UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
TRABAJO DE GRADO

RESPUESTA AL CORTE DE ARENAS LIMOSAS CON ALTO CONFINAMIENTO ALREDEDOR DE LA CARA DE PILOTES COSTA AFUERA

Presentado ante la Universidad Católica Andrés Bello
Como parte de los requisitos para optar por el título de
INGENIERO CIVIL

Tesistas:

TORRES FOUQUET, Andrés A.

DE LAS CASAS SÁNCHEZ, Víctor M.

Tutor:

Ing. Heriberto Echezuría

Caracas, octubre de 2018

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

RESPUESTA AL CORTE DE ARENAS LIMOSAS CON ALTO CONFINAMIENTO ALREDEDOR DE LA CARA DE PILOTES COSTA AFUERA

Este jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo ha evaluado su contenido con el resultado: Veinte (20) puntos

.....

JURADO EXAMINADOR

Ing. Pedro Carrillo.

Ing. Roque García.

TUTOR

Ing. Heriberto Echezuría.

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
Montalban

REALIZADO POR:

Andrés Antonio Torres Fouquet.

Víctor Manuel De Las Casas Sánchez

PROFESOR GUÍA:

Ing. Heriberto Echezuría.

Octubre de 2018.

Scanned by CamScanner

A mis padres,

Víctor

A mi familia, y mis amigos.

Andrés

AGRADECIMIENTOS

A Dios,
A mi madre, por su apoyo incondicional y guía en todo momento.
A mi padre, por haberme ayudado a estudiar.
A mi hermano, por su constante aliento e ímpetu en momentos difíciles.
A todos mis tíos y abuelos que constantemente me dan aliento.
A nuestro tutor Heriberto Echezuría por su paciencia y amistad.
A nuestro amigo Yonathán González, quien nos ayudó a hacer los ensayos.
A GeoHidra Consultores C.A y al Ing. José Parra por permitirnos usar sus equipos, proveernos del material para nuestros ensayos y brindarnos en todo momento de su asesoría técnica.
A mi jefe y amigo DACH por su paciencia y comprensión.
A Laura, por su apoyo y cariño a lo largo de toda la carrera.

Victor

AGRADECIMIENTOS

A Dios
A mi madre y abuelos por siempre apoyarme y darme sus consejos.
A mi padre por creer en mí siempre.
A mis profesores por los consejos y ánimos
A nuestro tutor Heriberto Echezuría por su apoyo y enseñanzas.
A nuestro amigo Yonathán González, el cual siempre nos apoyó y nos ayudó en la realización de esta TG, mediante la realización de los ensayos.
A GeoHidra Consultores C.A por permitirnos usar sus equipos, proveernos del material para nuestros ensayos y brindarnos en todo momento de su asesoría técnica.
A Ing. José Parra, por darnos la oportunidad de trabajar en la empresa GeoHidra.
Al jefe de laboratorio y trabajadores de GeoHidra, por todo el conocimiento y apoyo en la realización de este TG.
A los Ing. de BRS Ingenieros C.A por su apoyo y motivación durante la realización de la TG.

Andrés

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS……IV
ÍNDICE GENERAL……..VI
ÍNDICE DE TABLAS, FIGURAS Y GRÁFICOS……...……..…...VIII
LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS……..…....IX
INTRODUCCIÓN……15
I. EL PROBLEMA……...…...…21
1.1 Planteamiento del problema……...…21
1.2 Antecedentes……...……21
1.3 Objetivos de la investigación……..……23
1.3.1 Objetivo general……..…..…23
1.3.2 Objetivos específicos……..……23
1.4 Alcance y limitación……...……..……..24
II. MARCO TEÓRICO……..……25
2.1 Definición de Suelo……..…..25
2.2 Criterio de Falla Mohr-Coulomb……..25
2.3 Trayectoria de Esfuerzos……...…..26
2.4 Presión de tierra en reposo……..27
2.5 Línea de Corte Máximo y Línea de Falla para Estado Residual en arenas saturadas bajo condición no drenada……28
2.6 Ángulo de fricción máximo ($\emptyset'$) y ángulo de fricción bajo altura constante ($\emptyset'_{us}$)……30
2.7 Resistencia al corte drenada y no drenada……..……32
2.8 Comportamiento de arenas saturadas con contenido de finos no plásticos, ante cargas monotónicas……33
2.9 Proceso de cargo de una plataforma Jacket……41
III. MARCO METODOLÓGICO…….....……..…44
3.1 Introducción.....44
3.2 Tipo de Investigación.....44
3.3 Muestras.....44
3.3.1 Muestra de arena limosa (16% de finos).....44

3.3.2 Muestra de arena limpia (0% de finos).....45
3.4 Ensayos experimentales a realizar.....47
3.5 Preparación de las muestras (DSS).....47
3.5.1 Arena limosa.....47
3.5.2 Arena limpia.....47
3.6 Descripción Ensayo de Corte Simple (DSS), Monotónico……....48
3.7 Conceptualización del modelo…….51
3.8 Validación del modelo…….....……57
IV. ANÁLISIS DE RESULTADO……..……68
4.1 Etapa de consolidación ensayos de Corte Directo Simple (DSS)....68
4.2 Ensayos de Corte Directo Simple (DSS) en arena limosa.....70
4.2.1 Arena limosa (w=1%) bajo altura constante.....70
4.2.2 Arena limosa (w=0%) bajo altura constante.....76
4.2.3 Arena limosa (w=1%) bajo esfuerzo constante.....80
4.3 Ensayos de Corte Directo Simple (DSS) en arena limpia……..84
4.4 Determinación LER inalterada representativa del sitio.....90
4.5 Respuesta in situ de la arena limosa ante cargar monotónicas y cíclicas.....96
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES……...……...101
BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA……..……..……103
ANEXOS……..……..105

ÍNDICE DE TABLAS, FIGURAS, GRÁFICOS Y ANEXOS

Tablas

Tabla 1. (Sup), (Suss) y (e) para ensayos de Ishihara & Verdugo (1993)…….....41

Tabla 2. Datos de relaciones de vacíos; q y p', obtenidos a distintos confinamientos y métodos de preparación de las muestras....……61

Tabla 3. Parámetros iniciales de ensayos realizados con arena limosa a altura constante……..…….....…70

Tabla 4. Parámetros de la muestra de arena limosa al alcanzar la resistencia residual……..…73

Tabla 5. Ángulos de fricción correspondiente a los ensayos de DSS realizados en la modalidad de altura constante para la arena con contenido de limos…….....…..74

Tabla 6. Parámetros iniciales de las muestras ensayadas a altura constante con confinamiento de 15 kg/cm2…….....……...……76

Tabla 7. Parámetros iniciales de ensayos realizados con arena limosa a esfuerzo constante…….....80

Tabla 8. Parámetros iniciales de las muestras de arena limpia, ensayadas a altura constante…….……84

Tabla 9. Parámetros de las muestras ensayas de arena limpia a altura constante al alcanzar su resistencia residual…….....…87

Tabla 10. Parámetros de en la resistencia pico para la muestra ensayadas a altura constante con confinamiento de 15 kg/cm2…….....….94

Figuras

Figura 1. Campos de Pokoch e Ichalke, Golfo de México…….....…16
Figura 2. Esquema plataforma tipo "Jacket"…..…….....……...…….....17
Figura 3. LER inalterada y remoldeada de arena limosas……..….....18
Figura 4. Perfil idealizado del pilote dentro del subsuelo marino…….....….....…19
Figura 5. Círculo de Mohr en la falla…….....26
Figura 6. Representación de estados de esfuerzos en el Diagrama p-q….....…27
Figura 7. Línea de Corte Máximo en el diagrama p-q…….....28
Figura 8. Representación de la Línea α_{us}y la Línea K_f…….....….29
Figura 9. Influencia de la angulosidad y granulometría sobre el ángulo de fricción …….....31
Figura 10. Comportamiento de Esfuerzos y Presión de Poros bajo condición drenado…….....…32
Figura 11. Gráficos condición no drenada…….....33
Figura 12. Comportamiento arenas de acuerdo a su posición en la LER…….....34
Figura 13. Gráfico Trayectoria de Esfuerzos de Arena Contractiva…….....35
Figura 14. Gráfico Trayectoria de Esfuerzos de Arena Dilatante……..….....36
Figura 15. Gráfico Trayectoria de Esfuerzos de Arena Parcialmente Contractiva.....37
Figura 16. Estudio con arenas de Toyoura (e= 0.907 y Dr= 18.5%)…….....…38
Figura 17. Estudio con arenas de Toyoura (e= 0.833 y Dr= 37.9%)…….....…...39
Figura 18. Estudio con arenas de Toyoura. (e = 0.735 y Dr= 63.7%)…….....….40
Figura 19. Estados de esfuerzos generados por las cargas de una plataforma tipo "Jacket"…….....…42
Figura 20. Condiciones generadas en el suelo al hincar los pilotes de una plataforma petrolera…….....43
Figura 21. Muestra 21B de arena limosa de la Perforación PG-POK2…….....….....45
Figura 22. Curva Granulométrica de la muestra PG-POK2- 21B…….....46
Figura 23. Aparato de corte simple directo (DSS) GEOJAC…….....48
Figura 24. Esquema del equipo del DSS…….....….49
Figura 25. Montaje de muestra en el equipo (DSS)…….....…50
Figura 26. Gráfico de compatibilidad entre propiedades índice de los suelos.....51
Figura 27. Comparación LER para arenas con distinto contenido de limo...….....53
Figura 28. Curvas de Consolidación…….....….....54
Figura 29. Modelo Tridimensional de Echezuría…….....…….....55
Figura 30. Integración del Eje (γ) en el Modelo de Echezuría (2018)…….....56

Figura 31. LER paralelas entre sí de muestras a distintos métodos de preparación de las muestras en el plano e vs p'……...…….....60
Figura 32. Envolventes de fallas para Tía Juana y Lagunillas……..….....…....63
Figura 33. LER INAL y LER REM muestras Tía Juana con 30,5% de finos a 28 m de profundidad……...…….....…63
Figura 34. LER INAL y LER REM muestras Lagunilla con 29% de finos a 42 m de profundidad…….....……...64

Gráficos

Gráfico 1. Planos q-p', q-e, y e-p'. Ensayos Arena de Ishihara y Verdugo…….....58
Gráfico 2. Planos q-p', q-e, y e-p'. (Escala Semilog) Ensayos Ishihara &Verdugo...…59
Gráfico 3. Modelo de Echezuría para ensayos de Sitharam, Govinda & Srinivasa (2004)……...62
Gráfico 4. Comportamiento arena limosa inalterada y reconstituida Lagunillas, Venezuela……..…...…..66
Gráfico 5. Comportamiento arena limosa, para suelos inalterados y reconstituidos en Tía Juana, Venezuela……..……..……..67
Gráfico 6. Curva de consolidación para muestras de arena limosa a altura constante ……...….....69
Gráfico 7. Curvas Esfuerzo de Corte vs. Deformación, para σ'_v = 2,5; 10; 18 y 20kg/cm^2……..……..……71
Gráfico 8. Gráfico Esfuerzo de Corte Norm. vs. Esfuerzo Vertical Norm. para muestra de arena limosa a esfuerzo constante…….……72
Gráfico 9. Exceso de presión de poros inducido en el corte vs. Deformación……...72
Gráfico 10. Línea de falla estado residual aproximada para la obtención de [Ø^ us]….73
Gráfico 11. Aplicación del Modelo de Echezuría (2018) a la muestra de arena limosa bajo altura constante……..……..75
Gráfico 12. Esfuerzo de Corte vs. Deformación, para arena limosa a σ'v =15kg/cm....76
Gráfico 13. Esfuerzo de Corte Norm. vs. Esfuerzo Vertical Norm., para arena limosa a σ'v = 15kg/cm2…….....77
Gráfico 14. Exceso de Presión de Poros vs. Deformación, para arena limosa a σ'v = 15kg/cm2……77
Gráfico 15. Comportamiento Arena Limosa (w=1%) y Arena Limosa (w=0%)……..…79
Gráfica 16. Gráfico Esfuerzo de Corte Norm. vs. Esfuerzo Vertical Norm. para muestra de arena limosa a esfuerzo constante…….81
Gráfica 17. Gráfico Esfuerzo de Corte vs. Deformación para muestra de arena limosa a esfuerzo constante……..……81
Gráfica 18. Exceso de presión de poros inducido en el corte vs. Deformación…….82
Gráfica 19. Aplicación del Modelo de Echezuría a los ensayos realizados….....83
Gráfico 20. Curva de Esfuerzo de Corte Norm. Vs. Esfuerzo Vertical Norm. para arena limpia bajo altura constante……85

Grafico 21. Curvas Esfuerzo de Corte vs Deformación de arena limpia bajo altura constante…….……..86
Gráfico 22. Exceso de Presión de Poros vs. Deformación de arena limpia bajo altura constante…….....86
Gráfico 23. Comportamiento Arena Limpia……...……..…88
Gráfico 24. Comportamiento Arena Limosa (w=1%) y Arena Limpia……..……89
Gráfico 25. Curvas de consolidación y líneas de estado residuales, para la muestra de arena limosa…….....……93
Grafico 26. Representación de la LER inalterada…….....……..95
Gráfico 27. Condición Geostatica de la muestra in situ……..97
Gráfico 28. Respuesta al corte in situ ante los efectos de cargas monotónicas, condición Nro.1…….……...97
Gráfico 29. Respuesta al corte in situ ante los efectos de cargas monotónicas, condición Nro.2……..…...98
Gráfico 30. Respuesta al corte in situ ante los efectos de cargas monotónicas……..100
Gráfico 31. Respuesta al corte in situ ante los efectos de cargas cíclicas……..…101

Anexos

Anexo 1. Tabla de Resultados Ensayo de Corte Simple (DSS) a Altura Constante. Para σ'v = 2,5 kg/cm2 (245,27KPa) / σ'v = 18 kg/cm2 / (1765,92KPa)…….....106
Anexo 2. Tabla de Resultados Ensayo de Corte Simple (DSS) a Altura Constante. Para σ'v = 10 kg/cm2 / σ'v = 20 kg/cm2 /…….....107
Anexo 3. Tabla del Ensayo de Corte Simple (DSS) a Arena limosa σ'v (Condición no drenada) al generar el corte, confinado a 2,5 kg/cm2…….....108
Anexo 4. Tabla del Ensayo de Corte Simple (DSS) a Arena limosa con σ'v (Condición no drenada) al generar el corte, confinado a 10 kg/cm2…….....109
Anexo 5. Tabla del Ensayo de Corte Simple (DSS) a Arena limosa con σ'v (Condición no drenada) al generar el corte, confinado a 15 kg/cm2…….....110
Anexo 6. Tabla del Ensayo de Corte Simple (DSS) a Arena limosa σ'v (Condición no drenada) al generar el corte, confinado a 18 kg/cm2…….....….111
Anexo 7. Tabla del Ensayo de Corte Simple (DSS) a Arena Limosa σ'v (Condición no drenada) al generar el corte, confinado a 20 kg/cm2…….....112
Anexo 8. Tabla del Ensayo de Corte Simple (DSS) a Arena Limpia σ'v (Condición no drenada) al generar el corte, confinado a 2,5 kg/cm2…….....113

Anexo 9. Tabla del Ensayo de Corte Simple (DSS) a Arena Limpia σ'v (Condición no drenada) al generar el corte, confinado a 10 kg/cm2…….....114
Anexo 10. Tabla del Ensayo de Corte Simple (DSS) a Arena Limpia σ'v (Condición no drenada) al generar el corte, confinado a 18 kg/cm2Anexo 2. ….....115

LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

Cc Coeficiente de curvatura
Cu Coeficiente de uniformidad
D_{10} Diámetro promedio del 10% del material más fino
D_{30} Diámetro promedio del 30% del material más fino
D_{50} Diámetro promedio de los granos
D_{60} Diámetro promedio del 60% del material más fino
Dr Densidad relativa
e Relación de vacíos
e^c Relación de vacíos después de la consolidación
e□ Relación de vacíos inicial
e_{max} Relación de vacíos máxima
e_{min} Relación de vacíos mínima
F Porcentaje de finos
G_s Gravedad específica de las partículas de los sólidos
ho Altura total de la muestra a compactar
ho' Altura total de la muestra después de la consolidación
p' Esfuerzos efectivos promedios
q Resistencia al corte
τ Esfuerzo Cortante
u Presión de poros
Δu Variación de presiones al cortar la muestra a volumen constante
u_{acum} Presión de poros acumulada
S_u Resistencia al corte no drenado
S_{up} Resistencia pico al corte no drenado
S_{uss} Resistencia residual al corte no drenado
V_a Volumen de aire

V_o Volumen de la muestra inicial

V_o' Volumen de la muestra inicial después de la consolidación

V_s Volumen de las partículas secas

V_w Volumen de agua

V_v Volumen de vacíos

W_c Porcentaje de humedad después de la consolidación

W_f Porcentaje de humedad final

W_m Peso húmedo de la muestra

W_o Porcentaje de humedad inicial

W_s Porcentaje de humedad después de la saturación

W Peso del material seco

Φ Ángulo efectivo de fricción interna

γ_d Densidad seca

γ_h Densidad húmeda

γ_{ho} Densidad húmeda inicial

σ_1 Esfuerzo efectivo principal mayor

σ_3 Esfuerzo efectivo principal menor

σ'_v Esfuerzo efectivo de consolidación

σ'_{vf} Esfuerzo efectivo de consolidación en la falla

INTRODUCCIÓN

La pérdida de la resistencia al corte del suelo es un fenómeno importante que se debe evitar al momento de diseñar cualquier obra civil. Esto ha conllevado a muchos investigadores a lo largo de los años a proponer métodos para predecir dicho comportamiento, entre ellos, el asesor para este Trabajo de Grado (TG), el profesor Heriberto Echezuría.

Echezuría ha venido desarrollando un nuevo modelo tridimensional unificado de los parámetros del suelo que permite correlacionar entre sí a la resistencia al corte **(τ)**, la relación de vacíos **(e)**, la presión de confinamiento **(σ'_v)** y el peso unitario **(γ_t)**. En este Trabajo de Grado (TG) se evalúa, mediante ese modelo, el comportamiento de arenas limosas altamente confinadas sometidas a esfuerzos cortantes en condiciones no drenadas.

Para tal fin se ensayan varias muestras de la arena limosa a diferentes relaciones de vacíos y presiones de confinamiento. Los ensayos son de corte simple monotónicos a altura constante. De esta manera se evalúa la respuesta al corte no drenado a distintos niveles de confinamiento.

Adicionalmente, se ejecuta un ensayo de consolidación para compararlo con las etapas de consolidación de los distintos ensayos de corte. De esta manera se busca comparar los procesos de cambio de volumen para diferentes estructuras iniciales de la arena con las cargas de confinamiento.

Por otro lado, se realizan ensayos de corte simple para muestras de arena limpia. Esto se hace con el propósito de comparar los resultados obtenidos para las arenas limosas, por cuanto en la literatura consultada se establece que las características no drenadas de ambas muestras son diferentes. Esto constituye otro objetivo de la TG.

Todos los ensayos se realizan con equipos especializados de la empresa venezolana GeoHidra Consultores, C.A., la cual también aportó la arena y la aplicación técnico-potencial de los resultados de este TG.

Ambas arenas ensayadas fueron extraídas a una profundidad de más de 100 metros por debajo del subsuelo marino en el Golfo de México, utilizando un tubo tipo Shelby para dicha perforación. En el recuadro rojo de la Figura 1, se señala la ubicación de los Campos Pokoch e Ichalke de donde proceden dichas muestras de suelo.

Figura 1. Campos de Pokoch e Ichalke, Golfo de México.

Fuente: Gobierno de México (2018)

El [6] Modelo Echezuría (2018) permite estudiar la respuesta al corte del suelo ante el proceso de carga de una plataforma petrolera tipo “Jacket” con pilotes, tal como se muestra en la Figura 2. Este comportamiento revela la capacidad portante real de los pilotes durante estos procesos de carga durante la construcción, lo cual es el objetivo principal de este TG. Asimismo, se hace una evaluación cualitativa, muy general, de lo que podrían ser los efectos de las acciones sísmicas y cíclicas.

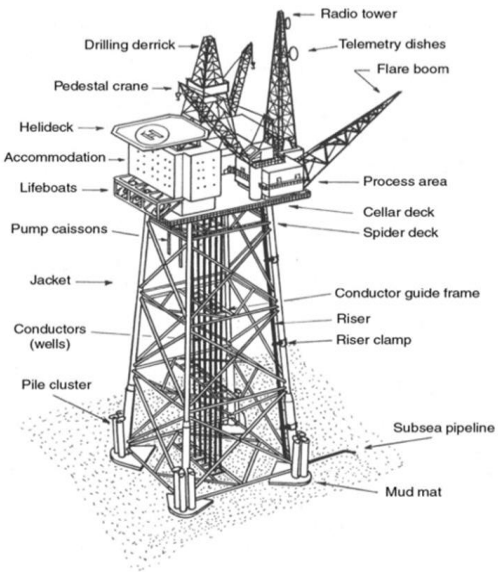


Figura 2. Esquema plataforma tipo "Jacket"
Fuente: Society of Petroleum Engineers (2018)

La metodología para ejecutar el análisis en este TG consiste en los siguientes aspectos: en primer lugar, se halla la línea de estados residuales (LER) de los dos tipos de arena utilizando relaciones de vacíos **(*e*)** y confinamientos **(σ'_v)** diferentes en cada ensayo; se verifica si las LER para distintas estructuras iniciales de la arena limosa son idénticas, tal como sucede con el ángulo de fricción; igualmente, se estudia cuáles aspectos relacionados con el contenido de humedad inicial y la forma de colocación de las muestras influyen en la estructura inicial de la arena [3] (Cantillo & Marhec, 2013).

Se conoce que las arenas limpias con la misma angularidad y granulometría tienen una única LER, independientemente de la estructura inicial del suelo. Contrariamente, para arenas limosas con igual angularidad y granulometría, pero con distintas estructuras iniciales del suelo, la LER no coincide en una sola, sino que son dos LER paralelas ubicadas a distintas relaciones de vacíos, tal como se aprecia en la Figura 3 [9] (Ishihara, 1993), [7] (Miguel Ángel González, 1994), [12] (Kramer, 1996).

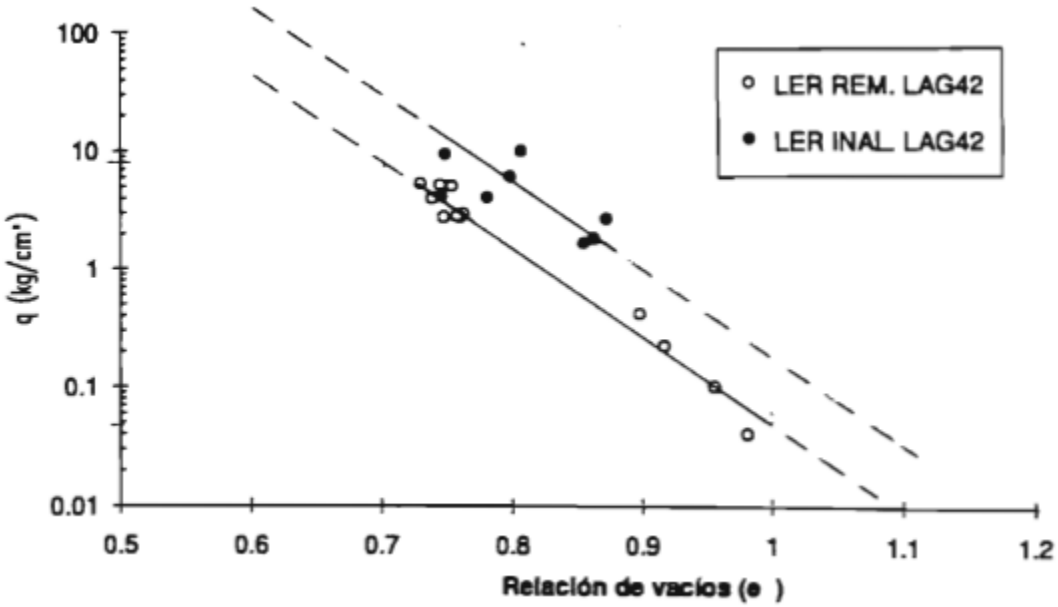


Figura 3. LER inalterada y remoldeada de arena limosas. Lagunillas, Venezuela.
Fuente: Miguel Ángel González (1994)

Por otro lado, la Figura 4 muestra un perfil del subsuelo marino donde se aprecian los niveles de confinamiento presentes a lo largo del pilote, que, debido a su longitud, estos varían según su posición respecto a la superficie del fondo. El confinamiento **(p_2)** podría ser suficiente para generar un comportamiento contractivo en la arena, con lo cual se pierde su resistencia al corte si el incremento de esfuerzos es suficiente para que se alcance la resistencia residual. En la zona con menor confinamiento **(p_1)**, la trayectoria de esfuerzos podría indicar un comportamiento parcialmente contractivo donde se alcanza la línea de transformación de fase (LTF) con un valor cercano a la resistencia residual. Esto induce, en la trayectoria de esfuerzos, un ascenso por la envolvente de falla hasta el punto máximo de corte, lo cual se explicará más adelante con más detalle.

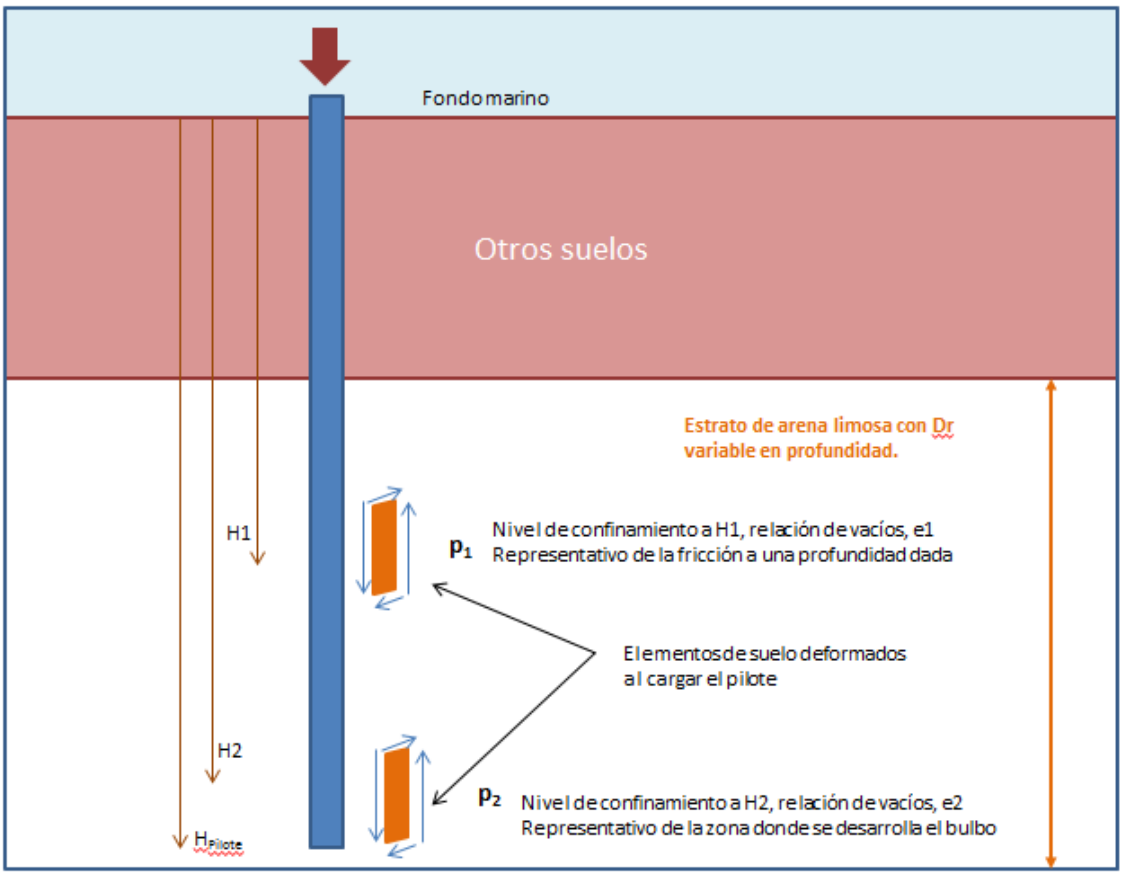


Figura 4. Perfil idealizado del pilote dentro del subsuelo marino.
Fuente: Heriberto Echezuría (2018)

Ahora bien, los ensayos triaxiales realizados por [7] González (1994) indican que dicho ascenso no es indefinido, sino que el mismo ocurre hasta que la arena alcanza el corte máximo que puede soportar a la relación de vacíos considerada. Una vez alcanzado dicho corte máximo, la trayectoria de esfuerzos de la arena desciende hasta alcanzar su resistencia residual.

Por ende, es importante establecer si el proceso de carga de la plataforma puede simular un ensayo de corte simple en las inmediaciones de la arena alrededor del pilote. Por otro lado, se evalúa cuál es el nivel de carga requerido para alcanzar la resistencia residual de las arenas contractivas, parcialmente contractivas y dilatantes a fin de compararlo con las cargas inducidas alrededor del pilote anteriormente mencionado.

Adicionalmente, se compara la resistencia al corte obtenido en los ensayos y los valores estimados mediante el [6] Modelo Echezuría (2018). Estos valores se podrán utilizar en el cálculo de la capacidad del pilote, mas no está en el alcance de este TG realizar el cálculo de la capacidad de dicho pilote.

Finalmente, conocido el estado de esfuerzos en torno al pilote, se hace una estimación cualitativa de las amplitudes de las cargas cíclicas o sísmicas necesarias para alcanzar la envolvente de falla.

I. EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

La licuación ocurre cuando una arena saturada pierde su resistencia al corte debido al resultado de cargas monotónicas o cíclicas que actúan sobre ella. Al momento de cargar una plataforma petrolera con todos sus equipos, el suelo alrededor de los pilotes se encuentra sometido a cortes muy altos. Este corte puede ser suficientemente elevado como para licuar el suelo.

Por consiguiente, se presenta el [6] Modelo Echezuría (2018), una solución diseñada por el Ing. Heriberto Echezuría que permite predecir el comportamiento de la resistencia al corte no drenado de los suelos, conocidos ciertos parámetros iniciales del suelo. En este modelo se evalúa si el proceso de carga de una plataforma petrolera tipo "Jacket" generará esfuerzos cortantes capaces de inducir licuación en el suelo próximo a los pilotes donde se encuentra hincado.

1.2 Antecedentes

Entre los diferentes estudios que sostienen la investigación, se mencionan algunos que evalúan el comportamiento de arenas limosas por medio de diferentes ensayos.

- **González Mireles, Miguel Ángel (1994)**

Tutor: Heriberto Echezuría. Presentó su trabajo de grado titulado "Comportamiento de Arenas y Limos No Plásticos sometidos a cargas en condiciones no drenadas" ante la Universidad Simón Bolívar.

Determinó la resistencia residual no drenada de arenas sueltas y limos. Se evaluó el desarrollo de la presión de poros durante el proceso de carga, donde, por medio de ensayos triaxiales, se determinaron ambas, la línea de

estados residuales y la línea de resistencia pico para cada material estudiado. Para cada ensayo se obtuvo la resistencia al corte no drenado, tanto pico como residual. Se demostró que las líneas de estados residuales de arenas limosas a diferentes relaciones de vacíos son paralelas, pero cambian significativamente su posición con las de mayor relación de vacíos en la parte superior. Estas líneas de estados residuales decrecen con el confinamiento.

- **Govinda Raju, L.; Srinivasa Murthy, B.R. ; Sitharam, T.G. (2004)**

Presentaron su trabajo titulado *"Cyclic and monotonic undrained shear response of silty sand from Bhuj region in India"* ante el Instituto Indio de Ciencia.

Estudiaron la respuesta de arenas limosas de la Región de Bhuj en India ante el corte cíclico y monotónico en condición no drenada. Se basaron en pruebas limitadas para evaluar el asentamiento generado posterior a la licuefacción, e ilustraron que la magnitud de las tensiones posteriores a la licuefacción se rige por la amplitud de la tensión de corte aplicada durante la prueba cíclica. Se evidencia también que las líneas de estados residuales de arenas con distintos contenidos de limos son paralelas entre sí, y su posición relativa depende del confinamiento y de la relación de vacíos.

- **Cho, Gye-Chun; Dodds, Jake; Santamarina, J. Carlos (2006)**

Presentaron su trabajo titulado en inglés *"Particle Shape Effects on Packing Density, Stiffness, and Strength: Natural and Crushed Sands"* ante el Journal of Geotechnical and Geoenvironmental engineering (ASCE).

Confirmaron que un incremento en la angularidad o excentricidad de las partículas de arena produce un aumento en las relaciones de vacíos "e_{max}" y "e_{min}". Determinaron que la disminución en la regularidad de la partícula de arena conlleva no solo a la disminución de la redondez conduciendo al aumento en las proporciones de vacíos extremas e_{max} y e_{min}, sino que también aumenta la compresibilidad bajo carga de esfuerzo lateral cero, el ángulo de fricción a volumen constante y la intersección de línea de estado crítico.

Concluyeron que la forma de un suelo, especialmente en caso de las arenas, es un factor determinante que influye sobre el comportamiento del mismo, ya que la irregularidad de una partícula está asociada con mecanismos que producen respuestas a una escala mayor.

- **Biscontin, Giovanna; Cola, Simonetta; Pestana, Juan M.; Simonini, Paolo (2007)**

Presentaron su trabajo titulado en inglés *"Unified Compression Model for Venice Lagoon Natural Silts"* ante el Journal of Geotechnical and Geoenvironmental engineering (ASCE).

En este trabajo se evidencia que las curvas de consolidación de muestras preparadas a distintas relaciones de vacíos de un mismo material tienden a juntarse a presiones altas. La curva virgen puede ser establecida extrapolando la sección recta de dichas curvas hasta alcanzar la presión a la cual tendrían una presión de una atmósfera.

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Evaluar el comportamiento de arenas limosas con alto confinamiento alrededor de pilotes costa afuera mediante los ensayos de corte simple.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Determinar las curvas de estados residuales de dos arenas con diferente contenido de limo.

2. Evaluar la respuesta al corte contractivo, parcialmente contractiva, o dilatante de las muestras de arenas limosas en distintos niveles de confinamiento.

3. Verificar la aplicabilidad del “Modelo de Echezuría” para predecir las condiciones y respuestas de los suelos granulares en condiciones no drenadas.

1.4 Alcance y limitación

1.3.1 Alcance

El alcance del TEG es verificar la aplicabilidad teórica del modelo a través de comprobaciones realizadas mediante ensayos de corte directo simple (DSS) en suelos granulares.

1.3.1 Limitación

En este TEG se limitan los ensayos a muestras de suelo granular correspondiente a un estrato de suelo específico de una perforación realizada en los Campos Pokoch e Ichalke en el Golfo de México. Los ensayos serán únicamente ensayos monotónicos y no cíclicos, ya que no se contemplan los efectos de un sismo o del viento en la estructura de la plataforma petrolera; sin embargo, se evalúa un análisis cualitativo de la acción de las cargas cíclicas y sísmicas alrededor de la envolvente de falla.

El análisis de los resultados se limita únicamente a obtener el valor de la resistencia al corte requerido para el cálculo de la capacidad de los pilotes, más no se calcula dicha capacidad.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Definición de Suelo

El suelo se define como el agregado no cementado compuesto por granos minerales unidos entre sí por fuerzas de baja intensidad [2] (Braja Das, 2014).

2.2 Criterio de Falla de Mohr-Coulomb

Mohr formuló una teoría para la ruptura de los materiales donde estos fallan debido a una combinación crítica de esfuerzo normal **($\boldsymbol{\sigma}$**) y esfuerzo cortante **($\boldsymbol{\tau}$)** y no de cualquier esfuerzo máximo normal o cortante solo [2] (Braja Das, 2015). Esta relación se expresa como:

$$\tau_f = \mathrm{c} + \sigma \tan \emptyset \qquad \textbf{[Ecuación 1]}$$

En suelos saturados, debido a la acción de la presión de poros o presión intersticial del agua ***(u)***, la ecuación anterior se convierte en:

$$\tau_f = \mathrm{c}' + \sigma' \tan \emptyset' \qquad \textbf{[Ecuación 2]}$$

Donde,

c' = esfuerzo de cohesión efectivo

$\emptyset'$= ángulo de fricción efectivo

Para arenas y limos, c'= 0, por lo que la [Ecuación 2] se reduce a:

$$\tau_f = \sigma' \tan \emptyset' \quad \textbf{[Ecuación 3]}$$

Por lo tanto, en un plano, la falla ocurrirá cuando se alcance un valor de esfuerzo cortante ($\boldsymbol{\tau_f}$), o, lo que es igual, cuando el Círculo de Mohr sea tangente a la envolvente (recta) generada por la [Ecuación 3], como se observa en la Figura 5. Este plano se denomina plano de falla, donde se habrá alcanzado la resistencia máxima del suelo.

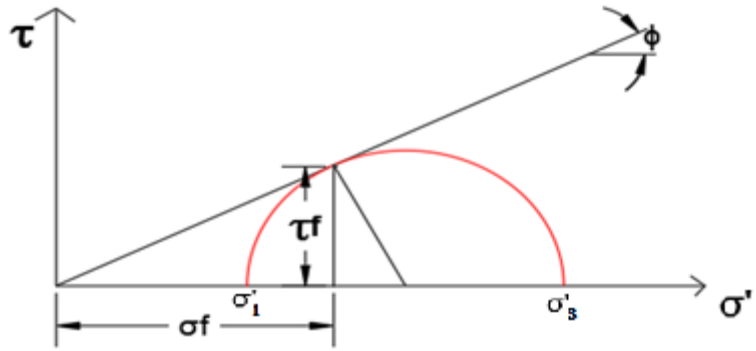


Figura 5. Círculo de Mohr en la falla.

Fuente: Propia

Si el círculo de Mohr para un determinado estado de esfuerzos queda debajo de la envolvente, el suelo será estable para ese estado de esfuerzos.

2.3 Trayectoria de Esfuerzos

El estado de esfuerzos de un suelo es comúnmente representado mediante el conocido Círculo de Mohr, donde $\boldsymbol{\sigma'_1}$ y $\boldsymbol{\sigma'_3}$ corresponden a los esfuerzos efectivos principales mayor y menor, respectivamente. La magnitud ($\boldsymbol{\sigma'_1}$ - $\boldsymbol{\sigma'_3}$) se denomina esfuerzo desviador ($\boldsymbol{\sigma_d}$), el cual corresponde al esfuerzo axial aplicado para causar la falla cortante.

Otro método para dibujar el estado de esfuerzos de una masa de suelo es mediante el diagrama p-q, el cual es equivalente a representar un punto único del círculo de Mohr. Siendo,

$$p = \frac{\sigma_1+\sigma_3}{2} \; ; \; q = \frac{\sigma_1-\sigma_3}{2} \qquad \textbf{[Ecuación 4]}$$

En la mayoría de los casos donde se utiliza esta representación puntual, los esfuerzos principales actúan sobre planos verticales y horizontales [13] (Lambe & Whitman, 1969), donde $\boldsymbol{\sigma_1} = \boldsymbol{\sigma_v}$ y $\boldsymbol{\sigma_3} = \boldsymbol{\sigma_h}$. Si el suelo se encuentra saturado será, $\boldsymbol{\sigma'_1} = \boldsymbol{\sigma'_v}$ y $\boldsymbol{\sigma'_3} = \boldsymbol{\sigma'_h}$.

El diagrama p-q es útil para representar varios estados de esfuerzos para una determinada muestra de suelo, evitando de esta forma dibujar numerosos círculos de Mohr, lo cual resulta engorroso en la práctica.

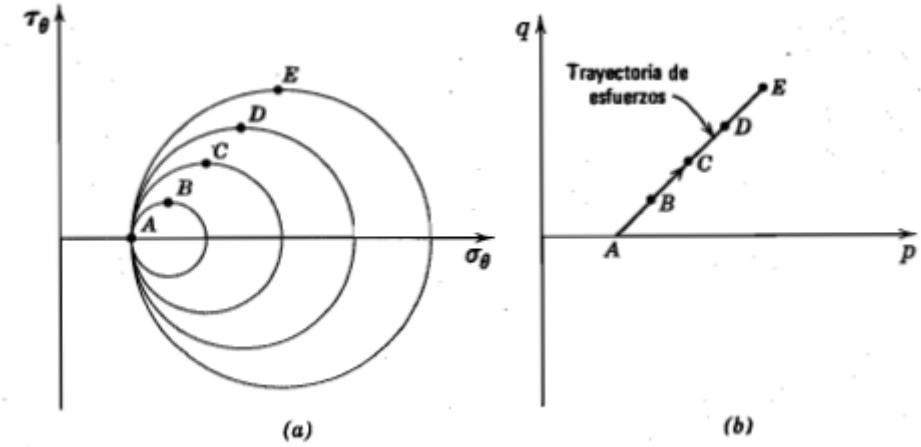


Figura 6. Representación de estados de esfuerzos con el Diagrama p-q.
Fuente: Lambe & Whitman (1969)

La Figura 6 muestra la representación continua de una serie de puntos p-q que se unen entre sí mediante una línea o, en algunos casos, una curva. En este ejemplo la trayectoria de estados inicial parte desde un punto donde $\boldsymbol{\sigma'_v = \sigma'_h}$; sin embargo, en otros casos como los presentados en este TG, puede ocurrir que $\boldsymbol{\sigma'_v \neq \sigma'_h}$.

2.4 Presión de tierra en reposo

Un depósito de suelo saturado situado a una profundidad "z" está sometido a esfuerzos efectivos verticales **($\boldsymbol{\sigma'_v}$)** y a esfuerzos efectivos horizontales **($\boldsymbol{\sigma'_h}$)**. Si esta masa de suelo no se desplaza con respecto a su posición inicial, no existirá deformación lateral en el terreno. Por lo tanto, la relación entre los esfuerzos efectivos horizontal y vertical bajo dicha condición se conoce como coeficiente de presión lateral en reposo **($\mathbf{K_o}$)**. Se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$Ko = \frac{\sigma'_h}{\sigma'_v} \qquad \textbf{[Ecuación 5]}$$

Para los suelos de grano grueso, el coeficiente de tierra en reposo **(K_o)** también puede ser estimado mediante la siguiente fórmula [11] (Jaky, 1944):

$$Ko = 1 - sen\,\emptyset' \qquad \textbf{[Ecuación 6]}$$

La trayectoria de **K_o** indica la forma en que aumentan los esfuerzos en un suelo normalmente consolidado durante el proceso de sedimentación. [13] (Lambe & Whitman, 1969). Cuando un suelo granular se carga por primera vez, las fuerzas de fricción en los puntos de contacto se movilizan en una dirección tal que $\boldsymbol{\sigma_h}$ es menor que $\boldsymbol{\sigma_v}$; es decir, **K_o** < 1. El valor de Ko debe depender de la magnitud de la resistencia por fricción movilizada en los puntos de contacto entre partículas [13] (Lambe & Whitman, 1969).

2.5 Línea de Corte Máximo y Línea de Falla para Estado Residual en arenas saturadas bajo condición no drenada

La línea de corte máximo es la que comúnmente denominamos "Línea de Falla" o "Envolvente de Mohr", definida en el plano **τ –σ'** a través de la [Ecuación 3]. Esta línea corresponde a los puntos máximos de las curvas esfuerzo-deformación. La equivalente a esta en el diagrama p'-q, se denota como "Línea K_f", la cual se muestra en la Figura 7.

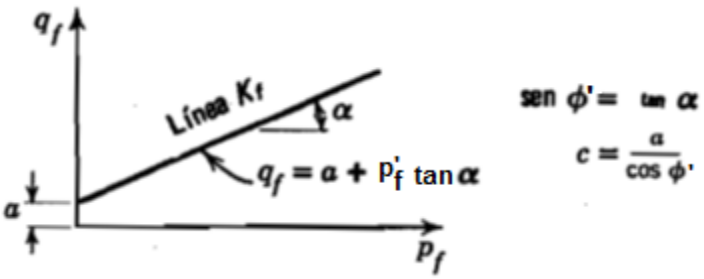


Figura 7. Línea de Corte Máximo en el diagrama p-q.

Fuente: Lambe & Whitman (1969)

Asimismo, el equivalente al ángulo de fricción no drenado **($\emptyset'$)** en el diagrama p'-q se señala como **(α)**. La relación entre ellos se expresa como:

$$sen\ \emptyset' = \tan\alpha \qquad \textbf{[Ecuación 7]}$$

Por lo que, si se quiere encontrar **($\emptyset'$)** en un suelo granular, a partir de un diagrama p'-q, se tendrá lo siguiente:

$$\text{Si} \quad \frac{q_f}{p'_f} = \tan\alpha \text{ ; entonces,}$$

$$sen\ \emptyset' = \frac{q_f}{p'_f} \text{ ; por lo que,}$$

$$\emptyset' = arc\ sen\ \frac{q_f}{p'_f} \qquad \textbf{[Ecuación 8]}$$

Donde q_f y p'_f corresponden a valores en la falla, es decir sobre la Línea K_f.

Por otro lado, si un suelo saturado de grano grueso bajo condición no drenada se somete a deformaciones posteriores a la falla, se encuentra que la resistencia disminuye hasta llegar a un valor mínimo constante de resistencia llamando resistencia residual **(S_{uss})**. Una vez se alcanza el **(S_{uss})**, la arena comienza a deformarse sin variar su volumen por lo que la relación de vacíos permanecerá constante. Dicho comportamiento se observa en la Figura 8.

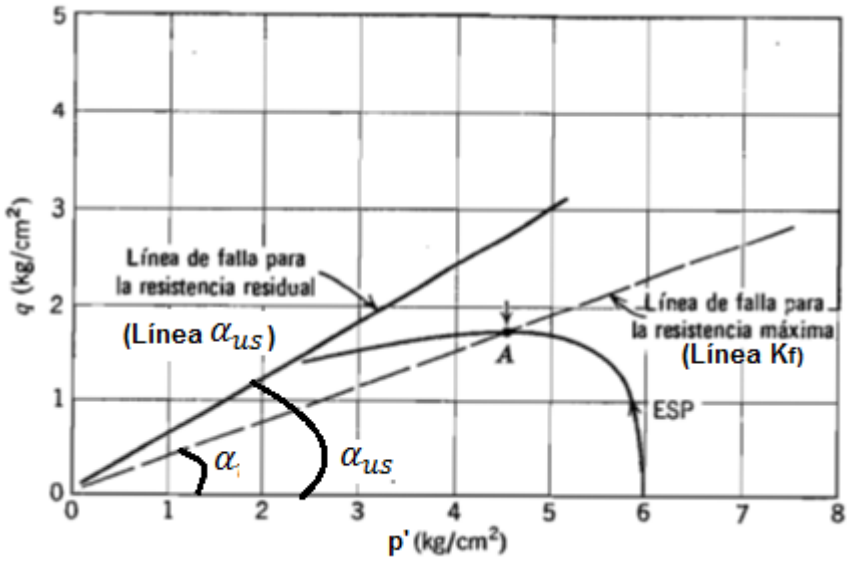


Figura 8. Representación de la Línea α_{us}y la Línea Kf.

Fuente: Lambe & Whitman (1969)

El punto A (Figura 8), ubicado sobre la Línea K_f, corresponde al corte máximo que tolera la arena. A partir de este, se pierde resistencia hasta llegar a su resistencia residual, lo cual es propio del comportamiento contractivo en arenas. La Línea K_f se denominará como Línea de Transformación de Fases (LTF), para efectos del comportamiento contractivo anteriormente mencionado [6} (Echezuría, 2018).

La Línea K_f parece coincidir con la Línea α_{us} para los casos cuando la arena se comporta de forma dilatante o parcialmente contractiva. En estos casos, el punto de corte máximo se ubica entra las Línea K_f y la Línea α_{us}, por dicha razón es que se tiende a pensar que coinciden pero en la realidad son dos líneas separadas. Posteriormente, en el punto 2.8 del presente TG se explicarán estos comportamientos con mayor detenimiento.

La pendiente de la Línea α_{us} será denotada como ($\boldsymbol{\alpha_{us}}$), la cual se relaciona con ($\boldsymbol{\emptyset'_{us}}$) mediante una expresión similar a la [Ecuación 8]:

$$\emptyset'_{us} = arc\ sen\ \frac{q_{us}}{p'_{us}} \quad \textbf{[Ecuación 9]}$$

Donde ($\mathbf{q_{us}}$) y ($\mathbf{p'_{us}}$) corresponden a valores en la línea de falla para la resistencia residual, es decir sobre la Línea α_{us}.

2.6 *Ángulo de fricción máximo ($\emptyset'$) y ángulo de fricción residual ($\emptyset'_{us}$)*

El ángulo de fricción al corte no drenado ***($\emptyset'$)*** o máximo, se obtiene a partir de los esfuerzos correspondientes a los puntos máximos (picos) de las curvas esfuerzo-deformación. Este ángulo no es una propiedad del material, sino que depende en gran parte de la relación de vacíos inicial antes de someterla al proceso de corte [13] (Lambe & Whitman, 1969). Por dicha razón, las partículas angulosas poseen un mayor ángulo de fricción que las

redondeadas, ya que se disminuye la relación de vacíos al encajar mejor unas con otras. Por lo que se afirma que (Ø′) variaría dependiendo de su compactación inicial.

