



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE
CONSTRUCCIONES

“Correlación entre el Ensayo de Penetración Estándar (SPT) y la resistencia a la compresión simple, en los suelos de comportamiento “cohesivos” en la zona de Racar, en la ciudad de Cuenca”

Trabajo de grado previo a la obtención del título de:

INGENIERO CIVIL CON ÉNFASIS EN GERENCIA DE
CONSTRUCCIONES

Autores:

ORDÓÑEZ MOSCOSO JUAN SEBASTIÁN
SALINAS LOTERO CÉSAR ISRAEL

Director:

ROLANDO ARMAS NOVOA

CUENCA-ECUADOR

2019

DEDICATORIA

Dedico principalmente a mis padres Bernardita y Franklin que son el pilar fundamental de mi vida, quienes, a lo largo de toda mi formación, supieron inculcar en mí los valores necesarios, para ser y seguir siendo mejor cada día como persona y profesional.

A mis hermanas María Bernarda y María José, que con su amor y apoyo constante me motivan en el arduo camino de la vida, así como en la trayectoria de mi carrera profesional.

A mis abuelos paternos y maternos, que siempre he sentido su amor y afecto para seguir adelante; así mismo a mis familiares, por su ayuda constante, y a mis amigos, que de una u otra manera están conmigo en todas las experiencias que compartimos.

Juan Sebastián Ordóñez Moscoso

DEDICATORIA

Dedico a mis padres Manuel Salinas Reyes y María del Carmen Lotero, que siempre estuvieron apoyándome, día a día, para lograr mis objetivos y alcanzar mis metas.

A mis hermanos Andrés, Jorge y Antonio, que siempre me han acompañado a lo largo de mi vida, aconsejándome y guiándome por un camino correcto.

Y mis hermanas Cecilia y Sol, que su amor y cariño, siempre me motivaron a seguir adelante.

César Israel Salinas Lotero

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestro director el Ing. Rolando Armas Novoa, M.Sc. por su trabajo como docente, por su dedicación y esfuerzo constante, ya que ha sido un gran guía durante el desarrollo de esta tesis, compartiendo con nosotros su conocimiento técnico, experiencia y consejos.

De igual manera queremos agradecer al Ing. Franklin Ordóñez Molina, M.Sc. quien nos brindó su ayuda de todas las maneras posibles y su conocimiento técnico para que esta tesis sea una realidad.

Así mismo agradecemos al Ing. Rodrigo Pesántez, M.Sc. que con su apoyo y solidaridad supo brindar lo mejor de sí para el desarrollo de este trabajo de titulación.

Juan Sebastián Ordóñez Moscoso

César Israel Salinas Lotero

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
INDICE DE FOTOGRAFÍAS	ix
ÍNDICE DE ANEXOS.....	x
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT	xv
CAPÍTULO I.....	1
GENERALIDADES	1
1.1 Introducción	1
1.2 Objetivos	2
1.2.1 Objetivo General	2
1.2.2 Objetivos específicos	2
1.3 Justificación.....	2
CAPÍTULO II	3
GEOLOGÍA DEL CANTÓN CUENCA Y CARACTERIZACIÓN DE... LA ZONA DE RACAR EN LA CIUDAD DE CUENCA.....	3
2.1 Introducción	3
2.2 Cuenca de Cuenca	6
2.3 Geología local del área de estudio.	8
2.3.1 Depósitos de Pie de monte (Q_{pd}).....	10
2.3.2 Geología estructural	10

2.3.3 Condiciones hidrogeológicas	10
CAPÍTULO III	11
MARCO TEÓRICO	11
3.1 Ensayo SPT (<i>Standard Penetration Test</i>)	11
3.1.1 Evolución Histórica:.....	12
3.1.2 Normalización del método según la norma ASTM D1586.....	17
3.1.3 Procedimiento del ensayo	19
3.1.4 Marco Teórico del Ensayo	21
3.2 Ensayo de resistencia a la compresión simple	24
3.2.1 Introducción	24
3.2.2 Memoria de calculo.....	26
3.2.3 Preparación de la probeta	28
3.2.4 Procedimiento	29
3.3 Ensayo de contenido de agua del suelo (ω)	30
3.4 Análisis Granulométrico	31
3.5 Límites de consistencia	31
3.6 Gravedad Especifica (G_s).....	32
3.4 Clasificación de los suelos	33
CAPITULO IV	38
APLICACIÓN Y RESULTADOS DE ENSAYOS DE CAMPO Y.....	
LABORATORIO.....	38
4.1. Introducción	38
4.2 Ensayos de campo.....	39
4.3 Ensayos de laboratorio	40
4.4 Resultados de ensayos de campo y laboratorio.....	42
CAPÍTULO V	43
CORRELACIÓN ENTRE VALORES SPT Y DE COMPRESIÓN.....	
SIMPLE.....	43

5.1 Introducción	43
5.2 Correlación entre valores del número de golpes corregido (N_{60}) con valores de resistencia máxima cortante no drenada (C_u).....	43
CONCLUSIONES	46
RECOMENDACIONES	46
BIBLIOGRAFÍA.....	47
ANEXOS.....	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Fallas geológicas actuantes en el país.....	4
Figura 2.2 Efecto de Subducción de la Placa de Nazca bajo el Continente; Zonas de Falla, Dorsales.....	4
Figura 2.3 Zona de estudio conocida como el sector de Racar.....	8
Figura 3.1 El muestreador de tubos original de Gow fue el primer método de muestreo en seco.....	12
Figura 3.2 Sistema de soga y malacate.....	18
Figura 3.3 Tipos de martillo para ensayo de SPT.....	18
Figura 3.4 Muestreador de tubo partido ASTM D1586.....	20
Figura 3.5 Esquema del ensayo de compresión simple.....	25
Figura 3.6 Prueba de compresión simple.....	25
Figura 3.7 Comparación de resultados de pruebas de compresión simple y pruebas no consolidadas-no drenadas para un suelo de arcilla saturada. (Nota: el círculo de Mohr núm. 1 es para la prueba de compresión simple; los círculos de Mohr núm. 2 y 3 son para las pruebas triaxiales no consolidadas-no drenadas.).....	26
Figura 3.8 Grafico esfuerzo/deformación del ensayo de resistencia a la compresión simple.....	27
Figura 3.9 Falla de muestra sometida a la prueba de compresión simple, no confinada, no drenada.....	30
Figura 3.10 Gráfica de plasticidad.....	34
Figura 3.11 Rango del límite líquido y del índice de plasticidad para suelos en los grupos A-2, A-4, A-5, A-6 y A-7.....	37
Figura 4.1 Ubicación de los sondeos en distintas localidades en la zona de Racar. ..	38
Figura 5.1 Correlación lineal entre N_{60} y C_u	44
Figura 5.2 Correlación polinómica de segundo grado entre N_{60} y C_u	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Antes de la introducción de las correcciones de energía, se compararon los recuentos de golpes no corregidos, NSPT, con tablas como las que se reproducen aquí, de Peck et al. (1953). Estas correlaciones se utilizaron para clasificar los suelos y se utilizaron para determinar la capacidad de carga y los parámetros de fricción permitidos para los suelos.	15
Tabla 3.2 Los valores estimados de la fricción y cohesión del suelo se basan en los conteos de golpes de la Prueba de penetración estándar (SPT) no corregidos, Aunque carecían de correcciones, estas correlaciones simples generalmente se usaban para investigaciones de cimientos poco profundos.	15
Tabla 3.3 Variaciones de η_H , η_B , η_S y η_R	22
Tabla 3.4 Masa recomendada para los especímenes de ensayo.	33
Tabla 3.5 Gráfica de la <i>Unified Soil Classification</i> (según la ASTM, 2009) (ASTM D2487-98: Práctica estándar para la clasificación de suelos para fines ingenieriles.	35
Tabla 3.6 Sistema de clasificación de suelos de la AASHTO.	36
Tabla 4.1 Coordenadas (Datum UTM WGS84) de los puntos de sondeo.	39
Tabla 4.2 Factores de corrección del N_{SPT} utilizados.	40
Tabla 4.3 Serie de Tamices utilizados.	41
Tabla 4.4 Tabla resumen de los resultados obtenido de los ensayos realizados.	42
Tabla 5.1 Valores de N_{60} y de C_u	43
Tabla 5.2 Interpretación de la correlación según rangos de R^2	45

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 3.1 Los muestreadores generalmente emplean tres tipos de cabezales de corte o zapatas, que se muestran aquí. Las cabezas afiladas están diseñadas para el muestreo de suelo, mientras que las puntas más contundentes están diseñadas para una mayor longevidad al muestrear suelos granulares.	16
Fotografía 3.2 Las dos mitades de un muestreador típico de prueba de penetración estándar (SPT).	16
Fotografía 3.3 Equipo de prueba de compresión simple.	24
Fotografía 3.4 Muestra lista para someterse al ensayo de resistencia a la compresión simple.	28

ÍNDICE DE ANEXOS

SONDEO N° 1	49
Anexo 1.1 Determinación de contenido de agua natural del suelo (ω_{nat}).....	49
Anexo 1.2 Análisis granulométrico.....	50
Anexo 1.3 Límites de consistencia.....	51
Anexo 1.4 Clasificación de suelos.	52
Anexo 1.5 Determinación de la gravedad específica.	53
Anexo 1.6 Ensayo de resistencia a la compresión simple.....	54
Anexo 1.7 Ensayo de penetración estándar (SPT).....	55
Anexo 1.8 Fotografías.....	56
SONDEO N° 2	57
Anexo 2.1 Determinación de contenido de agua natural del suelo (ω_{nat}).....	57
Anexo 2.2 Análisis granulométrico.....	58
Anexo 2.3 Límites de consistencia.....	59
Anexo 2.4 Clasificación de suelos.	60
Anexo 2.5 Determinación de la gravedad específica.	61
Anexo 2.6 Ensayo de resistencia a la compresión simple.....	62
Anexo 2.7 Ensayo de penetración estándar (SPT).....	63
Anexo 2.8 Fotografías.....	64
SONDEO N° 3	65
Anexo 3.1 Determinación de contenido de agua natural del suelo (ω_{nat}).....	65
Anexo 3.2 Análisis granulométrico.....	66
Anexo 3.3 Límites de consistencia.....	67
Anexo 3.4 Clasificación de suelos.	68
Anexo 3.5 Determinación de la gravedad específica.	69
Anexo 3.6 Ensayo de resistencia a la compresión simple.....	70

Anexo 3.7 Ensayo de penetración estándar (SPT).....	71
Anexo 3.8 Fotografías.....	72
SONDEO N° 4.....	73
Anexo 4.1 Determinación de contenido de agua natural del suelo (ω_{nat}).....	73
Anexo 4.2 Análisis granulométrico.....	74
Anexo 4.3 Límites de consistencia.....	75
Anexo 4.4 Clasificación de suelos.....	76
Anexo 4.5 Determinación de la gravedad específica.....	77
Anexo 4.6 Ensayo de resistencia a la compresión simple.....	78
Anexo 4.7 Ensayo de penetración estándar (SPT).....	79
Anexo 4.8 Fotografías.....	80
SONDEO N° 5.....	81
Anexo 5.1 Determinación de contenido de agua natural del suelo (ω_{nat}).....	81
Anexo 5.2 Análisis granulométrico.....	82
Anexo 5.3 Límites de consistencia.....	83
Anexo 5.4 Clasificación de suelos.....	84
Anexo 5.5 Determinación de la gravedad específica.....	85
Anexo 5.6 Ensayo de resistencia a la compresión simple.....	86
Anexo 5.7 Ensayo de penetración estándar (SPT).....	87
Anexo 5.8 Fotografías.....	88
SONDEO N° 6.....	89
Anexo 6.1 Determinación de contenido de agua natural del suelo (ω_{nat}).....	89
Anexo 6.2 Análisis granulométrico.....	90
Anexo 6.3 Límites de consistencia.....	91
Anexo 6.4 Clasificación de suelos.....	92
Anexo 6.5 Determinación de la gravedad específica.....	93
Anexo 6.6 Ensayo de resistencia a la compresión simple.....	94

Anexo 6.7 Ensayo de penetración estándar (SPT).....	95
Anexo 6.8 Fotografías.....	96
SONDEO N° 7.....	97
Anexo 7.1 Determinación de contenido de agua natural del suelo (ω_{nat}).....	97
Anexo 7.2 Análisis granulométrico.....	98
Anexo 7.3 Límites de consistencia.....	99
Anexo 7.4 Clasificación de suelos.....	100
Anexo 7.5 Determinación de la gravedad específica.....	101
Anexo 7.6 Ensayo de resistencia a la compresión simple.....	102
Anexo 7.7 Ensayo de penetración estándar (SPT).....	103
Anexo 7.8 Fotografías.....	104
SONDEO N° 8.....	105
Anexo 8.1 Determinación de contenido de agua natural del suelo (ω_{nat}).....	105
Anexo 8.2 Análisis granulométrico.....	106
Anexo 8.3 Límites de consistencia.....	107
Anexo 8.4 Clasificación de suelos.....	108
Anexo 8.5 Determinación de la gravedad específica.....	109
Anexo 8.6 Ensayo de resistencia a la compresión simple.....	110
Anexo 8.7 Ensayo de penetración estándar (SPT).....	111
Anexo 8.8 Fotografías.....	112
SONDEO N° 9.....	113
Anexo 9.1 Determinación de contenido de agua natural del suelo (ω_{nat}).....	113
Anexo 9.2 Análisis granulométrico.....	114
Anexo 9.3 Límites de consistencia.....	115
Anexo 9.4 Clasificación de suelos.....	116
Anexo 9.5 Determinación de la gravedad específica.....	117
Anexo 9.6 Ensayo de resistencia a la compresión simple.....	118

Anexo 9.7 Ensayo de penetración estándar (SPT).....	119
Anexo 9.8 Fotografías.....	120
SONDEO N° 10.....	121
Anexo 10.1 Determinación de contenido de agua natural del suelo (ω_{nat}).....	121
Anexo 10.2 Análisis granulométrico.....	122
Anexo 10.3 Límites de consistencia.....	123
Anexo 10.4 Clasificación de suelos.....	124
Anexo 10.5 Determinación de la gravedad específica.....	125
Anexo 10.6 Ensayo de resistencia a la compresión simple.....	126
Anexo 10.7 Ensayo de penetración estándar (SPT).....	127
Anexo 10.8 Fotografías.....	128
SONDEO N° 11.....	129
Anexo 11.1 Determinación de contenido de agua natural del suelo (ω_{nat}).....	129
Anexo 11.2 Análisis granulométrico.....	130
Anexo 11.3 Límites de consistencia.....	131
Anexo 11.4 Clasificación de suelos.....	132
Anexo 11.5 Determinación de la gravedad específica.....	133
Anexo 11.6 Ensayo de resistencia a la compresión simple.....	134
Anexo 11.7 Ensayo de penetración estándar (SPT).....	135
Anexo 11.8 Fotografías.....	136
Anexo 12 Densidad del agua y coeficiente de temperatura (k) para diferentes temperaturas.....	137

“CORRELACIÓN ENTRE EL ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT) Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE, EN LOS SUELOS DE COMPORTAMIENTO “COHESIVOS” EN LA ZONA DE RACAR, EN LA CIUDAD DE CUENCA”

RESUMEN

Las correlaciones con el ensayo SPT (*Standard Penetration Test*) presentadas en la literatura técnica no consideran los tipos de suelos y la formación geológica que tiene nuestro país, por lo tanto, no existen correlaciones válidas para nuestro medio. Debido a la ausencia de correlaciones nace la necesidad de determinar una expresión matemática propia para nuestro medio, específicamente en la zona denominada Racar ubicada en la ciudad de Cuenca. Para determinar estas correlaciones se realizaron 11 sondeos que fueron sometidos a ensayos de campo y laboratorio; estos ensayos fueron realizados basándose en las normas de la ASTM (*American Society for Testing and Materials*). Estas expresiones correlacionan el número de golpes del ensayo de penetración estándar corregido (N_{60}) con el valor de la resistencia cortante no drenada (C_u). Las correlaciones realizadas presentan coeficientes de determinación (R^2) que se encuentra dentro del rango considerado como una correlación moderada.

Palabras clave: ensayo SPT, Racar, Cuenca, sondeos, ensayos de campo y laboratorio, N_{60} , resistencia cortante no drenada C_u , correlaciones, coeficiente de determinación.



Rolando Armas Novoa

Director del Trabajo de Titulación



José Fernando Vásquez Calero

Director de Escuela



Juan Sebastián Ordóñez Moscoso



César Israel Salinas Lotero

Autores

**“CORRELATION BETWEEN THE STANDARD PENETRATION TEST
(SPT) AND THE SIMPLE COMPRESSION RESISTANCE IN THE
“COHESIVE” BEHAVIOR SOILS FROM THE RACAR AREA IN THE
CITY OF CUENCA”**

ABSTRACT

The correlations with the SPT (*Standard Penetration Test*) presented in the technical literature do not consider the types of soils and the geological formation that our country has. Therefore, there are no valid correlations for our environment. Due to the absence of correlations the need arises to determinate a mathematical expression for our region, specifically in the area of Racar in Cuenca. To determine these correlations, 11 surveys were carried out and were subjected to field and laboratory tests. These tests were performed based on the standards of the ASTM (*American Society for Testing and Materials*). These expressions correlate the number of hits of the corrected standard penetration test (N_{60}) with the value of the undrained shear resistance (C_u). The correlations made have coefficients of determination (R^2) that are within the range considered as a moderate correlation.

Palabras clave: SPT test, Racar, Cuenca, surveys, field and laboratory tests, N_{60} , undrained shear resistance C_u , correlations, coefficient of determination.



Rolando Armas Novoa

Thesis Director



José Fernando Vásquez Calero

Faculty Director

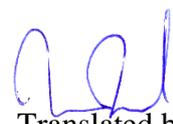
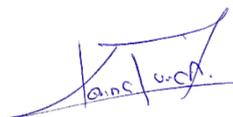


Juan Sebastián Ordóñez Moscoso



César Israel Salinas Lotero

Authors



Translated by

Ing. Paúl Arpi

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 Introducción

En la Ingeniería Civil es de gran importancia conocer las propiedades físicas y mecánicas del suelo para una correcta ejecución de las obras civiles. Por este motivo los ingenieros nos vemos en la obligación de realizar ensayos del suelo, tanto *in situ* como de laboratorio, con el fin de determinar dichas características, aunque estos ensayos pueden ser muy costosos y laboriosos; sin embargo, se pueden encontrar en la literatura técnica correlaciones entre ellos, que nos ayudan a determinar las características de diversos tipos de suelos de forma más sencilla y económica.

Las correlaciones entre parámetros de suelos se hacen, por lo general, debido que: se tiene un ensayo que es costoso su realización; porque es difícil tomar muestras inalteradas y representativas; porque los suelos se encuentran por debajo del nivel freático o porque predomina las arenas.

Las correlaciones que presenta la literatura técnica no corresponden a suelos de nuestra localidad y, particularmente, a los suelos de comportamiento “cohesivos”.

De ahí es donde nace la necesidad de desarrollar nuestras propias expresiones, que caractericen adecuadamente las propiedades ingenieriles de nuestros suelos con contenido de arcilla, denominados “cohesivos”.

Lo que se pretende en este estudio es alcanzar una correlación entre los resultados del ensayo de penetración estándar (SPT) y los del ensayo de compresión simple, en los suelos de comportamiento “cohesivos” de la zona de Racar, en la ciudad de Cuenca.

El objetivo de recurrir al ensayo SPT, es por ser un ensayo de fácil aplicación y que requiere de un equipo no sofisticado para su ejecución, por lo que se convierte en un ensayo relativamente económico; además, dispone de un muestreador que nos permite obtener muestras del suelo, para posteriormente realizar ensayos de laboratorio, como los límites de consistencia y la granulometría, a fin de clasificar al suelo por los sistemas SUCS (*Unified Soil Classification System*) y el AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*) y el de compresión simple.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Analizar y determinar la correlación entre el Ensayo de Penetración Estándar (SPT) y el de resistencia a la compresión simple, en los suelos de comportamiento “cohesivos” de la zona de Racar, en la ciudad de Cuenca.

1.2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar y clasificar desde el punto de vista de la SUCS (*Unified Soil Classification System*) los suelos de la zona de Racar.
- Analizar y determinar la correlación entre el número de golpes del ensayo de penetración estándar corregido (N_{60}) con el valor de la resistencia cortante no drenada (C_u).
- Realizar ensayos, tanto “in situ” como de laboratorio, (Ensayo de Penetración Estándar (SPT), compresión simple y clasificación de suelos).
- Analizar y procesar los datos obtenidos de los ensayos realizados.

1.3 Justificación

En este estudio se parte de que no existen correlaciones válidas para nuestro medio, ya que las correlaciones presentadas en la literatura técnica no consideran los tipos de suelos y la formación geológica que tiene nuestro país.

La razón por la que se ha considerado realizar esta correlación entre el ensayo SPT y el de compresión simple, es debido a la simplicidad de estos dos ensayos y al bajo costo que estos tienen.

Para la correlación también se consideró una sola zona, específicamente la zona de Racar ubicada en la ciudad de Cuenca, en la provincia del Azuay y así garantizar que el suelo presente características semejantes y que no exista una dispersión en los datos obtenidos.

CAPÍTULO II

GEOLOGÍA DEL CANTÓN CUENCA Y CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE RACAR EN LA CIUDAD DE CUENCA

2.1 Introducción

El Ecuador se encuentra ubicado en la convergencia de las placas tectónicas de Nazca y la Sudamericana, lo que ha originado que los rasgos principales de las estructuras tectónicas, se manifiesten en los rasgos morfológicos de nuestro país. En la transición del Mesozoico al Cenozoico ocurrieron grandes movimientos orogénicos y epirogénicos, que dieron como origen la cordillera de los Andes (Orogenia Laramídica), que se constituye como elemento dominante de la orografía del Ecuador, y que lo divide en tres regiones geográficas y geológicamente distintas: Oriente, Costa y Sierra. Esta última, como repercusión del alzamiento de los Andes y de su levantamiento desigual epirogénico, dio como consecuencia la dilatación horizontal de las dos cordilleras, siendo la causa para la fragmentación de las mismas a lo largo de fallas longitudinales y transversales (dirección norte-sur), dando como consecuencia que las partes centrales se elevarán más que las partes laterales exteriores, formando los nudos que limitan las denominadas Hoyas interandinas.

En la figura 2.1 se observa las fallas actuantes en el país, al igual que las placas generadoras.

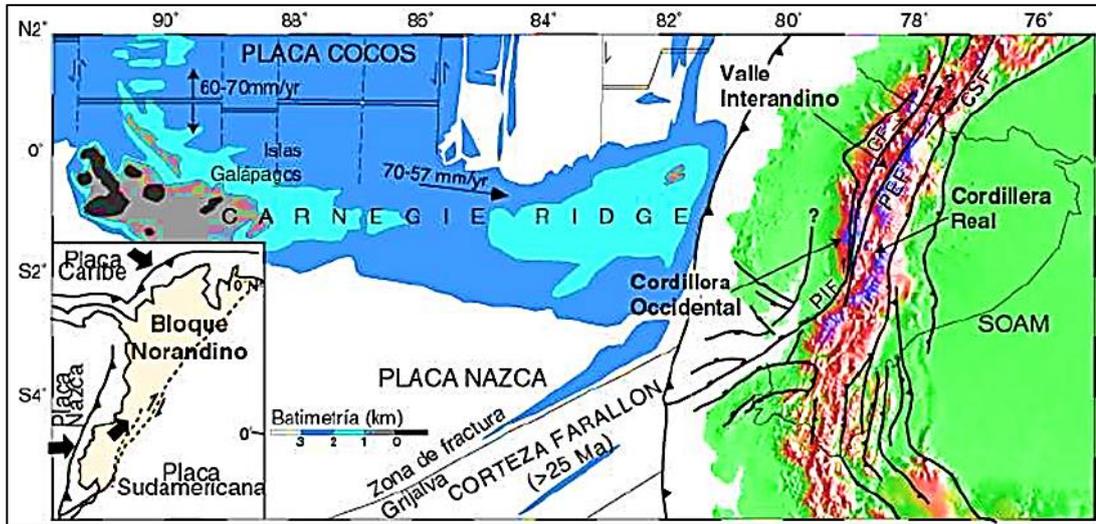


Figura 2.1 Fallas geológicas actuantes en el país.

Fuente: Villagómez. (2003). abreviaturas: SOAM Placa Sudamericana, PIF Falla Pallatanga, CF Falla Calacalí, PEF Falla Peltec, CSF Falla Chingual-La Sofía.

En la figura 2.2 se aprecia el efecto de Subducción de la Placa de Nazca bajo el Continente.

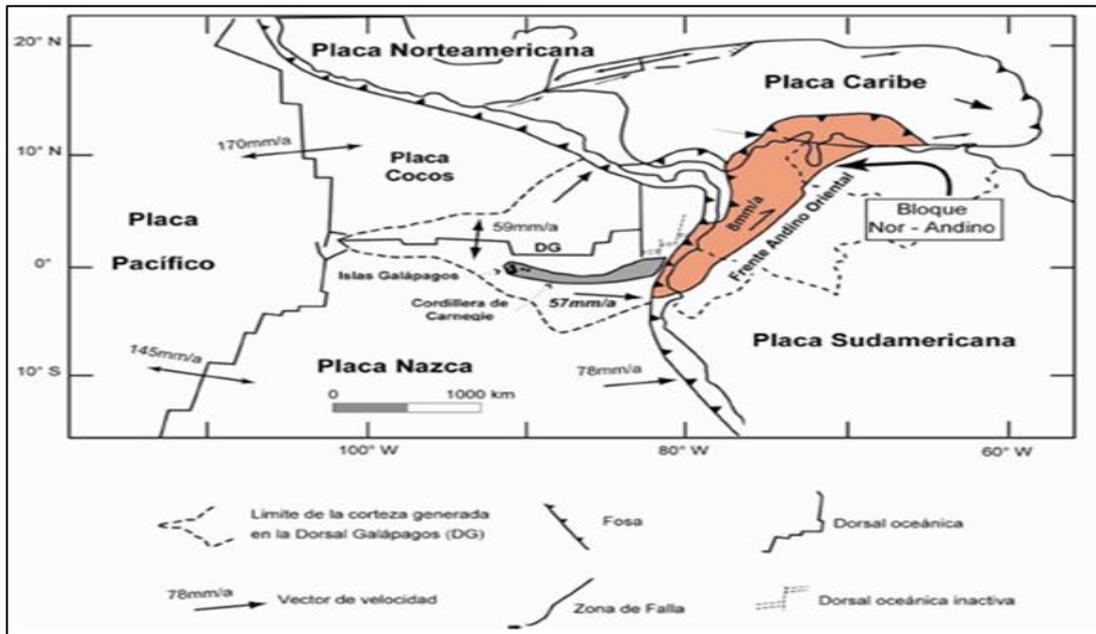


Figura 2.2 Efecto de Subducción de la Placa de Nazca bajo el Continente; Zonas de Falla, Dorsales.

Fuente: Villagómez. (2003). abreviaturas: SOAM Placa Sudamericana, PIF Falla Pallatanga, CF Falla Calacalí, PEF Falla Peltec, CSF Falla Chingual-La Sofía.

A continuación, se describe cada una de las regiones principales:

Oriente, se presentan sedimentos de origen jurásico medio a superior, integradas por calizas silíceas con areniscas calcáreas, depositadas en capas delgadas y bien plegadas, que se denomina formación Santiago; existe una serie denominada *red beds* compuestas por areniscas rojizas y lutitas laminadas y arenosas, que están en posición alternada con arcillas pizarrosas rojas y grises, denominada formación Chapiza, con su miembro superior llamado Mishahualli, constituido por mantos lávicos y piroclásticos. Además, se presentan formaciones posteriores a la trasgresión marina del Cretáceo como las areniscas de Hollin y Napo; en la transición del Cretáceo superior al Terciario se presenta la formación Tena; culmina la estratigrafía con sedimentos Cuaternarios.

La facies sedimentaria occidental (Costa), se destaca por un desarrollo silíceo de las lutitas, su piso pertenece sólo al Cretáceo Superior. La base de las formaciones cretácicas del litoral está integrada por un manto de material volcánico con intercalaciones de escasos estratos marinos, que se ha denominado la formación Piñón, que cubre la plataforma paleozoica de origen varístico y la formación Cayo perteneciente al Cretáceo Superior. Las formaciones Terciarias y Cuaternarias son la que cubren la mayor parte del litoral, los cuales se apoyan sobre el manto volcánico de la formación Piñón.

La Sierra, es la zona que ha surgido del último geosinclinal por plegamiento de los potentes sedimentos depositados en el fondo del mar, comprimidos entre el cratón alto del escudo brasileño y que han sido levantados a mayores alturas durante el Pleistoceno, posteriormente sometida a procesos erosivos, se han encontrado evidencias de períodos geológicos correspondientes al Carbonífero Jurásico, Cretácico Terciario y Cuaternario. Corresponden al Paleozoico las rocas metamórficas y semi-metamórficas, constituidas por los esquistos cristalinos que afloran en la cordillera Real y en la ramificación de la región de Saraguro y Loja, cordilleras de Taguin y Alamor en la provincia del Oro.

La cordillera Occidental presenta formaciones pertenecientes desde el Cretácico Inferior, como son las Diabasa-porfírita del magmatismo inicial neoandídico y rocas

volcano sedimentarias, que fueron posteriormente plegadas. Siendo éstas las que lo distinguen de la cordillera Real.

Al final del Cretácico se producen plegamientos y dislocamientos de la cordillera Occidental, lo cual contribuyó conjuntamente con la regresión marina como repercusión de la orogenia neoandílica, a comprimir y completar el metamorfismo de la cordillera Real, lo que originó nuevas formaciones, entre ellas la Serie de Paute. Los procesos erosivos posteriores de la cordillera Real contribuyeron con sedimento, depositándose hacia el Oriente para que, en el Terciario, se defina la desigualdad entre los sedimentos marinos de la costa y los continentales del oriente, este último favorecido por el levantamiento de la artesa Mesozoica lo que originó el retroceso gradual del mar hacia el este.

Posteriormente a la orogenia, y con la regresión marina antes del Mioceno, se dio origen a los mares someros de agua dulce, especialmente en la zona interandina austral, formando cuencas sedimentarias como las de Tambo-Cañar, Cuenca y Yangana-Malacatus, con formaciones importantes como Biblián, Azogues.

Al inicio del Cuaternario han cesado las compresiones orogénicas, sin embargo, existe una gran actividad por el gran levantamiento de las cordilleras Occidental y Real, acompañada de volcanismo cuaternario y los procesos erosivos, que condujeron a la sedimentación lacustre, volcánico, glacial y fluviales, cerrando el proceso con los eventos geológicos recientes como son los aluviales, coluviales y derrumbes.

2.2 Cuenca de Cuenca

La Geología de Cuenca si bien pertenece a una de las zonas geológicas más antiguas de los valles interandinos ecuatorianos, su historia geológica empieza en el jurásico y cretácico, para luego dar paso a las formaciones sedimentarias de la cuenca de Cuenca, de génesis marino-salobre y lacustre (terciario), con aportes aluviales y volcanoclásticos; estas formaciones sufrieron levantamientos y deformaciones hasta llegar al aspecto actual.

Al final del Paleozoico se produce una regresión marina, retirándose el mar de la actual cordillera occidental y la zona costera; posteriormente en el Cretácico el mar transgrede cubriendo la zona austral, originando el geosinclinal mesozoico.

Con la orogenia larímda, se depositan lavas y piroclásticos, al final del cretácico; en una etapa de relativa calma se produce la sedimentación de la Formación Yunguilla, que aflora en Quingeo y en la margen derecha de la quebrada de Guangarcucho.

Al final del Cretácico se producen plegamientos y dislocamientos en los productos volcánicos y sedimentarios, lo que originó el metamorfismo que permitió la formación de la serie de Paute.

Posteriormente a esta orogenia, se produce una nueva regresión marina antes del Mioceno Medio, originando un mar somero de agua dulce, con escasa comunicación con el océano Pacífico, donde empieza a depositarse la formación Biblián, que tiene una menor área de desarrollo en Cuenca y ambientes de depositación poco energéticos, corresponde al Mioceno Inferior y aflora en Rayoloma y el Valle; esta formación fue sometida a esfuerzos de levantamientos y estrechamientos, que limitaron las formaciones Loyola y Azogues; éstas últimas afloran a lo largo de la autopista Cuenca Azogues. Posteriormente se sucede, en el Mioceno Tardío, formaciones sedimentarias que sobre yacen a las anteriores y menos deformadas; la formación Mangán con depósitos continentales del sistema fluvial meándrico, planicies de inundación y aportes piroclásticos, que reposan discordante con la Fm. Azogues, y finalmente la formación Turi con clastos continentales gruesos y conos aluviales del Mb. Santa Rosa. La Fm. Mangán aflora al sur de la ciudad y atraviesa la misma por debajo de los depósitos cuaternarios hasta aparecer al norte de Ricaurte, en la cuenca del río Sidcay. La formación Turi, aflora al sur de la ciudad, donde lleva el sector su nombre, y al Sur oeste en Sidcay y en Misicata.

Una vez emplazadas estas formaciones, se sucedieron períodos erosivos, de movimientos del terreno y depósitos. Con la orogenia andina en el Neogeno la zona fue afectada por variado vulcanismo, cuyos materiales cubrieron gran parte de la Cuenca para luego ser erosionados, dejando mesetas relictas como el Plateado y Pachamama, donde se encuentra la formación Llacao.

Ya en el Cuaternario los procesos erosivos, deslizamientos de arrastre y acumulación continuaron; épocas interglaciáricas y glaciares se sucedieron, dejando valles en U y depósitos glaciares como los que forman las faldas del Cabogana. En la época postglaciar, los procesos indicados continuaron, pero con mayor actividad de aguas meteóricas, torrentes y ríos, dejando varias terrazas aluviales extensas hacia la parte

central de la Cuenca; es en estas terrazas donde se asienta la mayor parte urbana de la ciudad de Cuenca; también se formaron los depósitos de pie de monte y coluviales en laderas, especialmente al noroeste de la ciudad (Racar y Balzay).

2.3 Geología local del área de estudio.

El objetivo de este apartado es la definición de la línea base geológica del área de estudio, para lo cual procederemos a definir geográficamente la zona de interés dentro del sector conocido como Racar. Esta zona se extiende aproximadamente desde la intersección del Camino a Racar con la Av. De los Cerezos, sigue por esta vía hacia el centro poblado de Racar y se dirige hacia el este en dirección del sector de Pumayunga.

En este tramo de vía y adyacente a la misma, se desarrollan una serie de proyectos habitacionales algunos ya construidos, como son la Urb. El Rosario, la urbanización del Frente de Magisterio del Azuay, Mutualista I y II y, en proyecto, la urbanización 20 de Octubre, entre las principales. Es esta la zona que generalmente se le conoce como El Sector de Racar y es el área que hemos definido para desarrollar el presente tema de tesis. En la figura 2.3 se puede observar el área comprendida de la zona de Racar.

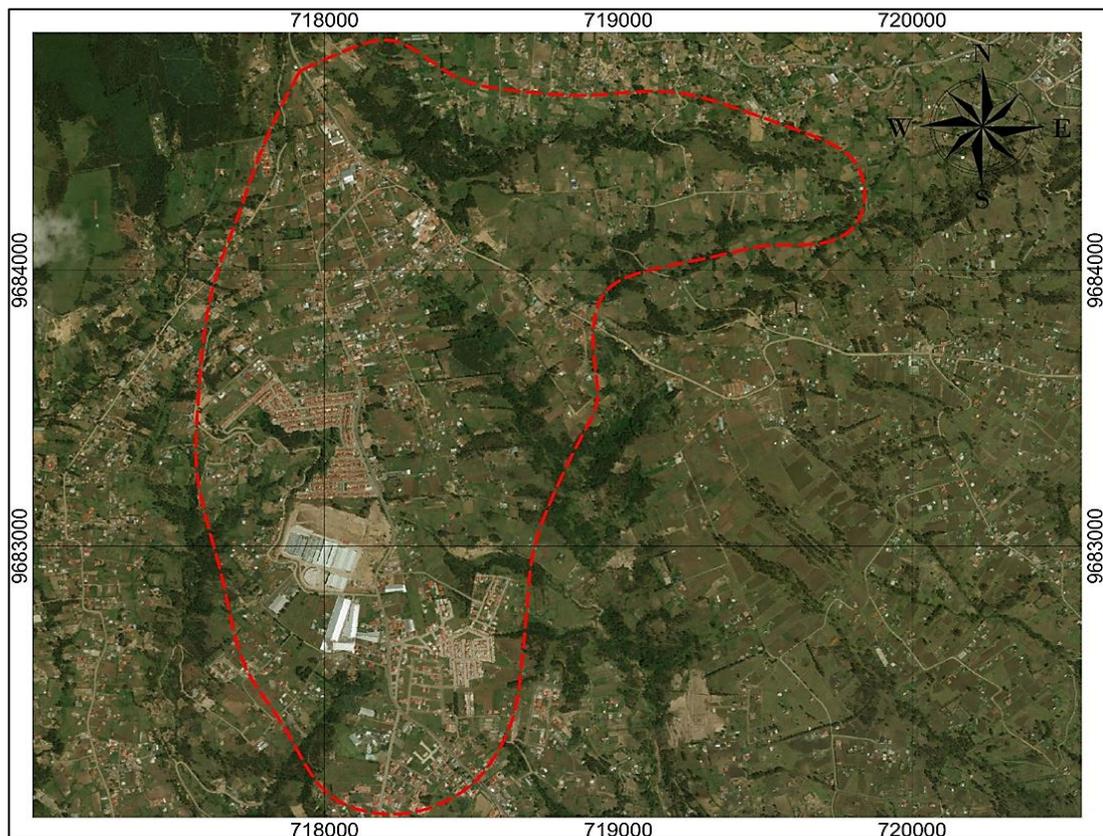


Figura 2.3 Zona de estudio conocida como el sector de Racar

Fuente: Google Earth Pro 2019

Para lograr este propósito se procedió a realizar varias visitas de campo; en estas visitas de campo se corroboró la información bibliográfica revisada previamente y se estableció que la línea base de la secuencia lito estratigráfica del sitio propuesto, corresponde a depósitos no consolidados, definidos como pie de monte (Qp), constituido básicamente por materiales muy heterogéneos, provenientes de la erosión fluvio glacial en la época pleistocena (aproximadamente 2 millones de años); incluye también lentes aluviales interdigitalizados con estratos de arcilla roja y verde; también se presentan depósitos de flujo de lodos glaciares, con clastos, en una matriz limo arenosa con fragmentos de pómez.

El relieve del sector se presenta muy diversificado, a consecuencia de la complejidad de la morfogénesis de la cordillera de los Andes, cuando emergió a finales del Cretáceo, y se produjo un fuerte volcanismo durante el Terciario; los efectos de las glaciaciones cuaternarias y la intensa actividad tectónica ha dado como consecuencia una compleja estructura morfológica en colinas, escarpes de ángulo alto y los efectos del rejuvenecimiento morfológico actual al borde de las quebradas y ríos (Quebrada Rambram, Rio Sinincay etc...).

El área comprendida en este trabajo corresponde a la zona denominada de divorcio o *Divortium Aquarium* (divisora de aguas); la morfología del sector investigado corresponde a colinas cuyos flancos presentan pendientes comprendidas entre 5 a 15 grados, catalogadas como fuertemente inclinadas, con laderas mayoritariamente cóncavas.

En la zona de estudio tenemos la siguiente secuencia estratigráfica generalizada; un basamento de Volcanismo ácido del Terciario, del Grupo Saraguro (Unidad Tomebamba – ignimbritas sobre yacidas por la Fm. Chanlud-brechas volcánicas alteradas).

