



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TEMA:

**ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE CARGA DEL SUELO ARCILLOSO
DE GUAYAQUIL EN ESTADO SATURADO DEBIDO AL PROCESO DE
CARGA Y DESCARGA DURANTE UN EVENTO SÍSMICO**

AUTOR:

Stay Medina, David Fernando

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO CIVIL**

TUTOR:

De La Pared Condo, Daniel Boanerges

Guayaquil, Ecuador

21 de febrero del 2022



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Stay Medina David Fernando**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Civil**.

TUTOR

f. _____
De La Pared Condo, Daniel Boanerges

DIRECTORA DE LA CARRERA

f. _____

Alcívar Bastidas, Stefany Esther

Guayaquil, a los 21 del mes de febrero del año 2022



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Stay Medina, David Fernando**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, **ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE CARGA DEL SUELO ARCILLOSO DE GUAYAQUIL EN ESTADO SATURADO DEBIDO AL PROCESO DE CARGA Y DESCARGA DURANTE UN EVENTO SÍSMICO**, previo a la obtención del título de **INGENIERO CIVIL**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los **21 del mes de febrero del año 2022**

EL AUTOR



Escanea y vincúlalo con:
**DAVID
FERNANDO STAY
MEDINA**

f. _____

Stay Medina, David Fernando



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

AUTORIZACIÓN

Yo, **Stay Medina, David Fernando**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE CARGA DEL SUELO ARCILLOSO DE GUAYAQUIL EN ESTADO SATURADO DEBIDO AL PROCESO DE CARGA Y DESCARGA DURANTE UN EVENTO SÍSMICO**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 21 del mes de febrero del año 2022

EL AUTOR:



f. _____
Stay Medina, David Fernando

Document Information

Analyzed document	TESIS FINAL DAVID STAY.pdf (D128706900)
Submitted	2022-02-24T00:51:00.0000000
Submitted by	Clara Glas
Submitter email	claglas@hotmail.com
Similarity	0%
Analysis address	clara.glas.ucsg@analysis.urkund.com

Sources included in the report

SA	19175-Limaymanta Mendoza, Felícita_.pdf Document 19175-Limaymanta Mendoza, Felícita_.pdf (D70033959)	 1
-----------	--	---

f. 
De La Pared Condo, Daniel
Boanerges

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a mis padres que con su esfuerzo y dedicación lograron darme las herramientas necesarias para poder direccionarme en el camino correcto y poder llegar a cumplir muchas de mis metas siendo ese apoyo incondicional todo el tiempo.

A las personas que fueron un gran apoyo durante mi vida y mi carrera universitaria, excelentes compañeros dentro de la universidad y fuera de ella, así como a todos los profesionales que compartieron sus conocimientos, sus experiencias y vivencias sobre la profesión y su vida buscando formar la mejor versión de mí.

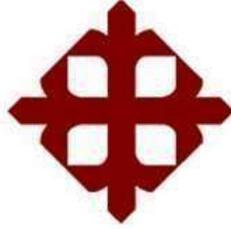
A todos mis compañeros y superiores de los espacios en donde he podido tener cabida y trabajar en ellos ampliando mis conocimientos y dándome la oportunidad de aprender ingeniería en todos sus aspectos como Tecno Estudio R.S.H., Construladesa Cia. Ltda., Ecuamapping Cia. Ltda. y la Prefectura del Guayas.

Y finalmente a todas las personas que incluso sin darse cuenta aportaron mucho a mi vida, aun teniendo un carácter difícil fueron una gran compañía en todo momento.

DEDICATORIA

A mis padres, Patricia y David, debido a que gracias a ellos pude cumplir muchas metas siempre con su apoyo y cariño, junto con consejos y lecciones de vida que pude experimentar siempre con su amparo y compañía. A mi hermana Ximena por su compañía en todo momento y sus consejos de vida que seguiré escuchando por mucho tiempo..

David Fernando Stay Medina



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

f. _____

ING. STEFANY ALCÍVAR BASTIDAS, M. Sc.
DIRECTORA DE CARRERA

f. _____

ING. JOSÉ BARROS CABEZAS, M. Sc.
DOCENTE DE LA CARRERA

f. _____

ING. FRANCISCO GRAU SACOTO M. Sc.
OPONENTE

ÍNDICE

1. CAPÍTULO I - INTRODUCCION.....	2
1.1. ANTECEDENTES	2
1.2. OBJETIVO GENERAL	2
1.3. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	2
1.4. ALCANCE.....	3
2. CAPITULO II - MARCO TEORICO	4
2.1. SUELOS ALUVIALES	4
2.2. DEPOSITOS DELTAICO-ESTUARINOS	5
2.3. CLASIFICACIÓN DE DEPOSITOS DELTAICOS.....	8
2.3.1. CLASIFICACIÓN SEGÚN LA DIFERENCIA DE DENSIDAD ENTRE AFLUENTE Y CUERPO ESTANCADO	8
2.3.2. CLASIFICACIÓN SEGÚN EL NIVLE DE INTERVENCIÓN	9
2.3.3. ESQUEMA DE GALLOWAY	11
2.4. PROPIEDADES FISICAS DE LOS SUELOS	15
2.5. MODELO TRIFASICO	15
2.5.1. VOLUMENES DE FASE.....	16
2.5.2. PESOS DE FASE.....	17
2.6. RELACIONES DE VOLUMENES	17
2.6.1. POROSIDAD.....	17
2.6.2. RELACIÓN DE VACIOS	17
2.6.3. COMPACIDAD.....	18
2.6.4. DENSIDAD RELATIVA	19
2.6.5. GRADO DE SATURACIÓN.....	19
2.6.6. CONTENIDO DE HUMEDAD.....	20
2.6.7. PESO UNITARIO.....	20
2.6.8. GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS	20
2.7. COMPORTAMIENTO MECÁNICO.....	21
2.7.1. RESISTENCIA ÚLTIMA.....	22
2.8. DEFORMABILIDAD DEL SUELO	25
2.9. PERMEABILIDAD	26
2.9.1. COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD	27
2.10. DEFORMACIONES ELÁSTICAS	28

2.11.	DEFORMACIONES PLÁSTICAS	29
2.12.	CARGA AXIAL	29
2.13.	COEFICIENTE DE POISSON	30
2.14.	ESTADO TENSIONAL INICIAL	30
2.15.	ECUACIONES CONSTITUTIVAS	31
2.16.	RELACIÓN ESFUERZO DEFORMACION	31
2.17.	MODULO DE YOUNG.....	33
2.18.	MODULO SECANTE	34
2.19.	MODULO RESILIENTE.....	35
2.20.	COEFICIENTE DE POISSON.....	36
2.21.	NORMA DE ENSAYO DE COMPRESIÓN SIN CONFINAMIENTO	37
3.	CAPITULO III - MARCO METODOLOGICO.....	39
3.1.	TOMA DE MUESTRA	39
3.2.	UBICACIÓN DE PERFORACIONES	40
3.3.	EXTRACCIÓN DE MUESTRAS PARA ENSAYO.....	42
3.4.	ELABORACIÓN DE PROBETAS DE ENSAYO	43
3.5.	TIPO DE ENSAYO	44
3.6.	METODOLOGIA DEL ENSAYO	45
3.6.1.	PRIMER ESTADO DE CARGA	45
3.6.2.	SEGUNDO ESTADO DE CARGA.....	46
3.7.	ARREGLOS PARA EL ENSAYO DE CICLOS DE CARGA	47
3.8.	DIMENSION DE LA MUESTRA.....	47
3.9.	PLACAS DE DISTRIBUCIÓN DE CARGA	47
3.10.	MONITOREO Y CONTROL	48
3.11.	PUNTOS DE CONTROL DE DEFORMACIONES	49
3.11.1.	MEDICIÓN DE DEFORMACIONES VERTICALES	49
	49
3.11.2.	MEDICIÓN DE DEFORMACIONES TRANSVERSALES.....	49
3.12.	LECTURA DE CARGA	50
4.	CAPITULO IV – ANÁLISIS DE RESISTENCIA ÚLTIMA POR CARGA PROGRESIVA.....	51
4.1.	METODOLOGIA DEL ENSAYO	51
4.2.	DETERMINACIÓN DE ESFUERZO	51

4.3.	DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL.....	52
4.4.	RESULTADOS DEL ENSAYO.....	53
4.4.1.	MUESTRA 1 - EL ESFUERZO - CENTRO	53
4.4.2.	MUESTRA 3 – EL ESFUERZO - SUR.....	55
4.4.3.	MUESTRA 5 – EL ESFUERZO - NORTE	57
4.4.4.	MUESTRA 8 – EL TORNILLO	60
4.5.	RESISTENCIAS ÚLTIMAS OBTENIDAS.....	62
4.6.	MAXIMAS DEFORMACIONES	62
5.	CAPÍTULO V - ANÁLISIS DE RESISTENCIA ÚLTIMA POR CARGA Y DESCARGA	63
5.1.	MUESTRAS POR ENSAYAR.....	63
5.2.	DETERMINACIÓN DE ESFUERZOS	63
5.3.	DETERMINACION DE LA VARIACIÓN DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL.....	64
5.4.	RANGO DE CICLO PARA CARGA Y DESCARGA.....	66
5.5.	RESULTADO DE LOS ENSAYOS	66
5.5.1.	MUESTRA 2 – EL ESFUERZO - CENTRO	66
5.5.2.	MUESTRA 4 – EL ESFUERZO - SUR.....	68
5.5.3.	MUESTRA 6 – EL ESFUERZO - NORTE	73
5.5.4.	MUESTRA 7 – EL ESFUERZO - NORTE	77
5.5.5.	MUESTRA 9 – EL TORNILLO	79
5.5.6.	MUESTRA 10 – EL TORNILLO	85
6.	CAPITULO VI - ANALISIS DE RESULTADOS.....	91
6.1.	ANÁLISIS DE RESULTADO POR EFECTO DE MATERIA ORGÁNICA.....	91
6.2.	ANALISIS DE RESULTADOS DE ENSAYOS EL ESFUERZO – SUR	91
6.3.	ANALISIS DE RESULTADOS DE ENSAYOS EL TORNILLO	96
7.	CAPITULO VII – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	101
7.1.	CONCLUSIONES DEL ESTUDIO.....	101
7.2.	RECOMENDACIONES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	104
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	106

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. CLASIFICACIÓN DE LOS DELTAS SEGUN SU NIVEL DE INTERVENCIÓN	10
TABLA 2. CALIFICACIÓN DE LOS RÍOS BAJO EL CRITERIO DE INTERVENCIÓN EN MEANDROS.....	11
TABLA 3. PUNTOS DE COORDENADA PARA ESTUDIO	41
TABLA 4. MUESTRAS OBTENIDAS DE LAS EXTRACCIONES PARA ENSAYOS	42
TABLA 5. MUESTRAS POR ENSAYAR POR CARGA PROGRESIVA	51
TABLA 6. REGISTRO EL ESFUERZO SUR.....	56
TABLA 7. REGISTRO EL ESFUERZO NORTE.....	58
TABLA 8. REGISTRO DE CAMPO MUESTRA 8	61
TABLA 9. MÁXIMA DEFORMACIONES PRIMERA FASE	62
TABLA 10. MUESTRAS PARA ENSAYAR CONCICLOS DE CARGA.....	63
TABLA 11. REGISTRO ENSAYO CICLO DE CARGA MUESTRA 2.....	67
TABLA 12. REGISTRO DE ENSAYO CICLO DE CARGA MUESTRA 4	72
TABLA 13. REGISTRO DE ENSAYO CICLOS DE CARGA EL ESFUERZO - NORTE.....	78
TABLA 14. REGISTRO ENSAYO CICLO DE CARGA EL TORNILLO.....	83
TABLA 15. REGISTRO ENSAYO CICLO DE CARGA EL TORNILLO.....	89
TABLA 16. CUADRO COMPARATIVO DE RESULTADOS ENTRE FASES DE ENSAYO EL ESFUERZO SUR.....	92
TABLA 17. CUADRO COMPARATIVO DE ENSAYOS DE AMBAS FASES EL TORNILLO.....	96

ÍNDICE DE FIGURAS

ILUSTRACIÓN 1. ILUSTRACIÓN DE PROCESO DE FORMACIÓN DE UN DELTA POR INFLUENCIA DE UN RÍO.....	6
ILUSTRACIÓN 2. FORMACIÓN DE UN DEPOSITO DELTAICO ESTUARINO POR COMPORTAMIENTO REGRESIVO	7
ILUSTRACIÓN 3. PIRAMIDE DE CLASIFICACIÓN DE GALLOWAY POR INFLUENCIA DEL RÍO O MAR.	14
ILUSTRACIÓN 4. MODELO TRIFÁSICO DE LA MASA DE SUELO	16
ILUSTRACIÓN 5. COMPACIDAD DEL SUELO, VISUAL DE SUS ESTADOS	18
ILUSTRACIÓN 6. PRESENTACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD EN MODELO BIFÁSICO.....	20
ILUSTRACIÓN 7. VALORES COMUNES DE GRAVEDAD ESPECÍFICA.....	21
ILUSTRACIÓN 8. MODELO MOHR COULUMB.....	24
ILUSTRACIÓN 9. ENVOLVENTE DE MOHR COULUMB	25
ILUSTRACIÓN 10. DEFORMACIÓN DE PROBETA POR CARGA AXIAL DE COMPRESIÓN.....	26
ILUSTRACIÓN 11. MODELO BIFASICO DE PERMEABILIDAD	27
ILUSTRACIÓN 12. COMPORTAMIENTO DE DEFORMACIONES PLÁSTICAS	29
ILUSTRACIÓN 13. ILUSTRACION EFECTO POISSON	30
ILUSTRACIÓN 14. COMPORTAMIEÑO ESFUERZO VS DEFORMACIÓN DE LOS MATERIALES	32
ILUSTRACIÓN 15. MÓDULO DE YOUNG EN GRÁFICA CONSTITUTIVA	33
ILUSTRACIÓN 16. REPRESENTACIÓN DE MÓDULO SECANTE	34
ILUSTRACIÓN 17. MÓDULO RESILIENTE EN CARGAS REPETITIVAS	35
ILUSTRACIÓN 18. EXTRACCIÓN DE MUESTRA POR PERFORACIÓN	39
ILUSTRACIÓN 19. ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS.....	40
ILUSTRACIÓN 20. UBICACIÓN DE PERFORASIONES	40
ILUSTRACIÓN 21. EQUIPO DE EXTRACCIÓN DE MUESTRA	43
ILUSTRACIÓN 22. EXTRACCIÓN DE MUESTRA DE ARCILLA	43
ILUSTRACIÓN 23. MUESTRA EXTRAIDA DE TUBO SHELBY PREVIO AL CORTE.....	44
ILUSTRACIÓN 24. EQUIPO DE ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE.....	45
ILUSTRACIÓN 25. INSTALACIÓN DE EQUIPOS DE MONITOREO	46
ILUSTRACIÓN 26. APLICACIÓN DE CARGA Y DESCARGA DE MANERA MANUAL.....	46
ILUSTRACIÓN 27. CORTE Y PREPARACION DE PLACAS DE MADERA PARA ENSAYO	47
ILUSTRACIÓN 28. PLACAS DE MADERA PARA CABEZAL DE ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE....	48
ILUSTRACIÓN 29. MONITOREO DE DEFORMACIONES DURANTE ENSAYO.....	49

ILUSTRACIÓN 30. UBICACION DE DIALES EN PUNTO LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL.....	50
ILUSTRACIÓN 31. ILUSTRACIÓN DE ESANCHAMIENTO DE SECCIÓN TRANSVERSAL	52
ILUSTRACIÓN 32. REGISTRO EL ESFUERZO	54
ILUSTRACIÓN 33- GRÁFICA CONSTITUTIVA EL ESFUERZO	54
ILUSTRACIÓN 34. FALLA DE LA MUESTRA 1.	55
ILUSTRACIÓN 35. GRÁFICA CONSTITUTIVA EL ESFUERZO Y SUR	57
ILUSTRACIÓN 36. FALLO DE MUESTRA 3	57
ILUSTRACIÓN 37. GRÁFICA COSNTITUTIVA EL ESFUERZO - NORTE	59
ILUSTRACIÓN 38. FALLO DE LA MUESTRA 5.	59
ILUSTRACIÓN 39. GRÁFICA CONSTITUTIVA EL TORNILLO	61
ILUSTRACIÓN 40. MUESTRA CON FALLO LUEGO DE LA COMPRESIÓN.....	61
ILUSTRACIÓN 41. RESISTENCIAS ÚLTIMAS OBTENIDAS PRIMERA FASE	62
ILUSTRACIÓN 42. ILUSTRACIÓN EFECTO DE COMPRESIÓN	65
ILUSTRACIÓN 43. GRÁFICA CONSTITUTIVA EL ESFUERZO - CENTRO	68
ILUSTRACIÓN 44. GRÁFICA CONSTITUTIVA CON CICLOS DE CARGA EL ESFUERZO - SUR.....	72
ILUSTRACIÓN 45. ACERCAMIENTO DE CICLO DE CARGA EN GRÁFICA.....	73
ILUSTRACIÓN 46. GRÁFICA CONSTITUTIVA CON CICLO DE CARGA EL ESFUERZO - NORTE	76
ILUSTRACIÓN 47. ACERCAMIENTO CICLO DE CARGA EL ESFUERZO - NORTE.....	77
ILUSTRACIÓN 48. GRÁFICA CONSTITUTIVA CICLOS DE CARGA EL ESFUERZO - NORTE	79
ILUSTRACIÓN 49. GRÁFICA CONSTITUTIVA MUESTRA 9.....	84
ILUSTRACIÓN 50. ACERCAMIENTO CICLO DE CARGA MUESTRA 9.	85
ILUSTRACIÓN 51. GRÁFICA CONSTITUTIVA EL TORNILLO	89
ILUSTRACIÓN 52. ACERCAMIENTO CICLOS DE CARGA MUESTRA EL TORNILLO	90
ILUSTRACIÓN 53. GRÁFICA COMPARATIVA DE RESISTENCIA EL ESFUERZO - SUR	92
ILUSTRACIÓN 54. GRÁFICA COMPARATIVA DE DEFORMACIONES EL ESFUERZO - SUR.....	93
ILUSTRACIÓN 55. GRÁFICA COMPARATIVA DE RIGIDEZ EL ESFUERZO - SUR	94
ILUSTRACIÓN 56. SELECCIÓN DE VALOR PARA DETERMINACIÓN DE MÓDULO DE ELASTICIDAD.	95
ILUSTRACIÓN 57. GRÁFICA COMPARATIVA DE RESISTENCIA EL TORNILLO	96
ILUSTRACIÓN 58. GRÁFICA COMPARATIVA DE DEFORMACIONES EL TORNILLO.....	97
ILUSTRACIÓN 59. GRÁFICA COMPARATIVA DE RIGIDEZ EL TORNILLO	98
ILUSTRACIÓN 60. SELECCIÓN DE VALOR PARA DETERMINACIÓN DE MÓDULO DE ELASTICIDAD.	99
ILUSTRACIÓN 61. COMPARATIVA DE MÓDULO RESILIENTE ENTRE CICLOS.....	103

RESUMEN

Siendo Guayaquil una ciudad en desarrollo por los puertos, debido a su ubicación el subsuelo se basa en depósitos de naturaleza aluvial, pertenecientes a una formación deltaica estuarina de características muy particulares. El intenso desarrollo urbano se produce por la dinámica del puerto se ha visto en la necesidad de cimentarse sobre el suelo deltaico. Debido a esta condición resulta necesario que los procesos de diseños y constructivos consideren asentamiento, así como bajas capacidades de carga del suelo de cimentación.

La costa ecuatoriana forma parte del cinturón de fuego del Pacífico por lo que se considera una zona tectónicamente activa; así como, la presencia de fallas de corteza y su comportamiento activo configuran una alta peligrosidad sísmica por lo que se considera toda la ciudad de Guayaquil en una zona de actividad sísmica alta.

De esta manera la excitación de la estructura por un efecto sísmico del medio es un evento que cuenta con una alta probabilidad de ocurrencia durante la vida útil de las edificaciones, por lo que el efecto que se produce por los eventos sísmicos en depósitos de suelo finos en estado saturado debe de ser estudiado a profundidad con la consideración de que dicho evento producirá un estado de carga y descarga cíclica sobre los cimientos.

PALABRAS CLAVE: SISMO, CIMENTACIONES, CARGAS CÍCLICAS, MEANDROS, ESTUARIOS, DEPÓSITOS ALUVIALES, DEPÓSITO DELTAICO ESTUARINO, GOLFO, RESISTENCIA ÚLTIMA, RELACIÓN DE POISSON, DEFORMACIÓN AXIAL, MÓDULO RESILIENTE, MÓDULO DE ELASTICIDAD.

1. CAPÍTULO I - INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

El objeto de este estudio son los suelos deltaico-estuarinos de la ciudad de Guayaquil donde se encuentran la mayoría de las edificaciones de gran magnitud cercanas al malecón principal de la ciudad, estos depósitos se encuentran en estado saturado, están compuestos por suelos finos como arcillas y limos. La ciudad experimenta una serie de eventos sísmicos al año por lo cual se considera una zona sísmicamente activa, los sismos no siempre se presentan de grandes magnitudes ni con origen cercano.

Los suelos con las propiedades físico-mecánicas correspondientes a la descripción propuesta, acorde a la naturaleza geológica del suelo, son estudiados mediante ensayos que representan cargas estáticas sin considerar variaciones de cargas con respecto al tiempo aunque durante la vida útil de la estructura se pueden presentar variaciones; sin embargo, al momento de existir un evento sísmico se acelera la estructura produce un fenómeno cíclico de carga y descarga en la cimentación, que deben ser considerados en los procesos de diseño y de análisis de estructuras existentes.

1.2. OBJETIVO GENERAL

Determinar la respuesta de los suelos finos saturados de la Ciudad de Guayaquil en términos de resistencia y deformación bajo un proceso de carga y descarga en laboratorio con la finalidad de determinar variaciones en los parámetros geo-mecánicos de estos materiales respecto a cargas estáticas.

1.3. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar la capacidad de carga última de las diferentes muestras de suelo mediante una aplicación de carga progresiva utilizando el equipo de compresión sin confinamiento.
- Ensayar las muestras utilizando el equipo de compresión sin confinamiento aplicando un ciclo de carga y descarga de manera manual.
- Realizar un análisis comparativo de los resultados de la capacidad última con respecto a la carga progresiva con respecto a los ciclos de carga y descarga en las mismas muestras.

1.4. ALCANCE

Para desarrollar el presente estudio se identifican localizaciones de la ciudad de Guayaquil, donde se obtienen las muestras que fueron ensayadas, con la finalidad de definir la naturaleza geológica de los depósitos deltaico-estuarinos en estado saturado. Con las muestras obtenidas, se procede a elaborar especímenes de ensayo considerando las relaciones dimensionales especificadas en las normativas para ensayos de compresión sin confinamiento. Estas muestras son ensayadas, en primera instancia, al esfuerzo de falla, el cual denominamos capacidad última de carga axial en el ensayo de carga progresiva. Posteriormente se obtienen probetas similares de la misma muestra obtenidas del tubo tipo Shelby y que son sometidas en el mismo equipo de compresión sin confinamiento con ciclos manuales de carga y descarga, manteniendo los esfuerzos al 50% de la carga última obtenida previamente.

Durante los ensayos se realizaron monitoreos con la ayuda de instrumentos de alta precisión acoplados al equipo de ensayo de compresión sin confinamiento registrando las deformaciones axiales y transversales durante las secuencias de carga.

Los resultados de los ensayos permiten definir las curvas de comportamiento mecánico de estos materiales en términos de esfuerzo y deformación unitaria vertical, así como las variaciones de las deformaciones transversales durante los ciclos de carga

2. CAPITULO II - MARCO TEORICO

2.1. SUELOS ALUVIALES

Los suelos son un conjunto de partículas que ocupan una porción de la superficie del planeta y que sus características dependen de los diferentes procesos de formación que experimentan desde su origen hasta su colocación en los puntos de depósito.

Los suelos residuales resultan ser el producto de meteorización de rocas y su comportamiento depende de las propiedades de la roca original y del grado de descomposición. (1)

La naturaleza de los suelos producto de un proceso de meteorización se consideran suelos residuales y se producen en sitios con presencia de formaciones rocosas, está siendo la matriz del material meteorizados que se depositará en otra zona debido a los agentes encargados del transporte de los suelos.

Los suelos aluviales son depósitos transportados por el agua en movimiento y depositados cuando la velocidad del agua ha disminuido. (Edward Arnold, 1984, p. 161)

El transporte de los suelos producido por un cuerpo de agua presenta diferentes comportamientos a lo largo de las zonas geográficas por las cuales transita la corriente que se encarga del transporte de los suelos. Los suelos que presentan un mayor tamaño se depositan en las zonas superiores de los cuerpos de agua debido a la pendiente con la que circula el flujo presentando altas velocidades. La composición de los sedimentos aluviales está estrictamente relacionada con la geología de los relieves montañosos que forman el área fuente. (1)

Los depósitos de naturaleza aluvial guardan relación directa con el tamaño de los suelos debido al fenómeno de sedimentación, a medida que las pendientes de los ríos disminuyen, su flujo se desacelera produciendo que las partículas de sólidos se sedimenten de acuerdo a su tamaño, al final del ciclo el río llega a zonas planas en donde su velocidad es mucho menor a su inicial y los sedimentos finos arrastrados por la corriente comienzan a sedimentarse y depositarse en el fondo o en puntos de depósitos como lo son los meandros.

La sedimentación que se produce en los puntos de depósito se genera de manera progresiva a medida que las corrientes de río aproximan los sólidos suspendidos formados de manera posterior a los depositados, formando capas de depósitos blandas debido a su pobre compactación y la ausencia de materiales que solidifiquen el medio sedimentado.

Los suelos aluviales, compuestos por arcilla tienden a ser blandos y los de arena tienden a ser sueltos. Debido a su poca cementación, los materiales aluviales son propensos a erosión y deslizamientos. (1)

2.2. DEPOSITOS DELTAICO-ESTUARINOS

El lugar de estudio presenta una peculiar característica en donde se combina el proceso de formación de depósitos del suelo en forma de deltas y de una naturaleza estuarina por el efecto de la marea sobre el afluente en la desembocadura costera. El detalle teórico considera la definición tana de delta como de estuario.

Los deltas son protuberancias que resultan cuando un río se encuentra en contacto con agua estancada, aportando sedimentos de manera más continua y seguida de lo que la cuenca puede redistribuirlo mediante procesos de oleaje o mareas. (2)

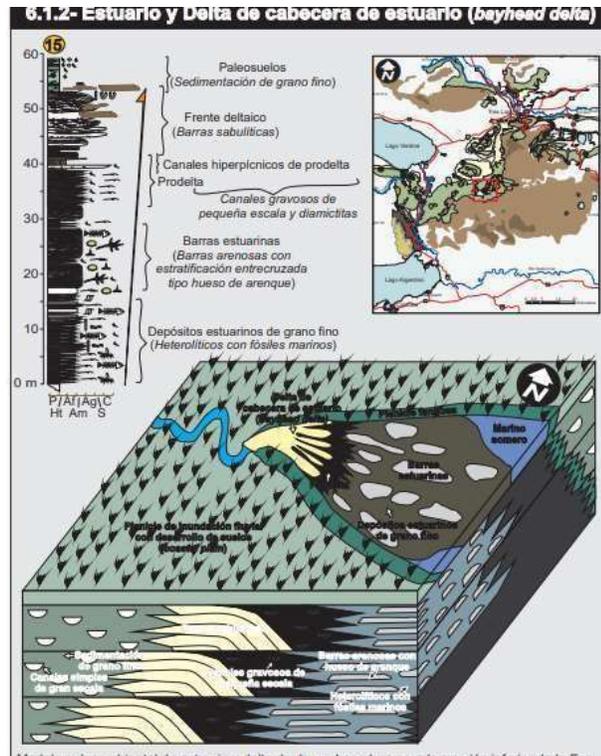


Ilustración 1. Ilustración de proceso de formación de un delta por influencia de un río.

El tipo de costa debe ser establecido con la finalidad de aproximar la definición de un depósito deltaico. Las costas se pueden dividir en dos tipos, transgresiva y regresivas. Las influencias de sistemas fluviales son de gran importancia en el proceso de depósitos de los sedimentos. En una costa regresiva la interacción entre el aporte de sedimento proveniente de los sistemas fluviales y la habilidad de los procesos marinos para distribuir esos sedimentos determina el tipo de costa a formarse. (2)

El lugar de estudio corresponde un punto de interacción entre un río afluente y la corriente del Océano Pacífico, presentando el comportamiento característico de una costa regresiva presentando una forma de abanico conformada por los depósitos de los suelos finos que se precipitan durante el proceso de sedimentación, siendo el dominante el aporte del río. Si domina el aporte, la costa tendrá formas alargadas o lobadas (deltas). Cuando la tasa de ascenso del nivel relativo del mar supera al aporte de sedimento, se genera una transgresión con depositación. (3)

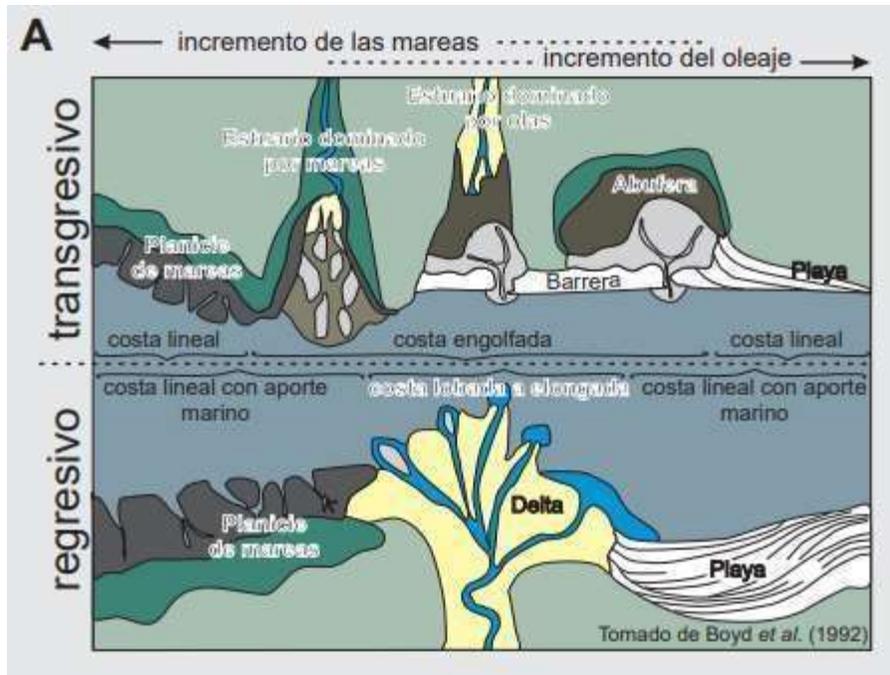


Ilustración 2. Formación de un depósito deltaico estuarino por comportamiento regresivo

El nivel del mar asciende durante las primeras horas del día, produciendo un flujo visible direccionado aguas arriba del cuerpo del afluente. El resto del día, el sentido del flujo se recupera direccionando la corriente a favor del afluente, produciendo el proceso de formación para un depósito estuarino con la forma de un delta debido a su ubicación. Hay una migración de la línea de costa hacia el continente.

Desde el punto de vista geológico un estuario recibe aporte tanto marino como fluvial, generalmente ocupa la parte más baja de un valle y contiene facies influenciadas por procesos mareales, de oleaje y fluviales, y se considera que se extiende hacia el continente hasta el límite donde hay influencia de mareas y hacia el mar hasta donde dominan los procesos marinos. (4)

Los depósitos de los suelos en las zonas costeras se producen debido a la baja velocidad del río afluente en zonas de baja pendiente o de planicies, incluso dando la forma característica de los ríos de la costa con una gran sección transversal. Estas características demográficas aportan al proceso de sedimentación descrito y a la formación de deltas y estuarios cuando desemboca al océano como en el caso de estudio.

2.3. CLASIFICACIÓN DE DEPOSITOS DELTAICOS

Las características dependen del espacio en donde se forman, su topografía de forma más específica produciendo las diferentes presentaciones de los depósitos. En la actualidad se los conoce como planicie deltaica, frente deltaico y pro-delta. (5)

La clasificación de los deltas establecida por Coleman y Wright en 1975 basa la división de los tipos de delta en los parámetros de distribución de sólidos. El modelo de clasificación de Galloway planteada en 1975, es capaz de clasificar los deltas de manera similar, su clasificación se basa en los procesos dominantes que controlan la morfología de los depósitos como lo son los procesos fluviales y los oleajes provenientes del nivel del mar.

La localidad de estudio se considera un punto costero con un cambio de dirección de flujo por efectos de la marea y el afluente, por lo que se interpreta que la zona de estudio corresponde a un delta de cabecera de estuario de la zona inferior del Río Guayas en donde los sólidos son depositados y dispersados por la acción de las corrientes transgresivas.

La distribución de los deltas depende de varios factores, como los siguientes:

- La densidad de la descarga fluvial con respecto al cuerpo de agua que se encuentra estancado.
- La interacción del cuerpo fluvial con los procesos marinos.
- La posición física del delta dentro de la cuenca.
- El grado con el cual los sedimentos aportados por el sistema fluvial son distribuidos por los procesos marinos.

2.3.1. CLASIFICACIÓN SEGÚN LA DIFERENCIA DE DENSIDAD ENTRE AFLUENTE Y CUERPO ESTANCADO

Uno de los factores que clasifican los tipos de depósitos y que influyen en la distribución de depósitos es la diferencia de densidades entre ambos cuerpos hídricos, en el caso particular del estudio la interacción entre el afluente fluvial y el Océano Pacífico.

En el caso que la descarga del afluente sea más densa que el cuerpo estancado se considera como hipopícnalas. La otra posibilidad sería que la descarga del afluente sea de igual

densidad, en este caso se considera homopical. Por último, en caso de que la descarga del afluente sea menos densa que el cuerpo receptor, se considera de tipo hipopical. (3)

Muchos ríos experimentan cambios dramáticos en la descarga producto de oscilaciones climáticas estacionales o debido a inundaciones durante eventos de tormenta. Como consecuencia de ello muchos deltas pueden variar desde condiciones hipopicales a hiperpicales aún en ambientes netamente marinos (Nemec, 1995; Mulder y Syvitski, 1995; Parsons et al., 2001).

Por su parte las condiciones homopicales son muy raras en la naturaleza, ya que pequeñas diferencias de densidad son suficientes para transformar el flujo en hiperpical o hipopical. (Veraslovky et al., 2004)

2.3.2. CLASIFICACIÓN SEGÚN EL NIVLE DE INTERVENCIÓN

El sistema de clasificación de los depósitos deltaicos no solo considera su naturaleza o proceso de formación, tiene como un factor de importancia el desarrollo de las civilizaciones en su alrededor, al combinar los parámetros que enfocan la clasificación de los depósitos deltaicos se puede realizar una tabla comparativa, propuesta por Padilla en 2020.

Como resultado, se obtiene el siguiente cuadro de parámetros comparativos que otorga un valor numérico de acuerdo a su clasificación:

Clasificación	Criterio de clasificación	Evaluación	Calificación	Valoración del sistema
Sistemas no intervenidos	Se evidencian ciclos evolutivos. Sin intervenciones que controlan el cauce del canal o la morfología de la costa. No hay espolones, tajamares o canales artificiales.	Siempre se presentan cambios muy importantes en la evolución del sistema	1	Cuenca conservada que muestra un patrón de evolución como la establecida por Galloway a pesar de tener asentamientos humanos y el desarrollo de actividades económicas en el sector
		Casi siempre se presentan cambios muy importantes en la evolución del sistema.	2	
		Medianamente se presentan cambios muy importantes en la evolución del sistema	3	
		Pocas veces se presentan cambios muy importantes en la evolución del sistema	4	
		Nunca se presentan cambios muy importantes en la evolución del sistema	5	
Sistemas poco intervenidos	Se evidencian ciclos evolutivos. Sin embargo, existen intervenciones que controlan el cauce del canal o la morfología de la costa. Se presentan espolones y canales artificiales. No se presentan tajamares.	Se presentan intervenciones, pero siempre se evidencian cambios muy importantes en la evolución del sistema	1	La cuenca presenta intervenciones. Sin embargo, no controlan en su totalidad la evolución del sistema. No controla la disposición de los sedimentos.
		Se presentan intervenciones, pero casi siempre se evidencian cambios muy importantes en la evolución del sistema	2	
		Se presentan intervenciones, pero medianamente se evidencian cambios muy importantes en la evolución del sistema	3	
		Se presentan intervenciones, pero pocas veces se evidencian cambios muy importantes en la evolución del sistema	4	
		Se presentan intervenciones, pero nunca se evidencian cambios muy importantes en la evolución del sistema	5	
Sistemas altamente intervenidos	No se evidencian ciclos evolutivos. Se presentan intervenciones que controlan el cauce del canal y la morfología de la costa. Se presentan espolones, canales artificiales y tajamares.	Se presentan intervenciones, y escasamente se evidencian cambios en la evolución del sistema	1	La cuenca presenta intervenciones que determinan casi en su totalidad la dinámica del sistema.
		Se presentan intervenciones, y pocas veces se evidencian cambios en la evolución del sistema	2	
		Se presentan intervenciones, y algunas veces se evidencian cambios en la evolución del sistema	3	
		Se presentan intervenciones, y casi nunca se evidencian cambios en la evolución del sistema	4	
		Se presentan intervenciones, y nunca se evidencian cambios en la evolución del sistema	5	

Tabla 1. Clasificación de los deltas según su nivel de intervención.

Esta calificación considera el aspecto de evolución sobre y cerca del depósito estudiado asignando un valor a diferentes ríos de Sudamérica. En el estudio de Padilla se evalúan

diferentes ríos de Sudamérica asignando los valores numéricos considerados de acuerdo con las observaciones periódicas de la zona.

Clasificación	Sistema	Calificación
No intervenidos	Chira	1
	Guayas	2
	Bio-bio	5
	Lingue o Mehuin	3
	Jequitinhonha	4
	Choro	3
	Cienaga Honda	2
Poco intervenidos	Do Ribeira do Iguape	1
	Demerara	5
	Ceara	3
Altamente intervenidos	Bahia de babitonga	5
	Santa Maria	3
	Santana	1

Tabla 2. Calificación de los ríos bajo el criterio de intervención en meandros.

Con base en la asignación de calificación se considera a la zona de estudio como: Cuenca conservada que muestra un patrón de evolución como la establecida por Galloway a pesar de tener asentamientos humanos y el desarrollo de actividades económicas en el sector. (Padilla Perez, 2020, p. 25) De manera más específica corresponde a una cuenca que Casi siempre se presentan cambios muy importantes en la evolución del sistema. (6)

Esta clasificación toma como criterio: Se evidencian ciclos evolutivos. Sin intervenciones que controlan el cauce del canal o la morfología de la costa. No hay espolones, tajamares o canales artificiales. (Padilla Perez, 2020, p. 30)

2.3.3. ESQUEMA DE GALLOWAY

El esquema Galloway se plantea en base a la observación del investigador: la evolución morfológica y estratigráfica de los deltas que entre los controles naturales de la dinámica de los deltas se encuentran la influencia fluvial a través del caudal y la carga de sedimentos; y los agentes marinos como las corrientes oceánicas, corrientes meteorológicas, las corrientes de marea, y las corrientes de densidad, estableciendo así una clasificación de sistemas deltaicos. (Padilla Perez, 2020, p. 1)

Los depósitos evolucionan con el tiempo produciendo una masa estratigráfica de depósitos periódicos, todo influenciado por las corrientes fluviales. El manejo de los sólidos por parte de la corriente fluvial dictamina la forma del depósito que se produce obteniendo una de las formas características del esquema Galloway.

La importancia de la influencia de la energía marina (oleaje y marea) en el transporte y la re-depositación de los sedimentos introducidos por vía fluvial es variable. (Padilla Perez, 2020, p. 1)

Siendo el efecto del afluente el de mayor importancia en la disposición de los sólidos, la morfología de los depósitos y su evolución se relacionan directamente con el efecto del aporte fluvial de sedimentos y la acción de olas o corrientes que dispersen los sólidos suspendidos.

El esquema considera la clasificación en base al registro visual de los depósitos distribuidos a lo largo de la zona de sedimentación. Dándole una gran importancia al manejo de los sólidos suspendidos por las diferentes corrientes que interactúan en la zona.

El clima es considerado como parte de parámetros secundarios que afectan a la formación de los depósitos debido a que los procesos climáticos pueden afectar a la descarga de los cuerpos fluviales por una adición de la precipitación dentro del caudal base del río.

El clima en la cuenca hidrográfica representa una gran influencia en los factores como la escorrentía y los regímenes fluviales, que en conjunto con la geología y la topografía controlan la naturaleza y la tasa de aporte de sedimentos hacia la costa. (Padilla Perez, 2020, p. 1)

El esquema de Galloway utiliza la información de todos los parámetros que afectan durante el proceso de formación de los depósitos y su distribución final de los sólidos.

Este tipo de esquemas permiten clasificar los deltas en términos de las tasas de suministro de sedimento fluvial, la energía de las mareas y la energía de las olas incidentes. (Padilla Perez, 2020, p. 1)

El enfoque del esquema y sus consideraciones de participación producen que el esquema sea uno de los puntos de clasificación más usados ya que al cumplir con todas las características descritas permite caracterizar la morfología de los sistemas deltaicos que se estudian por lo que se resaltan en el análisis los agente morfo-dinámicos dominantes.

La descarga de agua dulce es represada por las corrientes de marea que ensanchan los canales distributarios en dirección al mar dando la forma de embudo en la llanura deltaica concentrando los sedimentos en los extremos de la desembocadura. (Padilla Perez, 2020, p.2)

La forma descrita en la investigación consultada representa de manera conceptual a la desembocadura del río Guayas en la zona de estudio. Adicional el registro visual muestra una dispersión menor de sedimentos a medida que se acerca a la desembocadura al mar, el investigador también describe esto como parte de información del esquema mencionado. Los sedimentos que transporta el cauce del río se depositan de tal manera que se observa una gradación de las partículas a través del delta.

