



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS GEOMECÁNICOS DEL
SUBSUELO LADO N/O, CAMPUS MIRACIELOS RICAURTE,
NECESARIOS PARA EL PROYECTO INVESTIGATIVO
“MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA Y MAPA DE RIESGOS”

**TRABAJO DE TITULACIÓN O PROYECTO DE INTEGRACIÓN
CURRICULAR PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

AUTOR: DIEGO ISMAEL CORONEL MARTÍNEZ

WILLIAM ALFREDO ORTÍZ ANDRADE

DIRECTOR: ING. LUIS MARIO ALMACHE MSC.

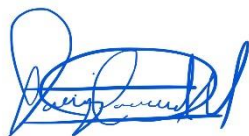
CUENCA – ECUADOR

2020

*Yo me gradué en
los 50 años de La Cato!
... y sostuve la Universidad*

AUTORÍA

Nosotros, Diego Ismael Coronel Martínez, con CI. 0104447248 y William Alfredo Ortíz Andrade, con CI. 0302242680, Egresados de la Facultad de Ingeniería Civil pertenecientes a la Unidad Académica De Ingeniería, Industria y Construcción, certificamos por medio de la presente que el trabajo con el tema: DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS GEOMECÁNICOS DEL SUBSUELO LADO N/O, CAMPUS MIRACIELOS RICAURTE, NECESARIOS PARA EL PROYECTO INVESTIGATIVO “MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA Y MAPA DE RIESGOS” es de nuestra completa autoría.



Diego Ismael Coronel Martínez

0104447248

AUTOR



William Alfredo Ortíz Andrade

0302242680

AUTOR

CERTIFICACIÓN

Yo, Ing. M.Sc Luis Mario Almache Sánchez certifico la presente investigación DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS GEOMECÁNICOS DEL SUBSUELO LADO N/O, CAMPUS MIRACIELOS RICAURTE, NECESARIOS PARA EL PROYECTO INVESTIGATIVO “MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA Y MAPA DE RIESGOS” realizado por el señor Diego Ismael Coronel Martínez y William Alfredo Ortiz Andrade Egresados de la Facultad de Ingeniería Civil pertenecientes a la Unidad Académica De Ingeniería, Industria y Construcción, se desarrolló bajo mi supervisión y tutoría, siendo un trabajo elaborado de manera personal e inédita.



Ing. M.Sc.Luis Mario Almache Sánchez
TUTOR

DEDICATORIA

DIEGO

Dedico este proyecto de investigación a mis padres Diego y Lorena por todo su esfuerzo realizado para brindarme el apoyo durante este tiempo de estudios y enseñarme que todo logro en la vida está hecho a base de sacrificios y de no bajar la cabeza por dura que sea la situación, a mi hermano Juan Andrés por ser mi cómplice en todo momento y a mis abuelos Luis (+), Tania, Nicolás y Leonor con todo el cariño del mundo.

WILLIAM

Colmado de alegría, de amor y esperanza, quiero dedicar este trabajo de grado primeramente a Dios, por haberme dado la vida, salud y bendición para alcanzar mis metas como persona y profesional.

A mi padre Carlos Ortiz, por ser un ejemplo a seguir, por brindarme su apoyo emocional y económico incondicional a lo largo de mi trayectoria porque ha sido un sustento para poder culminar mi carrera, quien con sus palabras de aliento no me dejaba decaer para que siga adelante y siempre sea firme y cumpla con mis ideales.

A mi madre Rosa Andrade, que ha sabido guiarme y formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores, lo cual ha sido de gran ayuda para salir adelante en momentos difíciles.

A mis hermanos, hermanos políticos y a mis sobrinos, por sus palabras de aliento, consejos y compañía, también por haberme apoyando tanto en el aspecto moral como económico forjando mi camino, por creer y confiar en mí, que Dios los colme de bendiciones.

AGRADECIMIENTO

DIEGO

Agradezco primeramente a Dios por todos los favores recibidos y por ser el pilar fundamental en mi vida, a mi padre por su insistencia día a día para que pueda terminar mis estudios, por brindarme sus grandes conocimientos, a mi madre por ser un apoyo incondicional durante todo este tiempo de muchos sacrificios, a mi tutor de este trabajo de investigación que me supo guiar y me brindó conocimientos para poder empezar con pie derecho este proyecto de investigación, a todos mis familiares quienes estuvieron de una u otra manera apoyándome en este tiempo de estudios, a mi segunda casa la Universidad Católica de Cuenca y a todos quienes la conforman, siempre llevaré en mi corazón todos los momentos vividos en esta casa de estudios.

WILLIAM

Agradezco a Dios por bendecirme la vida, por guiarme a lo largo de mi existencia, por ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

Gracias a mis padres: Carlos y Rosa, por ser los principales promotores de mis sueños, que a pesar de los duros momentos y circunstancias vividas a lo largo de mi formación confiaron y creyeron en mis expectativas, por sus consejos, valores y principios que me han inculcado.

Agradezco a mis hermanos y hermanos políticos que con sus palabras me hacían sentir orgulloso de lo que soy y de lo que les puedo enseñar. Ojalá algún día yo me convierta en esa fuerza para que puedan seguir avanzando en su camino.

De igual manera mis agradecimientos a la Universidad Católica de Cuenca, a toda la Facultad de Ingeniería Civil, a todos mis catedráticos, y de manera especial al Ingeniero Luis Mario Almache Sánchez, y al Ingeniero Diego Fernando Coronel Sacoto; Director y Docente respectivamente de este proyecto, quienes con su dirección, conocimiento, enseñanzas y colaboración permitieron el desarrollo de este trabajo.

RESUMEN

Sin duda, una de las ramas fundamentales de la ingeniería civil es el estudio de las características físico mecánicas del suelo para cimentar estructuras civiles con seguridad adecuada, así como, construir obras con presupuestos adecuados sin caer en la sobredimensión de las estructuras de cimentación. Debido a esto, las tecnologías de investigación del suelo y subsuelo cada vez tiene nuevos logros, tanto en nueva formulación como instrumentación de laboratorio para determinar a ciencia cierta las mencionadas cualidades del suelo, así como la estratigrafía a través de diferentes métodos geofísicos, que hoy en día se han desarrollado grandemente.

De acuerdo al tamaño de las estructuras a construir, desde una casa hasta edificios implantados en zonas cercanas al mar o grandes ríos es necesario el estudio de suelos superficiales o más profundos pues a veces, es necesario hincar pilotes para ganar sustentación de estructuras, dependiendo de si un proyecto está en etapa de estudios de prefactibilidad, factibilidad o diseños definitivos, se implementara los adecuados estudios por ejemplo sondeos que se realicen en etapa de prefactibilidad, estos deben ser corroborados con perforaciones profundas para obtener muestras no alteradas que luego son sometidos a estudios de laboratorio.

Por otra parte, los métodos indirectos de exploración permiten generar estratigrafía del subsuelo e incluso el buzamiento, lo que puede dar cuenta si ocurrirán futuros deslizamientos o movimientos de masas, información muy importante para el estudio de taludes como cimentaciones profundas.

El caso de estudio escogido ha sido el campus Miracielos - Ricaurte de la Universidad Católica de Cuenca, por lo que se tiene un conocimiento fehaciente de la estratigrafía existente del terreno, realizando en el mismo análisis de tipo directo tal como son la determinación de

los parámetros geomecánicas del terreno, por medio de extracción de calicatas, como también el estudio del terreno por medios de explotación indirecta como son los Sondeos Eléctricos Verticales, estos métodos de exploración servirán para el proyecto investigativo “Microzonificación sísmica y mapa de riesgos” que lleva acabo la Universidad.

Por último, este trabajo ha servido para conocer e iniciar en nuevas tecnologías de exploración del subsuelo donde la Universidad Católica de Cuenca está incursionando acertadamente.

PALABRAS CLAVE: METODOS DE EXPLORACIÓN, GEOFÍSICA, ESTRATIGRAFÍA, PARÁMETROS GEOMECÁNICOS, ANÁLISIS DEL SUBSUELO.

ABSTRACT

Undoubtedly, one of the fundamental branches of civil engineering is the study of the physical-mechanical characteristics of the soil to lay the foundations of civil structures with adequate safety, as well as to build works with proper budgets without falling into the over-dimensioning of the foundation structures. Due to this, soil and subsoil research technologies have new achievements every time, both in the new formulation and laboratory instrumentation to determine with certainty the mentioned soil qualities, as well as stratigraphy through different geophysical methods, which today have been greatly developed.

According to the size of the structures to be built, from a house to buildings implanted in areas near the sea or large rivers, it is necessary to study superficial or deeper soils because sometimes it is necessary to drive piles to gain support for structures, depending on whether a project is in the stage of pre-feasibility studies, feasibility or definitive designs, the appropriate studies will be implemented, for example, soundings that are conducted in the pre-feasibility stage. These must be corroborated with deep drilling to obtain undisturbed samples that are then submitted to laboratory studies.

On the other hand, the indirect exploration methods allow generating stratigraphy of the subsoil and even dipping, which can account for whether future landslides or mass movements will occur, very important information for the study of slopes such as deep foundations.

The chosen case study has been the ‘Miracielos – Ricaurte’ campus of the Catholic University of Cuenca, so we have a reliable knowledge of the existing stratigraphy of the terrain, performing in the same direct analysis such as determining the geomechanical parameters of the terrain through trial pit extraction, as well as the study of the terrain utilizing indirect exploitation such as Vertical Electric Soundings, these exploration methods will serve

for the research project "Seismic Microzoning and Risk Mapping" that the University is performing.

Finally, this work has served to know and initiate new technologies of exploration of the subsoil where the Catholic University of Cuenca is successfully making incursions.

KEYWORDS: EXPLORATION METHODS, GEOPHYSICS, GEOMECHANICAL
PARAMETERS, SUBSOIL ANALYSIS.

INDICE DE CONTENIDO

AUTORÍA.....	I
CERTIFICACIÓN.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO	V
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT	IX
INDICE DE TABLAS	1
INDICE DE ILUSTRACIONES	4
CAPÍTULO 1: GENERALIDADES	9
1.1 INTRODUCCIÓN	9
1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	10
1.2.1 Objetivo General.....	10
1.2.2 Específicos.....	10
1.2 DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	10
1.2.1 Ubicación del proyecto	10
1.2.2 Antecedentes.....	12
1.2.3 Diagnóstico del problema.....	12
1.3 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL ESTUDIO.....	13
1.3.1 Alcances.....	13
1.3.2 Limitaciones	14

1.4 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA DE LA ZONA.....	14
1.4.1 Geología.....	14
1.4.1.1 Geología Regional	15
1.4.1.2 Geología Local.....	16
1.4.1.3 Geología Específica	16
1.4.2 Geomorfología.....	19
CAPÍTULO 2: REVISIÓN DE MÉTODOS DE EXPLORACIÓN DEL SUELO Y	
SUBSUELO.	22
2.1 MÉTODOS DIRECTOS DE EXPLORACIÓN	22
2.1.1 Calicatas o trincheras.....	22
2.1.2 Veletas	22
2.1.3 Cono estático CPT y dinámico DCP	23
2.1.4 Dilatómetro (DMT)	25
2.1.5 Ensayo de penetración estándar SPT.....	26
2.2 EXTRACCIÓN DE CALICATAS Y ENSAYOS SPT	26
2.2.1 Extracción de Calicatas	27
2.2.1.1 Muestras alteradas.....	28
2.2.1.2 Muestras no alteradas (inalteradas):.....	28
2.2.1.3 Procedimiento:	28
2.2.1.3 Toma de muestras de acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción.....	29
2.2.2 Ensayo de penetración estándar (SPT)	30
2.2.2.1 Materiales.....	30

2.2.2.2 Procedimiento	31
2.3 MÉTODOS INDIRECTOS.....	33
2.3.1 Sondeos Eléctricos Verticales (SEV)	33
2.3.2 Sísmica de Refracción	33
2.3.3 Análisis espectral de ondas superficiales.....	34
2.3.4 Refracción de Microtremores (ReMi)	34
2.3.5 Tomografía Geoeléctrica	35
2.4 SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES.....	37
2.4.1 Metodología.....	37
2.4.1.1 Superficies equipotenciales.....	38
2.4.1.2 Ley de Ohm.....	39
2.4.1.3 Disposiciones de electrodos para la determinación de la resistividad	40
2.4.1.3 Resistividades de los materiales naturales	42
2.4.2 Equipo Utilizado.....	45
2.4.3 Procedimiento.....	46
2.4.4 Aplicaciones.....	46
2.4.5 Interpretación de resultados.....	47
2.4.6 Normativa para la realización de sondeos según la Norma Ecuatoriana de la Construcción.....	48
2.5 SÍSMICA DE REFRACCIÓN	49
2.5.1 Ondas sísmicas	49
2.5.1.1 Ondas Primarias (P)	50

2.5.1.2 Ondas de corte (S).....	50
2.5.1.3 Ondas Superficiales	51
2.5.1 Metodología.....	51
2.5.2 Equipo utilizado	52
2.5.3 Procedimiento	53
2.5.4 Aplicaciones.....	53
CAPÍTULO 3: TRABAJO DE CAMPO	55
3.1 USO DE SUELO EN EL PREDIO	55
3.1.1 Uso de suelo actual	55
3.1.1.1 Área cultivada:	55
3.1.1.2 Fines Educativos:	56
3.1.1.3 Bosque Natural:	57
3.1.2 Uso de suelo de acuerdo al Plan de Ordenamiento Territorial	59
3.1.3 Uso de suelo proyectado	60
3.2 POSIBLES ESTRUCTURAS A EMPLAZARSE.....	63
3.2.1 Clasificación de las posibles estructuras.....	63
3.2.2 Consideraciones para el diseño.....	65
3.2.2.1 Cargas permanentes (carga muerta).....	66
3.2.2.2 Carga viva	66
3.2.2.3 Carga de viento	66
3.2.2.4 Carga Sísmica	66

3.2.2.5 Combinaciones de cargas.....	68
3.3 UBICACIÓN DE PUNTOS DE ESTUDIO	69
3.3.1 Ubicación de extracción de calicatas y muestras.....	69
3.3.2 Ubicación de sondeos eléctricos verticales	71
3.4 ENSAYOS DE LABORATORIO	73
3.4.1 Extracción de muestras	73
3.4.1.1 Muestras Alteradas.....	73
3.4.1.2 Muestras Inalteradas.....	75
3.4.2 Humedad Natural (ASTM D – 2216)	76
3.4.3 Análisis granulométrico (ASTM C–136–01).....	77
3.4.4 Límites de Consistencia (ASTM D4318-84).....	80
3.4.4.1 Límite Líquido.....	81
3.4.4.2 Límite Plástico.....	84
3.4.5 Clasificación de suelos.....	85
3.4.5.1 Sistema de clasificación AASHTO M145	85
3.4.5.2 Sistema de clasificación SUCS	86
3.4.6 Expansividad.....	89
3.4.7 Ensayo de corte directo (ASTM D 3080, AASHTO T 236 – 03).....	90
3.4.8 Ensayo triaxial (ASTM D 2850).....	94
3.5 DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO (CAPACIDAD DE CARGA).....	98
3.5.1 Cimentación:.....	98

3.5.1.1	Profundidad de cimentaciones	99
3.5.2	La capacidad de carga:	100
3.5.3	Teoría de Karl Terzaghi:.....	100
3.5.3.1	Factores de capacidad de carga de Terzaghi.....	101
3.5.4	Teoría de Meyerhof:	101
3.5.4.1	Factores de capacidad de carga de Meyerhof	103
3.5.4.2	Factores de forma:	103
3.5.4.3	Factores de profundidad:.....	103
3.5.4.4	Factores de inclinación de carga:.....	104
3.5.5	Factor de seguridad:.....	104
3.5.6	Asentamientos	105
3.5.7	Determinación de la capacidad portante en el campus Miracielos - Ricaurte.....	108
3.5.7.2	Punto 3 (Muestra 5) – Corte Directo.....	118
3.5.7.3	Punto 2 (Muestra 3) - Triaxial	127
3.6	LEVANTAMIENTO DE SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES	136
3.6.1	Objetivo de los levantamientos.....	136
3.6.2	Levantamientos.....	136
CAPÍTULO 4: ANÁLISIS, INTERPRETACIÓN Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS		145
4.1	ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS DE LOS SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES	145
4.1.1	Obtención de resultados.....	145

4.1.2	Interpretación de resultados	150
4.2	ESTRATIGRAFÍA DEL CAMPUS MIRACIELOS – RICAURTE LADO N/O MEDIANTE MÉTODOS DE EXPLORACIÓN DIRECTA E INDIRECTA.....	157
4.2.1	Estratigrafía del campus Miracielos – Ricaurte mediante métodos de exploración directa	157
4.2.2	Estratigrafía del campus Miracielos – Ricaurte mediante métodos de exploración indirecta	157
4.3	COMPARACIÓN Y RELACIÓN DE RESULTADOS	160
4.4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	163
4.4.1	Conclusiones	163
4.4.2	Recomendaciones	164
	BIBLIOGRAFÍA.....	167
	ANEXOS.....	170
	ANEXOS FOTOGRÁFICOS	170
	ANEXOS DE LABORATORIO.....	179
	ANEXOS DE ANÁLISIS DE SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES MEDIANTE WINSEV	203

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Parámetros Físico – Mecánicos de las terrazas aluviales	17
Tabla 2: Relieves en la “Estancia Miracielos”	19
Tabla 3: Profundidad mínima de los sondeos de acuerdo al tipo de cimentación	30
Tabla 4: Resistividad de la tierra basado en los tipos de roca	44
Tabla 5: Número mínimo de sondeos y profundidad por cada unidad de construcción.....	49
Tabla 6: Uso de suelo de acuerdo al PDOT	59
Tabla 7: Área de los distintos fines educativos.....	61
Tabla 8: Tipo de uso, destino e importancia de la estructura.....	65
Tabla 9: Clasificación de las estructuras a emplazarse en el campus Miracielos – Ricaurte ..	65
Tabla 10: Coordenadas de los puntos de extracción de calicatas	71
Tabla 11: Coordenadas de Sondeos Eléctricos Verticales.....	71
Tabla 12: Muestras Alteradas	73
Tabla 13: Profundidad de las muestras inalteradas.....	75
Tabla 14: Contenido de humedad de las muestras.....	77
Tabla 15: Resultados de ensayos de límites de Atterberg.....	85
Tabla 16: Clasificación de los suelos en el campus Miracielos – Ricaurte	89
Tabla 17: Grados de expansividad de las arcillas	90
Tabla 18: Grado de expansividad de las arcillas en el campus Miracielos – Ricaurte	90
Tabla 19: Resultados ensayo de corte directo campus Miracielos – Ricaurte.....	94
Tabla 20: Resultados ensayo de triaxial campus Miracielos – Ricaurte.....	96
Tabla 21: Ensayos de laboratorio con normativas	98
Tabla 22: Factores de seguridad indirectos mínimos.....	105
Tabla 23: Zapatas cuadradas Df=1 m (Terzaghi - muestra 3)	110

Tabla 24: Zapatas cuadradas Df=1.5 m (Terzaghi - muestra 3)	111
Tabla 25: Zapatas cuadradas Df=2 m (Terzaghi - muestra 3)	111
Tabla 26: Zapatas cuadradas Df=2.5 m (Terzaghi - muestra 3)	112
Tabla 27: Zapatas cuadradas Df =3 m (Terzaghi - muestra 3)	113
Tabla 28: Factores de forma (Meyerhof – Muestra 3).....	113
Tabla 29: Factores de profundidad (Meyerhof – Muestra 3).....	114
Tabla 30: Factores de inclinación (Meyerhof – Muestra 3).....	114
Tabla 31: Zapatas cuadradas Df =1 m (Meyerhof - muestra 3).....	115
Tabla 32: Zapatas cuadradas Df =1.5 m (Meyerhof - muestra 3).....	115
Tabla 33: Zapatas cuadradas Df =2 m (Meyerhof - muestra 3).....	116
Tabla 34: Zapatas cuadradas Df =2.5 m (Meyerhof - muestra 3).....	117
Tabla 35: Zapatas cuadradas Df =3 m (Meyerhof - muestra 3).....	118
Tabla 36: Zapatas cuadradas Df =1 m (Terzaghi - muestra 5)	119
Tabla 37: Zapatas cuadradas Df =1.5 m (Terzaghi - muestra 5)	120
Tabla 38: Zapatas cuadradas Df =2 m (Terzaghi - muestra 5)	121
Tabla 39: Zapatas cuadradas Df =2.5 m (Terzaghi - muestra 5)	121
Tabla 40: Zapatas cuadradas Df =3 m (Terzaghi - muestra 5)	122
Tabla 41: Factores de forma (Meyerhof - muestra 5).....	123
Tabla 42: Factores de profundidad (Meyerhof - muestra 5).....	123
Tabla 43: Factores de inclinación (Meyerhof - muestra 5).....	123
Tabla 44: Zapatas cuadradas Df =1 m (Meyerhof - muestra 5).....	124
Tabla 45: Zapatas cuadradas Df =1.5 m (Meyerhof - muestra 5).....	125
Tabla 46: Zapatas cuadradas Df =2 m (Meyerhof - muestra 5).....	125
Tabla 47: Zapatas cuadradas Df =2.5 m (Meyerhof - muestra 5).....	126
Tabla 48: Zapatas cuadradas Df =3 m (Meyerhof - muestra 5).....	127

Tabla 49: Zapatas cuadradas Df =1 m (Terzaghi - muestra 3- Triaxial)	128
Tabla 50: Zapatas cuadradas Df =1.5 m (Terzaghi- muestra 3- Triaxial)	129
Tabla 51: Zapatas cuadradas Df =2 m (Terzaghi - muestra 3- Triaxial)	130
Tabla 52: Zapatas cuadradas Df =2.5 m (Terzaghi - muestra 3- Triaxial)	130
Tabla 53: Zapatas cuadradas Df =3 m (Terzaghi - muestra 3- Triaxial)	131
Tabla 54: Factores de forma (Meyerhof - muestra 3- Triaxial)	132
Tabla 55: Factores de profundidad (Meyerhof - muestra 3- Triaxial)	132
Tabla 56: Factores de inclinación (Meyerhof - muestra 3- Triaxial)	132
Tabla 57: Zapatas cuadradas Df =1 m (Meyerhof - muestra 3- Triaxial)	133
Tabla 58: Zapatas cuadradas Df =1.5 m (Meyerhof - muestra 3- Triaxial)	134
Tabla 59: Zapatas cuadradas Df =2 m (Meyerhof - muestra 3- Triaxial)	134
Tabla 60: Zapatas cuadradas Df =2.5 m (Meyerhof - muestra 3- Triaxial)	135
Tabla 61: Zapatas cuadradas Df =3 m (Meyerhof - muestra 3- Triaxial)	136
Tabla 62: Datos obtenidos en campo (Sondeo 1)	139
Tabla 63: Datos obtenidos en campo (Sondeo 2)	139
Tabla 64: Datos obtenidos en campo (Sondeo 3)	140
Tabla 65: Datos obtenidos en campo (Sondeo 4)	141
Tabla 66: Datos obtenidos en campo (Sondeo 5)	142
Tabla 67: Datos obtenidos en campo (Sondeo 6)	143
Tabla 68: Materiales presumibles (Sondeo 1)	151
Tabla 69: Materiales presumibles (Sondeo 2)	151
Tabla 70: Materiales presumibles (Sondeo 3)	151
Tabla 71: Materiales presumibles (Sondeo 4)	152
Tabla 72: Materiales presumibles (Sondeo 5)	152
Tabla 73: Materiales presumibles (Sondeo 6)	153

Tabla 74: Resistividades en función del tipo de estrato.....	163
--	-----

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Mapa de ubicación de la zona de estudio	11
Ilustración 2: Mapa de Geología Específica de la “Estancia Miracielos”	18
Ilustración 3: Mapa Geomorfológico de la zona de estudio	21
Ilustración 4: Esquema veleta de corte y superficie de falla.....	23
Ilustración 5: Penetrómetros Cónicos	24
Ilustración 6: Uso del cono dinámico en pavimentos.	25
Ilustración 7: Esquema de ejecución del ensayo DMT.....	26
Ilustración 8: Calicata donde se aprecia la estratigrafía.....	27
Ilustración 9: Ensayo de penetración estándar	30
Ilustración 10: Equipo para ensayo SPT	32
Ilustración 11: Sismógrafo DAQ LINK III utilizado para el método ReMi.....	35
Ilustración 12: Método de levantamiento de la tomografía geoelectrica.....	35
Ilustración 13: Resultados de la tomografía geoelectrica	36
Ilustración 14: Distribución de los electrodos de la tomografía geoelectrica.....	36
Ilustración 15: Metodología de los SEV	38
Ilustración 16: Campo eléctrico tridimensional	38
Ilustración 17: Concepto de Resistencia y Resistividad	39
Ilustración 18: Distribución Wenner.....	40
Ilustración 19: Sondeo mediante distribución Wenner	41
Ilustración 20: Distribución Shlumberger.....	41
Ilustración 21: Sondeo mediante distribución Shlumberger	42

Ilustración 22: Sensor Abem Terrameter SAS 100.....	45
Ilustración 23: Tendido de cables	46
Ilustración 24: Programa WinSev para interpretación de resultados de los SEV	47
Ilustración 25: Curva de resistividades y su representación en estratos	48
Ilustración 26: Comportamiento de una onda P.....	50
Ilustración 27: Comportamiento de una onda S.....	51
Ilustración 28: Metodología del método de la refracción sísmica	52
Ilustración 29: Cultivo de Caña	55
Ilustración 30: Cultivo de Cebada.....	55
Ilustración 31: Cultivo de Alfalfa	56
Ilustración 32: CIITT (Universidad Católica de Cuenca).....	56
Ilustración 33: Estancia Miracielos.....	57
Ilustración 34: Bosque Natural	57
Ilustración 35: Uso de suelo actual campus Miracielos – Ricaurte	58
Ilustración 36: Uso de suelo de acuerdo al PDOT.....	60
Ilustración 37: Disposición de los fines educativos dentro del campus Miracielos – Ricaurte	62
Ilustración 38: Ubicación extracción de calicatas.....	70
Ilustración 39: Ubicación Sondeos Eléctricos Verticales	72
Ilustración 40: Muestra alterada calicata 1	74
Ilustración 41: Muestra alterada calicata 2	74
Ilustración 42: Muestra alterada calicata 3	74
Ilustración 43: Muestra inalterada calicata 2	75
Ilustración 24: Muestra inalterada calicata 3	76
Ilustración 45: Ensayo granulométrico muestra 2	78

Ilustración 46: Ensayo granulométrico muestra 5	78
Ilustración 47: Curva Granulométrica Muestra 1	79
Ilustración 48: Curva Granulométrica Muestra 2	79
Ilustración 49: Curva Granulométrica Muestra 3	79
Ilustración 50: Curva Granulométrica Muestra 4	80
Ilustración 51: Curva Granulométrica Muestra 5	80
Ilustración 32: Estados de un suelo en función de los límites de Atterberg	81
Ilustración 53: Ensayo de límite líquido muestra 2	81
Ilustración 54: Ensayo límite líquido muestra 3	82
Ilustración 55: Gráfica límite líquido Calicata 1.....	82
Ilustración 56: Gráfica límite líquido Calicata 2.....	82
Ilustración 57: Gráfica límite líquido Calicata 3.....	83
Ilustración 58: Gráfica límite líquido Calicata 4.....	83
Ilustración 59: Gráfica límite líquido Muestra 5.....	83
Ilustración 60: Ensayo límite plástico muestra 4	84
Ilustración 61: Clasificación AASHTO	86
Ilustración 62: Símbolos de grupo para suelos arenosos	87
Ilustración 63: Símbolos de grupo para suelos limosos y arcillosos	88
Ilustración 64: Símbolos de grupo para suelos tipo grava	88
Ilustración 65: Interpretación de la cohesión y el ángulo de fricción	91
Ilustración 66: Toma de muestras para ensayo de corte directo calicata 2.....	92
Ilustración 67: Realización del ensayo de corte directo calicata 3	92
Ilustración 68: Angulo de fricción y cohesión de la muestra 3.....	93
Ilustración 69: Angulo de fricción y cohesión de la muestra 5.....	93
Ilustración 70: Preparación de la muestra para ensayo triaxial.....	94

Ilustración 71: Grafica ensayo triaxial campus Miracielos – Ricaurte	96
Ilustración No 72: Factores de capacidad de carga N_c , N_q , N_γ	101
Ilustración No 73: Factores de capacidad de carga N_c , N_q , N_γ	103
Ilustración No 74: Asentamiento elástico de cimentaciones flexible y rígida.....	106
Ilustración No 75: Valores de α , α_{prom} , α_r	107
Ilustración No 76: Parámetros elásticos de varios suelos. Fuente: Fundamentos de la Ingeniería	108
Ilustración 77: Disposición de sondeos eléctricos verticales en el campus Miracielos – Ricaurte	137
Ilustración 78: Levantamiento de SEV 5	144
Ilustración 79: Levantamiento de SEV 4	144
Ilustración 80: Levantamiento de SEV 3	144
Ilustración 81: Cálculo de resistividades reales en WinSev (Sondeo 1).....	146
Ilustración 82: Cálculo de resistividades reales en WinSev (Sondeo 2).....	146
Ilustración 83: Cálculo de resistividades reales en WinSev (Sondeo 3).....	146
Ilustración 84: Cálculo de resistividades reales en WinSev (Sondeo 4).....	147
Ilustración 85: Cálculo de resistividades reales en WinSev (Sondeo 5).....	147
Ilustración 86: Cálculo de resistividades reales en WinSev (Sondeo 6).....	147
Ilustración 87: Gráfica Profundidades – Resistividad Real (Sondeo 1)	148
Ilustración 88: Gráfica Profundidades – Resistividad Real (Sondeo 2)	148
Ilustración 89: Gráfica Profundidades – Resistividad Real (Sondeo 3)	149
Ilustración 90: Gráfica Profundidades – Resistividad Real (Sondeo 4)	149
Ilustración 91: Gráfica Profundidades – Resistividad Real (Sondeo 5)	149
Ilustración 92: Gráfica Profundidades – Resistividad Real (Sondeo 6)	150
Ilustración 93: Estratigrafías de los puntos 1 y 2 de SEV.....	154

Ilustración 94: Estratigrafías de los puntos 3 y 4 de SEV.....	155
Ilustración 95: Estratigrafías de los puntos 5 y 6 de SEV.....	156
Ilustración 96: Estratigrafía del campus Miracielos - Ricaurte mediante métodos de exploración directa.....	158
Ilustración 97: Estratigrafía del campus Miracielos - Ricaurte mediante métodos de exploración directa.....	159
Ilustración 98: Nivel freático en el punto 3	160

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

El constante crecimiento de las ciudades debido a los diversos desarrollos en los que se ve inmersa la humanidad hace que la ingeniería civil juegue un papel muy importante en este aspecto, ya que busca satisfacer las necesidades que presenta dicho crecimiento, encargándose en la planeación, proyección, construcción y funcionamiento de diferentes proyectos civiles tales como: viviendas, hospitales, escuelas, alcantarillado, agua potable, etc.

La ingeniería civil ha estado en un entorno de constantes cambios y avances tecnológicos, los adelantos en la exploración del subsuelo mediante la geotecnia, que es una rama de la ingeniería civil, han hecho que las áreas seleccionadas para el emplazamiento de construcciones sean más seguras y confiables, ya que es de vital importancia un estudio geotécnico para conocer las características y comportamientos que presentan los suelos que servirán de base para cualquier obra civil.

En la actualidad, existen varios problemas tales como: deslizamientos geológicos, sobreexplotación de suelos, obras de saneamiento antitécnicas, estructuras sin un previo estudio del suelo, han hecho que se produzca grandes movimientos de masa y el mismo hecho del fracaso de las estructuras causando pérdidas económicas incluso de vidas humanas.

Por tal motivo se presenta este proyecto de investigación con el fin de realizar un análisis sinuoso del subsuelo mediante métodos directos e indirectos de exploración los cuales brindarán los parámetros necesarios para una correcta cimentación de las estructuras en el área de estudio seleccionada.

1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.2.1 Objetivo General

Determinar los parámetros geomecánicos del subsuelo lado N/O, campus Miracielos Ricaurte, que serán necesarios para el proyecto investigativo “Microzonificación Sísmica y Mapa de Riesgos”.

1.2.2 Específicos

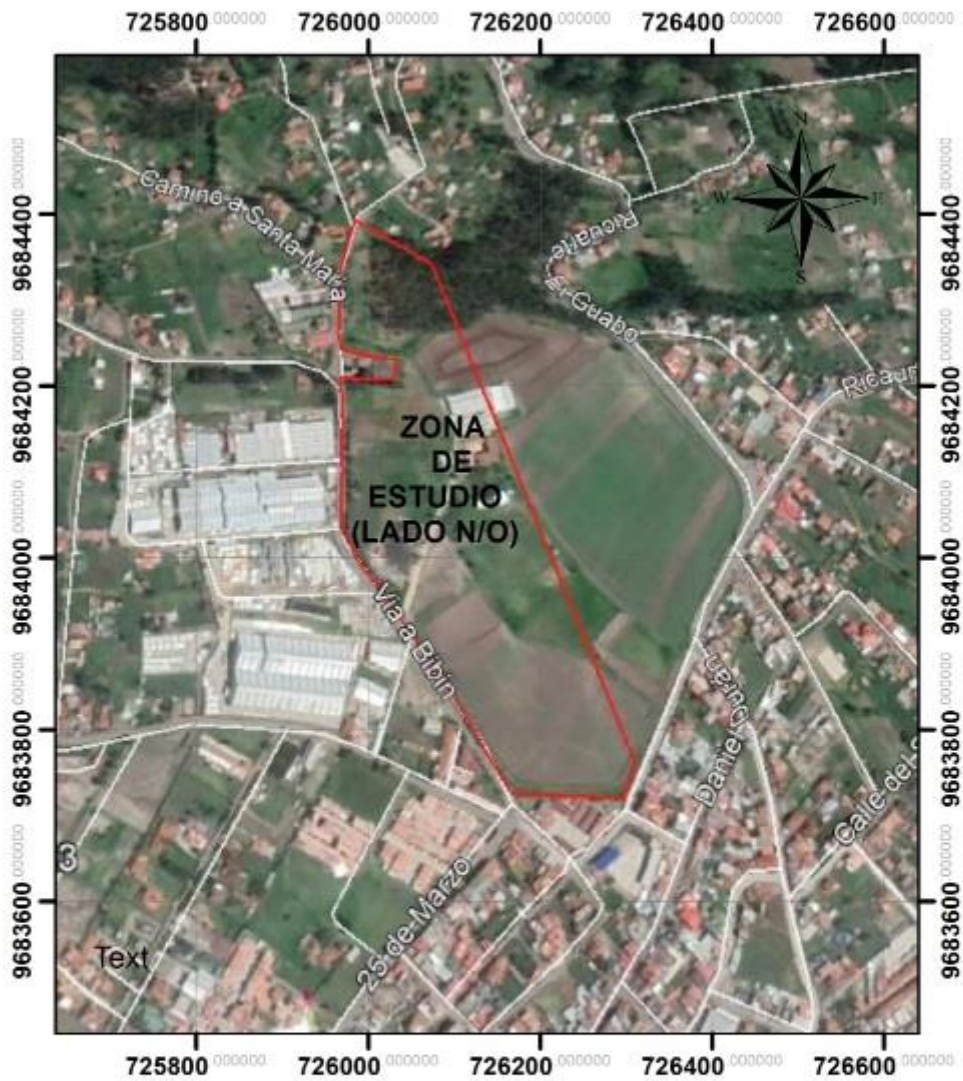
- Determinar la geología local, presencia de estructuras geológicas preliminares.
- Determinar los puntos de estudio de calicatas, y Sondeos Eléctricos Verticales (SEV).
- Realizar ensayos geofísicos SEV.
- Generar perfiles estratigráficos.
- Correlacionar SEV con resultados de calicatas.
- Realizar ensayos de laboratorio normados.
- Definir parámetros geotécnicos.

1.2 DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.2.1 Ubicación del proyecto

El predio de la Universidad Católica de Cuenca “Estancia Miracielos”, se encuentra ubicado en la zona urbana de la parroquia Ricaurte, dicha parroquia forma parte de las parroquias rurales del cantón Cuenca, en la provincia del Azuay. Este proyecto de investigación analizará el lado N/O de dicho predio, tal como se puede observar en la ilustración No 1 a continuación.

MAPA DE UBICACIÓN



Estancia Miracielos - Ricaurte
Cuenca - Azuay - Ecuador



Datos Obtenidos de Google Earth
Sistema de coordenadas: WGS 1984
Zona: UTM 17 Sur
DATUM: WGS84

Ilustración 1: Mapa de ubicación de la zona de estudio

Fuente: Autores

1.2.2 Antecedentes

La parroquia Ricaurte se encuentra ubicada en el sector este de la ciudad de Cuenca con una extensión aproximada de 14 Ha. Ricaurte es una de las 21 parroquias rurales del cantón Cuenca con una población de 19361 habitantes según el INEC de acuerdo al censo 2010 siendo esta una de las más grandes y habitadas, Ricaurte es una parroquia llena de turismo religioso y gastronómico, contribuyendo considerablemente en la dinamización de la economía local ya que el centro parroquial colinda con el área urbana de Cuenca y gran parte de su territorio se ha transformado en zona urbana, es por eso que su territorio en la actualidad presenta un cambio en el uso de suelo aumentando considerablemente la construcción de casas de salud, planteles educativos, tal como es el caso de la Universidad Católica de Cuenca, centros turísticos y urbanizaciones debido a los costos más reducidos de terrenos a comparación de la ciudad.

1.2.3 Diagnóstico del problema

En todos los proyectos de ingeniería civil es indispensable realizar un análisis del suelo y en ciertos casos del subsuelo el cual servirá de cimentación de la estructura a construirse ya que de esto dependerá su seguridad, durabilidad, confiabilidad y economía.

La importancia del estudio geotécnico reside en determinar las características físicas, mecánicas y elásticas del suelo, la profundidad a la que se deberá construir la cimentación o fundación de la estructura; mientras que, mediante la exploración indirecta, se puede conocer la estratigrafía, buzamientos, presencia del nivel freático, e inclusive; por medio de métodos indirectos como los ensayos geofísicos, la determinación de propagación de onda sísmica en suelos y rocas.

Muchas veces, equivocadamente no se considera un estudio de suelos para realizar una correcta cimentación, ya sea por ahorro de tiempo o dinero, llevando así el diseño de cimentaciones no confiables y con costos excesivos al utilizar factores de seguridad muy altos,

lo que puede causar fisuras y agrietamientos en los elementos estructurales, incluso el total fracaso de la misma a través del tiempo, lo que generaría pérdidas humanas y económicas.

Cuenca, por su situación geográfica y geológica, esta propensa a varios fenómenos naturales debidos al movimiento de masas que se tornan destructivos en las actividades de progreso, organización y utilización adecuada del suelo, al encontrarse situada sobre la cuenca geológica Azogues – Cuenca de origen marino por lo tanto, gran cantidad de su suelo está conformado por depósitos sedimentarios finos como las arcillas de la formación Loyola y areniscas de la formación Azogues, entre otras, la primera de las nombradas, muy inestable cuando está en contacto con el agua. Por lo que, es inminente realizar, un análisis exhaustivo del subsuelo que permita tener más seguridad y confiabilidad al momento de plantear un proyecto, como también para que las maniobras de control, prevención y contingencia, puedan ser más efectivas al momento de requerirlas.

1.3 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL ESTUDIO

1.3.1 Alcances

Los estudios del subsuelo se han establecido como parte fundamental y de gran importancia en la ejecución de proyectos de ingeniería civil, ya que con dichos estudios se conocen las condiciones, características y propiedades mecánicas de cada estrato, además de brindar los parámetros necesarios para un correcto diseño y posterior construcción del sistema de cimentación, que se adapte más a las necesidades de la edificación; es por ello que, un correcto estudio y exploración del subsuelo, utilizando métodos directos e indirectos como cita la Norma Ecuatoriana de la Construcción, ayudará a conocer sus características y su adecuado comportamiento con la estructura, con el fin de contar con obras confiables. Este proyecto de investigación dará a conocer los diferentes estratos que se presenten en la “Estancia Miracielos Lado N/O” utilizando métodos de exploración directa como es la extracción de calicatas a cielo abierto para conocer sus características físicas y mecánicas, y posteriormente utilizando

métodos indirectos por sondeos eléctricos verticales, los cuales permitirán conocer los diferentes perfiles geológicos del sector para así garantizar la construcción de una cimentación segura y confiable.

1.3.2 Limitaciones

De acuerdo a la información obtenida gracias a los métodos indirectos como es la exploración mediante sondeos verticales, se podrán obtener los estratos a una mayor profundidad que utilizando métodos directos como es la extracción de calicatas, en las trincheras no se puede excavar muy profundo llegando hasta los 5 metros como máximo, debido a la utilización de retroexcavadora solamente.

Inicialmente este proyecto de investigación contemplaba realizar los ensayos de penetración estándar (método directo) y la refracción sísmica (método indirecto), los mismos que hubiesen corroborado de mejor manera la información obtenida, sin embargo las circunstancias impidieron su ejecución.

1.4 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA DE LA ZONA

1.4.1 Geología

La Geología es el pilar fundamental para un estudio general del terreno donde se van a realizar proyectos de ingeniería civil, ya que conociendo este elemento se pueden planificar y dirigir más eficazmente las exploraciones de tipo directo, como son las excavaciones para la extracción de calicatas correspondientes a los ensayos geotécnicos; así como también, las de tipo indirecto, como son los sondeos eléctricos verticales que se realizó en este trabajo.

Un estudio geológico se puede realizar desde diferentes niveles de análisis. Dependiendo de la importancia y tamaño de la obra, se requiere estudiar la geología regional,

local, para aterrizar en la geología específica del lugar. A continuación, se analizará cada una de ellas para la “Estancia Miracielos”:

1.4.1.1 Geología Regional

La geología regional de la ciudad de Cuenca está formada por sedimentos detríticos continentales del terciario superior e intercalaciones volcánicas, emplazadas sobre rocas cretáceas y más antiguas que sirven de basamento, esta cuenca sedimentaria es una depresión interandina de 100 Km de largo, en sentido norte – sur por 25 Km de ancho en sentido este – oeste. (Núñez Del Arco, 2003)

Con la ayuda de muchos investigadores y proyectos que fueron realizados en este sector del país, a partir de Teodoro Wolf que, en el año de 1892 utilizó el nombre de “Areniscas del Río Azogues” en la cual pudo reconocer 2 divisiones en la geología de Cuenca; una superior más arcillosa a la cual denominó “Arcillas Pizarrosas” y a la inferior que era arenosa la denominó “Areniscas”, en la cual las Areniscas de Azogues incluían todas las formaciones superiores que fueron reconocidas por investigadores posteriores a Wolf, los cuales pudieron reconocer que la división superior era miocénica y el miembro inferior era oligocénica, posteriormente dividiendo esta geología en algunas subdivisiones que citaremos a continuación.

- Serie Paute
- Formación Piñón
- Formación Yunguilla
- Formación Biblián
- Formación Loyola
- Formación Azogues
- Formación Guapán
- Grupo Ayancay
- Formación Mangán
- Formación Santa Rosa
- Formación Turi
- Formación Tarqui
- Formación Llacao

1.4.1.2 Geología Local

En la parroquia de Ricaurte se encuentra la siguiente geología:

Formaciones Coluviales: Los depósitos coluviales se dan generalmente en la base de laderas siendo materiales que han sido transportados por la gravedad, la acción del hielo – deshielo y por el agua, estos depósitos están compuestas de suelos limo – arcillosos, finos y medianos ubicadas en sectores como la Merced, Balshum, El Cisne y Huajubamba (Ricaurte).

Terraza Antigua: compuesta de arena, limos finos, gravas en sectores como Molinopamba, Ucubamba y Tiopamba.

Formación Ayancay: compuesta de limos finos, areniscas, tobas, lutitas ubicadas al noroeste en sectores como María Auxiliadora, pampas de Zamora, La Dolorosa, Sta. María, Corazón de Jesús. (Uday González, 2010)

1.4.1.3 Geología Específica

De acuerdo a la bibliografía revisada en la “Estancia Miracielos” afloran terrazas aluviales que se describirán a continuación algunas de sus características:

Terrazas aluviales (Qt 1-5): Son depósitos de origen en su mayoría aluvial, de corrientes fluviales antiguas, estas terrazas están conformadas de una matriz areno – arcillosa, su sedimentación en esta zona remonta al periodo del Cuaternario, con una cierta incidencia glaciario en las zonas altas y medias durante las épocas de glaciación del Pleistoceno, en la zona de Cuenca cubren en extensas áreas planas con cinco diferentes niveles de terrazas, (Basabe R, 1998) “ Las terrazas (t1-t4) están formadas por bloques y boleos subangulares a redondeados y subesféricos (ocurrencia 40 y 70%) en matriz de grava areno arcillosa (ocurrencia 60 y 30%), la terraza t5 está formada por estratos erráticos de arena, limo y depósito aluvial de potencia variada.” (Basabe R, 1998)

Dentro de su comportamiento geotécnico presentan susceptibilidad a la erosión hídrica por las corrientes superficiales en taludes de corte expuesto y sus niveles freáticos son poco a medianamente profundos con terrenos generalmente afectados por flujos de agua presentando una alta permeabilidad de los depósitos. (Basabe R, 1998)

Dentro de la susceptibilidad que presentan estas terrazas aluviales, a ser terrenos inestables, se conoce que las principales causas son geológicas en la cual presentan rotura en formaciones arcillosas saturadas a la base y de tipo morfológicas en donde presentan erosión en el pie del talud y un mayor pendiente al borde de las terrazas. (Basabe R, 1998)

En la tabla No 1 a continuación se presentan características físicas y mecánicas de las terrazas aluviales presentes en la “Estancia Miracielos” de acuerdo a la bibliografía revisada:

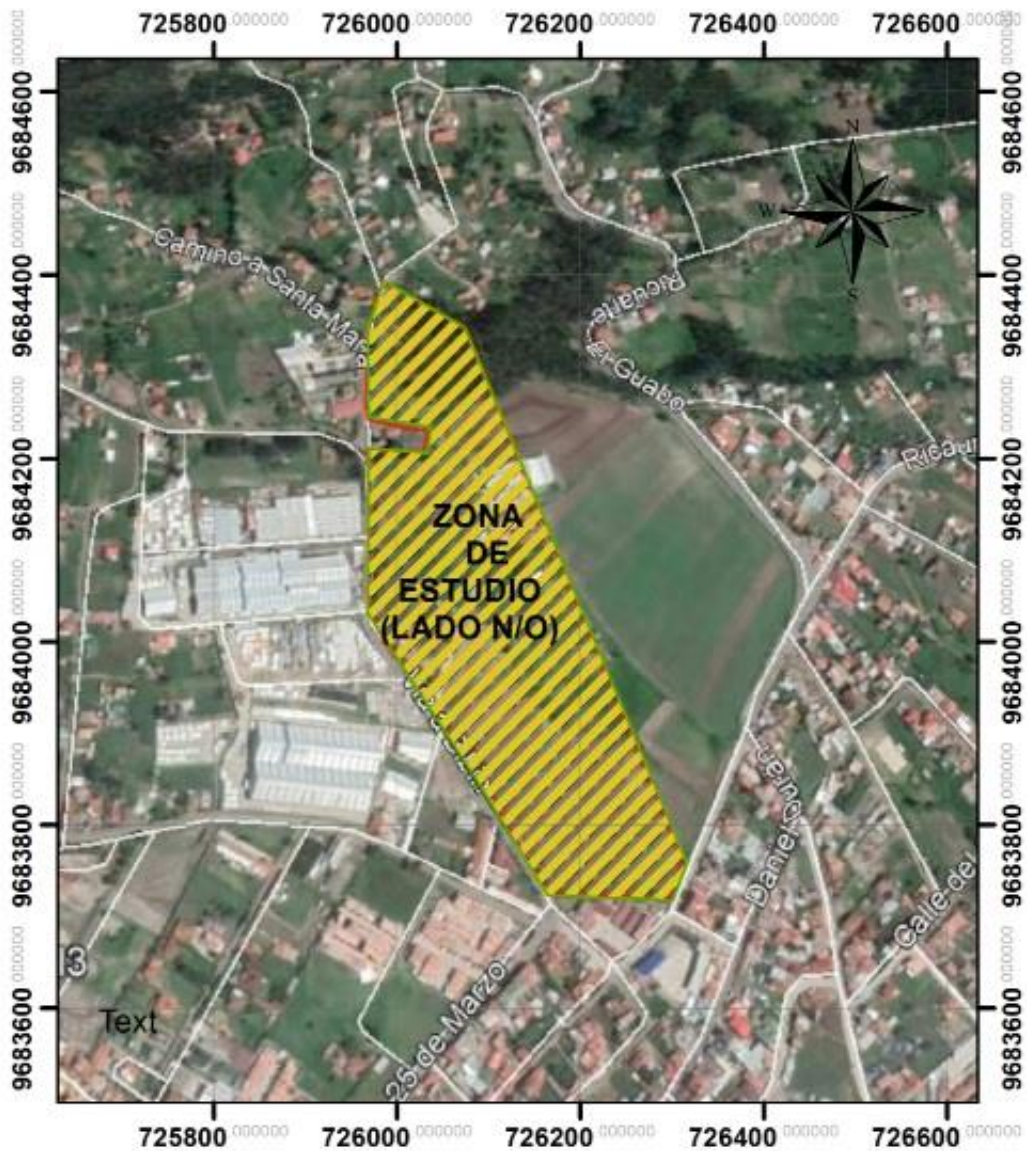
CLASIFIC. SUCS	PARAMETROS FISICO-MECANICOS							CLASIFIC. Bieniawski
	K (m/s)	γ (KN/m ³)	C' (MN/m ²)	ϕ' (°)	C _u (MN/m ²)	ϕ_u (°)	σ_c (KN/m ²)	
1) GW-SW	10 ⁻⁴ - 10 ⁻⁵	21 - 22	0	35 - 45	-	-		
2) GW-SW y CL	10 ⁻⁴ - 10 ⁻⁵	*19 - 21	0	35	-	-		

Tabla 1: Parámetros Físico – Mecánicos de las terrazas aluviales

fuelle: Proyecto PRECUPA 1998

La ilustración No 2 a continuación expone el mapa de geología específica de la zona de estudio obtenida mediante la herramienta Arcmap.

