

SOFTWARE DIDÁCTICO E INTERACTIVO PARA LA VISUALIZACIÓN DEL  
FENÓMENO DE RESISTENCIA AL CORTE POR MEDIO DEL PROCESAMIENTO DE  
LOS DATOS DEL ENSAYO DE TRIAXIAL A LA LUZ DE LAS TEORÍAS DE FALLA DE  
MOHR COULOMB Y DE ESTADOS CRÍTICOS – **RESCORT. V1**

CIRO ANTONIO SUSPES PACHÓN  
OSCAR IVÁN LÓPEZ RODRÍGUEZ  
RICHARD ANSOLY SUÁREZ

UNIVERSIDAD DE LA SALLE  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ D.C.  
2006

SOFTWARE DIDÁCTICO E INTERACTIVO PARA LA VISUALIZACIÓN DEL  
FENÓMENO DE RESISTENCIA AL CORTE POR MEDIO DEL PROCESAMIENTO DE  
LOS DATOS DEL ENSAYO DE TRIAXIAL A LA LUZ DE LAS TEORÍAS DE FALLA DE  
MOHR COULOMB Y DE ESTADOS CRÍTICOS – **RESCORT. V1**

CIRO ANTONIO SUSPES PACHÓN  
OSCAR IVÁN LÓPEZ RODRÍGUEZ  
RICHARD ANSOLY SUÁREZ

Trabajo de grado presentado como requisito parcial  
para optar al título de Ingeniero Civil.

Director temático  
Ing. Fernando A. Nieto Castañeda

Asesora metodológica  
Mag. Rosa Amparo Ruíz Saray

UNIVERSIDAD DE LA SALLE  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ D.C.  
2006

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Bogotá, D.C., Noviembre de 2006

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	
1. EL PROBLEMA	16
1.1 LÍNEA	16
1.2 TÍTULO	16
1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	16
1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	17
1.5 JUSTIFICACIÓN	17
1.6 OBJETIVOS	18
1.6.1 Objetivo general	18
1.6.2 Objetivos específicos	18
2. MARCO REFERENCIAL	19
2.1 MARCO TEÓRICO	19
2.1.1 Resistencia al corte	19
2.1.2 Medición de la resistencia al corte	21
2.1.3 Envoltentes de resistencia	22
2.1.4 Teoría de falla de Mohr-Coulomb	22
2.1.5 Prueba de compresión Triaxial	25
2.1.6 Prueba de corte directo	27
2.1.7 Determinación de la gravedad específica	28
2.1.8 Determinación de la relación de vacíos	29
2.1.9 Teoría de estado crítico	29
2.2 MARCO CONCEPTUAL	38
2.2.1 Caolín	38
2.2.2 Capacidad higroscópica	38
2.2.3 Carga axial	38
2.2.4 Circulo de Mohr	38
2.2.5 Consistencia	38
2.2.6 Consolidación	38
2.2.7 Contracción	38
2.2.8 Cohesión	39
2.2.9 Envoltente de falla	39
2.2.10 Esfuerzo efectivo	39
2.2.11 Estado elástico	39
2.2.12 Estado plástico	39
2.2.13 Falla al corte	39
2.2.14 Limite de contracción	39
2.2.15 Limite líquido	39
2.2.16 Línea de estado crítico	40

2.2.17	Límite Plástico	40
2.2.18	Permeabilidad	40
2.2.19	Prueba de corte directo	40
2.2.20	Prueba triaxial de corte	40
2.2.21	Resistencia al corte	41
2.2.22	Trayectoria de esfuerzos	41
2.3	MARCO NORMATIVO	42
3.	METODOLOGÍA	43
3.1	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	43
3.2	OBJETO DE ESTUDIO	45
3.3	INSTRUMENTOS	46
3.4	VARIABLES	46
3.5	HIPOTESIS	47
4.	TRABAJO INGENIERIL	48
4.1	DESARROLLO	48
4.1.1	Descripción	48
4.1.2	Muestra y análisis de resultados	51
4.1.3	Desarrollo del Software	81
4.1.4	Diagrama de flujo	86
5.	COSTOS TOTALES DE LA INVESTIGACION	96
5.1	RECURSOS MATERIALES	96
5.2	RECURSOS INSTITUCIONALES	96
5.3	RECURSOS TECNOLOGICOS	97
5.4	RECURSOS HUMANOS	97
5.5	RECURSOS FINANCIEROS	98
6.	CONCLUSIONES	100
7	RECOMENDACIONES	102
7.1	RECOMENDACIONES ACTUALIZACION	102
7.2	RECOMENDACIONES ALCANCE DEL SOFTWARE	102
	BIBLIOGRAFIA	103
	ANEXOS	105

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Normas Técnicas Colombianas (NTC)	42
Tabla 2. Variables presentes en la investigación.	46
Tabla 3. Limite plástico de la muestra.	51
Tabla 4. Limite líquido de la muestra.	52
Tabla 5. Detalles de la muestra.	52
Tabla 6. Limite de contracción	53
Tabla 7. Análisis granulométrico por tamizado.	54
Tabla 8. Gravedad específica de la arena.	58
Tabla 9. Gravedad específica método INVIAS.	59
Tabla 10. Gravedad específica N°1 caolín.	60
Tabla 11. Gravedad específica N°2 caolín.	60
Tabla 12. Relaciones de fase .	61
Tabla 13. Presupuesto de recursos materiales.	96
Tabla 14. Presupuesto de recursos tecnológicos.	97
Tabla 15. Presupuesto de recursos humanos.	98
Tabla 16. Presupuesto recursos financieros.	98
Tabla 17. Resultados pruebas triaxial para presión de cámara de 0.5Kg/cm <sup>2</sup> .	105
Tabla 18. Resultados pruebas triaxial para presión de cámara de 1.0Kg/cm <sup>2</sup> .	106
Tabla 19. Resultados pruebas triaxial para presión de cámara de 1.5Kg/cm <sup>2</sup> .	107

Tabla 20	Resultados pruebas triaxial para presión de cámara de 2.0Kg/cm <sup>2</sup> .	109
Tabla 21.	Resultados pruebas triaxial para presión de cámara de 0.5Kg/cm <sup>2</sup> .	110
Tabla 22.	Resultados pruebas triaxial para presión de cámara de 1.0Kg/cm <sup>2</sup> .	112
Tabla 23.	Resultados pruebas triaxial para presión de cámara de 1.5Kg/cm <sup>2</sup> .	113
Tabla 24.	Resultados pruebas triaxial para presión de cámara de 2.0Kg/cm <sup>2</sup> .	114
Tabla 25.	Relaciones de fase para una presión de cámara de 0.5Kg/cm <sup>2</sup> .	116
Tabla 26.	Relaciones de fase para una presión de cámara de 1,0Kg/cm.	117
Tabla 27.	Relaciones de fase para una presión de cámara de 1.5Kg/cm <sup>2</sup> .	118
Tabla 28.	Relaciones de fase para una presión de cámara de 2,0Kg/cm <sup>2</sup> .	120
Tabla 29.	Resultados pruebas triaxial para presión de cámara de 0,5Kg/cm <sup>2</sup> .	121
Tabla 30.	Resultados pruebas triaxial para presión de cámara de 1,0Kg/cm.	122
Tabla 31.	Resultados pruebas triaxial para presión de cámara de 1.5Kg/cm <sup>2</sup> .	123
Tabla 32.	Resultados pruebas triaxial para presión de cámara de 2,0Kg/cm.	124
Tabla 33.	Resultados pruebas triaxial para presión de cámara de 0.5Kg/cm <sup>2</sup> .	127
Tabla 34.	Resultados pruebas triaxial para presión de cámara de 1,0Kg/cm <sup>2</sup> .	128
Tabla 35.	Resultados pruebas triaxial para presión de cámara de 1,5Kg/cm <sup>2</sup> .	129
Tabla 36.	Resultados pruebas triaxial para presión de cámara de 2,0Kg/cm <sup>2</sup> .	134
Tabla 37.	Calibración del picnómetro N°1.	135
Tabla 38.	Calibración del picnómetro N°7.	136

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Fuerza transmitida por dos cuerpos en contacto estático.	19
Figura 2. Ángulo de fricción interno.	20
Figura 3. Envolventes de resistencia máxima y última.	21
Figura 4. Cámara triaxial.	25
Figura 5. Teoría de falla de Mohr – Coulomb	28
Figura 6. Trayectorias de esfuerzos.	29
Figura 7. Proyección Tridimensional de la línea en estado critico.	30
Figura 8. Línea de estado critico y trayectorias de esfuerzo para carga de una arcilla consolidada normalmente, sin drenado.	31
Figura 9. Superficie limite de estado crítico.	33
Figura 10. Aspecto tridimensional de la superficie limite de estado completo	34
Figura 11. Grafica normalizada de una sección de la superficie de estado critico a volumen constante	35
Figura 12. Trayectoria de esfuerzos en el espacio $t'/s'$ .	49
Figura 13. Trayectoria de esfuerzos en el espacio $P'/q'$ .	50
Figura 14. Trayectoria de esfuerzos en el espacio $t/s$ y $t'/s'$ .	52
Figura 15. trayectoria de esfuerzos en el espacio $P/q$ y $P'/q'$ .	53
Figura 16. Determinación de la humedad optima.	56
Figura 17. Curva granulométrica (arena).	59
Figura 18. Circulo de Mohr para pruebas drenadas.	66



Figura 19. Círculos de Mohr y envolvente de falla.	67
Figura 20. Círculos de Mohr y envolvente de falla.	68
Figura 21. Trayectoria de esfuerzos en espacio P/v.	71
Figura 22. Trayectoria de esfuerzos en espacio P/v.	71
Figura 23. Trayectoria de esfuerzos en espacio P/v.	72
Figura 24. Trayectoria de esfuerzos en espacio P/v.	72
Figura 25. Aspecto tridimensional de la superficie de estado límite.	75
Figura 26. Curvas límites de estado crítico.	76
Figura 27. Curva de calibración.	121
Figura 28. Curva de calibración.	122

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A    Tablas de resultados de pruebas con drenado.	105
Anexo B.    Tablas de resultados de pruebas sin drenar.	121
Anexo C.    Tablas y curvas de calibración picnómetro.	135
Anexo D.    Fotos ensayos triaxiales, Universidad Nacional de Colombia.	137
Anexo E.    Fotos de ensayos para caracterizar la muestra, Universidad de la Salle	146
Anexo F    CD con software interactivo (RESCORT.V1).	150

## INTRODUCCIÓN

Antes del desarrollo de la mecánica aplicada todos los problemas de relevancia en la ingeniería civil eran resueltos intuitivamente o por tanteos. Ello conllevaba a serios riesgos económicos y de seguridad.

Gracias al avance de la tecnología y la necesidad de conocer el comportamiento de los suelos se ha llegado a un nivel de conocimiento importante el cual es fundamental para la construcción de obras civiles.

Los suelos poseen varios aspectos característicos que los clasifican, entre ellos, el de mayor relevancia es la resistencia al corte. Esta resistencia suele definirse en función de los esfuerzos desarrollados en el máximo de la curva esfuerzo – deformación, así pues es imprescindible la valoración correcta de este para el análisis de la estabilidad en los suelos.

La resistencia al corte de los suelos se muestra por medio de curvas y gráficos que difieren de acuerdo a la naturaleza del suelo en estudio. Estas curvas presentan el comportamiento mecánico del suelo, por tanto es importante visualizarlas de forma aplicada, a la luz de teorías clásicas y actuales como lo son, Mohr Coulomb y Estados Críticos.

Por medio de un software se proporcionará la opción de visualizar simultáneamente, para pruebas drenadas y no drenadas, el fenómeno de resistencia al corte, gracias a datos obtenidos del ensayo triaxial. Esto contribuirá al proceso de aprendizaje y su posterior aplicación en la mecánica de suelos.

## 1. EL PROBLEMA

### 1.1 LÍNEA

El proyecto de investigación a desarrollar corresponde a la línea de Desarrollo Tecnológico , según las líneas de investigación establecidas por la Facultad de Ingeniería Civil.

### 1.2 TÍTULO

Software didáctico e interactivo para la visualización del fenómeno de resistencia al corte por medio del procesamiento de los datos del ensayo de triaxial a la luz de las teorías de falla de mohr coulomb y de estados críticos – **RESCORT. V1**

### 1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La construcción de curvas para mostrar el comportamiento de los suelos en cuanto a su resistencia al corte tienen la particularidad de emplear un tiempo considerable, además de ser engorroso.

Debido a esto se piensa en la necesidad de construir curvas con un software el cual simplifique la construcción y ayude a la fácil comprensión y visualización del fenómeno de la resistencia al corte, obteniendo así información determinante y actual para un estudio de suelos en cualquier obra civil, además de estudiarse teorías actuales tales como la de Estados Críticos.

#### 1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Por medio de curvas y gráficos que muestren el comportamiento de los suelos en cuanto a su resistencia al corte, aplicados a un software, se puede facilitar la visualización y comprensión de estas?

#### 1.5 JUSTIFICACIÓN

La razón por la cual se desarrollo esta investigación en el campo de la geotecnia es debido a la necesidad de facilitar la comprensión de la resistencia al corte de los suelos por medio de curvas que muestren su comportamiento.

La construcción de estas curvas emplea un tiempo considerable además de ser complicada su modelación, puesto que obtenerlas manualmente requiere de escalas preestablecidas y datos experimentales reales. También es apropiado poder comparar de manera simultanea los resultados de la resistencia al corte obtenidos por diferentes tipos de pruebas y presiones de cámara.

La aplicación de éstas curvas y gráficos en un software interactivo ayudará a disminuir el tiempo que normalmente se emplea en la construcción de estos además de facilitar la comprensión del comportamiento de los suelos, pudiendo así obtener conclusiones claras y veraces acerca del suelo objeto de estudio, además difundir teorías actuales como lo es la teoría de estados críticos.

Esto beneficiara a toda la academia, refiriéndonos a alumnos e ingenieros que harán de este software una herramienta de uso intenso en el aprendizaje de la mecánica de suelos.

## 1.6 OBJETIVOS

### 1.6.1 Objetivo general

Crear un software interactivo que muestre los gráficos y superficies referentes a la resistencia al corte en los suelos que facilite su comprensión y análisis.

### 1.6.2 Objetivos específicos

- Mostrar por medio de un software interactivo el comportamiento de los suelos en cuanto su resistencia al corte.
- Brindar una herramienta que contribuya al aprendizaje del comportamiento de los suelos en cuanto a su resistencia al corte.

## 2. MARCO REFERENCIAL

### 2.1 MARCO TEÓRICO

**2.1.1 Resistencia al corte.** Se entiende por resistencia al corte de un suelo el valor límite, del esfuerzo al corte que resiste un suelo en el plano de falla dentro de su masa, antes de que ceda. Bajo algunas condiciones, la flexibilidad conducirá a la formación de una superficie de deslizamiento por corte, sobre la cual puede dar lugar a una cantidad apreciable de movimiento de deslizamiento. En esencia, la resistencia al corte en el interior de una masa sólida se debe al desarrollo de la resistencia a la fricción entre partículas sólidas contiguas, por cohesión y adhesión entre ellas y al entrelazamiento entre partículas sólidas. Los análisis se basan principalmente en el modelo de fricción, ya que da una base útil para desarrollar descripciones matemáticas del comportamiento del suelo al cortante (véase figura 1).

Para producirse el deslizamiento es necesario que las partículas cedan en los puntos de contacto. El valor límite de del esfuerzo cortante lo determina la magnitud como la velocidad de aplicación de la carga.

La resistencia entre dos partículas de un suelo depende de gran parte de cómo esta compuesto, tanto físico como químicamente en su superficie de contacto.



En los suelos cohesivos influyen principalmente en su resistencia al cortante su historia de consolidación, condiciones de drenaje de este, la sensibilidad de su estructura y la velocidad de aplicación de las cargas.

En los suelos granulares se habla de fricción y en las arcillas de cohesión. Esta cohesión o fricción según sea el caso esta determinada por un ángulo denominado de fricción interna que produce las presiones intergranulares a causa de efectos capilares (véase figura 2).

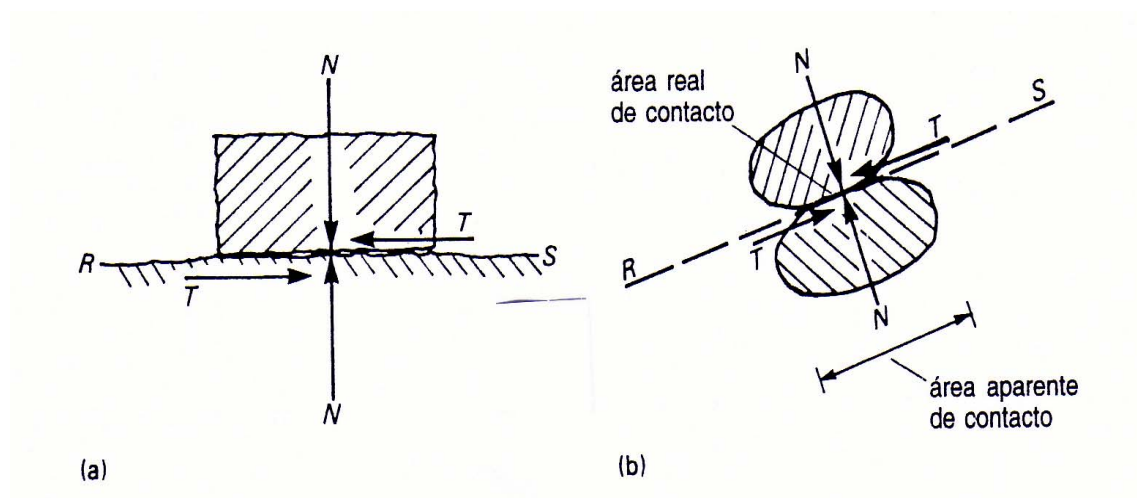


Figura.1. <sup>1</sup> Modelo de fricción.

<sup>1</sup> WHITLOW, Roy. Fundamentos de mecánica de suelos. México: Continental, 2000. p. 231. ISBN 968-26-1239-X.

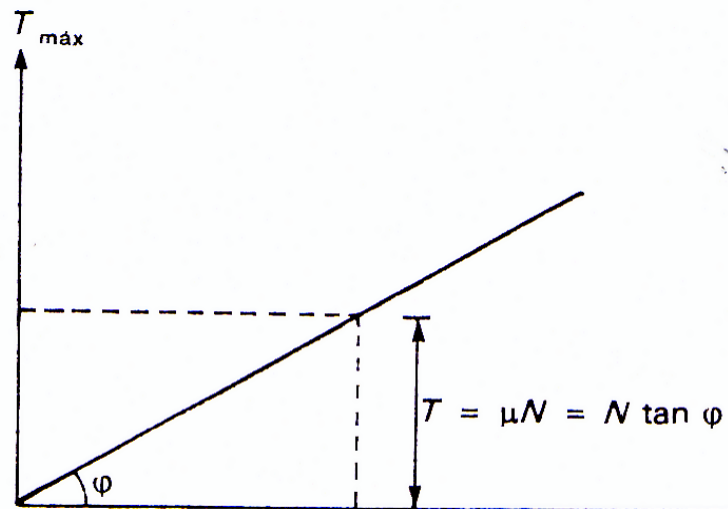


Figura 2. <sup>2</sup> Ángulo de fricción interno

La figura 3 (a) muestra una curva típica de esfuerzo cortante/deformación unitaria. Cuando se corta el elemento a esfuerzo normal constante ( $\sigma_n$ ), el esfuerzo cortante antes que nada aumenta rápidamente mientras que la deformación unitaria aumenta con lentitud. Cuando el suelo cede, la deformación aumenta mientras que el esfuerzo cortante se estabiliza y a continuación decrece. El valor máximo del esfuerzo cortante en el punto de flexibilidad se llama esfuerzo máximo. El esfuerzo cortante continúa decreciendo hasta que se nivela de nuevo a un valor menor, que se llama esfuerzo último que representa al cortante en su volumen crítico.

**2.1.2 Medición de la resistencia al corte**, es forma mas común para obtener los parámetros de la resistencia al corte de un suelo, son por medio de los laboratorios, que a su vez dependen de factores, como la calidad de las muestras, su tamaño, el método de ensayo, y el grado de saturación de la muestra que varía con el tiempo.

<sup>2</sup> WHITLOW, Roy. Fundamentos de mecánica de suelos. México: Continental, 2000. p. 232. ISBN 968-26-1239-X.

La resistencia al cortante depende del grado de saturación y se recomienda trabajar siempre con muestras saturadas.

**2.1.3 Envoltentes de resistencia,** Una envolvente de resistencia es una representación gráfica de una condición límite particular ( $\tau / \phi'_n$ ). Los puntos bajo la envolvente representan posibles relaciones de esfuerzo anteriores a la flexibilidad, mientras los que están sobre la envolvente representan la relación de esfuerzos en la flexibilidad. No pueden existir puntos reales por encima de la envolvente. (ver figura 3 (b) ).

