



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**ESTIMACIÓN DEL ESFUERZO DE ADHERENCIA HORMIGÓN-SUELO
MEDIANTE EL ENSAYO DE CORTE DIRECTO Y EL USO DEL
DINAMÓMETRO, APLICADO EN LA BASE DE MUROS Y ANCLAJES TIPO
CLAVO**

Trabajo de titulación previo a la obtención
del título de Ingeniero e Ingeniera Civil

AUTORES: Byron Misael Tituaña Chicaiza
Karina Elizabeth Tonato Suntasig
TUTOR: José Domingo Alviar Malabet

Quito-Ecuador
2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Byron Misael Tituaña Chicaiza con documento de identificación N-° 1722685722 y Karina Elizabeth Tonato Suntasig con documento de identificación N-° 0504106592; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 15 de agosto del 2023

Atentamente,



Byron Misael Tituaña Chicaiza
1722685722



Karina Elizabeth Tonato Suntasig
0504106592

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Byron Misael Tituaña Chicaiza con documento de identificación N-° 1722685722 y Karina Elizabeth Tonato Suntasig con documento de identificación N-° 0504106592; expresamos nuestra voluntad y por medio de la presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos los autores del Artículo Académico: “Estimación del Esfuerzo de Adherencia Hormigón-Suelo Mediante el Ensayo de Corte Directo y el Uso del Dinamómetro, Aplicado en la Base de Muros y Anclajes Tipo Clavo”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Civiles, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana

Quito, 15 de agosto del 2023

Atentamente,



Byron Misael Tituaña Chicaiza
1722685722



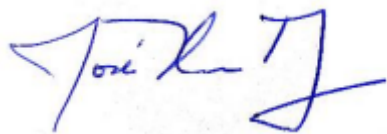
Karina Elizabeth Tonato Suntasig
0504106592

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, José Domingo Alviar Malabet con documento de identificación N° 1757837602, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ESTIMACIÓN DEL ESFUERZO DE ADHERENCIA HORMIGÓN-SUELO MEDIANTE EL ENSAYO DE CORTE DIRECTO Y EL USO DEL DINAMÓMETRO, APLICADO EN LA BASE DE MUROS Y ANCLAJES TIPO CLAVO, realizado por Byron Misael Tituaña Chicaiza con documento de identificación N° 1722685722 y por Karina Elizabeth Tonato Suntasig con documento de identificación N° 0504106592, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 15 de agosto del 2023

Atentamente,



Ing. José Domingo Alviar Malabet, PhD

1757837602

ESTIMACIÓN DEL ESFUERZO DE ADHERENCIA HORMIGÓN-SUELO MEDIANTE EL ENSAYO DE CORTE DIRECTO Y EL USO DEL DINAMÓMETRO, APLICADO EN LA BASE DE MUROS Y ANCLAJES TIPO CLAVO

ESTIMATION OF THE CONCRETE-SOIL BOND STRESS BY DIRECT SHEAR TEST AND DYNAMOMETER, APPLIED TO THE BASE OF WALLS AND NAIL-TYPE ANCHORS

Byron Tituaña-Chicaiza¹, Karina Tonato-Suntasig²

Resumen

En la ingeniería civil, para realizar un buen diseño de muros de contención y anclajes tipo clavo se debe conocer los parámetros básicos del suelo tales como ángulo de fricción, cohesión, peso específico, para determinar el comportamiento del suelo en la base del muro, el suelo retenido detrás del muro, también en el contorno del bulbo en anclajes tipo clavo, para así determinar el esfuerzo de adherencia entre el hormigón y el suelo.

En esta investigación se presenta una alternativa de análisis utilizando el ensayo de corte directo modificado, en el cual se hace una simulación en el laboratorio de las condiciones de resistencia al corte entre un muro de hormigón en contacto con el suelo, de igual manera se construyó anclajes tipo clavo a escala reducida, en diferentes tipos de suelo y alturas, de esta manera se podrá estimar la adherencia entre el bulbo de hormigón y el suelo, a fin de realizar obras de contención económicas y técnicamente viables.

Palabras Clave: Adherencia hormigón-suelo, corte directo, dinamómetro, anclajes tipo clavo.

Abstract

In civil engineering, to perform a good design of retaining walls and nail anchors, it is necessary to know the basic parameters of the soil such as friction angle, cohesion, specific weight, to determine the behavior of the soil at the base of the wall, the soil retained behind the wall, also in the contour of the bulb in nail anchors, in order to determine the adhesion stress between the concrete and the soil.

This research presents an alternative analysis using the modified direct shear test, in which a laboratory simulation of the shear strength conditions between a concrete wall in contact with the soil is carried out, in the same way nail anchors were built on a reduced scale, in different types of soil and heights, in this way it will be possible to estimate the adhesion between the concrete bulb and the soil, in order to carry out economical and technically feasible retaining works.

Keywords: Concrete-soil adhesion, direct shear, dynamometer, wall base, nail anchors.

¹ Estudiante Carrera de Ingeniería Civil – Universidad Politécnica Salesiana Quito – Ecuador.

² Docente de la Carrera de Ingeniería Civil – Universidad Politécnica Salesiana Quito – Ecuador.

Autores para correspondencia ✉: btituana@est.ups.edu.ec ktonatos1@est.ups.edu.ec

1. Introducción

En las obras de ingeniería, el ensayo de corte directo ayuda a obtener parámetros de resistencia al corte del suelo mediante la envolvente de falla, ya que “una muestra de suelo sometida a un esfuerzo de corte tiende a producir un desplazamiento de las partículas entre sí o de una parte de la masa del suelo con respecto al resto del mismo.” [1]. y “para diseñar apropiadamente los muros de retención, un ingeniero debe conocer los parámetros básicos del suelo retenido detrás del muro y del suelo debajo de la base de la losa, que son el peso específico, el ángulo de fricción y la cohesión” [2].

Los anclajes tipo clavo son muy importantes para evitar que colapse el suelo ante el deslizamiento o volcamiento y existen varios tipos en el mundo de la construcción en donde “La función principal del anclaje es de reforzar y sostener suelos, masas rocosas parcialmente sueltas o fracturadas que pueden estar sujetas a fallar. Estas masas inestables pueden estabilizarse mediante anclajes, al generarse un incremento de las tensiones normales sobre la existente o potencial superficie de rotura, lográndose por lo tanto un aumento en la resistencia al esfuerzo cortante en dicha superficie.” [3].

Los ensayos en campo de ruptura de anclajes se lo realizan utilizando tendones, que han sido colocados previamente dentro una perforación, una vez colocado el anclaje se somete a esfuerzos de arrancamiento, determinando la carga de rotura y los valores de desplazamiento. “La capacidad de adherencia del bulbo en el contacto suelo - lechada de cemento, constituye el parámetro geotécnico fundamental para los proyectistas en la etapa de diseño, pues es la resistencia por fricción lateral del bulbo, la que permite absorber la carga aplicada al anclaje. Dicho de otro modo, la capacidad de adherencia del bulbo está asociada directamente con la capacidad de carga de los anclajes.” [4].

En esta investigación mediante la adaptación de la máquina de corte se

encontrará valores aproximados de esfuerzos de adherencia entre el suelo- y el hormigón en la base de muros a partir de los ensayos de corte directo modificado, la adaptación se realizará a la muestra, es decir en la parte inferior de la caja de corte estará colocada una placa de hormigón, y en la parte superior la muestra de suelo, de tal manera que el plano de falla coincida con la junta de las dos muestras puestas en la caja de corte directo.

Con el uso de dinamómetros que miden la fuerza de arrancamiento del suelo que van a ser estabilizados por anclajes tipo clavo, se encontrará los valores de adherencia entre la lechada y el suelo.

2. Materiales y Métodos

Para esta investigación se obtuvieron tres muestras, en la ciudad de Quito, Santo Domingo de los Tsáchilas y Pujilí, considerando que en estos sitios se encuentran suelos tipo arenas, arenas limosas y arcillas, los diferentes sitios están georreferenciados en las siguientes figuras:



Figura 1. Ubicación muestra de la ciudad de Quito.



Figura 2. Ubicación muestra de la ciudad de Pujilí.



Figura 3. Ubicación muestra de la ciudad de Santo Domingo de los Tsáchilas.

En la tabla 1 se expresa la cantidad de muestras obtenidas, así como las coordenadas en el sistema UTM WGS 84.