MAPA DE GEOLOGÍA ESPECÍFICA



**Estancia Miracielos - Ricaurte
Cuenca - Azuay - Ecuador**



**Fuente: Proyecto Precupa 1995
Sistema de coordenadas: WGS 1984
Zona: UTM 17 Sur
DATUM: WGS84**


LEYENDA
 TERRAZAS ALUVIALES (Qt3)

Ilustración 2: Mapa de Geología Específica de la “Estancia Miracielos”

fuelle: Los Autores

1.4.2 Geomorfología

La “Estancia Miracielos” dispone de un relieve en donde se evidencian tres tipos de relieves de acuerdo a su geomorfología, según la información obtenida del SIGTIERRAS (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca) los cuales son: Terrazas indiferenciadas, Superficie de cono de esparcimiento disectado, y vertiente heterogénea como se puede observar en la ilustración No 3 realizada en la parte inferior mediante ArcMap. A continuación, en la tabla No 2, se observa el área de cada tipo de relieve con el porcentaje que representa en el área de estudio:

DESCRIPCIÓN	ÁREA (Ha)	PORCENTAJE (%)
Vertiente Heterogénea	0.3	2.61
Superficie de cono de esparcimiento disectado	10.79	93.74
Terraza indiferenciada	0.42	3.65
TOTAL	11.51	100

Tabla 2: Relieves en la “Estancia Miracielos”

fuelle: Los Autores

1.4.2.1 Terraza indiferenciada

Es una terraza de tipo fluvial ubicada por encima de los depósitos fluviales actuales y representan la última llanura de inundación abandonada por la excavación vertical del río Machángara, situada a unos 40 metros de altura sobre el cauce del río mencionado anteriormente con una pendiente que varía cerca del 5 – 12%, formadas por conglomerados, limo arenoso, arcilla limosa. (SIGTIERRAS, 2015)

1.4.2.2 Superficie de cono de esparcimiento disectado

Esta área cuenta con una litología de depósitos aluviales presentando una pendiente suave a media (de 5 a 25%), las secciones que afectan a dicha área presentan unos niveles

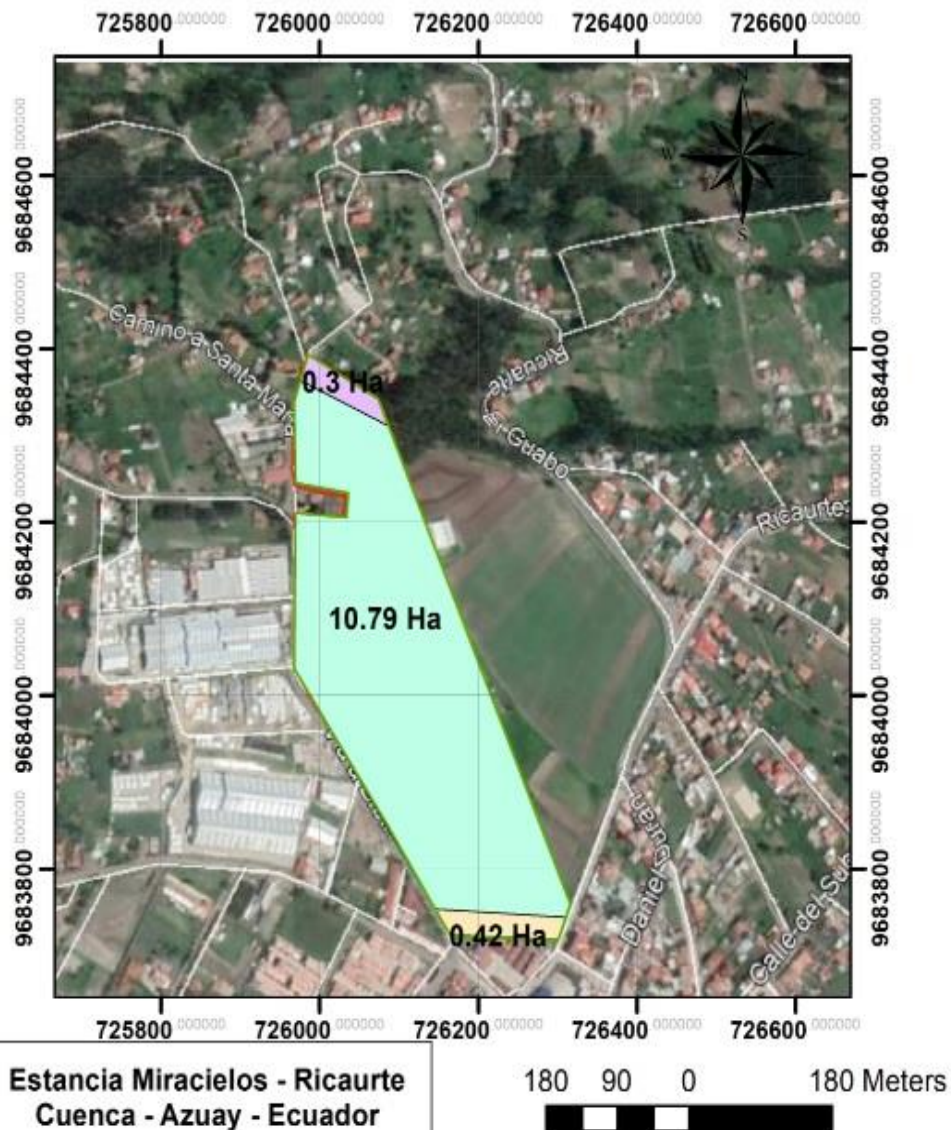
relativos que van de 5 a 50 metros, y su forma de drenaje típica de estas superficies suele ser detrítica o paralela. (SIGTIERRAS, 2015)

1.4.2.3 Vertiente heterogénea

Este tipo de laderas se caracterizan por prestar un perfil mixto de tipo irregular con pendientes que van de medias a fuertes y sus niveles son muy diversos, esta geoforma se desarrolla encima de una gran variabilidad de algunos tipos de sustratos. (SIGTIERRAS, 2015)

La ilustración No 3, expone el mapa de la geomorfología de la zona de estudio obtenida mediante la herramienta Arcmap.

MAPA GEOMORFOLÓGICO



Fuente: SIGTIERRAS 2015
Sistema de coordenadas: WGS 1984
Zona: UTM 17 Sur
DATUM: WGS84




LEYENDA	
	Terraza indiferenciada
	Superficie de cono de esparcimiento disectado
	Vertiente Heterogénea

Ilustración 3: Mapa Geomorfológico de la zona de estudio

fuelle: Los Autores

CAPÍTULO 2: REVISIÓN DE MÉTODOS DE EXPLORACIÓN DEL SUELO Y SUBSUELO.

2.1 MÉTODOS DIRECTOS DE EXPLORACIÓN

El estudio de los suelos es una parte primordial en el diseño y construcción de obras civiles, ya que los suelos deben ser identificados y caracterizados para obtener su comportamiento geotécnico, como también conocer la estratigrafía, esto permite determinar la idoneidad del sitio para el proyecto propuesto, a más de definir un diseño adecuado y seguro. Los métodos directos de exploración del suelo que cita la Norma Ecuatoriana de la Construcción son:

- Calicatas o trincheras
- Veletas
- Cono estático CPT, o dinámico DCP.
- Dilatómetro
- Ensayo de penetración estándar (SPT). (NEC-SE-GC, 2015)

2.1.1 Calicatas o trincheras

La extracción de calicatas es la primera fase a la identificación y caracterización del suelo, este método consiste en la extracción de la muestra de suelo a cierta profundidad, ya sea de forma manual o mecánica para luego poder realizar los análisis en un laboratorio.

2.1.2 Veletas

Esta prueba se realiza in-situ, y no es necesario tomar muestras de suelo ni usar un laboratorio para probar o determinar la resistencia a corte no drenada (C_u) de la zona de estudio. El equipo que se utiliza para realizar este ensayo consta de cuatro hojas en un extremo de una varilla, la altura (H) de la veleta es dos veces su diámetro (D).

Existen veletas rectangulares y trapezoidales como se muestra en la ilustración No 4:

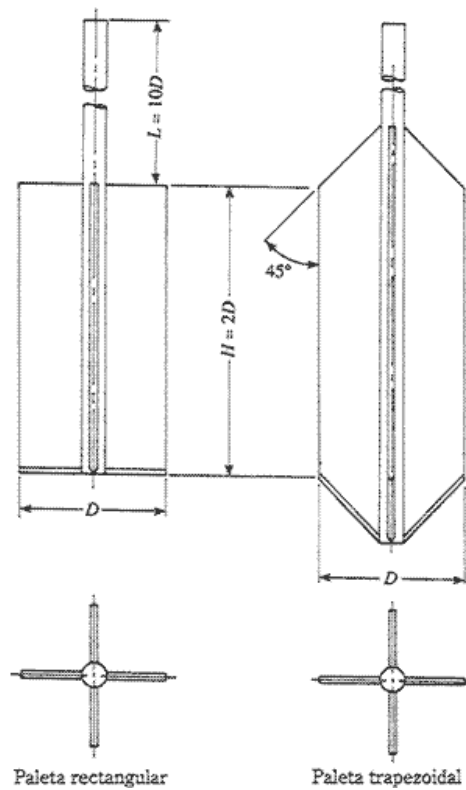


Ilustración 4: Esquema veleta de corte y superficie de falla Fuente: (Olguín R. y Ortúzar M., 2015)

El ensayo consiste en insertar la cruceta metálica de cuatro hojas estandarizada en el suelo inalterado debajo de una perforación, una vez hincado verticalmente se gira o aplica un torque en sentido horario necesario para lograr que una superficie cilíndrica sea cortada por la veleta, y finalmente se retira la veleta del suelo y se toma la lectura máxima y con esta fuerza de corte se halla entonces la resistencia unitaria de dicha área (Olguín & Ortúzar , 2015), y se vuelve a repetir el procedimiento por 10 veces.

2.1.3 Cono estático CPT y dinámico DCP

Los métodos de exploración cónica consisten en hacer penetrar una punta cónica en el suelo y medir la resistencia que el mismo brinda, este ensayo se lo utiliza en arcillas blandas, limos blandos y en depósitos de arena fina, dentro de los conos más utilizados tenemos:

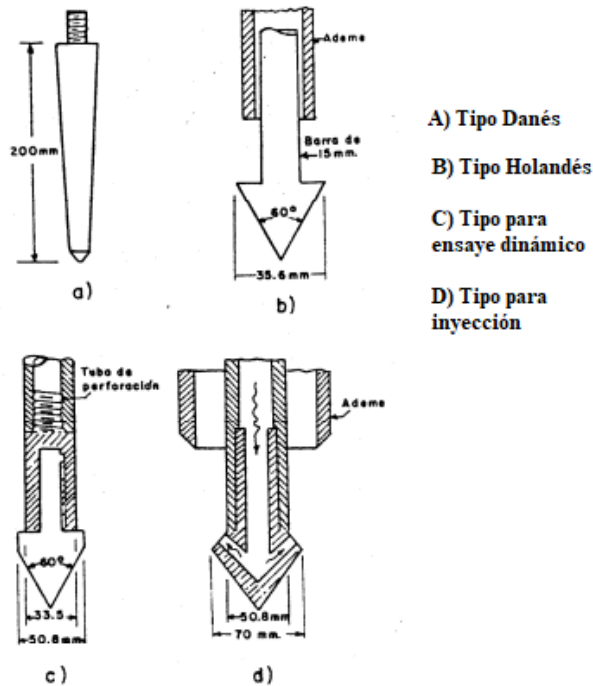


Ilustración 5: Penetrómetros Cónicos

Fuente: Fimbres Castillo 2008

Estático (CPT): El método estático solamente se realizan en materiales suaves tal como son las arcillas blandas y turbas, estos métodos fueron originados y perfeccionados en Europa netamente en Suecia, Dinamarca y Holanda (Fimbres Castillo, 2008).

Dentro de las pruebas estáticas el cono Holandés es el más utilizado, dicho cono consta de una punta cónica de 60 grados con un área de 10 cm² incorporada a una barra cilíndrica de menor diámetro que el cono, con la ayuda de un gato hidráulico se clava 50 cm en el suelo a una velocidad de 1 cm/seg y con la ayuda de un manómetro se puede observar la presión ejercida, se vuelve a repetir dicho procedimiento clavando la longitud antes mencionada sobre el ademe, mediante este procedimiento se obtiene una gráfica que representa la presión aplicada contra la profundidad lograda. (Fimbres Castillo, 2008)

Estas pruebas son útiles en lugares donde la estratigrafía sea considerablemente conocida y se requiera obtener información en un lugar determinado.

Dinámico (DCP): El método dinámico se fundamenta en las diferentes variaciones de resistencia de penetración cuando varían las características del suelo, consiste en conectar el penetrómetro a las varillas de perforación y se introduce en el suelo a ser analizado y se va contando la cantidad necesaria de golpes por cada 30 cm de penetración acorde a la profundidad de análisis requerida obteniendo luego una gráfica la cual demuestra el número de golpes contra profundidad y mediante una tabla se clasifica el material . (Fimbres Castillo, 2008)

Esté método es muy utilizado para estimar un valor del CBR en suelos compactados, el CBR es el parámetro más importante para evaluar la resistencia de la subrasante, la base y subbase, siendo un método que se ejecuta en campo. A continuación, en la ilustración No 6 se expone el uso de este equipo en campo.



Ilustración 6: Uso del cono dinámico en pavimentos Fuente: CM Ingenieros S.A.

2.1.4 Dilatómetro (DMT)

El dilatómetro es un equipo utilizado para la investigación del suelo, permite obtener valores geotécnicos tales como resistencia al corte, clasificación, peso unitario, y su funcionamiento consiste en registrar las presiones de inflado y desinflado sobre una manguera de acero circular montada sobre una de las caras de la paleta del equipo, dicha paleta está conectada por mangueras que van a lo largo de las barras que se unen con un dispositivo de control en la superficie, una de las ventajas que presenta este ensayo es de no requerir un

sondaje previo y las distorsiones que causan las paletas del dilatómetro son menores que las causadas por los ensayos SPT y CPT. (Leal Lepe, Poblete Freire, & Villalobos, 2016)

Este ensayo radica en penetrar una paleta plana delimitada al final de una sucesión de barras, mediante un equipo de penetración parecidos a los que se utilizan al realizar los ensayos SPT y CPT, luego de alcanzar la profundidad solicitada la membrana circular metálica se infla horizontalmente 1,1 mm contra el terreno mediante gas a presión. (Leal Lepe, Poblete Freire, & Villalobos, 2016) A continuación, en la ilustración No 7 se puede observar el esquema de ejecución del ensayo DMT:

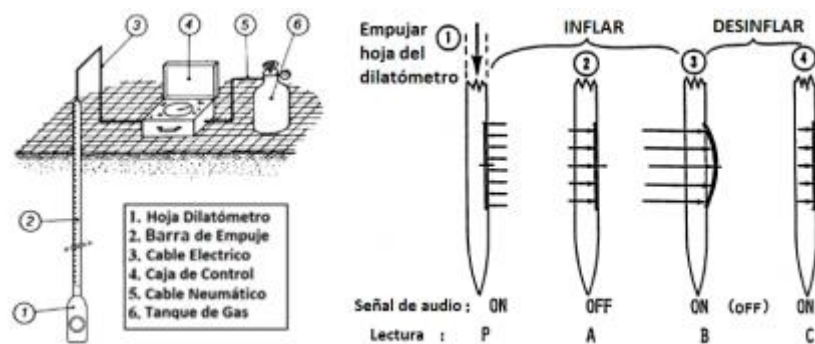


Ilustración 7: Esquema de ejecución del ensayo DMT Fuente: (Leal Lepe, Poblete Freire, & Villalobos, 2016)

2.1.5 Ensayo de penetración estándar SPT

Este método es el más utilizado de todos los métodos de exploración preliminar del suelo, tomando muestras alteradas representativas y obteniendo mejores resultados el cual proporciona información más útil, dicho método en suelos friccionantes permite conocer la densidad de los mantos, mientras tanto en suelos plásticos da una idea preliminar de la resistencia a la compresión simple. (Fimbres Castillo, 2008)

2.2 EXTRACCIÓN DE CALICATAS Y ENSAYOS SPT

Dentro de nuestro medio, los métodos más utilizados para la exploración directa del suelo es la extracción de calicatas y el ensayo de penetración estándar, los cuales se describirán a continuación:

2.2.1 Extracción de Calicatas

Este método de exploración del suelo es el utilizado en este proyecto de investigación, por lo que a continuación se describe con sus características principales:

Las calicatas llamadas también catas, son excavaciones de profundidad pequeña o media, se utilizan como métodos de exploración que proporcionan el reconocimiento geotécnico de un terreno en estudio. La extracción de calicatas es el procedimiento a cielo abierto más económico, la excavación se puede hacer manualmente o mecánicamente y permite la elaboración de algún ensayo en campo, toma de muestras alteradas e inalteradas, la inspección visual directa del suelo (estratigrafía) que normalmente proporciona la información más confiable y completa, especialmente en suelos que contengan grava (Callañaupa , Estrada, Farfán, Quispe, & Tunquipa, 2016). En la ilustración No 8 se puede apreciar la estratigrafía que se encuentra en una calicata:



Ilustración 8: Calicata donde se aprecia la estratigrafía Fuente: Los Autores

2.2.1.1 Muestras alteradas: Son muestras que no reflejan exactamente como se encontraba el suelo en su estado natural antes del muestreo.

2.2.1.2 Muestras no alteradas (inalteradas): Son muestras que reflejan exactamente como se encontraba el suelo en su estado natural antes del muestreo.

2.2.1.3 Procedimiento:

Recolección de muestras de suelo en el terreno

- Excavar o perforar un agujero de 1,50 m x 1,50 m y por lo menos una profundidad de 6m, o si esta es menor hasta alcanzar la roca madre, dicha profundidad puede variar dependiendo las condiciones en que se presenten los estratos o de acuerdo a la necesidad del estudio geotécnico.

- Si el sitio seleccionado es un suelo aluvial, posiblemente el nivel freático este antes de los dos metros de profundidad, por lo que será imposible seguir cavando y entonces se toma las muestras de la calicata a la mayor profundidad posible.

- Tomar dos muestras para contenido de humedad por cada cambio de estrato en las diferentes profundidades, y envolverlas o taparlas adecuadamente para reducir la pérdida de humedad.

- Una vez terminada la excavación examinar minuciosamente las paredes de la calicata para identificar los distintos horizontes del suelo o estratigrafía correspondiente. Hacer un dibujo de la estratigrafía, medir y anotar las profundidades de cada estrato.

Para este método es importante y necesario anotar la ubicación y elevación de cada excavación y la profundidad se establece de acuerdo a los requerimientos de la investigación. Se procede a tomar las muestras con una cantidad recomendable o necesaria correspondientes de cada excavación, identificadas convenientemente y se embalan en bolsas térmicas o

plásticas para ser trasladadas a un laboratorio de suelos para los estudios mecánicos correspondientes. (Bowles, Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil, 1978)

2.2.1.3 Toma de muestras de acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción

Si bien para la extracción de muestras para sus respectivos análisis en laboratorio las profundidades deben ser justificadas por el ingeniero geotécnico con un análisis del lugar donde serán extraídas, la Norma Ecuatoriana de la construcción brinda una tabla de la profundidad mínima para los sondeos. A continuación, en la tabla No 3 se expone la profundidad mínima de los sondeos de acuerdo al tipo de cimentación.

Tipo de obra civil subterránea	Profundidad de los sondeos
Losa corrida	1,5 veces el ancho
Zapata	2,5 veces el ancho de la zapata de mayor dimensión
Pilotes	Longitud total del pilote más largo, más 4 veces el diámetro del pilote
Grupo de pilotes	Longitud total del pilote más largo, más 2 veces el ancho del grupo de pilotes 2,5 veces el ancho del cabezal de mayor dimensión
Excavaciones	Mínimo 1,5 veces la profundidad de excavación a menos que el criterio del ingeniero geotécnico señale una profundidad mayor según requerimiento del tipo de suelo
Caso partículas: roca firme	En los casos donde se encuentre roca firme, o aglomerados rocosos o capas de suelos firmes asimilables a rocas, a profundidades inferiores a las establecidas, el 50% de los sondeos deberán alcanzar las siguientes penetraciones en material firme, de acuerdo con la categoría de la unidad de construcción: Categoría Baja: los sondeos pueden suspenderse al llegar a estos materiales - Categoría Media: penetrar un mínimo de 2 metros en dichos materiales, o dos

veces el diámetro de los pilotes en éstos apoyados
Categoría Alta y Especial: penetrar un mínimo de 4 metros o 2,5 veces el diámetro de pilotes respectivos, siempre y cuando se verifique la continuidad de la capa o la consistencia adecuada de los materiales y su consistencia con el marco geológico local

Tabla 3: Profundidad mínima de los sondeos de acuerdo al tipo de cimentación Fuente: (NEC-SE-GC, 2015)

2.2.2 Ensayo de penetración estándar (SPT)

El ensayo de penetración estándar fue desarrollado por Terzagui a finales de los años 1920 pero se estandarizo en 1958, es un ensayo que realiza en sitio y es uno de los más utilizados en el campo de la geotecnia porque es rápido, sencillo y económico. Se define como un ensayo que registra el número de golpes necesarios para introducir una toma de muestras tubular de acero hueco con puntazo ciego mediante una maza de 63.5 kg que cae repetidamente desde una altura de 75 cm (ASTMD1586, 2011). A continuación, en la ilustración No 9 se expone la realización del ensayo:



Ilustración 9: Ensayo de penetración estándar Fuente: Laboratorio de Viña

2.2.2.1 Materiales

De acuerdo a la norma ASTM D 1586 y AASHTO T 206, los materiales a emplearse los materiales son:

- Pesa de 140 lb con una altura de caída de 75 cm.

- Barreno caracol para hacer huecos superficiales superior a 6mm y menor a 162mm
- Brazos de perforación.
- Varillas de muestreo.
- Tubo partido con cresta de acero endurecido que produzca un diámetro constante de 35mm.
- Martillo y cabezote de 63.5 kg, que actuara como masa para introducir el muestreador.
- Trípode de carga.
- Flexómetro.
- Tiza.

2.2.2.2 Procedimiento

El procedimiento según *ASTM D 1586-84* que se realiza es el siguiente:

1.- Para este ensayo el muestreador se enrosca al extremo de la tubería de perforación y una vez llegado a la cota de perforación deseada, limpiar el fondo de la perforación para evitar que el material sea alterado.

2.- Se coloca el martillo en posición guiado por la tubería de perforación, elevándolo con un cable manual o mecánicamente suspendido en el trípode con polea.

3.- Se procede a marcar el extremo superior de la tubería de perforación en tres partes, cada una de 15 cm para posteriormente observar el avance del muestreador con el impacto del martillo.

4.- Se deja caer el martillo sobre el cabezote de la tubería de perforación y se contabiliza el número de golpes aplicado con la altura de caída especificada, para cada uno de los

segmentos de 15 cm marcados. No se tienen en cuenta los golpes para el primer segmento puesto que es el de penetración al terreno. Se suman los golpes aplicados para que penetre el tubo en el segundo y tercer segmento, obteniéndose así el valor de “N”, a dicho valor posteriormente se realiza una corrección que está en función del incremento de esfuerzos efectivos con la profundidad que se lo conoce como “N” corregido.

Normalmente el ensayo se ejecuta cada 3 m de profundidad, aunque en zonas complejas puede reducirse a 1,5 m. Igualmente puede ejecutarse en todo tipo de suelos, pero no está incluido la roca, ya que en estos casos se realiza con equipo a rotopercusión, siendo así los suelos granulares los que aportan una mejor información.

Él toma muestras admite tomar una pequeña cantidad de muestra aunque esta esta alterada permite realizar ensayos de granulometría y de plasticidad mediante los límites de Atterberg entre otros. A continuación, en la ilustración No 10 se muestra el equipo para realizar la prueba:

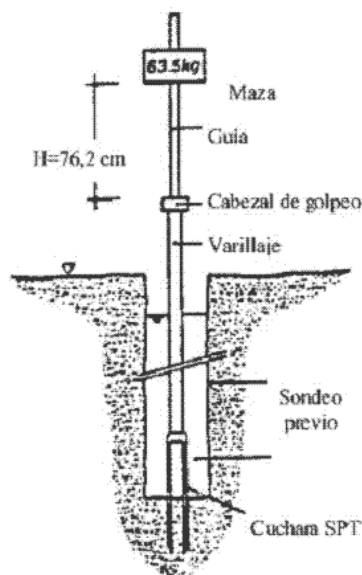


Ilustración 10: Equipo para ensayo SPT Fuente: (ASTMD1586, 2011)

2.3 MÉTODOS INDIRECTOS

Los métodos de exploración indirecta del suelo han sido desarrollados para determinar variaciones en las características físicas de los estratos del subsuelo o a su vez la existencia de rocas subyacentes a depósitos sedimentarios, estos métodos a más de su rapidez permiten tratar grandes áreas y profundidades de estudio, sin embargo estos métodos proporcionan la información aproximada de la consistencia de los estratos y buzamientos geológicos así como la presencia de nivel freático, que servirá para tomar decisiones en cualquier obra de cimentación. Los métodos indirectos de exploración del suelo que cita la Norma Ecuatoriana de la Construcción son:

- Sondeos Eléctricos verticales
- Sísmica de Refracción
- Análisis espectral de ondas superficiales
- ReMi (NEC-SE-GC, 2015)

2.3.1 Sondeos Eléctricos Verticales (SEV)

El método de resistividad eléctrica se basa en que los suelos, dependiendo de sus características muestran una mayor o menor resistividad eléctrica cuando una corriente pasa por ellos, obteniendo una correlación de los valores de resistividad y las diferentes profundidades de los estratos del subsuelo, para esto se emplea un dispositivo lineal y simétrico de electrodos.

2.3.2 Sísmica de Refracción

El método de la refracción sísmica consiste en determinar los tiempos de recorrido de las ondas primarias (ondas P) ya sean estas longitudinales o compresionales, desde un punto conocido a la cual se le conoce como fuente sísmica, hasta una serie de geófonos que sirven de sensores ubicados a lo largo de una línea de análisis y así con estos parámetros conocidos (

distancia y tiempo) se puede determinar la velocidad de propagación del medio situado entre ambos, este método de análisis del subsuelo permite obtener un perfil de V_p en función de la profundidad a lo largo de la línea de geófonos. (TresGeo, 2014)

El método de la sísmica de refracción también permite determinar las ondas de corte de manera empírica y directa según el método empleado.

2.3.3 Análisis espectral de ondas superficiales

Mediante este método geofísico de exploración del subsuelo se determina directamente la velocidad de onda cortante (V_s) “in situ” realizado en la superficie del terreno, en la cual se generan vibraciones sinusoidales estacionarias con diferentes elementos de oscilación sísmica a determinadas distancias, este procedimiento se lo realiza mediante una máquina en la cual se registran las diferentes frecuencias que han sido generadas por los elementos vibradores y esto ayuda a obtener la curva de dispersión que asocia la velocidad con la frecuencia y la longitud de onda reflejando las condiciones de rigidez del sitio y su estratigrafía. (Vargas, Vargas, & Coto, 2009)

2.3.4 Refracción de Microtremores (ReMi)

Este método no invasivo, económico y de fácil ejecución se basa en medir las vibraciones producidas en el ambiente generadas por el paso de vehículos, funcionamiento de maquinarias o microsismos que se presentan diariamente, este método puede determinar velocidades de ondas en profundidades que van desde los 10 a los 100 metros dependiendo de las propiedades de los materiales que presente el subsuelo como también de la distancia y la frecuencia que trabajen los geófonos, como resultado dará un perfil unidimensional de la velocidad de corte (V_s) en función de la profundidad de investigación deseada.

Sin embargo, existe otro método que en la actualidad es muy utilizado fruto de las investigaciones y que no consta en la Norma Ecuatoriana de la Construcción. A continuación, en la ilustración No 11 se puede observar uno de los sismógrafos utilizados para este método.



Ilustración 11: Sismógrafo DAQ LINK III utilizado para el método ReMi Fuente: Geoseismic

2.3.5 Tomografía Geoeléctrica

La tomografía geoeléctrica, es un método de resistividad multielectródico que se basa en una modelización en dos dimensiones de la resistividad del terreno, al contrario que el sondeo eléctrico vertical el cual utiliza solamente 4 electrodos para levantar una línea vertical en el subsuelo siendo necesario para cada toma de datos variar manualmente sus posiciones en el terreno que viene a ser un procedimiento lento y pesado, en el método de tomografía geoeléctrica la adquisición de datos es totalmente automatizada. En la ilustración No 12 a continuación se muestra el método de levantamiento y su resultado en la ilustración No 13.

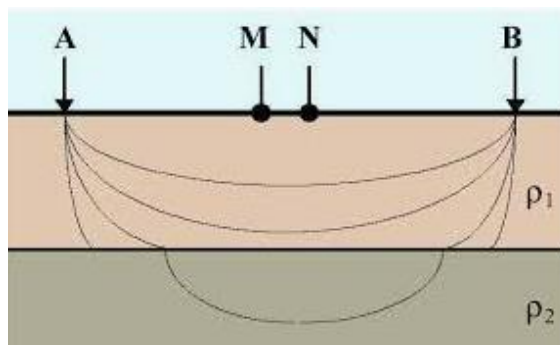


Ilustración 12: Método de levantamiento de la tomografía geoeléctrica Fuente: www.tecnicasgeofisicas.com

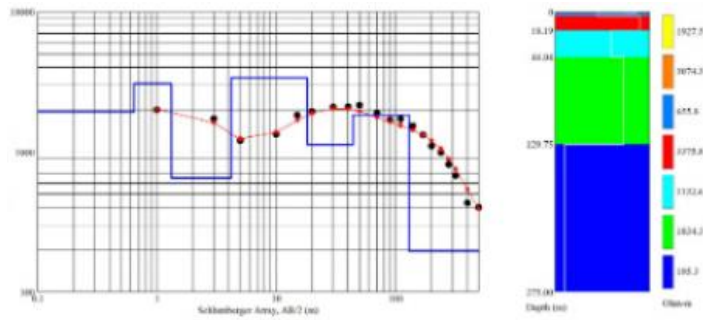


Ilustración 13: Resultados de la tomografía geoelectrica

Fuente: www.tecnicasgeofisicas.com

El objetivo de este método es mediante un considerable número de electrodos obtener una sección en dos dimensiones de resistividades reales del subsuelo determinando la presencia o no de filtraciones de agua en la profundidad como también la variación de los estratos que se encuentren en el subsuelo, para ello mediante la ayuda de un programa se podrá transformar las resistividades aparentes obtenidas en la zona de estudio a valores de resistividad real a través de modelar mediante un software. A continuación, en la ilustración No 14 se aprecia la distribución de electrodos por este método.

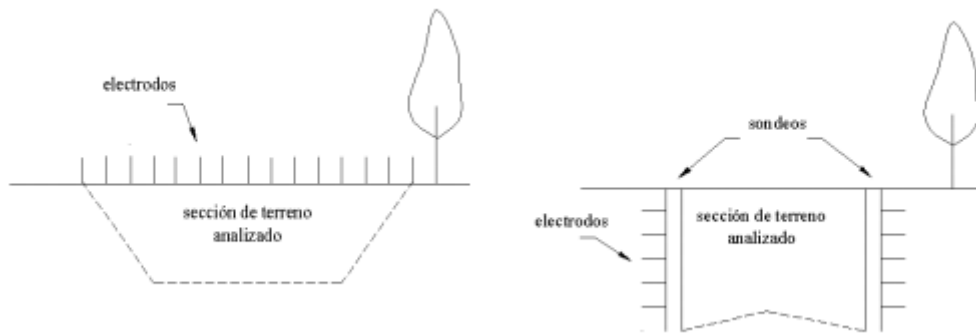


Ilustración 14: Distribución de los electrodos de la tomografía geoelectrica

Fuente: (Cataluña, 2017)

2.4 SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES

En función de los buenos resultados que ha significado y sabiendo que es un equipo que está al alcance de los ingenieros geotécnicos, en la actualidad se ha escogido este método para el estudio del subsuelo en este proyecto investigativo, el mismo que se describe a continuación:

El método de resistividad eléctrica se basa en un parámetro físico que se lo conoce como resistividad o resistencia específica, para este método se realizan las mediciones en la superficie o dentro de un pozo no entubado obteniendo los valores de resistividad aparente, el cual está en función del arreglo de la línea de emisión, se puede utilizar como una fuente de estímulo un circuito de corriente alterna o continua. A continuación, se conocerán algunos conceptos que utiliza este método de estudio del subsuelo y su funcionamiento:

2.4.1 Metodología

Este método mediante la aplicación de corriente continua mide la capacidad que poseen los terrenos naturales de conducir la corriente eléctrica, teniendo presente que solo son conductores de corriente los materiales metálicos y algunas de las sales que contienen, en ese caso normalmente, el subsuelo se comportarían como aislante de resistividad muy alta, el agua la cual tiene presencia de sales y que está contenida en el subsuelo actúa como conductor de corriente, sin embargo no es posible clasificar los terrenos por su resistividad, ya que dicha característica eléctrica está totalmente ligada al contenido de agua, la porosidad y a su resistividad.

Se puede conocer la resistividad de un terreno si se clava un par de electrodos en la superficie plana de dicho terreno, y posteriormente se hace circular corriente eléctrica de una intensidad (I) conocida, se puede registrar la caída de potencial que existe en la superficie entre dos puntos, con este procedimiento y en base a la ley de Ohm la resistividad se podrá conocer. A continuación, la ilustración No 15 expone la metodología utilizada.

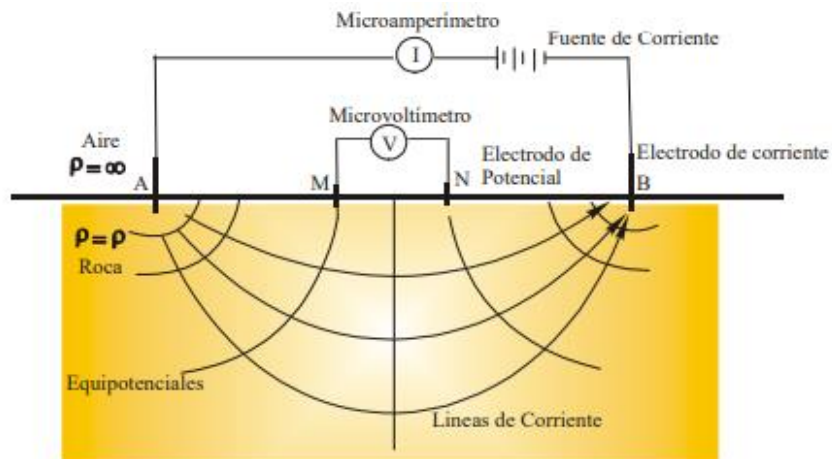


Ilustración 15: Metodología de los SEV Fuente: (García, 2011)

2.4.1.1 Superficies equipotenciales

Las superficies equipotenciales son el lugar geométrico de los puntos que tienen el mismo potencial. A continuación, en la ilustración No 16 se aprecia un campo eléctrico tridimensional el cual ha sido creado por dos cargas iguales y de signo contrario simulando el campo generado al realizar un sondeo eléctrico vertical, también se puede apreciar que las líneas de fuerza y las líneas equipotenciales son perpendiculares, de igual manera que cualquier red de flujo. (Sánchez San Román, 2005)

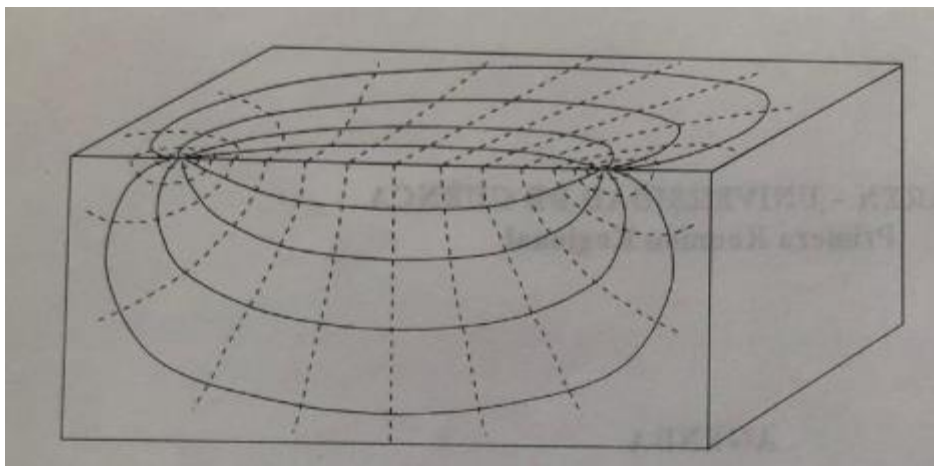


Ilustración 16: Campo eléctrico tridimensional Fuente: (Sánchez San Román, 2005)

2.4.1.2 Ley de Ohm

La ley de Ohm manifiesta que la resistencia (R) que brinda un conductor al flujo de una corriente, es totalmente directamente proporcional a la diferencia de potencial (ΔV) entre los extremos del material e inversamente proporcional a la intensidad del flujo de corriente. (García, 2011). Así la ley de Ohm queda expresada de la siguiente manera:

$$R = \frac{\Delta V}{I}$$

Donde:

$R = \text{Resistencia}$

$\Delta V = \text{Diferencia de potencial}$

$I = \text{Intensidad}$

Así mismo la Resistencia (R) del conductor es directamente proporcional a la longitud (L) del material analizado, e inversamente proporcional a su sección (A), multiplicada por una constante de proporcionalidad, conocida como resistividad (ρ) (García, 2011). A continuación, la ilustración No 17 expone el concepto de resistencia y resistividad.

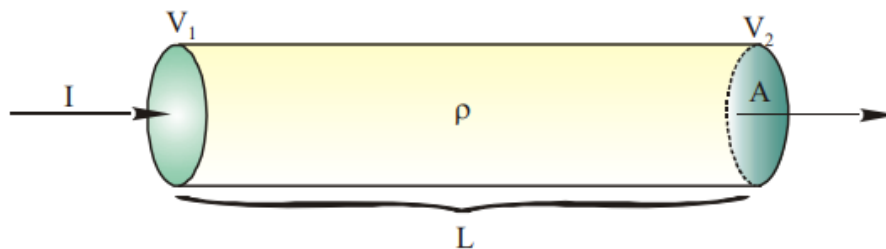


Ilustración 17: Concepto de Resistencia y Resistividad Fuente: (García, 2011)

$$R = \rho * \frac{L}{A}$$

$$\rho = \frac{\Delta V}{I} * \frac{A}{L}$$

Dicha resistividad la cual se conoce también como resistencia específica es una constante propia de cada material que no depende de su forma y la unidad de medida es el ohmio, metro

2.4.1.3 Disposiciones de electrodos para la determinación de la resistividad

Los electrodos los cuales están compuestos de estacas metálicas de acero inoxidable colocadas a lo largo de la trayectoria, se han adoptado diferentes disposiciones modelo de espaciado de electrodos, las cuales se describen a continuación:

Disposición Wenner

La resistividad aparente de la disposición Wenner es dada por el radio de voltaje de corriente en tiempo como un factor de espaciado, el valor de la resistividad aparente para esta disposición está dada por la siguiente formulación:

$$\rho_a = 2\pi a \frac{V}{I}$$

Donde:

a = Distancia entre electrodos adyacentes

V = Diferencia de voltaje entre los electrodos potenciales

I = Corriente aplicada

A continuación, en la ilustración No 18 se aprecia la distribución Wenner:

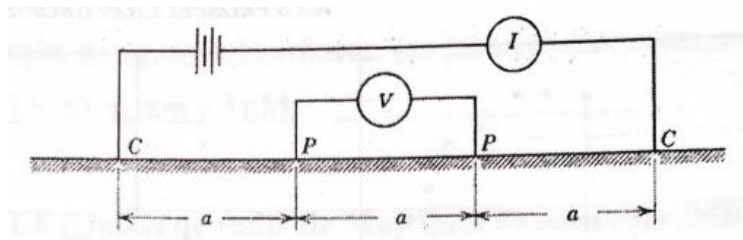


Ilustración 18: Distribución Wenner Fuente: (Kyowa engineering consultants CO.,LTD., 2005)

El sondeo mediante la disposición Wenner consiste en ir aumentando el valor de “a” progresivamente con los electrodos AMNB dejando un punto fijo P. En cuanto a la representación de datos de esta distribución nos muestra en ordenadas la resistividad aparente

medida ($\Omega \cdot m$) y en abscisas el valor de “a” (m) para cada paso. A continuación, la Ilustración No 19 nos muestra la realización del sondeo eléctrico vertical mediante la disposición Wenner.

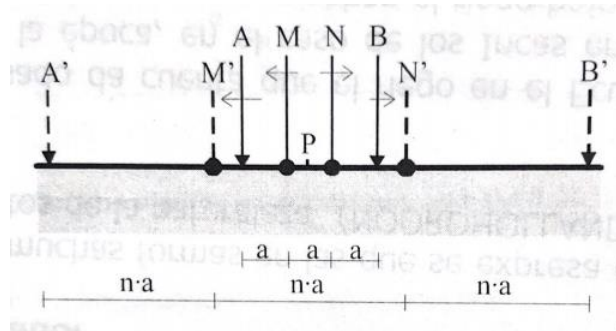


Ilustración 19: Sondeo mediante distribución Wenner Fuente: (Kyowa engineering consultants CO.,LTD., 2005)

Disposición Shlumberger

Esta disposición se utilizará en este proyecto de investigación para el estudio del subsuelo. En la disposición de electrodos tipo Shlumberger tiene la característica principal que los electrodos potenciales están estrechamente juntos, tal como se puede apreciar en la Ilustración No 20.

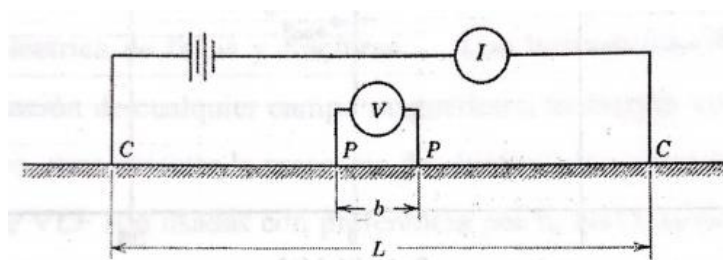


Ilustración 20: Distribución Shlumberger Fuente: (Kyowa engineering consultants CO.,LTD., 2005)

La resistividad aparente de esta distribución, está dada por:

$$\rho_a = \pi \frac{\left(\frac{L}{2}\right)^2 - \left(\frac{b}{2}\right)^2 V}{b I}$$

Donde:

L y b = Corriente y el espacio del electrodo potencial respectivamente.

$V = \text{Diferencia de voltaje entre los electrodos potenciales}$

$I = \text{Corriente aplicada}$

El sondeo mediante la disposición Shlumberger consiste en ir separando continuamente los electrodos A y B dejando los electrodos detectores M y N fijos a una distancia del punto P. En cuanto a la representación de datos de esta distribución nos muestra en ordenadas la resistividad aparente ($\Omega \cdot m$) y en abscisas la distancia $AB/2$ (m). A continuación, la Ilustración No 21 muestra la realización del sondeo eléctrico vertical mediante la disposición Shlumberger, la misma que se ocupara en este proyecto.

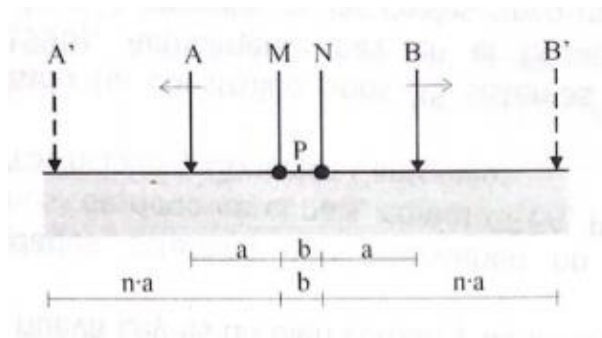


Ilustración 21: Sondeo mediante distribución Shlumberger Fuente: (Kyowa engineering consultants CO.,LTD., 2005)

2.4.1.3 Resistividades de los materiales naturales

Las diferentes resistividades de las formaciones rocosas varían en un amplio rango, las mismas que dependen netamente del material, porosidad, densidad, tamaño y forma del poro, contenido y calidad de agua. La calidad del agua hace referencia al contenido de salinidad que esta presenta, ya que a más salinidad implica una mayor conductividad.

De acuerdo a estudios y análisis realizados se ha podido obtener una tabla de resistividades de los materiales, la misma que se podrá corroborar próximamente en los análisis

del subsuelo de este proyecto de investigación. A continuación, la tabla No 4 expone la resistencia de la tierra basado en los tipos de roca:

Litología	Resistividad de tierra	
	Estratos secos	Estratos húmedos
	($\Omega \cdot m$)	($\Omega \cdot m$)
Grava	1000 – 15000	200 – 10000
Arena – grava	1000 – 7000	200 – 5000
Arena	300 – 7000	100 – 700
Conglomerado	300 – 1800	100 – 500
Piedra arenisca	200 – 2500	100 – 500
Marga	500 - 5000	100 - 1000
Toba	100 - 1000	
Cieno	Menos de 100	
Arcilla	Menos de 100	
Marga	Menos de 100	
Piedra Pizarra	Aprox. Menos de 100	
Granito	1000 – 10000	
Andesina	200 – 10000	
Basalto	20000	
Esquisto cristalino	200 – 20000	
Gneis	200 – 20000	
Lava	1000 – 20000	
Piedra caliza	60 - 500000	

Tabla 4: Resistividad de la tierra basado en los tipos de roca
consultants CO.,LTD., 2005)

Fuente: (Kyowa engineering

2.4.2 Equipo Utilizado

1. **Instrumental de medición:** Se trata de un equipo de prospección eléctrica en corriente continua que consta de dos módulos, un microamperímetro y un microvoltímetro los cuales pueden registrar sus datos en centésimas, una de la ventaja de este equipo es que disponen de filtros, los cuales ayudan a eliminar las señales que no corresponden al estímulo de corriente ayudando a estabilizar las lecturas.
2. **Electrodos:** Se utilizan electrodos de acero inoxidable de corriente (AB), en cuanto a su longitud tienden a variar desde los 50 – 90 cm aproximadamente con un diámetro de 15 mm los cuales se clavan en la superficie con la ayuda de combos, martillos, mazos, etc.
3. **Cables:** Se utilizan cables de cobre aislado, de unos 2 mm aproximadamente de sección, los cuales vienen marcados con las distancias estandarizadas para que se claven los electrodos y se puedan realizar las mediciones.

La ilustración No 22 a continuación expone el sensor ocupado en este trabajo de investigación.



Ilustración 22: Sensor Abem Terrameter SAS 100

Fuente: (www.Abem.com)

2.4.3 Procedimiento

1. Se realiza una inspección del sitio en donde se van a realizar los sondeos eléctricos verticales, el cual está condicionada por las dimensiones del terreno, la topografía el acceso y la disposición de la población para permitir dicha recolección de datos.
2. Se procede a la colocación de los electrodos que quedan firmes durante todo el ensayo.
3. Se conecta los cables al sensor que medirá las resistividades aparentes.
4. Se realiza la obtención del registro colocando los electrodos en donde esté señalado en los cables los cuales están equidistantes desde donde empieza el ensayo, teniendo muy en cuenta en no saltarse ninguna medida señalizada en los cables.