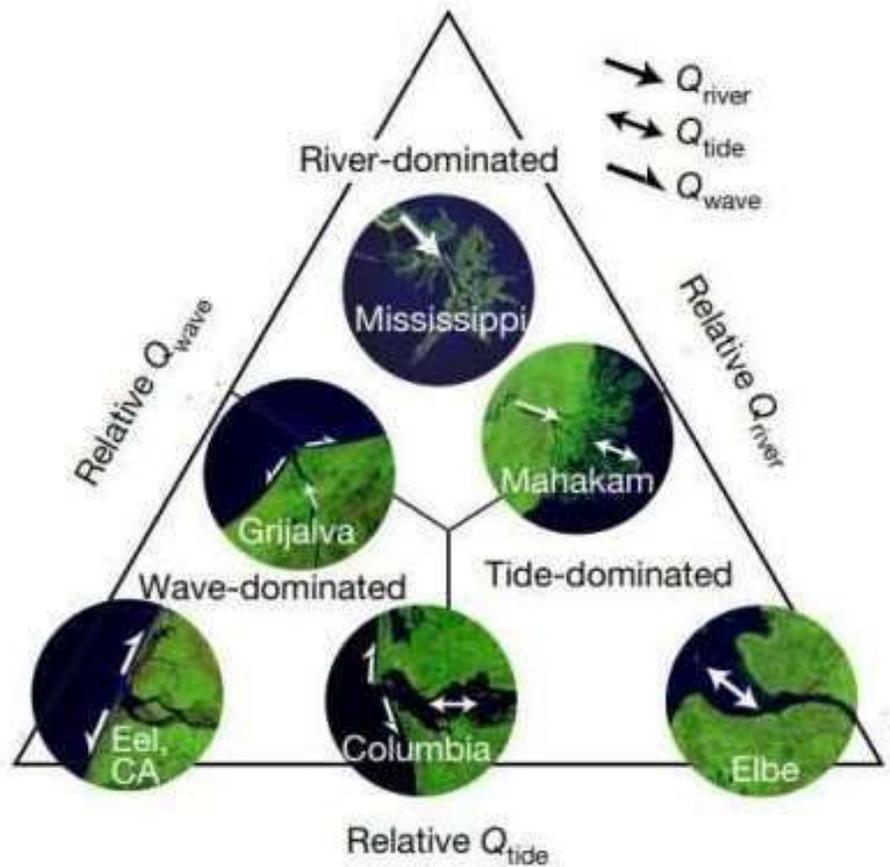


Ilustración 3. Piramide de clasificación de Galloway por influencia del río o mar.

La gran mayoría de los deltas, reflejan en mayor o menor grado, la influencia sincrónica de los de los sistemas marinos (oleaje y mareas) y fluviales. Por lo tanto, no se clasifican en las esquinas del diagrama sino en puntos intermedios entre estos. (Padilla Perez, 2020, p. 3)

Dentro del segundo nivel del esquema en el modelo de Mahakam, se aprecia el proceso y la distribución más similar a la correspondiente al río Guayas en su desembocadura. El planteamiento de los parámetros evaluados más el registro visual contemplado indicaría que forma parte de ese nivel dentro del esquema debido a que las corrientes y efectos convergen en la desembocadura. Considerando uno de los aspectos más importantes: La variabilidad de los sistemas deltaicos se debe a la diversidad y la variación de agentes que controlan la morfología y las proporciones en que estos actúan.

2.4. PROPIEDADES FISICAS DE LOS SUELOS

El suelo es un medio compuesto de partículas en una masa homogénea, que presenta los espacios ocupados por las partículas de los diferentes materiales y tamaños en un estado sólido, adicional existen los espacios entre las partículas de suelo que pueden ser ocupados tanto por agua así como por aire, esto último dependiendo del nivel de saturación del suelo.

El suelo, por ser un sistema trifásico, está compuesto por tres fases esenciales: sólida, líquida y gaseosa. (Ramirez Cravajal, 1997, p. 7)

Debido al hecho de estar formado por diferentes materias en el mismo medio, presenta propiedades físicas que consideran los volúmenes que integran la masa de suelo, estos producen fenómenos dentro de su variación de propiedades, al variar su volumen o presentar alguna afectación de forma física únicamente.

2.5. MODELO TRIFASICO

El medio denominado suelo se compone de una combinación de materias en diferentes estados, sólido, líquida y gaseosa. Se considera a todo el conjunto como un solo elemento, esto gracias al modelo trifásico que plantea la existencia de esas tres fases en la masa de suelo y sus variaciones.

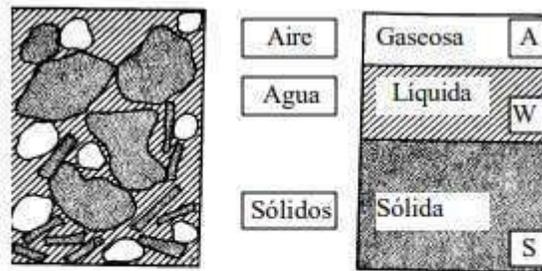
La fase sólida corresponde a las partículas de suelo, independiente de la naturaleza del mismo, que se presenta en el medio. En este modelo se aplica como sólido a la materia orgánica o de otra naturaleza que forme parte de la masa descrita. La fase sólida, formada por materia mineral y orgánica: la mineral, que está compuesta por partículas de varios tamaños, como son la arena, el limo y la arcilla. (Ramirez Cravajal, 1997, p. 8)

La segunda fase se puede considerar la fase líquida, esta se compone de los vacíos existentes entre las partículas de suelo sólidas una vez se llenan de un fluido, naturalmente de agua, y permanece en esos espacios en relación con la permeabilidad del suelo. Visto de otra manera: *la fase líquida se compone por el agua (libre, específicamente), aunque en el suelo pueden existir otros líquidos de menor significación.* (Ramirez Cravajal, 1997)

En detalle, la fase líquida representa un porcentaje del volumen total de la masa, pero este volumen de líquidos es variable, considera el nivel de saturación del suelo, en caso de ser un suelo seco, el porcentaje de agua en los espacios vacíos tiende a ser nula y si se encuentra saturada al 100% los espacios vacíos serán todos ocupados por líquidos.

Se dice que un suelo es totalmente saturado cuando todos sus vacíos están ocupados por agua. Un suelo en tal circunstancia consta, como caso particular de solo dos fases, la sólida y la líquida. (Ramirez Cravajal, 1997, p. 8)

La fase gaseosa se compone por el aire, o cualquier otro gas, que se encuentra en los volúmenes vacíos de la masa de suelo, estos disminuyen a medida que se aumenta la saturación en el suelo.



- Fase sólida: Fragmentos de roca, minerales individuales, materiales orgánicos.
- Fase líquida: Agua, sales, bases y ácidos disueltos, incluso hielo.
- Fase gaseosa: Aire, gases, vapor de agua.

Ilustración 4. Modelo trifásico de la masa de suelo

2.5.1. VOLÚMENES DE FASE

En el modelo de fases, se separan volúmenes V y pesos W así: Volumen total V_T , volumen de vacíos V_V (espacio no ocupado por sólidos), volumen de sólidos V_S , volumen de aire V_A y volumen de agua V_W . (Duque Escobar & Escobar, 2016, p. 8)

Los volúmenes de las fases se complementan en su totalidad, las relaciones entre volúmenes presentan otras características físicas de estudio. Los volúmenes del suelo se pueden calcular con la siguiente ecuación:

$$V_t = V_v + V_c \quad (2.1)$$

El volumen total es la suma de las fases, las cuales pueden variar en su composición.

2.5.2. PESOS DE FASE

Respecto a los volúmenes identificados en el modelo de tres fases, se pueden obtener los pesos de la muestra, siendo estos la fuerza por acción de la gravedad de las masas representadas en cada volumen.

En pesos (que es diferente a masas), el del aire se desprecia, por lo que $W_a = 0$. El peso total del espécimen o muestra W_t es igual a la suma del peso de los sólidos W_s más el peso del agua W_w . (Duque Escobar & Escobar, 2016)

Al despreciar el peso del aire en la muestra la fórmula para el peso total de la muestra se define con la siguiente expresión:

$$W_t = W_w + W_s \quad (2.2)$$

2.6. RELACIONES DE VOLUMENES

Los volúmenes de las fases de suelo presentan valores que se relacionan entre sí, para determinar diferentes características que se utilizan para definir los diferentes comportamientos de ese suelo respecto a efectos externos, partiendo de estas relaciones como base.

2.6.1. POROSIDAD

Se define como la probabilidad de encontrar vacíos en el volumen total. Por eso $0 < \eta < 100\%$ (se expresa en %). En un sólido perfecto $\eta = 0$; en el suelo $\eta \neq 0$ y $\eta \neq 100\%$. (Duque Escobar & Escobar, 2016, p. 9)

La porosidad del suelo se obtiene con la siguiente expresión:

$$\eta = \frac{V_v}{V_s} * 100(\%) \quad (2.3)$$

2.6.2. RELACIÓN DE VACIOS

La relación de vacíos considera el volumen de vacíos que se presenta en una muestra en comparación con los sólidos de la misma. Visto de otra forma: Es la relación entre el volumen de vacíos y el de los sólidos. Su valor puede ser $e > 1$ y alcanzar valores muy altos. (Duque Escobar & Escobar, 2016)

En referencia a los límites, este es superior a uno y puede tender al infinito a medida que la relación de vacío aumenta.

Para definir la relación de vacíos se utiliza la siguiente expresión:

$$\eta = \frac{V_v}{V_s} \quad (2.4)$$

2.6.3. COMPACIDAD

La compactidad se relaciona de manera directa con la relación de vacíos, se define como la capacidad del suelo para ser más compacto disminuyendo su volumen a medida que se reducen sus vacíos en la muestra.

El término compactidad se refiere al grado de acomodo alcanzado por las partículas del suelo, dejando más o menos vacíos entre ellas. (Duque Escobar & Escobar, 2016, p. 10)

El grado de acomodo que puede experimentar la muestra depende de la compactación presente antes del proceso de acomodo. Al ser una muestra más compacta el fenómeno de compactidad disminuye por lo que sus formaciones también lo harán.

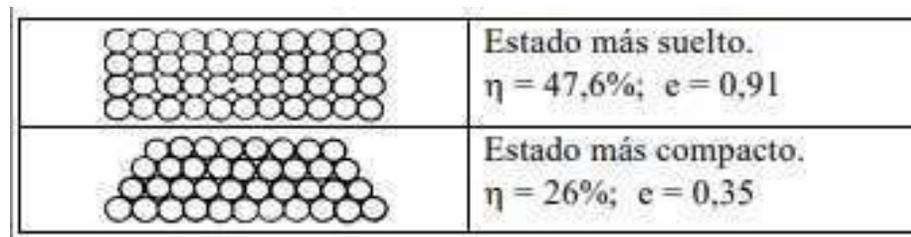


Ilustración 5. Compactidad del suelo, visual de sus estados.

En suelos compactos, las partículas sólidas que lo constituyen tienen un alto grado de acomodo y la capacidad de deformación bajo cargas será pequeña. (Duque Escobar & Escobar, 2016, p. 10)

En suelos que no han presentado procesos de compactación civil o naturales durante su formación de estratigrafía presentan un mayor grado de compactidad.

La expresión matemática para establecer la compactidad en base a la relación de vacío es la siguiente:

$$c = \frac{e}{1+e} \quad (2.5)$$

2.6.4. DENSIDAD RELATIVA

El valor de la densidad relativa es un indicador de los valores de densidad. Este valor se puede relacionar a la deformabilidad y a la resistencia. Debido a la relación de la densidad en relación con estos parámetros. Una muestra de suelo en donde se reduce los volúmenes vacíos y la muestra se compacta se volverá más rígida disminuyendo la capacidad de deformarse del suelo (deformabilidad) y por otro lado al ser un elemento rígido es posible que su resistencia presente un incremento en relación a una muestra de la misma naturaleza, pero sin un proceso de compactación.

Este parámetro nos informa si un suelo está cerca o lejos de los valores máximo y mínimo de densidad, que se pueden alcanzar. Además $0 \leq DR \leq 1$, siendo más resistente el suelo cuando el suelo está compacto y $DR \approx 1$ y menor cuando está suelto y $DR \approx 0$. (Duque Escobar & Escobar, 2016, p. 10)

La expresión matemática para definir el valor de la densidad relativa es la siguiente:

$$D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \quad (2.6)$$

Adicional es necesario definir que en los modelos elaborados de forma general sobre la densidad relativa de los diferentes tipos de suelo se puede acotar lo siguiente: Los suelos cohesivos, generalmente tienen mayor proporción de vacíos que los granulares; los valores típicos de η y e son: $e = 0,55 - 5,00$; $\eta = 35 - 83\%$ (Duque Escobar & Escobar, 2016)

2.6.5. GRADO DE SATURACIÓN

Se define como la probabilidad de encontrar agua en los vacíos del suelo, por lo que $0 \leq S \leq 100\%$. Físicamente en la naturaleza $S \neq 0\%$, pero admitiendo tal extremo, $S = 0\%$; suelo seco y $S = 100\%$; suelo saturado. (Duque Escobar & Escobar, 2016, p. 10)

La expresión para establecer el grado de saturación es:

$$S = \frac{V_w}{V_v} * 100 (\%) \quad (2.7)$$

2.6.6. CONTENIDO DE HUMEDAD

Es la relación, en %, del peso del agua del espécimen, al peso de los sólidos. (Duque Escobar & Escobar, 2016) El contenido de humedad se obtiene en base a una diferencia de pesos establecida durante el proceso de evaporación de la humedad de una muestra, así el volumen de agua establece un punto de referencia.

El valor teórico del contenido de humedad varía entre: $0 \leq w$ tiende a ∞ . En la práctica, las humedades varían de 0 (cero) hasta valores del 100%. (Duque Escobar & Escobar, 2016, p. 10)

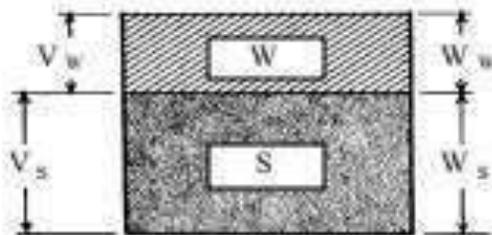


Ilustración 6. Presentación de contenido de humedad en modelo bifásico.

La expresión matemática para establecer el contenido de humedad es:

$$\omega = \frac{W_w}{W_s} * 100 (\%) \quad (2.8)$$

2.6.7. PESO UNITARIO

Es el producto de su densidad por la gravedad. El valor depende, entre otros, del contenido de agua del suelo. Este puede variar del estado seco hasta el saturado. (Duque Escobar & Escobar, 2016, p. 11)

La expresión

2.6.8. GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS

La gravedad específica es un indicador de la densidad del cuerpo con respecto a una densidad como la del agua. Compara el peso unitario del volumen de suelo con al peso unitario del agua. La gravedad específica es la relación del peso unitario de un cuerpo referida a la densidad del agua, en condiciones de laboratorio y por lo tanto a su peso unitario. (Duque Escobar & Escobar, 2016, p. 11).

La gravedad específica es un indicador de la densidad del cuerpo con respecto a una densidad como la del agua. Compara el peso unitario del volumen de suelo con al peso unitario del agua. La gravedad específica es la relación del peso unitario de un cuerpo referida a la densidad del agua, en condiciones de laboratorio y por lo tanto a su peso unitario. (Duque Escobar & Escobar, 2016, p. 11)

La expresión de cálculo para la obtención de este valor es la siguiente:

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad (2.10)$$

En general los suelos presentan gravedades específicas GS con valor comprendido entre 2,5 y 3,1 (adimensional). Como el más frecuente es 2,65 (adimensional) se asume como máximo valor de GS teórico. Veamos además algunos valores del peso unitario seco de los suelos, los que resultan de interés dado que no están afectados por peso del agua contenida, sino por el relativo estado de compacidad, el que se puede valorar con la porosidad. (Duque Escobar & Escobar, 2016, p. 11)

Descripción	η %	γ_d g/cm ³
Arena limpia y uniforme	29 – 50	1,33 – 1,89
Arena limosa	23 – 47	1,39 – 2,03
Arena micácea	29 – 55	1,22 – 1,92
Limo INORGÁNICO	29 – 52	1,28 – 1,89
Arena limosa y grava	12 – 46	1,42 – 2,34
Arena fina a gruesa	17 – 49	1,36 – 2,21

Ilustración 7. Valores comunes de gravedad específica

2.7. COMPORTAMIENTO MECÁNICO

La aplicación de la mecánica de suelos a la solución de problemas de ingeniería ha demostrado la conveniencia de estudiar, además de las propiedades mecánicas de los suelos, otro gran número de características de estos materiales, denominados genéricamente propiedades índices. (Duque Escobar & Escobar, 2016)

Las propiedades mecánicas son las aplicables a modelos matemáticos que describen el comportamiento de suelo bajo la experimentación de cargas o de eventos que se intentan asemejar en los estudios que al final presentan sus bases en las propiedades físicas de la estructura.

Las principales características físico-mecánicas son la deformación del suelo y su capacidad de carga o resistencia, ambos se estudian bajo modelos de aplicación de carga controlada en los laboratorios de estudios. La capacidad de deformarse tiene una relación con la capacidad de resistir cargas.

La medición de las prioridades mecánicas de los suelos requiere operación operaciones muy cuidadosas y equipo especial. Más aún para que tal medición tenga utilidad práctica, debe hacerse en muestras de suelo representativa de las características del prototipo,

esto es, muestras inalteradas o bien in situ. (Macias Loor et al., 2018)

2.7.1. RESISTENCIA ÚLTIMA

La resistencia a tracción de los suelos es prácticamente nula. Solamente en los casos especiales de suelos cementados (que constituyen un caso de transición hacia el comportamiento de las rocas) y, en menor medida, en suelos parcialmente saturados (con uniones entre partículas por meniscos capilares), tienen relevancia práctica los estados de tracción. (Luque, 2020, p. 1)

La resistencia de los suelos se establece como el límite de carga que admite la muestra, en caso del estudio, en una compresión sin confinamiento, produciendo deformaciones transversales y longitudinales que presentan tracción en la muestra produciendo su falla. El control del desarrollo de esta muestra es preciso y tiene como finalidad la concatenación de la resistencia con la deformabilidad de los suelos.

La resistencia de los diferentes tipos de suelo presenta diferentes modelos para poder determinarla de manera más precisa, considerando todas las fuerzas físicas y químicas que le otorgan resistencia al medio continuo que representa el suelo, uno de esos modelos, el cual es aplicable a la investigación, es el modelo de Mohr Coulomb.

2.7.1.1. MODELO DE MOHR COULUMB

El modelo de Mohr Coulumb considera los efectos de resistencia de las fases de suelo, con base en sus propiedades físicas y químicas, en donde se presenta como fuerzas resistentes la cohesión y la fricción. El suelo al ser un medio en donde se pueden presentar depósitos de diferente naturaleza a lo largo de su estratigrafía es posible encontrar diferentes modelos en donde la cohesión sea nula y su resistencia dependa netamente de la fricción; de la misma manera es posible obtener muestras de suelo en donde la fricción sea nula y la única fuerza resistente sea la cohesión; el caso de que una estratigrafía estudiada de suelo presente tanto fuerzas de fricción como de cohesión, es posible.

El caso de estudio plantea localizaciones en donde abunda la presencia de arcillas, siendo estas las muestras a extraerse durante los estudios. Es necesario que el modelo de Coulumb plantee la resistencia específica para suelos arcillosos o limosos, en donde la fricción tiende a ser nula y su fuerza resistente se basa en la cohesión de la muestra.

En "tierras cohesivas", supuso Coulomb que podía haber otro sumando de valor constante e independiente de dicha presión normal, al que denominó cohesión, c. Así pues, la resistencia tangencial según un plano. (Luque, 2020, p. 3)

El cálculo de la resistencia en este modelo se determina con la siguiente expresión:

$$r = c \quad (2.11)$$

En donde su resistencia por fricción se elimina, ya que la fórmula original de Coulomb establece lo siguiente:

$$r = c + \text{Tang}\theta \quad (2.12)$$

En donde θ corresponde al ángulo de fricción que se encuentra en los planos de falla debido a las partículas de sólidos de la muestra de suelo. Como la arcilla presenta mayoritariamente fuerzas resistentes por cohesión, el aporte de resistencia por fricción es despreciable, por ese motivo se elimina su aporte en la expresión matemática.

En un elemento de suelo sometido a un cierto estado de tensiones, postuló Mohr (1882) que se produce la plastificación cuando en alguno de los (infinitos) planos que pasan por él, las tensiones alcanzan a cumplir la relación. La condición de rotura resultante se conoce como criterio de Mohr-Coulomb, y se visualiza de forma clara usando el diagrama de Mohr. (Luque, 2020, p. 5)

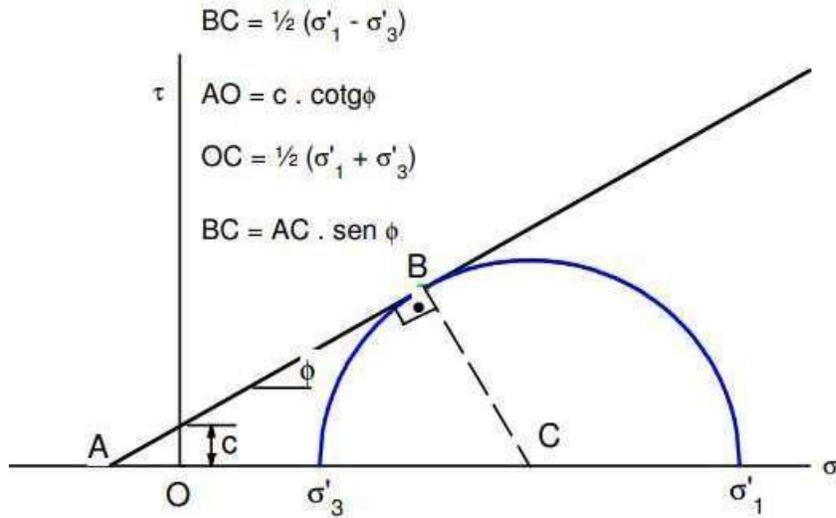


Ilustración 8. Modelo Mohr Coulumb

La formulación del criterio de Mohr-Coulomb en términos de las tensiones principales se establece imponiendo la condición de tangencia del círculo exterior de Mohr con la línea de resistencia. (Luque, 2020, p. 5)

$$\frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2} - c * \text{Cos}\phi - \frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2} * \text{Sen}\phi = 0 \quad (2.13)$$

La expresión anterior denota a la condición de Coulumb como un criterio de plastificación.

Llegando a este punto, en donde la expresión denota el efecto de plastificación en el suelo, es necesario aplicar correcciones o complementos al modelo de Mohr Coulumb con parámetros tensionales, estos trabajados por el investigador Lambe, los cuales permiten modificar la expresión y direccionarla a la resistencia al corte debido a su desvinculación con el esfuerzo tensional principal medio.

$$p = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} ; p' = \frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2} ; q (= q') = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2} \quad (2.14)$$

De esa forma es posible definir un círculo de Mohr con las características y parámetros del suelo y sus esfuerzos principales y menores, junto a esta se traza una tangente que señala la función de resistencia que se obtiene de la muestra respecto a los esfuerzos máximos y mínimos posibles por experimentar.

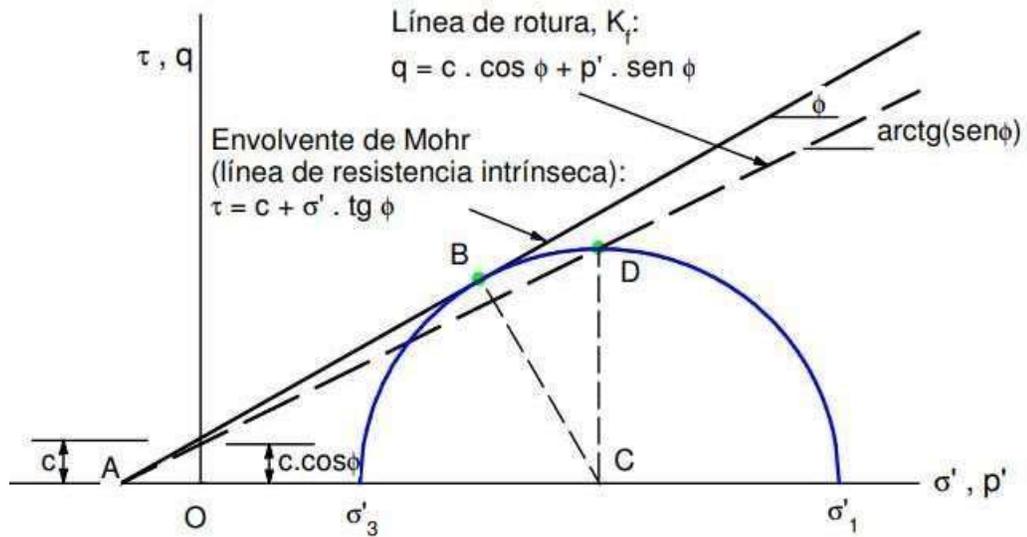


Ilustración 9. Envolvente de Mohr Coulumb

Con base en la tangente señalada es posible determinar la resistencia de la muestra de suelo, utilizando la siguiente ecuación:

$$q = c * \text{Cos}\phi + p' * \text{Sen}\phi \quad (2.15)$$

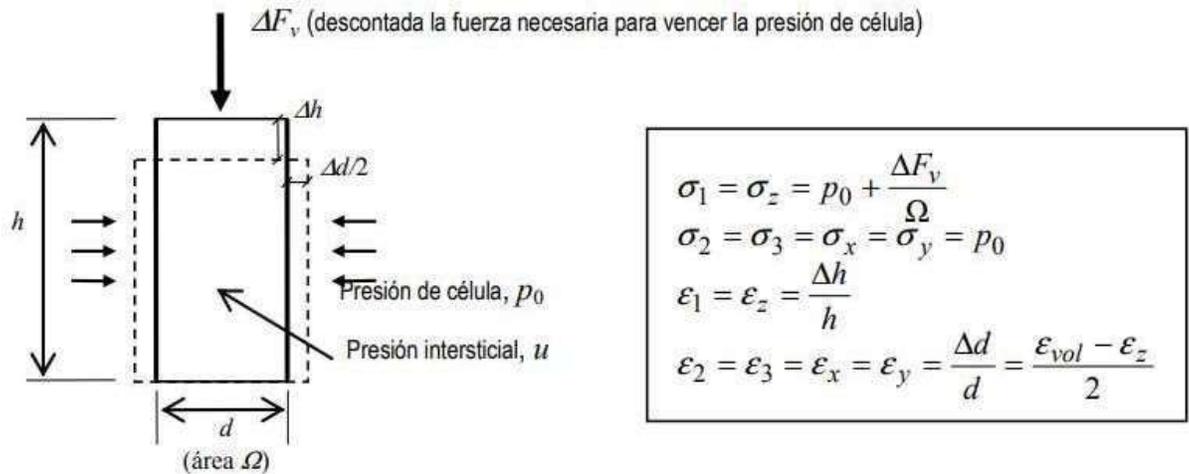
Esta recta suele recibir el nombre de "línea de rotura", Kf. Se sitúa por debajo de la envolvente de Mohr, con una ordenada en el origen menor y formando con el eje de abscisas un ángulo también menor. (Luque, 2020, p. 9)

2.8. DEFORMABILIDAD DEL SUELO

Durante los procesos de carga en los medios de suelo se suelen aplicar cargas de compresión, debido a que son las únicas que pueden ser soportadas por el suelo, ya que este es incapaz de soportar u oponer resistencia a cargas de tensión. Sin embargo, durante el proceso de carga de compresión existen efectos de distribución de esfuerzos en donde al deformarse de manera longitudinal la muestra debido a una carga de compresión axial sobre esta, genera que el suelo o su muestra disipe energía en forma de deformaciones, estas en sentido transversal, provocando que la sección transversal aumente y experimentando cargas de tracción a lo largo del elemento en su interior produciendo una falla final en el elemento. Esto por el efecto de Poisson.

Las deformaciones medidas durante la aplicación del esfuerzo desviador antes de llegar a la rotura se utilizan para determinar la deformabilidad del suelo para niveles pequeños

de tensiones. A este fin, se suele ajustar el comportamiento a un modelo elástico, definido por un módulo de elasticidad, E , y un coeficiente de Poisson, ν , cuyos valores se obtienen así para cada probeta ensayada. (Luque, 2020, p. 62)



b) Disposición de la probeta. Tensiones y deformaciones

Ilustración 10. Deformación de probeta por carga axial de compresión.

2.9. PERMEABILIDAD

La propiedad de permeabilidad en el suelo hace referencia a la capacidad que tiene el suelo para dejar pasar el líquido a través de sus vacíos en un medio continuo, esta depende de diferentes factores de naturaleza como de forma.

Se dice que un material es permeable cuando contiene vacíos continuos, estos vacíos existen en todos los suelos, incluyendo las arcillas más compactas, y en todos los materiales de construcción no metálicos, incluido el granito sano y la pasta de cemento, por lo tanto dichos materiales son permeables. (Angelone & Garibay, 2006, p. 3)

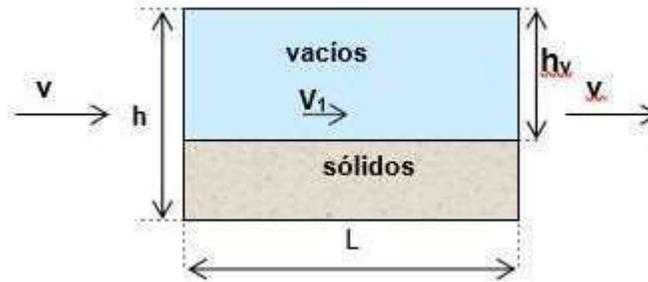


Ilustración 11. Modelo bifásico de permeabilidad.

El efecto de permeabilidad se puede aplicar de forma práctica creando un modelo bifásico en donde existe una fase de sólidos y de vacíos ocupados por agua, las cuales presentaran un desplazamiento luego de ser extraídas por diferentes presiones que pueden influir a su estado de equilibrio.

Esta propiedad puede ser medida con base en el coeficiente que representa la capacidad de la muestra para que un fluido pase a través de la masa homogénea de suelo.

2.9.1. COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD

El modelo de una masa de suelo capaz de permitir el tránsito de otra masa en una fase diferente, a través de los espacios vacíos se debe a los estudios de Darcy, en donde se modela el tránsito del fluido por un medio poroso debido a una gradiente de presiones.

Los estudios de Darcy también utilizan un valor de velocidad v , dicha velocidad es la velocidad de descarga que se define como la cantidad de agua que circula en la unidad de tiempo a través de una superficie unitaria perpendicular a las líneas de filtración. (Angelone & Garibay, 2006, p. 11)

$$V = i_{p*} * \frac{K}{n} \quad (2.16)$$

Dónde: n : viscosidad del agua, en KN seg / cm²
 K : constante de permeabilidad
(empírica), en cm²
 i_p : gradiente de presiones, en KN/cm³

Otro parámetro que interviene con el coeficiente de viscosidad es la viscosidad del sólido en donde interviene la temperatura del fluido que transita por la masa de suelo.

La viscosidad del agua disminuye con la temperatura, K es constante para un material permeable dado, con porosidad dada y además es independiente de las propiedades físicas del líquido que filtra por el material. (Angelone & Garibay, 2006, p. 12)

La expresión es la siguiente:

$$V = \gamma_w * i_p * \frac{K}{n} \quad (2.17)$$

En los casos de aplicación de los modelos en la práctica se trata de flujos superficiales que no presentan una gran variación de temperatura en tu trayecto, motivo por el cual se desprecia las afectaciones de la temperatura dentro del coeficiente de permeabilidad del suelo (10).

Es el coeficiente de permeabilidad, que se expresa como una función de la constante de permeabilidad del material, la viscosidad y el peso específico del fluido circulante. (Angelone & Garibay, 2006, p. 12)

La expresión matemática para determinar el coeficiente de permeabilidad del suelo es la siguiente:

$$K = \gamma_w * \frac{K}{n} \quad (2.18)$$

2.10. DEFORMACIONES ELÁSTICAS

El suelo, se considera como un material homogéneo, aunque sus fases forman la masa que se estudia y sus relaciones combinan para otorgar las propiedades de resistencia y deformación de los suelos.

Los primeros efectos de la carga sobre la muestra provocan deformaciones de pequeñas dimensiones que al cesar los esfuerzos en la muestra vuelven a su estado inicial, estas se consideran deformaciones elásticas, presentando un nivel de esfuerzo bajo.

2.11. DEFORMACIONES PLÁSTICAS

El rango elástico de deformaciones del suelo es sobrepasado una vez el nivel de esfuerzo provoque deformaciones no recuperables, las deformaciones en el rango plástico pueden disminuir una vez se descargue la muestra, sin embargo, no podrá volver a su estado inicial, presentando deformaciones remanentes en la muestra.

Tabla 1. Calificación de los ríos bajo el criterio de intervención en meandros.

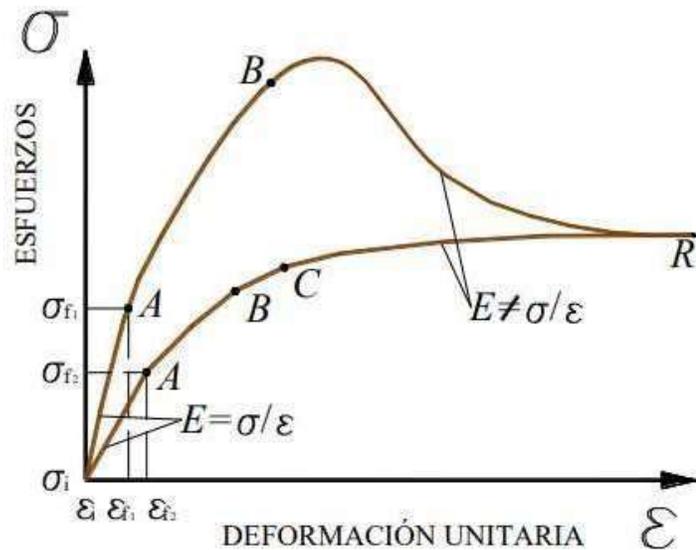


Ilustración 12. Comportamiento de deformaciones plásticas.

Durante los ciclos de carga de la investigación, el esfuerzo sobrepasa el límite de las deformaciones elásticas, eso produce que una vez se cumpla la descarga de cada ciclo existan deformaciones totales mayores al ciclo anterior, de la misma forma que el estado de la muestra presenta una variación.

2.12. CARGA AXIAL

La principal característica de una carga axial es su punto de aplicación y dirección sobre la muestra, siendo relativo el eje sobre el que se declara los tipos de carga, al estar perpendicular a la sección transversal de estudio se considera carga axial.

Este tipo de carga se conoce como carga axial y supondremos que se produce en todos los elementos sujetos a dos fuerzas que encontramos en cerchas y en estructuras conectadas por articulaciones.

2.13. COEFICIENTE DE POISSON

Como se puede observar en la Ecuación 43, el coeficiente de Poisson es el factor que relaciona la deformación transversal unitaria con la deformación longitudinal unitaria cuando a una probeta cilíndrica de suelo se le aplica una carga axial. (11)

En ensayos sin confinamiento el efecto de deformación transversal es notable. A medida que se aplica la carga se comprime de forma axial (en dirección de la carga) y se ensancha en relación a su sección transversal.

Tabla 1. Calificación de los ríos bajo el criterio de intervención en meandros.

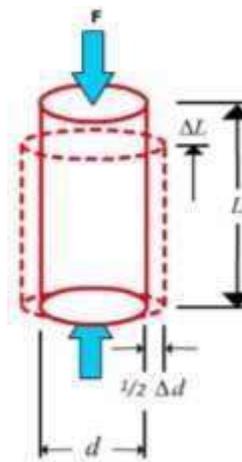


Ilustración 13. Ilustración efecto Poisson

La consecuencia del comportamiento de la muestra al comprimirse es la aparición de fuerzas tensionales dentro de la muestra en dirección al ensanchamiento provocando la aparición de una grieta perpendicular a las fuerzas tensionales.

2.14. ESTADO TENSIONAL INICIAL

Una interrelación de tensión versus deformación es una relación constitutiva que describe el comportamiento de un material. (Lloret Morancho, 1982) La masa de suelo, de manera general, presentan un estado de equilibrio en donde los esfuerzos de superponen y se cancelan debido a su compensación entre su magnitud y sentido contrario. Sin embargo, presenta esfuerzos, estos esfuerzos se estudian en relación a las tensiones que presenta la muestra, de forma más específica, las tensiones de la muestra previo la aplicación de cargas.

Fung (1965) describe “el estado de un sistema” como la información necesaria para una caracterización completa del sistema para el intento deseado. (Lloret Morancho, 1982)

2.15. ECUACIONES CONSTITUTIVAS

Las relaciones constitutivas son expresiones unívocas que relacionan los parámetros de estado. (Lloret Morancho, 1982) Las ecuaciones constitutivas son los modelos matemáticos capaces de describir mediante una expresión matemática a los modelos constitutivos que asemejan los ensayos o comportamientos controlados del suelo, respecto a las mayores similitudes en las propiedades de los suelos en los casos prácticos.

Entre los modelos constitutivos aplicables a los estudios presentados se consideran la siguiente variable:

- La variación de la deformación volumétrica al saturar en función de la tensión aplicada.
- La curva característica de retención de humedad.

Los parámetros de estado típico par aun cuerpo elástico son referidos como aquellas variables que describen el campo de deformaciones, el campo de tensiones y sus geometrías. Las variables de estado deben ser independientes de las propiedades del material en cuestión. (Lloret Morancho, 1982, p. 43)

2.16. RELACIÓN ESFUERZO DEFORMACION

El comportamiento de los materiales se describe mediante una gráfica en donde se evidencia las relaciones entre los esfuerzos y las deformaciones longitudinales que produce. La gráfica indica la deformación que se presenta en un punto en donde experimenta cierto valor de esfuerzo. De esta manera se definen los límites de los rangos con sus respectivos comportamientos (elástico, plástico).

Las deformaciones consideradas son globales del suelo, que concluyen tanto las componentes recuperables como irre recuperables. (Lloret Morancho, 1982) Todos los materiales describen su comportamiento mediante la gráfica obtenida en base a esta relación. El motivo de su implementación es considerar el comportamiento bajo las diferentes cargas y relacionarlo de manera directa con los esfuerzos posibles que

experimentará un elemento compuesto por el material estudiado y sus afectaciones debido a estos esfuerzos.

Las tensiones efectivas se pueden definir como aquellas funciones de las tensiones totales y de las presiones intersticiales que controlan todas las relaciones tensión-deformación del suelo. (Lloret Morancho, 1982, p. 44)

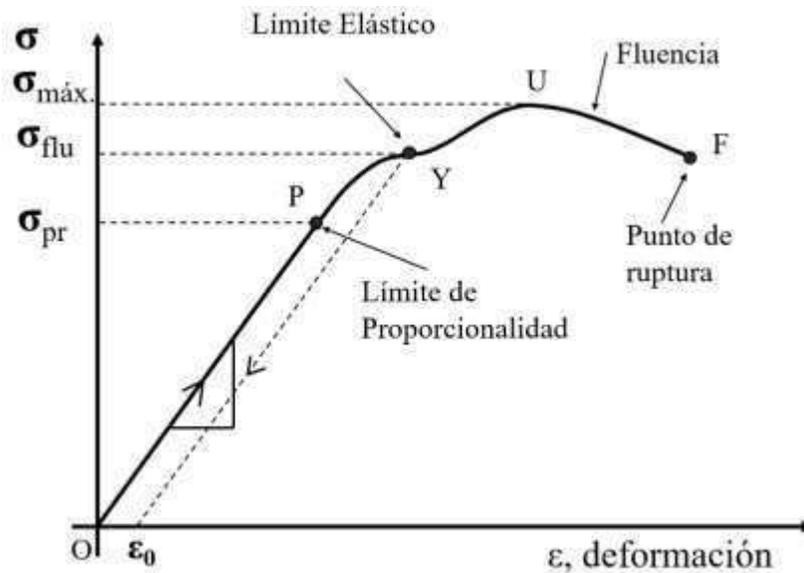


Ilustración 14. Comportamiento esfuerzo vs deformación de los materiales.

Los rangos delimitan de manera directa el comportamiento de deformaciones del suelo, los esfuerzos son producido por factores externos pero las deformaciones son las respuestas a estas aplicaciones de cargas externas por lo que es de gran interés obtener el patrón de comportamiento del material sobre esas cargas experimentadas.

El rango elástico considera un límite de proporcionalidad o límite elástico, en donde las deformaciones van a ser recuperables en su totalidad y en donde el comportamiento del material es lineal y proporcional entre el esfuerzo y la carga aplicada, pudiendo establecer un módulo elástico del material debido a la ley de Hooke.

El rango plástico, en modelos más sencillo, describe el comportamiento una vez pasado el límite de proporcionalidad, ahora esta relación directa entre el esfuerzo y la deformación de manera lineal se convierte en una curva, en donde sin experimentar más esfuerzo, la muestra tiende a deformarse más.

El punto final de interés de la relación de esfuerzo deformación en el punto de ruptura. Este indica al esfuerzo en donde la muestra falla debido a cargas externas, así como indica la deformación máxima experimentada por la muestra luego de la aplicación de carga hasta la falla.

2.17. MODULO DE YOUNG

Se denomina módulo de elasticidad a la razón entre el incremento de esfuerzo y el cambio correspondiente a la deformación unitaria. (Martinez & Azuaga, 1997, p. 1)

El rango de acción en donde corresponde el módulo se presenta mediante la proporcionalidad de deformación y esfuerzo, una vez se pierda el comportamiento mencionado debido a niveles de esfuerzos superiores al límite de esta proporción, no es aplicable el módulo de Young.

Si el esfuerzo es una tensión o una compresión, el módulo se denomina módulo de Young y tiene el mismo valor para una tensión que para una compresión, siendo una constante independiente del esfuerzo siempre que no exceda de un valor máximo denominado límite elástico. Tanto el módulo de Young como el límite elástico, son naturalmente distintos para las diversas sustancias. (Martinez & Azuaga, 1997, p. 1)

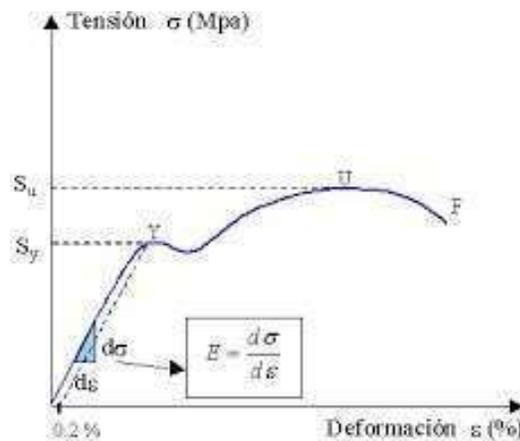


Ilustración 15. Módulo de Young en gráfica constitutiva.