Tabla 1: Coordenadas de los sitios de extracción de las muestras

Ciudad	N° De Muestras	Coordenadas (UTM WGS 84)		
		x	y	Zona
Quito	1	772.612,27	9.968.544,61	17M
Pujilí	1	755.958,65	9.890.676,47	17M
Santo Domingo de los Tsáchilas	1	676.307,16	9.984.199,24	17M

2.1 Métodos

2.1.1 Muestreos

La extracción de muestras se realizó a cielo abierto mediante calicatas, que consiste en la exploración de un terreno mediante excavación a

profundidad baja para la toma de muestra, de acuerdo a la norma ASTM D4220 [5]. las muestras se obtuvieron a una profundidad de 1.50m, posteriormente se talló un prisma de 50x50 cm y se envolvió en plástico film, para evitar la pérdida de humedad y ser trasladado al laboratorio de suelos, en la figura 4 se observa la extracción de una de las muestras [6].



Figura 4. Extracción de Muestra Santo Domingo de los Tsáchilas..

2.1.2. Ensayos de Caracterización

Con las muestras obtenidas se realizó los diferentes ensayos, para obtener las propiedades físicas de cada suelo de estudio en la presente investigación, en la tabla 2 se observa los diferentes ensayos de laboratorio realizados.

Tabla 2: Ensayos Realizados

Tipo de Ensayos	Descripción	N° de Ensayos
Corte Directo		3
Límites de Atterberg	Para cada tipo de suelo	1
Contenido de Humedad		1
Granulometría		1
Corte Directo Modificado	Para 3 tipos Fuerzas	3
Triaxial UU		3
Contenido de Humedad	Para cada tipo de suelo	1
Límites de Atterberg		1
Granulometría		1

2.1.3. Clasificación SUCS

En este caso se realizó el ensayo por lavado, que consiste en una muestra de suelo seco que es colocado en el tamiz No.200, el cual se coloca bajo agua corriente para ser agitado de manera manual hasta que el agua que pase se torne claro, posteriormente el suelo que fue retenido es secado en el horno, para una vez seco se tamizado, la norma de referencia para este tipo de ensayo fue ASTM C117 [7] en la figura 5 se puede observar el lavado de la muestra.



Figura 5. Lavado de muestra.

Posteriormente el sobrante del tamiz se secó en un horno, para ser separado a través de varios tamices (N°4, N° 10, N°40), y pesar los porcentajes retenidos parciales para expresar la granulometría en función de dichos porcentajes.

Tabla 3: Granulometría Muestras

N° Muestra	Sitio	Clasificación	% Finos	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad
1	Pujilí	SM	39	0	0	0
2	Quito	ML	53	32	26	6
3	Santo Domingo	CH	53	54	24	30

En las figuras se puede observar las curvas granulométricas de los diferentes tipos de suelo.

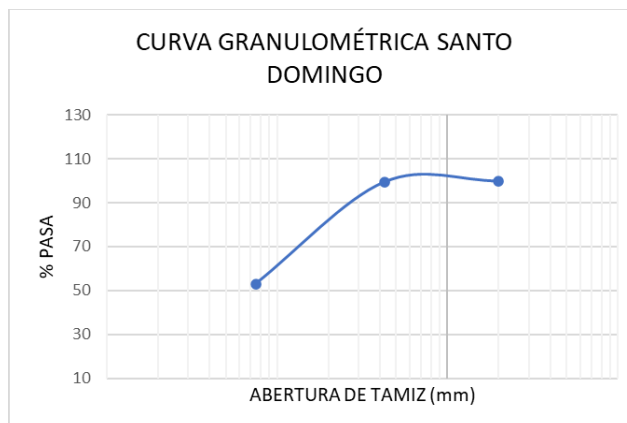


Figura 6. Curva Granulométrica de Santo Domingo.

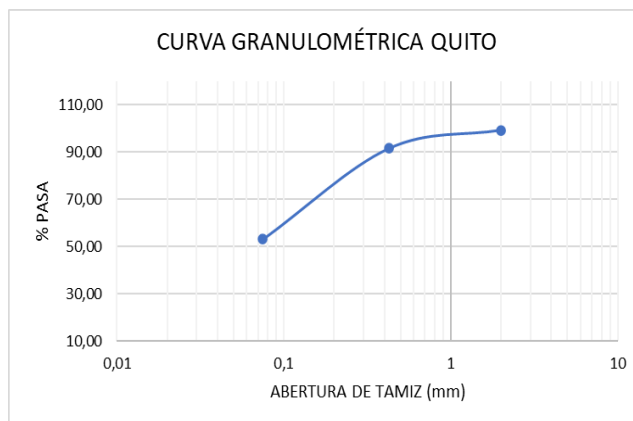


Figura 7. Curva Granulométrica de Quito.

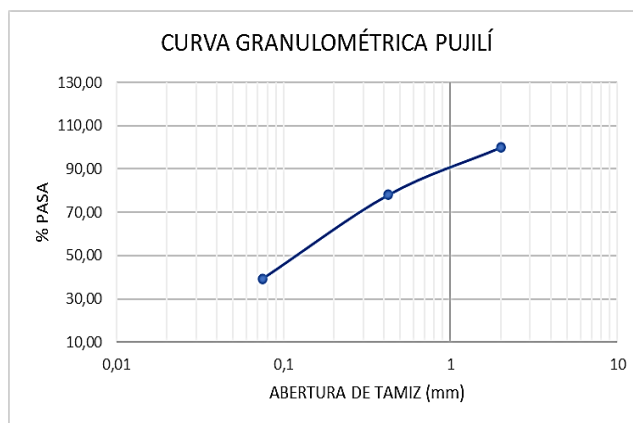


Figura 8. Curva Granulométrica de Pujilí.

2.1.4. Límites de Atterberg

Este tipo de ensayo se utiliza para determinar el comportamiento de los suelos finos, la norma que se utilizó como referencia fue ASTM D 4318-05 [8].

▪ **Límite líquido (LL)**

“El límite líquido se determina mediante la realización de ensayos en los que se lleva una parte de la muestra en una copa de bronce, dividido en dos por una herramienta de ranurado, y luego se deja fluir juntos hasta chocar causada por los golpes repetidos ocasionadas en la copa en un dispositivo mecánico estándar” [8].

Denominado copa de Casagrande, en la figura 9 se puede observar el ensayo en la copa de Casagrande.



Figura 9. Ensayo Límite Líquido.

▪ **El límite plástico**

“El límite plástico, es el contenido de humedad para el cual el suelo comienza a fracturarse cuando es amasado en pequeños cilindros, haciendo rodar la masa de suelo entre la mano y una superficie lisa.” [9]. cómo se puede ver en la figura 10.

▪ **El índice de plasticidad**

El índice de plasticidad se calcula como la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.



Figura 10. Ensayo Límite Plástico.

2.1.5. Ensayo Triaxial UU (No consolidado, No Drenado)

Este ensayo permite determinar los parámetros de cohesión y el ángulo de fricción (c , ϕ), el ensayo está basado en la norma ASTM D 2850 [10]. en la figura 11 se observa el equipo triaxial utilizada.



Figura 11. Equipo Triaxial.

Se realizó 9 ensayos en total, 3 por cada muestra obtenida en los diferentes sitios (Quito, Santo Domingo de Tsáchilas y Pujilí), previo al ensayo se realizó el tallado de los cilindros 6.8 cm de diámetro con una altura de 14 cm.

Posteriormente, la muestra del cilindro se impermeabilizó con una membrana, para ser colocado en la base del pedestal de la cámara triaxial, con una placa porosa y el papel filtro en sus extremos, y asegurar con bandas elásticas y sellar la muestra.

Después se llenó con agua la cámara triaxial, cuidando que no exista aire en su interior, se ensayó para diferentes esfuerzos confinantes (25 KPa, 50 KPa, 100 KPa)

Para la muestra obtenida en Pujilí se tuvo que realizar un remoldeado, ya que dicha muestra es una arena limosa (SM) y por lo tanto no se pudo realizar el tallado, los pasos fueron los siguientes [11]

- I. Se determino la densidad natural del suelo que fue de 1850 (Kg/m³).
- II. Se tomó una muestra del bloque de Pujilí para ser disgregado en un suelo homogéneo.
- III. En un molde tipo cilindro de 14.11 cm de altura y 7.11 cm de diámetro, se colocó una membrana de látex en su interior, y en la base del cilindro se colocó una placa porosa y el papel filtro.
- IV. Después se procedió a llenar el molde en 4 capas, cada capa fue compactada por 25 golpes, estos golpes se dieron con un pisón de hierro, la fuerza aplicada durante la compactación fue solamente el peso del pisón de hierro, y así reproducir el peso unitario en sito, en la figurará 12 se puede observar la compactación de la muestra.