En la ilustración No 23 se puede observar el tendido de cables de este método.



Ilustración 23: Tendido de cables Fuente: Los Autores

2.4.4 Aplicaciones

1. Determinación de acuíferos: profundidad, espesor, propiedades (salinidad)
2. Fines Arqueológicos
3. Investigación de la estratificación geoelectrica del subsuelo
4. Determinación de niveles freáticos
5. Fines Mineros

2.4.5 Interpretación de resultados

Para la interpretación de resultados luego de haber realizado la toma de datos en el campo se pueden utilizar alguno de los softwares que están disponibles en la web, en este proyecto de investigación se utilizó el WinSev 6.4.1 tal como se puede observar en la ilustración No 24.

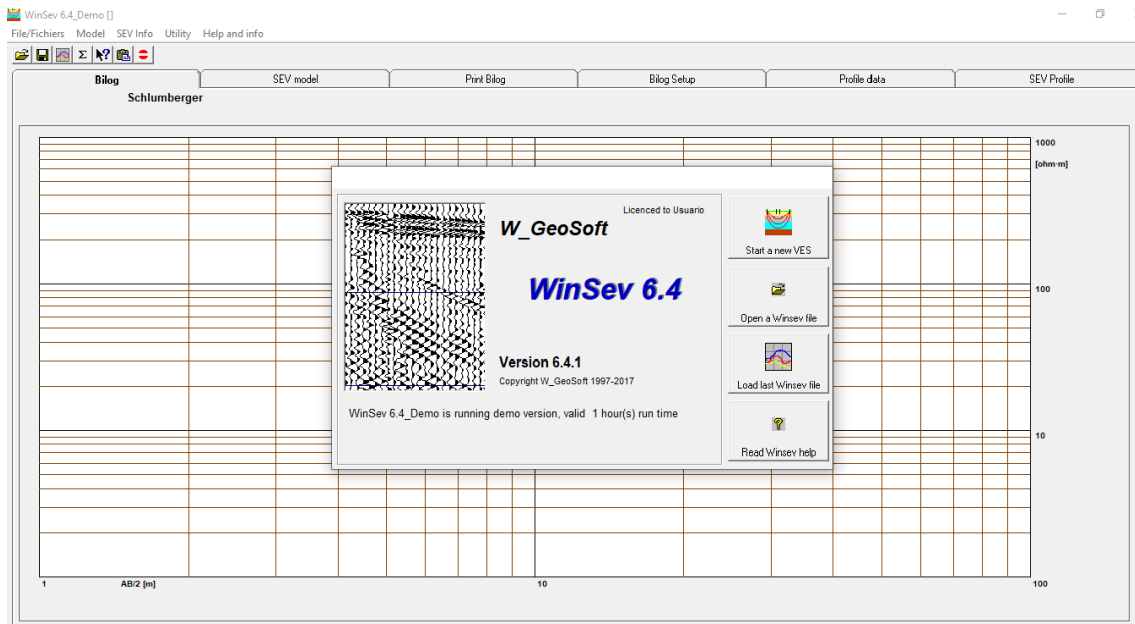


Ilustración 24: Programa WinSev para interpretación de resultados de los SEV Fuente: WinSev 6.4.1

Los resultados de las resistividades aparentes se representan en un gráfico de escala logarítmica, en donde en las abscisas se ubica la distancia $AB/2$ de cada medida, y en las ordenadas se representa la resistividad aparente de cada punto, las cuales forman una curva que es la que se interpreta para poder obtener los espesores y diferentes resistividades de los estratos geológicos de la zona donde se han realizado los Sondeos Eléctricos Verticales.

Los Sondeos Eléctricos verticales pueden realizarse sobre cualquier superposición de capas geológicas, sin embargo, para una mejor interpretación de la curva de resistividades aparentes, estas capas deben estar formadas por estratos horizontales y homogéneos. A continuación, en la ilustración No 25 se puede observar una curva de resistividades con su respectiva interpretación de acuerdo a los estratos geológicos.

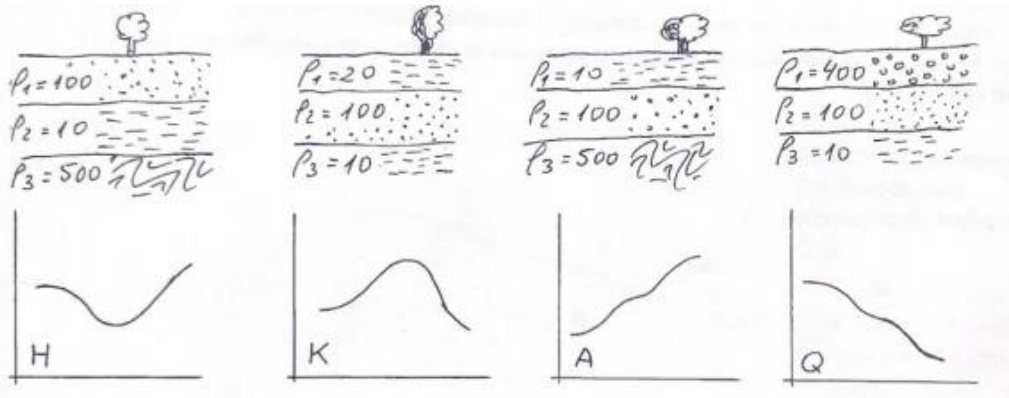


Ilustración 25: Curva de resistividades y su representación en estratos

Fuente: (Sánchez San Román, 2005)

- Como se observa en la imagen el tipo H, el segundo estrato es el menos resistivo de los tres.
- El tipo K el segundo estrato es el más resistivo de los tres.
- El tipo A va de una menor resistividad a una mayor.
- El tipo Q va de una mayor resistividad a una menor.

2.4.6 Normativa para la realización de sondeos según la Norma Ecuatoriana de la Construcción

Los sondeos eléctricos verticales son fundamentados por el ingeniero geotécnico a cargo de este análisis cubriendo completamente el área que ocuparán las unidades de construcción, la Norma Ecuatoriana de la construcción brinda una tabla para una mayor claridad sobre los sondeos. A continuación, en la tabla No 5 se muestra el número mínimo de sondeos, ya sean por métodos directos o indirectos y profundidad de los mismos por cada unidad de construcción.

CATEGORIA DE LA UNIDAD DE CONSTRUCCIÓN			
Baja	Media	Alta	Especial

Profundidad Mínima de sondeos: 6 m.	Profundidad Mínima de sondeos: 15 m.	Profundidad Mínima de sondeos:25 m.	Profundidad Mínima de sondeos: 30 m.
Número mínimo de sondeos: 3	Número mínimo de sondeos: 4	Número mínimo de sondeos: 4	Número mínimo de sondeos: 5

Tabla 5: Número mínimo de sondeos y profundidad por cada unidad de construcción.

*Fuente: (NEC-SE-
GC, 2015)*

2.5 SÍSMICA DE REFRACCIÓN

Debido al menor coste y al tipo de información que brinda dentro del campo de velocidades, la sísmica de refracción se ha vuelto un método que está usándose mucho en la actualidad, a continuación, se describe más detalladamente:

El método de sísmica de refracción se utiliza principalmente en la exploración de capas superficiales, el método maneja la determinación de la velocidad de la propagación de las ondas longitudinales (P) y en unos casos las transversales (S) del subsuelo, esta velocidad se determina a través de la elaboración y un análisis de un gráfico tiempo – distancia. A continuación, se conocerán algunos conceptos que utiliza este método de estudio del subsuelo y su funcionamiento:

2.5.1 Ondas sísmicas

Una onda sísmica es una deformación de tipo elástica, ya que va propagándose a través del suelo siendo este el medio elástico, existen dos tipos de ondas sísmicas que deben considerarse, estas son las ondas de cuerpo que recorren por el interior de la tierra y que tienen una trayectoria curva por refracciones con el cambio de densidad que presenta a corteza y existen también las ondas superficiales que se producen por la interacción de ondas de cuerpo con la superficie.

2.5.1.1 Ondas Primarias (P)

Las ondas P son ondas de cuerpo longitudinal que se produce por un movimiento de compresión y tracción en el suelo en la misma dirección de propagación, dichas ondas viajan en materiales sólidos y también líquidos. (Núñez Mardones, 2018) La velocidad de esta onda se determina por la siguiente ecuación:

$$V_p = \sqrt{\frac{K + \frac{4}{3}\mu}{\rho}}$$

Donde:

V_p = Velocidad de onda

K = Módulo de incompresibilidad

μ = Módulo de rigidez

ρ = Densidad del material

Las ondas de corte transportan mayor cantidad de energía y ayudan a indicar la rigidez del suelo, mientras un suelo es más rígido menor es la amplificación que sufre. El valor de la velocidad que se puede calcular con la ecuación descrita anteriormente permite realizar una caracterización geotécnica determinando su módulo de rigidez al esfuerzo cortante, inferir densidad, y estimar esfuerzos, así como cementación. A continuación, en la ilustración No 26 se muestra el comportamiento de una onda P.

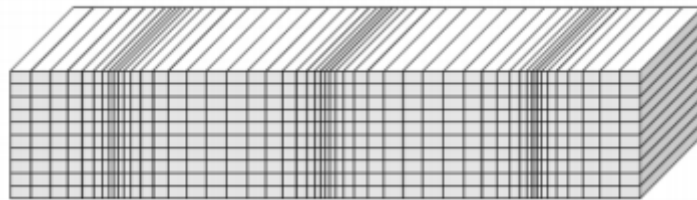


Ilustración 26: Comportamiento de una onda P Fuente: (Núñez Mardones, 2018)

2.5.1.2 Ondas de corte (S)

Las ondas de corte (S) es una onda de cuerpo transversal que se propaga solamente en medios sólidos, dichas ondas producen un movimiento perpendicular a la dirección en la que

se propaga. (Núñez Mardones, 2018) La velocidad de esta onda se determina por la siguiente ecuación:

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

Donde:

V_p = Velocidad de onda

μ = Módulo de rigidez

ρ = Densidad del material

A continuación, en la ilustración No 27 se muestra el comportamiento de una onda S.

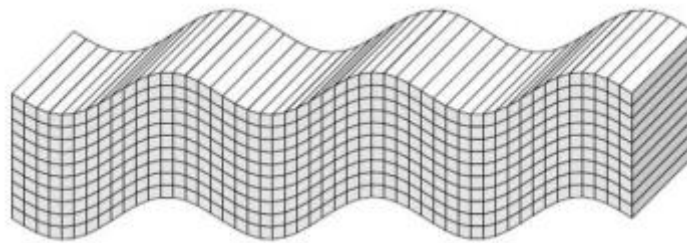


Ilustración 27: Comportamiento de una onda S

Fuente: (Núñez Mardones, 2018)

2.5.1.3 Ondas Superficiales

Existen ondas las cuales su amplitud es máxima en la superficie y nula a grandes profundidades donde dicha amplitud tiene un decaimiento exponencial, mientras se va incrementando la profundidad, esto significa que cuando la longitud de onda es pequeña su velocidad de fase dependerá de las profundidades que presenten las capas superficiales, mientras tanto si la longitud de onda es mayor, la velocidad dependerá de los estratos más profundos. Los métodos geofísicos basados en el análisis de ondas superficiales utilizan la característica dispersiva para realizar una caracterización de los suelos pues esto entrega la estratigrafía del sitio a partir de las velocidades de ondas de corte. (Núñez Mardones, 2018)

2.5.1 Metodología

1. **Fuente sísmica:** Este elemento es el que crea las ondas sísmicas, por medio de la fuente sísmica se genera energía en el interior del subsuelo utilizando explosiones, vibraciones

o percusiones, dicha energía ayuda a producir ondas elásticas de instantánea duración para que no exista superposición de ondas de otros eventos en los movimientos del terreno que detectan los geófonos.

2. **Medio de propagación:** Este es el elemento que se faculta de dispersar las ondas mecánicas en todas las direcciones, siendo estas rocas, aire o agua.
3. **Medio receptor:** Es el que reconoce los primeros arribos de las ondas sísmicas que alcanzan el trayecto de tiempo mínimo.

A continuación, la ilustración No 28 expone la metodología de la refracción sísmica.

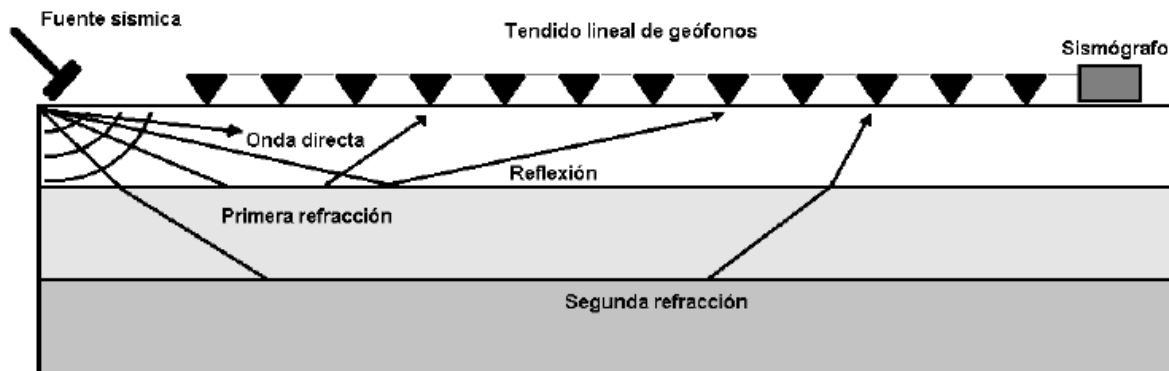


Ilustración 28: Metodología del método de la refracción sísmica

Fuente: (Núñez Mardones, 2018)

2.5.2 Equipo utilizado

1. Fuente de impacto la cual consiste en un mazo de aproximadamente 8 kg.
2. Placa de acero.
3. Detectores el cual consta de 24 geófonos verticales.
4. Cables de transmisión con una longitud de 120 m.
5. Sismógrafo el cual es el medio receptor.

2.5.3 Procedimiento

1. Se realiza una inspección del sitio que se va realizar el análisis mediante la refracción sísmica el cual está condicionada por las dimensiones del terreno, la topografía el acceso y la disposición de la población para permitir dicha prospección sísmica.
2. Se realiza una medición de los lugares donde se instalará los detectores y las fuentes.
3. Se procede a la colocación de los geófonos en la superficie del terreno tratando que estén lo más vertical posible ya que así no se pierde sensibilidad y su movimiento sea uniforme con el medio elástico.
4. Se conecta los sensores al cable transmisor.
5. Se conecta el cable al sismógrafo, y este a la computadora que procesará los datos.
6. Desde la computadora se hace una verificación que no existan circuitos abiertos originados por geófonos no conectados.
7. Antes de realizar el ensayo se realiza un ajuste procediendo a golpear la placa metálica y se observa el tiempo que tarda en llegar la señal al último detector, para luego ajustar el tiempo de registro.
8. Se realiza la obtención del registro golpeando con fuerza la placa de acero con la ayuda del mazo en ambos extremos y en el centro del perfil sísmico esto hace que se reparta toda la fuerza del golpe a lo largo de la superficie por lo que presión es pequeña y la deformación del suelo se mantiene dentro del límite elástico, en poco tiempo las señales sísmicas se registran en un dispositivo de almacenamiento.

2.5.4 Aplicaciones

1. Detección de fallas geológicas.
2. Determinación del grado de compacidad, alteración, fracturamiento, y características del terreno.

3. Estabilidad de taludes y deslizamientos.
4. Investigaciones hidrológicas.
5. Caracterización de macizos rocosos en la minería.
6. Permite la identificación de rellenos artificiales.
7. Obtención de módulos dinámicos de elasticidad de suelo mediante velocidad de onda P y S.

CAPÍTULO 3: TRABAJO DE CAMPO

3.1 USO DE SUELO EN EL PREDIO

3.1.1 Uso de suelo actual

El uso de suelo del lado N/O campus miracielos Ricaurte en la actualidad dispone de tres usos a continuación se detalla cada uno de ellos:

3.1.1.1 Área cultivada: Dentro de los cultivos que asume el campus sobresale el cultivo de cebada, alfalfa, mora y caña, los cuales son tratados y cultivados por estudiantes de la facultad de agronomía de la Universidad Católica de Cuenca. El área que ocupa los cultivos es de 8.27 hectáreas aproximadamente. En las ilustraciones No 29, No 30, No 31 se puede observar los cultivos.



Ilustración 29: Cultivo de Caña Fuente: Los Autores



Ilustración 30: Cultivo de Cebada Fuente: Los Autores



Ilustración 31: Cultivo de Alfalfa Fuente: Los Autores

3.1.1.2 Fines Educativos: Con un área de aproximadamente 2.08 hectáreas, la Universidad Católica de Cuenca en su sede “Miracielos – Ricaurte” cuenta con el centro de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología (CIITT), el cual cuenta con diversas áreas entre las que figuran eléctrica, mecánica, telecomunicaciones, software, luminotecnia y construcción, el mismo que permite el desarrollo y la innovación con la ayuda de nuevos conocimientos científicos. A continuación, en la Ilustración No 32 se puede observar el CIITT.



Ilustración 32: CIITT (Universidad Católica de Cuenca) Fuente: Los Autores

Otros fines educativos que posee el campus es la “Estancia Miracielos” la misma que sirve para recibir a jóvenes universitarios de distintas partes del mundo, con el motivo de vigorizar el proceso de internacionalización que lleva acabo, forjando un cambio en el paradigma educativo trabajando en conjunto con las universidades del país y el mundo. A continuación, en la Ilustración No 33 se observa la Estancia Miracielos.



Ilustración 33: Estancia Miracielos Fuente: Los Autores

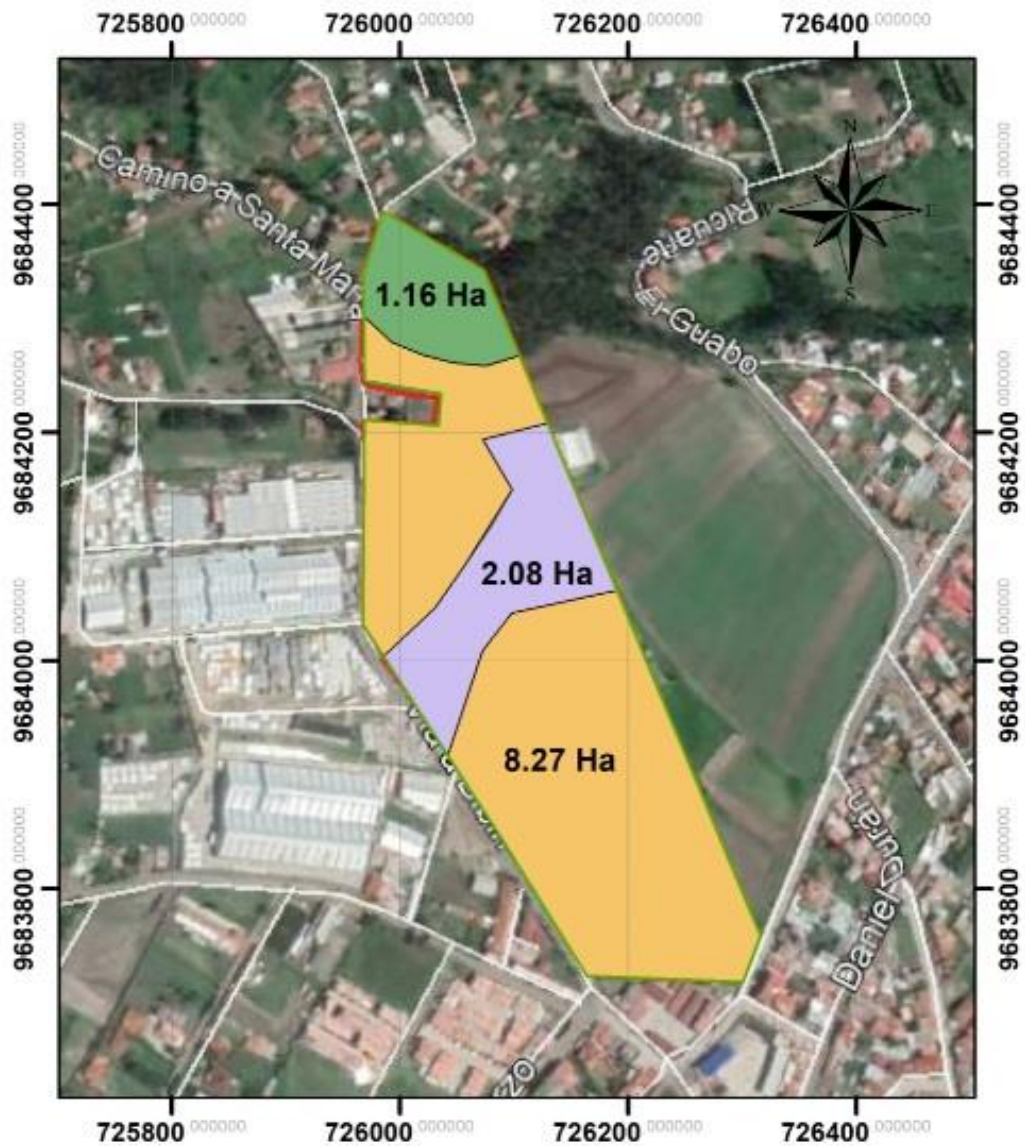
3.1.1.3 Bosque Natural: Con un área de aproximadamente 1.16 hectáreas el lado N/O del campus Miracielos - Ricaurte cuenta con un bosque natural de Eucalipto, tal como se puede observar en la Ilustración No 34.



Ilustración 34: Bosque Natural Fuente: Los Autores

A continuación, en la ilustración No 35 se expone la distribución del uso de suelo actual en este campus.

MAPA DE USO DE SUELO ACTUAL



**Estancia Miracielos - Ricaurte
Cuenca - Azuay - Ecuador**

**Fuente: Los Autores
Sistema de coordenadas: WGS 1984
Zona: UTM 17 Sur
DATUM: WGS84**

140 70 0 140 Meters



LEYENDA

- Área Cultivada
- Fines Educativos
- Bosque Natural

Ilustración 35: Uso de suelo actual campus Miracielos – Ricaurte

Fuente: Los Autores

3.1.2 Uso de suelo de acuerdo al Plan de Ordenamiento Territorial

De acuerdo al Plan de Ordenamiento Territorial de la parroquia Ricaurte 2015 – 2030, el uso de suelo destinado para el campus Miracielos – Ricaurte se puede observar en la tabla No 6.

Uso	Descripción	Área (ha)
Cultivo	Cultivo de maíz asociado generalmente con fréjol.	10.34
Formación Mixta	Formación mixta, arbustiva – herbácea, siempre verde, de abierta a muy abierta.	1.14

Tabla 6: Uso de suelo de acuerdo al PDOT

Fuente: Instituto Geográfico Militar

En la ilustración No 36 se puede observar el uso de suelo del campus Miracielos Ricaurte de acuerdo al PDOT.

MAPA DE USO DE SUELO DE ACUERDO AL PDOT

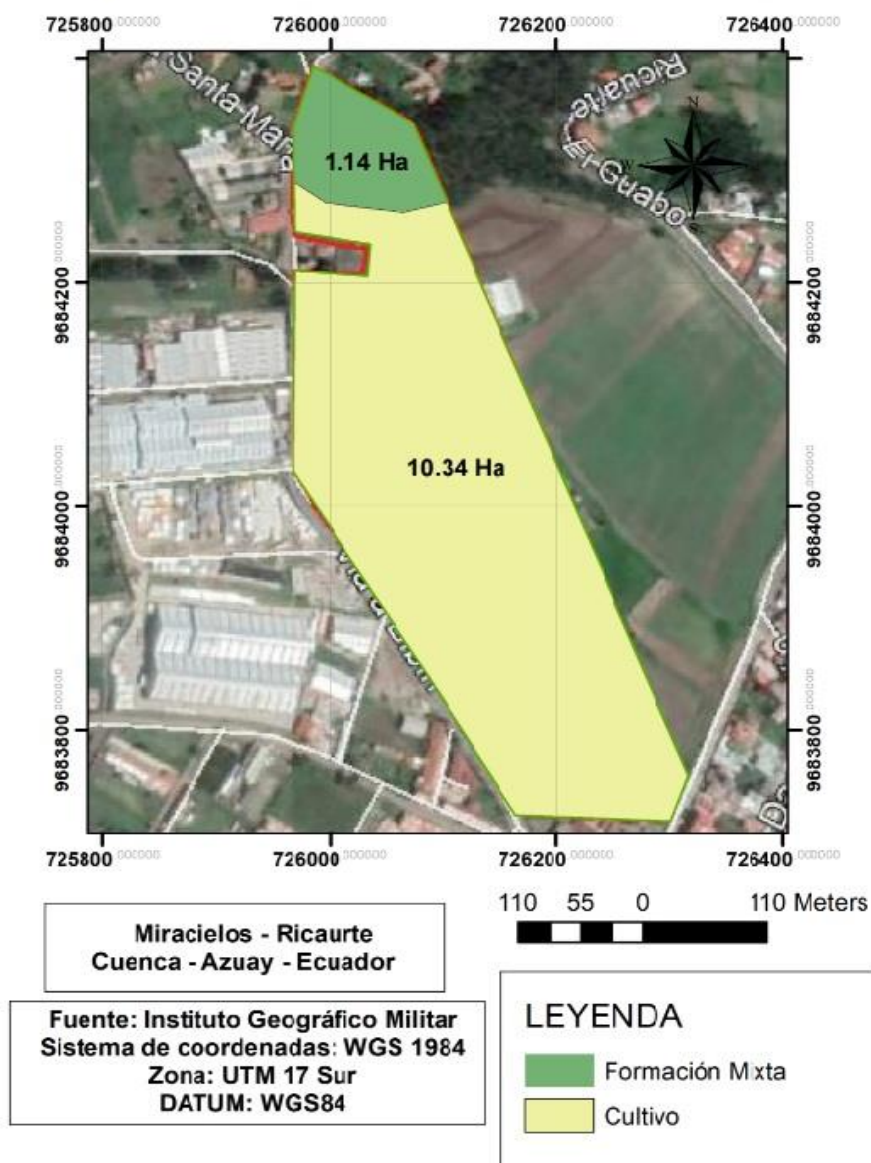


Ilustración 36: Uso de suelo de acuerdo al PDOT

Fuente: Los Autores

3.1.3 Uso de suelo proyectado

De acuerdo a la información obtenida por medio de la jefatura de construcción de la Universidad Católica de Cuenca se proyecta a largo plazo construir un complejo universitario en el cual acoja a la gran mayoría de carreras que oferta esta casa de estudios en su matriz Cuenca, dicho complejo consta de edificios que se ocuparan para aulas, un hospital para el área de salud y bienestar, bares, áreas de investigación, auditorios, bibliotecas, complejo deportivo, entre otros. Por lo tanto, el uso de suelo proyectado del

campus Miracielos – Ricaurte será con fines educativos. A continuación, en la tabla No 7 se expone el área que ocupará cada uno de los mismos en el lado N/O del campus.

Tipo	Área (m2)
Bosque Natural	6567
Bienestar y Salud (Incluido Hospital)	26567
Investigación y protección	14279
Administrativa	4045
Bares	1500
TICS	2910
Educación, Artes y Humanidades	2910
Cultural, Auditorio, Biblioteca	13647
Deportiva	26776

Tabla 7: Área de los distintos fines educativos

Fuente: Los Autores

A continuación, la ilustración No 37 expone la disposición de los fines educativos dentro del campus Miracielos – Ricaurte.

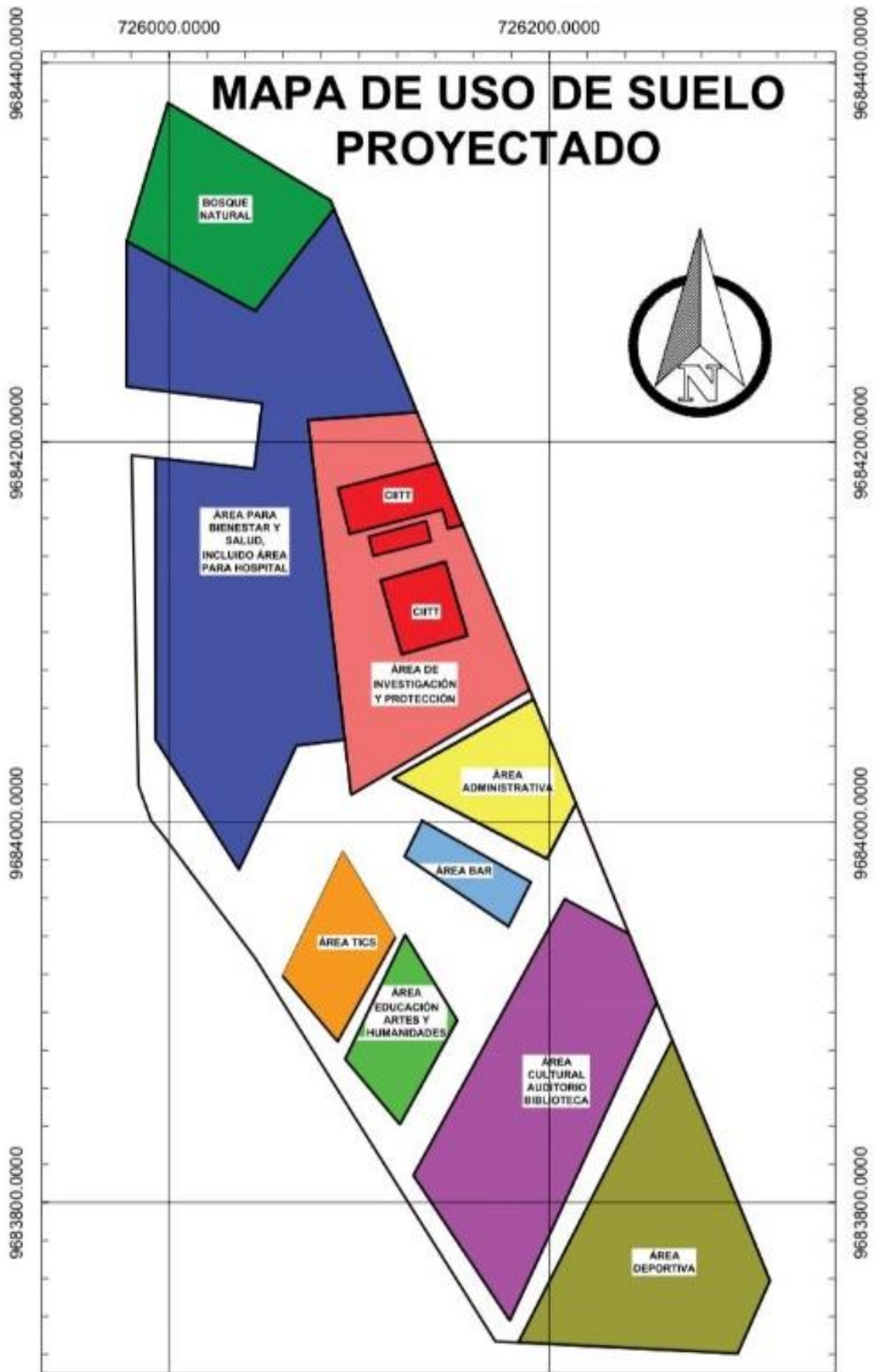


Ilustración 37: Disposición de los fines educativos dentro del campus Miracielos – Ricaurte

Fuente: Jefatura de Construcción (Universidad Católica de Cuenca)

3.2 POSIBLES ESTRUCTURAS A EMPLAZARSE

3.2.1 Clasificación de las posibles estructuras

De acuerdo la información proporcionada por la jefatura de construcción de la Universidad Católica de Cuenca, se observa las diferentes edificaciones que se tiene previsto construir en el futuro dentro del Campus Miracielos-Ricaurte, las mismas que una vez emplazadas transmiten al suelo y subsuelo diferentes intensidades de carga, y según las características geomecánicas del mismo se podrá optar por la cimentación más adecuada para dichas edificaciones, con el objetivo de que sean seguras y confiables. A continuación, en la tabla No 8 obtenida de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (Peligro Sísmico) se expone el tipo de uso, destino e importancia de la estructura, la misma que sirve para realizar una clasificación de las edificaciones a construirse en el campus Miracielos – Ricaurte.

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Tipo
Edificaciones esenciales	Hospitales, clínicas, Centros de salud o de emergencia sanitaria.	
	Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil, garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias.	
	Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras sustancias anti-incendio.	A
	Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias peligrosas.	
Estructuras de ocupación especial	Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente	B
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores.	C

A continuación, en la tabla No 9 se expone una clasificación de las posibles estructuras a construirse de acuerdo al tipo de uso, destino e importancia de cada una de ellas, como también el área de construcción de cada una de las unidades académicas.

Edificación	Área de construcción en planta baja (m2)	Tipo
Bienestar y Salud (Incluido Hospital)	15741	A
Investigación y protección	Sin Información	A (Sustancias Peligrosas en laboratorios)
Administrativa	2640	B
Bares	Sin Información	C
TICS	1400	B
Educación, Artes y Humanidades	1400	B
Cultural, Auditorio, Biblioteca	8800	B
Deportiva	Sin Información	B

Tabla 9: Clasificación de las estructuras a emplazarse en el campus Miracielos – Ricaurte
Autores

Fuente: Los Autores

3.2.2 Consideraciones para el diseño

Las cargas que deberán considerarse para el cálculo y diseño de las estructuras que se emplazarán en el campus Miracielos – Ricaurte tienen que estar regidas en la Normativa vigente de la construcción en el Ecuador, en este caso la Norma Ecuatoriana de la Construcción establecida en el año 2015, la misma que expone algunos tipos de cargas a considerarse entre ellas las cargas permanentes o llamadas también cargas muertas, cargas variables, y

complementadas por las cargas accidentales que hace referencia a las cargas sísmicas. A continuación, se detalla cada una de estas cargas.

3.2.2.1 Cargas permanentes (carga muerta)

Las cargas muertas están establecidas por los pesos de todos los elementos estructurales que constituyen la estructura, dentro de dichos elementos se encuentran: muros, paredes, instalaciones sanitarias, recubrimientos, máquinas, instalaciones eléctricas, además de eso todo artefacto que se encuentre integrado permanentemente a la estructura. (NEC-SE-CG, 2015)

3.2.2.2 Carga viva

La carga viva que se utilizará para el diseño de los elementos estructurales dentro de las edificaciones depende de la ocupación a la que esté destinada dicha edificación, estas cargas están conformadas por los pesos de las personas, equipos, muebles, mercadería en transición, accesorios móviles o temporales, etc. (NEC-SE-CG, 2015)

3.2.2.3 Carga de viento

La carga de viento es producida por la acción del mismo, debido a las corrientes frías y calientes, estos movimientos de las masas de aire, crean diferentes presiones sobre las estructuras que se localizan en su trayecto, las cargas de viento varían según la localidad geográfica, la topografía y otros factores. Esta carga es muy importante a considerarse dentro del diseño y cálculo de las edificaciones del campus Miracielos – Ricaurte, ya que al ser edificios tienen unas fachadas muy extensas y las presiones que ejercerá el viento serán considerables.

3.2.2.4 Carga Sísmica

La carga sísmica es una carga accidental de tipo horizontal oscilatoria que soporta la estructura cuando hay un sismo o terremoto, que deberá ser considerada para el diseño de las edificaciones del campus, ya que la ciudad de Cuenca se encuentra en una zona sísmica II

considerada según la Norma Ecuatoriana de la Construcción como alto peligro sísmico con un valor máximo de la aceleración de la gravedad en roca de “Z” = 0.25 g.

La estimación del efecto sísmico en las edificaciones o construcciones se realiza por los métodos llamados estáticos o dinámicos, dependiendo del tipo y la importancia de cada construcción, estos métodos tienen en cuenta el desarrollo de actividad sísmica, las cargas actuantes, la ocupación de las estructuras, las propiedades dinámicas del terreno y las características físicas y geo-mecánicas de los materiales que lo conforman. (ITIEM, 1987). Dentro de algunas consideraciones que se realizan para el diseño sismorresistente de las estructuras según el “Código de Construcciones Sismorresistentes para la provincia de Mendoza” tenemos.

- Pesos y cargas a considerar para la determinación de las solicitaciones por sismo.
- Clasificación de los edificios según el destino y el tipo estructural.
- Vinculación en planta de los distintos elementos resistentes.
- Ductilidad de la estructura.
- Influencia del terreno en la importancia de las cargas por sismo.
- Métodos para calcular el Periodo Propio.
- Coeficiente Sísmico.
- Corte sísmico en la base.
- Distribución del corte sísmico en altura.
- Vuelco.
- Torsión en planta.
- Método estático.
- Conceptos sobre análisis modal. (ITIEM, 1987)

3.2.2.5 Combinaciones de cargas

Según la Norma Ecuatoriana de la Construcción todas las construcciones deberán diseñarse para resistir las combinaciones de las cargas permanentes, las cargas variables, y las cargas accidentales, en donde las estructuras, sus elementos y las cimentaciones deben ser diseñados de tal manera que la resistencia de diseño sea mayor que los efectos que producen las cargas incrementadas. A continuación, se expone algunas de las combinaciones de carga que se debe considerar al momento del cálculo y diseño de las edificaciones del campus Miracielos – Ricaurte.

$$\textit{Combinación 2} = 1.2 D + 1.6 L + 0.5(Lr \text{ ó } S \text{ ó } R)$$

$$\textit{Combinación 3} = 1.2 D + 1.6(Lr \text{ ó } S \text{ ó } R) + (L \text{ ó } 0.5W)$$

$$\textit{Combinación 4} = 1.2 D + 1.0 W + L + 0.5 (Lr \text{ ó } S \text{ ó } R)$$

$$\textit{Combinación 6} = 0.9 D + 1.0 W$$

$$\textit{Combinación 7} = 0.9D + 1.0E$$

Donde:

D = Carga Permanente

L: Sobrecarga (carga viva)

Lr: Sobrecarga cubierta

E: Carga sísmica

S: Carga granizo

R: Carga lluvia

W: Carga viento (NEC-SE-CG, 2015)

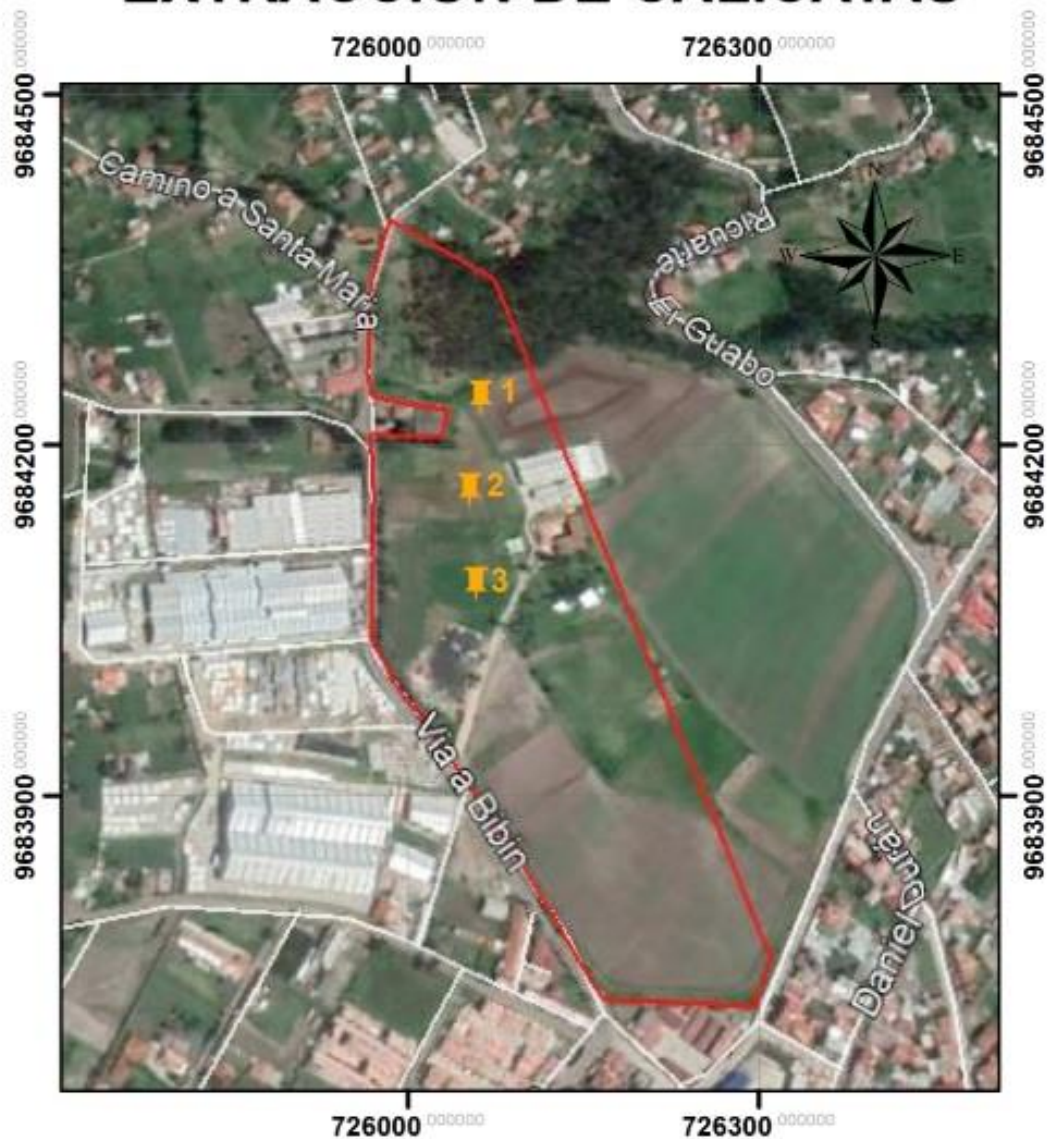
Estas combinaciones serán consideradas por parte del ingeniero estructural, para elegir la más adecuada para un diseño de estructuras confiables y seguras.

3.3 UBICACIÓN DE PUNTOS DE ESTUDIO

3.3.1 Ubicación de extracción de calicatas y muestras

La extracción de muestras es la primera fase para el previo estudio de la identificación de los suelos y su determinación de parámetros geomecánicos, la misma consiste en la extracción de la porción de suelo ya sea alterada o inalterada, la extracción se puede hacer de forma manual o mecánica, en nuestro caso se realizó de forma mecánica con la ayuda de una retroexcavadora, se extrajeron un total de 5 muestras en 3 calicatas de estudio, las mismas fueron seleccionadas en función de la variación de los estratos que se encontraban en la excavación. A continuación, la ilustración No 38 muestra los puntos de la extracción de calicatas dentro del campus Miracielos – Ricaurte.

MAPA DE UBICACIÓN DE EXTRACCIÓN DE CALICATAS



Miracielos - Riquarte
Cuenca - Azuay - Ecuador

140 70 0 140 Meters



Datos Obtenidos de Google Earth
Sistema de coordenadas: WGS 1984
Zona: UTM 17 Sur
DATUM: WGS84

LEYENDA

 CALICATAS

Ilustración 38: Ubicación extracción de calicatas

Fuente: Los Autores

A continuación, en la tabla No 10 expone las coordenadas de cada punto de estudio de la extracción de muestras.

Extracción	Este	Norte
1	726062.54	9684240.02
2	726053.28	9684160.64
3	726058.57	9684079.94

Tabla 10: Coordenadas de los puntos de extracción de calicatas

Fuente: Los Autores

3.3.2 Ubicación de sondeos eléctricos verticales

Para el análisis y estudio de los estratos del subsuelo en el campus Miracielos – Ricaurte se utilizó el método geofísico de Sondeos Eléctricos Verticales, con un total de 6 sondeos que cubren toda el área de estudio. A continuación, la tabla No 11 muestra las coordenadas de los puntos de los Sondeos Eléctricos Verticales dentro del campus Miracielos – Ricaurte.

Sondeo Eléctrico Vertical	Este	Norte
1	726068.14	9684237.03
2	726058.88	9684177.50
3	726048.29	9684100.77
4	726097.24	9683952.60
5	726144.87	9683869.26
6	726205.72	9683788.56

Tabla 11: Coordenadas de Sondeos Eléctricos Verticales

Fuente: Los Autores

A continuación, la ilustración No 39 expone la ubicación de los puntos donde se realizaron los Sondeos Eléctricos Verticales dentro del campus Miracielos – Ricaurte.

MAPA DE UBICACIÓN DE SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES

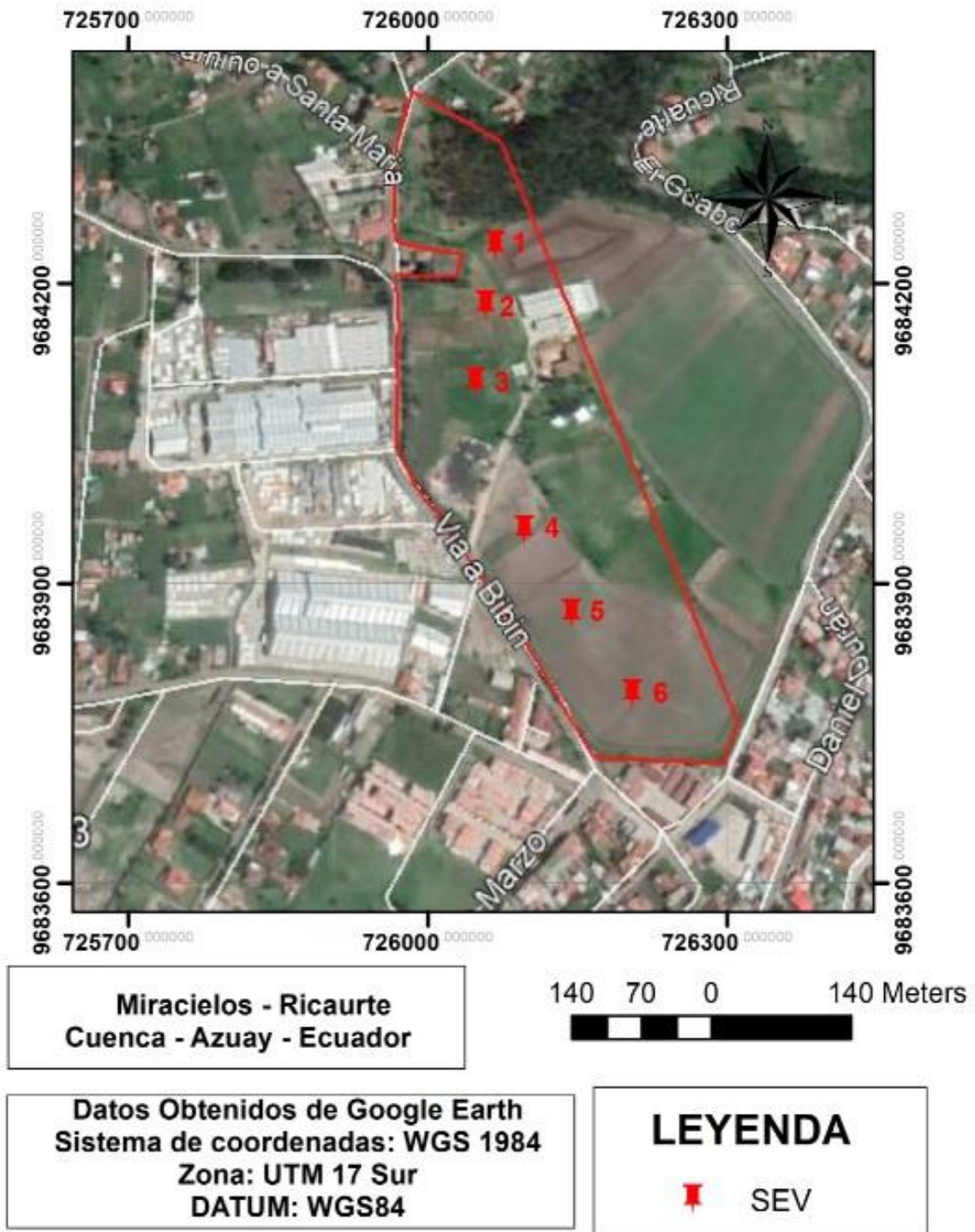


Ilustración 39: Ubicación Sondeos Eléctricos Verticales

Fuente: Los Autores

3.4 ENSAYOS DE LABORATORIO

3.4.1 Extracción de muestras

3.4.1.1 Muestras Alteradas

Las muestras alteradas son las que se altera la estructura interna del suelo, estas muestras se obtuvieron de acuerdo a la variación de los estratos en los puntos de estudio, dichas muestras se guardaron en sacos para su posterior traslado al laboratorio. Estas muestras se extrajeron con la ayuda de la retroexcavadora y con herramientas de mano; estas se usan para: contenido de humedad, análisis granulométrico, límites de Atterberg, y pruebas de capacidad portante en el caso que no haya habido como obtener una muestra inalterada para dicho ensayo. En este proyecto de investigación se tomaron un total de 5 muestras alteradas de las 3 calicatas desagregadas de la manera que se expone en la tabla No 12 a continuación.