2.3.1 Depósitos de Pie de monte (Q_{pd})

En la localidad de Racar se corroboró la presencia de los depósitos de Pie de monte que son materiales detríticos que se han depositado al pie de las laderas naturales (Cajas, Cabogana); en ocasiones se han originado por la acción de glaciares; en la zona de Racar estos depósitos están constituidos de capas decamétricas-métricas, de materiales muy heterogéneos, provenientes sobre todo de la erosión de la Fm. Saraguro. Incluyen también lentes aluviales interdigitados con estratos de arcillas rojas y verdes; depósitos de flujos de lodo glaciares con bloques hasta de 2 metros de lado en una matriz limo-arenosa con fragmentos de pómez alterados, rocas volcánicas frescas e hidrotermalizadas, como producto de flujos de lodo y escombros antiguos (Cuaternarios).

2.3.2 Geología estructural

La geología estructural hace referencia al fracturamiento de la corteza terrestre, tales como fallas, diaclasas, foliaciones, contactos litológicos, etc... En la zona de investigación predomina los depósitos cuaternarios que se encuentran cubriendo las trazas de fracturamiento regional; posiblemente exista la presencia de una falla que sigue el curso del río Sinincay, con una dirección aproximada NW15°SE, y otra característica estructural principal constituiría el contacto litológico del material de pie de monte (Q_{pd}) con los afloramientos volcánicos de la Fm. Saraguro a la altura del cerro Cabogana.

2.3.3 Condiciones hidrogeológicas

En los depósitos antiguos la permeabilidad es de media a baja, en función de la compacidad; los niveles freáticos pueden ser profundos o colgados. En los depósitos recientes la porosidad es de media a alta. En ambos casos pueden existir zonas húmedas y mal drenadas.

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1 Ensayo SPT (*Standard Penetration Test*)

El ensayo de penetración estándar es una herramienta útil y práctica para la obtención de parámetros geomecánicos del suelo, cuya principal finalidad es la de llegar a determinar la capacidad de soporte del suelo de fundación, misma que es imprescindible para el dimensionamiento de la cimentación de las diferentes estructuras proyectadas.

Si bien se denomina estándar el ensayo encierra muchas variables en las que se introducen errores que afectan la representatividad de los valores proporcionados por la prueba. Unos corresponden a los tipos de suelos sobre los cuales se realiza los ensayos SPT, y otros referentes al ensayo mismo, que afectan la validez de la interpretación de sus resultados y por lo tanto su aplicabilidad.

Los valores que proporciona el ensayo, han sido correlacionados empíricamente con varias propiedades ingenieriles del suelo. Para ello en la literatura técnica, existen un sin número de expresiones como, por ejemplo:

$$\text{Hara y colaboradores (1971): } C_u(\text{kN/m}^2) = 29N_{60}^{0,72} \quad \text{Ecuación 3.1}$$

$$\text{Stroud (1974): } C_u = KN_{60} \quad \text{Ecuación 3.2}$$

Donde:

$C_U \rightarrow$ Resistencia al cortante, no drenada en arcillas saturadas.

$K \rightarrow$ constante comprendida en el rango de 3.5 a 6.5 kN/m²

$N \rightarrow$ número de golpes N_{60} (donde N_{60} es el número de golpes N_{SPT} corregido).

Estas y otras más han sido desarrolladas en otras latitudes del mundo. Sin embargo, las aplicabilidades de las mismas no necesariamente representan los parámetros geomecánicos de los suelos “cohesivos” de nuestra localidad, debido a que existen una serie de factores inherentes a la naturaleza del suelo, así como a la ejecución misma

del ensayo, que afectan la validez de la interpretación de sus resultados y, por lo tanto, su aplicabilidad.

En tal virtud, se ha visto la necesidad de desarrollar expresiones que proporcionen los parámetros geotécnicos, que representan nuestros suelos, particularmente los de comportamiento “cohesivos”, ya que son estos suelos los que en extensión cubren la mayoría de la superficie del sector de Racar en la ciudad de Cuenca, según estudios de clasificación realizados por ingenieros de la localidad en esta zona.

El equipo del ensayo SPT fue concebido para determinar la compacidad de los suelos granulares (sin cohesión), de los cuales es muy difícil tomar muestras inalteradas; sin embargo, su aplicabilidad en suelos con comportamiento “cohesivo” proporcionan resultados que presentan una mayor dispersión que en los suelos con características friccionantes; las correlaciones realizadas establecidas con valores de cohesión únicamente tienen validez en base de la experiencia local y en depósitos geotécnicos bien caracterizados.

3.1.1 Evolución Histórica:

En 1902, Charles R. Gow propietario de *Gow Construction Co.* en Boston, Estados Unidos, comenzó a hacer perforaciones de exploración, usando un muestreador de 1 pulgada (2.5 cm) de diámetro que era hincado al suelo mediante un martillo de 110 lb, para poder así estimar las dimensiones de las cimentaciones. El esquema del equipo se puede apreciar en la figura 3.1.

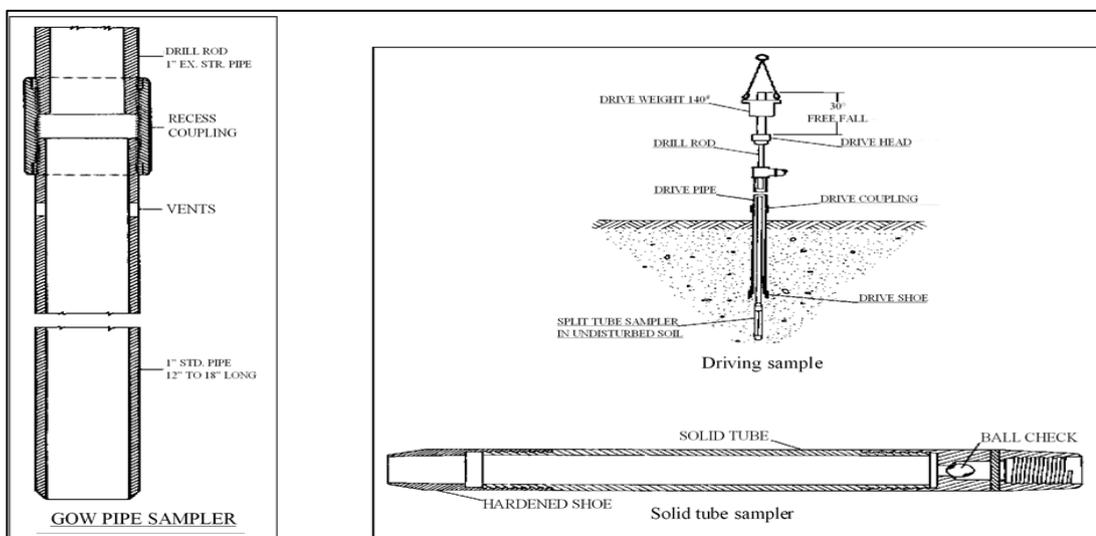


Figura 3.1 El muestreador de tubos original de Gow fue el primer método de muestreo en seco.

Fuente: Rogers, D. (2006). *Subsurface Exploration Using the Standard Penetration Test and the Cone Penetrometer.*

En 1922, Gow fue absorbido como subsidiario de la empresa *Raymond Concrete Pile Co. (RCPC)* bajo la dirección de Linton Hart. La división de Gow en RCPC continuó usando el tubo muestreador operado por un equipo de tres operadores. A mediados de 1920 el muestreador de cuchara partida fue introducido por *Sprague and Henwood Inc.* en Scranton, Estados Unidos, y comercializado a nivel nacional. Fue manufacturado en una variedad de tamaños, con diámetros externos de 2 pulgadas (5.1 cm), 2.5 pulgadas (6.35 cm), 3.0 pulgadas y 3.5 pulgadas (8.9 cm) donde los diámetros internos de estos muestreadores son 0.5 pulgadas (1.27 cm) menos que los diámetros externos. El muestreador de cuchara partida de 2 pulgadas (5 cm) de diámetro fue introducido en 1927 gracias al esfuerzo de tres ingenieros de Gow: Linton Hart, en New York, Harry Mohr, en Boston y Gordon Fletcher, en Philadelphia. Durante este tiempo Harry Mohr midió los valores numéricos de la fuerza empleada en un grupo de perforaciones en el área de Boston, determinada mediante un peso de 140 lb (69.3 kg) que se deja caer a una altura de 30 pulgadas (76.2 cm), registrando el número de golpes requeridos para introducir el muestreador 12 pulgadas (30.5 cm). Otras firmas usaban una variedad de cucharas partidas y tubos muestreadores con diámetros externos que varían entre 2.0 y 4.5 pulgadas (5 y 12.7 cm) y pesos del martillo entre 100 y 350 libras (45.5 y 159 kg).

La modificación del muestreador de Gow a $1\frac{3}{8}$ pulgadas (3.5 cm) de diámetro, pudo recuperar muestras delgadas de material en una secuencia estratigráfica correcta, proporcionando detalles importantes que la perforación por lavado no podía. Varias mejoras se hicieron a lo largo de los años al tubo muestreador, incluyendo la introducción de la válvula esférica de control para prevenir la pérdida de la muestra. En 1945, el tubo muestreador de cuchara partida fue aumentando de tamaño por la introducción de las varillas de perforación (espesor de pared de 0.234 pulgadas [0.59 cm]), que fue equipado con un *liner sampler* (revestimiento de muestras sin profundidad ni afilado). Estos reemplazaron a la antigua cuchara partida de 1 pulgada que había sido utilizada hasta ese momento. En 1940, la cuchara partida de Gow al principio solo contaba con 12 pulgadas (30.5 cm) de longitud de muestreo, como se muestra a la derecha en la figura 3.1, a principios de 1940, RCPC alargó su muestreador a 22 pulgadas (55.9 cm) de muestra, y ese apartado se conoció como *Raymond Sampler*. En 1954, James D. Parsons, Proctor, Freeman y Mueser en New York introdujeron el procedimiento convencional en el que se registran los golpes para

cada uno de los tres incrementos de penetración de 6 pulgadas (15.2 cm). El primer valor registrado en el primer avance es descartado por la introducción y contaminación del pozo, el segundo par de números son sumados y registrados como un único valor para los últimos 12 pulgadas (30.5 cm). Este valor es reportado como el valor de conteo de la prueba de penetración estándar (SPT), sin procesar ni corregir, comúnmente denominado N o más recientemente como N_{SPT} .

A Karl Terzaghi le gustó el muestreador Raymond gracias a que Harry Mohr registro, más de 30 años, datos de penetración alrededor de Boston, y desde 1927, Raymond ha estado empleando el procedimiento y el aparato de penetración estandarizados en todas sus oficinas en los Estados Unidos. Terzaghi y el profesor Arthur Casagrande de la Universidad de Harvard, patrocinaron energéticamente la adopción del procedimiento de toma de muestras a través de los auspicios del Comité de Muestras y Pruebas de la División de Mecánica de Suelos y Fundaciones de la ASCE (Sociedad Estadounidense de Ingenieros Civiles), que se formó en 1938. El trabajo de este comité fue llevado a cabo en Harvard por Juul Hvorslev, un ex estudiante de doctorado de Terzaghi en Viena. Los procedimientos de muestreo subsuperficial estaban más o menos estandarizados en 1940, cuando Hvorslev escribió “*The Present Status of the Art of Obtaining Undisturbed Samples of Soils*”.

Terzaghi se dio cuenta que la resistencia a la penetración del muestreador de cuchara partida podría proporcionar datos de prueba *in situ* útiles que podrían estar correlacionados con la consistencia y densidad de los suelos encontrados. Mientras escribía el texto de *Soil Mechanics in Engineering Practice*, se sentó con Harry Mohr y desarrolló correlaciones entre el número de golpes N y varias propiedades salientes de los suelos, incluida la densidad relativa de las arenas, la consistencia y la resistencia a la compresión no confinada de las arcillas, y presión de rodamiento admisible en arenas y arcillas. En 1947, Terzaghi bautizó el procedimiento Raymond Sampler como “Standard Penetration Test” (SPT) en una presentación titulada “Recent Trends in Subsoil Exploration”, que impartió en la 7ª conferencia sobre Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones, de la Universidad de Texas, en Austin. Las primeras correlaciones publicadas de SPT aparecieron en Terzaghi y Peck (1948), a las que pronto siguieron las correlaciones que relacionaban los conteos de golpeo del SPT con la consistencia de los sedimentos y arcillas y la densidad de las arenas, en Peck et al. (1953). Para arenas eran más confiables que para limos y arcillas. Estas tablas de

clasificación se muestran en la tabla 3.1. El procedimiento SPT y las correlaciones simples rápidamente se convirtieron en estándares de clasificación de suelos en los Estados Unidos.

Tabla 3.1 Antes de la introducción de las correcciones de energía, se compararon los recuentos de golpes no corregidos, NSPT, con tablas como las que se reproducen aquí, de Peck et al. (1953). Estas correlaciones se utilizaron para clasificar los suelos y se utilizaron para determinar la capacidad de carga y los parámetros de fricción permitidos para los suelos.

Relative Density		Consistency		
Sands and Gravels	Blows/Ft (N_{SPT})	Silts and Clay	Strength (tsf)	Blows/Ft (N_{SPT})
Very loose	0–4	Very soft	0– $\frac{1}{4}$	0–2
Loose	4–10	Soft	$\frac{1}{4}$ – $\frac{1}{2}$	2–4
Medium	10–30	Firm	$\frac{1}{2}$ –1	4–8
Dense	30–50	Stiff	1–2	8–16
Very dense	Over 50	Very stiff	2–4	16–32
		Hard	Over 4	Over 32

Fuente: Rogers, D. (2006). *Subsurface Exploration Using the Standard Penetration Test and the Cone Penetrometer*.

Para 1960, aparecieron tablas que también estimaron la resistencia del suelo basado en recuento de golpes SPT, presentados en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Los valores estimados de la fricción y cohesión del suelo se basan en los conteos de golpes de la Prueba de penetración estándar (SPT) no corregidos, Aunque carecían de correcciones, estas correlaciones simples generalmente se usaban para investigaciones de cimientos poco profundos.

Soil Type and SPT Blow Counts	Undisturbed Soil	
	Cohesion (psf)	Friction Angle ($^{\circ}$)
Cohesive soils		
Very soft (<2)	250	0
Soft (2–4)	250–500	0
Firm (4–8)	500–1,000	0
Stiff (8–15)	1,000–2,000	0
Very stiff (15–30)	2,000–4,000	0
Hard (>30)	4,000	0
Cohesionless soils		
Loose (<10)	0	28
Medium (10–30)	0	28–30
Dense (>30)	0	32
Intermediate soils		
Loose (<10)	100	8
Medium (10–30)	100–1,000	8–12
Dense (>30)	1,000	12

Fuente: Rogers, D. (2006). *Subsurface Exploration Using the Standard Penetration Test and the Cone Penetrometer*.

La prueba “*standard drive sampler*” fue secuencialmente adoptado por la Sociedad Estadounidense de Ingenieros Civiles (ASCE) y el cuerpo de ingenieros del ejército de los Estados Unidos. A los comienzos de 1950, Sprague y Henwood comenzaron a producir una versión de 18 pulgadas (45.7 cm) de la versión de *Raymond Sampler* de 22 pulgadas (55.9 cm), y la longitud de muestreo quedó entre 18 y 30 pulgadas (45.7 y 76.2 cm) cuando el SPT fue adoptado como norma ASTM D1586 en 1958. Desde ese momento, tiene más o menos a convertirse en un estándar a nivel de los Estados Unidos. A pesar de estar estandarizado las dimensiones de los tubos, el muestreador (ángulos y anchos de labio) suelen variar según se muestra en la fotografía 3.1. Las variaciones en el procedimiento SPT han sido adoptadas por muchos países, y el Procedimiento Internacional de Pruebas de Referencia para el SPT fue adoptado por la *International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering* (ISSMGE) en 1988. En la fotografía 3.2 se puede apreciar un muestreador de SPT desmontado.



Fotografía 3.1 Los muestreadores generalmente emplean tres tipos de cabezales de corte o zapatas, que se muestran aquí. Las cabezas afiladas están diseñadas para el muestreo de suelo, mientras que las puntas más contundentes están diseñadas para una mayor longevidad al muestrear suelos granulares.

Fuente: Rogers, D. (2006). *Subsurface Exploration Using the Standard Penetration Test and the Cone Penetrometer*.



Fotografía 3.2 Las dos mitades de un muestreador típico de prueba de penetración estándar (SPT).

Fuente: Elaboración propia

3.1.2 Normalización del método según la norma ASTM D1586

Desde el año de 1958 la *American Standard Test Materials* (ASTM), lo incorpora a su vademécum de normas técnicas el código D 1586, siendo la versión última la que corresponde al año de 2018.

Este método describe el procedimiento para penetrar un muestreador de tubo partido (figura 3.4), con el fin de obtener una muestra representativa del suelo y una medida de la resistencia de dicho suelo en base a la penetración del muestreador. Los elementos y las características relevantes del método propuesto por la ASTM son las siguientes (figura 3.2):

1. **Cabeza de golpeo:** Es una pieza cilíndrica que el martillo o pesa golpea y a través del cual la energía se transmite a las varillas de perforación.
2. **Malacate de rotación:** Conocido como tambor de rotación o torno, alrededor del cual el operador enrolla un cable para subir y dejar caer el martillo, halando y aflojando sucesivamente el cable envuelto alrededor del cilindro.
3. **Varilla o tubos de perforación:** Son utilizados para transmitir hasta abajo la fuerza y el giro a la broca de perforación mientras se perfora el hueco. También se lo utiliza para avanzar por simple percusión y lavado.
4. **Martinete:** Conjunto de equipos consistentes en un martillo o pesa, guía para la caída de éste, cabezote y cualquier sistema que haga caer el martillo.
5. **Martillo o peso:** La parte del martinete que consta de una pesa que produce el impacto, la cual sucesivamente se levanta y suelta para que, al caer, proporcione la energía necesaria para efectuar el muestreo y la penetración. Se ha generalizado dos tipos de martillo a saber: *Donut* (Toroide) y *Safety* (De seguridad) se los puede apreciar en la figura 3.3.
6. **Sistema de caída del martillo o pesa:** Parte del martinete mediante el cual el operador logra el levantamiento y la caída del martillo o pesa para producir el golpe, se lo conoce como malacate.
7. **Guía para la caída del martillo o pesa:** Es el sistema mediante el cual sirve para dirigir la caída del martillo.
8. **Valor de N_{SPT} :** Es la cuenta del número de golpes que representa la resistencia a la penetración del tubo partido en el suelo. El valor de N_{SPT} , relacionado como golpes por cada 30 cm, es igual a la suma del número de golpes requeridos para hincar el tomamuestras en el intervalo de profundidad de 15 a 45 cm.

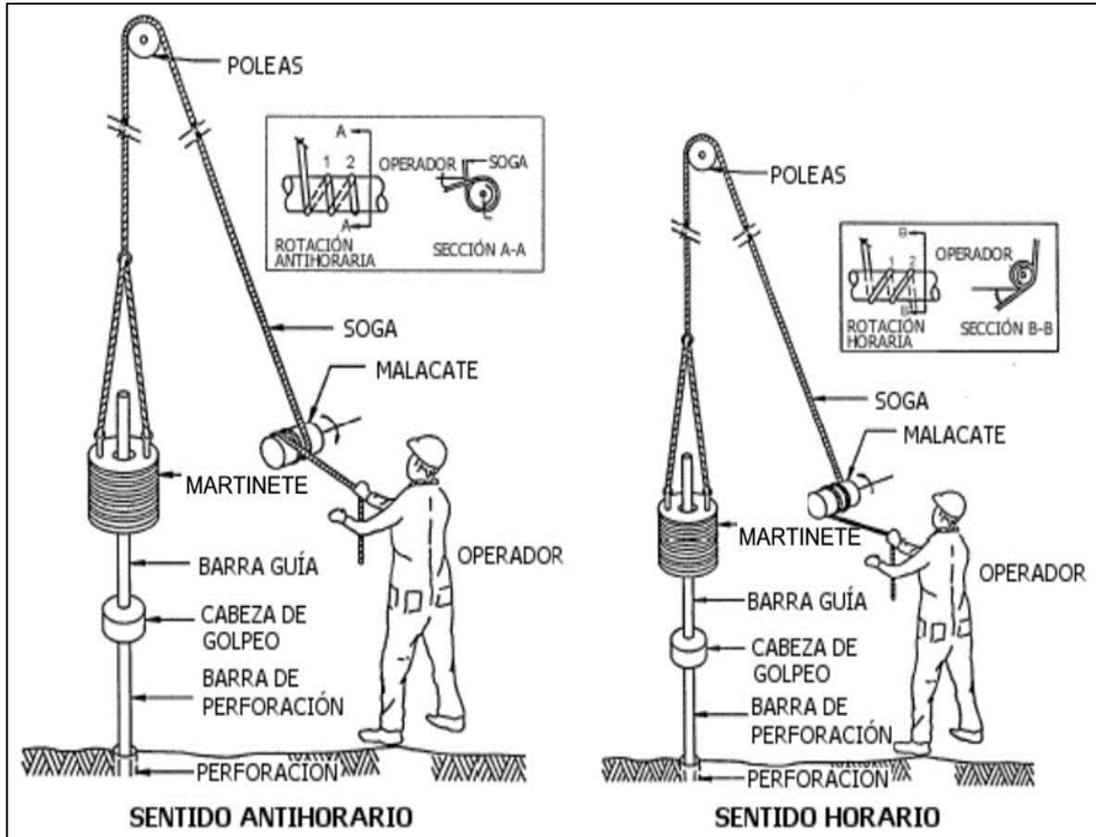


Figura 3.2 Sistema de soga y malacate.

Fuente: López, R. (2013). Determinación in situ de propiedades ingenieriles de los suelos y su relación con el ensayo normal de penetración.



Figura 3.3 Tipos de martillo para ensayo de SPT

Fuente: NEC. (2016). Guía práctica para la ejecución de estudios geotécnicos y trabajos de cimentación de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción.

3.1.3 Procedimiento del ensayo

Una vez que se haya avanzado con la perforación hasta la profundidad deseada y que se haya limpiado en tal forma que se garantice que el material por ensayar no se encuentre alterado, se prepara el muestreo con la secuencia de operaciones que a continuación se indica:

- a) Se conecta el muestreador (figura 3.4) a la tubería de perforación, y se la baja dentro del hueco, dejándola caer suavemente sin permitir que se introduzca dentro del suelo a ser muestreado.
- b) Se coloca el martillo en posición y se instala en cabezote en la parte superior de la tubería de perforación.
- c) Se deja en reposo el peso muerto del muestreador, tubería y cabezote, sobre el fondo del hueco y se aplica un golpe de asentamiento.
- d) Se coloca una marca en el extremo superior de la tubería de perforación en tres incrementos sucesivos de 15 cm cada uno, de manera que el avance del muestreador bajo el impacto del martillo pueda ser observado fácilmente para cada incremento de 15 cm.
- e) Se hinca el muestreador con golpes del martillo de 63,5 kg, y altura de caída de 0,76 m, se cuenta el número de golpes aplicados a cada incremento de 15cm, hasta cuando ocurra una de las siguientes condiciones:
 - e.1) Que se haya aplicado un total de 50 golpes en cualquier de los tres incrementos de 15 cm.
 - e.2) Que se haya aplicado un total de 100 golpes para los 30 cm.
 - e.3) Cuando no se observa avance del muestreador mediante la aplicación de 10 golpes sucesivos del martillo.
 - e.4) Que el muestreador avance 45 cm completos, sin alcanzar las cuentas límites de golpes, descritas anteriormente.
- f) Se registra el número de golpes requeridos para efectuar cada 15 cm de penetración o de fracción correspondiente. Se considera que los primeros 15 cm son para una penetración de asentamiento, la suma del número de golpes requeridos para el segundo y tercer avance de 15 cm de penetración, se llama “la resistencia a la penetración” o valor de “ N_{SPT} ”.

g) La elevación y caída del martillo de 63,5 kilogramos, deberá obtenerse empleando cualquiera de los siguientes métodos:

g.1) Sistema semiautomático o automático, que levante los 63,5 kg y lo deje caer sin ningún obstáculo los 0,76 m, con una tolerancia de $\pm 2,5$ cm.

g.2) Mediante un malacate o cilindro de rotación, para halar un cable atado al martillo.

Cuando se usa este último método, el sistema deberá cumplir con las siguientes especificaciones:

1. El cilindro de rotación deberá estar esencialmente libre de polvo, aceite o grasa y tener un diámetro dentro del intervalo de 150 a 250 mm.
2. El malacate deberá operarse a una velocidad mínima de 100rpm.
3. No deberá emplearse más de 2 ¼ vueltas de cable sobre el cilindro del malacate durante la ejecución del ensayo, como se muestra en la figura 3.4

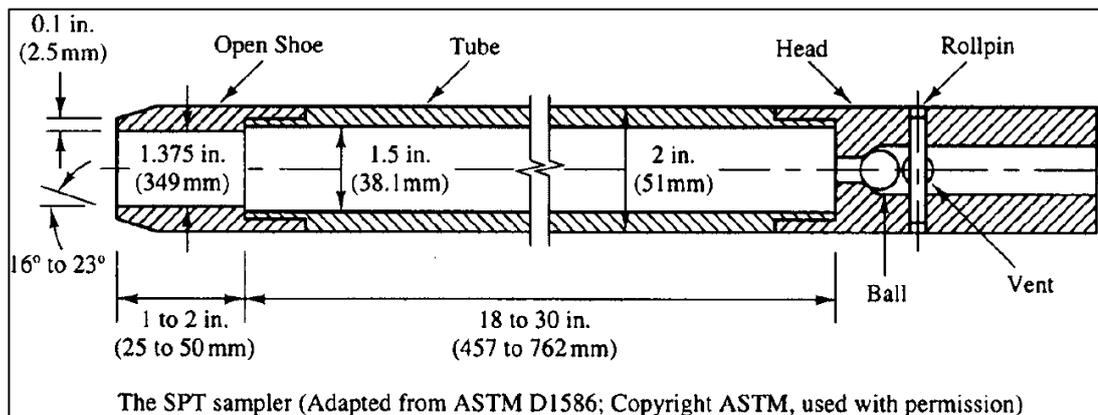


Figura 3.4 Muestreador de tubo partido ASTM D1586

Fuente: ASTM D1586. (1999). Standard Test Method for Penetration Test and Split Barrel Sampling of Soils.

3.1.4 Marco Teórico del Ensayo

Es importante destacar que varios factores contribuyen a la variación del número de penetración estándar N a una profundidad dada para perfiles de suelo similares. Entre estos factores se encuentran la eficiencia del martinete SPT, el diámetro de la perforación, el método de muestreo y la longitud de la barra (Das, 2012, p.83). La eficiencia energética del martinete SPT se puede expresar así:

$$E_r(\%) = \frac{\text{energía total del martinete al muestreador}}{\text{energía de entrada}} \times 100 \quad \text{Ecuación 3.3}$$

$$\text{Energía teórica de entrada} = W h \quad \text{Ecuación 3.4}$$

Donde:

W = peso del martinete ≈ 0.623 kN

H = altura de caída ≈ 0.76 m

Por lo tanto,

$$Wh = (0.623) (0.76) = 0.474 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{Ecuación 3.5}$$

En el campo, la magnitud de E_r puede variar de 30 a 90%. La práctica estándar actual en Estados Unidos es expresar el valor N para una relación energética promedio de 60% ($\approx N_{60}$). Así pues, la corrección por los procedimientos de campo y con base en las observaciones de campo parece razonable para estandarizar el número de penetración estándar como una función de la energía de entrada de hincado y su disipación alrededor del muestreador hacia el suelo circundante. (Das, 2012, p.83)

$$N_{60} = \frac{N_{SPT} \eta_H \eta_B \eta_S \eta_R}{60} \quad \text{Ecuación 3.6}$$

Donde:

N_{60} = número de penetración estándar, corregido por las condiciones en el campo.

N_{SPT} = número de penetración medido en campo.

η_H = eficiencia del martinete (%).

η_B = corrección por el diámetro de la perforación.

η_S = corrección del muestreador.

η_R = corrección por longitud de barra.

Las variaciones de η_H , η_B , η_S y η_R con base en recomendaciones de Seed y colaboradores (1985) y Skempton (1986) se resumen en la tabla 3.3 (Das, 2012, p.83).

Tabla 3.3 Variaciones de η_H , η_B , η_S y η_R .

1. Variación de η_H				2. Variación de η_B	
País	Tipo de martinete	Liberación del martinete	η_H (%)	Diámetro, mm	η_B
Japón	Toroide	Caída libre	78	60-120	1
	Toroide	Cuerda y polea	67		
Estados Unidos	De seguridad	Cuerda y polea	60		
	Toroide	Cuerda y polea	45	200	1.15
Argentina	Toroide	Cuerda y polea	45		
China	Toroide	Caída libre	60		
	Toroide	Cuerda y polea	50		
3. Variación de η_S				4. Variación de η_R	
Variable				Longitud de la barra, m	η_R
Muestreador estándar				> 10	1.0
Con recubrimiento para arena y arcilla densas				6-10	0.95
Con recubrimiento para arena suelta				4-6	0.85
				0-4	0.75

Fuente: Das, B. (2012). Fundamentos de ingeniería de cimentaciones, séptima edición

Para poder llegar a N_{60} en un equipo estándar, se tienen que considerar los factores de corrección correspondientes en la tabla 3.3 de acuerdo al martillo *Donut* (Toroide) o *Safety* (De seguridad) que se posea, al diámetro de la perforación, si la cuchara partida se tiene con recubrimiento para extracción de muestras (*liner sampler*), de acuerdo a la longitud de la barra. Una vez escogido todos los factores correspondientes se proceden a multiplicar todos estos por el valor de N_{SPT} (Número de golpes obtenidos en campo) y dividir para el valor de 60 (para una relación energética promedio de 60%).

Nota: Correlación para N_{60} en suelo granular.

En suelos granulares, el valor de N_{SPT} se afecta por la presión de sobrecarga efectiva debida al peso propio. Por esa razón, el valor de N_{60} obtenido en la exploración de campo ante presiones de sobrecarga efectiva diferentes se debe cambiar para que corresponda a un valor estándar. Es decir,

$$(N_1)_{60} = C_N N_{60} \quad \text{Ecuación 3.7}$$

Donde:

$(N_1)_{60}$ = valor de N_{60} corregido a un valor estándar de presión de sobre carga efectiva debida al peso propio (1kgf/cm^2).

C_N = factor de corrección por sobrecarga.

N_{60} = número de penetración estándar, corregido por las condiciones en el campo.

En el pasado se propuso una variedad de relaciones empíricas para C_N . A continuación, las relaciones más comúnmente citadas son las de Liao y Whitman (1986) y Skempton (1986).

En las relaciones siguientes para C_N , observe que σ'_o es la presión de sobrecarga efectiva y P_a = presión atmosférica ($\approx 100\text{ kN/m}^2$).

Relación de Liao y Whitman (1986):

$$C_N = \left[\frac{1}{\left(\frac{\sigma'_o}{P_a}\right)} \right]^{0.5} \quad \text{Ecuación 3.8}$$

Relación de Skempton (1986):

$$C_N = \frac{2}{1 + \left(\frac{\sigma'_o}{P_a}\right)} \quad (\text{para arena fina normalmente consolidada}). \quad \text{Ecuación 3.9}$$

$$C_N = \frac{1.7}{2 + \left(\frac{\sigma'_o}{P_a}\right)} \quad (\text{para arena gruesa normalmente consolidada}). \quad \text{Ecuación 3.10}$$

$$C_N = \frac{2}{1 + \left(\frac{\sigma'_o}{P_a}\right)} \quad (\text{para arena sobreconsolidada}). \quad \text{Ecuación 3.11}$$

3.2 Ensayo de resistencia a la compresión simple

3.2.1 Introducción

Los ensayos de resistencia a la compresión simple en los suelos de comportamiento “cohesivo” realizados en este estudio, están basados en la norma ASTM D2166-16 denominado “Método de prueba estándar para resistencia a la compresión simple de suelos cohesivos”. En esta norma se especifica cómo debe ser la obtención de la muestra de suelo, así como la realización del ensayo y los procedimientos matemáticos. En la fotografía 3.3 se aprecia el equipo para la realización del ensayo.



Fotografía 3.3 Equipo de prueba de compresión simple.

Fuente: Das, B. (2013). Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, cuarta edición.

El principal objetivo de este ensayo es determinar, de manera simple y económica, una estimación de la resistencia a la compresión no confinada, no drenada, de los suelos “cohesivos” en condiciones “inalteradas”, así como la estimación de la resistencia cortante no drenada C_u .

Este ensayo consiste en someter una muestra cilíndrica de suelo “inalterada” a una carga axial, controlando tanto su deformación como la carga axial que se le aplica rápidamente. En la figura 3.5 se observa el esquema del ensayo de compresión simple.

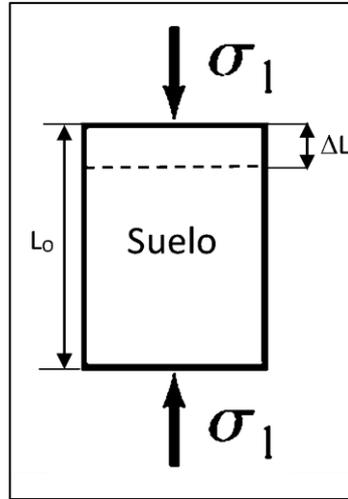


Figura 3.5 Esquema del ensayo de compresión simple

Fuente: Das, B. (2013). Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, cuarta edición.

En este ensayo la presión de confinamiento σ_3 es 0. El esfuerzo principal menor total es 0 y el esfuerzo principal mayor total es σ_1 , (Das, 2013, p.256) como se observa en la figura 3.6

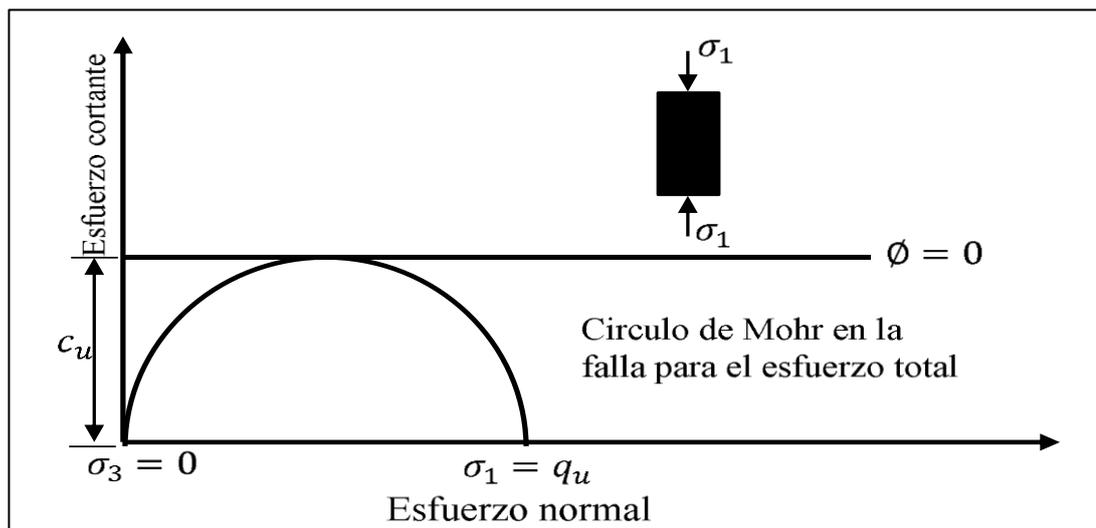


Figura 3.6 Prueba de compresión simple.

Fuente: Das, B (2013) Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, cuarta edición.

Según Das (2013), teóricamente, para muestras semejantes de arcillas saturadas las pruebas de compresión no confinada y las pruebas triaxiales no consolidadas-no drenadas deben dar los mismos valores de la resistencia al cortante no drenada (C_u). Sin embargo, en la práctica las pruebas de compresión no confinada en arcillas

saturadas producen valores ligeramente más bajos de la resistencia al cortante no drenada (C_u), que los obtenidos a partir de pruebas no consolidadas-no drenadas. (p.258) Esto se muestra en la figura 3.7.

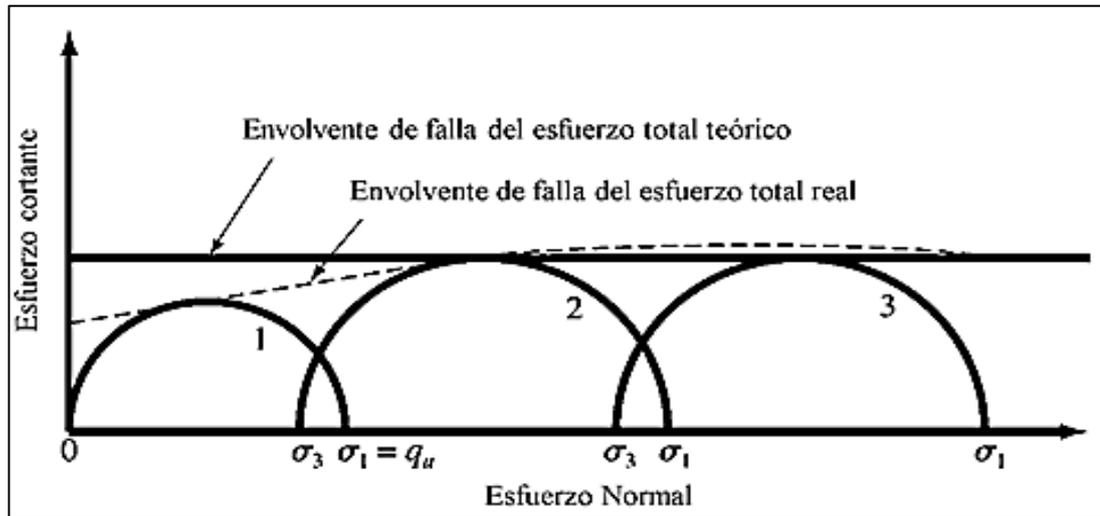


Figura 3.7 Comparación de resultados de pruebas de compresión simple y pruebas no consolidadas-no drenadas para un suelo de arcilla saturada. (Nota: el círculo de Mohr núm. 1 es para la prueba de compresión simple; los círculos de Mohr núm. 2 y 3 son para las pruebas triaxiales no consolidadas-no drenadas.).

Fuente: Das, B (2013) Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, cuarta edición.

3.2.2 Memoria de calculo

La base teórica y el procedimiento matemático del ensayo, según la norma ASTM D2166-16 se presenta de la siguiente manera:

La deformación vertical unitaria se calcula como:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad \text{Ecuación 3.12}$$

En donde:

ΔL : Deformación vertical de la muestra (mm).

L_0 : Altura inicial de la muestra (mm).

El área transversal de la muestra se ve afectada y se va deformando a medida que se va aplicando la carga axial; es por esto que el área se calcula mediante la siguiente expresión, considerando que no existe cambio de volumen en la muestra ($\Delta V = 0$):

$$A (\text{corregida}) = \frac{A_0}{1-\varepsilon} \quad \text{Ecuación 3.13}$$

En donde:

A_0 : Área transversal inicial de la muestra (cm^2).

ε : deformación unitaria.

El esfuerzo principal mayor σ_1 sobre la muestra se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$\sigma_1 = \frac{Fv}{A} \quad \text{Ecuación 3.14}$$

En donde:

Fv : Fuerza total sobre la muestra (kgf).

A : Área transversal (corregida) de la muestra (cm^2).

La resistencia máxima a la compresión no confinada, q_u ($q_u = \sigma_1$), se obtiene mediante el gráfico esfuerzo-deformación unitaria como se aprecia en la figura 3.8.

