiales y en la estimación de perfiles de los suelos.

BIBLIOGRAFIA

- Alexandra, E., & Cabrera, R. (2017). *Correlacion entre resistencia a cortante no drenada y resultados de un analisis multicanal de ondas superficiales para un suelo limo arcilloso semi-saturado de Cariamanga-Loja*. Universidad de Cuenca.
- Análisis, E. (n.d.). *ANÁLISIS MULTICANAL DE ONDAS SUPERFICIALES (MASW) I. RESUMEN*.
- Andrés, C., & Erráez, U. (2021). *UNIVERSIDAD DEL AZUAY FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA ESCUELA DE INGENIERÍA EN MINAS “Caracterización del material rocoso mediante granulometría e índice de carga puntual” Autor*.
- Andrés Corredor, F., & Johana Moreno Fonseca, Y. (2011). *Obtención del contenido de humedad en suelos finos, usando horno microondas sin reductor de calor empleando una potencia de 400w*. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil
- Asmae Mouhsine. (2020). *Puesta a punto del equipo de compresión simple e interpretación de ensayos acorde a la normativa vigente*. Universidad de Cartagena.
- Coronel Martinez Diego Ismael, O. A. W. A. (2020). *Determinacion de parametros geomecanicos del subsuelo lado N/O, campus Miracielos Ricaurte, necesarios para el proyecto investigativo “Microzonificacion sismica y mapa de riesgos.”*
- Cristina, A., & González, G. (2002). *Metodología con redes neuronales para la clasificación de suelos por medio de sondeos de CPT TABLA DE CONTENIDO*.

- De, P., Nieto, M., & Moquegua, R. (2020). *Evaluación geofísica de la piscina semi-olímpica de la Universidad Nacional de Moquegua EVALUACIÓN GEOFÍSICA DE LA PISCINA SEMI-OLÍMPICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA.*
- Dr. Lorenzo Borselli. (2022). Geotecnia I. *Instituto de Geología*, 2, 1–78.
- Galarza Armijos Daniela Fernanda, R. P. J. L. (2021). “*Determinacion de ondas longitudinales (Vp) y de corte (Vs) en estratos superficiales, correlacion de resultados entre metodos directos e indirectos.*”
- Ing. Eugenio Nuñez del Arco Ms. (2003). *Geología del Ecuador.*
- Ing. Hurtado Alva Jorge E. (n.d.). *Diseño de Cimentaciones.*
- Naranjo Aguay Hector, D. T. (2012). calculo de capacidad portante basado en geofisica y metodo convencional. *Universidad Politecnica Salesiana*, 1–201.
- Paez Molineros Juan Andres. (2019). *ANÁLISIS DE TERRAZAS FLUVIALES EN EL RÍO GUAYLLABAMBA, SECTOR PERUCHO, PROVINCIA DE PICHINCHANACIONAL.* Escuela Politecnica Nacional.
- Parra Gualán, A. (2016). “*GEOREFERENCIACIÓN, ANÁLISIS Y FUNCIÓN DEL PATRIMONIO TOPONIMICO DEL CANTÓN CUENCA: PARROQUIA RURAL DE RICAURTE.*”
- Pazmiño Agulema Luis Enrique. (2017). “*VELOCIDADES DE ONDA VS Y VP Y SU RELACIÓN CON LOS VALORES DE ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA, COHESIÓN Y NSPT PARA LOS SUELOS DE SANGOLQUÍ.*”
- Perez Ricardo. (2 C.E.). Lineamientos Técnicos para Factibilidades, SIAPA CRITERIOS Y LINEAMIENTOS TÉCNICOS PARA FACTIBILIDADES. *CRITERIOS Y LINEAMIENTOS TÉCNICOS PARA FACTIBILIDADES. Alcantarillado Sanitario*, 1–38.
- Ramírez, G., & Ángel, T. (2017). *UNIVERSIDAD EAFIT TRABAJO DIRIGIDO DE GRADO CORRELACIONES ENTRE ALGUNAS VARIABLES GEOTÉCNICAS Y VELOCIDADES DE ONDA COMPRESIVA (Vp) Y DE CORTE (Vs) PRESENTADO POR: DANIELA GÓMEZ RAMÍREZ Y DANIELA TOBÓN ÁNGEL UNIVERSIDAD EAFIT GEOLOGÍA MEDELLIN, COLOMBIA 2017.*

Silvia Angelone Mg Ing María Teresa Garibay, D. (n.d.). *GEOLOGIA Y GEOTECNIA 2020 PROPIEDADES INDICE PLASTICIDAD.*

Ugalde Luis. (2006). *Implementacion de la tecnica de etapas multiples en el ensayo de corte directo.* Universidad de Costa Rica.

Valentina, L., Bello, B., Antonio, J., & Marrugo, M. (2021). *UNIVERSIDAD DE CARTAGENA FACULTAD DE INGENIERIA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL.* Universidad de Cartagena.

Vargas, C. A., Vargas, L. A., & Coto, M. T. (2009). Análisis espectral de ondas superficiales: Aplicación efectiva para la caracterización geológica de ocho sitios distintos de cimentación en costa rica. *Revista Geologica de America Central*, 1–19.

Villalobos Felipe, P. M. (2016). Resultados preliminares de ensayos dilatométricos en suelos limosos de Talcahuano y arenosos de Concón. *Sociedad Chilena de Geotecnia*, 1–11.