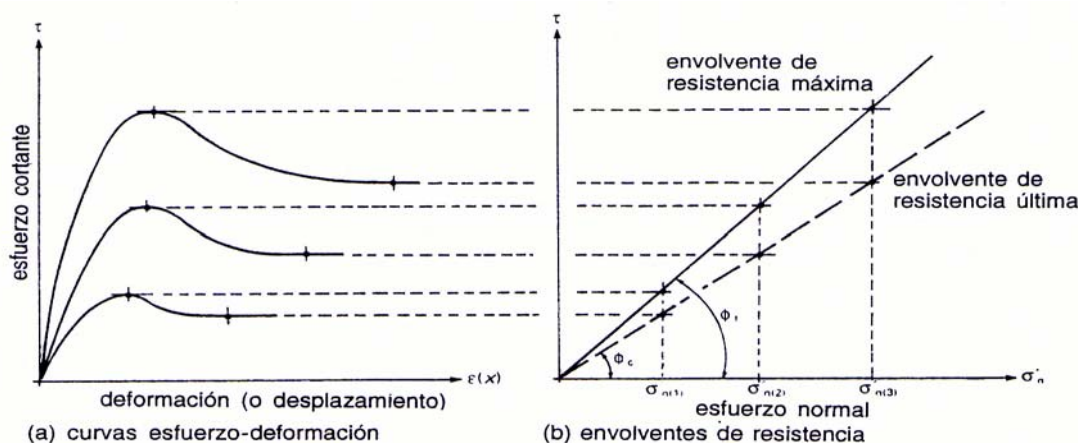


Figura 3.<sup>3</sup> Envoltentes de resistencia máxima y última.

**2.1.4 Teoría de falla de Mohr – Coulomb.** Esta teoría consiste en considerar que la resistencia de un suelo puede medirse por el esfuerzo cortante máximo que puede

<sup>3</sup> WHITLOW, Roy. Fundamentos de mecánica de suelos. México: Continental, 2000. p. 234. ISBN 968-26-1239-X.

soportar este que, a su vez, es función del esfuerzo normal actuante en el plano en que ocurre la falla. En esta representación grafica , podemos encontrar los esfuerzos normales y tangenciales correspondientes de un suelo. Esta teoría de falla ha dado buenos resultados al considerar los esfuerzos efectivos.

Para construir este círculo es necesario obtener la variación en los esfuerzos ( $\Delta\sigma$ ), el esfuerzo inicial ( $\sigma_3'$ ) y el final ( $\sigma_1'$ ) , también conocidos como esfuerzos principales, para después obtener el ángulo de fricción ( $\phi'$ ) y la trayectoria de esfuerzos.(véase figura 4.)

El círculo de Mohr puede extenderse también al análisis de suelos parcialmente saturados, teniendo en cuenta las presiones en el agua y el aire en los vacíos .

La ecuación de la envolvente de falla, a la cual se le llama ecuación de Coulomb, es:

$$\tau'_f = c' + \sigma'_n \tan \phi'$$

En la que:

$\phi$  = ángulo de fricción para esfuerzos totales

$\phi'$  = ángulo de fricción para esfuerzos efectivos

$c$  = cohesión aparente para esfuerzos totales

$c'$  = cohesión aparente para esfuerzos efectivos

De la geometría de la construcción de Mohr y Coulomb, el ángulo del plano de falla es:

$$\alpha_f = \frac{1}{2} \left( 90^\circ + \varphi' \right) = 45^\circ + \frac{\varphi'}{2}$$

Si se pueden llevar varias muestras del mismo suelo a un estado de falla de deslizamiento el corte, a diferentes presiones de cámara ( $\sigma'_3$ ) y se miden los esfuerzos principales,  $\sigma'_1$  y  $\sigma'_3$ , se pueden emplear la construcción de Mohr y Coulomb para determinar la envolvente de falla y con ello los valores de los parámetros  $c'$  y  $\varphi'$ .

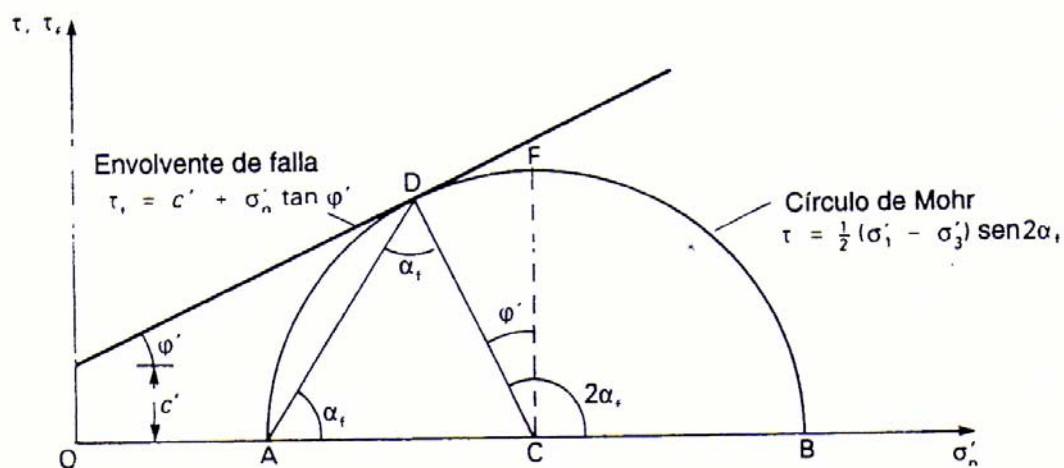


Figura 4. <sup>4</sup> Teoría de falla de Mohr – Coulomb

<sup>4</sup> WHITLOW, Roy. Fundamentos de mecánica de suelos. México: Continental, 2000. p. 171. ISBN 968-26-1239-X.

**2.1.5 Prueba de compresión triaxial** Es considerada la prueba más voluble utilizada para determinar las propiedades de esfuerzo – deformación de un suelo; es adecuada para la gran mayoría de tipos de suelo y permite aplicar diferentes procedimientos.

En este aparato la muestra cilíndrica de dimensiones que pueden variar dependiendo el tipo de suelo, esta cubierta con una membrana de hule y sus extremos se encuentran apoyados sobre piedras porosas. Las dimensiones de la muestra son de 7.6 a 18cm de altura según el tipo de máquina y su diámetro oscila entre 3.5 - 7.6cm. La muestra recibe una presión de confinamiento ( $\sigma_c$ ) fluida uniforme dentro de la cámara en la cual los esfuerzos son constantes en todas las caras de esta, para este proceso se puede utilizar gas o liquido a presión. La falla en la muestra es causada por la aplicación de una carga axial adicional transmitida por un vástago. Como no se presentan esfuerzos tangenciales sobre ninguna de la superficie de las caras de la muestra, el esfuerzo axial ( $\sigma_c + \Delta\sigma_a$ ) y la presión de confinamiento ( $\sigma_c$ ) son los esfuerzos principales mayor y menor,  $\sigma_1'$  y  $\sigma_3'$ , respectivamente.

A continuación en la figura 5. se muestran las partes más importantes de un triaxial.

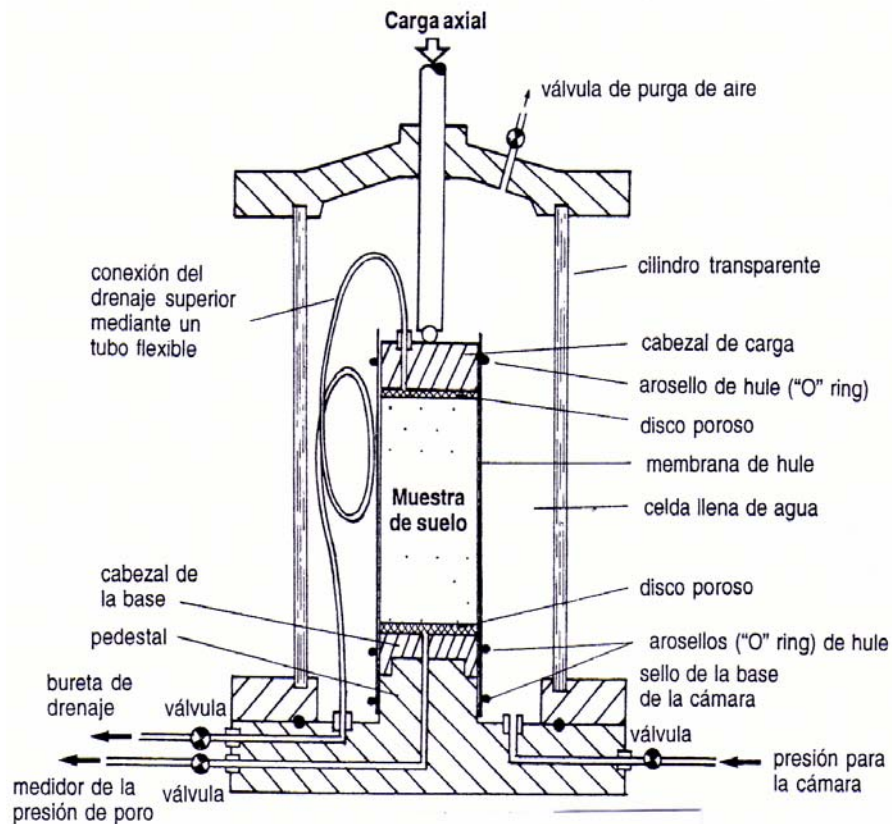


Figura 5. <sup>5</sup> Cámara triaxial.

El aparato utilizado para los ensayos triaxiales es bastante versátil, por ello permite varios tipos de pruebas que son:

Prueba no drenada. La muestra se coloca entre sólidos de manera que evite el drenaje. Después de determinar la presión de cámara, se hace de inmediato el aumento de la carga axial. El incremento del esfuerzo desviador es rápido lo que permite que no haya disipación de poros, por ello no se toman mediciones de presión de poros y los resultados solo se expresan en términos de esfuerzos totales.

<sup>5</sup> WHITLOW, Roy. Fundamentos de mecánica de suelos. México: Continental, 2000. p. 246. ISBN 968-26-1239-X.

La duración de esta prueba es de alrededor de 10 a 15 min. por ello se denomina prueba rápida.

Prueba consolidada no drenada. Primero se consolida la muestra con drenado total hasta la presión de cámara requerida. Cuando se disipan los poros hasta el valor de la contrapresión, se cierran las válvulas de drenaje y se aumenta la carga axial. Así se lleva la muestra hasta la falla sin permitir drenado. Si se desea se pueden medir las presiones de poros por medio de las conexiones de la base. Por tanto pueden obtenerse resultados de los esfuerzos en totales y efectivos.

Prueba drenada. Se consolida la muestra bajo presión isotrópica de cámara. A continuación se aplica la carga axial con drenado total y a una velocidad de aplicación que asegure que la presión de poros es constante. Se usa una de las conexiones de la base de la cámara para mirar la presión de poros constante y otra para medir los cambios de volumen en la muestra.

**2.1.7 Prueba de corte directo:** Se utiliza para obtener la resistencia de los suelos en los estudios de deslizamientos, además tiene una ventaja que es su fácil ejecución la cual permite realizar gran cantidad de pruebas en poco tiempo. El ensayo de Corte Directo es de obligatorio uso cuando se trabaja a niveles bajos de esfuerzos .



El aparato de corte puede ser circular o cuadrado con unas dimensiones de 20cm<sup>2</sup> a 25cm<sup>2</sup> y aproximadamente 3cm de altura, en el cual es colocado el suelo y posteriormente es sometido a una fuerza de confinamiento y una fuerza tangencial que origina un desplazamiento entre dos partes de la caja, en la cual se registra la fuerza tangencial en función del desplazamiento y la variación de espesor de la muestra.

**2.1.4 Determinación de la gravedad específica.** Esta prueba debe ser realizada en la mayor parte de los suelos, ya que es necesario para la determinación de algunos parámetros en su clasificación como lo son la relación de vacíos y el grado de saturación.

El método del picnómetro o método del volumen constante es tal vez el ensayo más confiable para la determinación del peso específico ( $G_s$ ) de un suelo. Y su fórmula general es la siguiente:

$$G_s = \frac{K * W_0}{W_0 + W_1 + W_2}$$

Donde:

$W_0$  = Peso suelo seco

$W_1$  = Peso picnómetro + H<sub>2</sub>O + suelo

$W_2$  = Peso del picnómetro + H<sub>2</sub>O a la temperatura del ambiente en gr.

K = Factor de corrección basado en la temperatura del H<sub>2</sub>O.

**2.1.5 Determinación de la relación de vacíos.** La determinación de la relación de vacíos es un parámetro de gran importancia, lo cual requiere de absoluta exactitud, por lo que en su desarrollo es necesario un estudio cuidadoso de todos los aspectos y observaciones, para ello se determinan los pesos, volúmenes y gravedades específicas de la muestra en estudio y se relacionan entre si. Su fórmula general es:

$$e = \frac{W_s}{G\gamma_w}$$

**2.1.9 Teoría del estado crítico.** Debido al amplio intervalo de permeabilidades, la rapidez de cambio de volumen en algunas arenas es tanta que es casi instantánea, mientras que en una arcilla muchas veces más lenta. Por consiguiente es necesario relacionar todos los cambios en el estado de esfuerzos con los cambios consecuentes a corto y largo plazo de volumen.

La teoría del estado crítico permite disponer de un modelo unificado del comportamiento de suelo en el que los estados de esfuerzos y los de volumen se interrelacionan. Se propone un modelo en el cual cede el suelo, es decir su comportamiento es elastoplástico, a un volumen específico crítico ( $v_c = 1 + e_c$ ). Se considera que la flexibilidad o el deslizamiento al cortante se llevan a cabo cuando la combinación de esfuerzos efectivos ( $\sigma'_1, \sigma'_2, \sigma'_3$ ) y el volumen específico ( $v$ ) coincide con una superficie límite de estado. Esta superficie límite se puede considerar como una envolvente de falla tridimensional. La figura 6 muestra las trayectorias de esfuerzos para las seis pruebas en el espacio  $q'/p'$ .

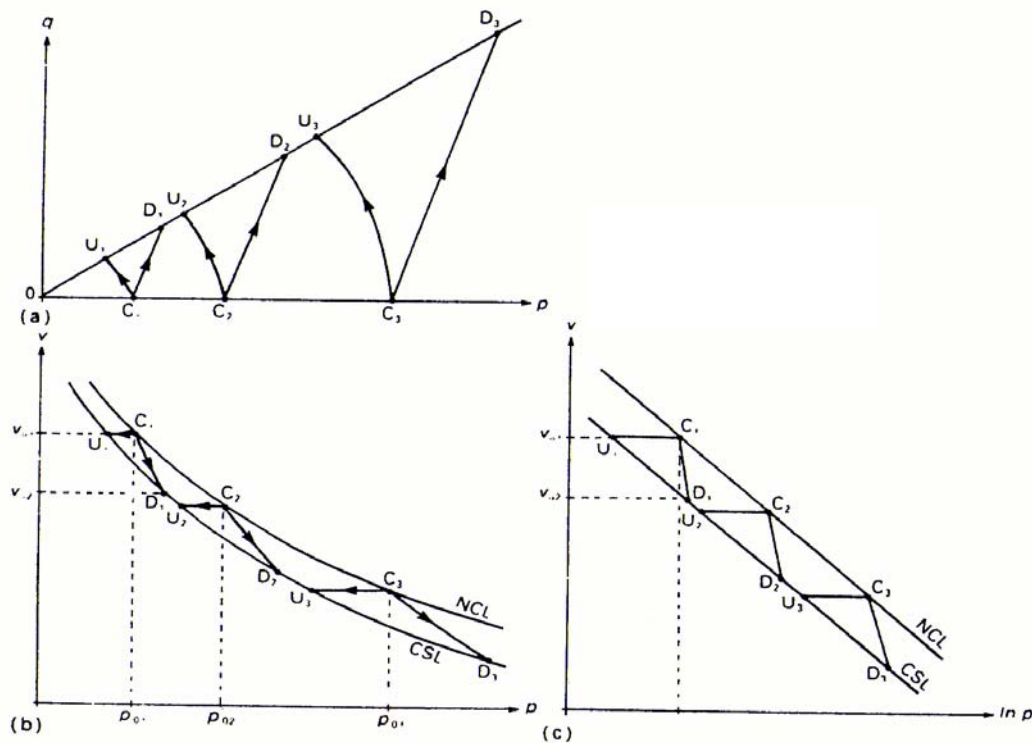


Figura 6. <sup>6</sup> Trayectorias de esfuerzos.

Etapas de consolidación:  $O \rightarrow C_1, O \rightarrow C_2, O \rightarrow C_3$  (Fig. 6.(a) )

Muestras sin drenado:  $C_1 \rightarrow U_1, C_2 \rightarrow U_2, C_3 \rightarrow U_3$  (Fig. 6.(b) y (c) )

Muestras con drenado:  $C_1 \rightarrow D_1, C_2 \rightarrow D_2, C_3 \rightarrow D_3$  (Fig. 6.(b) y (c) )

En las pruebas con drenado se efectúa un cambio de volumen, mientras que en las pruebas sin drenado el volumen permanece constante. Por lo tanto, para tener un modelo completo del comportamiento esfuerzo-deformación, se deben incluir los cambios de volumen relacionados con cambios de esfuerzo.

<sup>6</sup> WHITLOW, Roy. Fundamentos de mecánica de suelos. México: Continental, 2000. p. 180. ISBN 968-26-1239-X.



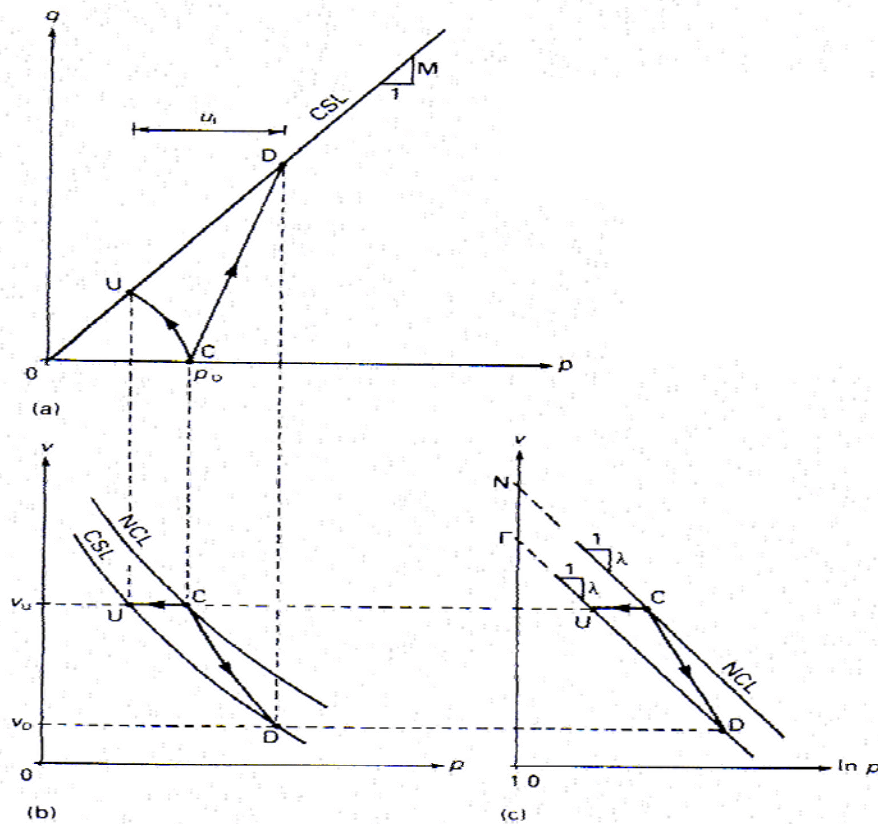


Figura 8. <sup>8</sup> Línea de estado crítico y trayectorias de esfuerzo para carga de una arcilla consolidada normalmente, sin drenado

Dimensiones de coordenadas:

Esfuerzo desviador,

$$q' = \sigma'_1 - \sigma'_3$$

Esfuerzo normal promedio,

$$p' = \frac{1}{3}(\sigma'_1 + \sigma'_2 + \sigma'_3)$$

Volumen específico

$$v = 1 + e$$

Ecuaciones de definición de la línea de estado crítico (CLS) (Fig. 8):

<sup>8</sup> WHITLOW, Roy. Fundamentos de mecánica de suelos. México: Continental, 2000. p. 182. ISBN 968-26-1239-X.

$$q' = Mp'$$

$$v = r - \lambda \ln p'$$

Donde  $r$  = Valor del volumen específico ( $v$ ) cuando  $p' = 1.0 \text{ KN/m}^2$

$\lambda$  = Pendiente de la línea CLS en el plano  $v' / \ln p'$

Las líneas límite CSL y NCL pertenecen a la superficie límite de estado o superficie de Roscoe y es determinada por la presión de consolidación ( $p'_0$ ).

Bajo condiciones de carga con drenado el suelo se expandirá y su volumen continuará aumentando después de la cadencia, haciendo que decaigan los esfuerzos hasta un valor residual.

La superficie límite de estado que gobierna la flexibilidad en los suelos preconsolidados se llama superficie de Hvorslev (Fig. 9.).