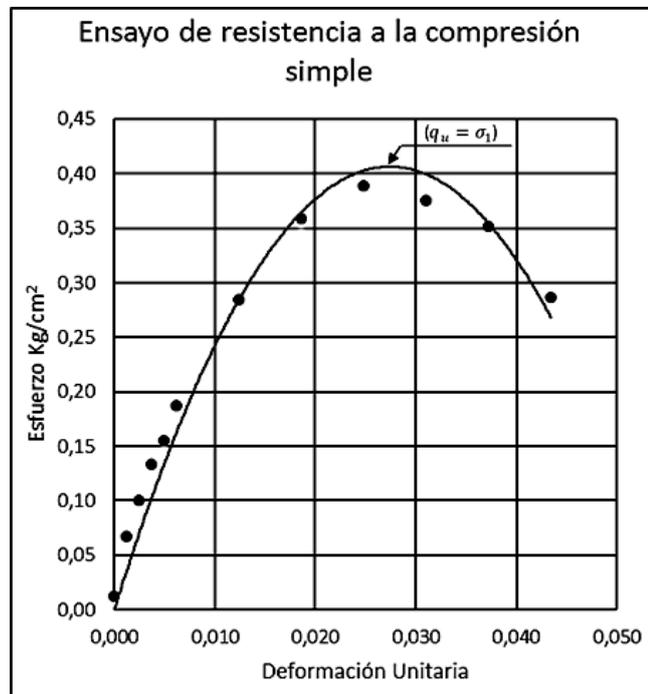


Figura 3.8 Gráfico esfuerzo/deformación del ensayo de resistencia a la compresión simple.

Fuente: Elaboración propia.

La resistencia cortante no drenada c_u (kPa), se obtiene mediante el gráfico esfuerzo cortante- esfuerzo normal, analíticamente como se aprecia en la figura 3.6.

$$C_u = \frac{q_u}{2} \quad \text{Ecuación 3.15}$$

3.2.3 Preparación de la probeta

Para la realización del ensayo de compresión simple, en primer lugar, se debe contar con una muestra "inalterada" del suelo en forma cilíndrica o cúbica.

- La muestra debe tener una sección constante, circular o cuadrada, y eje perpendicular a esta sección.
- Cuando la superficie de la muestra queda irregular, porque hay desprendimiento de material o existencia de piedras, estas irregularidades deben ser rellenadas con suelo de los cortes.
- El diámetro o lado de la sección no debe ser inferior a 35 mm y en suelos con discontinuidad es recomendable que la sección sea de un mayor tamaño.
- Su granulometría debe ser como máximo, igual a 1/10 del diámetro o lado.
- La relación L/d (altura al diámetro de la base) debe ser entre dos y tres.
- Si se realiza tallado a la muestra, este debe ser ejecutado con mucho cuidado, para así garantizar que la muestra no se altere o afecte.

En la siguiente fotografía 3.4 se puede observar una muestra lista para someterse al ensayo de resistencia a la compresión simple.



Fotografía 3.4 Muestra lista para someterse al ensayo de resistencia a la compresión simple.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.4 Procedimiento

El procedimiento especificado en la norma ASTM D2166-16 es el siguiente:

- Escoger la sección de suelo que va a ser utilizada para el ensayo de resistencia a la compresión simple.
- Preparar la muestra tallándola cuidadosamente para que cumpla con la relación L/d entre dos y tres.
- Colocar las muestras en un humidífero y dejarlas hasta que les toque el turno del ensayo, evitando así la pérdida de humedad que experimentaría en el exterior.
- Tomar cuatro medidas de diámetro, cuatro medidas de altura y el peso de la muestra a ensayar.
- Calcular la deformación correspondiente al 20% de deformación vertical unitaria.
- Calcular la densidad de las muestras y pesar tarros para contenido de agua de la muestra.
- Alinear la muestra en la máquina de compresión, para garantizar una carga uniforme y distribuida sobre la muestra.
- Establecer el cero en el equipo, tanto en el dial de deformación como el dial del anillo dinamométrico.
- Realizar las lecturas de los diales, de deformación y el dial del anillo dinamométrico, hasta que suceda uno de los siguientes casos:
 - a) La carga sobre la muestra decrece significativamente.
 - b) La carga se mantiene constante por cuatro lecturas.
 - c) La deformación sobrepasa significativamente el 20% de la deformación unitaria.
- Determinar la deformación de la muestra, la deformación unitaria, el área corregida, la carga sobre la muestra y el esfuerzo sobre la muestra, para suficientes lecturas (unos 8 a 10 puntos bien espaciados) para determinar la curva esfuerzo – deformación unitaria adecuadamente.
- En el caso de que se produzca una falla plástica, el valor del esfuerzo de falla que se toma, es cuando la deformación unitaria es igual al 20%.
- Mostrar q_u como el esfuerzo pico para cada ensayo.
- Calcular C_u .

En la figura 3.9 se puede observar una falla en la muestra, al momento que decrece la lectura del dial dinamométrico.

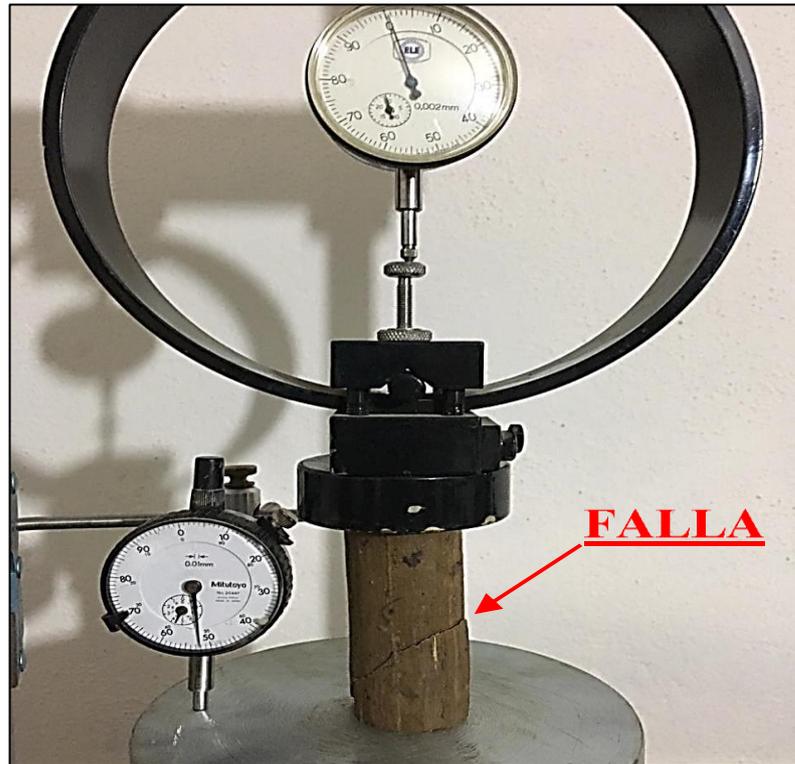


Figura 3.9 Falla de muestra sometida a la prueba de compresión simple, no confinada, no drenada.

Fuente: Elaboración propia.

3.3 Ensayo de contenido de agua del suelo (ω)

El ensayo de contenido de agua del suelo (ω) esta referenciado en la norma ASTM D2216-19. La determinación del contenido de agua de un suelo es un ensayo rutinario de laboratorio, para determinar la masa de agua presente en una masa dada de suelo.

El suelo debe secarse en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C hasta obtener un peso constante, por lo que se establece un lapso de 24 horas para garantizar que el agua se haya evaporado por completo. (Bowles, 1981, p.11)

En muchos suelos, el contenido de agua es una de las propiedades más significativas utilizadas para establecer una correlación entre el comportamiento del suelo y sus propiedades índices (granulometría, gravedad específica, índice de plasticidad, etc.).

3.4 Análisis Granulométrico

El análisis granulométrico es la determinación del rango de tamaños de partículas presentes en un suelo, expresado como un porcentaje de la masa seca total. Existen varios métodos para encontrar la distribución del tamaño de las partículas de suelo.

El ensayo del análisis granulométrico está referenciado con la norma ASTM C117-17, que es el método de ensayo estándar por lavado para tamaños de partículas menores de 0.075 mm de diámetro.

La pérdida de masa por la realización del lavado se calcula restando la masa del material seco retenido en el tamiz No.200 y la masa seca de la muestra original, y se reporta como el porcentaje de material más fino que el tamiz No. 200 por lavado. Posteriormente que se realizó la operación de lavado de la muestra, se procede a colocar el material retenido en el tamiz No.200 en una bandeja metálica. Poner a secar este material en un horno normado a una temperatura de 110 ± 5 °C durante 24 horas. También se realiza el análisis por tamizado que consiste en vibrar, durante un determinado tiempo (5 minutos), la muestra de suelo seco, a través de una serie de tamices que tienen aberturas progresivamente más pequeñas. Finalmente se pesa la cantidad de suelo retenido en cada uno de los tamices. Con la realización del tamizado es posible trazar una curva granulométrica. La gráfica granulométrica se representa en escala semilogarítmica (solo las abscisas en escala logarítmica y ordenadas en escala aritmética).

3.5 Límites de consistencia

El cambio de volumen y la capacidad de pasar de un estado sólido a un comportamiento de fluido viscoso, en los suelos, dependen del tipo y de la cantidad de minerales de arcilla, así como del contenido de agua. (Guerrero y Lima, 2018, p.88)

Los ensayos de los límites de consistencia se encuentran normado según la ASTM D4318-17e1. Este ensayo es utilizado como una parte fundamental de varios sistemas de clasificación de suelos, para caracterizar las fracciones de grano fino de los suelos.

- **Límite Líquido (LL)**

El límite líquido es el contenido de agua por debajo del cual el suelo se comporta como un material plástico. A este nivel de contenido de agua el suelo está en el vértice de cambiar su comportamiento al de un fluido viscoso. (Bowles, 1981, p.16)

El límite líquido es el valor del contenido de agua, en porcentaje, correspondiente a 25 golpes para que la ranura longitudinal realizada en el material, contenido en la cuchara de Casagrande, se cierre 12.7 mm. Debido a que es muy complicado determinar este valor directo en el laboratorio, el límite líquido se obtiene mediante 4 puntos en una gráfica semilogarítmica, con el número de golpes sobre la escala logarítmica (abscisa) y el contenido de agua sobre la escala aritmética (ordenadas).

- **Límite Plástico (LP)**

El límite plástico es el contenido de agua por debajo del cual se puede considerar el suelo como material no plástico. El ensayo se determina mediante la elaboración de rollos de suelo, estos rollos deben tener un diámetro de 3mm como se especifica en la norma, y deben ser realizados sobre una superficie lisa no absorbente. Este ensayo concluye en el momento que estos rollos se agrieten o desmoronen, es decir supero el comportamiento plástico, el promedio de contenido de agua de estos rollos es denominado límite plástico.

Nota: Índice de plasticidad (IP)

Se puede definir el Índice de Plasticidad (IP) de un suelo como la diferencia entre su límite líquido y su límite plástico.

Índice de Plasticidad = Límite Líquido - Límite Plástico

Ecuación 3.16

3.6 Gravedad Específica (G_s)

La gravedad específica de un suelo se define como la relación entre la densidad de los sólidos del suelo y la densidad del agua destilada a 4°C, en laboratorio; debido a la dificultad que existe para alcanzar los 4°C en lo que a la temperatura de ensayo se refiere, se trabaja con $20 \pm 5^\circ\text{C}$. (Guerrero y Lima, 2018, p.6)

El ensayo de Gravedad Específica se encuentra normado según la ASTM D854-14; el objetivo de este ensayo es, calcular la gravedad específica de los sólidos del suelo, por medio de un matraz (picnómetro).

La masa de suelo a utilizar en el ensayo de gravedad específica está especificado de acuerdo al tipo de suelo que se va a ensayar, y el tamaño del picnómetro a utilizar como se observa en la tabla 3.4.

Tabla 3.4 Masa recomendada para los especímenes de ensayo.

Tipo de suelo	Masa seca de la muestra (g) cuando use un picnómetro de 250 ml	Masa seca de la muestra (g) cuando use un picnómetro de 500 ml
Arena mal graduada, arena mal graduada con limo	60 ± 10	100 ± 10
Arcilla limosa, arena limosa, arena arcillosa	45 ± 10	75 ± 10
Limo o arcilla	35 ± 5	50 ± 10

Fuente: ASTM D854. (2014). Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer.

El picnómetro debe ser calibrado, tal como se especifica en la norma, y se utiliza para ello la tabla del Anexo 12, que muestra la densidad del agua y el coeficiente de temperatura (k) para diferentes temperaturas.

3.4 Clasificación de los suelos

Los sistemas de clasificación de suelos dividen los suelos en grupos y subgrupos con base en propiedades ingenieriles comunes, como la distribución granulométrica, el límite líquido y el límite plástico. Los dos sistemas de clasificación principales de uso actual son: a) el sistema de la *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) y b) el Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS por sus siglas en inglés), también es el sistema de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales y por sus siglas en inglés ASTM. El sistema de la AASHTO se emplea principalmente para la clasificación de las capas del pavimento de una carretera. No se utiliza en la construcción de cimentaciones (Das, 2012, p.17).

a) Sistema SUCS.

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (*Unified Soil Classification System*) lo propuso originalmente A. Casagrande en 1942 y más tarde lo revisó y adoptó el *United States Bureau of Reclamation* y el *US Army Corps of Engineers*. En la actualidad el sistema se utiliza prácticamente en todos los trabajos geotécnicos. (Das, 2012, p.17)

En la gráfica de plasticidad (figura 3.10) y en la tabla 3.5 se muestra el medio para determinar los símbolos de grupo para varios tipos de suelos. Al clasificar un suelo se debe proporcionar el nombre del grupo que generalmente describe el suelo, junto con el símbolo respectivo.

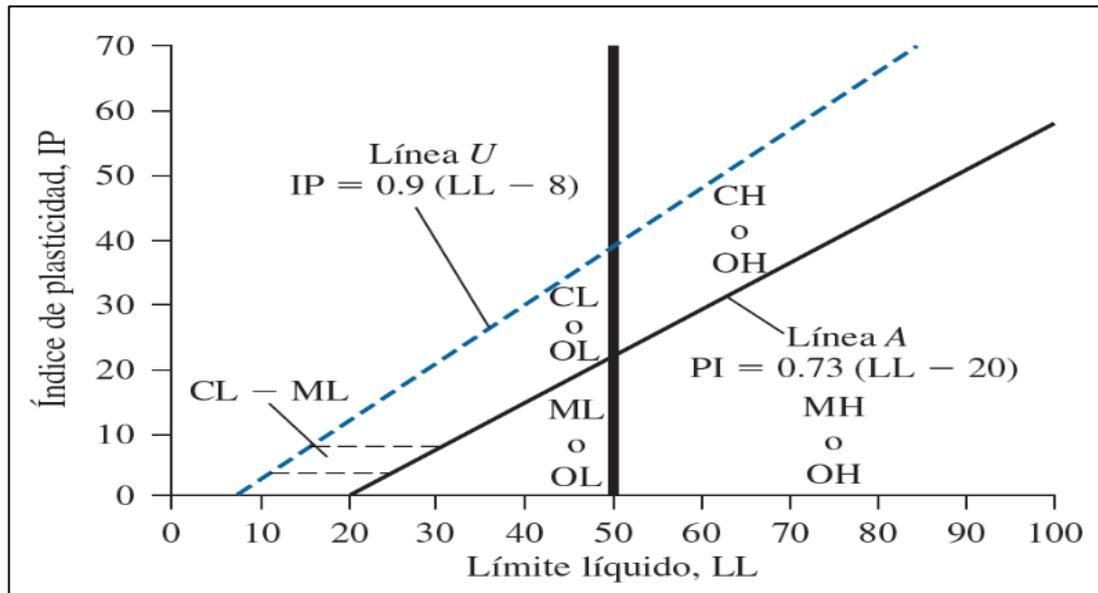


Figura 3.10 Gráfica de plasticidad.

Fuente: Das, M. (2012). *Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones*, séptima edición.

Tabla 3.5 Gráfica de la *Unified Soil Classification* (según la ASTM, 2009) (ASTM D2487-98: Práctica estándar para la clasificación de suelos para fines ingenieriles.

Criterios para asignar símbolos y nombres de grupo utilizando pruebas de laboratorio ^a				Clasificación del suelo	
				Símbolo de grupo	Nombre de grupo ^b
Suelos de grano grueso Más de 50% retenido en la malla núm. 200	Gravas	Gravas limpias	$C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3^e$	GW	Grava bien graduada ^f
	Más de 50% de la fracción gruesa retenida en la malla núm. 4	Menos de 5% finos ^c	$C_u < 4$ y/o $1 > C_c > 3^e$	GP	Grava mal graduada ^f
		Gravas con finos	Los finos se clasifican como ML o MH	GM	Grava limosa ^{g,h}
	Más de 12% finos ^c	Los finos se clasifican como CL o CH	GC	Grava arcillosa ^{g,h}	
Arenas 50% o más de la fracción gruesa pasa la malla núm. 4	Arenas limpias	$C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3^e$	SW	Arena bien graduada ⁱ	
	Menos de 5% finos ^d	$C_u < 6$ y/o $1 > C_c > 3^e$	SP	Arena mal graduada ⁱ	
	Arena con finos	Los finos se clasifican como ML o MH	SM	Arena limosa ^{g,h,i}	
	Más de 12% finos ^d	Los finos se clasifican como CL o CH	SC	Arena arcillosa ^{g,h,i}	
Suelos de grano fino 50% o más pasa la malla núm. 200	Limos y arcillas Límite líquido menor que 50	Inorgánicos	IP > 7 y se encuentra en o arriba de la línea "A" ^j	CL	Arcilla de baja compresibilidad ^{k,l,m}
			IP < 4 o se encuentra debajo de la línea "A" ^j	ML	Limo de baja compresibilidad ^{k,l,m}
	Limos y arcillas Límite líquido 50 o mayor	Orgánicos	$\frac{\text{Límite líquido—secado en horno}}{\text{Límite líquido—no secado}} < 0.75$	OL	Arcilla orgánica ^{k,l,m,n}
					Limo orgánico ^{k,l,m,o}
		Inorgánicos	IP se encuentra en o arriba de la línea "A"	CH	Arcilla de alta compresibilidad ^{k,l,m,n}
			IP se encuentra debajo de la línea "A"	MH	Limo de alta compresibilidad ^{k,l,m,n}
Orgánicos	$\frac{\text{Límite líquido—secado en horno}}{\text{Límite líquido—no secado}} < 0.75$	OH	Arcilla orgánica ^{k,l,m,p}		
			Limo orgánico ^{k,l,m,q}		
Suelos altamente orgánicos	Principalmente materia orgánica, de color oscuro y olor orgánico		PT	Turba	

^aCon base en el material que pasa la malla de 75 mm (3 in).
^bSi la muestra de campo contenía cantos rodados o piedra bola, o ambos, agregue "con cantos rodados o piedra bola, o ambos" al nombre de grupo.
^cGravas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: grava bien graduada con limo, GW-GM; grava bien graduada con arcilla, GW-GC; grava mal graduada con limo, GP-GM; grava mal graduada con arcilla, GP-GC.
^dArenas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: arena bien graduada con limo SW-SM; arena bien graduada con arcilla SW-SC; arena mal graduada con limo SP-SM; arena mal graduada con arcilla SP-SC.

$$C_u = D_{60}/D_{10} \quad C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$$

^eSi el suelo contiene $\geq 15\%$ de arena, agregue "con arena" al nombre de grupo.
^fSi los finos se clasifican como CL-ML, utilice el símbolo doble GC-GM o SC-SM.
^gSi los finos son orgánicos, agregue "con finos orgánicos" al nombre de grupo.
^hSi el suelo contiene $\geq 15\%$ de grava, agregue "con grava" al nombre de grupo.
ⁱSi los límites de Atterberg se encuentran en el área sombreada, el suelo es una arcilla limosa, CL-ML.

^jSi el suelo contiene 15 a 29% más la malla núm. 200, agregue "con arena" o "con grava," lo que predomine.
^kSi el suelo contiene $\geq 30\%$ más la malla núm. 200, predominantemente arena, agregue "arenoso" al nombre de grupo.
^lSi el suelo contiene $\geq 30\%$ más la malla núm. 200, predominantemente grava, agregue "gravoso" al nombre de grupo.
^mSi IP ≥ 4 y se encuentra en o arriba de la línea "A."
ⁿSi IP < 4 o se encuentra debajo de la línea "A."
^oSi IP se encuentra en o arriba de la línea "A."
^pSi IP se encuentra en o debajo de la línea "A."
^qSi IP se encuentra debajo de la línea "A."

Fuente: Das, M. (2012). *Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones*, séptima edición.

b) Sistema AASHTO

El Sistema de clasificación de suelos de la AASHTO fue propuesto originalmente para el *Highway Research Board's Committee on Classification of Materials for Subgrades and Granular Type Roads* (1945). De acuerdo con la forma presente de este sistema, los suelos se pueden clasificar según ocho grupos principales, A-1 a A-8, con base en su distribución granulométrica, límite líquido e índice de plasticidad. Los suelos listados en los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales de grano grueso, y aquellos en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7 son materiales de grano fino. La turba, el fango y otros suelos altamente orgánicos se clasifican en el grupo A-8 y se identifican mediante una inspección visual. (Das, 2012, p. 18)

El sistema de clasificación de la AASHTO se presenta en la siguiente tabla 3.6

Tabla 3.6 Sistema de clasificación de suelos de la AASHTO.

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos de la muestra total pasa la malla núm. 200)						
	A-1			A-2			
Clasificación de grupo	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análisis por mallas (% que pasa)							
Malla núm. 10	50 máx						
Malla núm. 40	30 máx	50 máx	51 mín				
Malla núm. 200	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx	35 máx	35 máx	35 máx
Para la fracción que pasa							
Malla núm. 40							
Límite líquido (LL)				40 máx	41 mín	40 máx	41 mín
Índice de plasticidad (IP)	6 máx		No plástico	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín
Tipo usual de material	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Grava y arena limosa o arcillosa			
Clasificación de la capa	Excelente a buena						
Clasificación general	Materiales de limo y arcilla (más de 35% de la muestra total pasa la malla núm. 200)						
Clasificación de grupo	A-4		A-5	A-6		A-7	
						A-7-5 ^a A-7-6 ^b	
Análisis por mallas (% que pasa)							
Malla núm. 10							
Malla núm. 40							
Malla núm. 200		36 mín		36 mín		36 mín	36 mín
Para la fracción que pasa							
Malla núm. 40							
Límite líquido (LL)		40 máx		41 mín		40 máx	41 mín
Índice de plasticidad (IP)		10 máx		10 máx		11 mín	11 mín
Tipo usual de material	Principalmente suelos limosos			Principalmente suelos arcillosos			
Calificación subrasante	Regular a malo						
^a Si $IP \leq LL - 30$, la clasificación es A-7-5.							
^b Si $IP > LL - 30$, la clasificación es A-7-6.							

Fuente: Das, B. (2012). Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones, séptima edición.

Para clasificar un suelo de acuerdo con la tabla 3.6, los datos de prueba se aplican de izquierda a derecha. Por proceso de eliminación, el primer grupo de la izquierda en la que quepan los datos de prueba es la clasificación correcta. La figura 3.11 muestra un gráfico del rango del límite líquido y el índice de plasticidad de los suelos que se dividen en los grupos A-2, A-4, A-5, A-6 y A-7. (Das, 2013, p. 80)

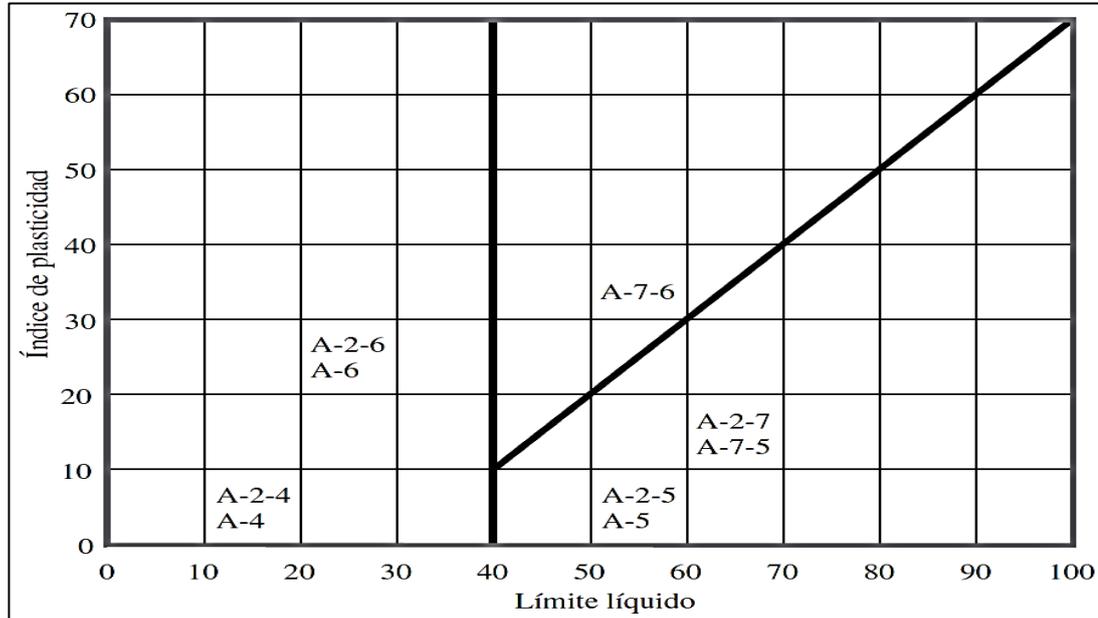


Figura 3.11 Rango del límite líquido y del índice de plasticidad para suelos en los grupos A-2, A-4, A-5, A-6 y A-7

Fuente: Das, M. (2012). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*, cuarta edición.

Para la evaluación de la calidad de un suelo como un material de subrasante carretera, también se incorpora un número llamado índice de grupo (IG) a los grupos y subgrupos del suelo. Este número se escribe entre paréntesis después de la designación del grupo o subgrupo. (Das, 2013, p.80)

El índice de grupo está dado por la siguiente ecuación:

$$IG = (F - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F - 15)(PI - 10) \quad \text{Ecuación 3.18}$$

Donde

F = porcentaje pasa por el tamiz núm. 200

LL = límite líquido

PI = índice de plasticidad

CAPITULO IV

APLICACIÓN Y RESULTADOS DE ENSAYOS DE CAMPO Y LABORATORIO

4.1. Introducción

La zona de Racar cuenta aproximadamente con una extensión de 312 Ha. Se procedió a seleccionar en donde se van a realizar los sondeos, en total se realizó 11 sondeos en distintas localidades de la zona.

Para la selección de estas localidades se realizó un reconocimiento de campo, para garantizar que tengan las mismas características. De igual manera estos puntos fueron seleccionados de acuerdo a la accesibilidad, autorización y disponibilidad de realizar los sondeos. A continuación, se muestra en la figura 4.1 la ubicación de los sondeos en distintas localidades de la zona denominada Racar.

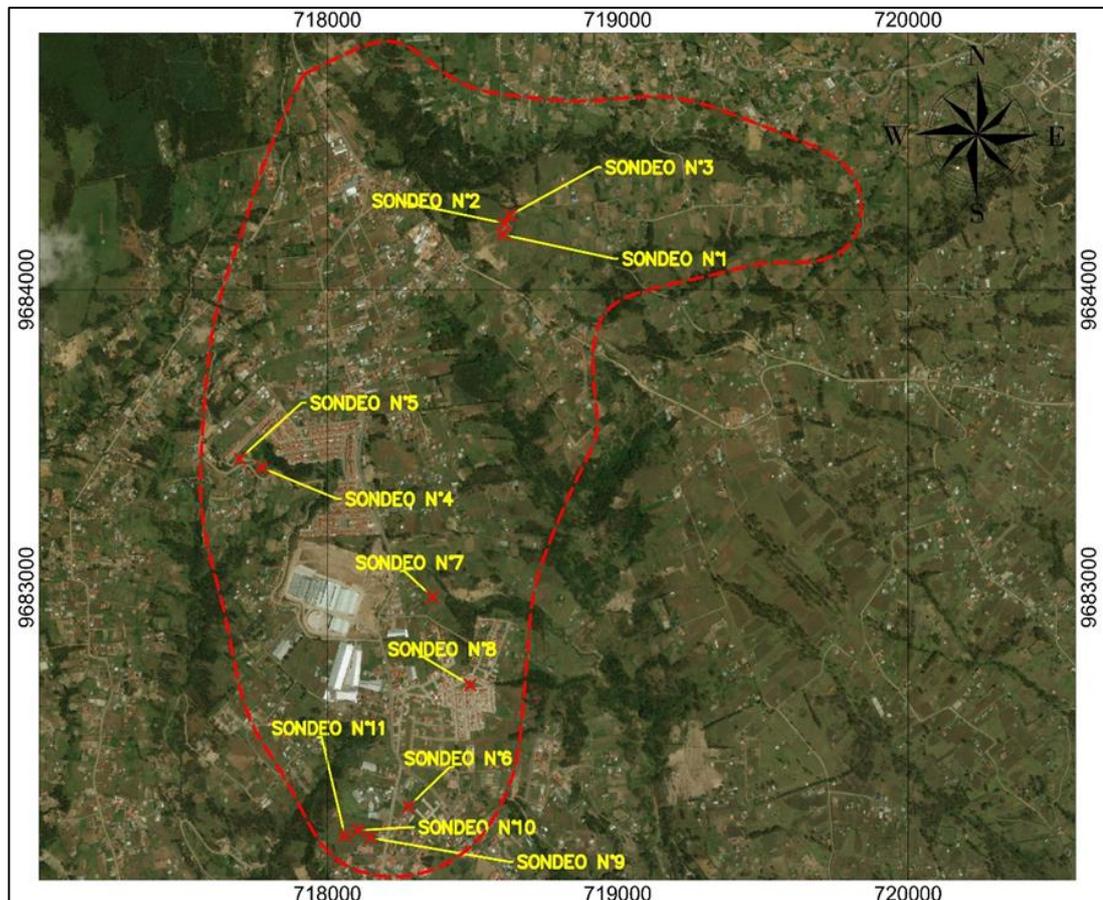


Figura 4.1 Ubicación de los sondeos en distintas localidades en la zona de Racar.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4.1 se muestra la geolocalización de los sondeos, según coordenadas Datum UTM WGS84.

Tabla 4.1 Coordenadas (Datum UTM WGS84) de los puntos de sondeo.

Sondeo N°	Coordenadas Datum UTM WGS84
1	Zona:17S; E: 718605; N: 9684185
2	Zona:17S; E: 718611; N: 9684223
3	Zona:17S; E: 718630; N: 9684251
4	Zona:17S; E: 717774; N: 9683402
5	Zona:17S; E: 717698; N: 9683432
6	Zona:17S; E: 718279; N: 9682263
7	Zona:17S; E: 718362; N: 9682967
8	Zona:17S; E: 718492; N: 9682672
9	Zona:17S; E: 718148; N: 9682159
10	Zona:17S; E: 718106; N: 9682184
11	Zona:17S; E: 718060; N: 9682166

Fuente: Elaboración Propia.

4.2 Ensayos de campo.

Se procedió a realizar los sondeos en las ubicaciones descritas en la tabla 4.1; se realizó en cada punto el ensayo SPT (*Standard Penetration Test*). Para la realización de esta tesis se poseía de un equipo denominado estándar, de acuerdo a la norma ASTM D1586, norma descrita en el Capítulo 3.1.2: Normalización del método según la norma ASTM D1586.

El equipo de SPT utilizado tiene un tipo de martillo *Safety* (De seguridad) de 63.5 kg por lo cual se utilizó un porcentaje de eficiencia del martinete (η_H) igual al 60%.

El diámetro de perforación para realizar el ensayo era de 60 mm, por lo que se utilizó el factor de corrección por diámetro de perforación (η_B) de 1.

El muestreador de cuchara partida utilizado no contaba con recubrimiento, era un muestreador estándar; por lo tanto, el factor de corrección (η_S) es igual a 1.

El equipo utilizado tenía una longitud de barra de 2.50 m, por lo cual se utilizó un factor de corrección por longitud de barra (η_R) igual a 0.75 que corresponde al rango de 0 - 4 m.

En la tabla 4.2 Se presenta los factores utilizados de acuerdo con el equipo SPT empleado para la realización de los ensayos. Todos estos factores fueron tomados de del Capítulo III, de la tabla 3.3.

Tabla 4.2 Factores de corrección del N_{SPT} utilizados.

η_H (Eficiencia del martinete en %)	η_B (Corrección por el diámetro de la perforación)	η_S (Corrección del muestrador)	η_R (Corrección por longitud de la barra)
60	1	1	0,75

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Según Braja M. Das la corrección por sobre carga se hace exclusivamente en suelos granulares, por lo tanto, esta corrección no es considerada.

4.3 Ensayos de laboratorio

Los ensayos de laboratorio que se realizaron fueron: contenido de agua natural del suelo, análisis granulométrico, límites de consistencia (límites de Atterberg) y gravedad específica; estos ensayos se realizaron en la Universidad del Azuay, en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencia y Tecnología. El ensayo de compresión simple se realizó en un laboratorio externo, de la ciudad de Cuenca.

Compresión Simple

Para la realización de este ensayo, se consideró la norma ASTM D2166-16 descrita anteriormente en el apartado 3.2 Ensayo de resistencia a la compresión simple.

En la realización de los ensayos se asumió que las muestras se encuentran saturadas, por lo tanto, la resistencia cortante no drenada (C_u) es igual a la mitad de la resistencia a la compresión no confinada (q_u).

Ensayo de contenido de agua natural del suelo (ω_{nat})

Los ensayos de contenido de agua natural del suelo (ω_{nat}) se realizaron basado en la norma ASTM D2216-19. Norma descrita en el apartado 3.3 Ensayo de contenido de agua Natural del suelo.

Ensayo de análisis granulométrico

Los ensayos del análisis granulométrico se realizaron en base a la normativa ASTM C117-17, descrita en el apartado 3.6 ensayo de análisis granulométrico.

Los tamices que se utilizaron para la realización del ensayo, se presentan en la tabla 4.3.

Tabla 4.3 Serie de Tamices utilizados.

Denominación de tamiz	
Abertura (mm)	Malla N°
76,200	3 "
63,500	2 1/2 "
50,800	2 "
38,100	1 1/2 "
25,400	1 "
19,050	3/4 "
12,700	1/2 "
9,525	3/8 "
4,750	No. 4
2,000	No. 10
0,600	No. 30
0,425	No. 40
0,300	No. 50
0,150	No. 100
0,075	No. 200

Fuente: Elaboración propia.

Ensayo de límites de consistencia

Para la ejecución de los ensayos de límites de consistencia se consideró la normativa ASTM D4318-17e1, utilizando el método de multipunto descrito en el capítulo 3.7 ensayo de límites de consistencia.

Ensayo de gravedad específica

El ensayo de gravedad específica se basa en la norma ASTM D854-14. Se utilizó para el ensayo 50 ± 10 g de masa de muestra, que correspondía a limo o arcilla, de acuerdo con la tabla 3.4.

Se utilizó un picnómetro de 500 ml que fue calibrado como se especifica en la norma. Se trabajó a una temperatura de 22°C , por lo cual se consideró un coeficiente de temperatura ($k=0.99957$).

4.4 Resultados de ensayos de campo y laboratorio

Una vez realizados todos los ensayos de campo y laboratorio de las 11 muestras obtenidas de los sondeos, se procesó la información y se tabularon los valores obtenidos. Se realizó la clasificación de los suelos, según la SUCS (*Unified Soil Classification System*) y la AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*).

En la tabla 4.4 se presenta un resumen de los resultados obtenidos de los ensayos, para mayor detalle de los valores, resultados y graficas de los ensayos realizados dirigirse a los anexos correspondientes de cada sondeo.

Tabla 4.4 Tabla resumen de los resultados obtenido de los ensayos realizados.

Sondeo N°	Prof. (m)	ω_{nat} (%)	Pasante Tamiz No. 200	LL (%)	LP (%)	IP (%)	SUCS	G_s	N_{SPT}	N_{60}	q_u (kN/m^2)	C_u (kN/m^2)
1	2,10	46.16	98.59	77.44	27.80	49.64	CH	2.68	10	8	88.26	44.13
2	2,10	42.02	88.51	88.66	35.11	53.55	CH	2.66	13	10	118.66	59.33
3	2,10	27.09	84.79	50.12	24.11	26.00	CH	2.70	19	14	136.31	68.16
4	2,10	46.93	62.85	68.80	43.22	25.57	MH	2.69	8	6	40.21	20.10
5	2,10	53.10	91.66	76.81	36.76	40.05	MH	2.67	10	8	114.74	57.37
6	2,10	22.04	84.46	33.13	22.67	10.46	CL	2.69	6	5	166.71	83.36
7	2,10	51.97	91.83	70.90	29.65	41.24	CH	2.68	12	9	45.11	22.56
8	2,10	49.09	97.50	84.57	35.59	48.97	CH	2.67	13	10	246.15	123.07
9	2,10	32.84	58.18	66.83	32.47	34.35	CH	2.67	22	17	342.25	171.13
10	2,10	39.24	85.35	82.51	37.74	44.78	MH	2.63	13	10	93.16	46.58
11	2,10	33.49	59.46	65.03	26.26	38.77	CH	2.68	21	16	254.97	127.49

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO V

CORRELACIÓN ENTRE VALORES SPT Y DE COMPRESIÓN SIMPLE

5.1 Introducción

Una vez descrito en el Capítulo III geología del Cantón Cuenca y caracterización de la zona de Racar en la Ciudad de Cuenca, se sabe que en la zona conocida como Racar presenta las mismas características geológicas. De igual manera con los resultados obtenidos en el capítulo IV se concluyó que los suelos presentan características geotécnicas semejantes, a excepción del sondeo N°6 que presenta discordancias con los otros sondeos. Por esta razón se procede a descartar este sondeo para realizar la correlación entre valores SPT y de compresión simple.

5.2 Correlación entre valores del número de golpes corregido (N_{60}) con valores de resistencia máxima cortante no drenada (C_u).

Con los resultados obtenidos en el capítulo IV, y con la herramienta informática Excel se procedió a correlacionar los valores del número de golpes corregido N_{60} con valores de resistencia máxima cortante no drenada C_u (kN/m^2). en la tabla 5.1 se presenta un resumen de los valores a correlacionar.

Tabla 5.1 Valores de N_{60} y de C_u

Sondeo N°	N_{60}	C_u (kN/m^2)
1	8	44.13
2	10	59.33
3	14	68.16
4	6	20.10
5	8	57.37
7	9	22.56
8	10	123.07
9	17	171.13
10	10	46.58
11	16	127.49

Fuente: Elaboración propia.

Se utilizó en primer lugar un modelo de correlación lineal, porque es el modelo más utilizado para realizar correlaciones y es el más sencillo. También este modelo de correlación lineal es un primer indicador para saber qué tan relacionadas están las variables.

En la figura 5.1 se presenta una correlación lineal entre los valores del número de golpes corregido N_{60} con los valores de resistencia máxima cortante no drenada C_u (kN/m^2).

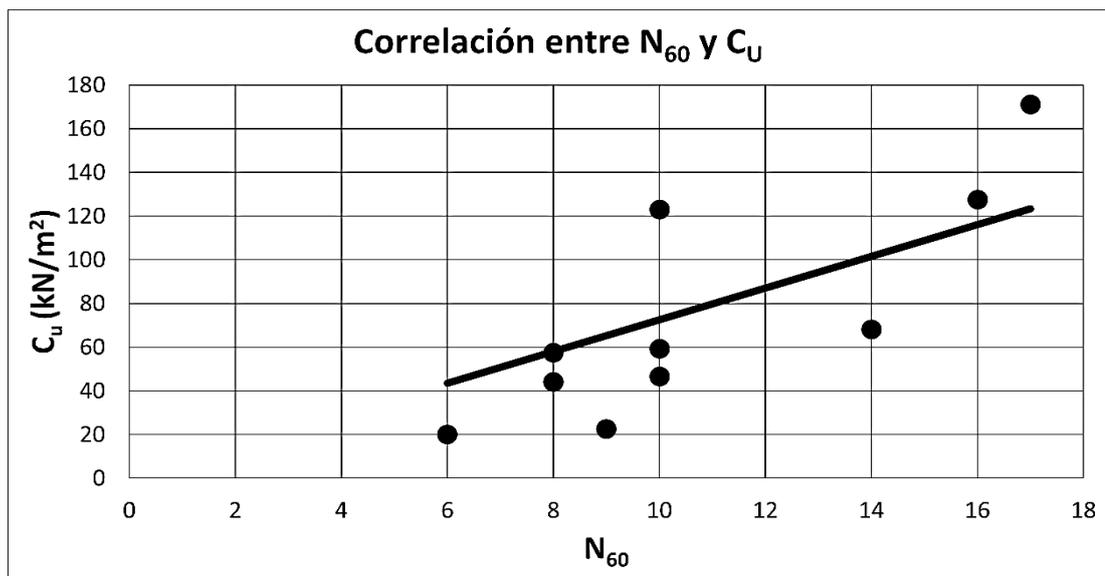


Figura 5.1 Correlación lineal entre N_{60} y C_u

Fuente: Elaboración propia.