ANEXOS


Índice de Anexos

Sondeo punto 1.....	94
ANEXO: 1 Contenido de humedad.	94
ANEXO: 2 Granulometría Sondeo 1. Profundidad (2.00-2.45).	95
ANEXO: 3 Granulometría Sondeo 1. Profundidad (3.00-3.45).	96
ANEXO: 4 Límites de Atterber Sondeo 1. Profundidad (2.00-2.45).	97
ANEXO: 5 Límites de Atterber Sondeo 1. Profundidad (3.00-3.45).	98
ANEXO: 6 Clasificación SUCS del sondeo 1. Profundidad (2.00-2.45)	99
ANEXO: 7 Clasificación SUCS del sondeo 1. Profundidad (3.00-3.45)	100
ANEXO: 8 Ensayo de Penetración Estándar (SPT).....	101

ANEXO: 9	Contenido de humedad.	102
ANEXO: 10	Granulometría.	103
ANEXO: 11	Límites de Atterberg.	104
ANEXO: 12	Clasificación SUCS.	105
ANEXO: 13	Ensayo de Penetración Estándar (SPT).....	106
ANEXO: 14	Contenido de Humedad.....	107
ANEXO: 15	Granulometría	108
ANEXO: 16	Limites Atterberg	109
ANEXO: 17	Clasificación SUCS	110
	3. Fotografías.....	111
ANEXO: 18	SPT.....	111
ANEXO: 19	Geofísica	113
ANEXO: 20	Toma de muestra superficial.....	117
ANEXO: 21	Ensayos de Laboratorio.....	118

Sondeo punto 1.

Contenido de humedad.

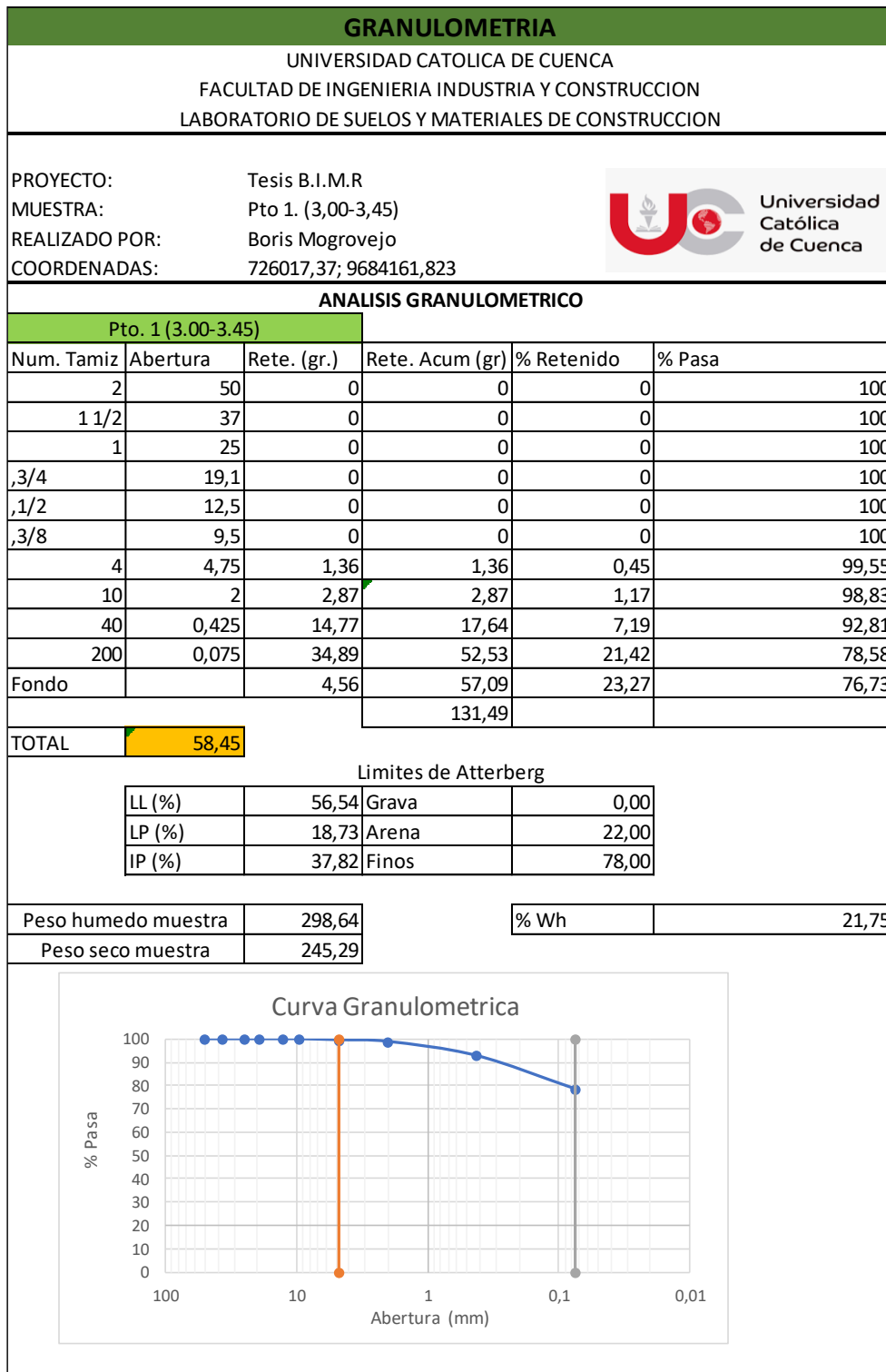
UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA FACULTAD DE INGENIERIA INDUSTRIA Y CONSTRUCCION LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCION						
PROYECTO:	Tesis B.I.M.R.					
MUESTRA:	Pto 1.					
REALIZADO POR:	BORIS MOGROVEJO					
COORDENADAS:	726017,37; 9684161,823					
DETERMINACION DE CONTENIDO DE AGUA NATURAL						
Muestra	Estrato	Espesor	Muestra humeda mas tarro (gr)	Muestra seca mas tarro (gr)	Tarro (gr)	Humedad (%)
1	1	0,5	106,04	97,89	43,67	21,67
			110,66	104,01	43,22	
	2	0,5	151,9	136,42	62,55	21,75
			145,37	130,58	64,97	
				Cont. Promedio	21,71	
Nota: el ensayo fue realizado como lo indica la norma ASTM D2216						

1.2 Granulometría.

Granulometría Sondeo 1. Profundidad (2.00-2.45).