2.18. MÓDULO SECANTE

Mouratidis, A. y Pantelidis, L. en “The domain of Modulus of Elasticity and Modulus of Deformation” definen módulo de deformación, al módulo secante y módulo elástico, al módulo tangente. (Moreno Perez, 2014)

El módulo de elasticidad de Young aplica a solamente en los casos que se guarde la proporción de los esfuerzos y las deformaciones, una vez esta proporción se pierde se aplican modelos de relaciones como lo son el módulo secante que se presenta a niveles de esfuerzos superiores, en donde en base al comportamiento de la curva de esfuerzos deformaciones se establece un rango en donde el comportamiento del material se puede asemejar a una línea secante a la curva. No corresponde a ninguna proporcionalidad por lo que no es aplicable la ley de Hooke para el análisis de comportamiento en este rango.

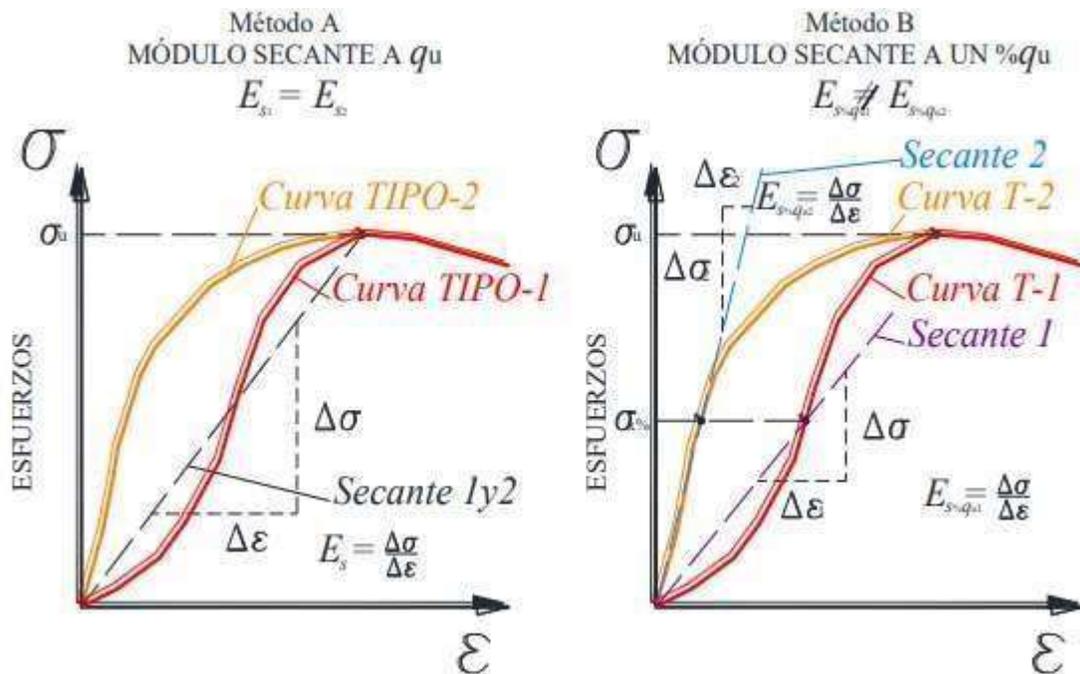


Ilustración 16. Representación de módulo secante.

Para suelos define que el módulo tangente inicial, se determina a partir de la pendiente inicial de la curva, y el módulo secante se utiliza a veces en lugar de módulo tangente inicial cuando no hay linealidad severa en la relación esfuerzo-deformación en el rango de tensiones de interés. En general, el módulo secante sería tomado en un cierto nivel de

esfuerzo predeterminado, tal como el 50% de la diferencia del esfuerzo último. (Moreno Perez, 2014, p. 47)

2.19. MODULO RESILIENTE

El módulo resiliente se define como: *la magnitud del esfuerzo desviador repetido en compresión triaxial dividido entre la deformación axial recuperable.* (Instituto Mexicano del Transporte, 2000, p. 15)

El efecto del módulo resiliente se considera en caso de que se aplique una serie de cargas repetitivas y su comportamiento considera la diferencia de esfuerzos que se producen desde un punto inicial de comparación y uno final y se divide para la deformación experimentada por esa muestra en ese rango de esfuerzos.

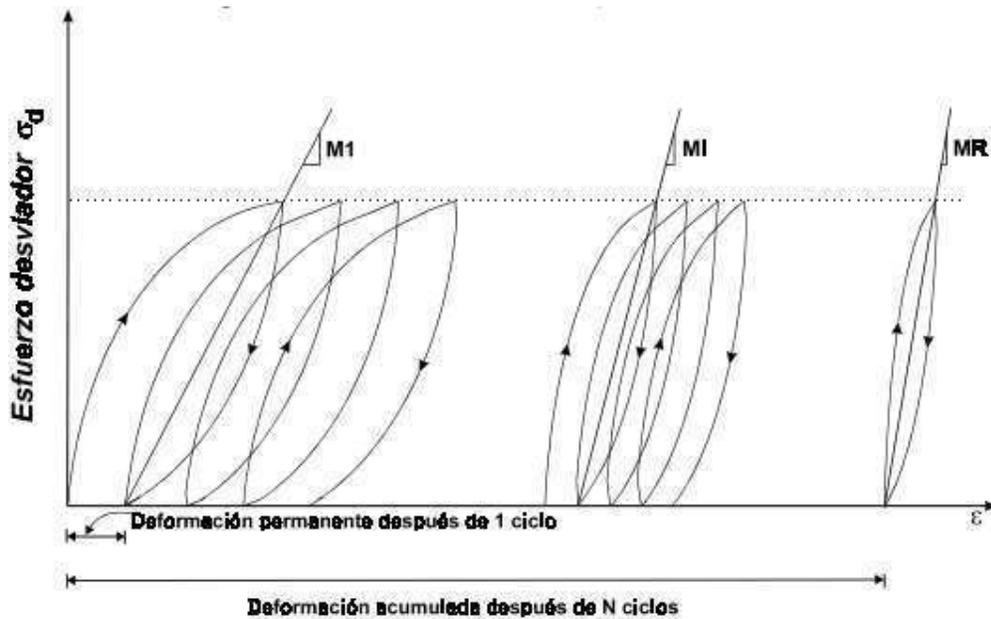


Ilustración 17. Módulo resiliente en cargas repetitivas.

Durante pruebas de carga repetida se observa que después de un cierto número de ciclos de carga, el módulo llega a ser aproximadamente constante y la respuesta del suelo puede asumirse como elástica. (Instituto Mexicano del Transporte, 2000, p. 10)

En los estudios en donde se realizan cargas repetitivas de ciclos con descargas el módulo de resiliencia representativo corresponde a la última carga que se presenta en los ensayos. Debido a que durante los ciclos de carga se presenta una variación en los módulos de resiliencia ya que a medida que se compacta la muestra se presentan menores

deformaciones dentro del mismo rango de esfuerzos produciendo que el módulo de resiliencia presente una pendiente más pronunciada indicando que la muestra se compacta y tiene un comportamiento relacionado a una mayor rigidez.

La expresión matemática para el cálculo del módulo resiliente es la siguiente:

$$M_R = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\varepsilon_{axial}} \quad (2.19)$$

Otra forma de presentar la expresión es la siguiente:

$$M_R = \frac{\sigma_d}{\varepsilon_{axial}} \quad (2.20)$$

En donde:

σ_1 = Esfuerzo principal mayor

σ_2 = Esfuerzo principal menor

σ_d = Esfuerzo desviador

ε_{axial} = Deformación recuperable

2.20. COEFICIENTE DE POISSON

Todo elemento solicitado a carga axial experimenta una deformación no solo en el sentido de la sollicitación, sino también según el eje perpendicular, toda tracción longitudinal con alargamiento implica una contracción transversal. (Instituto Mexicano del Transporte, 2000, p. 15)

El efecto Poisson relaciona las deformaciones que experimenta la muestra en función de la carga y su dirección. El comportamiento de un elemento el cual es sometido a cargas de compresión tiende a causar un ensanchamiento en la sección del elemento. En caso de que la carga sea de tracción se tiende a producir un acortamiento de la sección del elemento. Todo lo mencionado sucede en los casos que no se aplique un confinamiento o restricción a estas deformaciones. *El coeficiente de Poisson es la relación de la deformación perpendicular a la axial.*

Al relacionar de manera directa las deformaciones transversales experimentadas con las deformaciones axiales de la muestra bajo las cargas se puede dividir los valores

considerando a las deformaciones unitarias longitudinales como las deformaciones principales y relacionándolas a su ensanchamiento.

Para el cálculo se utiliza la siguiente expresión:

$$u = \frac{s_a}{s_t} \quad (2.21)$$

La relación de Poisson es un indicador de la deformabilidad de los elementos ensayado, en nuestro caso de la rigidez de la muestra que se ensaya debido a que no se presenta confinamiento.

2.21. NORMA DE ENSAYO DE COMPRESIÓN SIN CONFINAMIENTO

El ensayo propuesto para esta investigación corresponde a la metodología de ensayo de compresión simple no confinada, en donde se coloca la muestra y se aplica una carga de compresión monitoreando en el proceso las deformaciones longitudinales y transversales para poder definir su comportamiento.

La normativa específica para este tipo de proceso corresponde a la ASTM D2166-06 en donde detalla en su alcance: *Este método de ensayo abarca la determinación de la resistencia a la compresión no confinada de suelos cohesivos en condiciones de compresión, intactas, o remodelados, utilizando la aplicación de una carga axial de deformación controlada.* (ASTM, 2006)

En los significados y usos de la normativa para el ensayo se detalla el propósito del ensayo: *El propósito primario del ensayo de compresión no confinada es obtener lo más rápido posible una medición de la resistencia a la compresión de suelos que posean suficiente cohesión como para realizar ensayos en el estado no confinado.* (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales, 2006)

La normativa enlista los equipos necesarios para la elaboración del ensayo y sus aplicaciones, entre los equipos se aplican los siguientes:

- Equipo de compresión
- Extractor de muestra
- Indicador de deformaciones

- Comparador de Dial
- Cronómetro
- Balanza
- Aparatos varios

Sobre los resultados de los ensayos, en la representación gráfica del comportamiento de las muestras se detalla lo siguiente: *Si se requiere se puede hacer un gráfico que muestra la relación entre la resistencia a la compresión (ordenadas) y deformación axial (abscisas). Seleccione el máximo valor de la resistencia a la compresión, o la resistencia a la compresión al 15% de la deformación axial, cualquiera se alcance primero, y repórtela como la resistencia a la compresión no confinada. Incluya el gráfico de tensión-deformación cuando sea considerado necesario para una interpretación correcta.* (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales, 2006)

Los equipos enlistados, así como los requerimientos de las gráficas resultantes del ensayo serán aplicados a lo largo de los ensayos de las diferentes muestras con la finalidad de cumplir con el objeto de estudio.

3. CAPITULO III - MARCO METODOLOGICO

3.1. TOMA DE MUESTRA

Mediante trabajos de perforación recopiladas para el presente estudio, con profundidades mayores a 10 metros, se obtuvieron muestras inalteradas con el uso de tubos tipo Shelby, específico para la extracción de muestras en suelos finos. Considerando el proceso de extracción, se separaron las muestras de profundidades similares entre 5 y 10 metros de profundidad para que sean destinadas a los ensayos de esta investigación.



Ilustración 18. Extracción de muestra por perforación.

Las muestras obtenidas fueron conservadas para mantener el estado natural de humedades y que permitan la comprobación mediante ensayos del grado de saturación, siendo esta una condición fundamental para el presente estudio.



Ilustración 19. Almacenamiento de muestras.

3.2. UBICACIÓN DE PERFORACIONES

Debido a que la extracción de las muestras se programó en una serie de perforaciones a lo largo de diferentes extracciones, la ubicación de los puntos se encuentra dispersa a lo largo de la zona de Guayaquil y sus lugares cercanos, buscando que las características de los suelos coincidan con la descripción del suelo tipo para el estudio.



Ilustración 20. Ubicación de perforaciones

Para definir los sectores, se detalla una lista de las ubicaciones en donde se extrajeron las muestras que se procederán a ensayar:

1. El esfuerzo
2. Sur de Guayaquil (varias perforaciones en el sector sur)
3. Vila capital
4. El tornillo

De manera más precisa, durante los trabajos de extracción de las muestras se georreferenciaron cada una de las perforaciones mediante tomad de datos de geoposicionamiento del GPS que se muestran en el cuadro siguiente en coordenadas WGS84 UTM ZONA 17 SUR:

DESCRIPCIÓN	NORTE	ESTE
VILACAPITAL – SUR	9777870	627042
EL TORNILLO - NORTE	9764979	624546

Tabla 3. Puntos de coordenada para estudio.

En cada ubicación detallada se realizaron más de una perforación, y se extrajeron una muestra de profundidades similares para los ensayos, los detalles de las perforaciones incluyen el número de perforación realizada en el trabajo y la descripción visual del personal técnico del equipo de extracción que se encontraba in situ, obteniendo como resultado la siguiente tabla de muestras:

MUESTRA	UBICACIÓN	PERFORACIÓN	PROFUNDIDAD (m)	COORDENADAS UTM	
				NORTE	ESTE
1	EL ESFUERZO - CENTRO	4	6	9758264	626397
2	EL ESFUERZO - CENTRO	3	6	9778294	626343
3	EL ESFUERZO - SUR	3	6	9778294	626343

4	EL ESFUERZO - SUR	3	6	9778294	626343
5	EL ESFUERZO - NORTE	1	5	9778310	626220
6	EL ESFUERZO - NORTE	1	6	9778310	626220
7	EL ESFUERZO - NORTE	1	6	9778310	626220
8	EL TORNILLO	1	10	9764979	624546
9	EL TORNILLO	1	10	9764979	624546
10	EL TORNILLO	1	10	9764979	624546

Tabla 4. Muestras obtenidas de las extaciones para ensayos.

Al tener más de una muestra de la misma localidad resulta viable seguir la planificación de los ensayos comparativos entre los dos tipos de carga para las muestras.

3.3. EXTRACCIÓN DE MUESTRAS PARA ENSAYO

Posterior a la extracción en los tubos Shelby, las muestras dentro de los tubos fueron envueltos de un material transparente de plástico que recubre la muestra en su totalidad, se elimina de forma manual todo el aire posible y se aplica un nudo o sello en la parte posterior. Una vez las muestras se encuentran en el laboratorio, se almacenan en un lugar seco, no expuestas al sol de manera directa.

Para poder utilizar la máquina del ensayo es necesario obtener cilindros de las perforaciones que poseen muestra en el interior de los tubos. El procedimiento para extraer los especímenes, una vez se retira todo el material envolvente utilizado para su almacenamiento, el tubo con la muestra en su interior se coloca en un extractor de muestras.



Ilustración 21. Equipo de extracción de muestra

3.4. ELABORACIÓN DE PROBETAS DE ENSAYO.



Ilustración 22. Extracción de muestra de arcilla.

Luego que fuera visible un segmento tubular largo como en la imagen XXX, se procede a realizar un corte de la muestra con la finalidad de obtener un tubo con una relación 2:1 en donde el largo del espécimen sea el doble que su respectivo diámetro con la finalidad de poder evaluar la muestra bajo criterios similares a ensayos de otros materiales con procedimientos de cargas similares y cumplir con la normativa del ensayo.



Ilustración 23. Muestra extraída de tubo Shelby previo al corte.

Posterior al corte realizado con el espécimen tubular extraído, este será almacenado, hasta el momento de realizar los ensayos dentro de la máquina de compresión, se introduce en el mismo envoltorio la identificación escrita de cada una de las muestras con la finalidad de cumplir con un orden de ensayo e identificar los sectores.

3.5. TIPO DE ENSAYO

El ensayo que se propone presenta una variante en una parte de la investigación, esto con la finalidad de asemejar los estados de carga lo más posible a cargas reales que puedan darse en un ambiente práctico. El ensayo que se realiza es un ensayo de compresión sin confinamiento con cargas progresivas. Se utiliza un equipo para compresión.



Ilustración 24. Equipo de ensayo de compresión simple.

La variación que se realiza al ensayo tiene como finalidad posibilitar la aplicación de carga y descarga por lo que se inhabilita el proceso mecánico del equipo y se utiliza la configuración manual, donde se utiliza una palanca para producir el mismo mecanismo para aplicar la carga de compresión, pero a diferencia de la primera configuración, se detiene la aplicación de carga y se gira la palanca en sentido contrario produciendo una descarga regresando a su estado original o cerca del mismo para repetir este ciclo de carga cuantas veces se determine dentro de la investigación.

3.6. METODOLOGIA DEL ENSAYO

3.6.1. PRIMER ESTADO DE CARGA

Este ensayo se realiza con la finalidad de obtener la resistencia última de la muestra de suelo, así como obtener un punto de referencia para la comparación con los ensayos subsiguientes, así como información adicional al poder definir la deformabilidad con base en las lecturas de deformaciones y la carga de compresión aplicada, controlada mediante el equipo mecánico.



Ilustración 25. Instalación de equipos de monitoreo.

Como resultado, se obtienen gráficas de la curva esfuerzo vs deformación y se establece su resistencia para cada una de las muestras ensayadas.

3.6.2. SEGUNDO ESTADO DE CARGA

Se realizaron ensayos de compresión sin confinamiento con ciclos de carga y descarga de las muestras. Estableciendo un límite para los esfuerzos hasta el 50% de la carga última obtenida en los ensayos del primer estado de carga.



Ilustración 26. Aplicación de carga y descarga de manera manual.

3.7. ARREGLOS PARA EL ENSAYO DE CICLOS DE CARGA

Debido a las modificaciones del ensayo de compresión simple que se realizaron durante el proceso de investigación, fueron necesarios arreglos respecto a la aplicación de las cargas en la muestra.

3.8. DIMENSION DE LA MUESTRA

Los cilindros fueron medidos en la mesa de corte con mayor precisión, con la finalidad de obtener una relación de dimensión en la probeta donde el largo del cilindro sea equivalente al doble del diámetro con lo que se guardan las proporciones de las relaciones geométricas de los ensayos de compresión. Los cortes se realizaron con una espátula de corte debido a que el material no presenta mayor resistencia.

3.9. PLACAS DE DISTRIBUCIÓN DE CARGA

Debido a que el diámetro del cilindro del espécimen es mucho menor que el cabezal de la máquina de compresión, la cual además de esto, cuenta con un orificio en la parte inferior del equipo que causaría deformación a la muestra en caso de ser ejercida carga de compresión. Fue necesario colocar discos de madera para uniformizar la distribución de los esfuerzos de compresión de mejor manera hacia la muestra. Además, por sus dimensiones, es posible que las lecturas de deformación vertical de la muestra al colocar los diales de deformación en el equipo de ensayo resulten erróneas, como resultado si los diales se apoyan en las placas de distribución de esfuerzo.



Ilustración 27. Corte y preparación de placas de madera para ensayo.

Estas placas poseen poco peso, lo que permite que no ejerza esfuerzos adicionales por su peso y la compresión corresponda a la aplicación de carga del equipo de ensayo.

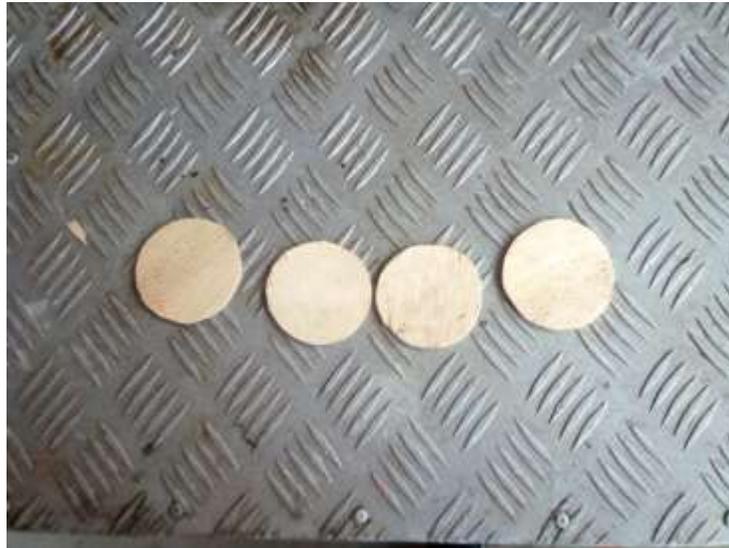


Ilustración 28. Placas de madera para cabezal de ensayo de compresión simple.

3.10. MONITOREO Y CONTROL

El alcance de los ensayos tiene como finalidad, estudiar las muestras bajo dos tipos de cargas y comparar los resultados en ambos casos. Estableciendo los parámetros de comparación es necesario determinar las deformaciones que se presentan durante las etapas del ensayo en donde se aplica la carga, produciendo que la muestra se deforme.

El control de estas deformaciones se realiza mediante el uso de diales digitales de alta precisión los cuales presentan, en sus pantallas, las deformaciones producidas en la muestra.

Estos equipos de medición se ubican en posiciones para poder medir las deformaciones longitudinales y transversales en la muestra. Los diales, poseen una punta retráctil que permite medir deformaciones cuando la masa se desplaza en dirección al cuerpo del dial. Para que la medición sea lo más precisa posible, la punta de medición debe de estar asentada de manera perpendicular a la cara en donde se debe medir las deformaciones, de esta forma se aseguran los diales en posición para el control de deformaciones.

3.11. PUNTOS DE CONTROL DE DEFORMACIONES

Los puntos de control de deformaciones son importantes, ya que estos deben de ser representativos del comportamiento del objeto de estudio.

3.11.1. MEDICIÓN DE DEFORMACIONES VERTICALES

Como se muestra en la figura el punto de medición sobre la placa se encuentra lo más cerca posible al eje de la muestra y del apoyo fijo de la parte superior del equipo de ensayo. Debido a que al encontrarse en los extremos se podría lecturas erróneas si la muestra experimenta una excentricidad sobre la carga, el dial tiende a desplazarse hacia arriba o abajo dependiendo de la excentricidad que presente. Mientras más cerca se ubique del centro de aplicación de la carga, el error de lectura de deformación se vuelve sustancialmente menor.



Ilustración 29. Monitoreo de deformaciones durante ensayo.

3.11.2. MEDICIÓN DE DEFORMACIONES TRANSVERSALES

Cuando la muestra no tiene confinamiento lateral se puede deformar aumentando su dimensión transversal y por ende modificando el nivel de esfuerzo que experimenta la muestra, a esto se denomina el efecto Poisson. Por lo anterior, el dial para la medición se ubica de manera perpendicular a la pared de la muestra.



Ilustración 30. Ubicacion de diales en punto longitudinal y transversal

Al ser necesariamente un único punto, de medición de deformaciones transversales su ubicación debe ser lo más significativa para su registro. Al presentar una carga de compresión distribuida en ambos extremos el punto de máxima deformación se ubica a la mitad de la altura, punto donde se ubicará el equipo de medición.

3.12. LECTURA DE CARGA

Una vez establecido los arreglos para ejecutar el ensayo, se propone un plan de lectura de carga y deformación, esto permite generar una bitácora de ensayo donde se anotan las lecturas para un determinado nivel de carga que se puede visualizar en la pantalla de lectura del equipo de compresión. Como resultado, las lecturas durante el proceso de carga progresiva direccionado a la falla.

En el proceso de carga y descarga del ensayo las mediciones se realizan con intervalos de 1 kgf hasta llegar al límite superior establecido, en donde se detiene el proceso de carga en la muestra e inicia el proceso de descarga manual hasta el límite inferior establecido.

4. CAPITULO IV – ANÁLISIS DE RESISTENCIA ÚLTIMA POR CARGA PROGRESIVA

4.1. METODOLOGIA DEL ENSAYO

El método de ensayo corresponde a la norma ASTM D2166-06 aplicada para el ensayo de compresión simple. El ensayo se ejecuta sobre muestras obtenidas en las localizaciones indicadas en la tabla 4, se determina la carga última a la falla. Esta determinación sirve como punto de referencia para la segunda parte de los ensayos que corresponde a la fase de carga y descarga

Se deben de agrupar las muestras con base en características pertenecientes a un mismo grupo, de esta forma se considera los grupos dependiendo de la localidad en donde fueron extraídas las muestras.

Se ensaya una muestra representativa de cada localización de las diferentes perforaciones, el listado de las muestras ensayadas se encuentra en la siguiente tabla:

MUESTRA	PERFORACIÓN	MUESTRA No	PROFUNDIDAD (m)	DESCRIPCION VISUAL
1	4	7	6	Arcilla dura de color verde grisasea con presencia de material orgánico
3	3	7	6	Arcilla dura color café oscuro
5	1	5	5	Arcilla dura color gris claro
8	1	10	10	Arcilla dura color gris claro

Tabla 5. Muestras por ensayar por carga progresiva

4.2. DETERMINACIÓN DE ESFUERZO

Para la fase comparativa de los ensayos se relaciona el nivel de esfuerzo bajo cargas de compresión cuya evaluación se realiza mediante la siguiente expresión:

$$\sigma = \frac{P (Ton)}{(A_i + \Delta_{TRANSV})} \quad (4.1)$$

En donde:

P: Carga axial de compresión aplicada (Ton)

A_i : Área transversal inicial de la muestra (m²)

Δ_{TRANSV} : Variación de sección transversal por deformación (m²)

4.3. DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL

Durante el ensayo, la muestra experimenta deformaciones transversales a lo largo de su geometría, alcanzando el punto de mayor deformación en la altura intermedia de la muestra. Esta deformación produce un ensanchamiento en la sección transversal de la muestra, lo que modifica el esfuerzo que esta experimenta en relación con una sección no variable.

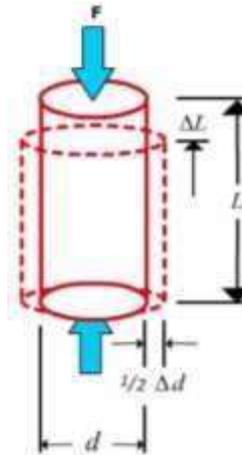


Ilustración 31. Ilustración de ensanchamiento de sección transversal

El esfuerzo resulta ser inversamente proporcional a la sección transversal, al existir un ensanchamiento en la sección, el esfuerzo tiende a ser menor en comparativa con una sección transversal no deformada.

La variable que representa la variación de la sección transversal en la fórmula 4.1 se calcula considerando la diferencia de diámetros en la muestra, de un punto inicial y una deformación progresiva:

$$\Delta_{TRANSV} = \frac{\pi (D_{ext}^2 - D_i^2)}{4} \quad (4.2)$$

En donde:

D_{ext} : Diámetro deformado en la sección transversal (m)

D_i : Diámetro inicial de la muestra (m)

El diámetro deformado de la sección transversal se obtiene mediante la adición del valor de la deformación transversal, monitoreada mediante el dial, a el diámetro inicial de la muestra.

4.4. RESULTADOS DEL ENSAYO

Los ensayos individuales a las muestras de la tabla 5 cuentan con su registro de deformación y esfuerzo.

4.4.1. MUESTRA 1 - EL ESFUERZO - CENTRO

Durante el ensayo, se recolectó información sobre las deformaciones producidas en la muestra por la aplicación de la carga obteniendo la siguiente tabla de registro del ensayo:

MUESTRA	1		9758264		626397
UBICACIÓN	<i>EL ESFUERZO</i>				
CARGA (kg)	DEFORMACIÓN VERTICAL (mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA VERTICAL (%)	DEFORMACIÓN HORIZONTAL (mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA HORIZONTAL (%)	ESFUERZO (1/m²)
0,5	0,007	0,007%	0,001	0,002%	0,254
1	0,018	0,018%	0,002	0,004%	0,509
1,5	0,032	0,032%	0,005	0,010%	0,763
2	0,048	0,048%	0,010	0,020%	1,018
2,5	0,066	0,066%	0,050	0,100%	1,270
3	0,086	0,086%	0,062	0,124%	1,524
3,5	0,102	0,102%	0,074	0,148%	1,777
4	0,144	0,144%	0,085	0,170%	2,030
4,5	0,201	0,201%	0,105	0,210%	2,282
5	0,275	0,275%	0,185	0,370%	2,527
5,5	0,398	0,398%	0,296	0,592%	2,768
6	0,500	0,500%	0,342	0,684%	3,014

6,5	0,597	0,597%	0,401	0,802%	3,257
7	0,702	0,702%	0,477	0,954%	3,498
8	0,856	0,856%	0,600	1,200%	3,978

Ilustración 32. Registro EL ESFUERZO

La representación visual del comportamiento del espécimen durante el ensayo es la curva de esfuerzo-deformación. Colocando en las abscisas las deformaciones experimentadas por la muestra y en las ordenadas el esfuerzo en el cual la muestra experimenta dichas deformaciones. En caso de la primera muestra se obtiene la siguiente gráfica:

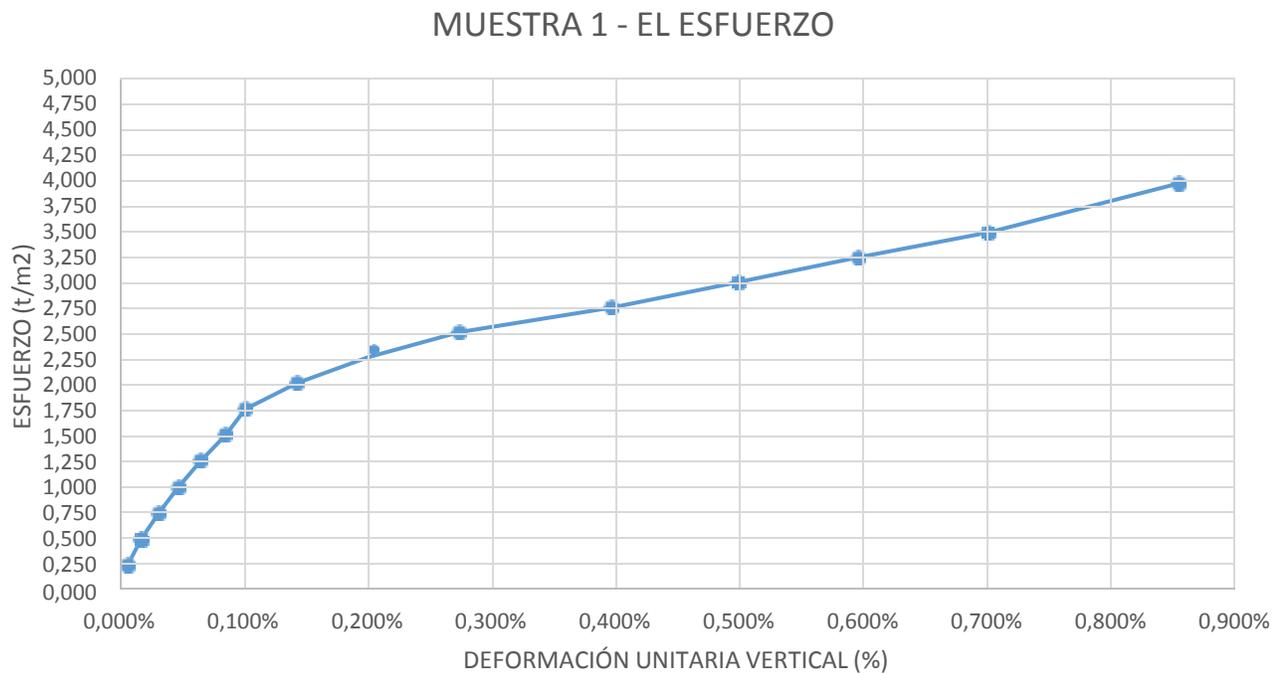


Ilustración 33- Gráfica Constitutiva El Esfuerzo



Ilustración 34. Falla de la muestra 1.

4.4.2. MUESTRA 3 – EL ESFUERZO - SUR

Se realizaron las lecturas de las deformaciones durante su ensayo, obteniendo como resultado la siguiente tabla de registro de ensayo:

MUESTRA	3	9778294	626343		
UBICACIÓN	EL ESFUERZO - SUR				
CARGA (kg)	DEFORMACIÓN VERTICAL (mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA VERTICAL (%)	DEFORMACIÓN HORIZONTAL (mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA HORIZONTAL (%)	ESFUERZO (T/m ²)
0,5	0,012	0,012%	0,003	0,006%	0,255
1,7	0,024	0,024%	0,007	0,014%	0,866
2,9	0,034	0,034%	0,011	0,022%	1,476
4	0,055	0,055%	0,023	0,046%	2,035
5,2	0,073	0,073%	0,031	0,062%	2,645
6,7	0,095	0,095%	0,049	0,098%	3,406

7,4	0,124	0,124%	0,069	0,138%	3,758
8,6	0,187	0,187%	0,097	0,194%	4,363
9,8	0,300	0,300%	0,112	0,224%	4,969
10,9	0,465	0,465%	0,175	0,350%	5,513
11,8	0,632	0,632%	0,238	0,476%	5,953
12,7	0,812	0,812%	0,346	0,692%	6,379
13,2	0,997	0,997%	0,464	0,928%	6,600
13,7	1,134	1,134%	0,532	1,064%	6,831
14	1,246	1,246%	0,623	1,246%	6,956
14,4	1,377	1,377%	0,650	1,300%	7,147
14,7	1,521	1,521%	0,712	1,424%	7,278
15	1,632	1,632%	0,786	1,572%	7,405
15,3	1,784	1,784%	0,821	1,642%	7,542
15,5	1,896	1,896%	0,844	1,688%	7,634
15,8	1,998	1,998%	0,872	1,744%	7,773

Tabla 6. Registro El esfuerzo Sur

Como resultado del comportamiento de la muestra durante el ensayo de compresión simple, se obtiene la siguiente gráfica de esfuerzo-deformación:

MUESTRA 3 - EL ESFUERZO - SUR

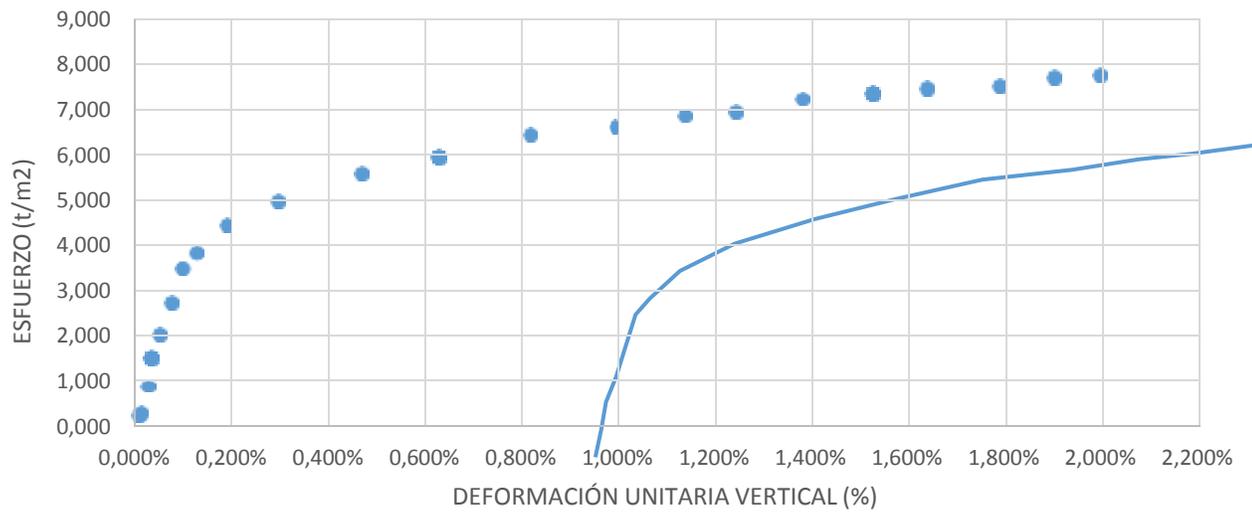


Ilustración 35. Gráfica constitutiva El Esfuerzo y Sur.



Ilustración 36. Fallo de muestra 3

4.4.3. MUESTRA 5 – EL ESFUERZO - NORTE

En el ensayo de la muestra perteneciente a esta localidad se obtuvo la siguiente tabla de registro de ensayo, con la carga y sus respectivas deformaciones:

MUESTRA	5		9778310		626220
UBICACIÓN	<i>EL ESFUERZO - NORTE</i>				
CARGA (kg)	DEFORMACIÓN VERTICAL (mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA VERTICAL (%)	DEFORMACIÓN HORIZONTAL (mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA HORIZONTAL (%)	ESFUERZO (T/m²)
0,5	0,012	0,012%	0,004	0,008%	0,254
0,7	0,024	0,024%	0,007	0,014%	0,356
0,9	0,034	0,034%	0,009	0,018%	0,458
1,4	0,055	0,055%	0,023	0,046%	0,712
1,7	0,073	0,073%	0,050	0,100%	0,864
2	0,095	0,095%	0,069	0,138%	1,015
2,3	0,124	0,124%	0,077	0,154%	1,167
2,7	0,187	0,187%	0,089	0,178%	1,370
3,4	0,300	0,300%	0,101	0,202%	1,724
3,9	0,465	0,465%	0,159	0,318%	1,973
4,4	0,632	0,632%	0,299	0,598%	2,214
5	0,812	0,812%	0,421	0,842%	2,504
5,5	0,997	0,997%	0,532	1,064%	2,74
5,8	1,134	1,134%	0,644	1,288%	2,879
6,1	1,246	1,246%	0,772	1,544%	3,012
6,4	1,377	1,377%	0,845	1,690%	3,152
6,75	1,521	1,521%	0,927	1,854%	3,313

Tabla 7. Registro El Esfuerzo Norte

Como resultado de la digitalización del registro se obtiene la siguiente gráfica esfuerzo – deformación:

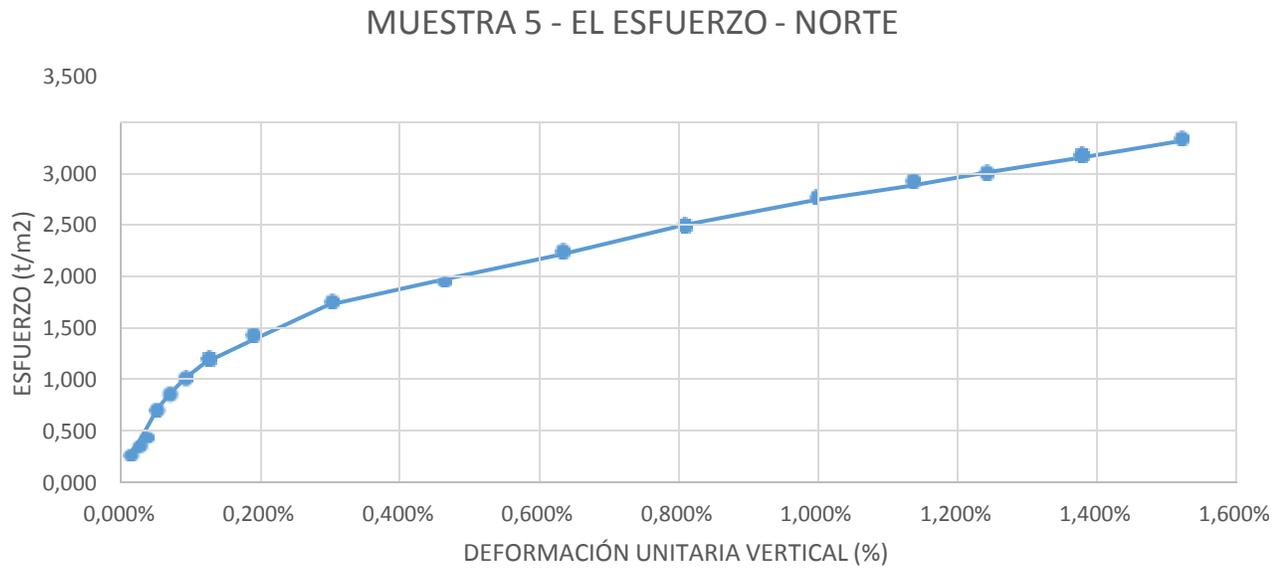


Ilustración 37. Gráfica cosntitutiva El Esfuerzo - Norte



Ilustración 38. Fallo de la muestra 5.

4.4.4. MUESTRA 8 – EL TORNILLO

Se tomaron lectura de los diferentes esfuerzos y sus respectivas deformaciones durante la aplicación de carga obteniendo la siguiente tabla de registro de la muestra:

MUESTRA	8		9764979		624546
UBICACIÓN	<i>EL TORNILLO</i>				
CARGA (kg)	DEFORMACIÓN VERTICAL (mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA VERTICAL (%)	DEFORMACIÓN HORIZONTAL (mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA HORIZONTAL (%)	ESFUERZO (1/m²)
0,5	0,015	0,015%	0,008	0,016%	0,254
1,4	0,022	0,022%	0,012	0,024%	0,712
2,7	0,033	0,033%	0,023	0,046%	1,373
3,9	0,042	0,042%	0,035	0,070%	1,983
4,9	0,055	0,055%	0,053	0,106%	2,490
6	0,071	0,071%	0,078	0,156%	3,046
7,20	0,099	0,099%	0,089	0,178%	3,653
8,4	0,167	0,167%	0,101	0,202%	4,260
10	0,276	0,276%	0,122	0,244%	5,068
11,7	0,399	0,399%	0,137	0,274%	5,926
12,6	0,523	0,523%	0,152	0,304%	6,378
13,5	0,744	0,744%	0,166	0,332%	6,830
14,3	0,899	0,899%	0,179	0,358%	7,231
14,7	1,112	1,112%	0,188	0,376%	7,430
15,3	1,245	1,245%	0,193	0,386%	7,732
15,8	1,386	1,386%	0,211	0,422%	7,979
16,3	1,587	1,587%	0,365	0,730%	8,181
16,9	1,739	1,739%	0,532	1,064%	8,426
17,7	1,894	1,894%	0,601	1,202%	8,801

Tabla 8. Registro de campo muestra 8

Se obtiene la siguiente representación gráfica del comportamiento de la muestra respecto a su esfuerzo y las deformaciones verticales que experimenta:



Ilustración 39. Gráfica constitutiva El Tornillo



Ilustración 40. Muestra con fallo luego de la compresión

4.5. RESISTENCIAS ÚLTIMAS OBTENIDAS

Luego de realizar el ensayo de compresión simple sin confinamiento a las muestras representativas de cada localización se obtiene el valor de resistencia última de cada uno, de esa manera se obtiene la siguiente tabla de resistencias últimas:

MUESTRA	UBICACIÓN	RESISTENCIA ÚLTIMA (T/m²)
1	EL ESFUERZO - CENTRO	3.978
3	EL ESFUERZO - SUR	7.773
5	EL ESFUERZO - NORTE	3.314
8	EL TORNILLO	9.124

Ilustración 41. Resistencias últimas obtenidas primera fase

4.6. MAXIMAS DEFORMACIONES

Se obtuvieron las máximas deformaciones experimentadas por la muestra durante el ensayo, hasta llegar a su resistencia última:

MUESTRA	UBICACIÓN	RESISTENCIA ÚLTIMA (T/m²)	DEFORMACIÓN VERTICAL (mm)	DEFORMACIÓN HORIZONTAL (mm)
	EL			
1	ESFUERZO - CENTRO	3.978	0.856	0.600
	EL			
3	ESFUERZO - SUR	7.773	1.998	0.872
	EL			
5	ESFUERZO - NORTE	3.314	1.521	0.927
	EL			
8	EL	9.124	2.056	0.673

TORNILLO

Tabla 9. Máxima deformaciones primera fase

5. CAPÍTULO V - ANÁLISIS DE RESISTENCIA ÚLTIMA POR CARGA Y DESCARGA

5.1. MUESTRAS POR ENSAYAR

Las muestras ensayadas por compresión simple a su resistencia última son descartadas en esta etapa. Se ensayaron las demás muestra de las localidades que se obtuvieron en la tabla 4.