Este primer modelo de correlación lineal presenta un coeficiente de determinación (R^2) igual a 0,5763. A continuación, se presenta la ecuación 15 perteneciente al modelo de correlación lineal.

$$C_u = 7,2539 N_{60} \quad \text{Ecuación 5.1}$$

El modelo de correlación polinómica de segundo grado es una alternativa cuando el modelo de correlación lineal no logra un coeficiente de determinación alto, por lo cual se procedió a realizar una correlación polinómica de segundo grado de igual forma con los valores del número de golpes corregido N_{60} y con los valores de resistencia máxima cortante no drenada C_u (kN/m^2).

En la figura 5.2 se presenta la correlación polinómica de segundo grado.

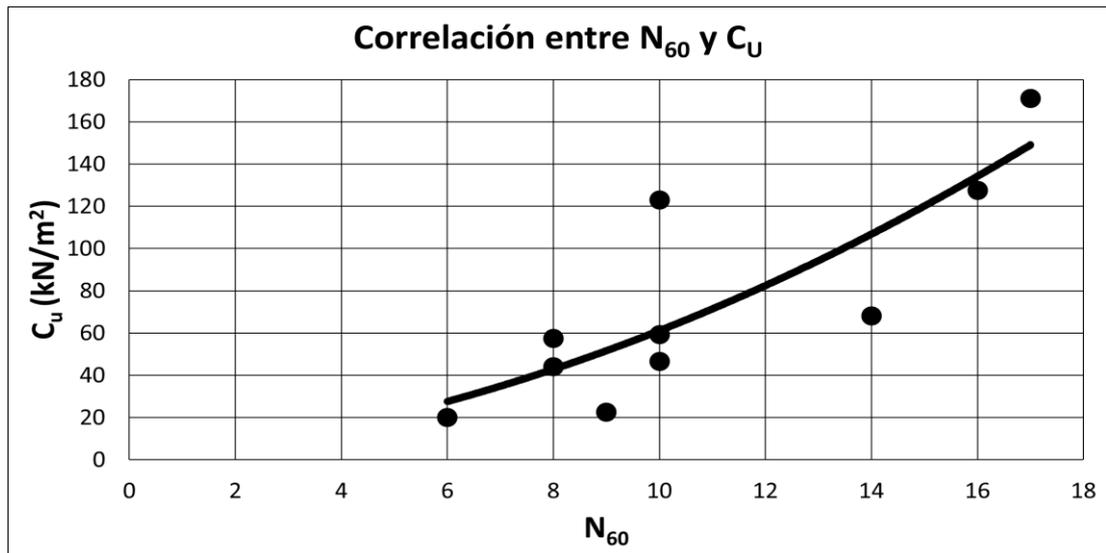


Figura 5.2 Correlación polinómica de segundo grado entre N_{60} y C_u

Fuente: Elaboración propia.

Esta correlación polinómica de segundo grado presenta un coeficiente de determinación (R^2) igual a 0,6793. A continuación, se presenta la ecuación 16 perteneciente al modelo de correlación polinómica.

$$C_u = 0,379(N_{60})^2 + 2,3262N_{60} \tag{Ecuación 5.2}$$

Existe un rango de valores del coeficiente de determinación, en los cuales se puede interpretar el grado de correlación existente entre las variables; en la tabla 5.2 se presentan este rango de valores para la interpretación de las correlaciones obtenidas.

Tabla 5.2 Interpretación de la correlación según rangos de R^2 .

Rango R^2	Interpretación de correlación
0 - 0.3	Correlación muy baja
0.3 - 0.50	Correlación baja
0.50 - 0.70	Correlación moderada
0.7 - 0.9	Correlación alta
0.9 - 1	Correlación muy alta

Fuente: Hinkle, D. (2003). Applied Statistics for Sciences, Fifth edition.

De acuerdo con la tabla 5.2 se puede interpretar que tanto la correlación lineal como la correlación polinómica de segundo grado se encuentra dentro del rango considerado como una correlación moderada.

CONCLUSIONES

- Las muestras analizadas en la zona de estudio, de acuerdo a los análisis de clasificación SUCS, dio como resultado que la mayoría de ellas presentan un comportamiento mayoritariamente “cohesivo”. Se obtuvieron suelos catalogados como MH, CH y un resultado individual como CL.
- Las correlaciones obtenidas entre los valores del número de golpes corregido N_{60} con los valores de resistencia máxima cortante no drenada C_u (kN/m^2) se encuentran dentro del rango considerado como una correlación moderada.
- Se concluye que el modelo de correlación que mejor se ajustan a los resultados obtenidos es la correlación polinómica de segundo grado, ya que presenta un mayor coeficiente de determinación (R^2).
- Los resultados obtenidos del sondeo número 6, no fueron considerados para los análisis realizados, porque el tipo de suelo determinado de acuerdo a su clasificación SUCS difieren sustancialmente con respecto a los resultados de los demás suelos, lo cual incide en los parámetros a utilizar en las correlaciones.

RECOMENDACIONES

- En futuras investigaciones se recomienda realizar una mayor cantidad de ensayos, con el fin de garantizar un coeficiente de determinación (R^2) mayor para ser considerada la correlación entre alta a muy alta.
- Los diferentes ensayos SPT se deberán realizar en similares condiciones climatológicas con el fin de garantizar la uniformidad en su ejecución.
- Cuando se vaya a realizar un sondeo hay que tener siempre los muestreadores, libres de partículas y materiales extraños que puedan alterar las muestras afectando la representatividad de los resultados principalmente los de compresión simple.

BIBLIOGRAFÍA

- Albán Coba, L. G. (Julio de 2009). Estudio geológico-geomorfológico del área inestable entre 2° 30' S y 2° 35' S - provincia del cañar. Quito, Ecuador.
- ASTM C117-17. (2017). Standard Test Method for Materials Finer than 75- μm (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing. West Conshohocken, PA, EEUU.
- ASTM D1586/ D1586M-18. (2018). Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils. West Conshohocken, PA, EEUU.
- ASTM D2166 / D2166M-16. (2016). Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil. West Conshohocken, PA, Estados Unidos.
- ASTM D2216-19. (2019). Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass. West Conshohocken, PA, EEUU.
- ASTM D4318-17e1. (2017). Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils. West Conshohocken, PA, EEUU.
- ASTM D854-14. (2014). Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer. West Conshohocken, PA, EEUU.
- Bowles, J. E. (1980). *Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil*. Bogotá-Colombia: McGraw-Hill Latinoamericana, S.A.
- Das, B. M. (2012). *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones* (Séptima ed.). Ciudad de Mexico: Cengage Learning .
- Das, B. M. (2013). *Fundamentos de ingeniería geotécnica* (Cuarta ed.). Ciudad de Mexico: Thonson Learning S.A.
- GAD MUNICIPAL CUENCA. (2016). Mapa actualizado de amenaza por terrenos inestables para la parroquia Sinincay. Cuenca, Ecuador.

- Guerrero Abril, L. R. (2018). Elaboracion de guias metodológicas para ensayos de laboratorio de la asignatura de Mecanica de Suelos de la Universidad del Azuay. Cuenca, Azuay, Ecuador.
- Hinkle, D. E., Wiersma, W., & Jurs, S. G. (2002). *Applied statistics for the Sciences* (Quinta ed.). Boston: Houghton Mifflin.
- Jimenez Salas, J. A., & de Justo Alpañes, J. L. (1975). *Geotecnia y cimientos I*. Madrid: Rueda.
- Juárez Badillo, R. R. (2002). *Mecánica de Suelos*. Ciudad de Mexico: Editorial Limusa-México.
- Lavenu, A. (1994). La Neotectónica: Ejemplos en el Ecuador. Quito, Ecuador: Editorial Nacional.
- Lopez Menardi, R. E. (Septiembre de 2003). Determinación in situ de propiedades ingenieriles de los suelos y su relación con el ensayo normal de penetración. Buenos Aires, Argentina.
- López Menardi, R. E. (2013). Determinación in situ de propiedades ingenieriles de los suelos y su relación con el ensayo normal de penetración. *Universidad Tecnológica Nacional*, 37.
- Peck, R. B., Hanson, W. E., & Thornburn, T. H. (1983). *Ingeniería de cimentación*. Ciudad de Mexico: Editorial Limusa Mexico.
- Rogers, D. J. (2006). Subsurface Exploration Using the Standard Penetration Test and the Cone Penetrometer Test. *Environmental & Engineering Geoscience*, 18.
- Terzaghi, K., & Peck, R. B. (1973). *Mecanica de suelos en la ingenieria practica* (Segunda ed.). La Plata: El Ateneo.
- Verdezoto, P. A. (Septiembre de 2006). Levantamiento geológico del sector comprendido entre las latitudes 2°37' S y 2° 50' S, provincias de Cañar y Azuay, con especial enfoque sobre las secuencias Miocénicas. Quito, Ecuador.
- Villagómez, D. (2003). Abreviaturas: SOAM Placa sudamericana, PIF Falla Patallanga, CF Falla Calacalí, PEF Falla Peltec, CSF Falla Chingual-La Sofia.

ANEXOS

SONDEO N° 1

Anexo 1.1 Determinación de contenido de agua natural del suelo (ω_{nat}).

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por:	César Salinas, Sebastián Ordóñez	Sondeo N°:	1
Ubicación:	Urb. Jesús Del Gran Poder	Profundidad:	2,10 m.
Fecha:	5/6/2019	Coordenas Datum UTM WGS84:	
Altura:	2851 m.s.n.m.	Zona:	17S; E: 718605; N: 9684185

DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE AGUA NATURAL DEL SUELO (ω_{nat})

CONTENIDO DE AGUA (ω)				
N° De cápsula	Masa de la cápsula más suelo humedo (g)	Masa de la cápsula más suelo seco (g)	Masa de la cápsula (g)	Contenido de agua (%)
11	28,64	25,02	16,86	44,36
12	26,25	23,32	17,21	47,95
Contenido de agua promedio =				46,16

Observaciones: El ensayo se realizó a una temperatura de horno a 110 ± 5 °C y respetando la masa mínima recomendable del espécimen, tal como se describe en la norma ASTM D 2216.

Anexo 1.2 Análisis granulométrico.



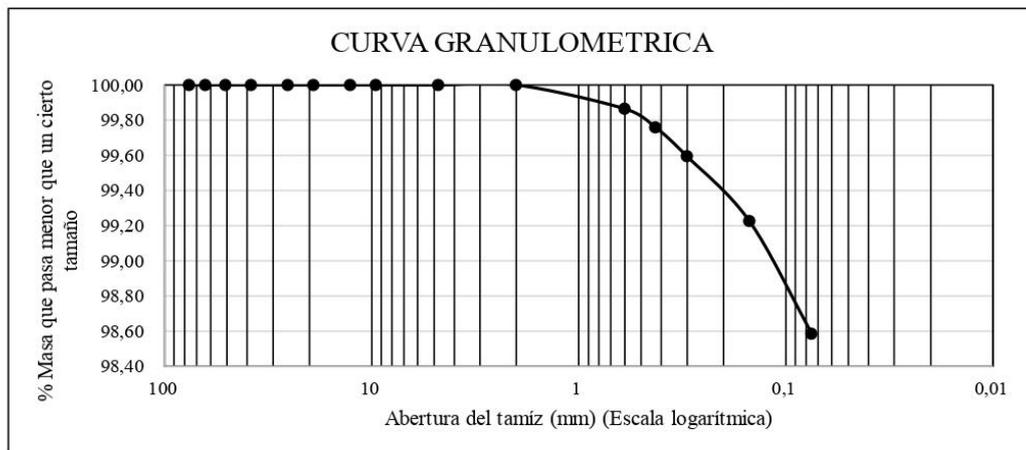
UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por: César Salinas, Sebastián Ordñez Sondeo N°: 1
Ubicación: Urb. Jesús Del Gran Poder Profundidad: 2,10 m.
Fecha: 5/6/2019 Coordenas Datum UTM WGS84:
Altura: 2851 m.s.n.m. Zona:17S; E: 718605; N: 9684185

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Denominación de tamiz		Masa de suelo retenido en cada tamiz (g)	Masa de suelo retenido acumulado en cada tamiz (g)	% retenido en cada tamiz	% que pasa
Abertura (mm)	Malla N°				
76,200	3 "	0,00	0,00	0,00	100,00
63,500	2 1/2 "	0,00	0,00	0,00	100,00
50,800	2 "	0,00	0,00	0,00	100,00
38,100	1 1/2 "	0,00	0,00	0,00	100,00
25,400	1 "	0,00	0,00	0,00	100,00
19,050	3/4 "	0,00	0,00	0,00	100,00
12,700	1/2 "	0,00	0,00	0,00	100,00
9,525	3/8 "	0,00	0,00	0,00	100,00
4,750	No. 4	0,00	0,00	0,00	100,00
2,000	No. 10	0,00	0,00	0,00	100,00
0,600	No. 30	0,43	0,43	0,14	99,86
0,425	No. 40	0,34	0,77	0,24	99,76
0,300	No. 50	0,52	1,29	0,41	99,59
0,150	No. 100	1,17	2,46	0,77	99,23
0,075	No. 200	2,03	4,49	1,41	98,59

Masa seca del suelo antes del lavado (g):	317,67
Masa seca del suelo después del lavado (g):	4,41
Masa que pasa el tamiz No. 200 (g):	313,26



Anexo 1.3 Límites de consistencia.



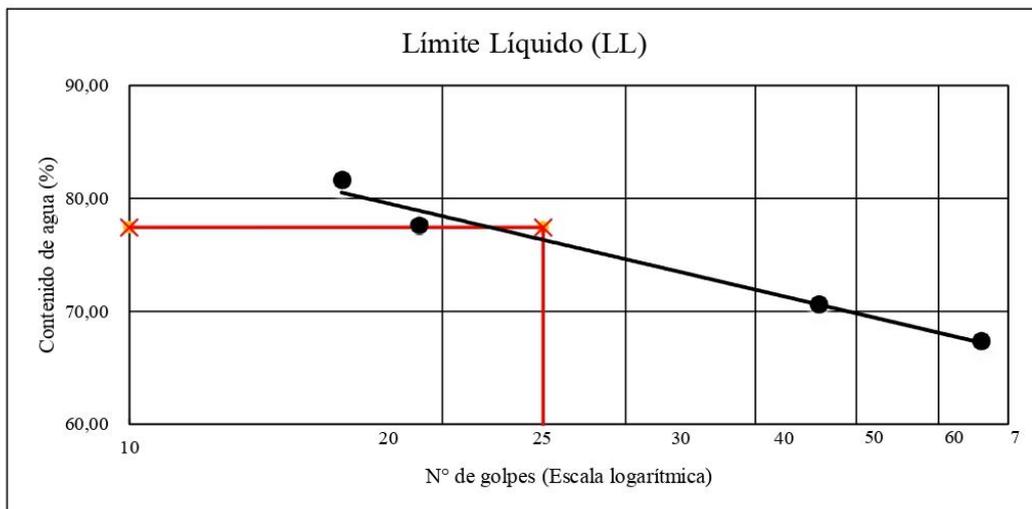
UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por: César Salinas, Sebastián Ordóñez
Ubicación: Urb. Jesús Del Gran Poder
Fecha: 5/6/2019
Altura: 2851 m.s.n.m.

Sondeo N°: 1
Profundidad: 2,10 m.
Coordenas Datum UTM WGS84:
Zona:17S; E: 718605; N: 9684185

LÍMITES DE CONSISTENCIA

Límite Líquido (LL)					
N° de cápsula	N° de Golpes	Masa de la cápsula con suelo húmedo (g)	Masa de la cápsula con suelo seco (g)	Masa de la cápsula (g)	Contenido de agua (%)
13	66	46,10	39,56	29,85	67,35
14	46	54,05	44,43	30,81	70,63
15	19	50,37	41,45	29,96	77,63
16	16	52,55	42,45	30,08	81,65
Límite Líquido (%) =					77,44



Límite Plástico (LP)				
N° de cápsula	Masa de la cápsula con suelo húmedo (g)	Masa de la cápsula con suelo seco (g)	Masa de la cápsula (g)	Contenido de agua (%)
17	6,72	6,61	6,19	26,19
18	7,14	7,04	6,70	29,41
19	6,72	6,60	6,31	41,38
Límite Plástico (%) =				27,80

NOTA: Para la obtención del límite plástico se desprecia el contenido de agua de la cápsula N° 7 de acuerdo a la norma ASTM D 2216.

Índice de Plasticidad (IP) = LL-LP = 49,64 %

Anexo 1.4 Clasificación de suelos.



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
 FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

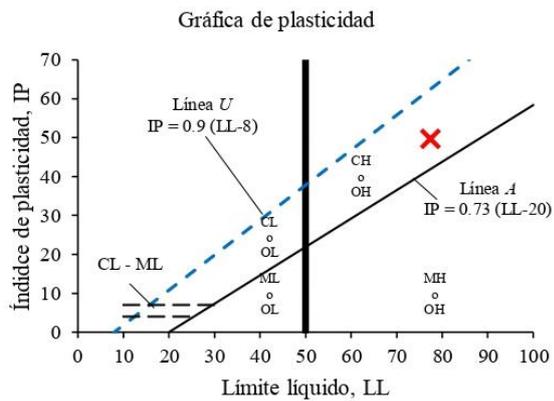
Realizado por:	César Salinas, Sebastián Ordóñez	Sondeo N°:	1
Ubicación:	Urb. Jesús Del Gran Poder	Profundidad:	2,10 m.
Fecha:	5/6/2019	Coordenas Datum UTM WGS84:	
Altura:	2851 m.s.n.m.	Zona:	17S; E: 718605; N: 9684185

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

Porcentaje que pasa el tamiz núm. 4 =	100,00
Porcentaje que pasa el tamiz núm. 10 =	100,00
Porcentaje que pasa el tamiz núm. 40 =	99,76
Porcentaje que pasa el tamiz núm. 200 =	98,59
Límite Líquido (LL) =	77,44
Índice de plasticidad (IP) =	49,64
Índice de liquidez (IL) =	0,37

De acuerdo al Sistemas Unificado de Clasificación SUCS, el suelo encontrado corresponde a un simbolo de grupo CH, es una arcilla inorgánica de alta compresibilidad.



Sistema de clasificación de suelos de la AASHTO

$$\text{Índice de grupo (IG)} = (F_{200} - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F_{200} - 15)(IP - 10)$$

$$IG = 58$$

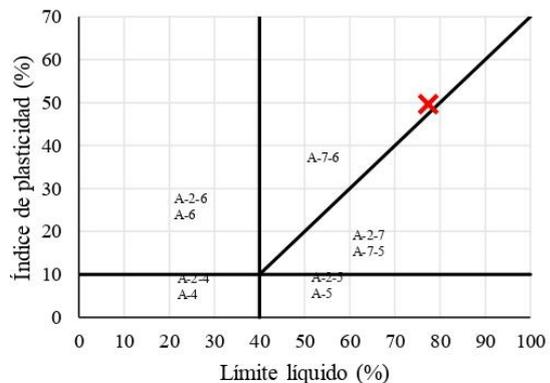
Materiales de limo y arcilla (más de 35% de la muestra total pasa la malla núm. 200)

$$\text{Porcentaje que pasa el tamiz núm. 200} = 98,59 > 35\%$$

De acuerdo al Sistemas de clasificación de suelos de la AASHTO, el suelo encontrado corresponde a un grupo de suelo A-7-6 con un índice de grupo 58 ∴ A-7-6 (58)

NOTA: Las figuras en esta tabla muestran un rango del límite líquido y el índice de plasticidad de los suelos, descritas en el capítulo 2.4 Clasificación de los Suelos.

Clasificación fracción limoso-arcillosa (AAHSTO)



Anexo 1.5 Determinación de la gravedad específica.

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por:	César Salinas, Sebastián Ordóñez	Sondeo N°:	1
Ubicación:	Urb. Jesús Del Gran Poder	Profundidad:	2,10 m.
Fecha:	5/6/2019	Coordenas Datum UTM WGS84:	
Altura:	2851 m.s.n.m.	Zona:17S; E: 718605; N: 9684185	

DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA

Descripción de la muestra: Muestra de color marrón
 Método de ensayo: Método de prueba en suelos finos.
 Volumen del matraz: 500 ml

	Matraz N°	1
Temperatura de ensayo (°C)	T_e	22
Masa del matraz + agua (g)	m_{fw}	649,95
Masa del matraz + agua + suelo (g)	m_{fsw}	679,83
Masa de los sólidos de suelo (g)	m_s	47,67
Gravedad específica a T°C de ensayo	$G_e = \frac{\rho_s}{\rho_w} = \frac{m_s}{m_{fw} - (m_{fsw} - m_s)}$	2,680
Coefficiente de temperatura	k	0,99957
Gravedad específica a 20°C	$G_{20°C} = k \times G_e$	2,678
Gravedad específica	G_s	2,68
Observaciones: Se procedió a realizar el ensayo a una temperatura de 22° centígrados en laboratorio.		

Anexo 1.6 Ensayo de resistencia a la compresión simple.



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

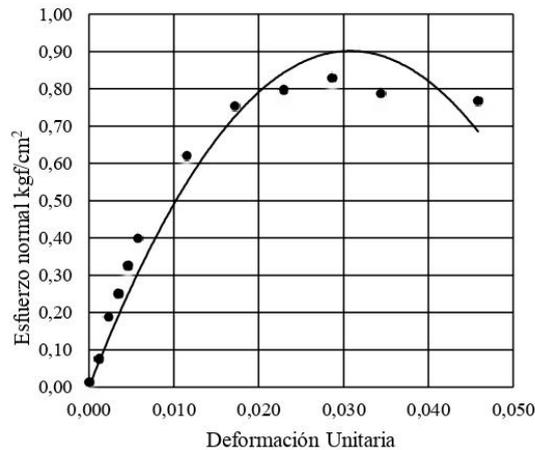
Realizado por: César Salinas, Sebastián Ordóñez
Ubicación: Urb. Jesús Del Gran Poder
Fecha: 5/6/2019
Altura: 2851 m.s.n.m.

Sondeo N°: 1
Profundidad: 2,10 m.
Coordenas Datum UTM WGS84:
Zona:17S; E: 718605; N: 9684185

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE

Lectura del deformímetro en divisiones 1 div. = 0,01 mm	Deformímetro de carga en divisiones 1 div. = 0,01 mm	Deformación de la muestra ΔL (mm)	Deformación Unitaria $\Delta L/L_0$	Área Corregida (cm ²)	Carga total sobre la muestra (kgf)	Esfuerzo sobre la muestra (kgf/cm ²)
0	0	0,00	0,0000	11,3411	0,1600	0,01
10	5	0,10	0,0011	11,3542	0,8701	0,08
20	14	0,20	0,0023	11,3672	2,1489	0,19
30	19	0,30	0,0034	11,3803	2,8596	0,25
40	25	0,40	0,0046	11,3934	3,7128	0,33
50	31	0,50	0,0057	11,4065	4,5663	0,40
100	49	1,00	0,0115	11,4726	7,1286	0,62
150	60	1,50	0,0172	11,5395	8,6957	0,75
200	64	2,00	0,0229	11,6072	9,2658	0,80
250	67	2,50	0,0287	11,6757	9,6934	0,83
300	64	3,00	0,0344	11,7450	9,2658	0,79
400	63	4,00	0,0458	11,8861	9,1232	0,77

Ensayo de resistencia a la compresión simple



Datos de la muestra

Diámetro:	3,80	cm
Altura:	8,73	cm
Volumen:	98,95	cm ³
Masa :	161,47	g
Densidad húmeda:	1632	kg/m ³
Contenido de agua (w_{nat}):	46,16	%
Densidad seca:	1116	kg/m ³

Resistencia de la compresión inconfínada, q_u	0,90	kgf/cm ²
C_u ($q_u/2$)	88,26	kN/m ²
	0,45	kgf/cm ²
	44,13	kN/m ²

NOTA: Constante del anillo dinamométrico: $0,16 + (\text{Deformímetro de carga en divisiones}) \times 0,142 + 4,58066 \times 10^{-6} \times (\text{Deformímetro de carga en divisiones})^2 - 3,7276 \times 10^{-9}$

Anexo 1.7 Ensayo de penetración estándar (SPT).

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por: César Salinas, Sebastián Ordóñez Sondeo N°: 1
Ubicación: Urb. Jesús Del Gran Poder Profundidad: 2,10 m.
Fecha: 5/6/2019 Coordenas Datum UTM WGS84:
Altura: 2851 m.s.n.m. Zona:17S; E: 718605; N: 9684185

ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT)

N_{SPT} (número de penetración medido)	η_H (Eficiencia del martinete en %)	η_B (Corrección por el diámetro de la perforación)	η_s (Corrección del muestreador)	η_R (Corrección por longitud de la barra)	N_{60} (Número de penetración estándar, corregido por las condiciones en el campo)
10	60	1	1	0,75	8

PERFIL ESTRATIGRAFICO

Técnica de investigación: Ensayo de penetración estandar (SPT)

Cotas de referencia: Nivel del terreno = 2851 m.s.n.m.

Profundidad Final: 2,10 m

Nivel freático: No se encontró

Profundidad (metros)	Cota	Estrato	Gráfico	Descripción del suelo
0,00	2851,00			
0,50	2850,50	1		Capa vegetal, terreno con pasto y raíces, color café claro, ligeramente húmedo.
1,50	2849,50	2		Muestra de color pardo, medianamente húmeda, de consistencia media.
2,10	2848,90	3		Arcilla inorgánica de alta compresibilidad, de color marrón, con contenido de agua natural de 46,16%, LL de 77,44% y IP de 49,64%

Anexo 1.8 Fotografías.



Foto 1 Ejecución del ensayo SPT.



Foto 2 Muestra obtenida del sondeo.

SONDEO N° 2**Anexo 2.1 Determinación de contenido de agua natural del suelo (w_{nat}).**

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por:	César Salinas, Sebastián Ordóñez	Sondeo N°:	2
Ubicación:	Urb. Jesús Del Gran Poder	Profundidad:	2,10 m.
Fecha:	5/6/2019	Coordenas Datum UTM WGS84:	
Altura:	2839 m.s.n.m.	Zona:17S; E: 718611; N: 9684223	

DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE AGUA NATURAL DEL SUELO (w_{nat})

CONTENIDO DE AGUA (w)				
N° De cápsula	Masa de la cápsula más suelo humedo (g)	Masa de la cápsula más suelo seco (g)	Masa de la cápsula (g)	Contenido de agua (%)
21	30,53	26,31	17,05	45,57
22	30,36	26,67	17,08	38,48
Contenido de agua promedio =				42,02

Observaciones: El ensayo se realizó a una temperatura de horno a 110 ± 5 °C y respetando la masa mínima recomendable del espécimen, tal como se describe en la norma ASTM D 2216.

Anexo 2.2 Análisis granulométrico.



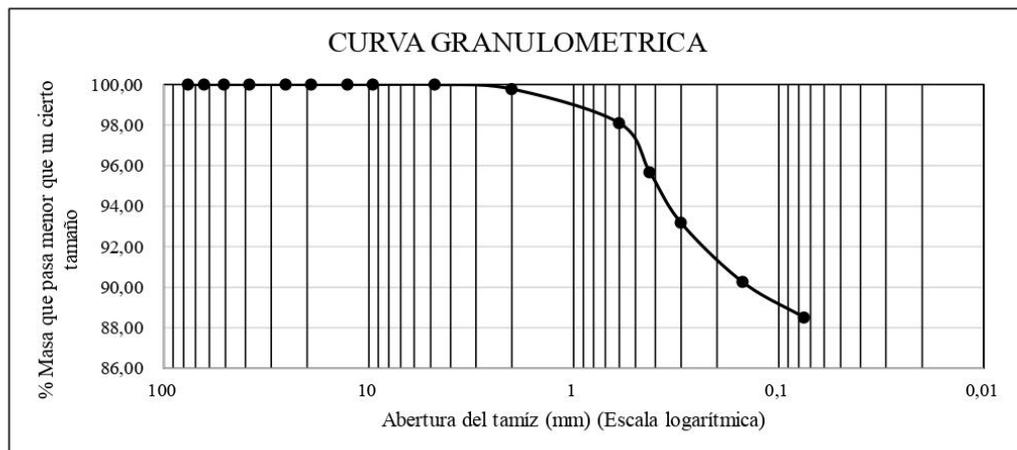
UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por: César Salinas, Sebastián Ordóñez Sondeo N°: 2
Ubicación: Urb. Jesús Del Gran Poder Profundidad: 2,10 m.
Fecha: 5/6/2019 Coordenadas Datum UTM WGS84:
Altura: 2839 m.s.n.m. Zona: 17S; E: 718611; N: 9684223

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Denominación de tamiz	Masa de suelo retenido	Masa de suelo retenido	% retenido	%	
Abertura (mm)	Malla N°	en cada tamiz (g)	acumulado en cada tamiz (g)	en cada tamiz	que pasa
76,200	3 "	0,00	0,00	0,00	100,00
63,500	2 1/2 "	0,00	0,00	0,00	100,00
50,800	2 "	0,00	0,00	0,00	100,00
38,100	1 1/2 "	0,00	0,00	0,00	100,00
25,400	1 "	0,00	0,00	0,00	100,00
19,050	3/4 "	0,00	0,00	0,00	100,00
12,700	1/2 "	0,00	0,00	0,00	100,00
9,525	3/8 "	0,00	0,00	0,00	100,00
4,750	No. 4	0,00	0,00	0,00	100,00
2,000	No. 10	0,72	0,72	0,22	99,78
0,600	No. 30	5,38	6,10	1,90	98,10
0,425	No. 40	7,82	13,92	4,34	95,66
0,300	No. 50	7,97	21,89	6,82	93,18
0,150	No. 100	9,39	31,28	9,74	90,26
0,075	No. 200	5,62	36,90	11,49	88,51

Masa seca del suelo antes del lavado (g):	321,06
Masa seca del suelo después del lavado (g):	36,96
Masa que pasa el tamiz No. 200 (g):	284,10



Anexo 2.3 Límites de consistencia.

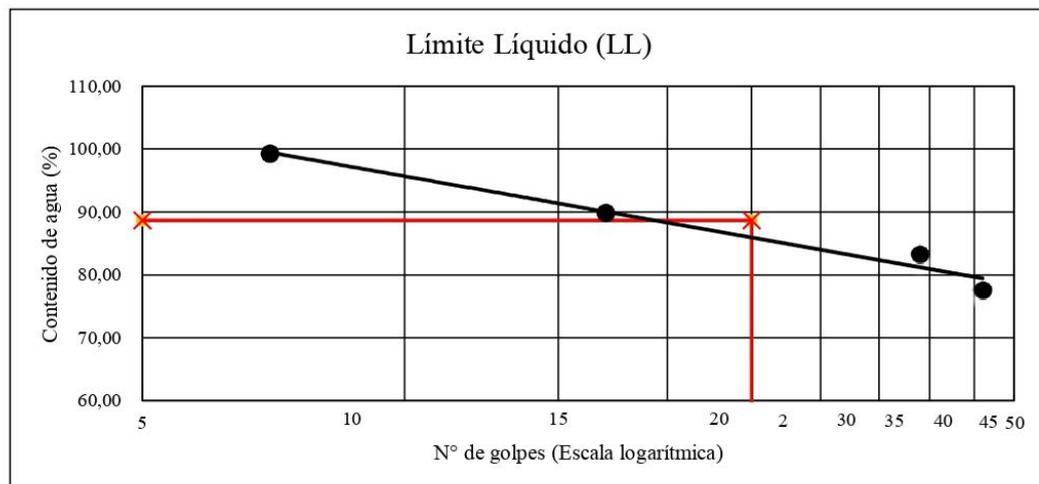
UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por: César Salmas, Sebastián Ordóñez
Ubicación: Urb. Jesús Del Gran Poder
Fecha: 5/6/2019
Altura: 2839 m.s.n.m.

Sondeo N°: 2
Profundidad: 2,10 m.
Coordenas Datum UTM WGS84:
Zona:17S; E: 718611; N: 9684223

LÍMITES DE CONSISTENCIA

Límite Líquido (LL)					
N° de cápsula	N° de Golpes	Masa de la cápsula con suelo húmedo (g)	Masa de la cápsula con suelo seco (g)	Masa de la cápsula (g)	Contenido de agua (%)
23	46	40,87	36,43	30,71	77,62
24	39	47,30	39,52	30,18	83,30
25	17	46,32	39,31	31,51	89,87
26	7	42,95	36,62	30,25	99,37
Límite Líquido (%) =					88,66



Límite Plástico (LP)				
N° de cápsula	Masa de la cápsula con suelo húmedo (g)	Masa de la cápsula con suelo seco (g)	Masa de la cápsula (g)	Contenido de agua (%)
27	6,48	6,41	6,18	30,43
28	6,67	6,56	6,26	36,67
29	6,68	6,55	6,21	38,24
Límite Plástico (%) =				35,11

Índice de Plasticidad (IP) = LL-LP = 53,55 %

Anexo 2.4 Clasificación de suelos.



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
 FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

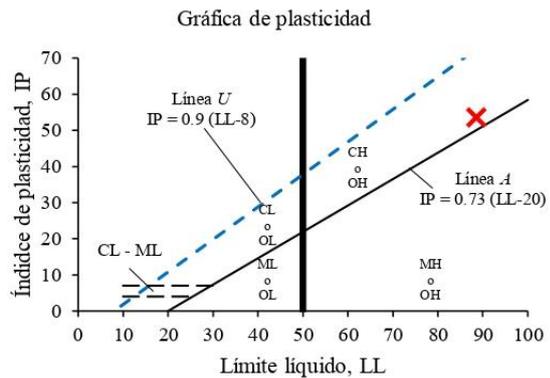
Realizado por:	César Salinas, Sebastián Ordóñez	Sondeo N°:	2
Ubicación:	Urb. Jesús Del Gran Poder	Profundidad:	2,10 m.
Fecha:	5/6/2019	Coordenas Datum UTM WGS84:	
Altura:	2839 m.s.n.m.	Zona:	17S; E: 718611; N: 9684223

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

Porcentaje que pasa el tamiz núm. 4 = 100,00
 Porcentaje que pasa el tamiz núm. 10 = 99,78
 Porcentaje que pasa el tamiz núm. 40 = 95,66
 Porcentaje que pasa el tamiz núm. 200 = 88,51
 Límite Líquido (LL) = 88,66
 Índice de plasticidad (IP) = 53,55
 Índice de liquidez (IL) = 0,13

De acuerdo al Sistemas Unificado de Clasificación SUCS, el suelo encontrado corresponde a un simbolo de grupo CH, es una arcilla inorgánica de alta compresibilidad.



Sistema de clasificación de suelos de la AASHTO

$$\text{Índice de grupo (IG)} = (F_{200} - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F_{200} - 15)(IP - 10)$$

$$IG = 56$$

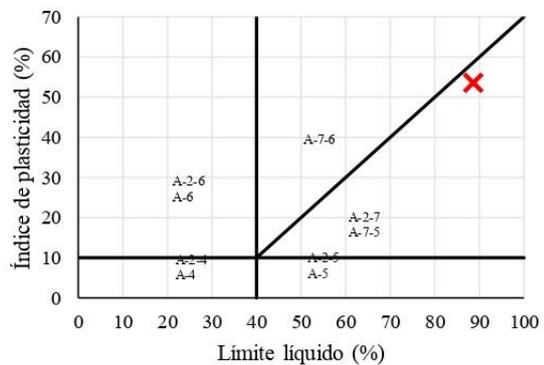
Materiales de limo y arcilla (más de 35% de la muestra total pasa la malla núm. 200)

Porcentaje que pasa el tamiz núm. 200 = 88,51 > 35%

De acuerdo al Sistemas de clasificación de suelos de la AASHTO, el suelo encontrado corresponde a un grupo de suelo A-7-5 con un índice de grupo 56 ∴ A-7-5 (56)

NOTA: Las figuras en esta tabla muestran un rango del límite líquido y el índice de plasticidad de los suelos, descritas en el capítulo 2.4 Clasificación de los Suelos.

Clasificación fracción limoso-arcillosa (AASHTO)



Anexo 2.5 Determinación de la gravedad específica.

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por:	César Salinas, Sebastián Ordóñez	Sondeo N°: 2
Ubicación:	Urb. Jesús Del Gran Poder	Profundidad: 2,10 m.
Fecha:	5/6/2019	Coordenas Datum UTM WGS84:
Altura:	2839 m.s.n.m.	Zona:17S; E: 718611; N: 9684223

DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA

Descripción de la muestra: Muestra de color marrón
 Método de ensayo: Método de prueba en suelos finos.
 Volumen del matraz: 500 ml

	Matraz N°	
Temperatura de ensayo (°C)	T_e	22
Masa del matraz + agua (g)	m_{fw}	648,18
Masa del matraz + agua + suelo (g)	m_{fsw}	677,58
Masa de los sólidos de suelo (g)	m_s	47,15
Gravedad específica a T°C de ensayo	$G_e = \frac{\rho_s}{\rho_w} = \frac{m_s}{m_{fw} - (m_{fsw} - m_s)}$	2,656
Coeficiente de temperatura	k	0,99957
Gravedad específica a 20°C	$G_{20°C} = k \times G_e$	2,655
Gravedad específica	G_s	2,66
Observaciones: <u>Se procedio a realizar el ensayo a una temperatura de 22° centígrados en laboratorio.</u>		

Anexo 2.6 Ensayo de resistencia a la compresión simple.



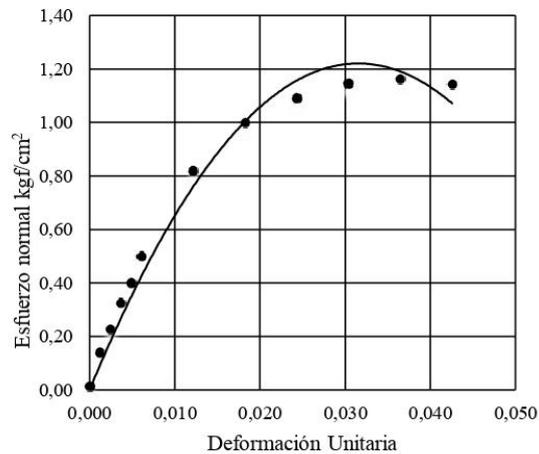
UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por: César Salinas, Sebastián Ordóñez Sondeo N°: 2
Ubicación: Urb. Jesús Del Gran Poder Profundidad: 2,10 m.
Fecha: 5/6/2019 Coordenadas Datum UTM WGS84:
Altura: 2839 m.s.n.m. Zona:17S; E: 718611; N: 9684223

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE

Lectura del deformímetro en divisiones 1 div. = 0,01 mm	Deformímetro de carga en divisiones 1 div. = 0,01 mm	Deformación de la muestra ΔL (mm)	Deformación Unitaria $\Delta L/L_0$	Área Corregida (cm ²)	Carga total sobre la muestra (kgf)	Esfuerzo sobre la muestra (kgf/cm ²)
0	0	0,00	0,0000	11,3411	0,1600	0,01
10	10	0,10	0,0012	11,3550	1,5805	0,14
20	17	0,20	0,0024	11,3688	2,5753	0,23
30	25	0,30	0,0036	11,3827	3,7128	0,33
40	31	0,40	0,0049	11,3966	4,5663	0,40
50	39	0,50	0,0061	11,4105	5,7047	0,50
100	65	1,00	0,0122	11,4807	9,4083	0,82
150	80	1,50	0,0182	11,5518	11,5474	1,00
200	88	2,00	0,0243	11,6238	12,6889	1,09
250	93	2,50	0,0304	11,6967	13,4026	1,15
300	95	3,00	0,0365	11,7705	13,6881	1,16
350	94	3,50	0,0426	11,8452	13,5454	1,14

Ensayo de resistencia a la compresión simple



Datos de la muestra

Diámetro:	3,80	cm
Altura:	8,23	cm
Volumen:	93,28	cm ³
Masa :	155,45	g
Densidad húmeda:	1666	kg/m ³
Contenido de agua (w_{nat}):	42,02	%
Densidad seca:	1173	kg/m ³

Resistencia de la compresión inconfínada, q_u	1,21	kgf/cm ²
	118,66	kN/m ²
C_u	0,61	kgf/cm ²
($q_u/2$)	59,33	kN/m ²

NOTA: Constante del anillo dinamométrico: $0,16 + (\text{Deformímetro de carga en divisiones}) \times 0,142 + 4,58066 \times 10^{-6} \times (\text{Deformímetro de carga en divisiones})^2 - 3,7276 \times 10^{-9}$

Anexo 2.7 Ensayo de penetración estándar (SPT).