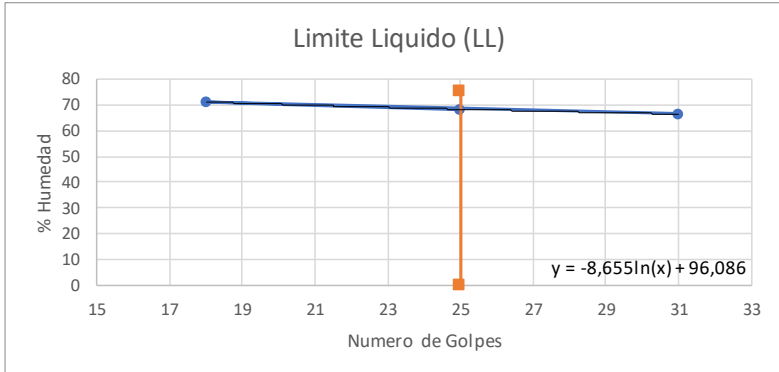
GRANULOMETRIA					
UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA					
FACULTAD DE INGENIERIA INDUSTRIA Y CONSTRUCCION					
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCION					
PROYECTO:	Tesis B.I.M.R				
MUESTRA:	Pto 1. (2,00-2,45)				
REALIZADO POR:	Boris Mogrovejo				
COORDENADAS:	726017,37; 9684161,823				
ANALISIS GRANULOMETRICO					
Pto. 1 (2.00-2.45)					
Num. Tamiz	Abertura (mm)	Rete. (gr.)	Rete. Acum (gr)	% Retenido	% Pasa
2	50	0	0	0	100
1 1/2	37	0	0	0	100
1	25	0	0	0	100
,3/4	19,1	0	0	0	100
,1/2	12,5	0	0	0	100
,3/8	9,5	0	0	0	100
4	4,75	2,2	2,2	0,73	99,27
10	2	4,4	4,4	1,80	98,20
40	0,425	19,4	23,8	9,72	90,28
200	0,075	47,1	70,9	28,97	71,03
Fondo		4,6	75,5	30,85	69,15
			176,8		
TOTAL	77,7				
Lmites de Atterberg					
LL (%)	68,04	Grava	1,00		
LP (%)	42,72	Arena	28,00		
IP (%)	25,32	Finos	71,00		
Peso humedo muestra	297,8	% Wh		21,67	
Peso seco muestra	244,76				
<p style="text-align: center;">Curva Granulometrica</p>					

Granulometría Sondeo 1. Profundidad (3.00-3.45).


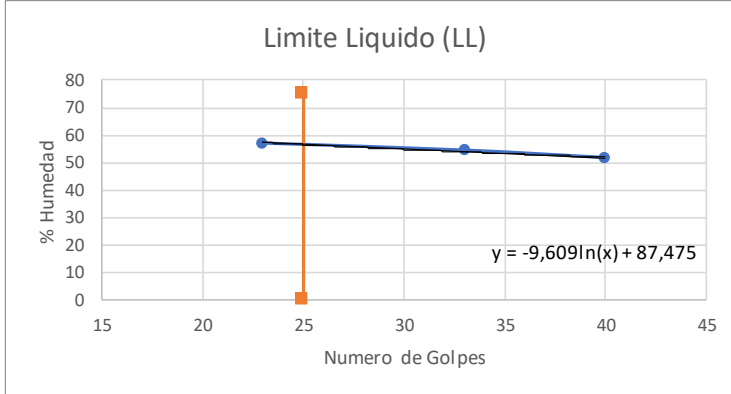


1.3 Límites de Atterber.

Límites de Atterber Sondeo 1. Profundidad (2.00-2.45).

UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA					
FACULTAD DE INGENIERIA INDUSTRIA Y CONSTRUCCION					
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCION					
PROYECTO:	Tesis B.I.M.R.		 Universidad Católica de Cuenca		
MUESTRA:	Pto 1. (2,00 - 2,45)				
REALIZADO POR:	BORIS MOGROVEJO				
COORDENADAS:	726017,37; 9684161,823				
LIMITES DE CONSISTENCIA					
Limite liquido (LL)					
Muestra (NT)	No. Golpes	Muestra humeda mas tarro (gr)	Muestra seca mas tarro (gr)	Tarro (gr)	Humedad (%)
50	25	37,4	22,88	21,1	68,04
17	18	36,6	30,24	21,3	71,14
18	31	35,8	30,05	21,4	66,47
Limite Liquido					68,04
					
Limite Plastico (LP)					
Muestra (NT)	Muestra humeda mas tarro (gr)	Muestra seca mas tarro (gr)	Tarro (gr)	Humedad (%)	
13	23,34	22,88	21,06	42,34	
31	23,82	23,35	21,70	43,68	
80	24,38	23,92	21,91	42,13	
Limite Plastico				42,72	
Nota: el ensayo fue realizado como lo indica la norma ASTM D2216					

Límites de Atterber Sondeo 1. Profundidad (3.00-3.45).

UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA					
FACULTAD DE INGENIERIA INDUSTRIA Y CONSTRUCCION					
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCION					
PROYECTO:	Tesis B.I.M.R.				
MUESTRA:	Pto 1. (3,00 - 3,45)				
REALIZADO POR:	BORIS MOGROVEJO				
COORDENADAS:	726017,37; 9684161,823				
LIMITES DE CONSISTENCIA					
Limite liquido (LL)					
Muestra (NT)	No. Golpes	Muestra humeda mas tarro (gr)	Muestra seca mas tarro (gr)	Tarro (gr)	Humedad (%)
P1	40	31,04	24,61	12,16	51,65
200	33	30,05	23,83	12,41	54,47
3A	23	35,8	24,83	12,16	57,14
Limite Liquido					56,54
					
Limite Plastico (LP)					
Muestra (NT)	Muestra humeda mas tarro (gr)	Muestra seca mas tarro (gr)	Tarro (gr)	Humedad (%)	
203	12,40	12,20	11,39	18,67	
2	22,35	22,15	21,27	19,21	
T1	21,95	21,76	20,97	18,31	
Limite Plastico				18,73	
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">Nota: el ensayo fue realizado como lo indica la norma ASTM D2216</div>					

1.4 Clasificación SUCS.


Clasificación SUCS del sondeo 1. Profundidad (2.00-2.45)

GRANULOMETRIA					
UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA FACULTAD DE INGENIERIA INDUSTRIA Y CONSTRUCCION LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCION					
PROYECTO:	Tesis B.I.M.R				
MUESTRA:	Pto 1. (2,00-2,45)				
REALIZADO POR:	Boris Mogrovejo				
COORDENADAS:	726017,37; 9684161,823				
ANALISIS GRANULOMETRICO					
Pto. 1 (2.00-2.45)					
Num. Tamiz	Abertura (mm)	Rete. (gr.)	Rete. Acum (gr)	% Retenido	% Pasa
2	50	0	0	0	100
1 1/2	37	0	0	0	100
1	25	0	0	0	100
3/4	19,1	0	0	0	100
1/2	12,5	0	0	0	100
3/8	9,5	0	0	0	100
4	4,75	2,2	2,2	0,73	99,27
10	2	4,4	4,4	1,80	98,20
40	0,425	19,4	23,8	9,72	90,28
200	0,075	47,1	70,9	28,97	71,03
Fondo		4,6	75,5	30,85	69,15
			176,8		
TOTAL	77,7				
Limites de Atterberg					
LL (%)	68,04	Grava	1,00		
LP (%)	42,72	Arena	28,00		
IP (%)	25,32	Finos	71,00		
Peso humedo muestra	297,8	% Wh	21,67		
Peso seco muestra	244,76				
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: flex-start;"> <div style="flex: 1;"> <p style="text-align: center; margin-bottom: 10px;">Carta Plastica</p> <p style="text-align: center; margin-top: 10px;">Nota: De acuerdo al sistema de clasificacion SUCS, el suelo analizado pertenece al grupo MH, considerado un limo de alta plasticidad.</p> </div> <div style="flex: 0.5; border: 1px solid black; padding: 5px; margin-left: 10px;"> <p style="text-align: center; margin: 0;">Clasificacion SUCS</p> <p style="text-align: center; margin: 0;">MH</p> <p style="text-align: center; margin: 0;">Descripcion</p> <p style="text-align: center; margin: 0;">Limo de alta plasticidad</p> </div> </div>					

Clasificación SUCS del sondeo 1. Profundidad (3.00-3.45)


GRANULOMETRIA									
UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA FACULTAD DE INGENIERIA INDUSTRIA Y CONSTRUCCION LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCION									
PROYECTO:	Tesis B.I.M.R								
MUESTRA:	Pto 1. (3,00-3,45)								
REALIZADO POR:	Boris Mogrovejo								
COORDENADAS:	726017,37; 9684161,823								
ANALISIS GRANULOMETRICO									
Pto. 1 (3.00-3.45)									
Num. Tamiz	Abertura	Rete. (gr.)	Rete. Acum (gr)	% Retenido	% Pasa				
2	50	0	0	0	100				
1 1/2	37	0	0	0	100				
1	25	0	0	0	100				
,3/4	19,1	0	0	0	100				
,1/2	12,5	0	0	0	100				
,3/8	9,5	0	0	0	100				
4	4,75	1,36	1,36	0,45	99,55				
10	2	2,87	2,87	1,17	98,83				
40	0,425	14,77	17,64	7,19	92,81				
200	0,075	34,89	52,53	21,42	78,58				
Fondo		4,56	57,09	23,27	76,73				
			131,49						
TOTAL	58,45								
Lmites de Atterberg									
LL (%)	56,54	Grava	0,00						
LP (%)	18,73	Arena	22,00						
IP (%)	37,82	Finos	78,00						
Peso humedo muestra	298,64	% Wh	21,75						
Peso seco muestra	245,29								
<table border="1"> <tr> <th style="background-color: #4F7942; color: white;">Clasificacion SUCS</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">CH</td> </tr> <tr> <th style="background-color: #4F7942; color: white;">Descripcion</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Arcilla de alta compresibilidad</td> </tr> </table>						Clasificacion SUCS	CH	Descripcion	Arcilla de alta compresibilidad
Clasificacion SUCS									
CH									
Descripcion									
Arcilla de alta compresibilidad									
<p>Nota: De acuerdo al sistema de clasificacion SUCS, el suelo analizado pertenece al grupo CH, considerado un arcilla de alta plasticidad.</p>									

Ensayo de Penetración Estándar (SPT).