La siguiente tabla muestra los especímenes por ensayar, en esta etapa:

MUESTR A	UBICACIÓN	PERFORACIÓN	PROFUNDIDAD (m)	DESCRIPCION VISUAL
2	EL ESFUERZO - CENTRO	3	6	Arcilla dura de color verde grisasea con presencia de material orgánico
4	EL ESFUERZO - SUR	3	6	Arcilla dura color café oscuro
6	EL ESFUERZO - NORTE	1	6	Arcilla dura de color verde grisasea con presencia de material orgánico
7	VILACAPITA L	1	6	Arcilla dura de color verde grisasea con presencia de material orgánico
9	EL TORNILLO	1	10	Arcilla dura color gris claro
10	EL TORNILLO	1	10	Arcilla dura color gris claro

Tabla 10. Muestras para ensayar conciclos de carga

5.2. DETERMINACIÓN DE ESFUERZOS

La determinación del esfuerzo en la muestra se basa en la expresión utilizada para el cálculo del esfuerzo bajo compresión simple. Las variaciones dependerán de las deformaciones que experimente la sección transversal durante el ensayo por el proceso de carga y descarga:

$$\sigma = \frac{P \text{ (Ton)}}{(A_i + \Delta_{TRANSV})} \quad (5.1)$$

En donde:

P : Carga axial de compresión aplicada (Ton)

A_i : Área transversal inicial de la muestra (m²)

Δ_{TRANSV} : Variación de sección transversal por deformación (m²)

5.3. DETERMINACION DE LA VARIACION DE LA SECCION TRANSVERSAL

Como resultado del proceso de carga y descarga, la muestra experimenta deformaciones verticales y transversales. Durante el proceso de carga de compresión axial la muestra se deforma en vertical produciendo un espécimen más corto en su longitud respecto a su estado inicial, y deformaciones transversales produciendo un aumento de diámetro en el espécimen. Una vez la muestra se descarga presenta una regresión en las deformaciones, manteniendo deformaciones remanentes a medida que se aplican los ciclos de carga.

El proceso de carga y descarga debe de considerar, en el análisis de esfuerzo y deformación y la variación de la sección transversal partiendo de la ecuación de esfuerzo axial:

$$\sigma_n = \frac{P_n}{A_n} \quad (5.2)$$

Siendo:

P_n : la carga de compresión experimentada en un punto del ensayo.

A_n : el área de la sección transversal de la muestra a bajo una carga P_n .

La carga se aplica de manera constante con la manivela y es visible en la pantalla del equipo de ensayo, esta lectura es de forma directa.

El área de la sección transversal, considera la deformación transversal que experimenta la muestra durante la aplicación de la carga, tomando en cuenta como base el diámetro inicial

de la muestra, debido a que a lo largo de toda la prueba el valor de deformación se

adicionará al diámetro inicial de la muestra. Debido a la descarga la deformación tiende a volver al diámetro inicial, incluso luego de la descarga el diámetro posterior a la inicial cuenta con la adición de la deformación transversal, pero a menor medida

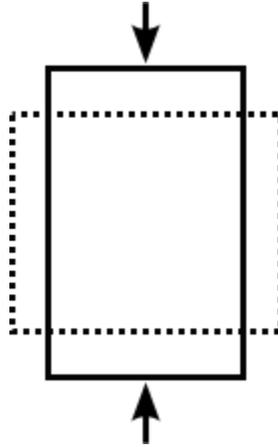


Ilustración 42. Ilustración efecto de compresión.

El diámetro después de aplicada la carga se determina usando la siguiente expresión:

$$D_n = D_i + 2\delta_n \quad (5.3)$$

En donde

D_n : diámetro deformado por una carga mayor a 0.

D_i : diámetro inicial de la muestra.

δ_n : deformación transversal por carga mayor a 0.

Las probetas tienen forma cilíndrica por lo cual se utiliza la fórmula del área de un círculo para obtener su sección transversal:

$$A_n = \frac{\pi * D_n}{4} \quad (5.4)$$

De esta manera el valor del diámetro deformado D_n se utiliza en la ecuación **5.4**

Remplazando el área deformada dentro de la ecuación para determinar el esfuerzo, se obtiene el siguiente resultado:

$$\sigma = \frac{P_n}{\pi \cdot \frac{(D_i + 2\delta n)^2}{4}} \quad (5.5)$$

5.4. RANGO DE CICLO PARA CARGA Y DESCARGA

El rango para los ciclos de carga y descarga se establecen con la finalidad de generar esta variación de esfuerzos en la muestra en rangos que le permitan deformarse como se espera en respuesta de la aplicación de la carga.

El límite superior se consideró con un máximo de carga igual al 50% de la capacidad última definida en la etapa anterior por el ensayo de carga de compresión a la falla. El límite inferior del rango se limita al 20% de la carga última aplicada a la muestra en el proceso de compresión progresiva.

5.5. RESULTADO DE LOS ENSAYOS

Los resultados presentan tablas de registro obtenidos durante el ensayo, en donde se detallan las deformaciones que experimenta la muestra bajo la carga de compresión y la descarga de la muestra. El monitoreo de las deformaciones y de la carga aplicada sigue la metodología de los ensayos del capítulo III.

5.5.1. MUESTRA 2 – EL ESFUERZO - CENTRO

El monitoreo es constante, dando como resultado la siguiente tabla de registro:

MUESTRA		2	9778294		626343
UBICACIÓN		<i>EL ESFUERZO - CENTRO</i>			
CARGA (kg)	DEFORMACIÓN VERTICAL (mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA VERTICAL (%)	DEFORMACIÓN HORIZONTAL (mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA HORIZONTAL (%)	ESFUERZO (T/m²)
0,50	0,009	0,009%	0,004	0,008%	0,255
1,00	0,023	0,023%	0,006	0,012%	0,509
1,50	0,034	0,034%	0,009	0,018%	0,764

2,00	0,044	0,044%	0,013	0,026%	1,018
2,50	0,057	0,057%	0,024	0,048%	1,272
3,00	0,068	0,068%	0,035	0,070%	1,526
3,50	0,082	0,082%	0,048	0,096%	1,779
4,00	0,098	0,098%	0,063	0,126%	2,032
3,50	0,105	0,105%	0,059	0,118%	1,778
3,00	0,101	0,101%	0,045	0,090%	1,525
2,50	0,092	0,092%	0,037	0,074%	1,271
2,00	0,084	0,084%	0,029	0,058%	1,017
1,50	0,073	0,073%	0,021	0,042%	0,763
2,00	0,078	0,078%	0,027	0,054%	1,017
2,50	0,086	0,086%	0,034	0,068%	1,272
3,00	0,097	0,097%	0,049	0,098%	1,525
3,50	0,107	0,107%	0,062	0,124%	1,778
4,00	0,123	0,123%	0,077	0,154%	2,031
3,50	0,131	0,131%	0,068	0,136%	1,778
3,00	0,121	0,121%	0,059	0,118%	1,524
2,50	0,111	0,111%	0,047	0,094%	1,271
2,00	0,099	0,099%	0,039	0,078%	1,017
1,50	0,088	0,088%	0,035	0,070%	0,763
2,00	0,094	0,094%	0,037	0,074%	1,017
2,50	0,103	0,103%	0,044	0,088%	1,271
3,00	0,117	0,117%	0,057	0,114%	1,524

Tabla 11. Registro ensayo ciclo de carga muestra 2.

El comportamiento de la muestra se observa mediante la gráfica de esfuerzo-deformación que se encuentra a continuación:

MUESTRA 2 - EL ESFUERZO - CENTRO

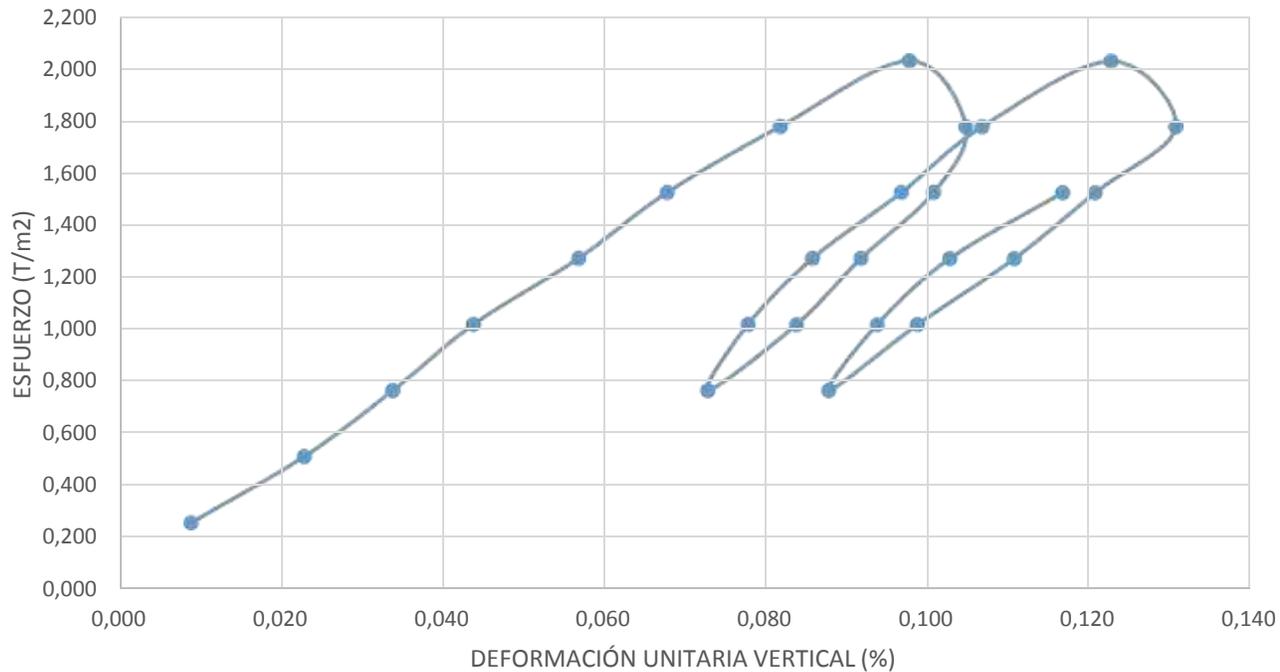


Ilustración 43. Gráfica constitutiva El esfuerzo - Centro

Los rangos de visualización de los ejes de la gráfica han sido alterados de manera que esta represente de forma clara el ciclo de carga.

La muestra presentó fallas en el segundo ciclo de carga, luego de dos descargas dentro de los rangos definidos, la muestra empezó a agrietarse presentando fallas de gran magnitud para el comienzo del segundo ciclo de carga. El análisis de este ensayo será detallado en subcapítulos posteriores.

5.5.2. MUESTRA 4 – EL ESFUERZO - SUR

El monitoreo es constante, dando como resultado la siguiente tabla de registro:

MUESTRA	4	9778294	626343		
UBICACIÓN	EL ESFUERZO - SUR				
CARGA (kg)	DEFORMACIÓN VERTICAL (mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA VERTICAL (%)	DEFORMACIÓN HORIZONTAL (mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA HORIZONTAL (%)	ESFUERZO (T/m²)

0,50	0,035	0,035%	0,012	0,024%	0,255
1,00	0,048	0,048%	0,029	0,058%	0,509
1,50	0,058	0,058%	0,034	0,068%	0,763
2,00	0,068	0,068%	0,047	0,094%	1,017
2,50	0,078	0,078%	0,053	0,106%	1,271
3,00	0,089	0,089%	0,062	0,124%	1,524
3,50	0,097	0,097%	0,074	0,148%	1,777
4,00	0,109	0,109%	0,082	0,164%	2,031
4,50	0,120	0,120%	0,094	0,188%	2,283
5,00	0,129	0,129%	0,101	0,202%	2,536
5,50	0,138	0,138%	0,109	0,218%	2,789
6,00	0,150	0,150%	0,117	0,234%	3,042
6,50	0,163	0,163%	0,122	0,244%	3,294
7,00	0,175	0,175%	0,131	0,262%	3,546
7,50	0,189	0,189%	0,139	0,278%	3,799
8,00	0,204	0,204%	0,147	0,294%	4,051
7,50	0,203	0,203%	0,143	0,286%	3,798
7,00	0,196	0,196%	0,136	0,272%	3,546
6,50	0,187	0,187%	0,129	0,258%	3,293
6,00	0,176	0,176%	0,120	0,240%	3,041
5,50	0,165	0,165%	0,113	0,226%	2,789
5,00	0,154	0,154%	0,109	0,218%	2,535
4,50	0,147	0,147%	0,099	0,198%	2,283
4,00	0,137	0,137%	0,092	0,184%	2,030
3,50	0,126	0,126%	0,087	0,174%	1,776
4,00	0,128	0,128%	0,094	0,188%	2,030
4,50	0,135	0,135%	0,102	0,204%	2,283

5,00	0,144	0,144%	0,113	0,226%	2,535
5,50	0,153	0,153%	0,121	0,242%	2,788
6,00	0,167	0,167%	0,130	0,260%	3,040
6,50	0,179	0,179%	0,138	0,276%	3,292
7,00	0,196	0,196%	0,147	0,294%	3,544
7,50	0,206	0,206%	0,158	0,316%	3,796
8,00	0,250	0,217%	0,173	0,346%	4,046
7,50	0,221	0,221%	0,168	0,336%	3,794
7,00	0,217	0,217%	0,155	0,310%	3,543
6,50	0,211	0,211%	0,146	0,292%	3,291
6,00	0,206	0,206%	0,139	0,278%	3,039
5,50	0,201	0,201%	0,131	0,262%	2,787
5,00	0,196	0,196%	0,126	0,252%	2,534
4,50	0,192	0,192%	0,118	0,236%	2,281
4,00	0,187	0,187%	0,110	0,220%	2,028
3,50	0,181	0,181%	0,104	0,208%	1,775
4,00	0,182	0,182%	0,109	0,218%	2,028
4,50	0,185	0,185%	0,119	0,238%	2,281
5,00	0,189	0,189%	0,127	0,254%	2,534
5,50	0,195	0,195%	0,134	0,268%	2,786
6,00	0,200	0,200%	0,144	0,288%	3,038
6,50	0,207	0,207%	0,156	0,312%	3,290
7,00	0,214	0,214%	0,167	0,334%	3,541
7,50	0,225	0,225%	0,173	0,346%	3,793
8,00	0,235	0,235%	0,180	0,360%	4,045
7,50	0,238	0,238%	0,175	0,350%	3,793
7,00	0,235	0,235%	0,170	0,340%	3,541

6,50	0,231	0,231%	0,162	0,324%	3,289
6,00	0,227	0,227%	0,158	0,316%	3,037
5,50	0,223	0,223%	0,149	0,298%	2,785
5,00	0,219	0,219%	0,140	0,280%	2,532
4,50	0,215	0,215%	0,136	0,272%	2,279
4,00	0,210	0,210%	0,128	0,256%	2,027
3,50	0,205	0,205%	0,120	0,240%	1,774
4,00	0,208	0,208%	0,126	0,252%	2,027
4,50	0,212	0,212%	0,135	0,270%	2,280
5,00	0,217	0,217%	0,141	0,282%	2,532
5,50	0,221	0,221%	0,158	0,316%	2,784
6,00	0,227	0,227%	0,164	0,328%	3,036
6,50	0,231	0,231%	0,171	0,342%	3,288
7,00	0,239	0,239%	0,180	0,360%	3,540
7,50	0,245	0,245%	0,184	0,368%	3,792
8,00	0,253	0,253%	0,187	0,374%	4,044
8,50	0,266	0,266%	0,19	0,380%	4,296
9,00	0,278	0,278%	0,2	0,400%	4,547
10,00	0,311	0,311%	0,234	0,468%	5,046
11,00	0,348	0,348%	0,257	0,514%	5,545
12,40	0,435	0,435%	0,264	0,528%	6,249
13,00	0,499	0,499%	0,271	0,542%	6,550
14,30	0,635	0,635%	0,278	0,556%	7,203
15,00	0,734	0,734%	0,283	0,566%	7,554
16,00	0,903	0,903%	0,287	0,574%	8,056
18,70	1,411	1,411%	0,295	0,590%	9,412

Tabla 12. Registro de ensayo ciclo de carga muestra 4

Como resultado del comportamiento bajo el ciclo de carga se obtiene la siguiente gráfica:

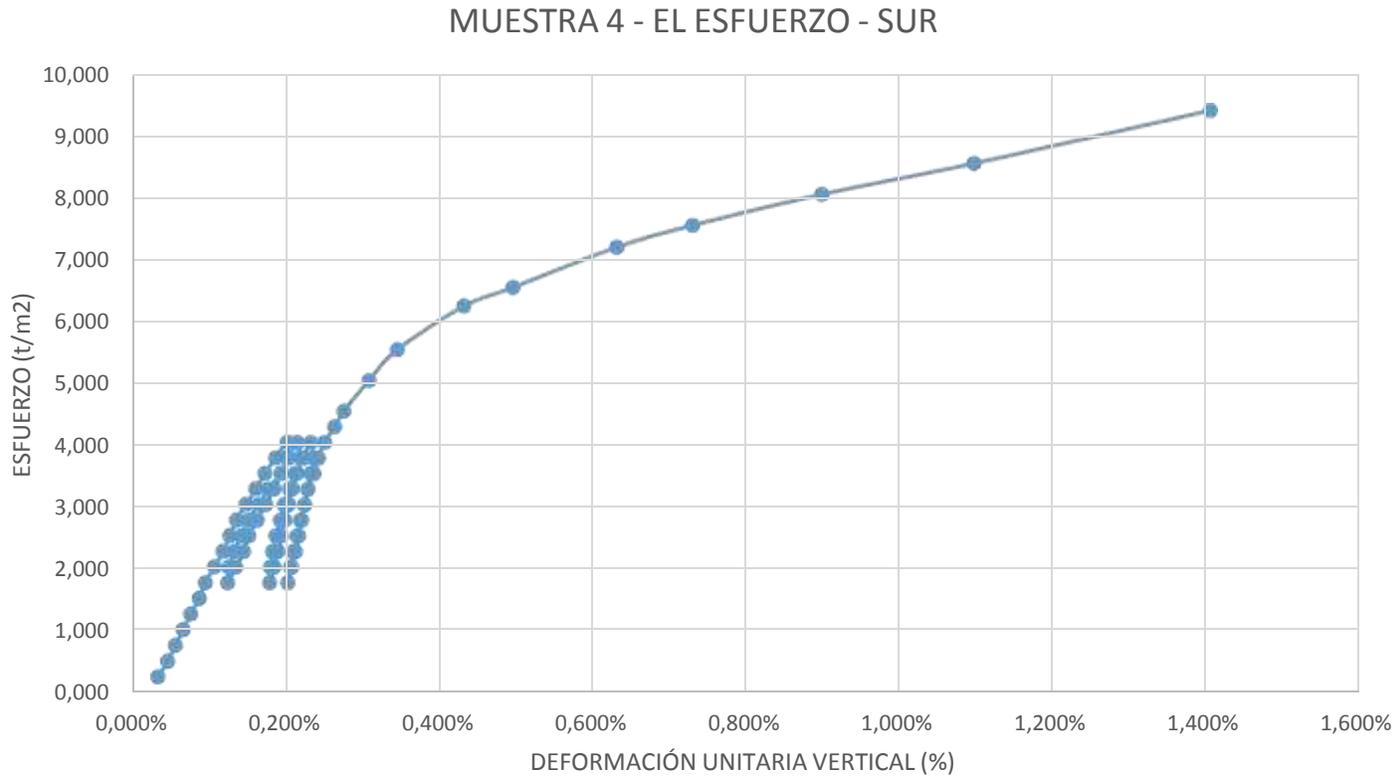


Ilustración 44. Gráfica constitutiva con ciclos de carga El Esfuerzo - Sur

Debido a las dimensiones de la gráfica resulta difícil apreciar los ciclos de carga que experimentó la muestra durante el proceso, para observarlas es necesario acercar la visualización a la zona de los tres ciclos de carga, con la finalidad de que aun siendo distorsionada las escalas de los gráficos se aprecie los fenómenos producidos durante la aplicación del ciclo.

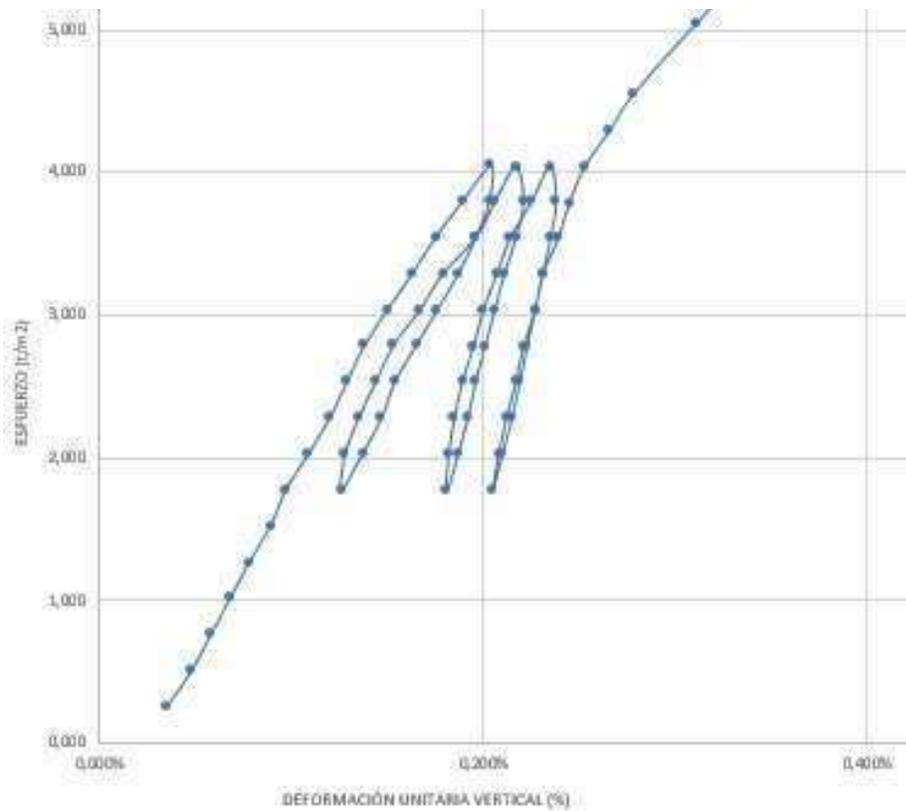


Ilustración 45. Acercamiento de ciclo de carga en gráfica.

5.5.3. MUESTRA 6 – EL ESFUERZO - NORTE

El ensayo realizado a la muestra emplea el mismo procedimiento de carga y descarga, con lo que se obtiene la siguiente tabla de registro del ensayo del laboratorio:

MUESTRA	6	9778310	626220		
UBICACIÓN	EL ESFUERZO - NORTE				
CARGA (kg)	DEFORMACIÓN VERTICAL (mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA VERTICAL (%)	DEFORMACIÓN HORIZONTAL (mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA HORIZONTAL (%)	ESFUERZO (T/m ²)
0,50	0,044	0,044%	0,039	0,078%	0,254
1,00	0,059	0,059%	0,042	0,084%	0,508
1,50	0,068	0,068%	0,053	0,106%	0,762
2,00	0,079	0,079%	0,059	0,118%	1,016
2,50	0,091	0,091%	0,067	0,134%	1,270

3,00	0,102	0,102%	0,078	0,156%	1,523
3,50	0,115	0,115%	0,089	0,178%	1,776
3,00	0,112	0,112%	0,083	0,166%	1,523
2,50	0,104	0,104%	0,077	0,154%	1,269
2,00	0,097	0,097%	0,064	0,128%	1,016
1,50	0,090	0,090%	0,060	0,120%	0,762
2,00	0,096	0,096%	0,065	0,130%	1,016
2,50	0,102	0,102%	0,074	0,148%	1,269
3,00	0,113	0,113%	0,087	0,174%	1,523
3,50	0,129	0,129%	0,096	0,192%	1,776
3,00	0,125	0,125%	0,091	0,182%	1,522
2,50	0,122	0,122%	0,087	0,174%	1,269
2,00	0,116	0,116%	0,081	0,162%	1,015
1,50	0,112	0,112%	0,075	0,150%	0,762
2,00	0,114	0,114%	0,088	0,176%	1,015
2,50	0,119	0,119%	0,093	0,186%	1,269
3,00	0,126	0,126%	0,103	0,206%	1,522
3,50	0,138	0,138%	0,112	0,224%	1,775
3,00	0,137	0,137%	0,105	0,210%	1,521
2,50	0,134	0,134%	0,099	0,198%	1,268
2,00	0,131	0,131%	0,091	0,182%	1,015
1,50	0,128	0,128%	0,088	0,176%	0,761
2,00	0,129	0,129%	0,096	0,192%	1,015
2,50	0,132	0,132%	0,107	0,214%	1,268
3,00	0,138	0,138%	0,116	0,232%	1,521
3,50	0,145	0,145%	0,128	0,256%	1,773
4,00	0,165	0,165%	0,139	0,278%	2,026

4,50	0,189	0,189%	0,152	0,304%	2,278
5,00	0,221	0,221%	0,173	0,346%	2,529
5,50	0,248	0,248%	0,197	0,394%	2,779
6,50	0,311	0,311%	0,289	0,578%	3,272
7,70	0,433	0,433%	0,402	0,804%	3,859
8,40	0,512	0,512%	0,533	1,066%	4,188
9,40	0,658	0,658%	0,645	1,290%	4,666
10,50	0,865	0,865%	0,712	1,424%	5,198
10,95	1,001	1,001%	0,844	1,688%	5,393
11,35	1,234	1,234%	0,915	1,830%	5,575

Tabla 14.. Registro ensayo ciclos de carga muestra 6

La representación gráfica del comportamiento de la muestra durante el ensayo se observa en el siguiente gráfico

MUESTRA 6 - EL ESFUERZO - NORTE

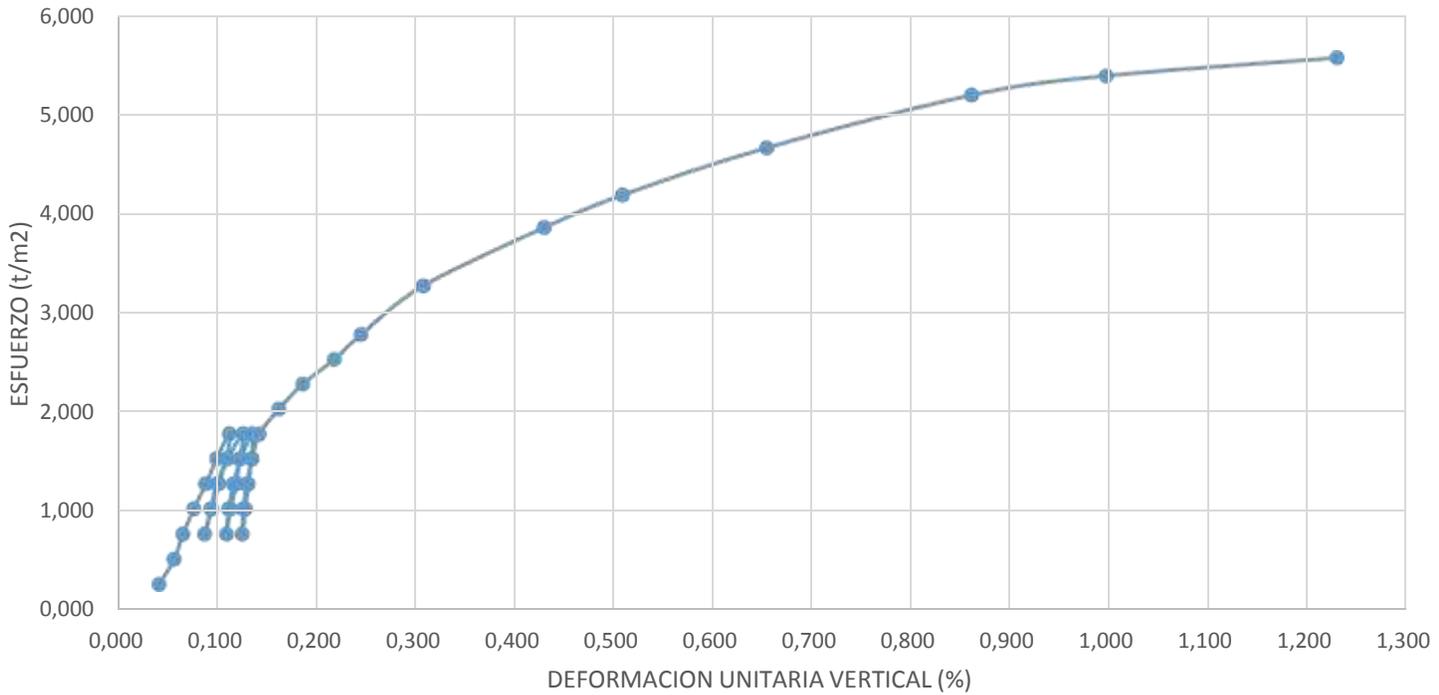


Ilustración 46. Gráfica constitutiva con ciclo de carga El esfuerzo - Norte

Debido a las dimensiones de la gráfica resulta difícil apreciar los ciclos de carga que experimentó la muestra durante el proceso, para observarlas es necesario acercar la visualización a la zona de los tres ciclos de carga, con la finalidad de que aun siendo distorsionada las escalas de los gráficos se aprecie los fenómenos producidos durante la aplicación del ciclo.

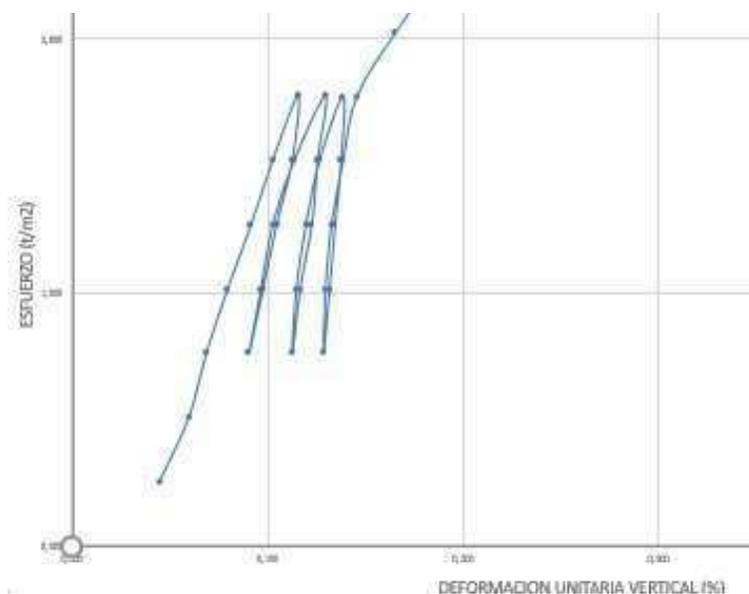


Ilustración 47. Acercamiento ciclo de carga el Esfuerzo - Norte

5.5.4. MUESTRA 7 – EL ESFUERZO - NORTE

La muestra de igual ubicación obtenida en las perforaciones se somete al ensayo de compresión con carga y descarga, obteniendo la siguiente tabla de registro:

MUESTRA	7	9778310			626220
UBICACIÓN	EL ESFUERZO - NORTE				
CARGA (kg)	DEFORMACIÓN VERTICAL (mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA VERTICAL (%)	DEFORMACIÓN HORIZONTAL (mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA HORIZONTAL (%)	ESFUERZO (T/m ²)
0,50	0,034	0,034%	0,027	0,054%	0,254
1,00	0,048	0,048%	0,034	0,068%	0,509
1,50	0,057	0,057%	0,048	0,096%	0,762
2,00	0,067	0,067%	0,057	0,114%	1,016
2,50	0,079	0,079%	0,062	0,124%	1,270
3,00	0,089	0,089%	0,069	0,138%	1,524
3,50	0,098	0,098%	0,074	0,148%	1,777
3,00	0,097	0,097%	0,071	0,142%	1,524
2,50	0,091	0,091%	0,066	0,132%	1,270

2,00	0,084	0,084%	0,055	0,110%	1,016
1,50	0,077	0,077%	0,048	0,096%	0,762
2,00	0,080	0,080%	0,050	0,100%	1,017
2,50	0,088	0,088%	0,069	0,138%	1,270
3,00	0,098	0,098%	0,083	0,166%	1,523
3,50	0,111	0,111%	0,093	0,186%	1,776
3,00	0,109	0,109%	0,087	0,174%	1,523
2,50	0,105	0,105%	0,075	0,150%	1,269
2,00	0,099	0,099%	0,069	0,138%	1,016
1,50	0,094	0,094%	0,062	0,124%	0,762
2,00	0,096	0,096%	0,074	0,148%	1,016
2,50	0,102	0,102%	0,089	0,178%	1,269
3,00	0,11	0,110%	0,093	0,186%	1,522
3,50	0,121	0,121%	0,104	0,208%	1,775
3,00	0,119	0,119%	0,101	0,202%	1,522
2,50	0,115	0,115%	0,950	1,900%	1,226
2,00	0,110	0,110%	0,087	0,174%	1,015
1,50	0,105	0,105%	0,081	0,162%	0,761
2,00	0,107	0,107%	0,091	0,182%	1,015
2,50	0,112	0,112%	0,099	0,198%	1,268
3,00	0,12	0,120%	0,107	0,214%	1,521
3,50	0,138	0,138%	0,112	0,224%	1,775
4,00	0,156	0,156%	0,121	0,242%	2,027
5,36	0,254	0,254%	0,148	0,296%	2,714

Tabla 13. Registro de ensayo ciclos de carga El Esfuerzo - Norte

Su comportamiento es visible mediante la gráfica de esfuerzo-deformación de la muestra, la cual corresponde al siguiente gráfico:

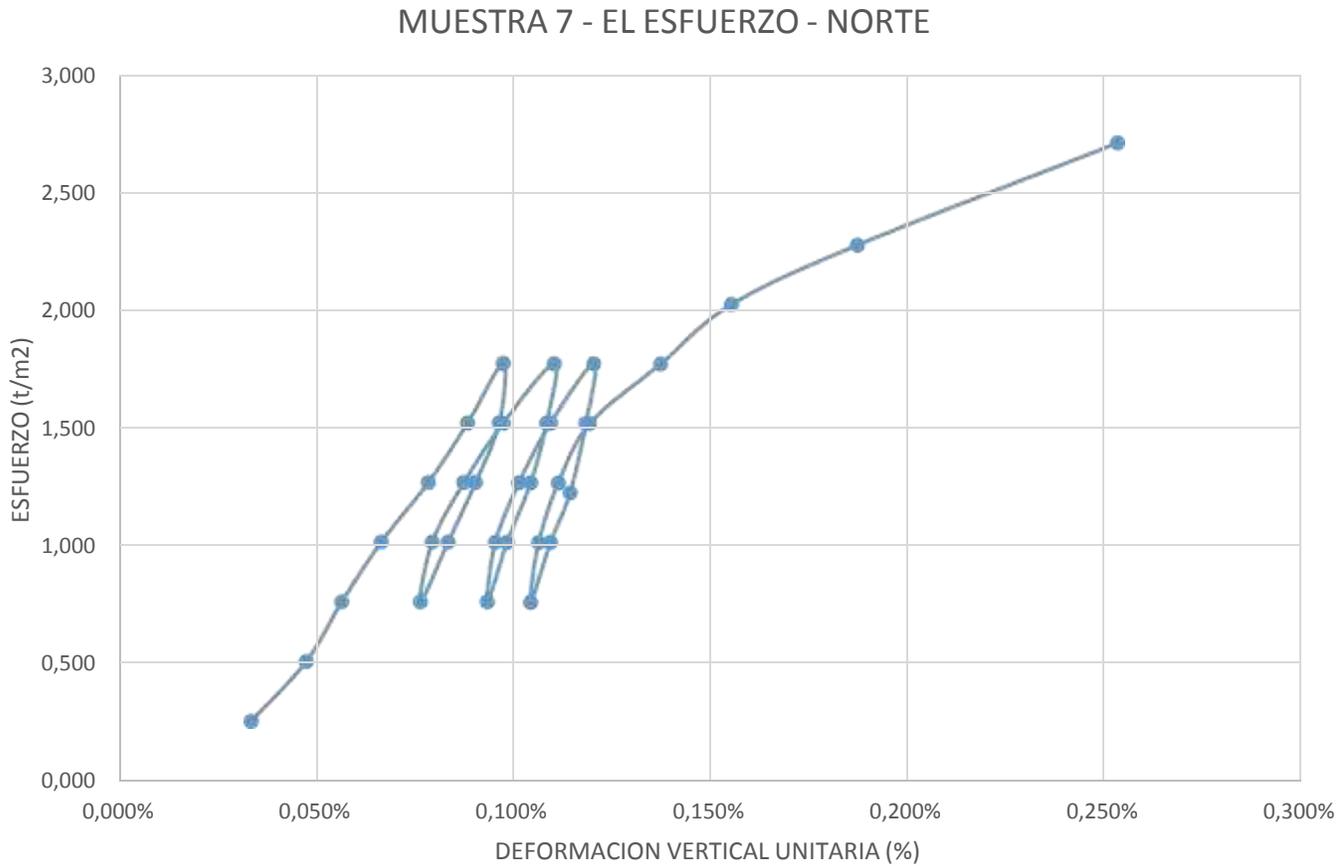


Ilustración 48. Gráfica constitutiva ciclos de carga El Esfuerzo - Norte

5.5.5. MUESTRA 9 – EL TORNILLO

La muestra fue sometida al ensayo de carga y descarga de compresión y se obtiene la siguiente tabla de registro:

MUESTR					
A	9		9764979		624546
UBICACI					
			<i>EL TORNILLO</i>		
CARGA (kg)	DEFORMA CIÓN VERTICAL (mm)	DEFORMA CIÓN UNITARIA VERTICAL (%)	DEFORMA CIÓN HORIZONTAL (mm)	DEFORMA CIÓN UNITARIA HORIZONTAL (%)	ESFUER ZO (T/m ²)

0,50	0,033	0,033%	0,021	0,042%	0,254
1,00	0,049	0,049%	0,029	0,058%	0,509
1,50	0,063	0,063%	0,033	0,066%	0,763
2,00	0,077	0,077%	0,042	0,084%	1,017
2,50	0,083	0,083%	0,051	0,102%	1,271
3,00	0,095	0,095%	0,068	0,136%	1,524
3,50	0,113	0,113%	0,079	0,158%	1,777
4,00	0,128	0,128%	0,091	0,182%	2,030
4,50	0,132	0,132%	0,098	0,196%	2,283
5,00	0,141	0,141%	0,110	0,220%	2,535
5,50	0,149	0,149%	0,121	0,242%	2,788
6,00	0,153	0,153%	0,129	0,258%	3,040
6,50	0,160	0,160%	0,134	0,268%	3,293
7,00	0,169	0,169%	0,146	0,292%	3,544
7,50	0,176	0,176%	0,159	0,318%	3,796
8,00	0,183	0,183%	0,175	0,350%	4,046
8,50	0,192	0,192%	0,189	0,378%	4,296
9,00	0,208	0,208%	0,199	0,398%	4,547
8,50	0,205	0,205%	0,191	0,382%	4,296
8,00	0,197	0,197%	0,187	0,374%	4,044
7,50	0,191	0,191%	0,179	0,358%	3,793
7,00	0,184	0,184%	0,171	0,342%	3,541
6,50	0,178	0,178%	0,167	0,334%	3,288
6,00	0,171	0,171%	0,158	0,316%	3,037
5,50	0,164	0,164%	0,149	0,298%	2,785
5,00	0,155	0,155%	0,143	0,286%	2,532
4,50	0,148	0,148%	0,138	0,276%	2,279

4,00	0,14	0,140%	0,133	0,266%	2,026
3,50	0,134	0,134%	0,128	0,256%	1,773
4,00	0,136	0,136%	0,138	0,276%	2,026
4,50	0,142	0,142%	0,146	0,292%	2,279
5,00	0,149	0,149%	0,159	0,318%	2,530
5,50	0,157	0,157%	0,172	0,344%	2,782
6,00	0,163	0,163%	0,188	0,376%	3,033
6,50	0,170	0,170%	0,196	0,392%	3,285
7,00	0,178	0,178%	0,201	0,402%	3,537
7,50	0,187	0,187%	0,211	0,422%	3,788
8,00	0,197	0,197%	0,219	0,438%	4,039
8,50	0,214	0,214%	0,224	0,448%	4,290
9,00	0,228	0,228%	0,229	0,458%	4,542
8,50	0,225	0,225%	0,222	0,444%	4,291
8,00	0,221	0,221%	0,218	0,436%	4,039
7,50	0,216	0,216%	0,207	0,414%	3,788
7,00	0,211	0,211%	0,199	0,398%	3,537
6,50	0,205	0,205%	0,192	0,384%	3,285
6,00	0,199	0,199%	0,187	0,374%	3,033
5,50	0,194	0,194%	0,181	0,362%	2,781
5,00	0,188	0,188%	0,176	0,352%	2,529
4,50	0,182	0,182%	0,168	0,336%	2,277
4,00	0,178	0,178%	0,159	0,318%	2,024
3,50	0,164	0,164%	0,148	0,296%	1,772
4,00	0,169	0,169%	0,154	0,308%	2,025
4,50	0,175	0,175%	0,167	0,334%	2,277
5,00	0,182	0,182%	0,179	0,358%	2,528