Calicata	Estrato	Profundidad
1	1	430 cm
2	1	80 cm
	2	420 cm
3	1	100 cm
	2	400

Tabla 12: Muestras Alteradas

Fuente: Los Autores

A continuación, la ilustración No 40, 41, 42 exponen las muestras alteradas de cada uno de las calicatas.



Ilustración 40: Muestra alterada calicata 1 Fuente: Los Autores



Ilustración 41: Muestra alterada calicata 2 Fuente: Los Autores



Ilustración 42: Muestra alterada calicata 3 Fuente: Los Autores

3.4.1.2 Muestras Inalteradas

Este tipo de muestras se caracterizan en que no se altera significativamente la estructura del suelo, las mismas que fueron extraídas de las paredes de los pozos con la ayuda de herramienta manual y de los anillos, estas muestras sirven para los ensayos de corte directo las mismas que fueron colocadas en fundas para evitar que pierda su humedad natural. En este proyecto de investigación se sacaron 2 muestras inalteradas; la primera pertenece la segunda calicata y la otra a la tercera, ya que en la primera calicata el suelo no permitió sacar una muestra inalterada. A continuación, la tabla No 13 expone la profundidad de cada una de estas muestras.

Calicata	Estrato	Profundidad
2	1	200 cm
3	1	230 cm

Tabla 13: Profundidad de las muestras inalteradas

Fuente: Los Autores

A continuación, la ilustración No 43, 44 exponen las muestras inalteradas de cada uno de las calicatas de estudio.



Ilustración 43: Muestra inalterada calicata 2

Fuente: Los Autores

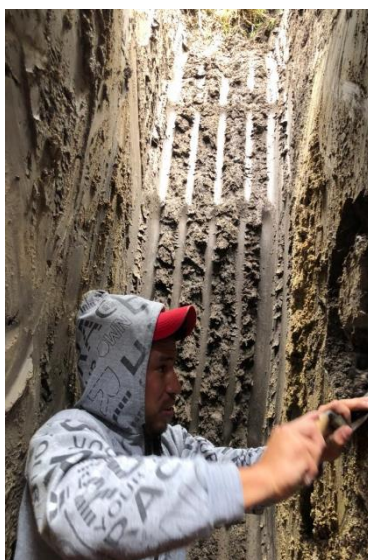


Ilustración 44: Muestra inalterada calicata 3

Fuente: Los Autores

3.4.2 Humedad Natural (ASTM D – 2216)

La humedad natural es el primer ensayo que se realiza en el laboratorio luego de la extracción de muestras, este ensayo debe realizarse de forma inmediata para que las muestras no pierdan la humedad al contacto con el sol u otros agentes y así se pueda obtener datos correctos. Para realizar este ensayo se toma una pequeña muestra de unos 100 gramos aproximadamente de material y después de colocarle un día entero en el horno, se pesa la muestra seca, y a partir de la siguiente fórmula se saca el porcentaje de humedad de cada muestra.

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

Donde:

W (%): Contenido de agua

W_h: Peso de la muestra húmeda + recipiente

W_s: Peso de la muestra seca + recipiente

W_t : Peso del recipiente

A continuación, la tabla No 14 expone los contenidos de humedad de cada una de las muestras.

Calicatas	Estrato	Muestra	Profundidad	Humedad (W%)
1	1	1	430 cm	21.66
2	1	2	80 cm	16.99
	2	3	420 cm	24.81
3	1	4	100 cm	22.81
	2	5	400 cm	30.28

Tabla 14: Contenido de humedad de las muestras

Fuente: Los Autores

3.4.3 Análisis granulométrico (ASTM C-136-01)

El análisis granulométrico es un ensayo primordial para conocer el tipo de suelo de acuerdo con la cantidad y el porcentaje de las partículas que contengan los diferentes tamices, según el método deseado ya sea este AASHTO y Sucs, en este proyecto se pesó 500 gramos de cada una de las muestras debido a que solamente era un suelo fino, se procedió al respectivo lavado del material sobre el tamiz No 200 (0.074mm) , para posteriormente luego de que este haya sido secado realizar el tamizado por medio de la agitación mecánica con tamices metálicos, luego de concluido el proceso de tamizado se verifica cuanto material quedo en cada uno de los tamices y se pesan cada uno. A continuación, las ilustraciones No 45 y 46 muestran los ensayos de granulometría realizados.



Ilustración 45: Ensayo granulométrico muestra 2

Fuente: Los Autores



Ilustración 46: Ensayo granulométrico muestra 5

Fuente: Los Autores

A continuación, las ilustraciones No 47, 48, 49, 50 y 51 exponen las curvas granulométricas obtenidas luego del ensayo, de cada una de las muestras en las 3 calicatas de estudio.

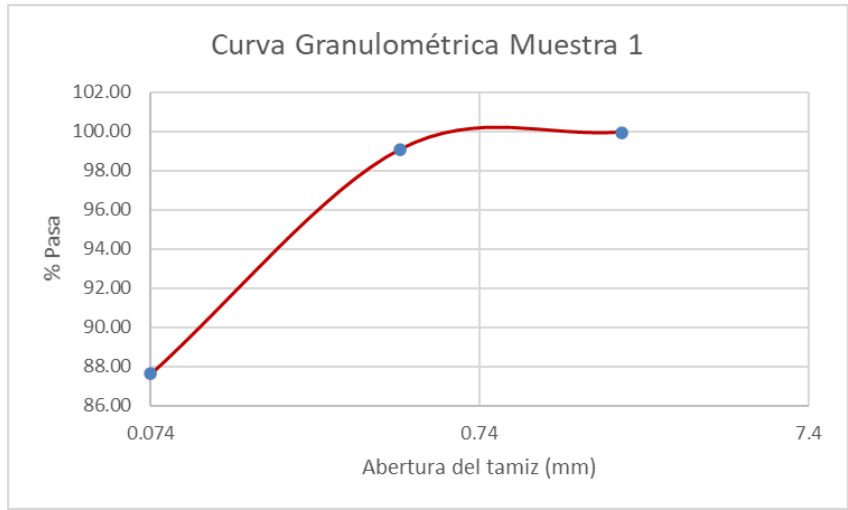


Ilustración 47: Curva Granulométrica Muestra 1

Fuente: Los Autores

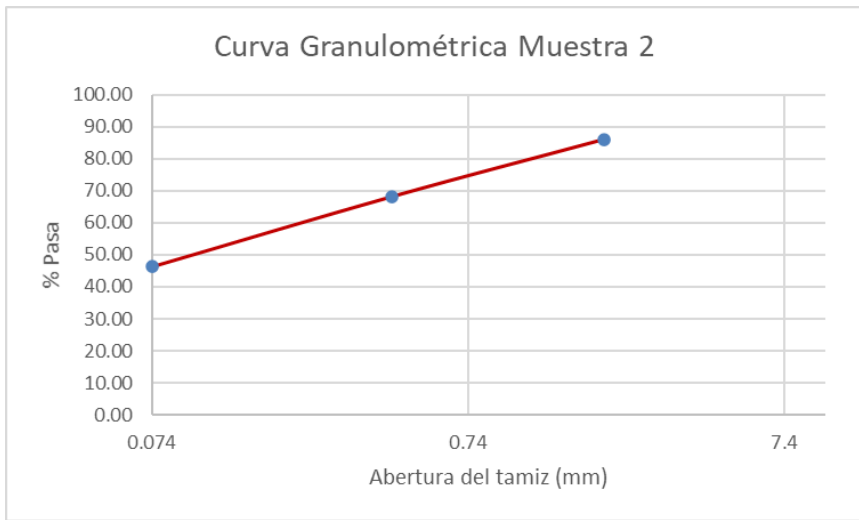


Ilustración 48: Curva Granulométrica Muestra 2

Fuente: Los Autores

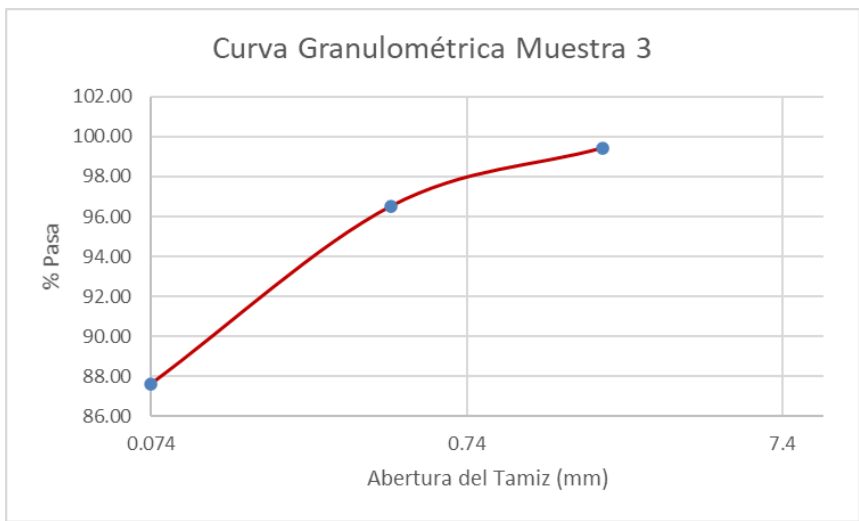


Ilustración 49: Curva Granulométrica Muestra 3

Fuente: Los Autores

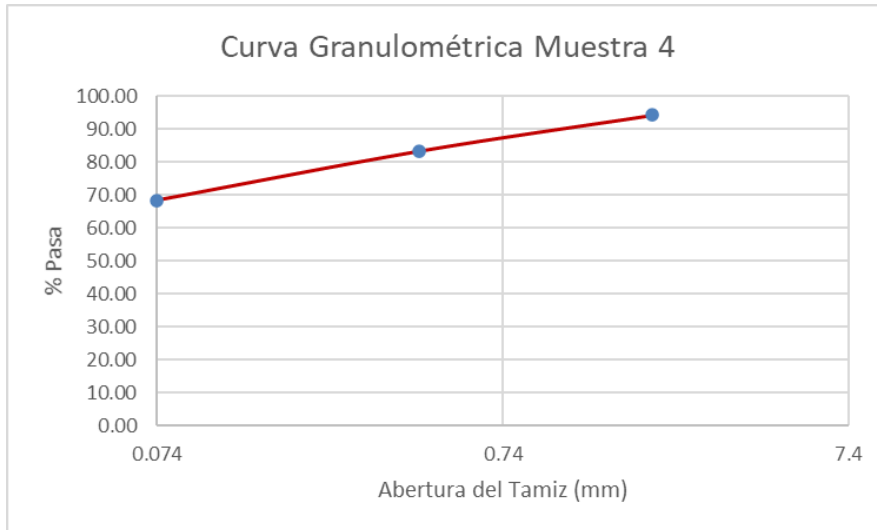


Ilustración 50: Curva Granulométrica Muestra 4

Fuente: Los Autores

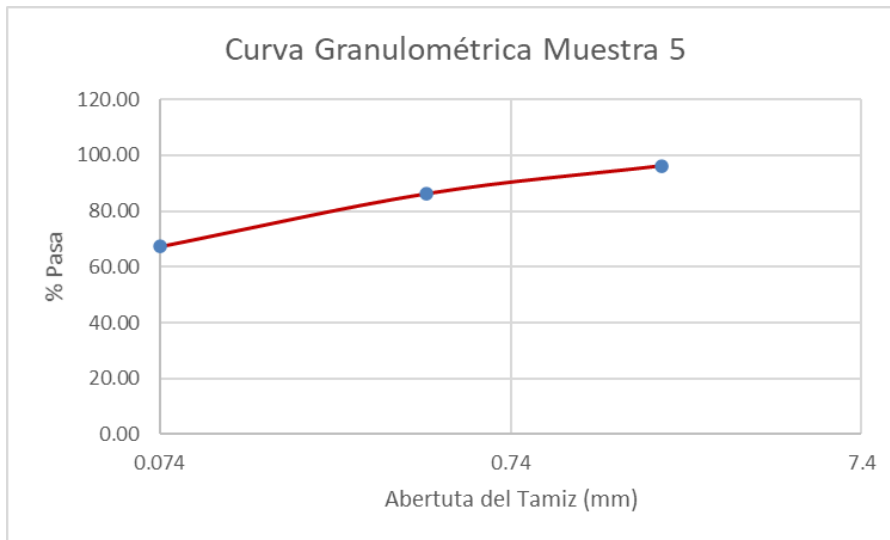


Ilustración 51: Curva Granulométrica Muestra 5

Fuente: Los Autores

3.4.4 Límites de Consistencia (ASTM D4318-84)

El sueco Atterberg implementó diversos métodos para conocer la plasticidad de los suelos arcillosos y limosos en función del contenido de humedad que presenten cada uno de ellos, y marcó las fronteras de los diferentes estados que pueden exhibir los materiales finos a las que nombró: Líquido, Plástico y de Contracción. El material que se utiliza para realizar

estos ensayos es el pasante el tamiz # 40 (0.425mm). En la ilustración No 52 se aprecia los estados de un suelo en función de los límites de Atterberg.

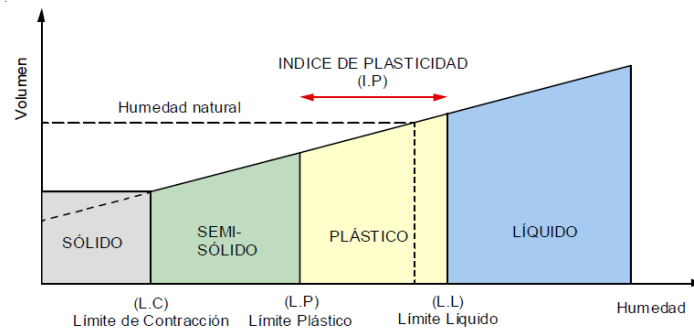


Ilustración 52: Estados de un suelo en función de los límites de Atterberg Fuente: (Vélez Dávila, 2012)

3.4.4.1 Límite Líquido

Este ensayo consiste en que la muestra de suelo húmeda debe colocarse en un recipiente en forma de cuchara llamada cuchara de Casagrande, la muestra deberá estar enrasada correctamente en la cuchara, y posteriormente esta muestra es separada con la ayuda de un ranurador, para empezar a mover el mango de esta cuchara para provocar golpes, hasta que la ranura que fue realizada se cierre, las primeras muestras deberán cerrarse en 37 – 42 golpes y se va tomando estas muestras para su obtención de humedad, luego se procede a poner otra muestra con más contenido de agua y se realiza el mismo procedimiento. A continuación, en las ilustraciones No 53 y 54 se aprecian el ensayo de límite líquido realizado en este proyecto de investigación.



Ilustración 53: Ensayo de límite líquido muestra 2

Fuente: Los Autores



Ilustración 54: Ensayo límite líquido muestra 3 Fuente: Los Autores

A continuación, las ilustraciones No 55, 56, 57, 58, y 59 exponen las gráficas de los límites líquidos de cada una de las calicatas de este proyecto.

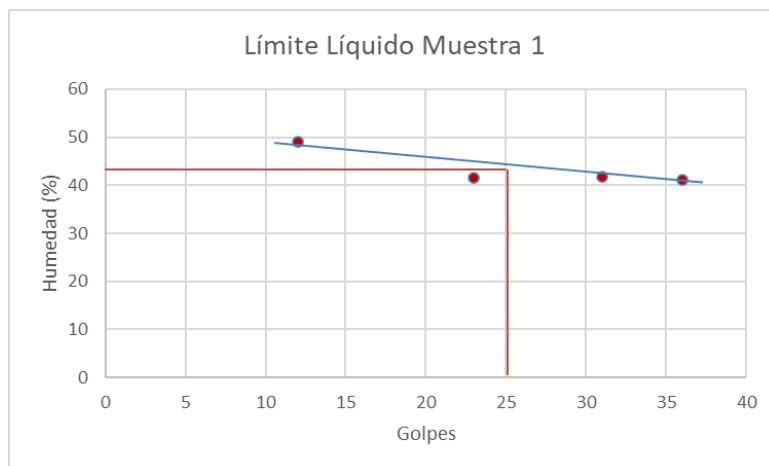


Ilustración 55: Gráfica límite líquido Calicata 1 Fuente: Los Autores

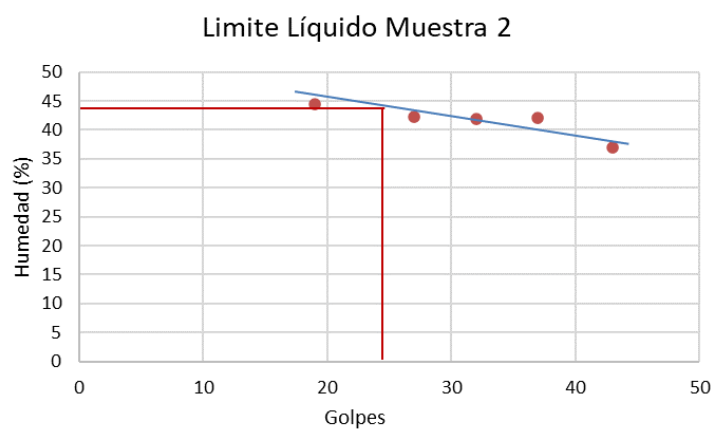


Ilustración 56: Gráfica límite líquido Calicata 2 Fuente: Los Autores

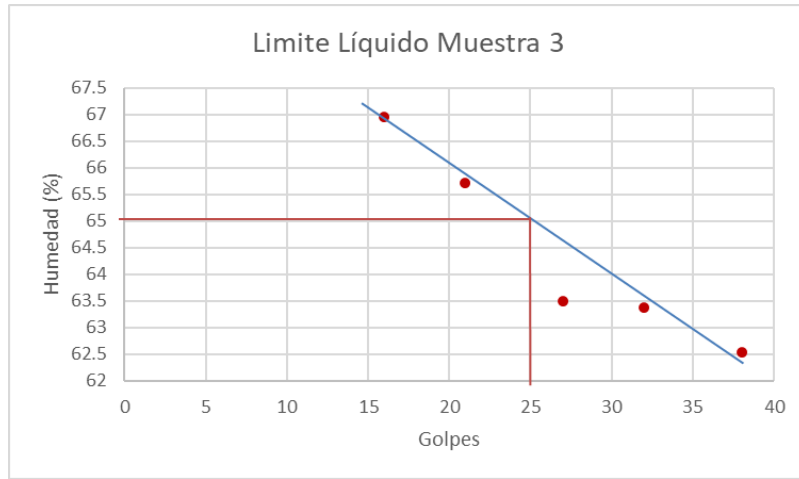


Ilustración 57: Gráfica límite líquido Calicata 3

Fuente: Los Autores

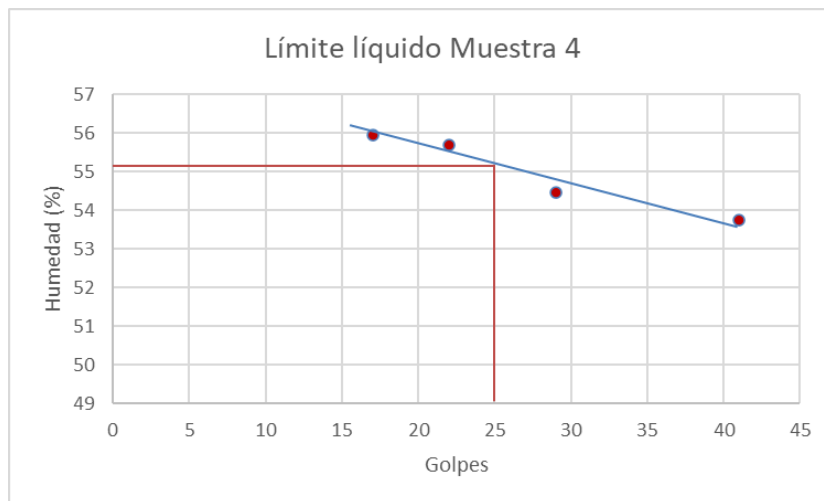


Ilustración 58: Gráfica límite líquido Calicata 4

Fuente: Los Autores

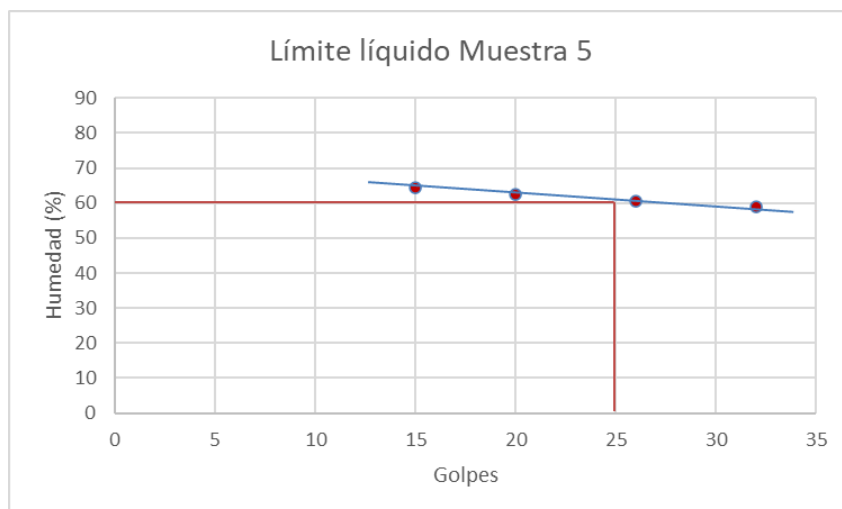


Ilustración 59: Gráfica límite líquido Muestra 5

Fuente: Los Autores

3.4.4.2 Límite Plástico

Para la determinación del límite plástico se toma una muestra húmeda del material y se forma un rollo de aproximadamente 3.2 milímetros de diámetro en una superficie lisa y al momento que este empieza agrietarse se coloca en un recipiente para conocer su humedad, este procedimiento se realiza por lo menos 4 veces para obtener datos correctos de humedad. A continuación, la ilustración No 60 expone el ensayo de límite plástico.



Ilustración 60: Ensayo límite plástico muestra 4 Fuente: Los Autores

A continuación, la tabla No 15 muestra los límites de consistencia de cada una de las muestras de este proyecto de investigación.

Límites de Consistencia			
Muestras	Límite Líquido (LL%)	Límite Plástico (LP%)	Índice de Plasticidad (IP%)
1	43	25.38	17.62
2	44	25.5	18.5
3	65	28.6	36.4
4	55.1	19.4	35.7
5	60	27.4	32.6

Tabla 15: Resultados de ensayos de límites de Atterberg

Fuente: Los Autores

3.4.5 Clasificación de suelos

Los suelos son clasificados en grupos y subgrupos basados en su comportamiento geotécnico, los sistemas existentes para la clasificación del suelo hacen que exista un lenguaje común para nombrar a un suelo por las características que presenta, y este sea utilizado en diferentes ámbitos. Las muestras de suelos en este proyecto de investigación se clasifican por los métodos AASHTO y SUCS que a continuación se describen cada uno de ellos.

3.4.5.1 Sistema de clasificación AASHTO M145

Este sistema de clasificación del suelo fue desarrollado en los Estados Unidos en el año de 1929 y adoptado por el American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), este sistema fue diseñado para ser utilizado propiamente para el diseño de vías, es por eso que en su clasificación introduce el llamado índice de grupo el mismo que sirve para la evaluación de un material para ser utilizado como subrasante, subbase y base de carreteras.

La clasificación por este método instaura 7 grupos de acuerdo al porcentaje que pasa los tamices No 10, No 40, No 200, el límite líquido y el límite plástico, también agrega un grupo adicional el cual corresponde a los suelos orgánicos.

La clasificación general de este método es la siguiente: el suelo es grueso si menos del 35% de la muestra pasa el tamiz No 200, mientras tanto es fino si más del 35 % del total de la muestra pasa por el tamiz No 200 el mismo que puede estar compuesto de: arcillas, limos o materia orgánica. A continuación, la ilustración No 61 muestra una tabla utilizada para la clasificación por este método.

Clasificación General		Materiales granulares 35% o menos pasan la malla 200							Materiales limosos y arcillosos más del 35% pasa la malla No 200				
Grupos		A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
		A-1-a	a-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
Análisis por mallas. % que pasa la malla No	10 40 200	50 Max 30 Max 15Max	50 Max 25 Max	51 Min 10 Max	35 Max 35 Max	35 Max 35 Max	35 Max 35 Max	35 Max 35 Max	36 Min 36 Min	36 Min 36 Min	36 Min 36 Min	36 Min 36 Min	36 Min 36 Min
Característica de la fracción que pasa la malla 40	LL LP	6 Max 0	6 Max 0	NP 0	10 Max 0	10Max 4 Max	11 Min 8 Max	11 Min 4 Max	40 Max 10 Max 8 Max	41 Min 10 Max 12 Max	40 Max 11 Min 16 Max	41 Min 11 Min 20 Max	41 Min 11 Min 20 Max
Tipo usual de materiales constituyentes		Piedra Grava Arena		Arena	Arena limosa o arcillosa, arena				Suelos limosos		Suelos arcillosos		
Comportamiento general como subbase		EXELENTE A BUENO					ACEPTABLE A MALO						

Nota: En la división A-7, cuando IP > 30, el grupo A-7-5. Si el IP < 30 el grupo es A-7-6

Ilustración 61: Clasificación AASHTO

Fuente: (Duque Escobar, 2003)

3.4.5.2 Sistema de clasificación SUCS

Este sistema de clasificación de suelos fue desarrollado por Casagrande en el año de 1942, y revisado y modificado en el año de 1952, este método es comúnmente utilizado por ingenieros geotécnicos para el diseño de cimentaciones, este sistema clasifica a los suelos en dos clases:

Los suelos de grano grueso subdivididos en gravas y arenas son los que menos del 50 % pasa el tamiz No 200, los símbolos de este tipo de suelos empiezan con un prefijo el mismo que puede ser G (grava) o S (arena).

Los suelos de grano fino con 50 % o más del total de la muestra pasa el tamiz No 200, los símbolos de este tipo de suelos empiezan con un prefijo M (limo orgánico), C (arcilla inorgánica) u O (limos y arcillas orgánicas), y el símbolo Pt que se utiliza para lodos, turbas y

otro tipo de suelos orgánicos. Otros símbolos que se utilizan para esta clasificación son los siguientes:

- W= Bien graduado
- P= Mal graduado
- L= Baja plasticidad: Cuando el límite líquido es menor que 50
- H= Alta plasticidad: Cuando el límite líquido es mayor que 50

A continuación, las ilustraciones No 62, 63, y 64 muestran las tablas utilizadas para la clasificación por este método.

Símbolo de grupo	Criterios
SW	Menos de 5% pasa la malla No. 200; $C_u = D_{60}/D_{10}$ mayor que o igual a 6; $C_z = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60})$ entre 1 y 3
SP	Menos de 5% pasa la malla No. 200; no cumple ambos criterios para SW
SM	Más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A (figura 2.12); o índice de plasticidad menor que 4
SC	Más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg se grafican arriba de la línea A (figura 2.12); índice de plasticidad mayor que 7
SC-SM	Más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg caen en el área sombreada marcada CL-ML en la figura 2.12
SW-SM	Porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SW y SM
SW-SC	Porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SW y SC
SP-SM	Porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SP y SM
SP-SC	Porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SP y SC

Ilustración 62: Símbolos de grupo para suelos arenosos

Fuente: (Braja M, 1985)

Símbolo de grupo	Criterios
CL	Inorgánico; $LL < 50$; $PI > 7$; se grafica sobre o arriba de la línea <i>A</i> (véase zona CL en la figura 2.12)
ML	Inorgánico; $LL < 50$; $PI < 4$; o se grafica debajo de la línea <i>A</i> (véase la zona ML en la figura 2.12)
OL	Orgánico; $LL - \text{seco en horno} / (LL - \text{sin secar}) < 0.75$; $LL < 50$ (véase zona OL en la figura 2.12)
CH	Inorgánico; $LL \geq 50$; PI se grafica sobre o arriba de la línea <i>A</i> (véase la zona CH en la figura 2.12)
MH	Inorgánico; $LL \geq 50$; PI se grafica debajo de la línea <i>A</i> (véase la zona MH en la figura 2.12)
OH	Orgánico; $LL - \text{seco en horno} / (LL - \text{sin secar}) < 0.75$; $LL \geq 50$ (véase zona OH en la figura 2.12)
CL-ML	Inorgánico; se grafica en la zona sombreada en la figura 2.12
Pt	Turba, lodos y otros suelos altamente orgánicos

Ilustración 63: Símbolos de grupo para suelos limosos y arcillosos

Fuente: (Braja M, 1985)

Símbolo de grupo	Criterios
GW	Menos de 5% pasa la malla No. 200; $C_u = D_{60}/D_{10}$ mayor que o igual que 4; $C_c = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60})$ entre 1 y 3
GP	Menos de 5% pasa la malla No. 200; no cumple ambos criterios para GW
GM	Más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea <i>A</i> (figura 2.12) o el índice de plasticidad menor que 4
GC	Más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea <i>A</i> (figura 2.12); índice de plasticidad mayor que 7
GC-GM	Más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg caen en el área sombreada marcada CL-ML en la figura 2.12
GW-GM	El porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GW y GM
GW-GC	El porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GW y GC
GP-GM	El porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GP y GM
GP-GC	El porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GP y GC

Ilustración 64: Símbolos de grupo para suelos tipo grava

Fuente: (Braja M, 1985)

A continuación, la tabla No 16 expone la clasificación de los suelos en el campus Miracielos – Ricaurte.

Muestra	Método AASHTO		Método SUCS	
	Nomenclatura	Descripción	Nomenclatura	Descripción
1	A-7-6 (6)	Suelo Arcilloso (Pobre a malo)	CL	Arcilla media plasticidad
2	A-7-6 (3)	Suelo Arcilloso (Pobre a malo)	SC	Arena arcillosa
3	A-7-6 (19)	Suelo Arcilloso (Pobre a malo)	CH	Arcilla alta plasticidad
4	A-7-6 (14)	Suelo Arcilloso (Pobre a malo)	CH	Arcilla alta plasticidad arenosa
5	A-7-6 (12)	Suelo Arcilloso (Pobre a malo)	CH	Arcilla alta plasticidad arenosa

Tabla 16: Clasificación de los suelos en el campus Miracielos – Ricaurte

Fuente: Los Autores

3.4.6 Expansividad

Para determinar el grado de expansividad de una arcilla se debe realizar ensayos de laboratorio tales como: límites de Atterberg, granulometrías por sedimentación, el ensayo de lambe y el edómetro. En nuestro caso se determinó la expansividad de las arcillas basándose en los resultados obtenidos a través de los límites de Atterberg y el porcentaje de finos obtenido del ensayo granulométrico, sin embargo, se recomienda realizar los otros ensayos mencionados anteriormente para obtener un mejor resultado. A continuación, la tabla No 17 expone los grados de expansividad de las arcillas.

GRADO DE EXPANSIVIDAD Y VALORES MEDIOS DE PARÁMETROS

GEOTÉCNICOS

Grado	Expansividad d	% finos	Límite líquido	Índice lambe	Presión de hinchamiento	Hinchamiento libre
I	Baja	< 30	< 35	< 80	< 25	< 1
II	Baja a Media	30 - 60	35 - 50	80 - 150	25 - 125	1 - 4.
II	Media a Alta	60 - 95	50 - 65	150 - 230	125 - 300	4 - 10.
IV	Muy Alta	> 95	> 65	> 230	> 300	> 10

Tabla 17: Grados de expansividad de las arcillas

Fuente: (geología, s.f.)

A continuación, la tabla No 18 expone el grado de expansividad de las arcillas presentes en el campus Miracielos – Ricaurte.

Expansividad			
Muestras	Límite Líquido (LL%)	Finos (%)	Grado
1	43	88	Media a Alta
2	44	46	Baja a Media
3	65	88	Media a Alta
4	55.1	68	Media a Alta
5	60	67	Media a Alta

Tabla 18: Grado de expansividad de las arcillas en el campus Miracielos – Ricaurte Fuente: Los Autores

3.4.7 Ensayo de corte directo (ASTM D 3080, AASHTO T 236 – 03)

El objetivo del ensayo de corte directo es determinar la resistencia de una muestra de suelo, cuando a la misma se le aplican cargas simulando a las que estaría expuesto el suelo por

una cimentación de una estructura ; este ensayo consiste en colocar un espécimen en una caja de forma cuadrangular de acero inoxidable la misma que está dividida en dos mitades y cuando se le coloca la muestra del suelo se le ajusta con tornillos de seguridad, ya que cuando se coloca esta muestra en el aparato de corte este simula cargas horizontales y normales al plano de movimiento las mismas que hacen que se deslice una porción de suelo respecto a otra.

La información que nos proporciona el ensayo permite determinar una gráfica en la misma que con la tensión de corte en el eje de las ordenadas, y el esfuerzo normal en el eje de las abscisas. El intercepto de esta línea con el eje de las ordenadas es la cohesión (c), y el ángulo que forma dicha recta con el eje de las abscisas es el ángulo de fricción del suelo (Φ). A continuación, en la ilustración No 65 se puede observar este procedimiento para encontrar la cohesión y el ángulo de fricción del suelo.

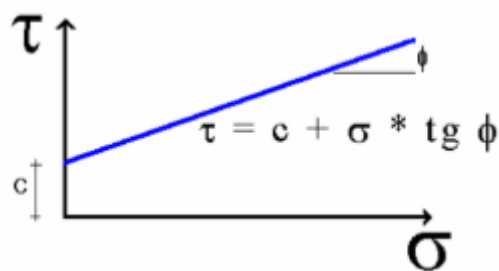


Ilustración 65: Interpretación de la cohesión y el ángulo de fricción Fuente: www.studocu.com

En este proyecto de investigación se realizaron dos ensayos de corte directo, en la calicata 2 y en la calicata 3, extrayendo las muestras de forma inalterada mediante los anillos de corte, estas muestras se colocaron en fundas para que su humedad se mantuviese hasta el momento de realizar los ensayos, los mismos que posteriormente fueron colocados en la máquina de corte para su análisis. A continuación, las ilustraciones No 66 y 67 exponen la realización del ensayo de corte directo.



Ilustración 66: Toma de muestras para ensayo de corte directo calicata 2 Fuente: Los Autores



Ilustración 67: Realización del ensayo de corte directo calicata 3 Fuente: Los Autores

Luego de realizar los respectivos cálculos para la determinación de los puntos en la gráfica esfuerzo normal – esfuerzo cortante, se obtuvo la gráfica que se expone a continuación en la Ilustración No 68 y No 69.

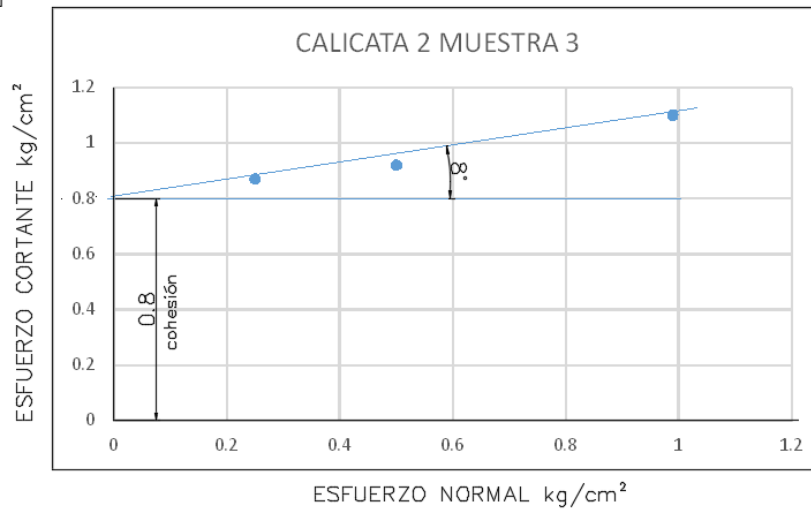


Ilustración 68: Angulo de fricción y cohesión de la muestra 3 Fuente: Los Autores

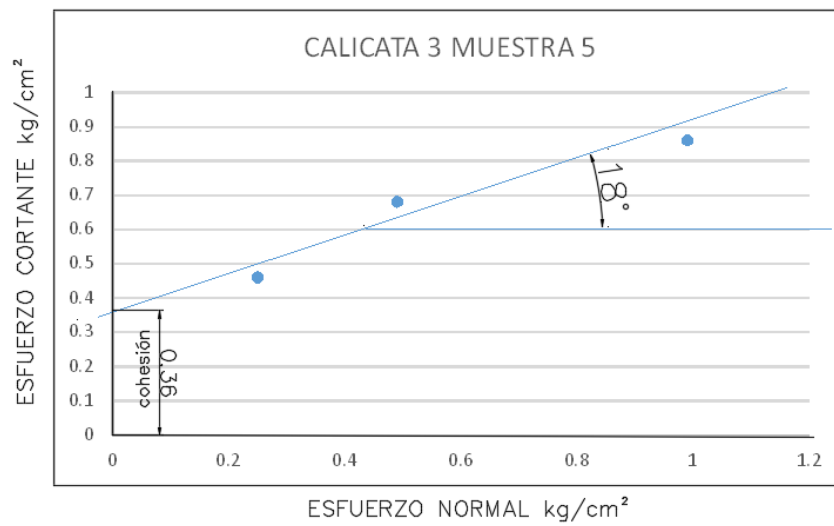


Ilustración 69: Angulo de fricción y cohesión de la muestra 5 Fuente: Los Autores

A continuación, la tabla No 19 expone los resultados obtenidos del ensayo de corte directo de los dos puntos de estudio antes mencionados.

Resultados ensayo corte directo			
Punto de estudio	Profundidad de extracción de muestra	Angulo de fricción (Φ)	Cohesión (C)
2	2 metros	8 °	0.8 Kg/cm ²
3	2.3 metros	18 °	0.36 Kg/cm ²

Tabla 19: Resultados ensayo de corte directo campus Miracielos – Ricaurte Fuente: Los Autores

3.4.8 Ensayo triaxial (ASTM D 2850)

El ensayo triaxial es uno de los métodos más seguros para determinar la resistencia al cortante de una muestra de suelo, una de las principales características que hacen de este ensayo muy satisfactorio es que se puede controlar las tensiones principales, la presión y el drenaje, es decir asume al suelo en su comportamiento básico.

El ensayo triaxial consiste primeramente en obtener una muestra de suelo a una profundidad en la que se considere que se va a realizar una cimentación, dicha muestra deberá ser inalterada y posteriormente labrada con el fin de lograr una relación altura – diámetro de dos. A continuación, en la ilustración No 70 se expone este procedimiento.



Ilustración 70: Preparación de la muestra para ensayo triaxial Fuente: Los Autores

Posteriormente cuando la muestra esté lista, esta es revestida con una membrana de látex para introducir en una cámara a presión para por medio de unos discos porosos donde se coloca la misma y a su vez estos conectándose al sistema de drenaje del equipo saturar o drenar el espécimen, el ensayo consiste en llenar la cámara con agua, la misma que genera una presión hidrostática y produce esfuerzos principales sobre la muestra en todas sus direcciones, tanto lateral como axialmente. Existen tres tipos de pruebas triaxiales:

- Prueba con consolidación y con drenaje (CD)
- Prueba con consolidación y sin drenaje (CU)
- Prueba sin consolidación y sin drenaje (UU)

En este proyecto de investigación se realizó la prueba sin consolidación y sin drenaje debido a que este ensayo se realiza generalmente sobre suelos arcillosos, en este ensayo no se permite en ninguna etapa la consolidación de la muestra, en primer lugar, a la muestra de suelo se le emplea la presión hidrostática con la ayuda del agua y luego de inmediato se le aplica la carga axial.

“La envolvente de falla para los criterios de Mohr del esfuerzo total se convierte en una línea horizontal, con la condición que el ángulo de fricción sea cero y la tensión de corte igual a C_u , siendo C_u la resistencia al cortante no drenada” (Salas, 2011) A continuación la ilustración No 71 expone la gráfica del ensayo triaxial en el campus Miracielos – Ricaurte.

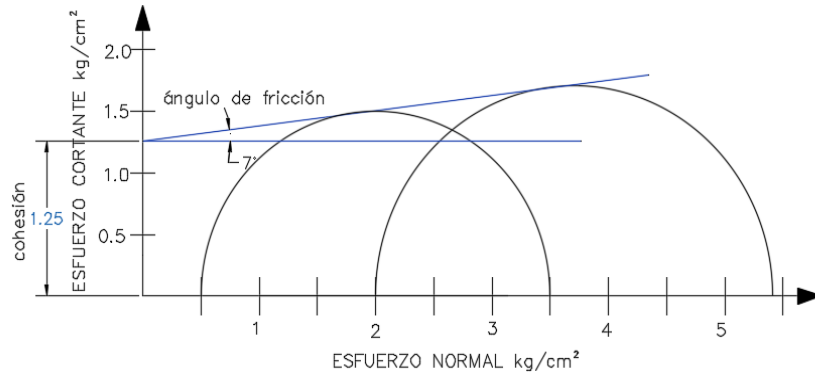


Ilustración 71: Grafica ensayo triaxial campus Miracielos – Ricaurte

Fuente: Los Autores

A continuación, la tabla No 20 expone los resultados obtenidos del ensayo triaxial de la calicata 2 en el campus Miracielos – Ricaurte.

Resultados ensayo triaxial			
Punto de estudio	Profundidad de extracción de muestra	Angulo de fricción (Φ)	Cohesión (C)
2	2 metros	7°	1.25 Kg/cm ²

Tabla 20: Resultados ensayo de triaxial campus Miracielos – Ricaurte

Fuente: Los Autores

A continuación, la tabla No 21 expone los ensayos de laboratorio realizados en este proyecto de investigación con su respectiva normativa.

Ensayo	Norma Utilizada
Contenido de humedad natural del suelo	ASTM D-2216. Métodos de prueba estándar para la determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) del suelo y la roca en mas
Granulometría.	ASTM C-136-01. Método estándar de ensayo para análisis por tamizado de agregados fino y grueso.
Límites de Atterberg.	ASTM D4318-84. INEN 691 y 692- Método Estándar de Ensayos para: limite líquido, limite plástico e índice de plasticidad de suelos
Clasificación del Suelo.	ASTM D-3282; Método AASTHO M145; ASTM D-2487; Método SUCS;

	ASTM D 3080 – 98; AASHTO T 236 –
	03. Método de prueba estándar para la
Corte Directo.	prueba de corte directo de suelos en
	condiciones de drenaje consolidado

	ASTM D 2850: Suelos cohesivos.
Triaxial UU	Determinación de la resistencia. Método
	de compresión triaxial

Tabla 21: Ensayos de laboratorio con normativas

Fuente: Los Autores

3.5 DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO

(CAPACIDAD DE CARGA)

3.5.1 Cimentación:

La cimentación es la parte más baja de la estructura; son elementos estructurales cuya misión es transmitir las cargas que llegan de la superestructura al suelo sobre el que está reposando, una cimentación bien diseñada es la que transmite las cargas al suelo sin sobrecargarlo; para definir cualquier tipo de cimentación existen dos características fundamentales:

1. Todas las cimentaciones tienen una base contacto con el suelo.

2. Todas las cimentaciones unen la base de la misma con la superestructura mediante el fuste o plinto.

Dependiendo del tipo de suelo y estructura existen dos tipos de cimentaciones, que según la NEC-SE-GC, en el numeral (6.1.2) se denominan por la siguiente relación:

$$\frac{Df}{B} \leq 4 \quad \text{Cimentación superficial}$$
$$\frac{Df}{B} > 4 \quad \text{Cimentación Profunda}$$

Donde:

Df = Profundidad de desplante.

B = Ancho de la cimentación.

3.5.1.1 Profundidad de cimentaciones

La estructura de la cimentación debe colocarse adecuadamente con respecto a la influencia de los agentes exteriores para evitar alguna alteración en su comportamiento. No se cimentará sobre suelo orgánico, tierra vegetal o desmonte, todos estos materiales no son adecuados y deben ser retirados totalmente hasta encontrar suelo firme y que cumpla con los requerimientos adecuados según nuestra norma de la construcción.

La profundidad mínima de cimentación será de 0.8 m - 1.00m, en el apartado (4.4) de la NEC – SE –VIVIENDA, aunque existen casos en que se llega a 1.5 metros o más. Por esta razón que en este trabajo se asume diferentes profundidades de cimentación empezando desde 1 metro hasta los 2.50 metros y diferentes dimensiones de zapatas aisladas cuadrangulares, con el fin que el ingeniero estructural decida de la manera más adecuada y eficaz el tipo y profundidad de dicha cimentación. Tomando en cuenta también la carga máxima y asentamientos inmediatos que se calcula en este trabajo.

3.5.2 La capacidad de carga:

La capacidad de carga se considera aquella presión que puede soportar un suelo, posterior a la cual se pueden generar asentamientos excesivos hasta la falla por corte del suelo, está en función de la resistencia al corte, su compresibilidad, tipo y profundidad de la cimentación a ser construida y factores introducidos por la edificación y el funcionamiento de las estructuras.

3.5.3 Teoría de Karl Terzaghi:

Terzagui invento una teoría para calcular la capacidad última de carga de un suelo considerando que la cimentación transmite al terreno una sobrecarga (q) la cual actúa en el plano horizontal en el contacto suelo-estructura. Esta sobrecarga (q) está en función de la profundidad de la cimentación (D_f) y el peso específico o densidad del material (γ).

Para una cimentación cuadrada la expresión es la siguiente:

$$q_u = 1.3c'N_c + qN_q + 0.4\gamma BN_\gamma$$

Donde:

c' = cohesión.

q = esfuerzo efectivo al nivel del fondo de la cimentación = $\gamma \cdot D_f$.

γ = peso específico del suelo.

B = ancho de la cimentación (en el caso de cimentación circular, el diámetro).

N_c, N_q, N_γ = factores de capacidad de carga que dependen únicamente del ángulo de fricción (Φ).

En la ilustración No 72 se muestra los valores de los factores de forma en función de los diferentes ángulos de fricción.

3.5.3.1 Factores de capacidad de carga de Terzaghi

ϕ' (grad)	N_c	N_q	N^a_γ	ϕ' (grad)	N_c	N_q	N^a_γ
0	5.70	1.00	0.00	26	27.09	14.21	9.84
1	6.00	1.10	0.01	27	29.24	15.90	11.60
2	6.30	1.22	0.04	28	31.61	17.81	13.70
3	6.62	1.35	0.06	29	34.24	19.98	16.18
4	6.97	1.49	0.10	30	37.16	22.46	19.13
5	7.34	1.64	0.14	31	40.41	25.28	22.65
6	7.73	1.81	0.20	32	44.04	28.52	26.87
7	8.15	2.00	0.27	33	48.09	32.23	31.94
8	8.60	2.21	0.35	34	52.64	36.50	38.04
9	9.09	2.44	0.44	35	57.75	41.44	45.41
10	9.61	2.69	0.56	36	63.53	47.16	54.36
11	10.16	2.98	0.69	37	70.01	53.80	65.27
12	10.76	3.29	0.85	38	77.50	61.55	78.61
13	11.41	3.63	1.04	39	85.97	70.61	95.03
14	12.11	4.02	1.26	40	95.66	81.27	115.31
15	12.86	4.45	1.52	41	106.81	93.85	140.51
16	13.68	4.92	1.82	42	119.67	108.75	171.99
17	14.60	5.45	2.18	43	134.58	126.50	211.56
18	15.12	6.04	2.59	44	151.95	147.74	261.60
19	16.56	6.70	3.07	45	172.28	173.28	325.34
20	17.69	7.44	3.64	46	196.22	204.19	407.11
21	18.92	8.26	4.31	47	224.55	241.80	512.84
22	20.27	9.19	5.09	48	258.28	287.85	650.67
23	21.75	10.23	6.00	49	298.71	344.63	831.99
24	23.36	11.40	7.08	50	347.50	415.14	1072.80
25	25.13	12.72	8.34				

Ilustración No 72: Factores de capacidad de carga N_c , N_q , N_γ . Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica “Braja”

3.5.4 Teoría de Meyerhof:

La ecuación presentada anteriormente no soluciona las complicaciones para cimentaciones rectangulares y no se considera la resistencia cortante a lo largo de la superficie de falla en el suelo arriba del fondo de la cimentación, otro aspecto que no se considera es la posibilidad de que la carga esté inclinada. Meyerhof propuso una expresión en la cual se considera todos los aspectos que pueden intervenir en una cimentación.