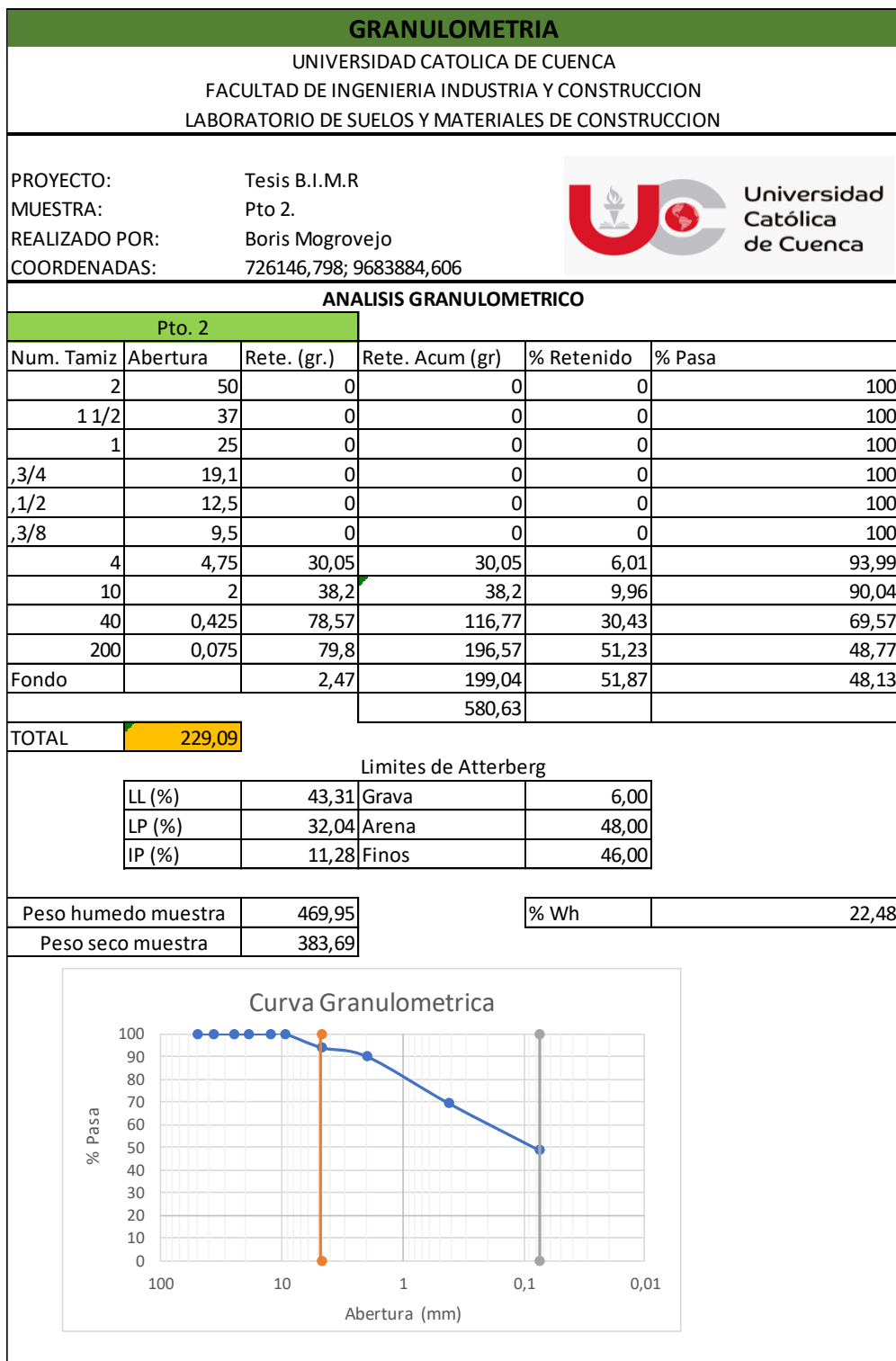
UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA FACULTAD DE INGENIERIA INDUSTRIAL Y CONSTRUCCION LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCION			
PROYECTO:	Tesis B.I.M.R.		Universidad Católica de Cuenca
MUESTRA:	Pto 1.		
REALIZADO POR:	BORIS MOGROVEJO		
COORDENADAS:	726017,37; 9684161,823		
ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR (SPT)			
Factores de Correccion			
Nh Eficiencia del martillo	Ns correccion del diametro de perforacion	Ns correccion del muestreo	Nr correccion por la longitud de la barra
0,75	1,00	0,85	1,00
N60 numero de penetracion estandar, corregido por las condiciones de			
Perfil Estratigrafico			
Sondeo No:	1		
Profundidad:	3,5		
Profundidad	Estratigrafia	Tipo de Suelo	Descripcion
0,1 0,2 0,3 0,4 0,5 0,6 0,7 0,8 0,9		O	Capa Vegetal
1 1,1 1,15 1,2 1,3 1,4 1,45 1,5 1,6 1,7 1,8 1,9		MH	Limo de Alta Plasticidad
2 2,1 2,15 2,2 2,3 2,4 2,45 2,5 2,6 2,7 2,8 2,9		MH	
3 3,1 3,15 3,2 3,3 3,4 3,45 3,5		CH	Arcilla de Alta Plasticidad

Sondeo punto 2.

Contenido de humedad.

UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA FACULTAD DE INGENIERIA INDUSTRIA Y CONSTRUCCION LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCION						
PROYECTO:	Tesis B.I.M.R.					
MUESTRA:	Pto 2,					
REALIZADO POR:	BORIS MOGROVEJO					
COORDENADAS:	726146,798; 9683884,606					
DETERMINACION DE CONTENIDO DE AGUA NATURAL						
Muestra	Estrato	Espesor	Muestra humeda mas tarro (gr)	Muestra seca mas tarro (gr)	Tarro (gr)	Humedad (%)
2	1	0,5	123,45	108,81	43,67	22,48
			117,68	104,01	43,22	
			Cont. Promedio		22,48	
Nota: el ensayo fue realizado como lo indica la norma ASTM D2216						

Granulometría.