Figura 12. Compactación muestra Pujilí.

En la tabla 4 se puede observar la densidad natural y la densidad después de realizar el remoldeado.

Tabla 4: Densidad natural, densidad en laboratorio

Sitio	Peso Específico Natural (Kg/m ³)	Peso Específico de Laboratorio (Kg/m ³)
Pujilí	1,85	1,78
		1,75

- V. Una vez terminada la compactación, se retiró las abrazaderas del molde y así obtener el cilindro a colocar en la cámara

triaxial, de igual manera se ensayó con tres diferentes esfuerzos confinantes (25 KPa, 50 KPa, 100 KPa), en la figura 13 se puede ver las muestra una vez terminado con el remoldeado.



Figura 13. Muestra compactada Pujilí.

En las siguientes tablas se puede observar los datos obtenidos para diferentes esfuerzos confinantes (25 KPa, 50 KPa, 100 KPa).

Tabla 5: Resultados ensayo triaxial UU "Pujilí"

Muestra N°	Esfuerzo menor principal σ_3 (KPA)	Esfuerzo mayor principal σ_1 (KPA)	Esfuerzo desviador (KPA)	Deformación axial (%)
1	25	87	62	24
2	50	99	49	19
3	100	302	202	40

Tabla 6: Resultados ensayo triaxial UU "Quito"

Muestra N°	Esfuerzo menor principal σ_3 (KPA)	Esfuerzo mayor principal σ_1 (KPA)	Esfuerzo a la compresión máxima (KPA)	Deformación axial (%)
1	25	95	70	20
2	50	153	103	21
3	100	207	107	36

Tabla 7: Resultados ensayo triaxial UU “Santo Domingo de los Tsáchilas”

Muestra N°	Esfuerzo menor principal σ_3 (KPA)	Esfuerzo mayor principal σ_1 (KPA)	Esfuerzo a la compresión máxima (KPA)	Deformación axial (%)
1	25	125	100	19
2	50	182	132	23
3	100	260	160	24

2.1.6. Ensayo de Corte Directo

Este ensayo está basado en la norma ASTM D300-11 [12]. En la figura 14 podemos observar el equipo utilizado.

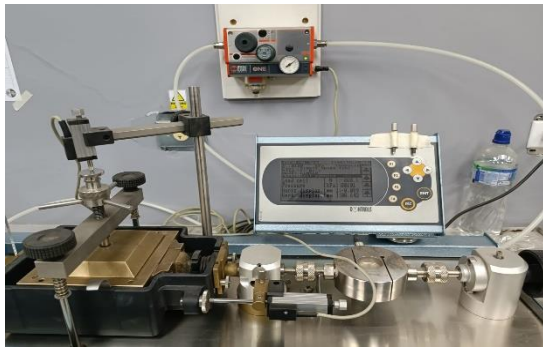


Figura 14. Máquina de Corte Utilizado en los ensayos.

Se realizaron 9 ensayos, 3 por cada muestra (Quito, Santo Domingo de Tsáchilas y Pujilí).

De muestras tipo bloques obtenidos, se procedió a tallar con la ayuda del anillo de corte, para así poder ensamblar en la caja de corte, en la figura 15 se puede observar la muestra tallada y pesada.



Figura 15. Muestra de suelo para ensayo de corte directo.

Se procedió a ensamblar la muestra en la caja de corte, y configurar los parámetros (carga axial, velocidad, tiempo) para los diferentes ensayos, el esfuerzo normal fue de 100 KPa, 150 KPa, 200KPa.

El tiempo es diferente para cada tipo de suelo, en la tabla 8 podemos observar los diferentes tiempos de acuerdo al tipo de suelo.

Tabla 8: Tiempo de falla [12].

Clasificación USCS (2487)	Tiempo Mínimo de falla, t_1
SW, SP (>% finos)	10 min
SW-SM, SP_SM, SM (>% finos)	60 min
SC ML, CL, SP-SC	200 min
MH, CH	24 horas

En esta investigación los diferentes tipos de suelos son:

Quito corresponde a: ML con 200 min

Pujilí corresponde a: SM con 60 min

Santo Domingo de los Tsáchilas corresponde a: CH con 24 horas.

En las siguientes tablas podemos observar los esfuerzos normal y cortante, para cada tipo de suelo.

Tabla 9: Resultados del Ensayo de Corte Directo “Pujilí”

Muestra N°	Esfuerzo normal (KPA)	Esfuerzo cortante en la falla (KPA)
1	100	64
2	150	89
3	200	113

Tabla 10: Resultados del Ensayo de Corte Directo “Quito”

Muestra N°	Esfuerzo normal (KPA)	Esfuerzo cortante en la falla (KPA)
1	100	83
2	150	109
3	200	119

Tabla 11: Resultados del Ensayo de Corte Directo “Santo Domingo de Tsáchilas”

Muestra N°	Esfuerzo normal (KPA)	Esfuerzo cortante en la falla (KPA)
1	100	63
2	150	94
3	200	116

2.1.7. Ensayo de Corte Directo Modificado

Para esta investigación se realizó una adaptación a las muestras que se colocarán en la máquina de corte directo, la norma que se utilizó como referencia fue ASTM D3080-11 [13]:

- I. Se construyó pequeños bloques de hormigón de 100x100 mm y 14.9 mm de espesor como se puede apreciar en la figura 16.

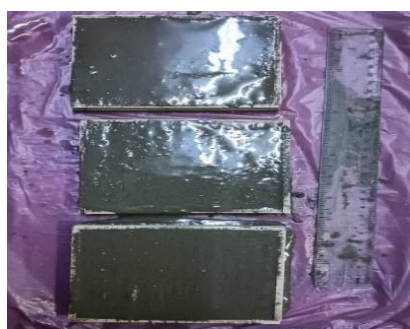


Figura 16. Muestras de Hormigón 100x100x14.9mm.

- II. Se fabricó un molde de medidas de 100 mm x 100 mm y 22.5 mm de espesor para el tallado de las diferentes muestras obtenidas, como se puede apreciar en la figura 17.

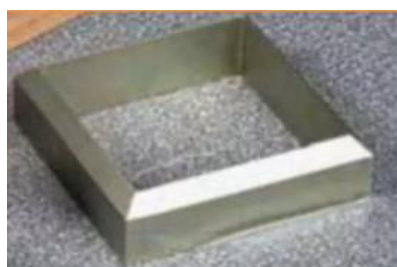


Figura 17. Molde de tallado de muestras 100x100x22.5 mm.

- III. Se colocó la placa de hormigón en la parte inferior de la caja de corte, y la muestra de suelo en la parte superior, para de esta

manera simular las condiciones reales de un muro de hormigón en contacto con el suelo, como se puede observar en la siguiente figura 18.

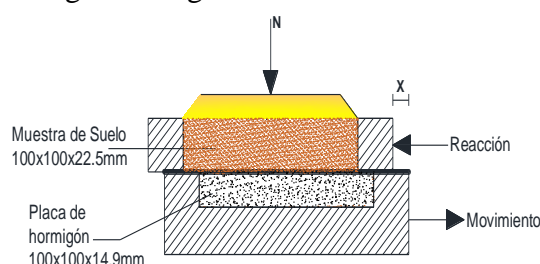


Figura 18. Esquema adaptación ensayo de corte directo.

- IV. Las diferentes muestras fueron ensayadas bajo los mismos parámetros del ensayo de corte normal, para cada tipo de suelo, en las siguientes tablas podemos observar los esfuerzos normal y cortante, para cada tipo de suelo.

Tabla 12: Resultados del Ensayo de Corte Modificado “Pujilf”

Muestra N°	Esfuerzo normal (KPA)	Esfuerzo cortante en la falla (KPA)
1	100	53
2	150	79
3	200	109

Tabla 13: Resultados del Ensayo de Corte Modificado “Quito”

Muestra N°	Esfuerzo normal (KPA)	Esfuerzo cortante en la falla (KPA)
1	100	61
2	150	90
3	200	117

Tabla 14: Resultados del Ensayo de Corte Modificado “Santo Domingo de Tsáchilas”

Muestra N°	Esfuerzo normal (KPA)	Esfuerzo cortante en la falla (KPA)
1	100	59
2	150	90
3	200	117

2.1.8. Construcción de anclajes tipos clavo a escala reducida.

El proceso de construcción que se usó para en esta investigación fue similar al que se realiza en una escala real, se trabajó con anclajes tipo pasivo, el procedimiento fue el siguiente:

- I. Una vez identificado el talud se realizó una limpieza de impurezas y capa vegetal.
- II. Con un taladro se realizó 3 perforaciones de aproximadamente 20 cm de profundidad y 1 cm de diámetro, a diferentes alturas que fueron:

Perforación 1: a 0.15 m de altura.