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por: César Salinas, Sebastián Ordóñez Sondeo N°: 2
Ubicación: Urb. Jesús Del Gran Poder Profundidad: 2,10 m.
Fecha: 5/6/2019 Coordenas Datum UTM WGS84:
Altura: 2839 m.s.n.m. Zona:17S; E: 718611; N: 9684223

ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT)

N_{SPT} (número de penetración medido)	η_H (Eficiencia del martinete en %)	η_B (Corrección por el diámetro de la perforación)	η_s (Corrección del muestrador)	η_R (Corrección por longitud de la barra)	N_{60} (Número de penetración estándar, corregido por las condiciones en el campo)
13	60	1	1	0,75	10

PERFIL ESTRATIGRAFICO

Técnica de investigación: Ensayo de penetración estándar (SPT)

Cotas de referencia: Nivel del terreno = 2839 m.s.n.m.

Profundidad Final: 2,10 m

Nivel freático: No se encontró

Profundidad (metros)	Cota	Estrato	Gráfico	Descripción del suelo
0,00	2839,00			
0,50	2838,50	1		Capa vegetal, terreno con pasto y raíces, color café claro, ligeramente húmedo.
1,50	2837,50	2		Muestra de color castaño, medianamente húmeda, de consistencia media.
2,10	2836,90	3		Arcilla inorgánica de alta compresibilidad, de color marrón, con contenido de agua natural de 42,02%, LL de 88,66% y IP de 53,55%

Anexo 2.8 Fotografías.



Foto 3 Ejecución del ensayo SPT.



Foto 4 Muestra obtenida del sondeo.

SONDEO N° 3**Anexo 3.1 Determinación de contenido de agua natural del suelo (ω_{nat}).**

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por:	César Salinas, Sebastián Ordóñez	Sondeo N°:	3
Ubicación:	Urb. Jesús Del Gran Poder	Profundidad:	2,10 m.
Fecha:	5/6/2019	Coordenas Datum UTM WGS84:	
Altura:	2844 m.s.n.m.	Zona:	17S; E: 718630; N: 9684251

DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE AGUA NATURAL DEL SUELO (ω_{nat})

CONTENIDO DE AGUA (ω)				
N° De cápsula	Masa de la cápsula más suelo humedo (g)	Masa de la cápsula más suelo seco (g)	Masa de la cápsula (g)	Contenido de agua (%)
31	39,31	35,26	16,63	21,74
32	29,39	26,39	17,14	32,43
Contenido de agua promedio =				27,09

Observaciones: El ensayo se realizó a una temperatura de horno a 110 ± 5 °C y respetando la masa mínima recomendable del espécimen, tal como se describe en la norma ASTM D 2216.

Anexo 3.2 Análisis granulométrico.

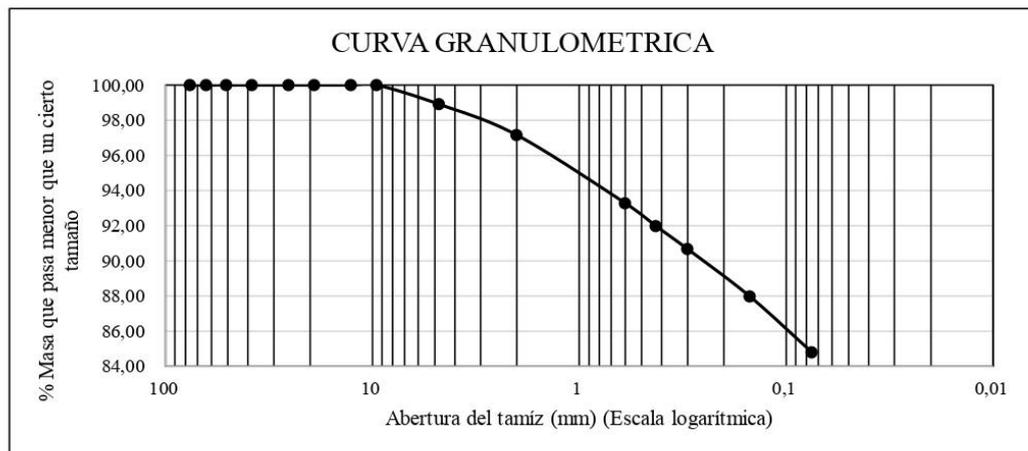
UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por: César Salinas, Sebastián Ordñez Sondeo N°: 3
Ubicación: Urb. Jesús Del Gran Poder Profundidad: 2,10 m.
Fecha: 5/6/2019 Coordenadas Datum UTM WGS84:
Altura: 2844 m.s.n.m. Zona: 17S; E: 718630; N: 9684251

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Denominación de tamiz		Masa de suelo retenido	Masa de suelo retenido	% retenido	%
Abertura (mm)	Malla N°	en cada tamiz (g)	acumulado en cada tamiz (g)	en cada tamiz	que pasa
76,200	3 "	0,00	0,00	0,00	100,00
63,500	2 1/2 "	0,00	0,00	0,00	100,00
50,800	2 "	0,00	0,00	0,00	100,00
38,100	1 1/2 "	0,00	0,00	0,00	100,00
25,400	1 "	0,00	0,00	0,00	100,00
19,050	3/4 "	0,00	0,00	0,00	100,00
12,700	1/2 "	0,00	0,00	0,00	100,00
9,525	3/8 "	0,00	0,00	0,00	100,00
4,750	No. 4	5,20	5,20	1,09	98,91
2,000	No. 10	8,33	13,53	2,85	97,15
0,600	No. 30	18,36	31,89	6,72	93,28
0,425	No. 40	6,24	38,13	8,03	91,97
0,300	No. 50	6,15	44,28	9,32	90,68
0,150	No. 100	12,80	57,08	12,02	87,98
0,075	No. 200	15,15	72,23	15,21	84,79

Masa seca del suelo antes del lavado (g):	474,90
Masa seca del suelo después del lavado (g):	71,61
Masa que pasa el tamiz No. 200 (g):	403,70



Anexo 3.3 Límites de consistencia.

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por: César Salinas, Sebastián Ordóñez

Sondeo N°: 3

Ubicación: Urb. Jesús Del Gran Poder

Profundidad: 2,10 m.

Fecha: 5/6/2019

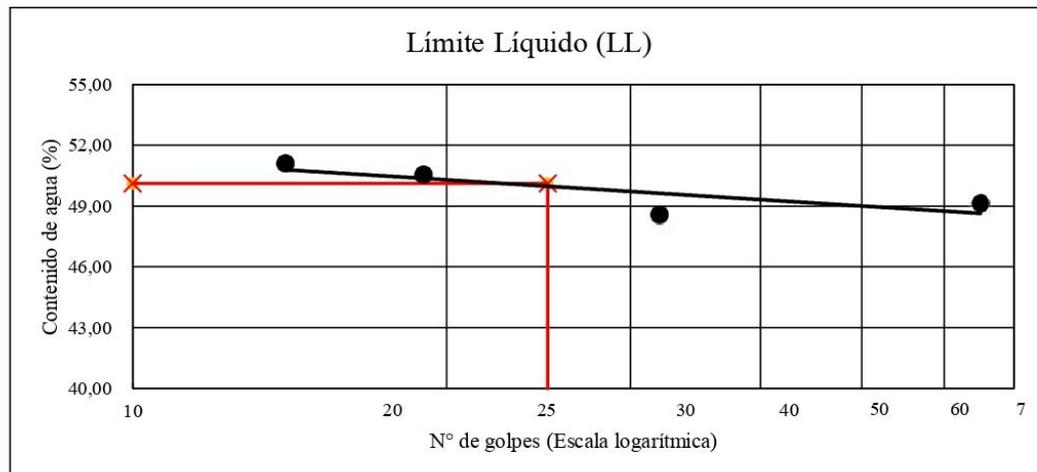
Coordenas Datum UTM WGS84:

Altura: 2844 m.s.n.m.

Zona:17S; E: 718630; N: 9684251

LÍMITES DE CONSISTENCIA

Límite Líquido (LL)					
N° de cápsula	N° de Golpes	Masa de la cápsula con suelo húmedo (g)	Masa de la cápsula con suelo seco (g)	Masa de la cápsula (g)	Contenido de agua (%)
33	65	47,42	41,84	30,49	49,16
34	32	47,90	42,06	30,04	48,59
35	19	48,07	42,26	30,77	50,57
36	14	44,92	39,88	30,02	51,12
Límite Líquido (%) =					50,12



Límite Plástico (LP)				
N° de cápsula	Masa de la cápsula con suelo húmedo (g)	Masa de la cápsula con suelo seco (g)	Masa de la cápsula (g)	Contenido de agua (%)
37	7,59	7,43	6,82	26,23
38	7,55	7,43	6,85	20,69
39	7,00	6,85	6,26	25,42
Límite Plástico (%) =				24,11

Índice de Plasticidad (IP) = LL-LP = 26,00 %

Anexo 3.4 Clasificación de suelos.



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
 FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

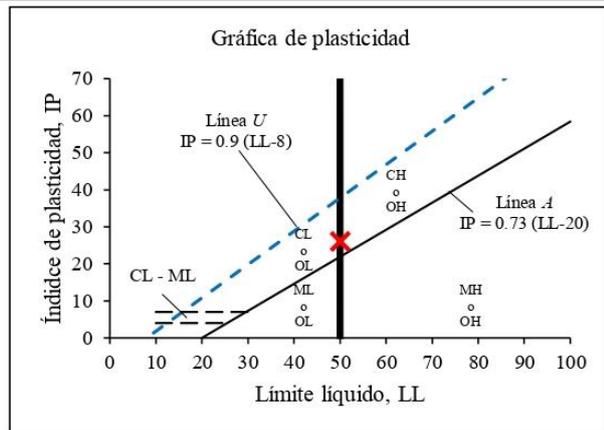
Realizado por: César Salinas, Sebastián Ordóñez Sondeo N°: 3
 Ubicación: Urb. Jesús Del Gran Poder Profundidad: 2,10 m.
 Fecha: 5/6/2019 Coordenas Datum UTM WGS84:
 Altura: 2844 m.s.n.m. Zona: 17S; E: 718630; N: 9684251

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

Porcentaje que pasa el tamiz núm. 4 = 98,91
 Porcentaje que pasa el tamiz núm. 10 = 97,15
 Porcentaje que pasa el tamiz núm. 40 = 91,97
 Porcentaje que pasa el tamiz núm. 200 = 84,79
 Límite Líquido (LL) = 50,12
 Índice de plasticidad (IP) = 26,00
 Índice de liquidez (IL) = 0,11

De acuerdo al Sistemas Unificado de Clasificación SUCS, el suelo encontrado corresponde a un simbolo de grupo CH, es una arcilla inorgánica de alta compresibilidad.



Sistema de clasificación de suelos de la AASHTO

$$\text{Índice de grupo (IG)} = (F_{200} - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F_{200} - 15)(IP - 10)$$

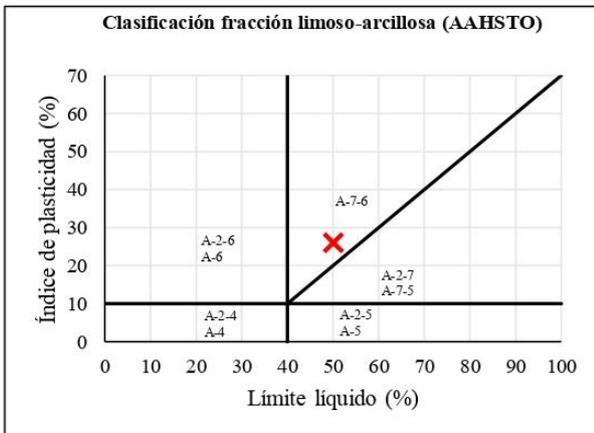
$$IG = 24$$

Materiales de limo y arcilla (más de 35% de la muestra total pasa la malla núm. 200)

Porcentaje que pasa el tamiz núm. 200 = 84,79 > 35%

De acuerdo al Sistemas de clasificación de suelos de la AASHTO, el suelo encontrado corresponde a un grupo de suelo A-7-6 con un índice de grupo 24 ∴ A-7-6 (24)

NOTA: Las figuras en esta tabla muestran un rango del límite líquido y el índice de plasticidad de los suelos, descritas en el capítulo 2.4 Clasificación de los Suelos.



Anexo 3.5 Determinación de la gravedad específica.

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por:	César Salinas, Sebastián Ordóñez	Sondeo N°: 3
Ubicación:	Urb. Jesús Del Gran Poder	Profundidad: 2,10 m.
Fecha:	5/6/2019	Coordenas Datum UTM WGS84:
Altura:	2844 m.s.n.m.	Zona:17S; E: 718630; N: 9684251

DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA

Descripción de la muestra: Muestra de color marrón
 Método de ensayo: Método de prueba en suelos finos.
 Volumen del matraz: 500 ml

Matraz N°		3
Temperatura de ensayo (°C)	T_e	22
Masa del matraz + agua (g)	m_{fw}	673,02
Masa del matraz + agua + suelo (g)	m_{fsw}	704,41
Masa de los sólidos de suelo (g)	m_s	49,89
Gravedad específica a T°C de ensayo	$G_e = \frac{\rho_s}{\rho_w} = \frac{m_s}{m_{fw} - (m_{fsw} - m_s)}$	2,697
Coefficiente de temperatura	k	0,99957
Gravedad específica a 20°C	$G_{20°C} = k \times G_e$	2,696
Gravedad específica	G_s	2,70
Observaciones: <u>Se procedio a realizar el ensayo a una temperatura de 22° centígrados en laboratorio.</u>		

Anexo 3.6 Ensayo de resistencia a la compresión simple.



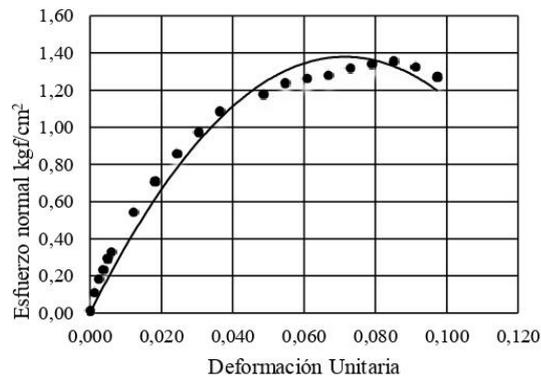
UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por: César Salinas, Sebastián Ordóñez Sondeo N°: 3
Ubicación: Urb. Jesús Del Gran Poder Profundidad: 2,10 m.
Fecha: 5/6/2019 Coordenadas Datum UTM WGS84:
Altura: 2844 m.s.n.m. Zona:17S; E: 718630; N: 9684251

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE

Lectura del deformímetro en divisiones 1 div. = 0,01 mm	Deformímetro de carga en divisiones 1 div. = 0,01 mm	Deformación de la muestra ΔL (mm)	Deformación Unitaria $\Delta L/L_0$	Área Corregida (cm ²)	Carga total sobre la muestra (kgf)	Esfuerzo sobre la muestra (kgf/cm ²)
0	0	0.00	0.0000	11.6416	0.1600	0.01
10	8	0.10	0.0012	11.6557	1.2963	0.11
20	14	0.20	0.0024	11.6699	2.1489	0.18
30	18	0.30	0.0036	11.6842	2.7175	0.23
40	23	0.40	0.0049	11.6985	3.4284	0.29
50	26	0.50	0.0061	11.7128	3.8550	0.33
100	44	1.00	0.0122	11.7848	6.4166	0.54
150	58	1.50	0.0182	11.8578	8.4107	0.71
200	71	2.00	0.0243	11.9317	10.2638	0.86
250	81	2.50	0.0304	12.0065	11.6901	0.97
300	91	3.00	0.0365	12.0823	13.1171	1.09
400	100	4.00	0.0486	12.2367	14.4021	1.18
450	106	4.50	0.0547	12.3154	15.2590	1.24
500	109	5.00	0.0608	12.3951	15.6876	1.27
550	111	5.50	0.0669	12.4758	15.9733	1.28
600	115	6.00	0.0729	12.5576	16.5449	1.32
650	118	6.50	0.0790	12.6405	16.9737	1.34
700	120	7.00	0.0851	12.7245	17.2595	1.36
750	118	7.50	0.0912	12.8096	16.9737	1.33
800	114	8.00	0.0973	12.8959	16.4020	1.27

Ensayo de resistencia a la compresión simple



Datos de la muestra

Diámetro:	3.85	cm
Altura:	8.23	cm
Volumen:	95.75	cm ³
Masa :	161.55	g
Densidad húmeda:	1687	kg/m ³
Contenido de agua (w_{nat}):	27.09	%
Densidad seca:	1328	kg/m ³
Resistencia de la compresión inconfiada, q_u	1.39	kgf/cm ²
C_u ($q_u/2$)	136.31	kN/m ²
	0.70	kgf/cm ²
	68.16	kN/m ²

NOTA: Constante del anillo dinamométrico: $0,16 + (\text{Deformímetro de carga en divisiones}) \times 0,142 + 4,58066 \times 10^{-6} \times (\text{Deformímetro de carga en divisiones})^2 - 3,7276 \times 10^{-9}$

Anexo 3.7 Ensayo de penetración estándar (SPT).

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por:	César Salinas, Sebastián Ordóñez	Sondeo N°:	3
Ubicación:	Urb. Jesús Del Gran Poder	Profundidad:	2,10 m.
Fecha:	5/6/2019	Coordenas Datum UTM WGS84:	
Altura:	2844 m.s.n.m.	Zona:	17S; E: 718630; N: 9684251

ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT)

N_{SPT} (número de penetración medido)	η_H (Eficiencia del martinete en %)	η_B (Corrección por el diámetro de la perforación)	η_s (Corrección del muestrador)	η_R (Corrección por longitud de la barra)	N_{60} (Número de penetración estándar, corregido por las condiciones en el campo)
19	60	1	1	0,75	14

PERFIL ESTRATIGRAFICO

Técnica de investigación: Ensayo de penetración estándar (SPT)

Cotas de referencia: Nivel del terreno = 2844 m.s.n.m.

Profundidad Final: 2,10 m

Nivel freático: No se encontró

Profundidad (metros)	Cota	Estrato	Gráfico	Descripción del suelo
0,00	2844,00			
0,50	2843,50	1		Capa vegetal, terreno con pasto y raíces, color café claro, ligeramente húmedo.
1,50	2842,50	2		Muestra de color marrón, medianamente húmeda, de consistencia media.
2,10	2841,90	3		Arcilla inorgánica de alta compresibilidad, de color marrón, con contenido de agua natural de 27,09%, LL de 50,12% y IP de 26,00%

Anexo 3.8 Fotografías.



Foto 5 Ejecución del ensayo SPT.



Foto 6 Muestra obtenida del sondeo.

SONDEO N° 4**Anexo 4.1 Determinación de contenido de agua natural del suelo (ω_{nat}).**

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por: César Salinas, Sebastián Ordóñez
Ubicación: Barrio María Auxiliadora de Racar
Fecha: 3/7/2019
Altura: 2819 m.s.n.m.

Sondeo N°: 4
Profundidad: 2,10 m.
Coordenas Datum UTM WGS84:
Zona:17S; E: 717774; N: 9683402

DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE AGUA NATURAL DEL SUELO (ω_{nat})

CONTENIDO DE AGUA (ω)				
N° De cápsula	Masa de la cápsula más suelo humedo (g)	Masa de la cápsula más suelo seco (g)	Masa de la cápsula (g)	Contenido de agua (%)
41	35,88	30,12	16,56	42,48
42	38,42	31,22	17,21	51,39
Contenido de agua promedio =				46,93

Observaciones: El ensayo se realizó a una temperatura de horno a 110 ± 5 °C y respetando la masa mínima recomendable del espécimen, tal como se describe en la norma ASTM D 2216.

Anexo 4.2 Análisis granulométrico.

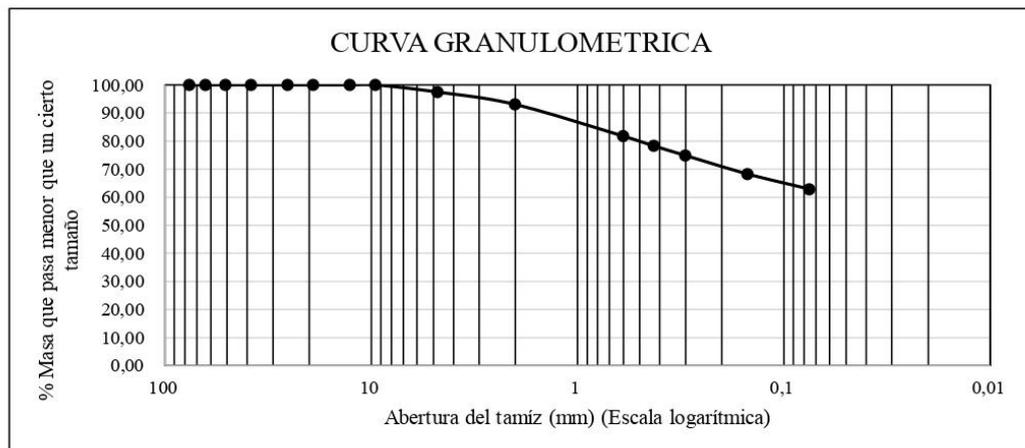
UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por: César Salinas, Sebastián Ordñez Sondeo N°: 4
Ubicación: Barrio María Auxiliadora de Racar Profundidad: 2,10 m.
Fecha: 3/7/2019 Coordenadas Datum UTM WGS84:
Altura: 2819 m.s.n.m. Zona: 17S; E: 717774; N: 9683402

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Denominación de tamiz		Masa de suelo retenido en cada tamiz (g)	Masa de suelo retenido acumulado en cada tamiz (g)	% retenido en cada tamiz	% que pasa
Abertura (mm)	Malla N°				
76,200	3 "	0,00	0,00	0,00	100,00
63,500	2 1/2 "	0,00	0,00	0,00	100,00
50,800	2 "	0,00	0,00	0,00	100,00
38,100	1 1/2 "	0,00	0,00	0,00	100,00
25,400	1 "	0,00	0,00	0,00	100,00
19,050	3/4 "	0,00	0,00	0,00	100,00
12,700	1/2 "	0,00	0,00	0,00	100,00
9,525	3/8 "	0,00	0,00	0,00	100,00
4,750	No. 4	7,09	7,09	2,56	97,44
2,000	No. 10	12,27	19,36	6,98	93,02
0,600	No. 30	31,27	50,63	18,26	81,74
0,425	No. 40	9,73	60,36	21,77	78,23
0,300	No. 50	9,34	69,70	25,14	74,86
0,150	No. 100	18,28	87,98	31,74	68,26
0,075	No. 200	15,00	102,98	37,15	62,85

Masa seca del suelo antes del lavado (g):	277,23
Masa seca del suelo después del lavado (g):	103,58
Masa que pasa el tamiz No. 200 (g):	174,04



Anexo 4.3 Límites de consistencia.

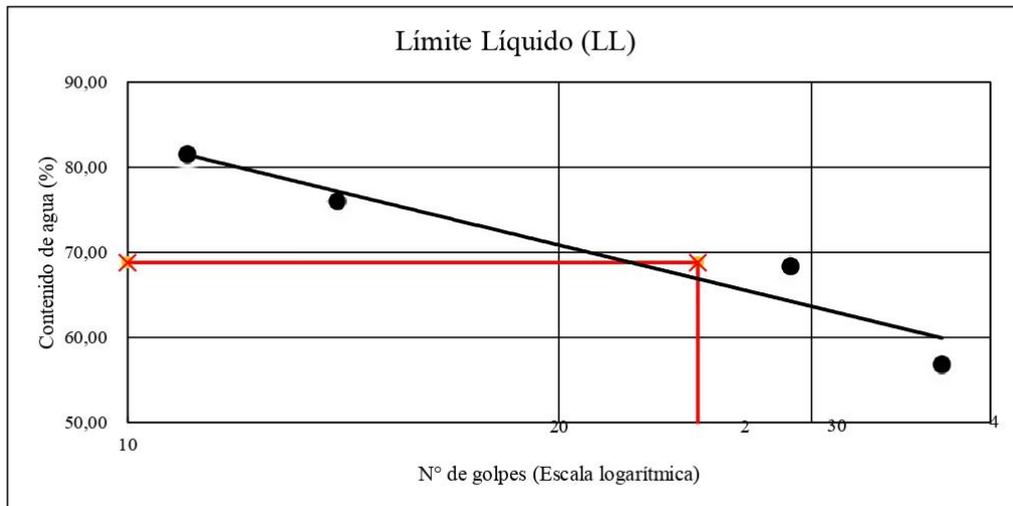
UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por: César Salinas, Sebastián Ordóñez
Ubicación: Barrio María Auxiliadora de Racar
Fecha: 3/7/2019
Altura: 2819 m.s.n.m.

Sondeo N°: 4
Profundidad: 2,10 m.
Coordenas Datum UTM WGS84:
Zona:17S; E: 717774; N: 9683402

LÍMITES DE CONSISTENCIA

Límite Líquido (LL)					
N° de cápsula	N° de Golpes	Masa de la cápsula con suelo húmedo (g)	Masa de la cápsula con suelo seco (g)	Masa de la cápsula (g)	Contenido de agua (%)
43	37	49,30	42,63	30,89	56,81
44	29	46,76	40,15	30,49	68,43
45	14	49,13	41,52	31,51	76,02
46	11	46,92	39,33	30,02	81,53
Límite Líquido (%) =					68,80



Límite Plástico (LP)				
N° de cápsula	Masa de la cápsula con suelo húmedo (g)	Masa de la cápsula con suelo seco (g)	Masa de la cápsula (g)	Contenido de agua (%)
47	6,75	6,58	6,19	43,59
48	7,17	7,02	6,69	45,45
49	6,66	6,53	6,21	40,62
Límite Plástico (%) =				43,22

Índice de Plasticidad (IP) = LL-LP = 25,57 %

Anexo 4.4 Clasificación de suelos.



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
 FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

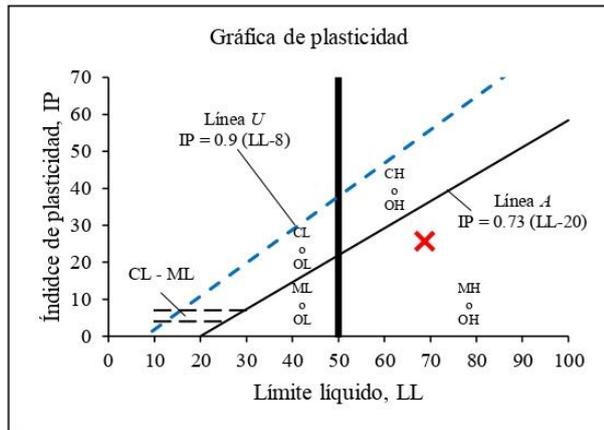
Realizado por: César Salinas, Sebastián Ordóñez Sondeo N°: 4
 Ubicación: Barrio María Auxiliadora de Racar Profundidad: 2,10 m.
 Fecha: 3/7/2019 Coordenadas Datum UTM WGS84:
 Altura: 2819 m.s.n.m. Zona:17S; E: 717774; N: 9683402

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

Porcentaje que pasa el tamiz núm. 4 = 97,44
 Porcentaje que pasa el tamiz núm. 10 = 93,02
 Porcentaje que pasa el tamiz núm. 40 = 78,23
 Porcentaje que pasa el tamiz núm. 200 = 62,85
 Límite Líquido (LL) = 68,80
 Índice de plasticidad (IP) = 25,57
 Índice de liquidez (IL) = 0,15

De acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación SUCS, el suelo encontrado corresponde a un símbolo de grupo MH, es un limo inorgánico de alta compresibilidad.



Sistema de clasificación de suelos de la AASHTO

$$\text{Índice de grupo (IG)} = (F_{200} - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F_{200} - 15)(IP - 10)$$

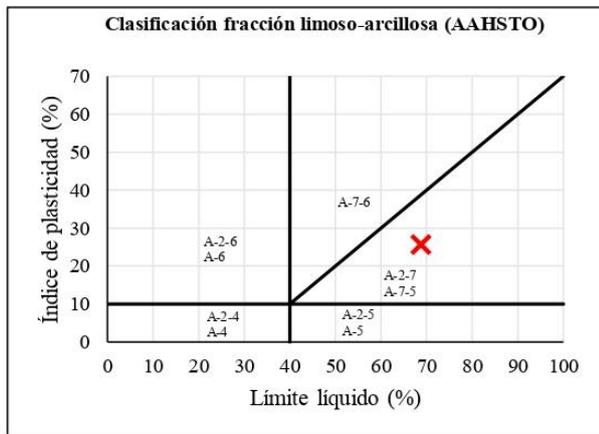
$$IG = 17$$

Materiales de limo y arcilla (más de 35% de la muestra total pasa la malla núm. 200)

Porcentaje que pasa el tamiz núm. 200 = 62,85 > 35%

De acuerdo al Sistema de clasificación de suelos de la AASHTO, el suelo encontrado corresponde a un grupo de suelo A-7-5 con un índice de grupo 17 ∴ A-7-5 (17)

NOTA: Las figuras en esta tabla muestran un rango del límite líquido y el índice de plasticidad de los suelos, descritas en el capítulo 2.4 Clasificación de los Suelos.



Anexo 4.5 Determinación de la gravedad específica.

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por:	César Salinas, Sebastián Ordóñez	Sondeo N°: 4
Ubicación:	Barrio María Auxiliadora de Racar	Profundidad: 2,10 m.
Fecha:	3/7/2019	Coordenas Datum UTM WGS84:
Altura:	2819 m.s.n.m.	Zona:17S; E: 717774; N: 9683402

DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA

Descripción de la muestra: Muestra de color marrón
 Método de ensayo: Método de prueba en suelos finos.
 Volumen del matraz: 500 ml

	Matraz N°	
Temperatura de ensayo (°C)	T_e	4
Masa del matraz + agua (g)	m_{fw}	648,18
Masa del matraz + agua + suelo (g)	m_{fsw}	679,65
Masa de los sólidos de suelo (g)	m_s	50,11
Gravedad específica a T°C de ensayo	$G_e = \frac{\rho_s}{\rho_w} = \frac{m_s}{m_{fw} - (m_{fsw} - m_s)}$	2,688
Coefficiente de temperatura	k	0,99957
Gravedad específica a 20°C	$G_{20^\circ C} = k \times G_e$	2,687
Gravedad específica	G_s	2,69
Observaciones: <u>Se procedio a realizar el ensayo a una temperatura de 22° centígrados en laboratorio.</u>		

Anexo 4.6 Ensayo de resistencia a la compresión simple.



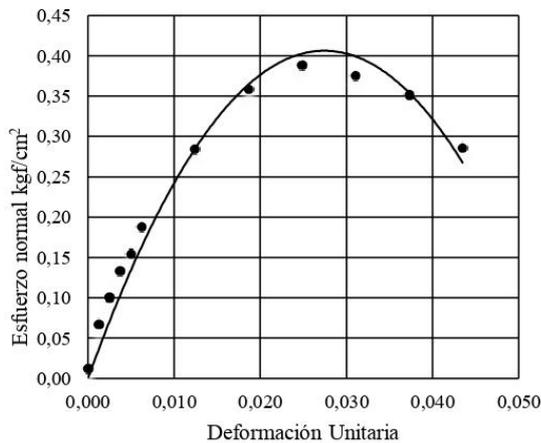
UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por: César Salinas, Sebastián Ordóñez Sondeo N°: 4
Ubicación: Barrio María Auxiliadora de Racar Profundidad: 2,10 m.
Fecha: 3/7/2019 Coordenadas Datum UTM WGS84:
Altura: 2819 m.s.n.m. Zona: 17S; E: 717774; N: 9683402

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE

Lectura del deformímetro en divisiones 1 div. = 0,01 mm	Deformímetro de carga en divisiones 1 div. = 0,01 mm	Deformación de la muestra ΔL (mm)	Deformación Unitaria $\Delta L/L_0$	Área Corregida (cm ²)	Carga total sobre la muestra (kgf)	Esfuerzo sobre la muestra (kgf/cm ²)
0	0	0,00	0,0000	12,8825	0,1600	0,01
10	5	0,10	0,0012	12,8985	0,8701	0,07
20	8	0,20	0,0025	12,9146	1,2963	0,10
30	11	0,30	0,0037	12,9307	1,7225	0,13
40	13	0,40	0,0050	12,9468	2,0068	0,16
50	16	0,50	0,0062	12,9630	2,4332	0,19
100	25	1,00	0,0124	13,0445	3,7128	0,28
150	32	1,50	0,0186	13,1271	4,7086	0,36
200	35	2,00	0,0248	13,2107	5,1355	0,39
250	34	2,50	0,0311	13,2954	4,9931	0,38
300	32	3,00	0,0373	13,3812	4,7086	0,35
350	26	3,50	0,0435	13,4681	3,8550	0,29

Ensayo de resistencia a la compresión simple



Datos de la muestra

Diámetro:	4,05	cm
Altura:	8,05	cm
Volumen:	103,70	cm ³
Masa :	163,21	g
Densidad húmeda:	1574	kg/m ³
Contenido de agua (w_{nat}):	46,93	%
Densidad seca:	1071	kg/m ³

Resistencia de la compresión inconfínada, q_u	0,41	kgf/cm ²
	40,21	kN/m ²
C_u	0,21	kgf/cm ²
($q_u/2$)	20,10	kN/m ²

NOTA: Constante del anillo dinamométrico: $0,16 + (\text{Deformímetro de carga en divisiones}) \times 0,142 + 4,58066 \times 10^{-6} \times (\text{Deformímetro de carga en divisiones})^2 - 3,7276 \times 10^{-9}$

Anexo 4.7 Ensayo de penetración estándar (SPT).

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por: César Salinas, Sebastián Ordóñez Sondeo N°: 4
Ubicación: Barrio María Auxiliadora de Racar Profundidad: 2,10 m.
Fecha: 3/7/2019 Coordenas Datum UTM WGS84:
Altura: 2819 m.s.n.m. Zona:17S; E: 717774; N: 9683402

ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT)

N_{SPT} (número de penetración medido)	η_H (Eficiencia del martinete en %)	η_B (Corrección por el diámetro de la perforación)	η_s (Corrección del muestrador)	η_R (Corrección por longitud de la barra)	N_{60} (Número de penetración estándar, corregido por las condiciones en el campo)
8	60	1	1	0,75	6

PERFIL ESTRATIGRAFICO

Técnica de investigación: Ensayo de penetración estándar (SPT)

Cotas de referencia: Nivel del terreno = 2819 m.s.n.m.

Profundidad Final: 2,10 m

Nivel freático: No se encontró

Profundidad (metros)	Cota	Estrato	Gráfico	Descripción del suelo
0,00	2819,00			
0,50	2818,50	1		Capa vegetal, terreno con pasto y raíces, color café claro, ligeramente húmedo.
1,50	2817,50	2		Muestra de color pardo, medianamente húmeda, de consistencia media.
2,10	2816,90	3		Limo inorgánico de alta compresibilidad, de color marrón, con contenido de agua natural de 46,93%, LL de 68,80% y IP de 25,57%

Anexo 4.8 Fotografías.



Foto 7 Ejecución del ensayo SPT.



Foto 8 Muestra obtenida de la muestra.

SONDEO N° 5**Anexo 5.1 Determinación de contenido de agua natural del suelo (w_{nat}).**

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por: César Salinas, Sebastián Ordóñez
Ubicación: Barrio Mutualista Azuay
Fecha: 5/6/2019
Altura: 2819 m.s.n.m.

Sondeo N°: 5
Profundidad: 2,10 m.
Coordenas Datum UTM WGS84:
Zona:17S; E: 717698; N: 9683432

DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE AGUA NATURAL DEL SUELO (w_{nat})

CONTENIDO DE AGUA (w)				
N° De cápsula	Masa de la cápsula más suelo humedo (g)	Masa de la cápsula más suelo seco (g)	Masa de la cápsula (g)	Contenido de agua (%)
51	28,11	24,24	17,08	54,05
52	31,07	26,2	16,86	52,14
Contenido de agua promedio =				53,10

Observaciones: El ensayo se realizó a una temperatura de horno a 110 ± 5 °C y respetando la masa mínima recomendable del espécimen, tal como se describe en la norma ASTM D 2216.

Anexo 5.2 Análisis granulométrico.



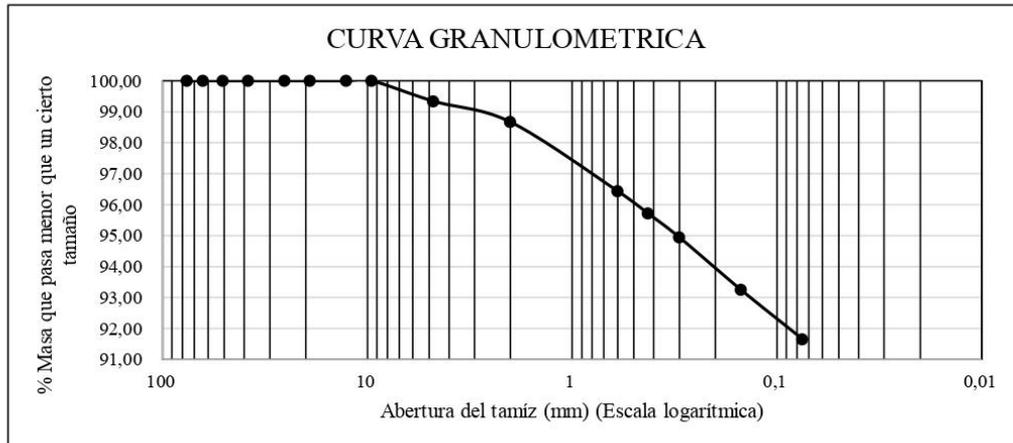
UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por: César Salinas, Sebastián Ordóñez Sondeo N°: 5
Ubicación: Barrio Mutualista Azuay Profundidad: 2,10 m.
Fecha: 5/6/2019 Coordenadas Datum UTM WGS84:
Altura: 2819 m.s.n.m. Zona: 17S; E: 717698; N: 9683432

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Denominación de tamiz		Masa de suelo retenido en cada tamiz (g)	Masa de suelo retenido acumulado en cada tamiz (g)	% retenido en cada tamiz	% que pasa
Abertura (mm)	Malla N°				
76,200	3 "	0,00	0,00	0,00	100,00
63,500	2 1/2 "	0,00	0,00	0,00	100,00
50,800	2 "	0,00	0,00	0,00	100,00
38,100	1 1/2 "	0,00	0,00	0,00	100,00
25,400	1 "	0,00	0,00	0,00	100,00
19,050	3/4 "	0,00	0,00	0,00	100,00
12,700	1/2 "	0,00	0,00	0,00	100,00
9,525	3/8 "	0,00	0,00	0,00	100,00
4,750	No. 4	1,73	1,73	0,66	99,34
2,000	No. 10	1,76	3,49	1,33	98,67
0,600	No. 30	5,84	9,33	3,56	96,44
0,425	No. 40	1,90	11,23	4,29	95,71
0,300	No. 50	2,00	13,23	5,05	94,95
0,150	No. 100	4,44	17,67	6,75	93,25
0,075	No. 200	4,18	21,85	8,34	91,66

Masa seca del suelo antes del lavado (g):	261,89
Masa seca del suelo después del lavado (g):	21,85
Masa que pasa el tamiz No. 200 (g):	240,05



Anexo 5.3 Límites de consistencia.