Límites de Atterberg.

UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA
 FACULTAD DE INGENIERIA INDUSTRIA Y CONSTRUCCION
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCION

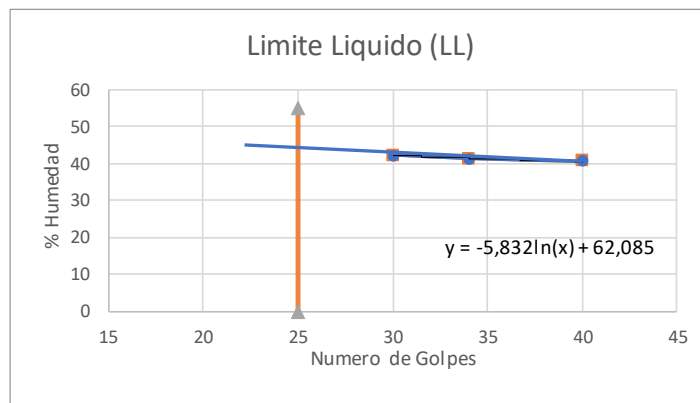
PROYECTO: Tesis B.I.M.R.
 MUESTRA: Pto 2.
 REALIZADO POR: BORIS MOGROVEJO
 COORDENADAS: 726146,798; 9683884,606



LIMITES DE CONSISTENCIA

Limite liquido (LL)

Muestra (NT)	No. Golpes	Muestra humeda mas tarro (gr)	Muestra seca mas tarro (gr)	Tarro (gr)	Humedad (%)
0	0	0	0	0	0,00
0	0	0	0	0	0,00
0	0	0	0	0	0,00
Limite Liquido					0,00

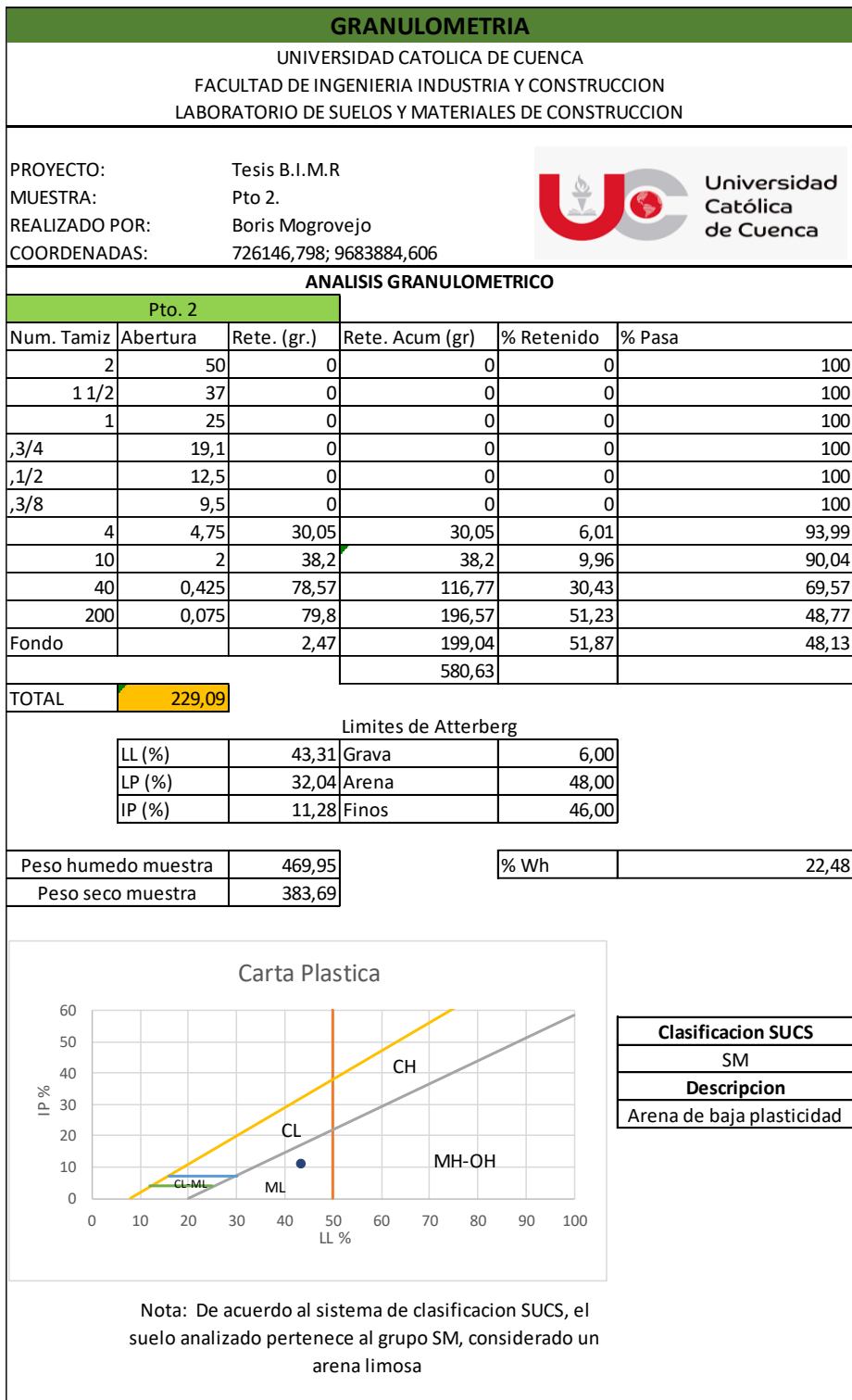


Limite Plastico (LP)


Muestra (NT)	Muestra humeda mas tarro (gr)	Muestra seca mas tarro (gr)	Tarro (gr)	Humedad (%)
1	22,56	22,27	21,16	27,55
2	12,33	11,97	10,65	32,03
3	13,60	13,19	11,75	36,52
Limite Plastico				32,04

Nota: el ensayo fue realizado como lo indica la norma ASTM D2216

Clasificación SUCS.