5,50	0,188	0,188%	0,187	0,374%	2,780
6,00	0,194	0,194%	0,192	0,384%	3,032
6,50	0,2	0,200%	0,209	0,418%	3,283
7,00	0,205	0,205%	0,214	0,428%	3,535
7,50	0,21	0,210%	0,227	0,454%	3,785
8,00	0,219	0,219%	0,234	0,468%	4,036
8,50	0,229	0,229%	0,241	0,482%	4,288
9,00	0,239	0,239%	0,253	0,506%	4,538
8,50	0,237	0,237%	0,244	0,488%	4,287
8,00	0,232	0,232%	0,239	0,478%	4,036
7,50	0,227	0,227%	0,231	0,462%	3,785
7,00	0,223	0,223%	0,228	0,456%	3,533
6,50	0,218	0,218%	0,219	0,438%	3,282
6,00	0,213	0,213%	0,208	0,416%	3,031
5,50	0,208	0,208%	0,201	0,402%	2,779
5,00	0,202	0,202%	0,197	0,394%	2,527
4,50	0,199	0,199%	0,189	0,378%	2,275
4,00	0,196	0,196%	0,182	0,364%	2,022
3,50	0,191	0,191%	0,177	0,354%	1,770
4,00	0,192	0,192%	0,188	0,376%	2,022
4,50	0,195	0,195%	0,194	0,388%	2,274
5,00	0,199	0,199%	0,206	0,412%	2,526
5,50	0,204	0,204%	0,214	0,428%	2,777
6,00	0,209	0,209%	0,221	0,442%	3,029
6,50	0,215	0,215%	0,229	0,458%	3,280
7,00	0,221	0,221%	0,238	0,476%	3,531
7,50	0,225	0,225%	0,244	0,488%	3,783

8,00	0,233	0,233%	0,252	0,504%	4,034
8,50	0,239	0,239%	0,261	0,522%	4,284
9,00	0,248	0,248%	0,273	0,546%	4,534
9,50	0,259	0,259%	0,286	0,572%	4,783
10,00	0,271	0,271%	0,297	0,594%	5,033
10,50	0,287	0,287%	0,310	0,620%	5,282
11,00	0,304	0,304%	0,321	0,642%	5,531
12,00	0,342	0,342%	0,329	0,658%	6,032
13,00	0,412	0,412%	0,338	0,676%	6,532
14,00	0,501	0,501%	0,344	0,688%	7,033
16,00	0,644	0,644%	0,354	0,708%	8,035
17,60	0,811	0,811%	0,362	0,724%	8,835
18,60	0,976	0,976%	0,377	0,754%	9,332
19,30	1,099	1,099%	0,388	0,776%	9,679
19,70	1,184	1,184%	0,402	0,804%	9,874
20,80	1,437	1,437%	0,418	0,836%	10,418
21,44	1,577	1,577%	0,428	0,856%	10,735
22,45	1,789	1,789%	0,432	0,864%	11,239

Tabla 14. Registro ensayo ciclo de carga El Tornillo

La representación gráfica del comportamiento de la muestra se visualiza en la siguiente gráfica:

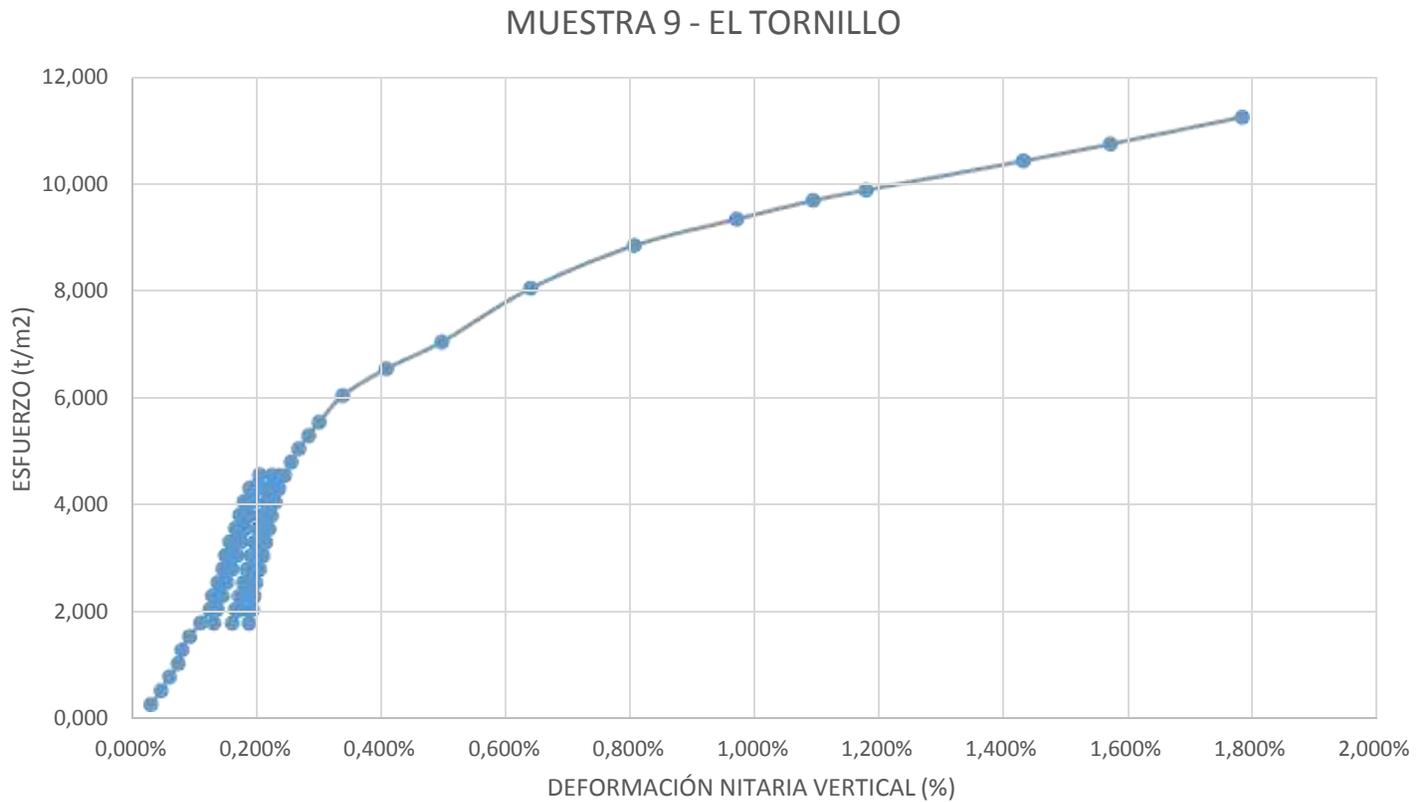


Ilustración 49. Gráfica constitutiva muestra 9

Debido a las dimensiones de la gráfica resulta difícil apreciar los ciclos de carga que experimentó la muestra durante el proceso, para observarlas es necesario acercar la visualización a la zona de los tres ciclos de carga, con la finalidad de que aun siendo distorsionada las escalas de los gráficos se aprecie los fenómenos producidos durante la aplicación del ciclo.

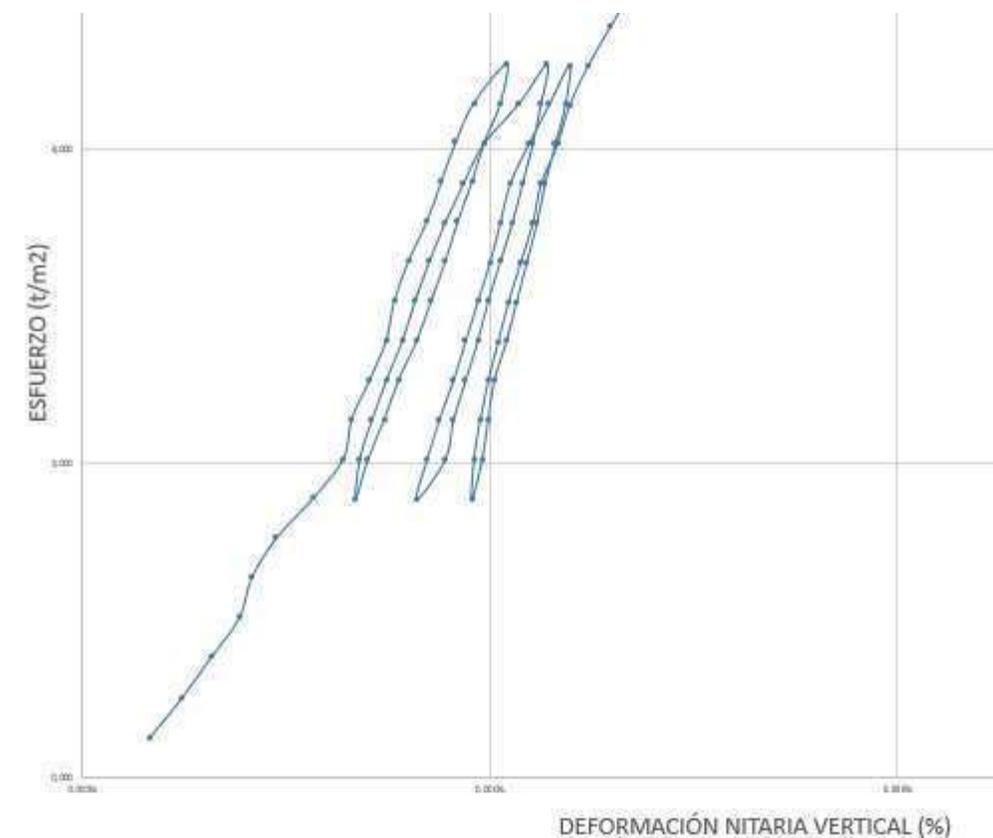


Ilustración 50. Acercamiento ciclo de carga muestra 9.

5.5.6. MUESTRA 10 – EL TORNILLO

La muestra correspondiente a la localidad anterior fue ensayada con la metodología de carga y descarga, por lo que se encuentra la siguiente tabla de registro anotada en el laboratorio:

MUESTRA	10	9764979			624546
UBICACIÓN	EL TORNILLO				
CARGA (kg)	DEFORMACIÓN VERTICAL (mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA VERTICAL (%)	DEFORMACIÓN HORIZONTAL (mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA HORIZONTAL (%)	ESFUERZO (t/m ²)
0,50	0,030	0,030%	0,019	0,038%	0,254
1,00	0,047	0,047%	0,025	0,050%	0,508
1,50	0,061	0,061%	0,031	0,062%	0,762
2,00	0,075	0,075%	0,039	0,078%	1,017

2,50	0,081	0,081%	0,048	0,096%	1,270
3,00	0,094	0,094%	0,064	0,128%	1,523
3,50	0,112	0,112%	0,077	0,154%	1,777
4,00	0,125	0,125%	0,088	0,176%	2,030
4,50	0,130	0,130%	0,097	0,194%	2,282
5,00	0,142	0,142%	0,107	0,214%	2,535
5,50	0,147	0,147%	0,119	0,238%	2,787
6,00	0,152	0,152%	0,127	0,254%	3,040
6,50	0,162	0,162%	0,132	0,264%	3,293
7,00	0,168	0,168%	0,140	0,280%	3,545
7,50	0,175	0,175%	0,157	0,314%	3,795
8,00	0,182	0,182%	0,173	0,346%	4,046
8,50	0,194	0,194%	0,185	0,370%	4,297
9,00	0,205	0,205%	0,194	0,388%	4,548
8,50	0,203	0,203%	0,192	0,384%	4,295
8,00	0,196	0,196%	0,185	0,370%	4,044
7,50	0,19	0,190%	0,177	0,354%	3,792
7,00	0,182	0,182%	0,169	0,338%	3,541
6,50	0,176	0,176%	0,166	0,332%	3,290
6,00	0,169	0,169%	0,156	0,312%	3,036
5,50	0,162	0,162%	0,148	0,296%	2,784
5,00	0,153	0,153%	0,140	0,280%	2,532
4,50	0,146	0,146%	0,136	0,272%	2,279
4,00	0,141	0,141%	0,132	0,264%	2,026
3,50	0,132	0,132%	0,126	0,252%	1,773
4,00	0,138	0,138%	0,136	0,272%	2,026
4,50	0,144	0,144%	0,145	0,290%	2,278

5,00	0,151	0,151%	0,156	0,312%	2,530
5,50	0,155	0,155%	0,170	0,340%	2,782
6,00	0,161	0,161%	0,186	0,372%	3,033
6,50	0,169	0,169%	0,194	0,388%	3,284
7,00	0,175	0,175%	0,199	0,398%	3,536
7,50	0,185	0,185%	0,214	0,428%	3,787
8,00	0,195	0,195%	0,221	0,442%	4,038
8,50	0,211	0,211%	0,225	0,450%	4,290
9,00	0,225	0,225%	0,230	0,460%	4,541
8,50	0,222	0,222%	0,223	0,446%	4,290
8,00	0,219	0,219%	0,172	0,344%	4,046
7,50	0,215	0,215%	0,204	0,408%	3,788
7,00	0,211	0,211%	0,198	0,396%	3,537
6,50	0,202	0,202%	0,191	0,382%	3,285
6,00	0,196	0,196%	0,188	0,376%	3,032
5,50	0,193	0,193%	0,182	0,364%	2,780
5,00	0,186	0,186%	0,177	0,354%	2,528
4,50	0,181	0,181%	0,167	0,334%	2,276
4,00	0,176	0,176%	0,156	0,312%	2,024
3,50	0,168	0,168%	0,146	0,292%	1,772
4,00	0,17	0,170%	0,153	0,306%	2,024
4,50	0,174	0,174%	0,165	0,330%	2,276
5,00	0,181	0,181%	0,177	0,354%	2,528
5,50	0,186	0,186%	0,188	0,376%	2,780
6,00	0,193	0,193%	0,191	0,382%	3,032
6,50	0,201	0,201%	0,205	0,410%	3,283
7,00	0,206	0,206%	0,211	0,422%	3,535

7,50	0,213	0,213%	0,225	0,450%	3,785
8,00	0,220	0,220%	0,231	0,462%	4,036
8,50	0,229	0,229%	0,240	0,480%	4,287
9,00	0,241	0,241%	0,249	0,498%	4,538
8,50	0,238	0,238%	0,243	0,486%	4,287
8,00	0,231	0,231%	0,237	0,474%	4,036
7,50	0,226	0,226%	0,229	0,458%	3,784
7,00	0,221	0,221%	0,223	0,446%	3,533
6,50	0,216	0,216%	0,217	0,434%	3,281
6,00	0,212	0,212%	0,206	0,412%	3,030
5,50	0,206	0,206%	0,198	0,396%	2,779
5,00	0,201	0,201%	0,192	0,384%	2,527
4,50	0,198	0,198%	0,181	0,362%	2,275
4,00	0,197	0,197%	0,187	0,374%	2,022
3,50	0,189	0,189%	0,177	0,354%	1,769
4,00	0,193	0,193%	0,186	0,372%	2,022
4,50	0,197	0,197%	0,191	0,382%	2,277
5,00	0,201	0,201%	0,2	0,400%	2,526
5,50	0,206	0,206%	0,211	0,422%	2,777
6,00	0,211	0,211%	0,219	0,438%	3,029
6,50	0,217	0,217%	0,227	0,454%	3,280
7,00	0,223	0,223%	0,236	0,472%	3,531
7,50	0,228	0,228%	0,241	0,482%	3,783
8,00	0,234	0,234%	0,25	0,500%	4,033
8,50	0,242	0,242%	0,259	0,518%	4,284
9,00	0,249	0,249%	0,271	0,542%	4,534
9,50	0,261	0,261%	0,288	0,576%	4,783

10,00	0,274	0,274%	0,294	0,588%	5,033
10,50	0,289	0,289%	0,307	0,614%	5,282
11,00	0,305	0,305%	0,318	0,636%	5,531
12,00	0,355	0,355%	0,326	0,652%	6,032
13,00	0,432	0,432%	0,335	0,670%	6,533
14,00	0,532	0,532%	0,342	0,684%	7,033
16,00	0,654	0,654%	0,351	0,702%	8,035
17,50	0,823	0,823%	0,359	0,718%	8,786
18,40	0,977	0,977%	0,372	0,744%	9,233
19,00	1,087	1,087%	0,381	0,762%	9,530
19,50	1,199	1,199%	0,396	0,792%	9,775
20,60	1,448	1,448%	0,405	0,810%	10,323
21,20	1,684	1,684%	0,411	0,822%	10,621

Tabla 15. Registro ensayo ciclo de carga El Tornillo

La gráfica correspondiente a esta muestra es la siguiente:

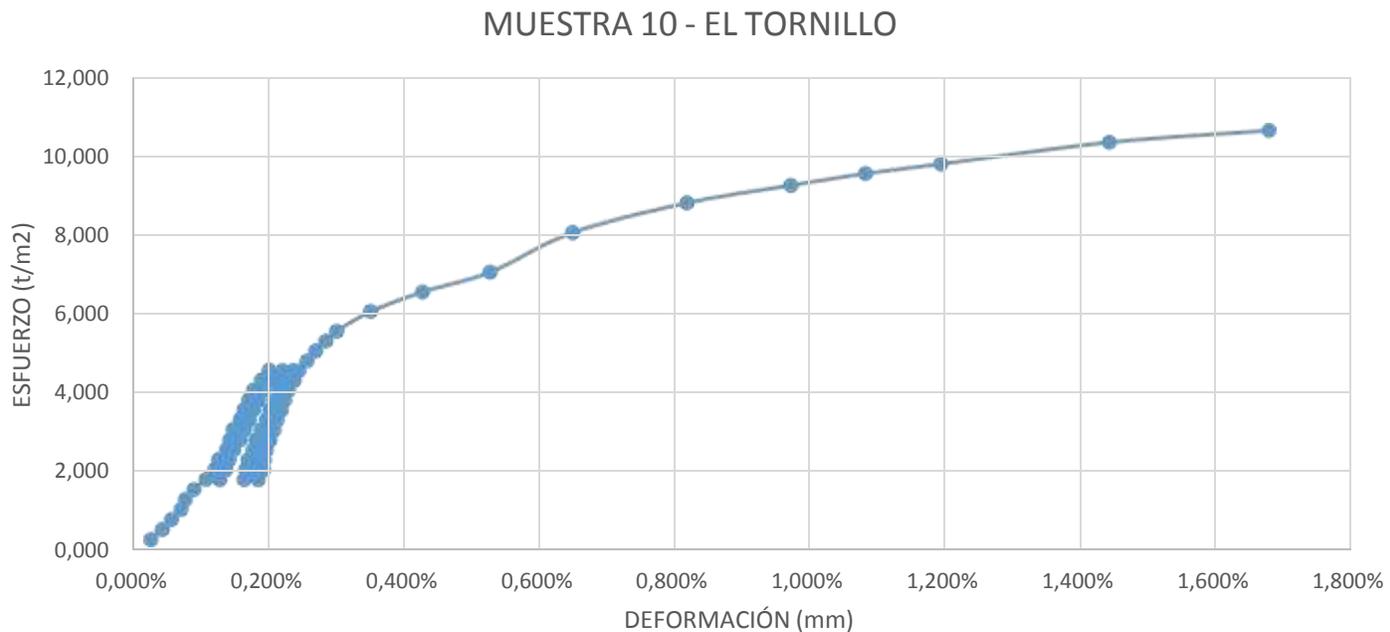


Ilustración 51. Gráfica constitutiva El Tornillo

Debido a las dimensiones de la gráfica resulta difícil apreciar los ciclos de carga que experimentó la muestra durante el proceso, para observarlas es necesario acercar la visualización a la zona de los tres ciclos de carga, con la finalidad de que aun siendo distorsionada las escalas de los gráficos se aprecie los fenómenos producidos durante la aplicación del ciclo.

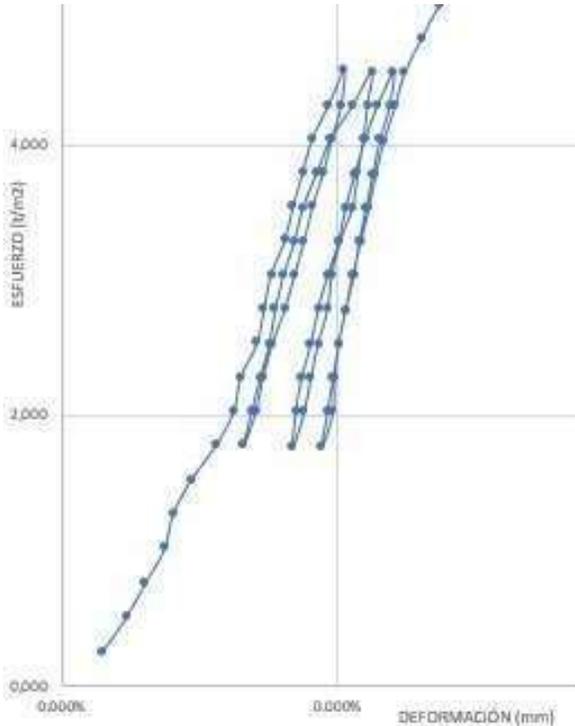


Ilustración 52. Acercamiento ciclos de carga muestra El Tornillo

6. CAPITULO VI - ANALISIS DE RESULTADOS

6.1. ANÁLISIS DE RESULTADO POR EFECTO DE MATERIA ORGÁNICA

El primer caso de muestras con materia corresponde a la localidad EL ESFUERZO - CENTRO, donde la descripción visual elaborada en el proceso de extracción durante la perforación detalla presencia de materia orgánica.

Durante el proceso de carga progresiva esta muestra presenta un comportamiento normal al ensayo de compresión simple, se carga hasta llegar al fallo o resistencia última. Sin embargo, al realizarse los ciclos de carga y descarga en la segunda etapa del ensayo la muestra falla a cargas bajas. Esto se atribuye a la presencia de la materia orgánica que afecta el comportamiento de este tipo de arcilla. Por este motivo no se considera en la etapa comparativa.

El segundo caso corresponde a localidad de EL ESFUERZO - NORTE, donde dos muestras registran presencia de materia orgánica, una muestra se utilizó en el ensayo de carga progresiva, la cual presenta un comportamiento normal al ensayo de compresión simple. Sin embargo, la segunda muestra que se ensayó en la etapa de carga y descarga no alcanza valores significativos de resistencia, lo que se atribuye a la presencia de materia orgánica. Por este motivo no se considera en la etapa comparativa.

6.2. ANALISIS DE RESULTADOS DE ENSAYOS EL ESFUERZO – SUR

La comparativa entre ambas etapas de los ensayos se realizan considerando la resistencia obtenida durante el proceso de carga progresiva en comparativa con la resistencia luego de tres ciclos de carga y descarga.

<i>LOCALIDAD SUR</i>				
ETAPAS DEL ESTUDIO	RESISTENCIA ÚLTIMA (T/m²)	DEFORMACIÓN MÁXIMA VERTICAL AL FALLO (%)	DEFORMACIÓN MÁXIMA TRANSVERSAL AL FALLO (%)	MÓDULO ELÁSTICO (Es / Mr)
ETAPA 1	7.773	1.998	0.872	2180*
ETAPA 2	9.412	1.411	0.295	4729.29**

Tabla 16. Cuadro comparativo de resultados entre fases de ensayo El Esfuerzo Sur

*Módulo elástico secante obtenido para el 0.2% de deformación vertical.

**Módulo resiliente o módulo elástico obtenido luego de tres ciclos de carga y descarga.

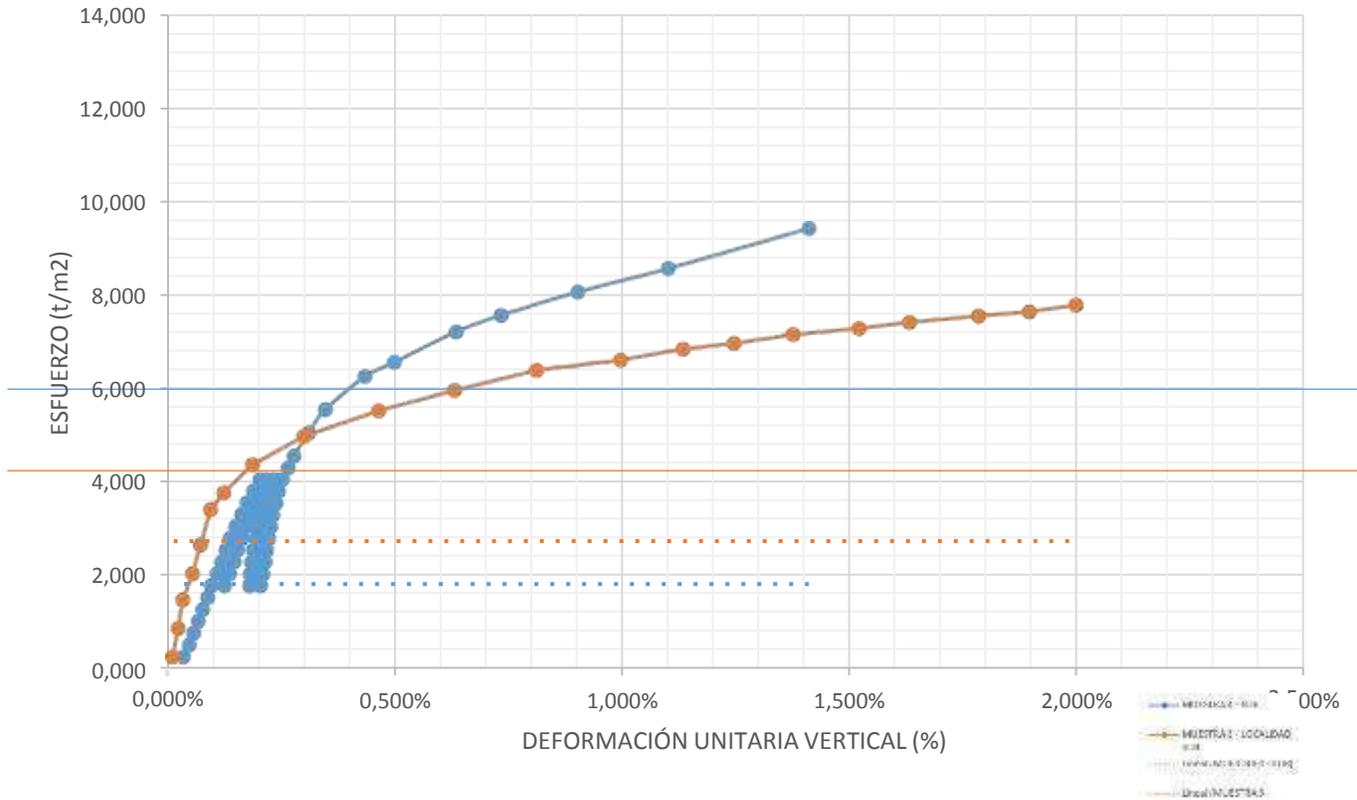


Ilustración 53. Gráfica comparativa de resistencia El Esfuerzo - Sur

La resistencia última en el caso de la segunda etapa es mayor a la resistencia de la primera etapa, esto haciendo referencia a la etapa con carga y descarga y la etapa de carga al fallo, respectivamente.

La diferencia de resistencia última es de **1.639 T/m²**, siendo mayor en el caso de la aplicación de carga y descarga. Esto representa un aumento de la capacidad de carga de **21.08%** con respecto a su resistencia última obtenida durante el ensayo de compresión simple con carga progresiva al fallo.

Respecto a las deformaciones presentadas durante los ensayos con su diferente modo de carga aplicada, se presenta la siguiente gráfica comparativa:

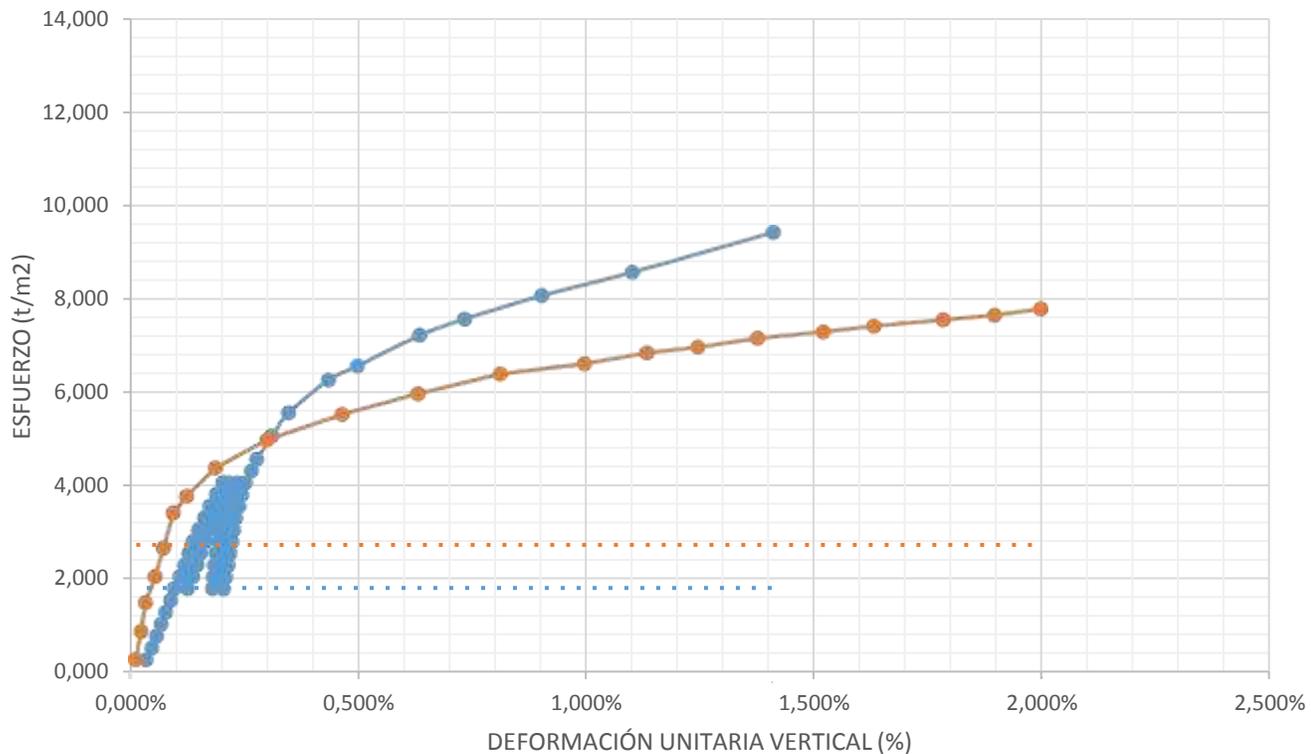


Ilustración 54. Gráfica comparativa de deformaciones El Esfuerzo - Sur

La deformación final representa el punto de máxima deformación que se presenta una vez la muestra se lleva a la falla. En la primera etapa, donde se aplicó carga progresiva, la deformación máxima en la muestra es de 1.998 mm, mientras que, en el segundo caso, donde se aplica el ciclo de carga y descarga, se obtiene una deformación máxima a la falla de 1.411 mm. Presentando un decremento de 0.587mm en el caso del ciclo de carga, disminuyendo así **29.49%** la deformación máxima al presentarse la falla.

Como parámetro comparativo de las muestras del suelo ensayado, se presenta la rigidez del suelo, la cual se relaciona con su módulo elástico y módulo resiliente.

Como parámetro comparativo de las muestras del suelo ensayado, se analiza la rigidez del suelo, la cual se relaciona con su módulo elástico y módulo resiliente. Los módulos se comparan en relación a su pendiente y los valores obtenidos en su cálculo.

En la fase de ensayos en donde se aplica una carga progresiva a la falla se analiza el valor del módulo de elasticidad que se presenta al 0.2% de deformaciones, es decir cuando el valor de la deformación unitaria llega a ese porcentaje. En la segunda fase, se aplica un proceso de carga y descarga a la muestra, en este segundo caso la muestra presenta un

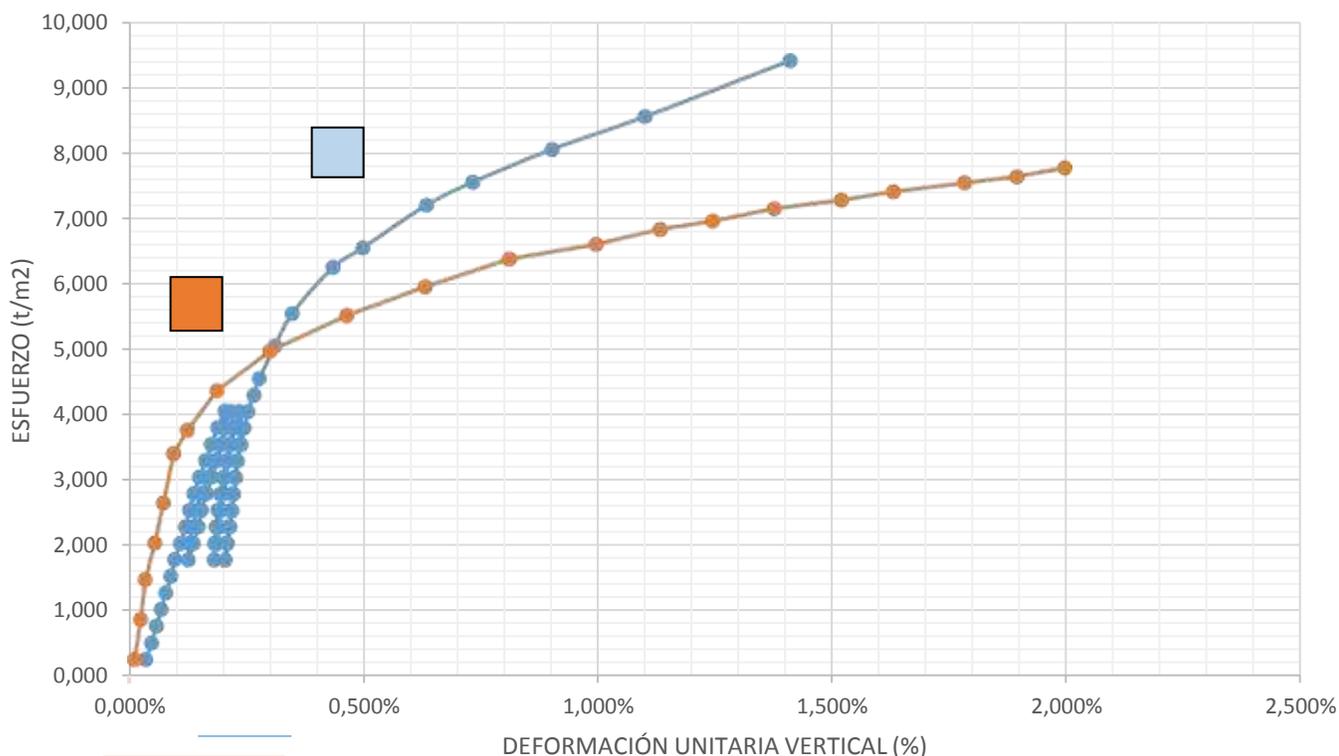


Ilustración 55. Gráfica comparativa de rigidez El Esfuerzo - Sur

módulo resiliente en el último ciclo el cual se considera como la muestra representativa del módulo elástico del suelo luego del proceso de carga y descarga.

En la gráfica 55 se observa la LINEA A y LINEA B siendo la representación del módulo de elasticidad al 0.2% en el caso de la LINEA A y en el caso de la segunda línea, corresponde al módulo resiliente del último ciclo de carga y descarga (LINEA B). De manera visual la línea correspondiente a los ciclos de carga (LINEA B) y descarga presenta una mayor pendiente respecto a la carga progresiva (LINEA A).

MUESTRA		3	9778294		626343
UBICACIÓN		EL ESFUERZO - SUR			
CARGA (kg)	DEFORMACIÓN VERTICAL (mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA VERTICAL (%)	DEFORMACIÓN HORIZONTAL (mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA HORIZONTAL (%)	ESFUERZO (T/m ²)
0,5	0,012	0,012%	0,003	0,006%	0,255
1,7	0,024	0,024%	0,007	0,014%	0,866
2,9	0,034	0,034%	0,011	0,022%	1,476
4	0,055	0,055%	0,023	0,046%	2,035
5,2	0,073	0,073%	0,031	0,062%	2,645
6,7	0,095	0,095%	0,049	0,098%	3,406
7,4	0,124	0,124%	0,069	0,138%	3,758
8,6	0,187	0,187%	0,097	0,194%	4,363
9,8	0,300	0,300%	0,112	0,224%	4,969

Ilustración 56. Selección de valor para determinación de módulo de elasticidad.

En la determinación de los valores correspondientes a los módulos se obtienen los siguientes resultados para el módulo elástico al 0.2%:

$$E_{0.2\%} = \frac{4.363}{0.002} = 2180 \frac{T}{m^2}$$

Para el caso del módulo resiliente se utilizan los valores del último ciclo de carga:

$$M_R = \frac{4.044 - 1.774}{0.253 - 0.205} = 4729.29 \frac{T}{m^2}$$

Los valores resultantes del cálculo, establecen una diferencia ente los módulos obtenidos, confirmando la hipótesis del aumento de los módulos en base a la repetición de carga en los ensayos. Las causas serán vistas en las conclusiones de este documento.

El efecto Poisson se encuentra dentro de los parámetros variables de la comparativa entre ambas fases de carga. Considerando la expresión para determinar la relación de Poisson, se aplican los siguientes valores. En el caso de la carga progresiva:

$$u_1 = \frac{0.872}{1.998} = 0.436$$

En el caso de la aplicación de ciclos de carga y descarga se obtiene el siguiente valor:

$$u_2 = \frac{0.295}{1.411} = 0.209$$

El efecto esperado se establece con la observación de que $u_1 > u_2$, motivo por el cual se considera que la muestra es menos deformable una vez se apliquen los ciclos de carga y se vuelve rígida en este proceso.

6.3. ANALISIS DE RESULTADOS DE ENSAYOS EL TORNILLO

La comparativa entre las etapas de los ensayos se realizan con la resistencia obtenida durante el proceso de carga progresiva en comparativa con la resistencia luego de tres ciclos de carga y descarga.

<i>EL TORNILLO</i>				
ETAPAS DEL ESTUDIO	RESISTENCIA TIMA (T/m ²)	DEFORMACIÓN MÁXIMA VERTICAL AL	DEFORMACIÓN MÁXIMA TRANSVERSAL AL	MODULO ELÁSTICO (Es / Mr)
		FALLO (%)	FALLO (%)	
ETAPA 1	9,124	2,056	0,673	1836,31*
ETAPA 2	10,93	1,789	0,432	4849,20**

Tabla 17. Cuadro comparativo de ensayos de ambas fases El Tornillo

*Módulo elástico secante obtenido para el 0.2% de deformación vertical.

**Módulo resiliente o módulo elástico obtenido luego de tres ciclos de carga y descarga.

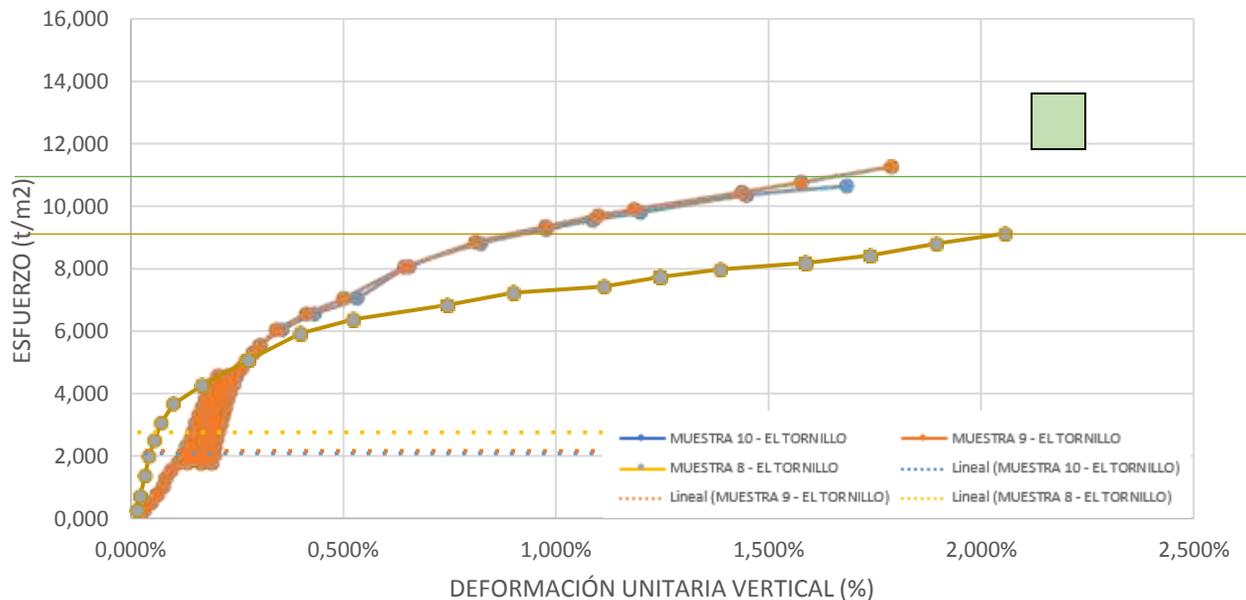


Ilustración 57. Gráfica comparativa de resistencia El Tornillo

La comparativa de los parámetros que se mencionarán a continuación consideran los comportamientos de tres muestras, una corresponde a la aplicación de carga progresiva hasta el fallo y dos corresponden a los ciclos de carga y descarga. Debido a los números de ensayo, los resultados de las comparativas se representan por el promedio de los valores de los ensayos de los ciclos de carga, de manera visual este valor se representa por la LINEA P.

En términos de resistencia, al igual que los resultados de las otras muestras se obtiene un alza en la resistencia última de la muestra en la segunda fase de estudio, luego de haber aplicado un total de 3 ciclos de carga y descarga, presentando una resistencia promedio para estos casos de **10.93 T/m²**. La base de resistencia por carga progresiva a la falla es de **9.124 T/m²**. Existiendo como diferencia de esfuerzo un 1.806 T/m², lo que corresponde a un aumento en la capacidad de carga de **19.79%** a favor de la aplicación de ciclos de carga y descarga previo el fallo.