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por: César Salinas, Sebastián Ordóñez

Sondeo N°: 5

Ubicación: Barrio Mutualista Azuay

Profundidad: 2,10 m.

Fecha: 5/6/2019

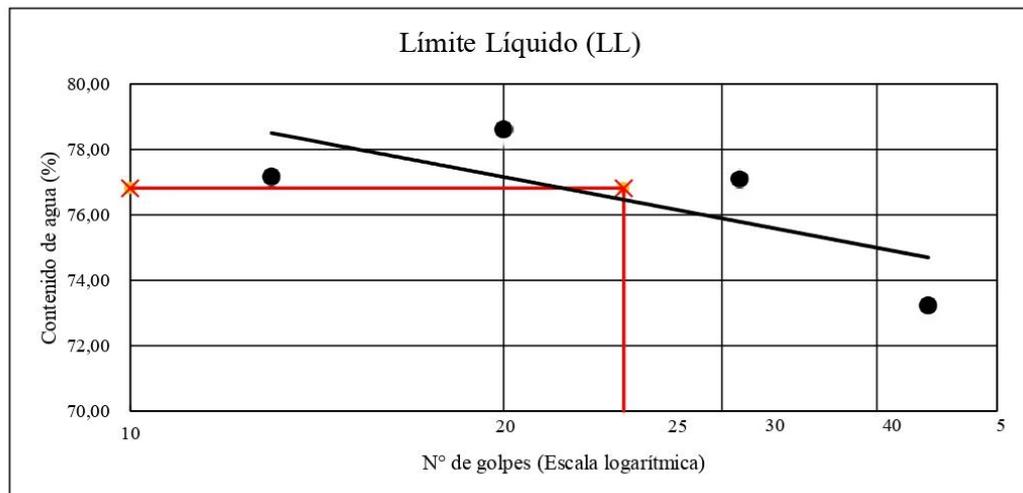
Coordenas Datum UTM WGS84:

Altura: 2819 m.s.n.m.

Zona:17S; E: 717698; N: 9683432

LÍMITES DE CONSISTENCIA

Límite Líquido (LL)					
N° de cápsula	N° de Golpes	Masa de la cápsula con suelo húmedo (g)	Masa de la cápsula con suelo seco (g)	Masa de la cápsula (g)	Contenido de agua (%)
53	44	48,89	41,20	30,70	73,24
54	31	52,50	43,04	30,77	77,10
55	20	47,95	40,37	30,73	78,63
56	13	53,44	43,47	30,55	77,17
Límite Líquido (%) =					76,81



Límite Plástico (LP)				
N° de cápsula	Masa de la cápsula con suelo húmedo (g)	Masa de la cápsula con suelo seco (g)	Masa de la cápsula (g)	Contenido de agua (%)
57	7,31	7,19	6,85	35,29
58	6,65	6,55	6,25	33,33
59	7,02	6,92	6,68	41,67
Límite Plástico (%) =				36,76

Índice de Plasticidad (IP) = LL-LP = 40,05 %

Anexo 5.4 Clasificación de suelos.



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
 FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

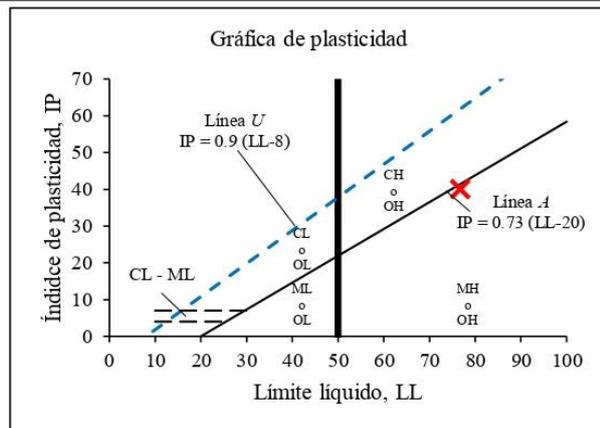
Realizado por: César Salinas, Sebastián Ordóñez Sondeo N°: 5
 Ubicación: Barrio Mutualista Azuay Profundidad: 2,10 m.
 Fecha: 5/6/2019 Coordenadas Datum UTM WGS84:
 Altura: 2819 m.s.n.m. Zona: 17S; E: 717698; N: 9683432

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

Porcentaje que pasa el tamiz núm. 4 = 99,34
 Porcentaje que pasa el tamiz núm. 10 = 98,67
 Porcentaje que pasa el tamiz núm. 40 = 95,71
 Porcentaje que pasa el tamiz núm. 200 = 91,66
 Límite Líquido (LL) = 76,81
 Índice de plasticidad (IP) = 40,05
 Índice de liquidez (IL) = 0,41

De acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación SUCS, el suelo encontrado corresponde a un símbolo de grupo MH, es un limo inorgánico de alta compresibilidad.



Sistema de clasificación de suelos de la AASHTO

$$\text{Índice de grupo (IG)} = (F_{200} - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F_{200} - 15)(IP - 10)$$

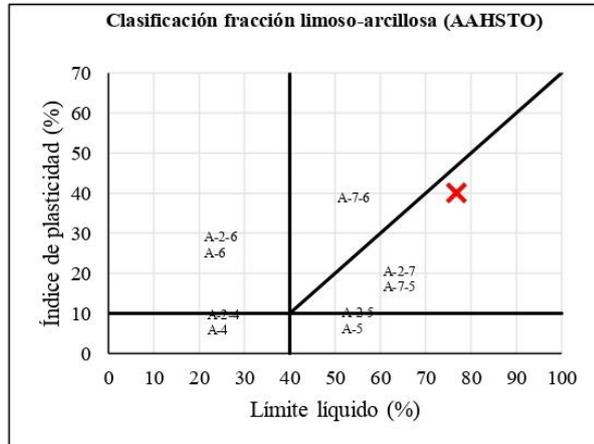
$$IG = 45$$

Materiales de limo y arcilla (más de 35% de la muestra total pasa la malla núm. 200)

Porcentaje que pasa el tamiz núm. 200 = 91,66 > 35%

De acuerdo al Sistema de clasificación de suelos de la AASHTO, el suelo encontrado corresponde a un grupo de suelo A-7-5 con un índice de grupo 45 ∴ A-7-5 (45)

NOTA: Las figuras en esta tabla muestran un rango del límite líquido y el índice de plasticidad de los suelos, descritas en el capítulo 2.4 Clasificación de los Suelos.



Anexo 5.5 Determinación de la gravedad específica.

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por:	César Salinas, Sebastián Ordóñez	Sondeo N°: 5
Ubicación:	Barrio Mutualista Azuay	Profundidad: 2,10 m.
Fecha:	5/6/2019	Coordenas Datum UTM WGS84:
Altura:	2819 m.s.n.m.	Zona:17S; E: 717698; N: 9683432

DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA

Descripción de la muestra: Muestra de color marrón
 Método de ensayo: Método de prueba en suelos finos.
 Volumen del matraz: 500 ml

	Matraz N°	
Temperatura de ensayo (°C)	T_e	22
Masa del matraz + agua (g)	m_{fw}	673,14
Masa del matraz + agua + suelo (g)	m_{fsw}	704,10
Masa de los sólidos de suelo (g)	m_s	49,48
Gravedad específica a T°C de ensayo	$G_e = \frac{\rho_s}{\rho_w} = \frac{m_s}{m_{fw} - (m_{fsw} - m_s)}$	2,672
Coficiente de temperatura	k	0,99957
Gravedad específica a 20°C	$G_{20°C} = k \times G_e$	2,671
Gravedad específica	G_s	2,67
Observaciones: <u>Se procedio a realizar el ensayo a una temperatura de 22° centígrados en laboratorio.</u>		

Anexo 5.6 Ensayo de resistencia a la compresión simple.



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

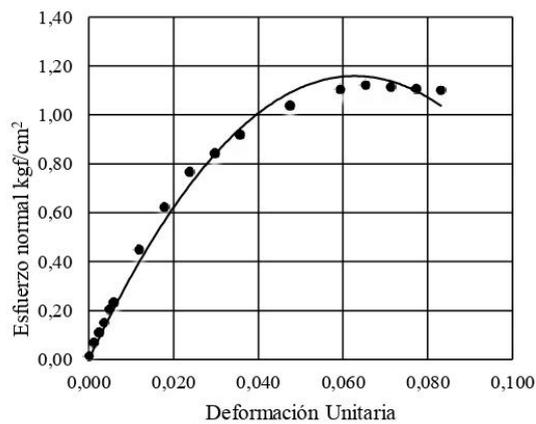
Realizado por: César Salinas, Sebastián Ordóñez
Ubicación: Barrio Mutualista Azuay
Fecha: 5/6/2019
Altura: 2819 m.s.n.m.

Sondeo N°: 5
Profundidad: 2,10 m
Coordenas Datum UTM WGS84:
Zona:17S; E: 717698; N: 9683432

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE

Lectura del deformímetro en divisiones 1 div. = 0,01 mm	Deformímetro de carga en divisiones 1 div. = 0,01 mm	Deformación de la muestra ΔL (mm)	Deformación Unitaria $\Delta L/L_0$	Área Corregida (cm ²)	Carga total sobre la muestra (kgf)	Esfuerzo sobre la muestra (kgf/cm ²)
0	0	0,00	0,0000	10,3206	0,1600	0,02
10	4	0,10	0,0012	10,3329	0,7281	0,07
20	7	0,20	0,0024	10,3452	1,1542	0,11
30	10	0,30	0,0036	10,3575	1,5805	0,15
40	14	0,40	0,0047	10,3699	2,1489	0,21
50	16	0,50	0,0059	10,3822	2,4332	0,23
100	32	1,00	0,0119	10,4446	4,7086	0,45
150	45	1,50	0,0178	10,5077	6,5589	0,62
200	56	2,00	0,0237	10,5716	8,1257	0,77
250	62	2,50	0,0297	10,6362	8,9807	0,84
300	68	3,00	0,0356	10,7017	9,8360	0,92
400	78	4,00	0,0475	10,8350	11,2621	1,04
500	84	5,00	0,0593	10,9718	12,1181	1,10
550	86	5,50	0,0653	11,0414	12,4035	1,12
600	86	6,00	0,0712	11,1120	12,4035	1,12
650	86	6,50	0,0772	11,1834	12,4035	1,11
700	86	7,00	0,0831	11,2558	12,4035	1,10

Ensayo de resistencia a la compresión simple



Datos de la muestra

Diámetro:	3,63	cm
Altura:	8,43	cm
Volumen:	86,95	cm ³
Masa :	145,05	g
Densidad húmeda:	1668	kg/m ³
Contenido de agua (w_{nat}):	53,10	%
Densidad seca:	1090	kg/m ³

Resistencia de la compresión inconfineda, q_u	1,17	kgf/cm ²
	114,74	kN/m ²
C_u ($q_u/2$)	0,59	kgf/cm ²
	57,37	kN/m ²

NOTA: Constante del anillo dinamométrico: $0,16 + (\text{Deformímetro de carga en divisiones}) \times 0,142 + 4,58066 \times 10^{-6} \times (\text{Deformímetro de carga en divisiones})^2 - 3,7276 \times 10^{-9}$

Anexo 5.7 Ensayo de penetración estándar (SPT).

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por: César Salinas, Sebastián Ordóñez Sondeo N°: 5
Ubicación: Barrio Mutualista Azuay Profundidad: 2,10 m.
Fecha: 5/6/2019 Coordenadas Datum UTM WGS84:
Altura: 2819 m.s.n.m. Zona: 17S; E: 717698; N: 9683432

ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT)

N_{SPT} (número de penetración medido)	η_H (Eficiencia del martinete en %)	η_B (Corrección por el diámetro de la perforación)	η_s (Corrección del muestrador)	η_R (Corrección por longitud de la barra)	N_{60} (Número de penetración estándar, corregido por las condiciones en el campo)
10	60	1	1	0,75	8

PERFIL ESTRATIGRAFICO

Técnica de investigación: Ensayo de penetración estándar (SPT)

Cotas de referencia: Nivel del terreno = 2819 m.s.n.m.

Profundidad Final: 2,10 m

Nivel freático: No se encontró

Profundidad (metros)	Cota	Estrato	Gráfico	Descripción del suelo
0,00	2819,00			
0,50	2818,50	1		Capa vegetal, terreno con pasto y raíces, color café claro, ligeramente húmedo.
1,50	2817,50	2		Muestra de color castaño, medianamente húmeda, de consistencia media.
2,10	2816,90	3		Limo inorgánico de alta compresibilidad, de color marrón, con contenido de agua natural de 53,10%, LL de 76,81% y IP de 40,05%

Anexo 5.8 Fotografías.



Foto 9 Ejecución del ensayo SPT.



Foto 10 Muestra obtenida del sondeo.

SONDEO N° 6

Anexo 6.1 Determinación de contenido de agua natural del suelo (ω_{nat}).

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por:	César Salinas, Sebastián Ordóñez	Sondeo N°:	6
Ubicación:	Parque San Vicente Las Caleras	Profundidad:	2,10 m.
Fecha:	3/7/2019	Coordenas Datum UTM WGS84:	
Altura:	2778 m.s.n.m.	Zona:	17S; E: 718279; N: 9682263

DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE AGUA NATURAL DEL SUELO (ω_{nat})

CONTENIDO DE AGUA (ω)				
N° De cápsula	Masa de la cápsula más suelo húmedo (g)	Masa de la cápsula más suelo seco (g)	Masa de la cápsula (g)	Contenido de agua (%)
61	29,42	27,09	16,88	22,82
62	31,14	28,68	17,11	21,26
Contenido de agua promedio =				22,04

Observaciones: El ensayo se realizó a una temperatura de horno a 110 ± 5 °C y respetando la masa mínima recomendable del espécimen, tal como se describe en la norma ASTM D 2216.

Anexo 6.2 Análisis granulométrico.

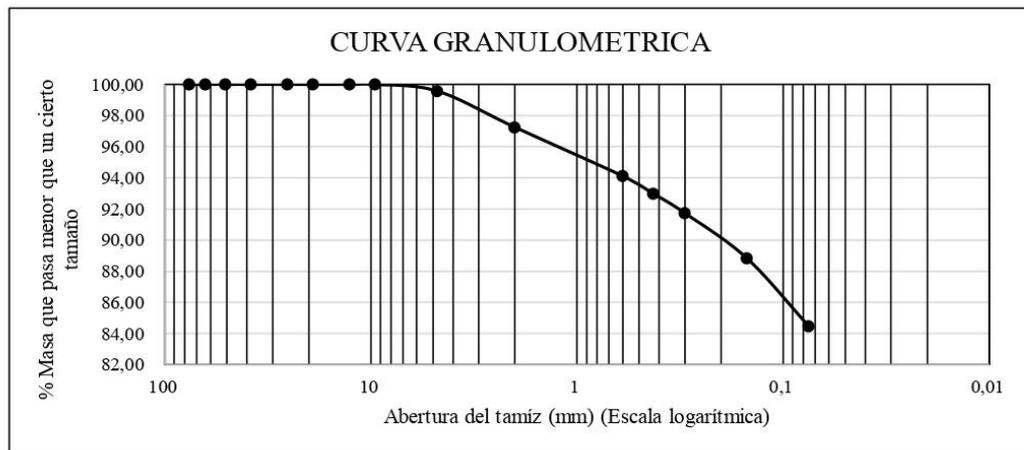
UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por: César Salinas, Sebastián Ordñez	Sondeo N°: 6
Ubicación: Parque San Vicente Las Caleras	Profundidad: 2,10 m.
Fecha: 3/7/2019	Coordenas Datum UTM WGS84:
Altura: 2778 m.s.n.m.	Zona:17S; E: 718279; N: 9682263

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Denominación de tamiz		Masa de suelo retenido en cada tamiz (g)	Masa de suelo retenido acumulado en cada tamiz (g)	% retenido en cada tamiz	% que pasa
Abertura (mm)	Malla N°				
76,200	3 "	0,00	0,00	0,00	100,00
63,500	2 1/2 "	0,00	0,00	0,00	100,00
50,800	2 "	0,00	0,00	0,00	100,00
38,100	1 1/2 "	0,00	0,00	0,00	100,00
25,400	1 "	0,00	0,00	0,00	100,00
19,050	3/4 "	0,00	0,00	0,00	100,00
12,700	1/2 "	0,00	0,00	0,00	100,00
9,525	3/8 "	0,00	0,00	0,00	100,00
4,750	No. 4	1,72	1,72	0,43	99,57
2,000	No. 10	9,18	10,90	2,76	97,24
0,600	No. 30	12,40	23,30	5,89	94,11
0,425	No. 40	4,49	27,79	7,02	92,98
0,300	No. 50	4,90	32,69	8,26	91,74
0,150	No. 100	11,47	44,16	11,16	88,84
0,075	No. 200	17,33	61,49	15,54	84,46

Masa seca del suelo antes del lavado (g):	395,63
Masa seca del suelo después del lavado (g):	62,01
Masa que pasa el tamiz No. 200 (g):	334,04



Anexo 6.3 Límites de consistencia.

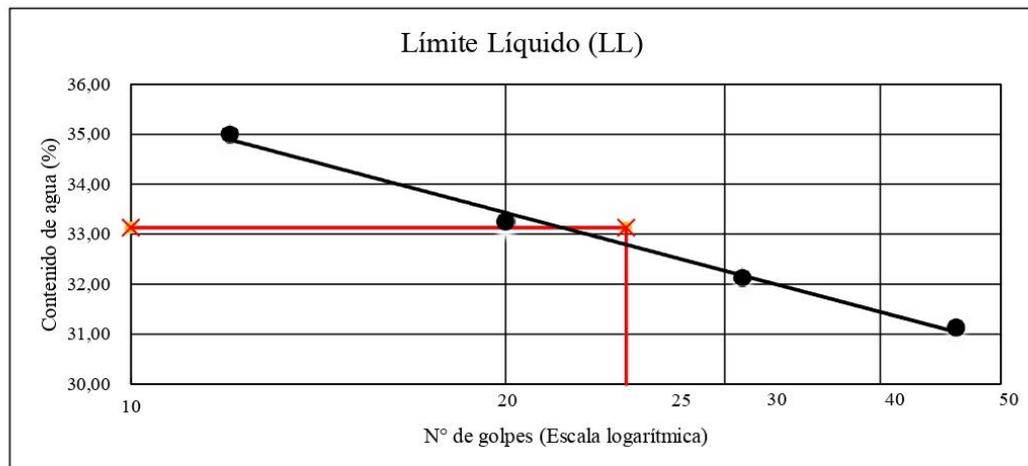
UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por: César Salinas, Sebastián Ordóñez
Ubicación: Parque San Vicente Las Caleras
Fecha: 3/7/2019
Altura: 2778 m.s.n.m.

Sondeo N°: 6
Profundidad: 2,10 m.
Coordenas Datum UTM WGS84:
Zona:17S; E: 718279; N: 9682263

LÍMITES DE CONSISTENCIA

Límite Líquido (LL)					
N° de cápsula	N° de Golpes	Masa de la cápsula con suelo húmedo (g)	Masa de la cápsula con suelo seco (g)	Masa de la cápsula (g)	Contenido de agua (%)
63	46	57,08	50,66	30,04	31,13
64	31	49,12	44,56	30,37	32,14
65	20	49,56	44,91	30,93	33,26
66	12	46,36	42,18	30,24	35,01
Límite Líquido (%) =					33,13



Límite Plástico (LP)				
N° de cápsula	Masa de la cápsula con suelo húmedo (g)	Masa de la cápsula con suelo seco (g)	Masa de la cápsula (g)	Contenido de agua (%)
67	7,08	6,94	6,31	22,22
68	7,64	7,49	6,81	22,06
69	7,56	7,42	6,83	23,73
Límite Plástico (%) =				22,67

Índice de Plasticidad (IP) = LL-LP = 10,46 %

Anexo 6.4 Clasificación de suelos.



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
 FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

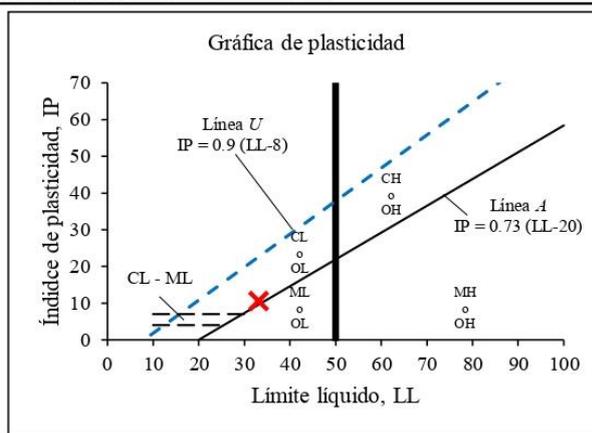
Realizado por:	César Salinas, Sebastián Ordóñez	Sondeo N°:	6
Ubicación:	Parque San Vicente Las Caleras	Profundidad:	2,10 m.
Fecha:	3/7/2019	Coordenas Datum UTM WGS84:	
Altura:	2778 m.s.n.m.	Zona:17S; E: 718279; N: 9682263	

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

Porcentaje que pasa el tamiz núm. 4 = 99,57
 Porcentaje que pasa el tamiz núm. 10 = 97,24
 Porcentaje que pasa el tamiz núm. 40 = 92,98
 Porcentaje que pasa el tamiz núm. 200 = 84,46
 Límite Líquido (LL) = 33,13
 Índice de plasticidad (IP) = 10,46
 Índice de liquidez (IL) = -0,06

De acuerdo al Sistemas Unificado de Clasificación SUCS, el suelo encontrado corresponde a un simbolo de grupo CL, es una arcilla inorgánica de baja compresibilidad.



Sistema de clasificación de suelos de la AASHTO

$$\text{Índice de grupo (IG)} = (F_{200} - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F_{200} - 15)(IP - 10)$$

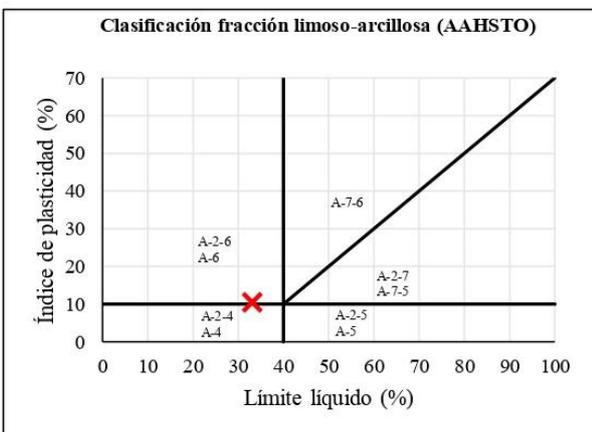
$$IG = 9$$

Materiales de limo y arcilla (más de 35% de la muestra total pasa la malla núm. 200)

Porcentaje que pasa el tamiz núm. 200 = 84,46 > 35%

De acuerdo al Sistemas de clasificación de suelos de la AASHTO, el suelo encontrado corresponde a un grupo de suelo A-6 con un índice de grupo 9 ∴ A-6 (9)

NOTA: Las figuras en esta tabla muestran un rango del límite líquido y el índice de plasticidad de los suelos, descritas en el capítulo 2.4 Clasificación de los Suelos.



Anexo 6.5 Determinación de la gravedad específica.

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por:	César Salinas, Sebastián Ordóñez	Sondeo N°: 6
Ubicación:	Parque San Vicente Las Caleras	Profundidad: 2,10 m.
Fecha:	3/7/2019	Coordenas Datum UTM WGS84:
Altura:	2778 m.s.n.m.	Zona:17S; E: 718279; N: 9682263

DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA

Descripción de la muestra: Muestra de color marrón
 Método de ensayo: Método de prueba en suelos finos.
 Volumen del matraz: 500 ml

	Matraz N°	6
Temperatura de ensayo (°C)	T_e	22
Masa del matraz + agua (g)	m_{fW}	649,56
Masa del matraz + agua + suelo (g)	m_{fsw}	681,42
Masa de los sólidos de suelo (g)	m_s	50,66
Gravedad específica a T°C de ensayo	$G_e = \frac{\rho_s}{\rho_w} = \frac{m_s}{m_{fW} - (m_{fsw} - m_s)}$	2,695
Coefficiente de temperatura	k	0,99957
Gravedad específica a 20°C	$G_{20°C} = k \times G_e$	2,694
Gravedad específica	G_s	2,69
Observaciones: Se procedio a realizar el ensayo a una temperatura de 22° centígrados en laboratorio.		

Anexo 6.6 Ensayo de resistencia a la compresión simple.



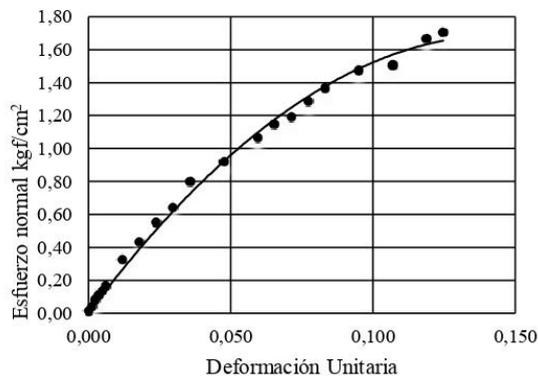
UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por: César Salinas, Sebastián Ordóñez Sondeo N°: 6
Ubicación: Parque San Vicente Las Caleras Profundidad: 2,10 m.
Fecha: 3/7/2019 Coordenadas Datum UTM WGS84:
Altura: 2778 m.s.n.m. Zona: 17S; E: 718279; N: 9682263

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE

Lectura del deformímetro en divisiones 1 div. = 0,01 mm	Deformímetro de carga en divisiones 1 div. = 0,01 mm	Deformación de la muestra ΔL (mm)	Deformación Unitaria $\Delta L/L_0$	Área Corregida (cm ²)	Carga total sobre la muestra (kgf)	Esfuerzo sobre la muestra (kgf/cm ²)
0	0	0,00	0,0000	10,3206	0,1600	0,02
10	2	0,10	0,0012	10,3329	0,4440	0,04
20	5	0,20	0,0024	10,3452	0,8701	0,08
30	7	0,30	0,0036	10,3575	1,1542	0,11
40	9	0,40	0,0047	10,3699	1,4384	0,14
50	11	0,50	0,0059	10,3822	1,7225	0,17
100	23	1,00	0,0119	10,4446	3,4284	0,33
150	31	1,50	0,0178	10,5077	4,5663	0,43
200	40	2,00	0,0237	10,5716	5,8471	0,55
250	47	2,50	0,0297	10,6362	6,8437	0,64
300	59	3,00	0,0356	10,7017	8,5532	0,80
400	69	4,00	0,0475	10,8350	9,9786	0,92
500	81	5,00	0,0593	10,9718	11,6901	1,07
550	88	5,50	0,0653	11,0414	12,6889	1,15
600	92	6,00	0,0712	11,1120	13,2599	1,19
650	100	6,50	0,0772	11,1834	14,4021	1,29
700	107	7,00	0,0831	11,2558	15,4019	1,37
800	117	8,00	0,0950	11,4034	16,8307	1,48
900	121	9,00	0,1068	11,5550	17,4025	1,51
1000	136	10,00	0,1187	11,7106	19,5473	1,67
1050	140	10,50	0,1246	11,7900	20,1196	1,71

Ensayo de resistencia a la compresión simple



Datos de la muestra

Diámetro:	3,63	cm
Altura:	8,43	cm
Volumen:	86,95	cm ³
Masa :	146,05	g
Densidad húmeda:	1680	kg/m ³
Contenido de agua (w_{nat}):	22,04	%
Densidad seca:	1376	kg/m ³
Resistencia de la compresión inconfineda, q_u	1,70	kgf/cm ²
	166,71	kN/m ²
C_u ($q_u/2$)	0,85	kgf/cm ²
	83,36	kN/m ²

NOTA: Constante del anillo dinamométrico: $0,16 + (\text{Deformímetro de carga en divisiones}) \times 0,142 + 4,58066 \times 10^{-6} \times (\text{Deformímetro de carga en divisiones})^2 - 3,7276 \times 10^{-9}$

Anexo 6.7 Ensayo de penetración estándar (SPT).

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por: César Salinas, Sebastián Ordóñez Sondeo N°: 6
Ubicación: Parque San Vicente Las Caleras Profundidad: 2,10 m.
Fecha: 3/7/2019 Coordenas Datum UTM WGS84:
Altura: 2778 m.s.n.m. Zona:17S; E: 718279; N: 9682263

ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT)

N_{SPT} (número de penetración medido)	η_H (Eficiencia del martinete en %)	η_B (Corrección por el diámetro de la perforación)	η_s (Corrección del muestrador)	η_R (Corrección por longitud de la barra)	N_{60} (Número de penetración estándar, corregido por las condiciones en el campo)
6	60	1	1	0,75	5

PERFIL ESTRATIGRAFICO

Técnica de investigación: Ensayo de penetración estándar (SPT)

Cotas de referencia: Nivel del terreno = 2778 m.s.n.m.

Profundidad Final: 2,10 m

Nivel freático: No se encontró

Profundidad (metros)	Cota	Estrato	Gráfico	Descripción del suelo
0,00	2778,00			
0,50	2777,50	1		Capa vegetal, terreno con pasto y raíces, color café claro, ligeramente húmedo.
1,50	2776,50	2		Muestra de color café, medianamente húmeda, de consistencia media.
2,10	2775,90	3		Arcilla inorgánica de baja compresibilidad, de color marrón, con contenido de agua natural de 22,04%, LL de 33,13% y IP de 10,46%

Anexo 6.8 Fotografías.



Foto 11 Ejecución del ensayo SPT.



Foto 12 Muestra obtenida del sondeo.

SONDEO N° 7**Anexo 7.1 Determinación de contenido de agua natural del suelo (w_{nat}).**

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por: César Salinas, Sebastián Ordóñez
Ubicación: Barrio Mall Racar
Fecha: 3/7/2019
Altura: 2804 m.s.n.m.

Sondeo N°: 7
Profundidad: 2,10 m.
Coordenas Datum UTM WGS84:
Zona:17S; E: 718362; N: 9682967

DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE AGUA NATURAL DEL SUELO (w_{nat})

CONTENIDO DE AGUA (w)				
N° De cápsula	Masa de la cápsula más suelo humedo (g)	Masa de la cápsula más suelo seco (g)	Masa de la cápsula (g)	Contenido de agua (%)
71	27,58	23,60	16,63	57,10
72	25,26	22,67	17,14	46,84
Contenido de agua promedio =				51,97

Observaciones: El ensayo se realizó a una temperatura de horno a 110 ± 5 °C y respetando la masa mínima recomendable del espécimen, tal como se describe en la norma ASTM D 2216.

Anexo 7.2 Análisis granulométrico.

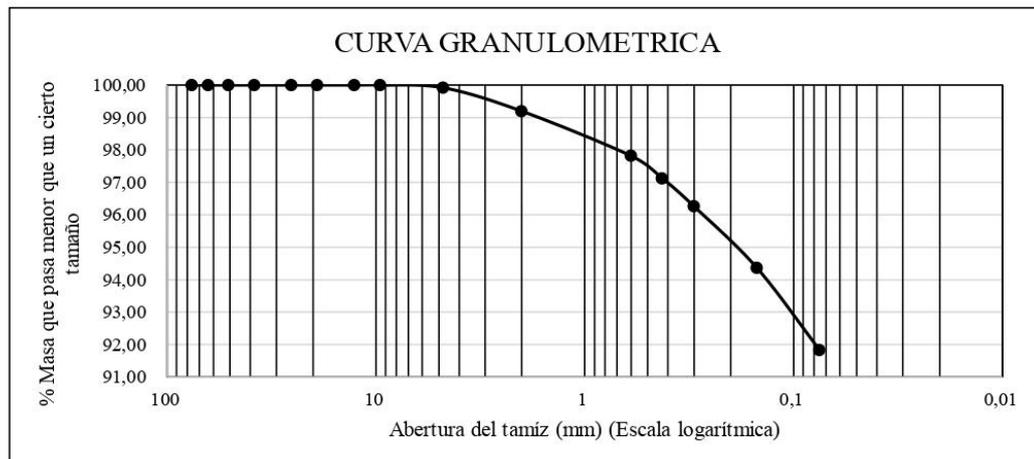
UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por: César Salinas, Sebastián Ordóñez Sondeo N°: 7
Ubicación: Barrio Mall Racar Profundidad: 2,10 m.
Fecha: 3/7/2019 Coordenadas Datum UTM WGS84:
Altura: 2804 m.s.n.m. Zona: 17S; E: 718362; N: 9682967

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Denominación de tamiz		Masa de suelo retenido en cada tamiz (g)	Masa de suelo retenido acumulado en cada tamiz (g)	% retenido en cada tamiz	% que pasa
Abertura (mm)	Malla N°				
76,200	3 "	0,00	0,00	0,00	100,00
63,500	2 1/2 "	0,00	0,00	0,00	100,00
50,800	2 "	0,00	0,00	0,00	100,00
38,100	1 1/2 "	0,00	0,00	0,00	100,00
25,400	1 "	0,00	0,00	0,00	100,00
19,050	3/4 "	0,00	0,00	0,00	100,00
12,700	1/2 "	0,00	0,00	0,00	100,00
9,525	3/8 "	0,00	0,00	0,00	100,00
4,750	No. 4	0,31	0,31	0,08	99,92
2,000	No. 10	2,65	2,96	0,81	99,19
0,600	No. 30	5,05	8,01	2,18	97,82
0,425	No. 40	2,54	10,55	2,88	97,12
0,300	No. 50	3,16	13,71	3,74	96,26
0,150	No. 100	6,95	20,66	5,63	94,37
0,075	No. 200	9,31	29,97	8,17	91,83

Masa seca del suelo antes del lavado (g):	366,71
Masa seca del suelo después del lavado (g):	30,22
Masa que pasa el tamiz No. 200 (g):	337,39



Anexo 7.3 Límites de consistencia.

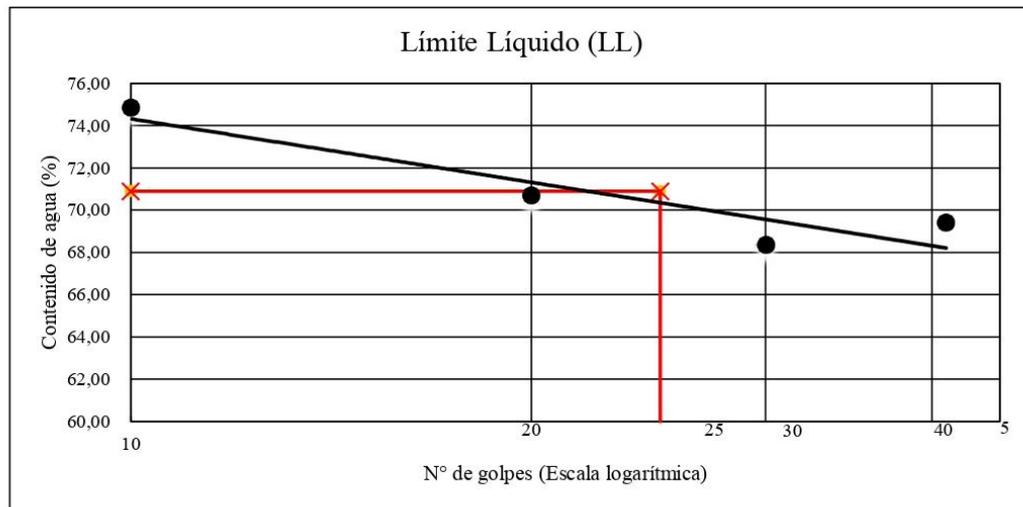
UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por: César Salinas, Sebastián Ordóñez
Ubicación: Barrio Mall Racar
Fecha: 3/7/2019
Altura: 2804 m.s.n.m.

Sondeo N°: 7
Profundidad: 2,10 m.
Coordenas Datum UTM WGS84:
Zona:17S; E: 718362; N: 9682967

LÍMITES DE CONSISTENCIA

Límite Líquido (LL)					
N° de cápsula	N° de Golpes	Masa de la cápsula con suelo húmedo (g)	Masa de la cápsula con suelo seco (g)	Masa de la cápsula (g)	Contenido de agua (%)
73	41	52,32	43,28	30,26	69,43
74	30	47,67	40,82	30,80	68,36
75	20	45,54	39,14	30,09	70,72
76	10	45,56	38,88	29,96	74,89
Limite Liquido (%) =					70,90



Límite Plástico (LP)				
N° de cápsula	Masa de la cápsula con suelo húmedo (g)	Masa de la cápsula con suelo seco (g)	Masa de la cápsula (g)	Contenido de agua (%)
77	6,90	6,76	6,32	31,82
78	7,45	7,28	6,72	30,36
79	6,96	6,81	6,25	26,79
Limite Plástico (%) =				29,65

Índice de Plasticidad (IP) = LL-LP = 41,24 %

Anexo 7.4 Clasificación de suelos.



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
 FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

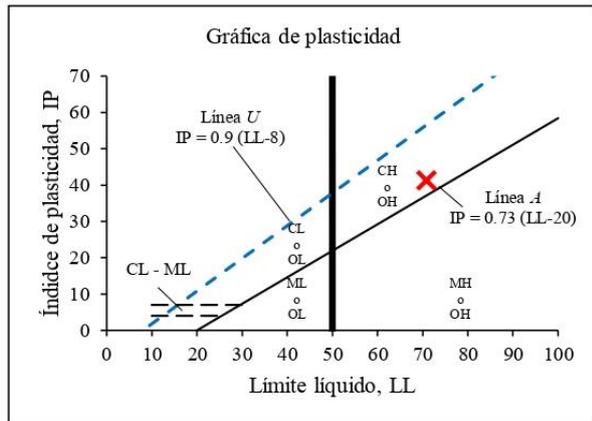
Realizado por:	César Salinas, Sebastián Ordóñez	Sondeo N°:	7
Ubicación:	Barrio Mall Racar	Profundidad:	2,10 m.
Fecha:	3/7/2019	Coordenas Datum UTM WGS84:	
Altura:	2804 m.s.n.m.	Zona:	17S; E: 718362; N: 9682967

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

Porcentaje que pasa el tamiz núm. 4 = 99,92
 Porcentaje que pasa el tamiz núm. 10 = 99,19
 Porcentaje que pasa el tamiz núm. 40 = 97,12
 Porcentaje que pasa el tamiz núm. 200 = 91,83
 Límite Líquido (LL) = 70,90
 Índice de plasticidad (IP) = 41,24
 Índice de liquidez (IL) = 0,54

De acuerdo al Sistemas Unificado de Clasificación SUCS, el suelo encontrado corresponde a un símbolo de grupo CH, es una arcilla inorgánica de alta compresibilidad.