Perforación 2: a 0.65 m de altura.

Perforación 3: a 1.15 m de altura, cómo se puede observar en la figura 19.



Figura 19. a) Alturas de perforación, b) Perforación de anclajes.

- III. Una vez realizado las perforaciones se colocó el cable de acero #14 hasta el fondo de la perforación, el cable tiene que ser lo más recto posible, en este caso para mejorar la adherencia del acero con la lechada, se colocó un alambré en el contorno del cable de acero como se muestra en la figura 20.



Figura 20. Anclaje de acero.

- IV. Una vez introducido el anclaje de acero, con la ayuda de una jeringa y una manguera quirúrgica, acoplada al extremo, se inyectó la lechada de cemento, de adentro hacia afuera ver figura 21, la dosificación usada para la lechada fue de agua/cemento de 0.4 a 0.6 en peso, posteriormente se esperó durante 14 días para realizar el ensayo.

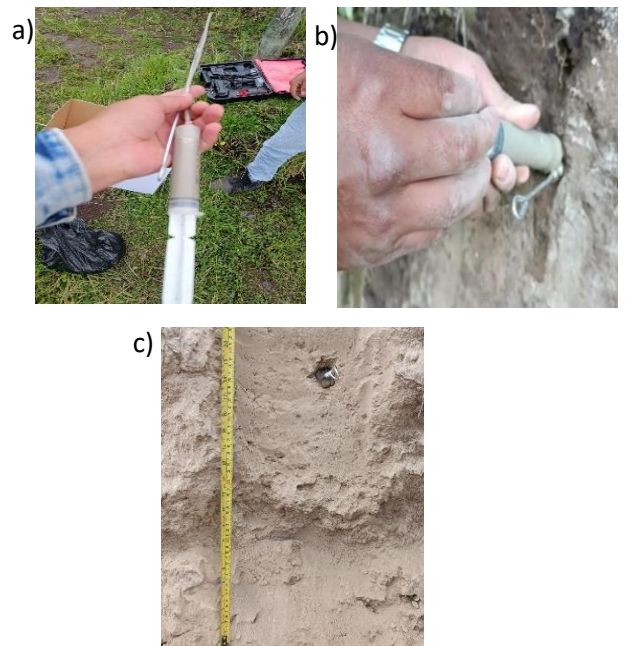


Figura 21. a) Jeringa acoplada con lechada, b) Inyección de lechada, c) anclaje terminado.

2.1.9. Ensayo de anclajes

Después de haber esperado 14 días para el ensayo se realizó el siguiente procedimiento:

- I. Se construyó una herramienta que ayude a mantener la fuerza de arranque de forma horizontal, como se puede ver en la figura 22.

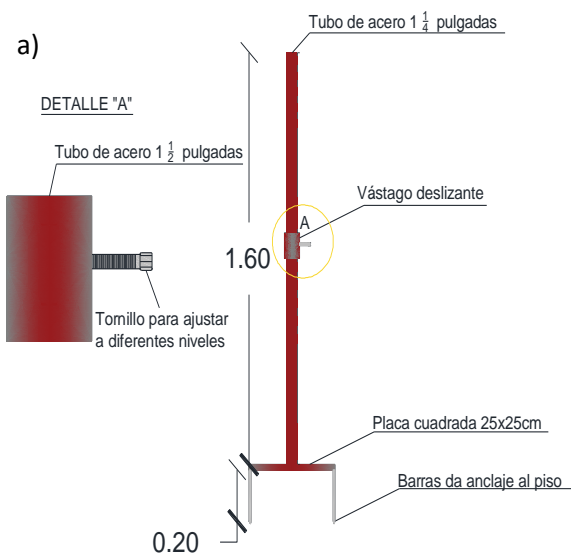


Figura 22. a) Esquema de la herramienta de ensayo b) herramienta de ensayo construida.

- II. Se colocó la herramienta de frente al anclaje, cuidando la verticalidad del mismo con un nivel de mano.
- III. En el extremo del anclaje se colocó el medidor de fuerza (dinamómetro), y este a su vez se sujetó con una cuerda hacia la herramienta que ayuda a mantener la horizontalidad de la fuerza de arranque.
- IV. Con un nivel de mano se ajustó la horizontalidad de la cuerda en la herramienta, la misma que con un vástago hueco puede moverse de arriba abajo por el tubo, para así poder fijar el punto en el que se va a ensayar, ver figura 23.



Figura 23. Instalación de la herramienta y cuerda para el ensayo.

- V. Una vez ya establecido la horizontalidad de la cuerda, en el extremo opuesto con la ayuda de un cuartón atada con la cuerda se procedió a jalar hasta que el anclaje falle.



Figura 24. a) ensayo del anclaje, b) bulbos después del ensayo.



Figura 25. Ensayo anclaje Quito a 1.50 m de altura

A continuación, se presenta las diferentes fuerzas de arranque durante los ensayos realizados.

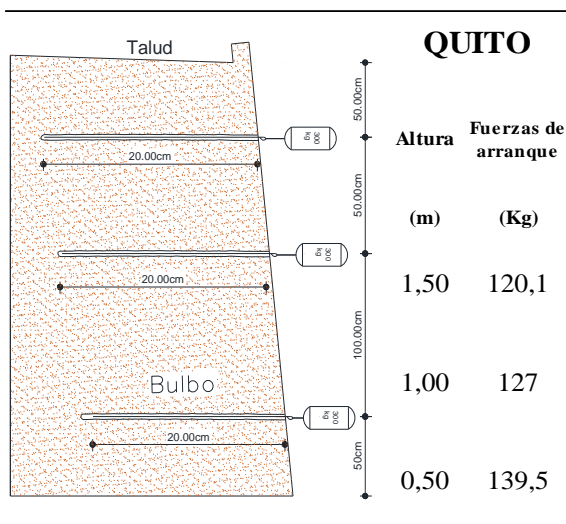


Figura 26: Fuerzas de arranque anclajes Quito

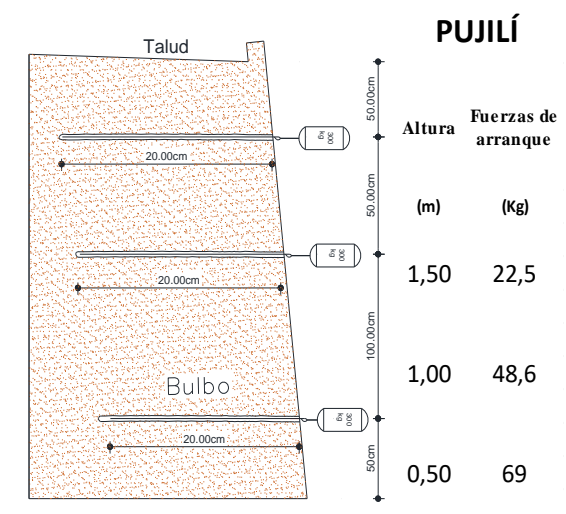


Figura 27: Fuerzas de arranque anclajes Pujilí

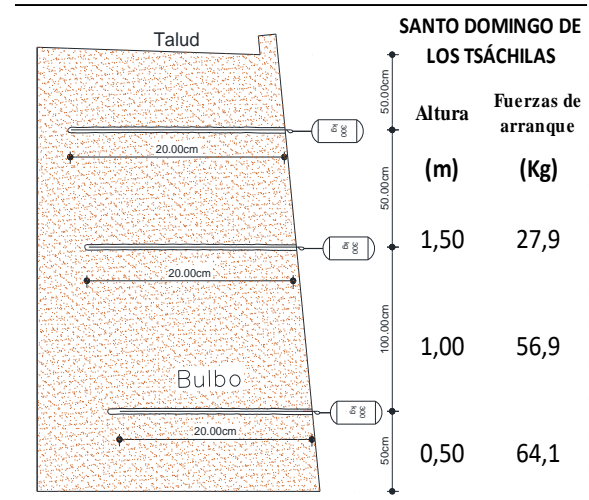


Figura 28: Fuerzas de arranque anclajes Santo Domingo de los Tsáchilas

2.2. Resultados de caracterización

Los diferentes resultados después de realizar los ensayos de caracterización son los siguientes:

2.2.1. Clasificación SUCS

En la tabla se puede observar los resultados obtenidos de la clasificación SUCS para diferentes tipos de suelo.