Tabla 11.2 Influencia de la angulosidad y de la granulometría sobre el ángulo de fricción máximo

Forma y granulometría	Suelta	Compacta
Redondeada, uniforme	30°	37°
Redondeada, bien graduada	34°	40°
Angulosa, uniforme	35°	43°
Angulosa, bien graduada	39°	45°

Según Sowers y Sowers, 1951.

Figura 9. Influencia de la angulosidad y granulometría sobre el ángulo de fricción.

Fuente: Lambe & Whitman (1969)

Sin embargo, cuanto más compacta sea la arena, mayor será su expansión durante el proceso de corte [13] (Lambe & Whitman, 1969). Según Taylor (1939), el ángulo (Ø′) obtenido a partir de los ensayos de corte directo o corte simple suelen ser mayores que el ángulo conseguido en las pruebas triaxiales, fundamentalmente en arenas compactas. No obstante, el ensayo de corte simple resulta la forma más sencilla para obtener el ángulo de fricción de una arena.

El ángulo de fricción al corte residual no drenado bajo volumen constante o ángulo de fricción residual ($Ø'_{us}$) es el que se obtiene del estado final de esfuerzos o, dicho de otra forma, cuando la arena llega a su resistencia residual. El ángulo ($Ø'_{us}$) es único y puede considerarse como una propiedad del material que depende de la granulometría, de la angulosidad de las partículas y en algunos casos, de la estructura. [10] Verdugo & Ishihara (1993), observaron en sus ensayos, que al graficar los puntos de resistencia residual de todas las muestras de un suelo, a diferentes relaciones de vacíos y

confinamientos diferentes, caen todos los puntos en la línea de falla representada por el ángulo de fricción ($Ø'_{us}$).

2.7 Resistencia al corte drenada y no drenada.

Los suelos pueden comportarse de una manera u otra dependiendo de la velocidad de la carga y la permeabilidad del suelo. En principio se deben separar los materiales en gruesos (arenas y gravas) que tienen mayor permeabilidad y finos (arcillas y limos) con menor permeabilidad. Los materiales gruesos tienden a ser drenados, mientras que los finos tienden a ser no drenados.

La condición drenada se caracteriza por no presentar presión de poros (*u*), ya que el agua puede abandonar sus poros libremente. Por ello, al momento de la aplicación de la carga aumentan los esfuerzos totales (σ_v) y los esfuerzos efectivos (σ'_v) cumpliéndose la relación $\sigma_v = \sigma'_v$, cuyo comportamiento se muestra en la Figura 10.

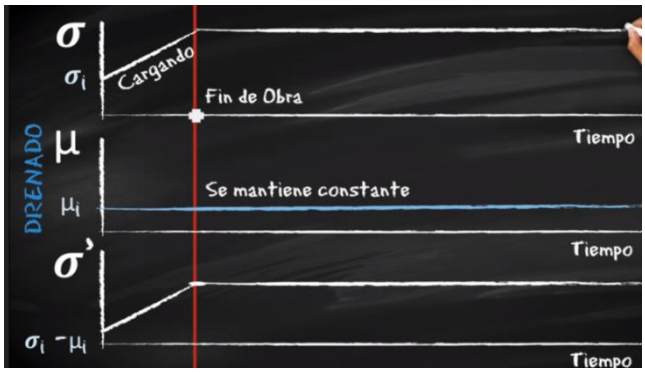


Figura 10. Comportamiento de Esfuerzos y Presión de Poros bajo condición drenado

Fuente: Propia

Por otro lado, un estado de esfuerzos asociado a la condición no drenada se caracteriza por presentar presión de poros (*u*), ya que el agua se estanca en los poros y no filtra de forma rápido. En este estado de esfuerzos, al aplicar una carga, el círculo de Mohr se desplaza de su condición de reposo ya que todo el exceso de carga es absorbido por el agua. La Figura 11 muestra cómo, al aplicar una carga, el agua absorbe los esfuerzos aumentando así su

presión de poros, ya que esta no puede fluir fuera del elemento. Sin embargo, a largo plazo todos los materiales se tienden a comportar como materiales drenados.

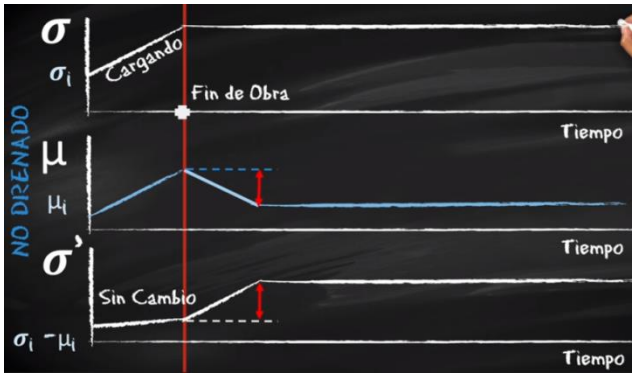


Figura 11. Gráficos condición no drenada

Fuente: Propia

2.8 Comportamiento de arenas saturadas con contenido de finos no plásticos, ante cargas monotónicas no drenadas

El comportamiento de los suelos granulares con finos no plásticos puede ser contractivo, dilatante o parcialmente contractivo dependiendo de la posición que ocupe *(e)* y *(σ'_v)*, previo al corte, con respecto a la LER [7] (González, 1994), como se muestra en la Figura 12.

De acuerdo con esto, el suelo tenderá a aumentar o a disminuir su volumen dependiendo de la posición donde se ubiquen sus valores de (e) y (σ'_v), en el gráfico (e-p) ó (e-σ'_v.) Si se encuentra la ubicación muy por encima y a la derecha de la LER, el suelo tenderá a un comportamiento contractivo. Mientras que, si se ubica a la izquierda y por debajo de la LER, se desarrollará un comportamiento dilatante. Ahora bien, si está muy próxima a la derecha de la LER, la respuesta del suelo será parcialmente contractiva.

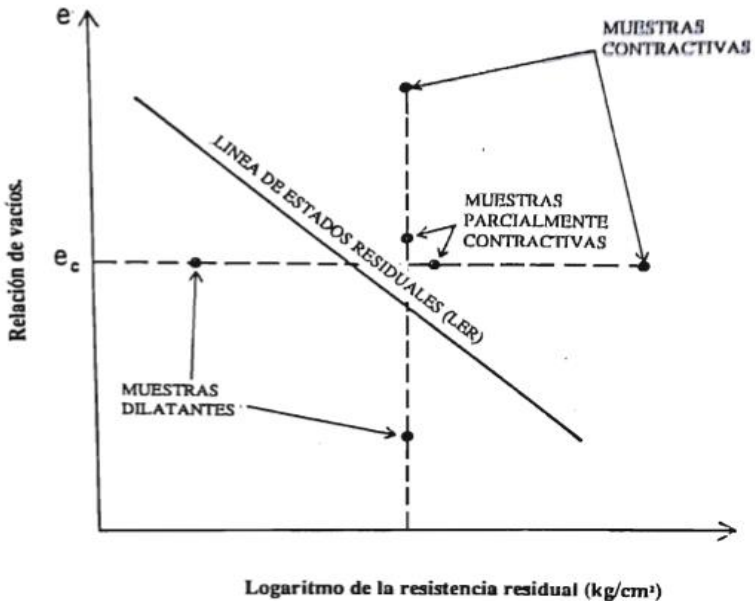


Figura 12. Comportamiento de arenas de acuerdo a su posición en la LER

Fuente: Miguel Ángel González (1994)

El comportamiento contractivo en una arena se define como aquel donde ocurre una disminución del volumen y un aumento en la presión de poros. Al cortar la muestra de arena con comportamiento contractivo, observamos en la trayectoria de esfuerzos que ésta tenderá a la resistencia pico **(S_{up})** para luego llegar a la envolvente de la falla y descender hasta alcanzar su resistencia residual **(S_{uss})**, como se ve en la Figura 13. Este comportamiento es usual en muestras con alta relación de vacíos inicial previa al corte y con presión de confinamiento elevada [10] (Ishihara y Verdugo, 1993).

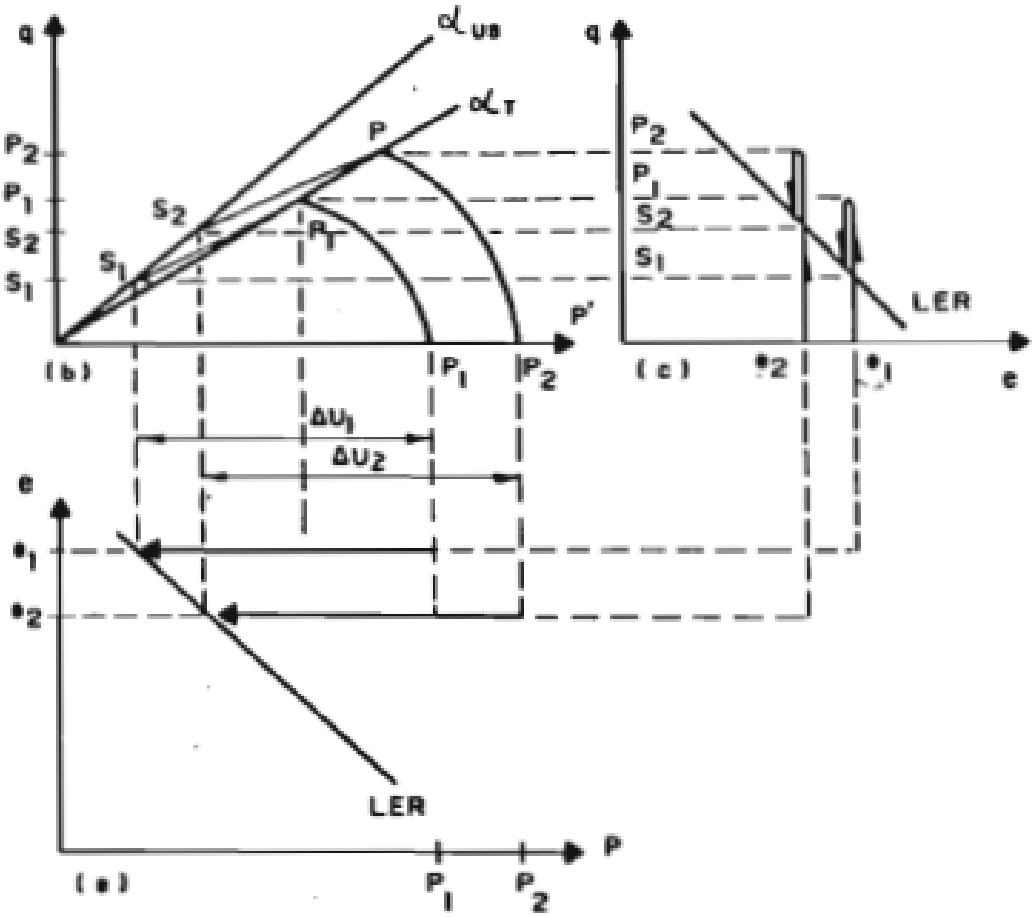


Figura 13. Gráfico Trayectoria de Esfuerzos de Arena Contractiva

Fuente: Miguel Ángel González (1994)

En caso contrario, cuando el comportamiento es dilatante en una arena, esta tiende a aumentar su volumen. Pero debido al confinamiento, producto de las condiciones del ensayo, se desarrolla presiones de poros negativas. Este efecto genera un aumento en la resistencia al corte de la muestra, donde la trayectoria de esfuerzos bordea la envolvente de falla hasta alcanzar su resistencia pico. Esto ocurre solamente bajo niveles de deformación muy altos, donde luego de llegar al pico comienza a disminuir su resistencia, bajando por la envolvente, hasta finalizar su recorrido en la resistencia residual.

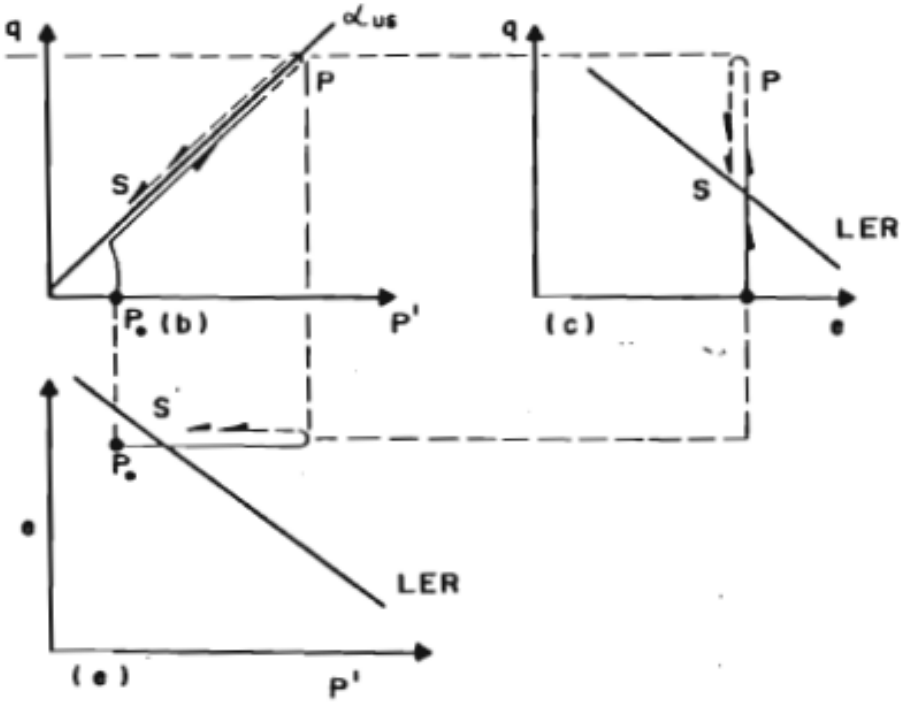


Figura 14. Gráfico Trayectoria de Esfuerzos de Arena Dilatante

Fuente: Miguel Ángel González (1994)

Por otro lado, se tiene un comportamiento parcialmente contractivo cuando inicialmente el volumen de la muestra disminuye y va perdiendo su resistencia hasta llegar a la envolvente de la falla, donde comienza a cambiar su comportamiento, aumentando así su resistencia al corte, hasta llegar a la resistencia pico, donde finalmente llega al valor de la resistencia residual. La trayectoria de esfuerzo irá bordeando la envolvente de la falla al cambiar su comportamiento de contractivo a dilatante, donde la Figura 15 esquematiza dicha respuesta.

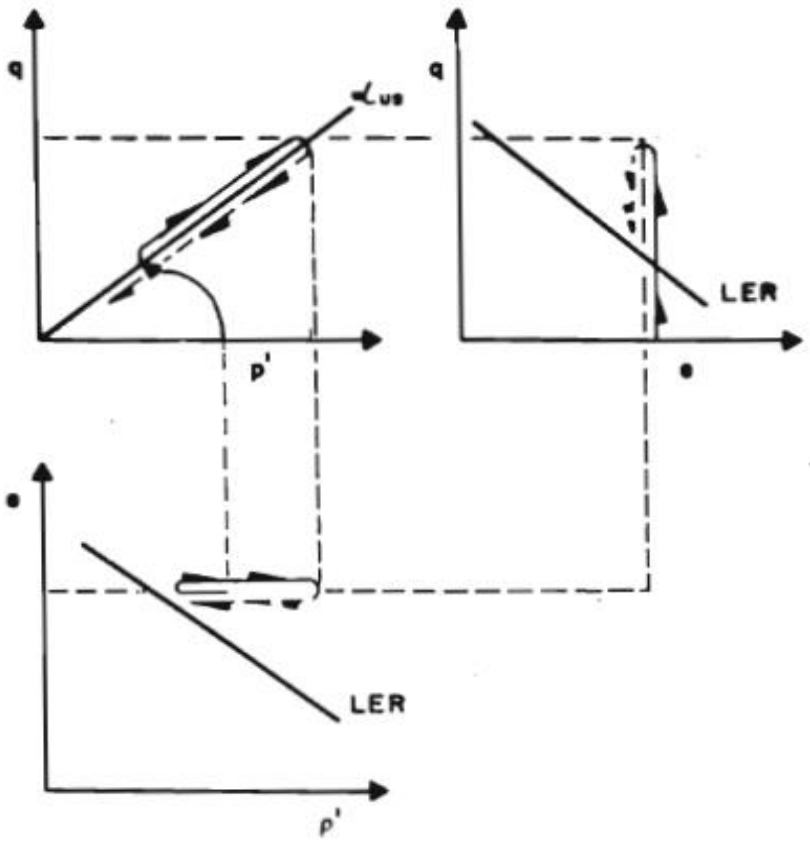


Figura 15. Gráfico Trayectoria de Esfuerzos de Arena Parcialmente Contractiva

Fuente: Miguel Ángel González (1994)

[10] Ishihara y Verdugo (1993) observaron comportamientos contractivos, dilatantes y parcialmente contractivos en muestras de arena reconstituida a diferentes esfuerzos confinantes y relaciones de vacíos. Estos evaluaron la misma muestra de suelo con tres relaciones de vacíos diferentes e=0.735, e=0.833 y e=0.907, y esfuerzos confinantes de p'=0.1 Mpa, p'=1 Mpa, p'=2 Mpa y p'= 3 Mpa. Es importante resaltar que [10] Ishihara y Verdugo (1993) utilizan el término "q" para el esfuerzo desviador ($\sigma_1 - \sigma_3$), es decir este corresponde al esfuerzo desviador medio convencional para los diagrama p'-q. Los puntos p-q están directamente relacionados con el círculo de Mohr - Coulomb, el centro del círculo corresponde a "p".

En la Figura 16, se ilustra el comportamiento contractivo de una muestra de arena suelta de Toyoura, Japón, con e= 0.907 y Dr = 18.5%.

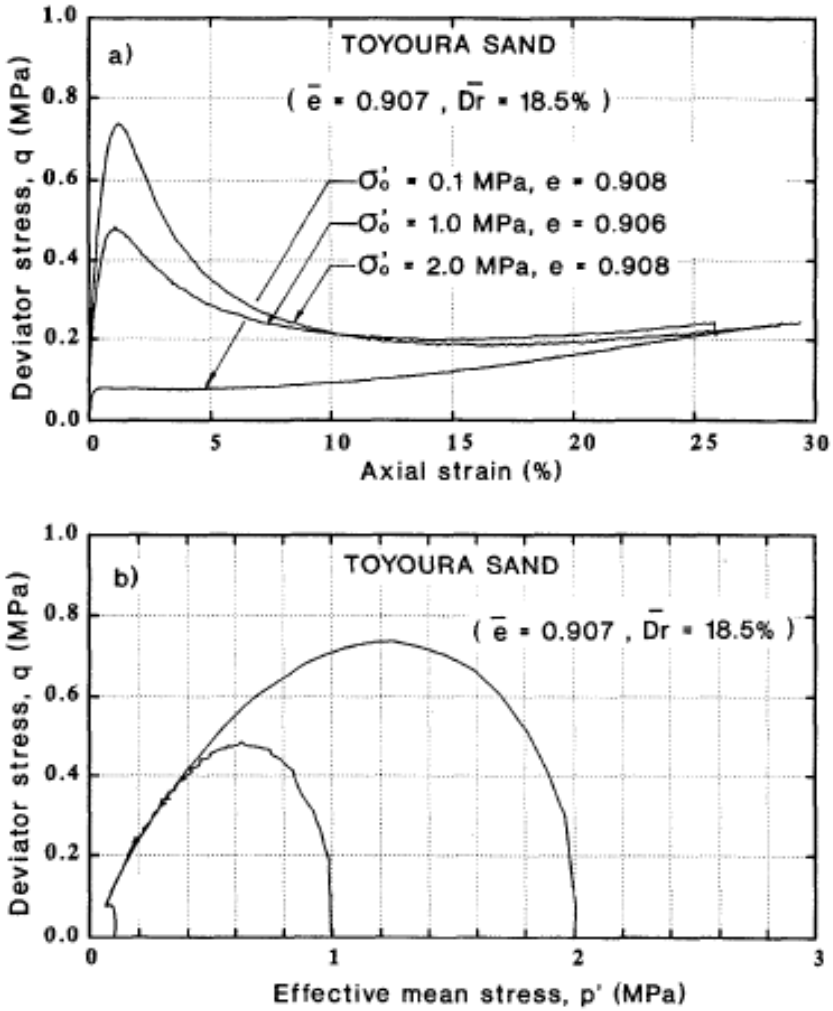


Figura 16. Estudio con arenas de Toyoura (e= 0.907 y Dr= 18.5%)

Fuente: Ishihara & Verdugo (1993)

Existe un aumento en la presión de poros que se resume en una disminución del esfuerzo efectivo. Se observa, además, que el valor de confinamiento (p') es mayor al valor de la resistencia residual, lo cual es un indicio claro de que la muestra de suelo se comportará de forma contractiva.

Durante el confinamiento en la arena suelta ocurrirá una disminución del volumen del suelo lo cual se debe a la disminución de vacíos presentes en la arena, mientras que para el proceso corte de arenas densas ocurre dilatancia. La dilatancia ocurre cuando el desplazamiento entre las partículas inducido durante el corte provoca un arreglo de la estructura del suelo y se genera un incremento en el volumen [6] (Echezuría, 2018).

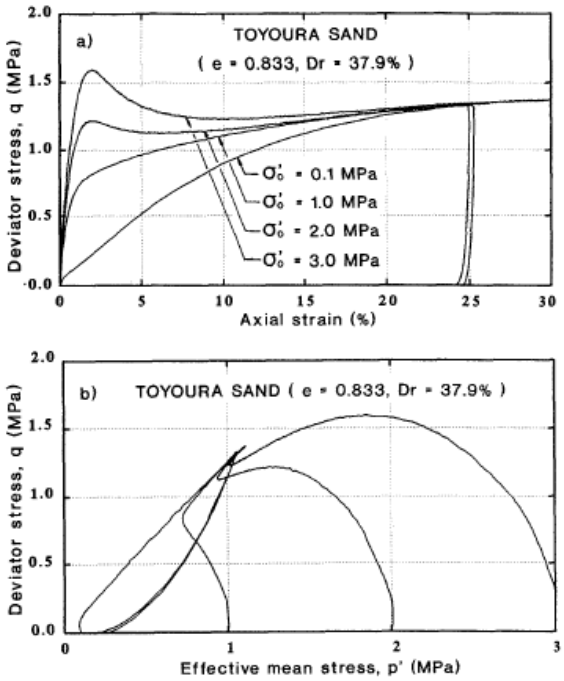


Fig. 3. Undrained triaxial tests for $e=0.833$: a) stress-strain curves; b) effective stress path

Figura 17. Estudio con arenas de Toyoura (e= 0.833 y Dr= 37.9%)

Fuente: Ishihara & Verdugo (1993)

Se presentan los comportamientos contractivos, parcialmente contractivo y dilatante en la Figura 17. La muestra de suelo de la figura es preparada con una e=0.833 y Dr=37,9%. El suelo confinado a 3.0 MPa presenta un comportamiento contractivo ya que este llega a su máxima capacidad y luego desciende hasta alcanzar su resistencia residual. Por otro lado, el suelo confinado a 2 MPa presenta un pico menor que el anterior, pero continúa siendo contractivo porque su valor de resistencia residual es menor a su confinamiento inicial. En el comportamiento del suelo confinado a 1 MPa, se observa que el valor de confinamiento es mayor al valor de la resistencia residual pero con un margen menos amplio que los anteriores y con un punto de inflexión apreciable en la gráfica, lo que sugiere que su comportamiento es parcialmente contractivo. Por último, la muestra consolidada a 0.1 MPa presenta un comportamiento dilatante evidente, ya que su resistencia pico corresponde a su resistencia residual.

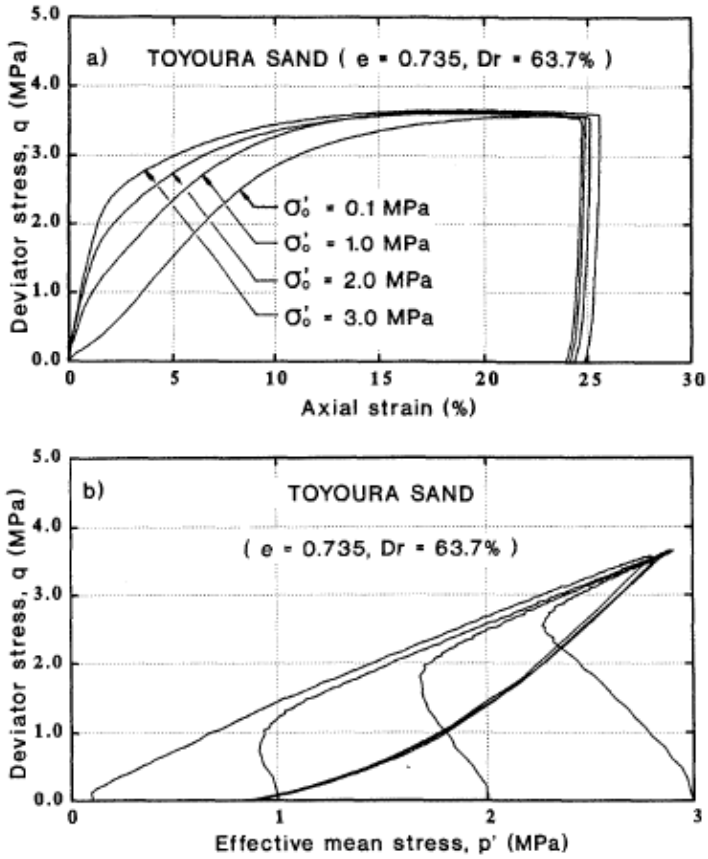


Figura 18. Estudio con arenas de Toyoura. (e = 0.735 y Dr= 63.7%)

Fuente: Ishihara & Verdugo (1993)

Por último, en la Figura 18 se observa el suelo con la menor relación de vacíos e=0.735, donde es evidente el comportamiento dilatante de las arenas, debido a que estas tienden a aumentar su volumen por la relación que existe entre el nivel de confinamiento y la carga aplicada. En conclusión, la resistencia al corte depende del nivel de compactación inicial o la relación de vacíos inicial y el confinamiento al cual se encuentra aplicada. Durante la trayectoria de esfuerzos de arenas densas, el esfuerzo cortante alcanza la resistencia pico y luego decrece hasta llegar al valor de resistencia residual. Ahora bien, al llegar al valor crítico de resistencia residual, el corte se produce sin cambio de volumen. Por otro lado, durante la trayectoria de esfuerzos en arenas sueltas, donde la relación de vacíos es elevada, la resistencia al corte se incrementa hasta que se mantiene constante.

La Tabla 1 muestra un resumen de los ensayos de [10] Ishihara & Verdugo (1993) donde se plasmaron los resultados de dichas pruebas.

Tabla 1. (S_{up}), (S_{uss}) y (e) para ensayos de Ishihara & Verdugo (1993)

e	$2S_{up}$ (Mpa)	σ'v (Mpa)	S_{uss} (Mpa)	σ_{3c} / $2S_{uss}$
0,735	3,6	3	3,6	0,833
0,735	3,57	2	3,57	0,560
0,735	3,54	1	3,54	0,282
0,735	3,50	0,1	3,5	0,029
0,833	1,6	3	1,4	2,222
0,833	1,35	2	1,4	1,481
0,833	1,4	1	1,4	0,714
0,833	1,4	0,1	1,4	0,071
0,908	0,73	2	0,225	8,889
0,908	0,48	1	0,225	4,444
0,908	0,225	0,1	0,225	0,444

Fuente: Propia

2.9 Proceso de Carga de una plataforma tipo "Jacket "

Una masa de suelo se encuentra en reposo cuando no existe corte alguno que perturbe su estado original de esfuerzos. A medida que se generan esfuerzos de corte en el proceso de carga, aumentan los estados de esfuerzos representados mediante círculos de Mohr. En la Figura 19, estos se representan en cada etapa de la instalación de la plataforma petrolera. La **[Etapa 1]** corresponde a la instalación de las fundaciones de la plataforma donde se comienzan a hincar los pilotes. En la **[Etapa 2]**, se instala la cercha o "camisa" generando así más corte sobre el suelo. Y en las etapas siguientes ocurrirá que, al cargar más la estructura, se irán generando esfuerzos cortantes cada vez más grandes lo que llevará a que el suelo se vaya acercando poco a poco a su resistencia máxima.

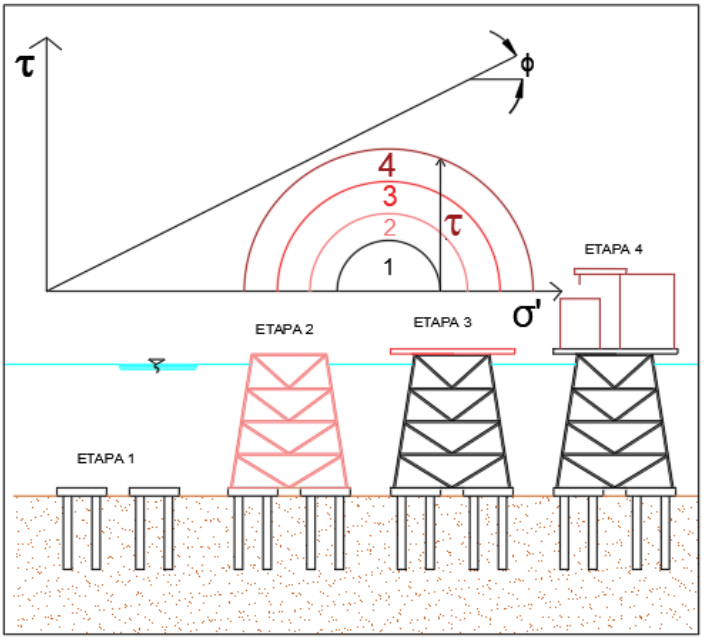


Figura 19. Estados de esfuerzos generados por las cargas de una plataforma tipo "Jacket"

Fuente: Propia

Cuando se inicia la **[Etapa 1]**, se generan dos condiciones (Figura 20):

1) <u>1era Condición:</u> la suma de los esfuerzos horizontales generados por el hincado de pilotes más el esfuerzo horizontal generado por la profundidad del suelo es menor al esfuerzo efectivo axial in situ**.**

$$\Delta\sigma_3 + \sigma'_3 < \sigma'_1. \qquad \textbf{[Condición 1]}$$

2) <u>2nda Condición:</u> la suma de los esfuerzos horizontales generados por el hincado de pilotes más el esfuerzo horizontal generado por la profundidad del suelo es mayor al esfuerzo efectivo axial in situ.

$$\Delta\sigma 3 + \sigma' 3 > \sigma' 1. \qquad \textbf{[Condición 2]}$$

Puede existir una tercera condición donde $\Delta\sigma_3 + \sigma'_3 = \sigma'_1$ que es muy poco probable. Los ensayos de corte directo simple (DSS) son representativos de la segunda condición, ya que para la primera no existe un equipo de corte

que se pueda ajustar a dicho estado. En este TG, se quiere conocer si la muestra de suelo en estudio puede resistir dichos aumentos de esfuerzos cortantes alrededor de los pilotes.

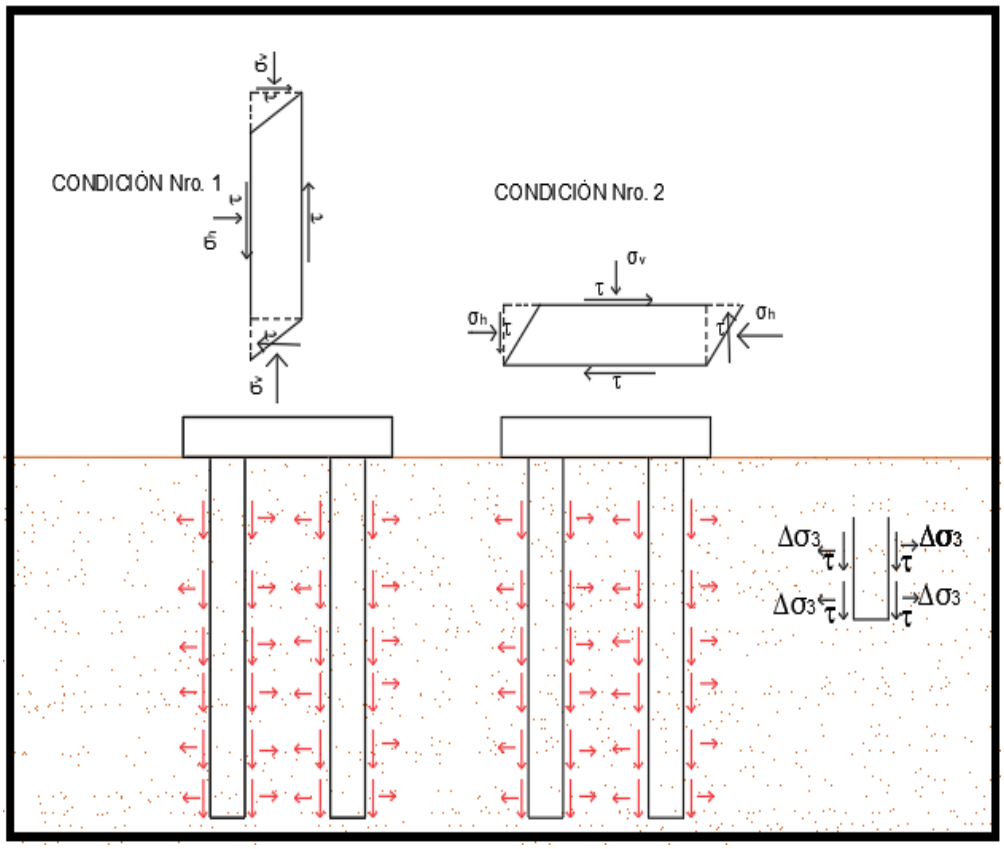


Figura 20. Condiciones generadas en el suelo al hincar los pilotes de una plataforma petrolera**.**

Fuente: Propia

Al hincar los pilotes en el suelo, se generan esfuerzos horizontales, lo cual es producto del volumen de suelo que se confina alrededor de los pilotes. Este efecto induce en el suelo una mayor densificación si se tiene un comportamiento contractivo, o que se genere un aumento de volumen cuando el suelo es dilatante. La importancia de este análisis cualitativo radica en que, independientemente del comportamiento del suelo, ya sea dilatante o contractivo, este cambiará su relación de vacíos inicial in situ. Por ende, es imposible determinar la relación de vacíos real representativa del sitio. Únicamente se sabe que la mitad del diámetro del pilote será la distancia que se debe desplazar el pilote dentro del suelo.

III. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Introducción

En la presente investigación se demuestra la aplicación del modelo tridimensional integrado de suelos de [6[Echezuría (2018), donde la respuesta de los suelos es explicada a través de una serie de correlaciones entre las propiedades índices y los parámetros básicos de ingeniería. Además, se interpretan los resultados obtenidos y se aplica al presente modelo.

3.2 Tipo de Investigación

La investigación está basada en un estudio descriptivo, documental y experimental, ya que se toman como base las pruebas realizadas por otros autores para establecer conclusiones sobre los resultados experimentales propios. El estudio es documental de laboratorio, puesto a que se debe al control de variables que se presentan en la investigación, utilizando un análisis cuantitativo. Finalmente, se hace en un análisis cualitativo para el estudio de las cargas cíclicas y sísmicas que actúan sobre la plataforma petrolera.

3.3 Muestras

3.3.1 Muestra de arena limosa (16% de finos)

La muestra de arena limosa (identificada como “Muestra 21B”) fue extraída de la perforación PG-POK2 del Campo Pokoch, en el Golfo de México. La empresa GeoHidra Consultores C.A. realizó dicha extracción mediante un tubo Shelby a 107,7m de profundidad bajo el subsuelo marino. Luego, la muestra fue almacenada y trasladada desde México hasta el laboratorio de la empresa ubicado en la Urb. Los Chaguaramos, Caracas, Venezuela.

La arena presenta las siguientes características: grano fino, limosa, medianamente densa a muy densa, de color gris verdoso oscuro, con fragmentos escasos de bivalvos (conchas marinas), micácea, con fuerte reacción al HCL (SM). El resultado del análisis granulométrico por tamizado revela que la muestra posee 16% de finos no plásticos. Este estudio ya había sido realizado previamente por GeoHidra Consultores, C.A., y se muestra a continuación en la Figura 22.

Figura 21. Muestra 21B de arena limosa de la Perforación PG-POK2

Fuente: Propia

3.3.2 Muestra de arena limpia (0% de finos)

La muestra de arena limpia es obtenida a partir de la muestra de arena limosa (Punto 3.3.1). Esta es sometida a la remoción de todos sus finos mediante un proceso de lavado con agua destilada. Se usa un tamiz #200 para retener la arena mientras esta se lava y así eliminar todo el contenido de finos. Una vez finalizado este proceso, se coloca la arena húmeda lavada en un recipiente y se seca en un horno a altas temperaturas.

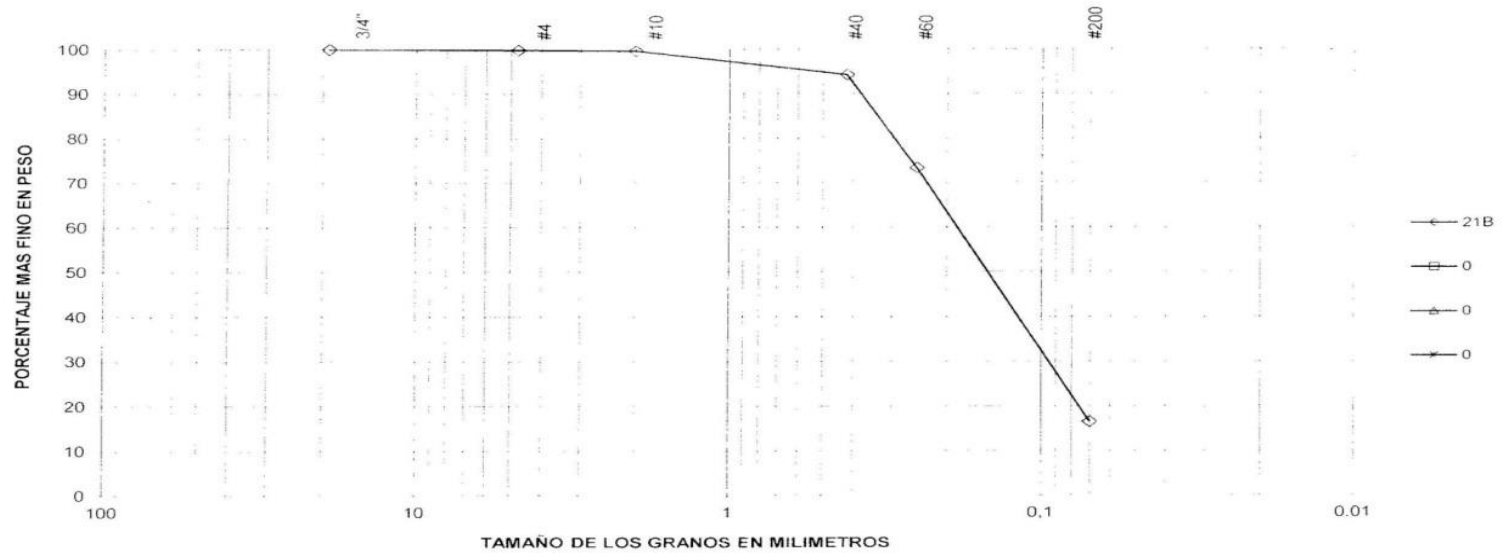
GEOHIDRA CONSULTORES C.A

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (ASTM - D-422-63)

Proyecto: POKOCH - ICHALKIL

Perforación Nº: PG - POK2

Muestra	Prof. (m)	Peso (gr)	Peso Retenido (gr) 3/4" 19.1	#4 4.75	#10 2.0	#40 0.42	#60 0.25	#200 0.074	Porcentaje mas Fino en peso 3/4" 19.1	#4 4.75	#10 2.0	#40 0.42	#60 0.25	#200 0.074	Porcentaje Total GRAVA	ARENA	FINOS
21B	107,70- 107,90	130,88	0,0	0,4	0,2	7,0	27,4	74,3	100,0	99,7	99,5	94,2	73,3	16,5	0	83	17
0	0,00																
0	0,00																
0	0,00																



GRUESA	FINA	GRUESA	MEDIA	FINA	FINOS
GRAVA		ARENA			

Código de Proyecto: DGP01622

Figura 22. Curva Granulométrica de la muestra PG-POK2-21B.

Fuente: GeoHidra Consultores, C.A

3.4 Ensayos experimentales a realizar

En total, para la muestra de arena limosa (16% de finos) se efectúan siete (7) ensayos de corte directo simple (DSS), los cuales se reparten de la siguiente forma:

- Cinco (5) ensayos bajo altura constante (no drenado), cuyos esfuerzos efectivos de consolidación son: 2,5 kg/cm^2, 10 kg/cm^2, 15 kg/cm^2, 18 kg/cm^2, y 20 kg/cm^2.
- Dos (2) ensayos bajo esfuerzo constante (drenado), cuyos esfuerzos de consolidación son: 2,5 kg/cm^2 y 18 kg/cm^2.

Asimismo, para la muestra de arena limpia (0% de finos) se realizan (3) tres ensayos de corte directo simple (DSS) bajo la modalidad de altura constante (no drenado), cuyos esfuerzos efectivos de consolidación son: 2,5 kg/cm^2, 10 kg/cm^2, y 18 kg/cm^2.

3.5 Preparación de las muestras (DSS)

3.5.1 Arena limosa

Las muestras de arena limosa son preparadas con w=1% y montadas de manera suelta o poco densificada, exceptuando la muestra confinada a 15kgf/cm^2. Este método de poca densificación genera relaciones de vacíos iniciales elevadas, alrededor de (e=1,3). Por otro lado, la muestra confinada a 15kg/cm2 se prepara con w=0% y lo suficientemente densificada (e= 0,88) para que cuando se consolide, la relación de vacíos se acerque lo más posible a la relación de vacíos in situ. Esta última muestra se prepara y se monta usando el método de las capas, para que se asemeje a la forma en que fue sedimentada la arena en sitio.

3.5.1.1 Arena Limpia

Las muestras de arena limpia se ensayan a una misma relación de vacíos inicial con w=1% pero cada una se somete a diferentes confinamientos. Estas son preparadas de manera que queden sueltas, con una relación de vacíos inicial parecida a la de las muestras de arena limosa, alrededor de 1,3.

3.6 Descripción Ensayo de Corte Directo Simple (DSS), Monotónico

Se realizan pruebas DSS monotónicas usando un aparato de corte simple directo GEOJAC como se muestra en la Figura 23. Para la ejecución de este ensayo, se siguen los parámetros de la Norma DSS ASTM D6528−07 "*Standard Test Method for Consolidated Undrained Direct Simple Shear Testing of Cohesive Soils*".

El aparato consta de un marco de carga con dos módulos que controlan los motores de los impulsadores verticales y horizontales, los cuales se encuentran conectados a una computadora. El impulsador horizontal empuja una placa de desplazamiento horizontal y el actuador vertical empuja la tapa superior directamente dentro del conjunto que contiene la muestra.

Figura 23. Aparato de corte simple directo (DSS) GEOJAC

Fuente: Propia

La celda circular con tope y base tienen un diámetro de 5,00cm. El área de la muestra es de 19,64 cm^2 y la altura muestra es de 1,77 cm.

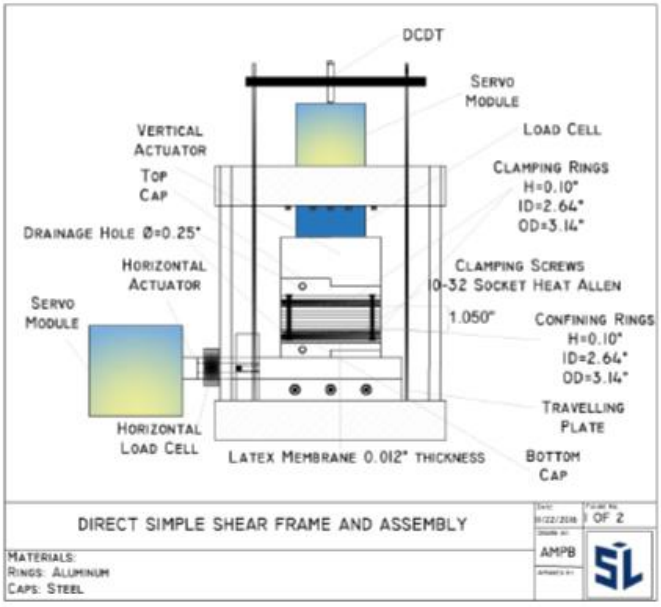


Figura 24. Esquema del equipo del DSS

Fuente: Ana María Parra Bastidas (2016)

Los impulsadores tienen celdas de carga que miden la fuerza que aplican a la muestra. El servo módulo vertical tiene una varilla de deformación con un transductor de posición en la parte superior que permite medir la posición vertical del actuador vertical. La placa de desplazamiento toca un transductor de desplazamiento variable lineal que mide la posición horizontal de la placa de desplazamiento.

Las muestras se preparan en un recipiente seco y luego se colocan dentro de una membrana. La membrana consiste en la tapa inferior sobrepuesta con anillos de confinamiento sujetos con tornillos de sujeción que rodean una membrana de látex. La tapa superior se coloca encima de la muestra y dentro de la membrana interna de látex después de colocar la muestra dentro de la membrana. La tapa superior está a unida a la membrana interna de látex con tres juntas.

El conjunto que contiene las muestras y la tapa superior se coloca en el dispositivo DSS como se muestra en la Figura 25. El conjunto se fija al aparato uniendo la tapa inferior a la placa de desplazamiento del aparato por medio de un perno. Las muestras se saturan en aproximadamente 15 minutos con alrededor de 100 ml de agua destilada. Se permite que el agua fluya dentro de la muestra por gravedad hasta el punto donde no salen más burbujas de aire en la línea de drenaje.

Figura 25. Montaje de muestra en el equipo (DSS)

Fuente: Propia

Se cierran las líneas de saturación después de saturada la muestra, y las muestras se consolidan. La consolidación se realiza mediante “Incremental Load Consolidation (ICL)”, donde dichos incrementos de carga comenzaron con una tensión de consolidación de 25 kPa y la tensión aumentó con una “Relación de Incremento de Carga (LIR)” hasta el esfuerzo efectivo de consolidación deseado para cada ensayo. Cada incremento de carga se aplicó durante 15 minutos, con la excepción del último incremento de carga.

Finalmente, luego de haber culminado el proceso de consolidación, se prosigue a activar el proceso de corte de la muestra. Esto se lleva a cabo a través del software del aparato GEOJAC. Luego de 12-24 horas, se obtienen los resultados del corte de la muestra.

3.7 Conceptualización del Modelo

El modelo tridimensional formulado por [6] Echezuría (2018) indica que los valores de resistencia al corte obtenidos ante procesos de carga drenados o no drenados dependen de la relación de vacíos y del confinamiento. El presente modelo demuestra que los parámetros del suelo no cambian de forma independiente, sino que cualquier alteración en alguno influye sobre los demás.

Un ejemplo claro de cómo se corresponden los parámetros del suelo es a través de las propiedades índices. Éstas se encuentran matemáticamente relacionadas entre sí a través de la fórmula: $\gamma_t = (G_s + Se) / (1 + e)$; se ilustra dicho comportamiento a través de la Figura 26. Esta correlación aplica para condiciones remoldeadas e inalteradas, lo que sugiere que las propiedades índices dependen de la capacidad que tienen las partículas de suelo para almacenar agua y no de su estructura. Asimismo, si la humedad de un suelo está cercana al Límite Líquido (LL), la resistencia al corte será baja, mientras que si la humedad del suelo se encuentra cercana al Límite Plástico (LP) se desarrolla una resistencia al corte alta.

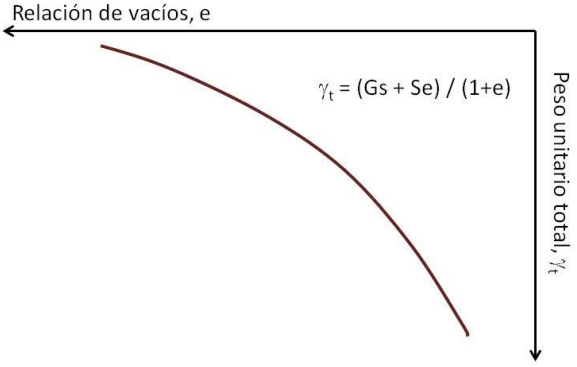


Figura 26. Gráfico de compatibilidad entre propiedades índice de los suelos

Fuente: Echezuría (2016)

Por consiguiente, es preciso afirmar que existe una clara correspondencia entre las propiedades índices y los cambios en los esfuerzos y la resistencia al corte.

Por otro lado, [6] Echezuría (2013), [15] Vergel, M. y Villa, A (2015) y Privitera (2016) demostraron que el contenido de finos no plásticos del suelo afecta el ángulo de fricción y la pendiente de la LER. Por esta razón es importante conocer también el contenido de material no plástico del suelo. Y si la relación de vacíos varía, también lo hará el ángulo de fricción máximo, es decir que todos los ángulos de fricción son distintos para diferentes relaciones de vacíos en arena, como se mencionó en el marco teórico.