Sistema de clasificación de suelos de la AASHTO

$$\text{Índice de grupo (IG)} = (F_{200} - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F_{200} - 15)(IP - 10)$$

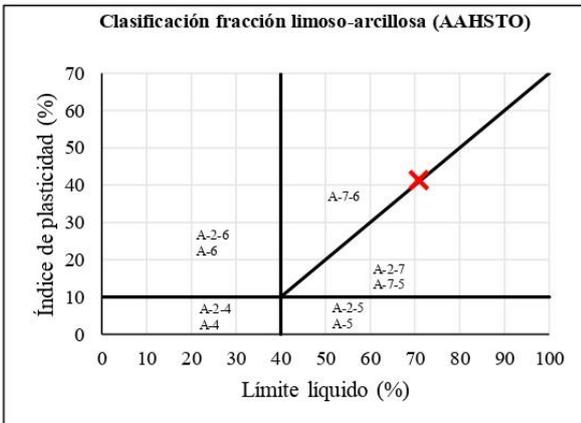
$$IG = 44$$

Materiales de limo y arcilla (más de 35% de la muestra total pasa la malla núm. 200)

Porcentaje que pasa el tamiz núm. 200 = 91,83 > 35%

De acuerdo al Sistemas de clasificación de suelos de la AASHTO, el suelo encontrado corresponde a un grupo de suelo A-7-6 con un índice de grupo 44 ∴ A-7-6 (44)

NOTA: Las figuras en esta tabla muestran un rango del límite líquido y el índice de plasticidad de los suelos, descritas en el capítulo 2.4 Clasificación de los Suelos.



Anexo 7.5 Determinación de la gravedad específica.

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por: César Salinas, Sebastián Ordóñez Sondeo N°: 7
Ubicación: Barrio Mall Racar Profundidad: 2,10 m.
Fecha: 3/7/2019 Coordenadas Datum UTM WGS84:
Altura: 2804 m.s.n.m. Zona:17S; E: 718362; N: 9682967

DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA

Descripción de la muestra: Muestra de color marrón
Método de ensayo: Método de prueba en suelos finos.
Volumen del matraz: 500 ml

Matraz N°		7
Temperatura de ensayo (°C)	T_e	22
Masa del matraz + agua (g)	m_{fw}	651,95
Masa del matraz + agua + suelo (g)	m_{fsw}	683,03
Masa de los sólidos de suelo (g)	m_s	49,62
Gravedad específica a T°C de ensayo	$G_e = \frac{\rho_s}{\rho_w} = \frac{m_s}{m_{fw} - (m_{fsw} - m_s)}$	2,676
Coficiente de temperatura	k	0,99957
Gravedad específica a 20°C	$G_{20°C} = k \times G_e$	2,675
Gravedad específica	G_s	2,68
Observaciones: Se procedio a realizar el ensayo a una temperatura de 22° centígrados en laboratorio.		

Anexo 7.6 Ensayo de resistencia a la compresión simple.



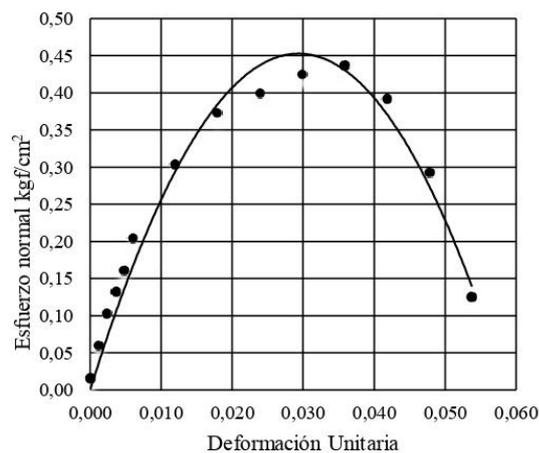
UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por: César Salinas, Sebastián Ordóñez Sondeo N°: 7
Ubicación: Barrio Mall Racar Profundidad: 2,10 m.
Fecha: 3/7/2019 Coordenadas Datum UTM WGS84:
Altura: 2804 m.s.n.m. Zona: 17S; E: 718362; N: 9682967

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE

Lectura del deformímetro en divisiones 1 div. = 0,01 mm	Deformímetro de carga en divisiones 1 div. = 0,01 mm	Deformación de la muestra ΔL (mm)	Deformación Unitaria $\Delta L/L_0$	Área Corregida (cm ²)	Carga total sobre la muestra (kgf)	Esfuerzo sobre la muestra (kgf/cm ²)
0	0	0,00	0,0000	9,7591	0,1600	0,02
10	3	0,10	0,0012	9,7707	0,5860	0,06
20	6	0,20	0,0024	9,7824	1,0122	0,10
30	8	0,30	0,0036	9,7941	1,2963	0,13
40	10	0,40	0,0048	9,8059	1,5805	0,16
50	13	0,50	0,0060	9,8177	2,0068	0,20
100	20	1,00	0,0119	9,8770	3,0018	0,30
150	25	1,50	0,0179	9,9370	3,7128	0,37
200	27	2,00	0,0239	9,9978	3,9973	0,40
250	29	2,50	0,0299	10,0593	4,2818	0,43
300	30	3,00	0,0358	10,1216	4,4240	0,44
350	27	3,50	0,0418	10,1847	3,9973	0,39
400	20	4,00	0,0478	10,2485	3,0018	0,29
450	8	4,50	0,0537	10,3132	1,2963	0,13

Ensayo de resistencia a la compresión simple



Datos de la muestra

Diámetro:	3,53	cm
Altura:	8,38	cm
Volumen:	81,73	cm ³
Masa :	140,40	g
Densidad húmeda:	1718	kg/m ³
Contenido de agua (w_{nat}):	51,97	%
Densidad seca:	1130	kg/m ³

Resistencia de la compresión inconfínada, q_u	0,46	kgf/cm ²
	45,11	kN/m ²
C_u	0,23	kgf/cm ²
($q_u/2$)	22,56	kN/m ²

NOTA: Constante del anillo dinamométrico: $0,16 + (\text{Deformímetro de carga en divisiones}) \times 0,142 + 4,58066 \times 10^{-6} \times (\text{Deformímetro de carga en divisiones})^2 - 3,7276 \times 10^{-9}$

Anexo 7.7 Ensayo de penetración estándar (SPT).

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por:	César Salinas, Sebastián Ordóñez	Sondeo N°:	7
Ubicación:	Barrio Mall Racar	Profundidad:	2,10 m.
Fecha:	3/7/2019	Coordenas Datum UTM WGS84:	
Altura:	2804 m.s.n.m.	Zona:	17S; E: 718362; N: 9682967

ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT)

N_{SPT} (número de penetración medido)	η_H (Eficiencia del martinete en %)	η_B (Corrección por el diámetro de la perforación)	η_s (Corrección del muestrador)	η_R (Corrección por longitud de la barra)	N_{60} (Número de penetración estándar, corregido por las condiciones en el campo)
12	60	1	1	0,75	9

PERFIL ESTRATIGRAFICO

Técnica de investigación: Ensayo de penetración estándar (SPT)

Cotas de referencia: Nivel del terreno = 2804 m.s.n.m.

Profundidad Final: 2,10 m

Nivel freático: No se encontró

Profundidad (metros)	Cota	Estrato	Gráfico	Descripción del suelo
0,00	2804,00			
0,50	2803,50	1		Capa vegetal, terreno con pasto y raíces, color café claro, ligeramente húmedo.
1,50	2802,50	2		Muestra de color marrón, medianamente húmeda, de consistencia media.
2,10	2801,90	3		Arcilla inorgánica de alta compresibilidad, de color marrón, con contenido de agua natural de 51,97%, LL de 70,90% y IP de 41,24%

Anexo 7.8 Fotografías.



Foto 13 Ejecución del ensayo SPT.



Foto 14 Muestra obtenida del sondeo.

SONDEO N° 8**Anexo 8.1 Determinación de contenido de agua natural del suelo (ω_{nat}).**

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por:	César Salinas, Sebastián Ordóñez	Sondeo N°:	8
Ubicación:	Urb. Magisterio de Profesores	Profundidad:	2,10 m.
Fecha:	3/7/2019	Coordenas Datum UTM WGS84:	
Altura:	2804 m.s.n.m.	Zona:	17S; E: 718492; N: 9682672

DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE AGUA NATURAL DEL SUELO (ω_{nat})

CONTENIDO DE AGUA (ω)				
N° De cápsula	Masa de la cápsula más suelo humedo (g)	Masa de la cápsula más suelo seco (g)	Masa de la cápsula (g)	Contenido de agua (%)
81	27,70	24,07	16,52	48,08
82	32,47	27,62	17,94	50,10
Contenido de agua promedio =				49,09

Observaciones: El ensayo se realizó a una temperatura de horno a 110 ± 5 °C y respetando la masa mínima recomendable del espécimen, tal como se describe en la norma ASTM D 2216.

Anexo 8.2 Análisis granulométrico.

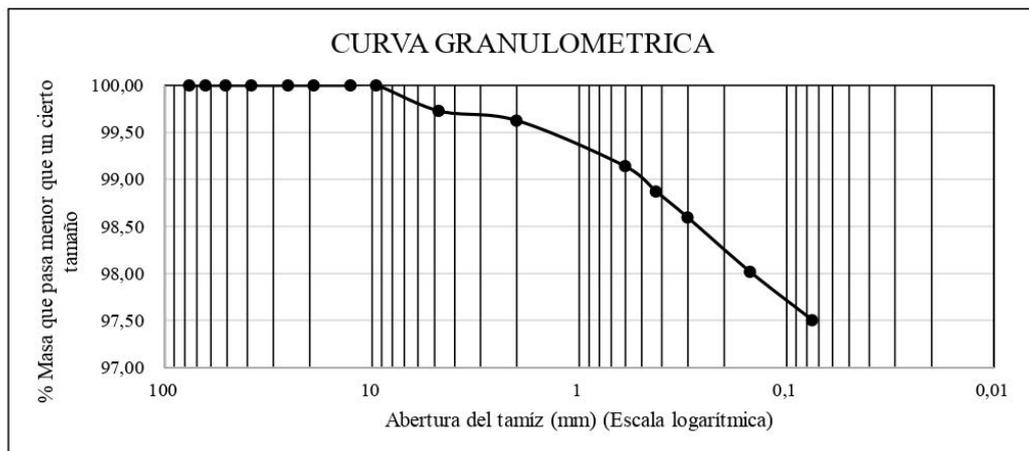
UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por: César Salinas, Sebastián Ordóñez	Sondeo N°: 8
Ubicación: Urb. Magisterio de Profesores	Profundidad: 2,10 m.
Fecha: 3/7/2019	Coordenas Datum UTM WGS84:
Altura: 2804 m.s.n.m.	Zona:17S; E: 718492; N: 9682672

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Denominación de tamiz		Masa de suelo retenido en cada tamiz (g)	Masa de suelo retenido acumulado en cada tamiz (g)	% retenido en cada tamiz	% que pasa
Abertura (mm)	Malla N°				
76,200	3 "	0,00	0,00	0,00	100,00
63,500	2 1/2 "	0,00	0,00	0,00	100,00
50,800	2 "	0,00	0,00	0,00	100,00
38,100	1 1/2 "	0,00	0,00	0,00	100,00
25,400	1 "	0,00	0,00	0,00	100,00
19,050	3/4 "	0,00	0,00	0,00	100,00
12,700	1/2 "	0,00	0,00	0,00	100,00
9,525	3/8 "	0,00	0,00	0,00	100,00
4,750	No. 4	0,96	0,96	0,27	99,73
2,000	No. 10	0,36	1,32	0,37	99,63
0,600	No. 30	1,72	3,04	0,86	99,14
0,425	No. 40	0,95	3,99	1,13	98,87
0,300	No. 50	0,97	4,96	1,40	98,60
0,150	No. 100	2,04	7,00	1,98	98,02
0,075	No. 200	1,82	8,82	2,50	97,50

Masa seca del suelo antes del lavado (g):	353,09
Masa seca del suelo después del lavado (g):	8,74
Masa que pasa el tamiz No. 200 (g):	344,35



Anexo 8.3 Límites de consistencia.

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por: César Salinas, Sebastián Ordóñez

Sondeo N°: 8

Ubicación: Urb. Magisterio de Profesores

Profundidad: 2,10 m.

Fecha: 3/7/2019

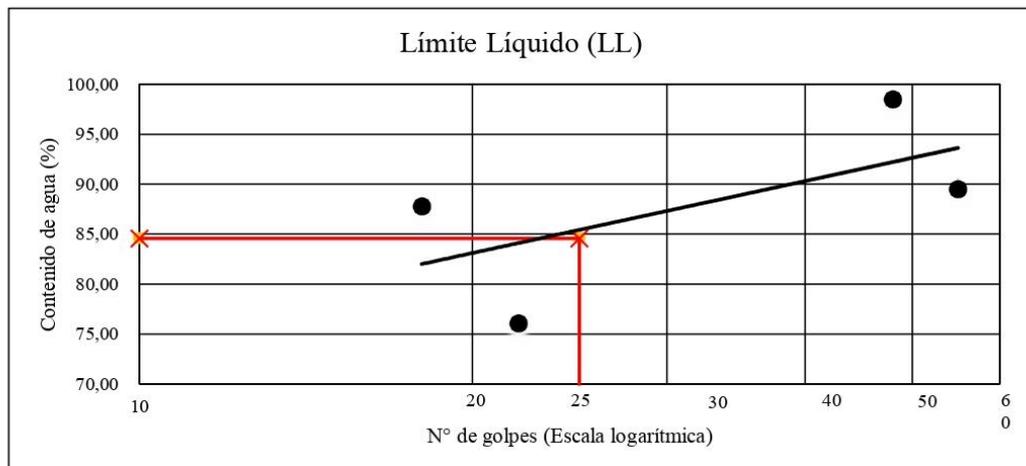
Coordenas Datum UTM WGS84:

Altura: 2804 m.s.n.m.

Zona:17S; E: 718492; N: 9682672

LÍMITES DE CONSISTENCIA

Límite Líquido (LL)					
N° de cápsula	N° de Golpes	Masa de la cápsula con suelo húmedo (g)	Masa de la cápsula con suelo seco (g)	Masa de la cápsula (g)	Contenido de agua (%)
83	55	46,91	38,85	29,85	89,56
84	48	45,58	37,81	29,92	98,48
85	22	47,86	40,29	30,34	76,08
86	18	47,27	39,56	30,78	87,81
Límite Líquido (%) =					84,57



Límite Plástico (LP)				
N° de cápsula	Masa de la cápsula con suelo húmedo (g)	Masa de la cápsula con suelo seco (g)	Masa de la cápsula (g)	Contenido de agua (%)
87	7,53	7,33	6,80	37,74
88	7,51	7,31	6,75	35,71
89	7,10	6,87	6,18	33,33
Límite Plástico (%) =				35,59

Índice de Plasticidad (IP) = LL-LP = 48,97 %

Anexo 8.4 Clasificación de suelos.



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
 FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

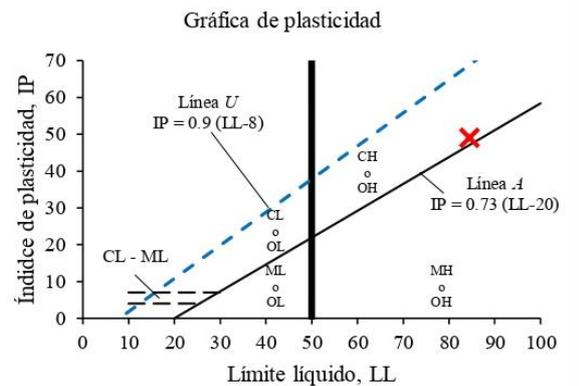
Realizado por:	César Salinas, Sebastián Ordóñez	Sondeo N°:	8
Ubicación:	Urb. Magisterio de Profesores	Profundidad:	2,10 m.
Fecha:	3/7/2019	Coordenas Datum UTM WGS84:	
Altura:	2804 m.s.n.m.	Zona:	17S; E: 718492; N: 9682672

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

Porcentaje que pasa el tamiz núm. 4 = 99,73
 Porcentaje que pasa el tamiz núm. 10 = 99,63
 Porcentaje que pasa el tamiz núm. 40 = 98,87
 Porcentaje que pasa el tamiz núm. 200 = 97,50
 Límite Líquido (LL) = 84,57
 Índice de plasticidad (IP) = 48,97
 Índice de liquidez (IL) = 0,28

De acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación SUCS, el suelo encontrado corresponde a un símbolo de grupo CH, es una arcilla inorgánica de alta compresibilidad.



Sistema de clasificación de suelos de la AASHTO

$$\text{Índice de grupo (IG)} = (F_{200} - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F_{200} - 15)(IP - 10)$$

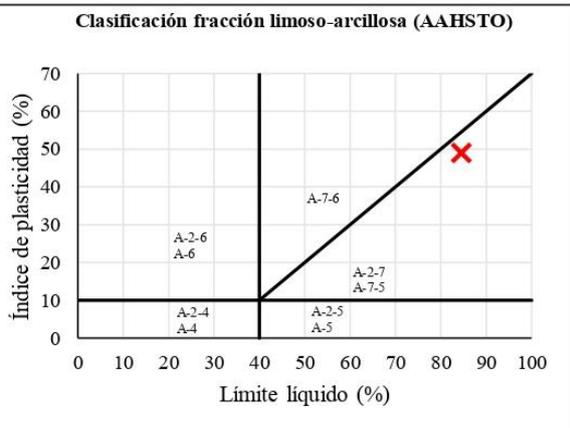
$$IG = 59$$

Materiales de limo y arcilla (más de 35% de la muestra total pasa la malla núm. 200)

$$\text{Porcentaje que pasa el tamiz núm. 200} = 97,5 > 35\%$$

De acuerdo al Sistema de clasificación de suelos de la AASHTO, el suelo encontrado corresponde a un grupo de suelo A-7-5 con un índice de grupo 59 ∴ A-7-5 (59)

NOTA: Las figuras en esta tabla muestran un rango del límite líquido y el índice de plasticidad de los suelos, descritas en el capítulo 2.4 Clasificación de los Suelos.



Anexo 8.5 Determinación de la gravedad específica.

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por:	César Salinas, Sebastián Ordóñez	Sondeo N°: 8
Ubicación:	Urb. Magisterio de Profesores	Profundidad: 2,10 m.
Fecha:	3/7/2019	Coordenas Datum UTM WGS84:
Altura:	2804 m.s.n.m.	Zona:17S; E: 718492; N: 9682672

DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA

Descripción de la muestra: Muestra de color marrón
 Método de ensayo: Método de prueba en suelos finos.
 Volumen del matraz: 500 ml

	Matraz N°	
Temperatura de ensayo (°C)	T_e	22
Masa del matraz + agua (g)	m_{fw}	651,79
Masa del matraz + agua + suelo (g)	m_{fsw}	682,03
Masa de los sólidos de suelo (g)	m_s	48,38
Gravedad específica a T°C de ensayo	$G_e = \frac{\rho_s}{\rho_w} = \frac{m_s}{m_{fw} - (m_{fsw} - m_s)}$	2,667
Coefficiente de temperatura	k	0,99957
Gravedad específica a 20°C	$G_{20°C} = k \times G_e$	2,666
Gravedad específica	G_s	2,67
Observaciones: <u>Se procedio a realizar el ensayo a una temperatura de 22° centígrados en laboratorio.</u>		

Anexo 8.6 Ensayo de resistencia a la compresión simple.

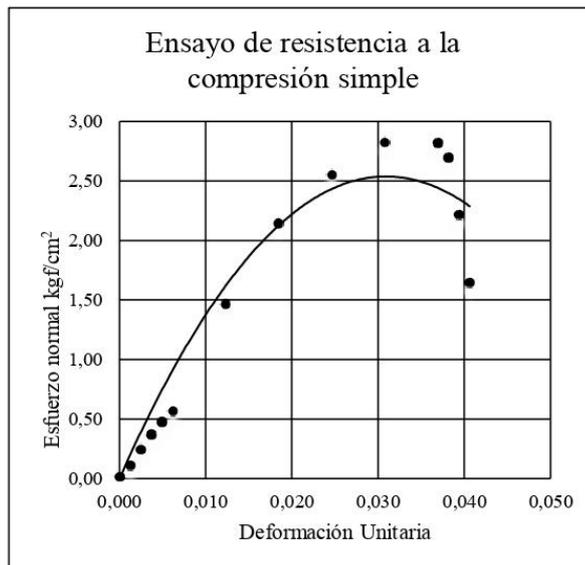


UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por: César Salinas, Sebastián Ordóñez Sondeo N°: 8
Ubicación: Urb. Magisterio de Profesores Profundidad: 2,10 m.
Fecha: 3/7/2019 Coordenadas Datum UTM WGS84:
Altura: 2804 m.s.n.m. Zona: 17S; E: 718492; N: 9682672

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE

Lectura del deformímetro en divisiones 1 div. = 0,01 mm	Deformímetro de carga en divisiones 1 div. = 0,01 mm	Deformación de la muestra ΔL (mm)	Deformación Unitaria $\Delta L/L_0$	Área Corregida (cm ²)	Carga total sobre la muestra (kgf)	Esfuerzo sobre la muestra (kgf/cm ²)
0	0	0,00	0,0000	9,2132	0,1600	0,02
10	6	0,10	0,0012	9,2246	1,0122	0,11
20	15	0,20	0,0025	9,2359	2,2910	0,25
30	23	0,30	0,0037	9,2474	3,4284	0,37
40	30	0,40	0,0049	9,2588	4,4240	0,48
50	36	0,50	0,0062	9,2703	5,2778	0,57
100	95	1,00	0,0123	9,3280	13,6881	1,47
150	140	1,50	0,0185	9,3865	20,1196	2,14
200	168	2,00	0,0246	9,4457	24,1276	2,55
250	187	2,50	0,0308	9,5057	26,8498	2,82
300	188	3,00	0,0369	9,5664	26,9931	2,82
310	180	3,10	0,0382	9,5787	25,8467	2,70
320	148	3,20	0,0394	9,5909	21,2643	2,22
330	110	3,30	0,0406	9,6033	15,8305	1,65



Datos de la muestra		
Diámetro:	3,43	cm
Altura:	8,13	cm
Volumen:	74,86	cm ³
Masa :	140,40	g
Densidad húmeda:	1876	kg/m ³
Contenido de agua (w_{nat}):	49,09	%
Densidad seca:	1258	kg/m ³

Resistencia de la compresión inconfínada, q_u	2,51	kgf/cm ²
	246,15	kN/m ²
C_u	1,26	kgf/cm ²
$(q_u/2)$	123,07	kN/m ²

NOTA: Constante del anillo dinamométrico: $0,16 + (\text{Deformímetro de carga en divisiones}) \times 0,142 + 4,58066 \times 10^{-6} \times (\text{Deformímetro de carga en divisiones})^2 - 3,7276 \times 10^{-9}$

Anexo 8.7 Ensayo de penetración estándar (SPT).

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por: César Salinas, Sebastián Ordóñez Sondeo N°: 8
Ubicación: Urb. Magisterio de Profesores Profundidad: 2,10 m.
Fecha: 3/7/2019 Coordenadas Datum UTM WGS84:
Altura: 2804 m.s.n.m. Zona: 17S; E: 718492; N: 9682672

ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT)

N_{SPT} (número de penetración medido)	η_H (Eficiencia del martinete en %)	η_B (Corrección por el diámetro de la perforación)	η_s (Corrección del muestrador)	η_R (Corrección por longitud de la barra)	N_{60} (Número de penetración estándar, corregido por las condiciones en el campo)
13	60	1	1	0,75	10

PERFIL ESTRATIGRAFICO

Técnica de investigación: Ensayo de penetración estándar (SPT)

Cotas de referencia: Nivel del terreno = 2804 m.s.n.m.

Profundidad Final: 2,10 m

Nivel freático: No se encontró

Profundidad (metros)	Cota	Estrato	Gráfico	Descripción del suelo
0,00	2804,00			
0,50	2803,50	1		Capa vegetal, terreno con pasto y raíces, color café claro, ligeramente húmedo.
1,50	2802,50	2		Muestra de color marrón, medianamente húmeda, de consistencia media.
2,10	2801,90	3		Arcilla inorgánica de alta compresibilidad, de color marrón, con contenido de agua natural de 49,09%, LL de 84,57% y IP de 48,97%

Anexo 8.8 Fotografías.



Foto 15 Ejecución del ensayo SPT.



Foto 16 Muestra obtenida del sondeo.

SONDEO N° 9

Anexo 9.1 Determinación de contenido de agua natural del suelo (ω_{nat}).

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por:	César Salinas, Sebastián Ordóñez	Sondeo N°:	9
Ubicación:	Urb. 3 de Noviembre	Profundidad:	2,10 m.
Fecha:	28/6/2019	Coordenas Datum UTM WGS84:	
Altura:	2768 m.s.n.m.	Zona:	17S; E: 718148; N: 9682159

DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE AGUA NATURAL DEL SUELO (ω_{nat})

CONTENIDO DE AGUA (ω)				
N° De cápsula	Masa de la cápsula más suelo humedo (g)	Masa de la cápsula más suelo seco (g)	Masa de la cápsula (g)	Contenido de agua (%)
91	33,05	30,01	16,55	22,59
92	27,88	24,64	17,12	43,09
Contenido de agua promedio =				32,84

Observaciones: El ensayo se realizó a una temperatura de horno a 110 ± 5 °C y respetando la masa mínima recomendable del espécimen, tal como se describe en la norma ASTM D 2216.

Anexo 9.2 Análisis granulométrico.



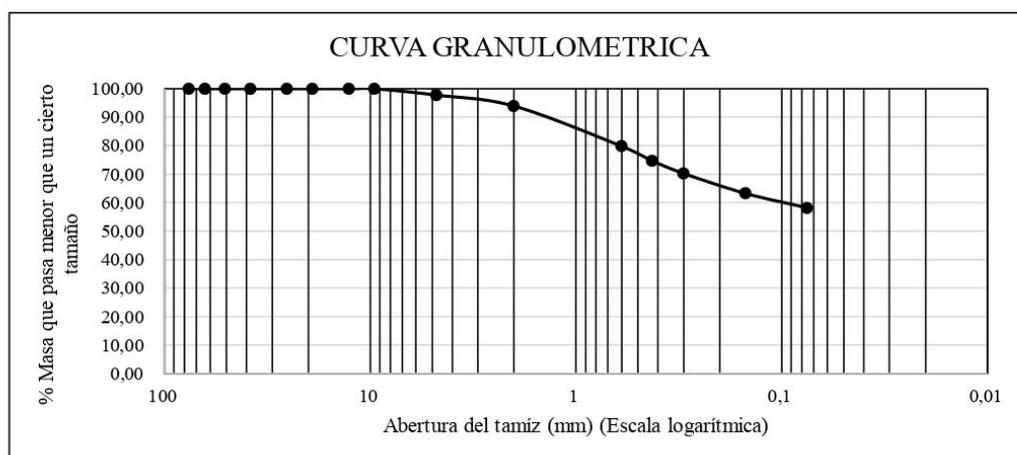
UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por: César Salinas, Sebastián Ordóñez Sondeo N°: 9
Ubicación: Urb. 3 de Noviembre Profundidad: 2,10 m.
Fecha: 28/6/2019 Coordenas Datum UTM WGS84:
Altura: 2768 m.s.n.m. Zona: 17S; E: 718148; N: 9682159

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Denominación de tamiz		Masa de suelo retenido en cada tamiz (g)	Masa de suelo retenido acumulado en cada tamiz (g)	% retenido en cada tamiz	% que pasa
Abertura (mm)	Malla N°				
76,200	3 "	0,00	0,00	0,00	100,00
63,500	2 1/2 "	0,00	0,00	0,00	100,00
50,800	2 "	0,00	0,00	0,00	100,00
38,100	1 1/2 "	0,00	0,00	0,00	100,00
25,400	1 "	0,00	0,00	0,00	100,00
19,050	3/4 "	0,00	0,00	0,00	100,00
12,700	1/2 "	0,00	0,00	0,00	100,00
9,525	3/8 "	0,00	0,00	0,00	100,00
4,750	No. 4	9,42	9,42	2,25	97,75
2,000	No. 10	16,10	25,52	6,09	93,91
0,600	No. 30	59,14	84,66	20,19	79,81
0,425	No. 40	21,65	106,31	25,36	74,64
0,300	No. 50	18,39	124,70	29,75	70,25
0,150	No. 100	29,47	154,17	36,77	63,23
0,075	No. 200	21,17	175,34	41,82	58,18

Masa seca del suelo antes del lavado (g):	419,23
Masa seca del suelo después del lavado (g):	175,74
Masa que pasa el tamiz No. 200 (g):	243,69



Anexo 9.3 Límites de consistencia.

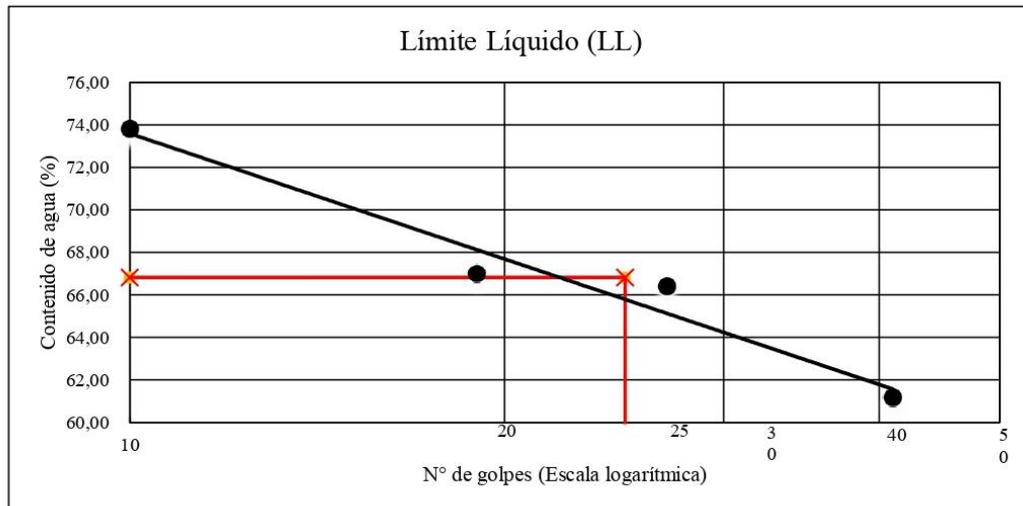
UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por: César Salinas, Sebastián Ordóñez
Ubicación: Urb. 3 de Noviembre
Fecha: #####
Altura: 2768 m.s.n.m.

Sondeo N°: 9
Profundidad: 2,10 m.
Coordenas Datum UTM WGS84:
Zona:17S; E: 718148; N: 9682159

LÍMITES DE CONSISTENCIA

Límite Líquido (LL)					
N° de cápsula	N° de Golpes	Masa de la cápsula con suelo húmedo (g)	Masa de la cápsula con suelo seco (g)	Masa de la cápsula (g)	Contenido de agua (%)
93	41	51,68	44,02	31,50	61,18
94	27	48,55	41,43	30,71	66,42
95	19	52,26	43,34	30,03	67,02
96	10	49,37	41,25	30,25	73,82
Límite Líquido (%) =					66,83



Límite Plástico (LP)				
N° de cápsula	Masa de la cápsula con suelo húmedo (g)	Masa de la cápsula con suelo seco (g)	Masa de la cápsula (g)	Contenido de agua (%)
97	6,82	6,66	6,19	34,04
98	7,30	7,15	6,69	32,61
99	6,86	6,70	6,18	30,77
Límite Plástico (%) =				32,47

Índice de Plasticidad (IP) = LL-LP = 34,35 %

Anexo 9.4 Clasificación de suelos.



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
 FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

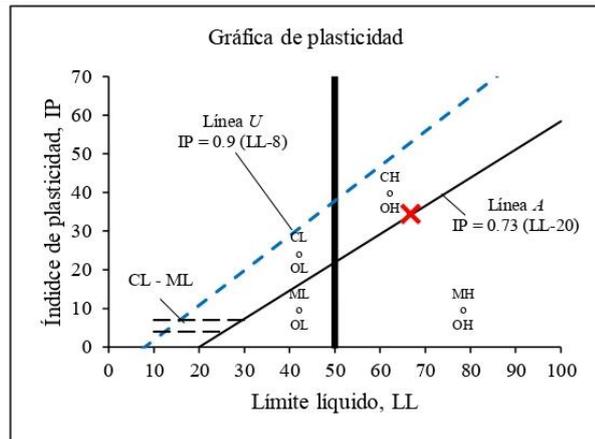
Realizado por:	César Salinas, Sebastián Ordóñez	Sondeo N°:	9
Ubicación:	Urb. 3 de Noviembre	Profundidad:	2,10 m.
Fecha:	28/6/2019	Coordenas Datum UTM WGS84:	
Altura:	2768 m.s.n.m.	Zona:	17S; E: 718148; N: 9682159

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

Porcentaje que pasa el tamiz núm. 4 = 97,75
 Porcentaje que pasa el tamiz núm. 10 = 93,91
 Porcentaje que pasa el tamiz núm. 40 = 74,64
 Porcentaje que pasa el tamiz núm. 200 = 58,18
 Límite Líquido (LL) = 66,83
 Índice de plasticidad (IP) = 34,35
 Índice de liquidez (IL) = 0,01

De acuerdo al Sistemas Unificado de Clasificación SUCS, el suelo encontrado corresponde a un símbolo de grupo CH, es una arcilla inorgánica de alta compresibilidad.



Sistema de clasificación de suelos de la AASHTO

$$\text{Índice de grupo (IG)} = (F_{200} - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F_{200} - 15)(IP - 10)$$

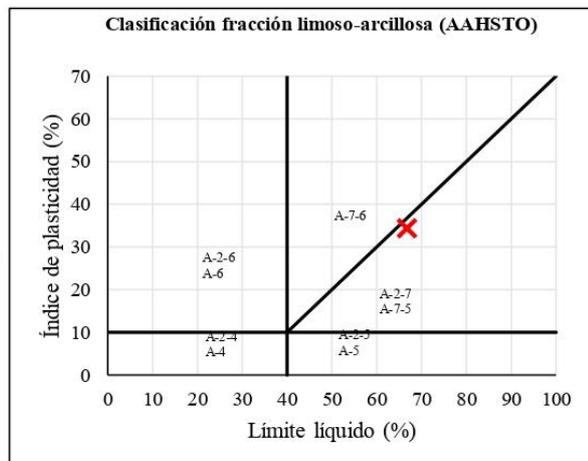
$$IG = 18$$

Materiales de limo y arcilla (más de 35% de la muestra total pasa la malla núm. 200)

$$\text{Porcentaje que pasa el tamiz núm. 200} = 58,18 > 35\%$$

De acuerdo al Sistemas de clasificación de suelos de la AASHTO, el suelo encontrado corresponde a un grupo de suelo A-7-5 con un índice de grupo 18 ∴ A-7-5 (18)

NOTA: Las figuras en esta tabla muestran un rango del límite líquido y el índice de plasticidad de los suelos, descritas en el capítulo 2.4 Clasificación de los Suelos.



Anexo 9.5 Determinación de la gravedad específica.

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por:	César Salinas, Sebastián Ordóñez	Sondeo N°:	9
Ubicación:	Urb. 3 de Noviembre	Profundidad:	2,10 m.
Fecha:	28/6/2019	Coordenas Datum UTM WGS84:	
Altura:	2768 m.s.n.m.	Zona:	17S; E: 718148; N: 9682159

DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA

Descripción de la muestra: Muestra de color marrón
 Método de ensayo: Método de prueba en suelos finos.
 Volumen del matraz: 500 ml

	Matraz N°	
Temperatura de ensayo (°C)	T_e	22
Masa del matraz + agua (g)	m_{fw}	673,37
Masa del matraz + agua + suelo (g)	m_{fsw}	705,09
Masa de los sólidos de suelo (g)	m_s	50,71
Gravedad específica a T°C de ensayo	$G_e = \frac{\rho_s}{\rho_w} = \frac{m_s}{m_{fw} - (m_{fsw} - m_s)}$	2,670
Coefficiente de temperatura	k	0,99957
Gravedad específica a 20°C	$G_{20°C} = k \times G_e$	2,669
Gravedad específica	G_s	2,67
Observaciones: Se procedió a realizar el ensayo a una temperatura de 22° centígrados en laboratorio.		

Anexo 9.6 Ensayo de resistencia a la compresión simple.

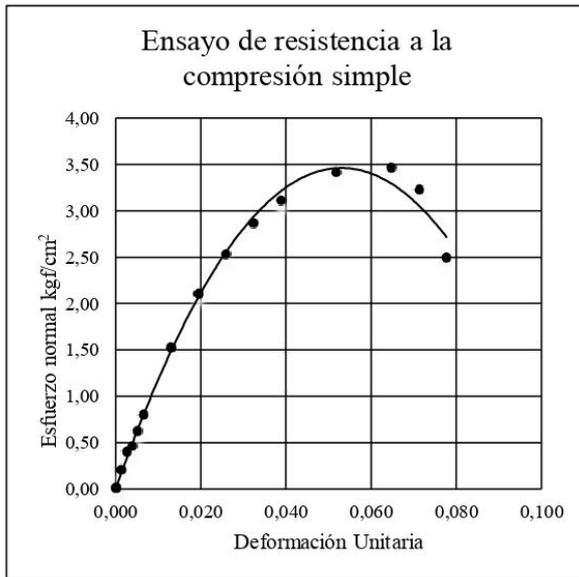


UNIVERSIDAD DEL AZUAY
 FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por:	César Salinas, Sebastián Ordóñez	Sondeo N°:	9
Ubicación:	Urb. 3 de Noviembre	Profundidad:	2,10 m.
Fecha:	28/6/2019	Coordenas Datum UTM WGS84:	
Altura:	2768 m.s.n.m.	Zona:17S; E: 718148; N: 9682159	

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE

Lectura del deformímetro en divisiones 1 div. = 0,01 mm	Deformímetro de carga en divisiones 1 div. = 0,01 mm	Deformación de la muestra ΔL (mm)	Deformación Unitaria ΔL/L ₀	Área Corregida (cm ²)	Carga total sobre la muestra (kgf)	Esfuerzo sobre la muestra (kgf/cm ²)
0	0	0,00	0,0000	9,4842	0,1600	0,02
10	13	0,10	0,0013	9,4965	2,0068	0,21
20	26	0,20	0,0026	9,5088	3,8550	0,41
30	30	0,30	0,0039	9,5211	4,4240	0,46
40	41	0,40	0,0052	9,5335	5,9894	0,63
50	53	0,50	0,0065	9,5460	7,6983	0,81
100	102	1,00	0,0129	9,6086	14,6877	1,53
150	142	1,50	0,0194	9,6720	20,4057	2,11
200	172	2,00	0,0259	9,7362	24,7005	2,54
250	196	2,50	0,0324	9,8014	28,1399	2,87
300	214	3,00	0,0388	9,8674	30,7212	3,11
400	238	4,00	0,0518	10,0021	34,1652	3,42
500	245	5,00	0,0647	10,1405	35,1701	3,47
550	230	5,50	0,0712	10,2112	33,0170	3,23
600	179	6,00	0,0777	10,2828	25,7034	2,50



Datos de la muestra		
Diámetro:	3,48	cm
Altura:	7,73	cm
Volumen:	73,27	cm ³
Masa :	133,97	g
Densidad húmeda:	1829	kg/m ³
Contenido de agua (w _{nat}):	32,84	%
Densidad seca:	1377	kg/m ³

Resistencia de la compresión inconfiada, q _u	3,49	kgf/cm ²
C _u (q _u /2)	342,25	kN/m ²
	1,75	kgf/cm ²
	171,13	kN/m ²

NOTA: Constante del anillo dinamométrico: $0,16 + (\text{Deformímetro de carga en divisiones}) \times 0,142 + 4,58066 \times 10^{-6} \times (\text{Deformímetro de carga en divisiones})^2 - 3,7276 \times 10^{-9}$

Anexo 9.7 Ensayo de penetración estándar (SPT).

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por:	César Salinas, Sebastián Ordóñez	Sondeo N°:	9
Ubicación:	Urb. 3 de Noviembre	Profundidad:	2,10 m.
Fecha:	28/6/2019	Coordenas Datum UTM WGS84:	
Altura:	2768 m.s.n.m.	Zona:	17S; E: 718148; N: 9682159

ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT)

N_{SPT} (número de penetración medido)	η_H (Eficiencia del martinete en %)	η_B (Corrección por el diámetro de la perforación)	η_s (Corrección del muestrador)	η_R (Corrección por longitud de la barra)	N_{60} (Número de penetración estándar, corregido por las condiciones en el campo)
22	60	1	1	0,75	17

PERFIL ESTRATIGRAFICO

Técnica de investigación: Ensayo de penetración estándar (SPT)

Cotas de referencia: Nivel del terreno = 2768 m.s.n.m.