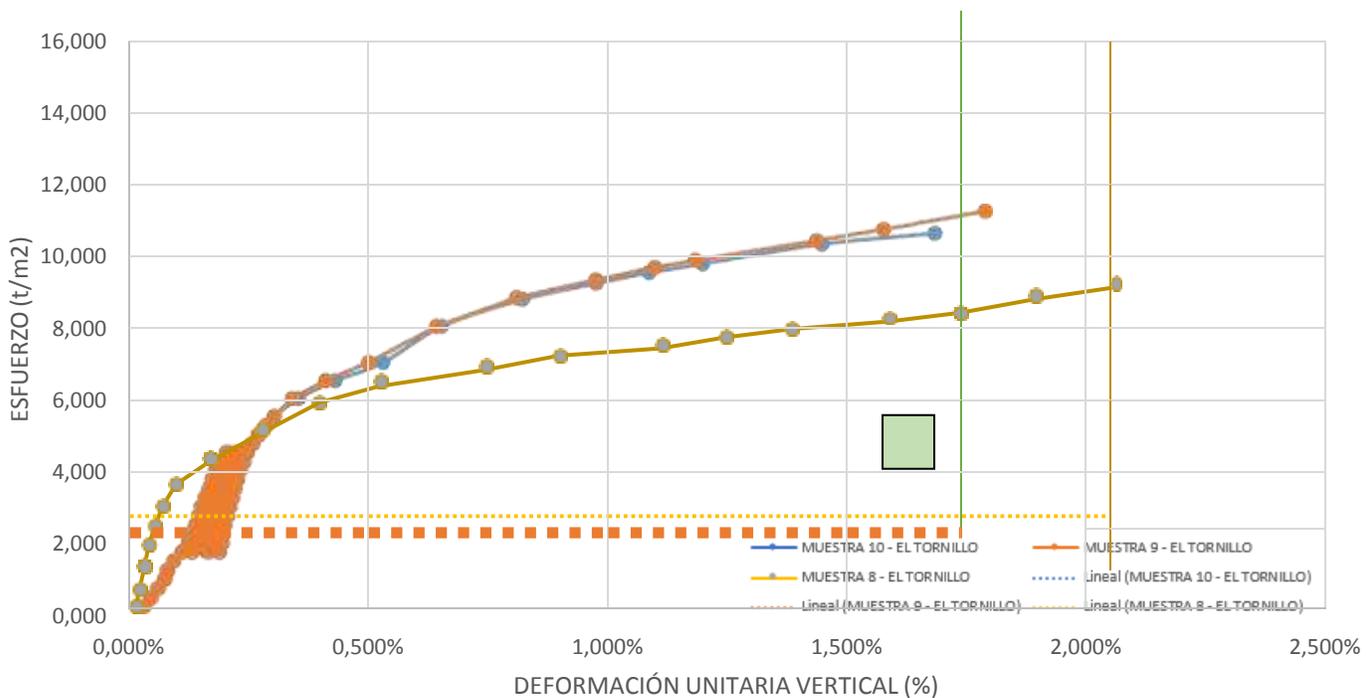


Ilustración 58. Gráfica comparativa de deformaciones El Tornillo

Analizando las deformaciones longitudinales de la muestra se observa que el promedio de las deformaciones en el caso de la carga y descarga aplicada previo la carga al fallo

disminuye un valor de 0.267 mm/mm. Este valor representa una disminución de un 12.986% respecto a la máxima deformación vertical de la muestra en el proceso de carga progresivas. Al aplicarse los ciclos de carga la muestra se vuelve más rígida y presenta menores deformaciones en su comportamiento y su comparativa de los puntos máximos.

El parámetro de la rigidez se evidencia en las deformaciones que experimenta la muestra y se relaciona de manera directa con los diferentes módulos elásticos que se determinan con base en las relaciones esfuerzo-deformación de la muestra.

En el caso de la carga a la falla el valor comparativo se determina con el módulo elástico al 0.2% de las deformaciones axiales, utilizando la diferencia de esfuerzos en esas deformaciones específicas. La segunda fase presenta un módulo resiliente en cada ciclo de carga, en donde se considera al último ciclo como la muestra representativa de los ensayos.

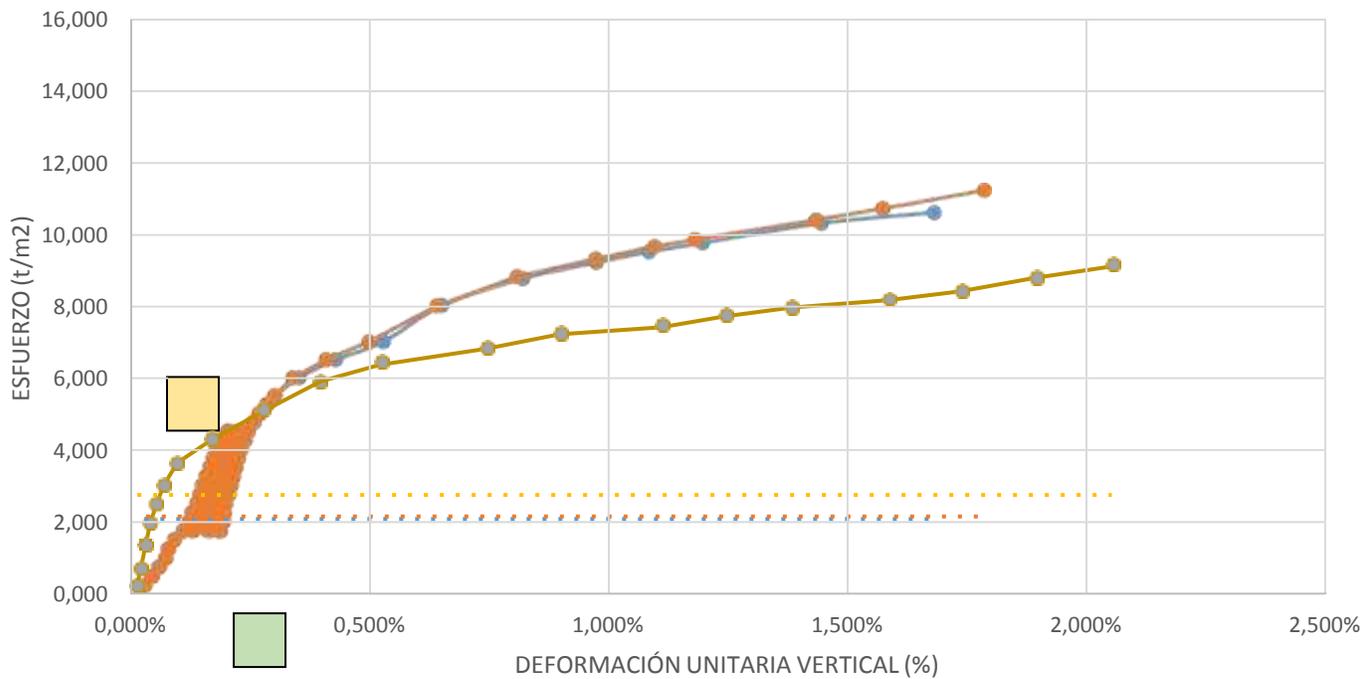


Ilustración 59. Gráfica comparativa de rigidez El Tornillo

Los ciclos de cargas visibles evidencian un comportamiento similar en los casos correspondientes a la fase indicada, por lo que el módulo resiliente es similar en ambas muestras ensayadas (9 y 10), estos se representan con la LINEA P debido a que representa

el mismo promedio de las otras comparaciones. Este parámetro se puede comparar con el módulo elástico al 0.2% de la deformación principal en el caso de la carga progresiva a la falla.

MUESTRA		8		9764979		624546	
UBICACIÓN		EL TORNILLO					
CARGA (kg)	DEFORMACIÓN VERTICAL (mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA VERTICAL (%)	DEFORMACIÓN HORIZONTAL (mm)	DEFORMACIÓN UNITARIA HORIZONTAL (%)	ESFUERZO (T/m ²)		
0,5	0,015	0,015%	0,008	0,016%	0,2545664		
1,4	0,022	0,022%	0,012	0,024%	0,7126720		
2,7	0,033	0,033%	0,023	0,046%	1,3738345		
3,9	0,042	0,042%	0,035	0,070%	1,9834759		
4,9	0,055	0,055%	0,053	0,106%	2,4902673		
6	0,071	0,071%	0,078	0,156%	3,0462632		
7,20	0,099	0,099%	0,089	0,178%	3,6539104		
8,4	0,167	0,167%	0,101	0,202%	4,2608536		
10	0,276	0,276%	0,122	0,244%	5,0681952		
11,7	0,399	0,399%	0,137	0,274%	5,9262408		
12,6	0,523	0,523%	0,152	0,304%	6,3782884		

Ilustración 60. Selección de valor para determinación de módulo de elasticidad.

En valores numéricos la relación se compara mediante el cálculo utilizando las expresiones matemáticas necesarias y reemplazando los valores dentro de la ecuación:

$$E_{0.2\%} = \frac{5.068}{0.00276} = 1836.23 \frac{T}{m^2}$$

En el caso de la segunda fase se aplica la fórmula para determinar el valor del módulo resiliente en el tercer ciclo de carga utilizando los valores de esfuerzo y deformación correspondiente:

$$M_{R1} = \frac{4.534 - 1.770}{0.248 - 0.191} = 4849.18 \frac{T}{m^2}$$

Para la segunda muestra se aplica la misma ecuación con los valores correspondientes:

$$M_{R2} = \frac{4.534 - 1.769}{0.249 - 0.189} = 4607.33 \frac{T}{m^2}$$

El promedio de los módulos resiliente se calcula sumándolos y dividiéndolos por el número de muestras (2) obteniendo el siguiente resultado:

$$M_{Rp} = \frac{4849.19 + 4607.33}{2} = 4728.26 \frac{T}{m^2}$$

En este caso de las muestras el efecto Poisson también se considera un parámetro comparativo en el comportamiento ya que se puede evidenciar una diferencia en el comportamiento deformacional de las muestras.

En el caso de la primera fase se calcula el valor de la relación de Poisson con las deformaciones a la falla:

$$u_1 = \frac{0.673}{2.056} = 0.327$$

Para la segunda fase se aplica la misma expresión con sus valores correspondientes:

$$u_2 = \frac{0.432}{1.789} = 0.241$$

En comparación, la relación de deformabilidad de la segunda etapa de ensayo de la muestra presenta deformaciones de menores magnitud por lo que su relación es menor. En efecto por el hecho de volverse un elemento más rígido.

7. CAPITULO VII – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO

La hipótesis del estudio declaraba un posible aumento en la resistencia última de los suelos estudiados, para conseguir lo mencionado era necesario realizar los diferentes ensayos con sus respectivas consideraciones e interpretar de la mejor manera los resultados obtenidos.

Las fases de estudio permitieron la comparativa directa entre el comportamiento de una muestra de suelo bajo carga progresiva y la aplicación de ciclos de carga y descarga para luego llevar la muestra al fallo; con ayuda del monitoreo constante se genera una base de datos sobre las deformaciones de la muestra así como su capacidad de carga y el vínculo existente entre ambos parámetros.

En temas de la resistencia, se observa un aumento cercano al 20% en promedio de las muestras que formaron parte de un análisis detallado sobre sus resultados, el aumento es sustancial y se considera que se debe debido a diversos efectos que experimenta la muestra durante el ensayo. Dentro de los modelos de suelos, se detalla una composición trifásica del medio homogéneo, esta contiene agua, aire y sólidos; considerando que la muestra no está alterada, en términos de su humedad y que fue almacenada en un ambiente controlado esperando que la humedad no presente afectaciones, se considera que la muestra se encuentra en estado saturado, es decir que los vacíos de su masa se ocupan por agua, adicional el ensayo no considera fuerzas de confinamiento por lo que otorga libertad de deformación y todas las paredes de la muestra se consideran una frontera por la que disipa el contenido del volumen de vacío.

De esta manera la muestra, en la segunda fase de estudio donde se aplican los tres ciclos de carga y descarga, presenta una variación en su estado de fases en donde al aplicar la compresión en la muestra los esfuerzos en el interior expulsan parcialmente y de manera progresiva el contenido de vacíos en la muestra se agota o gas, que componen el modelo, esto genera deformaciones tanto axiales como transversales. Luego de que la muestra se descarga las deformaciones tienden a recuperarse, más no cumplen con volver a su estado inicial, acumulando estas deformaciones a lo largo del ensayo.

El efecto que experimenta la muestra por un ciclo de carga se repite y se acumulan en los posteriores ciclos de carga, de esta manera la muestra superpone los efectos anteriores al ciclo actual, este es el motivo por el cual la muestra se vuelve más rígida, ya que pierde sus vacíos y se compacta en cada ciclo de carga, adicional este efecto se acumula para el siguiente ciclo, acondicionando la muestra para el punto en donde se llevará a la falla el espécimen, de manera que al llegar a esa parte final del ensayo la muestra que se plantea llevar al fallo corresponde a una muestra de suelo con mayor rigidez o más compacta que la que se encontraba en su estado inicial aumentando de esta forma su resistencia última general.

Referente al análisis de deformaciones obtenemos que las deformaciones globales también se reducen en el segundo caso, la aplicación de tres ciclos de carga y descarga. Las deformaciones se acumulan en el ensayo debido a que los ciclos de carga no se dan en el rango elástico de la muestra y presentan deformaciones plásticas que resultan permanente, sin embargo, es notorio en los valores de monitoreo de deformaciones que la variación de las deformaciones en cada ciclo disminuye a medida que se aumenta el número de ciclos de carga y descarga. En caso del primer ciclo el elemento se deformará más dentro del rango de esfuerzo planteado en el ciclo en comparación con el siguiente ciclo, que presenta su ensayo en el mismo rango de carga para el ciclo. Esto se debe al mismo fenómeno de compactación por el que se justifica el aumento de resistencia, la muestra se compacta con cada ciclo presentando menor composición de vacíos en su volumen produciendo que las deformaciones disminuyan de manera considerable.

Este comportamiento hace referencia a la variación del mismo módulo resiliente de la misma muestra en sus diferentes ciclos de carga, como se puede demostrar en la muestra correspondiente a EL ESFUERZO – SUR, tomándola como referencia ya que la muestra de EL TORNILLO presenta el mismo comportamiento. En la siguiente gráfica se puede observar el comportamiento de la muestra en el ciclo de carga:

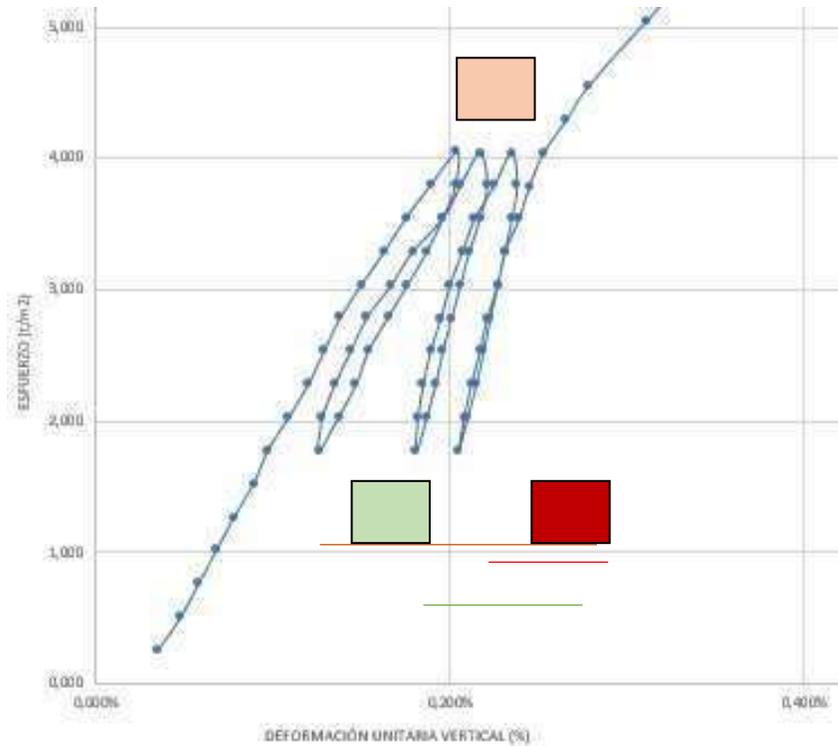


Ilustración 61. Comparativa de módulo resiliente entre ciclos.

Como se observa en la figura XXXX el módulo elástico de cada uno de los ciclos aumenta su valor por lo que visualmente se observa que la pendiente es mayor en cada una de las líneas representativas del módulo resiliente de los ciclos de carga. En valores numéricos se puede emplear el cálculo para cada uno de los ciclos de carga:

$$M_{R1} = \frac{4.051 - 1.776}{0.204 - 0.126} = 2915.59 \frac{T}{m^2}$$

Para el segundo ciclo de carga:

$$M_{R2} = \frac{4.046 - 1.775}{0.250 - 0.181} = 3308.82 \frac{T}{m^2}$$

En el caso del tercer ciclo de carga:

$$M_R = \frac{4.044 - 1.774}{0.253 - 0.205} = 4729.29 \frac{T}{m^2}$$

De esta manera se evidencia como el módulo resiliente aumenta su valor y como consecuencia se considera un elemento de mayor rigidez ya que es capaz de soportar

mayor carga aplicada y presentar una menor deformación durante esas cargas superiores a un proceso sin ciclo de carga.

El efecto de Poisson es otro fenómeno que valida el proceso de ganar rigidez de la muestra debido a la constante carga y descarga de la masa de suelo ya que su valor como relación aumenta a medida que se aplican los ciclos de carga, comparándose con las muestras en donde se aplica una carga progresiva presentando una menor deformabilidad ya que los espacios vacíos se eliminan pasando a ser una muestra de mayor rigidez.

Las conclusiones presentadas como respuesta a los ensayos y los parámetros se cumplen siempre y cuando se presenten unas condiciones necesarias para un comportamiento como el descrito en las investigaciones. En primer lugar, la naturaleza del suelo, en el alcance a este documento se explica que todos los ensayos serán elaborados a una serie de muestras obtenidas que representan la misma naturaleza geológica, estas corresponden a depósitos aluviales con la particularidad de ser deltaico-estuarinos, motivo por el cual depósitos de otra naturaleza no necesariamente se comportarán de la misma manera. Y la segunda observación de los ensayos es la presencia de materia orgánica en la muestra, debido a que su existencia en la masa de suelo produce que los ciclos de carga no desarrollen el proceso de compactación y fallen en puntos no referidos a las máximas resistencias influenciados en mayor parte por la deformabilidad de los suelos con presencia de materia orgánica, los procesos de atracción de las partículas por la cohesión se pierden en los volúmenes ocupados por materia orgánica.

Como resultado de los estudios elaborados se puede recalcar que los suelos que experimenten ciclos de carga y descarga previo a un evento de grandes magnitudes que provoque que la muestra experimente esfuerzos altos pueden presentar un aumento del 20% en su resistencia por el proceso de compactación debido a carga cíclicas las cuales, referenciando los resultados a la metodología de los ensayos, no deberían de aplicar esfuerzos mayores al 50% del esfuerzo de rotura esperado pro su resistencia última.

7.2. RECOMENDACIONES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Las recomendaciones del presente estudio pretenden extender los ensayos y sus análisis elaborando un plan de estudio más detallado y un mayor número de muestreo. Una

extensión de alcance es la recomendación principal de este estudio. Debido al tiempo y los recursos para la extracción de muestra resultó complicado ampliar el espectro de muestreo para los ensayos, motivo por el que se pueden describir a detalle únicamente dos regiones de las cuales se extrajeron las muestras pero que representan una misma naturaleza geológica.

Respecto a la misma idea de extensión del alcance de la investigación, resulta un punto importante extender el estudio de la presencia de materia orgánica, esto debido a que dentro de la práctica resulta improbable que la mayor zona de depósito de materiales no presente materia orgánica o sea de una naturaleza como la de la muestra útil de comparación. Sería necesario un estudio detallado de materia orgánica en el horno para poder asimilar el porcentaje dentro de un volumen a partir del cual se puede descartar el comportamiento de rigidez mayor por ciclos de carga.

En los ciclos de carga de la presente investigación se planteó el estudio de respuesta de la muestra bajo carga y descarga, en este caso un total de 3 ciclos completos y luego llevar la muestra a la falla, sin embargo, se recomienda que se apliquen mayor número de ciclos en el estudio para poder obtener un valor de resistencia como punto comparativo luego de un número alto de repeticiones de ciclo, sin embargo, se considera que la muestra presenta un punto máximo de compactación, a partir de este punto la muestra no presentará mayor aumento en su resistencia y se volverá un elemento de falla más frágil, planteando el hecho de que a los primeros ciclos la muestra abarca el mayor porcentaje de aumento de resistencia y delimita un efecto que puede ser estudiado sin esperar un aumento de gran magnitud.

Por último, la recomendación principal es la invitación a la aplicación de los parámetros obtenidos en este estudio dentro de los diseños y estudios de cimentaciones de estructuras las cuales han pasado por estos procesos de ciclos de carga con la finalidad de optimizar los recursos durante el proceso de acondicionamiento o arreglo de estructuras existentes considerando los efectos sobre la cimentación.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Angelone, S., & Garibay, M. T. (2006). PERMEABILIDAD DE LOS SUELOS. *Geología y Geotecnia*, 1(1), 0–39.
- David, D. K., & Brenner, R. L. (1973). Role of Storms in Development of Ancient Marine Ridge and Swale System. *American Association of Petroleum Geologists*, 57(4), 775–775.
- Duque Escobar, G., & Escobar, P. (2016). RELACIONES GRANULOMÉTRICAS Y DE VOLUMEN EN UN SUELO. In *GEOMECÁNICA* (pp. 8–19). Universidad Nacional de Colombia.
- Edward Arnold. (1984). *Glossary of Geology* (2nd ed.). Blyth, Freitas.
- Imbellone, P., & Cumba, A. (2003). UNA SUCESSION CON PALEOSUELOS SUPERPUESTOS DEL PLEISTOCENO MEDIO – TARDIO, HOLOCENO. ZONA SUR DE LA PLATA, PROVINCIA DE BUENOS AIRES. *Instituto de Geomorfología y Suelos. Universidad Nacional de La Plata*, 10(1), 0–20.
- Instituto Mexicano del Transporte. (2000). Módulos de resiliencia en suelos finos y materiales granulares . *Secretaría de Comunicaciones y Transportes* , 1(1), 0–58.
- Lloret Morancho, A. (1982). *Comportamiento deformacional del suelo no saturado bajo condiciones drenadas y no drenadas*.
- Luque, P. (2020). *DEFORMABILIDAD Y RESISTENCIA DE LOS SUELOS* .
- Macias Loor, A. O., Carvajal, D. D., & Cobos Lucio, D. A. (2018). *Mecánica de Suelos* (1st ed., Vol. 1). ÁREA DE INNOVACIÓN Y DESARROLLO, S.L.
- Martinez, P., & Azuaga, M. (1997). Medición del módulo de elasticidad de Young. *Laboratorio IV - Dpto. de Física - UBA*, 1(1), 0–11.
- Moreno Perez, J. (2014). *DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE DEFORMACIÓN A TRAVÉS DE ENSAYOS DE COMPRESIÓN TRIAXIAL EN CANGAHUA* .

- Padilla Perez, N. P. (2020). *MORFOLOGÍA DINÁMICA DE SISTEMAS DELTAICOS MENORES EN SUDAMÉRICA- APROXIMACIÓN A LA ESTIMACIÓN DE LA INFLUENCIA ANTRÓPICA*.
- Poire, D. G., & del Valle, A. (1996). TRAZAS FOSILES EN BARRAS SUBMAREALES DE LA FORMACIÓN BALCARCE (CAMBRICO/ORDOVICICO), CABO CORRIENTES, MAR DEL PLATA, ARGENTINA. *Asociación Paleontológica Argentina*, 1, 90–100.
- Ramirez Cravajal, R. (1997). PROPIEDADES FÍSICAS QUÍMICAS y BIOLÓGICAS DE LOS SUELOS . *CONVENIO FENALCE - SENA - SAC* , 1(1), 0–24.
- Sociedad Americana para Pruebas y Materiales. (2006). ASTM D2166. *ASTM D2166*.
- Veraslovky, G., Ubilla, M., & Martinez, S. (2004). *CUENCAS SEDIMENTARIAS DE URUGUAY* (1st ed., Vol. 1). DI.R.A.C. (División Relaciones y Actividades Culturales de Facultad de Ciencias).

ANEXOS

PERFORACIONES

- **PERFÍL ESTRATIGRÁFICO**
- **HUMEDAD**
- **LÍMITES DE ATTERBERG**
- **GRANULOMETRÍA**



CONSTRULADESA
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

Solicitado por : **ING. DANIEL SIGÜENZA**
 Proyecto : **COLECTOR AA.SS. METROPOLIS Y CIUDAD DEL RIO**
 Obra : **CALIFICACION DE MATERIAL**
 Localización : **JUNTO A PUENTE PEATONAL (AV. NARCISA DE JESÚS) - COORD. GPS: (N 9771479 , E 621135)**
 Profundidad : **0,00 m a -1,00 m**

Fiscaliza : **ING. NESTOR CHIRIBOGA (INTERAGUA)**
 Temp. Ambiente : **24 °C** Muestra : **1**
 Fecha : **14-dic-2021** Perforación : **1**

GRANULOMETRÍA (ASTM D422)					
TAMIZ INEN (ASTM)	Masa retenida parcial	Masa retenida acumulada	% Masa Retenida	% Masa Retenida Acumulada	% que pasa
75 mm (3")					
50 mm (2")					
37,5 mm (1 1/2")					
25,0 mm (1")					
19,0 mm (3/4")	74,4	74,4	7,3	7,3	92,7
12,5 mm (1/2")					
9,5 mm (3/8")	28,5	102,9	2,8	10,2	89,8
4,75 mm (No. 4)	53,3	156,2	5,3	15,4	84,6
Pasa 4,75 mm					
ε =					
4,75 mm (No. 4)					
2,36 mm (No. 8)					
2 mm (No. 10)	93,9	250,2	9,3	24,7	75,3
1,18 mm (No. 16)					
850 μ m (No. 20)					
600 μ m (No. 30)					
425 μ m (No. 40)	305,7	555,8	30,2	54,8	45,2
300 μ m (No. 50)					
250 μ m (No. 60)					
150 μ m (No. 100)					
75 μ m (No. 200)	234,1	789,9	23,1	77,9	22,1
Pasa 75 μ m	223,8	1,013,7	22,1	100,0	0,0
Σ =	1,013,7				

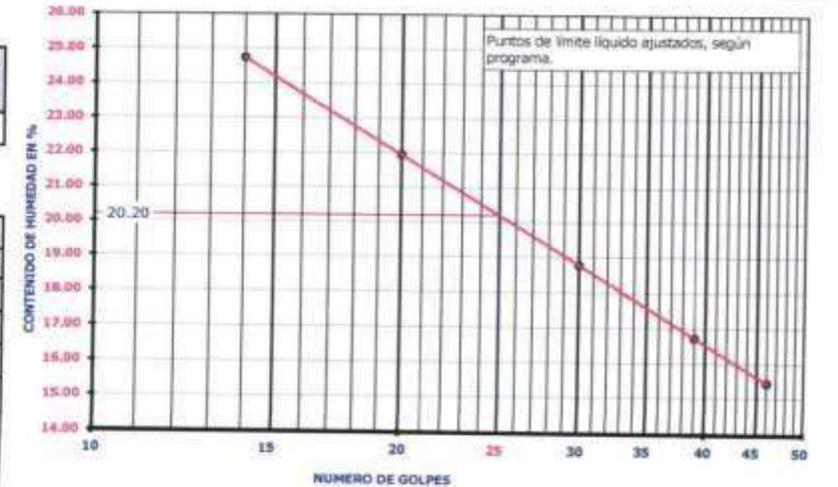
LÍMITES DE ATTERBERG (ASTM D2487)							
Recipiente No.	Número de golpes	Masa del recipiente + suelo húmedo	Masa del recipiente + suelo seco	Masa del recipiente	Masa del agua	Masa del suelo seco	Contenido de agua W %
CONTENIDO DE AGUA (ASTM D2216)							
996 A		443,88	418,90	72,38	24,98	346,52	7,21
578 A		402,53	381,80	80,11	20,73	301,69	6,87
						promedio	7,04
LÍMITE LÍQUIDO							
710	14	49,64	41,43	8,23	8,21	33,20	24,73
951	20	48,67	41,53	9,02	7,14	32,52	21,94
759	30	47,15	41,08	8,73	6,07	32,35	18,78
434	39	47,15	41,66	8,80	5,50	32,86	16,73
802	46	44,97	40,13	8,78	4,84	31,36	15,44
LÍMITE PLÁSTICO							
846		34,48	31,15	8,96	3,33	22,19	15,02
949		34,03	30,94	8,66	3,09	22,29	13,86
						promedio	14,44

CLASIFICACIÓN (ASTM D2487)
 SUCS = **SC - SM**

LÍMITES DE ATTERBERG	W	7,0	%
	WL	20	%
	WP	14	%
	IP	6	

Porcentajes
 Grava = **15,4** %
 Arena media = **62,5** %
 Finos = **22,1** %

DESCRIPCIÓN
 ARENA MEDIA ARCILLO LIMOSA COLOR CAFÉ CLARO CON Poca GRAVA



VERIFICACION DE ALTURA DE CAIDA DE COPA (1cm)

UTILIZACION DE PLACA DE ROLADO:

VIDRIO

MARMOL

Revisión de formato: **03**
 Fecha: **02/01/18**



CONSTRULADESA
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

Solicitado por : **ING. DANIEL SIGÜENZA**
 Proyecto : **COLECTOR AA.SS. METROPOLIS Y CIUDAD DEL RIO**
 Obra : **CALIFICACION DE MATERIAL**
 Localización : **JUNTO A PUENTE PEATONAL (AV. NARCISA DE JESÚS) - COORD. GPS (N 9771479 , E 621135)**
 Profundidad : **-1.00 m a -2.00 m**

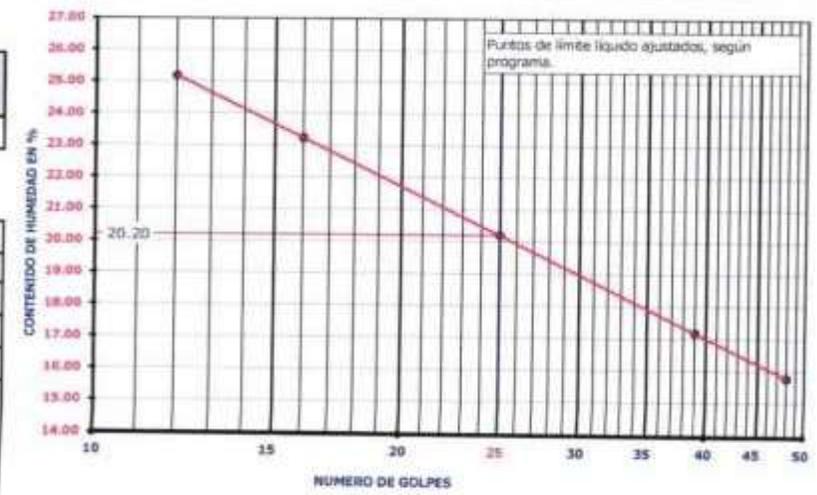
Fiscaliza : **ING. NESTOR CHIRIBOGA (INTERAGUA)**
 Temp. Ambiente : **24 °C** Muestra : **2**
 Fecha : **14-dic-2021** Perforación : **1**

GRANULOMETRÍA (ASTM D422)					
TAMIZ INEN (ASTM)	Masa retenida parcial	Masa retenida acumulada	% Masa Retenida	% Masa Retenida Acumulada	% que pasa
75 mm (3")					
50 mm (2")					
37,5 mm (1 1/2")					
25,0 mm (1")					
19,0 mm (3/4")	63.8	63.8	6.3	6.3	93.7
12,5 mm (1/2")					
9,5 mm (3/8")	53.8	117.5	5.3	11.6	88.4
4,75 mm (No. 4)	66.8	184.3	6.6	18.1	81.9
Pasa 4,75 mm					
E =					
4,75 mm (No. 4)					
2,36 mm (No. 8)					
2 mm (No. 10)	95.0	279.3	9.3	27.5	72.5
1,18 mm (No. 16)					
850 µ m (No. 20)					
600 µ m (No. 30)					
425 µ m (No. 40)	284.0	563.3	27.9	55.4	44.6
300 µ m (No. 50)					
250 µ m (No. 60)					
150 µ m (No. 100)					
75 µ m (No. 200)	229.8	793.0	22.6	78.0	22.0
Pasa 75 µ m	223.8	1,016.8	22.0	100.0	0.0
Σ =	1,016.8				

LÍMITES DE ATTERBERG (ASTM D2487)							
Recipiente No.	Número de golpes	Masa del recipiente + suelo húmedo	Masa del recipiente + suelo seco	Masa del recipiente	Masa del agua	Masa del suelo seco	Contenido de agua W %
CONTENIDO DE AGUA (ASTM D2216)							
47 A		408.11	386.99	62.58	21.12	324.41	6.51
18 A		384.65	365.25	65.36	19.40	299.89	6.47
						promedio	6.49
LÍMITE LÍQUIDO							
758	12	47.75	39.95	8.94	7.81	31.01	25.18
655	16	47.43	39.97	7.86	7.46	32.11	23.23
210	25	47.17	40.59	8.06	6.57	32.54	20.20
157	39	44.80	39.50	8.63	5.31	30.87	17.18
953	48	48.02	42.62	8.39	5.40	34.23	15.77
LÍMITE PLÁSTICO							
610		36.98	33.39	8.19	3.59	25.19	14.26
181		33.17	30.34	9.94	2.84	20.40	13.90
						promedio	14.08

CLASIFICACIÓN (ASTM D2487)
 SUCS = **SC - SM**

Porcentajes		LÍMITES DE ATTERBERG	W	6.5	%			
Grava =	18.1					WL	20	%
Arena media =	59.9					WP	14	%
Finos =	22.0					IP	6	
DESCRIPCIÓN								
ARENA MEDIA ARCILLO LIMOSA COLOR CAFÉ CLARO CON POCA GRAVA								



VERIFICACION DE ALTURA DE CAIDA DE COPA (1cm)
 UTILIZACION DE PLACA DE ROLADO: VIDRIO MARMO

Revisión de formato: 03
 Fecha: 02/01/19



Solicitado por : ING. DANIEL SIGÜENZA
 Proyecto : COLECTOR AA.SS. METROPOLIS Y CIUDAD DEL RIO
 Obra : CALIFICACION DE MATERIAL
 Localización : JUNTO A PUENTE PEATONAL (AV. NARCISA DE JESUS) - COORD. GPS (N 9771479 , E 621135)
 Profundidad : -2,00 m a -2,80 m

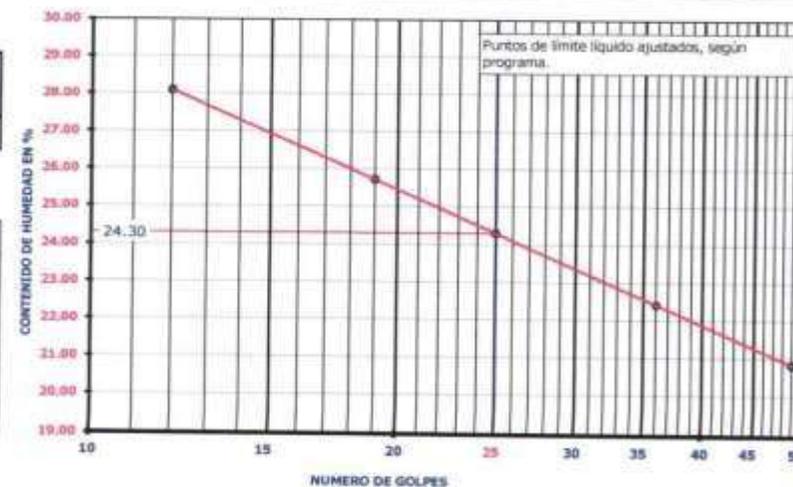
Fiscaliza : ING. NESTOR CHIRIBOGA (INTERAGUA)
 Temp. Ambiente : 24 °C Muestra : 3
 Fecha : 14-dic-2021 Perforación : 1

GRANULOMETRÍA (ASTM D422)					
TAMIZ INEN (ASTM)	Masa retenida parcial	Masa retenida acumulada	% Masa Retenida	% Masa Retenida Acumulada	% que pasa
75 mm (3")					
50 mm (2")					
37,5 mm (1 1/2")					
25,0 mm (1")					
19,0 mm (3/4")	249.9	249.9	25.1	25.1	74.9
12,5 mm (1/2")					
9,5 mm (3/8")	51.5	301.4	5.2	30.3	69.7
4,75 mm (No. 4)	68.2	369.6	6.9	37.2	62.8
Pasa 4,75 mm					
Σ =					
4,75 mm (No. 4)					
2,36 mm (No. 8)					
2 mm (No. 10)	69.5	439.1	7.0	44.1	55.9
1,18 mm (No. 16)					
850 μ m (No. 20)					
600 μ m (No. 30)					
425 μ m (No. 40)	183.5	622.6	18.4	62.6	37.4
300 μ m (No. 50)					
250 μ m (No. 60)					
150 μ m (No. 100)					
75 μ m (No. 200)	179.1	801.7	18.0	80.6	19.4
Pasa 75 μ m	193.2	994.8	19.4	100.0	0.0
Σ =	994.8				

LÍMITES DE ATTERBERG (ASTM D2487)							
Recipiente No.	Número de golpes	Masa del recipiente + suelo húmedo	Masa del recipiente + suelo seco	Masa del recipiente	Masa del agua	Masa del suelo seco	Contenido de agua W %
CONTENIDO DE AGUA (ASTM D2216)							
1019 A		471.67	421.04	67.94	50.63	353.10	14.34
982 A		459.61	409.60	56.95	50.01	352.65	14.18
						promedio	14.26
LÍMITE LÍQUIDO							
159	12	48.97	40.10	8.50	8.87	31.59	28.09
607	19	48.28	40.21	8.80	8.08	31.41	25.72
1020	25	50.59	42.51	9.27	8.08	33.24	24.30
396	36	49.07	41.69	8.78	7.38	32.91	22.42
793	49	46.66	40.13	8.74	6.54	31.39	20.83
LÍMITE PLÁSTICO							
112		37.25	33.12	8.28	4.13	24.84	16.61
138		33.12	29.79	9.52	3.33	20.27	16.45
						promedio	16.53

CLASIFICACIÓN (ASTM D2487)
 SUCS = **SC - SM**

Porcentajes		LÍMITES DE ATTERBERG	W	14.3 %				
Grava =	37.2 %				WL	24 %		
Arena media =	43.4 %						WP	17 %
Finos =	19.4 %							
DESCRIPCIÓN								
ARENA MEDIA ARCILLO LIMOSA COLOR CAFÉ CLARO CON GRAVA								



VERIFICACION DE ALTURA DE CAIDA DE COPA (1cm)
 UTILIZACION DE PLACA DE ROLADO: VIDRIO MARMOL



Solicitado por : **ING. DANIEL SIGÜENZA**
 Proyecto : **COLECTOR AA.SS. METROPOLIS Y CIUDAD DEL RIO**
 Obra : **CALIFICACION DE MATERIAL**
 Localización : **JUNTO A PUENTE PEATONAL (AV. NARCISA DE JESUS) - COORD. GPS (N 9771479 , E 621135)**
 Profundidad : **-2.80 m a -3.50 m**

Fiscaliza : **ING. NESTOR CHIRIBOGA (INTERAGUA)**
 Temp. Ambiente : **24 °C** Muestra : **4**
 Fecha : **14-08-2021** Perforación : **1**

GRANULOMETRÍA (ASTM D422)					
TAMIZ INEN (ASTM)	Masa retenida parcial	Masa retenida acumulada	% Masa Retenida	% Masa Retenida Acumulada	% que pasa
75 mm (3")					
50 mm (2")					
37,5 mm (1 1/2")					
25,0 mm (1")					
19,0 mm (3/4")	0.0				100.0
12,5 mm (1/2")					
9,5 mm (3/8")	0.0				100.0
4,75 mm (No. 4)	3.4	3.4	0.3	0.3	99.7
Pasa 4,75 mm					
Σ =					
4,75 mm (No. 4)					
2,36 mm (No. 8)					
2 mm (No. 10)	23.5	26.9	2.4	2.7	97.3
1,18 mm (No. 16)					
850 μ m (No. 20)					
600 μ m (No. 30)					
425 μ m (No. 40)	264.5	291.4	26.6	29.3	70.7
300 μ m (No. 50)					
250 μ m (No. 60)					
150 μ m (No. 100)					
75 μ m (No. 200)	297.8	589.2	30.0	59.3	40.7
Pasa 75 μ m	404.9	994.2	40.7	100.0	0.0
Σ =	994.2				

LÍMITES DE ATTERBERG (ASTM D2487)							
Recipiente No.	Número de golpes	Masa del recipiente + suelo húmedo	Masa del recipiente + suelo seco	Masa del recipiente	Masa del agua	Masa del suelo seco	Contenido de agua W %
CONTENIDO DE AGUA (ASTM D2216)							
328 A		424.87	374.65	78.38	50.22	296.28	16.95
224 A		413.48	364.48	60.34	49.00	304.14	16.11
						promedio	16.53
LÍMITE LÍQUIDO							
937	12	50.14	41.45	10.30	8.69	31.15	27.91
757	19	48.37	40.45	8.85	7.93	31.59	25.09
1006	28	47.66	40.67	9.89	6.99	30.78	22.70
496	37	48.81	41.87	8.82	6.94	33.05	20.99
175	49	46.25	40.21	8.84	6.04	31.37	19.26
LÍMITE PLÁSTICO							
158		34.60	31.35	8.71	3.26	22.64	14.38
877		35.81	32.52	8.40	3.29	24.12	13.66
						promedio	14.02

CLASIFICACIÓN (ASTM D2487)

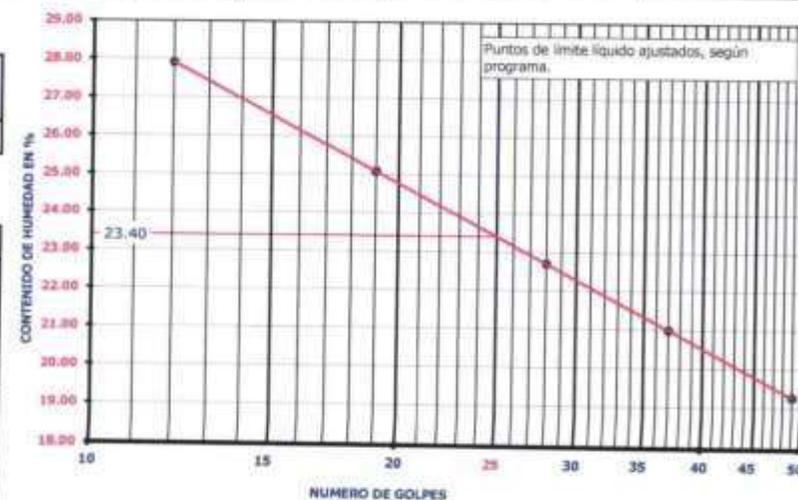
SUCS = **SC**

LÍMITES DE ATTERBERG	W	16.5	%
WL	23	%	
WP	14	%	
IP	9		

Porcentajes		
Grava =	0.3	%
Arena fina =	58.9	%
Finos =	40.7	%

DESCRIPCIÓN
ARENA FINA ARCILLOSA COLOR CAFÉ OSCURO

VERIFICACION DE ALTURA DE CAIDA DE COPA (1cm)
 UTILIZACION DE PLACA DE ROLADO: VIDRIO MARMOL





CONSTRULADESA
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

Solicitado por : ING. DANIEL SIGÜENZA
 Proyecto : COLECTOR AA.SS. METROPOLIS Y CIUDAD DEL RIO
 Obra : CALIFICACION DE MATERIAL
 Localización : JUNTO A PUENTE PEATONAL (AV. NARCISA DE JESÚS) - COORD. GPS (N 9771479 , E 621135)
 Profundidad : -3.50 m.a -4.00 m