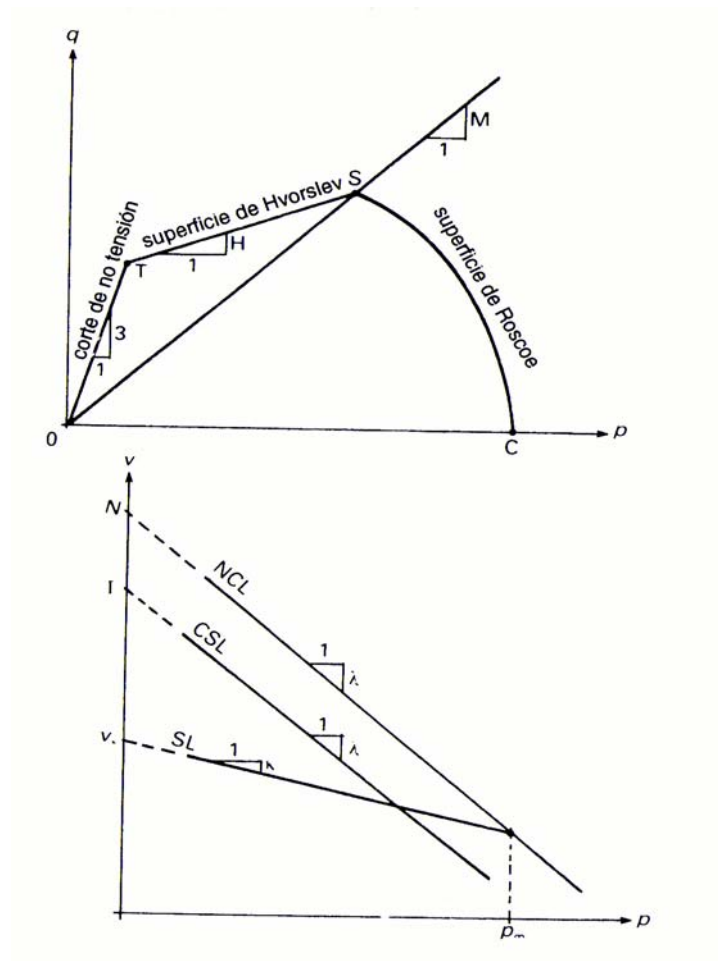


Figura 9.<sup>9</sup> Superficie límite de estado crítico.

La superficie límite entre 0 y T representa el estado límite de tensión cero ( $\sigma'_3=0$ ) que se supone es límite para los suelos y se llama corte de no tensión.

En la siguiente figura se muestra una vista generalizada tridimensional, en la cual SS es la línea de estado crítico, NN es la línea de consolidación normal y las tres superficies componentes son:

<sup>9</sup> WHITLOW, Roy. Fundamentos de mecánica de suelos. México: Continental, 2000. p. 186. ISBN 968-26-1239-X.

VVTT = superficie de no tensión. (Fig. 10.)

TTSS = superficie de Hvorslev. (Fig. 10.)

SSNN = superficie de Roscoe. (Fig. 10.)

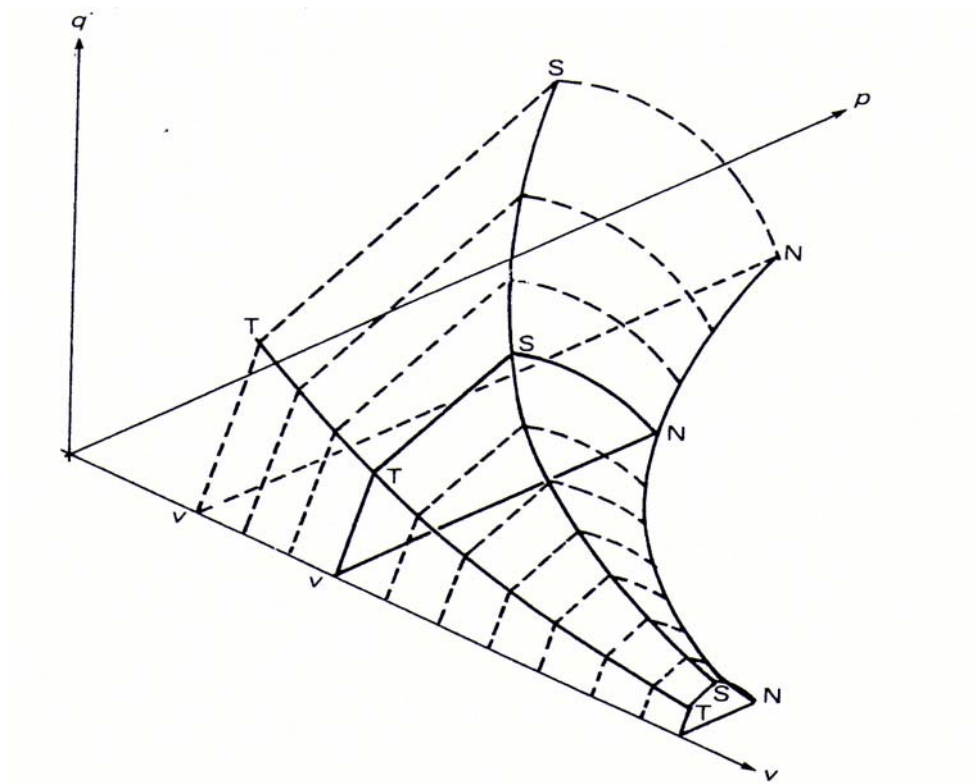


Figura 10. <sup>10</sup> Aspecto tridimensional de la superficie límite de estado completo

<sup>10</sup> WHITLOW, Roy. Fundamentos de mecánica de suelos. México: Continental, 2000. p. 189. ISBN 968-26-1239-X.



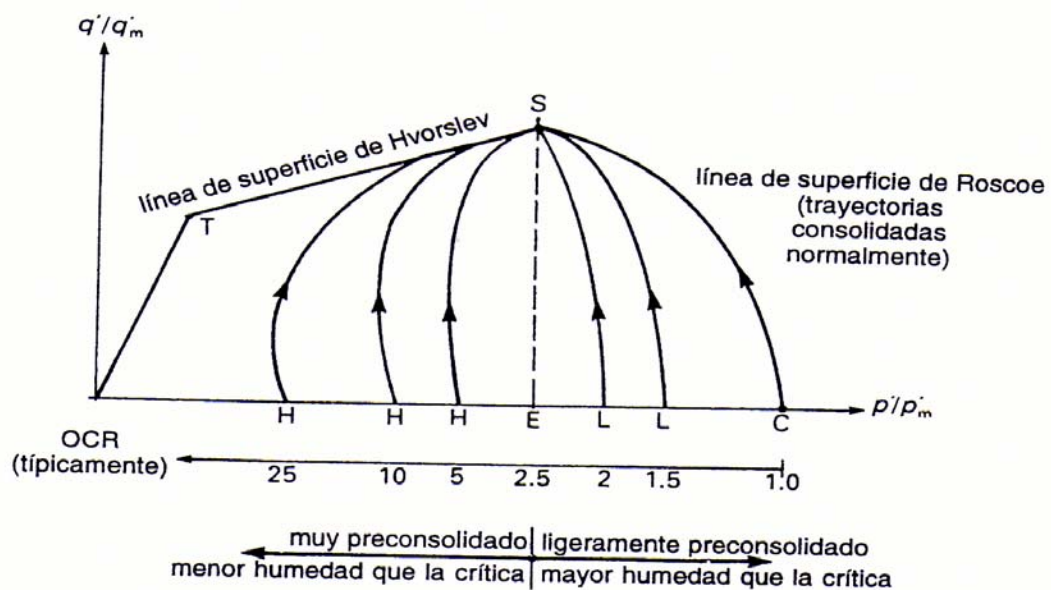


Figura 11. <sup>11</sup> Gráfica normalizada de una sección de la superficie de estado crítico, a volumen constante

El esfuerzo máximo cortante se alcanza cuando la trayectoria de esfuerzos se encuentra en la superficie de Hvorslev, mientras que el esfuerzo crítico está sobre CSL (Critical State Line).

En definitiva y para simplificar lo anteriormente mencionado los aspectos más importantes de la superficie límite de estado son:

Línea de consolidación normal: La trayectoria del cambio de volumen pasa por esta línea durante la consolidación bajo esfuerzo isotrópico.

<sup>11</sup> WHITLOW, Roy. Fundamentos de mecánica de suelos. México: Continental, 2000. p. 189. ISBN 968-26-1239-X.

Línea de estado crítico: es una curva sobre una superficie límite de estado crítico que representa la flexibilidad de un suelo, es decir, es el límite entre los comportamientos elástico y plástico.

Corte de no tensión: representa el estado de cero esfuerzo de tensión ( $\sigma_3' = 0$ ) y que se supone es límite para los suelos.

Superficie límite de estado de Roscoe: las trayectorias para un suelo normalmente consolidado quedan en esta superficie. El comportamiento del suelo es elástico en esta superficie.

Superficie límite de estado de Hvorslev: las trayectorias para suelos preconsolidados se ubican sobre esta superficie, en la cual gobierna la plasticidad y flexibilidad en el suelo.

## 2.2 MARCO CONCEPTUAL

Los siguientes conceptos son de gran importancia para la fácil comprensión de la presente investigación y estos son concebidos por los autores de la misma.

2.21 Caolín. Es una variedad de arcilla que contiene un porcentaje elevado de caolinita.

2.2.2 Capacidad higroscópica. Es la relación del peso del agua absorbida por un suelo seco.

2.2.3 Carga axial. Es la fuerza que se aplica a un miembro estructural exactamente en coincidencia con su centroide o eje principal en sentido ortogonal.

2.2.4 Circulo de Mohr. Es una representación gráfica de los esfuerzos que actúan sobre varios planos en un punto dado.

2.2.5 Consistencia. La facilidad relativa con que se puede deformar un suelo.

2.2.6 Consolidación. Es la reducción gradual del volumen de la masa de un suelo que resulta del aumento de los esfuerzos de compresión.

2.2.7 Contracción. Es la reducción del volumen que ocurre cuando disminuye el contenido de humedad existente cuando está saturado.

2.2.7 Cohesión. La porción de resistencia al corte de un suelo debido a la capilaridad en el.

2.2.8 Envolvente de falla. Es una serie de Círculos de Mohr que representan las condiciones de esfuerzo en la falla de un suelo específico y es la que hace fallar a este.

2.2.9 Esfuerzo efectivo. Es el esfuerzo transmitido a través de la estructura sólida del suelo por medio de los contactos intergranulares.

2.2.10 Estado elástico. Es el estado de esfuerzo dentro de la masa de un suelo cuando la resistencia interna de la masa no se moviliza completamente.

2.2.11 Estado plástico. Es la variación de consistencia dentro de la que un suelo se muestra cualidades plásticas.

2.2.12 Falla al corte. Es el movimiento causado por los esfuerzos cortantes de la masa de un suelo con una magnitud suficiente para hacer deslizar al suelo.

2.2.13 Límite de contracción. Es la humedad máxima a la que una reducción de la proporción de agua no produce una disminución de volumen de la masa del suelo.

2.2.14 Límite líquido. La humedad correspondiente al límite arbitrario de consistencia entre los estados líquido y plástico de un suelo.

2.2.15 Línea de estado crítico. Es aquella que representa la flexibilidad de un suelo en una superficie de estado, es decir es el límite entre la elasticidad y la plasticidad de este.

2.2.16 Límite plástico: Es la humedad correspondiente a un límite de consistencia arbitrario entre los estados plásticos y semisólidos de un suelo.

2.2.17 Permeabilidad. Es la capacidad de un material para permitir que un fluido lo atraviese sin alterar su estructura interna. Se dice que un material es permeable si deja pasar a través de él una cantidad apreciable de fluido en un tiempo dado, e impermeable si la cantidad de fluido es despreciable.

2.2.18 Prueba de corte directo. Es una prueba de corte en la que el suelo en el que está aplicada una carga normal se sujeta a una fuerza de corte hasta que falle, moviendo una sección de la caja que contiene el suelo con relación a la otra.

2.2.19 Prueba triaxial de corte. Es una prueba en la que una muestra cilíndrica de suelo confinada cubierta por una membrana impermeable, se sujeta a una presión y luego se carga axialmente hasta que falle

2.2.20 Resistencia al corte. Es la resistencia máxima de un suelo a los esfuerzos cortantes.

2.2.21 Trayectoria de esfuerzos. Es la que nos muestra estados sucesivos de esfuerzos en un espacio.

## 2.3 MARCO NORMATIVO

Tabla 1. Normas Técnicas Colombianas (NTC) contenidas en la NRS-98 Tomo I y II. Ley 400 de 1997 Decreto 33 de 1998. Icontec (Instituto de Normas Técnicas y certificación)

NORMA	AÑO	DESCRIPCIÓN
NTC 1493. Suelos. Ensayo para determinar el límite plástico y el índice de plasticidad.	1979-08-22	Establecer el método de ensayo para determinar el límite plástico de un suelo.
NTC 1494. Suelos. Ensayo para determinar el límite líquido.	1979-08-22	Establecer el método de ensayo para determinar el límite líquido de un suelo utilizando el aparato de Casagrande.
NTC 1504. Suelos. Clasificación para propósitos de ingeniería.	1979-10-24	Establecer el sistema para clasificar cualitativamente los suelos para propósitos de ingeniería, tomando como criterio las características granulométricas, el límite líquido y el índice de plasticidad.
NTC 1974. Ingeniería Civil y Arquitectura. Suelos. Determinación de la densidad relativa de los suelos.	1984-10-31	Establecer un método para determinar la densidad relativa de los sólidos de un suelo compuesto de partículas inferior a 4.76 mm por medio de un picnómetro.
INV. E-161 gravedad específica por método de cono y arena.	1998-09-26	Establecer un método alternativo para determinar la gravedad específica de la arena.
INV .E -124 Análisis granulométrico por medio del hidrómetro.	1998-08-28	Establecer el método de ensayo para determinar la granulometría del caolín.
INV.E -153 Parámetros de resistencia del suelo mediante compresión triaxial	1998-05-15	Determinar los parámetros de resistencia de los suelos mediante el ensayo de compresión triaxial

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño metodológico que se utilizó en la presente investigación fue del tipo no experimental o post-facto. Como señala Kerlinger " es una investigación sistemática empírica, en la cual el científico no tiene control directo sobre las variables independientes porque sus manifestaciones ya han ocurrido o porque son inherentemente no manipulables. Las inferencias acerca de las relaciones entre variables se hacen, sin intervención directa, a partir de la variación concomitante de las variables dependientes e independientes" (Kerlinger, 1988; p. 394)<sup>18</sup>. A su vez esta se subdivide en transeccional descriptiva "la cual tiene como objetivo indagar la incidencia y los valores en que se manifiestan uno o más variables (dentro del enfoque cuantitativo) o ubicar, categorizar y proporcionar una visión de una comunidad, un evento, un contexto, un fenómeno o una situación (describirla, como su nombre lo indica dentro del enfoque cualitativo). Por lo tanto son estudios puramente descriptivos y cuando establecen hipótesis, estas son también descriptivas. En este tipo de diseño queda claro que ni siquiera cabe la noción de manipulación, puesto que cada variable o concepto se trata individualmente (no se vinculan variables)"<sup>19</sup>.

---

<sup>18</sup> KERLINGER, Fred N. Investigación del Comportamiento. Investigación no experimental o post-facto. [consultada el 24 de julio de 2006 ]. Citado de la Pág.: <http://www.monografias.com/trabajos33/investigacion-post-facto/investigacion-post-facto.shtml#quees>.

<sup>19</sup> HERNANDEZ SAMPIERI, Roberto. Metodología de la investigación. 3ed. México: Mc Graw Hill, 2003. p.273-274. ISBN 970-10-3632-8.



Las fases en las cuales se desarrolló la presente investigación fueron:

#### FASE 1. RECOPIACION DE INFORMACION

- Documentación acerca de teorías aplicadas al software.
  - Estados Críticos
  - Mohr Coulomb
- Búsqueda de la composición ideal de la mezcla.
  - Caolín
  - Arena

#### FASE 2. IMPLEMENTACION DE LABORATORIOS

- Mezcla de materiales para obtener muestra
- Modelación de la muestra
- Caracterización de la muestra
  - Límites de consistencia
  - Granulometría
  - Humedades
  - Gravedades específicas
- Laboratorios experimentales
  - Triaxiales

### FASE 3. TOMA DE DATOS Y APLICACIÓN

- Obtención de datos provenientes de los ensayos
- Desarrollo de las teorías de resistencia al corte por medio de análisis gráfico para drenaje y no drenaje
- Aplicación de estos datos a las diferentes teorías actuales analizadas para el software.
  - Estados críticos

### FASE 4. ADAPTACIÓN DEL SOFTWARE

- Digitalización de la información
- Aplicación de los datos en diferentes programas tales como MATH CAD®, 3DMAX®, FLASH®, EXCEL®, y su posterior direccionamiento e integración en POWER POINT®.
- Adaptación de visualizador para instalación del Software.

### 3.2 OBJETO DE ESTUDIO

El objeto de estudio de la presente investigación es crear un software interactivo que por medio de muestras artificiales que simulan un suelo de permeabilidad media sometidas a experimentación y teorías actuales muestre el comportamiento real del suelo, ayudando a mejorar el aprendizaje del fenómeno de resistencia al corte.

### 3.3 INSTRUMENTOS

Dentro del desarrollo del presente proceso investigativo, determinamos una secuencia de fases con la finalidad de desarrollar satisfactoriamente esta, para ello requerimos los siguientes instrumentos:

- Maquina triaxial (Universidad Nacional de Colombia. Bogotá)
- Implementos de laboratorio para caracterización de las muestras (Universidad de la Salle).
- Normas Técnicas Colombianas (NTC) contenidas en la NSR-98 tomo I y II.
- Programa MATH CAD®.
- Programa 3DMAX®.
- Programa para animación FLASH®.
- Programas de OFFICE® tales como Excel®, PowerPoint®.

### 3.4 VARIABLES

Tabla 2. Variables presentes en la investigación

CATEGORÍA DE ANÁLISIS	VARIABLES	INDICADORES
Comportamiento suelo	Volumen Resistencia corte	Presión de cámara Drenaje o no drenaje

### 3.5 HIPÓTESIS

El desarrollo e implementación del software mejora la comprensión de la resistencia al corte de los suelos en los estudiantes gracias a su interactividad y visualización simultánea de resultados para diferentes tipos de pruebas triaxiales.

## 4. TRABAJO INGENIERIL

### 4.1 DESARROLLO

#### 4.1.1 Descripción

En principio se buscó encontrar un suelo que se ajustara a las condiciones requeridas para cumplir los objetivos, como lo son mostrar la resistencia al corte en suelos con drenado y no drenado. Para ello necesitábamos un suelo que nos proporcionara uniformidad en todas las muestras y permeabilidad media que permitiera llevar a cabo las pruebas deseadas. Por ello optamos por utilizar la mezcla caolín-arena, es decir utilizamos un suelo artificial.

La arena utilizada es de granulometría uniforme y composición mineralógica de cuarzo, no posee compuestos orgánicos y sus granos son redondos. El caolín por ser un silicato de aluminio donde predomina el mineral caolinita, plasticidad baja y tener propiedades higroscópicas (absorbe agua) es un complemento ideal para la arena por adherirse fácilmente a ella.

A esta mezcla se le hicieron diferentes pruebas de permeabilidad con diferentes composiciones de material Caolín – Arena (40/60, 50/50, 20/80, y 30/70) para encontrar la composición ideal, es decir, aquella que nos proporcionara una permeabilidad media, baja plasticidad, no presencia de material orgánico y homogeneidad en todas las muestras para llevar a cabo los ensayos triaxiales drenados

y no drenados. No se utilizaron suelos naturales debido a que estos presentan poca homogeneidad, altas plasticidades y presencia de material orgánico el cual debe tenerse en cuenta pues dificulta el drenaje en las pruebas además de impedirnos el llevar a cabo ensayos drenados y no drenados con la misma muestra.

La investigación se desarrolló con una composición de caolín y arena 30/70 respectivamente, puesto que esta composición nos da las condiciones de permeabilidad media gracias a la ecuación empírica de Hazen mostrada posteriormente con sus resultados (0.337cm/s), uniformidad (debido al ensayo de granulometría y sus coeficientes) peso unitario ideal (1.71 gr/cm<sup>3</sup>), y baja plasticidad ( su clasificación dio CL).

De esta mezcla se tomaron muestras de 300 gr. de peso para cada uno de los ensayos que se citaran a continuación, las cuales tenían alturas de  $\pm 9$ cm. con diámetros de aprox. 4.9cm., estas medidas se logran gracias a una máquina Versatester®. Esta máquina nos proporcionó una muestra con medidas uniformes para cada una de las pruebas lo cual se buscaba para obtener resultados coherentes en los ensayos triaxiales.

Posteriormente se llevaron las muestras a la máquina triaxial, sometiéndolas a diferentes tipos de ensayos drenados y no drenados, y a su vez, a diferentes presiones

de cámara  $\sigma_3$  (0.5Kg/cm<sup>2</sup>, 1.0Kg/cm<sup>2</sup>, 1.5Kg/cm<sup>2</sup> y 2.0Kg/cm<sup>2</sup>) para cada uno de los ensayos anteriormente citados.

La muestra después de estar montada se sometía a consolidación, se drenaba si era necesario y se tomaban los diferentes datos de consolidación a diferentes tiempos. Al tener la muestra consolidada y a la presión requerida tomábamos datos de tiempo, deformaciones, cambios de volumen (si es drenada) y cargas, las cuales son esfuerzos de cortante aplicados mediante fuerzas de compresión verticales transmitidas por el pistón hasta obtener la falla.