La capacidad última de carga de un suelo está dada por la siguiente expresión:

$$q_u = c'N_cF_{cs}F_{cd}F_{ci} + qN_qF_{qs}F_{qd}F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma BN_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i}$$

Donde:

c' = cohesión

q = esfuerzo efectivo al nivel del fondo de la cimentación = $\gamma \cdot D_f$

γ = peso específico del suelo

B = ancho de la cimentación (en el caso de cimentación circular, el diámetro)

N_c, N_q, N_γ = factores de capacidad de carga que dependen únicamente del ángulo de fricción

(Φ).

F_{cs}, F_{qs}, F_γ = factores de forma

$F_{cd}, F_{qd}, F_{\gamma d}$ = factores de profundidad

$F_{ci}, F_{qi}, F_{\gamma i}$ = factores de inclinación de carga

En la ilustración No 73 se muestra los valores de los factores de forma en función de los diferentes ángulos de fricción.

3.5.4.1 Factores de capacidad de carga de Meyerhof

ϕ'	N_c	N_q	N_γ	ϕ'	N_c	N_q	N_γ
0	5.14	1.00	0.00	23	18.05	8.66	8.20
1	5.38	1.09	0.07	24	19.32	9.60	9.44
2	5.63	1.20	0.15	25	20.72	10.66	10.88
3	5.90	1.31	0.24	26	22.25	11.85	12.54
4	6.19	1.43	0.34	27	23.94	13.20	14.47
5	6.49	1.57	0.45	28	25.80	14.72	16.72
6	6.81	1.72	0.57	29	27.86	16.44	19.34
7	7.16	1.88	0.71	30	30.14	18.40	22.40
8	7.53	2.06	0.86	31	32.67	20.63	25.99
9	7.92	2.25	1.03	32	35.49	23.18	30.22
10	8.35	2.47	1.22	33	38.64	26.09	35.19
11	8.80	2.71	1.44	34	42.16	29.44	41.06
12	9.28	2.97	1.69	35	46.12	33.30	48.03
13	9.81	3.26	1.97	36	50.59	37.75	56.31
14	10.37	3.59	2.29	37	55.63	42.92	66.19
15	10.98	3.94	2.65	38	61.35	48.93	78.03
16	11.63	4.34	3.06	39	67.87	55.96	92.25
17	12.34	4.77	3.53	40	75.31	64.20	109.41
18	13.10	5.26	4.07	41	83.86	73.90	130.22
19	13.93	5.80	4.68	42	93.71	85.38	155.55
20	14.83	6.40	5.39	43	105.11	99.02	186.54
21	15.82	7.07	6.20	44	118.37	115.31	224.64
22	16.88	7.82	7.13	45	133.88	134.88	271.76

Ilustración No 73: Factores de capacidad de carga N_c , N_q , N_γ . Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica "Braja"

3.5.4.2 Factores de forma:

$$F_{cs} = 1 + \frac{B}{L} * \frac{N_q}{N_c}$$

$$F_{qs} = 1 + \frac{B}{L} * \tan \Phi$$

$$F_{\gamma s} = 1 - 0.4 * \frac{B}{L}$$

3.5.4.3 Factores de profundidad:

$$\text{Si } \frac{Df}{B} \leq 1$$

$$F_{cd} = 1 + 0.4 \frac{Df}{B}$$

$$F_{qd} = 1 + 2 * \text{tag}\Phi * (1 - \text{sen}\Phi)^2 * \frac{Df}{B}$$

$$F_{\gamma d} = 1$$

$$\text{Si } \frac{Df}{B} > 1$$

$$F_{cd} = 1 + 0.4 * \text{tag}^{-1} \left(\frac{Df}{B} \right)$$

$$F_{qd} = 1 + 2 * \text{tag}\Phi * (1 - \text{sen}\Phi)^2 * \text{tag}^{-1} \left(\frac{Df}{B} \right)$$

$$F_{\gamma d} = 1$$

3.5.4.4 Factores de inclinación de carga:

$$F_{ci} = F_{qi} = \left(\frac{1 - \beta^\circ}{90^\circ} \right)$$

$$F_{\gamma i} = \left(1 - \frac{\beta^\circ}{\Phi^\circ} \right)$$

3.5.5 Factor de seguridad:

La capacidad admisible de carga es aquella que se calcula para el caso más desfavorable en la interacción suelo-estructura, y es igual a la capacidad última de carga dividida para un factor de seguridad (Fs). Este factor de seguridad está en función de la normativa vigente, que a su vez lo considera en función de la importancia y magnitud de la obra.

$$q_{adm} = \frac{q_u}{F_s}$$

En el numeral 6.2 de la NEC-SE-CM se muestra una tabla de los factores de seguridad según el método utilizado bajo criterios de resistencia al corte, y podrían ser utilizados como mínimos los siguientes factores de seguridad que se exponen en la tabla No 22:

FACTORES DE SEGURIDAD INDIRECTOS	
MÍNIMOS	
CONDICIÓN	F.S.I.M. ADMISIBLE
Carga Muerta + Carga Viva Normal	3.0
Carga Muerta + Carga Viva Máxima	2.5
Carga Muerta + Carga Viva Normal + Sismo de Diseño pseudo estático	1.5

Tabla 22: Factores de seguridad indirectos mínimos . Fuente: NEC-SE-GC

3.5.6 Asentamientos

El asentamiento total de una cimentación consta de dos tipos: un asentamiento inmediato o elástico y un asentamiento por consolidación. En este trabajo se calcula los asentamientos inmediatos y no los de consolidación por las circunstancias y el tiempo en el que estamos pasando no nos permiten realizar los ensayos y practicas pertinentes para dicho caso.

En la ilustración No 74 se muestra una cimentación superficial cargada con una fuerza neta por área unitaria igual a q_0 . Sean la relación de Poisson (μ) y el módulo de elasticidad (E) del suelo soportante.

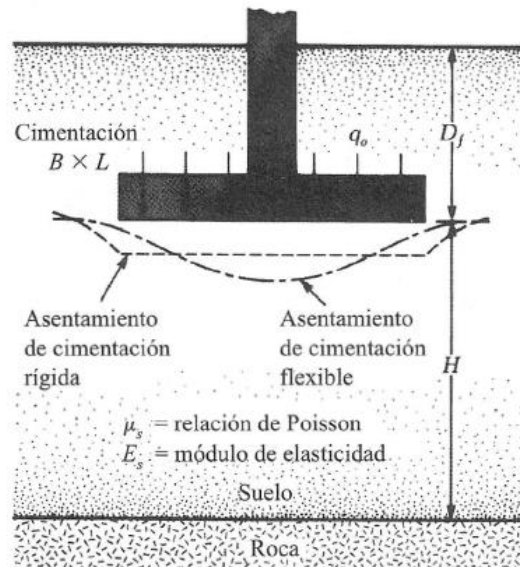


Ilustración No 74: Asentamiento elástico de cimentaciones flexible y rígida. Fuente: Fundamentos de la Ingeniería Geotécnica (Braja)

Teóricamente, si D_f (profundidad a la cual esta cimentada la zapata) $= 0$, H (profundidad desde la base de la zapata hasta la roca) $= \infty$, y la cimentación es perfectamente flexible de acuerdo con Harr (1996), el asentamiento se expresa como:

Esquina de la cimentación flexible:

$$S_e = \frac{Bq_0}{E_s} (1 - \mu_s^2) \frac{\alpha}{2}$$

Centro de la cimentación flexible:

$$S_e = \frac{Bq_0}{E_s} (1 - \mu_s^2) \alpha$$

Los valores de α para varias razones longitud a ancho (L/B) se muestra en la ilustración No 75.

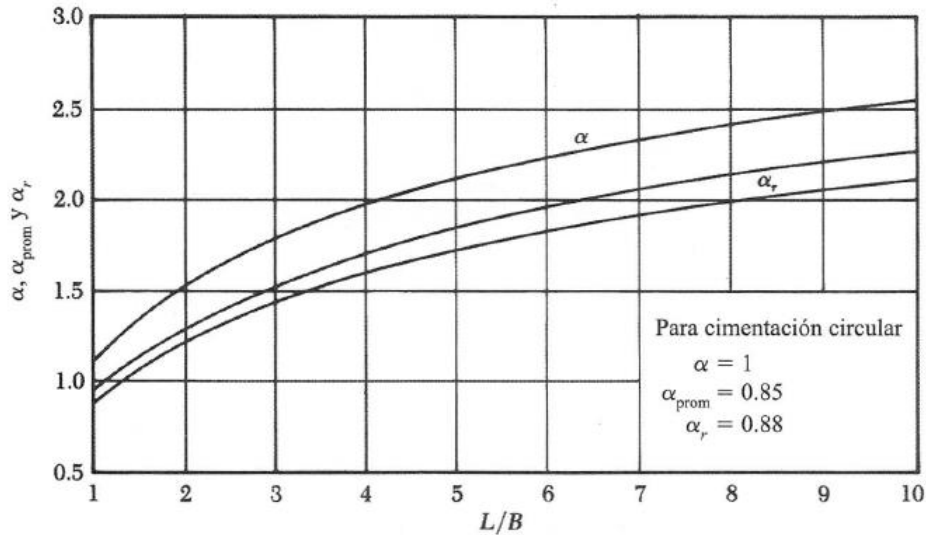


Ilustración No 75: Valores de α , α_{prom} , α_r . Fuente: Fundamentos de la Ingeniería Geotécnica (Braja)

El asentamiento inmediato promedio para una cimentación flexible se expresa como:

$$S_e = \frac{Bq_0}{E_s} (1 - \mu_s^2) \alpha_{prom}$$

Sin embargo si la cimentación mostrada en la figura anterior es rígida, el asentamiento inmediato será diferente y se expresa como:

$$S_e = \frac{Bq_0}{E_s} (1 - \mu_s^2) \alpha_r$$

Las ecuaciones anteriores para el asentamiento inmediato se obtuvieron integrando la deformación unitaria a varias profundidades debajo las cimentaciones para límites de $z=0$ a $z=\infty$. Si un estrato incompresible de roca está localizado a una profundidad limitada, el asentamiento real puede ser menor que el calculado con las ecuaciones anteriores. Sin embargo, si la profundidad H en la ilustración 74 es mayor que aproximadamente $2B$ a $3B$, el asentamiento real no cambiará considerablemente. Note también que a mayor empotramiento D_f , menor será el asentamiento elástico total. (Braja M, 1985)

Las ecuaciones para calcular el asentamiento inmediato contienen parámetros elásticos E_s y μ_s . Si no se dispone de los resultados de pruebas de laboratorio para esos parámetros, deberá hacerse ciertas suposiciones realistas para estos valores.

La ilustración No 76 muestra el rango aproximado de los parámetros elásticos para varios suelos.

Tipo de suelo	Módulo de elasticidad, E_s (MN/m ²)	Razón de Poisson, μ_s
Arena suelta	10–25	0.20–0.40
Arena de compacidad media	15–30	0.25–0.40
Arena densa	35–55	0.30–0.45
Arena limosa	10–20	0.20–0.40
Arena y grava	70–170	0.15–0.35
Arcilla blanda	4–20	
Arcilla media	20–40	0.20–0.50
Arcilla dura	40–100	

Ilustración No 76: Parámetros elásticos de varios suelos. Fuente: Fundamentos de la Ingeniería Geotécnica (Braja)

Nota: Para la realización del cálculo de los asentamientos de nuestro campo de estudio se tomaron los siguientes valores de los parámetros elásticos:

$$E_s = 305.915 \text{ kg/cm}^2$$

$$\mu_s = 0.35$$

Los valores de α se obtienen de la ilustración No 76 mostrada anteriormente.

3.5.7 Determinación de la capacidad portante en el campus Miracielos - Ricaurte

3.5.7.1 Punto 2 (Muestra 3) – Corte Directo

DATOS:

Descripción del suelo: Arcilla de alta plasticidad (CH)

Ángulo de fricción interna= $\Phi = 8^\circ$

Cohesión= $c' = 0.8 \text{ kg/cm}^2$

Peso específico natural= $\gamma = 0.00213 \text{ kg/cm}^3$

SOLUCIÓN:

ECUACION DE TERZAGHI:

$$q_u = 1.3c'N_c + qN_q + 0.4 \gamma B N_\gamma$$

FACTORES DE CARGA

$$N_c = 8.60$$

$$N_q = 2.21$$

$$N_\gamma = 0.35$$

$$q_{adm} = \frac{q_u}{F_s}$$

$$F_s = 3$$

- Datos obtenidos con $D_f = 1.00 \text{ metro}$

ZAPATAS CUADRADAS (Terzaghi)

Prof. (Df)	Ancho (B)	Largo (L)	q_{adm}'	Carga Máxima	Asentamiento
(cm)	(cm)	(cm)	(kg/cm ²)	(kg)	(mm)
100	100	100	2.78	27812	7.18

100	110	110	2.78	33683	7.91
100	120	120	2.79	40120	8.63
100	130	130	2.79	47127	9.36
100	140	140	2.79	54704	10.09
100	150	150	2.79	62853	10.82
100	160	160	2.80	71575	11.55
100	170	170	2.80	80873	12.28
100	180	180	2.80	90746	13.01
100	190	190	2.80	101197	13.75

Tabla 23: Zapatas cuadradas $Df=1$ m (Terzaghi - muestra 3) Fuente: Los Autores

- Datos obtenidos con $Df = 1.50$ metros

ZAPATAS CUADRADAS (Terzaghi)

Prof. (Df)	Ancho (B)	Largo (L)	q_{adm}'	Carga Máxima	Asentamiento
(cm)	(cm)	(cm)	(kg/cm ²)	(kg)	(mm)
150	100	100	2.85	28544	7.37
150	110	110	2.86	34568	8.11
150	120	120	2.86	41174	8.86
150	130	130	2.86	48364	9.60
150	140	140	2.86	56139	10.35
150	150	150	2.87	64500	11.10
150	160	160	2.87	73449	11.85
150	170	170	2.87	82988	12.60
150	180	180	2.87	93118	13.36

150 190 190 2.88 103840 14.11

Tabla 24: Zapatas cuadradas Df=1.5 m (Terzaghi - muestra 3) Fuente: Los Autores

- Datos obtenidos con Df = 2.00 metros

ZAPATAS CUADRADAS (Terzaghi)

Prof. (Df)	Ancho (B)	Largo (L)	qadm'	Carga Máxima	Asentamiento
(cm)	(cm)	(cm)	(kg/cm ²)	(kg)	(mm)
200	100	100	2.93	29276	7.56
200	110	110	2.93	35454	8.32
200	120	120	2.93	42228	9.08
200	130	130	2.93	49601	9.85
200	140	140	2.94	57573	10.62
200	150	150	2.94	66147	11.38
200	160	160	2.94	75323	12.15
200	170	170	2.94	85103	12.92
200	180	180	2.95	95489	13.70
200	190	190	2.95	106482	14.47

Tabla 25: Zapatas cuadradas Df=2 m (Terzaghi - muestra 3) Fuente: Los Autores

- Datos obtenidos con Df = 2.50 metros

ZAPATAS CUADRADAS (Terzaghi)

Prof. (Df)	Ancho (B)	Largo (L)	qadm'	Carga Máxima	Asentamiento
(cm)	(cm)	(cm)	(kg/cm ²)	(kg)	(mm)

250	100	100	3.00	30008	7.75
250	110	110	3.00	36340	8.53
250	120	120	3.01	43283	9.31
250	130	130	3.01	50838	10.10
250	140	140	3.01	59008	10.88
250	150	150	3.01	67794	11.67
250	160	160	3.02	77197	12.46
250	170	170	3.02	87219	13.24
250	180	180	3.02	97861	14.04
250	190	190	3.02	109125	14.83

Tabla 26: Zapatas cuadradas Df=2.5 m (Terzaghi - muestra 3) Fuente: Los Autores

- *Datos obtenidos con Df = 3.00 metros*

ZAPATAS CUADRADAS (Terzaghi)

Prof. (Df) (cm)	Ancho (B) (cm)	Largo (L) (cm)	qadm' (kg/cm ²)	Carga Máxima (kg)	Asentamiento (mm)
300	100	100	3.07	30740	7.94
300	110	110	3.08	37225	8.74
300	120	120	3.08	44337	9.54
300	130	130	3.08	52075	10.34
300	140	140	3.08	60443	11.15
300	150	150	3.09	69441	11.95
300	160	160	3.09	79071	12.76
300	170	170	3.09	89334	13.57

300	180	180	3.09	100233	14.38
300	190	190	3.10	111767	15.19

Tabla 27: Zapatas cuadradas $Df=3$ m (Terzaghi - muestra 3) Fuente: Los Autores

SOLUCIÓN:

ECUACION DE MEYERHOF

$$q_u = c' N_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + q N_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i}$$

FACTORES DE CARGA

$$N_c = 7.53$$

$$N_q = 2.06$$

$$N_\gamma = 0.86$$

FACTORES DE

FORMA

Fcs	1.27
Fqs	1.14
F γ s	0.60

Tabla 28: Factores de forma (Meyerhof - Muestra 3) Fuente: Los Autores

FACTORES DE PROFUNDIDAD

$$\text{SI } \frac{Df}{B} \leq 1$$

$$\text{SI } \frac{Df}{B} > 1$$

$$Df/B$$

$$1.01$$

$$F_{cd} \quad 1.40$$

$$F_{cd} \quad 1.01$$

$$F_{qd} \quad 1.21$$

$$F_{qd} \quad 1.00$$

$F\gamma_d$	1.00	$F\gamma_d$	1.00
-------------	------	-------------	------

Tabla 29: Factores de profundidad (Meyerhof – Muestra 3) Fuente: Los Autores

FACTORES DE INCLINACIÓN	
F_{ci}	1.00
F_{qi}	1.00
$F_{\gamma i}$	1.00

Tabla 30: Factores de inclinación (Meyerhof – Muestra 3) Fuente: Los Autores

$$q_{adm} = \frac{q_u}{F_s}$$

$$F_s = 3.00$$

- Datos obtenidos con $D_f = 1.00$ metro

ZAPATAS CUADRADAS (Meyerhof)					
Prof. (Df)	Ancho (B)	Largo (L)	q_{adm}'	Carga Máxima	Asentamiento
(cm)	(cm)	(cm)	(kg/cm ²)	(kg)	(mm)
100	100	100	2.90	29015	7.49
100	110	110	2.90	35127	8.24
100	120	120	2.90	41826	9.00
100	130	130	2.91	49113	9.75
100	140	140	2.91	56989	10.51
100	150	150	2.91	65456	11.27
100	160	160	2.91	74513	12.02
100	170	170	2.91	84162	12.78

100	180	180	2.91	94405	13.54
100	190	190	2.92	105240	14.30

Tabla 31: Zapatas cuadradas $Df = 1$ m (Meyerhof - muestra 3) Fuente: Los Autores

- Datos obtenidos con $Df = 1.50$ metros

ZAPATAS CUADRADAS (Meyerhof)

Prof. (Df)	Ancho (B)	Largo (L)	q_{adm}'	Carga Máxima	Asentamiento
(cm)	(cm)	(cm)	(kg/cm ²)	(kg)	(mm)
150	100	100	3.00	29977	7.74
150	110	110	3.00	36291	8.52
150	120	120	3.00	43211	9.30
150	130	130	3.00	50739	10.08
150	140	140	3.00	58875	10.86
150	150	150	3.01	67621	11.64
150	160	160	3.01	76977	12.42
150	170	170	3.01	86944	13.20
150	180	180	3.01	97523	13.99
150	190	190	3.01	108715	14.77

Tabla 32: Zapatas cuadradas $Df = 1.5$ m (Meyerhof - muestra 3) Fuente: Los Autores

- *Datos obtenidos con Df = 2.00 metros*

ZAPATAS CUADRADAS (Meyerhof)					
Prof. (Df)	Ancho (B)	Largo (L)	qadm'	Carga Máxima	Asentamiento
(cm)	(cm)	(cm)	(kg/cm ²)	(kg)	(mm)
200	100	100	3.09	30943	7.99
200	110	110	3.10	37459	8.79
200	120	120	3.10	44602	9.60
200	130	130	3.10	52371	10.40
200	140	140	3.10	60768	11.21
200	150	150	3.10	69793	12.01
200	160	160	3.10	79448	12.82
200	170	170	3.10	89734	13.63
200	180	180	3.11	100651	14.44
200	190	190	3.11	112200	15.25

Tabla 33: Zapatas cuadradas Df=2 m (Meyerhof - muestra 3) Fuente: Los Autores

- *Datos obtenidos con Df = 2.50 metros*

ZAPATAS CUADRADAS (Meyerhof)					
Prof. (Df)	Ancho (B)	Largo (L)	qadm'	Carga Máxima	Asentamiento
(cm)	(cm)	(cm)	(kg/cm ²)	(kg)	(mm)
250	100	100	3.19	31911	8.24

250	110	110	3.19	38631	9.07
250	120	120	3.19	45996	9.90
250	130	130	3.20	54008	10.73
250	140	140	3.20	62666	11.56
250	150	150	3.20	71973	12.39
250	160	160	3.20	81928	13.22
250	170	170	3.20	92533	14.05
250	180	180	3.20	103789	14.89
250	190	190	3.20	115697	15.72

Tabla 34: Zapatas cuadradas $D_f=2.5\text{ m}$ (Meyerhof - muestra 3) Fuente: Los Autores

- Datos obtenidos con $D_f = 3.00\text{ metros}$

ZAPATAS CUADRADAS (Meyerhof)

Prof. (Df)	Ancho (B)	Largo (L)	q_{adm}'	Carga Máxima	Asentamiento
(cm)	(cm)	(cm)	(kg/cm ²)	(kg)	(mm)
300	100	100	3.29	32883	8.49
300	110	110	3.29	39807	9.34
300	120	120	3.29	47396	10.20
300	130	130	3.29	55650	11.05
300	140	140	3.29	64571	11.91
300	150	150	3.30	74159	12.76
300	160	160	3.30	84415	13.62
300	170	170	3.30	95341	14.48
300	180	180	3.30	106937	15.34

300 190 190 3.30 119204 16.20

Tabla 35: Zapatas cuadradas Df=3 m (Meyerhof - muestra 3) Fuente: Los Autores

3.5.7.2 Punto 3 (Muestra 5) – Corte Directo

DATOS:

Descripción del suelo: Arcilla de alta plasticidad (CH)

Ángulo de fricción interna= $\Phi = 18^\circ$

Cohesión= $c' = 0.36 \text{ kg/cm}^2$

Peso específico natural= $\gamma = 0.00197 \text{ kg/cm}^3$

SOLUCIÓN:

ECUACION DE TERZAGHI:

$$q_u = 1.3c'N_c + qN_q + 0.4 \gamma B N_\gamma$$

FACTORES DE CARGA

$$N_c = 15.12$$

$$N_q = 6.04$$

$$N_\gamma = 2.59$$

$$q_{adm} = \frac{q_u}{F_s}$$

$$F_s = 3.00$$

- *Datos obtenidos con Df = 1.00 metro*

ZAPATAS CUADRADAS (Terzaghi)					
Prof. (Df)	Ancho (B)	Largo (L)	qadm'	Carga Máxima	Asentamiento
(cm)	(cm)	(cm)	(kg/cm ²)	(kg)	(mm)
100	100	100	2.42	24208	6.25
100	110	110	2.43	29363	6.89
100	120	120	2.43	35028	7.54
100	130	130	2.44	41209	8.18
100	140	140	2.44	47907	8.83
100	150	150	2.45	55126	9.49
100	160	160	2.46	62871	10.14
100	170	170	2.46	71145	10.80
100	180	180	2.47	79950	11.47
100	190	190	2.47	89291	12.13

Tabla 36: Zapatas cuadradas Df=1 m (Terzaghi - muestra 5) Fuente: Los Autores

- *Datos obtenidos con Df = 1.50 metros*

ZAPATAS CUADRADAS (Terzaghi)					
Prof. (Df)	Ancho (B)	Largo (L)	qadm'	Carga Máxima	Asentamiento
(cm)	(cm)	(cm)	(kg/cm ²)	(kg)	(mm)
150	100	100	2.59	25912	6.69

150	110	110	2.60	31424	7.37
150	120	120	2.60	37481	8.06
150	130	130	2.61	44087	8.76
150	140	140	2.61	51245	9.45
150	150	150	2.62	58959	10.15
150	160	160	2.63	67232	10.85
150	170	170	2.63	76067	11.55
150	180	180	2.64	85469	12.26
150	190	190	2.64	95440	12.97

Tabla 37: Zapatas cuadradas $D_f=1.5$ m (Terzaghi - muestra 5) Fuente: Los Autores

- Datos obtenidos con $D_f = 2.00$ metros

ZAPATAS CUADRADAS (Terzaghi)					
Prof. (Df)	Ancho (B)	Largo (L)	qadm'	Carga Máxima	Asentamiento
(cm)	(cm)	(cm)	(kg/cm ²)	(kg)	(mm)
200	100	100	2.76	27615	7.13
200	110	110	2.77	33485	7.86
200	120	120	2.77	39934	8.59
200	130	130	2.78	46966	9.33
200	140	140	2.78	54584	10.07
200	150	150	2.79	62791	10.81
200	160	160	2.80	71592	11.55
200	170	170	2.80	80989	12.30
200	180	180	2.81	90987	13.05

200 190 190 2.81 101589 13.80

Tabla 38: Zapatas cuadradas Df =2 m (Terzaghi - muestra 5) Fuente: Los Autores

- Datos obtenidos con Df = 2.50 metros

ZAPATAS CUADRADAS (Terzaghi)

Prof. (Df)	Ancho (B)	Largo (L)	qadm'	Carga Máxima	Asentamiento
(cm)	(cm)	(cm)	(kg/cm ²)	(kg)	(mm)
250	100	100	2.93	29318	7.57
250	110	110	2.94	35546	8.34
250	120	120	2.94	42387	9.12
250	130	130	2.95	49844	9.90
250	140	140	2.96	57922	10.68
250	150	150	2.96	66624	11.47
250	160	160	2.97	75952	12.25
250	170	170	2.97	85912	13.05
250	180	180	2.98	96506	13.84
250	190	190	2.98	107737	14.64

Tabla 39: Zapatas cuadradas Df =2.5 m (Terzaghi - muestra 5) Fuente: Los Autores

- Datos obtenidos con Df = 3.00 metros

ZAPATAS CUADRADAS (Terzaghi)

Prof. (Df)	Ancho (B)	Largo (L)	qadm'	Carga Máxima	Asentamiento
(cm)	(cm)	(cm)	(kg/cm ²)	(kg)	(mm)

300	100	100	3.10	31022	8.01
300	110	110	3.11	37607	8.83
300	120	120	3.11	44839	9.65
300	130	130	3.12	52723	10.47
300	140	140	3.13	61260	11.30
300	150	150	3.13	70456	12.13
300	160	160	3.14	80313	12.96
300	170	170	3.14	90834	13.79
300	180	180	3.15	102024	14.63
300	190	190	3.15	113886	15.47

Tabla 40: Zapatas cuadradas $Df=3$ m (Terzaghi - muestra 5) Fuente: Los Autores

SOLUCIÓN:

ECUACION DE MEYERHOF

$$q_u = c'N_cF_{cs}F_{cd}F_{ci} + qN_qF_{qs}F_{qd}F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i}$$

FACTORES DE CARGA

$$N_c = 13.10$$

$$N_q = 5.26$$

$$N_\gamma = 4.07$$

FACTORES DE FORMA	
Fcs	1.40
Fqs	1.32
Fγs	0.60

Tabla 41: Factores de forma (Meyerhof - muestra 5) Fuente: Los Autores

FACTORES DE PROFUNDIDAD			
$SI \frac{Df}{B} \leq 1$		$SI \frac{Df}{B} > 1$	
Df/B		1.00	
Fcd	1.40	Fcd	1.01
Fqd	1.31	Fqd	1.01
Fγd	1.00	Fγd	1.00

Tabla 42: Factores de profundidad (Meyerhof - muestra 5) Fuente: Los Autores

FACTORES DE INCLINACION	
Fci	1.00
Fqi	1.00
Fγi	1.00

Tabla 43: Factores de inclinación (Meyerhof - muestra 5) Fuente: Los Autores

$$q_{adm} = \frac{q_u}{F_s}$$

$$F_s = 3.00$$

- Datos obtenidos con $Df = 1.00$ metro

ZAPATAS CUADRADAS (Meyerhof)

Prof. (Df)	Ancho (B)	Largo (L)	qadm'	Carga Máxima	Asentamiento
(cm)	(cm)	(cm)	(kg/cm ²)	(kg)	(mm)
100	100	100	2.87	28662	7.40
100	110	110	2.87	34725	8.15
100	120	120	2.87	41378	8.90
100	130	130	2.88	48624	9.66
100	140	140	2.88	56463	10.41
100	150	150	2.88	64900	11.17
100	160	160	2.89	73935	11.93
100	170	170	2.89	83571	12.69
100	180	180	2.90	93811	13.45
100	190	190	2.90	104655	14.22

Tabla 44: Zapatas cuadradas Df = 1 m (Meyerhof - muestra 5) Fuente: Los Autores

- *Datos obtenidos con Df = 1.50 metros*

ZAPATAS CUADRADAS (Meyerhof)

Prof. (Df)	Ancho (B)	Largo (L)	qadm'	Carga Máxima	Asentamiento
(cm)	(cm)	(cm)	(kg/cm ²)	(kg)	(mm)
150	100	100	3.12	31171	8.05
150	110	110	3.12	37761	8.86
150	120	120	3.12	44991	9.68
150	130	130	3.13	52863	10.50

150	140	140	3.13	61381	11.32
150	150	150	3.14	70545	12.14
150	160	160	3.14	80358	12.97
150	170	170	3.14	90822	13.79
150	180	180	3.15	101939	14.62
150	190	190	3.15	113712	15.45

Tabla 45: Zapatas cuadradas $D_f=1.5$ m (Meyerhof - muestra 5) Fuente: Los Autores

- Datos obtenidos con $D_f = 2.00$ metros

ZAPATAS CUADRADAS (Meyerhof)

Prof. (Df) (cm)	Ancho (B) (cm)	Largo (L) (cm)	q_{adm}' (kg/cm ²)	Carga Máxima (kg)	Asentamiento (mm)
200	100	100	3.37	33692	8.70
200	110	110	3.37	40812	9.58
200	120	120	3.38	48622	10.46
200	130	130	3.38	57125	11.34
200	140	140	3.38	66323	12.23
200	150	150	3.39	76219	13.12
200	160	160	3.39	86813	14.01
200	170	170	3.39	98110	14.90
200	180	180	3.40	110110	15.79
200	190	190	3.40	122816	16.69

Tabla 46: Zapatas cuadradas $D_f=2$ m (Meyerhof - muestra 5) Fuente: Los Autores

- Datos obtenidos con $D_f = 2.50$ metros

ZAPATAS CUADRADAS (Meyerhof)

Prof. (Df) (cm)	Ancho (B) (cm)	Largo (L) (cm)	qadm' (kg/cm ²)	Carga Máxima (kg)	Asentamiento (mm)
250	100	100	3.62	36227	9.35
250	110	110	3.63	43879	10.30
250	120	120	3.63	52272	11.25
250	130	130	3.63	61409	12.19
250	140	140	3.64	71291	13.15
250	150	150	3.64	81922	14.10
250	160	160	3.64	93302	15.05
250	170	170	3.65	105435	16.01
250	180	180	3.65	118322	16.97
250	190	190	3.66	131966	17.93

Tabla 47: Zapatas cuadradas Df=2.5 m (Meyerhof - muestra 5) Fuente: Los Autores

- **Datos obtenidos con Df = 3.00 metros**

ZAPATAS CUADRADAS (Meyerhof)

Prof. (Df) (cm)	Ancho (B) (cm)	Largo (L) (cm)	qadm' (kg/cm ²)	Carga Máxima (kg)	Asentamiento (mm)
300	100	100	3.88	38774	10.01
300	110	110	3.88	46961	11.02
300	120	120	3.88	55940	12.03
300	130	130	3.89	65714	13.05

300	140	140	3.89	76284	14.07
300	150	150	3.90	87653	15.09
300	160	160	3.90	99824	16.11
300	170	170	3.90	112797	17.13
300	180	180	3.91	126576	18.15
300	190	190	3.91	141162	19.18

Tabla 48: Zapatas cuadradas $D_f=3$ m (Meyerhof - muestra 5) Fuente: Los Autores

3.5.7.3 Punto 2 (Muestra 3) - Triaxial

DATOS:

Descripción del suelo: Arcilla de alta plasticidad (CH)

Ángulo de fricción interna = $\Phi = 7^\circ$

Cohesión = $c' = 1.25$ kg/cm²

Peso específico natural = $\gamma = 0.00186$ kg/cm³

SOLUCIÓN:

ECUACION DE TERZAGHI:

$$q_u = 1.3c'N_c + qN_q + 0.4\gamma BN_\gamma$$

FACTORES DE CARGA

$$N_c = 8.15$$

$$N_q = 2.00$$

$$N_\gamma = 0.27$$

$$q_{adm} = \frac{q_u}{F_s}$$

$$F_s = 3.00$$

- *Datos obtenidos con Df = 1.00 metro*

ZAPATAS CUADRADAS (Terzaghi)					
Prof. (Df)	Ancho (B)	Largo (L)	qadm'	Carga Máxima	Asentamiento
(cm)	(cm)	(cm)	(kg/cm ²)	(kg)	(mm)
100	100	100	3.76	37553	9.69
100	110	110	3.76	45446	10.67
100	120	120	3.76	54093	11.64
100	130	130	3.76	63494	12.61
100	140	140	3.76	73650	13.58
100	150	150	3.76	84560	14.55
100	160	160	3.76	96225	15.53
100	170	170	3.76	108645	16.50
100	180	180	3.76	121822	17.47
100	190	190	3.76	135754	18.45

Tabla 49: Zapatas cuadradas Df=1 m (Terzaghi - muestra 3- Triaxial) Fuente: Los Autores

- *Datos obtenidos con Df = 1.50 metros*

ZAPATAS CUADRADAS (Terzaghi)					
Prof. (Df)	Ancho (B)	Largo (L)	qadm'	Carga Máxima	Asentamiento
(cm)	(cm)	(cm)	(kg/cm ²)	(kg)	(mm)
150	100	100	3.81	38086	9.83

150	110	110	3.81	46091	10.82
150	120	120	3.81	54861	11.80
150	130	130	3.81	64395	12.79
150	140	140	3.81	74694	13.77
150	150	150	3.81	85759	14.76
150	160	160	3.81	97589	15.75
150	170	170	3.81	110186	16.73
150	180	180	3.81	123549	17.72
150	190	190	3.81	137678	18.71

Tabla 50: Zapatas cuadradas $D_f=1.5\text{ m}$ (Terzaghi- muestra 3- Triaxial) Fuente: Los Autores

- Datos obtenidos con $D_f = 2.00\text{ metros}$

ZAPATAS CUADRADAS (Terzaghi)					
Prof. (Df)	Ancho (B)	Largo (L)	qadm'	Carga Máxima	Asentamiento
(cm)	(cm)	(cm)	(kg/cm ²)	(kg)	(mm)
200	100	100	3.86	38619	9.97
200	110	110	3.86	46736	10.97
200	120	120	3.86	55628	11.97
200	130	130	3.86	65296	12.97
200	140	140	3.86	75739	13.97
200	150	150	3.86	86958	14.97
200	160	160	3.87	98953	15.97
200	170	170	3.87	111726	16.97
200	180	180	3.87	125275	17.97

200 190 190 3.87 139602 18.97

Tabla 51: Zapatas cuadradas Df = 2 m (Terzaghi - muestra 3- Triaxial) Fuente: Los Autores

- Datos obtenidos con Df = 2.50 metros

ZAPATAS CUADRADAS (Terzaghi)					
Prof. (Df)	Ancho (B)	Largo (L)	qadm'	Carga Máxima	Asentamiento
(cm)	(cm)	(cm)	(kg/cm ²)	(kg)	(mm)
250	100	100	3.92	39152	10.11
250	110	110	3.92	47381	11.12
250	120	120	3.92	56396	12.13
250	130	130	3.92	66196	13.15
250	140	140	3.92	76783	14.16
250	150	150	3.92	88157	15.17
250	160	160	3.92	100318	16.19
250	170	170	3.92	113266	17.20
250	180	180	3.92	127002	18.21
250	190	190	3.92	141526	19.23

Tabla 52: Zapatas cuadradas Df = 2.5 m (Terzaghi - muestra 3- Triaxial) Fuente: Los Autores

- Datos obtenidos con Df = 3.00 metros

ZAPATAS CUADRADAS (Terzaghi)					
Prof. (Df)	Ancho (B)	Largo (L)	qadm'	Carga Máxima	Asentamiento
(cm)	(cm)	(cm)	(kg/cm ²)	(kg)	(mm)

300	100	100	3.97	39685	10.25
300	110	110	3.97	48026	11.27
300	120	120	3.97	57163	12.30
300	130	130	3.97	67097	13.32
300	140	140	3.97	77828	14.35
300	150	150	3.97	89356	15.38
300	160	160	3.97	101682	16.41
300	170	170	3.97	114806	17.43
300	180	180	3.97	128729	18.46
300	190	190	3.97	143450	19.49

Tabla 53: Zapatas cuadradas $Df=3$ m (Terzaghi - muestra 3- Triaxial) Fuente: Los Autores

SOLUCIÓN:

ECUACION DE MEYERHOF

$$q_u = c'N_cF_{cs}F_{cd}F_{ci} + qN_qF_{qs}F_{qd}F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i}$$

FACTORES DE CARGA

$$N_c = 7.17$$

$$N_q = 1.88$$

$$N_\gamma = 0.71$$

FACTORES DE

FORMA

Fcs	1.26
-----	------

Fqs	1.12
-----	------

$$F\gamma_s \quad 0.60$$

Tabla 54: Factores de forma (Meyerhof - muestra 3- Triaxial) Fuente: Los Autores

FACTORES DE PROFUNDIDAD			
$SI \frac{Df}{B} \leq 1$		$SI \frac{Df}{B} > 1$	
Df/B		1.00	
Fcd	1.40	Fcd	1.01
Fqd	1.19	Fqd	1.00
F γ d	1.00	F γ d	1.00

Tabla 55: Factores de profundidad (Meyerhof - muestra 3- Triaxial) Fuente: Los Autores

FACTORES DE INCLINACION	
Fci	1.00
Fqi	1.00
F γ i	1.00

Tabla 56: Factores de inclinación (Meyerhof - muestra 3- Triaxial) Fuente: Los Autores

$$q_{adm} = \frac{q_u}{F_s}$$

$$F_s = 3.00$$

- Datos obtenidos con $Df = 1.00$ metro

ZAPATAS CUADRADAS (Meyerhof)

Prof. (Df) (cm)	Ancho (B) (cm)	Largo (L) (cm)	qadm' (kg/cm ²)	Carga Máxima (kg)	Asentamiento (mm)
100	100	100	3.81	38144	9.85
100	110	110	3.81	46159	10.83
100	120	120	3.82	54938	11.82
100	130	130	3.82	64482	12.81
100	140	140	3.82	74791	13.79
100	150	150	3.82	85865	14.78
100	160	160	3.82	97704	15.76
100	170	170	3.82	110309	16.75
100	180	180	3.82	123680	17.74
100	190	190	3.82	137817	18.73

Tabla 57: Zapatas cuadradas Df = 1 m (Meyerhof - muestra 3- Triaxial) Fuente: Los Autores

- *Datos obtenidos con Df = 1.50 metros*

ZAPATAS CUADRADAS (Meyerhof)

Prof. (Df) (cm)	Ancho (B) (cm)	Largo (L) (cm)	qadm' (kg/cm ²)	Carga Máxima (kg)	Asentamiento (mm)
150	100	100	3.89	38892	10.04
150	110	110	3.89	47063	11.05
150	120	120	3.89	56014	12.05
150	130	130	3.89	65745	13.06
150	140	140	3.89	76256	14.06

150	150	150	3.89	87547	15.07
150	160	160	3.89	99618	16.07
150	170	170	3.89	112470	17.08
150	180	180	3.89	126102	18.09
150	190	190	3.89	140516	19.09

Tabla 58: Zapatas cuadradas $Df=1.5$ m (Meyerhof - muestra 3- Triaxial) Fuente: Los Autores

- Datos obtenidos con $Df = 2.00$ metros

ZAPATAS CUADRADAS (Meyerhof)					
Prof. (Df)	Ancho (B)	Largo (L)	qadm'	Carga Máxima	Asentamiento
(cm)	(cm)	(cm)	(kg/cm ²)	(kg)	(mm)
200	100	100	3.96	39641	10.23
200	110	110	3.96	47970	11.26
200	120	120	3.96	57094	12.28
200	130	130	3.97	67012	13.31
200	140	140	3.97	77725	14.33
200	150	150	3.97	89233	15.36
200	160	160	3.97	101537	16.38
200	170	170	3.97	114636	17.41
200	180	180	3.97	128531	18.43
200	190	190	3.97	143222	19.46

Tabla 59: Zapatas cuadradas $Df=2$ m (Meyerhof - muestra 3- Triaxial) Fuente: Los Autores

- Datos obtenidos con $Df = 2.50$ metros

ZAPATAS CUADRADAS (Meyerhof)

Prof. (Df)	Ancho (B)	Largo (L)	qadm'	Carga Máxima	Asentamiento
(cm)	(cm)	(cm)	(kg/cm ²)	(kg)	(mm)
250	100	100	4.04	40393	10.43
250	110	110	4.04	48880	11.47
250	120	120	4.04	58176	12.52
250	130	130	4.04	68282	13.56
250	140	140	4.04	79198	14.60
250	150	150	4.04	90924	15.65
250	160	160	4.04	103461	16.69
250	170	170	4.04	116808	17.74
250	180	180	4.04	130966	18.78
250	190	190	4.04	145935	19.83

Tabla 60: Zapatas cuadradas Df=2.5 m (Meyerhof - muestra 3- Triaxial) Fuente: Los Autores

- *Datos obtenidos con Df = 3.00 metros*

ZAPATAS CUADRADAS (Meyerhof)

Prof. (Df)	Ancho (B)	Largo (L)	qadm'	Carga Máxima	Asentamiento
(cm)	(cm)	(cm)	(kg/cm ²)	(kg)	(mm)
300	100	100	4.11	41146	10.62
300	110	110	4.11	49791	11.69
300	120	120	4.12	59261	12.75
300	130	130	4.12	69555	13.81

300	140	140	4.12	80675	14.88
300	150	150	4.12	92619	15.94
300	160	160	4.12	105389	17.00
300	170	170	4.12	118985	18.07
300	180	180	4.12	133407	19.13
300	190	190	4.12	148655	20.20

Tabla 61: Zapatas cuadradas $D_f=3\text{ m}$ (Meyerhof - muestra 3- Triaxial) Fuente: Los Autores

3.6 LEVANTAMIENTO DE SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES

3.6.1 Objetivo de los levantamientos

El objetivo principal de los levantamientos de sondeos eléctricos verticales realizados en el campus Miracielos – Ricaurte es conocer con mayor aproximación posible los estratos del lugar mediante la resistividad aparente obtenida en campo, la misma que servirá para clasificar los estratos del subsuelo y conocer qué tipo de material se tiene en el subsuelo, el mismo que servirá en un futuro para la cimentación de las estructuras planificadas, también este procedimiento ayudará a comprobar los datos obtenidos por medio de los métodos de exploración directa.

3.6.2 Levantamientos

El trabajo de campo fue realizado en marzo del presente año a lo largo de toda la zona de estudio, cuidando que los mismos cubran toda la superficie a ser analizada para tener un mayor conocimiento de los estratos, durante la toma de datos se puso mucha atención en que no hubiese influencias externas como cables de alta tensión, ductos eléctricos, o días lluviosos, ya que estos agentes pueden ocasionar datos erróneos en las medidas de las resistividades. A continuación, en la ilustración No 77 se puede observar la disposición de los levantamientos dentro del campus Miracielos – Ricaurte.

MAPA DE DISPOSICIÓN DE SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES

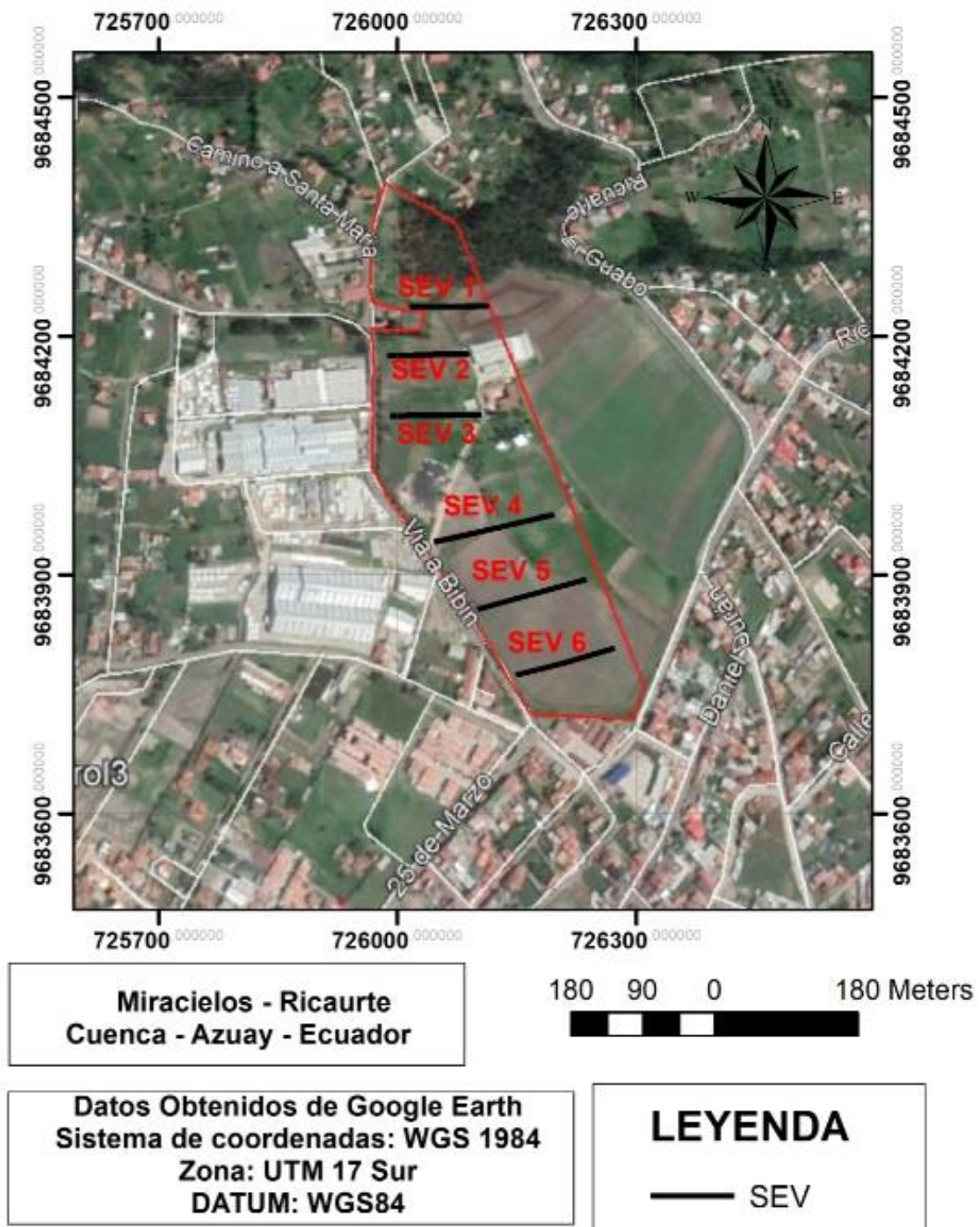


Ilustración 77: Disposición de sondeos eléctricos verticales en el campus Miracielos – Ricaurte Fuente: Los Autores

La configuración utilizada para la ejecución de los sondeos fue la Shlumberger con un AB/2 de 60 metros, respetando lo que dice la Norma Ecuatoriana de la construcción (NEC – SE – GC) en la tabla 2 en la que nombra la profundidad mínima de los sondeos y la cantidad de los mismos. Los datos obtenidos en campo fueron anotados en planillas de campo las mismas que se transcribieron a tablas tal como se observa en las tablas No 62, 63, 64, 65 y 66.