La LER está relacionada con la distribución de los granos y con el contenido de finos no plásticos. A medida que aumenta el contenido de limo, disminuye la pendiente, como se observa en la Figura 27. Por lo que podríamos en teoría manipular la relación de vacíos de una arena mejor que la de una arcilla. Además de depender de la cantidad de limo, la LER depende del coeficiente de uniformidad (Cu) y coeficiente de curvatura (Cc) de la arena, el cual se utiliza para evaluar la uniformidad del tamaño de las partículas de un suelo, es decir, la LER dependerá de su granulometría.

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \qquad \textbf{[Ecuación 10]}$$

$$Cc = \frac{\mathrm{D30}^2}{\mathrm{D60*D10}} \qquad \textbf{[Ecuación 11]}$$

Donde,

D_{60}: tamaño de grano por debajo del cual queda el 60% del suelo, en peso.
D_{30}: tamaño de grano por debajo del cual queda el 30% del suelo, en peso.
D_{10}: tamaño de grano por debajo del cual queda el 10% del suelo, en peso.

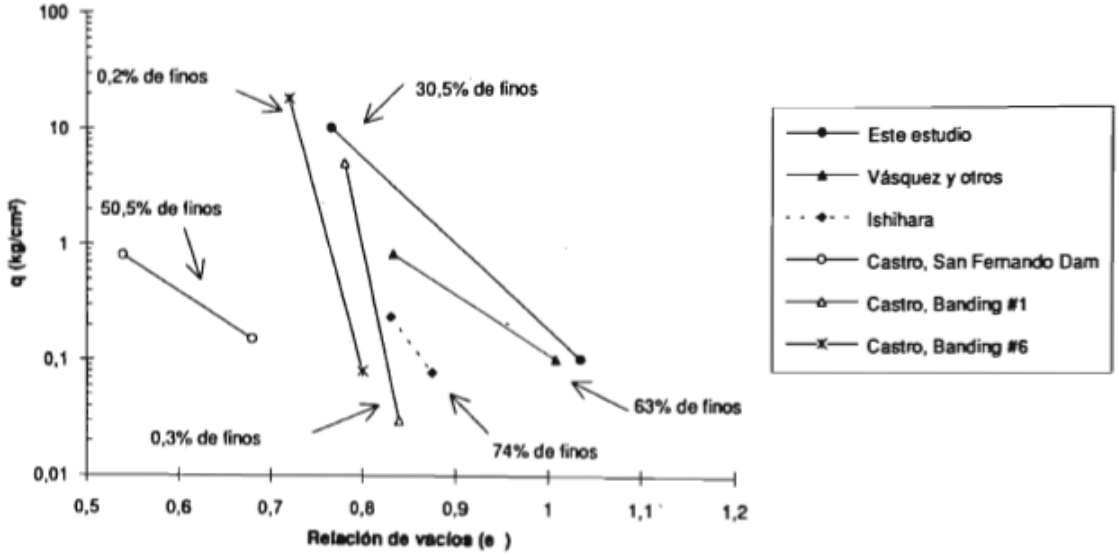


Figura 27. Comparación de la LER para arenas con distinto contenido de limo

Fuente: Miguel Ángel González (1994)

Una muestra es remoldeada cuando se somete a cierto grado de perturbación, mientras que una muestra es inalterada cuando sus propiedades son iguales a las que se encuentra in situ [2] (Braja Das, 2015). No obstante, en las arenas es muy difícil tomar muestras con la estructura que tiene el material in situ ya que no hay garantía de que todas las partículas queden de la misma forma que en el campo. Según [12] Kramer (1996), la LER remoldeada es paralela a la LER real en campo. Hay que tener presente que los finos plásticos están distribuidos en campo de forma diferente a como están dispuestos en las muestras remoldeadas.

Adicionalmente, según [1] Pestana (2007), se puede afirmar que la LER es paralela a la línea de compresión virgen (LCV). Si se tiene una misma arena con diferentes relaciones de vacíos y se carga, las curvas de consolidación tienden a una sola línea cuando se somete al suelo a altas presiones. Para ubicar esta línea se debe trazar una recta desde el punto donde convergen las curvas de consolidación hasta el esfuerzo menor que podría ser aplicado a la muestra que es igual a la presión atmosférica (P_{atm}). Esta condición se aplica solo para arenas con la misma estructura inicial.

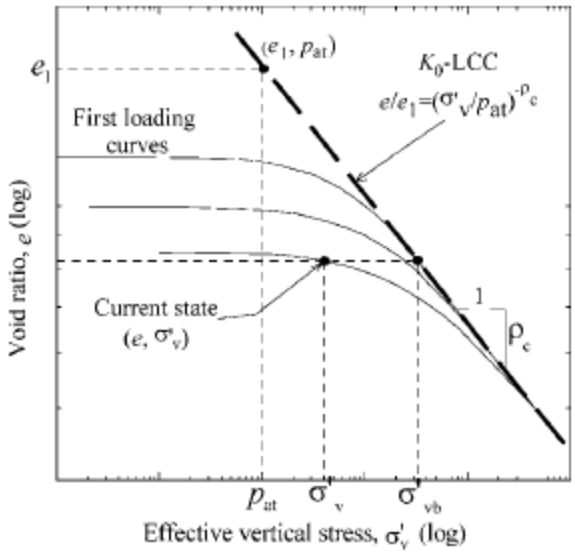


Figura 28. Curvas de Consolidación

Fuente: Pestana, Biscotin, Cola, Simonini (2007)

En las arenas, el agua está en la superficie de la partícula, mientras que en las arcillas se pegan electrónicamente. Por esta razón la humedad dependerá igualmente de la relación de vacíos y el peso unitario depende del confinamiento. Entonces, es fundamental tomar en consideración ambos el contenido de humedad **(w)** y la relación de vacíos **(e)**, ya que se encuentran están unidos matemáticamente por medio de la fórmula:

$$G_s * w = s * e \qquad \textbf{[Ecuación 12]}$$

Además, la relación de vacíos se relaciona con el peso unitario seco (γd) según la fórmula:

:

$$\gamma d = \frac{Gs}{1+e} * \gamma w \qquad \textbf{[Ecuación 13]}$$

Entendiendo todo el fundamento teórico descrito anteriormente, se formulará el modelo en estudio. Se utilizan para la composición de dicho modelo los planos e-τ, τ–σ' y e-σ' que se interconectan entre sí para poder predecir la resistencia al corte de un suelo, dispuestos tal como se aprecia en la Figura 29.

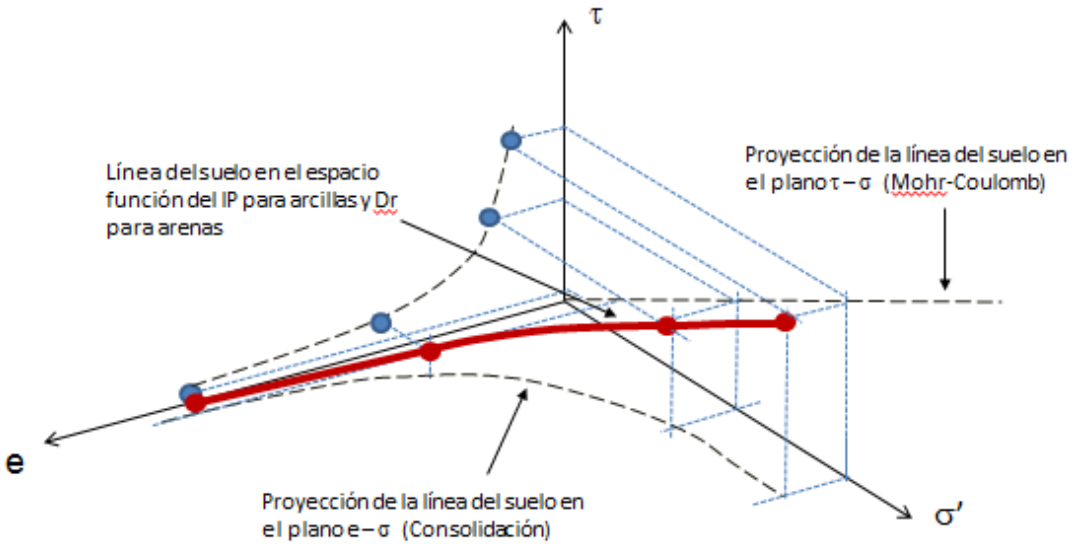


Figura 29. Modelo Tridimensional de Echezuría.

Fuente: Echezuría (2018)

Por medio del presente se podrá explicar la posición de la LER en el espacio, ya que cualquier cambio en las propiedades del suelo va a repercutir en las demás. En primer lugar, se puede afirmar que los planos **τ–σ'** y **e-σ'** se encuentran regidos por el confinamiento **(σ')**, por lo que cualquier cambio en este valor afectará tanto a la resistencia al corte como a la relación de vacíos y al peso unitario. Por otro lado, se observa que igualmente en el plano τ-e se genera una relación única entre relación de vacíos y la resistencia al corte.

Asimismo, se considera que el confinamiento **(σ')** está relacionado con el peso unitario, se puede formular una integración parecida a la anterior. En la figura 30, se ilustra una combinación de la Figura 26 y Figura 29 donde se logra el modelo integral del suelo de Echezuría en el cual todas las propiedades de los suelos se encuentran relacionadas.

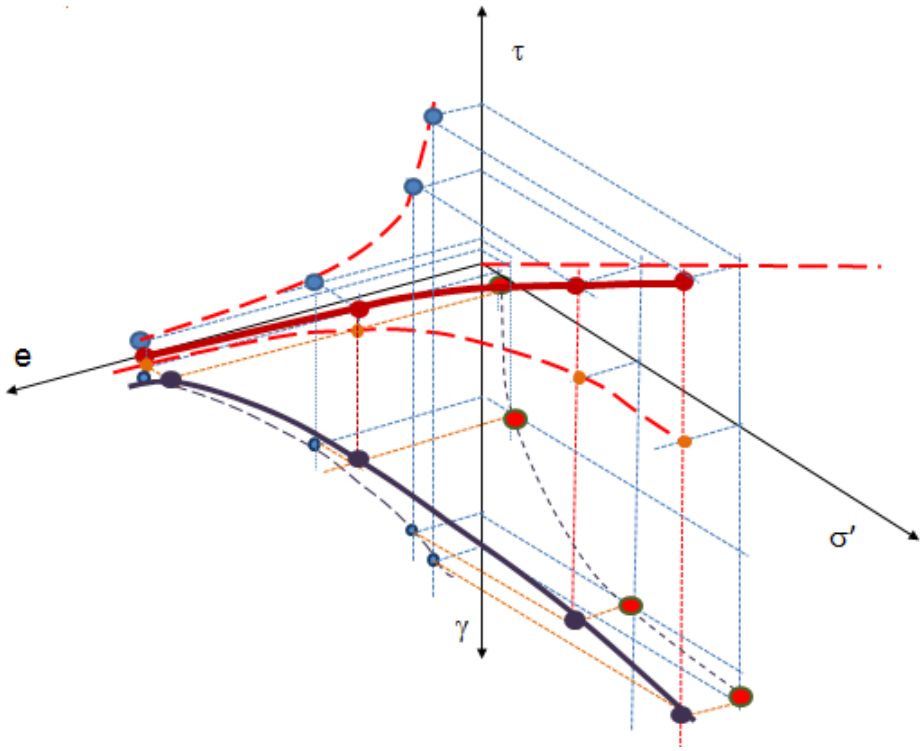


Figura 30. Integración del Eje (γ) en el Modelo de Echezuría (2018)

Fuente: Echezuría (2018)

Al agregar el eje de peso unitario **(γ)** se forma la curva morada mostrada en la Figura 30. Esta curva depende de la gravedad específica **(Gs)** y la saturación **(S)** del suelo. Se asume que el suelo está saturado, la curva del espacio se proyecta sobre el plano (**e-γ**) [6] (Echezuría, 2018). El plano horizontal representa el plano (**e-σ'**) y unidos a este están los planos (**τ-e**) y (**γ_t–σ'**), los cuales, junto con los planos (**e-γ**) y (**τ–σ'**), conforman todo el espacio que interrelaciona las propiedades de los suelos.

Todos los tipos de suelos, plásticos o no plásticos, quedan representados por ambas curvas mostradas en la figura 30, donde la roja determina las propiedades ingenieriles que dependen de la plasticidad para arcillas y de la densidad relativa o relación de vacíos para las arenas, mientras que la púrpura determina las propiedades índices que dependen de la gravedad específica y la saturación del suelo. El modelo aplica para ambos, arcillas y arenas [6] (Echezuría, 2018).

La curva roja se proyectará como una curva en la cual la resistencia al corte es menor para las relaciones de vacíos grandes. Asimismo, a medida que disminuye la relación de vacíos, la resistencia al corte aumenta como se observa en la Figura 30.

Según Echezuría [6] (2018), las proyecciones de las dos curvas, mostradas en la Figura 32, que definen los suelos en los distintos planos son:

i) La recta que define la resistencia al corte en el plano, τ–σ', mostrado a la derecha en la parte superior de la figura.

ii) La curva que define el cambio de volumen del suelo en el plano e-σ', ubicado en el plano horizontal.

iii) La curva que define el cambio de volumen con el esfuerzo desviador en el plano e-τ, ubicado a la izquierda en la parte superior.

iv) La curva que define el cambio de relación de vacíos con el peso unitario, en el plano e-γ, en la parte inferior y a la izquierda.

v) La curva que define el cambio del peso unitario con el esfuerzo confinante, γ–σ, localizado a la derecha en la parte inferior de la figura.

3.8 Validación del modelo

Para comprobar la validez del modelo tridimensional de [6] Echezuría (2018) se utilizarán los datos de trabajo de [10] Verdugo e Ishihara (1993), donde se ajustará la escala logarítmica para el esfuerzo confinante p', de modo que se ajuste a la gráfica original. Se observa en el Gráfico 1 como los valores de esfuerzos cortantes tienen una correlación con la relación de vacíos y el confinamiento. Si se traza una recta a partir de cualquiera de los gráficos se tendrá una correspondencia inmediata en el gráfico siguiente.

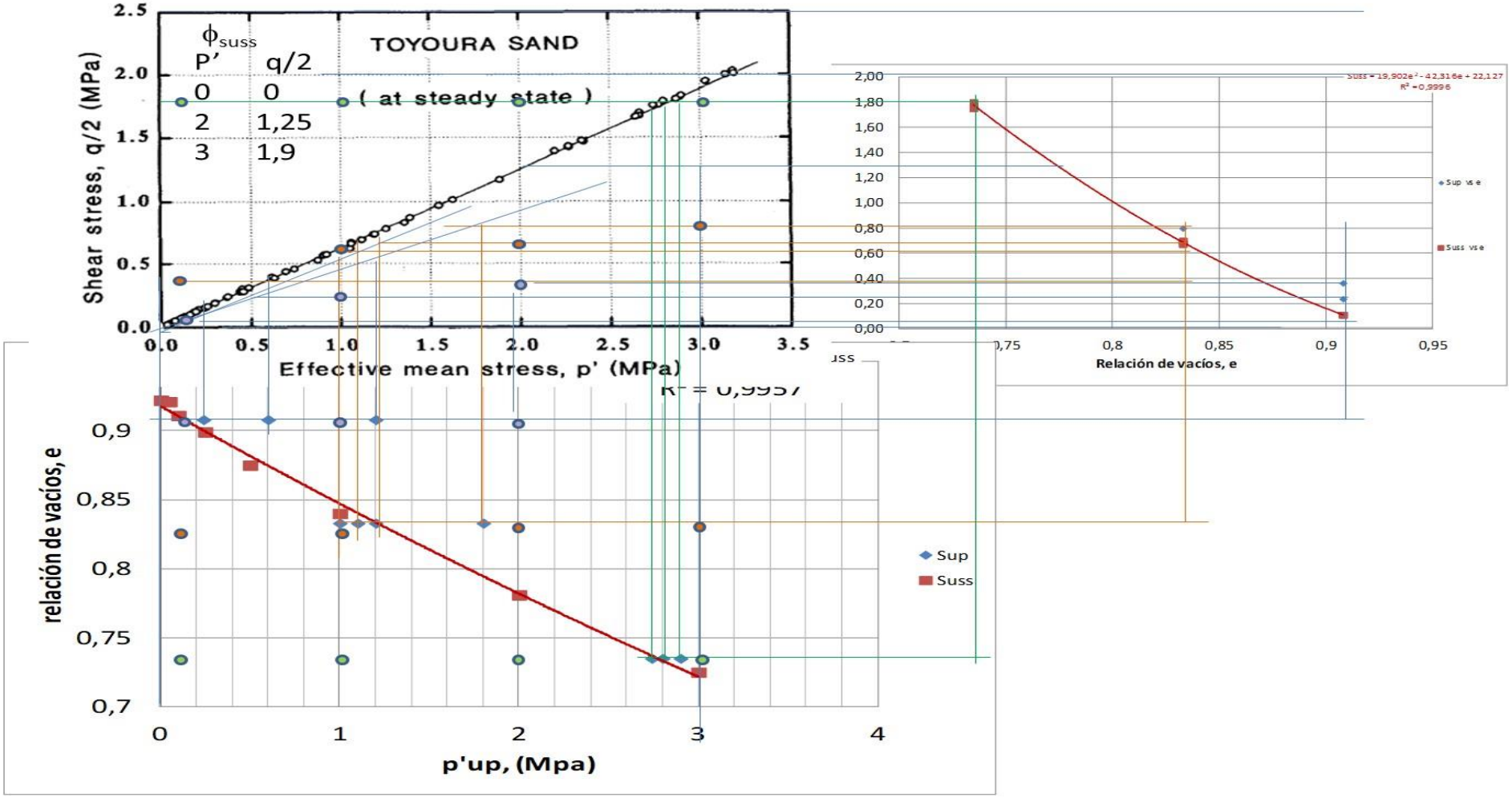


Gráfico 1. Planos q-p', q-e, y e-p'. Ensayos Arena de Ishihara & Verdugo (1993)

Fuente: Propia

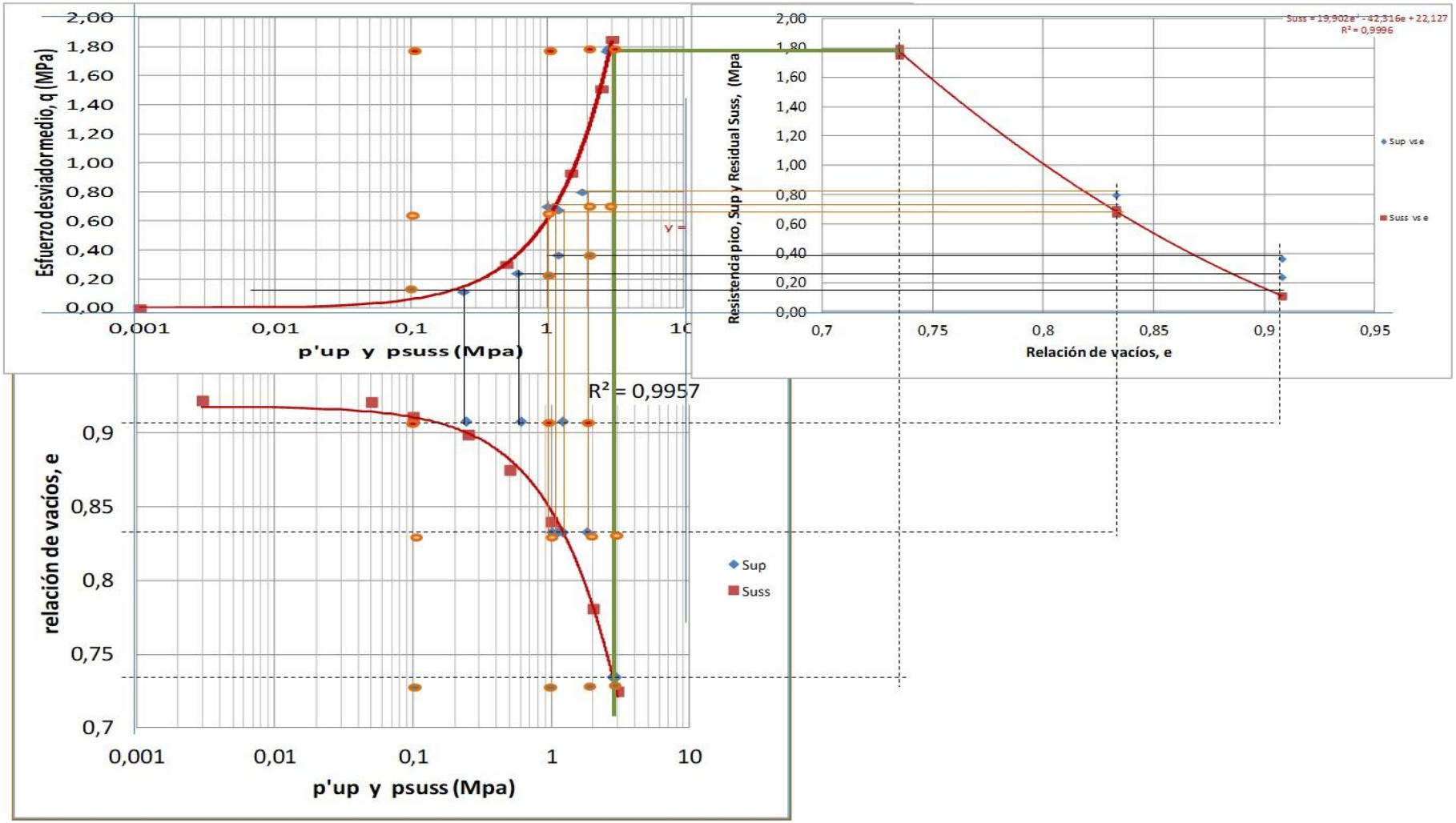


Gráfico 2. Planos q-p', q-e, y e-p'. (Escala Semilog) Ensayos Ishihara & Verdugo (1993)

Fuente: Propi

Ahora bien, para conocer el comportamiento real de la arena en campo es necesario analizar su comportamiento. [9] Ishihara (1993), a través de varios ensayos con arenas limpias, demuestra cómo la LER es la misma para diferentes métodos de preparación de la muestra (Figura 31), siempre que la arena tenga la misma granulometría y angularidad. Por otra parte, si la arena tiene la misma granulometría y angularidad, el ángulo de fricción residual es único e independiente de la estructura inicial de la arena. Años más tarde, [10] Ishihara & Verdugo (1993) descubren que el caso anterior es solo válido para arena limpias y no para arenas limosas.

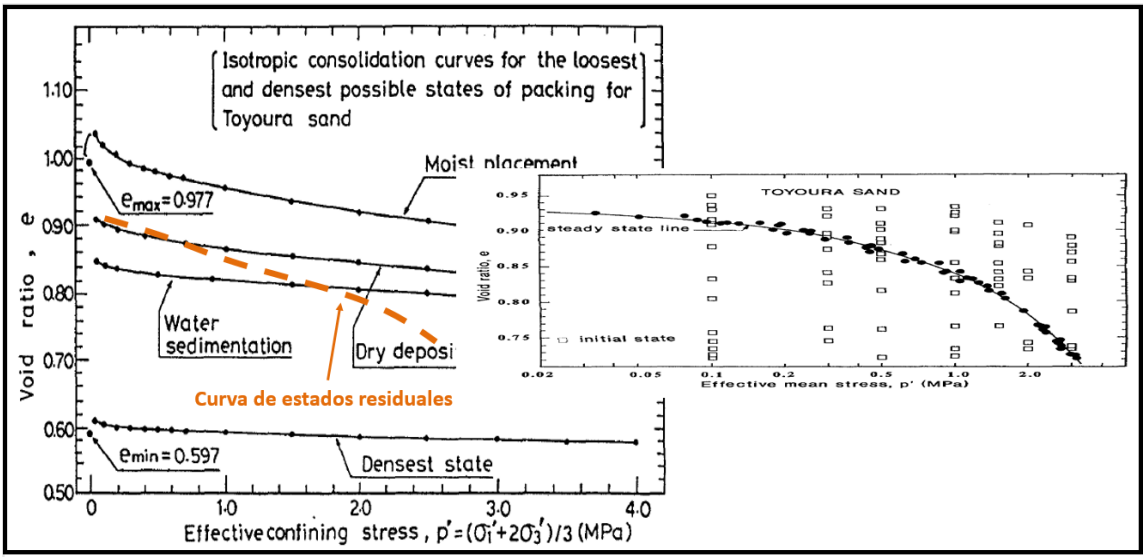


Figura 31. LER paralelas entre sí de muestras a distintos métodos de preparación de las muestras en el plano e vs p'.

Fuente: Ishihara (1993)

Las arenas limosas con una misma angularidad y granulometría, presentan LER paralelas cuando el método de preparación utilizado es diferente, ya que cada método de preparación de muestras genera una estructura distinta en el suelo [10] (Ishihara & Verdugo, 1993). Se cumple también que si la arena tiene la misma granulometría y angularidad, el ángulo de fricción tiende a mantenerse igual cuando no se modifica en gran medida la estructura del suelo; sin embargo, si la estructura cambia acentuadamente es posible que exista variación en el ángulo, así como ocurre en el Gráfico 5 de los ensayos [8] Govinda, Sitharam & Srinivasa (2004).

[8] Govinda, Sitharam, & Srinivasa (2004) plantean que las LER serán paralelas entre sí dependiendo del confinamiento que sea generado sobre la muestra del suelo. La tabla 2 presenta los datos obtenidos de los ensayos de [8] Govinda, Sitharam & Srinivasa (2004) para distintos confinamientos y métodos de preparación de las muestras.

Tabla 2. Datos de relaciones de vacíos; q y p', obtenidos a distintos confinamientos y métodos de preparación de las muestras.

Relación de vacíos despues de la consolidación (eo)	Resistencia Corte q (Kpa)	p' (Kpa)
0,657	15	25
0,653	65	75
0,647	115	165
0,645	240	355
0,639	360	520
0,62	450	675
0,607	690	900

Relación de vacíos despues de la consolidación (eo)	Resistencia al corte q (Kpa)	p' (Kpa)
0,531	12,5	35
0,528	87,5	100
0,524	240	300
0,522	490	655
0,518	550	770
0,516	690	890

Relación de vacíos despues de la consolidación (eo)	Resistencia al corte q (Kpa)	p' (Kpa)
0,467	55	75
0,466	170	195
0,462	560	700

Fuente: Sitharam, Govinda & Srinivasa (2004)

En el Gráfico 3 se muestra como las LER son paralelas entre sí para diferentes relaciones de vacíos. Esto es debido a que los métodos de preparación de las muestras son diferentes. Esto difiere de la conclusión expuesta por [8] Govinda, Sitharam & Srinivasa (2004), ya que estas LER no dependen del confinamiento, sino del método de preparación de las muestras ya que se modifica su estructura.

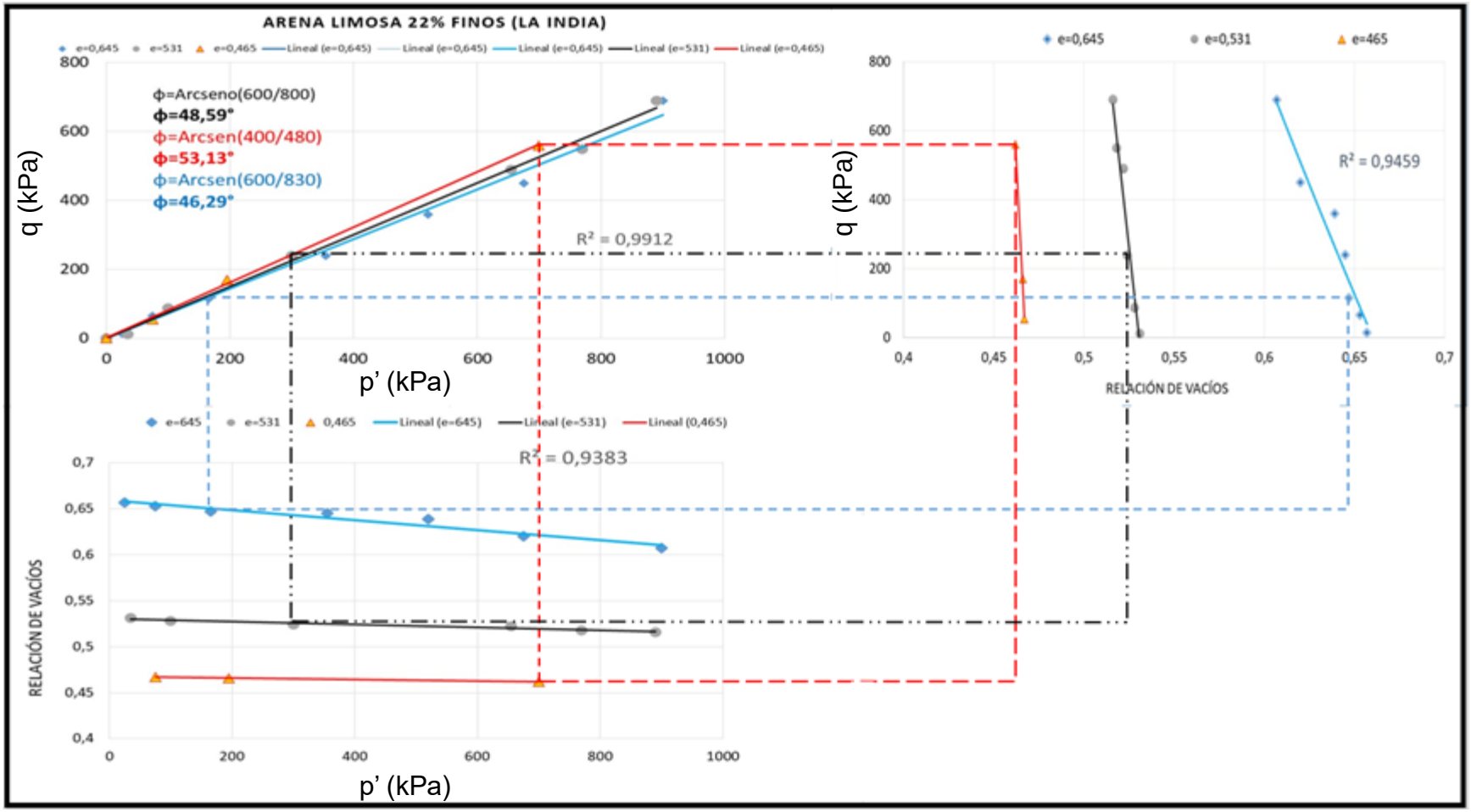


Gráfico 3. Modelo de Echezuría para ensayos de Sitharam, Govinda & Srinivasa (2004)

Fuente: Propia

En los ensayos de Tía Juana y Lagunillas, [7] González (1994) demostró que para las muestras de suelos reconstituidos e inalterados con igual contenido de finos se posee un mismo ángulo de fricción residual, como se aprecia en la Figura 32.

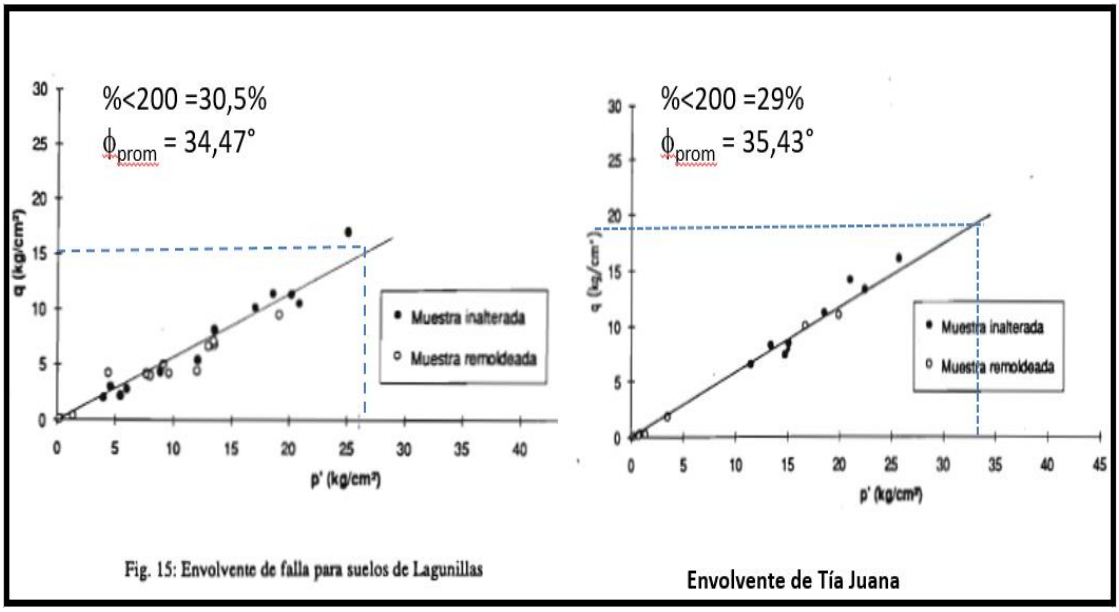


Figura 32. Envolventes de fallas para Tía Juana y Lagunillas.

Fuente: Miguel Ángel González (1994)

Adicionalmente, [7] González (1994) demuestra que las LER para muestras inalteradas y reconstituidas son paralelas, como lo muestran las Figuras 33 y 34.

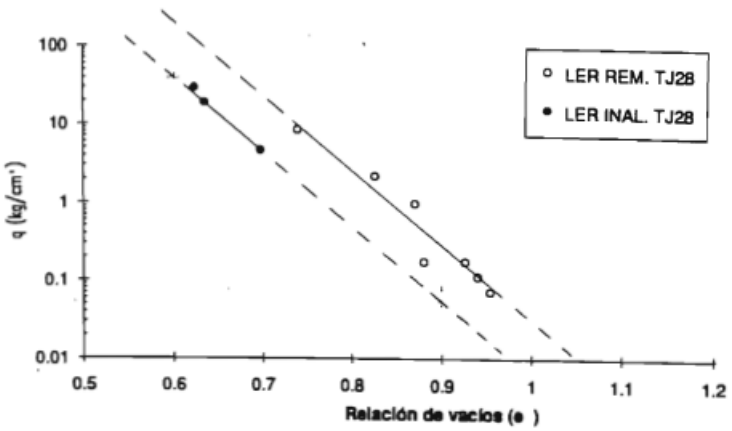


Figura 33. LER INAL y LER REM muestras Tía Juana con 30,5% de finos a 28 m de profundidad.

Fuente: Miguel Ángel González (1994)

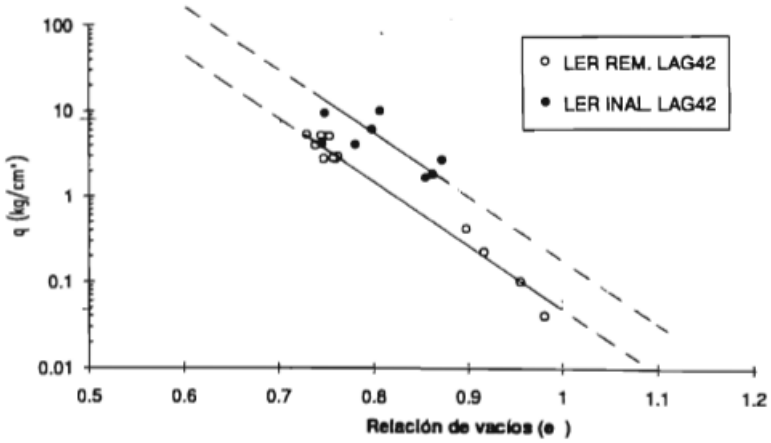


Figura 34. LER INAL y LER REM muestras Lagunilla con 29% de finos a 42 m de profundidad.

Fuente: Miguel Ángel González (1994)

Para obtener la LER inalterada, [12] Kramer (1996) y [7] González (1994) indican que desde el valor de la relación de vacíos en el estado residual in situ, se traza una línea paralela a la LER de la muestra reconstituida. Sin embargo, si se desconoce el confinamiento residual in situ de la muestra, no se puede llevar a cabo este procedimiento. Por ello, [9] Ishihara (1993) y [7] González (1994) utiliza el cociente entre el esfuerzo efectivo axial para la resistencia residual **(σ'_{us})** y el esfuerzo de confinamiento previo al corte **(σ'_{vo})** para obtener una correlación con los valores residuales:

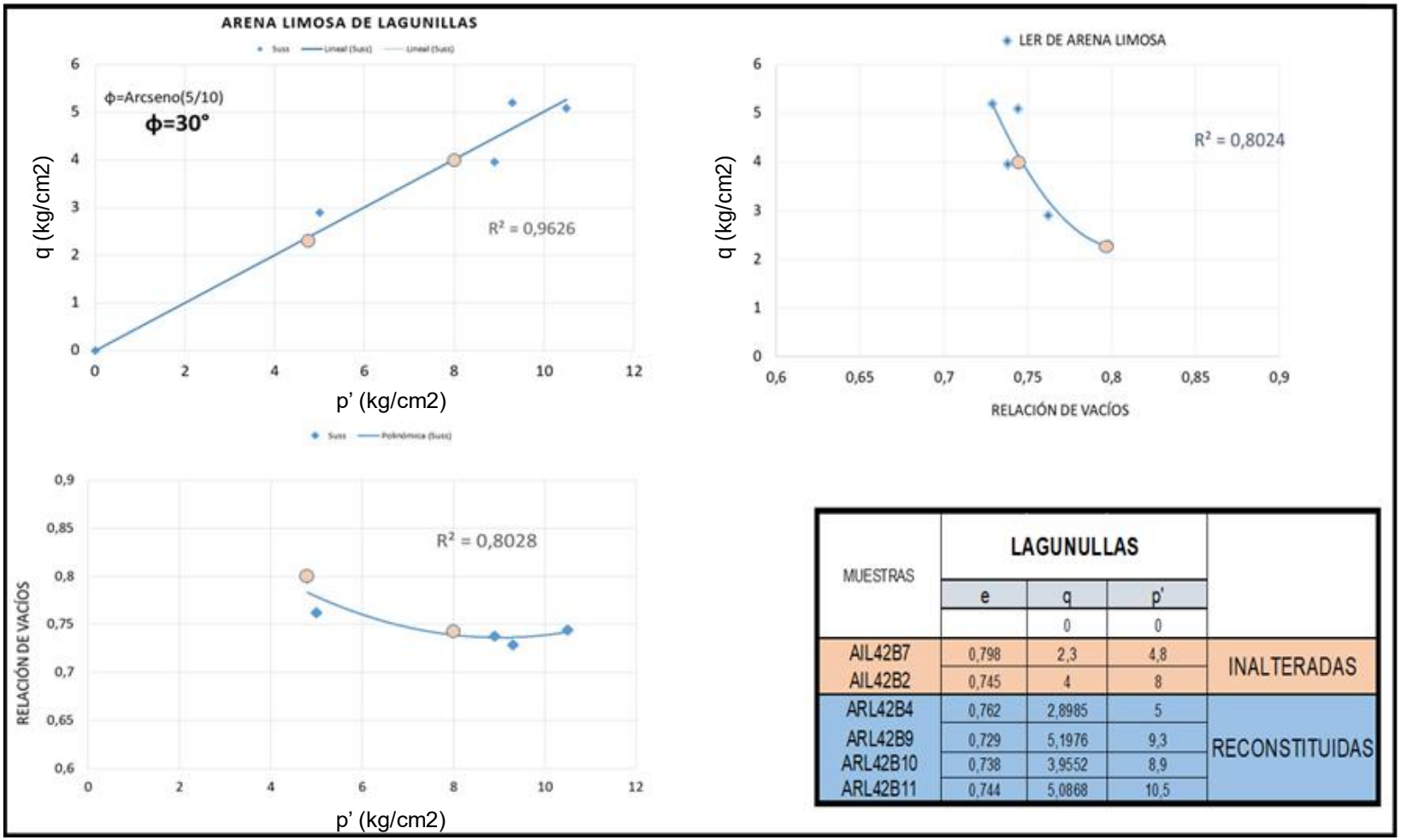
$$R = \frac{\sigma' us}{\sigma' vo} \qquad \textbf{[Ecuación 14]}$$

Se obtienen varios valores de R que corresponden a ensayos realizados, y se realiza un promedio de ellos. El valor de R da aproximadamente 0,12. Si se despeja **(σ'_{us})** de la [Ecuación 14] es posible conocer el valor faltante para trazar la LER inalterada:

$$\sigma' us = Rpromedio * \sigma' vo \qquad \textbf{[Ecuación 15]}$$

No obstante, es necesario mencionar que no se está considerando la variación del confinamiento ni de la relación de vacíos al momento de hincar los pilotes.

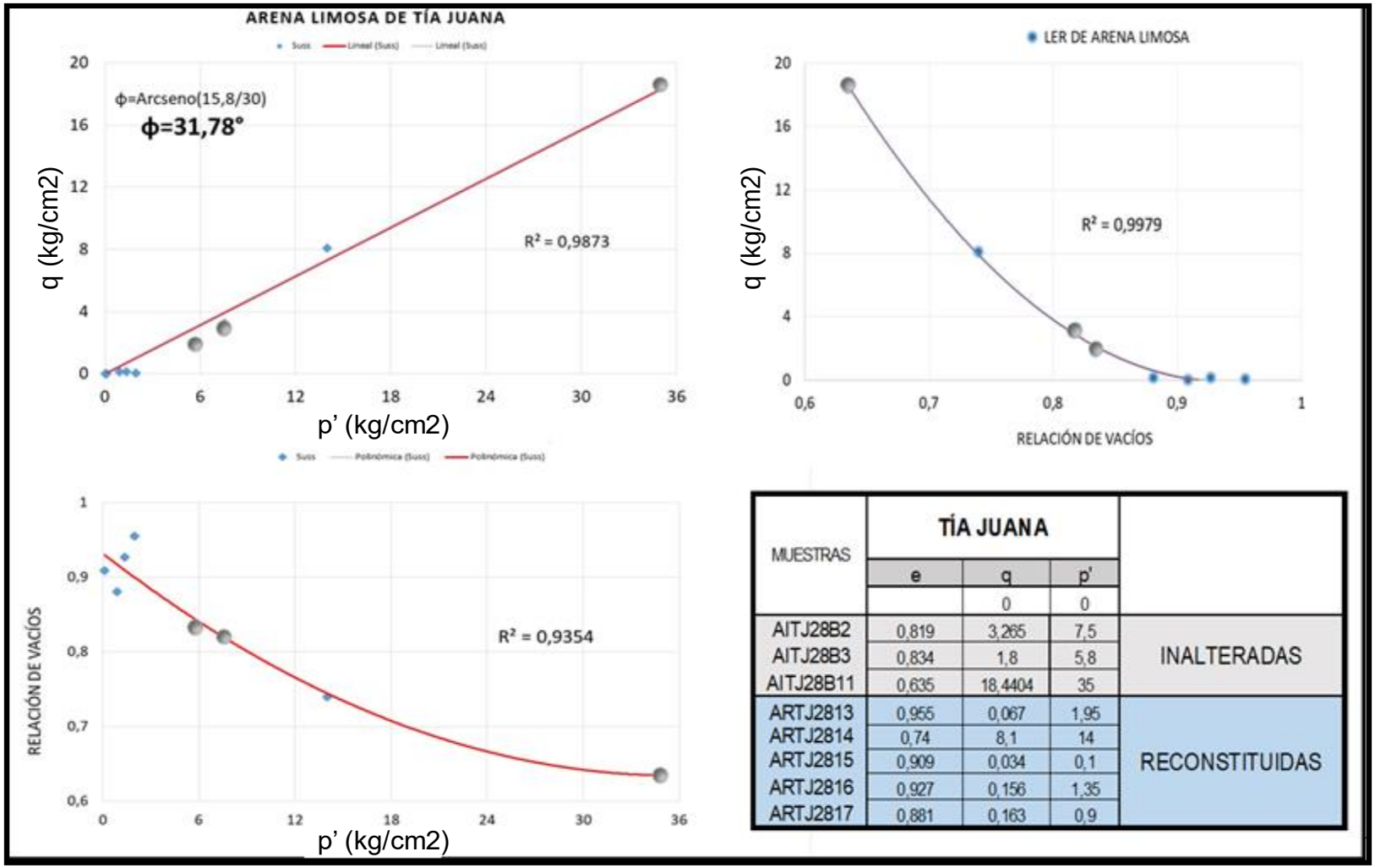
En el gráfico 4 y gráfico 5 se muestra que para las arenas limosas remoldeadas e inalteradas de Lagunillas y Tía Juana existe una única LER y ángulo de fricción para muestras. Esto se debe a que el método de subcompactación utilizado por [7] González (1994) para preparar las muestras, modeló un comportamiento muy parecido al que ocurre en campo. Ahora bien, es necesario comprobar este resultado con los ensayos realizados en este TG.



MUESTRAS	LAGUNULLAS			
	e	q	p'	
		0	0	
AIL42B7	0,798	2,3	4,8	INALTERADAS
AIL42B2	0,745	4	8	
ARL42B4	0,762	2,8985	5	RECONSTITUIDAS
ARL42B9	0,729	5,1976	9,3	
ARL42B10	0,738	3,9552	8,9	
ARL42B11	0,744	5,0868	10,5	

Gráfico 4. Comportamiento arena limosa inalterada y reconstituido en Lagunillas, Venezuela.

Fuente: Miguel Ángel González (1994)



MUESTRAS	TÍA JUANA			
	e	q	p'	
		0	0	
AITJ28B2	0,819	3,265	7,5	INALTERADAS
AITJ28B3	0,834	1,8	5,8	
AITJ28B11	0,635	18,4404	35	
ARTJ2813	0,955	0,067	1,95	RECONSTITUIDAS
ARTJ2814	0,74	8,1	14	
ARTJ2815	0,909	0,034	0,1	
ARTJ2816	0,927	0,156	1,35	
ARTJ2817	0,881	0,163	0,9	

Gráfico 5. Comportamiento arena limosa, para suelos inalterados e reconstituidos en Tía Juana, Venezuela

Fuente: Miguel Ángel González (1994)

IV. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1 Etapa de consolidación ensayos de Corte Directo Simple (DSS)

Se representan en el Gráfico 6 todas las curvas de consolidación obtenidas de las etapas de consolidación de las muestras de arena limosa y arena limpia sometidas a corte bajo altura constante.

Una de las muestras de arenas limosas se confina a un esfuerzo efectivo axial de 15kgf/cm^2 de tal forma que presente un confinamiento final similar al confinamiento de la muestra previo al hincado de los pilotes.

Se observa que las curvas de consolidación de la arena limosa tienden a una misma curva de tendencia cuando se someten a confinamientos elevados. Sin embargo, la muestra de 15kgf/cm^2, a pesar de que pareciera demostrar un comportamiento similar al de los otros ensayos con arena limosa, fue preparada con una estructura diferente y no se sabe si posee la misma tendencia. Contrariamente, las curvas de la arena limpia no tienden a una misma tendencia entre ellas. Esto puede ser producto de posibles problemas en el montaje o en la preparación de la muestra. Del mismo modo, este comportamiento de las curvas puede sugerir un comportamiento particular al de la arena limpia donde la curva de tendencia dependerá del confinamiento.

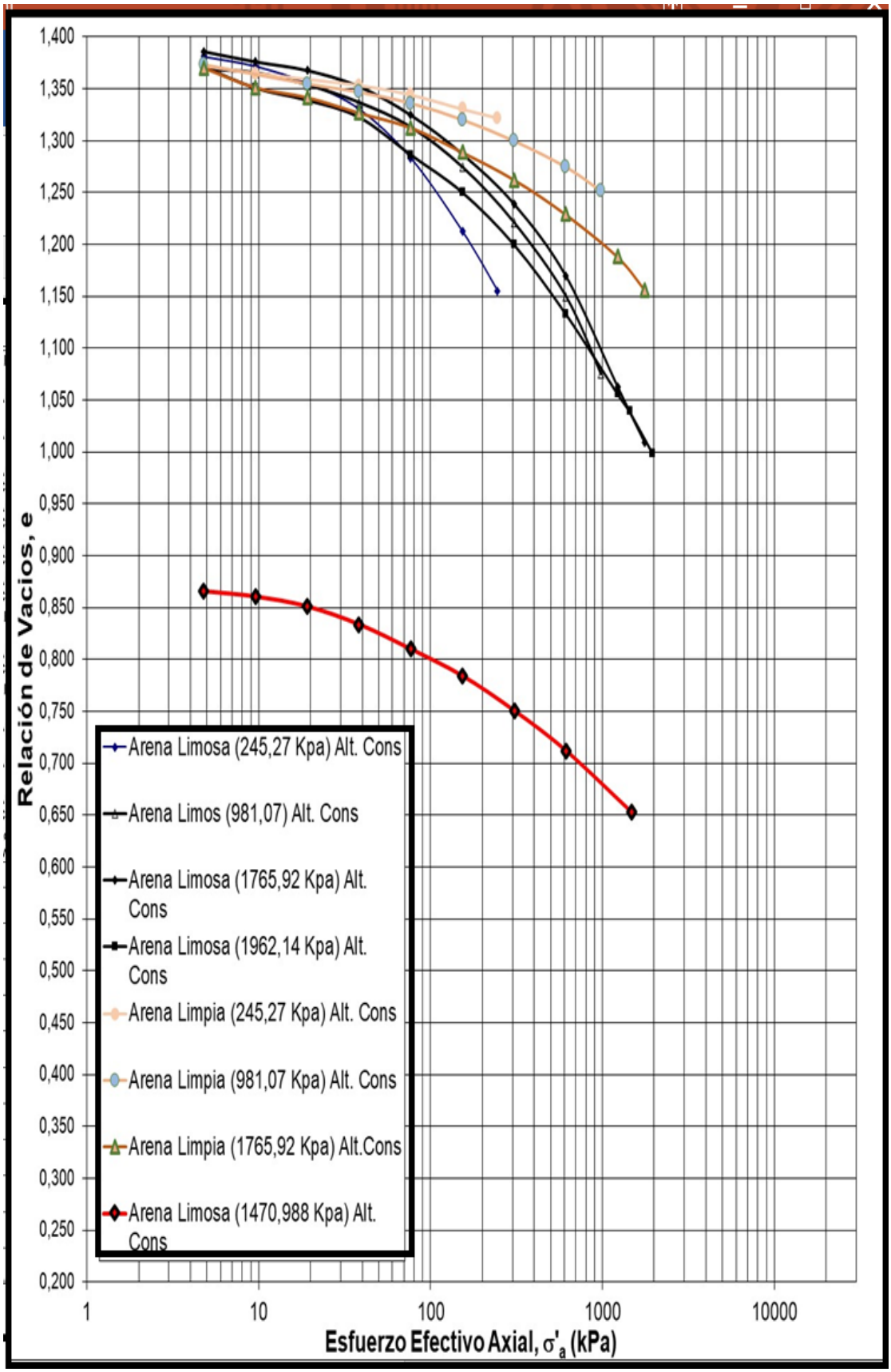


Gráfico 6. Curvas de consolidación para muestras de arena limosa a altura constante

Fuente: GeoHidra Consultores, C.A.