Para cada presión de confinamiento se obtiene el esfuerzo desviador ( $\Delta\sigma$ ) que hace fallar la muestra. Al obtener la falla, se retiraba la muestra del triaxial y se tomaban datos de su peso al aire ( $W_f$ ), peso parafinado al aire, peso de la cuerda sumergida, y el peso de la muestra + cuerda sumergida para obtener su volumen final. Por último se llevaba la muestra al horno a una temperatura de 105-115°C, se tomaba su peso inicial y su peso seco para obtener su humedad.

Los datos proporcionados por los diferentes ensayos se muestran en los anexos (A y B) correspondientes a esta investigación.

#### 4.1.2 Muestra y análisis de resultados

Procedimos a caracterizar dichas muestras por medio de los límites de consistencia, granulometría y gravedades específicas de los materiales utilizados (caolín y arena). Para los anteriores ensayos se utilizaron las Normas Técnicas Colombianas (NTC-98) contenidas en la NRS-98 Tomo I y II citadas en capítulo 2. En el ensayo de gravedad específica para la arena se utilizó un método adicional del INVIAS llamado peso específico y absorción de agregados finos.

Los resultados obtenidos de los anteriores ensayos se muestran en las siguientes tablas y graficas:

- Límites de consistencia

Tabla 3. Límite plástico de la muestra.

LÍMITE PLÁSTICO			
Recipiente No	192	128	155
P.Rec+P.húmedo (gr)	16,17	17,59	16,48
P.Rec+P.seco (gr)	14,98	16,19	16,46
P.Rec (gr)	10,34	10,63	10,6
HUMEDAD (%)	25,6%	25,2%	25.4%



Tabla 4. Límite líquido de la muestra.

LÍMITE LÍQUIDO			
No Golpes	33	21	12
Recipiente No	96	35	103
P.Rec+P.húmedo (gr)	31,67	30,57	34,75
P.Rec+P.seco (gr)	25,36	23,52	27,37
P.Rec (gr)	8,96	6,69	10,38
HUMEDAD (%)	38,5%	41,9%	43,4%

Tabla 5. Detalles de la muestra.

LÍMITE LÍQUIDO (%)	40,5%
LÍMITE PLÁSTICO (%)	25,4%
ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)	15,1%
LÍNEA A (%)	15,0%
CLASIFICACIÓN USC	<b>CL</b>

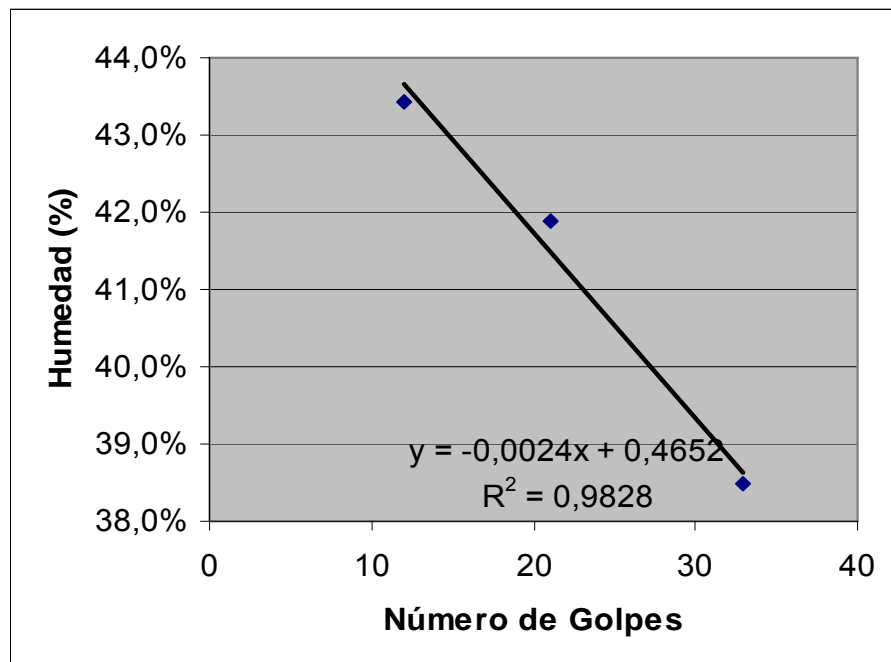


Figura 12. Determinación de la humedad óptima.

En la tabla 5. se muestra la clasificación por el método USC (Unificado Clasificación de Suelos), el cual lo clasifica según la carta de plasticidad como (CL) debido a que su límite líquido es menor al 50% y su índice de plasticidad es mayor que 7%, esta clasificación nos indica que es una arcilla inorgánica de baja a media plasticidad y baja compresibilidad (ML).

Tabla 6. Límite de contracción.

LÍMITE DE CONTRACCIÓN	
Diámetro Prom. R (cm)	3,99 cm
Alt. Prom. R (cm)	1,72 cm
P1 (gr)	44,68 gr
P2 (gr)	35,57 gr
P3 (gr)	18,67 gr
P mercurio desplazado (gr)	159,29 gr
peso del molde lleno de mercurio (gr)	44,68 gr
Peso específico Mercurio (gr)	13,57 gr/cc
W (%)	25.4 %
Vol. Suelo Húmedo (Vh)(cm <sup>3</sup> )	0,67 cm <sup>3</sup>
Vol. Seco (Vs) (cm <sup>3</sup> )	0,34 cm <sup>3</sup>
peso Suelo Seco (gr.)	4,64 gr
peso del plato de porcelana (gr)	18,67 gr
peso del plato + mas mercurio desplazado (gr)	177,96 gr
peso del molde (gr)	35,57 gr
Lc (%)	18.30 %

El límite de contracción (Lc) nos muestra que a este porcentaje límite de humedad de 18.30% no se presentarán cambios de volumen y es menor a la humedad de la muestra que es de 25.4% . (Véase Tab. 6).

- Análisis granulométrico (para la arena)

Por medio del análisis granulométrico podemos determinar el tamaño efectivo coeficiente de uniformidad (Cu) y el coeficiente de curvatura Cc).

Tabla 7. Análisis granulométrico por tamizado.

Peso inicial (gr)	1133,91				
TAMIZ	DIÁMETRO	P retenido	P corregido	% retenido	% pasa
	(mm)	(gr)	(gr)	(%)	(%)
No 4	4,75	0,00	0,00	0,00%	100,00%
No 10	2,00	0,00	0,00	0,00%	100,00%
No 20	0,840	97,01	97,32	8,58%	91,42%
No 30	0,600	821,47	821,78	72,47%	18,94%
No 40	0,425	178,29	178,60	15,75%	3,19%
No 60	0,25	30,31	30,62	2,70%	0,49%
No 80	0,180	3,91	4,22	0,37%	0,12%
No 100	0,150	0,14	0,45	0,04%	0,08%
No 200	0,075	0,17	0,48	0,04%	0,04%
FONDO	0	0,10	0,41	0,04%	0,00%
	Total	1131,40	1133,91	100,00%	

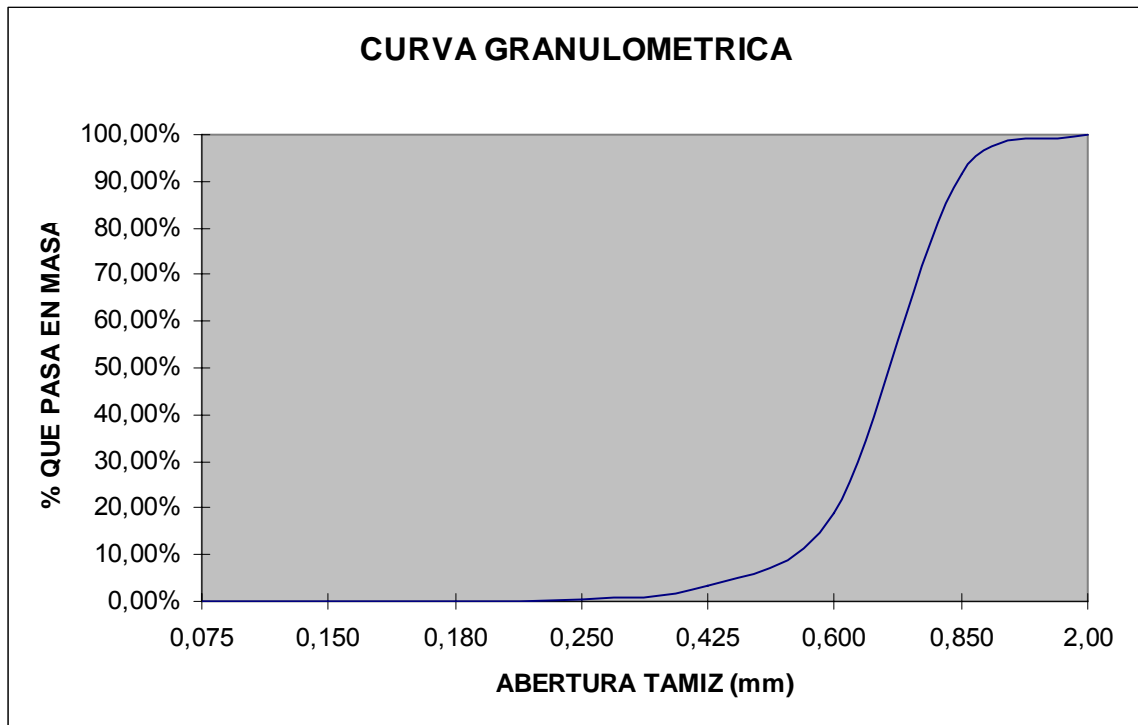


Figura 13. Curva granulométrica (arena).

Por medio la curva granulométrica mostrada en la Figura 13. obtenemos los deciles 10,30 y 60 ( $D_{10}$ ,  $D_{30}$ ,  $D_{60}$ ), de los cuales podemos deducir que:

Tamaño efectivo =  $D_{10}$  mm

Tamaño efectivo = 0.530mm

$$\text{Coeficiente de uniformidad (Cu)} = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$Cu = \frac{0.710mm}{0.530mm} = 1.34$$

$$\text{Coeficiente de curvatura (Cc)} = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}}$$

$$Cc = \frac{(0.627mm)^2}{0.530mm * 0.710mm} = 1.04$$

Como el coeficiente de uniformidad es de 1.34, nos indica que es una arena mal gradada, que los granos de arena poseen tamaños muy uniformes, y la gradación es muy uniforme.

El coeficiente de curvatura de 1.04 nos indica que consta de materiales casi planos o ligeramente cóncavas, es decir granos muy redondos.

Por medio de la curva granulométrica también podemos obtener el coeficiente de permeabilidad por medio de Hazen.

Coeficiente de permeabilidad (k) =  $C_k * (D_{10})^2$  . El resultado da en m/s

Donde  $C_k$  es un coeficiente variable entre 0.01 y 0.015 . Tomamos el valor de  $C_k=0.012$  debido a la composición de arena de cuarzo.

$$k = 0.012 * (0.530mm)^2$$

$$k = 0.00337m/s = 0.337 \text{ cm/s}$$

Este valor nos muestra la velocidad a la cual fluye el agua a través de los poros del suelo. Este valor determina según la tabla de Terzaghi y Peck para valores de permeabilidad relativa de  $k$  que es un suelo moderadamente permeable.

Este coeficiente de permeabilidad nos indica que la muestra (Caolín-Arena) posee una permeabilidad media, corroborando así la búsqueda en la mezcla.

- Cálculo de gravedades específicas ( $G_s$ )
- Método norma para arena (anteriormente citada Cáp. 2)

$$G_s = \frac{K * W_0}{W_0 + W_1 + W_2}$$

Donde :

$W_0$  = Peso suelo seco

$W_1$  = Peso picnómetro +  $H_2O$  + suelo

$W_2$  = Peso del picnómetro +  $H_2O$  a la temperatura del ambiente en gr.

$K$  = Factor de corrección basado en la temperatura del  $H_2O$ . Temperatura a  $25^\circ C$

$$G_s = \frac{0.9988 * 81.4}{81.4 + 725.1 + 673.8} = 2.7011 \text{ gr} / \text{cm}^3$$

Tabla 8. Gravedad específica de la arena.

ARENA	
PESO SUELO SECO (Wo) (gr)	81,4
PESO PICN. + H2O+ SUELO (W1) (gr)	725,1
PESO DEL PICN. + H2O A LA TEMP. DEL ENSAYO EN (gr). (w2)	673,8
FACTOR DE CORRECCION BASADO EN EL Gs DEL H2O (K) 25°C	0,9988
GS (gr/cm <sup>3</sup> )	2,7011

- Método INVIAS para el peso específico de arenas (anteriormente citada Cáp. 2)

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{B + C + S}$$

Donde :

A = Peso al aire de la muestra desecada en gr.

B= Peso del picnómetro lleno de H<sub>2</sub>O en gr.

C = Peso total del picnómetro aforado con la muestra lleno de H<sub>2</sub>O en gr.

S = Peso de la muestra saturada con superficie seca en gr.

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{498.6}{185 + 984 + 500} = 2.6951 \text{ gr/cm}^3$$

Tabla 9. Gravedad específica método INVIAS.

METODO INVIAS PARA PESO ESPECIFICO (ARENA)	
PESO AL AIRE DE LA MUESTRA DESECADA EN (gr). (A)	498,6
PESO DEL PICN AFOR. LLENO DE H2O EN (gr). (B)	185
PESO TOTAL DEL PICN. AF. CON LA MUESTRA Y LLENO H2O (gr) ( C)	984
PESO DE LA MUESTRA SATURADA CON SUP. SECA (gr) (S)	500
PESO ESPECIFICO APARENTE (gr/cm <sup>3</sup> )	2,6951

$$G_{ss} = \frac{2.7011 + 2.6951}{2} = 2.698 \text{ gr/cm}^3$$

El dato obtenido de gravedad especifica es el esperado debido a que coincide con los parámetros de una arena muy uniforme.

- Cálculo de la gravedad especifica del caolín (anteriormente citada Cáp. 2)

$$G_s = \frac{K * W_0}{W_0 + W_1 + W_2}$$

Donde :

$W_0$ = Peso suelo seco

$W_1$ = Peso picnómetro + H<sub>2</sub>O + suelo

$W_2$ = Peso del picnómetro + H<sub>2</sub>O a la temperatura del ambiente en gr.

K = Factor de corrección basado en la temperatura del H<sub>2</sub>O. Temperatura a 27°C



$$G_s = \frac{0.9983 * 149.9}{149.9 + 772.7 + 679.1} = 2.6580 \text{ gr} / \text{cm}^3$$

Tabla 10. Gravedad especifica N°1 caolín.

CAOLÍN	
PESO SUELO SECO (gr) (Wo)	149,9
PESO PICN. + H2O+ SUELO (gr) (W1)	772,7
PESO DEL PICN. + H2O A LA TEMP. DEL ENSAYO EN (gr). (w2)	679,1
FACTOR DE CORRECCION BASADO EN EL Gs DEL H2O (K) 27°C	0,9983
GS (gr/cm <sup>3</sup> )	2,6580

$$G_s = \frac{0.9983 * 148.2}{148.2 + 768.9 + 677.2} = 2.6185 \text{ gr} / \text{cm}^3$$

Tabla 11. Gravedad especifica N°2 caolín.

CAOLIN	
PESO SUELO SECO (gr) (Wo)	148,2
PESO PICN. + H2O+ SUELO (gr) (W1)	768,9
PESO DEL PICN. + H2O A LA TEMP. DEL ENSAYO EN (gr). (w2)	677,2
FACTOR DE CORRECCION BASADO EN EL Gs DEL H2O (K) 27°C	0,9983
GS (gr/cm <sup>3</sup> )	2,6185

$$G_s = \frac{2.658 + 2.6185}{2} = 2.638 \text{ gr/cm}^3$$

Para la muestras que fueron sometidas a drenaje se obtuvieron las relaciones de fase para hallar sus cambios de volumen y así poder aplicar la teoría de estados críticos, la

cual nos relaciona los estados de esfuerzos con los cambios de volumen. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 12. Relaciones de fase .

PARÁMETROS	PRESIÓN DE CÁMARA ( $\sigma_3$ )			
	0,5 (kg/cm <sup>2</sup> )	1,0 (kg/cm <sup>2</sup> )	1,5 (kg/cm <sup>2</sup> )	2,0 (kg/cm <sup>2</sup> )
WT (gr)	299,55	299,88	299,15	299,7
VT (cm <sup>3</sup> )	175,11	173,56	174,96	173,93
$\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1,71	1,73	1,71	1,72
V <sub>v0</sub> (cm <sup>3</sup> )	63,326	61,659	63,374	62,096
e <sub>0</sub>	0,5664	0,5510	0,5675	0,5552
V <sub>Soil</sub> (cm <sup>3</sup> )	111,778	111,901	111,628	111,834

Donde:

WT = Peso total muestra

VT = Volumen total

$\gamma_d$  = Peso unitario seco.  $\gamma_d = WT/VT$

V<sub>v0</sub> = Volumen de vacíos.  $V_{v0} = VT - (VS - VC)$

VS = volumen de arena

VC = volumen caolín

e<sub>0</sub> = Relación de vacíos.  $e_0 = \frac{V_{v0}}{V_s}$

V<sub>Soil</sub> = Volumen de suelo  $V_{Soil} = V_c + V_s$

$v$  =Volumen específico  $v = 1 + e$

- Los resultados anteriores nos proporcionaron datos fijos para dar origen a las tablas mostradas en el anexo A (relaciones de fase).

Las siguientes muestras, ensayos triaxiales y toma de datos fueron realizados en los laboratorios de suelos del departamento de ingeniería civil de La Universidad Nacional de Colombia.

Al tener los resultados de los ensayos triaxiales procedimos a calcular para cada una de las diferentes presiones de cámara los diferentes parámetros, que son:

El esfuerzo final ( $\sigma_1$ ) obtenido de la relación  $\sigma_1 = \Delta\sigma + \sigma_3$

El centro del círculo ( $s$ ) obtenido de la relación  $s' = \frac{1}{2}(\sigma_1' + \sigma_3')$

El radio del círculo ( $t$ ) obtenido de la relación  $t' = \frac{1}{2}(\sigma_1' - \sigma_3')$

El esfuerzo desviador ( $q$ ) obtenido de la relación  $q' = (\sigma_1' - \sigma_3')$

El esfuerzo normal promedio ( $p$ ) obtenido de la relación  $p' = \frac{1}{3}(\sigma_1' + 2\sigma_3')$ .

Los resultados de estos parámetros están en las tablas que se muestran posteriormente en los anexos (A y B).

Para estos resultados se obtuvieron diferentes gráficas que muestran las trayectorias de esfuerzos en drenados y no drenados, las cuales se muestran a continuación:

- Ensayos drenados:

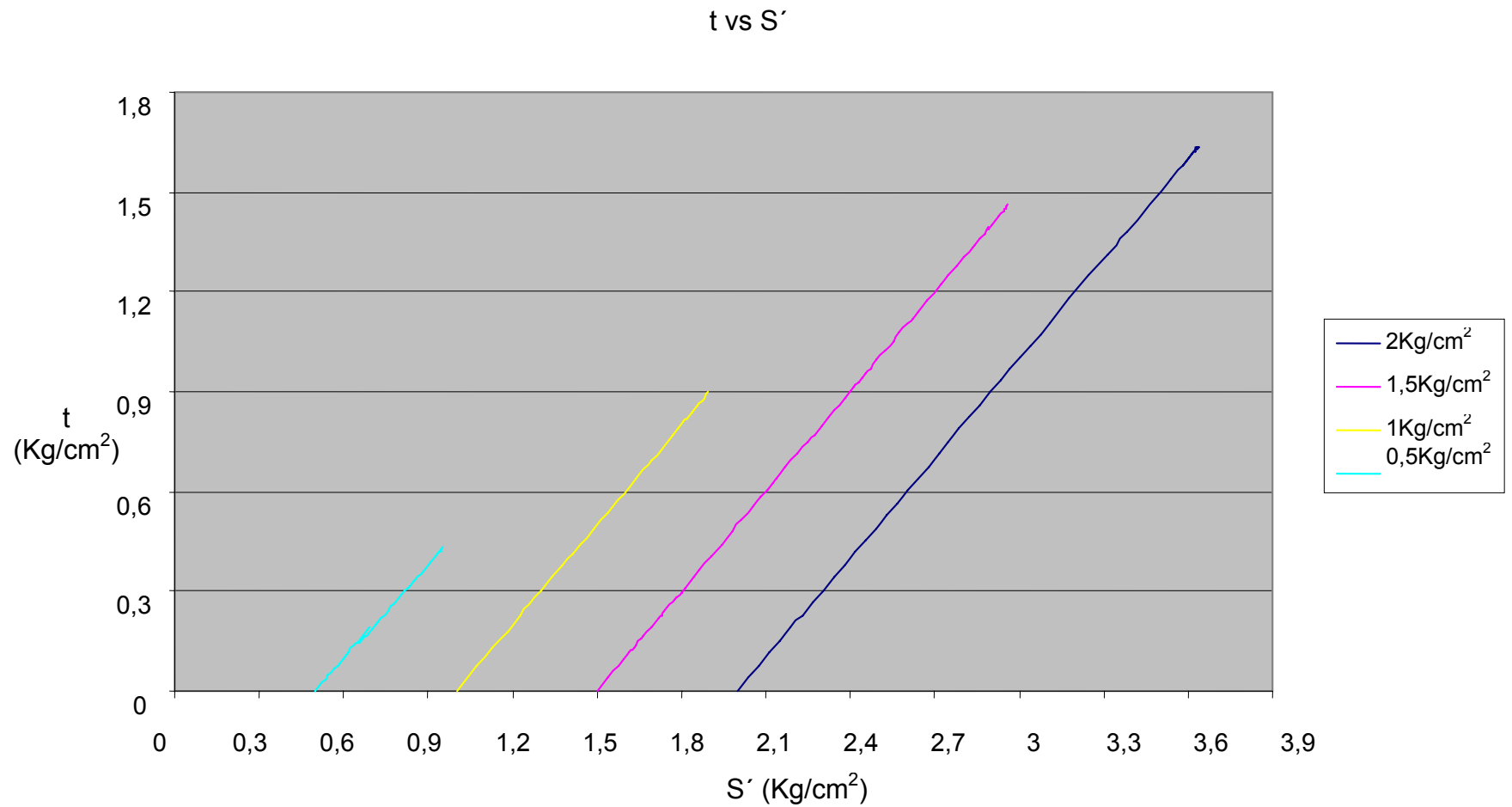


Figura 14. Trayectoria de esfuerzos en el espacio  $t'/s'$ .