SONDEO 1			
MN/2	AB/2 (metros)	K (cte)	Resistividad Aparente (Ω)
0.5	1.5	6.28	0.689
0.5	2	11.78	0.326
0.5	3	27.49	0.142
0.5	4.5	62.83	0.058
0.5	7	153	0.028
0.5	10	313	0.011
0.5	12	452	0.007
0.5	15	706	0.006
0.5	18	1017	0.003
5	18	93.93	0.02
0.5	22	1520	0.003
5	22	144	0.01
5	27	221	0.01
5	32	314	0.01
5	40	495	0.001
5	48	716	0.003

5	60	1123	0.006
---	----	------	-------

Tabla 62: Datos obtenidos en campo (Sondeo 1)

Fuente: Los Autores

SONDEO 2

MN/2	AB/2 (metros)	K (cte)	Resistividad Aparente (Ω)
0.5	1.5	6.28	0.866
0.5	2	11.78	0.442
0.5	3	27.49	0.172
0.5	4.5	62.83	0.067
0.5	7	153	0.024
0.5	10	313	0.008
0.5	12	452	0.005
0.5	15	706	0.001
0.5	18	1017	0.001
5	18	93.93	0.04
0.5	22	1520	0.004
5	22	144	0.01
5	27	221	0.01
5	32	314	0.01
5	40	495	0.01
5	48	716	0.01
5	60	1123	0.01

Tabla 63: Datos obtenidos en campo (Sondeo 2)

Fuente: Los Autores

SONDEO 3

MN/2	AB/2 (metros)	K (cte)	Resistividad Aparente (Ω)
0.5	1.5	6.28	1.043
0.5	2	11.78	0.558
0.5	3	27.49	0.202
0.5	4.5	62.83	0.076
0.5	7	153	0.02
0.5	10	313	0.005
0.5	12	452	0.003
0.5	15	706	0.001
0.5	18	1017	0.001
5	18	93.93	0.06
0.5	22	1520	0.005
5	22	144	0.01
5	27	221	0.01
5	32	314	0.01
5	40	495	0.01
5	48	716	0.01
5	60	1123	0.02

Tabla 64: Datos obtenidos en campo (Sondeo 3)

Fuente: Los Autores

SONDEO 4

MN/2	AB/2 (metros)	K (cte)	Resistividad Aparente (Ω)
0.5	1.5	6.28	0.98
0.5	2	11.78	0.546
0.5	3	27.49	0.272
0.5	4.5	62.83	0.122
0.5	7	153	0.047
0.5	10	313	0.02
0.5	12	452	0.021
0.5	15	706	0.011
0.5	18	1017	0.003
5	18	93.93	0.15
0.5	22	1520	0.009
5	22	144	0.122
5	27	221	0.074
5	32	314	0.074
5	40	495	0.059
5	48	716	0.035
5	60	1123	0.028

Tabla 65: Datos obtenidos en campo (Sondeo 4)

Fuente: Los Autores

SONDEO 5

MN/2	AB/2 (metros)	K (cte)	Resistividad Aparente (Ω)
0.5	1.5	6.28	0.838
0.5	2	11.78	0.45
0.5	3	27.49	0.198
0.5	4.5	62.83	0.07
0.5	7	153	0.047
0.5	10	313	0.026
0.5	12	452	0.018
0.5	15	706	0.02
0.5	18	1017	0.016
5	18	93.93	0.102
0.5	22	1520	0.01
5	22	144	0.076
5	27	221	0.067
5	32	314	0.048
5	40	495	0.093
5	48	716	0.032
5	60	1123	0.029

Tabla 66: Datos obtenidos en campo (Sondeo 5)

Fuente: Los Autores

SONDEO 6

MN/2	AB/2 (metros)	K (cte)	Resistividad Aparente (Ω)
0.5	1.5	6.28	1.004
0.5	2	11.78	0.486
0.5	3	27.49	0.202
0.5	4.5	62.83	0.086
0.5	7	153	0.027
0.5	10	313	0.011
0.5	12	452	0.009
0.5	15	706	0.007
0.5	18	1017	0.002
5	18	93.93	0.064
0.5	22	1520	0.001
5	22	144	0.048
5	27	221	0.035
5	32	314	0.027
5	40	495	0.02
5	48	716	0.015
5	60	1123	0.016

Tabla 67: Datos obtenidos en campo (Sondeo 6)

Fuente: Los Autores

A continuación, las ilustraciones No 78, 79 y 80 exponen algunos de los sondeos realizados en el campus Miracielos – Ricaurte.



Ilustración 78: Levantamiento de SEV 5 Fuente: Los Autores



Ilustración 79: Levantamiento de SEV 4 Fuente: Los Autores



Ilustración 80: Levantamiento de SEV 3 Fuente: Los Autores

CAPÍTULO 4: ANÁLISIS, INTERPRETACIÓN Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS DE LOS SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES

4.1.1 Obtención de resultados

Par analizar los datos obtenidos en campo de los sondeos eléctricos verticales (SEV), se procedió, mediante una hoja de cálculo en Excel y el programa WinSev a encontrar la resistividad real de los estratos en el campus Miracielos – Ricaurte. A continuación, se exponen las ecuaciones que se utilizaron para el cálculo de dicha resistividad real.

$$\frac{MN}{2} = \text{Dato (mediante la disposicion de los electrodos)}$$

$$\frac{AB}{2} = \text{Diferentes aberturas de colocacion de electrodos}$$

Resistividad Aparente (Ω) = medida en campo

Intensidad (I) = Intensidad con la que trabaja el equipo

Constante K = Depende de la disposicion de electrodos

*DeltaV = Intensidad * Resistividad Aparente*

*Resistividad Real = K * Resistividad Aparente*

A continuación, las ilustraciones No 81, 82, 83, 84, 85, y 86 exponen los resultados de esta aplicación de fórmulas por el programa WinSev de cada uno de los sondeos realizados en el campus Miracielos – Ricaurte.

Bilog		SEV model		Print Bilog	Bilog Setup	Profile data	SEV Profile
	MN/2	AB/2	DeltaV	I	K	Resist.	
1	.5	1.5	84.8	123	6.28	4.33	Data <input type="button" value="New ES"/> <input type="button" value="Delete line"/> <input type="button" value="Compute"/> <input type="button" value="Insert line"/> Shifting <input type="checkbox"/> <input type="button" value="Save"/> Half array <input type="checkbox"/> Graph title Comment
2	.5	2	40.1	123	11.78	3.84	
3	.5	3	17.5	123	27.49	3.91	
4	.5	4.5	7.1	123	62.83	3.63	
5	.5	7	3.4	123	153	4.23	
6	.5	10	1.4	123	313	3.56	
7	.5	12	.9	123	452	3.31	
8	.5	15	.7	123	706	4.02	
9	.5	18	.4	123	1017	3.31	
10	5	18	2.5	123	93.93	1.91	
11	5	22	.4	123	1520	4.94	
12	5	22	1.2	123	144	1.4	
13	5	27	1.2	123	221	2.16	
14	5	32	1.2	123	314	3.06	
15	5	40	1	123	495	4.02	
16	5	48	1	123	716	5.82	
17	5	60	.7	123	1123	6.39	
18							

Ilustración 81: Cálculo de resistividades reales en WinSev (Sondeo 1)

Fuente: Los Autores

Bilog		SEV model		Print Bilog	Bilog Setup	Profile data	SEV Profile
	MN/2	AB/2	DeltaV	I	K	Resist.	
1	.5	1.5	106.5	123	6.28	5.44	Data <input type="button" value="New ES"/> <input type="button" value="Delete line"/> <input type="button" value="Compute"/> <input type="button" value="Insert line"/> Shifting <input type="checkbox"/> <input type="button" value="Save"/> Half array <input type="checkbox"/> Graph title Comment
2	.5	2	54.4	123	11.78	5.21	
3	.5	3	21.2	123	27.49	4.73	
4	.5	4.5	8.2	123	62.83	4.21	
5	.5	7	3	123	153	3.67	
6	.5	10	1	123	313	2.5	
7	.5	12	.6	123	452	2.26	
8	.5	15	.1	123	706	.71	
9	.5	18	.1	123	1017	1.02	
10	5	18	4.9	123	93.93	3.76	
11	5	22	.5	123	1520	6.08	
12	5	22	1.2	123	144	1.44	
13	5	27	1.2	123	221	2.21	
14	5	32	1.2	123	314	3.14	
15	5	40	1.2	123	495	4.95	
16	5	48	1.2	123	716	7.16	
17	5	60	1.2	123	1123	11.2	
18							

Ilustración 82: Cálculo de resistividades reales en WinSev (Sondeo 2)

Fuente: Los Autores

Bilog		SEV model		Print Bilog	Bilog Setup	Profile data	SEV Profile
	MN/2	AB/2	DeltaV	I	K	Resist.	
1	.5	1.5	128.3	123	6.28	6.55	Data <input type="button" value="New ES"/> <input type="button" value="Delete line"/> <input type="button" value="Compute"/> <input type="button" value="Insert line"/> Shifting <input type="checkbox"/> <input type="button" value="Save"/> Half array <input type="checkbox"/> Graph title Comment
2	.5	2	68.6	123	11.78	6.57	
3	.5	3	24.8	123	27.49	5.54	
4	.5	4.5	9.4	123	62.83	4.8	
5	.5	7	2.5	123	153	3.11	
6	.5	10	.6	123	313	1.53	
7	.5	12	.4	123	452	1.47	
8	.5	15	1	123	706	5.74	
9	.5	18	.5	123	1017	4.13	
10	5	18	7.4	123	93.93	5.65	
11	5	22	.6	123	1520	7.41	
12	5	22	1.2	123	144	1.4	
13	5	27	1.2	123	221	2.16	
14	5	32	1.2	123	314	3.06	
15	5	40	1.2	123	495	4.83	
16	5	48	1.2	123	716	6.99	
17	5	60	2.5	123	1123	22.8	
18							

Ilustración 83: Cálculo de resistividades reales en WinSev (Sondeo 3)

Fuente: Los Autores

Bilog		SEV model		Print Bilog	Bilog Setup	Profile data	SEV Profile
	MN/2	AB/2	DeltaV	I	K	Resist.	
1	.5	1.5	120.5	123	6.28	6.15	
2	.5	2	67.2	123	11.78	6.43	
3	.5	3	33.5	123	27.49	7.48	
4	.5	4.5	15	123	62.83	7.67	
5	.5	7	5.8	123	153	7.19	
6	.5	10	2.5	123	313	6.26	
7	.5	12	2.6	123	452	9.49	
8	.5	15	1.4	123	706	7.77	
9	.5	18	.4	123	1017	3.05	
10	.5	18	18.4	123	93.93	14.1	
11	.5	22	1.1	123	1520	13.7	
12	.5	22	15	123	144	17.6	
13	.5	27	9.1	123	221	16.4	
14	.5	32	9.1	123	314	23.2	
15	.5	40	7.3	123	495	29.2	
16	.5	48	4.3	123	716	25.1	
17	.5	60	3.4	123	1123	31.4	
18							

Data

New ES Delete line

Compute Insert line

Shifting

Half array

Save

Graph title

Comment

Ilustración 84: Cálculo de resistividades reales en WinSev (Sondeo 4)

Fuente: Los Autores

Bilog		SEV model		Print Bilog	Bilog Setup	Profile data	SEV Profile
	MN/2	AB/2	DeltaV	I	K	Resist.	
1	.5	1.5	103.1	123	6.28	5.26	
2	.5	2	55.4	123	11.78	5.3	
3	.5	3	24.4	123	27.49	5.44	
4	.5	4.5	8.6	123	62.83	4.4	
5	.5	7	5.8	123	153	7.19	
6	.5	10	3.2	123	313	8.14	
7	.5	12	2.2	123	452	8.14	
8	.5	15	2.5	123	706	14.1	
9	.5	18	2	123	1017	16.3	
10	.5	18	12.5	123	93.93	9.58	
11	.5	22	1.2	123	1520	15.2	
12	.5	22	9.3	123	144	10.9	
13	.5	27	8.2	123	221	14.8	
14	.5	32	5.9	123	314	15.1	
15	.5	40	11.4	123	495	46	
16	.5	48	3.9	123	716	22.9	
17	.5	60	3.6	123	1123	32.6	
18							

Data

New ES Delete line

Compute Insert line

Shifting

Half array

Save

Graph title

Comment

Ilustración 85: Cálculo de resistividades reales en WinSev (Sondeo 5)

Fuente: Los Autores

Bilog		SEV model		Print Bilog	Bilog Setup	Profile data	SEV Profile
	MN/2	AB/2	DeltaV	I	K	Resist.	
1	.5	1.5	123.5	123	6.28	6.31	
2	.5	2	59.8	123	11.78	5.73	
3	.5	3	24.8	123	27.49	5.55	
4	.5	4.5	10.6	123	62.83	5.4	
5	.5	7	3.3	123	153	4.13	
6	.5	10	1.4	123	313	3.44	
7	.5	12	1.1	123	452	4.07	
8	.5	15	.9	123	706	4.94	
9	.5	18	.2	123	1017	2.03	
10	.5	18	7.9	123	93.93	6.01	
11	.5	22	.1	123	1520	1.52	
12	.5	22	5.9	123	144	6.91	
13	.5	27	4.3	123	221	7.74	
14	.5	32	3.3	123	314	8.48	
15	.5	40	2.5	123	495	9.9	
16	.5	48	1.8	123	716	10.7	
17	.5	60	2	123	1123	18	
18							

Data

New ES Delete line

Compute Insert line

Shifting

Half array

Save

Graph title

Comment

Ilustración 86: Cálculo de resistividades reales en WinSev (Sondeo 6)

Fuente: Los Autores

Posteriormente el programa WinSev grafica la resistividad real y las profundidades de los estratos en una escala logarítmica, la misma que sirve para su respectiva interpretación. A continuación, las ilustraciones No 87, 88, 89, 90, 91, y 92 exponen dichas gráficas.

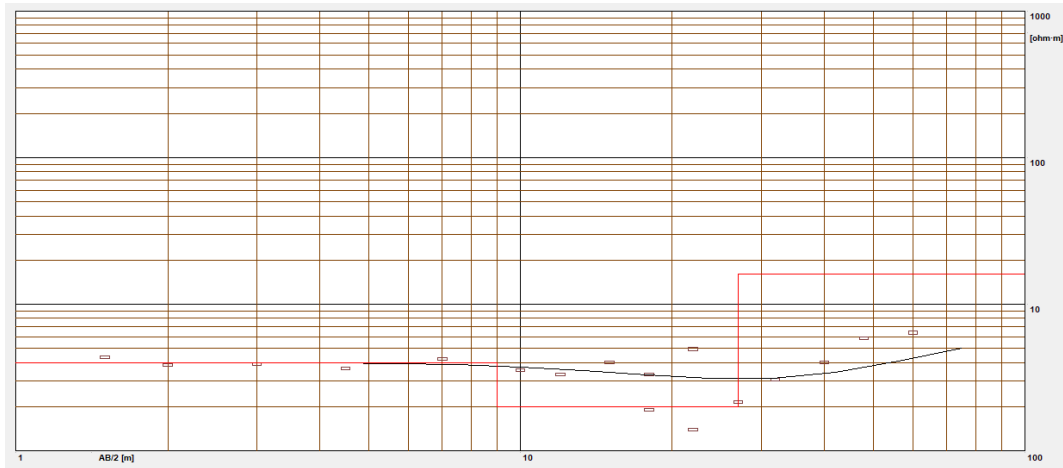


Ilustración 87: Gráfica Profundidades – Resistividad Real (Sondeo 1) Fuente: Los Autores

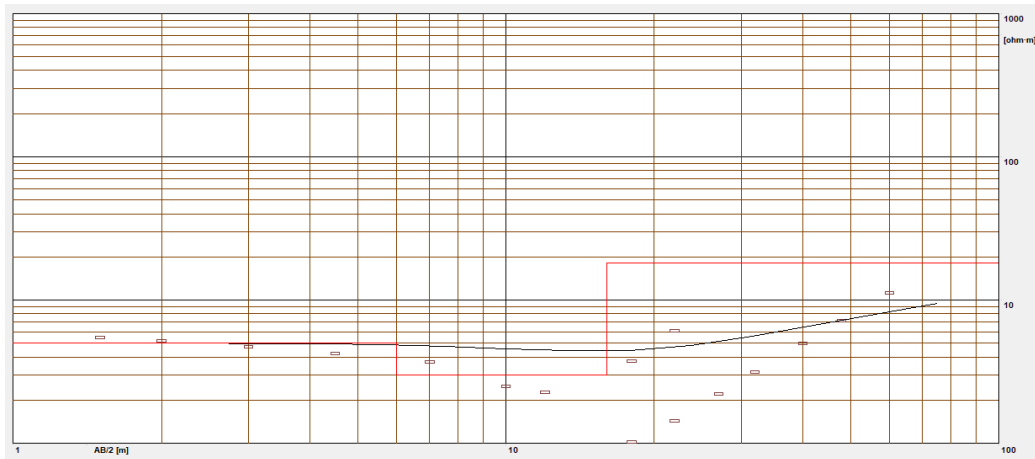


Ilustración 88: Gráfica Profundidades – Resistividad Real (Sondeo 2) Fuente: Los Autores

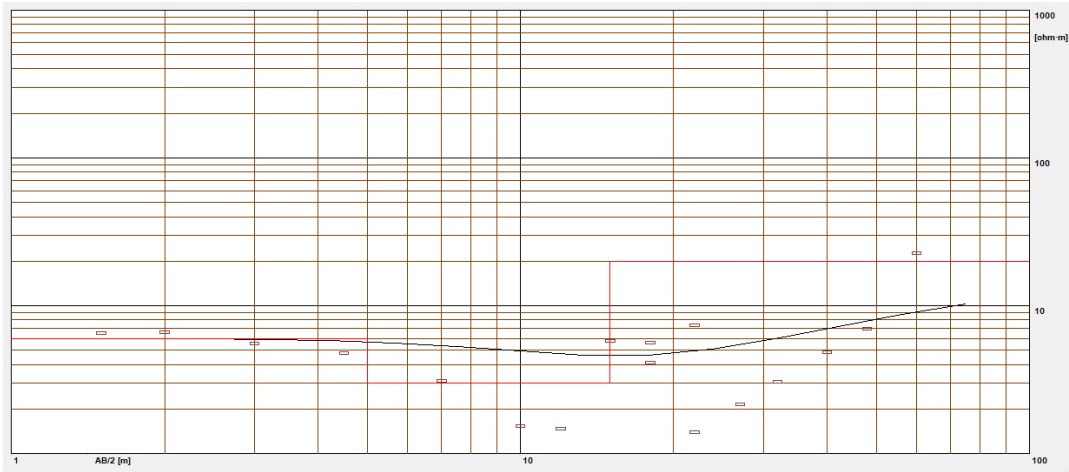


Ilustración 89: Gráfica Profundidades – Resistividad Real (Sondeo 3) Fuente: Los Autores

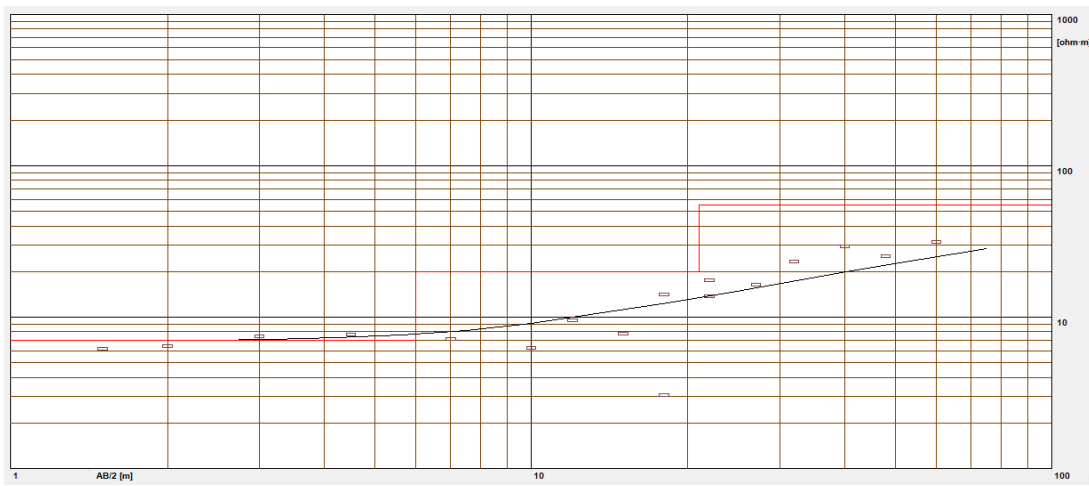


Ilustración 90: Gráfica Profundidades – Resistividad Real (Sondeo 4) Fuente: Los Autores

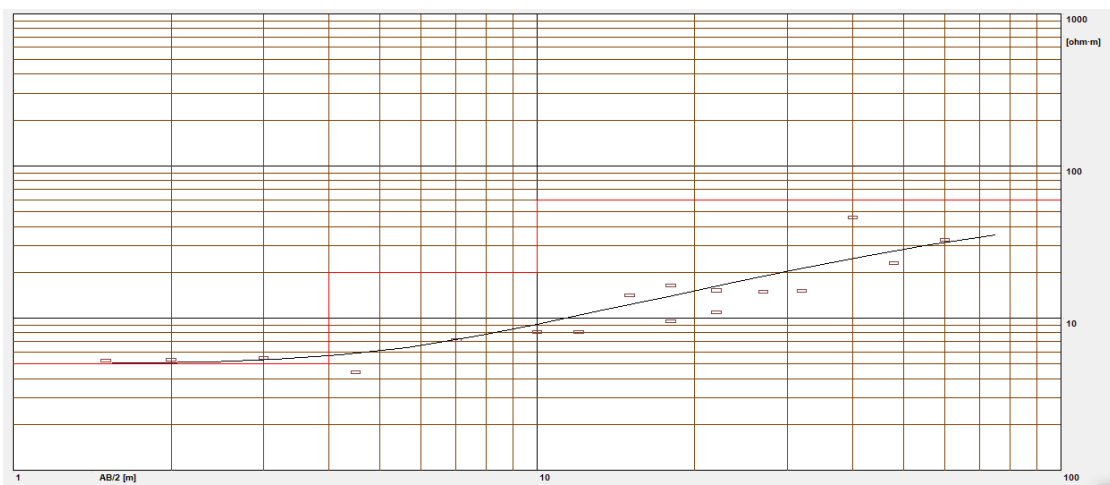


Ilustración 91: Gráfica Profundidades – Resistividad Real (Sondeo 5) Fuente: Los Autores

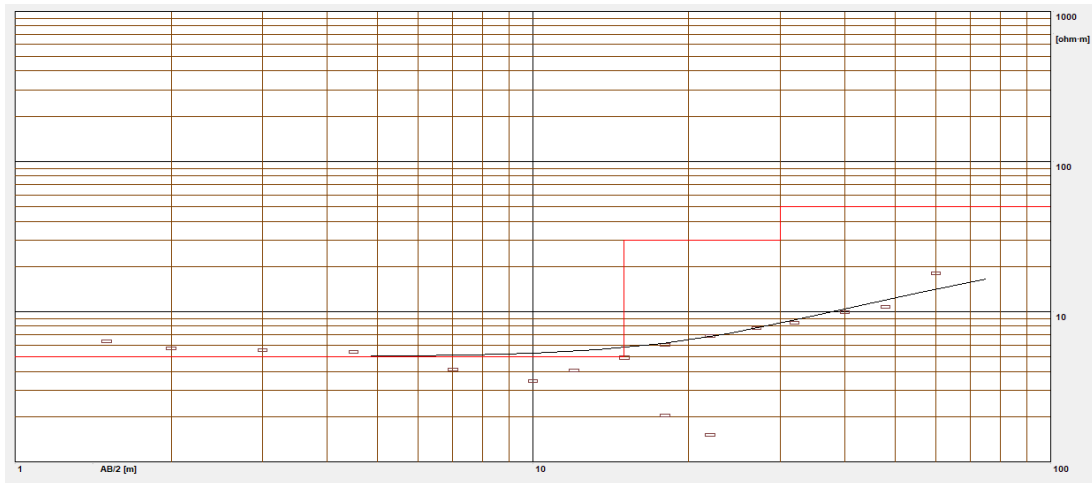


Ilustración 92: Gráfica Profundidades – Resistividad Real (Sondeo 6) Fuente: Los Autores

4.1.2 Interpretación de resultados

La tecnología actual ha alcanzado grandes logros en la definición de resistividades reales en función de los datos de campo, y los softwares en su configuración directamente proporciona estos datos de salida, por lo que actualmente ya no se hace un análisis analógico perceptivo en escala logarítmica, sin embargo estos datos resultantes deben ser analizados muy detenidamente conjuntamente con modelos prueba error que lo tiene cada software y en base a información geológica preliminar, esto sumado a la experiencia del técnico a cargo del proyecto.

La profundidad de exploración de este proyecto de investigación mediante sondeos eléctricos verticales (AB/2) fue de 60 metros, cabe recalcar que esta profundidad puede variar con respecto al proyecto que se esté realizando, en el caso del campus Miracielos -Ricaurte se pretende realizar construcciones, por lo que esta profundidad es la idónea para obtener datos verídicos.

A continuación, las tablas No 68, 69, 70, 71, 72 y 73 presenta los resultados de cada uno de los SEV y los materiales presumibles de los estratos según el tipo de suelo analizado anteriormente y la geología del campus Miracielos – Ricaurte.

MATERIALES PRESUMIBLES SONDEO 1

Material	Espesor (m)	Resistividad δ (Ohm-m)
Arcillas húmedas	0 - 9	4
Arcillas saturadas	9 – 18	2
Conglomerado con matriz areno – arcillosa, mediana consistencia	18 en adelante	16

Tabla 68: Materiales presumibles (Sondeo 1)

Fuente: Los Autores

MATERIALES PRESUMIBLES SONDEO 2

Material	Espesor (m)	Resistividad δ (Ohm-m)
Arcillas húmedas	0 - 6	5
Arcillas saturadas	6 – 16	3
Conglomerado con matriz areno – arcillosa, mediana consistencia	De 16 en adelante	18

Tabla 69: Materiales presumibles (Sondeo 2)

Fuente: Los Autores

MATERIALES PRESUMIBLES SONDEO 3

Material	Espesor (m)	Resistividad δ (Ohm-m)
Arcillas húmedas	0 - 5	6
Arcillas saturadas	5 – 15	3
Conglomerado con matriz areno – arcillosa, mediana consistencia	De 15 en adelante	20

Tabla 70: Materiales presumibles (Sondeo 3)

Fuente: Los Autores

MATERIALES PRESUMIBLES SONDEO 4

Material	Espesor (m)	Resistividad δ (Ohm-m)
Arcillas húmedas	0 - 6	7
Conglomerado con matriz areno – arcillosa, mediana consistencia	6 – 21	20
Conglomerado con matriz areno – arcillosa de mayor consistencia	De 21 en adelante	55

Tabla 71: Materiales presumibles (Sondeo 4)

Fuente: Los Autores

MATERIALES PRESUMIBLES SONDEO 5

Material	Espesor (m)	Resistividad δ (Ohm-m)
Arcillas húmedas	0 - 4	5
Conglomerado con matriz areno – arcillosa, mediana consistencia	4 – 10	20
Conglomerado con matriz areno – arcillosa de mayor consistencia	De 10 en adelante	60

Tabla 72: Materiales presumibles (Sondeo 5)

Fuente: Los Autores

MATERIALES PRESUMIBLES SONDEO 6

Material	Espesor (m)	Resistividad δ (Ohm-m)
Arcillas húmedas	0 - 15	5
Conglomerado con matriz areno – arcillosa, mediana consistencia	15 – 30	30
Conglomerado con matriz areno – arcillosa de mayor consistencia	De 30 en adelante	50

Tabla 73: Materiales presumibles (Sondeo 6)

Fuente: Los Autores

A continuación, en las ilustraciones No 93, 94 y 95 se exponen la estratigrafía de cada uno de los puntos en donde se realizaron los sondeos eléctricos verticales (SEV).

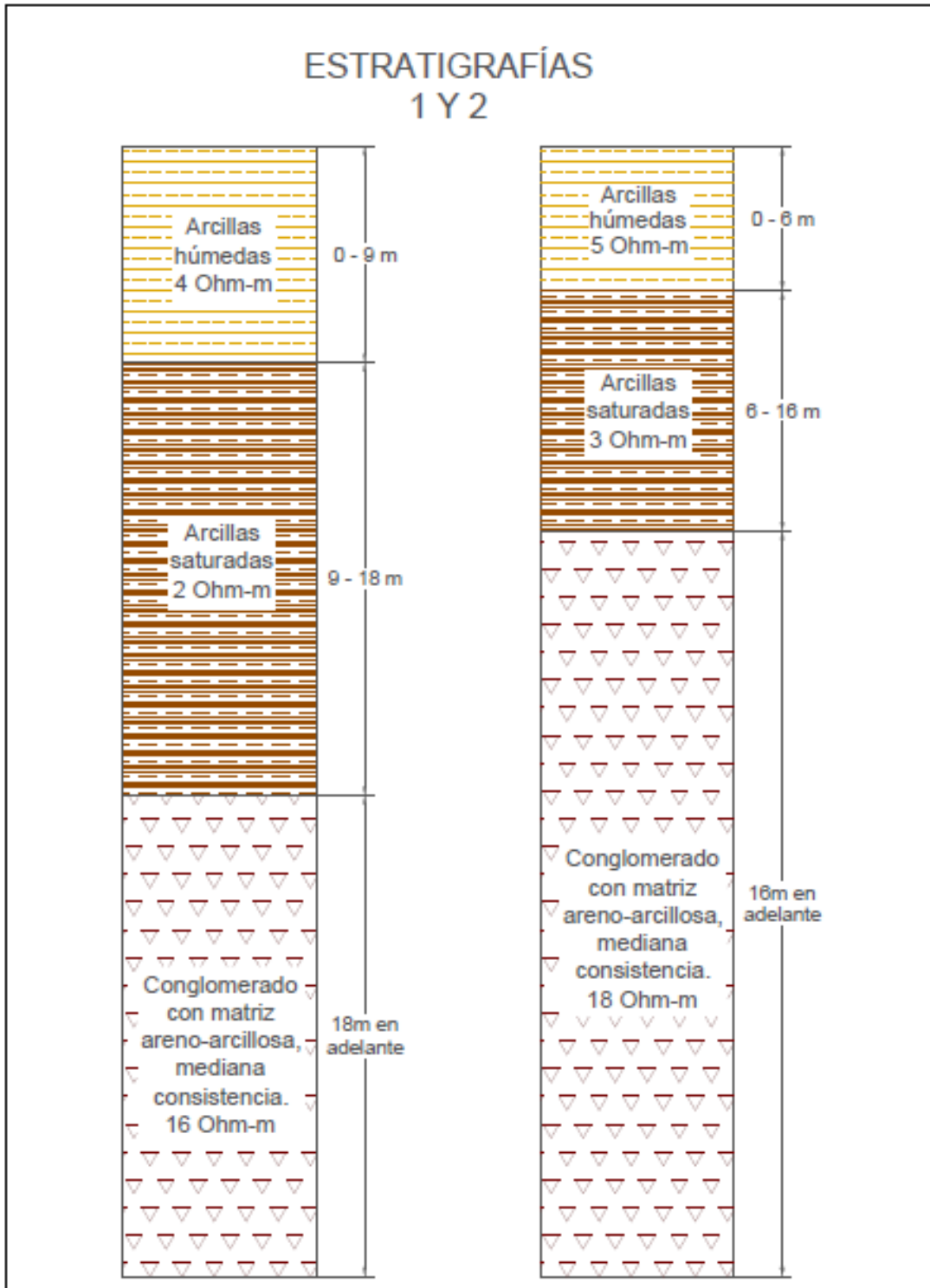


Ilustración 93: Estratigrafías de los puntos 1 y 2 de SEV

Fuente: Los Autores

ESTRATIGRAFÍAS 3 Y 4

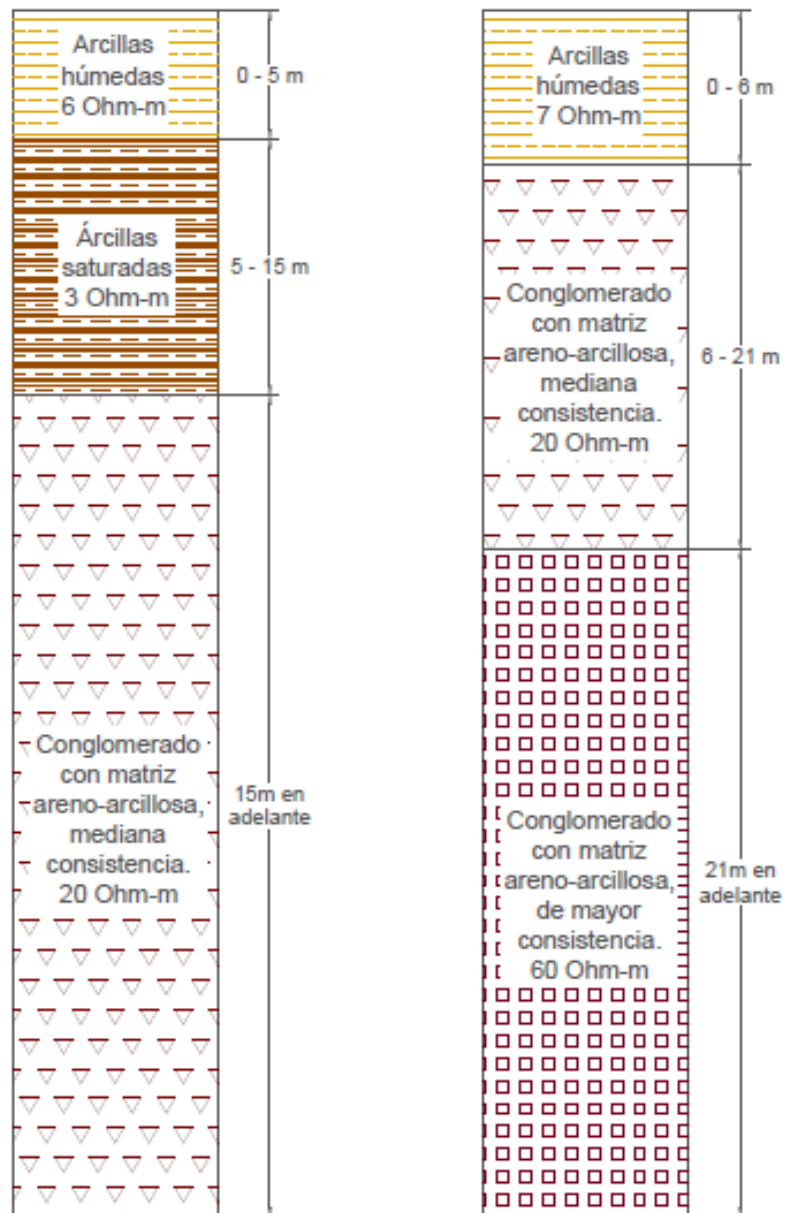


Ilustración 94: Estratigrafías de los puntos 3 y 4 de SEV

Fuente: Los Autores

ESTRATIGRAFÍAS 5 Y 6

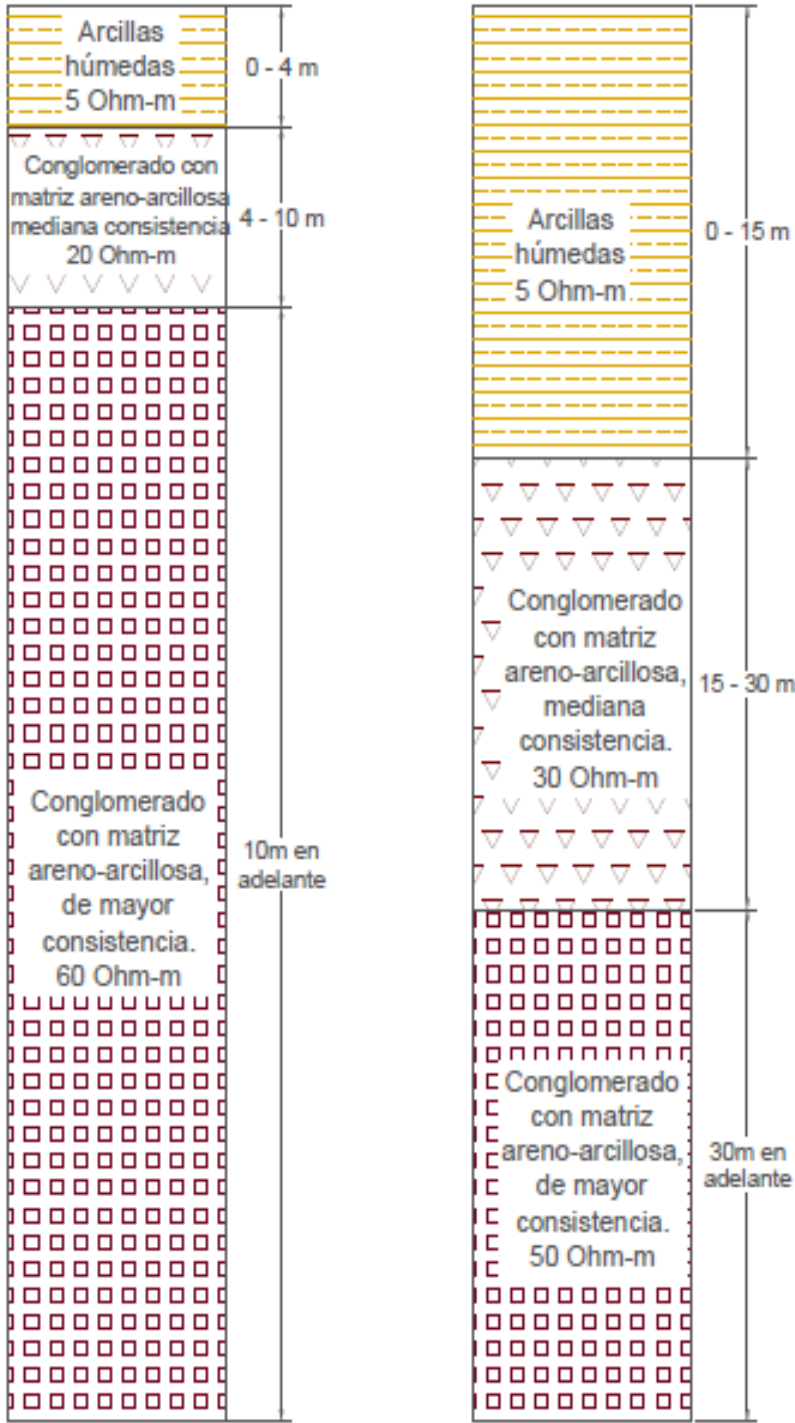


Ilustración 95: Estratigrafías de los puntos 5 y 6 de SEV

Fuente: Los Autores

4.2 ESTRATIGRAFÍA DEL CAMPUS MIRACIELOS – RICAURTE LADO N/O MEDIANTE MÉTODOS DE EXPLORACIÓN DIRECTA E INDIRECTA

4.2.1 Estratigrafía del campus Miracielos – Ricaurte mediante métodos de exploración directa

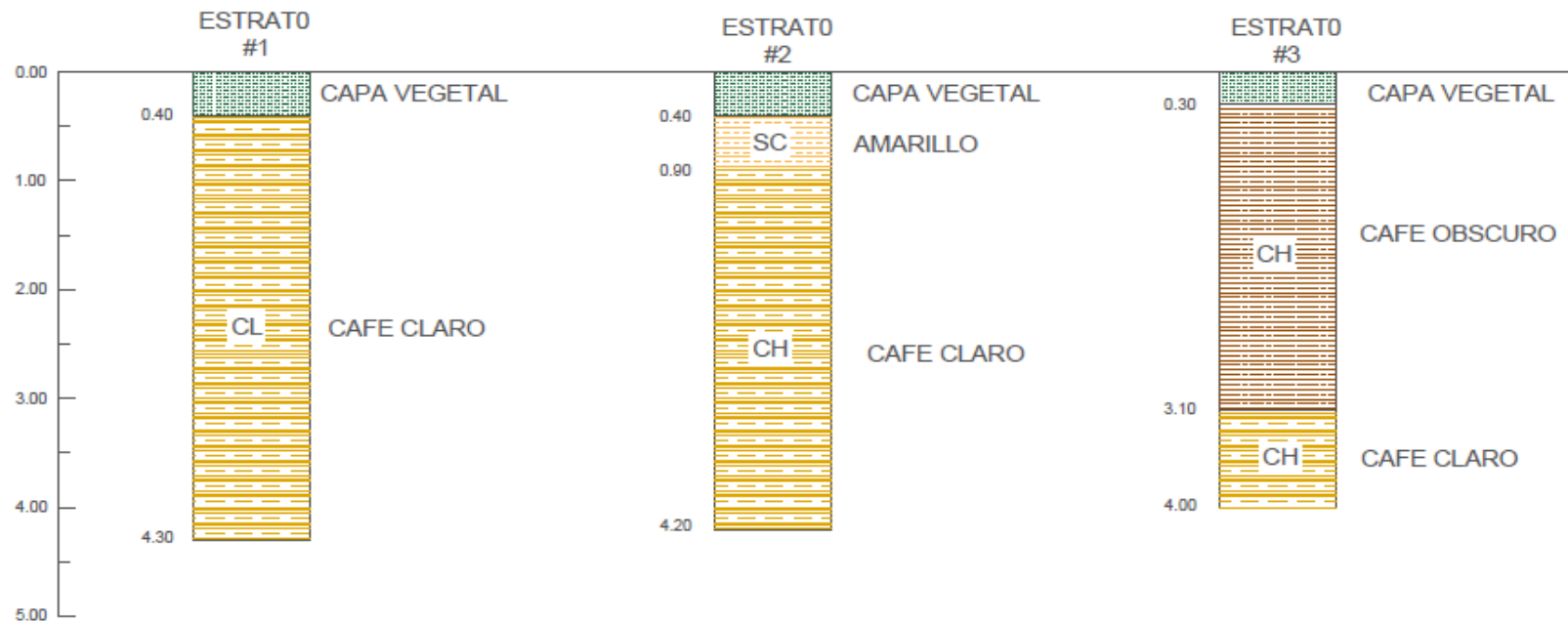
Sabiendo que la estratigrafía indica una sección transversal del terreno en la cual expone los espesores y el orden de los estratos. A partir de las extracciones de calicatas realizadas en el campus, las mismas que son un método de exploración directa, y una clasificación de los estratos se obtuvo el perfil estratigráfico de dichos puntos de estudio. La ilustración No 90 expone el perfil estratigráfico mediante métodos de exploración directa, en la misma que se puede observar que la capa vegetal varía entre los 30–40 cm, y más profundo un suelo arcilloso de mediana y alta plasticidad hasta la profundidad que se extrajeron las calicatas la misma que en promedio es 4 m.

4.2.2 Estratigrafía del campus Miracielos – Ricaurte mediante métodos de exploración indirecta

Por medio de la prospección geofísica (exploración indirecta de los estratos) realizada en el campus se obtuvo el perfil estratigráfico, el mismo que expone un mayor alcance en profundidad y demuestra que predominan los suelos arcillosos en una primera capa superficial y que posterior a esta existen conglomerados. En la ilustración No 96 y 97 se expone el perfil estratigráfico mediante métodos de exploración indirecta.

PERFIL ESTRATIGRÁFICO CAMPUS MIRACIELOS - RICAURTE

MEDIANTE MÉTODOS DE EXPLORACIÓN DIRECTA (CALICATAS).

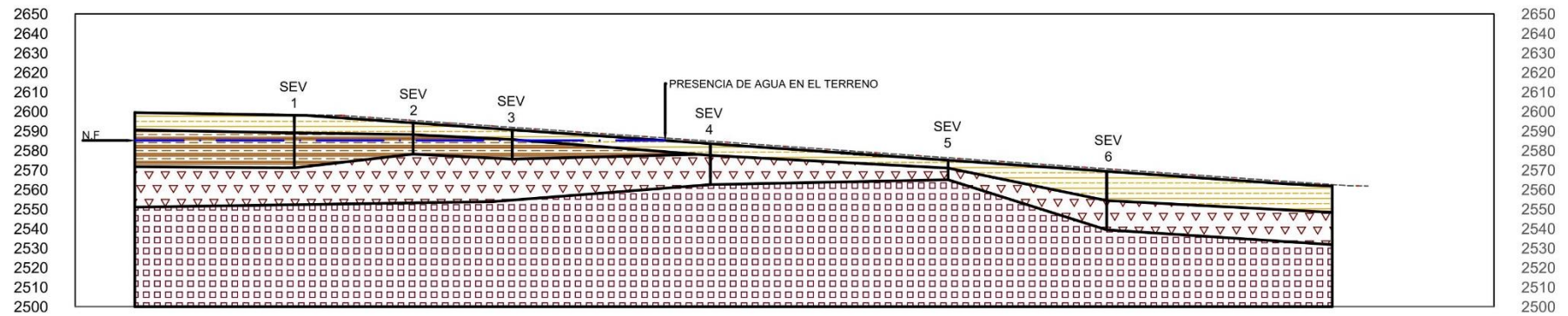


DISTANCIA ENTRE PUNTOS DE INSPECCIÓN DIRECTA	
1 - 2	80 metros
2 - 3	90 metros

Ilustración 96: Estratigrafía del campus Miracielos - Ricaurte mediante métodos de exploración directa

Fuente: Los Autores

PERFIL ESTRATIGRÁFICO CAMPUS MIRACIELOS - RICAURTE
 MEDIANTE MÉTODOS DE EXPLORACIÓN INDIRECTA (SEV)



SÍMBOLOGÍA	
	Arcillas húmedas
	Arcillas saturadas
	Conglomerado de matriz areno - arcillosa, mediana consistencia
	Conglomerado de matriz areno - arcillosa, de mayor consistencia

DISTANCIA ENTRE SEV	
1 - 2	60 metros
2 - 3	50 metros
3 - 4	100 metros
4 - 5	120 metros
5 - 6	80 metros



Ilustración 97: Estratigrafía del campus Miracielos - Ricaurte mediante métodos de exploración directa

Fuente: Los Autores

4.3 COMPARACIÓN Y RELACIÓN DE RESULTADOS

Dentro del estudio del subsuelo en el campus Miracielos – Ricaurte realizado mediante métodos de exploración directa como son la extracción de calicatas, en los puntos 1 y 2 no existe nivel freático hasta la profundidad alcanzada, mientras que en el punto 3 se encontró la presencia de nivel freático a los 4 metros de profundidad. A continuación, en la ilustración No 98 se expone el nivel freático encontrado en dicho punto.



Ilustración 98: Nivel freático en el punto 3 Fuente: Los Autores

Dicho nivel freático presenciado en este punto, se corroboró mediante las exploraciones por medio de sondeos eléctricos verticales, ya que las resistividades reales del terreno bajaron, por lo tanto, ese estrato está compuesto de arcillas saturadas.

En el estudio del subsuelo por la extracción de calicatas se puede apreciar claramente los estratos que conforman el subsuelo a una cierta profundidad, con rangos que varían entre 4 – 6 metros de profundidad, la misma que dependerá del alcance de la maquinaria, o equipo utilizado, la ventaja de este método de exploración es que proporciona información confiable de los parámetros geomecánicas y tipos de suelo, mientras tanto en la exploración por métodos indirectos no se obtiene los parámetros geomecánicas del suelo, pero sí la principal

característica de este método es la obtención de la estratigrafía a profundidades considerables, que es muy importante para una obra de mayor envergadura como puede ser: represas, vías, estabilización de taludes, para precisar la profundidad y tipo de cimentaciones.

Luego de haber analizado el suelo y subsuelo del campus Miracielos – Ricaurte por medio de los métodos de exploración directo (calicatas) e indirecto (SEV) se corroboró información estratigráfica. A continuación, la tabla No 74 representa los rangos de resistividad de cada uno de los estratos que se podrían encontrar en el sector o área de estudio, como también las características geomecánicas de cada uno.

Material	Resistividad δ (Ohm-m)	Limite Líquido	Limite Plástico	Índice de plasticidad	Capacidad de carga	Carga máxima
Arcillas saturadas	1 - 3	40 - 65	19 - 29	17 - 37	2.42 kg/cm ²	24.2 ton (1x1x1m)
Arcillas húmedas	4 - 14	Indeterminado	Indeterminado	Indeterminado	Indeterminado	Indeterminado
Conglomerado con matriz areno – arcillosa, mediana consistencia	15 – 30	Indeterminado	Indeterminado	Indeterminado	Indeterminado	Indeterminado
Conglomerado con matriz areno – arcillosa de mayor consistencia	31 - 70	Indeterminado	Indeterminado	Indeterminado	Indeterminado	Indeterminado

4.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.4.1 Conclusiones

En base a la información recopilada obtenida de diferentes medios, los estudios y análisis realizados en el campus Miracielos – Ricaurte se presentan las siguientes conclusiones:

- Se comprobó que la geología en el área de estudio son terrazas aluviales que remontan al periodo del cuaternario, conformadas por depósitos de origen aluvial, con suelos arcillosos húmedos y saturados, lo que hace terrenos realmente inestables para cualquier construcción mayor, con matrices areno – arcillosas en estratos más profundos.
- La presencia de nivel freático está poco a medianamente profundos en esta área de estudio, lo que puede causar también la inestabilidad de los terrenos y la saturación de los mismos, produciéndose asentamientos en las estructuras.
- Las exploraciones del subsuelo por medio de métodos indirectos cada vez son más exactas y confiables, debido al gran avance de la tecnología en el campo de la geofísica, lo que hace que en un futuro no tan lejano se podría acercar mayormente a las características geotécnicas reales de los estratos inferiores.
- De acuerdo al tipo de proyecto, y por practicidad, estudiar el subsuelo mediante métodos indirectos resulta preliminarmente eficaz, ya que dichos métodos no son invasivos y consecuentemente menos costosos, a pesar que en la actualidad no exista una correlación entre métodos directos e indirectos que permitan obtener parámetros geomecánicos, sino simplemente el tipo de estrato.
- De la investigación bibliográfica realizada no existe formulación para obtener parámetros geomecánicos del suelo desde los sondeos eléctricos verticales, sin embargo, de acuerdo al valor de la resistividad se puede tener una idea clara de estos

parámetros. En la tabla No 74 está definido los parámetros geomecánicos en función de los materiales encontrados en el campus Miracielos – Ricaurte.