Ensayo de Penetración Estándar (SPT).


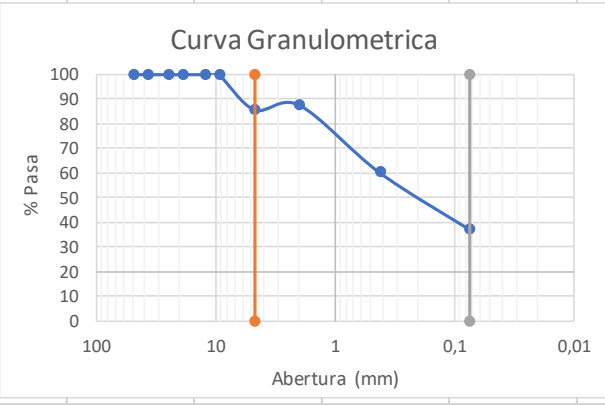
UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA FACULTAD DE INGENIERIA INDUSTRIA Y CONSTRUCCION LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCION			
PROYECTO:	Tesis B.I.M.R.	 Universidad Católica de Cuenca	
MUESTRA:	Pto 2.		
REALIZADO POR:	BORIS MOGROVEJO		
COORDENADAS:	726146,798; 9683884,606		
ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR (SPT)			
Factores de Correccion			
N_H Eficiencia del martillo	N_B correccion del diametro de perforacion	N_s correccion del muestreo	N_R correccion por la longitud de la barra
0,75	1,00	0,85	1,00
N₆₀ numero de penetracion estandar, corregido por las condiciones de			
33,45			
Perfil Estratigrafico			
Sondeo No:	2		
Profundidad:	2,5		
Profundidad	Estratigrafia	Tipo de Suelo	Descripcion
0,1 0,2 0,3 0,4 0,5 0,6 0,7 0,8 0,9		O	Capa Vegetal
1 1,1 1,15 1,2 1,3 1,4 1,45 1,5 1,6 1,7 1,8 1,9		SM	Arena limosa
2 2,1 2,15 2,2 2,3 2,4 2,45 2,5		SM	

Sondeo punto 1. Bosque

Contenido de Humedad

UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA FACULTAD DE INGENIERIA INDUSTRIA Y CONSTRUCCION LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCION						
PROYECTO:	Tesis B.I.M.R.					
MUESTRA:	Pto 1. Bosque					
REALIZADO POR:	BORIS MOGROVEJO					
COORDENADAS:	726038,7219; 9684261,1435					
DETERMINACION DE CONTENIDO DE AGUA NATURAL						
Muestra	Estrato	Espesor	Muestra humeda mas tarro (gr)	Muestra seca mas tarro (gr)	Tarro (gr)	Humedad (%)
1	1	0,4	142,5	133,1	64,6	13,72
			116,3	107,8	43,1	13,14
			152,7	143,3	67,4	12,38
				Cont. Promedio		13,08
Nota: el ensayo fue realizado como lo indica la norma ASTM D2216						

Granulometría

GRANULOMETRIA					
UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA					
FACULTAD DE INGENIERIA INDUSTRIA Y CONSTRUCCION					
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCION					
PROYECTO:	Tesis B.I.M.R		 Universidad Católica de Cuenca		
MUESTRA:	Pto 1. Bosque				
REALIZADO POR:	Boris Mogrovejo				
FECHA:					
COORDENADAS:	726038,7219; 9684261,143!				
ANALISIS GRANULOMETRICO					
Pto. 2					
Num. Tamiz	Abertura	Rete. (gr.)	Rete. Acum	(% Retenido)	% Pasa
2	50	0	0	0	100
1,5	37	0	0	0	100
1	25	0	0	0	100
,3/4	19,1	0	0	0	100
,1/2	12,5	0	0	0	100
,3/8	9,5	0	0	0	100
4	4,75	66,6	66,6	14,28	85,72
10	2	43,8	43,8	12,39	87,61
40	0,425	96,8	140,6	39,76	60,24
200	0,075	81,6	222,2	62,83	37,17
Fondo		2,8	225	63,62	36,38
			698,2		
TOTAL	291,6				
Limites de Atterberg					
LL (%)	49,79	Grava	14,00		
LP (%)	36,51	Arena	54,00		
IP (%)	13,28	Finos	32,00		
Peso humedo muestra	399,9		% Wh		13,08
Peso seco muestra	353,64				
					

Limites Atterberg

UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERIA INDUSTRIA Y CONSTRUCCION
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCION

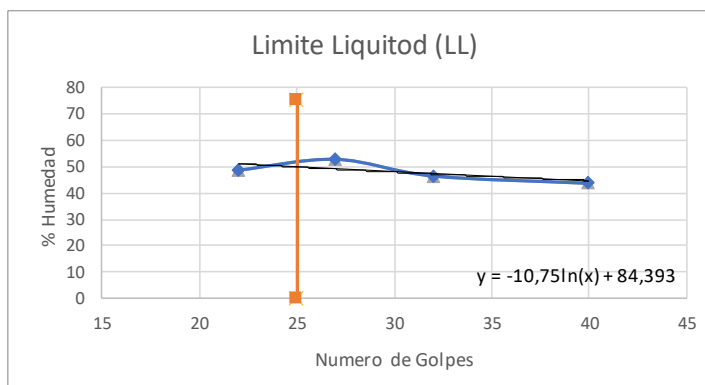
PROYECTO: Tesis B.I.M.R.
MUESTRA: Pto 1. Bosque
REALIZADO POR: BORIS MOGROVEJO
COORDENADAS: 726038,7219; 9684261,1435