4.2 Ensayos de Corte Directo Simple (DSS) en arena limosa.

4.2.1 Arenas limosas (con w = 1%) sometidas a corte bajo altura constante.

La Tabla 3, muestra los parámetros iniciales de la arena limosa antes de iniciar el proceso de corte bajo altura constante (no drenado), el cual fue efectuado con el equipo de corte simple (DSS) Marca GEOJAC.

Tabla 3. Parámetros iniciales de ensayos realizados con arena limosa a altura constante.

Parámetro iniciales	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
Humedad natural inicial, ω_o (%)	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**
Porcentaje pasante No. 200, (%)	**16**	**16**	**16**	**16**
Límite Líquido, (% LL)	**NL**	**NL**	**NL**	**NL**
Límite Plástico, (% LP)	**NP**	**NP**	**NP**	**NP**
Índice de Plasticidad, (% IP)	**NP**	**NP**	**NP**	**NP**
Descripción (SUCS)	**SM**	**SM**	**SM**	**SM**
Gravedad Específica (Gs)	**2,66**	**2,66**	**2,66**	**2,66**
Peso Unitario Húmedo, γ_h (kN/m^3)	**11,07**	**11,127**	**11,047**	**11,12**
Peso Unitario Seco, γ_d (kN/m^3)	**10,96**	**10,958**	**10,938**	**11,01**
Peso Unitario Sumergido, γ_{sum} (kN/m^3)	**1,26**	**1,317**	**1,237**	**1,306**
Relación de vacíos inicial, e_0	**1,381**	**1,369**	**1,386**	**1,371**
Porcentaje de Saturación, Sr (%)	**1,93**	**1,94**	**1,92**	**1,94**
Relación de vacíos inicial al momento de ensayar, e_s	**1,155**	**1,075**	**1,009**	**0,999**
Deformación al momento de ensayar, ε_a (%)	**9,50**	**12,40**	**15,80**	**15,71**
Esfuerzo efecttivo axial al momento de ensayar, σ'_a (%)	**245,27**	**981,07**	**1765,92**	**1962,14**
Duración del esfuerzo vertical durante el ensayo (s)	**43362,00**	**101854,00**	**42826,00**	**101854,00**

Fuente: GeoHidra Consultores, C.A.

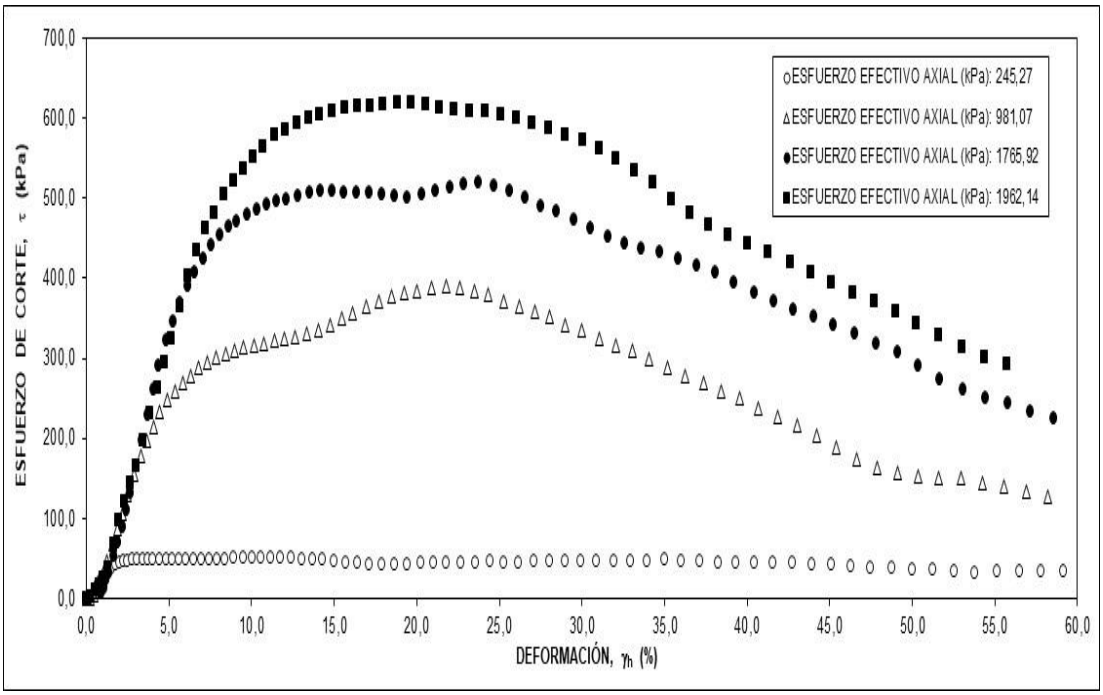


Gráfico 7. Curvas Esfuerzo de Corte vs. Deformación, para σ'_v = 2,5; 10; 18 y 20kg/cm^2.

Fuente: GeoHidra Consultores, C.A

El comportamiento de la resistencia residual al corte no drenado **(S_{uss})** de los ensayos se aprecia a través de las *Curvas Esfuerzo de Corte vs. Deformación*, presentadas en el Gráfico 7. Se observa como las muestras ensayadas a 245,27 kPa (2,5 kg/cm^2) y 981,07 kPa (10 kg/cm^2) alcanzan **(S_{uss})** a diferencia de las muestras ensayadas a 1765,02 kPa (18 kg/cm^2) y 1962,14 kPa (20kg/cm^2) donde, para una deformación de 60%, el esfuerzo cortante **(τ)** continúa disminuyendo sin alcanzar su resistencia mínima.

Por otro lado, el Gráfico 8, que contiene las *Curvas de Esfuerzo de Corte Normalizado vs. Esfuerzo Vertical Normalizado,* muestra un comportamiento contractivo para los confinamientos de 1765,92 Kpa (18 kg/cm^2) y 1962,14 kPa (20 kg/cm^2), ya que la arena llega a su resistencia máxima y luego desciende a su resistencia residual. Mientras que, para los ensayos con confinamiento de 245,27 kPa (2,5kg/cm^2) y 981,07 kPa (10kg/cm^2), se presenta un quiebre en la resistencia al corte normalizado indicando una variación de su comportamiento de contractivo a dilatante, lo cual es propio del comportamiento parcialmente contractivo.

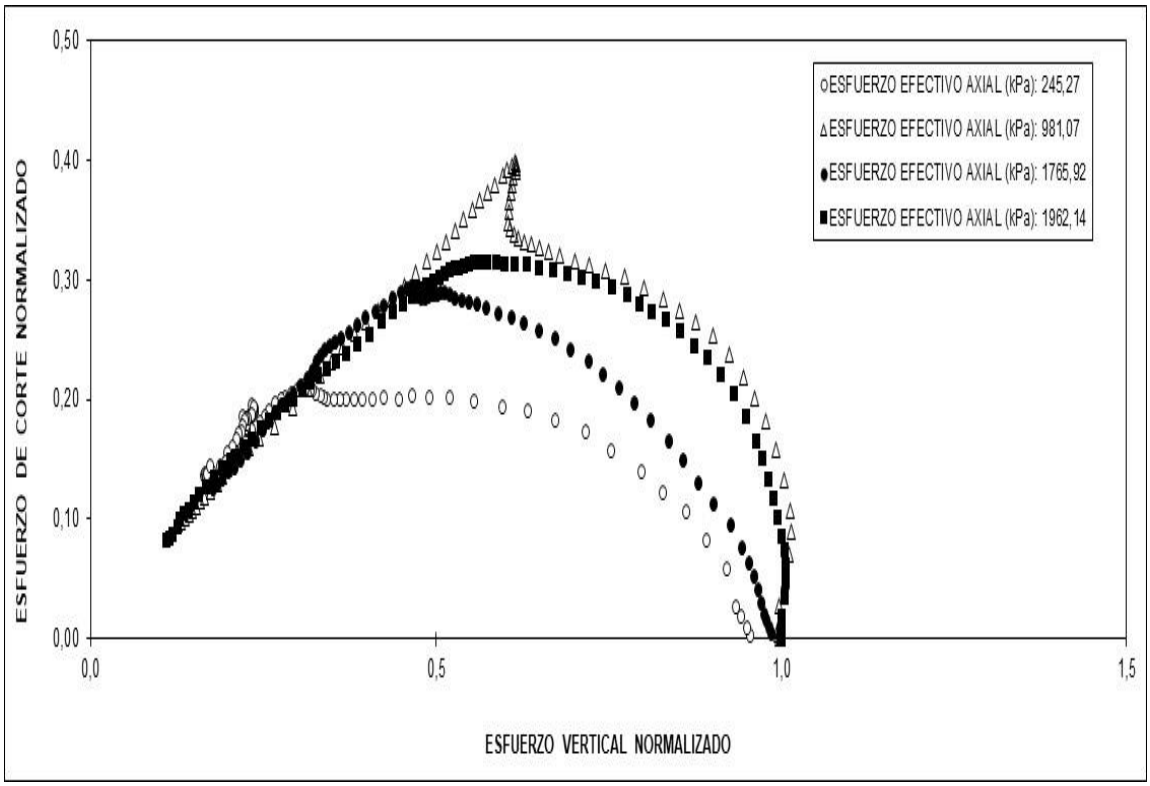


Gráfico 8. Esfuerzo de Corte Norm. vs. Esfuerzo Vertical Norm., para σ'_v = 2,5; 10; 18 y 20kg/cm^2.

Fuente: GeoHidra Consultores, C.A

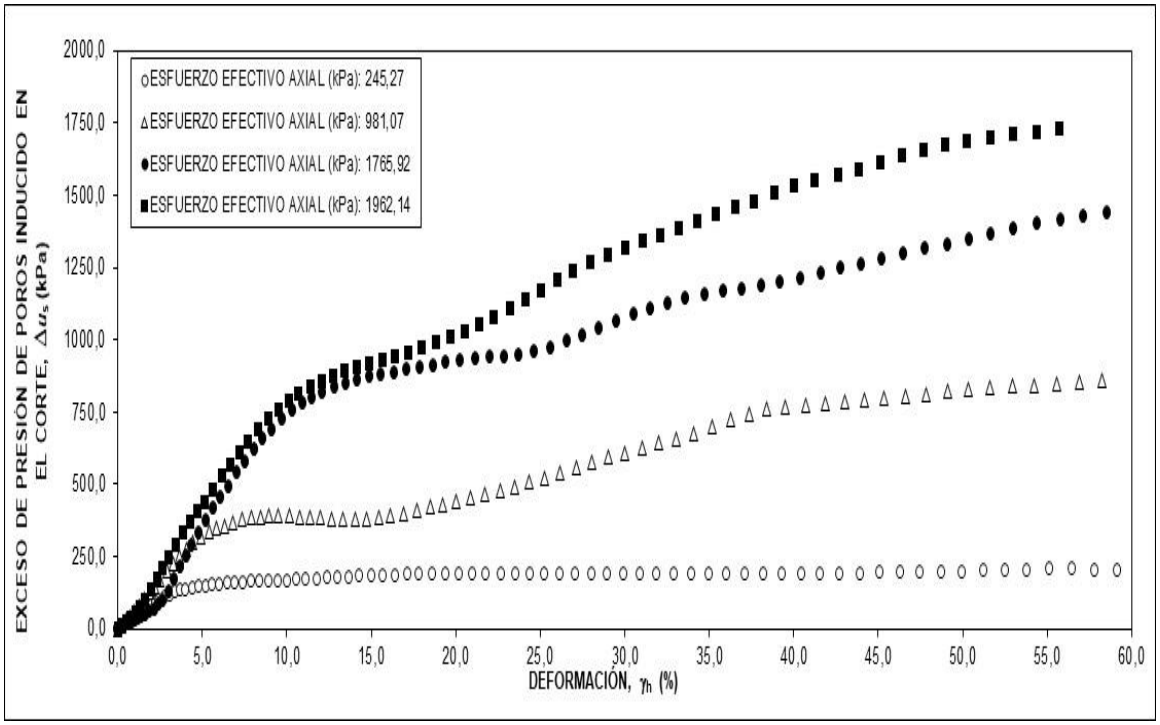


Gráfico 9. Exceso de Presión de Poros vs. Deformación, para σ'_v = 2,5; 10; 18 y 20kg/cm2.

Fuente: GeoHidra Consultores, C.A

La Gráfica 9, muestra un exceso de presión de poros constante para los ensayos confinados a 2,5 kg/cm^2 y 10 kg/cm^2, lo que demuestra que alcanzó la resistencia residual, mientras que para los otros dos ensayos el exceso de presión de poros continúa incrementándose, es decir todavía no alcanza su estado residual. Esta respuesta del suelo sugiere que cuando la muestra de arena se somete a altos confinamientos, requerirá de grandes deformaciones para alcanzar su **(S_{uss}).**

La Tabla 4, muestra la relación de vacíos y los esfuerzos generados en el suelo al llegar a la resistencia residual, esto para cada muestra, con el corte bajo modalidad de altura constante.

Tabla 4. Parámetros de la muestra de arena limosa al alcanzar la resistencia residual.

ARENA LIMOSA CON %16 DE FINOS				
Esfuerzo efectivo axial σ'v (Kg/cm2)	Esfuerzo efectivo axial σ'v (Kpa)	Relación de vacíos despues de la consolidación (eo)	Esfuerzo de Corte en la falla τf (Kpa)	σ'vf al esfuerzo de corte en la falla (Kpa)
2,5	245,267	1,155	33,259	40,46670438
10	981,069	1,075	126,338	178,9401169
18	1765,925	1,009	221,097	314,2501955
20	1962,139	0,999	264,002	349,8376803

Fuente: GeoHidra Consultores, C.A

Cómo afirmaban [10] Ishihara & Verdugo (1993), todas las muestras de arena limosa ensayada tienen el mismo ángulo de fricción residual cuando tienen la misma granulometría, angulosidad y se encuentran preparados con la misma estructura. Esto se aprecia en la línea de tendencia en el plano τ vs Esfuerzo efectivo axial, donde la línea de tendencia tiene un ángulo de fricción de 36,07°, el cual fue obtenido gráficamente. Este ángulo se tomará de ahora en adelante para las arenas limosas.

Una vez obtenido el $Ø'_{us}$, a través del modelo de [6] Echezuría (2018), se procede a correlacionar la relación de vacíos, el esfuerzo cortante en la falla y el esfuerzo efectivo obtenido para los ensayos de arena limosa En el Gráfico 11, se aplica el [6] Modelo de Echezuría (2018) con los resultados obtenidos en

el estado residual. Se evidencia como todos los puntos se encuentran correlacionados, lo cual demuestra la efectividad del método.

Ahora bien, para este estudio se procedió a determinar del ángulo de fricción en la resistencia pico, ya que este será la resistencia máxima que alcanza el suelo, siendo esto lo que representa la problemática en los pilotes de la plataforma petrolera, porque a partir de ahí comienza a perder la resistencia el suelo, esto cuando tienen comportamiento contractivo o parcialmente contractivo. Debido a que las muestras para este estudio tienen comportamientos contractivos, estas generan picos.

Tabla 5. Ángulos de fricción correspondiente a los ensayos de DSS realizados en la modalidad de altura constante para la arena con contenido de limos.

Esfuerzo efectivo axial (kg/cm2)	Esfuerzo de Corte τ (PSI)	σ'v al esfuerzo de corte máximo (PSI)	max esfuerzo de corte (τ)/ σ'v al esfuerzo de corte máximo	Angulo de fricción (ϕ)
2,5	7,45	10,91	0,682	34,32°
10	56,46	87,15	0,647	32,93°
18	75,29	118,87	0,633	32,34°
20	89,70	160,62	0,558	29,18°

Fuente: Propia

Donde el ángulo de fricción pico promedio de 32° va a ser el utilizado para este estudio.

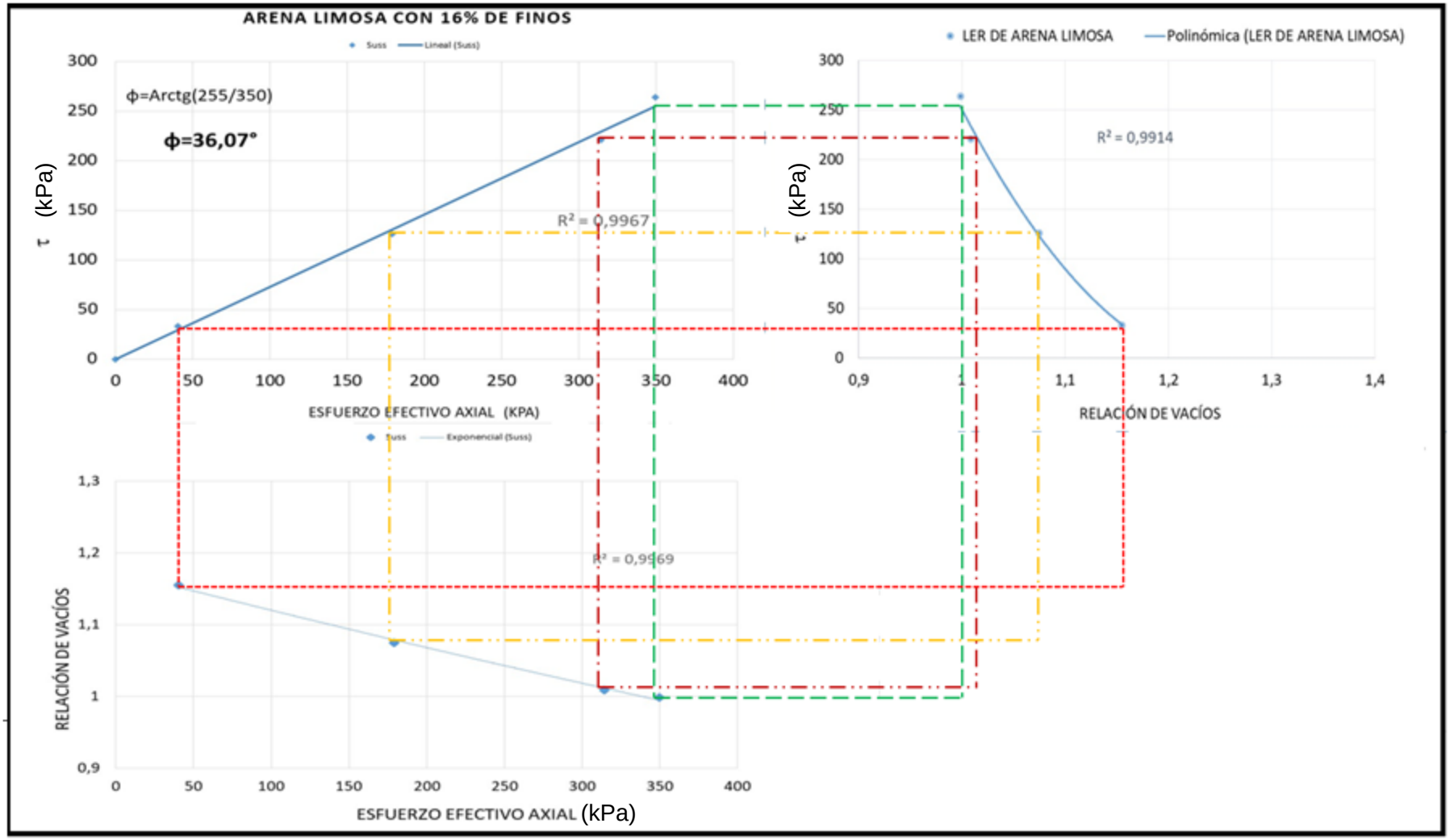


Grafico 11 . Aplicación del Modelo de Echezuria (2018) a la muestra de arena limosa bajo altura constante

Fuente: Propio

4.2.2 Arenas limosas (con w = 0%) sometidas a corte bajo altura constante.

A continuación, se presentan los parámetros iniciales de la muestra confinada a 15 kg/cm2 y cortada bajo altura constante.

Tabla 6. Parámetros iniciales de las muestras ensayadas a altura constante con confinamiento de 15 kg/cm2

Parámetro iniciales	Punto 5
Humedad natural inicial, ω_o (%)	**0**
Porcentaje pasante No. 200, (%)	**16**
Límite Líquido, (% LL)	**NL**
Límite Plástico, (% LP)	**NP**
Índice de Plasticidad, (% IP)	**NP**
Descripción (SUCS)	**SM**
Gravedad Específica (Gs)	**2,66**
Peso Unitario Húmedo, γ_h (kN/m^3)	**13,94**
Peso Unitario Seco, γ_d (kN/m^3)	**13,94**
Peso Unitario Sumergido, γ_{sum} (kN/m^3)	**4,126**
Relación de vacíos inicial, e_0	**0,865**
Porcentaje de Saturación, Sr (%)	**0,00**
Relación de vacíos inicial al momento de ensayar, e_s	**0,653**
Deformación al momento de ensayar, ε_a (%)	**11,72**
Esfuerzo efecttivo axial al momento de ensayar, σ'_a (%)	**1471,60**
Duración del esfuerzo vertical durante el ensayo (s)	**16405,50**

Fuente: GeoHidra Consultores C.A

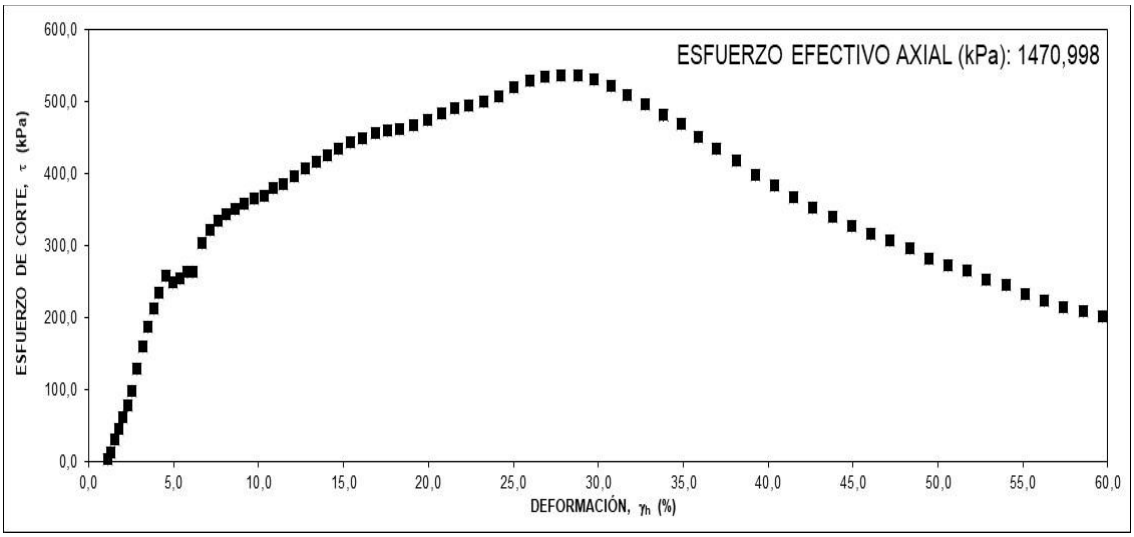


Gráfico 12. Esfuerzo de Corte vs. Deformación, para arena limosa a σ'_v = 15kg/cm2.

Fuente: GeoHidra Consultores, C.A

En el Gráfico 12, se observa el comportamiento de la muestra donde se llega a una resistencia máxima, y luego desciende hasta llegar a su resistencia residual. Por medio del Gráfico 13, se comprueba que la muestra presenta un comportamiento parcialmente contractivo.

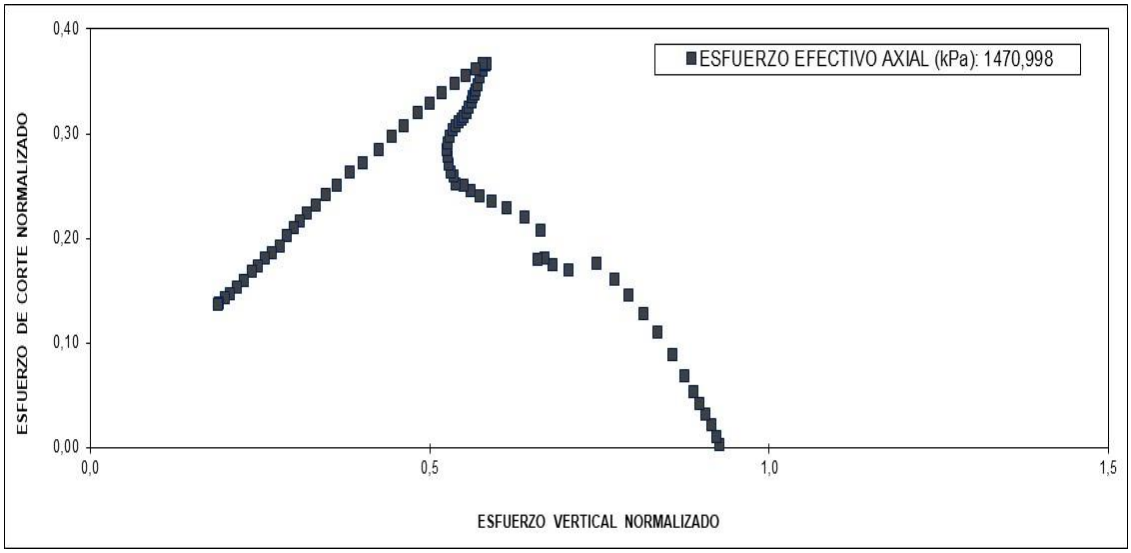


Gráfico 13. Esfuerzo de Corte Norm. vs. Esfuerzo Vertical Norm., para arena limosa a σ'_v = 15kg/cm2.

Fuente: GeoHidra Consultores, C.A

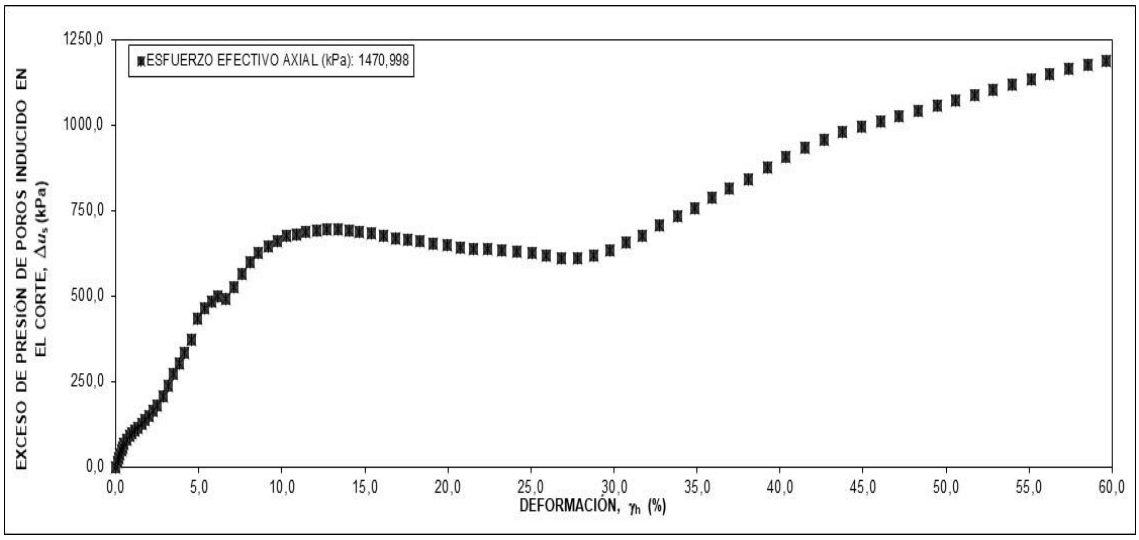


Gráfico 14. Exceso de Presión de Poros vs. Deformación, para arena limosa a σ'_v = 15kg/cm2

Fuente: GeoHidra Consultores, C.A

En el Gráfico 15, al representar la resistencia residual (Suss) se genera una LER paralela a la LER generada por los ensayos de corte para arena

limosa (w=1%). Esto ocurre debido a que las muestras de arena limosa (w=1%) presentan un montaje y preparación diferente a la de muestra de arena limosa (w=0%), ya que esta última fue más densificada. Se observa que el valor de la resistencia residual para el ensayo confinado a 15kgf/cm^2 se encuentra sobre la misma envolvente residual por lo que en ambos casos la arena tiene el mismo ángulo de fricción residual.

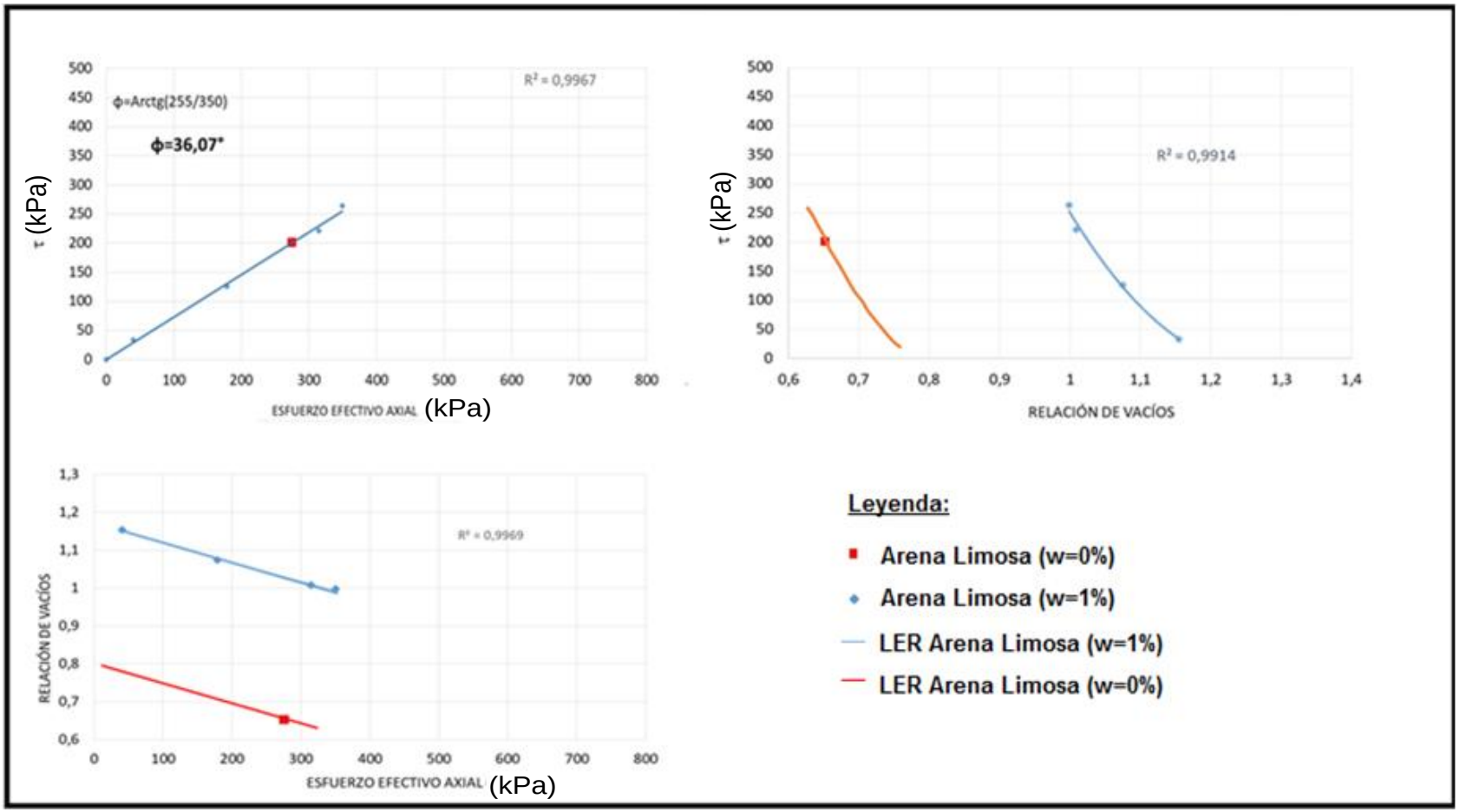


Gráfico 15. Comportamiento Arena Limosa (w=1%) y Arena Limosa (w=0%)

Fuente: Propio

4.2.3 Arenas limosas (con w = 1%) sometidas a corte bajo esfuerzo constante.

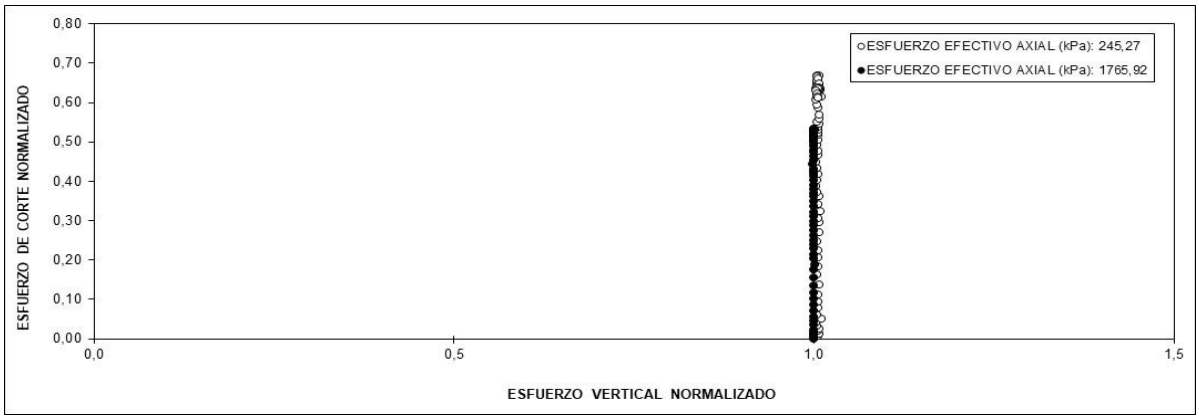
Se realizaron ensayos con arena limosa consolidada a 2,5 kg/cm^2 y 18 kg/cm^2, y cortadas bajo la modalidad de esfuerzo constante. A continuación, se muestran los parámetros iniciales de las muestras ensayadas.

Tabla 7. Parámetros iniciales de ensayos realizados con arena limosa a esfuerzo constante.

Parámetro iniciales	Punto 1	Punto 2
Humedad natural inicial, ω_o (%)	**1,00**	**1,00**
Porcentaje pasante No. 200, (%)	**16**	**16**
Límite Líquido, (% LL)	**NL**	**NL**
Límite Plástico, (% LP)	**NP**	**NP**
Índice de Plasticidad, (% IP)	**NP**	**NP**
Descripción (SUCS)	**SM**	**SM**
Gravedad Específica (Gs)	**2,66**	**2,66**
Peso Unitario Húmedo, γ_h (kN/m^3)	**11,14**	**11,124**
Peso Unitario Seco, γ_d (kN/m^3)	**11,03**	**11,014**
Peso Unitario Sumergido, γ_{sum} (kN/m^3)	**1,33**	**1,314**
Relación de vacíos inicial, e_0	**1,366**	**1,369**
Porcentaje de Saturación, Sr (%)	**1,95**	**1,94**
Relación de vacíos inicial al momento de ensayar, e_s	**1,214**	**1,026**
Deformación al momento de ensayar, ε_a (%)	**6,42**	**14,36**
Esfuerzo efecttivo axial al momento de ensayar, σ'_a (%)	**245,27**	**1765,92**
Duración del esfuerzo vertical durante el ensayo (s)	**40673,00**	**43165,00**

Fuente: GeoHidra Consultores, C.A

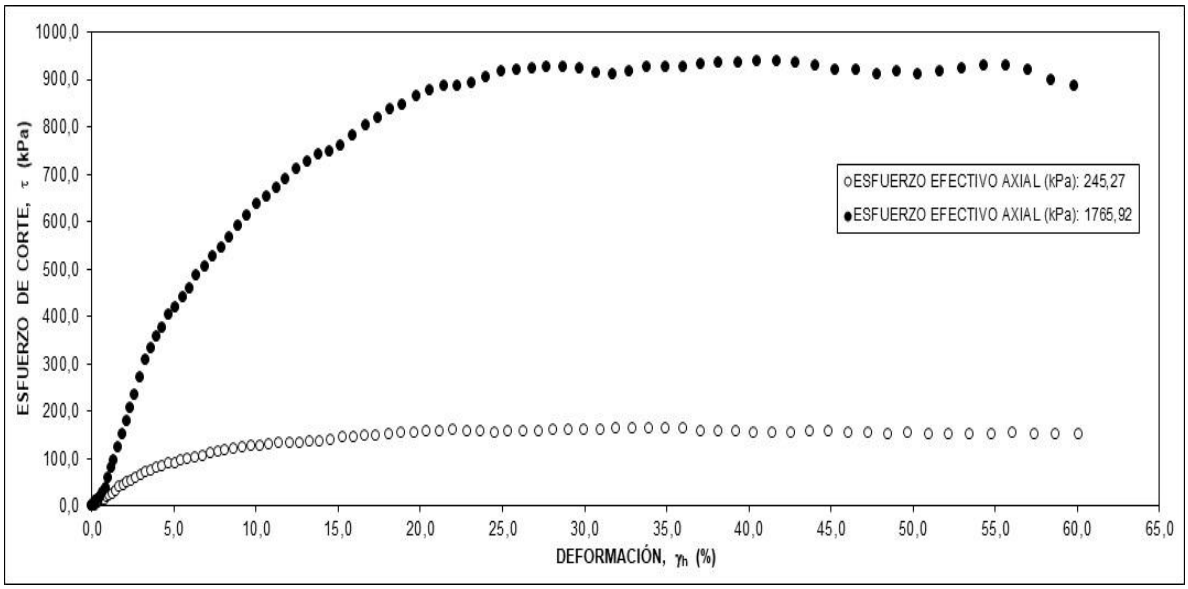
La Gráfica 16 muestra como el esfuerzo vertical se mantiene constante, generando así una presión de poros constante, lo cual es característico de un comportamiento drenado.



Gráfica 16. Gráfico Esfuerzo de Corte Norm. vs. Esfuerzo Vertical Norm. para muestra de arena limosa a esfuerzo constante

Fuente: GeoHidra Consultores, C.A.

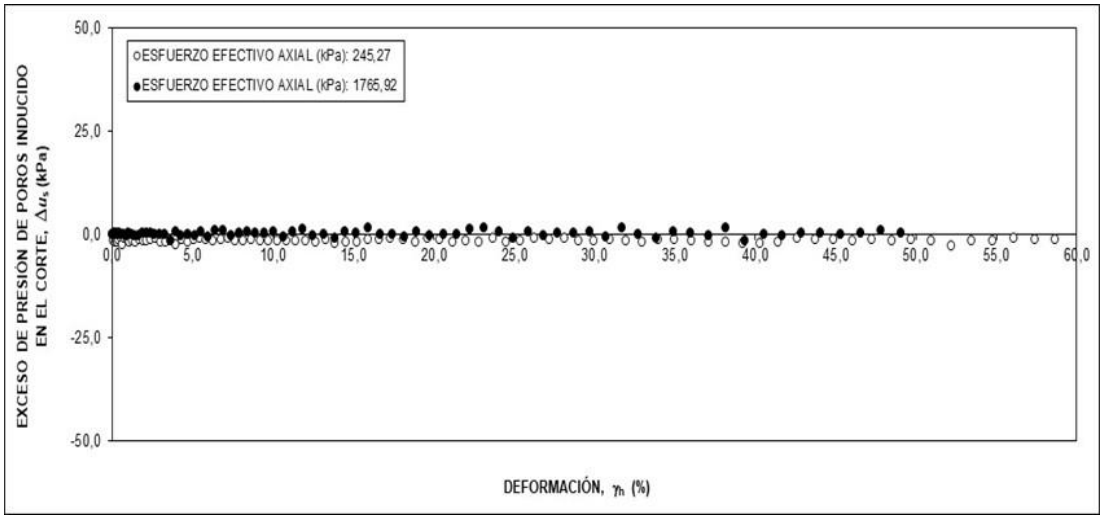
En el Gráfico 17, la muestra de arena limosa pareciera alcanzar su resistencia residual, pero esto no es necesariamente cierto. Esto último se comprobará más adelante con el modelo de Echezuría, donde se observará como las muestras ensayadas con diferentes confinamientos no llegan a alcanzar la LER generada por los ensayos a altura constante.



Gráfica 17. Gráfico Esfuerzo de Corte vs. Deformación para muestra de arena limosa a esfuerzo constante

Fuente: GeoHidra Consultores, C.

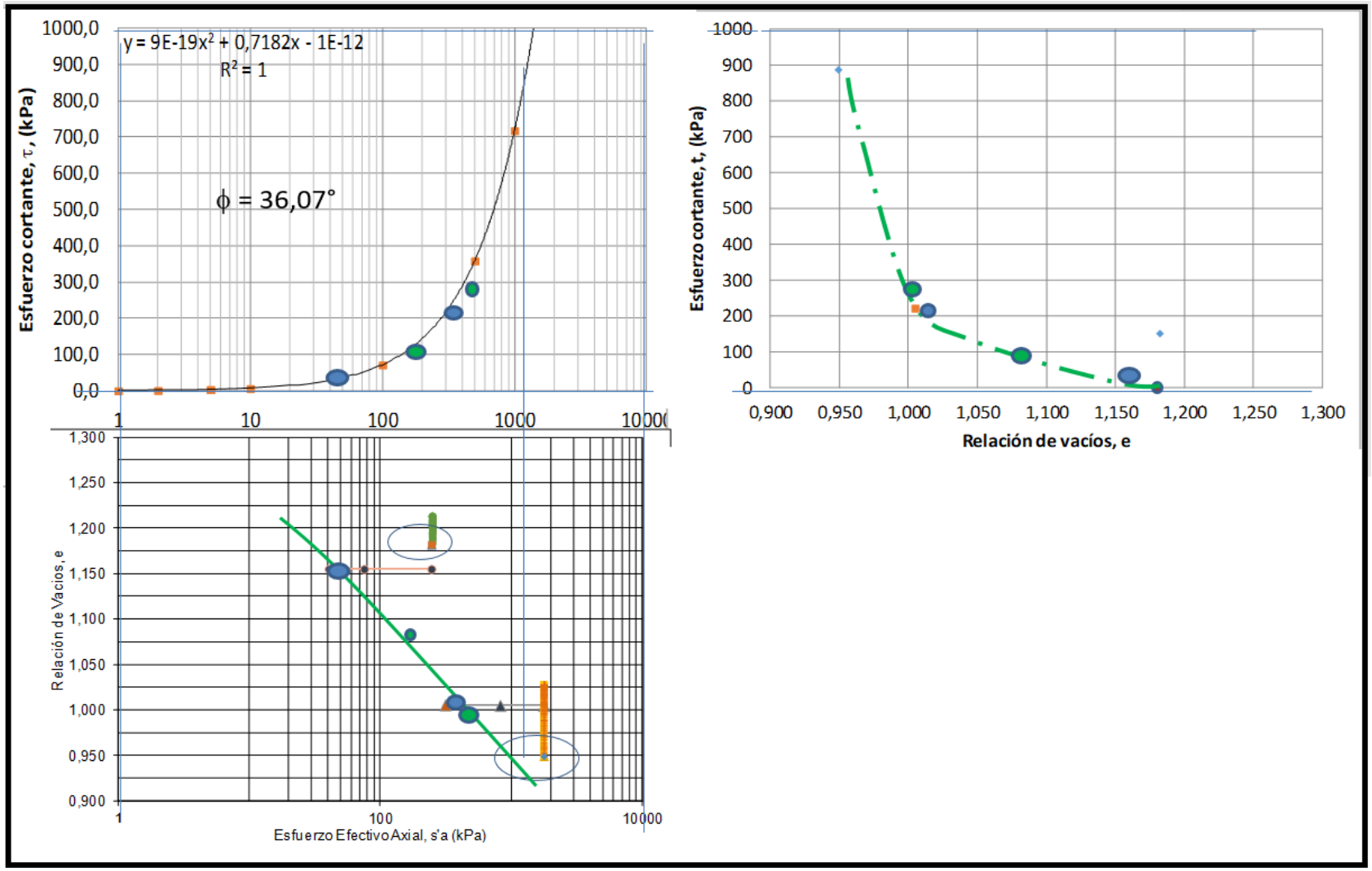
Por medio de la Gráfica 18 se corrobora que no existirá variación de la presión de poros debido al proceso drenado al cual se encuentra sometida la muestra de arena.



Gráfica 18. Exceso de presión de poros inducido en el corte vs. Deformación

Fuente: GeoHidra Consultores, C.A.

En la Gráfica 19, se muestra el [6] Modelo de Echezuría aplicado a los ensayos bajo esfuerzo constante. La LER generada corresponde a los ensayos realizados a altura constante, mientras que los dos puntos generados por los ensayos a esfuerzos constantes se encuentran señalados con un círculo en el plano e-σ'. Es evidente que, para una deformación del 60%, no se alcanza el estado residual para los ensayos bajo condición drenada. Por ende, se confirma lo expuesto en la teoría y el modelo adquiere mayor validez.



Gráfica 19. Aplicación del Modelo de Echezuría a los ensayos realizados

Fuente: Propia

4.3 Ensayos de Corte Directo Simple (DSS) en arena limpia.

Se realizaron 3 ensayos de DSS en la muestra de arena limpia con diferentes confinamientos de 2,5 kg/cm^2, 10 kg/cm^2 y 18 kg/cm^2, bajo la modalidad de altura constante. Se explicarán sus comportamientos y se determinará su LER.

A continuación, se presentan los parámetros iniciales de la muestra de arena limpia en la Tabla 8.

Tabla 8. Parámetros iniciales de las muestras de arena limpia, ensayadas a altura constante.

Parámetro iniciales	Punto 1	Punto 2	Punto 3
Humedad natural inicial, ω_o (%)	**1,00**	**1,00**	**1,00**
Porcentaje pasante No. 200, (%)	**0**	**0**	**0**
Límite Líquido, (% LL)	**NL**	**NL**	**NL**
Límite Plástico, (% LP)	**NP**	**NP**	**NP**
Índice de Plasticidad, (% IP)	**NP**	**NP**	**NP**
Descripción (SUCS)	**S**	**S**	**S**
Gravedad Específica (Gs)	**2,66**	**2,66**	**2,66**
Peso Unitario Húmedo, γ_h (kN/m^3)	**11,10**	**11,107**	**11,110**
Peso Unitario Seco, γ_d (kN/m^3)	**10,99**	**10,992**	**11,000**
Peso Unitario Sumergido, γ_{sum} (kN/m^3)	**1,29**	**1,297**	**1,300**
Relación de vacíos inicial, e_0	**1,374**	**1,373**	**1,372**
Porcentaje de Saturación, Sr (%)	**1,94**	**1,94**	**1,94**
Relación de vacíos inicial al momento de ensayar, e_s	**1,322**	**1,251**	**1,156**
Deformación al momento de ensayar, ε_a (%)	**2,18**	**5,12**	**9,10**
Esfuerzo efecttivo axial al momento de ensayar, σ'_a (%)	**245,17**	**981,07**	**1765,92**
Duración del esfuerzo vertical durante el ensayo (s)	**41269,00**	**0,00**	**41440,00**

Fuente: GeoHidra Consultores, C.A.

En el Gráfico 20 se presenta el comportamiento dilatante de la muestra de arena confinada a 2,5kg/cm^2. Esto se evidencia en la rapidez con que se acerca a la envolvente para ganar su resistencia máxima, y luego decae hasta

la resistencia residual. Este comportamiento difiere del de la muestra de arena limosa confinada a 2,5kgf/cm^2, la cual presenta un comportamiento contractivo.

La muestra confinada a 10 kg/cm^2, presenta un comportamiento parcialmente contractivo, el cual también se aprecia en la arena limosa. Por último, la muestra con confinamiento de 18 kg/cm^2, tiene un comportamiento contractivo, aunque presenta una pérdida de esfuerzos ya que se generan presiones negativas representativas del comportamiento dilatante. Esto puede deberse a errores en la montura de la muestra, a alguna falla en el equipo o a un problema mientras se cortaba la muestra.