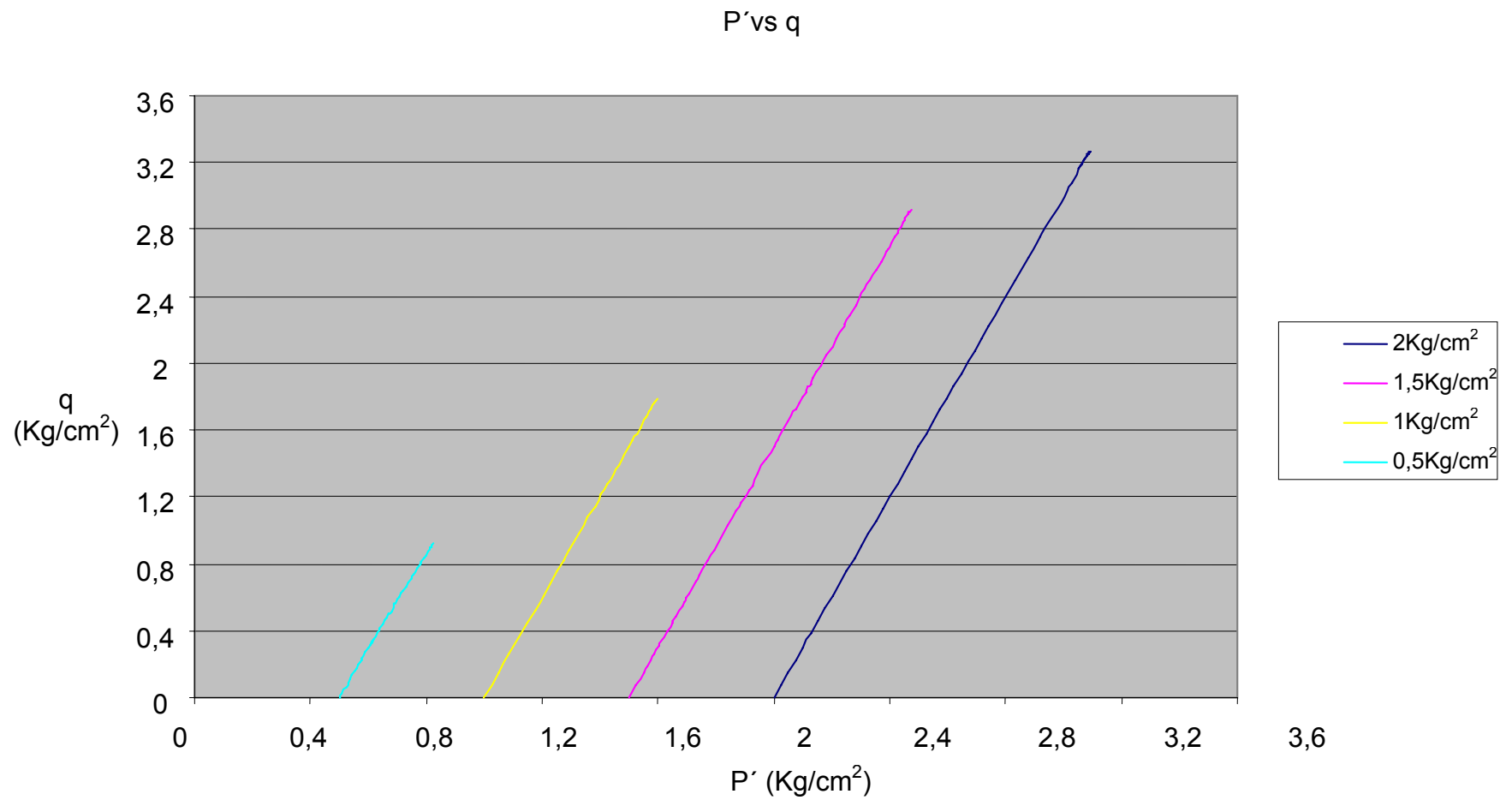


Figura 15. Trayectoria de esfuerzos en el espacio  $P'/q'$ .

En la figura 14. se muestra una trayectoria de esfuerzos en el espacio  $t'/s'$ , la cual nos representa el comportamiento de nuestro suelo artificial (caolín-arena) en condiciones drenadas.

Esta deformación es plana en la cual los esfuerzos efectivos y total siguen la misma trayectoria por ello se visualiza una sola recta.

La figura 15. nos muestra una trayectoria de esfuerzos en el espacio  $P'/q'$ , en la cual  $q'$  es el esfuerzo desviador y  $p'$  el esfuerzo promedio.

Este estado de esfuerzos representa con facilidad las verdaderas condiciones triaxiales, es decir se reflejan con facilidad los esfuerzos biaxialmente simétricos y triaxiales verdaderos.

Los resultados obtenidos son los esperados debido a que sus trayectorias son coherentes y compatibles con las teóricas.

- No drenados

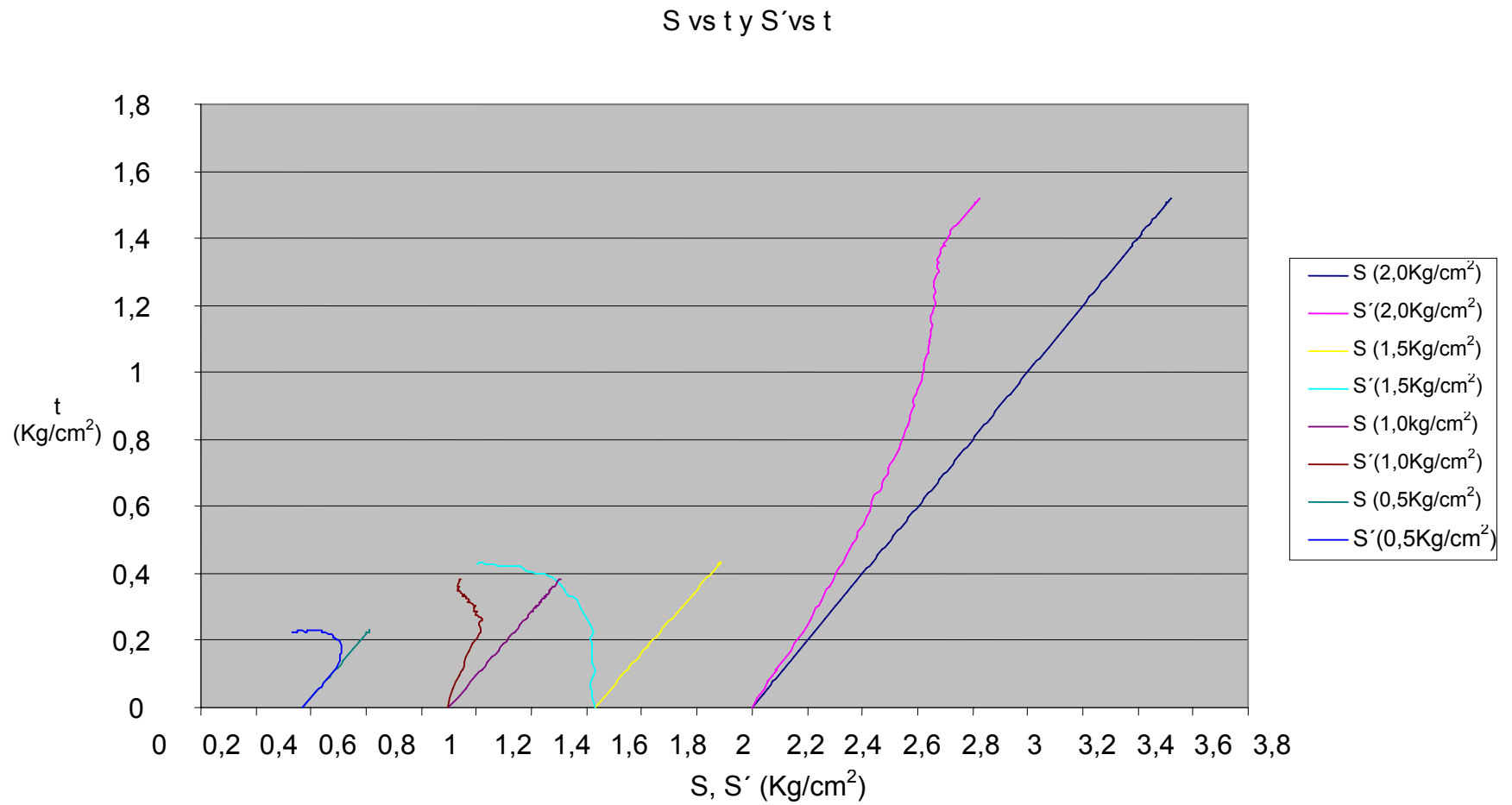


Figura 16. Trayectoria de esfuerzos en el espacio  $t/s$  y  $t'/s'$ .



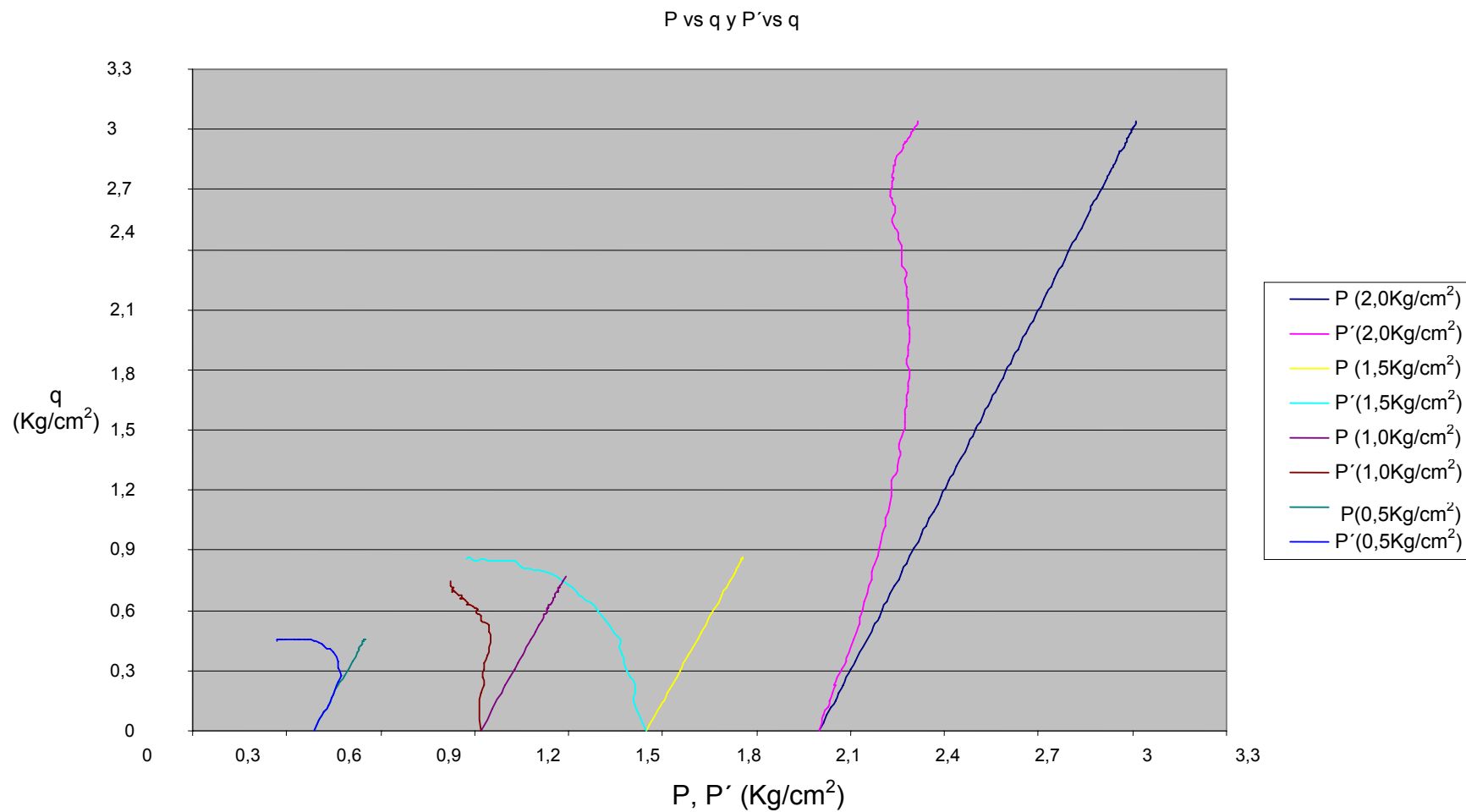


Figura 17. trayectoria de esfuerzos en el espacio P/q y P'/q' .

La figura 16. nos muestra un estado de esfuerzos en el espacio  $t'/s'$ , que representa una deformación plana para esfuerzos totales y efectivos en una prueba no drenada.

Observamos que la trayectoria de la recta  $s$  es constante debido a que se deforma proporcionalmente al esfuerzo aplicado, a diferencia de la  $s'$  en la cual los esfuerzos efectivos hacen cambiar en forma inconstante la deformación.

La figura 17. está gobernada por la trayectoria de esfuerzos  $p'/q'$ , en la cual el esfuerzo desviador  $q'$  y el esfuerzo promedio  $p'$  representan los esfuerzos biaxialmente simétricos y triaxiales reales.

Los resultados obtenidos parten del punto cedente, es decir, a partir del cual comienza realmente el aumento de esfuerzos y la deformación.

Los resultados obtenidos fueron los esperados, pues su tendencia coincide con la tendencia teórica.

Al obtener los resultados de los volúmenes específicos se modelaron diferentes gráficas relacionando los estados de esfuerzos con sus cambios de volumen para cada presión de cámara.

Estos cambios de volumen se producen solamente en las pruebas drenadas, es decir solo se analizarán estas debido a que en las pruebas no drenadas no hay cambios de volumen.

Estas se muestran a continuación con su respectivo análisis:

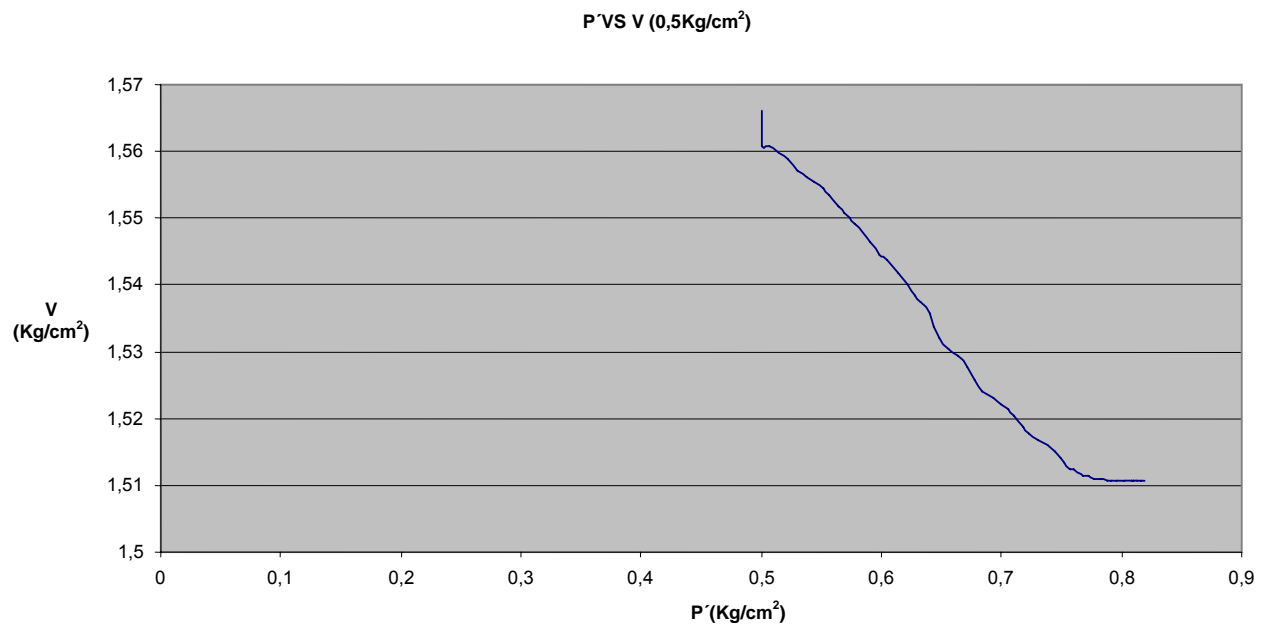


Figura 18. Trayectoria de esfuerzos en el espacio  $P/v$ .

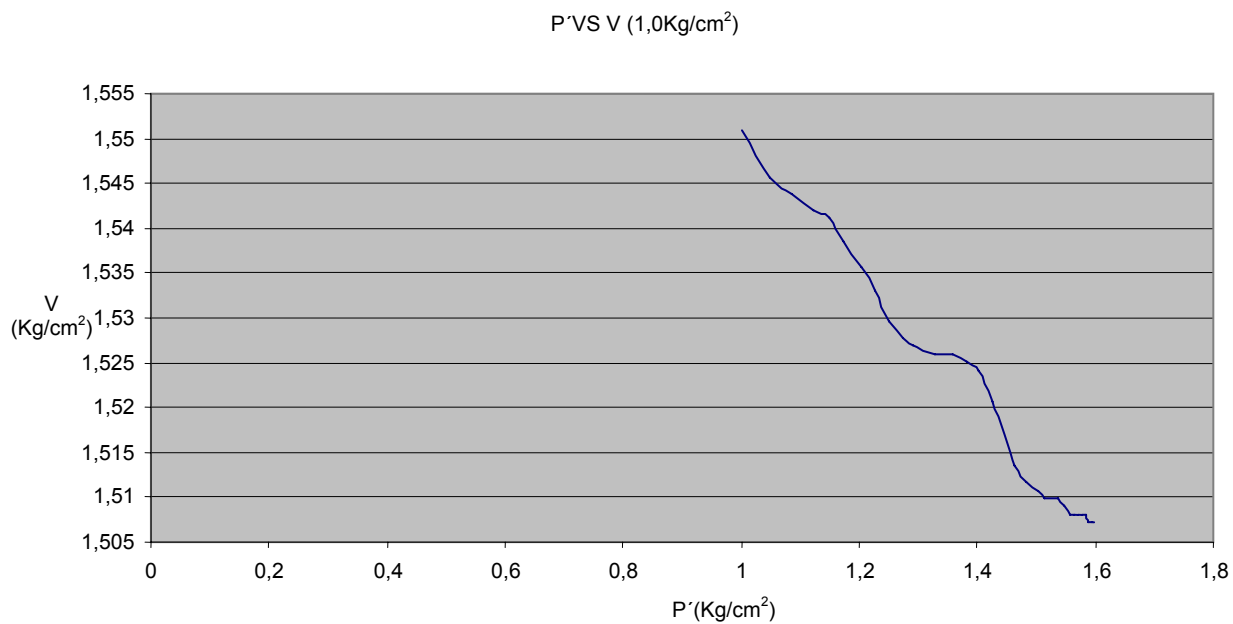


Figura 19. Trayectoria de esfuerzos en el espacio P/v.