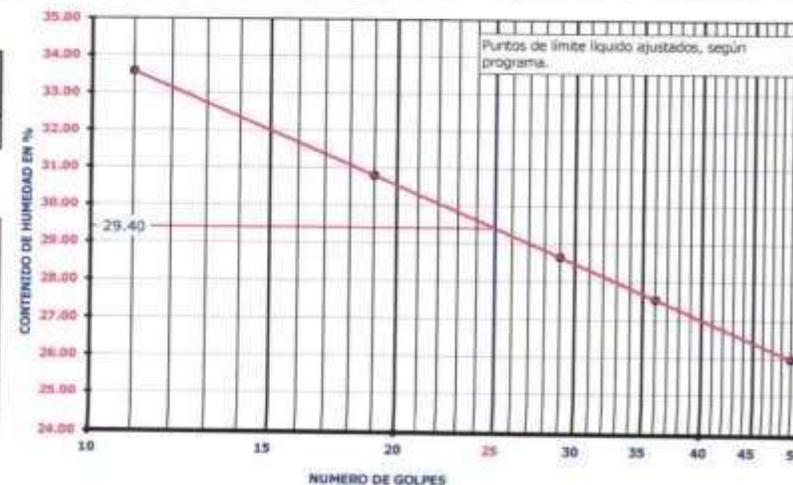
Fiscaliza : ING. NESTOR CHIRIBOGA (INTERAGUA)
 Temp. Ambiente : 24.0C Muestra : 5
 Fecha : 14-dic-2021 Perforación : 1

GRANULOMETRÍA (ASTM D422)					
TAMIZ INEN (ASTM)	Masa retenida parcial	Masa retenida acumulada	% Masa Retenida	% Masa Retenida Acumulada	% que pasa
75 mm (3")					
50 mm (2")					
37,5 mm (1 1/2")					
25,0 mm (1")					
19,0 mm (3/4")	0.0				100.0
12,5 mm (1/2")					
9,5 mm (3/8")	0.0				100.0
4,75 mm (No. 4)	9.4	9.4	1.0	1.0	99.0
Pasa 4,75 mm					
Σ =					
4,75 mm (No. 4)					
2,36 mm (No. 8)					
2 mm (No. 10)	26.2	35.7	2.6	3.6	96.4
1,18 mm (No. 16)					
850 μ m (No. 20)					
600 μ m (No. 30)					
425 μ m (No. 40)	233.2	268.9	23.5	27.1	72.9
300 μ m (No. 50)					
250 μ m (No. 60)					
150 μ m (No. 100)					
75 μ m (No. 200)	245.0	513.8	24.7	51.8	48.2
Pasa 75 μ m	477.5	991.3	48.2	100.0	0.0
Σ =	991.3				

LÍMITES DE ATTERBERG (ASTM D2487)							
Recipiente No.	Número de golpes	Masa del recipiente + suelo húmedo	Masa del recipiente + suelo seco	Masa del recipiente	Masa del agua	Masa del suelo seco	Contenido de agua W %
CONTENIDO DE AGUA (ASTM D2216)							
953 A		464.84	393.21	53.43	71.63	339.78	21.08
151 A		447.85	378.50	60.39	69.35	318.12	21.80
						promedio	21.44
LÍMITE LÍQUIDO							
957	11	51.47	40.77	8.93	10.69	31.84	33.58
438	19	52.73	42.59	9.65	10.14	32.94	30.80
648	29	51.85	42.35	9.20	9.50	33.15	28.64
243	36	47.74	39.27	8.53	8.47	30.74	27.54
942	49	45.71	38.05	8.57	7.66	29.48	25.97
LÍMITE PLÁSTICO							
760		37.78	33.53	8.24	4.25	25.28	16.81
677		36.63	32.34	8.32	4.29	24.02	17.87
						promedio	17.34

CLASIFICACIÓN (ASTM D2487)
 SUCS = **SC**

Porcentajes				LÍMITES DE ATTERBERG	
Grava =	1.0	%	21.4		%
Arena fina =	50.9	%	29		%
Finos =	48.2	%	17		%
DESCRIPCIÓN					
ARENA FINA ARCILLOSA COLOR CAFÉ OSCURO					



VERIFICACION DE ALTURA DE CAIDA DE COPA (1cm)
 UTILIZACION DE PLACA DE ROLADO: VIDRIO MARMOL

Revisión de formato: 03
 Fecha: 02/01/18



CONSTRULADESA
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

Solicitado por : ING. DANIEL SIGUENZA

Proyecto : COLECTOR AA.SS. METROPOLIS Y CIUDAD DEL RIO

Obra : CALIFICACION DE MATERIAL

Localización : JUNTO A PUENTE PEATONAL (AV. NARCISA DE JESUS) - COORD. GPS (N 9771479 , E 621135)

Profundidad : -4.00 m a -5.00 m

Fiscaliza : ING. HECTOR CHIRIBOGA (INTERAGUA)

Temp. Ambiente : 24 °C

Muestra : 6

Fecha : 14-dic-2021

Perforación : 1

GRANULOMETRÍA (ASTM D422)

TAMIZ INEN (ASTM)	Masa retenida parcial	Masa retenida acumulada	% Masa Retenida	% Masa Retenida Acumulada	% que pasa
75 mm (3")					
50 mm (2")					
37,5 mm (1 1/2")					
25,0 mm (1")					
19,0 mm (3/4")	0.0				100.0
12,5 mm (1/2")					
9,5 mm (3/8")	0.0				100.0
4,75 mm (No. 4)	6.8	6.8	0.7	0.7	99.3
Pasa 4,75 mm					
Σ =					
4,75 mm (No. 4)					
2,36 mm (No. 8)					
2 mm (No. 10)	16.5	23.2	1.7	2.4	97.6
1,18 mm (No. 16)					
850 μ m (No. 20)					
600 μ m (No. 30)					
425 μ m (No. 40)	254.9	278.1	25.9	28.3	71.7
300 μ m (No. 50)					
250 μ m (No. 60)					
150 μ m (No. 100)					
75 μ m (No. 200)	219.0	497.1	22.3	50.6	49.4
Pasa 75 μ m	485.2	982.3	49.4	100.0	0.0
Σ =	982.3				

LÍMITES DE ATTERBERG (ASTM D2487)

Recipiente No.	Número de golpes	Masa del recipiente + suelo húmedo	Masa del recipiente + suelo seco	Masa del recipiente	Masa del agua	Masa del suelo seco	Contenido de agua W %
CONTENIDO DE AGUA (ASTM D2216)							
463 A		448.50	387.90	58.34	60.61	329.56	18.39
557 A		433.61	371.90	49.94	61.72	321.96	19.17
						promedio	18.78
LÍMITE LÍQUIDO							
617	10	51.33	40.24	9.39	11.10	30.85	35.97
826	17	50.83	40.22	8.37	10.61	31.85	33.32
820	25	52.51	42.15	9.19	10.35	32.97	31.40
758	39	49.00	39.95	8.94	9.05	31.01	29.18
190	48	50.96	41.35	7.22	9.61	34.13	28.15
LÍMITE PLÁSTICO							
501		33.45	30.56	8.84	2.89	21.72	13.30
743		32.95	30.32	8.72	2.63	21.60	12.16
						promedio	12.73

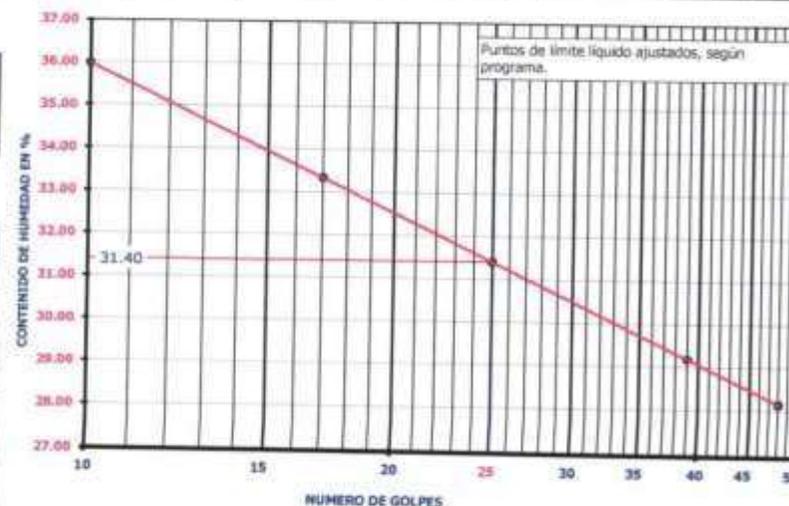
CLASIFICACIÓN (ASTM D2487)

SUCS = SC

LÍMITES DE ATTERBERG	W	18.8	%
	WL	31	%
	WP	13	%
	IP	18	

DESCRIPCIÓN

ARENA MEDIA ARCILLOSA COLOR CAFÉ OSCURO



VERIFICACION DE ALTURA DE CAIDA DE COPA (1cm)

UTILIZACION DE PLACA DE ROLADO: VIDRIO MARMOL



PERFORACIÓN MÉTODO S.P.T.

SOLICITADO POR : ING. DANIEL ELIAS SÍGUENZA RIVERA	F. Inicio : diciembre 13, 2021	Perforación : 2	P. Martillo: 140 lbs
PROYECTO : COLECTOR AA.SS. METROPOLIS Y CIUDAD DEL RIO	F. Fin : diciembre 13, 2021	Hoja : 1 de 1	Caída : 0.76 m
LOCALIZACIÓN : ENTRADA CDLA. DEL MAGISTERIO - CIUDAD DEL RIO - COORD. GPS (N 9771544 , E 621268)	FISCALIZA : ING. NESTOR CHIRIBOGA (INTERAGUA)		N. Fractico

MUESTRA Nº	DESCRIPCION	PERFIL	N.F.	Prof. (m)	Cota	"N" SPT					Nº DE GOLPES (kg/cm2)	HUMEDADES %					LIMITES DE ATTERBERG				γ	GRANULOMETRIA Porcentaje que pasa acumulado			SUCS		
						0	30	100	150	200		W %	WL %	WP %	IP	7/60"	Nº 4 %	Nº 40 %	Nº 200 %								
1	Arena			0.00	5.871																						
				-0.17	5.751																						
2	Arena Meda Arcillosa Color Café Claro Con Grava Conc. Mediana. Suelta			1.00	4.871					13		12.7	27	15	12	1.80	76.0	44.8	23.2						SC		
3	Grava Arcillosa Mal Gradada Color Café Claro Con Arena Meda Conc. Mediana. Suelta			-2.15	3.721					16		15.7	26	17	9	1.85	50.0	20.3	10.9						GP- GC		
4	Arcilla Inorganica De Alta Plasticidad Color Gris Oscuro Y Con Poca Arena Meda Consist. Muy Blanda			-3.00	2.871					0.25		32.0	60	24	36	1.62	100.0	92.5	87.7						CH		
5	Arcilla Inorganica De Muy Alta Plasticidad Color Gris Oscuro Consist. Dura			-4.00	1.871					9		36.4	76	22	54	1.65	100.0	98.6	97.2						CH		
6	Arcilla Inorganica De Muy Alta Plasticidad Color Gris Oscuro Consist. Dura			-5.00	0.871					10		38.5	83	23	60	1.67	100.0	98.5	97.5						CH		
	Fin del Sonda																										



Solicitado por : ING. DANIEL SIGÜENZA
 Proyecto : COLECTOR AA.SS. METROPOLIS Y CIUDAD DEL RIO
 Obra : CALIFICACION DE MATERIAL
 Localización : ENTRADA CDLA. DEL MAGISTERIO - CIUDAD DEL RIO - COORD. GPS (N 9771544 , E 621268)
 Profundidad : -0.12 m a -1.00 m

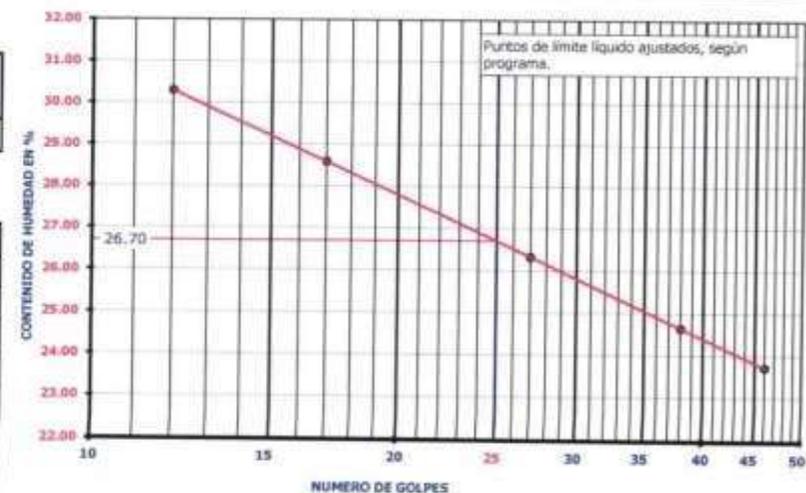
Fiscaliza : ING. NESTOR CHIRIBOGA (INTERAGUA)
 Temp. Ambiente : 24 °C Muestra : 2
 Fecha : 13-dic-2021 Perforación : 2

GRANULOMETRÍA (ASTM D422)					
TAMIZ INEN (ASTM)	Masa retenida parcial	Masa retenida acumulada	% Masa Retenida	% Masa Retenida Acumulada	% que pasa
75 mm (3")					
50 mm (2")					
37,5 mm (1 1/2")					
25,0 mm (1")					
19,0 mm (3/4")	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
12,5 mm (1/2")					
9,5 mm (3/8")	151.9	151.9	15.3	15.3	84.7
4,75 mm (No. 4)	85.8	237.7	8.6	24.0	76.0
Pasa 4,75 mm					
E =					
4,75 mm (No. 4)					
2,36 mm (No. 8)					
2 mm (No. 10)	80.9	318.5	8.1	32.1	67.9
1,18 mm (No. 16)					
850 µ m (No. 20)					
600 µ m (No. 30)					
425 µ m (No. 40)	229.3	547.8	23.1	55.2	44.8
300 µ m (No. 50)					
250 µ m (No. 60)					
150 µ m (No. 100)					
75 µ m (No. 200)	194.5	742.4	19.6	74.8	25.2
Pasa 75 µ m	249.9	992.3	25.2	100.0	0.0
Σ =	992.3				

LÍMITES DE ATTERBERG (ASTM D2487)							
Recipiente No.	Número de golpes	Masa del recipiente + suelo húmedo	Masa del recipiente + suelo seco	Masa del recipiente	Masa del agua	Masa del suelo seco	Contenido de agua W %
CONTENIDO DE AGUA (ASTM D2216)							
739 A		404.88	364.94	59.65	39.93	305.29	13.08
366 A		387.59	352.07	61.91	35.52	290.17	12.24
						promedio	12.66
LÍMITE LÍQUIDO							
142	12	45.64	36.95	8.28	8.68	28.67	30.29
122	17	49.81	40.73	9.00	9.07	31.73	28.59
323	27	50.19	41.48	8.36	8.72	33.12	26.32
996	38	51.08	42.76	9.02	8.32	33.74	24.65
946	46	50.65	42.67	9.00	7.99	33.67	23.72
LÍMITE PLÁSTICO							
1020		39.14	35.22	9.27	3.92	25.95	15.10
493		33.28	30.14	8.62	3.14	21.52	14.60
						promedio	14.85

CLASIFICACIÓN (ASTM D2487)
 SUCS = **SC**

Porcentajes		LÍMITES DE ATTERBERG	W	12.7	%	
Grava =	24.0		%	WL	27	%
Arena media =	50.9		%	WP	15	%
Finos =	25.2		%	IP	12	
DESCRIPCIÓN						
ARENA MEDIA ARCILLOSA COLOR CAFÉ CLARO CON GRAVA						



VERIFICACION DE ALTURA DE CAIDA DE COPA (1cm)
 UTILIZACION DE PLACA DE ROLADO: VIDRIO MARMOL



Solicitado por : ING. DANIEL SIGÜENZA
 Proyecto : COLECTOR AA.SS. METROPOLIS Y CIUDAD DEL RIO
 Obra : CALIFICACION DE MATERIAL
 Localización : ENTRADA CDLA. DEL MAGISTERIO - CIUDAD DEL RIO - COORD. GPS (N 9771544 , E 621268)
 Profundidad : -1.00 m a -2.15 m

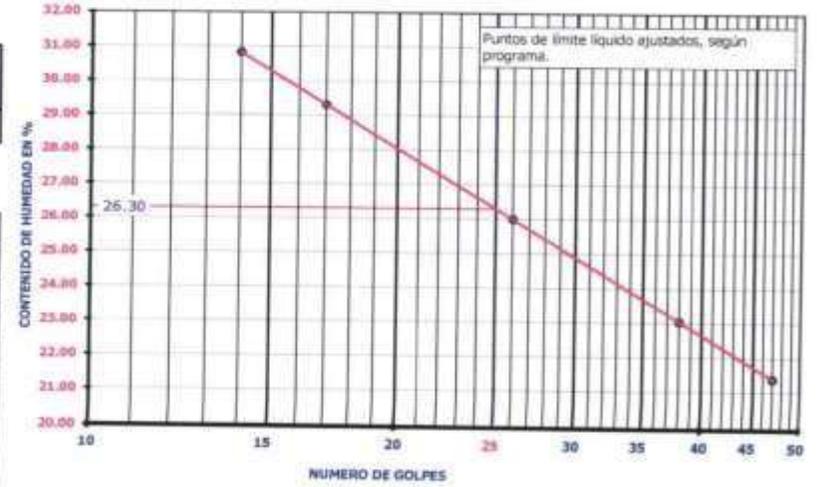
Fiscaliza : ING. NESTOR CHIRIBOGA (INTERAGUA)
 Temp. Ambiente : 24 °C Muestra : 3
 Fecha : 12-dic-2021 Perforación : 2

GRANULOMETRÍA (ASTM D422)					
TAMIZ INEN (ASTM)	Masa retenida parcial	Masa retenida acumulada	% Masa Retenida	% Masa Retenida Acumulada	% que pasa
75 mm (3")					
50 mm (2")					
37,5 mm (1 1/2")					
25,0 mm (1")					
19,0 mm (3/4")	130.0	130.0	13.0	13.0	87.0
12,5 mm (1/2")					
9,5 mm (3/8")	229.7	359.6	22.9	35.9	64.1
4,75 mm (No. 4)	141.1	500.8	14.1	50.0	50.0
Pasa 4,75 mm					
Σ =					
4,75 mm (No. 4)					
2,36 mm (No. 8)					
2 mm (No. 10)	121.0	621.7	12.1	62.1	37.9
1,18 mm (No. 16)					
850 μ m (No. 20)					
600 μ m (No. 30)					
425 μ m (No. 40)	176.4	798.1	17.6	79.7	20.3
300 μ m (No. 50)					
250 μ m (No. 60)					
150 μ m (No. 100)					
75 μ m (No. 200)	93.6	891.7	9.3	89.1	10.9
Pasa 75 μ m	109.4	1,001.2	10.9	100.0	0.0
Σ =	1,001.2				

LÍMITES DE ATTERBERG (ASTM D2487)							
Recipiente No.	Número de golpes	Masa del recipiente + suelo húmedo	Masa del recipiente + suelo seco	Masa del recipiente	Masa del agua	Masa del suelo seco	Contenido de agua W %
CONTENIDO DE AGUA (ASTM D2216)							
638 A		410.64	361.18	60.36	49.46	300.82	16.44
636 A		453.23	402.37	61.93	50.86	340.43	14.94
						promedio	15.69
LÍMITE LÍQUIDO							
720	14	52.10	41.98	9.15	10.12	32.83	30.82
144	17	46.48	37.94	8.79	8.54	29.15	29.31
312	26	50.82	42.06	8.36	8.76	33.70	25.99
1027	38	47.49	40.18	8.45	7.31	31.73	23.04
355	47	46.29	39.50	7.76	6.79	31.74	21.38
LÍMITE PLÁSTICO							
886		34.76	31.09	10.06	3.67	21.03	17.46
223		36.39	32.61	8.32	3.78	24.29	15.58
						promedio	16.52

CLASIFICACIÓN (ASTM D2487)
 SUCS = **GP - GC**

Porcentajes			LÍMITES DE ATTERBERG
Grava =	50.0	%	
Arena media =	39.1	%	
Finos =	10.9	%	
DESCRIPCIÓN			
GRAVA ARCILLOSA MAL GRADUADA COLOR CAFÉ CLARO CON ARENA MEDIA			



VERIFICACION DE ALTURA DE CAIDA DE COPA (1cm)
 UTILIZACION DE PLACA DE ROLADO: VIDRIO MARMOL



CONSTRULADESA
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

Solicitado por : ING. DANIEL SIGÜENZA
 Proyecto : COLECTOR AA.SS. METROPOLIS Y CIUDAD DEL RIO
 Obra : CALIFICACION DE MATERIAL
 Localización : ENTRADA CDIA. DEL MAGISTERIO - CIUDAD DEL RIO - COORD. GPS (N 9771544 , E 621268)
 Profundidad : -2.15 m a -3.00 m

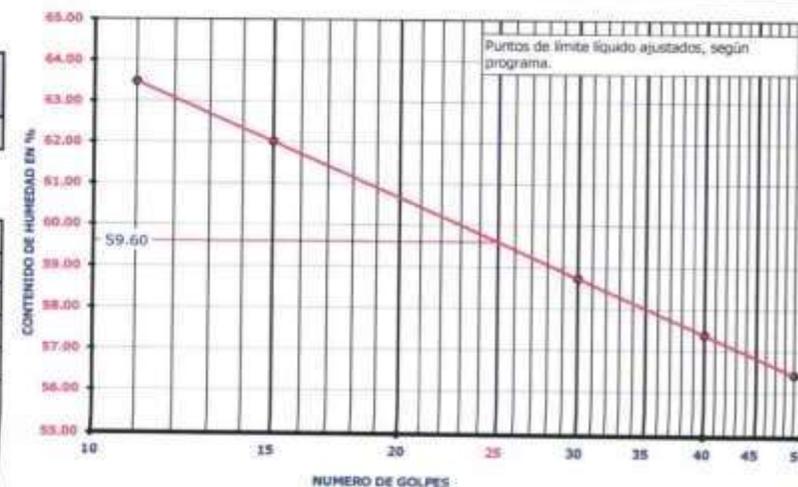
Fiscaliza : ING. NESTOR CHIRIBOGA (INTERAGUA)
 Temp. Ambiente : 24 °C Muestra : 4
 Fecha : 13-dic-2021 Perforación : 2

GRANULOMETRÍA (ASTM D422)					
TAMIZ INEN (ASTM)	Masa retenida parcial	Masa retenida acumulada	% Masa Retenida	% Masa Retenida Acumulada	% que pasa
75 mm (3")					
50 mm (2")					
37,5 mm (1 1/2")					
25,0 mm (1")					
19,0 mm (3/4")	0.0				100.0
12,5 mm (1/2")					
9,5 mm (3/8")	0.0				100.0
4,75 mm (No. 4)	0.0				100.0
Pasa 4,75 mm					
E =					
4,75 mm (No. 4)					
2,36 mm (No. 8)					
2 mm (No. 10)	12.0	12.0	1.2	1.2	98.8
1,18 mm (No. 16)					
850 µ m (No. 20)					
600 µ m (No. 30)					
425 µ m (No. 40)	62.4	74.4	6.3	7.5	92.5
300 µ m (No. 50)					
250 µ m (No. 60)					
150 µ m (No. 100)					
75 µ m (No. 200)	47.4	121.8	4.8	12.3	87.7
Pasa 75 µ m	872.4	994.2	87.7	100.0	0.0
Σ =	994.2				

LÍMITES DE ATTERBERG (ASTM D2487)								
Recipiente No.	Número de golpes	Masa del recipiente + suelo húmedo	Masa del recipiente + suelo seco	Masa del recipiente	Masa del agua	Masa del suelo seco	Contenido de agua W %	
CONTENIDO DE AGUA (ASTM D2216)								
21 A		489.92	387.16	57.48	102.76	329.68	31.17	
659 A		523.15	406.05	48.73	117.09	357.32	32.77	
							promedio	31.97
LÍMITE LÍQUIDO								
791	11	62.49	41.58	8.63	20.91	32.94	63.48	
488	15	63.15	42.68	9.67	20.47	33.00	62.01	
999	30	63.57	43.26	8.68	20.31	34.58	58.74	
515	40	57.00	39.56	9.16	17.44	30.40	57.38	
679	49	60.60	42.08	9.25	18.52	32.83	56.42	
LÍMITE PLÁSTICO								
927		38.33	32.56	8.41	5.77	24.15	23.88	
1030		37.11	31.95	9.92	5.16	22.03	23.44	
							promedio	23.66

CLASIFICACIÓN (ASTM D2487)
 SUCS = CH

Porcentajes		LÍMITES DE ATTERBERG	W	32.0	%			
Grava =	0.0					WL	60	%
Arena media =	12.3					WP	24	%
Finos =	87.7					IP	36	
DESCRIPCIÓN								
ARCILLA INORGANICA DE ALTA PLASTICIDAD COLOR GRIS OSCURO Y CON POCA ARENA MEDIA								



VERIFICACION DE ALTURA DE CAIDA DE COPA (1cm)
 UTILIZACION DE PLACA DE ROLADO: VIDRIO MÁRMOL

Revisión de formato: 03
 Fecha: 02/01/19



CONSTRULADESA
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

Solicitado por : **ING. DANIEL SEGUENZA**
 Proyecto : **COLECTOR AA.SS. METROPOLIS Y CIUDAD DEL RIO**
 Obra : **CALIFICACION DE MATERIAL**
 Localización : **ENTRADA COLA. DEL MAGISTERIO - CIUDAD DEL RIO - COORD. GPS (N 9771544, E 621268)**
 Profundidad : **-3.00 m a -4.00 m**

Fiscaliza : **ING. NESTOR CHIRIBOGA (INTERAGUA)**
 Temp. Ambiente : **24.0C** Muestra : **5**
 Fecha : **13-dic-2021** Perforación : **2**

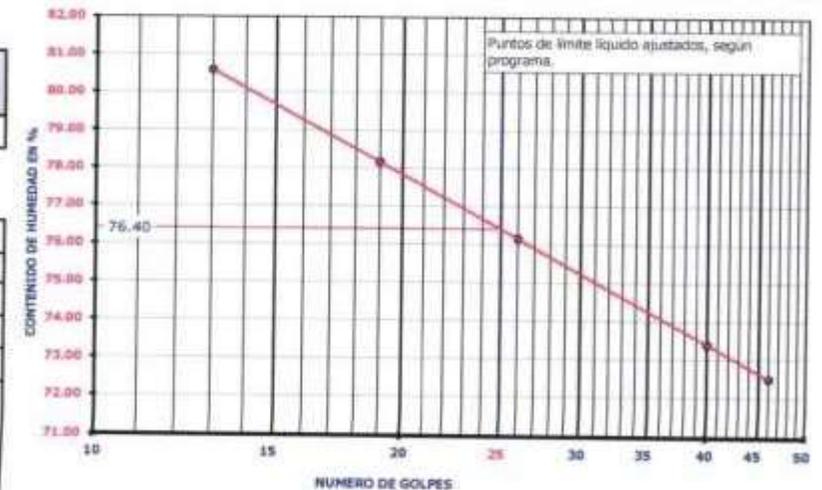
GRANULOMETRÍA (ASTM D422)					
TAMIZ INEN (ASTM)	Masa retenida parcial	Masa retenida acumulada	% Masa Retenida	% Masa Retenida Acumulada	% que pasa
75 mm (3")					
50 mm (2")					
37,5 mm (1 1/2")					
25,0 mm (1")					
19,0 mm (3/4")	0.0				100.0
12,5 mm (1/2")					
9,5 mm (3/8")	0.0				100.0
4,75 mm (No. 4)	0.0				100.0
Pasa 4,75 mm					
Σ =					
4,75 mm (No. 4)					
2,36 mm (No. 8)					
2 mm (No. 10)	0.0				100.0
1,18 mm (No. 16)					
850 μ m (No. 20)					
600 μ m (No. 30)					
425 μ m (No. 40)	13.9	13.9	1.4	1.4	98.6
300 μ m (No. 50)					
250 μ m (No. 60)					
150 μ m (No. 100)					
75 μ m (No. 200)	14.5	28.4	1.4	2.8	97.2
Pasa 75 μ m	972.7	1,001.1	97.2	100.0	0.0
Σ =	1,001.1				

LÍMITES DE ATTERBERG (ASTM D2487)							
Recipiente No.	Número de golpes	Masa del recipiente + suelo húmedo	Masa del recipiente + suelo seco	Masa del recipiente	Masa del agua	Masa del suelo seco	Contenido de agua W %
CONTENIDO DE AGUA (ASTM D2216)							
128 A		472.76	369.10	77.03	103.66	292.08	35.49
99 A		507.48	387.45	66.42	120.03	321.03	37.39
						promedio	36.44
LÍMITE LÍQUIDO							
585	13	68.53	41.72	8.44	26.82	33.27	80.59
532	19	63.07	39.73	9.87	23.34	29.86	78.16
291	26	65.32	40.74	8.45	24.59	32.29	76.15
238	40	66.20	42.23	9.57	23.97	32.67	73.39
1034	46	67.13	42.72	9.04	24.42	33.68	72.49
LÍMITE PLÁSTICO							
691		37.69	32.38	8.60	5.31	23.79	22.32
247		34.72	30.26	8.87	4.46	21.40	20.84
						promedio	21.58

CLASIFICACIÓN (ASTM D2487)

SUCS = **CH**

Porcentajes			LÍMITES DE ATTERBERG	W	36.4	%			
Grava =	0.0	%					WL	76	%
Arena fina =	2.8	%					WP	22	%
Finos =	97.2	%					IP	54	
DESCRIPCIÓN									
ARCILLA INORGANICA DE MUY ALTA PLASTICIDAD COLOR GRIS OSCURO									



VERIFICACION DE ALTURA DE CAIDA DE COPA (1cm)
 UTILIZACION DE PLACA DE ROLADO: VIDRIO MARMOL

Revisión de formato: 03
 Fecha: 07/01/10



CONSTRULADESA
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

Solicitado por : ING. DANIEL SIGÜENZA
 Proyecto : COLECTOR AA-SS, METROPOLIS Y CIUDAD DEL RIO
 Obra : CALIFICACION DE MATERIAL
 Localización : ENTRADA COLA DEL MAGISTERIO - CIUDAD DEL RIO - COORD. GPS (N.9771544 , F.621268)
 Profundidad : -4.00 m a -5.00 m

Fiscalza : ING. NESTOR CHIRIBOGA (INTERAGUA)
 Temp. Ambiente : 24 °C Muestra : 6
 Fecha : 13-dic-2021 Perforación : 2

GRANULOMETRÍA (ASTM D422)					
TAMIZ INEN (ASTM)	Masa retenida parcial	Masa retenida acumulada	% Masa Retenida	% Masa Retenida Acumulada	% que pasa
75 mm (3")					
50 mm (2")					
37,5 mm (1 1/2")					
25,0 mm (1")					
19,0 mm (3/4")	0.0				100.0
12,5 mm (1/2")					
9,5 mm (3/8")	0.0				100.0
4,75 mm (No. 4)	0.0				100.0
Pasa 4,75 mm					
Σ =					
4,75 mm (No. 4)					
2,36 mm (No. 8)					
2 mm (No. 10)	0.0				100.0
1,18 mm (No. 16)					
850 μ m (No. 20)					
600 μ m (No. 30)					
425 μ m (No. 40)	14.7	14.7	1.5	1.5	98.5
300 μ m (No. 50)					
250 μ m (No. 60)					
150 μ m (No. 100)					
75 μ m (No. 200)	10.7	25.5	1.1	2.5	97.5
Pasa 75 μ m	974.9	1,000.3	97.5	100.0	0.0
Σ =	1,000.3				

LÍMITES DE ATTERBERG (ASTM D2487)							
Recipiente No.	Número de golpes	Masa del recipiente + suelo húmedo	Masa del recipiente + suelo seco	Masa del recipiente	Masa del agua	Masa del suelo seco	Contenido de agua W %
CONTENIDO DE AGUA (ASTM D2216)							
1076 A		540.35	409.58	72.87	130.78	336.71	38.84
1063 A		538.51	406.54	61.27	131.96	345.27	38.22
						promedio	38.53
LÍMITE LÍQUIDO							
240	12	71.13	41.44	7.24	29.69	34.20	86.81
688	18	71.29	43.04	9.76	28.25	33.28	84.87
167	29	64.58	39.53	9.20	25.05	30.33	82.59
477	37	64.62	39.32	8.25	25.30	31.07	81.43
502	49	64.48	39.66	8.66	24.82	31.00	80.08
LÍMITE PLÁSTICO							
1003		36.08	30.97	8.41	5.11	22.56	22.65
756		35.53	30.60	9.78	4.93	20.82	23.69
						promedio	23.17

CLASIFICACIÓN (ASTM D2487)

SUCS = **CH**

LÍMITES DE ATTERBERG	Porcentajes	
	W	38.5 %
	WL	83 %
	WP	23 %
IP	60	

DESCRIPCIÓN

ARCILLA INORGANICA DE MUY ALTA PLASTICIDAD COLOR GRIS OSCURO



VERIFICACION DE ALTURA DE CAIDA DE COPA (1cm)

UTILIZACION DE PLACA DE ROLADO:

VIDRIO

MARMOL

Revisión de formato: 03



PERFORACIÓN MÉTODO S.P.T.

SOLICITADO POR : ING. DANIEL ELIAS SIGÜENZA RIVERA	F. Inicio: diciembre 14, 2021	Perforación : 3	P. Martillo: 140 Libs
PROYECTO : COLECTOR AA.SS. METROPOLIS Y CIUDAD DEL RIO	F. Fin : diciembre 14, 2021	Hoja : 1 de 1	Caida : 0.70 m
LOCALIZACIÓN : PARTERRE CENTRAL - FRENTE A PLAZA TÍA EL MAESTRO - COORD. GPS (N 9771569 , E 621259)	FISCALIZA : ING. NESTOR CHRIBOGA (INTERAGUA)		N. Fractura

MUESTRA Nº	DESCRIPCION	PERFIL	N.F.	Prof. (m)	Cota	*N° SPT					Nº DE GOLPES SPT (kg/cm2)	HUMEDADES %					LÍMITES DE ATTERBERG				γ	GRANULOMETRIA Porcentaje que pasa acumulado			SUCS		
						0	30	100	150	200		W %	WL %	WP %	LP	U _c	U ₄ %	U ₄₀ %	U ₂₀₀ %								
1	Acra Partore			0.00	6.450																						
				-0.70	6.360																						
2	Arena Fina Arcillosa Color Café Claro Con Grava Condic. Mediana, Suelta			1.05	5.400					21					8.1	25	15	10	1.84	91.2	37.3	20.5				SC	
3	Arena Meda Arcillo Lámnea Color Café Oscuro Con Poca Grava Condic. Muy Densa			3.00	4.450					90					6.6	22	17	5	1.80	82.9	49.5	23.0				SC - SH	
4	Grava (Petroplén)			2.90	3.550					47																	
5	Arcillo De Plasticidad Baja Color Café Oscuro Con Arena Meda Constit. Dura			3.80	2.650					18					20.6	31	14	17	1.71	100.0	78.0	61.9				CL	
6	Arcillo Inorganico De Alta Plasticidad Color Gris Ducuro Y Con Poca Arena Meda Constit. Dura			5.00	1.450					20					30.5	70	23	47	1.73	100.0	96.4	83.6				CH	
	Fin del Sonda																										



CONSTRULADESA
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

Solicitado por : ING. DANIEL SIGÜENZA
 Proyecto : COLECTOR AA.SS. METROPOLIS Y CIUDAD DEL RIO
 Obra : CALIFICACION DE MATERIAL
 Localización : PARTERRE CENTRAL - FRENTE A PLAZA TÍA EL MAESTRO - COORD. GPS (N 9771569 , E 621259)
 Profundidad : -0.09 m a -1.05 m

Fiscaliza : ING. NESTOR CHIRIBOGA (INTERAGUA)
 Temp. Ambiente : 24.9C Muestra : 2
 Fecha : 14-dic-2021 Perforación : 3

GRANULOMETRÍA (ASTM D422)					
TAMIZ INEN (ASTM)	Masa retenida parcial	Masa retenida acumulada	% Masa Retenida	% Masa Retenida Acumulada	% que pasa
75 mm (3")					
50 mm (2")					
37,5 mm (1.1/2")					
25,0 mm (1")					
19,0 mm (3/4")	166.0	166.0	16.9	16.9	83.1
12,5 mm (1/2")					
9,5 mm (3/8")	125.4	291.4	12.8	29.7	70.3
4,75 mm (No. 4)	89.8	381.2	9.1	38.8	61.2
Pasa 4,75 mm					
E =					
4,75 mm (No. 4)					
2,36 mm (No. 8)					
2 mm (No. 10)	82.6	463.8	8.4	47.2	52.8
1,18 mm (No. 16)					
850 µ m (No. 20)					
600 µ m (No. 30)					
425 µ m (No. 40)	151.8	615.6	15.4	62.7	37.3
300 µ m (No. 50)					
250 µ m (No. 60)					
150 µ m (No. 100)					
75 µ m (No. 200)	166.0	781.6	16.9	79.5	20.5
Pasa 75 µ m	201.0	982.6	20.5	100.0	0.0
Σ =	982.6				

LÍMITES DE ATTERBERG (ASTM D2487)							
Recipiente No.	Número de golpes	Masa del recipiente + suelo húmedo	Masa del recipiente + suelo seco	Masa del recipiente	Masa del agua	Masa del suelo seco	Contenido de agua W %
CONTENIDO DE AGUA (ASTM D2216)							
1034 A		466.71	432.80	58.04	33.92	374.75	9.05
619 A		432.42	407.69	65.70	24.73	342.00	7.23
						promedio	8.14
LÍMITE LÍQUIDO							
277	12	48.23	39.02	8.19	9.21	30.84	29.86
227	19	47.26	38.95	8.17	8.31	30.78	27.01
729	30	50.12	42.17	9.27	7.95	32.90	24.17
534	40	49.21	41.83	8.84	7.38	32.99	22.38
405	49	46.29	39.58	7.78	6.72	31.80	21.12
LÍMITE PLÁSTICO							
423		36.43	32.79	8.39	3.65	24.39	14.95
767		35.17	31.84	9.45	3.33	22.39	14.89
						promedio	14.92

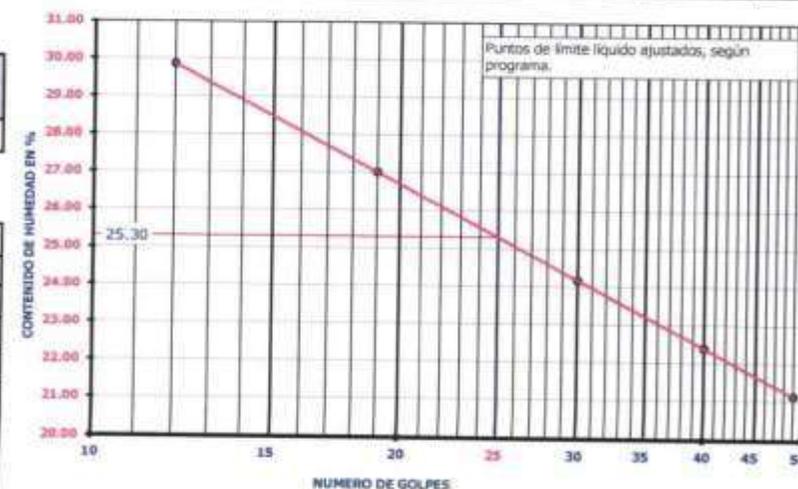
CLASIFICACIÓN (ASTM D2487)

SUCS = SC

LÍMITES DE ATTERBERG	W	8.1	%
	WL	25	%
	WP	15	%
	IP	10	

DESCRIPCIÓN

ARENA FINA ARCILLOSA COLOR CAFÉ CLARO CON GRAVA



VERIFICACION DE ALTURA DE CAIDA DE COPA (1cm)

UTILIZACION DE PLACA DE ROLADO: VIDRIO MARMOL

Revisión de formato: 03
Fecha: 02/01/18



CONSTRULADESA
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

Solicitado por : **ING. DANIEL SIGÜENZA**
 Proyecto : **COLECTOR AA.SS. METRÓPOLIS Y CIUDAD DEL RIO**
 Obra : **CALIFICACION DE MATERIAL**
 Localización : **PARTERRE CENTRAL - FRENTE A PLAZA TIA EL MAESTRO - COORD. GPS (N. 9771569 , E. 621299)**
 Profundidad : **-1.05 m.a -2.00 m**

Fiscaliza : **ING. NESTOR CHIRIBOGA (INTERAGUA)**
 Temp. Ambiente : **24 °C** Muestra : **3**
 Fecha : **14-dic-2021** Perforación : **1**