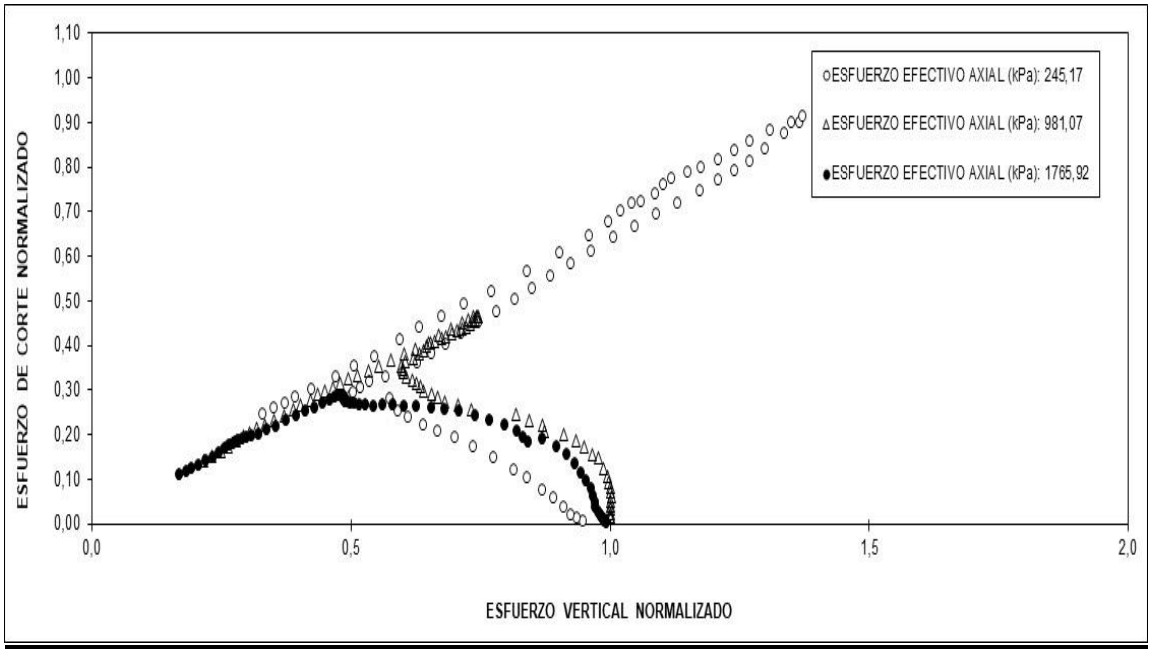


Gráfico 20. Curva de Esfuerzo de Corte Norm. Vs. Esfuerzo Vertical Norm. para arena limpia bajo altura constante.

Fuente: GeoHidra Consultores, C.A.

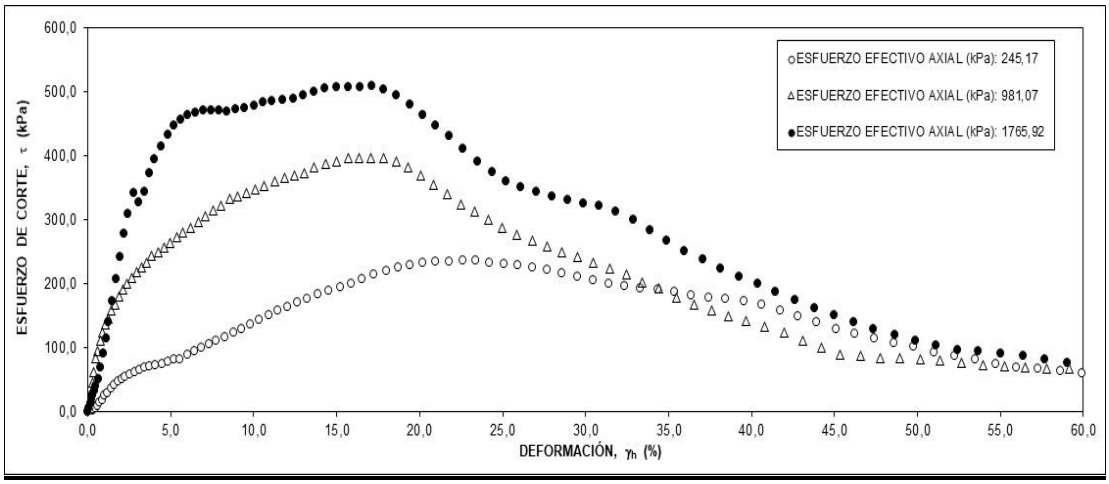


Grafico 21. Curvas Esfuerzo de Corte vs Deformación de arena limpia bajo altura constante

Fuente: GeoHidra Consultores, C.A.

En el Gráfico 21 se observa el comportamiento de los tres ensayos. La arena limpia contractiva muestra un pico que después decae hasta alcanzar su resistencia residual. Por otro lado, la dilatante presenta una gran deformación para llegar a su resistencia pico, y luego perder su resistencia hasta llegar a la residual. Todas las muestras alcanzan su resistencia residual a medida que se acercan a la misma deformación y esfuerzo de corte.

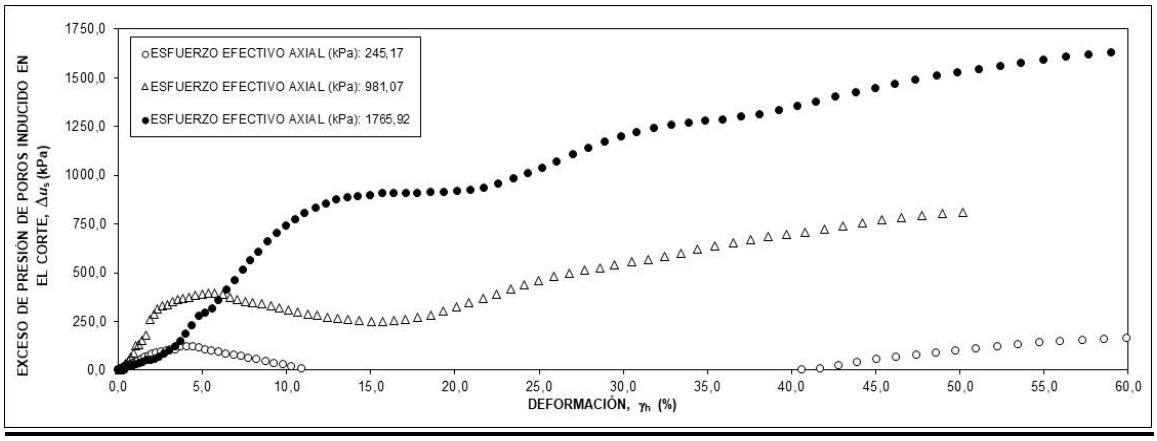


Gráfico *22.* Exceso de Presión de Poros vs. Deformación de arena limpia bajo altura constante

Fuente: GeoHidra Consultores, C.A.

Por último, en el Gráfico 22 se observa como varía la presión de poros. Si desciende la curva existirán presiones de poros negativas, generando así un comportamiento dilatante. Esto comprueba que la muestra confinada a 2,5 kg/cm2 presenta un comportamiento dilatante, y la muestra de 10 kg/cm2 exhibe un comportamiento parcialmente contractivo.

Se hallaron los valores de esfuerzos de corte y esfuerzos efectivos axiales en el estado residual.

Tabla 9. Parámetros de las muestras ensayas de arena limpia a altura constante al alcanzar su resistencia residual.

ARENA LIMPIA (SIN FINOS)				
Esfuerzo efectivo axial σ'v (Kg/cm2)	Esfuerzo efectivo axial σ'v (Kpa)	Relación de vacíos despues de la consolidación (eo)	Esfuerzo de Corte τf (Kpa)	σ'vf al esfuerzo de corte en la falla (Kpa)
2,5	245,267	1,322	60,272	81,06063501
10	981,069	1,251	66,050	169,7213645
18	1765,925	1,156	75,644	136,1629941

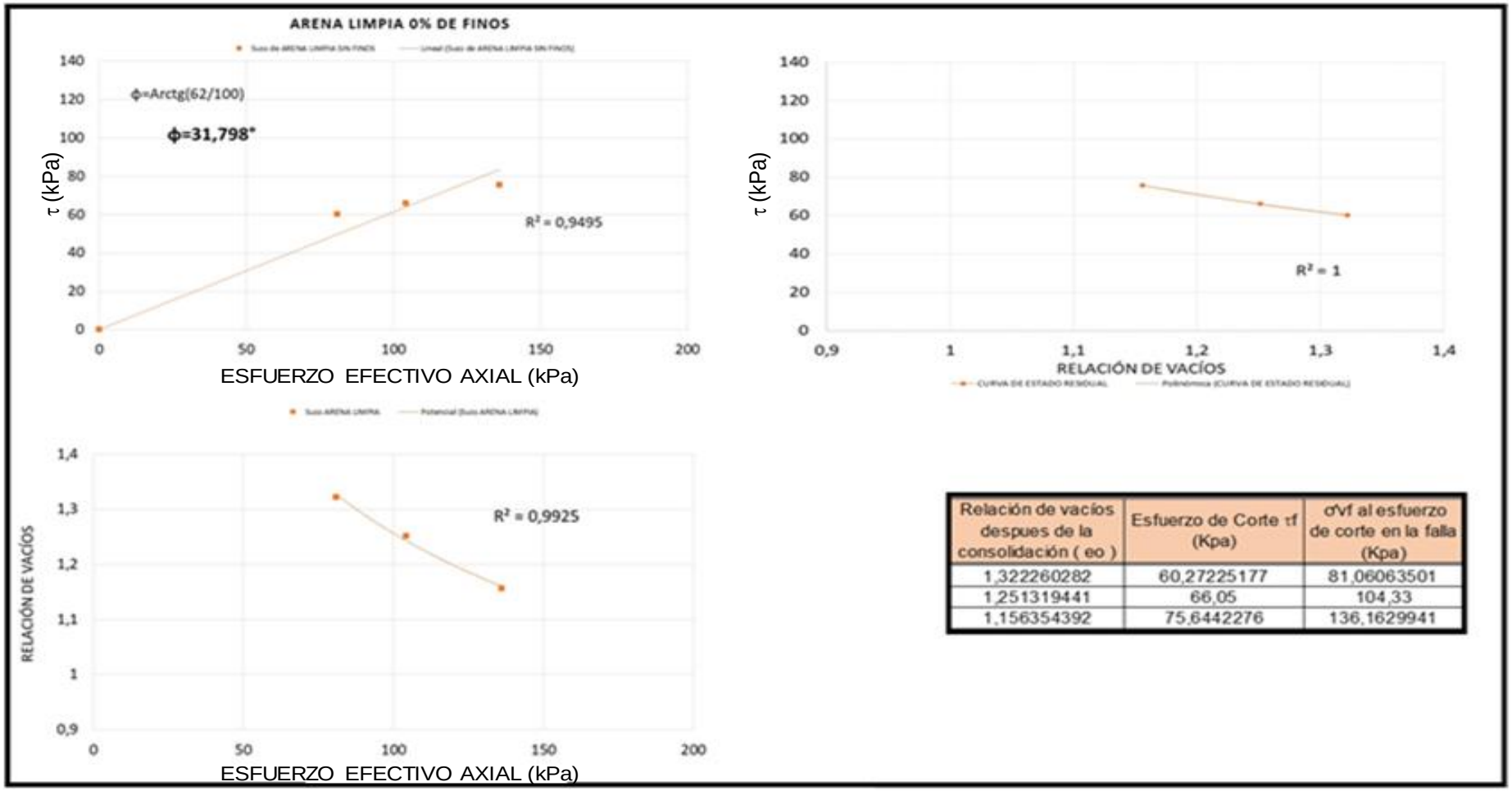
Fuente: Propia

Por medio de los valores mostrados en la Tabla 9, se graficó la relación de vacíos al término de la consolidación, el esfuerzo cortante al momento de fallar la muestra y el esfuerzo efectivo axial en la falla en el Modelo de [6] Echezuría (2018), ver Figura 23.

En la Gráfica 24 se presenta el comportamiento de las muestras con diferente contenido de limo. Se aprecia cómo aumenta la línea de estados residuales (LER) al cambiarle la composición de la muestra, donde la arena sin contenido de limos tiene menor ángulo de fricción. Esto es importante ya que con este resultado se concluye que a diferente granulometría en la muestra, estas tendrán LER con ángulos de fricción diferentes.

También se aprecia como en el plano (e vs esfuerzo efectivo axial), la muestra con menor contenido de limos tiene mayor pendiente que la arena con un contenido de finos mayor, corroborando así lo expuesto por [6] Miguel González (1994).

Por último, se concluye que una arena con contenido de finos no plásticos mayor debe tener mayor resistencia que una arena con menor contenido de finos no plásticos.



Relación de vacíos despues de la consolidación (eo)	Esfuerzo de Corte τf (Kpa)	σ'vf al esfuerzo de corte en la falla (Kpa)
1,322260282	60,27225177	81,06063501
1,251319441	66,05	104,33
1,156354392	75,6442276	136,1629941

Gráfico 23 . Comportamiento Arena Limpia

Fuente: Propia

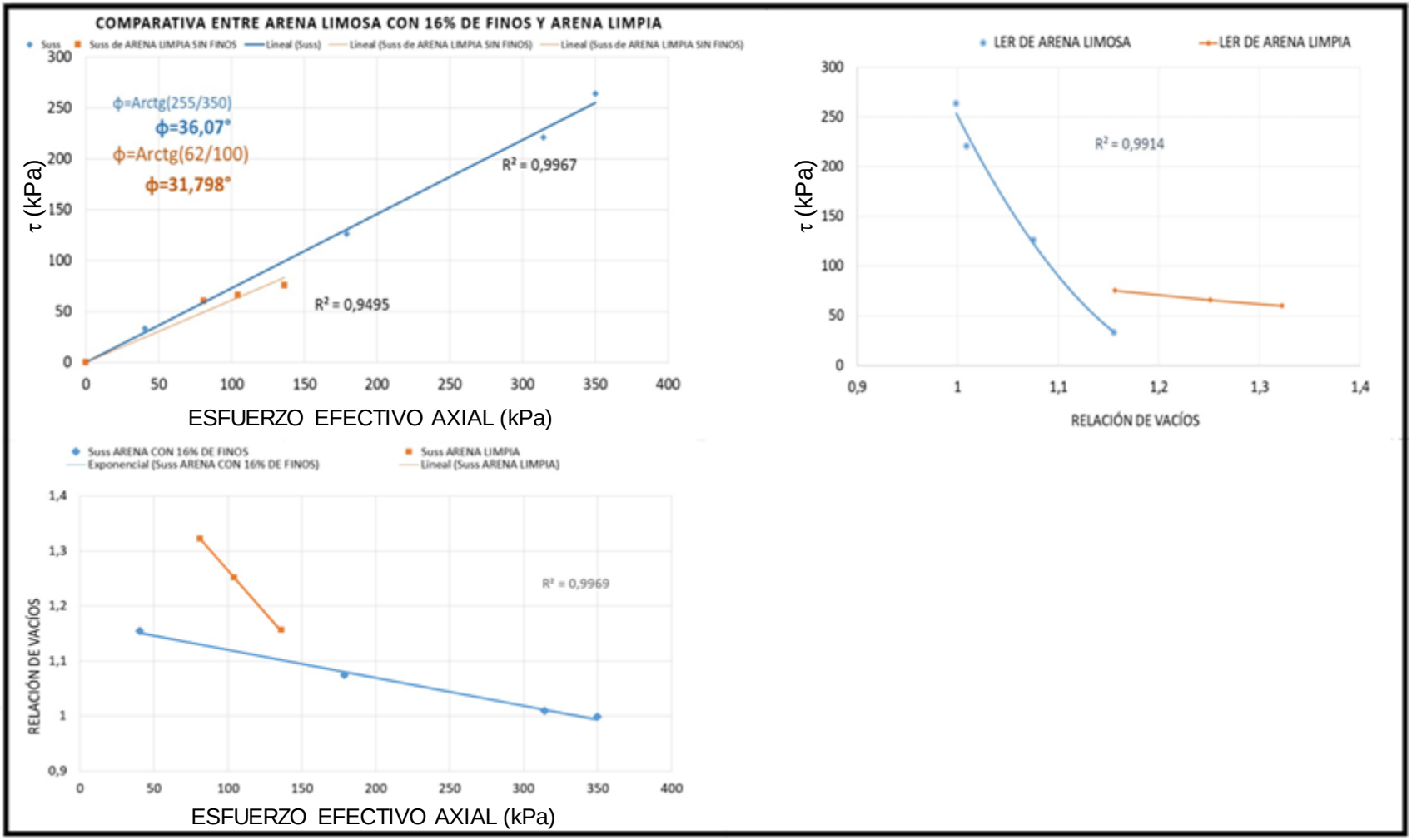


Gráfico 24. Comportamiento Arena Limosa (w=1%) y Arena Limpia

Fuente: Propia

4.4 Determinación LER inalterada representativa del sitio

Las LER para muestras inalteradas y reconstituidas se ubican en posiciones diferentes en el plano **(τ-e)**; sin embargo, estas resultan paralelas entre sí [7] (González, 1994).

En ensayos previos, realizados por la empresa GeoHidra Consultores C.A., se obtuvieron los siguientes parámetros iniciales de la muestra en campo: Gs=2,66; w=23,7%, s=100%. Con estos datos, se calcula la relación de vacíos, confinamiento y el peso unitario del suelo en sitio**.**

Se calcula la relación de vacíos haciendo uso de la [Ecuación 12].

$$e = \frac{2{,}66 * 23{,}7}{100}$$

$$e = 0{,}63$$

Se calcula el peso específico seco ($\boldsymbol{\gamma_d}$), utilizando la [Ecuación 13]. Se toma el peso específico del agua de mar como $\gamma w = 1{,}026$ Ton/m^3

$$\gamma_d = \frac{2{,}66}{1+0{,}79} * 1{,}026 = 1{,}674 \text{ Ton/m}^3$$

Se calcula el peso unitario sumergido (γ'):

$$\gamma' = 1{,}674 - 1{,}026 = 0{,}648 \text{ Ton/m}^3$$

Por último, se determinó el confinamiento que tiene el suelo a la profundidad estudiada:

$$\sigma_1 = \sigma'_{vo} = 0{,}648 \text{ Ton/m}^3 * 107{,}10\text{m}$$

$$\sigma'_{vo} = 69.822 \text{ kg/m}^2 = 684{,}718 \text{ kPa}$$

Los estratos de suelos por encima de los 107,70m de profundidad, se consideran con peso específico ($\boldsymbol{\gamma_d}$), igual a $1{,}674$ Ton/m^3. Se utiliza un solo valor como simplificación, debido a que los valores de cada estrato se encuentran muy cercanos al ($\boldsymbol{\gamma_d}$) utilizado.

Se concluye que la arena limosa en sitio presenta los siguientes parámetros: e= 0,63 y σ'_{vo} = 684,718 kPa. Por lo tanto, para la aplicación del Modelo de Echezuría se necesita solamente el esfuerzo efectivo axial en el estado residual (σ'_{us}).

Para obtener la línea de estados residuales del sito, es necesario además de la relación de vacíos, el esfuerzo efectivo axial en la resistencia residual, para obtener este parámetro fue necesario relacionar el confinamiento inicial al que fue sometida la muestra y el esfuerzo efectivo en la resistencia residual, Esto con la intención de normalizar estos esfuerzos. Dado que es una práctica común en estos ensayos, el cual es reportado por [9] Ishihara, [12] Kramer y [7] González. Dándoles a ellos en promedio de todos sus ensayos 0,12.

Para usar la expresión de la [Ecuación 15] se debe obtener un promedio de los valores de R de cada uno de los ensayos de corte con arena limosa bajo altura constante: Utilizando la [Ecuación 14] se obtienen:

- $R_{2.5\ kg/cm2} = \frac{33,75}{245,27} = 0,137$
- $R_{10\ kg/cm2)} = \frac{93,13}{981,07} = 0,095$
- $R_{15\ kg/cm2} = \frac{276}{1471,12} = 0,187$
- $R_{18\ kg/cm2} = \frac{225,9}{1765,92} = 0,128$
- $R_{20\ kg/cm2} = \frac{159,93}{1962,14} = 0,081$

Se promedian los valores de “R” anteriores y se obtiene:

- $R_{promedio} = \frac{0,137+0,095+0,187+0,128+0,081}{5} = 0,125$

Al promediar estos resultados, se obtiene una relación de R=0,125. [7] González (1994) obtuvo un valor de $R_{promedio}$ de 0,12 en arenas limosas de Tía Juana y Lagunillas, lo cual le da validez al resultado obtenido. Por ende:

$$\sigma'_{us} = 0{,}125 * \sigma'_{vo}$$

$$\sigma'_{us} = 0{,}125 * 684{,}01$$

$$\sigma'_{us} = 85{,}50 \text{ kPa}$$

Se obtuvo así el esfuerzo efectivo axial en la resistencia residual representativa de la muestra en el sitio.

En el Gráfico 25 se representa el punto (σ'_{us} = 85,50 Kpa; e=0,63) en el plano **(σ'-e)**. Dicho punto se ubicará sobre la LER inalterada del sitio. Se mencionó previamente que esta LER será paralela a las LER remoldeadas de Arena Limosa (w=0%) y Arena Limosa (w=1%). Por esta razón, se traza una recta paralela por ese punto y se obtiene la LER representativa del sitio. Se representó la incertidumbre de la ubicación de este punto a través de una línea encima del punto. Esta incertidumbre es debido al proceso del hincamiento del pilote donde la relación de vacíos va a disminuir y el esfuerzo principal mayor va a ser ahora ($\boldsymbol{\sigma'_h}$) según las condiciones simuladas. Generando un confinamiento mayor que produzca un aumento o disminución de la relación de vacíos. Esto afectara de manera significativa la zona donde se encuentra la línea de estados residual representativa de la muestra en el sitio.

.

En la Gráfico 25, el punto verde se ubica en la parte superior derecha de la LER obtenida por lo que la arena limosa se supone con comportamiento contractivo.

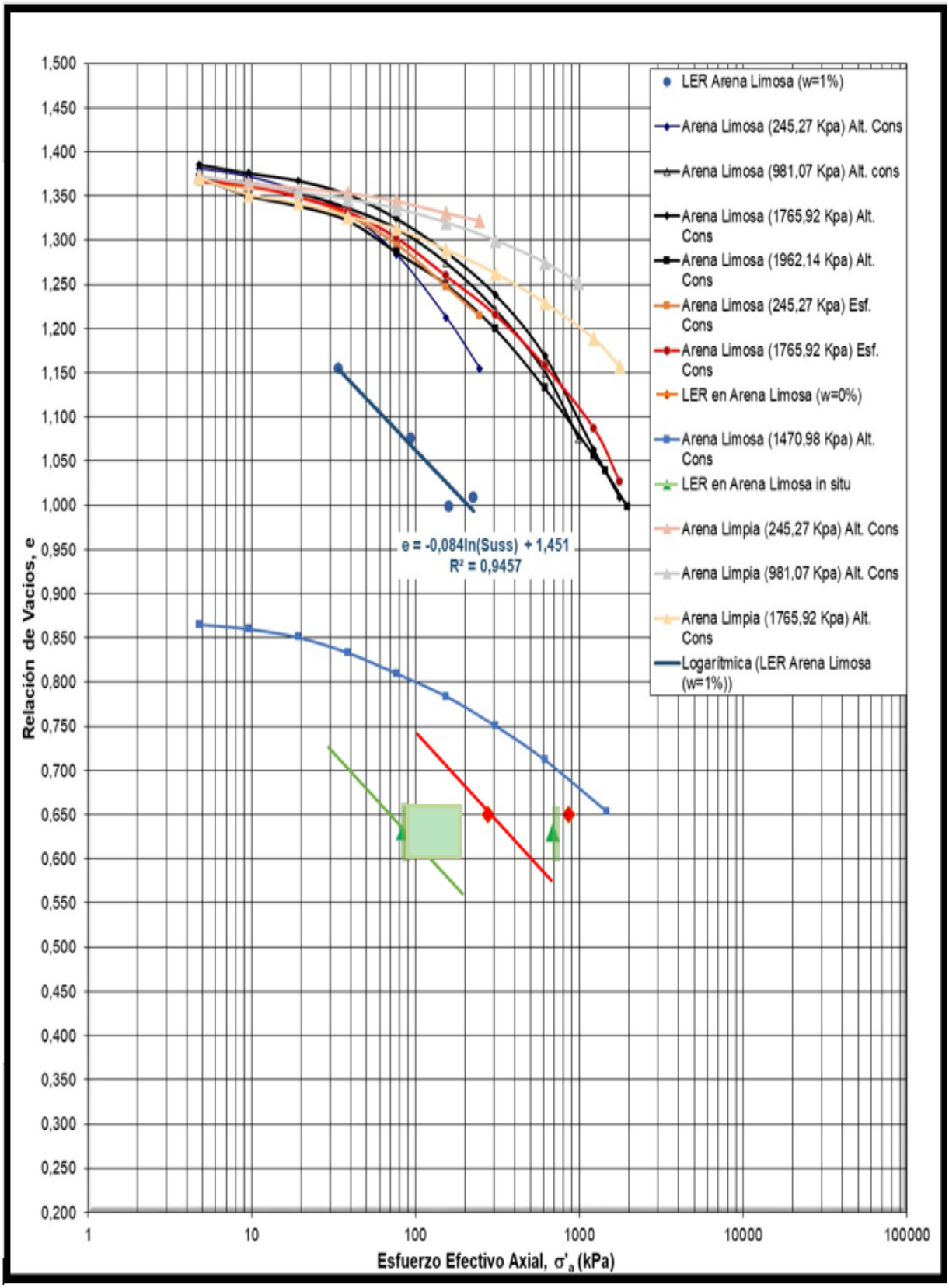


Gráfico 25. Curvas de consolidación y líneas de estado residuales, para la muestra de arena limosa.

Fuente: Propia

Adicionalmente, se conoce que el ángulo de fricción residual ($\emptyset'_{us}$) es una propiedad del material, por lo que es el mismo obtenido para la arena limosa ($\emptyset'_{us} = \mathbf{36,07°}$). Una vez ya se tienen todos estos datos, se aplica el modelo de [6] Echezuría (2018) para hallar la resistencia residual, como se muestra en el gráfico 26. En el plano **(σ'-e)**, se traza una línea horizontal desde este punto inicial (e= 0,63 y σ'_{vo} = 684,718 kPa) hasta el punto residual (σ'_{us} = 85.50 kPa; e=0,63), ubicado sobre la LER. Se traza ahora una recta vertical desde este punto residual hasta el punto ubicado sobre la envolvente de falla residual. Este último punto corresponde a la resistencia residual **(S_{uss})** de la arena limosa en el campo.

Asimismo, se debe hallar la línea de resistencia máxima de la muestra en el sitio. Para ello, se utilizó un ángulo de fricción máximo promedio igual a 32°. Si se compara este valor con los obtenidos en los ensayos con la muestra de arena limosa confinada a 15 kg/cm^2, se observa la tendencia a un ángulo común de 32°. Se realiza la comparación con esta muestra debido a que posee la relación de vacíos más parecida (e= 0,65) a la que se halla en el sitio (e=0,63). La Tabla 10, muestra los valores obtenidos para el ensayo de arena limosa a 15 kg/cm^2.

Tabla 10. Parámetros de en la resistencia pico para la muestra ensayadas a altura constante con confinamiento de 15 kg/cm2.

Esfuerzo efectivo axial (kg/cm2)	Esfuerzo de Corte τ pico (Kpa)	σ'vf al esfuerzo de corte en el pico (Kpa)	Angulo de fricción (ϕ)
15	537,02	855,80	32,10°

Fuente: Propia

.

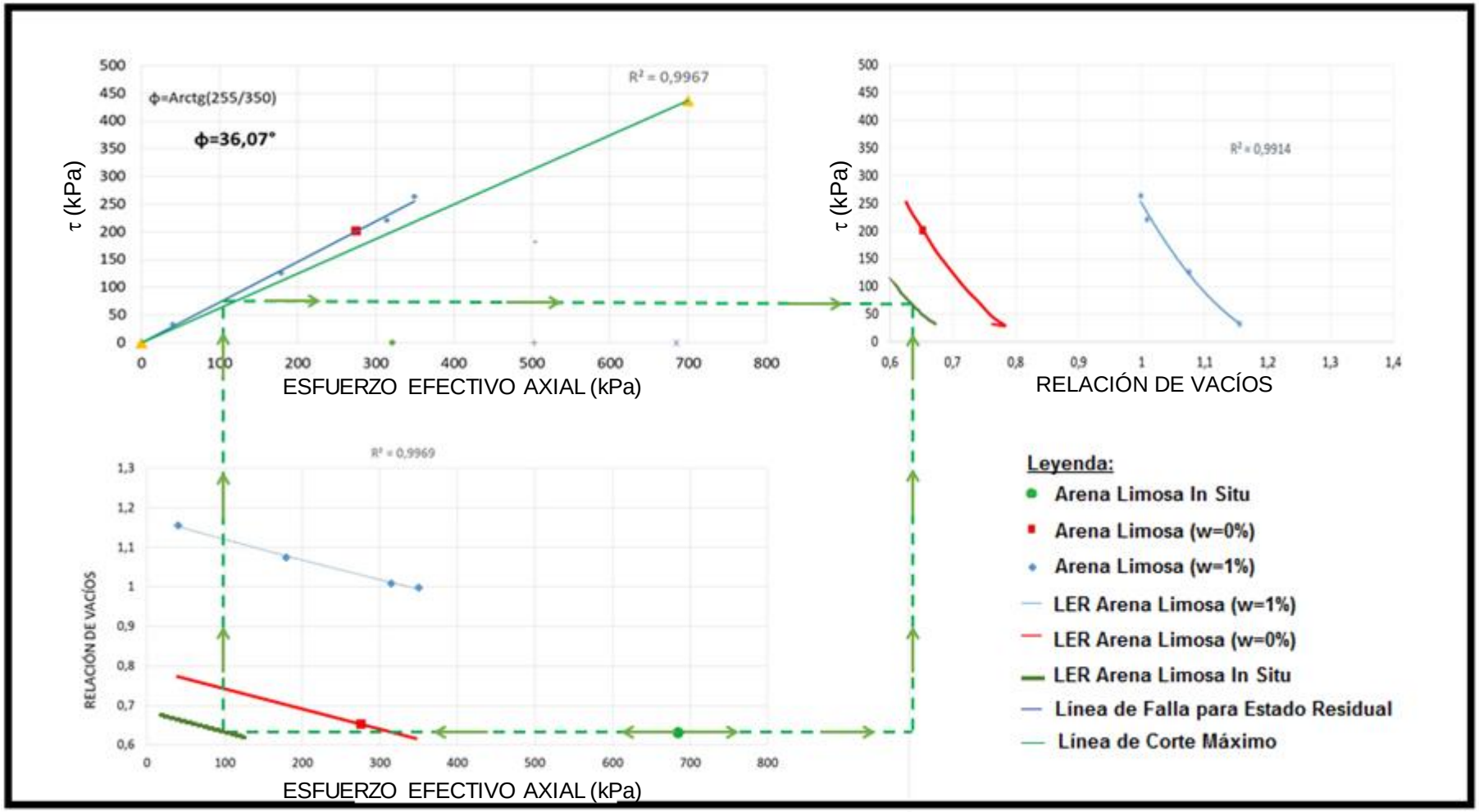


Gráfico 26. Representación de la LER inalterada

Fuente: Propia

4.5 Respuesta in situ de la arena limosa ante cargas monotónicas y cargas cíclicas.

En el punto 2.9 se mencionan los posibles comportamientos reales de la muestra de arena limosa en el sitio mediante 2 condiciones posibles.

$$\Delta\sigma_3 + \sigma'_3 < \sigma'_1. \qquad \textbf{[Condición 1]}$$

$$\Delta\sigma_3 + \sigma'_3 > \sigma'_1 \qquad \textbf{[Condición 2]}$$

- <u>Para la CONDICIÓN GEOSTATICA:</u>

Se halla el esfuerzo principal menor **(σ'_3)** relacionando la [Ecuación 5] y la [Ecuación 6]. Se despeja $\boldsymbol{\sigma' h}$:

$$\sigma' h = \sigma' v * \left(1 - sen(\emptyset')\right)$$

Ahora bien, se sabe que $\boldsymbol{\sigma' h} = \boldsymbol{\sigma'_3}$, por lo que:

$$\boldsymbol{\sigma'_3} = 684{,}718 * \left(1 - sen(32°)\right) = 321{,}872\ Kpa$$

Una vez obtenido $\boldsymbol{\sigma'_3}$**,** se representan los esfuerzos principales en el gráfico27 del [6] Modelo de Echezuría para dibujar el Círculo de Mohr correspondiente a la condición inicial o geostatica.

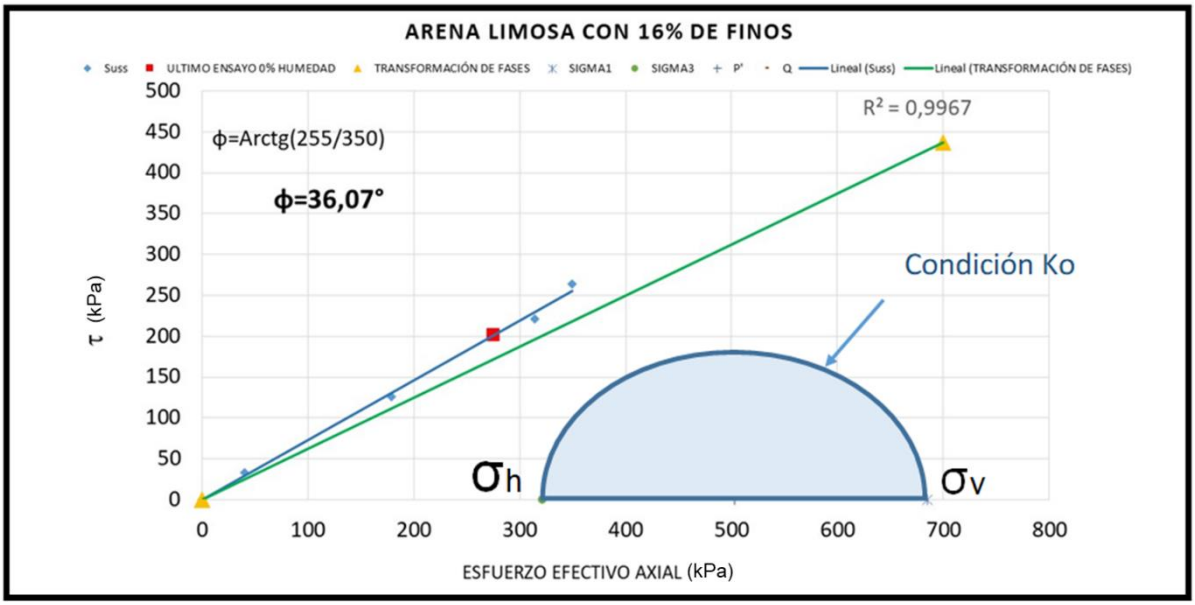


Gráfico 27. Condición Geostatica de la muestra in situ.

Fuente: Propia

- <u>Para la [Condición 1]:</u>

Durante la etapa 1 de la instalación de la plataforma petrolera (ver punto 2.9). Al hincar los pilotes se genera la condición Nro.1. Donde estos esfuerzos $\Delta\sigma_3 + \sigma'_3 < \sigma'_1$,

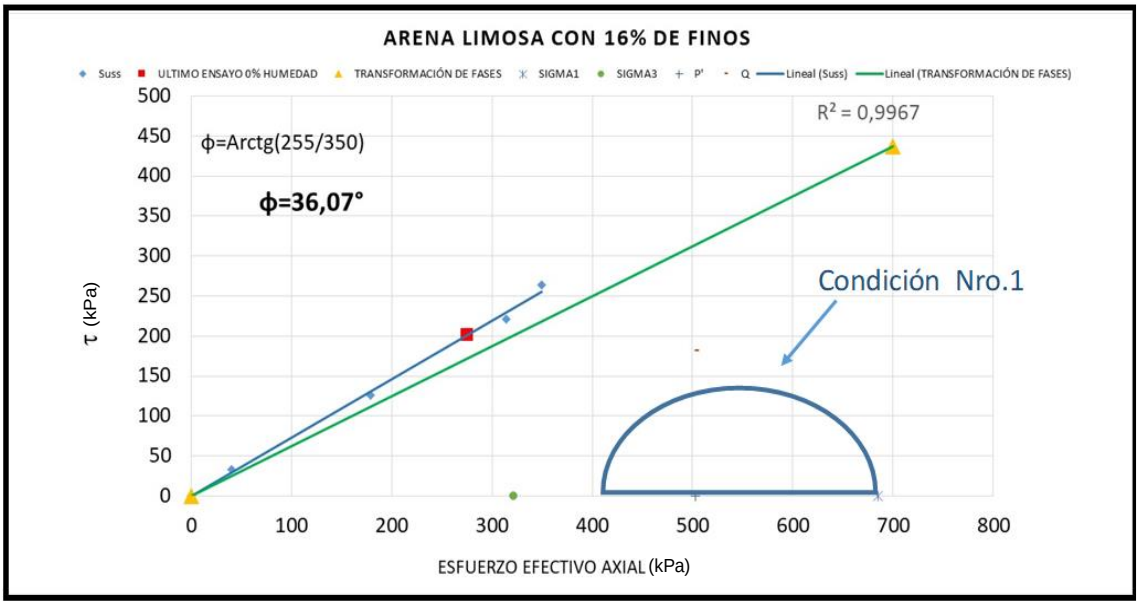


Gráfico 28. Respuesta al corte in situ ante los efectos de cargas monotónicas, condición Nro.1

Fuente: Propia

- Para la [Condición 2]:

En esta condición se genera el mismo comportamiento que en la [Condición 1], sin embargo, $\sigma'_3 > \sigma'_1$, por lo que se supondrá que $\sigma'_3 > 684{,}718\ kPa$. En este caso, la diferencia entre los valores de $\sigma'_3\ y\ \sigma'_1$ no debe ser mucho mayor. El σ'_3 será ahora σ_v y σ'_1 será σ_h. Bajo estas condiciones, si se representa este estado de esfuerzos se tendrá un círculo de Mohr más pequeño que el de la Condición 1, lo cual se muestra en el gráfico 28. La suposición es una aproximación y no modela exactamente las condiciones en el sitio.

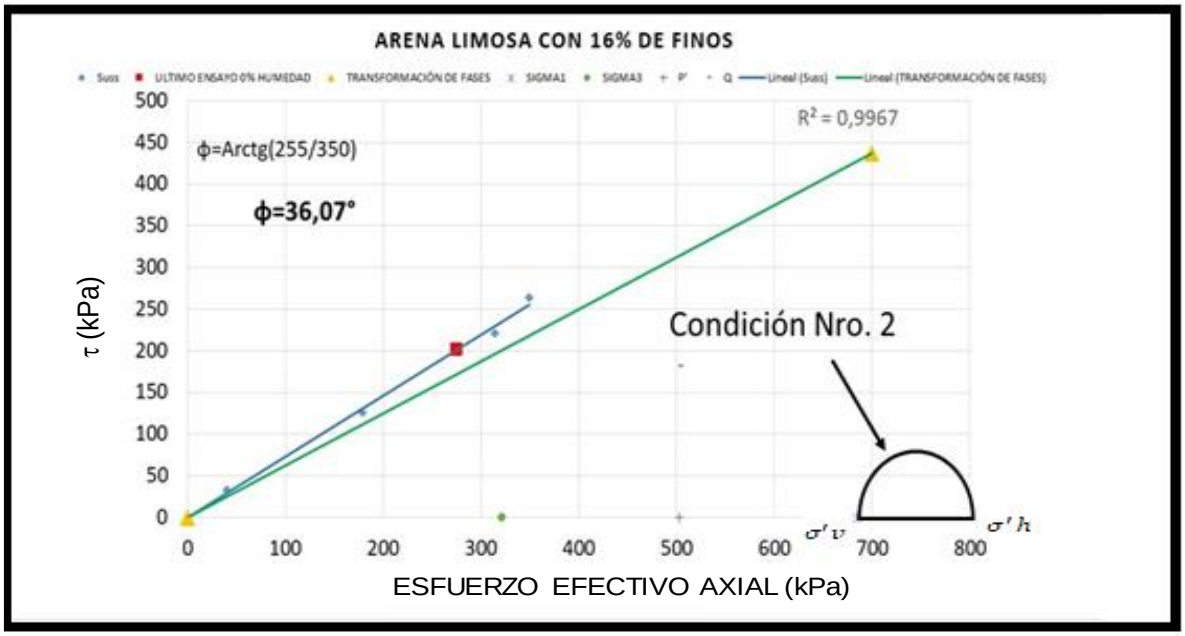


Gráfico 29.. Respuesta al corte in situ ante los efectos de cargas monotónicas, condición Nro.2

Fuente: Propia

Por ende, para que alcance su resistencia máxima se debe generar mucha más presión de poros. Se concluye, con base en el análisis cualitativo anterior, que la [Condición 2] a la cual se encuentra sometida la masa de suelo al hincar el pilote resulta la más conveniente.

En el Gráfico 30 se observa como al instalar la plataforma petrolera, esta alcanza su resistencia pico y genera un comportamiento contractivo donde esta se pierde la resistencia súbitamente hasta alcanzar la resistencia residual.

De igual forma, se realiza un análisis cualitativo del comportamiento del suelo ante cargas cíclicas producto de sismo. Si se supone la [Condición 2] ante una carga cíclica, se asume que al cargar la plataforma petrolera tipo Jacket, el suelo no llegará a su resistencia máxima de falla como ocurriría con la [Condición 1].

El efecto del oleaje o sismo puede modificar la trayectoria de esfuerzos como se muestra en el Gráfico 31. En este gráfico se observa como el círculo de Mohr aumenta o disminuye su tamaño a partir del círculo amarillo, el cual corresponde al generado por el esfuerzo cortante ante las cargas de la plataforma petrolera ya instalada. Al generarse las aceleraciones del sismo, el Círculo de Mohr aumenta o disminuye su tamaño (siendo este siempre mayor o igual al amarillo) lo cual produce presiones de poros positivas. Esto hace que el suelo llegue a su resistencia pico. Luego, los círculos en algún punto llegarán a la envolvente de falla residual si se generan aceleraciones lo suficientemente grandes para que el círculo aumente de tamaño. En el Gráfico 31, se muestra la trayectoria de esfuerzos generada.

Por ende, se concluye que no se generará licuación ya que, para que ello ocurra la trayectoria de esfuerzos debe tocar al punto donde el suelo in situ alcanza su resistencia residual en la envolvente de falla residual, lo cual se observa en el Gráfico 26.

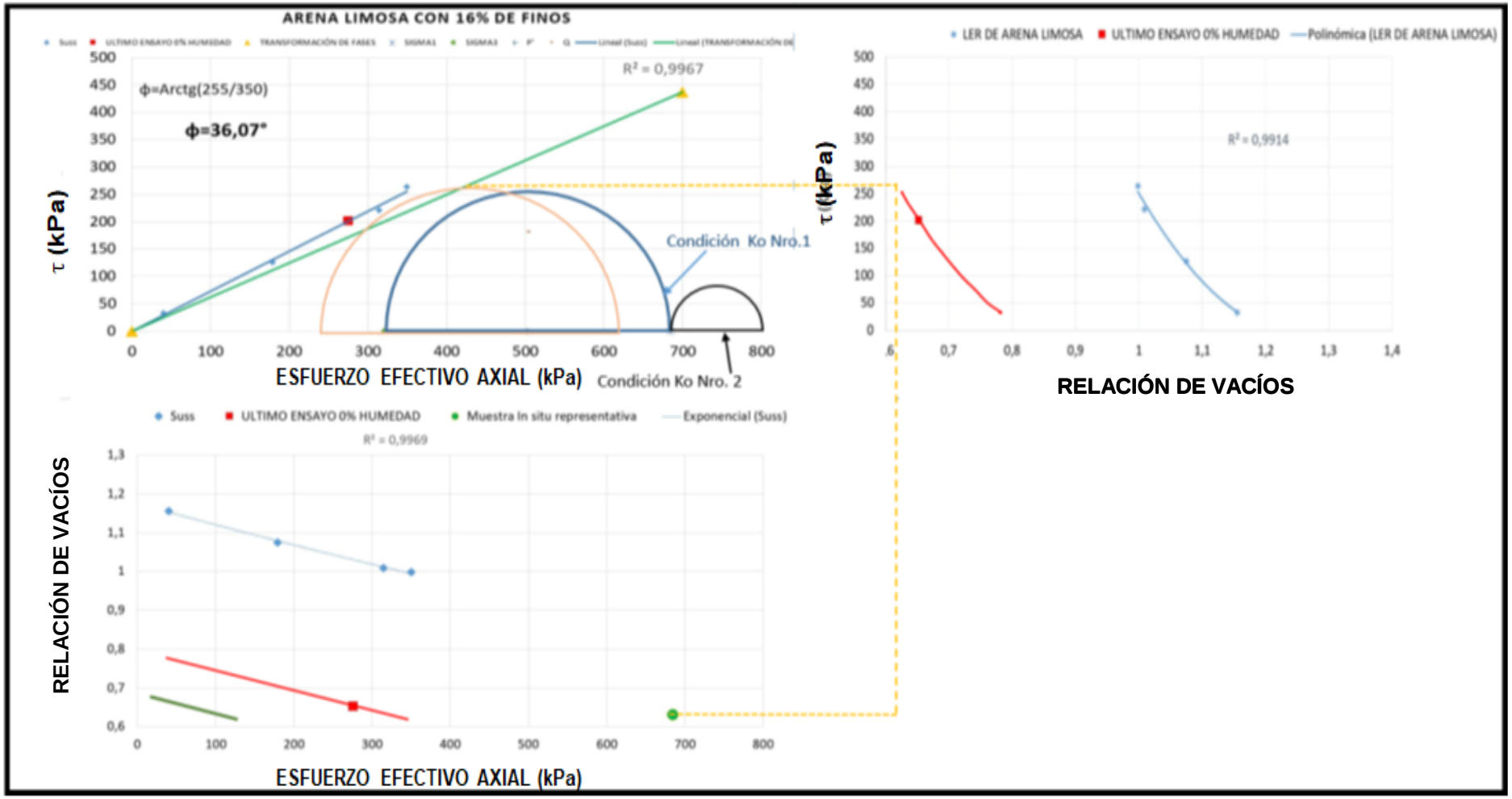


Gráfico 30. Respuesta al corte in situ ante los efectos de cargas monotónicos.

Fuente: Propia

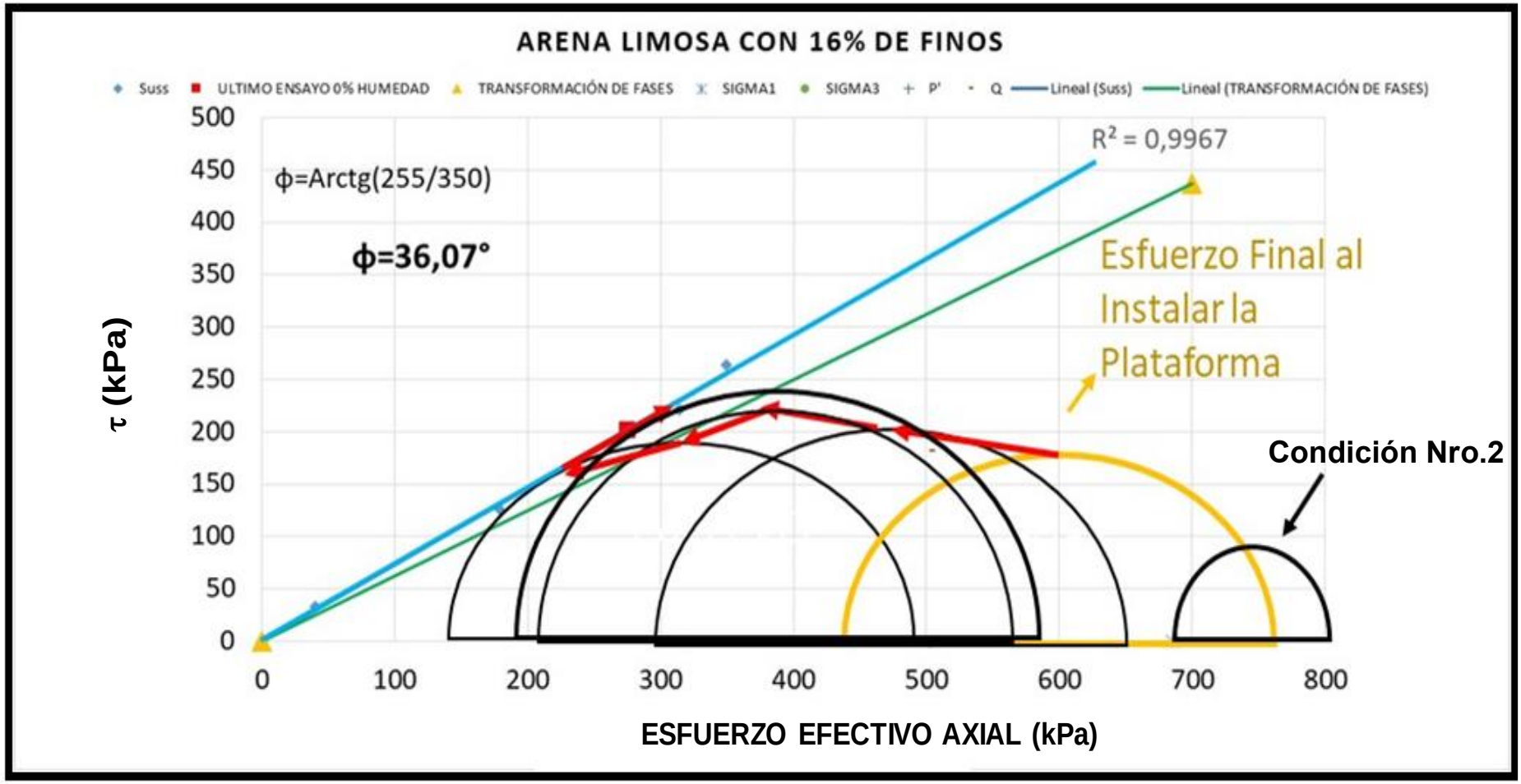


Gráfico 31. Respuesta al corte in situ ante los efectos de cargas cíclicas**.**

Fuente: Propia

V- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se validó el uso del Modelo de Echezuría a través de una serie de comprobaciones realizadas con ensayos de la literatura y ensayos presentes en este TG. El modelo es capaz de predecir correctamente la resistencia al corte de la arena, conociendo previamente los parámetros índices del suelo y el confinamiento al cual se encuentra sometido.