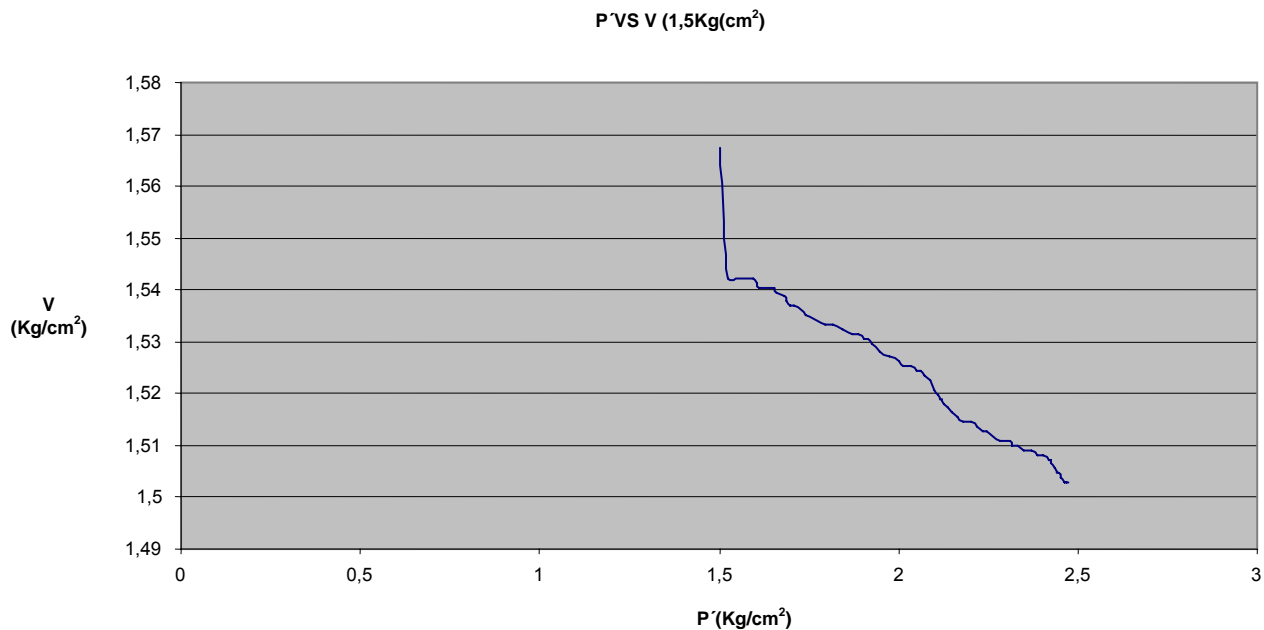


Figura 20. Trayectoria de esfuerzos en el espacio P/v.

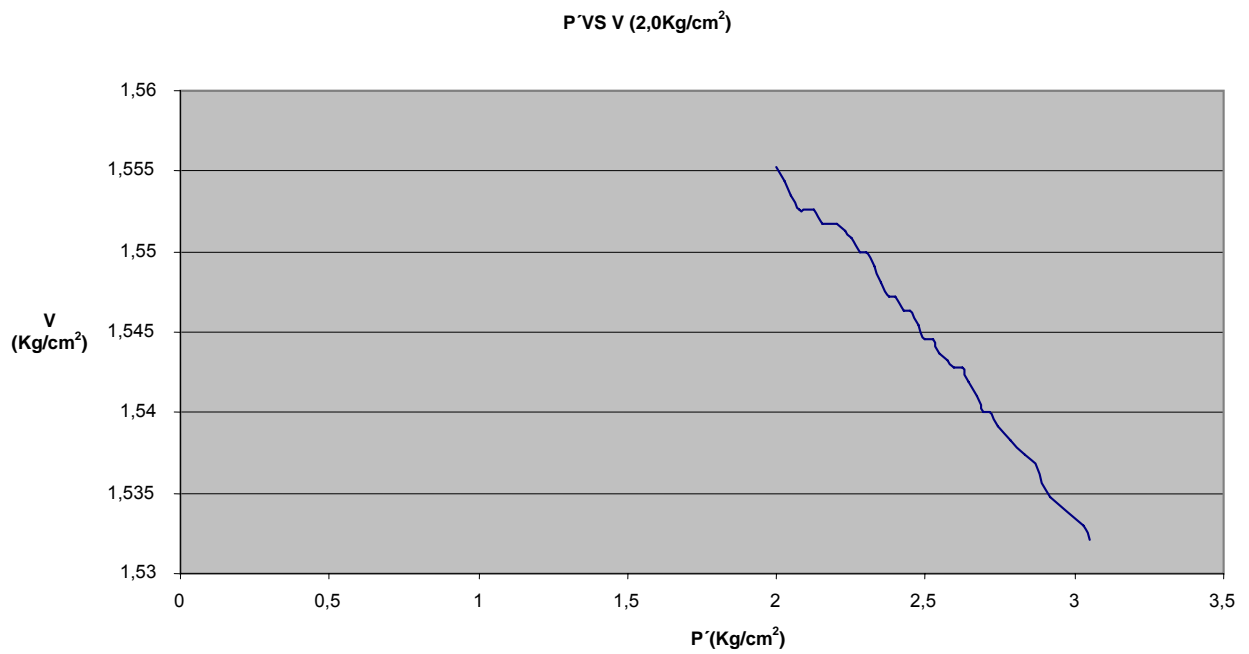


Figura 21. Trayectoria de esfuerzos en el espacio P/v.

Las figuras 18, 19, 20 y 21. muestran la relación de los cambios de volumen producidos por el drenado en la prueba (v) con el estado de esfuerzos (p').

Al tener los parámetros necesarios para determinar la resistencia al corte procedimos a modelar los círculos de Mohr con los esfuerzos inicial y final ( $\sigma_3$  y  $\sigma_1$ ) para cada una de las diferentes presiones de cámara y cada uno de los ensayos (drenados y no drenados), teniendo como resultado final la envolvente de falla para cada ensayo realizado. Los gráficos de estos círculos se muestran a continuación.

La figura 22. muestra el estado de esfuerzos de la prueba drenada sometida a diferentes presiones de cámara ( $0.5\text{Kg/cm}^2$ ,  $1.0\text{Kg/cm}^2$ ,  $1.5\text{Kg/cm}^2$ ,  $2.0\text{Kg/cm}^2$ ) y la línea de falla. Esta línea nos ayuda a identificar la cohesión que existe entre las partículas de la muestra estudiada, la cual es de  $0.0116\text{ Kg/cm}^2$  algo mínima debido a que la muestra posee alta presencia de arena (70%). La cohesión de este suelo artificial la suministra el caolín (30%) ya que este material posee propiedades higroscópicas ( absorbe agua y esto hace que se adhiera a otros materiales).

Las figuras 23. y 24. nos muestran el estado de esfuerzos de la prueba no drenada o rápida, en la cual podemos observar la línea de falla para esfuerzos totales ( $\sigma_3, \sigma_1$ ) y la línea de falla para esfuerzos efectivos ( $\sigma_3', \sigma_1'$ ). Esta línea de falla nos ayuda a encontrar la cohesión existente entre las partículas, la cual es  $0.059\text{Kg/cm}^2$  para esfuerzos totales y  $0.0416\text{Kg/cm}^2$  para esfuerzos efectivos. Estas cohesiones varían para cada estado de esfuerzos debido a la presión de poros variable en cada tipo de esfuerzo.

- Círculos de Mohr para pruebas drenadas.

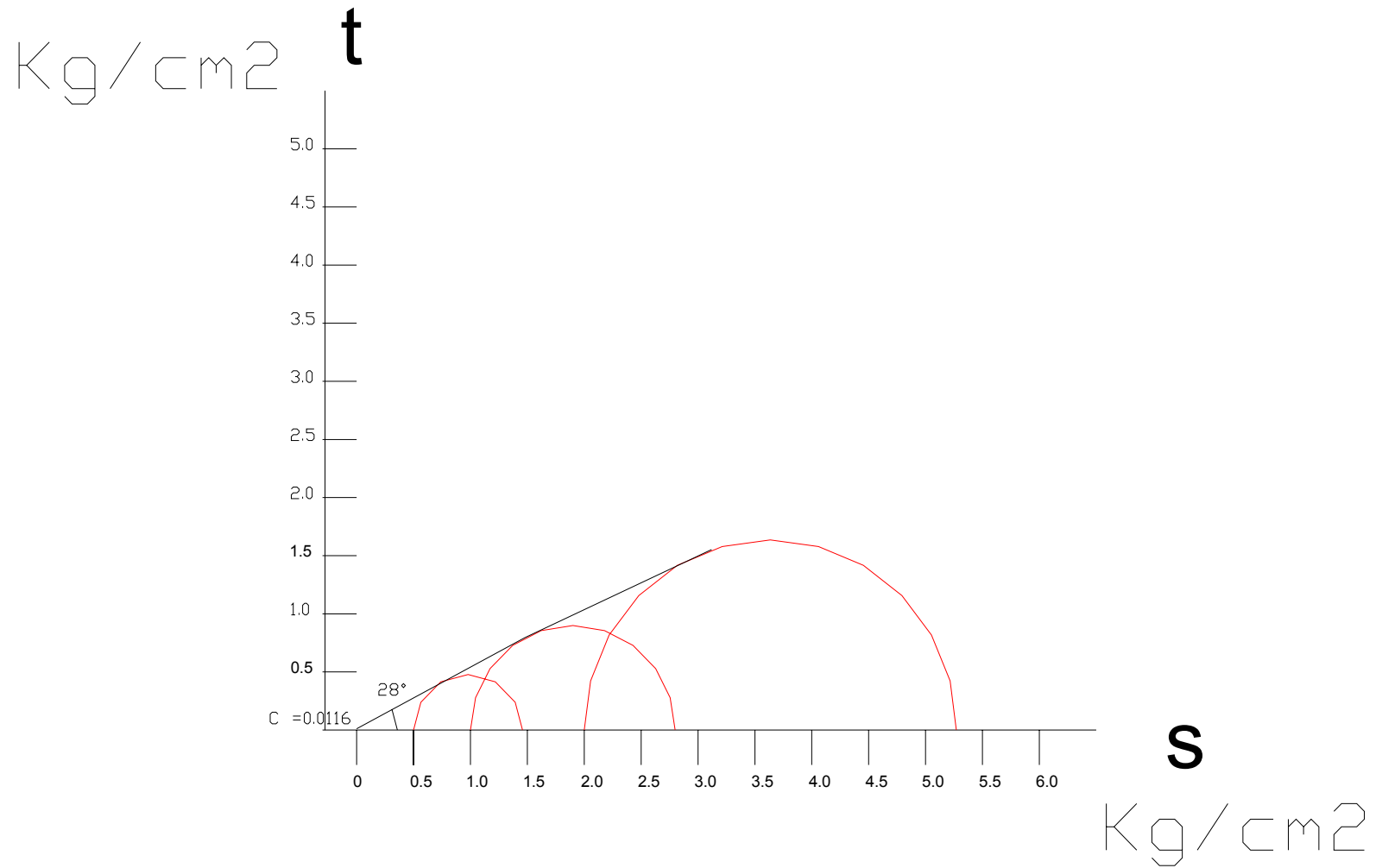


Figura 22. Circulo de Mohr para pruebas drenadas.

- Círculos de Mohr para pruebas no drenadas (Esfuerzos totales).

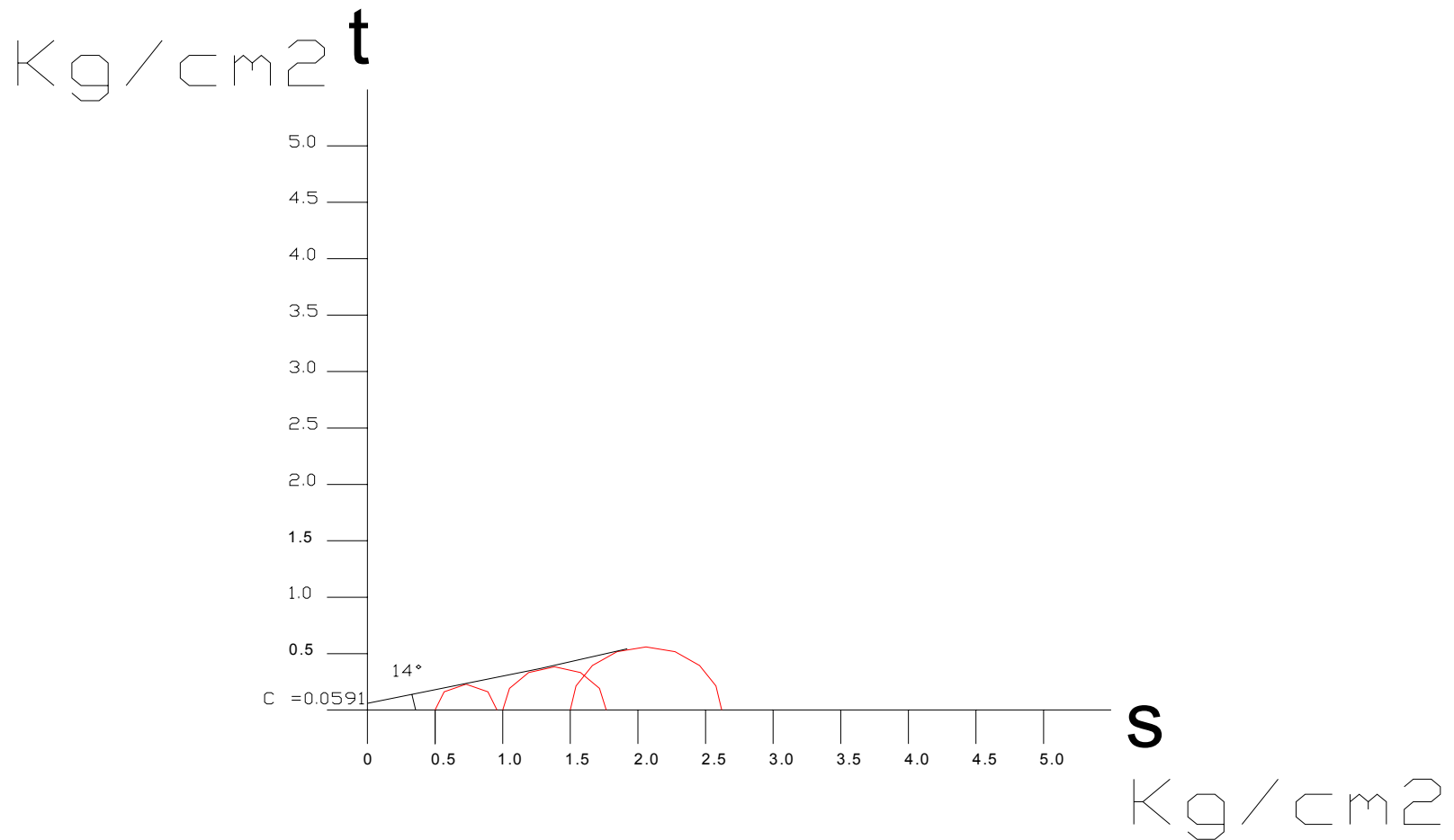


Figura 23. Círculos de Mohr y envolvente de falla



- Círculos de Mohr para pruebas no drenadas (Esfuerzos efectivos).

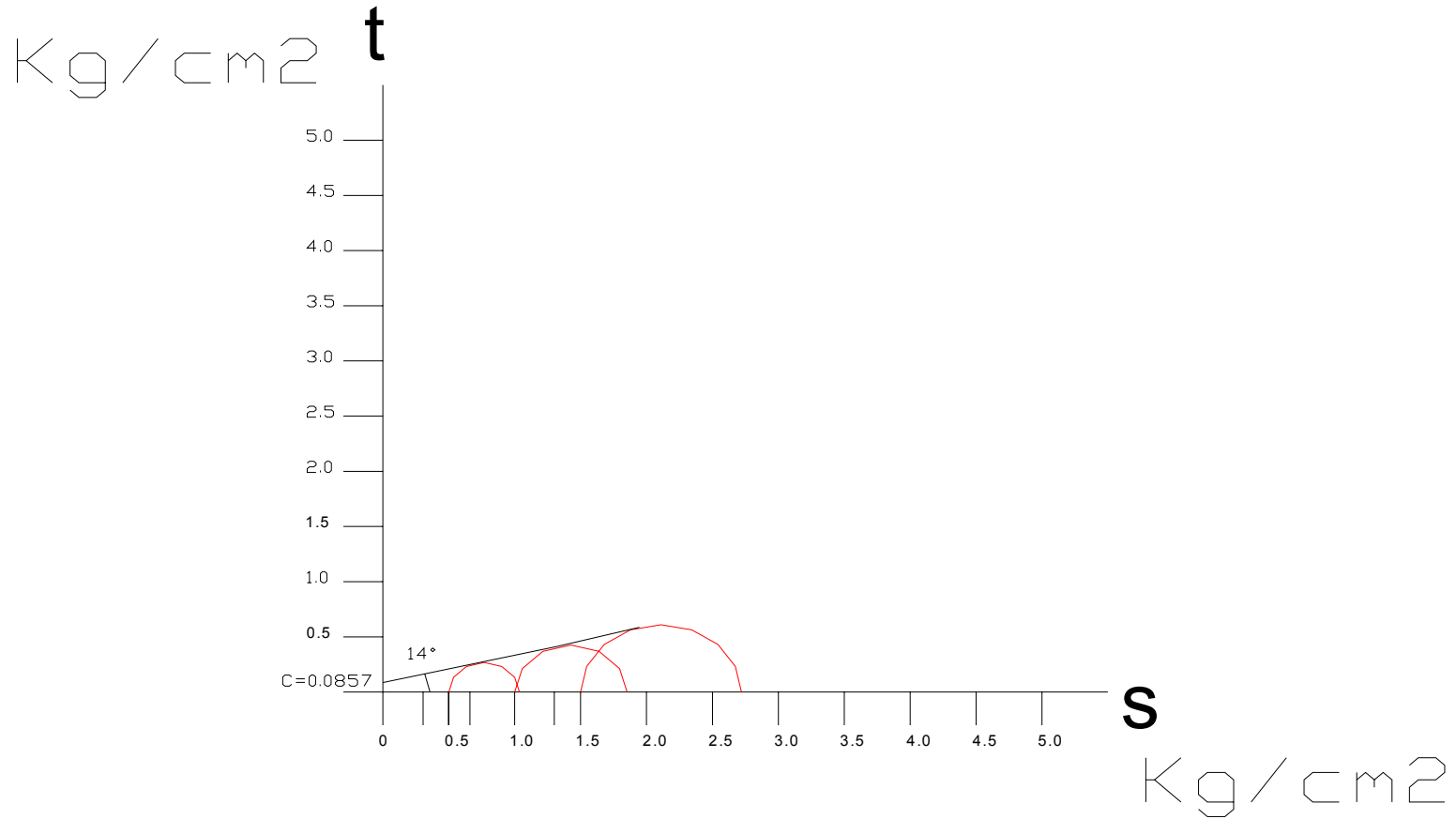


Figura 24. Círculos de Mohr y envolvente de falla.

Los resultados anteriormente obtenidos en las pruebas de caracterización y triaxiales son la introducción a la teoría de estados críticos en los suelos. Esta teoría solo es aplicable para suelos sometidos a drenaje, y en nuestro caso normalmente consolidados.

Esta teoría nos muestra una línea de falla llamada línea de estado crítico, la cual es una curva sobre una superficie límite de estado que representa la flexibilidad de un suelo, es decir, es el límite entre la elasticidad y la plasticidad de este. Esta línea divide la curva de superficie en dos estados límites, el de Roscoe y el de Hvorslev. En la superficie límite de estado de Roscoe se encuentran los suelos normalmente consolidados, los cuales presentan un comportamiento elástico y en la superficie límite de estado de Hvorslev se encuentran los suelos preconsolidados que se comportan de forma plástica.

Estos principios nos ayudan a identificar la superficie en la cual se encuentra nuestro suelo, la cual es la de Roscoe debido a que este es normalmente consolidado y su comportamiento va a estar regido por la elasticidad. Esto nos ayuda a construir de forma interactiva y con información adicional un modelo de estado crítico que nos presente la superficie y sus diferentes vistas.

La figura 25. nos muestra un aspecto tridimensional de la superficie límite de estado, la cual está compuesta por la superficie límite de Roscoe (B-H-G-A), la superficie límite de Hvorslev (B-D-A-C) y la superficie de corte de no tensión (C-D-F-E).

La figura 26. nos muestra las curvas límites tales como la línea de estado crítico (A-B), la línea de consolidación normal (G-H) y la línea de corte de no tensión (C-D).