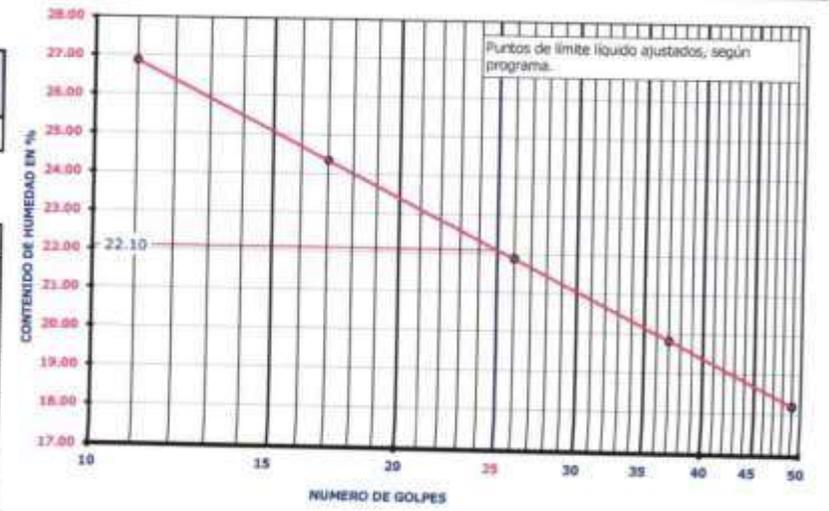
GRANULOMETRÍA (ASTM D422)					
TAMIZ INEN (ASTM)	Masa retenida parcial	Masa retenida acumulada	% Masa Retenida	% Masa Retenida Acumulada	% que pasa
75 mm (3")					
50 mm (2")					
37,5 mm (1 1/2")					
25,0 mm (1")					
19,0 mm (3/4")	0.0				100.0
12,5 mm (1/2")					
9,5 mm (3/8")	111.9	111.9	11.0	11.0	89.0
4,75 mm (No. 4)	61.8	173.7	6.1	17.1	82.9
Pasa 4,75 mm					
E =					
4,75 mm (No. 4)					
2,36 mm (No. 8)					
2 mm (No. 10)	89.6	263.3	8.8	25.9	74.1
1,18 mm (No. 16)					
850 µ m (No. 20)					
600 µ m (No. 30)					
425 µ m (No. 40)	249.4	512.7	24.6	50.5	49.5
300 µ m (No. 50)					
250 µ m (No. 60)					
150 µ m (No. 100)					
75 µ m (No. 200)	249.1	761.8	24.5	75.0	25.0
Pasa 75 µ m	254.0	1,015.9	25.0	100.0	0.0
Σ =	1,015.9				

LÍMITES DE ATTERBERG (ASTM D2487)							
Recipiente No.	Número de golpes	Masa del recipiente + suelo húmedo	Masa del recipiente + suelo seco	Masa del recipiente	Masa del agua	Masa del suelo seco	Contenido de agua W %
CONTENIDO DE AGUA (ASTM D2216)							
544 A		375.64	355.48	70.40	20.16	285.09	7.07
443 A		388.72	370.32	71.23	18.39	299.09	6.15
						promedio	6.61
LÍMITE LÍQUIDO							
940	11	52.13	42.67	7.44	9.46	35.22	26.87
907	17	48.43	40.69	8.91	7.74	31.78	24.34
901	26	48.54	41.45	9.00	7.10	32.45	21.87
944	37	45.05	39.11	9.10	5.95	30.01	19.82
271	49	47.74	41.71	8.54	6.03	33.17	18.19
LÍMITE PLÁSTICO							
35		33.39	29.85	8.25	3.55	21.60	16.42
914		34.93	31.11	9.01	3.83	22.10	17.32
						promedio	16.87

CLASIFICACIÓN (ASTM D2487)
 SUCS = **SC - SM**

Porcentajes			LÍMITES DE ATTERBERG
Grava =	17.1	%	
Arena media =	57.9	%	
Finos =	25.0	%	
W	6.6	%	
WL	22	%	
WP	17	%	
IP	5		

DESCRIPCIÓN
 ARENA MEDIA ARCILLO LIMOSA COLOR CAFÉ OSCURO CON POCa GRAVA



VERIFICACION DE ALTURA DE CAIDA DE COPA (1cm)
 UTILIZACION DE PLACA DE ROLADO: VIDRIO MARNOL



CONSTRULADESA
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

Solicitado por : **ING. DANIEL SIGÜENZA**
 Proyecto : **COLECTOR AA.SS. METROPOLIS Y CIUDAD DEL RIO**
 Obra : **CALIFICACION DE MATERIAL**
 Localización : **PARTERRE CENTRAL - FRENTE A PLAZA TÍA EL MAESTRO - COORD. GPS (N.9771569 , E.621259)**
 Profundidad : **-2.90 m a -3.80 m**

Fiscaliza : **ING. NESTOR CHIRIBOGA (INTERAGUA)**
 Temp. Ambiente : **24 °C** Muestra : **5**
 Fecha : **14-dic-2021** Perforación : **1**

GRANULOMETRÍA (ASTM D422)					
TAMIZ INEN (ASTM)	Masa retenida parcial	Masa retenida acumulada	% Masa Retenida	% Masa Retenida Acumulada	% que pasa
75 mm (3")					
50 mm (2")					
37,5 mm (1 1/2")					
25,0 mm (1")					
19,0 mm (3/4")	0.0				100.0
12,5 mm (1/2")					
9,5 mm (3/8")	0.0				100.0
4,75 mm (No. 4)	0.0				100.0
Pasa 4,75 mm					
ε =					
4,75 mm (No. 4)					
2,36 mm (No. 8)					
2 mm (No. 10)	35.8	35.8	3.6	3.6	96.4
1,18 mm (No. 16)					
850 μm (No. 20)					
600 μm (No. 30)					
425 μm (No. 40)	174.9	210.7	17.6	21.2	78.8
300 μm (No. 50)					
250 μm (No. 60)					
150 μm (No. 100)					
75 μm (No. 200)	168.3	379.0	16.9	38.1	61.9
Pasa 75 μm	616.0	995.0	61.9	100.0	0.0
Σ =	995.0				

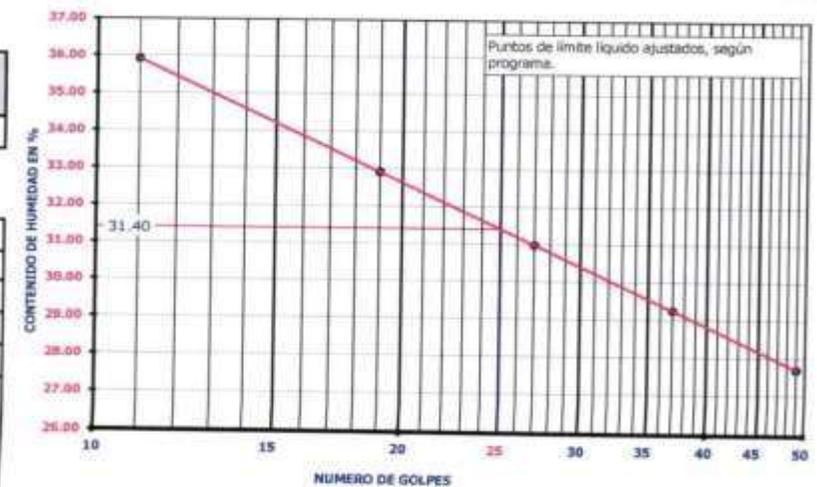
LÍMITES DE ATTERBERG (ASTM D2487)							
Recipiente No.	Número de golpes	Masa del recipiente + suelo húmedo	Masa del recipiente + suelo seco	Masa del recipiente	Masa del agua	Masa del suelo seco	Contenido de agua W %
CONTENIDO DE AGUA (ASTM D2216)							
955 A		485.44	413.48	68.48	71.97	344.99	20.86
803 A		457.19	388.68	52.80	68.52	335.88	20.40
						promedio	20.63
LÍMITE LÍQUIDO							
819	11	51.88	40.35	8.23	11.54	32.12	35.92
1047	19	54.22	43.07	9.18	11.15	33.88	32.91
84	27	51.10	41.06	8.67	10.03	32.39	30.98
21	37	50.88	41.28	8.45	9.60	32.83	29.24
1027	49	48.97	40.18	8.45	8.79	31.73	27.70
LÍMITE PLÁSTICO							
667		34.82	31.75	9.41	3.07	22.35	13.74
228		33.42	30.37	8.02	3.05	22.36	13.64
						promedio	13.69

CLASIFICACIÓN (ASTM D2487)
 SUCS = **CL**

Porcentajes	
Grava =	0.0 %
Arena media =	38.1 %
Finos =	61.9 %

LÍMITES DE ATTERBERG	W	20.6 %
WL	31	%
WP	14	%
IP	17	

DESCRIPCIÓN
 ARCILLA DE PLASTICIDAD BAJA COLOR CAFÉ OSCURO CON ARENA MEDIA



VERIFICACION DE ALTURA DE CAIDA DE COPA (1cm)
 UTILIZACION DE PLACA DE ROLADO: VIDRIO MARMOL

Revisión de formato: 03
 Fecha: 03/04/20



Solicitado por : ING. DANIEL SIGÜENZA
 Proyecto : COLECTOR AA.SS. METROPOLIS Y CIUDAD DEL RIO
 Obra : CALIFICACION DE MATERIAL
 Localización : PARTERRE CENTRAL - FRENTE A PLAZA TÍA EL MAESTRO - COORD. GPS (N 9771569 , E 621259)
 Profundidad : -3.80 m a -5.00 m

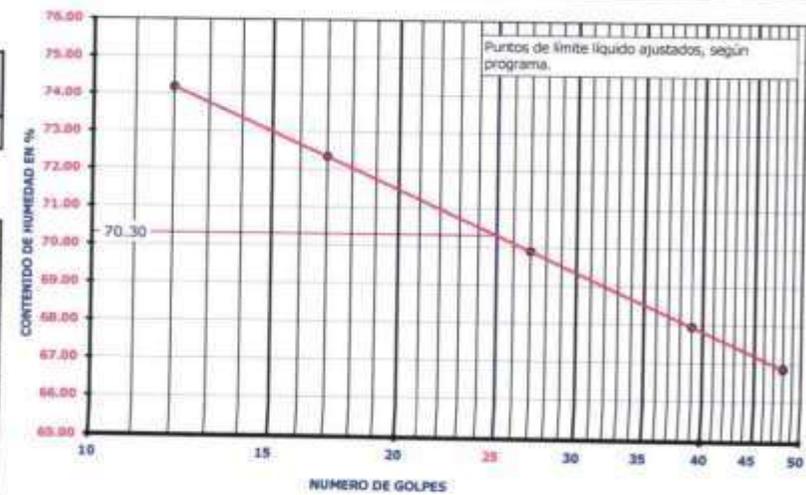
Fiscaliza : ING. NESTOR CHIRIBOGA (INTERAGUA)
 Temp. Ambiente : 24 °C Muestra : 6
 Fecha : 14 dic. 2021 Perforación : 3

GRANULOMETRÍA (ASTM D422)					
TAMIZ INEN (ASTM)	Masa retenida parcial	Masa retenida acumulada	% Masa Retenida	% Masa Retenida Acumulada	% que pasa
75 mm (3")					
50 mm (2")					
37,5 mm (1 1/2")					
25,0 mm (1")					
19,0 mm (3/4")	0.0				100.0
12,5 mm (1/2")					
9,5 mm (3/8")	0.0				100.0
4,75 mm (No. 4)	0.0				100.0
Pasa 4,75 mm					
Σ =					
4,75 mm (No. 4)					
2,36 mm (No. 8)					
2 mm (No. 10)	0.0				100.0
1,18 mm (No. 16)					
850 μ m (No. 20)					
600 μ m (No. 30)					
425 μ m (No. 40)	35.7	35.7	3.6	3.6	96.4
300 μ m (No. 50)					
250 μ m (No. 60)					
150 μ m (No. 100)					
75 μ m (No. 200)	28.6	64.3	2.8	6.4	93.6
Pasa 75 μ m	940.0	1,004.2	93.6	100.0	0.0
Σ =		1,004.2			

LÍMITES DE ATTERBERG (ASTM D2487)							
Recipiente No.	Número de golpes	Masa del recipiente + suelo húmedo	Masa del recipiente + suelo seco	Masa del recipiente	Masa del agua	Masa del suelo seco	Contenido de agua W %
CONTENIDO DE AGUA (ASTM D2216)							
458 A		527.38	421.20	78.25	106.18	342.96	30.96
717 A		525.53	418.96	64.91	106.57	354.06	30.10
						promedio	30.53
LÍMITE LÍQUIDO							
801	12	65.25	41.28	8.96	23.98	32.32	74.18
225	17	63.03	40.29	8.86	22.74	31.43	72.34
393	27	61.11	39.50	8.59	21.61	30.91	69.89
1060	39	64.92	42.03	8.35	22.89	33.68	67.95
118	48	62.21	40.13	7.10	22.08	33.03	66.85
LÍMITE PLÁSTICO							
774		38.51	33.22	8.95	5.28	24.27	21.77
304		35.49	30.37	8.69	5.11	21.68	23.57
						promedio	22.67

CLASIFICACIÓN (ASTM D2487)
 SUCS = CH

Porcentajes			LÍMITES DE ATTERBERG
Grava =	0.0	%	
Arena media =	6.4	%	
Finos =	93.6	%	
DESCRIPCIÓN			
ARCILLA INORGANICA DE ALTA PLASTICIDAD COLOR GRIS OSCURO Y CON POCA ARENA MEDIA			



VERIFICACION DE ALTURA DE CAIDA DE COPA (1cm)
 UTILIZACION DE PLACA DE ROLADO: VIDRIO MARNOL



CONSTRULADESA
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

Solicitado por : **ING. DANIEL SIGÜENZA**
 Proyecto : **COLECTOR AA.SS. METROPOLIS Y CIUDAD DEL RIO**
 Obra : **CALIFICACION DE MATERIAL**
 Localización : **EMPRESA JUNTO A PLAZA TIA EL MAESTRO - COORD. GPS (N 9771602 , E 621259)**
 Profundidad : **0.00 m a -1.00 m**

Fiscaliza : **ING. NESTOR CHIRIBOGA (INTERAGUA)**
 Temp. Ambiente : **24 °C** Muestra : **1**
 Fecha : **13-dic-2021** Perforación : **4**

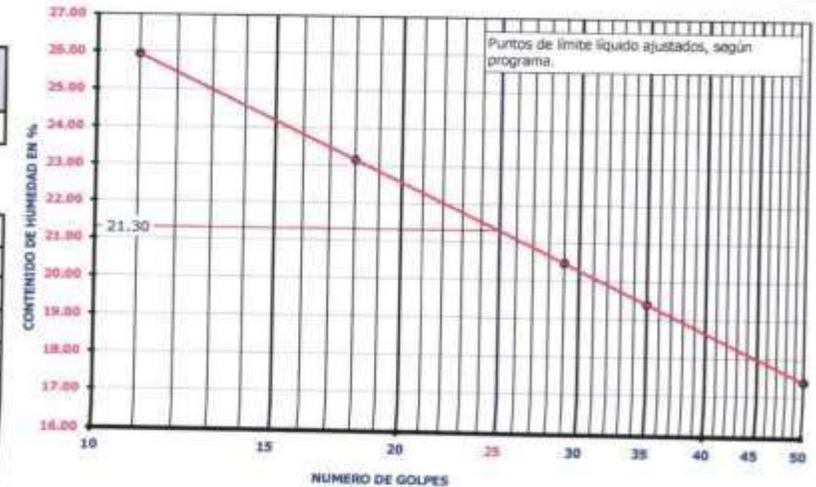
GRANULOMETRÍA (ASTM D422)					
TAMIZ INEN (ASTM)	Masa retenida parcial	Masa retenida acumulada	% Masa Retenida	% Masa Retenida Acumulada	% que pasa
75 mm (3")					
50 mm (2")					
37,5 mm (1 1/2")					
25,0 mm (1")					
19,0 mm (3/4")	45.4	45.4	4.5	4.5	95.5
12,5 mm (1/2")					
9,5 mm (3/8")	109.2	154.6	10.9	15.5	84.5
4,75 mm (No. 4)	78.7	233.3	7.9	23.4	76.6
Pasa 4,75 mm					
E =					
4,75 mm (No. 4)					
2,36 mm (No. 8)					
2 mm (No. 10)	74.2	307.4	7.4	30.8	69.2
1,18 mm (No. 16)					
850 µ m (No. 20)					
600 µ m (No. 30)					
425 µ m (No. 40)	201.8	509.3	20.2	51.1	48.9
300 µ m (No. 50)					
250 µ m (No. 60)					
150 µ m (No. 100)					
75 µ m (No. 200)	228.0	737.3	22.9	73.9	26.1
Pasa 75 µ m	260.2	997.4	26.1	100.0	0.0
Σ =	997.4				

LÍMITES DE ATTERBERG (ASTM D2487)							
Recipiente No.	Número de golpes	Masa del recipiente + suelo húmedo	Masa del recipiente + suelo seco	Masa del recipiente	Masa del agua	Masa del suelo seco	Contenido de agua W %
CONTENIDO DE AGUA (ASTM D2216)							
807 A		403.91	378.95	50.93	24.96	328.02	7.61
740 A		410.18	386.20	59.03	23.98	327.17	7.33
						promedio	7.47
LÍMITE LÍQUIDO							
872	11	50.49	42.01	9.30	8.48	32.70	25.94
569	18	47.31	39.95	8.14	7.36	31.80	23.16
158	29	45.23	39.02	8.71	6.20	30.32	20.46
596	35	48.48	42.04	8.86	6.44	33.18	19.40
727	50	45.16	39.71	8.34	5.45	31.37	17.38
LÍMITE PLÁSTICO							
1008		35.33	32.05	9.04	3.28	23.01	14.25
55		33.76	30.27	7.67	3.50	22.60	15.47
						promedio	14.86

CLASIFICACIÓN (ASTM D2487)

SUCS = **SC - SM**

Porcentajes		LÍMITES DE ATTERBERG		
Grava =	23.4 %		W	7.5 %
Arena fina =	50.5 %		WL	21 %
Finos =	26.1 %		WP	15 %
		IP	6	
DESCRIPCIÓN				
ARENA FINA ARCILLO LIMOSA COLOR CAFÉ CLARO CON GRAVA				



VERIFICACION DE ALTURA DE CAIDA DE COPA (1cm)
 UTILIZACION DE PLACA DE ROLADO: VIDRIO MARMOL

Revisión de formato: 03



CONSTRULADESA
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

Solicitado por : ING. DANIEL SIGUENZA
 Proyecto : COLECTOR AA-SS, METROPOLIS Y CIUDAD DEL RIO
 Obra : CALIFICACION DE MATERIAL
 Localización : EMPRESA JUNTO A PLAYA TÍA EL MAESTRO - COORD. GPS (N 9771602, E 621259)
 Profundidad : -1.00 m a -2.00 m

Fiscaliza : ING. NESTOR CHIRIBOGA (INTERAGUA)
 Temp. Ambiente : 24 °C Muestra : 2
 Fecha : 13-dic-2021 Perforación : 4

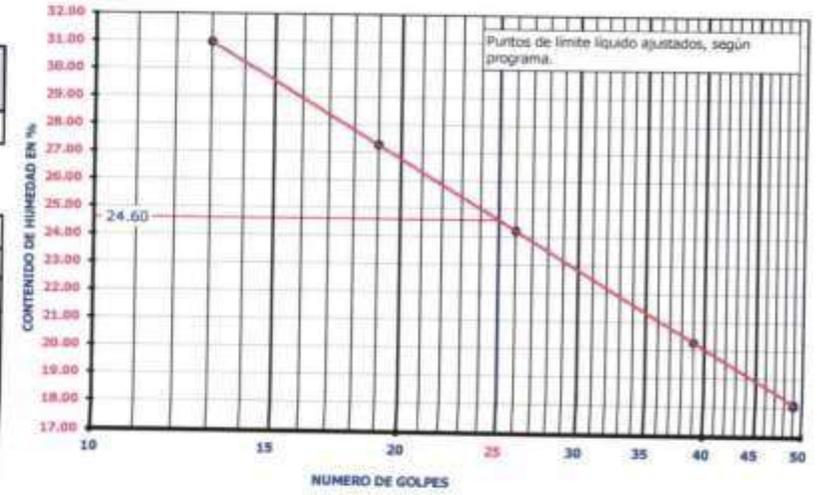
GRANULOMETRÍA (ASTM D422)					
TAMIZ INEN (ASTM)	Masa retenida parcial	Masa retenida acumulada	% Masa Retenida	% Masa Retenida Acumulada	% que pasa
75 mm (3")					
50 mm (2")					
37,5 mm (1 1/2")					
25,0 mm (1")					
19,0 mm (3/4")	149.2	149.2	15.0	15.0	85.0
12,5 mm (1/2")					
9,5 mm (3/8")	153.9	303.2	15.5	30.4	69.6
4,75 mm (No. 4)	106.1	409.2	10.6	41.1	58.9
Pasa 4,75 mm					
Σ =					
4,75 mm (No. 4)					
2,36 mm (No. 8)					
2 mm (No. 10)	100.4	509.6	10.1	51.2	48.8
1,18 mm (No. 16)					
850 μ m (No. 20)					
600 μ m (No. 30)					
425 μ m (No. 40)	184.3	693.9	18.5	69.7	30.3
300 μ m (No. 50)					
250 μ m (No. 60)					
150 μ m (No. 100)					
75 μ m (No. 200)	115.2	809.1	11.6	81.2	18.8
Pasa 75 μ m	186.9	996.1	18.8	100.0	0.0
Σ =	996.1				

LÍMITES DE ATTERBERG (ASTM D2487)							
Recipiente No.	Número de golpes	Masa del recipiente + suelo húmedo	Masa del recipiente + suelo seco	Masa del recipiente	Masa del agua	Masa del suelo seco	Contenido de agua W %
CONTENIDO DE AGUA (ASTM D2216)							
209 A		424.52	391.96	47.07	32.56	344.89	9.44
418 A		401.05	376.29	67.59	24.76	308.70	8.02
						promedio	8.73
LÍMITE LÍQUIDO							
962	13	53.96	43.23	8.59	10.73	34.64	30.96
348	19	50.75	41.82	9.08	8.93	32.75	27.27
372	26	48.91	41.15	9.10	7.76	32.05	24.22
989	39	49.21	42.30	8.25	6.90	34.05	20.28
490	49	48.11	41.87	7.31	6.24	34.56	18.06
LÍMITE PLÁSTICO							
772		36.25	32.90	9.26	3.35	23.64	14.17
328		33.69	30.45	8.05	3.25	22.40	14.49
						promedio	14.33

CLASIFICACIÓN (ASTM D2487)
 SUCS = GC

Porcentajes		LÍMITES DE ATTERBERG	W	8.7 %
Grava =	41.1 %		WL	25 %
Arena media =	40.1 %		WP	14 %
Finos =	18.8 %		IP	11

DESCRIPCIÓN
 GRAVA ARCILLOSA COLOR CAFÉ CLARO CON ARENA MEDIA



VERIFICACION DE ALTURA DE CAIDA DE COPA (Lcm)
 UTILIZACION DE PLACA DE ROLADO: VIDRIO MARMOL

Revisión de formato: 03



CONSTRULADESA
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

Solicitado por : ING. DANIEL SIGÜENZA

Proyecto : COLECTOR AA.SS. METROPOLIS Y CIUDAD DEL RIO

Obra : CALIFICACION DE MATERIAL

Localización : EMPRESA JUNTO A PLAZA TIA EL MAESTRO - COORD. GPS (N 9771602 , E 621259)

Profundidad : -2.00 m @ -3.00 m

Fiscaliza : ING. NESTOR CHIRIBOGA (INTIRAGUA)

Temp. Ambiente : 24.2°C

Muestra : 3

Fecha : 13-dic-2021

Perforación : 4

GRANULOMETRÍA (ASTM D422)					
TAMIZ INEN (ASTM)	Masa retenida parcial	Masa retenida acumulada	% Masa Retenida	% Masa Retenida Acumulada	% que pasa
75 mm (3")					
50 mm (2")					
37,5 mm (1 1/2")					
25,0 mm (1")					
19,0 mm (3/4")	211.8	211.8	21.2	21.2	78.8
12,5 mm (1/2")					
9,5 mm (3/8")	57.7	269.5	5.8	27.0	73.0
4,75 mm (No. 4)	76.4	345.9	7.7	34.6	65.4
Pasa 4,75 mm					
Σ =					
4,75 mm (No. 4)					
2,36 mm (No. 8)					
2 mm (No. 10)	89.3	435.2	8.9	43.6	56.4
1,18 mm (No. 16)					
850 μ m (No. 20)					
600 μ m (No. 30)					
425 μ m (No. 40)	177.5	612.7	17.8	61.4	38.6
300 μ m (No. 50)					
250 μ m (No. 60)					
150 μ m (No. 100)					
75 μ m (No. 200)	154.8	767.5	15.5	76.9	23.1
Pasa 75 μ m	230.9	998.4	23.1	100.0	0.0
Σ =	998.4				

LÍMITES DE ATTERBERG (ASTM D2487)							
Recipiente No.	Número de golpes	Masa del recipiente + suelo húmedo	Masa del recipiente + suelo seco	Masa del recipiente	Masa del agua	Masa del suelo seco	Contenido de agua W %
CONTENIDO DE AGUA (ASTM D2216)							
53 A		386.01	367.27	49.77	18.73	317.50	5.90
956 A		334.69	315.35	60.88	19.34	254.47	7.60
						promedio	6.75
LÍMITE LÍQUIDO							
321	13	51.63	41.79	8.56	9.84	33.23	29.61
794	19	47.06	38.88	9.04	8.18	29.84	27.40
462	26	51.00	42.33	8.41	8.67	33.92	25.57
558	38	46.82	39.63	8.86	7.19	30.77	23.36
933	47	46.15	39.21	7.86	6.94	31.35	22.12
LÍMITE PLÁSTICO							
1077		36.31	32.69	8.47	3.61	24.23	14.92
837		37.09	33.93	10.25	3.16	23.68	13.36
						promedio	14.14

CLASIFICACIÓN (ASTM D2487)

SUCS = **SC**

LÍMITES DE ATTERBERG

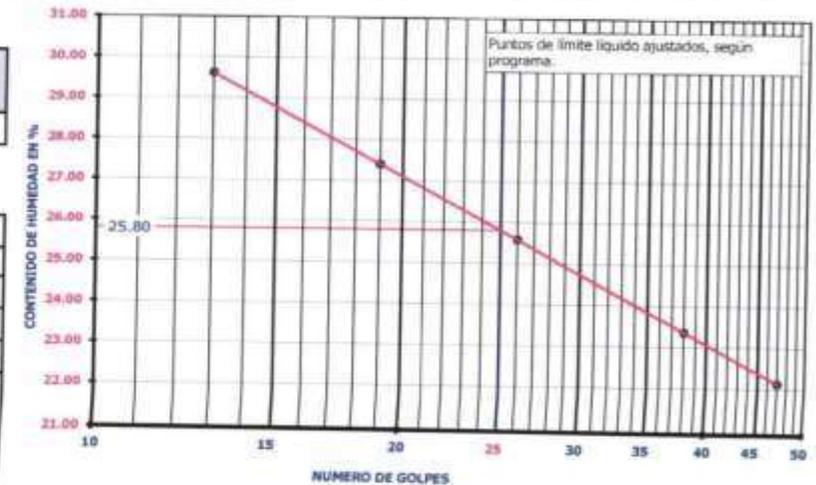
W	6.7	%
WL	26	%
WP	14	%
IP	12	

DESCRIPCIÓN

ARENA MEDIA ARCILLOSA COLOR CAFÉ CLARO CON GRAVA

VERIFICACION DE ALTURA DE CAIDA DE COPA (1cm)

UTILIZACION DE PLACA DE ROLADO: VIDRIO MARMOL



Revisión de formato: 03



CONSTRULADESA
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

Solicitado por : **ING. DANIEL SIGUENZA**
 Proyecto : **COLECTOR AA-SS, METROPOLIS Y CIUDAD DEL RIO**
 Obra : **CALIFICACION DE MATERIAL**
 Localización : **EMPRESA JUNTO A PLAZA TIA EL MAESTRO - COORD. GPS (N 9771602, E 621259)**
 Profundidad : **-3.00 m @ -3.85 m**

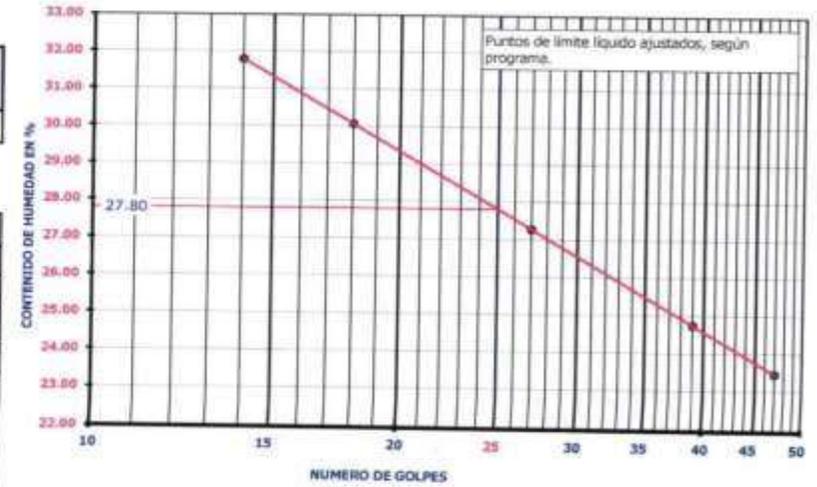
Fiscaliza : **ING. NESTOR CHIRIBOGA (INTERAGUA)**
 Temp. Ambiente : **24 °C** Muestra : **4**
 Fecha : **13-dic-2021** Perforación : **4**

GRANULOMETRÍA (ASTM D422)					
TAMIZ INEN (ASTM)	Masa retenida parcial	Masa retenida acumulada	% Masa Retenida	% Masa Retenida Acumulada	% que pasa
75 mm (3")					
50 mm (2")					
37,5 mm (1 1/2")					
25,0 mm (1")					
19,0 mm (3/4")	161.0	161.0	16.0	16.0	84.0
12,5 mm (1/2")					
9,5 mm (3/8")	134.1	295.0	13.3	29.3	70.7
4,75 mm (No. 4)	147.2	442.2	14.6	43.9	56.1
Pasa 4,75 mm					
Σ =					
4,75 mm (No. 4)					
2,36 mm (No. 8)					
2 mm (No. 10)	122.9	565.1	12.2	56.1	43.9
1,18 mm (No. 16)					
850 μm (No. 20)					
600 μm (No. 30)					
425 μm (No. 40)	155.2	720.3	15.4	71.6	28.4
300 μm (No. 50)					
250 μm (No. 60)					
150 μm (No. 100)					
75 μm (No. 200)	101.8	822.1	10.1	81.7	18.3
Pasa 75 μm	184.6	1,006.7	18.3	100.0	0.0
Σ =	1,006.7				

LÍMITES DE ATTERBERG (ASTM D2487)							
Recipiente No.	Número de golpes	Masa del recipiente + suelo húmedo	Masa del recipiente + suelo seco	Masa del recipiente	Masa del agua	Masa del suelo seco	Contenido de agua W %
CONTENIDO DE AGUA (ASTM D2216)							
446 A		435.32	400.88	69.07	34.44	331.61	10.38
768 A		414.32	386.44	69.62	27.68	316.82	8.80
						promedio	9.59
LÍMITE LÍQUIDO							
1075	14	52.04	41.70	9.19	10.33	32.51	31.79
353	18	51.60	41.56	8.18	10.03	33.38	30.06
813	27	48.16	39.90	9.59	8.27	30.31	27.27
974	39	47.95	40.23	9.03	7.72	31.21	24.74
104	47	47.68	40.26	8.62	7.42	31.64	23.46
LÍMITE PLÁSTICO							
24		36.32	32.54	8.66	3.78	23.88	15.83
1045		32.95	29.90	8.73	3.06	21.17	14.45
						promedio	15.14

CLASIFICACIÓN (ASTM D2487)
 SUCS = **GC**

Porcentajes		LÍMITES DE ATTERBERG
Grava =	43.9 %	
Arena media =	37.7 %	
Finos =	18.3 %	
DESCRIPCIÓN		
GRAVA ARCILLOSA COLOR CAFÉ CLARO CON ARENA MEDIA		



VERIFICACION DE ALTURA DE CAIDA DE COPA (1cm)
 UTILIZACION DE PLACA DE ROLADO: VIDRIO MARMOL

Revisión de formato: 03



CONSTRULADESA
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

Solicitado por : ING. DANIEL SIGÜENZA
 Proyecto : COLECTOR AA-SS. METROPOLIS Y CIUDAD DEL RIO
 Obra : CALIFICACION DE MATERIAL
 Localización : EMPRESA JUNTO A PLAZA TIA EL MAESTRO - COORD. GPS (N 9771602 , E 621259)
 Profundidad : 3,85 m a -5,00 m

Fiscaliza : ING. NESTOR CHIRIBOGA (INTERAGUA)
 Temp. Ambiente : 24 °C Muestra : 5
 Fecha : 13-dic-2021 Perforación : 4

GRANULOMETRÍA (ASTM D422)					
TAMIZ INEN (ASTM)	Masa retenida parcial	Masa retenida acumulada	% Masa Retenida	% Masa Retenida Acumulada	% que pasa
75 mm (3")					
50 mm (2")					
37,5 mm (1 1/2")					
25,0 mm (1")					
19,0 mm (3/4")	0.0				100.0
12,5 mm (1/2")					
9,5 mm (3/8")	0.0				100.0
4,75 mm (No. 4)	0.0				100.0
Pasa 4,75 mm					
Σ =					
4,75 mm (No. 4)					
2,36 mm (No. 8)					
2 mm (No. 10)	25.8	25.8	2.6	2.6	97.4
1,18 mm (No. 16)					
850 μ m (No. 20)					
600 μ m (No. 30)					
425 μ m (No. 40)	23.5	49.3	2.3	4.9	95.1
300 μ m (No. 50)					
250 μ m (No. 60)					
150 μ m (No. 100)					
75 μ m (No. 200)	13.4	62.7	1.3	6.3	93.7
Pasa 75 μ m	938.6	1,001.3	93.7	100.0	0.0
Σ =	1,001.3				

LÍMITES DE ATTERBERG (ASTM D2487)							
Recipiente No.	Número de golpes	Masa del recipiente + suelo húmedo	Masa del recipiente + suelo seco	Masa del recipiente	Masa del agua	Masa del suelo seco	Contenido de agua W %
CONTENIDO DE AGUA (ASTM D2216)							
490 A		495.01	378.91	57.84	116.10	321.07	36.16
165 A		443.35	338.74	59.63	104.61	279.11	37.48
						promedio	36.82
LÍMITE LÍQUIDO							
56	13	59.46	39.18	9.47	20.29	29.70	68.29
924	20	60.69	40.15	9.01	20.53	31.15	65.93
609	30	61.31	40.83	8.67	20.48	32.16	63.70
576	38	59.51	39.82	8.28	19.68	31.54	62.40
215	47	57.51	39.10	9.04	18.41	30.06	61.23
LÍMITE PLÁSTICO							
354		35.18	30.41	8.71	4.77	21.70	21.96
49		34.95	30.28	8.33	4.67	21.95	21.30
						promedio	21.63

CLASIFICACIÓN (ASTM D2487)
 SUCS = CH

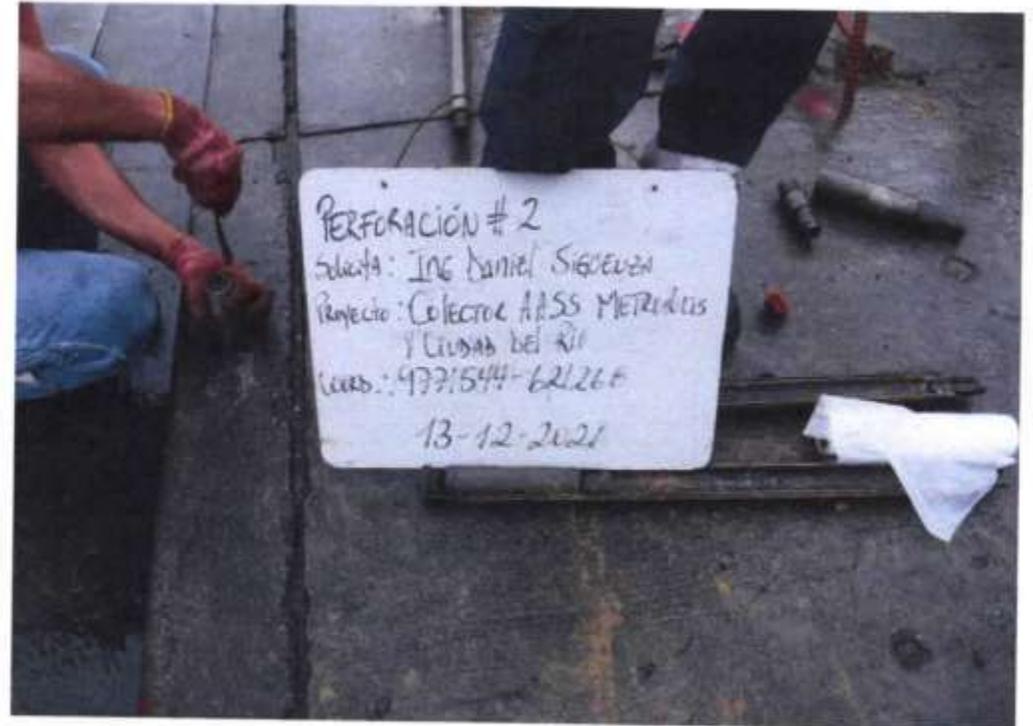
Porcentajes			LÍMITES DE ATTERBERG	W	36.8	%
Grava =	0.0	%				
Arena gruesa =	6.3	%				
Finos =	93.7	%				
DESCRIPCIÓN			WL	65	%	
ARCILLA INÓRGANICA DE ALTA PLASTICIDAD COLOR GRIS OSCURO Y CON Poca ARENA GRUESA			WP	22	%	
			IP	43		



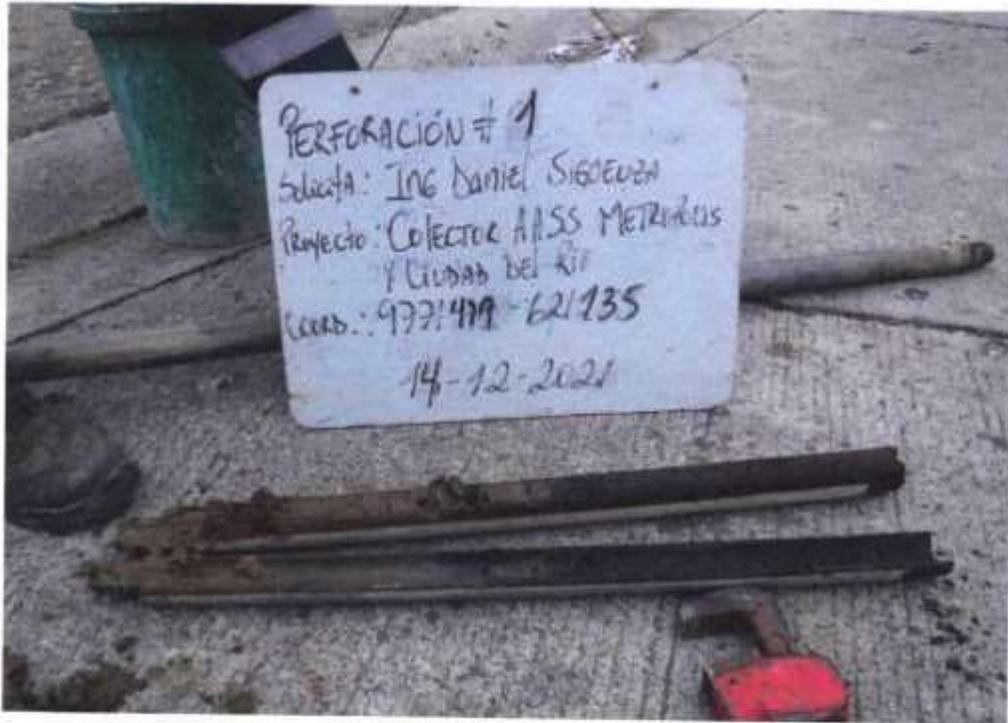
VERIFICACION DE ALTURA DE CAIDA DE COPA (1cm)
 UTILIZACION DE PLACA DE ROLADO: VIDRIO MARMOL

FOTOS









DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Stay Medina, David Fernando**, con C.C: #0920425808 autor del trabajo de titulación: **ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE CARGA DEL SUELO ARCILLOSO DE GUAYAQUIL EN ESTADO SATURADO DEBIDO AL PROCESO DE CARGA Y DESCARGA DURANTE UN EVENTO SÍSMICO** previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, **09 de marzo de 2022**

f.



Nombre: **Stay Medina, David Fernando**

C.C: **0920425808**

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN			
TEMA Y SUBTEMA:	ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE CARGA DEL SUELO ARCILLOSO DE GUAYAQUIL EN ESTADO SATURADO DEBIDO AL PROCESO DE CARGA Y DESCARGA DURANTE UN EVENTO SÍSMICO		
AUTOR(ES)	David Fernando Stay Medina		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Daniel Boanerges De La Pared Condo		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Ingeniería		
CARRERA:	Ingeniería Civil		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero Civil		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	21 de febrero de 2022	No. PÁGINAS:	DE 160
ÁREAS TEMÁTICAS:	Ingeniería Civil, Ingeniería Sísmica, Ingeniería Geotécnica.		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	SISMO, CIMENTACIONES, CARGAS CÍCLICAS, MEANDROS, ESTUARIOS, DEPOSITOS ALUVIALES		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):			
<p>Siendo Guayaquil una ciudad en desarrollo por los puertos, debido a su ubicación el subsuelo se basa en depósitos de naturaleza aluvial, pertenecientes a una formación deltaico estuarina de características muy particulares. El intenso desarrollo urbano se produce por la dinámica del puerto se ha visto en la necesidad de cimentarse sobre el suelo deltaico. Debido a esta condición resulta necesario que los procesos de diseños y constructivos consideren asentamiento, así como bajas capacidades de carga del suelo de cimentación.</p> <p>La costa ecuatoriana forma parte del cinturón de fuego del Pacífico por lo que se considera una zona tectónicamente activa; así como, la presencia de fallas de corteza y su comportamiento activo configuran una alta peligrosidad sísmica por lo que se considera toda la ciudad de Guayaquil en una zona de actividad sísmica alta.</p> <p>De esta manera la excitación de la estructura por un efecto sísmico del medio es un evento que cuenta con una alta probabilidad de ocurrencia durante la vida útil de las edificaciones, por lo que el efecto que se produce por los eventos sísmicos en depósitos de suelo finos en estado saturado debe de ser estudiado a profundidad con la consideración de que dicho evento producirá un estado de carga y descarga cíclica sobre los cimientos.</p>			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-968622027	E-mail: nandostay@gmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Clara Glas Cevallos		
	Teléfono: +593-4 -2206956		
	E-mail: clara.glas@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			