Los estudios realizados con el modelo permitieron definir el comportamiento in situ de las muestras de arena limosa. Se estableció una LER inalterada para la muestra de arena en estudio la cual se espera presente un comportamiento contractivo ya que se ubica muy a la derecha de esta LER. Por ende, para qué alcance su resistencia máxima, esta deberá estar sometida a esfuerzos cortantes elevados.

Por otro lado, en los ensayos de Corte Directo Simple (DSS), se comprobó que el ángulo de fricción de la arena limpia resulta menor que el de la arena limosa. Este ángulo varía según la granulometría y angularidad de las partículas del suelo. Por consiguiente, una arena con contenido de finos no plásticos debe tener mayor resistencia que una arena con menor contenido de estos finos. Adicionalmente, se observó que las arenas limpias se compactan más que las arenas limosas, aunque posean un mismo confinamiento.

Conjuntamente, en los ensayos de DSS se verificó que la LER depende de la estructura de la muestra. Arenas limosas con una misma granulometría, angularidad y estructura tendrán una sola LER, mientras que estas, con estructuras diferentes, tendrán LER paralelas La preparación de la arena modifica su estructura, por lo que si la muestra de suelo es preparada con diferentes métodos como: porcentajes de humedad diferentes, y estados de la arena diferente sea suelta, vibrada o compactada, cambiará entonces la posición de la LER. Esto se evidencia en el caso de la arena con menor porcentaje de humedad que resultó más compactada que las arenas con mayor contenido de humedad. Según esto, se afirma que los

confinamientos a los que se encuentran sometidas las muestras no son los que controlan la LER.

Por esta razón se recomienda buscar un método lo suficientemente representativo del proceso de deposición de la arena en el fondo marino. Este aspecto resulta crucial para la interpretación del comportamiento de la arena durante su deposición-confinamiento y posterior proceso de corte.

Al mismo tiempo, también se comprobó que en los ensayos de DSS bajo esfuerzo constante, la muestra de arena limosa no alcanza su resistencia residual **(S_{uss})**. En un ensayo triaxial drenado las muestras pueden llegar a la resistencia residual ya que se puede deformar horizontalmente o radialmente, mientras que para el ensayo de corte simple DSS la cámara no permite la deformación radial y no hay un cambio de volumen representativo porque sólo se deforma axialmente. Sin embargo, en los demás ensayos de corte simple (DSS) bajo altura constante se observaron los comportamientos contractivos, parcialmente contractivo y dilatante en las arenas, por lo se afirma que se pueden obtener los mismos resultados usando DSS que mediante los ensayos triaxiales.

Se verifica que las curvas de consolidación de arenas limosas son generadas a partir relaciones de vacíos iniciales muy diferentes, como lo son una arena suelta y una arena muy densa. Estas puedan encontrarse en la línea de compresión virgen de una muestra con la misma granulometría y angularidad, aunque para que ocurra esto son necesarios confinamientos elevados y relaciones de vacíos casi nulas, cercanas o menores a 0,1. Para ello, se necesitarían arenas muy densas, casi completamente compactas.

Por último, según el análisis cualitativo presentado en el TG, con las cargas cíclicas es menos probable que se llegue a la resistencia residual que para las cargas monotónicas. Si las cargas impuestas por la plataforma son suficientemente grandes se podría generar una carga monotónica que ocasionaría que la arena pierda su resistencia y se licue.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

Fuentes Bibliográficas

1) Biscotin, G.; Cola, S.; Pestana, J.; Simonini, P. (2007). *Unified Compression Model for Venice Lagoon Natural Silts.* ASCE Journal of Geotechnical and Environmental Engineering.
2) Braja, D.; Khaled, S. (2014). *Principles of Geotechnical Engineering.* (Octava Edición). Estados Unidos. Cengage Learning.
3) Cantillo, C.; Marhec, Lira. (2013) "*Aplicabilidad y limitaciones en la compactación hidráulica de Arenas Limpias"*, Trabajo Especial de Grado, Ingeniería Civil, UCAB.
4) Cho, G.; Dodds, J.; Santamarina, J.C. (2006). *Particle Shape Effects on Packing Density, Stiffness, and Strength: Natural and Crushed Sands.* ASCE. Journal of Geotechnical and Environmental Engineering. pp.591-602
5) C & C Technologies, Ink. (2001). *Direct Simple Test Results-Post Cyclic*. Louisiana. C & C Technologies, Ink Archive of Tests Results.
6) Echezuría, H. (2018). *Integración 3D de la Propiedades Ingenieriles del Suelo y la Importancia del Plano q-e*. Centro de Investigaciones y Desarrollo de Ingeniería (CIDI) UCAB.
7) González Mireles, M. A. (1994). *Trabajo de Grado: Comportamiento de arenas y limos no plástico sometidos a cargas en condiciones no drenadas.* Caracas. Universidad Simón Bolívar
8) Govinda Raju, L.; Sitharam, T.G.; Srinivasa Murthy, B.R. (2004) *Cyclic and Monotonic Undrained Shear Response of Silty Sand from Bhuj Region in India*. Bangalore. ISET Journal of Earthquake Technology, Paper No. 450, Vol. 41, No. 2-4, pp. 249-260
9) Ishihara, K. (1993). *Liquefaction and flow failure during earthquakes*. Geotechnique 43, No. 3. pp.351-415.
10) Ishihara, K.; Verdugo, R. (1993). *The Steady State of Sandy Soils*. Japón. The Japanese Geotechnical Society

11) Jaky, J. (1944). *The Coefficient of Earth Pressure at Rest*. Journal of the Society of Hungarian Architects and Engineers, pp. 358-358.

12) Kramer, J. (1996) *Geotechnical Earthquake Engineering*. Nueva Jersey. Prentice-Hall International Series in Civil Engineering and Mechanics.

13) Lambe, W.; Whitman, R. (1969). *Soil Mechanics.* (Primera Edición). Inglaterra. John Wiley and Sons Ldt.

14) Parra Bastidas, A. (2016) *Ottawa F-65 Sand Characterization*. California. University of California Davis. pp. 86-105

15) Vergel, M. y Villa, A (2015). *Investigar La Influencia De Los Materiales No Plásticos En Suelos Cohesivos Durante Corte No Drenado Y Su Efecto En La Clasificación Con La Carta De Plasticidad.* Venezuela. Universidad Católica Andrés Bello.

Fuentes Documentales

- Apuntes personales del Ing. Heriberto Echezuría (2016).
- Reuniones personales con el Ing. Heriberto Echezuría (2018).
- Clases y Prácticas de Laboratorio con el Ing. Yonathan González (2018)

Fuentes Web

- Society of Petroleum Engineers (SPE) (2003 – 2018) *Research Portal*. Recuperado en septiembre de 2018, de SPE International: https://www.spe.org/en/
- Gobierno de México. (s/f) *Blog*. Recuperado el 15 de mayo de 2018, de Datos Abiertos de México: https://www.gob.mx/gobierno

ANEXOS

Anexo 1. Tabla de Resultados Ensayo de Corte Simple (DSS) a Altura Constante. Para σ'_v = 2,5 kg/cm^2 (245,27KPa) / σ'_v = 18 kg/cm^2 / (1765,92KPa)

Perforación:	PG - POK2	Muestra:	21B	Profundidad:	107.70 - 107.90	FECHA:	13/08/2018

PRIMER PUNTO:	ESFUERZO EFECTIVO AXIAL (kPa):	245,27	ETAPA DE CONSOLIDACIÓN
VELOCIDAD DE CORTE (%/h)	5,00		CLASIFICACION

Peso fase Sólida Ws (g)	Peso específico Gs	ω %	Nº Anillo	Area (cm^2)	Altura 2Ho Hs (mm)	Altura del anillo Ha (mm)	Diferencia: Ha y altura muestra ΔH (mm)	Altura inicial H (mm)	γ_h (kN/m^3)	γ_d (kN/m^3)	γ_{sum} (kN/m^3)	Descripción (SUCS)	Límite Líquido, (% LL)	Límite Plástico, (% LP)	Índice de Plasticidad, (% IP)
39,06	2,66	1,00	DSS (1)	19,630	7,48	17,70	0,00	17,70	11,139	11,028	1,329	SM	NL	NP	NP

Esfuerzo Efectivo Axial, σ'_a (psf)	Esfuerzo Efectivo Axial, σ'_a (kg/cm²)	Esfuerzo Efectivo Axial, σ'_a (kPa)	Deform. Axial ε_a (%)	Duración de carga (min)	Duración de carga (s)	Deform. Lineal E (mm)	2H (mm)	2H - 2Ho (mm)	Relación de vacios e
100,00	0,05	4,79	0,00			0,0000	17,700	10,220	1,366
200,00	0,10	9,58	0,27	22,20	1332,00	0,0478	17,652	10,172	1,360
400,00	0,20	19,16	0,68	60,03	3601,80	0,1204	17,580	10,099	1,350
800,00	0,40	38,32	1,59	60,05	3603,00	0,2814	17,419	9,938	1,329
1600,00	0,80	76,64	2,99	37,02	2221,20	0,5292	17,171	9,690	1,295
3200,00	1,60	153,28	5,01	120,12	7207,20	0,8868	16,813	9,333	1,248
5120,40	2,56	245,27	6,42	180,15	10809,00	1,1363	16,564	9,083	1,214

SEGUNDO PUNTO:	ESFUERZO EFECTIVO AXIAL (kPa):	1765,92	ETAPA DE CONSOLIDACIÓN
VELOCIDAD DE CORTE (%/h)	5,00		CLASIFICACION

Peso fase Sólida Ws (g)	Peso específico Gs	ω %	Nº Anillo	Area (cm^2)	Altura 2Ho Hs (mm)	Altura del anillo Ha (mm)	Diferencia: Ha y altura muestra ΔH (mm)	Altura inicial H (mm)	γ_h (kN/m^3)	γ_d (kN/m^3)	γ_{sum} (kN/m^3)	Descripción (SUCS)	Límite Líquido, (% LL)	Límite Plástico, (% LP)	Índice de Plasticidad, (% IP)
39,01	2,66	1,00	DSS (1)	19,630	7,47	17,70	0,00	17,70	11,124	11,014	1,314	SM	NL	NP	NP

Esfuerzo Efectivo Axial, σ'_a (psf)	Esfuerzo Efectivo Axial, σ'_a (kg/cm²)	Esfuerzo Efectivo Axial, σ'_a (kPa)	Deform. Axial ε_a (%)	Duración de carga (min)	Duración de carga (s)	Deform. Lineal E (mm)	2H (mm)	2H - 2Ho (mm)	Relación de vacios e
100,00	0,05	4,79	0,00			0,0000	17,700	10,220	1,366
200,00	0,10	9,58	0,15			0,0266	17,673	10,193	1,363
400,00	0,20	19,16	0,74			0,1310	17,569	10,089	1,349
800,00	0,40	38,32	1,43			0,2531	17,447	9,966	1,332
1600,00	0,80	76,64	2,69			0,4761	17,224	9,743	1,303
3200,00	1,60	153,28	4,50			0,7965	16,904	9,423	1,260
6400,00	3,20	306,56	6,36			1,1257	16,574	9,094	1,216
12800,00	6,40	613,12	8,81			1,5594	16,141	8,660	1,158
25600,00	12,80	1226,24	11,80			2,0886	15,611	8,131	1,087
36866,91	18,43	1765,92	14,36			2,5417	15,158	7,678	1,026

Fuente: GeoHidra Consultores, C.A

Anexo 2. Tabla de Resultados Ensayo de Corte Simple (DSS) a Altura Constante. Para σ'_v = 10 kg/cm^2 / σ'_v = 20 kg/cm^2 /

TERCER PUNTO:	ESFUERZO EFECTIVO AXIAL (kPa):					981,07			ETAPA DE CONSOLIDACIÓN						
VELOCIDAD DE CORTE (%/h)				5,00									CLASIFICACION		
Peso fase Sólida Ws (g)	Peso específico Gs	ω %	Nº Anillo	Area (cm^2)	Altura 2Ho Hs (mm)	Altura del anillo Ha (mm)	Diferencia: Ha y altura muestra ΔH (mm)		Altura inicial H (mm)	γ_h (kN/m^3)	γ_d (kN/m^3)	γ_{sum} (kN/m^3)	0	0	0	0
39,02	2,66	1,00	DSS (1)	19,630	7,47	17,70	0,00		17,70	11,127	11,017	1,317	0,000	0,000	0,000	0,000
Esfuerzo Efectivo Axial, σ'_a (psf)	Esfuerzo Efectivo Axial, σ'_a (kg/cm²)	Esfuerzo Efectivo Axial, σ'_a (kPa)	Deform. Axial ε_a (%)	Duración de carga (min)	Duración de carga (s)	Deform. Lineal E (mm)	2H (mm)	2H - 2Ho (mm)	Relación de vacios e							
100,00	0,05	4,79	0,00			0,0000	17,700	10,227	1,369							
200,00	0,10	9,58	0,14	10,70	642,00	0,0248	17,675	10,202	1,365							
400,00	0,20	19,16	0,63	51,55	3093,00	0,1115	17,588	10,116	1,354							
800,00	0,40	38,32	1,35	180,15	10809,00	0,2390	17,461	9,988	1,337							
1600,00	0,80	76,64	2,35	180,17	10810,20	0,4160	17,284	9,811	1,313							
3200,00	1,60	153,28	3,98	180,13	10807,80	0,7045	16,996	9,523	1,274							
6400,00	3,20	306,56	6,24	300,30	18018,00	1,1045	16,596	9,123	1,221							
12800,00	6,40	613,12	9,23	360,27	21616,20	1,6337	16,066	8,593	1,150							
20481,61	10,24	981,07	12,40	720,07	43204,20	2,1948	15,505	8,032	1,075							

CUARTO PUNTO:	ESFUERZO EFECTIVO AXIAL (kPa):					1962,14			ETAPA DE CONSOLIDACIÓN						
VELOCIDAD DE CORTE (%/h)				5,00									CLASIFICACION		
Peso fase Sólida Ws (g)	Peso específico Gs	ω %	Nº Anillo	Area (cm^2)	Altura 2Ho Hs (mm)	Altura del anillo Ha (mm)	Diferencia: Ha y altura muestra ΔH (mm)		Altura inicial H (mm)	γ_h (kN/m^3)	γ_d (kN/m^3)	γ_{sum} (kN/m^3)	0	CLASIFICACION	0	0
38,98	2,66	1,00	DSS (1)	19,630	7,47	17,70	0,00		17,70	11,116	11,006	1,306	0,000	0,000	0,000	0,000
Esfuerzo Efectivo Axial, σ'_a (psf)	Esfuerzo Efectivo Axial, σ'_a (kg/cm²)	Esfuerzo Efectivo Axial, σ'_a (kPa)	Deform. Axial ε_a (%)	Duración de carga (min)	Duración de carga (s)	Deform. Lineal E (mm)	2H (mm)	2H - 2Ho (mm)	Relación de vacios e							
100,00	0,05	4,79	0,00			0,0000	17,700	10,235	1,371							
200,00	0,10	9,58	0,86	24,83	1489,80	0,1522	17,548	10,083	1,351							
400,00	0,20	19,16	1,35	60,05	3603,00	0,2390	17,461	9,996	1,339							
800,00	0,40	38,32	2,04	24,67	1480,20	0,3611	17,339	9,874	1,323							
1600,00	0,80	76,64	3,57	116,83	7009,80	0,6319	17,068	9,603	1,286							
3200,00	1,60	153,28	5,10	180,18	10810,80	0,9027	16,797	9,332	1,250							
6400,00	3,20	306,56	7,23	180,12	10807,20	1,2797	16,420	8,955	1,200							
12800,00	6,40	613,12	10,05	180,13	10807,80	1,7780	15,922	8,457	1,133							
25600,00	12,80	1226,24	13,29	180,13	10807,80	2,3523	15,348	7,882	1,056							
30000,00	15,00	1437,00	14,00	180,13	10807,80	2,4780	15,222	7,757	1,039							

Fuente: GeoHidra Consultore

Anexo 3. Tabla del Ensayo de Corte Simple (DSS) a Arena limosa σ'_v (Condicion no drenada) al generar el corte, confinado a 2,5 kg/cm^2

Fuente: GeoHidra Consultores, C.A

ENSAYO DE CORTE DIRECTO SIMPLE (ASTM 6528)

Proyecto: TRABAJO ESPECIAL DE GRADO: RESPUESTA AL CORTE DE ARENAS LIMOSAS CON ALTO CONFINAMIENTO ALREDEDOR DE LA CARA DE PILOTES COSTA AFUERA

PRIMER PUNTO:

PRESION DE CONSOLIDACION (kPa):	245.27
CONSOLIDATION PRESSURE (kPa):	245.27
SHEAR STRAIN (%h):	5.00

ETAPA DE CORTE

Tiempo (min.)	Carga Horizontal (lb)	Carga Vertical (lb)	Desplazamiento Vertical (pulgadas)	Desplazamiento Horizontal (pulgadas)	Deformación Axial, ε_a (%)	Deformación al Corte (%)	Esfuerzo de Corte τ (PSI)	Esfuerzo Vertical (PSI)	Esfuerzo de Corte Normalizado	Esfuerzo Vertical Normalizado	Desplazamiento Vertical (mm)	Desplazamiento Horizontal (mm)	Esfuerzo de Corte τ (kPa)	Esfuerzo Vertical (kPa)	Exceso de Presión de Poros Inducido en el	Modulo de Corte Secante, G (kPa)
							7.45	**35.54**	**0.80**		**Esfuerzos Maximos**		**51.43**	**245.21**	**204.74**	**2722.60**
0.00	0.00	108.32	0.0000	0.0000	0.0000	0.000	0.00	35.54	0.00	1.00	0.0000	0.0000	0.00	245.21	0.00	0.00
2.83	0.18	103.44	0.0002	0.0015	0.0279	0.236	0.06	33.94	0.00	0.95	0.0049	0.0380	0.41	234.16	11.05	172.69
3.78	0.89	103.05	0.0002	0.0020	0.0247	0.315	0.29	33.81	0.01	0.95	0.0044	0.0507	2.02	233.28	11.92	641.77
4.72	1.83	102.01	0.0002	0.0025	0.0301	0.394	0.60	33.47	0.02	0.94	0.0053	0.0634	4.15	230.91	14.29	1052.00
5.67	2.76	101.33	0.0003	0.0030	0.0424	0.474	0.91	33.24	0.03	0.94	0.0075	0.0762	6.25	229.38	15.83	1318.86
7.55	6.15	99.77	0.0003	0.0040	0.0426	0.631	2.02	32.73	0.06	0.92	0.0075	0.1015	13.93	225.85	19.36	2206.70
9.45	8.86	96.59	0.0003	0.0050	0.0448	0.789	2.91	31.69	0.08	0.89	0.0079	0.1270	20.05	218.67	26.54	2540.10
11.33	11.40	93.54	0.0004	0.0060	0.0520	0.948	3.74	30.69	0.11	0.86	0.0092	0.1524	25.80	211.75	33.46	2722.60
13.22	13.13	89.77	0.0004	0.0070	0.0595	1.106	4.31	29.45	0.12	0.83	0.0105	0.1778	29.73	203.22	41.98	2688.64
15.12	15.00	86.49	0.0004	0.0080	0.0638	1.264	4.92	28.37	0.14	0.80	0.0113	0.2032	33.95	195.79	49.42	2686.23
17.95	16.97	81.70	0.0005	0.0095	0.0650	1.501	5.57	26.80	0.16	0.75	0.0115	0.2414	38.41	184.95	60.25	2558.57
20.78	18.63	77.67	0.0005	0.0110	0.0665	1.738	6.11	25.48	0.17	0.72	0.0118	0.2795	42.17	175.82	69.38	2426.25
23.60	19.65	72.90	0.0005	0.0125	0.0679	1.975	6.45	23.92	0.18	0.67	0.0120	0.3176	44.49	165.02	80.18	2252.89
26.43	20.58	68.66	0.0005	0.0140	0.0717	2.212	6.75	22.53	0.19	0.63	0.0127	0.3558	46.59	155.44	89.77	2106.15
29.25	20.92	64.59	0.0005	0.0155	0.0675	2.449	6.86	21.19	0.19	0.60	0.0120	0.3939	47.36	146.21	98.99	1933.58
33.02	21.47	60.11	0.0005	0.0175	0.0735	2.765	7.04	19.72	0.20	0.55	0.0130	0.4447	48.59	136.07	109.14	1757.33
36.80	21.70	56.35	0.0005	0.0195	0.0737	3.081	7.12	18.49	0.20	0.52	0.0131	0.4955	49.12	127.57	117.64	1594.43
40.57	21.83	53.15	0.0004	0.0215	0.0629	3.397	7.16	17.44	0.20	0.49	0.0111	0.5463	49.41	120.32	124.89	1454.63
44.33	21.88	50.50	0.0005	0.0235	0.0731	3.713	7.18	16.57	0.20	0.47	0.0129	0.5971	49.53	114.31	130.89	1334.00
48.12	21.57	48.32	0.0005	0.0255	0.0671	4.029	7.08	15.85	0.20	0.45	0.0119	0.6480	48.83	109.38	135.82	1211.90
52.83	21.72	46.02	0.0005	0.0280	0.0671	4.424	7.13	15.10	0.20	0.42	0.0119	0.7115	49.17	104.17	141.03	1111.38
57.55	21.61	44.27	0.0005	0.0305	0.0764	4.819	7.09	14.53	0.20	0.41	0.0135	0.7750	48.92	100.23	144.98	1015.23
62.27	21.62	42.62	0.0005	0.0330	0.0715	5.214	7.09	13.98	0.20	0.39	0.0126	0.8385	48.95	96.47	148.74	938.80
66.98	21.55	41.35	0.0004	0.0355	0.0638	5.609	7.07	13.56	0.20	0.38	0.0113	0.9021	48.78	93.60	151.61	869.66
71.70	21.66	40.16	0.0005	0.0380	0.0708	6.004	7.11	13.18	0.20	0.37	0.0125	0.9656	49.04	90.91	154.29	816.78
77.37	21.53	39.15	0.0005	0.0410	0.0683	6.478	7.06	12.84	0.20	0.36	0.0121	1.0418	48.74	88.62	156.59	752.40
83.03	21.58	38.20	0.0005	0.0440	0.0673	6.952	7.08	12.53	0.20	0.35	0.0119	1.1181	48.85	86.47	158.74	702.68
88.68	21.51	37.15	0.0005	0.0470	0.0693	7.426	7.06	12.19	0.20	0.34	0.0123	1.1943	48.69	84.11	161.10	655.77
94.35	21.70	36.53	0.0005	0.0500	0.0658	7.900	7.12	11.98	0.20	0.34	0.0117	1.2706	49.12	82.69	162.51	621.82
100.02	21.97	36.05	0.0004	0.0530	0.0628	8.374	7.21	11.83	0.20	0.33	0.0111	1.3468	49.74	81.61	163.59	593.94
106.62	22.12	35.39	0.0005	0.0565	0.0646	8.927	7.26	11.61	0.20	0.33	0.0114	1.4357	50.07	80.11	165.10	560.89
113.22	22.42	34.89	0.0004	0.0600	0.0592	9.480	7.35	11.45	0.21	0.32	0.0105	1.5246	50.74	78.98	166.23	535.27
119.83	22.53	34.47	0.0004	0.0635	0.0625	10.032	7.39	11.31	0.21	0.32	0.0111	1.6135	51.01	78.04	167.17	508.44
126.43	22.67	33.81	0.0004	0.0670	0.0586	10.585	7.44	11.09	0.21	0.31	0.0104	1.7025	51.33	76.54	168.67	484.87
133.03	22.72	33.25	0.0005	0.0705	0.0672	11.138	7.45	10.91	0.21	0.31	0.0119	1.7914	51.43	75.27	169.94	461.70
140.58	22.51	32.42	0.0004	0.0745	0.0635	11.770	7.38	10.64	0.21	0.30	0.0112	1.8930	50.95	73.40	171.81	432.89
148.13	22.18	31.55	0.0004	0.0785	0.0624	12.402	7.28	10.35	0.20	0.29	0.0110	1.9946	50.21	71.43	173.78	404.83
155.68	21.81	30.60	0.0004	0.0825	0.0599	13.034	7.16	10.04	0.20	0.28	0.0106	2.0963	49.38	69.27	175.93	378.85
163.23	21.56	29.85	0.0003	0.0865	0.0484	13.666	7.07	9.79	0.20	0.28	0.0086	2.1979	48.80	67.58	177.62	357.06
170.78	21.20	28.88	0.0004	0.0905	0.0617	14.298	6.96	9.47	0.20	0.27	0.0109	2.2995	48.00	65.37	179.84	335.73
179.27	20.56	28.01	0.0004	0.0950	0.0567	15.009	6.74	9.19	0.19	0.26	0.0100	2.4139	46.54	63.41	181.80	310.07
187.75	20.05	27.38	0.0004	0.0995	0.0611	15.720	6.58	8.98	0.19	0.25	0.0108	2.5282	45.39	61.99	183.22	288.76
196.25	19.58	26.57	0.0004	0.1040	0.0601	16.431	6.42	8.72	0.18	0.25	0.0106	2.6425	44.33	60.14	185.06	269.81
204.73	19.21	25.70	0.0004	0.1085	0.0509	17.141	6.30	8.43	0.18	0.24	0.0090	2.7568	43.48	58.17	187.04	253.65
213.23	18.84	25.25	0.0004	0.1130	0.0615	17.852	6.18	8.28	0.17	0.23	0.0109	2.8712	42.64	57.17	188.04	238.84
222.67	18.77	24.52	0.0005	0.1180	0.0661	18.642	6.16	8.04	0.17	0.23	0.0117	2.9982	42.48	55.50	189.71	227.90
232.10	18.99	24.34	0.0004	0.1230	0.0582	19.432	6.23	7.99	0.18	0.22	0.0103	3.1253	42.99	55.11	190.10	221.24
241.53	19.39	24.44	0.0004	0.1280	0.0572	20.222	6.36	8.02	0.18	0.23	0.0101	3.2522	43.89	55.32	189.88	217.02
250.97	19.89	24.49	0.0004	0.1330	0.0631	21.012	6.53	8.04	0.18	0.23	0.0112	3.3793	45.04	55.45	189.76	214.34
260.40	20.07	24.80	0.0005	0.1380	0.0690	21.801	6.59	8.14	0.19	0.23	0.0122	3.5063	45.44	56.15	189.06	208.44
270.78	19.97	25.20	0.0005	0.1435	0.0665	22.670	6.55	8.27	0.18	0.23	0.0118	3.6461	45.20	57.05	188.15	199.40
281.17	20.05	25.05	0.0004	0.1490	0.0632	23.539	6.58	8.22	0.19	0.23	0.0112	3.7858	45.38	56.71	188.49	192.79
291.53	20.22	25.14	0.0005	0.1545	0.0675	24.408	6.63	8.25	0.19	0.23	0.0120	3.9255	45.77	56.90	188.31	187.53
301.92	20.12	25.17	0.0005	0.1600	0.0702	25.277	6.60	8.26	0.19	0.23	0.0124	4.0652	45.55	56.97	188.23	180.19
312.30	20.07	25.34	0.0005	0.1655	0.0710	26.145	6.58	8.31	0.19	0.23	0.0126	4.2049	45.43	57.35	187.85	173.74
323.62	20.25	25.40	0.0005	0.1716	0.0660	27.093	6.64	8.33	0.19	0.23	0.0117	4.3574	45.84	57.51	187.70	169.20
334.93	20.45	25.37	0.0004	0.1776	0.0613	28.041	6.71	8.32	0.19	0.23	0.0108	4.5099	46.28	57.43	187.78	165.05
346.27	20.81	25.48	0.0005	0.1836	0.0677	28.989	6.83	8.36	0.19	0.24	0.0120	4.6623	47.12	57.67	187.53	162.54
357.58	20.66	25.81	0.0005	0.1896	0.0729	29.937	6.78	8.47	0.19	0.24	0.0129	4.8147	46.77	58.42	186.78	156.23
368.90	20.52	25.84	0.0005	0.1956	0.0706	30.884	6.73	8.48	0.19	0.24	0.0125	4.9671	46.45	58.51	186.70	150.40
381.17	20.54	25.80	0.0005	0.2021	0.0729	31.912	6.74	8.46	0.19	0.24	0.0129	5.1323	46.50	58.40	186.81	145.73
393.43	20.49	25.60	0.0005	0.2086	0.0758	32.938	6.72	8.40	0.19	0.24	0.0134	5.2975	46.38	57.96	187.24	140.82
405.70	20.64	25.45	0.0005	0.2151	0.0662	33.965	6.77	8.35	0.19	0.23	0.0117	5.4626	46.72	57.62	187.58	137.55
417.97	21.12	25.30	0.0004	0.2216	0.0622	34.992	6.93	8.30	0.20	0.23	0.0110	5.6277	47.82	57.28	187.92	136.67
430.23	20.91	25.57	0.0004	0.2281	0.0540	36.018	6.86	8.39	0.19	0.24	0.0096	5.7928	47.33	57.89	187.31	131.41
443.43	20.24	25.27	0.0004	0.2351	0.0635	37.125	6.64	8.29	0.19	0.23	0.0112	5.9707	45.81	57.21	188.00	123.41
456.65	19.94	24.69	0.0005	0.2421	0.0698	38.230	6.54	8.10	0.18	0.23	0.0124	6.1486	45.13	55.89	189.32	118.05
469.85	19.83	24.34	0.0004	0.2491	0.0561	39.336	6.51	7.99	0.18	0.22	0.0099	6.3263	44.89	55.11	190.10	114.11
483.07	20.02	23.87	0.0004	0.2561	0.0632	40.442	6.57	7.83	0.18	0.22	0.0112	6.5042	45.31	54.04	191.17	112.05
496.27	19.61	24.15	0.0005	0.2631	0.0690	41.547	6.43	7.92	0.18	0.22	0.0122	6.6820	44.38	54.67	190.54	106.83
510.42	19.25	23.84	0.0004	0.2706	0.0590	42.732	6.31	7.82	0.18	0.22	0.0105	6.8725	43.57	53.97	191.23	101.97
524.58	18.68	23.66	0.0004	0.2781	0.0628	43.917	6.13	7.76	0.17	0.22	0.0111	7.0631	42.28	53.56	191.65	96.27
538.73	18.40	23.20	0.0004	0.2856	0.0592	45.102	6.04	7.61	0.17	0.21	0.0105	7.2537	41.65	52.52	192.68	92.36
552.88	17.91	22.88	0.0004	0.2931	0.0575	46.286	5.88	7.51	0.17	0.21	0.0102	7.4442	40.55	51.80	193.40	87.60
567.03	17.33	22.28	0.0004	0.3006	0.0638	47.471	5.68	7.31	0.16	0.21	0.0113	7.6348	39.22	50.44	194.76	82.62
582.12	16.71	21.42	0.0004	0.3086	0.0574	48.735	5.48	7.03	0.15	0.20	0.0102	7.8380	37.82	48.49	196.71	77.60
597.22	15.97	21.22	0.0004	0.3166	0.0598	49.999	5.24	6.96	0.15	0.20	0.0106	8.0412	36.15	48.05	197.16	72.31
612.32	15.58	20.43	0.0004	0.3246	0.0564	51.262	5.11	6.70	0.14	0.19	0.0100	8.2445	35.26	46.26	198.95	68.78
627.42	15.00	19.09	0.0004	0.3326	0.0600	52.526	4.92	6.26	0.14	0.18	0.0106	8.4478	33.96	43.21	202.00	64.64
642.50	14.47	18.04	0.0005	0.3406	0.0653	53.790	4.75	5.92	0.13	0.17	0.0116	8.6510	32.75	40.84	204.37	60.88
658.55	14.69	17.88	0.0004	0.3491	0.0592	55.133	4.82	5.86	0.14	0.17	0.0105	8.8670	33.26	40.47	204.74	60.32
674.58	14.83	17.92	0.0004	0.3576	0.0636	56.476	4.87	5.88	0.14	0.17	0.0113	9.0830	33.57	40.56	204.64	59.44
690.62	14.67	18.14	0.0004	0.3661	0.0611	57.818	4.81	5.95	0.14	0.17	0.0108	9.2989	33.20	41.06	204.15	57.43
706.67	14.91	18.21	0.0005	0.3746	0.0673	59.162	4.89	5.97	0.14	0.17	0.0119	9.5149	33.75	41.22	203.98	57.05
722.70	15.50	18.80	0.0004	0.3831	0.0593	60.504	5.08	6.17	0.14	0.17	0.0105	9.7308	35.08	42.56	202.65	57.97

Anexo 4. Tabla del Ensayo de Corte Simple (DSS) a Arena limosa con σ'_v (Condicion no drenada) al generar el corte, confinado a 10 kg/cm^2

Fuente: GeoHidra Consultores, C.A

ENSAYO DE CORTE DIRECTO SIMPLE (ASTM 6528)

Proyecto: TRABAJO ESPECIAL DE GRADO: RESPUESTA AL CORTE DE ARENAS LIMOSAS CON ALTO CONFINAMIENTO ALREDEDOR DE LA CARA DE PILOTES COSTA AFUERA

SEGUNDO PUNTO:

PRESION DE CONSOLIDACION (kPa):	981.07
CONSOLIDATION PRESSURE (kPa):	981.07
SHEAR STRAIN (%/h):	5.00

ETAPA DE CORTE

Tiempo (min.)	Carga Horizontal (lb)	Carga Vertical (lb)	Desplazamiento Vertical (pulgadas)	Desplazamiento Horizontal (pulgadas)	Deformación Axial, ε_a (%)	Deformación al Corte (%)	Esfuerzo de Corte τ (PSI)	Esfuerzo Vertical (PSI)	Esfuerzo de Corte Normalizado	Esfuerzo Vertical Normalizado	Desplazamiento Vertical (mm)	Desplazamiento Horizontal (mm)	Esfuerzo de Corte τ (kPa)	Esfuerzo Vertical (kPa)	Exceso de Presión de Poros Inducido en el	Modulo de Corte Secante, G (kPa)
							56.46	**143.76**	**0.40**		**Esfuerzos Maximos**		**389.57**	**991.94**	**858.69**	**5428.93**
0.00	0.00	432.30	0.0000	0.0000	0.0000	0.000	0.00	141.83	0.00	1.00	0.0000	0.0000	0.00	978.61	0.00	0.00
3.70	0.08	430.69	-0.0001	0.0020	-0.0072	0.234	0.03	141.30	0.00	1.00	-0.0013	0.0507	0.18	974.98	11.20	78.17
4.63	1.60	430.46	-0.0001	0.0025	-0.0137	0.468	0.53	141.22	0.00	1.00	-0.0024	0.0634	3.62	974.45	26.03	774.72
5.57	3.69	430.16	-0.0001	0.0030	-0.0099	0.702	1.21	141.13	0.01	1.00	-0.0018	0.0762	8.35	973.78	41.98	1189.53
7.42	11.93	431.15	0.0000	0.0040	-0.0027	0.936	3.91	141.45	0.03	1.00	-0.0005	0.1016	27.00	976.01	57.61	2885.34
9.27	20.58	434.71	0.0000	0.0050	0.0008	1.248	6.75	142.62	0.05	1.01	0.0001	0.1270	46.60	984.06	78.66	3734.80
11.12	30.00	437.22	0.0000	0.0060	-0.0046	1.559	9.84	143.44	0.07	1.01	-0.0008	0.1525	67.91	989.76	101.46	4354.82
12.97	38.59	438.19	0.0000	0.0070	0.0057	1.871	12.66	143.76	0.09	1.01	0.0010	0.1779	87.36	991.94	125.07	4668.47
14.83	46.43	437.73	0.0001	0.0080	0.0084	2.183	15.23	143.61	0.11	1.01	0.0015	0.2033	105.10	990.91	148.67	4814.00
17.60	57.48	434.18	0.0001	0.0095	0.0097	2.495	18.86	142.44	0.13	1.00	0.0017	0.2414	130.11	982.87	171.20	5214.44
20.38	68.41	429.23	0.0001	0.0110	0.0091	2.885	22.44	140.82	0.16	0.99	0.0016	0.2795	154.86	971.67	199.02	5367.96
23.17	78.54	422.68	0.0001	0.0125	0.0126	3.275	25.77	138.67	0.18	0.98	0.0022	0.3177	177.80	956.83	226.41	5428.93
25.95	87.16	415.63	0.0001	0.0140	0.0182	3.665	28.60	136.36	0.20	0.96	0.0032	0.3558	197.31	940.89	253.30	5384.21
28.72	94.56	408.73	0.0001	0.0155	0.0211	4.054	31.02	134.09	0.22	0.95	0.0037	0.3939	214.07	925.25	276.80	5280.31
32.43	102.73	399.43	0.0002	0.0175	0.0244	4.444	33.70	131.04	0.24	0.92	0.0043	0.4448	232.54	904.20	296.97	5232.39
36.13	109.45	389.36	0.0002	0.0195	0.0267	4.911	35.91	127.74	0.25	0.90	0.0047	0.4956	247.77	881.40	318.06	5044.68
39.83	114.51	378.93	0.0002	0.0215	0.0308	5.379	37.57	124.32	0.26	0.88	0.0055	0.5464	259.23	857.80	334.56	4819.11
43.55	118.78	368.50	0.0002	0.0235	0.0313	5.847	38.97	120.90	0.27	0.85	0.0055	0.5972	268.89	834.19	347.52	4598.48
47.25	122.81	358.55	0.0002	0.0255	0.0244	6.315	40.29	117.63	0.28	0.83	0.0043	0.6481	278.02	811.66	358.04	4402.63
51.88	127.02	346.26	0.0002	0.0280	0.0326	6.782	41.67	113.60	0.29	0.80	0.0058	0.7116	287.54	783.85	368.43	4239.50
56.52	130.62	334.16	0.0002	0.0305	0.0300	7.328	42.85	109.63	0.30	0.77	0.0053	0.7752	295.69	756.46	377.26	4035.14
61.15	133.03	322.28	0.0003	0.0330	0.0395	7.874	43.64	105.73	0.31	0.75	0.0070	0.8387	301.15	729.57	383.31	3824.80
65.77	135.07	311.90	0.0002	0.0355	0.0353	8.420	44.31	102.33	0.31	0.72	0.0063	0.9021	305.76	706.07	388.92	3631.56
70.40	136.58	302.99	0.0003	0.0380	0.0468	8.965	44.81	99.41	0.32	0.70	0.0083	0.9657	309.18	685.90	391.52	3448.78
75.97	138.27	293.67	0.0004	0.0410	0.0526	9.511	45.36	96.35	0.32	0.68	0.0093	1.0419	313.01	664.80	390.87	3291.11
81.52	139.68	286.39	0.0004	0.0440	0.0571	10.134	45.83	93.96	0.32	0.66	0.0101	1.1181	316.21	648.31	389.97	3120.16
87.07	141.05	280.66	0.0004	0.0470	0.0558	10.758	46.27	92.08	0.33	0.65	0.0099	1.1944	319.30	635.35	387.02	2967.92
92.63	142.77	276.01	0.0004	0.0500	0.0640	11.382	46.84	90.55	0.33	0.64	0.0113	1.2706	323.20	624.82	386.03	2839.66
98.18	143.25	271.42	0.0004	0.0530	0.0620	12.006	47.00	89.05	0.33	0.63	0.0110	1.3468	324.28	614.44	384.28	2701.07
104.67	144.49	267.52	0.0005	0.0565	0.0691	12.629	47.40	87.77	0.33	0.62	0.0122	1.4357	327.09	605.61	380.49	2590.03
111.15	146.00	264.85	0.0004	0.0600	0.0635	13.330	47.90	86.89	0.34	0.61	0.0112	1.5246	330.50	599.56	380.44	2479.27
117.63	147.97	262.37	0.0005	0.0635	0.0706	14.032	48.54	86.08	0.34	0.61	0.0125	1.6136	334.95	593.95	380.08	2387.02
124.12	150.60	261.22	0.0005	0.0670	0.0729	14.733	49.41	85.70	0.35	0.60	0.0129	1.7025	340.92	591.34	381.53	2313.91
130.60	154.17	261.51	0.0005	0.0705	0.0693	15.435	50.58	85.80	0.36	0.60	0.0123	1.7914	349.01	592.00	386.22	2261.13
138.02	157.88	261.91	0.0005	0.0745	0.0662	16.137	51.80	85.93	0.37	0.61	0.0117	1.8931	357.41	592.90	393.05	2214.90
145.42	161.57	263.21	0.0005	0.0785	0.0703	16.916	53.01	86.35	0.37	0.61	0.0124	1.9947	365.75	595.84	399.46	2162.19
152.83	164.23	263.65	0.0005	0.0825	0.0701	17.696	53.88	86.50	0.38	0.61	0.0124	2.0963	371.78	596.84	409.78	2101.00
160.23	166.77	264.42	0.0005	0.0865	0.0757	18.475	54.71	86.75	0.39	0.61	0.0134	2.1980	377.52	598.58	420.59	2043.37
167.65	169.01	266.10	0.0005	0.0905	0.0652	19.255	55.45	87.30	0.39	0.62	0.0115	2.2996	382.59	602.37	431.38	1987.00
175.98	170.08	266.12	0.0005	0.0950	0.0650	20.034	55.80	87.31	0.39	0.62	0.0115	2.4139	385.03	602.43	441.51	1921.88
184.32	171.50	266.28	0.0004	0.0995	0.0625	20.891	56.27	87.36	0.40	0.62	0.0111	2.5283	388.24	602.79	455.14	1858.38
192.65	172.09	265.64	0.0004	0.1040	0.0522	21.749	56.46	87.15	0.40	0.61	0.0092	2.6426	389.57	601.33	467.10	1791.22
200.98	171.18	263.57	0.0006	0.1085	0.0921	22.606	56.16	86.47	0.40	0.61	0.0163	2.7569	387.50	596.65	480.23	1714.13
209.32	169.39	260.55	0.0008	0.1130	0.1097	23.463	55.57	85.48	0.39	0.60	0.0194	2.8713	383.45	589.82	492.93	1634.24
218.58	167.35	257.72	0.0009	0.1180	0.1333	24.321	54.90	84.55	0.39	0.60	0.0236	2.9983	378.84	583.41	506.89	1557.66
227.85	163.87	253.16	0.0010	0.1230	0.1482	25.256	53.76	83.06	0.38	0.59	0.0262	3.1253	370.97	573.09	522.16	1468.82
237.10	161.46	248.38	0.0014	0.1280	0.2024	26.192	52.97	81.49	0.37	0.57	0.0358	3.2524	365.51	562.28	538.55	1395.51
246.37	158.52	243.62	0.0016	0.1330	0.2265	27.127	52.01	79.93	0.37	0.56	0.0401	3.3794	358.84	551.49	557.09	1322.80
255.63	155.11	239.14	0.0016	0.1380	0.2313	28.062	50.89	78.46	0.36	0.55	0.0409	3.5064	351.13	541.35	575.45	1251.25
265.82	151.30	233.12	0.0017	0.1436	0.2459	28.998	49.64	76.48	0.35	0.54	0.0435	3.6462	342.49	527.73	593.36	1181.11
276.00	147.63	227.84	0.0018	0.1491	0.2637	30.011	48.44	74.75	0.34	0.53	0.0467	3.7859	334.20	515.77	609.63	1113.62
286.18	143.68	222.04	0.0020	0.1546	0.2823	31.024	47.14	72.85	0.33	0.51	0.0500	3.9257	325.25	502.63	626.28	1048.37
296.37	139.96	216.43	0.0019	0.1601	0.2712	32.037	45.92	71.00	0.32	0.50	0.0480	4.0654	316.83	489.93	642.47	988.95
306.55	136.47	210.26	0.0016	0.1656	0.2314	33.051	44.77	68.98	0.32	0.49	0.0410	4.2051	308.94	475.98	658.39	934.75
317.67	132.47	203.51	0.0017	0.1716	0.2411	34.064	43.46	66.77	0.31	0.47	0.0427	4.3576	299.87	460.70	675.90	880.33
328.78	127.79	196.27	0.0017	0.1776	0.2470	35.155	41.93	64.39	0.30	0.45	0.0437	4.5100	289.28	444.31	697.03	822.88
339.90	122.60	188.09	0.0019	0.1836	0.2788	36.246	40.22	61.71	0.28	0.44	0.0493	4.6625	277.53	425.78	722.23	765.69
351.00	118.68	179.97	0.0020	0.1896	0.2850	37.337	38.94	59.05	0.27	0.42	0.0505	4.8149	268.66	407.41	744.99	719.56
362.12	114.67	172.06	0.0021	0.1956	0.3082	38.428	37.62	56.45	0.27	0.40	0.0545	4.9673	259.58	389.51	759.09	675.49
374.15	110.34	164.88	0.0021	0.2021	0.2956	39.520	36.20	54.09	0.26	0.38	0.0523	5.1324	249.77	373.24	769.71	632.01
386.20	105.13	157.52	0.0026	0.2086	0.3703	40.688	34.49	51.68	0.24	0.36	0.0655	5.2976	237.98	356.59	775.13	584.87
398.23	100.29	150.37	0.0025	0.2151	0.3564	41.858	32.90	49.33	0.23	0.35	0.0631	5.4627	227.04	340.40	777.92	542.41
410.27	95.13	143.34	0.0025	0.2216	0.3620	43.027	31.21	47.03	0.22	0.33	0.0641	5.6278	215.35	324.48	783.52	500.51
422.30	90.18	135.60	0.0026	0.2281	0.3792	44.196	29.59	44.49	0.21	0.31	0.0671	5.7930	204.15	306.97	789.34	461.92
435.27	83.71	126.27	0.0027	0.2351	0.3885	45.365	27.46	41.43	0.19	0.29	0.0688	5.9708	189.49	285.83	796.09	417.71
448.23	76.66	115.13	0.0029	0.2421	0.4164	46.612	25.15	37.77	0.18	0.27	0.0737	6.1486	173.55	260.64	803.93	372.32
461.20	72.07	105.08	0.0029	0.2491	0.4222	47.859	23.64	34.47	0.17	0.24	0.0747	6.3265	163.14	237.88	813.32	340.88
474.15	69.02	98.85	0.0030	0.2561	0.4317	49.107	22.64	32.43	0.16	0.23	0.0764	6.5043	156.25	223.78	821.35	318.18
487.12	67.37	94.16	0.0030	0.2631	0.4375	50.353	22.10	30.89	0.16	0.22	0.0774	6.6821	152.51	213.15	827.53	302.87
501.00	66.81	91.77	0.0030	0.2706	0.4373	51.601	21.92	30.11	0.15	0.21	0.0774	6.8726	151.24	207.74	833.85	293.10
514.90	66.12	90.53	0.0031	0.2781	0.4405	52.926	21.69	29.70	0.15	0.21	0.0780	7.0632	149.68	204.94	838.78	282.80
528.78	64.01	88.06	0.0031	0.2856	0.4459	54.251	21.00	28.89	0.15	0.20	0.0789	7.2537	144.89	199.35	843.58	267.08
542.67	61.43	85.49	0.0031	0.2931	0.4455	55.576	20.16	28.05	0.14	0.20	0.0788	7.4443	139.07	193.53	850.02	250.24
556.57	58.87	82.51	0.0031	0.3006	0.4463	56.901	19.31	27.07	0.14	0.19	0.0790	7.6348	133.27	186.77	855.43	234.21
571.38	55.81	79.05	0.0032	0.3086	0.4551	58.226	18.31	25.93	0.13	0.18	0.0806	7.8380	126.34	178.94	858.69	216.98

Anexo 5. Tabla del Ensayo de Corte Simple (DSS) a Arena limosa con σ'_v (Condicion no drenada) al generar el corte, confinado a 15 kg/cm^2

Fuente: GeoHidra Consultores, C.A

ENSAYO DE CORTE DIRECTO SIMPLE (ASTM 6528)