- De acuerdo a la capacidad portante calculada en los diferentes puntos de estudio se concluye que es un suelo pobre o malo desde el punto de vista geotécnico, y las cimentaciones se pueden ver afectadas por los niveles freáticos poco profundos.
- En tanto para el criterio de deformaciones solo fueron calculados los asentamientos inmediatos o elásticos, esto debido a la situación actual y por no poder realizar los ensayos pertinentes para el cálculo de asentamientos por consolidación secundaria o a largo plazo.

Los resultados de los asentamientos inmediatos, utilizando la teoría de la elasticidad se muestran en las tablas del capítulo 3.5 expuesto anteriormente, todos cumplen con el asentamiento inmediato según la norma, es decir menor a 2.54 centímetros. Pero se recomienda realizar los cálculos de asentamientos por consolidación secundaria ya que la NEC-SE-CM no establece un rango de asentamientos a largo plazo permisibles para cada tipo de estructura.

4.4.2 Recomendaciones

- Para el proyecto microzonificación sísmica y mapa de riesgos se recomienda realizar el método de exploración indirecta “refracción sísmica”, ya que esta además de corroborar los estratos expuestos en este trabajo, brindara velocidades de onda, la misma que permite obtener la aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño (factor z) en este tipo de suelos.
- Debido a que el terreno es inestable, para garantizar la estabilidad y la seguridad de las estructuras que se construyan en un futuro, se recomienda la construcción de

sub-drenes profundos en la cabecera del predio y canalizar las aguas servidas y lluvias.

- Para el diseño de las zapatas que se implementaran en las estructuras futuras, se recomienda utilizar la capacidad portante obtenida por el método de Meyerhof, ya que esta es la que se considera diversos factores, los mismos que hacen que la capacidad portante sea más confiable.
- Se recomienda construir edificaciones flexibles que tengan la capacidad de readaptarse a los asentamientos diferenciales para no sufrir daños, concentrando las cargas estructurales en los cimientos (zapatas o losas de cimentación) de tal forma que transmitan una presión suficiente capaz de evitar el levantamiento del suelo arcilloso por expansión.
- Se recomienda tomar medidas de precaución para evitar la saturación aun mayor de las arcillas al momento de construir la cimentación utilizando materiales asfálticos o recubrimientos plásticos que evite el contacto suelo – estructura.
- Se recomienda sobre excavar el área donde se emplazará la cimentación un rango de 10 a 20 centímetros más profundo, para posteriormente rellenarlo con un empedrado o algún tipo de mejoramiento de suelo, con el fin de contrarrestar la expansión del mismo.
- Se recomienda al momento de cimentar sobre estas arcillas expansivas realizar la construcción de pozos de hormigón ciclópeo por debajo de la capa activa del terreno expansivo, para sobre estos pozos cimentar las zapatas de las estructuras, o también realizar la cimentación con la ayuda de pilotes o micro-pilotes o cimentación de losa armada.
- Se recomienda cimentar las estructuras en función del número de pisos, ya sean estos de 2 pisos o de 3 pisos, que son más funcionales en las edificaciones

educativas, las mismas que se plantean construir en estos predios, para una estructura de dos pisos se recomienda construir zapatas de 1 x 1 m a una profundidad de cimentación de 1 m, con una carga máxima en las zapatas de 24.2Ton, con una capacidad portante de 2.42 Kg/cm².

Para una estructura de 3 pisos se recomienda construir zapatas de 1.5 x 1.5 m a una profundidad de cimentación de 2 m, con una carga máxima en las zapatas de 62.7 Ton, con una capacidad portante de 2.79 Kg/cm², estos datos están basados en el punto de estudio 3, el cual posee la menor carga admisible.

De los estudios realizados en la parte intermedia del campus miracielos Ricaurte están presentes arcillas humedad cuya capacidad portante es 2.42 kg/cm² que admite construcciones de 2 pisos, por lo tanto, extrapolando se debería suponer que hacia la parte superior con seguridad se podrían emplazar este tipo de construcciones, ya que existe mayor capacidad portante. Con el mismo razonamiento en la parte inferior, de acuerdo a los SEV la resistividad aumenta, por lo que se presume que son conglomerados de acuerdo a lo descrito, por lo que se infiere que la capacidad del suelo es superior a los 4.12 kg/cm² por lo tanto las construcciones que se podrían emplazar ahí podrían admitirse hasta los 3 – 5 pisos conservadoramente. Sin embargo, con el diseño estructural se definirán con seguridad si se requiere zapatas aisladas, viga corrida o losas de cimentación, así como su profundidad de cimentación

Al tratarse de arcillas expansivas en la parte superior del predio existirán asentamientos secundarios, los mismos que deben ser analizados en el análisis estructural, en la parte inferior se espera asentamientos primarios de acuerdo a los datos obtenidos a partir de los SEV.

BIBLIOGRAFÍA

- Vélez Dávila, P. E. (2012). *Comprobación de las correlaciones de la presión de expansión con las propiedades índices en suelos del sector Chaullabamba, Cuenca, recomendaciones para el sector de la construcción*. Cuenca - Ecuador.
- ASTMD1586. (2011). *Método de Prueba estándar para prueba de penetración estándar (SPT) y muestreo de suelos*. Pensilvania.
- Basabe R, P. (1998). *Proyecto PRECUPA*. Cuenca.
- Bowles, J. (1978). *Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil*. Mexico DF: Libros McGraw-Hill .
- Bowles, J. (1978). *Manual de LABORATORIO DE SUELOS en Ingeniería Civil*. MEXICO: LIBROS MCGRAW-HILL DE MEXICO.
- Braja M, D. (1985). *Fundamentos de ingeniería Geotécnica*. Sacramento - California.
- Callañaupa , R., Estrada, E., Farfán, S., Quispe, A., & Tunquipa, R. (2016). *Estudio Geomecánico del Suelo Mediante el Ensayo de Calicatas*. Cusco.
- Cataluña, U. P. (2017). *Tomografía eléctrica*. Barcelona.
- Duque Escobar, G. (2003). *Manual de geología para ingenieros*. Manizales.
- Fimbres Castillo, J. (2008). *Cientación de puentes*. México D.F.
- García, R. (2011). *Método Eléctrico principios y leyes fundamentales prospección, tendidos presentación e interpretación*. Salta - Chile.
- geologia. (s.f.). <https://geologiaweb.com>. Obtenido de <https://geologiaweb.com/geofisica/>

- ITIEM. (1987). *Código de Construcciones Sismoresistentes para la Provincia de Mendoza*.
Mendoza.
- Kyowa engineering consultants CO.,LTD. (2005). *Texto de Prospección Geofísica / Hidrogeología*. Cuenca.
- Leal Lepe, K., Poblete Freire, M., & Villalobos, F. (2016). Resultados Preliminares de ensayos dilatométricos en suelos limosos de Talcahuano y arenosos de Concón.
- NEC-SE-CG. (2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción*. Quito.
- NEC-SE-DS. (2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción*. Quito.
- NEC-SE-GC. (2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción*. Quito.
- Núñez Del Arco, E. (2003). *Geología del Ecuador*. Guayaquil.
- Núñez Mardones, C. A. (2018). *Caracterización del suelo mediante método refracción de microtrmores (ReMi) en Curacautín, región de la Araucanía*. Concepción.
- Olguín R. y Ortúzar M. (2015). Desarrollo e implementación de una veleta de corte a alta revolución para sondajes. *Obras y Proyectos 17*, 89-95.
- Olguín, R., & Ortúzar , M. (2015). Desarrollo e implementación de una veleta de corte a alta revolución para sondajes. *Obras y Proyectos 17*, 89-95.
- Salas, O. V. (2011). *Ensayos triaxiales para suelos*. Costa Rica.
- Sánchez San Román, F. (2005). *Prospección geofísica: Sondeos Eléctricos Verticales*.
Salamanca - España.
- SIGTIERRAS. (2015). *Geomorfología del Cantón Cuenca*. Cuenca.
- TresGeo. (2014). <https://www.tresgeo.com>. Obtenido de TRESGEO:
<https://www.tresgeo.com/geofisica-america-sismica>

Uday González, F. (2010). *Expansión Urbana y su incidencia en los sistemas de producción agrícola en los sectores de Mayancela y Ricaurte*. Cuenca.

Vargas, C., Vargas, L., & Coto, M. (2009). Análisis Espectral de ondas superficiales. *Revista Geológica de América Central*.

ANEXOS

ANEXOS FOTOGRÁFICOS



Extracción de calicatas punto 1



Visualización de estratigrafía punto 1



Extracción de calicatas punto 2



Extracción de calicatas punto 3



Visualización de estratigrafía punto 3



SEV 1



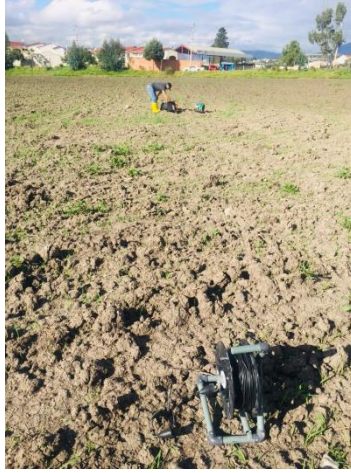
SEV 2



SEV 3



SEV 4



SEV 5



SEV 6



Granulometría calicata 2



Granulometría calicata 4



Granulometría calicata 5



Preparación de material para límites de Atterberg calicata 1



Límites de Atterberg calicata 3



Límites de Atterberg calicata 5



Límites de Atterberg calicata 4



Compactación calicata 1



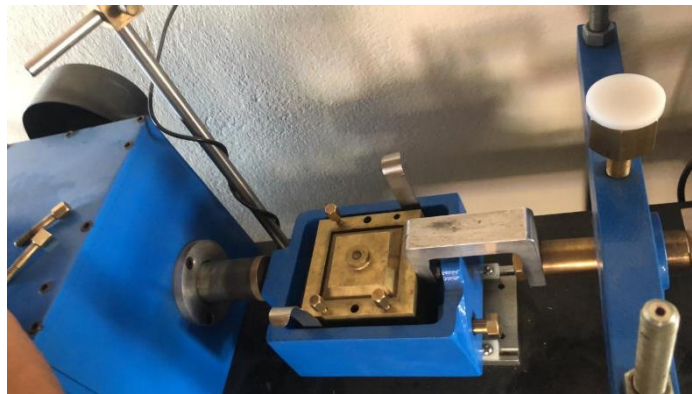
Labrado de muestra para ensayo triaxial punto 2



Realización del ensayo triaxial punto 2



Cilindro 1 ensayo triaxial punto 2



Ensayo corte directo punto 2


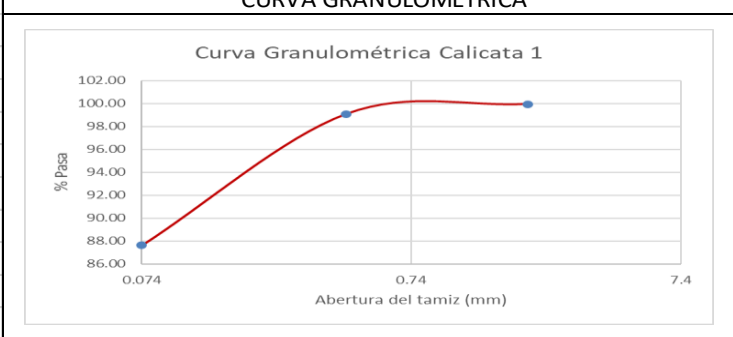
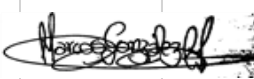


Ensayo corte directo punto 3



Ensayo corte directo punto 3

ANEXOS DE LABORATORIO


UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA						
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL						
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN						
ANALISIS GRANULOMÉTRICO DEL SUELO						
PROYECTO	TESIS CORONEL - ORTÍZ					
MUESTRA	CALICATA 1					
SOLICITADO POR :						
FECHA	may-20					
TAMIZ Nº	ABERTURA MM.	PESO RET. GM.	RET. ACUM. GM.	% RETENIDO	% PASA	% ESPECIF.
3"	76.2					
2 1/2"	63.5					
2"	50.8					
1 1/2"	38.1					
1"	25.4					
3/4"	19.1					
1/2"	12.7					
3/8"	9.52					
Nº4	4.76					
PASA No4						
10	2	0.2	0.2	0.05	99.95	
40	0.42	3.6	3.8	0.92	99.08	
200	0.074	47	50.8	12.36	87.64	
FONDO		0.4	51.2			
TOTAL		51.2				
PESO ANTES DEL ENSAYO		51.5	PESO HUMEDO ANTES DEL LAVADO	=		500
PESO DESPUES DEL ENSAYO		51.2	PESO SECO ANTES DEL LAVADO	=		410.98
% DE HUMEDD		21.66	PESO SECO DESPUES DEL LAVADO	=		
CURVA GRANULOMÉTRICA						
						
Ing. Luis Mario Almache Jefe de Laboratorio				 Ing. Marcos González Laboratorista		

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

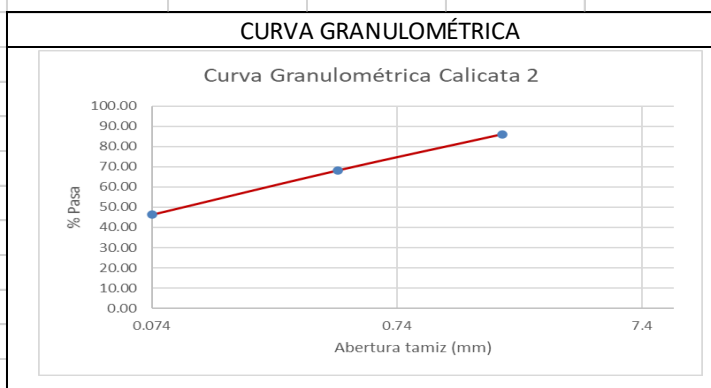
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL SUELO

PROYECTO	TESIS CORONEL - ORTÍZ	
MUESTRA	CALICATA 2	
SOLICITADO POR :		
FECHA	may-20	

	ABERTURA	PESO RET.	RET. ACUM.	%	%	%
TAMIZ Nº	MM.	GM.	GM.	RETENIDO	PASA	ESPECIF.
3"	76.2					
2 1/2"	63.5					
2"	50.8					
1 1/2"	38.1					
1"	25.4					
3/4"	19.1					
1/2"	12.7					
3/8"	9.52					
Nº4	4.76					
PASA Nº4						
10	2	59.7	59.7	13.97	86.03	
40	0.42	76.3	136	31.82	68.18	
200	0.074	93.4	229.4	53.68	46.32	
FONDO		8.1	237.5			
TOTAL		237.5				

PESO ANTES DEL ENSAYO	238	PESO HUMEDO ANTES DEL LAVADO	=	500
PESO DESPUES DEL ENSAYO	237.5	PESO SECO ANTES DEL LAVADO	=	427.39
% DE HUMEDD	16.99	PESO SECO DESPUES DEL LAVADO	=	



Ing. Luis Mario Almache
Jefe de Laboratorio




Ing. Marcos González
Laboratorista

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

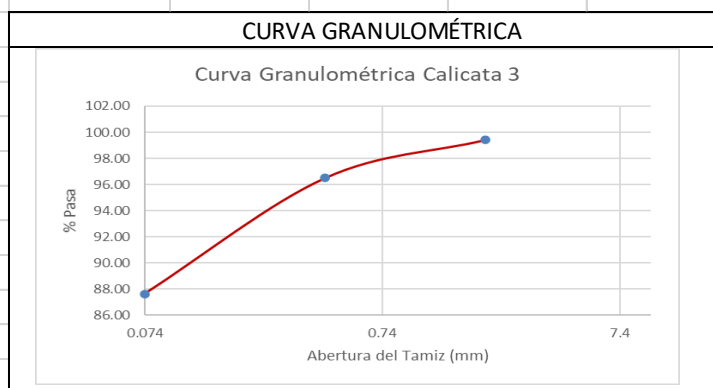
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL SUELO

PROYECTO	TESIS CORONEL - ORTÍZ	
MUESTRA	CALICATA 3	
SOLICITADO POR :		
FECHA	may-20	

	ABERTURA	PESO RET.	RET. ACUM.	%	%	%
TAMIZ Nº	MM.	GM.	GM.	RETENIDO	PASA	ESPECIF.
3"	76.2					
2 1/2"	63.5					
2"	50.8					
1 1/2"	38.1					
1"	25.4					
3/4"	19.1					
1/2"	12.7					
3/8"	9.52					
Nº4	4.76					
PASA No4						
10	2	2.3	2.3	0.57	99.43	
40	0.42	11.7	14	3.49	96.51	
200	0.074	35.6	49.6	12.38	87.62	
FONDO		3.3	52.9			
TOTAL		52.9				

PESO ANTES DEL ENSAYO	53.5	PESO HUMEDO ANTES DEL LAVADO	=	500
PESO DESPUES DEL ENSAYO	52.9	PESO SECO ANTES DEL LAVADO	=	400.61
% DE HUMEDD	24.81	PESO SECO DESPUES DEL LAVADO	=	



Ing. Luis Mario Almache
Jefe de Laboratorio




Ing. Marcos González
Laboratorista

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

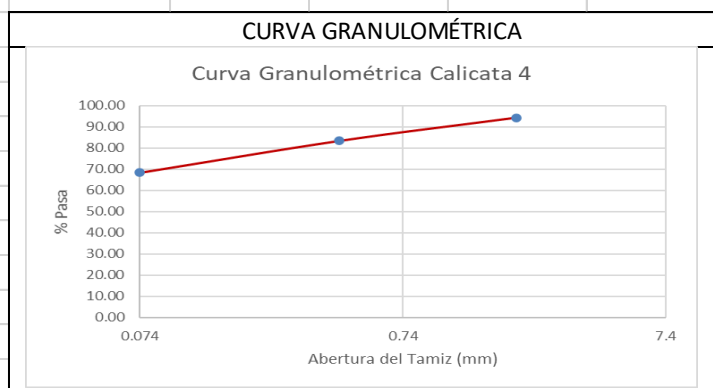
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL SUELO

PROYECTO	TESIS CORONEL - ORTÍZ	
MUESTRA	CALICATA 4	
SOLICITADO POR :		
FECHA	may-20	

	ABERTURA	PESO RET.	RET. ACUM.	%	%	%
TAMIZ Nº	MM.	GM.	GM.	RETENIDO	PASA	ESPECIF.
3"	76.2					
2 1/2"	63.5					
2"	50.8					
1 1/2"	38.1					
1"	25.4					
3/4"	19.1					
1/2"	12.7					
3/8"	9.52					
Nº4	4.76					
PASA Nº4						
10	2	23.5	23.5	5.77	94.23	
40	0.42	44.3	67.8	16.65	83.35	
200	0.074	60.9	128.7	31.61	68.39	
FONDO		0.5	129.2			
TOTAL		129.2				

PESO ANTES DEL ENSAYO	129.5	PESO HUMEDO ANTES DEL LAVADO	=	500
PESO DESPUES DEL ENSAYO	129.2	PESO SECO ANTES DEL LAVADO	=	407.13
% DE HUMEDAD	22.81	PESO SECO DESPUES DEL LAVADO	=	





Ing. Luis Mario Almache
Jefe de Laboratorio


Ing. Marcos González
Laboratorista

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

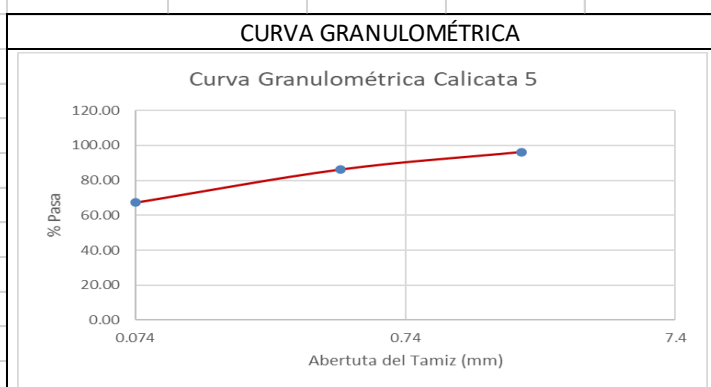
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL SUELO


PROYECTO	TESIS CORONEL - ORTÍZ	
MUESTRA	CALICATA 5	
SOLICITADO POR :		
FECHA	may-20	

	ABERTURA	PESO RET.	RET. ACUM.	%	%	%
TAMIZ Nº	MM.	GM.	GM.	RETENIDO	PASA	ESPECIF.
3"	76.2					
2 1/2"	63.5					
2"	50.8					
1 1/2"	38.1					
1"	25.4					
3/4"	19.1					
1/2"	12.7					
3/8"	9.52					
Nº4	4.76					
PASA Nº4						
10	2	14.4	14.4	3.75	96.25	
40	0.42	38.5	52.9	13.78	86.22	
200	0.074	72.8	125.7	32.75	67.25	
FONDO		4.6	130.3			
TOTAL		130.3				

PESO ANTES DEL ENSAYO	130.4	PESO HUMEDO ANTES DEL LAVADO =	500
PESO DESPUES DEL ENSAYO	130.3	PESO SECO ANTES DEL LAVADO =	383.79
% DE HUMEDAD	30.28	PESO SECO DESPUES DEL LAVADO =	



Ing. Luis Mario Almache
Jefe de Laboratorio



Ing. Marcos González
Laboratorista

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

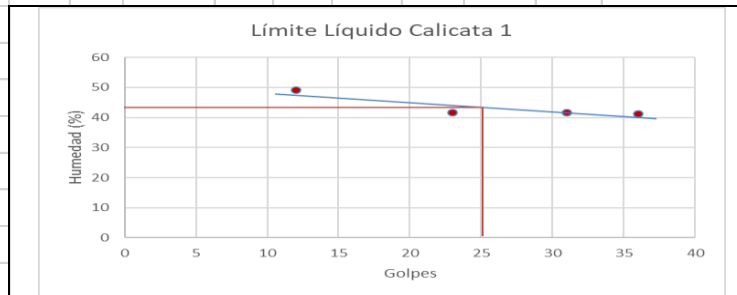
PROYECTO	TESIS CORONEL - ORTIZ
MUESTRA	CALICATA 1
SOLICITADO POR	
FECHA	MAYO 2020



LÍMITES DE ATTERBERG

	LÍMITE LÍQUIDO					LÍMITE PLÁSTICO		
TARRO NO	11	5	7	3	4	433	90	A
N. DE GOLPES	43	32	27	19	37			
M. HUMEDA + TARRO	36	39	43.2	40.2	38.85	4.96	5.08	5.86
M. SECA + TARRO	31.9	34	37.7	34.5	33.48	4.83	4.88	5.51
PESO DEL AGUA	4.07	4.99	5.43	5.69	5.37	0.13	0.2	0.35
PESO DEL TARRO	20.9	22.1	24.9	21.7	20.73	4.34	4.09	4.09
PESO MUESTRA SECA	11	11.9	12.8	12.8	12.75	0.49	0.79	1.42
% DE HUMEDAD	37	41.9	42.3	44.5	42.1176	26.5	25.32	24.6

LL	43
LP	25.38
IP	17.62



PESO HÚMEDO ANTES DEL LAVADO	
PESO SECO ANTES DEL LAVADO	
PESO SECO DESPUES EL LAVADO	
PESO SECO DESPUÉS DEL TAMIZADO	
HUMEDAD %	
% DE ERROR	

TAMIZ	PESO RETENIDO	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO
Nº 4			
Nº 10			
Nº 40			
Nº 200			
FONDO			

Ing. Luis Mario Almache
Jefe del Laboratorio

Ing. Marcos González
Laboratorista

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

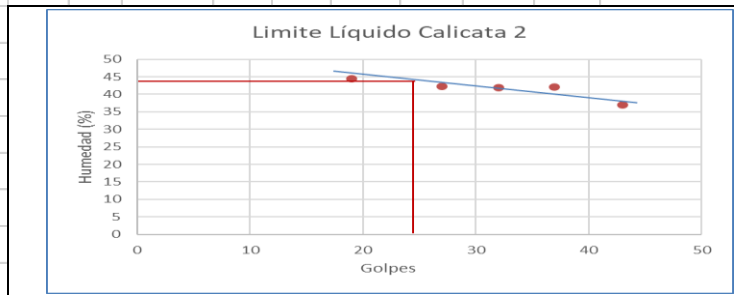
PROYECTO	TESIS CORONEL - ORTIZ
MUESTRA	CALICATA 2
SOLICITADO POR	
FECHA	MAYO 2020



LÍMITES DE ATTERBERG

	LÍMITE LÍQUIDO					LÍMITE PLÁSTICO				
TARRO NO	11	5	7	3	4	433	90	A		
N. DE GOLPES	43	32	27	19	37					
M. HUMEDA + TARRO	36	39	43.2	40.2	38.85	4.96	5.08	5.86		
M. SECA + TARRO	31.9	34	37.7	34.5	33.48	4.83	4.88	5.51		
PESO DEL AGUA	4.07	4.99	5.43	5.69	5.37	0.13	0.2	0.35		
PESO DEL TARRO	20.9	22.1	24.9	21.7	20.73	4.34	4.09	4.09		
PESO MUESTRA SECA	11	11.9	12.8	12.8	12.75	0.49	0.79	1.42		
% DE HUMEDAD	37	41.9	42.3	44.5	42.1176	26.5	25.3	24.65		

LL	44
LP	25.5
IP	18.5



PESO HÚMEDO ANTES DEL LAVADO	
PESO SECO ANTES DEL LAVADO	
PESO SECO DESPUÉS EL LAVADO	
PESO SECO DESPUÉS DEL TAMIZADO	
HUMEDAD %	
% DE ERROR	

TAMIZ	PESO RETENIDO	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO
Nº 4			
Nº 10			
Nº 40			
Nº 200			
FONDO			

Ing. Luis Mario Almache
Jefe del Laboratorio

Ing. Marcos González
Laboratorista

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

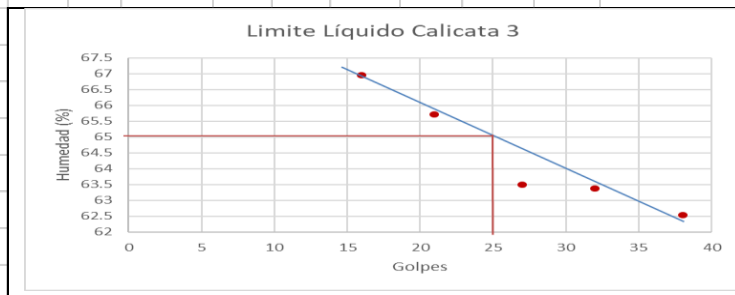
PROYECTO	TESIS CORONEL - ORTIZ
MUESTRA	CALICATA 3
SOLICITADO POR	
FECHA	MAYO 2020



LÍMITES DE ATTERBERG

	LÍMITE LÍQUIDO					LÍMITE PLÁSTICO		
TARRO NO	50	6	25	50	311A	5	204	7
N. DE GOLPES	38	32	27	21	16			
M. HUMEDA + TARRO	40.2	31.4	31.4	32.1	39.64	6.01	5.75	5.08
M. SECA + TARRO	32.9	27.7	27.6	27.8	32.59	5.58	5.43	4.87
PESO DEL AGUA	7.31	3.65	3.79	4.35	7.05	0.43	0.32	0.21
PESO DEL TARRO	21.2	21.9	21.6	21.2	22.06	4.1	4.36	4.09
PESO MUESTRA SECA	11.7	5.76	5.97	6.62	10.53	1.48	1.07	0.78
% DE HUMEDAD	62.5	63.4	63.5	65.7	66.9516	29.1	29.91	26.9

LL	65
LP	28.6
IP	36.4



PESO HÚMEDO ANTES DEL LAVADO	
PESO SECO ANTES DEL LAVADO	
PESO SECO DESPUES EL LAVADO	
PESO SECO DESPUÉS DEL TAMIZADO	
HUMEDAD %	
% DE ERROR	

TAMIZ	PESO RETENIDO	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO
Nº 4			
Nº 10			
Nº 40			
Nº 200			
FONDO			

Ing. Luis Mario Almache
Jefe del Laboratorio

Ing. Marcos González
Laboratorista

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

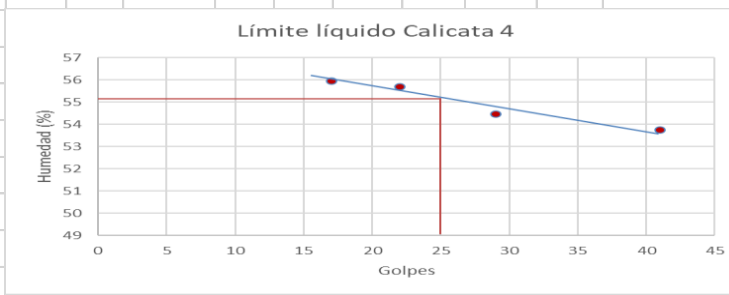
PROYECTO	TESIS CORONEL - ORTIZ
MUESTRA	CALICATA 4
SOLICITADO POR	
FECHA	MAYO 2020



LÍMITES DE ATTERBERG

TARRO NO	LÍMITE LÍQUIDO					LÍMITE PLÁSTICO		
	202	3	09-4	203	2-P2	18	C9	69
N. DE GOLPES	17	34	29	41	22			
M. HUMEDA + TARRO	26.3	28.2	26.8	28.3	25.82	7.1	7.6	7.51
M. SECA + TARRO	21	22.9	21.6	22.4	20.98	7	7.42	7.36
PESO DEL AGUA	5.27	5.33	5.18	5.89	4.84	0.1	0.18	0.15
PESO DEL TARRO	11.6	12.2	12.1	11.4	12.29	6.49	6.54	6.53
PESO MUESTRA SECA	9.42	10.7	9.51	11	8.69	0.51	0.88	0.83
% DE HUMEDAD	55.9	49.9	54.5	53.7	55.6962	19.61	20.5	18.07

LL	55.1
LP	19.4
IP	35.7



PESO HÚMEDO ANTES DEL LAVADO	
PESO SECO ANTES DEL LAVADO	
PESO SECO DESPUES EL LAVADO	
PESO SECO DESPUÉS DEL TAMIZADO	
HUMEDAD %	
% DE ERROR	

TAMIZ	PESO RETENIDO	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO
Nº 4			
Nº 10			
Nº 40			
Nº 200			
FONDO			

Ing. Luis Mario Almache
Jefe del Laboratorio

Ing. Marcos González
Laboratorista

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

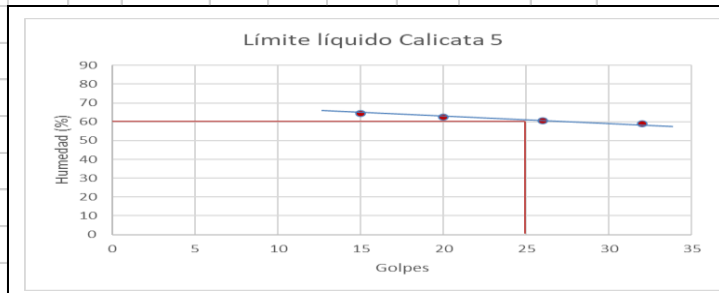
PROYECTO	TESIS CORONEL - ORTIZ
MUESTRA	CALICATA 5
SOLICITADO POR	
FECHA	MAYO 2020



LÍMITES DE ATTERBERG

	LÍMITE LÍQUIDO					LÍMITE PLÁSTICO			
	21	2	63	33	200	8	19	4B	A3
TARRO N°	15	20	26	32	37				
N. DE GOLPES	33.8	26.4	27	25.8	25.83	5.68	5.29	5.08	5.12
M. HUMEDA + TARRO	25.4	21	21.5	20.5	20.02	5.37	5.04	4.86	4.91
M. SECA + TARRO	8.36	5.4	5.52	5.31	5.81	0.31	0.25	0.22	0.21
PESO DEL AGUA	12.4	12.3	12.3	11.5	12.43	4.29	4.1	4.09	4.1
PESO DEL TARRO	13	8.65	9.13	9.03	7.59	1.08	0.94	0.77	0.81
PESO MUESTRA SECA	64.3	62.4	60.5	58.8	76.5481	28.7	26.6	28.6	25.93
% DE HUMEDAD									

LL	60
LP	27.4
IP	32.6



PESO HÚMEDO ANTES DEL LAVADO	
PESO SECO ANTES DEL LAVADO	
PESO SECO DESPUES EL LAVADO	
PESO SECO DESPUÉS DEL TAMIZADO	
HUMEDAD %	
% DE ERROR	

TAMIZ	PESO RETENIDO	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO
Nº 4			
Nº 10			
Nº 40			
Nº 200			
FONDO			

Ing. Luis Mario Almache
Jefe del Laboratorio


Ing. Marcos González
Laboratorista

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS

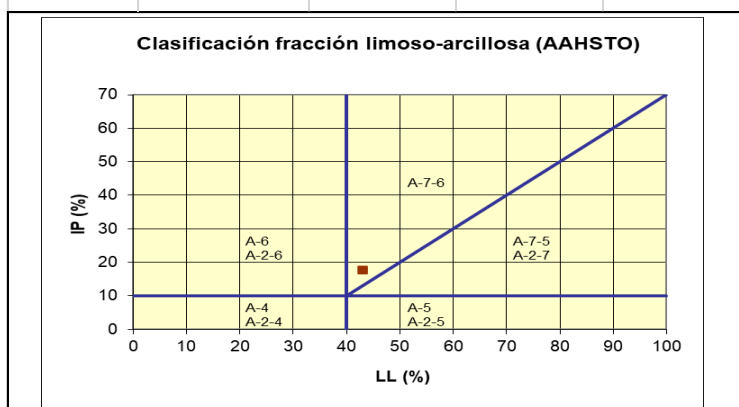
PROYECTO	TESIS CORONEL - ORTÍZ	 Universidad Católica de Cuenca
MUESTRA	CALICATA 1	
SOLICITADO POR :		
FECHA	may-20	

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

	ABERTURA	PESO RET.	RET. ACUM.	%	%	%
TAMIZ Nº	MM.	GM.	GM.	RETENIDO	PASA	ESPECIF.
10	2	0.2	0.2	0.048664	99.951336	
40	0.42	3.6	3.8	0.924616	99.075384	
200	0.074	47	50.8	12.360656	87.639344	
FONDO		0.4	51.2			
TOTAL		51.2				

LÍMITES DE ATTERBERG

LL	43
LP	25.38
IP	17.62

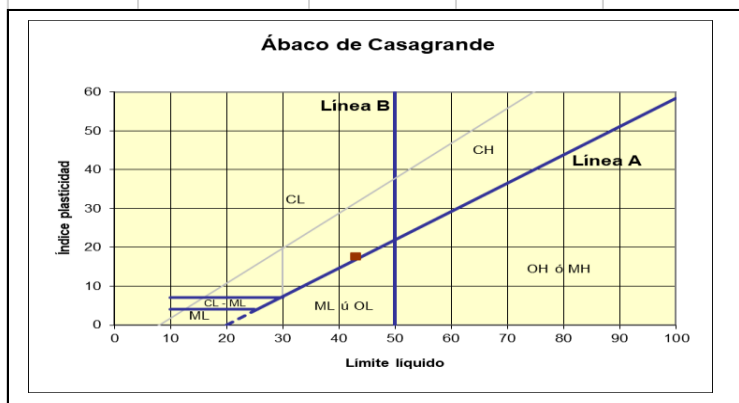


Clasificación AASHTO

A-7-6(6)

Descripcion

Suelo Arcilloso (pobre a malo)



Clasificación SUCS

CL

Descripcion

Arcilla media plasticidad



Ing. Luis Mario Almache
Jefe de Laboratorio


Ing. Marcos González
Laboratorista

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS

PROYECTO	TESIS CORONEL - ORTÍZ	 Universidad Católica de Cuenca
MUESTRA	CALICATA 2	
SOLICITADO POR :		
FECHA	may-20	

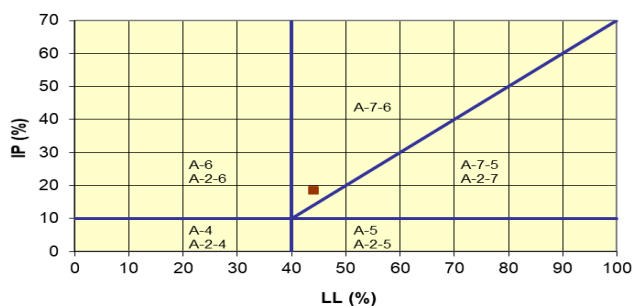
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

	ABERTURA	PESO RET.	RET. ACUM.	%	%	%
TAMIZ Nº	MM.	GM.	GM.	RETENIDO	PASA	ESPECIF.
10	2	59.7	59.7	13.968606	86.031394	
40	0.42	76.3	136	31.82128	68.17872	
200	0.074	93.4	229.4	53.675012	46.324988	
FONDO		8.1	237.5			
TOTAL		237.5				

LÍMITES DE ATTERBERG

LL	44
LP	25.5
IP	18.5

Clasificación fracción limoso-arcillosa (AAHSTO)



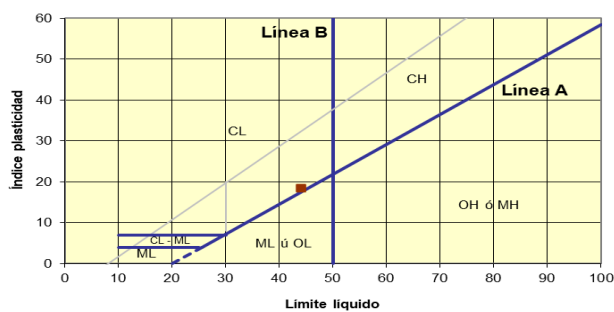
Clasificación AASHTO

A-7-6(3)

Descripcion

Suelo Arcilloso (pobre a malo)

Ábaco de Casagrande



Clasificación SUCS

SC

Descripcion

Arena arcillosa



Ing. Luis Mario Almache
Jefe de Laboratorio


Ing. Marcos González
Laboratorista

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS

PROYECTO	TESIS CORONEL - ORTÍZ	 Universidad Católica de Cuenca
MUESTRA	CALICATA 3	
SOLICITADO POR :		
FECHA	may-20	

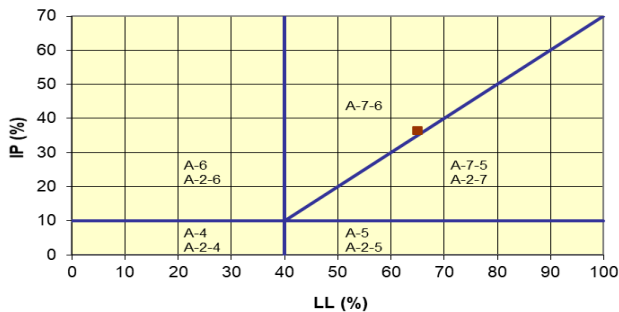
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

	ABERTURA	PESO RET.	RET. ACUM.	%	%	%
TAMIZ Nº	MM.	GM.	GM.	RETENIDO	PASA	ESPECIF.
10	2	2.3	2.3	0.574126	99.425874	
40	0.42	11.7	14	3.49468	96.50532	
200	0.074	35.6	49.6	12.381152	87.618848	
FONDO		3.3	52.9			
TOTAL		52.9				

LÍMITES DE ATTERBERG

LL	65
LP	28.6
IP	36.4

Clasificación fracción limoso-arcillosa (AAHSTO)



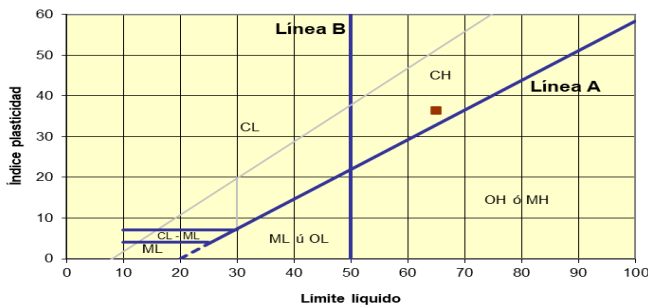
Clasificación AASHTO

A-7-6(19)

Descripcion

Suelo Arcilloso (pobre a malo)

Ábaco de Casagrande



Clasificación SUCS

CH

Descripcion

Arcilla alta plasticidad



Ing. Luis Mario Almache
Jefe de Laboratorio


Ing. Marcos González
Laboratorista

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS

PROYECTO	TESIS CORONEL - ORTÍZ	 Universidad Católica de Cuenca
MUESTRA	CALICATA 4	
SOLICITADO POR :		
FECHA	may-20	

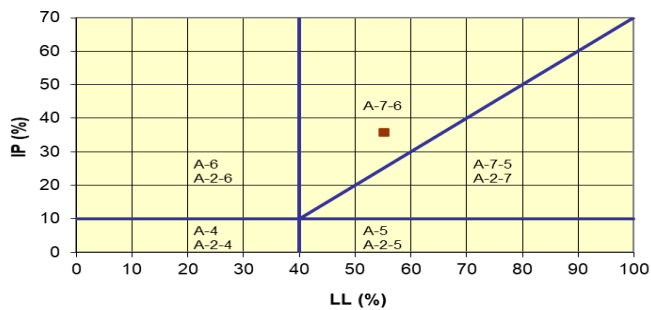
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

	ABERTURA	PESO RET.	RET. ACUM.	%	%	%
TAMIZ Nº	MM.	GM.	GM.	RETENIDO	PASA	ESPECIF.
10	2	23.5	23.5	5.77207	94.22793	
40	0.42	44.3	67.8	16.653036	83.346964	
200	0.074	60.9	128.7	31.611294	68.388706	
FONDO		0.5	129.2			
TOTAL		129.2				

LÍMITES DE ATTERBERG

LL	55.1
LP	19.4
IP	35.7

Clasificación fracción limoso-arcillosa (AAHSTO)



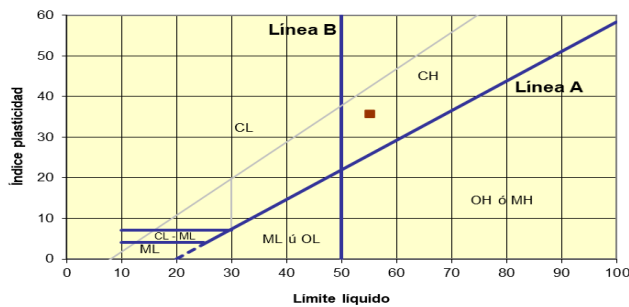
Clasificación AASHTO

A-7-6(14)

Descripcion

Suelo Arcilloso (pobre a malo)

Ábaco de Casagrande



Clasificación SUCS

CH

Descripcion

Arcilla alta plasticidad



Ing. Luis Mario Almache
Jefe de Laboratorio


Ing. Marcos González
Laboratorista

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS

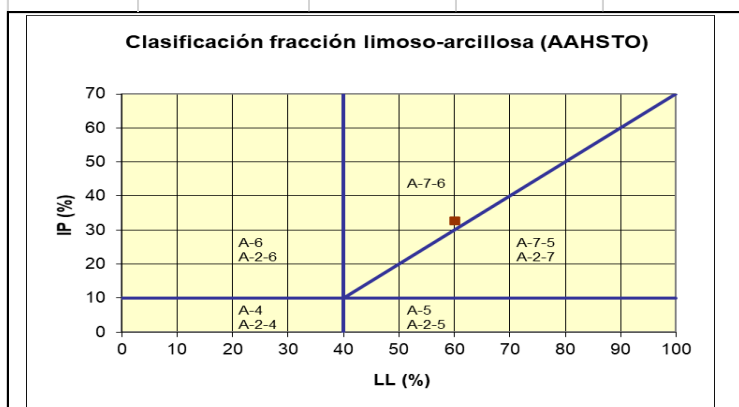
PROYECTO	TESIS CORONEL - ORTÍZ	 Universidad Católica de Cuenca
MUESTRA	CALICATA 5	
SOLICITADO POR :		
FECHA	may-20	

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

	ABERTURA	PESO RET.	RET. ACUM.	%	%	%
TAMIZ Nº	MM.	GM.	GM.	RETENIDO	PASA	ESPECIF.
10	2	14.4	14.4	3.752064	96.247936	
40	0.42	38.5	52.9	13.783624	86.216376	
200	0.074	72.8	125.7	32.752392	67.247608	
FONDO		4.6	130.3			
TOTAL		130.3				

LÍMITES DE ATTERBERG

LL	60
LP	27.4
IP	32.6

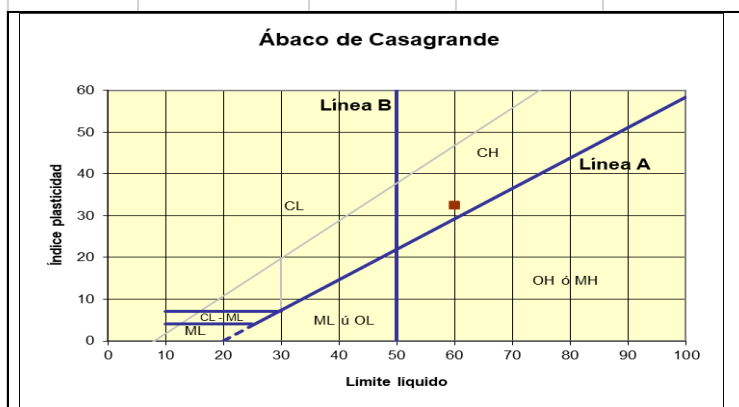


Clasificación AASHTO

A-7-6(12)

Descripcion

Suelo Arcilloso (pobre a malo)

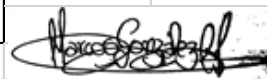


Clasificación SUCS

CH

Descripcion

Arcilla alta plasticidad



Ing. Luis Mario Almache
Jefe de Laboratorio

Ing. Marcos González
Laboratorista

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

CÓDIGO

REVISIÓN No.