Tabla 15: Tabla de clasificación SUCS

Sitio	Clasificación	% Finos	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de plasticidad
Pujilí	SM	39	0	0	0
Quito Sur	SC	53	32	26	6
Santo Domingo	CH	53	54	24	30

La muestra obtenida en Pujilí se clasificó como un suelo de tipo SM (arena limosa), ya que el porcentaje de finos que pasa por el tamiz N°200 es < 50%, por ser un suelo grueso, de tipo arena no contiene límite líquido (LL) ni límite plástico (LP), el contenido de humedad es de 18%.

La muestra obtenida en Quito se clasificó como un suelo de tipo ML (limo de baja plasticidad), ya que el porcentaje de finos que pasa por el tamiz N°200 > 50%, el límite líquido

(LL) es de 32%, el límite plástico (LP) es de 26% y el índice plástico (Ip) es de 6%, el contenido de humedad es de 24%.

La muestra obtenida en Santo Domingo de los Tsáchilas se clasificó como un suelo de CH (arcilla de alta plasticidad) ya que el porcentaje de finos que pasa por el tamiz N°200 > 50%, el límite líquido (LL es de 54%, el límite plástico (LP) es de 24% y el índice plástico (Ip) es de 30%, el contenido de humedad es de 62%.

2.2.2. Ensayo triaxial UU

Muestra Pujilí

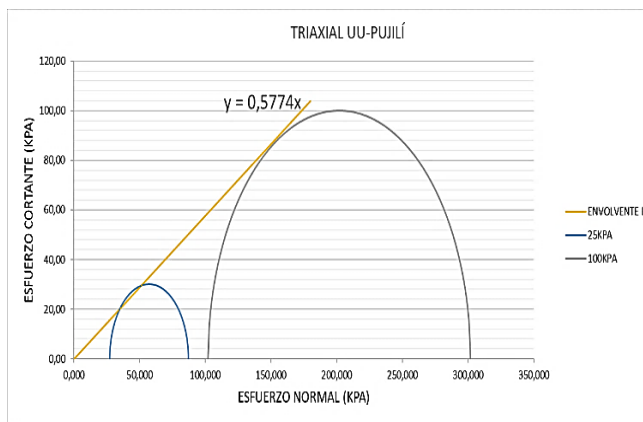


Figura 29: Envolvente de falla para diferentes esfuerzos normales – Pujilí.

En este ensayo se eliminó el círculo de Mohr con esfuerzo normal de 50 KPa, porque los resultados al momento del remodelado no se aproximó a la densidad natural del suelo, ver tabla 4.

La determinación de la cohesión y ángulo de fricción se basa en la ecuación de la envolvente de falla, que es igual a:

$$\tau = 0.5774\sigma \text{ [KPa]}$$

Tabla 16: Cohesión y ángulo de fricción Pujilí

Cohesión C (KPA)	Ángulo de fricción ϕ
0	30

La cohesión obtenida es de 0 por tanto, es un suelo netamente granular.

Muestra Quito

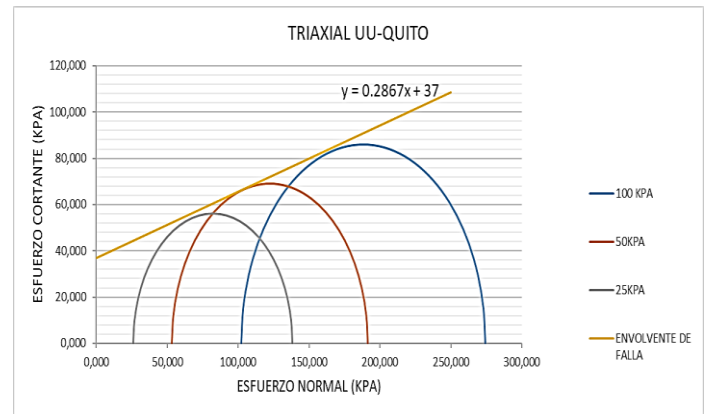


Figura 30: Envolvente de falla diferentes esfuerzos normales Quito.

La determinación de la cohesión y ángulo de fricción se basa en la ecuación de la envolvente de falla, que es igual a:

$$\tau = 0.2867 \sigma + 37 \text{ [KPa]}$$

Tabla 17: Cohesión y ángulo de fricción Quito.

Cohesión C (KPA)	Ángulo de fricción ϕ
37	16

Muestra Santo Domingo de Tsáchilas

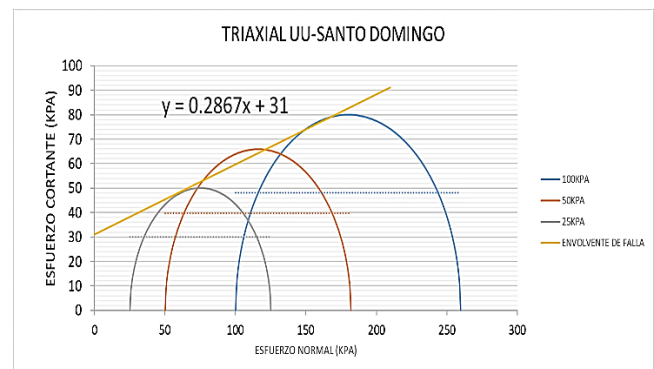


Figura 31: Envolvente de falla para diferentes esfuerzos normales – Santo Domingo de los Tsáchilas.

La determinación de la cohesión y ángulo de fricción se basa en la ecuación de la envolvente de falla, que es igual a:

$$\tau = 0.2867 \sigma + 31 \text{ [KPa]}$$

Tabla 18: Cohesión y ángulo de fricción – Santo Domingo de los Tsáchilas.

Cohesión C (KPA)	Ángulo de fricción φ
31	16

2.2.3. Ensayo de corte directo normal.

Muestra Pujilí

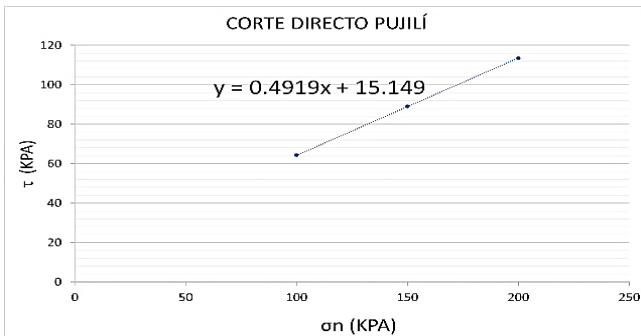


Figura 32: Envoltente de falla para diferentes esfuerzos normales – Pujilí

La determinación de la cohesión y ángulo de fricción se basa en la ecuación de la recta, que es igual a:

$$\tau = 0.4919\sigma + 15.149 \text{ [KPa]}$$

Tabla 19: Cohesión y ángulo de fricción Pujilí.

Cohesión C (KPA)	Ángulo de fricción φ
15	26

Valores obtenidos en los ensayos triaxial UU y Corte Directo Normal.

Tabla 20: Valores comparativos entre triaxial UU y corte directo normal de Pujilí.

Sitio	Cohesión de triaxial UU, C (KPA)	Ángulo de fricción de triaxial UU, φ	Cohesión de corte directo normal, C (KPA)	Ángulo de fricción de corte directo normal, φ
Pujilí	0	29	15	26

Muestra Quito

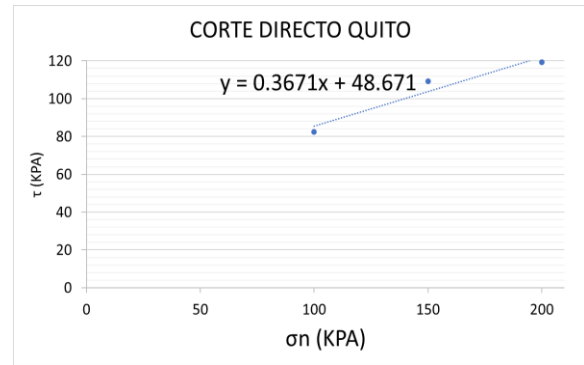


Figura 33: Envoltente de falla para diferentes esfuerzos normales – Quito.