Proyecto: TRABAJO ESPECIAL DE GRADO: RESPUESTA AL CORTE DE ARENAS LIMOSAS CON ALTO CONFINAMIENTO ALREDEDOR DE LA CARA DE PILOTES COSTA AFUERA

PRIMER PUNTO:

PRESION DE CONSOLIDACION (kPa):	1471.47
CONSOLIDATION PRESSURE (kPa):	1471.47
SHEAR STRAIN (%h):	5.00

ETAPA DE CORTE

Tiempo (min.)	Carga Horizontal (lb)	Carga Vertical (lb)	Desplazamiento Vertical (pulgadas)	Desplazamiento Horizontal (pulgadas)	Deformación Axial, ε_a (%)	Deformación al Corte (%)	Esfuerzo de Corte τ (PSI)	Esfuerzo Vertical (PSI)	Esfuerzo de Corte Normalizado	Esfuerzo Vertical Normalizado	Desplazamiento Vertical (mm)	Desplazamiento Horizontal (mm)	Esfuerzo de Corte τ (kPa)	Esfuerzo Vertical (kPa)	Exceso de Presión de Poros Inducido en el	Modulo de Corte Secante, G (kPa)
							77.83	**212.45**	**0.37**		**Esfuerzos Maximos**		**537.02**	**1465.89**	**1190.30**	**17448.34**
0.00	-28.93	646.24	0.0000	0.0000	0.0000	0.000	-9.51	212.45	-0.04	1.00	0.0000	0.0000	-65.62	1465.89	0.00	0.00
0.00	-22.79	639.79	0.0000	0.0005	0.0006	0.080	-7.49	210.33	-0.04	0.99	0.0001	0.0125	-51.69	1451.27	14.62	17448.34
0.00	-17.91	634.06	0.0000	0.0010	-0.0031	0.161	-5.89	208.44	-0.03	0.98	-0.0006	0.0252	-40.62	1438.27	27.62	15529.02
0.00	-14.03	629.02	0.0001	0.0015	0.0114	0.242	-4.61	206.79	-0.02	0.97	0.0020	0.0379	-31.82	1426.85	39.04	13984.88
0.00	-10.99	624.49	0.0001	0.0020	0.0190	0.323	-3.61	205.30	-0.02	0.97	0.0034	0.0507	-24.92	1416.56	49.32	12589.11
0.00	-8.15	620.45	0.0002	0.0025	0.0259	0.404	-2.68	203.97	-0.01	0.96	0.0046	0.0634	-18.49	1407.40	58.49	11651.58
0.00	-5.50	616.69	0.0002	0.0030	0.0235	0.485	-1.81	202.73	-0.01	0.95	0.0042	0.0760	-12.48	1398.86	67.03	10955.45
0.00	-3.01	610.57	0.0002	0.0040	0.0322	0.648	-0.99	200.72	0.00	0.94	0.0057	0.1015	-6.83	1384.99	80.90	9078.22
0.00	-1.24	605.71	0.0003	0.0050	0.0361	0.810	-0.41	199.12	0.00	0.94	0.0064	0.1269	-2.82	1373.95	91.93	7754.90
0.00	-0.62	601.94	0.0002	0.0060	0.0346	0.972	-0.20	197.88	0.00	0.93	0.0061	0.1523	-1.41	1365.40	100.48	6609.12
0.00	1.55	599.31	0.0003	0.0070	0.0365	1.134	0.51	197.02	0.00	0.93	0.0065	0.1777	3.53	1359.44	106.45	6098.28
0.00	5.96	596.52	0.0003	0.0080	0.0471	1.296	1.96	196.10	0.01	0.92	0.0083	0.2032	13.52	1353.12	112.77	6104.03
0.00	13.30	591.23	0.0003	0.0095	0.0498	1.540	4.37	194.36	0.02	0.91	0.0088	0.2413	30.17	1341.10	124.78	6221.74
0.00	20.17	585.74	0.0004	0.0110	0.0517	1.783	6.63	192.56	0.03	0.91	0.0092	0.2793	45.75	1328.67	137.22	6247.82
0.00	26.95	580.65	0.0004	0.0125	0.0624	2.026	8.86	190.88	0.04	0.90	0.0110	0.3175	61.13	1317.11	148.78	6255.24
0.00	34.45	574.15	0.0004	0.0140	0.0616	2.269	11.32	188.75	0.05	0.89	0.0109	0.3556	78.14	1302.37	163.51	6334.66
0.00	43.64	566.35	0.0004	0.0155	0.0639	2.512	14.35	186.19	0.07	0.88	0.0113	0.3937	98.98	1284.69	181.20	6551.71
0.00	57.02	554.40	0.0005	0.0175	0.0741	2.837	18.75	182.26	0.09	0.86	0.0131	0.4446	129.34	1257.56	208.32	6871.75
0.00	70.50	540.77	0.0005	0.0195	0.0708	3.161	23.18	177.78	0.11	0.84	0.0125	0.4954	159.91	1226.66	239.23	7133.81
0.00	82.59	527.00	0.0005	0.0215	0.0784	3.486	27.15	173.25	0.13	0.82	0.0139	0.5462	187.35	1195.42	270.47	7257.36
0.00	93.81	512.96	0.0006	0.0235	0.0803	3.810	30.84	168.63	0.15	0.79	0.0142	0.5970	212.79	1163.57	302.31	7307.94
0.00	103.61	499.08	0.0006	0.0255	0.0886	4.134	34.06	164.07	0.16	0.77	0.0157	0.6478	235.03	1132.08	333.80	7272.51
0.00	113.58	482.21	0.0006	0.0280	0.0929	4.540	37.34	158.53	0.18	0.75	0.0165	0.7114	257.64	1093.82	372.06	7120.93
0.00	109.66	455.34	0.0006	0.0305	0.0925	4.945	36.05	149.69	0.17	0.70	0.0164	0.7749	248.75	1032.86	433.03	6357.15
0.00	112.58	440.72	0.0007	0.0330	0.0953	5.351	37.01	144.88	0.17	0.68	0.0169	0.8385	255.37	999.70	466.18	5998.78
0.00	116.36	432.80	0.0004	0.0355	0.0608	5.756	38.25	142.28	0.18	0.67	0.0108	0.9020	263.94	981.75	484.14	5725.61
0.00	116.22	425.99	0.0003	0.0380	0.0428	6.161	38.21	140.04	0.18	0.66	0.0076	0.9655	263.63	966.30	499.59	5343.93
0.00	133.81	429.01	0.0003	0.0410	0.0380	6.648	43.99	141.04	0.21	0.66	0.0067	1.0418	303.53	973.15	492.73	5552.70
0.00	142.16	413.69	0.0002	0.0440	0.0272	7.134	46.73	136.00	0.22	0.64	0.0048	1.1180	322.47	938.40	527.49	5439.72
0.00	147.71	396.58	0.0002	0.0470	0.0353	7.621	48.56	130.37	0.23	0.61	0.0062	1.1943	335.05	899.57	566.31	5257.40
0.00	151.79	382.46	0.0002	0.0500	0.0275	8.107	49.90	125.73	0.23	0.59	0.0049	1.2705	344.31	867.55	598.33	5056.39
0.00	154.86	370.97	0.0003	0.0530	0.0363	8.594	50.91	121.96	0.24	0.57	0.0064	1.3467	351.28	841.50	624.39	4851.03
0.00	157.96	362.39	0.0003	0.0565	0.0425	9.161	51.93	119.13	0.24	0.56	0.0075	1.4357	358.30	822.03	643.86	4627.26
0.00	161.35	355.39	0.0003	0.0600	0.0419	9.729	53.04	116.83	0.25	0.55	0.0074	1.5246	365.99	806.14	659.75	4436.41
0.00	162.40	347.91	0.0004	0.0635	0.0544	10.297	53.39	114.37	0.25	0.54	0.0096	1.6136	368.39	789.17	676.71	4215.05
0.00	167.29	346.59	0.0004	0.0670	0.0587	10.864	55.00	113.94	0.26	0.54	0.0104	1.7025	379.48	786.18	679.70	4097.05
0.00	169.99	343.24	0.0006	0.0705	0.0797	11.431	55.88	112.84	0.26	0.53	0.0141	1.7914	385.61	778.58	687.30	3947.26
0.00	174.46	341.97	0.0006	0.0745	0.0871	12.080	57.35	112.42	0.27	0.53	0.0154	1.8930	395.73	775.70	690.19	3819.15
0.00	179.19	340.57	0.0007	0.0785	0.0959	12.729	58.91	111.96	0.28	0.53	0.0170	1.9947	406.45	772.52	693.36	3708.65
0.00	183.40	340.11	0.0006	0.0825	0.0911	13.377	60.29	111.81	0.28	0.53	0.0161	2.0963	416.03	771.50	694.39	3600.48
0.00	187.59	340.82	0.0006	0.0865	0.0859	14.026	61.67	112.04	0.29	0.53	0.0152	2.1980	425.53	773.11	692.78	3501.74
0.00	191.63	342.39	0.0006	0.0905	0.0828	14.674	63.00	112.56	0.30	0.53	0.0147	2.2996	434.69	776.66	689.23	3409.40
0.00	195.66	345.01	0.0005	0.0950	0.0770	15.404	64.32	113.42	0.30	0.53	0.0136	2.4139	443.84	782.60	683.28	3307.27
0.00	198.20	347.97	0.0007	0.0995	0.0942	16.133	65.16	114.39	0.31	0.54	0.0167	2.5282	449.60	789.33	676.56	3193.48
0.00	200.86	351.10	0.0008	0.1040	0.1181	16.863	66.03	115.42	0.31	0.54	0.0209	2.6426	455.62	796.41	669.48	3090.97
0.00	202.80	354.06	0.0009	0.1085	0.1283	17.593	66.67	116.40	0.31	0.55	0.0227	2.7570	460.02	803.13	662.76	2987.78
0.00	203.73	355.70	0.0009	0.1130	0.1239	18.323	66.98	116.93	0.32	0.55	0.0219	2.8713	462.13	806.84	659.04	2880.29
0.00	206.42	358.38	0.0009	0.1180	0.1331	19.133	67.86	117.81	0.32	0.55	0.0236	2.9984	468.22	812.92	652.96	2790.10
0.00	209.45	360.26	0.0009	0.1231	0.1278	19.944	68.86	118.43	0.32	0.56	0.0226	3.1255	475.12	817.19	648.70	2711.19
0.00	213.19	363.06	0.0007	0.1281	0.1065	20.755	70.08	119.35	0.33	0.56	0.0188	3.2525	483.58	823.54	642.34	2646.09
0.00	216.07	364.45	0.0010	0.1331	0.1376	21.566	71.03	119.81	0.33	0.56	0.0244	3.3795	490.13	826.69	639.19	2577.01
0.00	218.18	365.94	0.0010	0.1381	0.1455	22.376	71.73	120.30	0.34	0.57	0.0258	3.5066	494.91	830.08	635.81	2504.98
0.00	220.16	367.38	0.0010	0.1436	0.1369	23.268	72.38	120.78	0.34	0.57	0.0242	3.6463	499.40	833.35	632.53	2428.32
0.00	223.93	368.72	0.0008	0.1491	0.1216	24.160	73.61	121.21	0.35	0.57	0.0215	3.7861	507.94	836.38	629.51	2374.02
0.00	228.89	370.90	0.0010	0.1546	0.1505	25.051	75.25	121.93	0.35	0.57	0.0266	3.9258	519.20	841.32	624.57	2334.46
0.00	233.06	373.75	0.0009	0.1601	0.1355	25.943	76.62	122.87	0.36	0.58	0.0240	4.0655	528.67	847.80	618.09	2290.71
0.00	236.10	376.67	0.0009	0.1656	0.1284	26.835	77.62	123.83	0.37	0.58	0.0227	4.2053	535.55	854.41	611.48	2240.21
0.00	236.74	377.28	0.0010	0.1716	0.1426	27.808	77.83	124.03	0.37	0.58	0.0252	4.3578	537.02	855.80	610.09	2167.12
0.00	236.69	374.07	0.0011	0.1776	0.1521	28.781	77.81	122.97	0.37	0.58	0.0269	4.5102	536.89	848.52	617.37	2093.44
0.00	233.72	366.84	0.0011	0.1836	0.1526	29.754	76.83	120.60	0.36	0.57	0.0270	4.6627	530.15	832.13	633.76	2002.32
0.00	229.72	357.55	0.0011	0.1896	0.1608	30.726	75.52	117.54	0.36	0.55	0.0285	4.8151	521.08	811.05	654.83	1909.44
0.00	224.82	347.48	0.0011	0.1956	0.1583	31.700	73.91	114.23	0.35	0.54	0.0280	4.9676	509.98	788.21	677.67	1815.79
0.00	219.09	335.33	0.0011	0.2021	0.1538	32.753	72.02	110.24	0.34	0.52	0.0272	5.1327	496.96	760.65	705.24	1717.63
0.00	212.26	323.05	0.0011	0.2086	0.1513	33.807	69.78	106.20	0.33	0.50	0.0268	5.2979	481.47	732.78	733.11	1618.26
0.00	206.47	311.90	0.0011	0.2151	0.1554	34.861	67.88	102.54	0.32	0.48	0.0275	5.4630	468.35	707.50	758.39	1531.72
0.00	198.66	298.37	0.0012	0.2216	0.1683	35.915	65.31	98.09	0.31	0.46	0.0298	5.6281	450.64	676.81	789.08	1437.46
0.00	191.58	287.24	0.0011	0.2281	0.1580	36.969	62.98	94.43	0.30	0.44	0.0280	5.7933	434.57	651.56	814.32	1353.00
0.00	184.02	274.54	0.0013	0.2351	0.1832	38.103	60.49	90.25	0.28	0.42	0.0324	5.9711	417.41	622.74	843.15	1267.68
0.00	175.43	259.80	0.0012	0.2421	0.1787	39.239	57.67	85.41	0.27	0.40	0.0316	6.1491	397.93	589.32	876.56	1181.35
0.00	169.39	247.16	0.0013	0.2491	0.1822	40.374	55.69	81.25	0.26	0.38	0.0322	6.3269	384.24	560.64	905.25	1114.24
0.00	161.98	235.40	0.0013	0.2561	0.1854	41.509	53.25	77.39	0.25	0.36	0.0328	6.5048	367.44	533.97	931.91	1043.29
0.00	155.59	224.37	0.0013	0.2631	0.1841	42.644	51.15	73.76	0.24	0.35	0.0326	6.6826	352.92	508.95	956.93	981.49
0.00	149.53	214.68	0.0013	0.2701	0.1851	43.778	49.16	70.58	0.23	0.33	0.0328	6.8604	339.19	486.97	978.91	924.68
0.00	144.10	206.81	0.0013	0.2771	0.1876	44.913	47.37	67.99	0.22	0.32	0.0332	7.0383	326.86	469.12	996.77	873.86
0.00	139.73	200.13	0.0013	0.2841	0.1882	46.048	45.94	65.79	0.22	0.31	0.0333	7.2161	316.96	453.96	1011.92	830.83
0.00	135.65	193.97	0.0013	0.2911	0.1834	47.183	44.60	63.77	0.21	0.30	0.0325	7.3940	307.71	440.00	1025.89	791.23
0.00	130.29	187.93	0.0013	0.2981	0.1872	48.318	42.83	61.78	0.20	0.29	0.0331	7.5718	295.54	426.28	1039.61	747.46
0.00	124.04	180.57	0.0014	0.3051	0.1982	49.453	40.78	59.36	0.19	0.28	0.0351	7.7497	281.36	409.60	1056.28	701.63
0.00	120.00	173.49	0.0015	0.3121	0.2115	50.588	39.45	57.03	0.19	0.27	0.0374	7.9276	272.20	393.54	1072.35	667.78
0.00	116.82	166.83	0.0015	0.3191	0.2098	51.723	38.41	54.84	0.18	0.26	0.0371	8.1054	265.00	378.42	1087.46	639.21
0.00	111.62	159.79	0.0015	0.3261	0.2179	52.858	36.69	52.53	0.17	0.25	0.0386	8.2833	253.19	362.46	1103.42	603.15
0.00	108.14	153.76	0.0016	0.3331	0.2233	53.993	35.55	50.55	0.17	0.24	0.0395	8.4611	245.30	348.79	1117.10	575.85
0.00	102.56	146.55	0.0018	0.3401	0.2570	55.128	33.72	48.18	0.16	0.23	0.0455	8.6390	232.65	332.42	1133.47	541.05
0.00	98.51	140.15	0.0018	0.3471	0.2596	56.263	32.39	46.07	0.15	0.22	0.0460	8.8169	223.46	317.91	1147.97	513.80
0.00	94.31	133.70	0.0019	0.3541	0.2773	57.398	31.00	43.95	0.15	0.21	0.0491	8.9948	213.92	303.27	1162.61	487.02
0.00	92.41	128.37	0.0019	0.3611	0.2703	58.533	30.38	42.20	0.14	0.20	0.0478	9.1726	209.62	291.18	1174.71	470.23
0.00	88.83	122.55	0.0020	0.3681	0.2910	59.668	29.20	40.29	0.14	0.19	0.0515	9.3505	201.49	277.98	1187.90	447.65
0.00	88.38	121.49	0.0021	0.3711	0.2953	60.143	29.05	39.94	0.14	0.19	0.0523	9.4250	200.47	275.59	1190.30	442.43

Anexo 6. Tabla del Ensayo de Corte Simple (DSS) a Arena limosa σ'_v (Condicion no drenada) al generar el corte, confinado a 18 kg/cm^2

Fuente: GeoHidra Consultores, C.A

ENSAYO DE CORTE DIRECTO SIMPLE (ASTM 6528)

Proyecto: TRABAJO ESPECIAL DE GRADO: RESPUESTA AL CORTE DE ARENAS LIMOSAS CON ALTO CONFINAMIENTO ALREDEDOR DE LA CARA DE PILOTES COSTA AFUERA

TERCER PUNTO:

PRESION DE CONSOLIDACION (kPa):	1765.92
CONSOLIDATION PRESSURE (kPa):	1765.92
SHEAR STRAIN (%/h):	5.00

ETAPA DE CORTE

Tiempo (min.)	Carga Horizontal (lb)	Carga Vertical (lb)	Desplazamiento Vertical (pulgadas)	Desplazamiento Horizontal (pulgadas)	Deformación Axial, ε_a (%)	Deformación al Corte (%)	Esfuerzo de Corte τ (PSI)	Esfuerzo Vertical (PSI)	Esfuerzo de Corte Normalizado	Esfuerzo Vertical Normalizado	Desplazamiento Vertical (mm)	Desplazamiento Horizontal (mm)	Esfuerzo de Corte τ (kPa)	Esfuerzo Vertical (kPa)	Exceso de Presión de Poros Inducido en el	Modulo de Corte Secante, G (kPa)
							75.29	**255.99**	**0.29**		**Esfuerzos Maximos**		**519.53**	**1766.33**	**1452.08**	**6689.45**
0.00	0.00	780.27	0.0000	0.0000	0.0000	0.000	0.00	255.99	0.00	1.00	0.0000	0.0000	0.00	1766.33	0.00	0.00
10.23	2.74	769.25	0.0000	0.0050	0.0052	0.859	0.90	252.38	0.00	0.99	0.0009	0.1270	6.20	1741.39	24.94	721.82
12.28	5.66	766.77	0.0001	0.0060	0.0090	1.031	1.86	251.56	0.01	0.98	0.0016	0.1524	12.82	1735.77	30.56	1242.72
14.32	10.73	764.39	0.0002	0.0070	0.0259	1.203	3.52	250.78	0.01	0.98	0.0046	0.1778	24.30	1730.39	35.94	2019.46
16.37	14.50	761.69	0.0002	0.0080	0.0305	1.376	4.76	249.89	0.02	0.98	0.0054	0.2033	32.83	1724.27	42.06	2386.46
19.43	22.98	758.34	0.0003	0.0095	0.0454	1.633	7.54	248.80	0.03	0.97	0.0080	0.2414	52.02	1716.69	49.64	3184.65
22.50	30.75	754.26	0.0007	0.0110	0.0952	1.892	10.09	247.46	0.04	0.97	0.0169	0.2796	69.60	1707.45	58.88	3679.68
25.58	39.31	750.20	0.0007	0.0125	0.0975	2.149	12.90	246.12	0.05	0.96	0.0173	0.3177	88.99	1698.26	68.07	4140.77
28.65	48.28	744.22	0.0007	0.0140	0.1052	2.407	15.84	244.16	0.06	0.95	0.0186	0.3558	109.29	1684.72	81.61	4540.54
31.72	58.19	736.64	0.0007	0.0155	0.1007	2.665	19.09	241.67	0.07	0.94	0.0178	0.3940	131.73	1667.55	98.78	4941.88
35.80	72.81	723.32	0.0008	0.0175	0.1161	3.009	23.89	237.31	0.09	0.93	0.0206	0.4448	164.82	1637.42	128.92	5477.13
39.90	87.07	703.95	0.0008	0.0195	0.1201	3.353	28.57	230.95	0.11	0.90	0.0213	0.4956	197.10	1593.56	172.77	5878.38
43.98	101.08	686.72	0.0008	0.0215	0.1101	3.697	33.16	225.30	0.13	0.88	0.0195	0.5465	228.81	1554.56	211.77	6188.80
48.08	115.21	669.81	0.0009	0.0235	0.1327	4.041	37.80	219.75	0.15	0.86	0.0235	0.5973	260.81	1516.27	250.06	6453.99
52.17	128.07	653.21	0.0010	0.0255	0.1395	4.385	42.02	214.30	0.16	0.84	0.0247	0.6482	289.92	1478.69	287.64	6611.87
57.27	142.27	633.57	0.0010	0.0280	0.1503	4.815	46.68	207.86	0.18	0.81	0.0266	0.7117	322.07	1434.25	332.08	6689.45
62.38	152.89	614.27	0.0010	0.0305	0.1488	5.244	50.16	201.53	0.20	0.79	0.0263	0.7752	346.11	1390.55	375.78	6599.57
67.50	163.54	597.05	0.0011	0.0330	0.1540	5.674	53.65	195.88	0.21	0.77	0.0273	0.8387	370.21	1351.57	414.77	6524.56
72.60	172.14	579.64	0.0012	0.0355	0.1772	6.104	56.48	190.17	0.22	0.74	0.0314	0.9023	389.68	1312.16	454.17	6383.67
77.72	180.39	562.58	0.0012	0.0380	0.1782	6.534	59.18	184.57	0.23	0.72	0.0315	0.9658	408.35	1273.54	492.80	6249.67
83.85	187.69	542.81	0.0013	0.0410	0.1813	7.050	61.58	178.09	0.24	0.70	0.0321	1.0421	424.87	1228.79	537.54	6026.81
89.98	195.21	524.86	0.0012	0.0440	0.1781	7.565	64.04	172.19	0.25	0.67	0.0315	1.1183	441.90	1188.14	578.19	5841.04
96.13	200.78	506.93	0.0013	0.0470	0.1880	8.081	65.87	166.31	0.26	0.65	0.0333	1.1945	454.51	1147.55	618.78	5624.36
102.27	204.89	489.96	0.0013	0.0500	0.1924	8.597	67.22	160.75	0.26	0.63	0.0341	1.2708	463.83	1109.14	657.19	5395.14
108.40	208.40	475.49	0.0013	0.0530	0.1908	9.113	68.37	156.00	0.27	0.61	0.0338	1.3471	471.76	1076.38	689.96	5176.69
115.57	211.85	460.69	0.0014	0.0565	0.2026	9.715	69.50	151.14	0.27	0.59	0.0359	1.4360	479.58	1042.88	723.45	4936.71
122.72	214.74	447.22	0.0014	0.0600	0.1998	10.316	70.45	146.72	0.28	0.57	0.0354	1.5249	486.11	1012.40	753.93	4711.96
129.88	217.53	436.83	0.0014	0.0635	0.2015	10.919	71.37	143.31	0.28	0.56	0.0357	1.6140	492.44	988.86	777.47	4510.04
137.03	219.44	427.95	0.0015	0.0670	0.2141	11.520	71.99	140.40	0.28	0.55	0.0379	1.7029	496.76	968.77	797.57	4312.00
144.20	219.78	419.26	0.0015	0.0705	0.2126	12.122	72.11	137.55	0.28	0.54	0.0376	1.7918	497.52	949.09	817.24	4104.30
152.38	221.88	411.77	0.0014	0.0745	0.2046	12.810	72.79	135.09	0.28	0.53	0.0362	1.8936	502.28	932.14	834.19	3920.94
160.55	224.45	406.09	0.0015	0.0786	0.2149	13.498	73.64	133.23	0.29	0.52	0.0380	1.9952	508.10	919.28	847.06	3764.33
168.73	224.92	399.99	0.0016	0.0826	0.2285	14.186	73.79	131.23	0.29	0.51	0.0404	2.0969	509.17	905.48	860.85	3589.34
176.92	224.89	396.02	0.0016	0.0866	0.2304	14.873	73.78	129.93	0.29	0.51	0.0408	2.1985	509.08	896.49	869.84	3422.87
185.10	224.22	391.82	0.0017	0.0906	0.2383	15.561	73.56	128.55	0.29	0.50	0.0422	2.3002	507.57	886.98	879.35	3261.84
194.30	224.32	388.36	0.0016	0.0951	0.2255	16.335	73.59	127.41	0.29	0.50	0.0399	2.4145	507.79	879.14	887.19	3108.67
203.50	223.96	384.83	0.0015	0.0996	0.2220	17.108	73.48	126.26	0.29	0.49	0.0393	2.5289	506.99	871.16	895.17	2963.41
212.70	222.74	381.36	0.0016	0.1041	0.2288	17.882	73.08	125.12	0.29	0.49	0.0405	2.6433	504.22	863.31	903.03	2819.69
221.92	221.95	378.13	0.0016	0.1086	0.2351	18.656	72.82	124.05	0.28	0.48	0.0416	2.7576	502.44	855.98	910.35	2693.21
231.12	221.51	373.31	0.0017	0.1131	0.2422	19.430	72.67	122.48	0.28	0.48	0.0429	2.8720	501.44	845.09	921.24	2580.77
241.33	222.74	370.17	0.0017	0.1181	0.2457	20.289	73.08	121.44	0.29	0.47	0.0435	2.9991	504.23	837.96	928.37	2485.20
251.57	224.92	366.87	0.0021	0.1231	0.3056	21.149	73.79	120.36	0.29	0.47	0.0541	3.1262	509.16	830.50	935.84	2407.50
261.78	227.10	366.33	0.0018	0.1281	0.2587	22.008	74.51	120.19	0.29	0.47	0.0458	3.2532	514.10	829.28	937.05	2335.92
272.02	228.33	364.61	0.0019	0.1331	0.2658	22.868	74.91	119.62	0.29	0.47	0.0470	3.3803	516.87	825.37	940.96	2260.25
282.25	229.50	362.33	0.0019	0.1381	0.2730	23.728	75.29	118.87	0.29	0.46	0.0483	3.5074	519.53	820.22	946.11	2189.54
293.48	228.21	357.50	0.0017	0.1436	0.2447	24.673	74.87	117.29	0.29	0.46	0.0433	3.6471	516.60	809.29	957.04	2093.78
304.73	224.87	350.31	0.0017	0.1491	0.2426	25.619	73.77	114.93	0.29	0.45	0.0429	3.7869	509.04	793.02	973.31	1986.98
315.98	221.24	341.88	0.0018	0.1546	0.2538	26.565	72.58	112.16	0.28	0.44	0.0449	3.9267	500.83	773.93	992.40	1885.31
327.23	216.70	331.36	0.0018	0.1601	0.2621	27.511	71.09	108.71	0.28	0.42	0.0464	4.0665	490.54	750.12	1016.21	1783.11
338.48	213.22	322.10	0.0018	0.1656	0.2587	28.456	69.95	105.67	0.27	0.41	0.0458	4.2063	482.67	729.15	1037.18	1696.20
350.75	208.57	310.94	0.0018	0.1716	0.2554	29.488	68.43	102.01	0.27	0.40	0.0452	4.3588	472.15	703.89	1062.45	1601.16
363.02	204.35	301.06	0.0019	0.1776	0.2703	30.519	67.04	98.77	0.26	0.39	0.0478	4.5112	462.60	681.53	1084.80	1515.78
375.30	199.54	292.24	0.0019	0.1836	0.2768	31.551	65.46	95.88	0.26	0.37	0.0490	4.6637	451.71	661.55	1104.79	1431.69
387.57	195.94	283.47	0.0021	0.1896	0.3049	32.582	64.28	93.00	0.25	0.36	0.0540	4.8162	443.55	641.70	1124.64	1361.31
399.83	193.27	276.36	0.0020	0.1956	0.2854	33.614	63.41	90.67	0.25	0.35	0.0505	4.9687	437.50	625.60	1140.73	1301.56
413.13	190.88	269.99	0.0020	0.2021	0.2939	34.732	62.62	88.58	0.24	0.35	0.0520	5.1339	432.11	611.18	1155.15	1244.13
426.42	187.59	264.37	0.0021	0.2086	0.2996	35.849	61.54	86.73	0.24	0.34	0.0530	5.2991	424.65	598.46	1167.87	1184.54
439.72	184.15	260.57	0.0021	0.2151	0.2991	36.967	60.41	85.49	0.24	0.33	0.0529	5.4643	416.86	589.86	1176.47	1127.66
453.02	179.83	255.96	0.0022	0.2216	0.3114	38.084	59.00	83.98	0.23	0.33	0.0551	5.6294	407.09	579.43	1186.90	1068.92
466.30	174.49	251.38	0.0021	0.2281	0.3071	39.202	57.25	82.47	0.22	0.32	0.0544	5.7947	395.01	569.06	1197.27	1007.62
480.62	169.16	244.94	0.0022	0.2351	0.3184	40.405	55.50	80.36	0.22	0.31	0.0563	5.9725	382.94	554.48	1211.85	947.75
494.93	164.20	237.80	0.0022	0.2421	0.3142	41.609	53.87	78.02	0.21	0.30	0.0556	6.1505	371.71	538.31	1228.02	893.35
509.25	159.13	229.78	0.0022	0.2491	0.3097	42.812	52.21	75.38	0.20	0.29	0.0548	6.3283	360.24	520.16	1246.18	841.45
523.57	155.95	223.06	0.0023	0.2562	0.3283	44.016	51.16	73.18	0.20	0.29	0.0581	6.5062	353.03	504.96	1261.37	802.06
537.88	151.24	216.02	0.0022	0.2632	0.3184	45.219	49.62	70.87	0.19	0.28	0.0564	6.6842	342.37	489.00	1277.33	757.13
553.23	146.62	208.48	0.0023	0.2707	0.3264	46.509	48.10	68.40	0.19	0.27	0.0578	6.8748	331.91	471.93	1294.40	713.64
568.57	140.40	200.49	0.0023	0.2782	0.3345	47.799	46.06	65.78	0.18	0.26	0.0592	7.0655	317.82	453.86	1312.47	664.91
583.90	136.08	194.59	0.0023	0.2857	0.3248	49.088	44.65	63.84	0.17	0.25	0.0575	7.2560	308.06	440.49	1325.84	627.56
599.23	128.42	186.42	0.0023	0.2932	0.3322	50.378	42.13	61.16	0.16	0.24	0.0588	7.4467	290.71	422.01	1344.32	577.06
614.57	121.20	177.85	0.0024	0.3007	0.3393	51.667	39.76	58.35	0.16	0.23	0.0601	7.6372	274.35	402.60	1363.73	531.01
630.93	115.14	169.63	0.0025	0.3087	0.3548	53.043	37.77	55.65	0.15	0.22	0.0628	7.8406	260.64	383.99	1382.34	491.37
647.30	110.74	162.20	0.0025	0.3167	0.3598	54.418	36.33	53.21	0.14	0.21	0.0637	8.0439	250.68	367.18	1399.15	460.65
663.67	107.78	155.55	0.0026	0.3247	0.3784	55.793	35.36	51.03	0.14	0.20	0.0670	8.2472	243.98	352.13	1414.20	437.29
680.02	102.84	149.37	0.0027	0.3327	0.3843	57.169	33.74	49.01	0.13	0.19	0.0680	8.4505	232.81	338.14	1428.19	407.23
696.38	99.80	143.60	0.0028	0.3407	0.3958	58.545	32.74	47.11	0.13	0.18	0.0701	8.6539	225.91	325.07	1441.26	385.88
713.77	97.67	138.82	0.0029	0.3492	0.4169	60.006	32.04	45.54	0.13	0.18	0.0738	8.8699	221.10	314.25	1452.08	368.46

Anexo 7. Tabla del Ensayo de Corte Simple (DSS) a Arena Limosa σ'$_v$ (Condicion no drenada) al generar el corte, confinado a 20 kg/cm^2

Fuente: GeoHidra Consultores, C.A

ENSAYO DE CORTE DIRECTO SIMPLE (ASTM 6528)

Proyecto: TRABAJO ESPECIAL DE GRADO: RESPUESTA AL CORTE DE ARENAS LIMOSAS CON ALTO CONFINAMIENTO ALREDEDOR DE LA CARA DE PILOTES COSTA AFUERA

CUARTO PUNTO:

PRESION DE CONSOLIDACION (kPa):	1962.14
CONSOLIDATION PRESSURE (kPa):	1962.14
SHEAR STRAIN (%h):	5.00

ETAPA DE CORTE

Tiempo (min.)	Carga Horizontal (lb)	Carga Vertical (lb)	Desplazamiento Vertical (pulgadas)	Desplazamiento Horizontal (pulgadas)	Deformación Axial, ε_a (%)	Deformación al Corte (%)	Esfuerzo de Corte τ (PSI)	Esfuerzo Vertical (PSI)	Esfuerzo de Corte Normalizado	Esfuerzo Vertical Normalizado	Desplazamiento Vertical (mm)	Desplazamiento Horizontal (mm)	Esfuerzo de Corte τ (kPa)	Esfuerzo Vertical (kPa)	Exceso de Presión de Poros Inducido en el Corte, Δu_s (kPa)	Modulo de Corte Secante, G (kPa)
							89.70	**286.33**	**0.32**		**Esfuerzos Maximos**		**618.96**	**1975.65**	**1739.52**	**#DIV/0!**
0.00	0.00	866.81	0.0000	0.0000	0.0000	0.000	0.00	284.38	0.00	1.00	0.0000	0.0000	0.00	1962.23	0.00	0.00
2.05	1.27	865.91	0.0000	0.0010	0.0051	0.257	0.42	284.09	0.00	1.00	0.0009	0.0253	2.88	1960.20	11.28	1122.18
3.08	4.26	866.27	-0.0001	0.0015	-0.0154	0.514	1.40	284.21	0.00	1.00	-0.0027	0.0380	9.65	1961.02	23.41	1877.42
4.10	7.72	866.79	-0.0001	0.0020	-0.0139	0.770	2.53	284.37	0.01	1.00	-0.0025	0.0507	17.47	1962.18	37.61	2268.32
5.12	11.55	867.19	-0.0002	0.0025	-0.0249	1.027	3.79	284.51	0.01	1.00	-0.0044	0.0634	26.14	1963.08	55.06	2545.54
6.15	16.43	866.84	-0.0001	0.0030	-0.0203	1.284	5.39	284.39	0.02	1.00	-0.0036	0.0762	37.20	1962.30	74.15	2897.33
8.20	29.88	870.35	-0.0002	0.0040	-0.0272	1.626	9.80	285.54	0.03	1.00	-0.0048	0.1016	67.65	1970.25	101.21	4159.80
10.23	42.66	871.85	-0.0002	0.0050	-0.0354	1.968	14.00	286.03	0.05	1.01	-0.0063	0.1270	96.57	1973.63	135.68	4906.46
12.28	53.83	872.74	-0.0002	0.0060	-0.0269	2.310	17.66	286.33	0.06	1.01	-0.0048	0.1524	121.85	1975.65	174.02	5274.80
14.33	63.73	870.95	-0.0002	0.0070	-0.0228	2.652	20.91	285.74	0.07	1.00	-0.0040	0.1778	144.26	1971.60	210.46	5439.01
16.37	73.29	867.56	-0.0001	0.0080	-0.0186	2.995	24.04	284.63	0.08	1.00	-0.0033	0.2032	165.91	1963.94	248.56	5539.96
19.43	87.41	862.58	0.0000	0.0095	-0.0014	3.423	28.68	282.99	0.10	1.00	-0.0003	0.2414	197.88	1952.66	288.44	5781.55
22.50	101.75	857.22	0.0000	0.0110	0.0062	3.850	33.38	281.24	0.12	0.99	0.0011	0.2795	230.33	1940.53	331.06	5982.34
25.57	116.03	850.95	0.0000	0.0125	-0.0041	4.278	38.07	279.18	0.13	0.98	-0.0007	0.3175	262.65	1926.33	369.62	6139.70
28.63	129.94	843.24	0.0001	0.0140	0.0084	4.705	42.65	276.65	0.15	0.97	0.0015	0.3556	294.29	1908.88	405.90	6254.32
31.70	143.32	834.81	0.0000	0.0155	0.0041	5.133	47.02	273.88	0.17	0.96	0.0007	0.3938	324.44	1889.79	440.98	6320.22
35.78	160.84	822.85	0.0000	0.0175	0.0039	5.647	52.77	269.96	0.19	0.95	0.0007	0.4446	364.10	1862.73	482.38	6448.11
39.87	177.71	807.63	0.0002	0.0195	0.0219	6.160	58.30	264.96	0.21	0.93	0.0039	0.4954	402.29	1828.26	528.56	6530.91
43.95	192.08	790.69	0.0002	0.0215	0.0273	6.673	63.02	259.41	0.22	0.91	0.0048	0.5461	434.82	1789.92	569.71	6516.37
48.05	203.87	774.59	0.0002	0.0235	0.0285	7.186	66.88	254.13	0.24	0.89	0.0050	0.5969	461.50	1753.48	608.94	6422.18
52.13	212.76	757.76	0.0002	0.0255	0.0315	7.700	69.80	248.61	0.25	0.87	0.0056	0.6477	481.64	1715.38	650.00	6255.35
57.25	223.32	740.15	0.0002	0.0280	0.0331	8.298	73.27	242.83	0.26	0.85	0.0059	0.7112	505.53	1675.50	689.86	6092.03
62.35	231.00	721.32	0.0003	0.0305	0.0370	8.897	75.79	236.65	0.27	0.83	0.0065	0.7747	522.93	1632.88	724.97	5877.74
67.47	237.56	704.28	0.0003	0.0330	0.0387	9.495	77.94	231.06	0.27	0.81	0.0068	0.8382	537.77	1594.32	760.09	5663.43
72.57	243.21	688.26	0.0004	0.0355	0.0561	10.094	79.79	225.80	0.28	0.79	0.0099	0.9016	550.57	1558.04	788.39	5454.27
77.68	249.13	672.76	0.0004	0.0380	0.0555	10.693	81.73	220.72	0.29	0.78	0.0098	0.9652	563.97	1522.96	811.28	5273.99
83.80	255.43	654.47	0.0008	0.0410	0.1120	11.378	83.80	214.72	0.29	0.76	0.0198	1.0413	578.22	1481.56	837.40	5082.01
89.93	258.62	634.07	0.0008	0.0440	0.1167	12.062	84.85	208.03	0.30	0.73	0.0207	1.1175	585.46	1435.38	855.64	4853.82
96.07	262.06	615.90	0.0010	0.0470	0.1406	12.746	85.98	202.06	0.30	0.71	0.0249	1.1936	593.23	1394.23	874.58	4654.12
102.20	265.06	598.57	0.0009	0.0500	0.1353	13.430	86.96	196.38	0.31	0.69	0.0240	1.2698	600.03	1355.00	891.03	4467.74
108.33	267.28	580.43	0.0010	0.0530	0.1480	14.115	87.69	190.43	0.31	0.67	0.0262	1.3461	605.06	1313.94	903.39	4286.64
115.48	269.27	562.82	0.0011	0.0565	0.1639	14.885	88.34	184.65	0.31	0.65	0.0290	1.4349	609.55	1274.08	919.06	4095.19
122.63	271.16	547.31	0.0011	0.0600	0.1633	15.655	88.96	179.56	0.31	0.63	0.0289	1.5237	613.85	1238.97	931.05	3921.19
129.78	271.59	531.80	0.0012	0.0635	0.1702	16.424	89.10	174.47	0.31	0.61	0.0301	1.6126	614.82	1203.85	945.25	3743.31
136.93	272.18	519.30	0.0013	0.0670	0.1861	17.194	89.30	170.37	0.31	0.60	0.0329	1.7015	616.14	1175.55	957.85	3583.36
144.08	273.08	509.18	0.0013	0.0705	0.1933	17.964	89.59	167.05	0.32	0.59	0.0342	1.7904	618.17	1152.66	973.96	3441.10
152.27	273.25	497.64	0.0014	0.0745	0.2020	18.820	89.65	163.27	0.32	0.57	0.0358	1.8920	618.56	1126.54	992.01	3286.81
160.43	273.43	489.59	0.0014	0.0785	0.2004	19.675	89.70	160.62	0.32	0.56	0.0355	1.9935	618.96	1108.30	1010.23	3145.95
168.62	272.53	481.22	0.0014	0.0825	0.2061	20.531	89.41	157.88	0.31	0.56	0.0365	2.0951	616.94	1089.36	1028.47	3004.96
176.78	271.08	473.95	0.0015	0.0865	0.2093	21.386	88.94	155.49	0.31	0.55	0.0370	2.1966	613.66	1072.91	1051.16	2869.44
184.95	269.90	468.49	0.0016	0.0905	0.2260	22.241	88.55	153.70	0.31	0.54	0.0400	2.2983	610.99	1060.55	1076.64	2747.11
194.15	269.17	461.57	0.0015	0.0950	0.2185	23.182	88.31	151.43	0.31	0.53	0.0387	2.4125	609.33	1044.88	1106.27	2628.46
203.35	268.89	456.28	0.0015	0.0995	0.2200	24.123	88.22	149.69	0.31	0.53	0.0389	2.5268	608.69	1032.89	1138.53	2523.29
212.55	266.96	450.00	0.0015	0.1040	0.2213	25.064	87.58	147.64	0.31	0.52	0.0392	2.6411	604.33	1018.68	1173.61	2411.14
221.73	265.10	444.44	0.0016	0.1085	0.2232	26.005	86.97	145.81	0.31	0.51	0.0395	2.7554	600.12	1006.09	1205.76	2307.72
230.93	262.19	437.32	0.0015	0.1130	0.2211	26.946	86.02	143.47	0.30	0.50	0.0391	2.8696	593.54	989.98	1238.40	2202.68
241.15	259.15	429.34	0.0016	0.1180	0.2304	27.972	85.02	140.86	0.30	0.50	0.0408	2.9966	586.65	971.93	1267.62	2097.23
251.37	256.31	421.30	0.0016	0.1230	0.2252	28.999	84.09	138.22	0.30	0.49	0.0399	3.1235	580.22	953.71	1294.07	2000.87
261.58	253.05	413.24	0.0017	0.1280	0.2418	30.025	83.02	135.57	0.29	0.48	0.0428	3.2506	572.83	935.47	1318.81	1907.83
271.80	248.11	403.22	0.0016	0.1330	0.2277	31.051	81.40	132.29	0.29	0.47	0.0403	3.3775	561.65	912.78	1340.32	1808.77
282.02	243.12	391.96	0.0015	0.1380	0.2111	32.078	79.76	128.59	0.28	0.45	0.0374	3.5044	550.37	887.30	1362.62	1715.70
293.27	236.53	378.87	0.0015	0.1435	0.2098	33.190	77.60	124.30	0.27	0.44	0.0371	3.6441	535.45	857.67	1387.66	1613.28
304.50	229.49	364.62	0.0016	0.1490	0.2308	34.302	75.29	119.62	0.26	0.42	0.0409	3.7837	519.51	825.41	1411.35	1514.53
315.73	220.67	349.12	0.0015	0.1545	0.2182	35.414	72.40	114.54	0.25	0.40	0.0386	3.9234	499.54	790.33	1434.59	1410.57
326.98	213.22	334.92	0.0016	0.1600	0.2314	36.526	69.95	109.88	0.25	0.39	0.0410	4.0631	482.67	758.18	1457.88	1321.44
338.22	205.94	320.50	0.0017	0.1655	0.2492	37.638	67.56	105.15	0.24	0.37	0.0441	4.2028	466.20	725.54	1481.12	1238.62
350.48	200.43	307.60	0.0016	0.1715	0.2322	38.836	65.76	100.92	0.23	0.35	0.0411	4.3551	453.73	696.32	1508.20	1168.33
362.73	196.04	295.91	0.0017	0.1775	0.2467	40.033	64.32	97.08	0.23	0.34	0.0437	4.5074	443.78	669.87	1531.70	1108.52
375.00	191.17	284.98	0.0018	0.1835	0.2546	41.231	62.72	93.50	0.22	0.33	0.0451	4.6598	432.76	645.13	1552.05	1049.61
387.25	185.81	275.48	0.0018	0.1895	0.2534	42.638	60.96	90.38	0.21	0.32	0.0448	4.8121	420.62	623.62	1567.94	986.48
399.52	179.68	265.63	0.0018	0.1955	0.2567	43.835	58.95	87.15	0.21	0.31	0.0454	4.9645	406.76	601.32	1590.18	927.92
412.80	173.90	254.57	0.0018	0.2020	0.2548	45.118	57.05	83.52	0.20	0.29	0.0451	5.1295	393.66	576.28	1614.10	872.51
426.08	168.76	244.11	0.0018	0.2084	0.2597	46.401	55.37	80.09	0.19	0.28	0.0460	5.2946	382.03	552.59	1637.71	823.32
439.37	163.60	233.84	0.0018	0.2149	0.2604	47.684	53.67	76.72	0.19	0.27	0.0461	5.4596	370.35	529.35	1657.35	776.66
452.65	158.45	223.55	0.0018	0.2214	0.2541	48.967	51.98	73.34	0.18	0.26	0.0450	5.6247	358.70	506.06	1672.77	732.52
465.93	152.21	213.28	0.0017	0.2279	0.2509	50.250	49.94	69.97	0.18	0.25	0.0444	5.7898	344.57	482.82	1686.55	685.70
480.23	144.94	201.32	0.0018	0.2349	0.2610	51.619	47.55	66.05	0.17	0.23	0.0462	5.9675	328.10	455.74	1699.44	635.61
494.53	138.51	190.94	0.0019	0.2419	0.2664	52.988	45.44	62.64	0.16	0.22	0.0472	6.1453	313.55	432.24	1711.51	591.74
508.83	132.65	181.95	0.0018	0.2489	0.2632	54.356	43.52	59.69	0.15	0.21	0.0466	6.3230	300.28	411.88	1717.76	552.43
1507.53	129.37	174.93	0.0021	0.2572	0.3082	55.725	42.44	57.39	0.15	0.20	0.0545	6.5319	292.86	396.00	1731.66	525.54

Anexo 8. Tabla del Ensayo de Corte Simple (DSS) a Arena Limpia σ'$_v$ (Condicion no drenada) al generar el corte, confinado a 2,5 kg/cm^2

Fuente: GeoHidra Consultores, C.A

ENSAYO DE CORTE DIRECTO SIMPLE (ASTM 6528)

Proyecto: TRABAJO ESPECIAL DE GRADO: RESPUESTA AL CORTE DE ARENAS LIMOSAS CON ALTO CONFINAMIENTO ALREDEDOR DE LA CARA DE PILOTES COSTA AFUERA

PRIMER PUNTO:

PRESION DE CONSOLIDACION (kPa):	245.17
CONSOLIDATION PRESSURE (kPa):	245.17
SHEAR STRAIN (%h):	5.00

ETAPA DE CORTE

Tiempo (min.)	Carga Horizontal (lb)	Carga Vertical (lb)	Desplazamiento Vertical (pulgadas)	Desplazamiento Horizontal (pulgadas)	Deformación Axial, ε_a (%)	Deformación al Corte (%)	Esfuerzo de Corte τ (PSI)	Esfuerzo Vertical (PSI)	Esfuerzo de Corte Normalizado	Esfuerzo Vertical Normalizado	Desplazamiento Vertical (mm)	Desplazamiento Horizontal (mm)	Esfuerzo de Corte τ (kPa)	Esfuerzo Vertical (kPa)	Exceso de Presión de Poros Inducido en el	Modulo de Corte Secante, G (kPa)
							34.30	**51.91**	**0.96**		**Esfuerzos Maximos**		**236.65**	**358.20**	**164.80**	**2655.26**
0.00	0.00	108.61	0.0000	0.0000	0.0000	0.000	0.00	35.63	0.00	1.00	0.0000	0.0000	0.00	245.86	0.00	0.00
3.52	0.64	102.92	0.0001	0.0020	0.0120	0.291	0.21	33.77	0.01	0.95	0.0021	0.0507	1.44	232.99	12.86	494.81
4.40	1.29	101.61	0.0001	0.0025	0.0199	0.365	0.42	33.34	0.01	0.94	0.0035	0.0634	2.93	230.02	15.84	802.58
5.27	2.27	100.44	0.0002	0.0030	0.0263	0.438	0.75	32.95	0.02	0.92	0.0047	0.0761	5.15	227.38	18.48	1176.06
7.03	4.15	98.84	0.0002	0.0040	0.0268	0.584	1.36	32.43	0.04	0.91	0.0047	0.1016	9.39	223.75	22.10	1608.03
8.78	6.25	96.75	0.0003	0.0050	0.0383	0.730	2.05	31.74	0.06	0.89	0.0068	0.1269	14.14	219.01	26.84	1937.49
10.53	8.35	94.34	0.0003	0.0060	0.0362	0.876	2.74	30.95	0.08	0.87	0.0064	0.1524	18.89	213.57	32.29	2155.93
12.30	11.09	91.28	0.0003	0.0070	0.0391	1.022	3.64	29.95	0.10	0.84	0.0069	0.1778	25.10	206.64	39.22	2454.73
14.05	13.08	88.54	0.0003	0.0080	0.0389	1.169	4.29	29.05	0.12	0.82	0.0069	0.2032	29.61	200.43	45.43	2533.37
16.68	16.14	84.27	0.0003	0.0095	0.0465	1.388	5.30	27.65	0.15	0.78	0.0082	0.2413	36.54	190.76	55.09	2632.39
19.32	18.86	79.84	0.0004	0.0110	0.0546	1.608	6.19	26.19	0.17	0.74	0.0097	0.2795	42.68	180.73	65.12	2655.26
21.95	21.05	76.17	0.0005	0.0125	0.0789	1.826	6.90	24.99	0.19	0.70	0.0140	0.3176	47.64	172.44	73.42	2608.75
24.58	22.68	72.55	0.0006	0.0140	0.0792	2.046	7.44	23.80	0.21	0.67	0.0140	0.3557	51.35	164.24	81.62	2509.77
27.22	24.19	69.55	0.0005	0.0155	0.0774	2.265	7.93	22.82	0.22	0.64	0.0137	0.3938	54.75	157.44	88.42	2417.15
30.72	26.03	66.24	0.0005	0.0175	0.0735	2.557	8.54	21.73	0.24	0.61	0.0130	0.4446	58.92	149.95	95.91	2304.03
34.23	27.51	64.16	0.0005	0.0195	0.0693	2.850	9.03	21.05	0.25	0.59	0.0123	0.4955	62.28	145.24	100.62	2185.55
37.75	28.96	63.04	0.0006	0.0215	0.0892	3.142	9.50	20.68	0.27	0.58	0.0158	0.5463	65.56	142.71	103.15	2086.86
41.25	30.42	62.36	0.0006	0.0235	0.0850	3.434	9.98	20.46	0.28	0.57	0.0150	0.5972	68.86	141.17	104.69	2004.96
44.77	31.20	54.42	0.0005	0.0255	0.0780	3.726	10.24	17.85	0.29	0.50	0.0138	0.6479	70.63	123.19	122.66	1895.41
49.15	31.90	54.73	0.0006	0.0280	0.0798	4.092	10.47	17.96	0.29	0.50	0.0141	0.7115	72.21	123.90	121.95	1764.85
53.53	33.10	56.22	0.0007	0.0305	0.1070	4.457	10.86	18.44	0.30	0.52	0.0189	0.7750	74.93	127.27	118.59	1681.20
57.93	34.50	58.13	0.0009	0.0330	0.1301	4.822	11.32	19.07	0.32	0.54	0.0230	0.8385	78.10	131.58	114.28	1619.56
62.32	35.80	61.57	0.0010	0.0355	0.1390	5.188	11.75	20.20	0.33	0.57	0.0246	0.9020	81.04	139.39	106.47	1562.24
66.70	36.37	64.93	0.0010	0.0380	0.1502	5.553	11.93	21.30	0.33	0.60	0.0266	0.9655	82.34	146.97	98.88	1482.78
71.97	39.09	68.29	0.0011	0.0410	0.1520	5.991	12.82	22.40	0.36	0.63	0.0269	1.0417	88.48	154.58	91.27	1476.87
77.23	41.37	71.14	0.0010	0.0440	0.1484	6.430	13.57	23.34	0.38	0.66	0.0263	1.1179	93.66	161.04	84.81	1456.67
82.50	43.87	74.17	0.0011	0.0470	0.1542	6.868	14.39	24.33	0.40	0.68	0.0273	1.1942	99.32	167.91	77.95	1446.09
87.75	46.38	77.42	0.0011	0.0500	0.1566	7.306	15.22	25.40	0.43	0.71	0.0277	1.2704	104.98	175.25	70.61	1436.90
93.02	48.84	81.00	0.0011	0.0530	0.1577	7.745	16.02	26.57	0.45	0.75	0.0279	1.3466	110.56	183.36	62.50	1427.56
99.15	51.80	84.83	0.0011	0.0565	0.1590	8.256	16.99	27.83	0.48	0.78	0.0281	1.4355	117.26	192.03	53.83	1420.35
105.30	54.66	88.65	0.0012	0.0600	0.1675	8.767	17.93	29.08	0.50	0.82	0.0296	1.5244	123.73	200.68	45.18	1411.28
111.43	57.41	92.38	0.0011	0.0635	0.1637	9.279	18.83	30.31	0.53	0.85	0.0290	1.6134	129.95	209.12	36.74	1400.51
117.58	60.37	96.22	0.0011	0.0670	0.1578	9.791	19.81	31.57	0.56	0.89	0.0279	1.7023	136.66	217.81	28.05	1395.84
123.72	63.41	100.31	0.0011	0.0705	0.1594	10.302	20.80	32.91	0.58	0.92	0.0282	1.7912	143.54	227.07	18.79	1393.36
130.73	66.50	104.62	0.0010	0.0745	0.1424	10.886	21.82	34.32	0.61	0.96	0.0252	1.8929	150.54	236.83	9.03	1382.82
137.77	69.59	109.38	0.0009	0.0785	0.1357	11.470	22.83	35.88	0.64	1.01	0.0240	1.9944	157.53	247.60	-1.74	1373.36
144.78	72.53	113.92	0.0009	0.0825	0.1295	12.055	23.80	37.38	0.67	1.05	0.0229	2.0961	164.19	257.89	-12.03	1362.03
151.80	75.29	118.34	0.0008	0.0865	0.1181	12.639	24.70	38.83	0.69	1.09	0.0209	2.1977	170.45	267.89	-22.04	1348.55
158.82	78.06	122.83	0.0007	0.0905	0.1006	13.224	25.61	40.30	0.72	1.13	0.0178	2.2993	176.71	278.05	-32.19	1336.34
166.72	80.92	127.36	0.0006	0.0950	0.0881	13.882	26.55	41.78	0.75	1.17	0.0156	2.4137	183.19	288.31	-42.46	1319.63
174.60	83.58	131.32	0.0006	0.0995	0.0834	14.539	27.42	43.08	0.77	1.21	0.0148	2.5280	189.21	297.27	-51.42	1301.41
182.50	85.90	134.68	0.0006	0.1040	0.0792	15.196	28.18	44.18	0.79	1.24	0.0140	2.6423	194.45	304.88	-59.02	1279.58
190.40	88.42	137.81	0.0005	0.1085	0.0745	15.854	29.01	45.21	0.81	1.27	0.0132	2.7566	200.17	311.97	-66.11	1262.58
198.30	91.48	141.00	0.0005	0.1130	0.0753	16.511	30.01	46.26	0.84	1.30	0.0133	2.8709	207.08	319.20	-73.34	1254.17
207.07	94.97	145.15	0.0005	0.1180	0.0701	17.242	31.16	47.62	0.87	1.34	0.0124	2.9980	214.99	328.59	-82.73	1246.92
215.85	97.55	148.38	0.0004	0.1230	0.0552	17.973	32.00	48.68	0.90	1.37	0.0098	3.1250	220.83	335.89	-90.04	1228.69
224.62	99.95	151.79	0.0004	0.1280	0.0596	18.703	32.79	49.80	0.92	1.40	0.0106	3.2520	226.25	343.61	-97.75	1209.71
233.38	101.37	154.15	0.0004	0.1330	0.0524	19.434	33.26	50.57	0.93	1.42	0.0093	3.3791	229.47	348.95	-103.09	1180.77
242.17	102.70	156.38	0.0004	0.1380	0.0524	20.164	33.70	51.30	0.95	1.44	0.0093	3.5061	232.50	354.00	-108.14	1153.02
251.82	103.39	157.83	0.0003	0.1435	0.0431	20.968	33.92	51.78	0.95	1.45	0.0076	3.6459	234.05	357.29	-111.44	1116.22
261.47	103.81	157.94	0.0003	0.1490	0.0424	21.772	34.06	51.82	0.96	1.45	0.0075	3.7856	235.00	357.53	-111.67	1079.38
271.12	104.35	158.23	0.0002	0.1545	0.0331	22.575	34.24	51.91	0.96	1.46	0.0059	3.9253	236.22	358.20	-112.34	1046.38
280.77	104.54	158.17	0.0003	0.1600	0.0403	23.379	34.30	51.89	0.96	1.46	0.0071	4.0650	236.65	358.07	-112.21	1012.25
290.42	103.21	156.73	0.0002	0.1655	0.0347	24.182	33.86	51.42	0.95	1.44	0.0061	4.2047	233.65	354.79	-108.93	966.19
300.95	101.88	154.70	0.0002	0.1715	0.0259	25.059	33.42	50.75	0.94	1.42	0.0046	4.3572	230.62	350.19	-104.34	920.32
311.47	100.85	152.09	0.0002	0.1775	0.0221	25.935	33.09	49.90	0.93	1.40	0.0039	4.5096	228.30	344.29	-98.43	880.28
322.00	99.25	148.97	0.0002	0.1835	0.0269	26.812	32.56	48.87	0.91	1.37	0.0048	4.6620	224.68	337.23	-91.38	837.99
332.53	97.85	146.61	0.0001	0.1895	0.0184	27.689	32.10	48.10	0.90	1.35	0.0033	4.8145	221.51	331.88	-86.02	800.01
343.05	95.74	142.07	0.0001	0.1955	0.0189	28.565	31.41	46.61	0.88	1.31	0.0033	4.9668	216.73	321.62	-75.76	758.73
354.47	93.20	138.01	0.0001	0.2020	0.0174	29.515	30.58	45.28	0.86	1.27	0.0031	5.1320	210.97	312.42	-66.56	714.79
365.87	90.89	134.81	0.0001	0.2086	0.0105	30.465	29.82	44.23	0.84	1.24	0.0019	5.2972	205.75	305.18	-59.32	675.35
377.27	88.67	131.37	0.0001	0.2151	0.0211	31.415	29.09	43.10	0.82	1.21	0.0037	5.4623	200.74	297.40	-51.54	638.99
388.67	86.60	127.71	0.0001	0.2216	0.0155	32.364	28.41	41.90	0.80	1.18	0.0027	5.6274	196.05	289.10	-43.24	605.76
400.08	85.47	124.86	0.0001	0.2281	0.0134	33.314	28.04	40.96	0.79	1.15	0.0024	5.7925	193.47	282.65	-36.79	580.76
412.37	83.98	121.41	0.0001	0.2351	0.0149	34.337	27.55	39.83	0.77	1.12	0.0026	5.9704	190.10	274.83	-28.98	553.65
424.65	82.51	119.81	0.0001	0.2421	0.0122	35.359	27.07	39.31	0.76	1.10	0.0022	6.1482	186.78	271.21	-25.36	528.24
436.93	80.48	117.99	0.0001	0.2491	0.0118	36.382	26.40	38.71	0.74	1.09	0.0021	6.3260	182.18	267.10	-21.24	500.75
449.20	78.64	115.11	0.0001	0.2561	0.0072	37.405	25.80	37.77	0.72	1.06	0.0013	6.5038	178.01	260.59	-14.73	475.92
461.48	77.93	113.24	0.0001	0.2631	0.0106	38.427	25.57	37.15	0.72	1.04	0.0019	6.6817	176.41	256.35	-10.49	459.07
474.65	76.32	110.86	0.0000	0.2706	0.0014	39.523	25.04	36.37	0.70	1.02	0.0002	6.8722	172.76	250.95	-5.09	437.11
487.80	73.57	108.18	0.0000	0.2781	0.0062	40.619	24.14	35.49	0.68	1.00	0.0011	7.0627	166.55	244.90	0.96	410.04
500.97	70.09	104.21	0.0000	0.2856	0.0045	41.715	23.00	34.19	0.65	0.96	0.0008	7.2532	158.67	235.90	9.96	380.37
514.12	65.86	98.00	0.0000	0.2931	0.0035	42.810	21.61	32.15	0.61	0.90	0.0006	7.4437	149.09	221.85	24.00	348.27
527.28	61.49	91.18	0.0000	0.3006	0.0002	43.906	20.17	29.91	0.57	0.84	0.0000	7.6342	139.19	206.40	39.46	317.02
541.32	56.71	83.73	0.0001	0.3086	0.0085	45.075	18.61	27.47	0.52	0.77	0.0015	7.8375	128.38	189.55	56.31	284.81
555.35	53.61	77.99	0.0000	0.3166	0.0033	46.244	17.59	25.59	0.49	0.72	0.0006	8.0407	121.35	176.56	69.30	262.41
569.38	50.69	73.40	0.0000	0.3246	0.0042	47.412	16.63	24.08	0.47	0.68	0.0007	8.2439	114.74	166.15	79.70	242.00
583.43	47.71	68.72	0.0000	0.3326	0.0066	48.581	15.65	22.54	0.44	0.63	0.0012	8.4471	108.01	155.55	90.30	222.34
597.47	44.97	64.60	0.0000	0.3406	0.0010	49.750	14.75	21.19	0.41	0.59	0.0002	8.6504	101.80	146.24	99.62	204.62
612.38	40.86	59.32	0.0000	0.3491	0.0056	50.992	13.40	19.46	0.38	0.55	0.0010	8.8663	92.49	134.29	111.57	181.37
627.28	38.41	55.07	0.0000	0.3576	0.0000	52.233	12.60	18.07	0.35	0.51	0.0000	9.0822	86.96	124.67	121.19	166.48
642.20	35.80	51.22	0.0000	0.3661	0.0037	53.475	11.74	16.80	0.33	0.47	0.0007	9.2982	81.03	115.95	129.91	151.54
657.12	32.60	46.09	0.0001	0.3746	0.0084	54.717	10.69	15.12	0.30	0.42	0.0015	9.5141	73.79	104.35	141.51	134.86
672.02	30.72	42.64	0.0001	0.3831	0.0097	55.959	10.08	13.99	0.28	0.39	0.0017	9.7300	69.53	96.53	149.33	124.25
687.82	29.36	40.57	0.0001	0.3921	0.0167	57.274	9.63	13.31	0.27	0.37	0.0030	9.9587	66.47	91.85	154.01	116.05
703.6	28.08227	38.27477	0.000137033	0.401074619	0.0197	58.58894901	9.213185924	12.5571	0.25856866	0.35241655	0.0035	10.1873	63.57	86.64	159.21	108.50
719.4	26.62506	35.80826	0.000176339	0.410074619	0.0253	59.9036683	8.735108952	11.7479	0.245151399	0.32970608	0.0045	10.4159	60.27	81.06	164.80	100.62

Anexo 9. Tabla del Ensayo de Corte Simple (DSS) a Arena Limpia σ'_v (Condicion no drenada) al generar el corte, confinado a 10 kg/cm^2

Fuente: GeoHidra Consultores, C.A

ENSAYO DE CORTE DIRECTO SIMPLE (ASTM 6528)

Proyecto: TRABAJO ESPECIAL DE GRADO: RESPUESTA AL CORTE DE ARENAS LIMOSAS CON ALTO CONFINAMIENTO ALREDEDOR DE LA CARA DE PILOTES COSTA AFUERA

SEGUNDO PUNTO:

PRESION DE CONSOLIDACION (kPa):	981.07
CONSOLIDATION PRESSURE (kPa):	981.07
SHEAR STRAIN (%/h):	5.00

ETAPA DE CORTE

Tiempo (min.)	Carga Horizontal (lb)	Carga Vertical (lb)	Desplazamiento Vertical (pulgadas)	Desplazamiento Horizontal (pulgadas)	Deformación Axial, ε_a (%)	Deformación al Corte (%)	Esfuerzo de Corte τ (PSI)	Esfuerzo Vertical (PSI)	Esfuerzo de Corte Normalizado	Esfuerzo Vertical Normalizado	Desplazamiento Vertical (mm)	Desplazamiento Horizontal (mm)	Esfuerzo de Corte τ (kPa)	Esfuerzo Vertical (kPa)	Exceso de Presión de Poros Inducido en el	Modulo de Corte Secante, G (kPa)
							66.28	**142.55**	**0.47**		**Esfuerzos Maximos**		**397.35**	**983.56**	**812.51**	**16416.54**
0.90	5.50	433.62	0.0001	0.0005	0.0096	0.075	1.80	142.26	0.01	1.00	0.0017	0.0126	10.19	981.59	0.00	0.00
1.82	7.10	433.74	0.0001	0.0010	0.0078	0.150	2.33	142.30	0.02	1.00	0.0014	0.0253	22.18	981.88	2.87	7975.57
2.73	10.80	434.09	0.0000	0.0015	0.0047	0.226	3.54	142.42	0.02	1.00	0.0008	0.0381	31.69	982.66	5.17	9505.56
3.63	14.70	434.18	0.0000	0.0020	0.0017	0.302	4.82	142.45	0.03	1.00	0.0003	0.0508	46.18	982.87	12.37	11925.42
4.55	17.50	434.37	0.0000	0.0025	-0.0068	0.377	5.74	142.51	0.04	1.00	-0.0012	0.0635	62.03	983.31	22.17	13741.53
5.45	22.00	434.38	0.0000	0.0030	-0.0014	0.452	7.22	142.51	0.05	1.00	-0.0003	0.0762	84.44	983.32	34.25	16416.54
7.28	26.50	434.49	-0.0001	0.0040	-0.0077	0.604	8.69	142.55	0.06	1.00	-0.0014	0.1016	94.12	983.56	50.02	13904.92
9.10	31.00	434.36	0.0000	0.0050	0.0060	0.755	10.17	142.50	0.07	1.00	0.0011	0.1271	110.92	983.27	65.49	13349.45
10.92	36.30	433.90	-0.0001	0.0060	-0.0081	0.905	11.91	142.35	0.08	1.00	-0.0014	0.1524	123.15	982.23	88.35	12477.55
12.73	40.50	432.63	0.0000	0.0070	-0.0033	1.056	13.29	141.94	0.09	1.00	-0.0006	0.1779	136.73	979.36	125.17	11978.34
14.55	46.90	431.61	0.0000	0.0080	0.0027	1.208	15.39	141.60	0.11	1.00	0.0005	0.2033	144.88	977.06	128.96	11154.17
17.28	53.90	428.43	0.0000	0.0095	0.0037	1.434	17.68	140.56	0.12	0.99	0.0007	0.2414	158.46	969.86	153.67	10341.43
20.02	63.80	424.10	0.0001	0.0110	0.0126	1.660	20.93	139.14	0.15	0.98	0.0022	0.2795	166.84	960.06	178.51	9436.80
22.73	68.08	418.77	0.0001	0.0125	0.0108	1.887	22.33	137.39	0.16	0.97	0.0019	0.3177	179.97	947.98	262.59	8998.63
25.47	75.50	411.80	0.0001	0.0140	0.0167	2.113	24.77	135.10	0.17	0.95	0.0030	0.3558	190.83	932.21	288.95	8548.91
28.20	80.90	404.97	0.0001	0.0155	0.0197	2.339	26.54	132.86	0.19	0.93	0.0035	0.3939	200.34	916.75	313.82	8129.22
31.83	86.90	394.87	0.0002	0.0175	0.0337	2.641	28.51	129.55	0.20	0.91	0.0060	0.4447	209.17	893.88	328.04	7534.36
35.48	90.50	378.60	0.0002	0.0195	0.0273	2.943	29.69	124.21	0.21	0.87	0.0048	0.4955	218.68	857.06	338.50	7084.15
39.12	96.50	376.93	0.0002	0.0215	0.0283	3.245	31.66	123.66	0.22	0.87	0.0050	0.5464	225.02	853.27	353.74	6620.64
42.75	100.20	366.01	0.0003	0.0235	0.0416	3.547	32.87	120.08	0.23	0.84	0.0074	0.5972	232.49	828.56	360.54	6267.38
46.38	106.00	355.04	0.0003	0.0255	0.0428	3.849	34.78	116.48	0.24	0.82	0.0076	0.6480	243.35	803.72	368.18	6058.39
50.93	110.80	317.90	0.0004	0.0280	0.0575	4.226	36.35	104.30	0.26	0.73	0.0102	0.7116	249.01	719.64	375.95	5651.27
55.48	115.00	306.25	0.0005	0.0305	0.0671	4.603	37.73	100.48	0.27	0.71	0.0119	0.7751	256.48	693.28	386.63	5350.42
60.03	118.90	295.27	0.0005	0.0330	0.0672	4.981	39.01	96.87	0.27	0.68	0.0119	0.8386	264.18	668.41	391.71	5099.49
64.58	123.10	288.99	0.0004	0.0355	0.0596	5.358	40.39	94.81	0.28	0.67	0.0105	0.9022	273.01	654.20	393.25	4905.22
69.12	125.90	284.36	0.0004	0.0380	0.0540	5.735	41.31	93.29	0.29	0.66	0.0096	0.9657	279.57	643.73	395.52	4697.09
74.58	129.20	277.63	0.0003	0.0410	0.0494	6.188	42.39	91.09	0.30	0.64	0.0087	1.0419	287.50	628.49	389.44	4481.52
80.03	134.00	274.63	0.0004	0.0440	0.0637	6.641	43.96	90.10	0.31	0.63	0.0113	1.1181	297.00	621.69	373.52	4319.17
85.48	136.50	271.25	0.0004	0.0470	0.0616	7.093	44.78	88.99	0.31	0.63	0.0109	1.1944	304.70	614.05	361.03	4151.88
90.95	139.80	267.82	0.0004	0.0500	0.0616	7.546	45.87	87.87	0.32	0.62	0.0109	1.2706	315.34	606.28	353.95	4043.81
96.40	143.20	263.10	0.0005	0.0530	0.0687	7.999	46.98	86.32	0.33	0.61	0.0122	1.3469	321.68	595.60	349.12	3894.06
102.77	147.10	260.86	0.0005	0.0565	0.0672	8.527	48.26	85.58	0.34	0.60	0.0119	1.4358	332.09	590.52	340.50	3775.08
109.13	150.00	260.18	0.0006	0.0600	0.0791	9.055	49.21	85.36	0.35	0.60	0.0140	1.5246	337.30	588.98	332.34	3612.47
115.50	153.50	259.18	0.0005	0.0635	0.0778	9.583	50.36	85.03	0.35	0.60	0.0138	1.6135	342.28	586.71	320.08	3465.48
121.87	157.70	261.87	0.0006	0.0670	0.0861	10.111	51.74	85.91	0.36	0.60	0.0152	1.7024	347.48	592.80	311.05	3335.94
128.22	161.10	268.90	0.0006	0.0705	0.0836	10.639	52.85	88.22	0.37	0.62	0.0148	1.7914	353.14	608.71	300.20	3223.51
135.50	165.80	274.41	0.0006	0.0745	0.0900	11.243	54.40	90.03	0.38	0.63	0.0159	1.8931	359.48	621.20	289.86	3106.75
142.77	168.60	277.54	0.0006	0.0785	0.0929	11.847	55.31	91.06	0.39	0.64	0.0164	1.9947	365.82	628.28	281.45	3002.01
150.05	173.20	279.67	0.0007	0.0825	0.1035	12.450	56.82	91.75	0.40	0.64	0.0183	2.0963	369.67	633.11	273.10	2887.40
157.32	175.50	283.48	0.0007	0.0865	0.1016	13.054	57.58	93.00	0.40	0.65	0.0180	2.1980	372.72	641.73	265.64	2777.21
164.60	177.70	287.09	0.0008	0.0905	0.1143	13.657	58.30	94.19	0.41	0.66	0.0202	2.2996	381.00	649.89	260.11	2715.13
172.78	180.00	292.50	0.0009	0.0950	0.1236	14.336	59.05	95.96	0.42	0.67	0.0219	2.4139	386.66	662.15	256.47	2626.02
180.97	182.50	296.49	0.0008	0.0995	0.1091	15.015	59.87	97.27	0.42	0.68	0.0193	2.5282	391.18	671.18	251.77	2537.37
189.15	185.30	301.28	0.0008	0.1040	0.1180	15.695	60.79	98.84	0.43	0.69	0.0209	2.6426	395.81	682.03	250.13	2457.07
197.33	188.10	305.85	0.0008	0.1085	0.1184	16.373	61.71	100.34	0.43	0.71	0.0210	2.7568	397.35	692.37	254.09	2364.61
205.52	189.80	309.57	0.0007	0.1130	0.1075	17.052	62.27	101.56	0.44	0.71	0.0190	2.8712	396.29	700.78	259.32	2264.25
214.60	191.15	313.26	0.0008	0.1180	0.1190	17.807	62.71	102.77	0.44	0.72	0.0211	2.9982	395.79	709.13	268.72	2165.47
223.70	194.81	316.55	0.0008	0.1230	0.1144	18.561	63.91	103.85	0.45	0.73	0.0203	3.1253	390.86	716.59	281.66	2050.92
232.78	197.31	319.00	0.0008	0.1280	0.1209	19.316	64.73	104.66	0.46	0.74	0.0214	3.2523	382.41	722.12	301.24	1927.07
241.88	199.30	320.60	0.0009	0.1330	0.1347	20.070	65.39	105.18	0.46	0.74	0.0238	3.3792	368.72	725.76	324.48	1786.42
250.97	201.35	322.68	0.0009	0.1380	0.1250	20.824	66.06	105.86	0.46	0.74	0.0221	3.5063	354.43	730.46	345.37	1653.05
260.97	202.03	323.40	0.0009	0.1435	0.1308	21.654	66.28	106.10	0.47	0.75	0.0232	3.6460	339.19	732.11	369.24	1519.35
270.97	201.56	321.65	0.0009	0.1490	0.1360	22.484	66.13	105.53	0.46	0.74	0.0241	3.7857	324.39	728.14	391.02	1397.45
280.97	201.34	319.34	0.0009	0.1545	0.1246	23.314	66.05	104.77	0.46	0.74	0.0221	3.9254	313.26	722.91	416.53	1299.98
290.97	199.16	315.19	0.0009	0.1600	0.1288	24.144	65.34	103.41	0.46	0.73	0.0228	4.0652	299.63	713.51	439.16	1198.81
300.97	195.43	309.48	0.0008	0.1655	0.1219	24.973	64.12	101.53	0.45	0.71	0.0216	4.2049	286.89	700.57	458.87	1107.99
311.88	189.38	300.83	0.0008	0.1715	0.1203	25.879	62.13	98.69	0.44	0.69	0.0213	4.3573	276.70	680.99	479.19	1029.87
322.78	183.07	290.56	0.0009	0.1775	0.1271	26.784	60.06	95.33	0.42	0.67	0.0225	4.5097	267.03	657.75	495.76	958.93
333.70	176.34	281.33	0.0010	0.1836	0.1484	27.689	57.85	92.30	0.41	0.65	0.0263	4.6622	258.76	636.86	511.09	897.71
344.62	169.80	270.78	0.0010	0.1896	0.1372	28.594	55.71	88.84	0.39	0.62	0.0243	4.8146	249.83	612.99	525.93	838.09
355.52	164.88	261.17	0.0010	0.1956	0.1437	29.500	54.09	85.68	0.38	0.60	0.0254	4.9670	241.05	591.21	541.33	782.61
367.33	158.86	249.90	0.0009	0.2021	0.1338	30.480	52.12	81.99	0.37	0.58	0.0237	5.1321	232.17	565.70	554.22	728.28
379.15	153.23	239.90	0.0010	0.2086	0.1407	31.461	50.27	78.71	0.35	0.55	0.0249	5.2973	224.39	543.07	568.69	680.86
390.98	148.73	231.19	0.0009	0.2151	0.1357	32.442	48.80	75.85	0.34	0.53	0.0240	5.4624	213.85	523.36	586.17	627.78
402.80	144.46	222.21	0.0012	0.2216	0.1787	33.422	47.39	72.90	0.33	0.51	0.0316	5.6275	201.56	503.04	600.04	572.60
414.62	140.81	214.90	0.0014	0.2281	0.2014	34.403	46.20	70.50	0.32	0.50	0.0356	5.7926	192.28	486.47	618.88	529.29
427.35	136.86	208.12	0.0015	0.2351	0.2117	35.460	44.90	68.28	0.32	0.48	0.0375	5.9705	178.86	471.14	636.96	475.69
440.07	132.98	201.57	0.0015	0.2421	0.2221	36.515	43.63	66.13	0.31	0.46	0.0393	6.1483	166.87	456.30	654.15	429.08
452.80	129.06	194.76	0.0015	0.2491	0.2111	37.572	42.34	63.90	0.30	0.45	0.0374	6.3261	157.50	440.90	669.65	392.09
465.53	125.63	189.07	0.0014	0.2561	0.1971	38.628	41.22	62.03	0.29	0.44	0.0349	6.5040	149.93	428.01	683.39	361.77
478.25	120.97	182.68	0.0014	0.2631	0.1969	39.684	39.69	59.93	0.28	0.42	0.0348	6.6819	141.84	413.54	694.91	331.75
491.90	115.54	174.96	0.0013	0.2706	0.1913	40.816	37.91	57.40	0.27	0.40	0.0339	6.8724	133.53	396.06	708.02	302.19
505.53	111.44	168.83	0.0013	0.2781	0.1863	41.947	36.56	55.39	0.26	0.39	0.0330	7.0629	123.27	382.19	723.32	269.59
519.17	105.51	160.51	0.0013	0.2856	0.1801	43.079	34.62	52.66	0.24	0.37	0.0319	7.2535	111.16	363.35	737.99	234.38
532.80	100.21	152.52	0.0013	0.2931	0.1798	44.211	32.88	50.04	0.23	0.35	0.0318	7.4440	100.22	345.27	754.19	203.64
546.45	96.08	144.93	0.0012	0.3006	0.1751	45.342	31.52	47.55	0.22	0.33	0.0310	7.6345	88.55	328.08	769.55	172.82
560.98	92.73	138.08	0.0013	0.3086	0.1815	46.549	30.42	45.30	0.21	0.32	0.0321	7.8378	87.22	312.58	783.60	165.49
575.53	89.16	132.01	0.0013	0.3166	0.1813	47.756	29.25	43.31	0.21	0.30	0.0321	8.0410	84.11	298.85	794.33	154.79
590.08	85.49	126.93	0.0013	0.3246	0.1850	48.963	28.05	41.64	0.20	0.29	0.0327	8.2442	83.55	287.33	803.75	149.83
604.63	80.96	121.13	0.0013	0.3326	0.1876	50.171	26.56	39.74	0.19	0.28	0.0332	8.4475	81.00	274.21	812.51	141.14
619.18	75.60	114.37	0.0013	0.3406	0.1869	51.378	24.80	37.52	0.17	0.26	0.0331	8.6507	79.84	258.91	812.51	135.57
634.63	70.77	107.89	0.0014	0.3491	0.1951	52.660	23.22	35.40	0.16	0.25	0.0345	8.8667	76.45	244.24	812.51	125.83
650.08	65.61	100.74	0.0014	0.3576	0.2049	53.943	21.53	33.05	0.15	0.23	0.0363	9.0826	73.11	228.04	812.51	116.65
665.53	61.56	93.95	0.0014	0.3661	0.2078	55.225	20.20	30.82	0.14	0.22	0.0368	9.2985	70.25	212.68	812.51	108.76
681.00	58.52	87.75	0.0015	0.3746	0.2159	56.507	19.20	28.79	0.13	0.20	0.0382	9.5144	69.88	198.63	812.51	105.64
696.45	56.47747	83.0025	0.001494017	0.383086548	0.2144	57.7898844	18.52904	27.2313	0.130247595	0.19141928	0.0379	9.7304	68.11	187.90	812.51	100.23
712.81667	54.44856	78.84425	0.001569385	0.392085279	0.2252	59.147373	17.8634	25.8671	0.125568553	0.18182958	0.0399	9.9590	67.31	133,69	812.51	96.58
727.21667	51.6146	74.97384	0.001592104	0.400009898	0.2285	60.3428283	16.93364	24.5973	0.119032906	0.17290369	0.0404	10.1603	66.05	105,44	812.51	92.58

Anexo 10. Tabla del Ensayo de Corte Simple (DSS) a Arena Limpia σ'_v (Condicion no drenada) al generar el corte, confinado a 18 kg/cm^2

Fuente: GeoHidra Consultores, C.A

ENSAYO DE CORTE DIRECTO SIMPLE (ASTM 6528)

Proyecto: TRABAJO ESPECIAL DE GRADO: RESPUESTA AL CORTE DE ARENAS LIMOSAS CON ALTO CONFINAMIENTO ALREDEDOR DE LA CARA DE PILOTES COSTA AFUERA

TERCER PUNTO:

PRESION DE CONSOLIDACION (kPa):	1765.92
CONSOLIDATION PRESSURE (kPa):	1765.92
SHEAR STRAIN (%/h):	5.00

ETAPA DE CORTE

Tiempo (min.)	Carga Horizontal (lb)	Carga Vertical (lb)	Desplazamiento Vertical (pulgadas)	Desplazamiento Horizontal (pulgadas)	Deformación Axial, ε_a (%)	Deformación al Corte (%)	Esfuerzo de Corte τ (PSI)	Esfuerzo Vertical (PSI)	Esfuerzo de Corte Normalizado	Esfuerzo Vertical Normalizado	Desplazamiento Vertical (mm)	Desplazamiento Horizontal (mm)	Esfuerzo de Corte τ (kPa)	Esfuerzo Vertical (kPa)	Exceso de Presión de Poros Inducido en el	Modulo de Corte Secante, G (kPa)
							73.36	**256.01**	**0.29**		**Esfuerzos Maximos**		**508.91**	**1766.45**	**1718.04**	**12685.53**
0.00	-22.33	780.32	0.0000	0.0000	0.0000	0.000	-7.33	256.01	-0.03	1.00	0.0000	0.0000	0.00	1766.45	0.00	0.00
0.95	-15.56	778.91	0.0000	0.0005	0.0027	0.079	-5.11	255.54	-0.02	1.00	0.0005	0.0127	5.65	1763.24	3.21	7169.13
1.88	-9.67	777.80	0.0000	0.0010	0.0069	0.157	-3.17	255.18	-0.01	1.00	0.0012	0.0253	12.15	1760.74	5.71	7725.63
2.83	-9.31	777.38	0.0000	0.0015	0.0068	0.237	-3.05	255.04	-0.01	1.00	0.0012	0.0381	19.45	1759.79	6.67	8222.04
3.78	-4.67	775.93	0.0000	0.0020	0.0039	0.315	-1.53	254.57	-0.01	0.99	0.0007	0.0508	26.49	1756.51	9.94	8400.26
4.72	-1.19	775.36	0.0000	0.0025	0.0040	0.394	-0.39	254.38	0.00	0.99	0.0007	0.0635	33.30	1755.20	11.25	8457.46
5.67	1.30	774.27	0.0001	0.0030	0.0085	0.473	0.43	254.02	0.00	0.99	0.0015	0.0762	39.38	1752.74	13.71	8333.57
7.55	4.17	772.59	0.0001	0.0040	0.0093	0.630	1.37	253.47	0.01	0.99	0.0016	0.1016	50.67	1748.94	17.51	8036.25
9.43	7.40	771.16	0.0001	0.0050	0.0123	0.788	2.43	253.00	0.01	0.99	0.0022	0.1271	68.63	1745.71	20.75	8707.49
11.33	10.51	769.54	0.0001	0.0060	0.0112	0.946	3.45	252.47	0.01	0.99	0.0020	0.1525	90.26	1742.03	24.42	9541.86
13.22	13.52	767.83	0.0002	0.0070	0.0228	1.104	4.43	251.91	0.02	0.98	0.0040	0.1779	114.51	1738.18	28.28	10375.49
15.10	16.20	765.93	0.0002	0.0080	0.0239	1.261	5.32	251.29	0.02	0.98	0.0042	0.2033	139.45	1733.87	32.58	11055.18
17.93	21.19	762.64	0.0002	0.0095	0.0302	1.498	6.95	250.21	0.03	0.98	0.0053	0.2415	172.09	1726.42	40.04	11488.06
20.77	29.12	758.72	0.0002	0.0110	0.0358	1.734	9.56	248.92	0.04	0.97	0.0063	0.2796	206.91	1717.54	48.91	11931.02
23.60	38.68	757.59	0.0003	0.0125	0.0375	1.971	12.69	248.55	0.05	0.97	0.0066	0.3177	241.34	1714.98	51.47	12247.26
26.43	49.39	755.45	0.0004	0.0140	0.0575	2.207	16.20	247.85	0.06	0.97	0.0102	0.3558	277.51	1710.13	56.32	12574.12
29.27	60.41	751.24	0.0003	0.0155	0.0489	2.444	19.82	246.46	0.08	0.96	0.0087	0.3940	310.01	1700.60	65.85	12685.53
33.03	74.83	743.73	0.0004	0.0175	0.0602	2.759	24.55	244.00	0.10	0.95	0.0107	0.4447	342.08	1683.62	82.84	12399.79
36.82	90.21	736.24	0.0005	0.0195	0.0696	3.074	29.60	241.54	0.12	0.94	0.0123	0.4955	328.04	1666.65	99.80	10671.53
40.58	105.42	727.12	0.0006	0.0215	0.0864	3.389	34.59	238.55	0.14	0.93	0.0153	0.5464	343.54	1646.01	120.44	10135.84
44.37	121.40	715.33	0.0006	0.0235	0.0929	3.705	39.83	234.68	0.16	0.92	0.0165	0.5972	372.30	1619.31	147.14	10049.28
48.13	135.75	699.49	0.0007	0.0255	0.1014	4.020	44.54	229.49	0.17	0.90	0.0180	0.6481	395.41	1583.45	183.00	9835.71
52.85	149.92	678.50	0.0008	0.0280	0.1151	4.414	49.19	222.60	0.19	0.87	0.0204	0.7116	414.94	1535.94	230.51	9400.39
57.58	143.72	657.73	0.0009	0.0305	0.1225	4.808	47.15	215.79	0.18	0.84	0.0217	0.7751	432.40	1488.93	277.53	8992.50
62.30	150.57	649.78	0.0008	0.0330	0.1166	5.203	49.40	213.18	0.19	0.83	0.0206	0.8387	447.27	1470.94	295.52	8597.20
67.02	163.27	640.42	0.0009	0.0355	0.1228	5.596	53.57	210.11	0.21	0.82	0.0217	0.9021	457.30	1449.74	316.72	8171.48
71.73	173.48	622.44	0.0010	0.0380	0.1401	5.991	56.92	204.21	0.22	0.80	0.0248	0.9657	464.47	1409.04	357.41	7753.24
77.38	182.11	599.30	0.0010	0.0410	0.1478	6.463	59.75	196.62	0.23	0.77	0.0262	1.0419	467.99	1356.65	409.80	7240.69
83.05	189.82	576.91	0.0011	0.0440	0.1547	6.936	62.27	189.27	0.24	0.74	0.0274	1.1181	470.64	1305.99	460.47	6785.39
88.72	196.39	553.38	0.0011	0.0470	0.1609	7.409	64.43	181.55	0.25	0.71	0.0285	1.1944	471.85	1252.71	513.74	6368.57
94.38	200.82	531.91	0.0011	0.0500	0.1644	7.882	65.88	174.51	0.26	0.68	0.0291	1.2706	471.91	1204.10	562.35	5986.99
100.03	203.98	512.18	0.0012	0.0530	0.1657	8.355	66.92	168.04	0.26	0.66	0.0293	1.3468	469.93	1159.45	607.00	5624.65
106.65	205.54	489.05	0.0013	0.0565	0.1808	8.907	67.43	160.45	0.26	0.63	0.0320	1.4358	471.99	1107.09	659.36	5299.19
113.25	206.71	469.76	0.0013	0.0600	0.1819	9.458	67.82	154.12	0.26	0.60	0.0322	1.5247	474.37	1063.41	703.04	5015.34
119.85	207.25	453.19	0.0013	0.0635	0.1877	10.010	67.99	148.68	0.27	0.58	0.0332	1.6136	479.17	1025.89	740.56	4786.93
126.47	207.27	438.45	0.0013	0.0670	0.1867	10.562	68.00	143.85	0.27	0.56	0.0330	1.7026	483.39	992.53	773.92	4576.81
133.07	206.40	424.94	0.0013	0.0705	0.1888	11.113	67.72	139.41	0.26	0.54	0.0334	1.7915	485.25	961.96	804.49	4366.35
140.62	207.31	412.75	0.0013	0.0745	0.1907	11.744	68.01	135.41	0.27	0.53	0.0338	1.8931	487.09	934.35	832.10	4147.67
148.17	208.36	402.38	0.0013	0.0785	0.1817	12.374	68.36	132.01	0.27	0.52	0.0322	1.9948	489.33	910.87	855.58	3954.48
155.72	210.48	395.18	0.0014	0.0825	0.2010	13.005	69.05	129.65	0.27	0.51	0.0356	2.0964	494.52	894.58	871.87	3802.60
163.27	212.34	389.50	0.0014	0.0865	0.1946	13.635	69.67	127.79	0.27	0.50	0.0344	2.1981	499.29	881.72	884.73	3661.67
170.80	213.17	385.78	0.0014	0.0905	0.2073	14.266	69.94	126.57	0.27	0.49	0.0367	2.2997	505.71	873.32	893.14	3544.90
179.30	213.98	383.40	0.0014	0.0950	0.2038	14.975	70.20	125.79	0.27	0.49	0.0361	2.4140	507.73	867.92	898.53	3390.55
187.78	214.97	380.89	0.0014	0.0995	0.1969	15.684	70.53	124.96	0.28	0.49	0.0348	2.5284	508.18	862.25	904.21	3240.04
196.28	217.26	380.25	0.0012	0.1040	0.1762	16.393	71.28	124.75	0.28	0.49	0.0312	2.6427	507.99	860.80	905.66	3098.76
204.77	219.37	378.77	0.0013	0.1085	0.1905	17.103	71.97	124.26	0.28	0.49	0.0337	2.7570	508.91	857.43	909.02	2975.66
213.27	222.20	379.34	0.0014	0.1130	0.1962	17.812	72.90	124.45	0.28	0.49	0.0347	2.8713	504.19	858.74	907.72	2830.66
222.70	223.10	378.15	0.0014	0.1180	0.1938	18.600	73.19	124.06	0.29	0.48	0.0343	2.9984	494.44	856.03	910.42	2658.27
232.13	223.30	377.66	0.0015	0.1231	0.2105	19.388	73.26	123.90	0.29	0.48	0.0373	3.1255	479.38	854.93	911.52	2472.51
241.57	223.21	374.67	0.0014	0.1281	0.2022	20.177	73.23	122.92	0.29	0.48	0.0358	3.2525	464.47	848.17	918.29	2302.03
251.00	223.62	372.43	0.0013	0.1331	0.1841	20.964	73.36	122.19	0.29	0.48	0.0326	3.3795	447.44	843.09	923.36	2134.30
260.43	221.53	366.81	0.0013	0.1381	0.1806	21.752	72.68	120.34	0.28	0.47	0.0320	3.5065	430.32	830.37	936.08	1978.30
270.82	217.22	358.86	0.0013	0.1436	0.1843	22.619	71.27	117.73	0.28	0.46	0.0326	3.6463	410.78	812.36	954.09	1816.10
281.20	210.57	347.54	0.0013	0.1491	0.1908	23.486	69.08	114.02	0.27	0.45	0.0338	3.7860	390.65	786.74	979.71	1663.35
291.57	203.98	335.44	0.0014	0.1546	0.2055	24.353	66.92	110.05	0.26	0.43	0.0364	3.9257	374.36	759.36	1007.09	1537.26
301.95	196.46	322.10	0.0013	0.1601	0.1900	25.220	64.45	105.67	0.25	0.41	0.0336	4.0655	359.92	729.14	1037.31	1427.14
312.33	188.90	307.59	0.0015	0.1656	0.2176	26.087	61.97	100.91	0.24	0.39	0.0385	4.2053	351.05	696.31	1070.14	1345.71
323.65	180.27	292.45	0.0012	0.1716	0.1735	27.032	59.14	95.95	0.23	0.37	0.0307	4.3577	344.17	662.03	1104.42	1273.20
334.98	171.38	277.35	0.0012	0.1776	0.1754	27.978	56.23	90.99	0.22	0.36	0.0310	4.5101	336.68	627.85	1138.60	1203.39
346.30	164.18	263.37	0.0013	0.1836	0.1826	28.924	53.86	86.41	0.21	0.34	0.0323	4.6626	331.72	596.20	1170.25	1146.89
357.62	157.80	250.94	0.0013	0.1896	0.1849	29.869	51.77	82.33	0.20	0.32	0.0327	4.8150	324.95	568.07	1198.39	1087.92
368.95	153.88	240.87	0.0013	0.1956	0.1877	30.815	50.49	79.02	0.20	0.31	0.0332	4.9674	322.24	545.26	1221.19	1045.75
381.20	150.85	232.69	0.0014	0.2021	0.2016	31.839	49.49	76.34	0.19	0.30	0.0357	5.1326	313.07	526.76	1239.70	983.29
393.47	147.54	226.07	0.0015	0.2086	0.2147	32.864	48.40	74.17	0.19	0.29	0.0380	5.2977	300.53	511.76	1254.70	914.48
405.73	145.35	221.10	0.0014	0.2151	0.2004	33.888	47.68	72.54	0.19	0.28	0.0355	5.4629	283.83	500.51	1265.94	837.53
418.00	142.36	215.77	0.0014	0.2216	0.1986	34.912	46.70	70.79	0.18	0.28	0.0351	5.6280	267.81	488.44	1278.01	767.09
430.27	141.16	212.44	0.0014	0.2281	0.2058	35.937	46.31	69.70	0.18	0.27	0.0364	5.7932	251.21	480.92	1285.53	699.02
443.48	137.11	206.86	0.0016	0.2351	0.2266	37.040	44.98	67.87	0.18	0.27	0.0401	5.9710	237.60	468.27	1298.18	641.45
456.68	131.57	200.53	0.0017	0.2421	0.2371	38.143	43.16	65.79	0.17	0.26	0.0420	6.1488	224.46	453.95	1312.50	588.47
469.90	124.19	191.54	0.0016	0.2491	0.2320	39.247	40.74	62.84	0.16	0.25	0.0411	6.3267	211.81	433.61	1332.84	539.68
483.10	117.11	182.37	0.0018	0.2561	0.2558	40.350	38.42	59.83	0.15	0.23	0.0453	6.5045	199.59	412.84	1353.61	494.64
496.32	109.78	172.19	0.0018	0.2631	0.2547	41.453	36.02	56.49	0.14	0.22	0.0451	6.6824	187.06	389.78	1376.67	451.25
510.47	103.76	160.89	0.0019	0.2706	0.2705	42.635	34.04	52.78	0.13	0.21	0.0479	6.8729	173.69	364.21	1402.24	407.38
524.62	97.96	150.85	0.0022	0.2781	0.3108	43.817	32.14	49.49	0.13	0.19	0.0550	7.0635	162.39	341.48	1424.97	370.60
538.77	92.37	141.91	0.0022	0.2856	0.3200	44.999	30.31	46.56	0.12	0.18	0.0566	7.2540	151.29	321.25	1445.20	336.20
552.92	86.97	132.05	0.0024	0.2931	0.3472	46.181	28.53	43.32	0.11	0.17	0.0615	7.4446	139.23	298.92	1467.53	301.49
567.07	81.44	123.09	0.0027	0.3006	0.3863	47.363	26.72	40.38	0.10	0.16	0.0684	7.6351	128.97	278.64	1487.82	272.29
582.17	75.53	114.36	0.0027	0.3086	0.3920	48.624	24.78	37.52	0.10	0.15	0.0694	7.8384	119.61	258.89	1507.56	245.98
597.27	70.54	106.30	0.0028	0.3166	0.4049	49.885	23.14	34.88	0.09	0.14	0.0717	8.0417	111.11	240.65	1525.81	222.73
612.37	65.64	98.98	0.0030	0.3246	0.4314	51.146	21.53	32.47	0.08	0.13	0.0764	8.2449	103.00	224.05	1542.40	201.39
627.45	60.31	91.59	0.0032	0.3326	0.4629	52.407	19.79	30.05	0.08	0.12	0.0819	8.4481	97.17	207.34	1559.11	185.41
642.55	55.78	84.00	0.0033	0.3406	0.4771	53.667	18.30	27.56	0.07	0.11	0.0845	8.6514	94.11	190.16	1576.29	175.36
658.58	51.64	76.57	0.0035	0.3491	0.5008	55.007	16.94	25.12	0.07	0.10	0.0886	8.8674	90.85	173.34	1593.11	165.16
674.62	47.89	70.95	0.0036	0.3576	0.5219	56.347	15.71	23.28	0.06	0.09	0.0924	9.0833	86.90	160.62	1605.83	154.23
690.67	44.31	65.08	0.0037	0.3661	0.5240	57.686	14.54	21.35	0.06	0.08	0.0927	9.2992	81.52	147.33	1619.12	141.31
706.70	41.73	60.15	0.0037	0.3746	0.5335	59.026	13.69	19.73	0.05	0.08	0.0944	9.5152	75.64	136.16	1630.29	128.15
722.73	40.38	55.80	0.0037	0.3831	0.5241	60.366	13.25	18.31	0.05	0.07	0.0928	9.7311	68.99	126.32	1640.13	114.28