FECHA REVISIÓN

ENSAYO DE CORTE DIRECTO - ANILLO RECTÁNGULAR

FECHA DE IMPRESIÓN	2020-07-02	No. ENSAYO	MATERIAL
FECHA DE ENSAYO	2020-03-10	1	Indeterminado

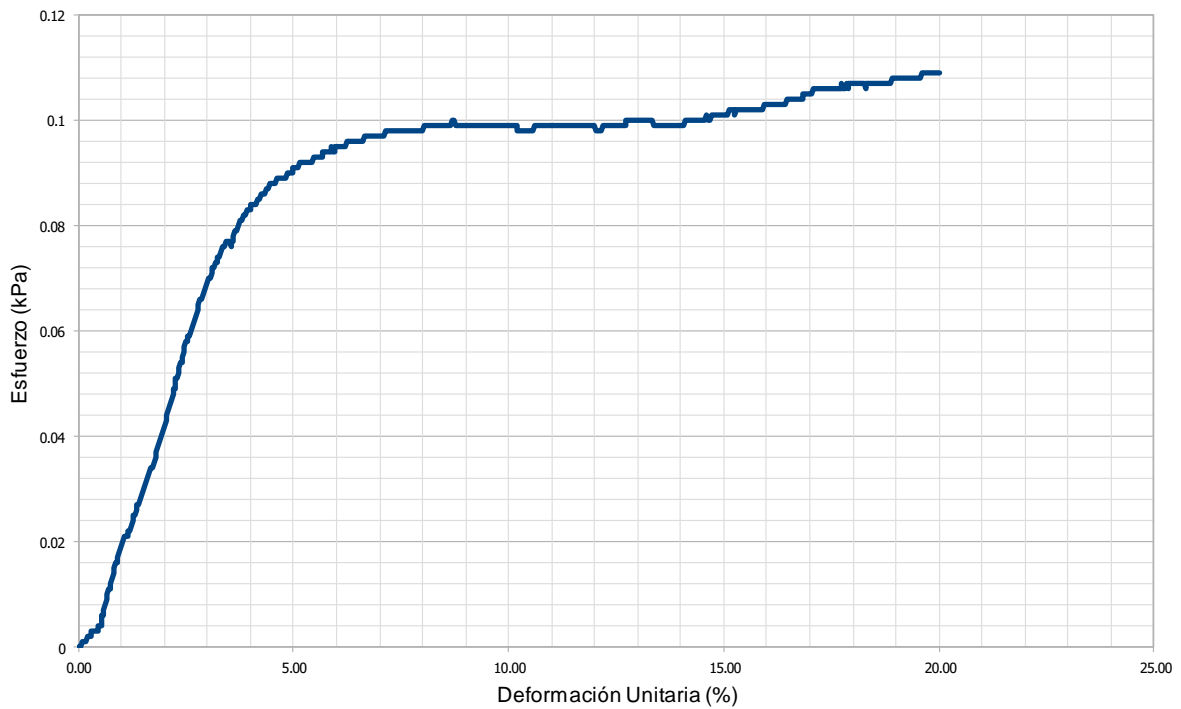
INFORMACIÓN GENERAL

ID. MUESTRA	PUNTO 2 (ANILLO 1)
CLIENTE	Indeterminado
PROYECTO	Indeterminado

ASPECTOS DIMENSIONALES DEL ENSAYO

Lado (mm)	Desplazamiento horizontal (mm)	Deformación unitaria (mm)	Deformación vertical (mm)
63.44	12.7	20.019	0
Área (mm ²)	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo (kPa)	
3160.937	344.8	0.109	

GRÁFICA ESFUERZO (kPa) vs. DEFORMACIÓN UNITARIA (%)



OBSERVACIONES:



LABORATORISTA

Administrador del sistema

DIRECTOR LABORATORIO

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

CÓDIGO

REVISIÓN No.
FECHA REVISIÓN

ENSAYO DE CORTE DIRECTO - ANILLO RECTÁNGULAR

FECHA DE IMPRESIÓN	2020-07-02	No. ENSAYO	MATERIAL
FECHA DE ENSAYO	2020-03-10	2	Indeterminado

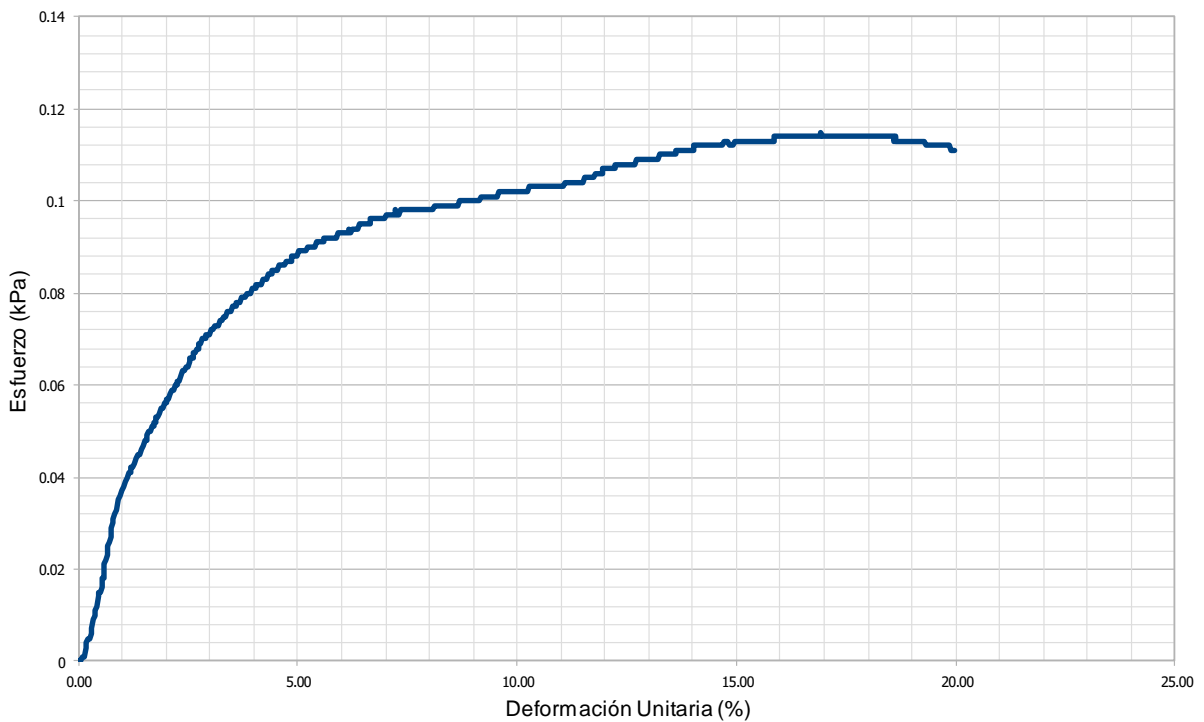
INFORMACIÓN GENERAL

ID. MUESTRA	PUNTO 2 (ANILLO 2)
CLIENTE	Indeterminado
PROYECTO	Indeterminado

ASPECTOS DIMENSIONALES DEL ENSAYO

Lado (mm)	Desplazamiento horizontal (mm)	Deformación unitaria (mm)	Deformación vertical (mm)
63.44	12.7	20.019	0
Área (mm ²)	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo (kPa)	
3160.937	362	0.115	

GRÁFICA ESFUERZO (kPa) vs. DEFORMACIÓN UNITARIA (%)



OBSERVACIONES:



LABORATORISTA

Administrador del sistema

DIRECTOR LABORATORIO

CÓDIGO

REVISIÓN No.

FECHA REVISIÓN

ENSAYO DE CORTE DIRECTO - ANILLO RECTÁNGULAR

FECHA DE IMPRESIÓN	2020-07-02	No. ENSAYO	MATERIAL
FECHA DE ENSAYO	2020-03-10	3	Indeterminado

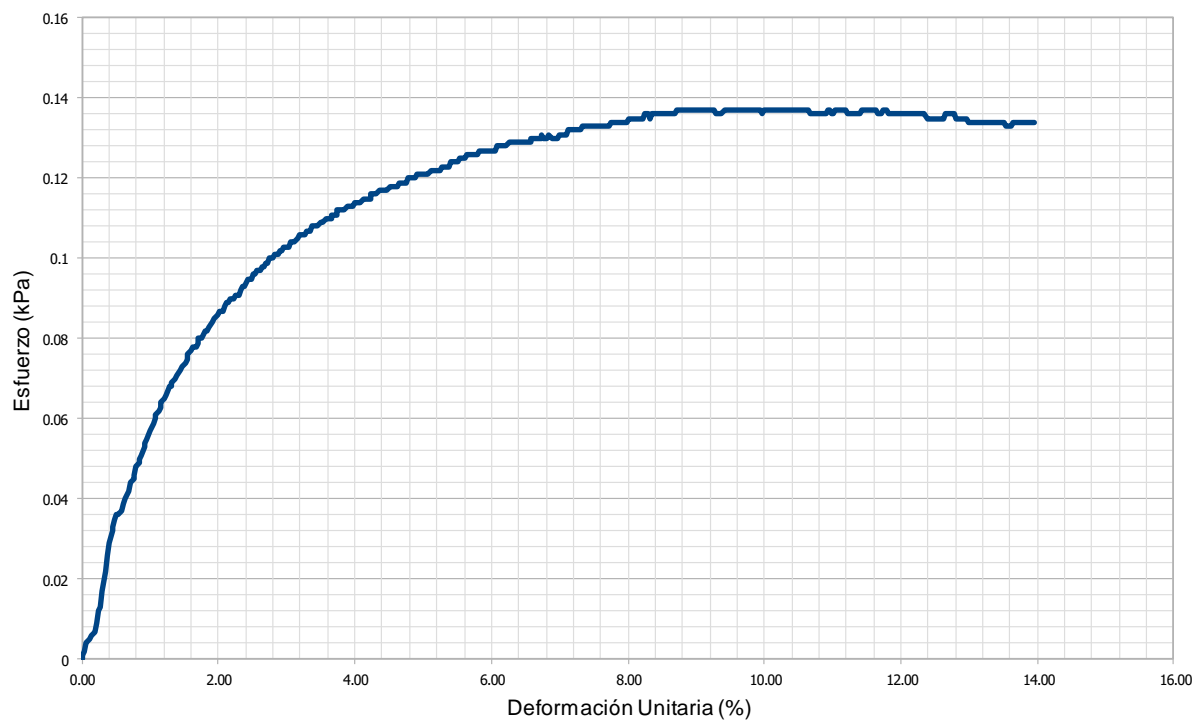
INFORMACIÓN GENERAL

ID. MUESTRA	PUNTO 2(ANILLO 3)
CLIENTE	Indeterminado
PROYECTO	Indeterminado

ASPECTOS DIMENSIONALES DEL ENSAYO

Lado (mm)	Desplazamiento horizontal (mm)	Deformación unitaria (mm)	Deformación vertical (mm)
63.65	8.89	13.967	0
Área (mm ²)	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo (kPa)	
3181.899	436.6	0.137	

GRÁFICA ESFUERZO (kPa) vs. DEFORMACIÓN UNITARIA (%)



OBSERVACIONES:



LABORATORISTA	Administrador del sistema	DIRECTOR LABORATORIO	
---------------	---------------------------	----------------------	--

CÓDIGO

REVISIÓN No.
FECHA REVISIÓN

ENSAYO DE CORTE DIRECTO - ANILLO RECTÁNGULAR

FECHA DE IMPRESIÓN	2020-07-02	No. ENSAYO	MATERIAL
FECHA DE ENSAYO	2020-03-10	21	Indeterminado

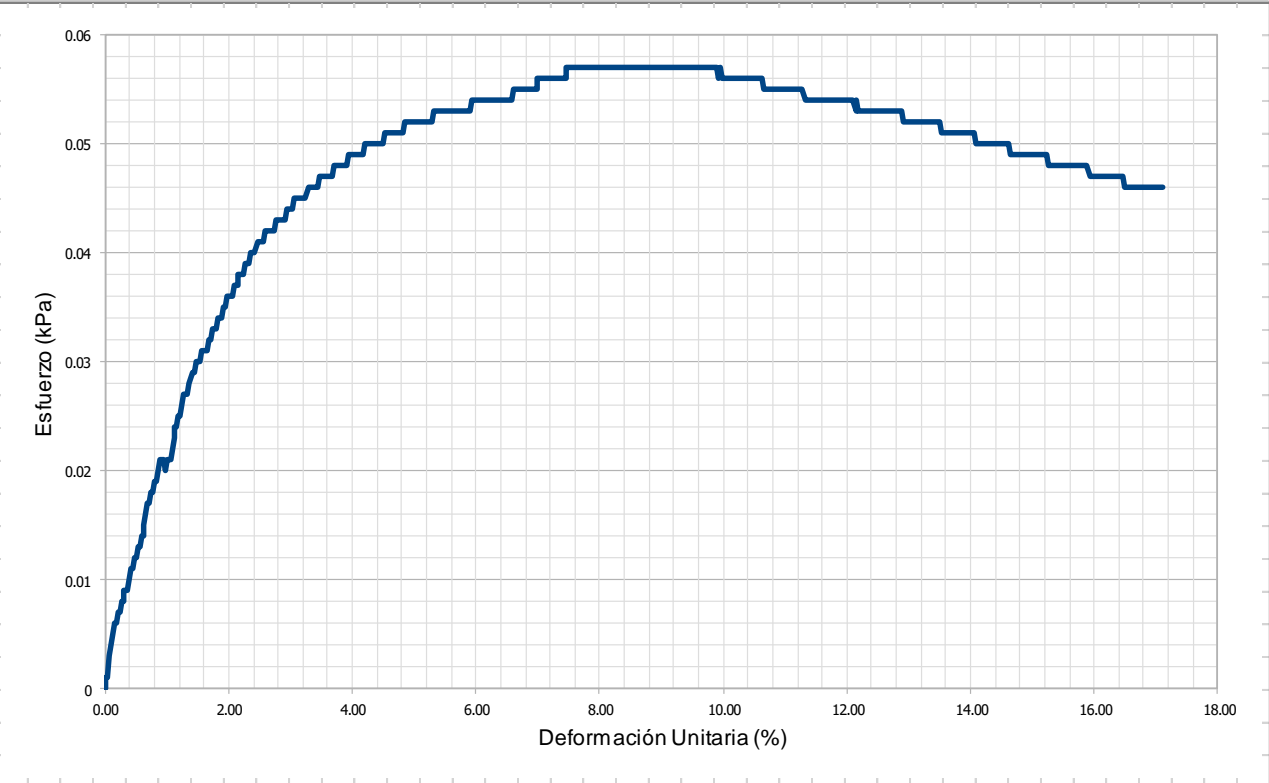
INFORMACIÓN GENERAL

ID. MUESTRA	PUNTO 3(ANILLO 1)
CLIENTE	Indeterminado
PROYECTO	Indeterminado

ASPECTOS DIMENSIONALES DEL ENSAYO

Lado (mm)	Desplazamiento horizontal (mm)	Deformación unitaria (mm)	Deformación vertical (mm)
63.44	10.85	17.103	0
Área (mm ²)	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo (kPa)	
3160.937	180.6	0.057	

GRÁFICA ESFUERZO (kPa) vs. DEFORMACIÓN UNITARIA (%)



OBSERVACIONES:



LABORATORISTA

Administrador del sistema

DIRECTOR LABORATORIO

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

CÓDIGO

REVISIÓN No.
FECHA REVISIÓN

ENSAYO DE CORTE DIRECTO - ANILLO RECTÁNGULAR

FECHA DE IMPRESIÓN	2020-07-02	No. ENSAYO	MATERIAL
FECHA DE ENSAYO	2020-03-10	2	Indeterminado

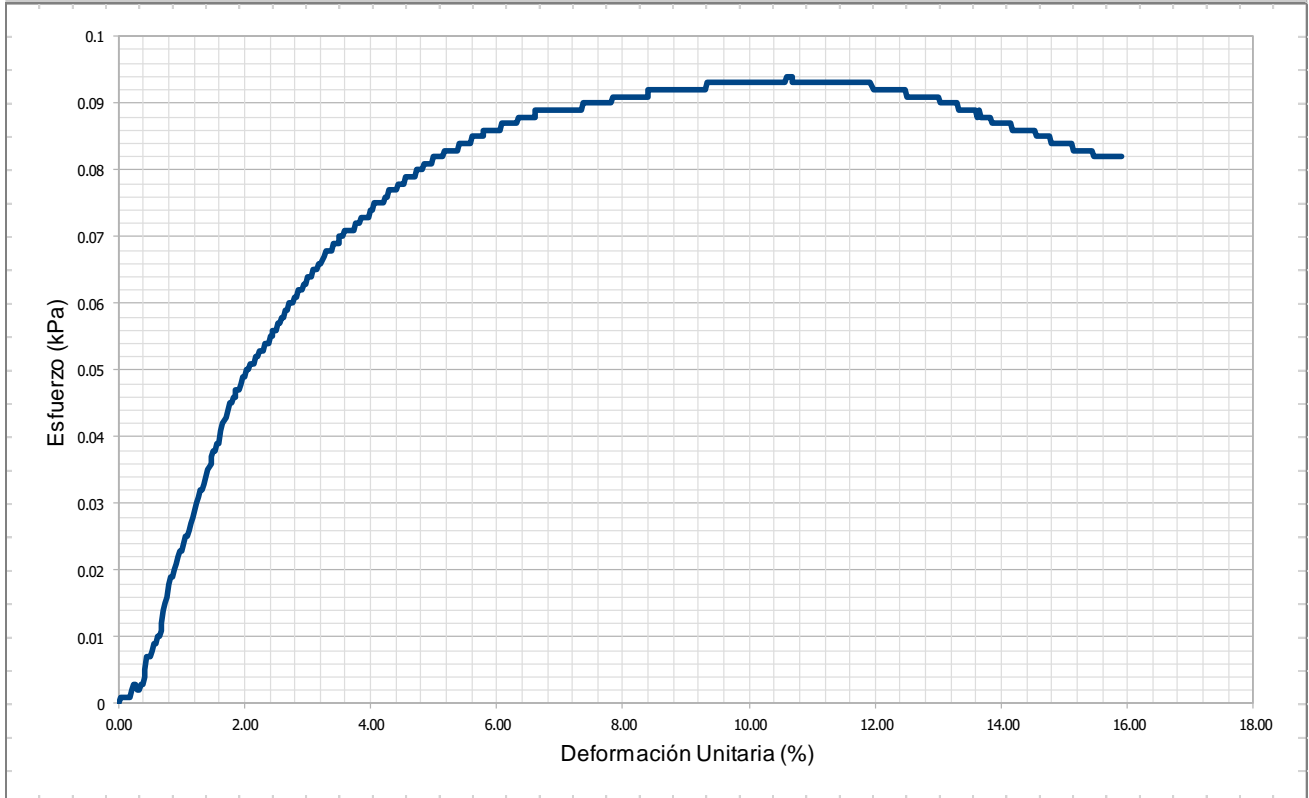
INFORMACIÓN GENERAL

ID. MUESTRA	PUNTO 3(ANILLO 2)
CLIENTE	Indeterminado
PROYECTO	Indeterminado

ASPECTOS DIMENSIONALES DEL ENSAYO

Lado (mm)	Desplazamiento horizontal (mm)	Deformación unitaria (mm)	Deformación vertical (mm)
63.7	10.15	15.934	0
Área (mm ²)	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo (kPa)	
3186.9	270	0.094	

GRÁFICA ESFUERZO (kPa) vs. DEFORMACIÓN UNITARIA (%)



OBSERVACIONES:



LABORATORISTA

Administrador del sistema

DIRECTOR LABORATORIO

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

CÓDIGO

REVISIÓN No.
FECHA REVISIÓN

ENSAYO DE CORTE DIRECTO - ANILLO RECTÁNGULAR

FECHA DE IMPRESIÓN	2020-07-02	No. ENSAYO	MATERIAL
FECHA DE ENSAYO	2020-03-10	246	Indeterminado

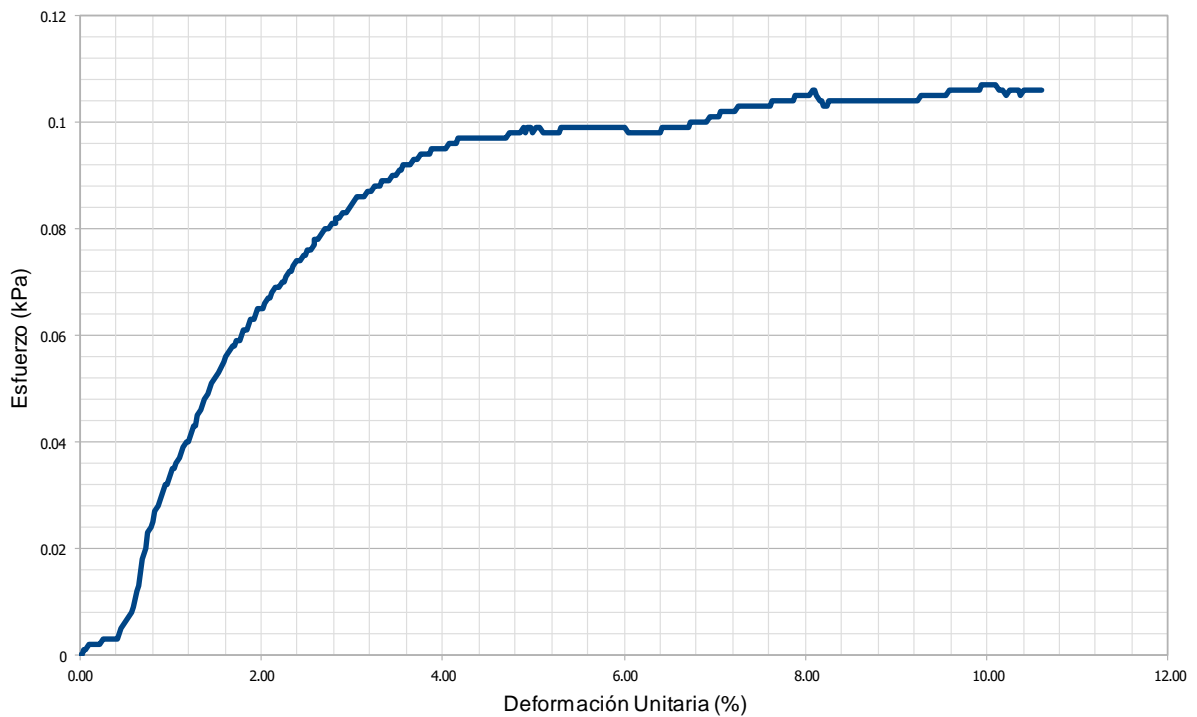
INFORMACIÓN GENERAL

ID. MUESTRA	PUNTO 3 (ANILLO 3)
CLIENTE	Indeterminado
PROYECTO	Indeterminado

ASPECTOS DIMENSIONALES DEL ENSAYO

Lado (mm)	Desplazamiento horizontal (mm)	Deformación unitaria (mm)	Deformación vertical (mm)
63.65	6.77	10.636	0
Área (mm ²)	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo (kPa)	
3181.899	340	0.107	

GRÁFICA ESFUERZO (kPa) vs. DEFORMACIÓN UNITARIA (%)



OBSERVACIONES:



LABORATORISTA

Administrador del sistema

DIRECTOR LABORATORIO

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES



Código	Revisión No.	Fecha Revisión
--------	--------------	----------------

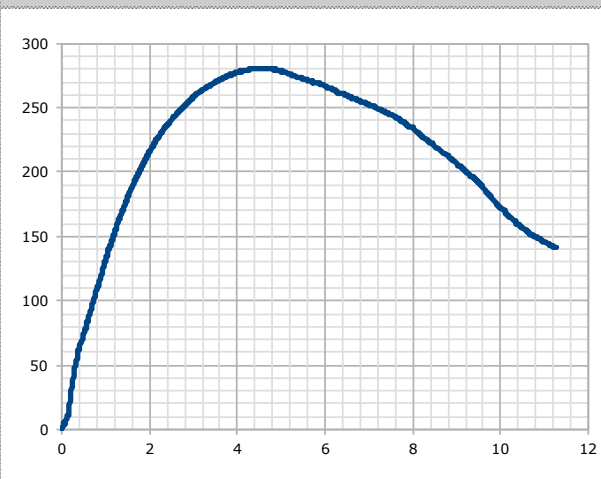
ENSAYO DE CORTE

FECHA IMPRESIÓN	2020-07-02	No. ENSAYO	MATERIAL
FECHA ENSAYO	2020-03-11	1	Indeterminado

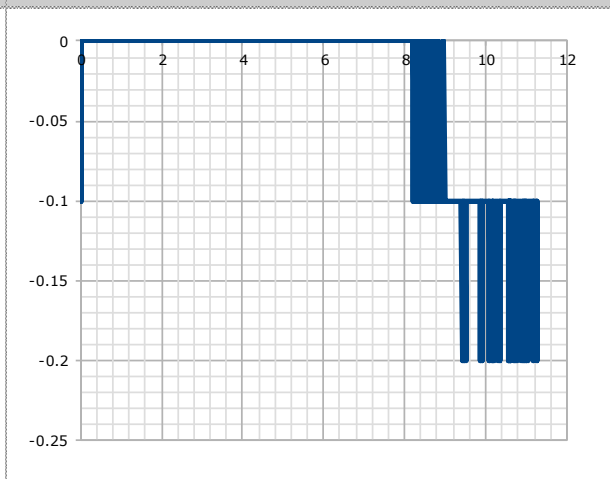
INFORMACIÓN GENERAL

ID. MUESTRA	PUNTO 2 (TRIAxIAL 1)	INFORME No.	61
CLIENTE	Indeterminado	SONDEO	
PROYECTO	Indeterminado	PROFUNDIDAD	

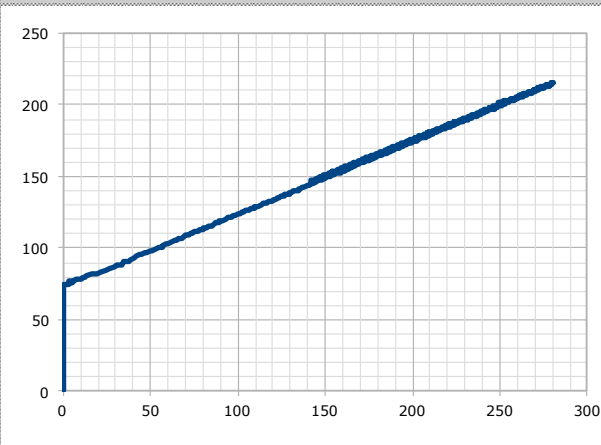
GRÁFICA ESFUERZO DESVIADOR (kPa) vs DEFORMACIÓN UNITARIA (%)



GRÁFICA PRESIÓN DE POROS (kPa) vs DEFORMACIÓN UNITARIA (%)



GRÁFICA p' vs q



VARIABLES DEL ENSAYO

Diámetro (mm)	49.89
Altura (mm)	102.47
Área (mm ²)	1954.864
Área corregida (mm ²)	2203.059
Carga Axial	0.575
Esfuerzo principal menor efectivo	51.3
Esfuerzo principal mayor efectivo	330.725

OBSERVACIONES:

LABORATORISTA	Administrador del sistema	DIRECTOR LABORATORIO
---------------	---------------------------	----------------------

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES



Código	Revisión No.	Fecha Revisión
--------	--------------	----------------

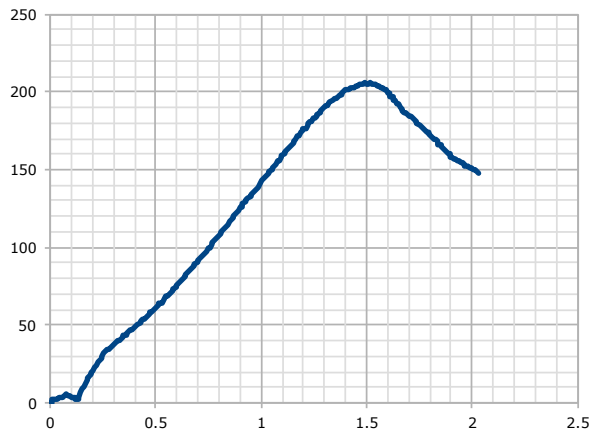
ENSAYO DE CORTE

FECHA IMPRESIÓN	2020-07-02	No. ENSAYO	MATERIAL
FECHA ENSAYO	2020-03-11	2	Indeterminado

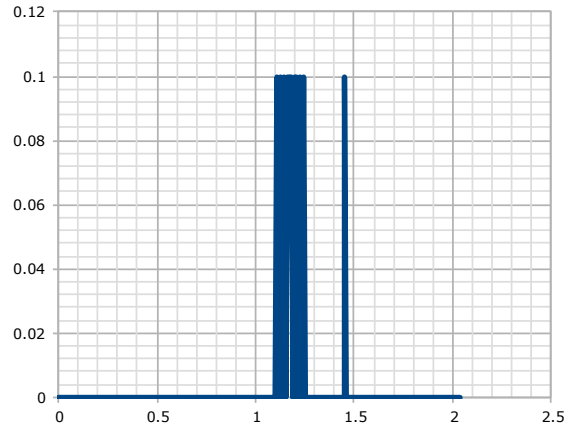
INFORMACIÓN GENERAL

ID. MUESTRA	PUNTO 2 (TRIAxIAL 2)	INFORME No.	61
CLIENTE	Indeterminado	SONDEO	
PROYECTO	Indeterminado	PROFUNDIDAD	

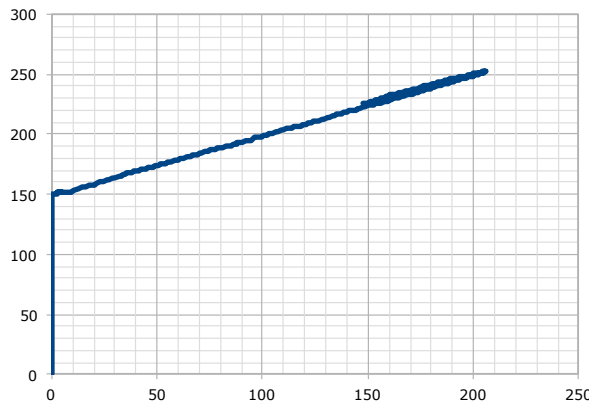
GRÁFICA ESFUERZO DESVIADOR (kPa) vs DEFORMACIÓN UNITARIA (%)



GRÁFICA PRESIÓN DE POROS (kPa) vs DEFORMACIÓN UNITARIA (%)



GRÁFICA p' vs q



VARIABLES DEL ENSAYO

Diámetro (mm)	54.01
Altura (mm)	112.73
Área (mm ²)	2291.067
Área corregida (mm ²)	2338.66
Carga Axial	0.479
Esfuerzo principal menor efectivo	100.9
Esfuerzo principal mayor efectivo	305.614

OBSERVACIONES:

LABORATORISTA	Administrador del sistema	DIRECTOR LABORATORIO
---------------	---------------------------	----------------------

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES



Código	Revisión No.	Fecha Revisión
--------	--------------	----------------

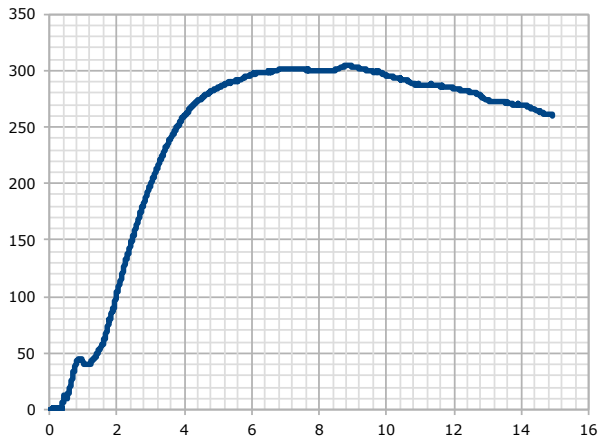
ENSAYO DE CORTE

FECHA IMPRESIÓN	2020-07-02	No. ENSAYO	MATERIAL
FECHA ENSAYO	2020-03-11	3	Indeterminado

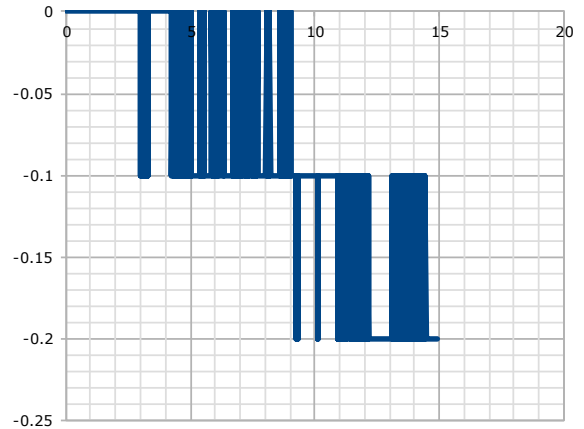
INFORMACIÓN GENERAL

ID. MUESTRA	PUNTO 2 (TRIAXIAL 3)	INFORME No.	61
CLIENTE	Indeterminado	SONDEO	
PROYECTO	Indeterminado	PROFUNDIDAD	

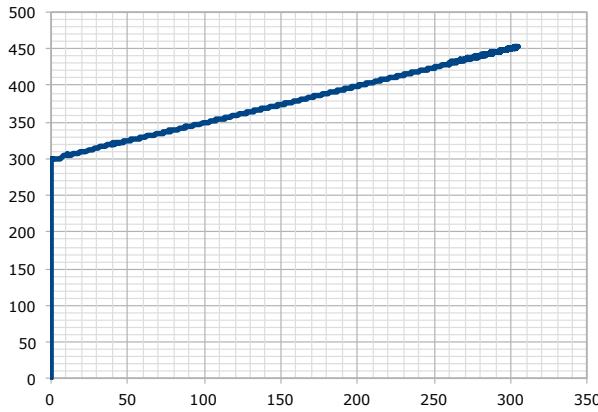
GRÁFICA ESFUERZO DESVIADOR (kPa) vs DEFORMACIÓN UNITARIA (%)



GRÁFICA PRESIÓN DE POROS (kPa) vs DEFORMACIÓN UNITARIA (%)



GRÁFICA p' vs q



VARIABLES DEL ENSAYO

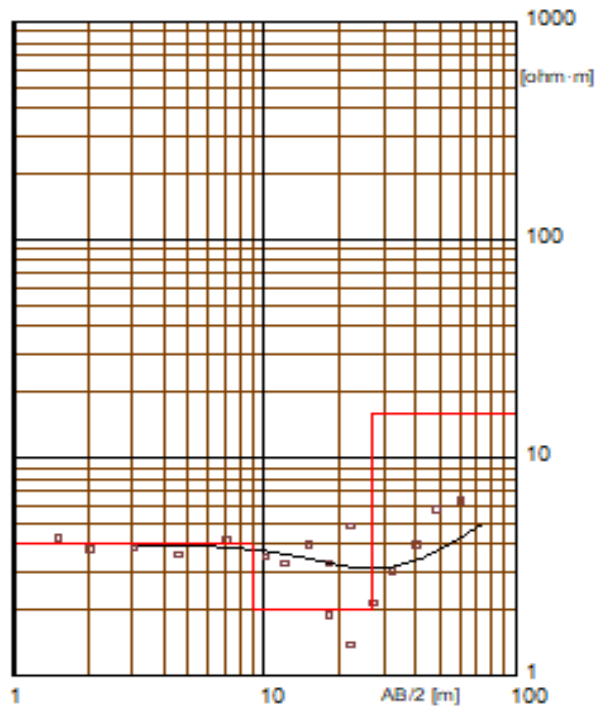
Diámetro (mm)	51.87
Altura (mm)	110.82
Área (mm ²)	2113.11
Área corregida (mm ²)	2486.03
Carga Axial	0.706
Esfuerzo principal menor efectivo	200.8
Esfuerzo principal mayor efectivo	504.956

OBSERVACIONES:

LABORATORISTA	Administrador del sistema	DIRECTOR LABORATORIO
---------------	---------------------------	----------------------

ANEXOS DE ANÁLISIS DE SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES MEDIANTE WINSEV

Electrical sounding Schlumberger - SONDEO 1.WS3



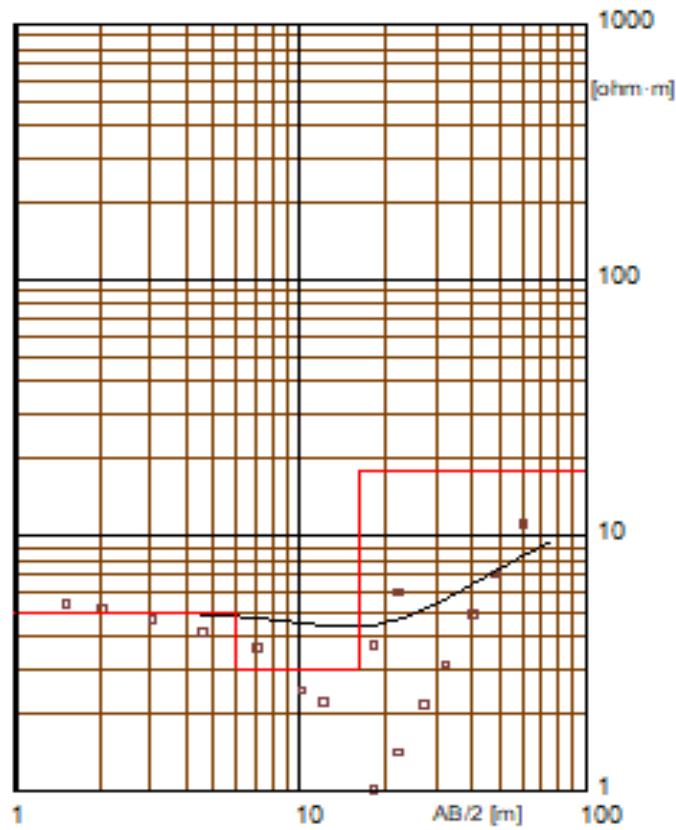
Model Resistivity [ohm-m]	Thickness [m]	Depth [m]
4	9	
2	18	9
16		27

Electrical sounding Schlumberger - SONDEO 1.WS3

Field data and calculated values

MN/2 [m]	AB/2 [m]	DeltaV [mV]	I [mA]	K [-]	Resistivity [ohm-m]
.5	1.5	84.8	123	6.28	4.33
.5	2	40.1	123	11.78	3.84
.5	3	17.5	123	27.49	3.91
.5	4.5	7.1	123	62.83	3.83
.5	7	3.4	123	153	4.23
.5	10	1.4	123	313	3.66
.5	12	.9	123	452	3.31
.5	15	.7	123	706	4.02
.5	18	.4	123	1017	3.31
.5	18	2.5	123	93.93	1.91
.5	22	.4	123	1520	4.94
.5	22	1.2	123	144	1.4
.5	27	1.2	123	221	2.16
.5	32	1.2	123	314	3.06
.5	40	1	123	496	4.02
.5	48	1	123	716	5.82
.5	60	.7	123	1123	6.39

Electrical sounding Schlumberger - SONDEO2.WS3



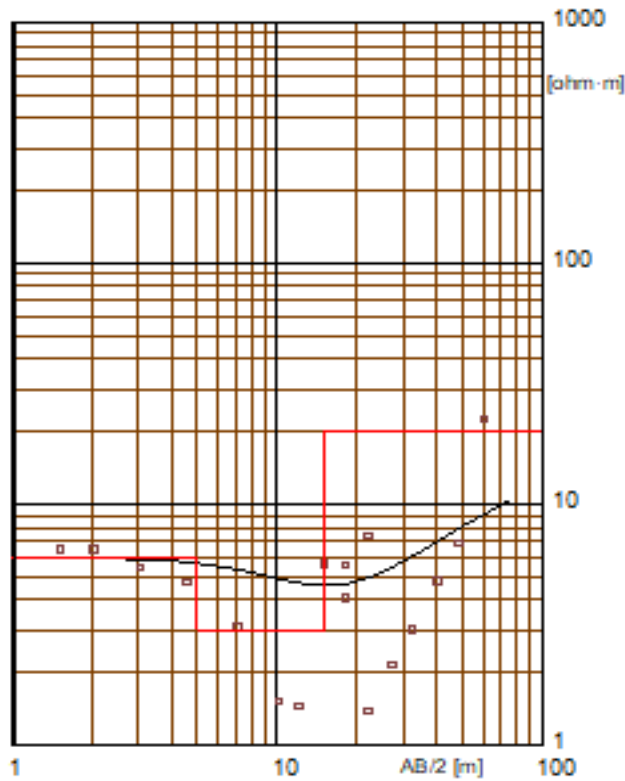
Model Resistivity [ohm-m]	Thickness [m]	Depth [m]
5	6	
3	10	6
18		16

Electrical sounding Schlumberger - SONDEO2.WS3

Field data and calculated values

MN/2 [m]	AB/2 [m]	DeltaV [mV]	I [mA]	K [-]	Resistivity [ohm-m]
.5	1.5	108.5	123	6.28	5.44
.5	2	54.4	123	11.78	5.21
.5	3	21.2	123	27.49	4.73
.5	4.5	8.2	123	62.83	4.21
.5	7	3	123	183	3.67
.5	10	1	123	313	2.5
.5	12	.6	123	452	2.25
.5	15	.1	123	706	.71
.5	18	.1	123	1017	1.02
.5	18	4.9	123	93.93	3.76
.5	22	.5	123	1520	6.08
.5	22	1.2	123	144	1.44
.5	27	1.2	123	221	2.21
.5	32	1.2	123	314	3.14
.5	40	1.2	123	496	4.96
.5	48	1.2	123	716	7.16
.5	60	1.2	123	1123	11.2

Electrical sounding Schlumberger - SONDEO3PRUEBA.WS3



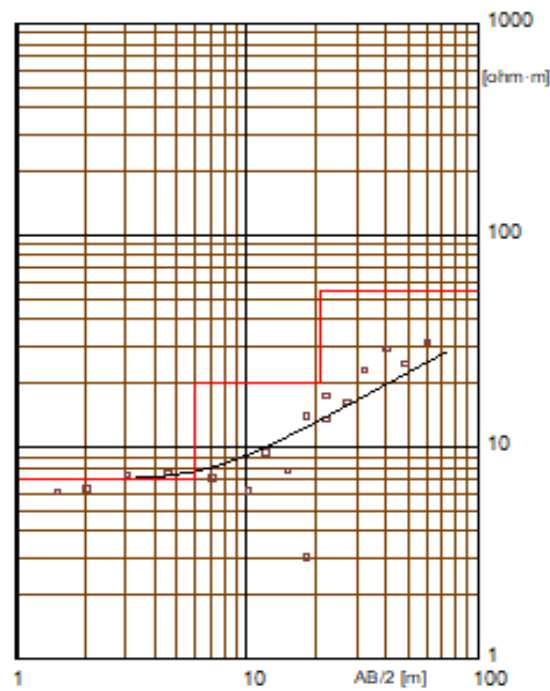
Model Resistivity [ohm-m]	Thickness [m]	Depth [m]
6	5	
3	10	5
20		15

Electrical sounding Schlumberger - SONDEO3PRUEBA.WS3

Field data and calculated values

MN/2 [m]	AB/2 [m]	DeltaV [mV]	I [mA]	K [-]	Resistivity [ohm-m]
.5	1.5	128.3	123	6.28	6.56
.5	2	88.6	123	11.78	6.57
.5	3	24.8	123	27.49	5.54
.5	4.5	9.4	123	62.83	4.8
.5	7	2.5	123	153	3.11
.5	10	.6	123	313	1.53
.5	12	.4	123	452	1.47
.5	15	1	123	706	5.74
.5	18	.5	123	1017	4.13
5	18	7.4	123	93.93	5.65
.5	22	.8	123	1520	7.41
5	22	1.2	123	144	1.4
5	27	1.2	123	221	2.16
5	32	1.2	123	314	3.08
5	40	1.2	123	495	4.83
5	48	1.2	123	716	6.99
5	60	2.5	123	1123	22.8

Electrical sounding Schlumberger - SONDEO4.WS3



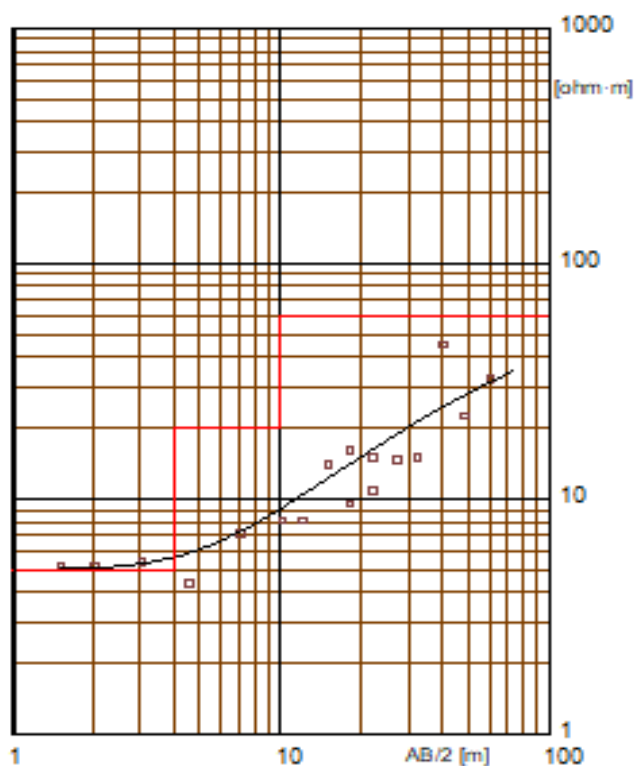
Model Resistivity [ohm-m]	Thickness [m]	Depth [m]
7	6	
20	15	6
55		21

Electrical sounding Schlumberger - SONDEO4.WS3

Field data and calculated values

MN/2 [m]	AB/2 [m]	DeltaV [mV]	I [mA]	K [-]	Resistivity [ohm-m]
.5	1.5	120.5	123	6.28	6.15
.5	2	67.2	123	11.78	6.43
.5	3	33.5	123	27.49	7.48
.5	4.5	15	123	62.83	7.67
.5	7	5.8	123	153	7.19
.5	10	2.5	123	313	6.26
.5	12	2.6	123	452	9.49
.5	15	1.4	123	708	7.77
.5	18	.4	123	1017	3.05
.5	18	18.4	123	93.93	14.1
.5	22	1.1	123	1520	13.7
.5	22	15	123	144	17.6
.5	27	9.1	123	221	16.4
.5	32	9.1	123	314	23.2
.5	40	7.3	123	496	29.2
.5	48	4.3	123	716	25.1
.5	60	3.4	123	1123	31.4

Electrical sounding Schlumberger - SONDEO5.WS3



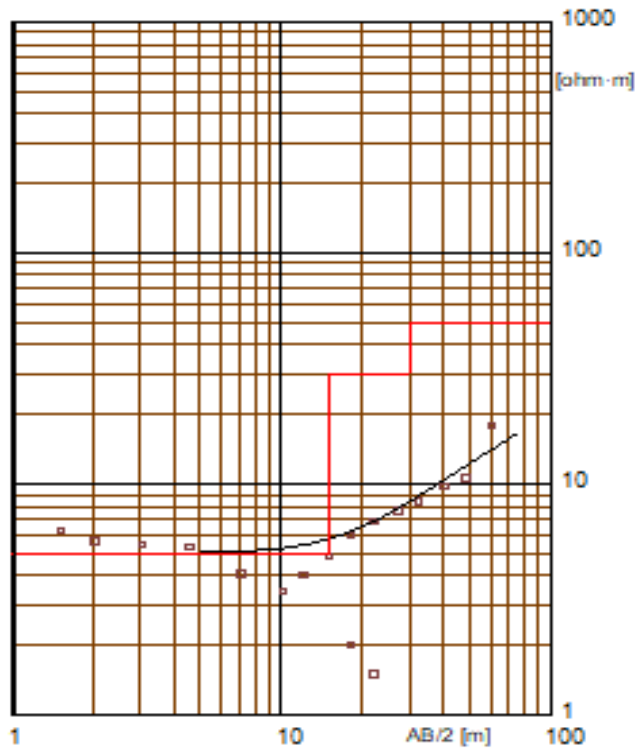
Model Resistivity [ohm-m]	Thickness [m]	Depth [m]
5	4	
20	6	4
60		10

Electrical sounding Schlumberger - SONDEO5.WS3

Field data and calculated values

MN/2 [m]	AB/2 [m]	DeltaV [mV]	I [mA]	K [-]	Resistivity [ohm-m]
.5	1.5	103.1	123	6.28	5.26
.5	2	55.4	123	11.78	5.3
.5	3	24.4	123	27.49	5.44
.5	4.5	8.6	123	62.83	4.4
.5	7	5.8	123	153	7.19
.5	10	3.2	123	313	8.14
.5	12	2.2	123	452	8.14
.5	15	2.5	123	706	14.1
.5	18	2	123	1017	16.3
.5	18	12.5	123	93.93	9.58
.5	22	1.2	123	1520	15.2
.5	22	9.3	123	144	10.9
.5	27	8.2	123	221	14.8
.5	32	5.9	123	314	15.1
.5	40	11.4	123	496	46
.5	48	3.9	123	716	22.9
.5	60	3.6	123	1123	32.6

Electrical sounding Schlumberger - SONDEO6.WS3



Model	Resistivity	Thickness	Depth
	[ohm-m]	[m]	[m]
1	5	15	
2	30	15	15
3	50		30

Electrical sounding Schlumberger - SONDEO6.WS3

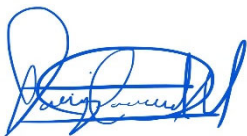
Field data and calculated values

MN/2	AB/2	DeltaV	I	K	Resistivity
[m]	[m]	[mV]	[mA]	[-]	[ohm-m]
.5	1.5	123.5	123	6.28	6.31
.5	2	59.8	123	11.78	5.73
.5	3	24.8	123	27.49	5.55
.5	4.5	10.6	123	62.83	5.4
.5	7	3.3	123	153	4.13
.5	10	1.4	123	313	3.44
.5	12	1.1	123	452	4.07
.5	15	.9	123	706	4.94
.5	18	.2	123	1017	2.03
5	18	7.9	123	93.93	6.01
.5	22	.1	123	1520	1.52
5	22	5.9	123	144	6.91
5	27	4.3	123	221	7.74
5	32	3.3	123	314	8.48
5	40	2.5	123	495	9.9
5	48	1.8	123	716	10.7
5	60	2	123	1123	18

AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, Diego Ismael Coronel Martínez portador de la cédula de ciudadanía N° 0104447248 y William Alfredo Ortiz Andrade portador de la cédula de ciudadanía N° 0302242680. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación “DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS GEOMECÁNICOS DEL SUBSUELO LADO N/O, CAMPUS MIRACIELOS RICAURTE, NECESARIOS PARA EL PROYECTO INVESTIGATIVO “MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA Y MAPA DE RIESGOS” 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 éste trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 21 de Octubre de 2020



Diego Ismael Coronel Martínez
0104447248
AUTOR



William Alfredo Ortiz Andrade
0302242680
AUTOR