La determinación de la cohesión y ángulo de fricción se basa en la ecuación de la recta, que es igual a:

$$\tau = 0.3671\sigma + 48.671 \text{ [KPa]}$$

Tabla 21: Cohesión y ángulo de fricción Quito.

Cohesión C (KPA)	Ángulo de fricción φ
49	20

Valores obtenidos en los ensayos triaxial UU y Corte Directo Normal

Tabla 22: Valores comparativos entre triaxial UU y corte directo normal de Quito.

Sitio	Cohesión de triaxial UU, C (KPA)	Ángulo de fricción de triaxial UU, φ	Cohesión de corte directo normal, C (KPA)	Ángulo de fricción de corte directo normal, φ
Quito	37	16	49	20

Muestra Santo Domingo de Tsáchilas

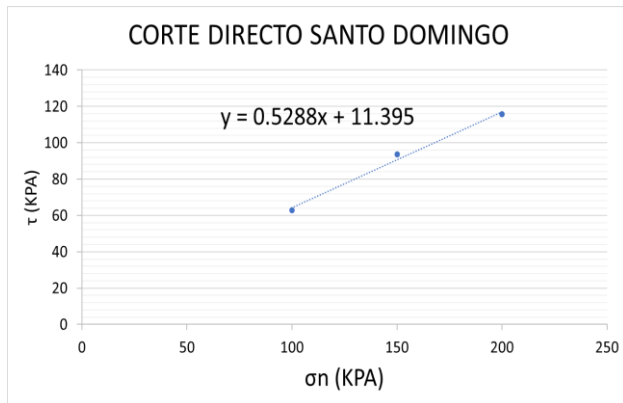


Figura 34: Envoltura de falla para diferentes esfuerzos normales – Santo Domingo de los Tsáchilas

La determinación de la cohesión y ángulo de fricción se basa en la ecuación de la recta, que es igual a:

$$\tau = 0.5288\sigma + 11.395 \text{ [KPa]}$$

Tabla 23: Cohesión y ángulo de fricción Santo Domingo de los Tsáchilas.

Cohesión C (KPA)	Ángulo de fricción ϕ
11	28

Valores obtenidos en los ensayos triaxial UU y Corte Directo Normal

Tabla 24: Valores comparativos entre triaxial UU y corte directo normal de Santo Domingo de los Tsáchilas.

Sitio	Cohesión de triaxial UU, C (KPA)	Ángulo de fricción de triaxial UU, ϕ	Cohesión de corte directo normal, C (KPA)	Ángulo de fricción de corte directo normal, ϕ
Santo Domingo de los Tsáchilas	22	12	11	28

2.2.4. Ensayo de corte directo modificado. Muestra Pujilí

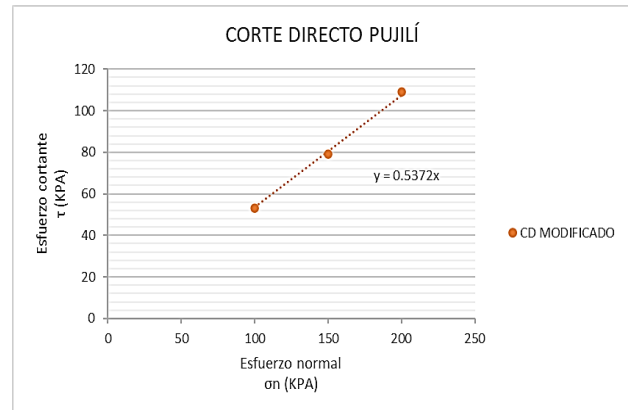


Figura 35: Envoltura de falla Morh para diferentes esfuerzos normales – Pujilí.

La determinación de la cohesión y ángulo de fricción se basa en la ecuación de la recta, que es igual a:

$$\tau = 0.5372 \sigma \text{ [KPa]}$$

Tabla 25: Cohesión y ángulo de fricción Pujilí.

Cohesión C (KPA)	Ángulo de fricción ϕ
0	28

La cohesión obtenida fue de 0 por tanto, es un suelo netamente granular.

Muestra Quito

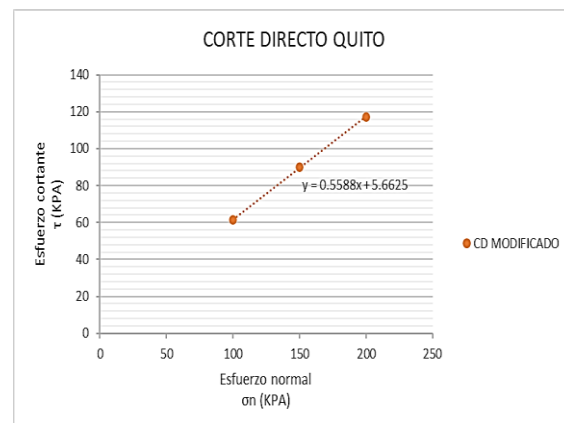


Figura 36: Envoltura de falla Morh para diferentes esfuerzos normales – Qui

La determinación de la cohesión y ángulo de fricción se basa en la ecuación de la recta, que es igual a:

$$\tau = 0.5588\sigma + 5.625 \text{ [KPa]}$$

Tabla 26: Cohesión y ángulo de fricción Quito.

Cohesión C (KPA)	Ángulo de fricción ϕ
6	29

Muestra Santo Domingo de Tsáchilas

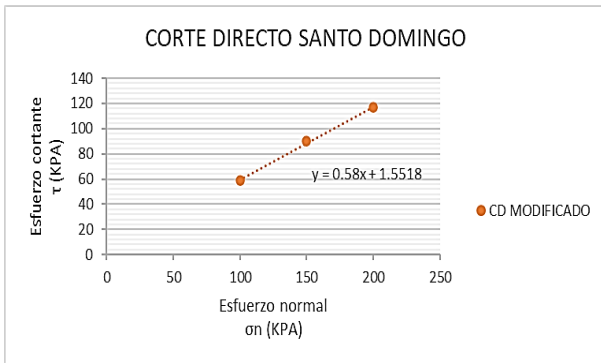


Figura 37: Envolvente de falla para diferentes esfuerzos normales – Santo Domingo de los Tsáchilas

La determinación de la cohesión y ángulo de fricción se basa en la ecuación de la recta, que es igual a:

$$\tau = 0.58 \sigma + 1.5518 \text{ [KPa]}$$

Tabla 27: Cohesión y ángulo de fricción Santo Domingo de los Tsáchilas.

Cohesión C (KPA)	Ángulo de fricción ϕ
2	30

3. Resultados y Discusión

3.1. Corte Directo Normal y Modificado

En esta investigación se realizó una modificación a las muestras de corte directo, se colocó una muestra de suelo de (100 mm x 100 mm y 22 mm), en parte superior y una muestra de hormigón de (100 mm x 100 mm y 14.9 mm) en la parte inferior a fin de simular la resistencia al corte en contacto suelo muro.

Una vez realizado estos ensayos se puede obtener la cohesión (c) y el ángulo de fricción (ϕ), a escala reducida representativos de contacto suelo muro.

Cohesión (c): “Se entiende por adhesión del suelo a la atracción entre partículas, originada por las fuerzas moleculares y las películas de agua. Por ende, la cohesión de un suelo podrá presentar variaciones si su contenido de humedad llegara a modificarse” [14]

Angulo de Fricción (ϕ): “Por lo que se entiende al ángulo de fricción interno como uno de los parámetros más importantes en la evaluación de la resistencia al corte, definiéndose como la representación matemática del coeficiente de rozamiento que describe la resistencia al corte por fricción de los suelos junto con el esfuerzo efectivo normal, el cual va a depender del tamaño de los granos, la forma de estos, su distribución y su densidad.” [14]

A continuación, se hace una representación y comparación de los parámetros obtenidos, en el ensayo de corte directo normal vs el ensayo de corte directo modificado.