Profundidad Final: 2,10 m

Nivel freático: No se encontró

Profundidad (metros)	Cota	Estrato	Gráfico	Descripción del suelo
0,00	2768,00			
0,50	2767,50	1		Capa vegetal, terreno con pasto y raíces, color café claro, ligeramente húmedo.
1,50	2766,50	2		Muestra de color pardo, medianamente húmeda, de consistencia media.
2,10	2765,90	3		Arcilla inorgánica de alta compresibilidad, de color marrón, con contenido de agua natural de 32,84%, LL de 66,83% y IP de 34,35%

Anexo 9.8 Fotografías.



Foto 17 Ejecución del ensayo SPT.



Foto 18 Muestra obtenida del sondeo.

SONDEO N° 10**Anexo 10.1 Determinación de contenido de agua natural del suelo (ω_{nat}).**

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por:	César Salinas, Sebastián Ordóñez	Sondeo N°:	10
Ubicación:	Urb. 3 de Noviembre	Profundidad:	2,10 m.
Fecha:	28/6/2019	Coordenas Datum UTM WGS84:	
Altura:	2766 m.s.n.m.	Zona:	17S; E: 718106; N: 9682184

DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE AGUA NATURAL DEL SUELO (ω_{nat})

CONTENIDO DE AGUA (ω)				
N° De cápsula	Masa de la cápsula más suelo húmedo (g)	Masa de la cápsula más suelo seco (g)	Masa de la cápsula (g)	Contenido de agua (%)
101	25,29	22,87	16,86	40,27
102	23,48	21,73	17,15	38,21
Contenido de agua promedio =				39,24

Observaciones: El ensayo se realizó a una temperatura de horno a 110 ± 5 °C y respetando la masa mínima recomendable del espécimen, tal como se describe en la norma ASTM D 2216.

Anexo 10.2 Análisis granulométrico.

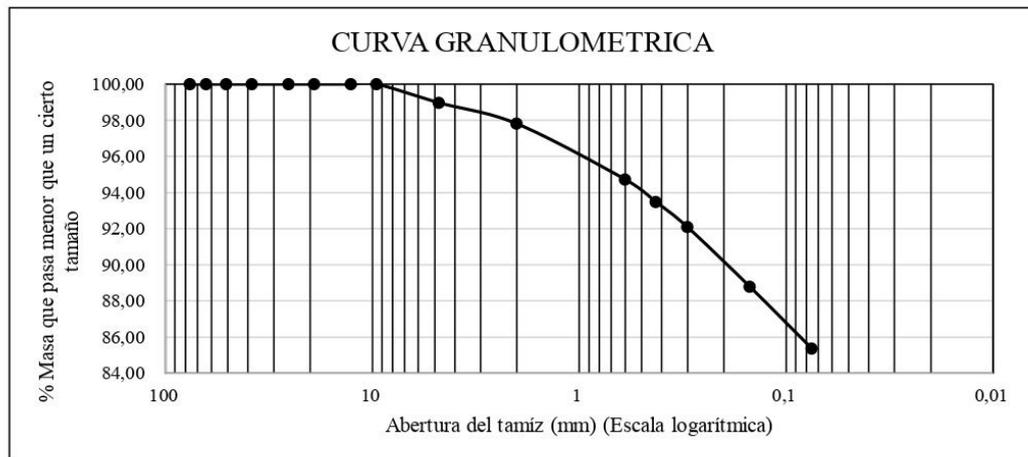
UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por: César Salinas, Sebastián Ordóñez Sondeo N°: 10
Ubicación: Urb. 3 de Noviembre Profundidad: 2,10 m.
Fecha: 28/6/2019 Coordenas Datum UTM WGS84:
Altura: 2766 m.s.n.m. Zona: 17S; E: 718106; N: 9682184

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Denominación de tamiz		Masa de suelo retenido en cada tamiz (g)	Masa de suelo retenido acumulado en cada tamiz (g)	% retenido en cada tamiz	% que pasa
Abertura (mm)	Malla N°				
76,200	3 "	0,00	0,00	0,00	100,00
63,500	2 1/2 "	0,00	0,00	0,00	100,00
50,800	2 "	0,00	0,00	0,00	100,00
38,100	1 1/2 "	0,00	0,00	0,00	100,00
25,400	1 "	0,00	0,00	0,00	100,00
19,050	3/4 "	0,00	0,00	0,00	100,00
12,700	1/2 "	0,00	0,00	0,00	100,00
9,525	3/8 "	0,00	0,00	0,00	100,00
4,750	No. 4	5,60	5,60	1,03	98,97
2,000	No. 10	6,30	11,90	2,19	97,81
0,600	No. 30	16,71	28,61	5,27	94,73
0,425	No. 40	6,79	35,40	6,52	93,48
0,300	No. 50	7,53	42,93	7,91	92,09
0,150	No. 100	17,88	60,81	11,21	88,79
0,075	No. 200	18,68	79,49	14,65	85,35

Masa seca del suelo antes del lavado (g):	542,69
Masa seca del suelo después del lavado (g):	79,84
Masa que pasa el tamiz No. 200 (g):	463,13



Anexo 10.3 Límites de consistencia.



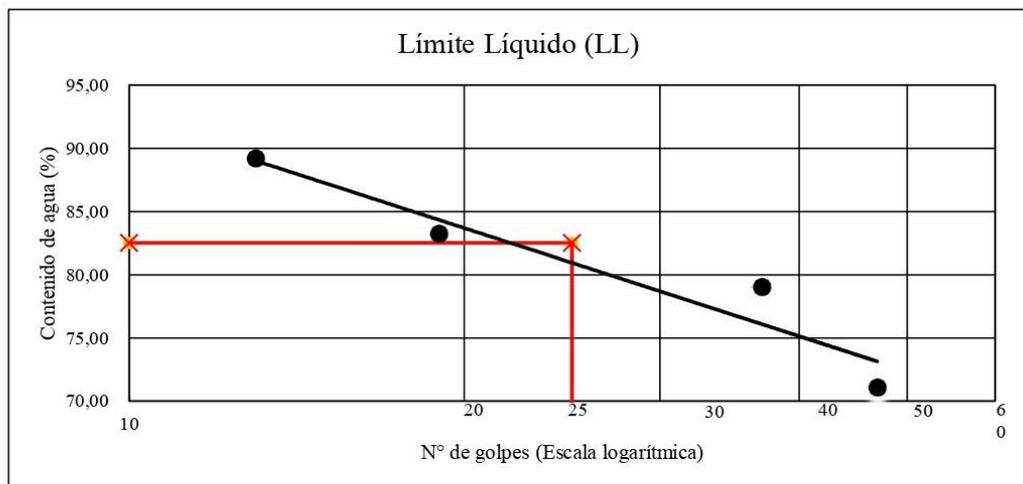
UNIVERSIDAD DEL AZUAY
 FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por: César Salinas, Sebastián Ordóñez
 Ubicación: Urb. 3 de Noviembre
 Fecha: #####
 Altura: 2766 m.s.n.m.

Sondeo N°: 10
 Profundidad: 2,10 m.
 Coordenadas Datum UTM WGS84:
 Zona:17S; E: 718106; N: 9682184

LÍMITES DE CONSISTENCIA

Límite Líquido (LL)					
N° de cápsula	N° de Golpes	Masa de la cápsula con suelo húmedo (g)	Masa de la cápsula con suelo seco (g)	Masa de la cápsula (g)	Contenido de agua (%)
103	47	45,82	39,36	30,27	71,07
104	37	42,47	36,89	29,83	79,04
105	19	40,11	35,74	30,49	83,24
106	13	47,12	39,09	30,09	89,22
Límite Líquido (%) =					82,51



Límite Plástico (LP)				
N° de cápsula	Masa de la cápsula con suelo húmedo (g)	Masa de la cápsula con suelo seco (g)	Masa de la cápsula (g)	Contenido de agua (%)
107	7,58	7,34	6,70	37,50
108	7,34	7,16	6,67	36,73
109	7,67	7,44	6,85	38,98
Límite Plástico (%) =				37,74

Índice de Plasticidad (IP) = LL-LP = 44,78 %

Anexo 10.4 Clasificación de suelos.



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
 FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

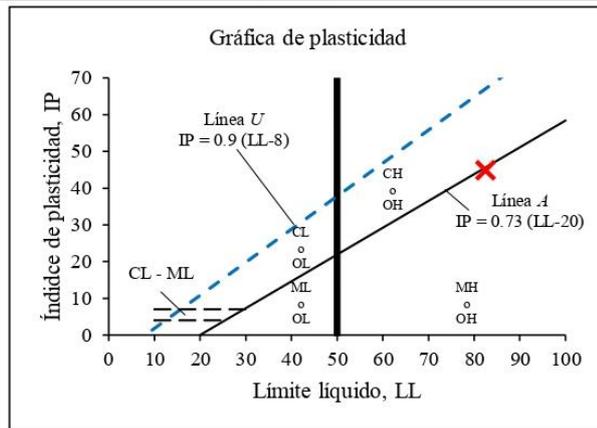
Realizado por: César Salinas, Sebastián Ordóñez Sondeo N°: 10
 Ubicación: Urb. 3 de Noviembre Profundidad: 2,10 m.
 Fecha: 28/6/2019 Coordenadas Datum UTM WGS84:
 Altura: 2766 m.s.n.m. Zona: 17S; E: 718106; N: 9682184

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

Porcentaje que pasa el tamiz núm. 4 = 98,97
 Porcentaje que pasa el tamiz núm. 10 = 97,81
 Porcentaje que pasa el tamiz núm. 40 = 93,48
 Porcentaje que pasa el tamiz núm. 200 = 85,35
 Límite Líquido (LL) = 82,51
 Índice de plasticidad (IP) = 44,78
 Índice de liquidez (IL) = 0,03

De acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación SUCS, el suelo encontrado corresponde a un símbolo de grupo MH, es un limo inorgánico de alta compresibilidad.



Sistema de clasificación de suelos de la AASHTO

$$\text{Índice de grupo (IG)} = (F_{200} - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F_{200} - 15)(IP - 10)$$

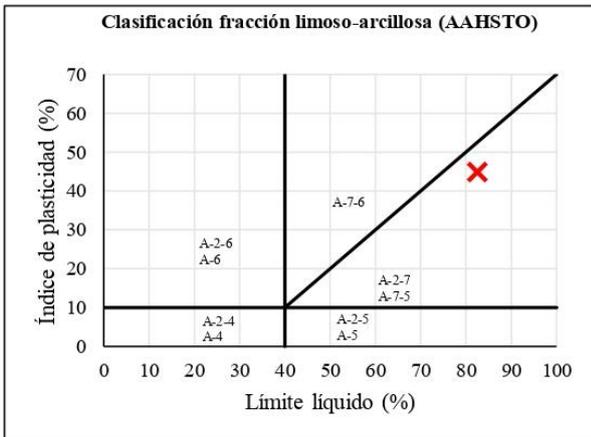
$$IG = 45$$

Materiales de limo y arcilla (más de 35% de la muestra total pasa la malla núm. 200)

$$\text{Porcentaje que pasa el tamiz núm. 200} = 85,35 > 35\%$$

De acuerdo al Sistema de clasificación de suelos de la AASHTO, el suelo encontrado corresponde a un grupo de suelo A-7-5 con un índice de grupo 45 ∴ A-7-5 (45)

NOTA: Las figuras en esta tabla muestran un rango del límite líquido y el índice de plasticidad de los suelos, descritas en el capítulo 2.4 Clasificación de los Suelos.



Anexo 10.5 Determinación de la gravedad específica.

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por:	César Salinas, Sebastián Ordóñez	Sondeo N°: 10
Ubicación:	Urb. 3 de Noviembre	Profundidad: 2,10 m.
Fecha:	28/6/2019	Coordenas Datum UTM WGS84:
Altura:	2766 m.s.n.m.	Zona:17S; E: 718106; N: 9682184

DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA

Descripción de la muestra: Muestra de color marrón
 Método de ensayo: Método de prueba en suelos finos.
 Volumen del matraz: 500 ml

	Matraz N°	
Temperatura de ensayo (°C)	T_e	22
Masa del matraz + agua (g)	m_{fw}	648,34
Masa del matraz + agua + suelo (g)	m_{fsw}	680,59
Masa de los sólidos de suelo (g)	m_s	52,02
Gravedad específica a T°C de ensayo	$G_e = \frac{\rho_s}{\rho_w} = \frac{m_s}{m_{fw} - (m_{fsw} - m_s)}$	2,631
Coefficiente de temperatura	k	0,99957
Gravedad específica a 20°C	$G_{20°C} = k \times G_e$	2,630
Gravedad específica	G_s	2,63
Observaciones: <u>Se procedio a realizar el ensayo a una temperatura de 22° centígrados en laboratorio.</u>		

Anexo 10.6 Ensayo de resistencia a la compresión simple.

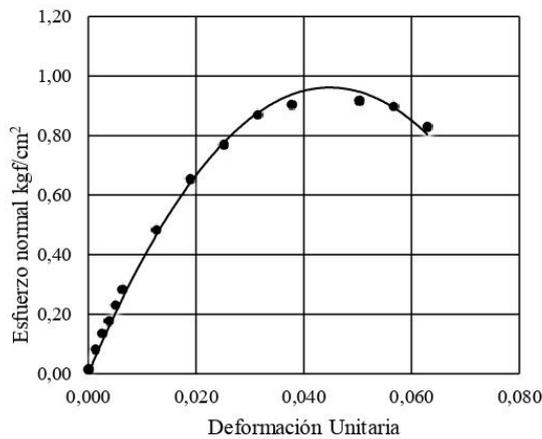
UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por: César Salinas, Sebastián Ordñez	Sondeo N°: 10
Ubicación: Urb. 3 de Noviembre	Profundidad: 2,10 m.
Fecha: 28/6/2019	Coordenas Datum UTM WGS84:
Altura: 2766 m.s.n.m.	Zona:17S; E: 718106; N: 9682184

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE

Lectura del deformímetro en divisiones 1 div. = 0,01 mm	Deformímetro de carga en divisiones 1 div. = 0,01 mm	Deformación de la muestra ΔL (mm)	Deformación Unitaria $\Delta L/L_0$	Área Corregida (cm ²)	Carga total sobre la muestra (kgf)	Esfuerzo sobre la muestra (kgf/cm ²)
0	0	0,00	0,0000	10,4635	0,1600	0,02
10	5	0,10	0,0013	10,4766	0,8701	0,08
20	9	0,20	0,0025	10,4899	1,4384	0,14
30	12	0,30	0,0038	10,5031	1,8647	0,18
40	16	0,40	0,0050	10,5164	2,4332	0,23
50	20	0,50	0,0063	10,5297	3,0018	0,29
100	35	1,00	0,0126	10,5968	5,1355	0,48
150	48	1,50	0,0189	10,6647	6,9861	0,66
200	57	2,00	0,0252	10,7335	8,2682	0,77
250	65	2,50	0,0314	10,8032	9,4083	0,87
300	68	3,00	0,0377	10,8738	9,8360	0,90
400	70	4,00	0,0503	11,0178	10,1212	0,92
450	69	4,50	0,0566	11,0913	9,9786	0,90
500	64	5,00	0,0629	11,1657	9,2658	0,83

Ensayo de resistencia a la compresión simple



Datos de la muestra

Diámetro:	3,65	cm
Altura:	7,95	cm
Volumen:	83,18	cm ³
Masa :	142,62	g
Densidad húmeda:	1715	kg/m ³
Contenido de agua (w_{nat}):	39,24	%
Densidad seca:	1231	kg/m ³

Resistencia de la compresión inconfiada, q_u	0,95	kgf/cm ²
C_u	93,16	kN/m ²
$(q_u/2)$	0,48	kgf/cm ²
	46,58	kN/m ²

NOTA: Constante del anillo dinamométrico: $0,16 + (\text{Deformímetro de carga en divisiones}) \times 0,142 + 4,58066 \times 10^{-6} \times (\text{Deformímetro de carga en divisiones})^2 - 3,7276 \times 10^{-9}$

Anexo 10.7 Ensayo de penetración estándar (SPT).

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por:	César Salinas, Sebastián Ordóñez	Sondeo N°:	10
Ubicación:	Urb. 3 de Noviembre	Profundidad:	2,10 m.
Fecha:	28/6/2019	Coordenas Datum UTM WGS84:	
Altura:	2766 m.s.n.m.	Zona:	17S; E: 718106; N: 9682184

ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT)

N_{SPT} (número de penetración medido)	η_H (Eficiencia del martinete en %)	η_B (Corrección por el diámetro de la perforación)	η_s (Corrección del muestrador)	η_R (Corrección por longitud de la barra)	N_{60} (Número de penetración estándar, corregido por las condiciones en el campo)
13	60	1	1	0,75	10

PERFIL ESTRATIGRAFICO

Técnica de investigación: Ensayo de penetración estándar (SPT)

Cotas de referencia: Nivel del terreno = 2766 m.s.n.m.

Profundidad Final: 2,10 m

Nivel freático: No se encontró

Profundidad (metros)	Cota	Estrato	Gráfico	Descripción del suelo
0,00	2766,00			
0,50	2765,50	1		Capa vegetal, terreno con pasto y raíces, color café claro, ligeramente húmedo.
1,50	2764,50	2		Muestra de color cobrizo, medianamente húmeda, de consistencia media.
2,10	2763,90	3		Limo inorgánico de alta compresibilidad, de color marrón, con contenido de agua natural de 39,24%, LL de 82,51% y IP de 44,78%

Anexo 10.8 Fotografías.



Foto 19 Ejecución del ensayo SPT.



Foto 20 Muestra obtenida del sondeo.

SONDEO N° 11

Anexo 11.1 Determinación de contenido de agua natural del suelo (ω_{nat}).

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por:	César Salinas, Sebastián Ordóñez	Sondeo N°:	11
Ubicación:	Urb. 3 de Noviembre	Profundidad:	2,10 m.
Fecha:	28/6/2019	Coordenas Datum UTM WGS84:	
Altura:	2764 m.s.n.m.	Zona:	17S; E: 718060; N: 9682166

DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE AGUA NATURAL DEL SUELO (ω_{nat})

CONTENIDO DE AGUA (ω)				
N° De cápsula	Masa de la cápsula más suelo humedo (g)	Masa de la cápsula más suelo seco (g)	Masa de la cápsula (g)	Contenido de agua (%)
111	27,23	24,66	17,02	33,64
112	28,12	25,22	16,52	33,33
Contenido de agua promedio =				33,49

Observaciones: El ensayo se realizó a una temperatura de horno a 110 ± 5 °C y respetando la masa mínima recomendable del espécimen, tal como se describe en la norma ASTM D 2216.

Anexo 11.2 Análisis granulométrico.

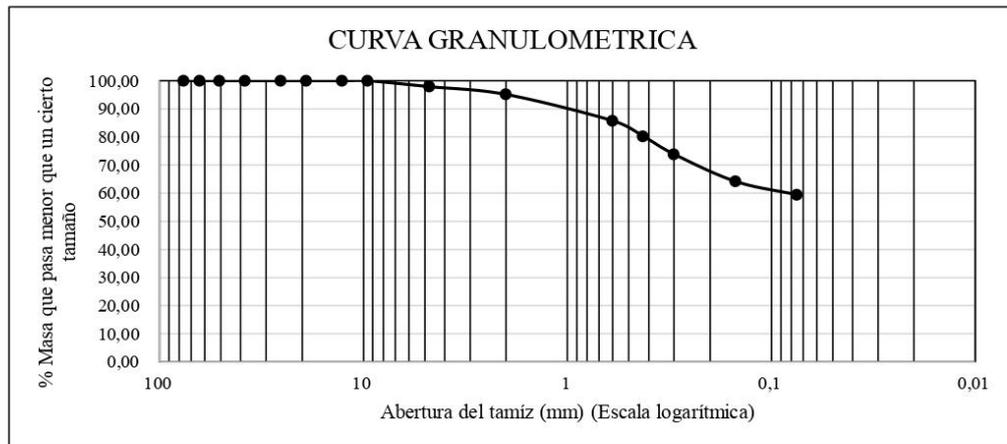
UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por:	César Salinas, Sebastián Ordóñez	Sondeo N°:	11
Ubicación:	Urb. 3 de Noviembre	Profundidad:	2,10 m.
Fecha:	28/6/2019	Coordenas Datum UTM WGS84:	
Altura:	2764 m.s.n.m.	Zona:17S; E: 718060; N: 9682166	

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Denominación de tamiz	Masa de suelo retenido en cada tamiz (g)	Masa de suelo retenido acumulado en cada tamiz (g)	% retenido en cada tamiz	% que pasa
Abertura (mm)	Malla N°			
76,200	3 "	0,00	0,00	100,00
63,500	2 1/2 "	0,00	0,00	100,00
50,800	2 "	0,00	0,00	100,00
38,100	1 1/2 "	0,00	0,00	100,00
25,400	1 "	0,00	0,00	100,00
19,050	3/4 "	0,00	0,00	100,00
12,700	1/2 "	0,00	0,00	100,00
9,525	3/8 "	0,00	0,00	100,00
4,750	No. 4	7,68	7,68	97,89
2,000	No. 10	10,06	17,74	95,12
0,600	No. 30	34,02	51,76	85,76
0,425	No. 40	20,01	71,77	80,26
0,300	No. 50	23,25	95,02	73,86
0,150	No. 100	35,15	130,17	64,19
0,075	No. 200	17,23	147,40	59,46

Masa seca del suelo antes del lavado (g):	363,55
Masa seca del suelo después del lavado (g):	147,99
Masa que pasa el tamiz No. 200 (g):	215,76



Anexo 11.3 Límites de consistencia.



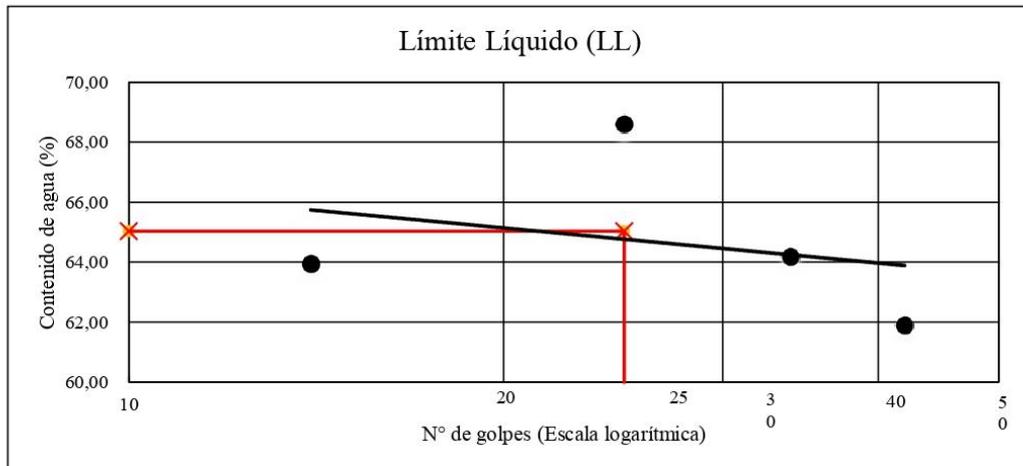
UNIVERSIDAD DEL AZUAY
 FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por: César Salinas, Sebastián Ordóñez
 Ubicación: Urb. 3 de Noviembre
 Fecha: #####
 Altura: 2764 m.s.n.m.

Sondeo N°: 11
 Profundidad: 2,10 m.
 Coordenadas Datum UTM WGS84:
 Zona: 17S; E: 718060; N: 9682166

LÍMITES DE CONSISTENCIA

Límite Líquido (LL)					
N° de cápsula	N° de Golpes	Masa de la cápsula con suelo húmedo (g)	Masa de la cápsula con suelo seco (g)	Masa de la cápsula (g)	Contenido de agua (%)
113	42	43,46	38,52	30,54	61,90
114	34	43,00	38,07	30,39	64,19
115	25	58,68	46,99	29,95	68,60
116	14	43,59	38,59	30,77	63,94
Límite Líquido (%) =					65,03



Límite Plástico (LP)				
N° de cápsula	Masa de la cápsula con suelo húmedo (g)	Masa de la cápsula con suelo seco (g)	Masa de la cápsula (g)	Contenido de agua (%)
117	7,28	7,19	6,86	27,27
118	6,62	6,53	6,18	25,71
119	6,61	6,53	6,22	25,81
Límite Plástico (%) =				26,26

Índice de Plasticidad (IP) = LL-LP = 38,77 %

Anexo 11.4 Clasificación de suelos.



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
 FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

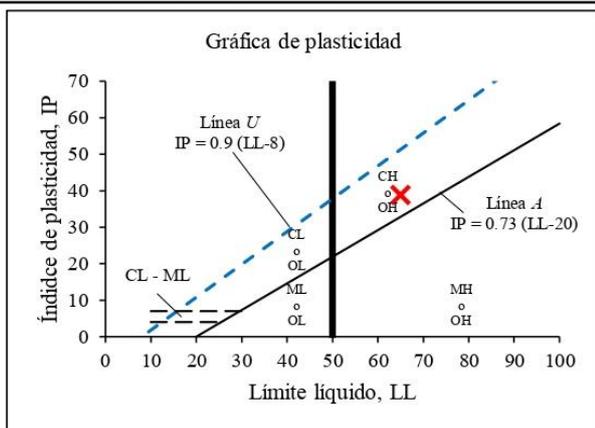
Realizado por:	César Salinas, Sebastián Ordóñez	Sondeo N°:	11
Ubicación:	Urb. 3 de Noviembre	Profundidad:	2,10 m.
Fecha:	28/6/2019	Coordenas Datum UTM WGS84:	
Altura:	2764 m.s.n.m.	Zona:	17S; E: 718060; N: 9682166

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

Porcentaje que pasa el tamiz núm. 4 = 97,89
 Porcentaje que pasa el tamiz núm. 10 = 95,12
 Porcentaje que pasa el tamiz núm. 40 = 80,26
 Porcentaje que pasa el tamiz núm. 200 = 59,46
 Límite Líquido (LL) = 65,03
 Índice de plasticidad (IP) = 38,77
 Índice de liquidez (IL) = 0,19

De acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación SUCS, el suelo encontrado corresponde a un símbolo de grupo CH, es una arcilla inorgánica de alta compresibilidad.



Sistema de clasificación de suelos de la AASHTO

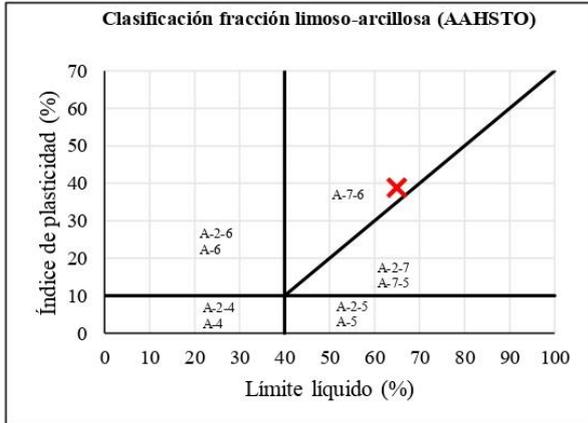
$$\text{Índice de grupo (IG)} = (F_{200} - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F_{200} - 15)(IP - 10)$$

$$IG = 21$$

Materiales de limo y arcilla (más de 35% de la muestra total pasa la malla núm. 200)
 Porcentaje que pasa el tamiz núm. 200 = 59,46 > 35%

De acuerdo al Sistema de clasificación de suelos de la AASHTO, el suelo encontrado corresponde a un grupo de suelo A-7-6 con un índice de grupo ∴ A-7-6 (21)

NOTA: Las figuras en esta tabla muestran un rango del límite líquido y el índice de plasticidad de los suelos, descritas en el capítulo 2.4 Clasificación de los Suelos.



Anexo 11.5 Determinación de la gravedad específica.

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por:	César Salinas, Sebastián Ordóñez	Sondeo N°: 11
Ubicación:	Urb. 3 de Noviembre	Profundidad: 2,10 m.
Fecha:	28/6/2019	Coordenas Datum UTM WGS84:
Altura:	2764 m.s.n.m.	Zona:17S; E: 718060; N: 9682166

DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA

Descripción de la muestra: Muestra de color marrón
 Método de ensayo: Método de prueba en suelos finos.
 Volumen del matraz: 500 ml

	Matraz N°	11
Temperatura de ensayo (°C)	T_e	22
Masa del matraz + agua (g)	m_{fw}	649,86
Masa del matraz + agua + suelo (g)	m_{fsw}	681,67
Masa de los sólidos de suelo (g)	m_s	50,74
Gravedad específica a T°C de ensayo	$G_e = \frac{\rho_s}{\rho_w} = \frac{m_s}{m_{fw} - (m_{fsw} - m_s)}$	2,680
Coefficiente de temperatura	k	0,99957
Gravedad específica a 20°C	$G_{20°C} = k \times G_e$	2,679
Gravedad específica	G_s	2,68
Observaciones: Se procedio a realizar el ensayo a una temperatura de 22° centígrados en laboratorio.		

Anexo 11.6 Ensayo de resistencia a la compresión simple.

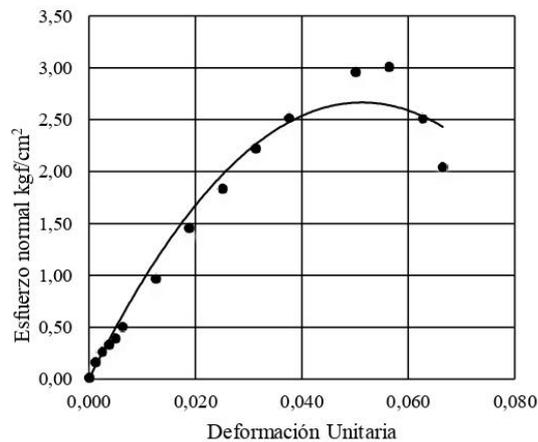
UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por: César Salinas, Sebastián Ordóñez Sondeo N°: 11
Ubicación: Urb. 3 de Noviembre Profundidad: 2,10 m.
Fecha: 28/6/2019 Coordenadas Datum UTM WGS84:
Altura: 2764 m.s.n.m. Zona: 17S; E: 718060; N: 9682166

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE

Lectura del deformímetro en divisiones 1 div. = 0,01 mm	Deformímetro de carga en divisiones 1 div. = 0,01 mm	Deformación de la muestra ΔL (mm)	Deformación Unitaria $\Delta L/L_0$	Área Corregida (cm ²)	Carga total sobre la muestra (kgf)	Esfuerzo sobre la muestra (kgf/cm ²)
0	0	0,00	0,0000	9,7591	0,1600	0,02
10	10	0,10	0,0013	9,7713	1,5805	0,16
20	17	0,20	0,0025	9,7836	2,5753	0,26
30	22	0,30	0,0038	9,7959	3,2862	0,34
40	26	0,40	0,0050	9,8083	3,8550	0,39
50	34	0,50	0,0063	9,8206	4,9931	0,51
100	66	1,00	0,0125	9,8830	9,5509	0,97
150	101	1,50	0,0188	9,9461	14,5449	1,46
200	128	2,00	0,0251	10,0101	18,4032	1,84
250	156	2,50	0,0313	10,0749	22,4093	2,22
300	178	3,00	0,0376	10,1405	25,5601	2,52
400	212	4,00	0,0502	10,2744	30,4344	2,96
450	217	4,50	0,0564	10,3427	31,1516	3,01
500	182	5,00	0,0627	10,4118	26,1333	2,51
530	149	5,30	0,0665	10,4538	21,4074	2,05

Ensayo de resistencia a la compresión simple



Datos de la muestra

Diámetro:	3,53	cm
Altura:	7,98	cm
Volumen:	77,83	cm ³
Masa :	127,23	g
Densidad húmeda:	1635	kg/m ³
Contenido de agua (w_{nat}):	33,49	%
Densidad seca:	1225	kg/m ³

Resistencia de la compresión inconfina, q_u	2,60	kgf/cm ²
C_u ($q_u/2$)	254,97	kN/m ²
	1,30	kgf/cm ²
	127,49	kN/m ²

NOTA: Constante del anillo dinamométrico: $0,16 + (\text{Deformímetro de carga en divisiones}) \times 0,142 + 4,58066 \times 10^{-6} \times (\text{Deformímetro de carga en divisiones})^2 - 3,7276 \times 10^{-9}$

Anexo 11.7 Ensayo de penetración estándar (SPT).

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Realizado por: César Salinas, Sebastián Ordóñez Sondeo N°: 11
Ubicación: Urb. 3 de Noviembre Profundidad: 2,10 m.
Fecha: 28/6/2019 Coordenas Datum UTM WGS84:
Altura: 2764 m.s.n.m. Zona:17S; E: 718060; N: 9682166

ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT)

N_{SPT} (número de penetración medido)	η_H (Eficiencia del martinete en %)	η_B (Corrección por el diámetro de la perforación)	η_s (Corrección del muestrador)	η_R (Corrección por longitud de la barra)	N_{60} (Número de penetración estándar, corregido por las condiciones en el campo)
21	60	1	1	0,75	16

PERFIL ESTRATIGRAFICO

Técnica de investigación: Ensayo de penetración estandar (SPT)

Cotas de referencia: Nivel del terreno = 2764 m.s.n.m.

Profundidad Final: 2,10 m

Nivel freático: No se encontró

Profundidad (metros)	Cota	Estrato	Gráfico	Descripción del suelo
0,00	2764,00			
0,50	2763,50	1		Capa vegetal, terreno con pasto y raíces, color café claro, ligeramente húmedo.
1,50	2762,50	2		Muestra de color pardo, medianamente húmeda, de consistencia media.
2,10	2761,90	3		Arcilla inorgánica de alta compresibilidad, de color marrón, con contenido de agua natural de 33,49%, LL de 65,03% y IP de 38,77%

Anexo 11.8 Fotografías.



Foto 21 Ejecución del ensayo SPT.



Foto 22 Muestra obtenida del sondeo.

Anexo 12 Densidad del agua y coeficiente de temperatura (k) para diferentes temperaturas.

TEMPERATURA (°C)	DENSIDAD (G/ML)	COEFICIENTE DE TEMPERATURA (K)	TEMPERATURA (°C)	DENSIDAD (G/ML)	COEFICIENTE DE TEMPERATURA (K)	TEMPERATURA (°C)	DENSIDAD (G/ML)	COEFICIENTE DE TEMPERATURA (K)	TEMPERATURA (°C)	DENSIDAD (G/ML)	COEFICIENTE DE TEMPERATURA (K)	TEMPERATURA (°C)	DENSIDAD (G/ML)	COEFICIENTE DE TEMPERATURA (K)
15.0	0.9991	1.0009	16.0	0.99895	1.00074	17.0	0.99878	1.00057	18.0	0.99860	1.00039			
.1	0.99909	1.00088	.1	0.99893	1.00072	.1	0.99876	1.00055	.1	0.99858	1.00037			
.2	0.99907	1.00087	.2	0.99891	1.00071	.2	0.99874	1.00054	.2	0.99856	1.00035			
.3	0.99906	1.00085	.3	0.99890	1.00069	.3	0.99872	1.00052	.3	0.99854	1.00034			
.4	0.99904	1.00084	.4	0.99888	1.00067	.4	0.99871	1.00050	.4	0.99852	1.00032			
.5	0.99902	1.00082	.5	0.99886	1.00066	.5	0.99869	1.00048	.5	0.99850	1.00030			
.6	0.99901	1.0008	.6	0.99885	1.00064	.6	0.99867	1.00047	.6	0.99848	1.00028			
.7	0.99899	1.00079	.7	0.99883	1.00062	.7	0.99865	1.00045	.7	0.99847	1.00026			
.8	0.99898	1.00077	.8	0.99881	1.00061	.8	0.99863	1.00043	.8	0.99845	1.00024			
.9	0.99896	1.00076	.9	0.99879	1.00059	.9	0.99862	1.00041	.9	0.99843	1.00022			
19.0	0.99841	1.0002	20.0	0.99821	1.00000	21.0	0.99799	0.99979	22.0	0.99777	0.99957			
.1	0.99839	1.00018	.1	0.99819	0.99998	.1	0.99797	0.99977	.1	0.99775	0.99954			
.2	0.99837	1.00016	.2	0.99816	0.99996	.2	0.99795	0.99974	.2	0.99773	0.99952			
.3	0.99835	1.00014	.3	0.99814	0.99994	.3	0.99793	0.99972	.3	0.99770	0.99950			
.4	0.99833	1.00012	.4	0.99812	0.99992	.4	0.99791	0.99970	.4	0.99768	0.99947			
.5	0.99831	1.00010	.5	0.99810	0.99990	.5	0.99789	0.99968	.5	0.99766	0.99945			
.6	0.99829	1.00008	.6	0.99808	0.99987	.6	0.99786	0.99966	.6	0.99764	0.99943			
.7	0.99827	1.00006	.7	0.99806	0.99985	.7	0.99784	0.99963	.7	0.99761	0.99940			
.8	0.99825	1.00004	.8	0.99804	0.99983	.8	0.99782	0.99961	.8	0.99759	0.99938			
.9	0.99823	1.00002	.9	0.99802	0.99981	.9	0.99780	0.99959	.9	0.99756	0.99936			
23.0	0.99754	0.99933	24.0	0.99730	0.99909	25.0	0.99705	0.99884	26.0	0.99679	0.99858			
.1	0.99752	0.99931	.1	0.99727	0.99907	.1	0.99702	0.99881	.1	0.99676	0.99855			
.2	0.99749	0.99929	.2	0.99725	0.99904	.2	0.99700	0.99879	.2	0.99673	0.99852			
.3	0.99747	0.99926	.3	0.99723	0.99902	.3	0.99697	0.99876	.3	0.99671	0.99850			
.4	0.99745	0.99924	.4	0.99720	0.99899	.4	0.99694	0.99874	.4	0.99668	0.99847			
.5	0.99742	0.99921	.5	0.99717	0.99897	.5	0.99692	0.99871	.5	0.99665	0.99844			
.6	0.9974	0.99919	.6	0.99715	0.99894	.6	0.99689	0.99868	.6	0.99663	0.99842			
.7	0.99737	0.99917	.7	0.99712	0.99892	.7	0.99687	0.99866	.7	0.99660	0.99839			
.8	0.99735	0.99914	.8	0.99710	0.99889	.8	0.99684	0.99863	.8	0.99657	0.99836			
.9	0.99732	0.99912	.9	0.99707	0.99887	.9	0.99681	0.99860	.9	0.99654	0.99833			
27.0	0.99652	0.99831	28.0	0.99624	0.99803	29.0	0.99595	0.99774	30.0	0.99565	0.99744			
.1	0.99649	0.99828	.1	0.99621	0.99800	.1	0.99592	0.99771	.1	0.99562	0.99741			
.2	0.99646	0.99825	.2	0.99618	0.99797	.2	0.99589	0.99768	.2	0.99559	0.99738			
.3	0.99643	0.99822	.3	0.99615	0.99794	.3	0.99586	0.99765	.3	0.99556	0.99735			
.4	0.99641	0.99819	.4	0.99612	0.99791	.4	0.99583	0.99762	.4	0.99553	0.99732			
.5	0.99638	0.99817	.5	0.99609	0.99788	.5	0.99580	0.99759	.5	0.99550	0.99729			
.6	0.99635	0.99814	.6	0.99606	0.99785	.6	0.99577	0.99756	.6	0.99547	0.99726			
.7	0.99632	0.99811	.7	0.99603	0.99783	.7	0.99574	0.99753	.7	0.99544	0.99723			
.8	0.99629	0.99808	.8	0.99601	0.99780	.8	0.99571	0.99750	.8	0.99541	0.99720			
.9	0.99627	0.99806	.9	0.99598	0.99777	.9	0.99568	0.99747	.9	0.99538	0.99716			

Fuente: ASTM-D-854-14.