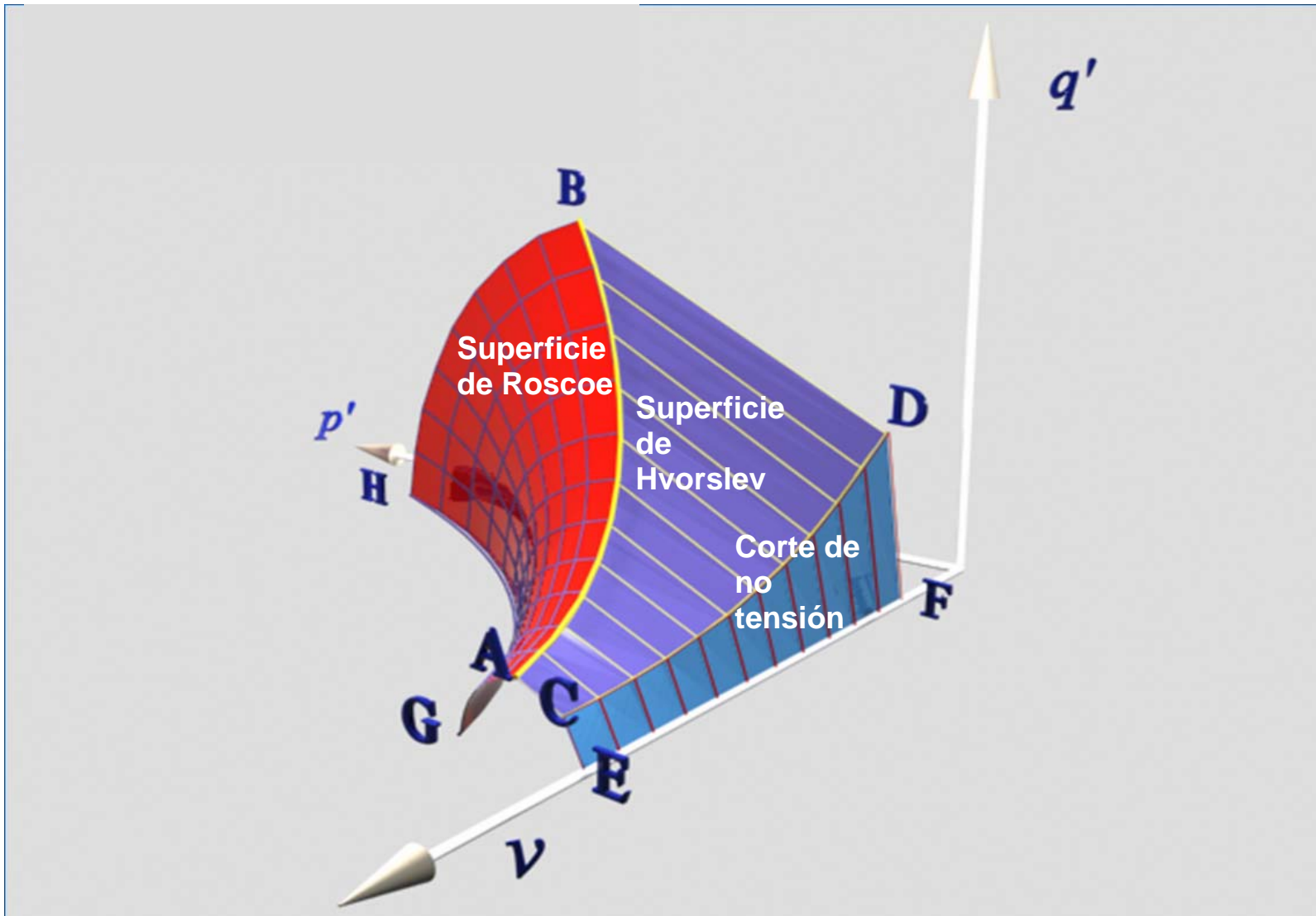


Figura 25. Aspecto tridimensional de la superficie de estado límite.

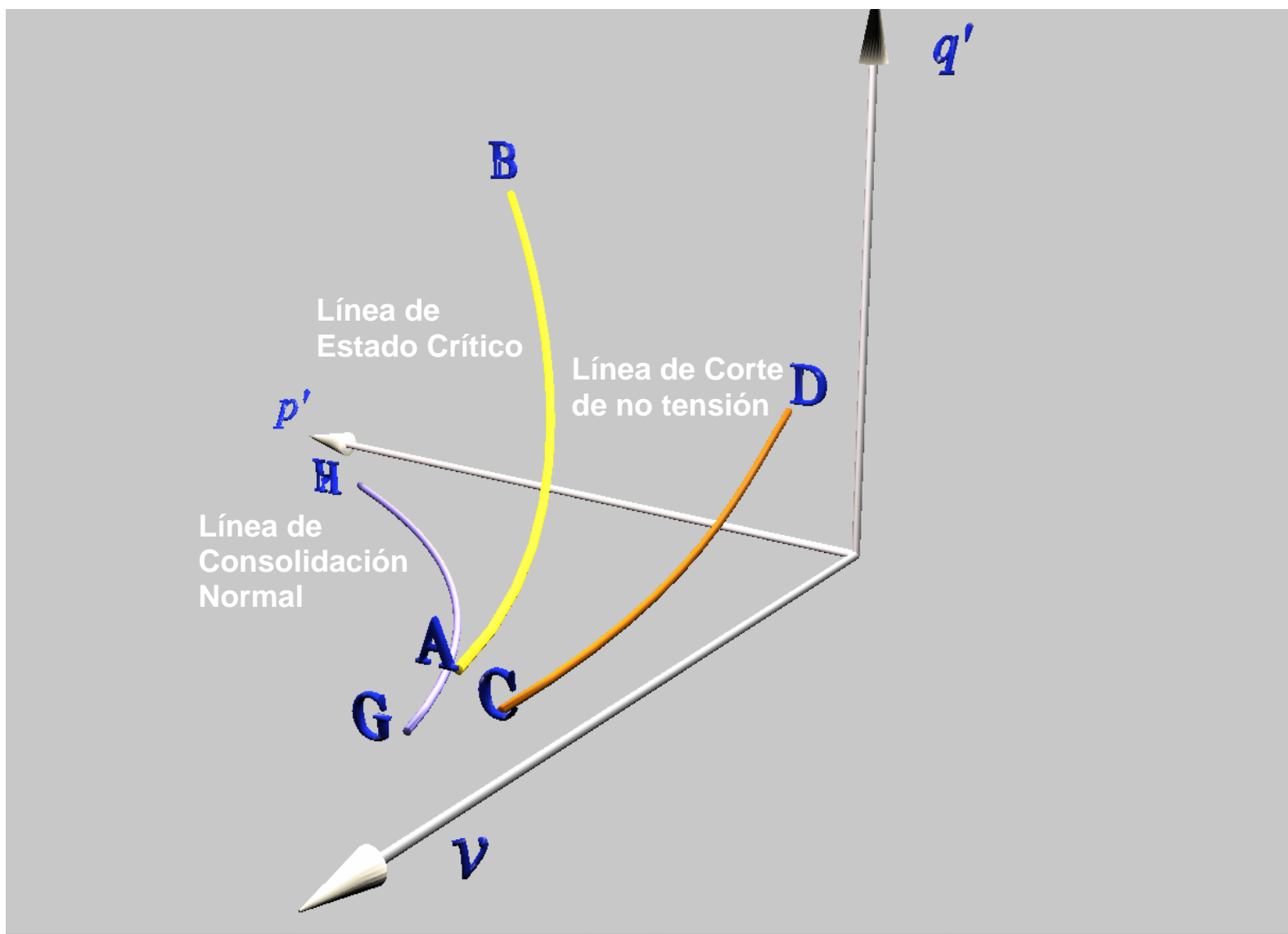


Figura 26. Curvas limites de estado critico.

#### 4.1.3 Desarrollo del Software

1. La información del marco teórico se importó de Word a PowerPoint® y se direccionó hacia la plataforma. Este hipervínculo nos proporcionará información clara y concisa sobre los temas tratados en el software.

2. Los círculos de Mohr y las gráficas de corte directo se copiaron como imágenes y se trasladaron a PowerPoint®. Al obtener estas imágenes se direccionaron hacia la plataforma del software. Esta parte es estática y se montó en el software para ampliar la parte didáctica.

3. Las tablas de Excel® obtenidas de las pruebas triaxiales se llevaron a una matriz para relacionarlas con los demás hipervínculos. Esta parte del programa funciona con Office y es direccionado hacia Excel®.

Lo anteriormente mencionado posee tablas en las cuales se pueden trasladar datos reales de triaxiales para obtener resultados y gráficos para pruebas drenadas y no drenadas, es decir es dinámica. Esta parte está asociada a la didáctica e interactividad del software.

4 .Basados en las tablas de Excel que contienen los datos, se construyeron las gráficas (p, q y v) en MathCad® con el siguiente procedimiento:

- Se importaron las tablas como nuevos componentes en MathCad®.
- Se le asignan nombres a la cantidad de variables que deseamos graficar, que en este caso son tres. p, q y v.
- Cuando le asignamos los nombres, a las tablas, le asignamos un rango de trabajo a cada variable. Por ejemplo, a la variable P le corresponde en la tabla de Excel® adjuntada en MathCad® la dirección R, 63; lo q ese hace es enunciar ese rango dentro de las variables de salida en MathCad®. En este momento lo que tenemos concretamente es, asignado un rango dentro de la tabla de Excel® importada en MathCad® a una variable.
- Asociado este rango a una variable; lo que hacemos finalmente es graficar estos rangos con una gráfica de superficie en 3D.
- Colocamos una imagen de superficie en cualquier parte de la pantalla dentro del programa MathCad®, y le ingresamos las variables que queremos graficar (p,q,v). Y el programa automáticamente genera la gráfica en 3 dimensiones. Hay que tener en cuenta que las gráficas se generan cuando el campo de gráfica está justo debajo de la tabla o el rango de datos al cual pertenecen sus variables.

Esta parte del programa posee la opción de importar los datos de Excel® para graficar en 3D estos, es decir es dinámica y a la vez interactiva ya que se pueden modelar múltiples resultados e interrelacionar los estados de esfuerzos con los cambios de volumen.

5. Se construyeron las gráficas en el programa Swiff Chart® de acuerdo a los datos obtenidos en las pruebas. Este procedimiento se realiza de la misma manera que en Excel®, se importan los datos, se asignan variables y se construye la gráfica.

- Se exporta la gráfica con formato "\*.swf". Este formato es un archivo de película de Flash®.
- En el programa Flash® se importan las gráficas para poder editarlas y generarles movimiento. Este tipo de animaciones se realizan de tal forma que se exportan las animaciones a un formato de películas tipo flash, para dejarlos como ejecutables y poderlos correr directamente desde la presentación principal en PowerPoint®.

6. La elaboración del aspecto tridimensional se llevo a cabo en 3Dmax®. en base a unas gráficas previamente estudiadas de la teoría de estados críticos de Atkinson, cuyo contenido fue la base del desarrollo de esta parte del trabajo, y ya que se disponía de las vistas traseras y superior de las superficies, se realizó una grilla, que permitió



conservar las proporciones adecuadas al generar las trayectorias tridimensionales dentro de 3D Studio MAX®, que luego generarían las superficies.

Los planos ABCD y CDEF se generaron dentro de 3Dmax® y la superficie curva ABHG usando en AutoCad® el comando EdgeSurf, que genera una superficie interpolada entre cuatro arcos, arcos que si se crearon en 3Dmax®.

Otros objetos gráficos de las escenas generadas como ejes y textos, se modelaron y extrudieron en la aplicación de animación con la que también se les otorgó algo de movimiento.

El lenguaje utilizado para representar todas las superficies se conoce como VRML (Virtual Reality Modeling Language), un Standard ampliamente utilizado en Internet para visualizar en tiempo real entornos 3D e interactuar con ellos.

Mediante un visor VRML como CORTONA es posible interactuar con los modelos generados en 3Dmax®, las diferentes cámaras que se ubican en las escenas, son automáticamente interpoladas por el visor para producir una animación suave y que permita observar con claridad los puntos de vista de interés.

3D Studio MAX® o simplemente 3Dmax®, es un reconocido software para el modelamiento y animación en 3D, ampliamente usado en la industria y con novedosas e interesantes aplicaciones como ésta.

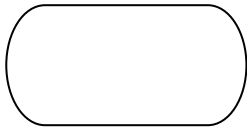
Es producido por la empresa Autodesk que es reconocida mundialmente por aplicaciones como AutoCad®, por la importante trayectoria que ha tenido y sus significativos aportes al mundo de la computación grafica asistida por computador.

Cortona VRML Client, es un visor para VRML, que funciona en Browsers como Microsoft Internet Explorer® y Mozilla Firefox®, probablemente dos de los paquetes de software más utilizados en la Internet.

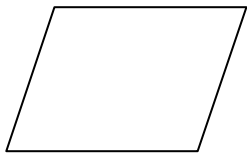
Por supuesto el visor VRML luego de instalado, permite la incrustación y vinculación de este tipo de objetos en aplicaciones como Microsoft PowerPoint®, que permitió integrar los diversos tipos de aplicaciones utilizados de una forma coherente y ordenada.

#### 4.1.4 Diagrama de flujo.

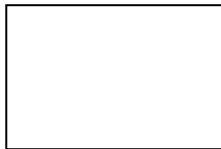
Convenciones de los algoritmos:



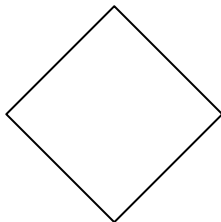
Terminal (representa el inicio y el final de un programa).



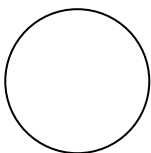
Entrada/Salida (Cualquier tipo de introducción de datos).



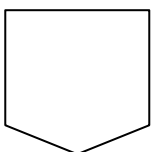
Proceso (Cualquier tipo de operación que pueda originar cambio de valor formato o gráfico).



Decisión (Indica operaciones lógicas o comparaciones y en función del resultado indica que camino seguir).



Conector (En la misma página).



Conector (Fuera de página).

- En el software los datos de entrada de los ensayos drenados están en color naranja y los de operación están en color verde.(ver Anexo F. **RESCORT.V1**).
- En el software los datos de entrada de los ensayos no drenados están en color amarillo y los de operación están en color verde.(ver Anexo F. **RESCORT.V1**).
- Los procesos mostrados en los algoritmos son los mismos para presiones de cámara de  $0.5\text{kg/cm}^2$ ,  $1.0\text{ kg/cm}^2$ ,  $1.5\text{kg/cm}^2$  y  $2.0\text{ kg/cm}^2$ , en ensayos drenados y no drenados.

A continuación se presentan los algoritmos para la operación del software **RESCORT.V1** respecto a los resultados de una prueba triaxial para ensayos drenados y no drenados (hipervínculo citado como tablas Excel® en la presentación del software).

Figura 27. Algoritmo para obtener el área, volumen y peso unitario de la muestra para ensayos drenados y no drenados.

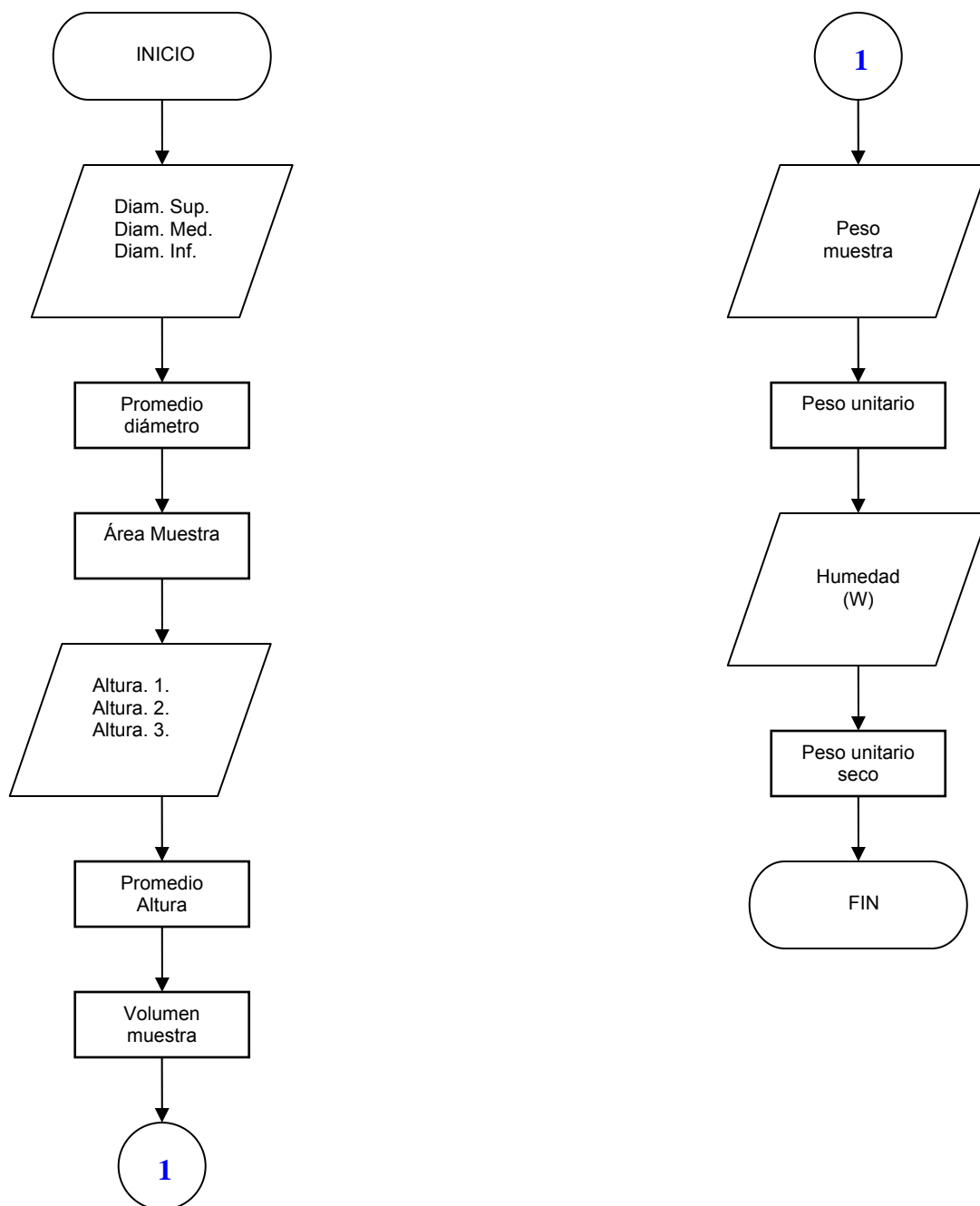


Figura 28. Algoritmo para obtener gráfica de la curva de consolidación para ensayos drenados y no drenados.

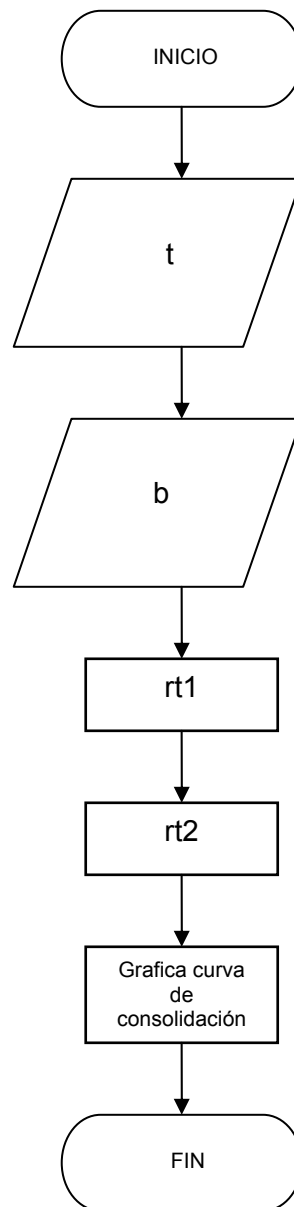
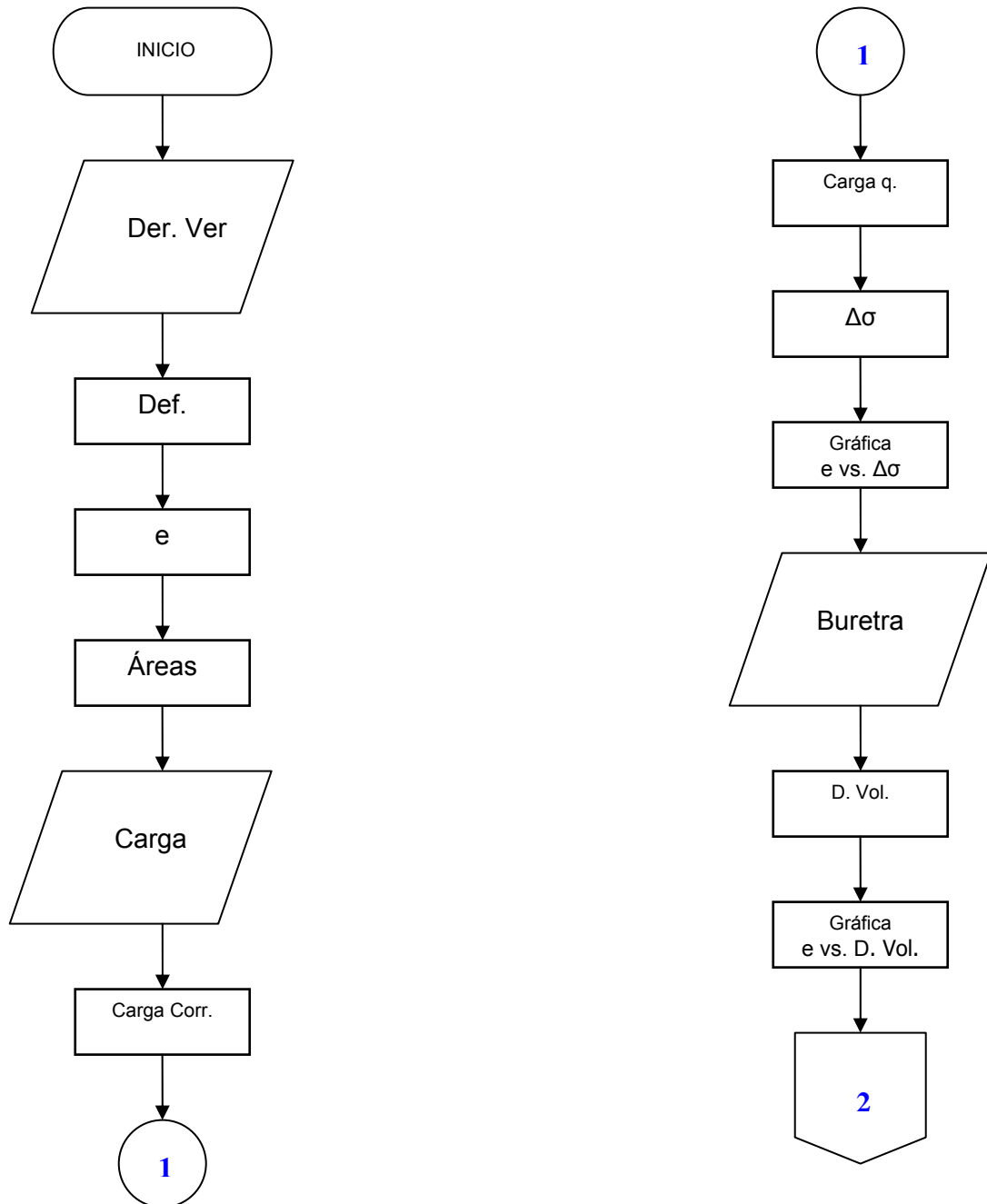
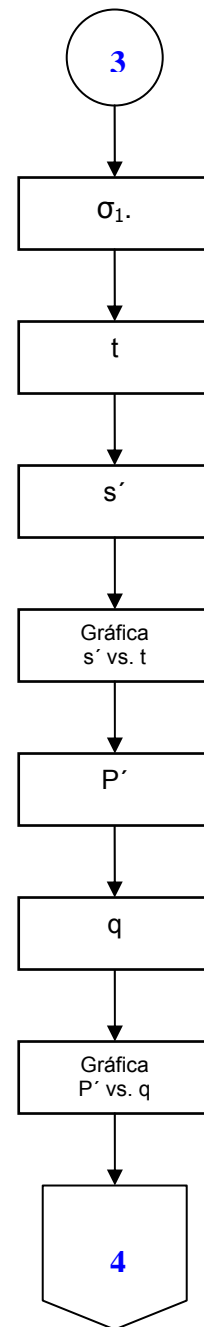
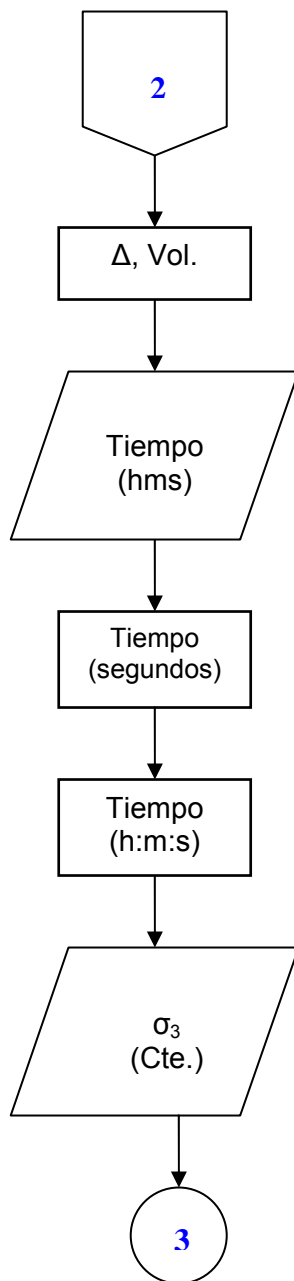