Ensayos Pujilí

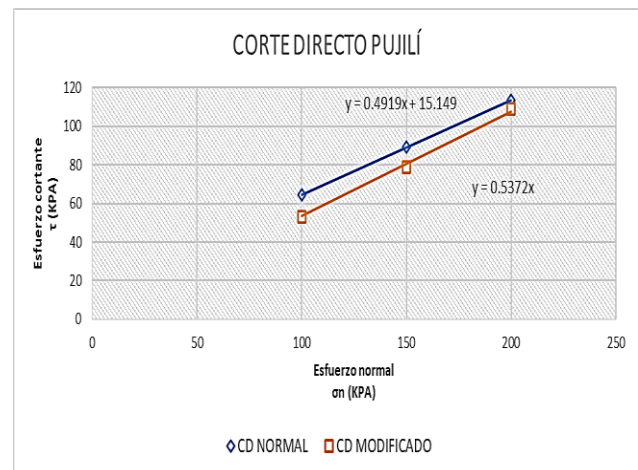


Figura 38: Comparación Corte Directo Normal Vs Corte Modificado Pujilí

Tabla 28: Resistencia al corte Ensayo de Corte Normal Vs Ensayo de corte Modificado Pujilí

Muestra No	Esfuerzo normal (KPA)	Esfuerzo cortante normal (KPA)	Esfuerzo cortante modificado (KPA)	Variación de esfuerzo cortante modificado y normal (KPA)	Porcentaje de diferencia (%)
1	100	64	53	11	17%
2	150	89	79	10	11%
3	200	113	109	4	4%

Ensayos Quito

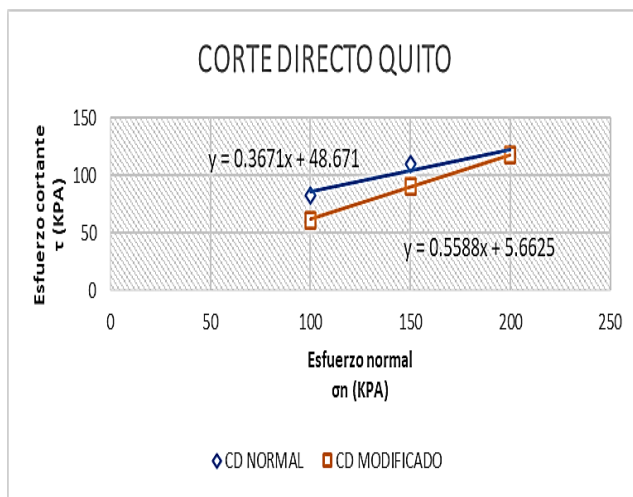


Figura 39: Comparación Corte Directo Normal Vs Corte Modificado Quito

Tabla 29: Resistencia al corte Ensayo Corte Normal Vs Ensayo de corte Modificado Quito

Muestra No	Esfuerzo normal (KPA)	Esfuerzo cortante normal (KPA)	Esfuerzo cortante modificado (KPA)	Variación de esfuerzo cortante modificado y normal (KPA)	Porcentaje de diferencia (%)
1	100	83	61	21	26%
2	150	109	90	19	18%
3	200	119	117	2	2%

Ensayos Santo Domingo de los Tsáchilas

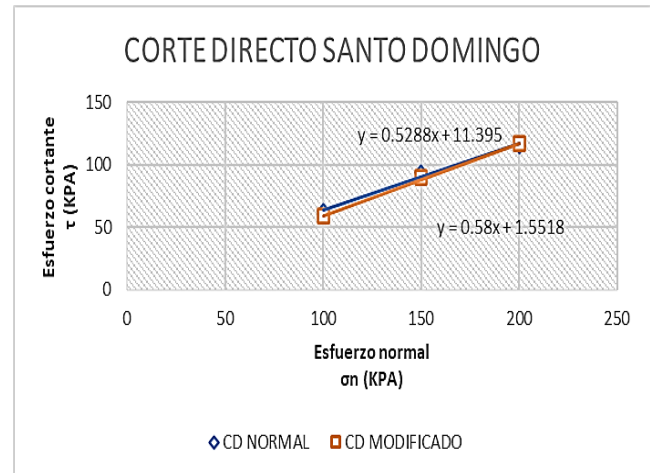


Figura 40: Comparación Corte Directo Normal Vs Corte Modificado Santo Domingo de Tsáchilas

Tabla 30: Resistencia al corte Ensayo Corte Normal Vs Ensayo de corte Modificado Santo Domingo de los Tsáchilas

Muestra N°	Esfuerzo normal (KPA)	Esfuerzo cortante normal (KPA)	Esfuerzo cortante modificado (KPA)	Variación de esfuerzo cortante modificado y normal (KPA)	Porcentaje de diferencia (%)
1	100	63	59	4	6%
2	150	94	90	4	4%
3	200	116	117	-1	1%

En las diferentes graficas se puede observar que mientras, el suelo es más fino los parámetros de resistencia al corte son más bajos.

3.2. Valores de los coeficientes k1 y k2

Según bibliografía [15], los valores de k1 y k2 se encuentran entre 1/2 y 2/3, estos valores son factores de seguridad respecto al deslizamiento.

Para esta investigación se utilizó las siguientes ecuaciones:

$$C_{modificado} = k1.C_{normal}$$

$$\varphi_{modificado} = k1.\varphi_{normal}$$

Donde:

C modificado= Cohesión obtenida en el ensayo de corte directo modificado.

φ modificado= ángulo de fricción obtenida en el ensayo de corte directo modificado.

Cnormal= Cohesión obtenida en el ensayo de corte directo.

φ normal= ángulo de fricción obtenida en el ensayo de corte directo.

k1= k2= factores de corrección para determinar fricción del suelo, fricción muro-suelo

Tabla 31: Valores obtenidos de k1.

Sitio	C	Cm	K1
PUJILI	15	0	0
QUITO	49	6	0,12
SANTO DOMINGO	11	2	0,18

Tabla 32: Valores obtenidos de k2.

Sitio	φ	φ_m	K2
PUJILI	26	28	1,08
QUITO	20	29	1,45
SANTO DOMINGO	28	30	1,07

3.3. Anclajes

Los anclajes tipo clavo son muy importantes para evitar que colapse el suelo ante el deslizamiento o volcamiento, en este caso se construyó anclajes a una escala reducida, para así estimar una adherencia representativa que nos ayude a diseñar un anclaje a escala real [16].

El arrancamiento por unidad de longitud está dado por la siguiente ecuación:

$$Q = \tau_{ad} \cdot L \cdot \pi \cdot D_{DH}$$

Donde:

Q= Capacidad al arrancamiento por unidad de longitud.

τ_{ad} =Esfuerzo de adherencia actuante en el bulbo de la interface suelo-anclaje.

L= longitud del anclaje.

D_{DH} =Promedio del diámetro efectivo del agujero de perforación.

A continuación, se presentan los diferentes valores de adherencias para cada lugar ensayado.

Tabla 33: Esfuerzo de Falla en Anclaje “Pujili”

Sitio	Alturas (m)	Diámetro de perforación (m)	Fuerzas de arranque (kg)	Esfuerzo de falla en campo rad (KPA)
	0,15	0,0105	23	34
PUJILI	0,65	0,0109	49	71
	1,15	0,0104	69	104

Tabla 34: Esfuerzo de Falla en Anclaje “Quito”

Sitio	Alturas (m)	Diámetro de perforación (m)	Fuerzas de arranque (kg)	Esfuerzo de falla en campo rad (KPA)
	0,15	0,0104	120	180
QUITO	0,65	0,0105	127	189
	1,15	0,0104	140	210

Tabla 35: Esfuerzo de Falla en Anclaje “Santo Domingo de los Tsáchilas”

Sitio	Alturas(m)	Diámetro de perforación (m)	Fuerzas de arranque (kg)	Esfuerzo de falla en campo rad (KPA)
	0,15	0,0105	28	42
SANTO DOMINGO	0,65	0,0105	57	85
	1,15	0,0104	64	96

3.4. Comparación de las adherencias mediante La Dirección General de Carreteras (D.G.C)

La Dirección General de Carreteras, mediante ensayos de anclajes en diferentes tipos de terrenos presenta diferentes valores de adherencia.

Tabla 36: Capacidad de adherencia suelo – lechada (D.G.C. 2004) [17]

Tipo de Terreno	Adherencia Nominal Tult [Ksf]/[Mpa]
Roca Dura (granito, gnais, caliza, etc.)	1,000 - 2,500 / 1,0-2,5
Roca Blanda (margas, esquistos, pizarras, etc.)	300 - 1,000 / 0,3 - 1,0
Gravas y arenas gruesas	600 - 1,000 / 0,6 - 1,0
Arenas finas y medias	300 - 600 / 0,3 - 0,6
Arenas limosas y arcillas arenosas	301 - 600 / 0,3 - 0,6

Las adherencias que sugiere la (D.G.C 2004), para arenas finas es de 0.3 – 0.6 MPa y arcillas de 0.3 – 0.6.

Las diferentes adherencias en campo calculadas (Tabla 30, 31,32), para cada sitio se encuentran dentro del rango que sugiere ((D.G.C 2004).