LIMITES DE CONSISTENCIA

Limite liquido (LL)

Muestra (NT)	No. Golpes	Muestra humeda mas tarro (gr)	Muestra seca mas tarro (gr)	Tarro (gr)	Humedad (%)
1	40	31,74	28,46	20,96	43,73
13	32	32,28	28,78	21,26	46,54
11	27	32,6	28,54	20,87	52,93
E12	22	28,4	26,04	21,2	48,76
Limite Liquido					49,79



Limite Plastico (LP)

Muestra (NT)	Muestra humeda mas tarro (gr)	Muestra seca mas tarro (gr)	Tarro (gr)	Humedad (%)
103	12,25	11,74	10,30	44,74
P1	12,45	12,01	10,80	39,57
S/N	12,01	11,61	10,36	35,69
7	12,17	11,89	11,05	26,02
Limite Plastico				36,51

Nota: el ensayo fue realizado como lo indica la norma ASTM D2216

Clasificación SUCS

GRANULOMETRIA									
UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA									
FACULTAD DE INGENIERIA INDUSTRIA Y CONSTRUCCION									
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCION									
PROYECTO:	Tesis B.I.M.R								
MUESTRA:	Pto 1. Bosque								
REALIZADO POR:	Boris Mogrovejo								
FECHA:									
COORDENADAS:	726038,7219; 9684261,143!								
ANALISIS GRANULOMETRICO									
Pto. 2									
Num. Tamiz	Abertura	Rete. (gr.)	Rete. Acum	% Retenido	% Pasa				
2	50	0	0	0	100				
1,5	37	0	0	0	100				
1	25	0	0	0	100				
,3/4	19,1	0	0	0	100				
,1/2	12,5	0	0	0	100				
,3/8	9,5	0	0	0	100				
4	4,75	66,6	66,6	14,28	85,72				
10	2	43,8	43,8	12,39	87,61				
40	0,425	96,8	140,6	39,76	60,24				
200	0,075	81,6	222,2	62,83	37,17				
Fondo		2,8	225	63,62	36,38				
			698,2						
TOTAL	291,6								
Lmites de Atterberg									
LL (%)	49,79	Grava	14,00						
LP (%)	36,51	Arena	54,00						
IP (%)	13,28	Finos	32,00						
Peso humedo muestra	399,9	% Wh	13,08						
Peso seco muestra	353,64								
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1;"> </div> <div style="flex: 0.5; border: 1px solid black; padding: 5px; margin-left: 10px;"> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="background-color: #4F7942; color: white; padding: 2px;">Clasificacion SUCS</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">ML</td></tr> <tr><td style="background-color: #4F7942; color: white; padding: 2px;">Descripcion</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">Arena limosa</td></tr> </table> </div> </div>						Clasificacion SUCS	ML	Descripcion	Arena limosa
Clasificacion SUCS									
ML									
Descripcion									
Arena limosa									
<p>Nota: De acuerdo al sistema de clasificacion SUCS, el suelo analizado pertenece al grupo SM, considerado un arena limosa.</p>									

3. Fotografías.

SPT.



SPT sondeo 2.



Geofísica Linea 1.



Geofisica Linea 2.



Geofisica Linea 3.



Geofisica Linea 4.



Sondeo 1. Bosque

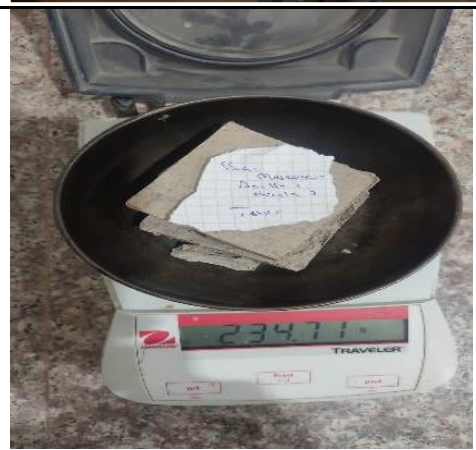


Ensayos de Laboratorio

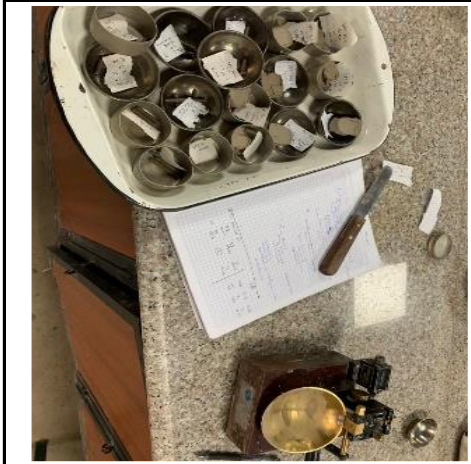
Ensayos de Laboratorio



Contenido de Humedad



Ensayo Corte Directo



Limites de Atterberg



Granulometria

AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, Boris Iván Mogrovejo Rodríguez portador de la cédula de ciudadanía N.º 0105872808. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación “DETERMINACIÓN DE ONDAS CORTE VS Y COMPRESIÓN VP, PARA CORRELACIONAR CON VALORES DE N60 Y PARÁMETROS GEOMECÁNICOS DEL SUELO” de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca 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 para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 12 de octubre de 2023



F:

Boris Iván Mogrovejo Rodríguez
0105872808