3.5. Cálculo de adherencias mediante formula del (D.G.C)

La adherencia del bulbo se puede calcular mediante la formula:

$$a_{adm} = \frac{C}{F_{2c}} + \sigma \left(\frac{tg\phi}{F_{2\phi}} \right)$$

Donde:

c = cohesión efectiva del terreno en el contacto terreno-bulbo.

φ = ángulo de rozamiento interno efectivo del terreno en el contacto terreno-bulbo.

σ = presión efectiva del terreno en el centro del bulbo más una tercera parte de la presión de inyección aplicada.

F_{2c} = 1,60; coeficiente de minoración de la cohesión.

F_{2φ} = 1,35; coeficiente de minoración de la fricción.

Tabla 37: Cálculo de adherencia “Pujilí”

Sitio	Alturas (m)	Densidad natural (kg/m ³)	Esfuerzo normal (KPA)	Esfuerzo de adherencia CD normal τ _{ad} (KPA)
PUJILI	0,10	1850	2	17
	0,60	1850	11	28
	1,10	1850	20	39

Tabla 38: Cálculo de adherencia “Quito”

Sitio	Alturas (m)	Densidad natural (kg/m ³)	Esfuerzo normal (KPA)	Esfuerzo de adherencia CD normal τ _{ad} (KPA)
QUITO	0,10	1870	2	53
	0,60	1870	11	74
	1,10	1870	21	95

Tabla 39: Cálculo de adherencia “Santo Domingo de Tsáchilas”

Sitio	Alturas (m)	Densidad natural (kg/m ³)	Esfuerzo normal (KPA)	Esfuerzo de adherencia CD normal τ _{ad} (KPA)
SANTO DOMINGO	0,10	1780	2	12
	0,60	1780	11	17
	1,10	1780	20	21

Los resultados obtenidos mediante la fórmula de (D.G.C) son menores a los obtenidos directamente en campo, esto pudo deberse a las diferentes condiciones climáticas a momento de ensayar las muestras, el ensayo en Pujilí fue en condiciones de un clima seco, en Quito las condiciones fueron de un clima seco y en Santo Domingo de los Tsáchilas fue en condiciones de clima lluvioso.

4. Conclusiones

De la muestra obtenida en Pujilí se obtuvo un suelo tipo SM (Arenas limosas), la de Quito fue un ML (Limo de baja plasticidad) y de la muestra

obtenida en Santo Domingo de los Tsáchilas fue un CH (arcilla de alta plasticidad).

Después de realizar los ensayos de corte directo normal y corte directo modificado, se pudo observar que mientras más fino sea el tipo de suelo, menos será el porcentaje de diferencia, la diferencia para la muestra obtenida en Pujilí es de 17% para un esfuerzo normal de 100 KPa y de 4% para un esfuerzo normal de 200 KPa, para Quito es de 26% para un esfuerzo normal de 100 KPa y de 2% para un esfuerzo normal de 200 KPa, y para la muestra obtenida en Santo Domingo de los Tsáchilas es de 6% para un esfuerzo normal de 100 KPa y de 1% para un esfuerzo normal de 200 KPa. De igual manera si el esfuerzo normal aumenta, el porcentaje de diferencia disminuye.

Al realizar los anclajes en la ciudad de Quito, se obtuvo que las diferentes fuerzas de arranque, son las más altas con respecto a los demás sitios ver tabla 30, 31, 32, esto podría deberse a que al momento de la construcción del anclaje el suelo se encontraba en estado seco ayudando de esta manera a la adherencia entre en suelo y la lechada, mientras que el suelo de Santo Domingo de Tsáchilas al momento de construir los anclajes estuvo húmedo, y durante la espera de 14 días para el fraguado de la lechada, no cambio esta condición ya que fue época de lluvias en dicho sitio, esto incrementa la presión de poros y, por tanto, disminuye el esfuerzo efectivo y la resistencia del suelo, todo esto no ayudó con la adherencia entre la lechada y el suelo. El anclaje construido en Pujilí fue en un suelo arenoso que se encontraba en estado seco, y dicha condición no se modificó hasta el día del ensayo, los cambios marcados de la fuerza de arranque entre las diferentes alturas, podrían deberse a que exista cambios de estratos entre la altura de cada anclaje.

Los resultados obtenidos del esfuerzo de adherencia en campo son más altos a lo esperado, por esta razón se realizó una comparación con la tabla de Dirección General de Carreteras (D.G.C) en la cual sugiere varias adherencias para distintos tipos de suelo, de acuerdo a la tabla del (D.G.C) las adherencias calculadas en campo si

se encuentran en el rango establecido por el (D.G.C).

Los valores obtenidos de k_1 y k_2 están fuera del rango de la bibliografía existente ver tabla 34 y 35, por lo tanto, para realizar una construcción de un muro se deberá optar por otra alternativa para mejorar el factor de deslizamiento.

Referencias

- [1] C. Villalaz, *Mecánica de Suelos y Cimentaciones, Corte Directo*, Mexico: LIMUSA, 2004, pp. 163-134.
- [2] B. M. Das, *Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones*, Mexico: CENGAGE, 2012, pp. 418-420.
- [3] R. Ucar, «Manual de Anclajes "academia.edu",» 22 Junio 2002. [En línea]. Available: https://www.academia.edu/15206659/Manual_de_Anclajes_en_Ingeniería_Civil . [Último acceso: 23 Junio 2023].
- [4] J. Puelles, «Determinación de la capacidad de adherencia"1library.com",» 13 Diciembre 2011. [En línea]. Available: <https://1library.co/document/yngommlz-determinacion-capacidad-adherencia-optimizado-aplicacion-excavaciones-profundas-metropolitana.html>. [Último acceso: 10 Junio 2023].
- [5] ASTM, «Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales Sribd,» 25 mayo 2020. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/document/282774063/Astm-d4220>. [Último acceso: 06 junio 2023].

- [6] S. Laboratorio, «Toma de muestras mediante calicata "csr Laboratorio",» Central CSR LABORATORIO, 22 Enero 2016. [En línea]. Available: <https://csrlaboratorio.es/laboratorio/agricultura/suelos-agricolas/muestreo-de-suelo-mediante-calicata-con-maquina/>.
- [7] ASTM, «ASTM C 0117-95 "Método de ensayo estándar para material más fino",» Studocu, [En línea]. Available: <https://www.studocu.com/latam/document/universidad-de-el-salvador/mecanica-de-suelos/astm-c-0117-95-norma-astm-c0117-95/58838329>. [Último acceso: 15 06 2023].
- [8] ASTM, «ASTM-D4318"Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales" Wordpress,» 22 Mayo 2016. [En línea]. Available: <https://ensayosdelaboratoriosuelos.files.wordpress.com/2015/12/traduccic3b3n-astm-d4318.pdf>. [Último acceso: 06 Junio 2023].
- [9] T. Ralph, Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica, Buenos Aires: El Ateneo S.A, 2019, pp. 20-35.
- [10] ASTM, «ASTM- D2850 "Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales",» 05 mayo 2020. [En línea]. Available: <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/images/ensayos/5-geotecnia/5.16.pdf>. [Último acceso: 26 Junio 2023].
- [11] VJTeachLimited, Dirección, *How to prepare a sand sample for Triaxial Testing*. [Película]. Estados Unidos: VJTeach Limited, 2018.
- [12] ASTM, ASTM D3080-11 Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales Corte Directo, Estados Unidos, 2012, pp. 26-36.
- [13] ASTM, «ASTM D3080-1 "Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales" Método de Prueba Estándar para Corte Directo,» 12 11 2011. [En línea]. Available: https://www.cesmec.cl/medios/DIC/normas/ASTM_D3080_11_.pdf. [Último acceso: 26 05 2023].
- [14] C. Geotechnical, «Ensayo de Corte Directo "ABC Geotechnical",» ABC, 23 abril 2020. [En línea]. Available: <https://geotecniaymecanicasuelosabc.com/corte-directo-2/>. [Último acceso: 30 junio 2023].
- [15] D. Braja, Fundamentos de ingeniería geotécnica, México: Thomson Learning, 1999, p. 316.
- [16] N. Ucar, «Manual de Anclajes en Obras de Tierra,» 2002. [En línea]. Available: http://www.serbi.ula.ve/serbiula/libros-electronicos/Libros/manual_anclaje/pdf/librocompleto.pdf. [Último acceso: 08 Marzo 2023].
- [17] DGC, «Dirección General de Caminos España "Construcción y control de anclajes",» 2004, p. Pg 61.