Figura 29. Algoritmo para obtener resultados y gráficos del ensayo triaxial drenado.







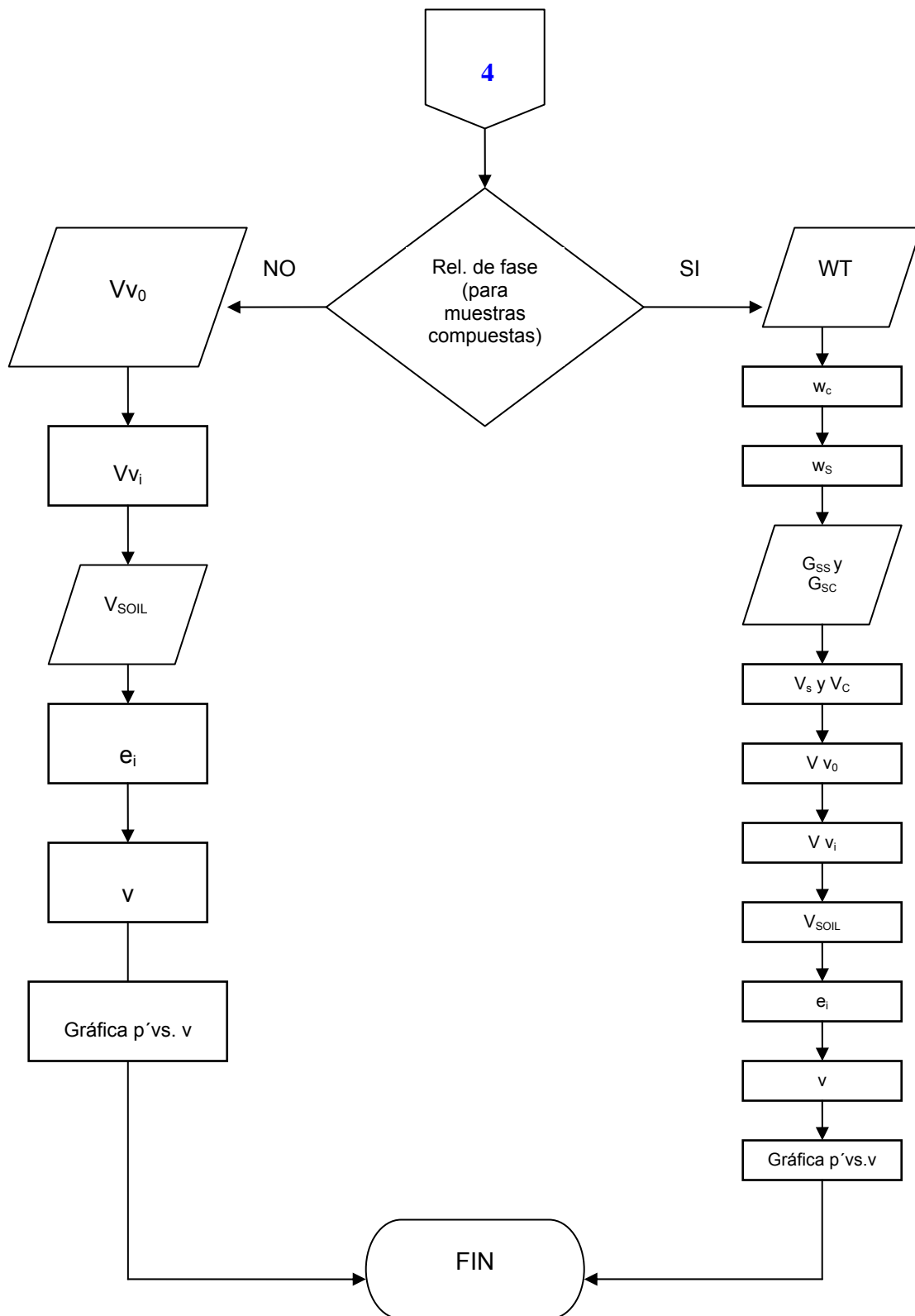
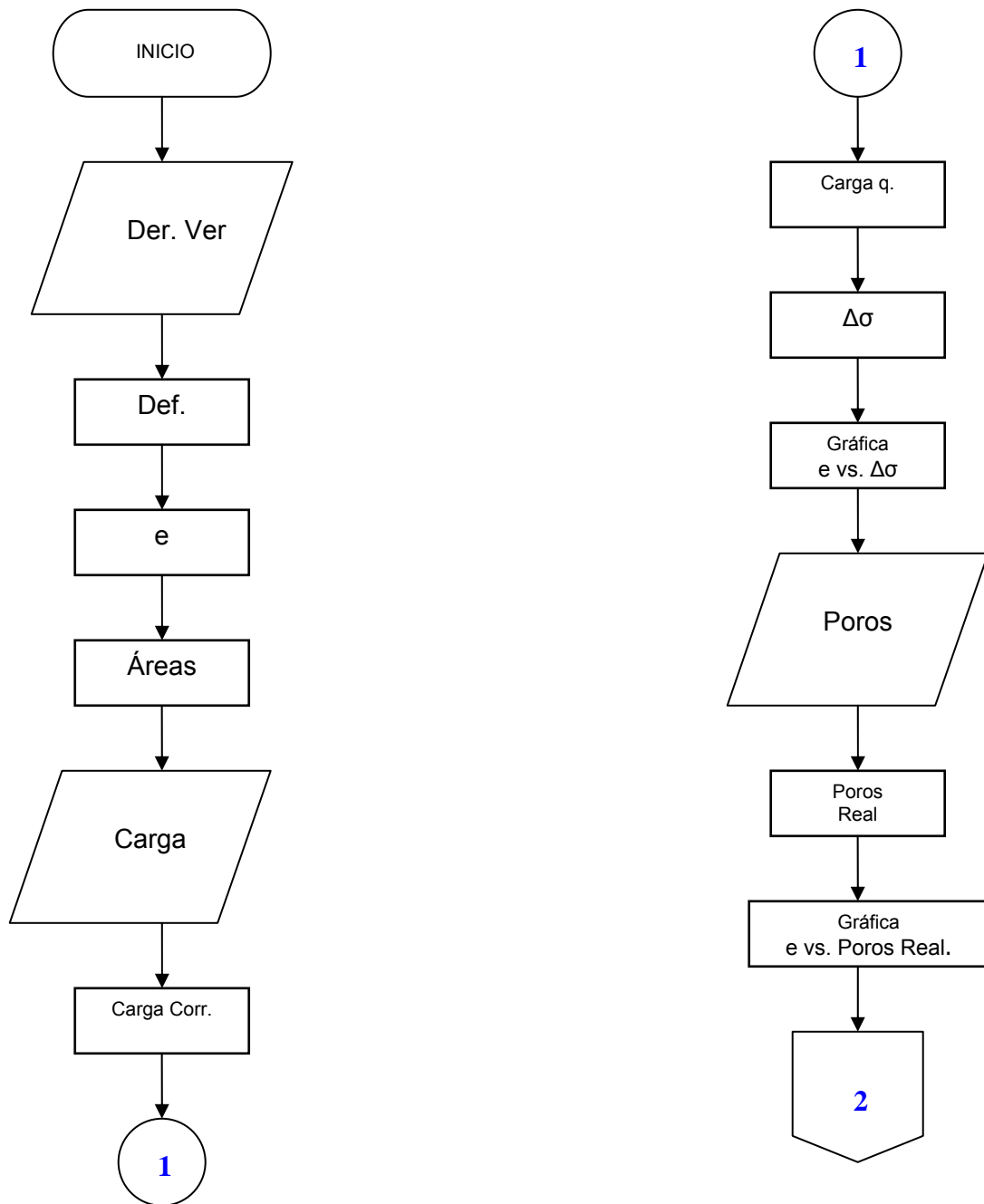
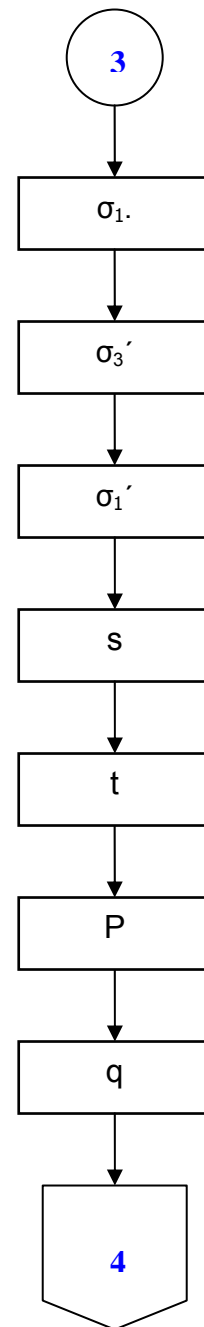
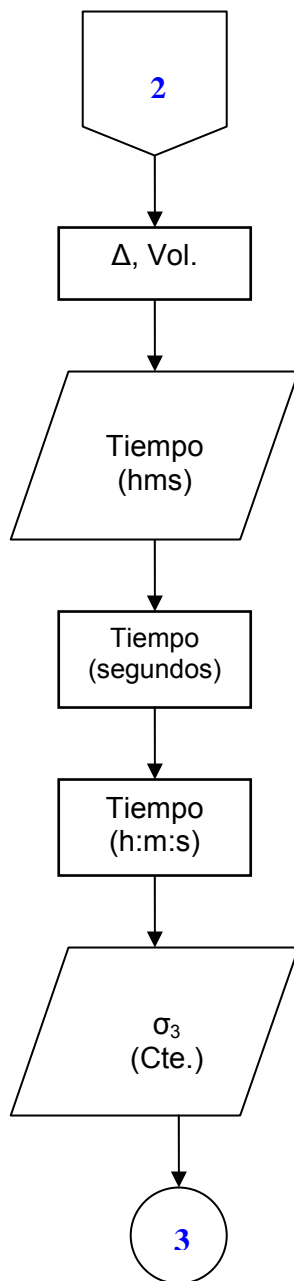
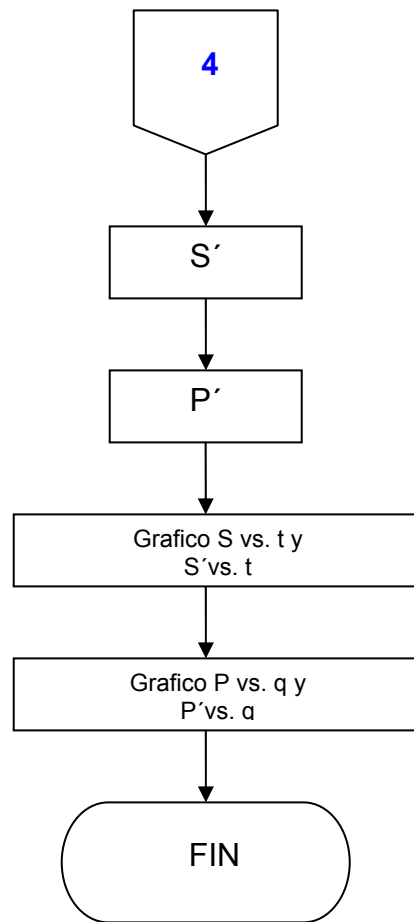


Figura 30. Algoritmo para obtener resultados y gráficos del ensayo triaxial No drenado.







## 6. CONCLUSIONES

- La realización del presente trabajo investigativo permitió la complementación de los conceptos adquiridos como estudiantes durante el proceso de formación en la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad de La Salle con el desarrollo práctico, didáctico, interactivo e innovador.
- Al desarrollarse el software con datos de pruebas reales el usuario tiene la certeza de visualizar, analizar y manipular resultados auténticos semejantes a la resistencia al corte de un suelo.
- Por medio del software contribuimos a facilitar la comprensión de la resistencia al corte en los suelos gracias a su interactividad.
- El software proporciona a los usuarios una aproximación a teorías actuales que ayudan a su desarrollo integral como ingenieros civiles.
- El software brinda múltiples opciones a los usuarios, las cuales permiten analizar la resistencia al corte en superficies tridimensionales dando así otras perspectivas de formación analítica.
- La interactividad del programa se extiende hasta posibilidades dinámicas que proporcionan opciones de analizar datos obtenidos de pruebas triaxiales

drenadas y no drenadas ayudando así al usuario a desarrollar múltiples criterios acerca de los diferentes tipos de resultados.

- El aspecto didáctico e interactivo del software da la posibilidad al docente de alcanzar de manera eficiente y satisfactoria los objetivos planteados con los estudiantes respecto a la resistencia al corte además de ampliar su alcance por medio de teorías actuales.
- El software ayuda a mejorar la formación integral de futuros ingenieros civiles ya que cambia la modalidad de aprendizaje aula-docente a una interactiva e innovadora.

## 7.RECOMENDACIONES

### 7.1 RECOMENDACIONES ACTUALIZACIÓN

Se recomienda la constante actualización del software con versiones actuales referentes a los programas que lo integran.

### 7.2 RECOMENDACIONES ALCANCE DEL SOFTWARE

Se recomienda ampliar el contenido del software a consolidación y teorías nuevas referentes a resistencia al corte.

Comparar el software con otros programas de mayor rango de cálculo como lo son Praxis®, Cosmos®, Ansys® u otros relacionados con la mecánica de suelos y resistencia al corte para ver que se le puede adicionar para ampliar su alcance.

Llevar la opción de hojas de cálculo de Excel® a la integración con el triaxial de la universidad para sistematizar la toma de datos y cálculos.

Integrar la opción tridimensional de MathCad® con el triaxial para relacionar los cambios de volumen con los estados de esfuerzos en la resistencia al corte en pruebas drenadas.

## BIBLIOGRAFIA

ATKINSON, J. H. An introduction to applications of critical state soil mechanics. London : : Ed. Mc Graw Hill, 1981. 375p. ISBN 0-07-084118-7.

CERNICA, Jhon N. Geotechnical engineering soil mechanics. New Baskerville :: Ed. Wiley, 1995. 453p. TA 710.c393.

HERNANDEZ SAMPIERI, Roberto. Metodología de la investigación. 3ed. México: Mc Graw Hill, 2003. p.273-274. ISBN 970-10-3632-8.

HOLTZ, Robert D. And William D. KOVACS. An introduction to geotechnical engineering. New Jersey : : Prentice-Hall, 1981. 733p. ISBN 0-13-484394-0.

IGLESIAS PÉREZ, Celso. Mecánica del suelo. Madrid : : Ed. Síntesis, S.A., 1997. 624p. ISBN 84-7738-438-X.

JUÁREZ BADILLO, Eulalio y Alfonso RICO RODRÍGUEZ. Mecánica de suelos. 3 ed. México : : Limusa. 1997. 624p.

KERLINGER, Fred N. Investigación del Comportamiento. Investigación no experimental o post-facto. [consultada el 24 de julio de 2006 ]. Citado de la Pág.:



<http://www.monografias.com/trabajos33/investigacion-post-facto/investigacion-post-facto.shtml#quees>.

LAMBE T, William y Robert V. WHITMAN. Mecánica de suelos. Trad. Por José A. Jiménez Salas y José María Rodríguez Ortiz. 2 ed. México: : Limusa, 1996. 582p.

LIU, Cheng y Jack B. EVETT. Soil properties testing, measurement and evaluation. 5ed. New Jersey : : Ed. Prentice-Hall, 2003. 423p. ISBN 0-13-093005-9.

LIU, Cheng y Jack B. EVETT. Soil and foundations. 6ed. New Jersey : : Ed. Prentice-Hall, 2004. 486p. ISBN 0-13-048219-6.

WHITLOW, Roy. Fundamentos de mecánica de suelos. México: : Continental, 2000. p. 231. ISBN 968-26-1239-X.

## ANEXOS

### Anexo A. Tablas de resultados de pruebas con drenado.

Tabla 17. Resultados pruebas triaxial para presión de cámara de 0.5Kg/cm<sup>2</sup>.

					q	Ai	$\Delta\sigma$
Der ver	Carga	Carga corr	Bureta	tiempo	Carga	Área	Esfuerzo
188	40	0	38,6	0	0,00	19,33633787	0
195	40	0	38	234	0,00	19,37438897	0
200	43	3	38	408	0,44	19,40166015	0,022513537
205	49	9	37,8	547	1,31	19,42900821	0,067445543
210	52	12	37,6	725	1,75	19,45643348	0,089800631
215	55	15	37,5	905	2,18	19,48393627	0,11209234
220	58	18	37,4	1034	2,62	19,51151694	0,134320669
225	61	21	37,3	1142	3,06	19,5391758	0,156485618
230	63	23	37,2	1314	3,35	19,56691318	0,171146055
235	66	26	37	1455	3,79	19,59472943	0,193194808
240	68	28	36,9	1636	4,08	19,62262488	0,207760176
245	70	30	36,8	1807	4,37	19,65059987	0,222283291
250	72	32	36,7	1949	4,66	19,67865473	0,236764152
260	77	37	36,4	2309	5,39	19,73500547	0,272976869
270	80	40	36,2	2617	5,82	19,79167987	0,294265067
280	83	43	36,1	2925	6,26	19,84868071	0,315426506
290	87	47	35,9	3247	6,84	19,90601083	0,343775559
300	90	50	35,7	3603	7,28	19,96367309	0,364662353
310	93	53	35,5	4058	7,72	20,02167038	0,385422387
320	95	55	35,4	4232	8,01	20,08000564	0,398804669
330	98	58	35,2	4545	8,44	20,13868182	0,419332312
340	100	60	35	4830	8,74	20,19770192	0,432524454
350	102	62	34,8	5200	9,03	20,25706898	0,445632091
360	105	65	34,6	5510	9,46	20,31678606	0,465821709
370	109	69	34,5	5819	10,05	20,37685628	0,493029929
380	112	72	34,3	10222	10,48	20,43728276	0,512944902
390	115	75	34,1	10525	10,92	20,49806869	0,532733116
400	118	78	33,9	10831	11,36	20,55921728	0,55239457
410	122	82	33,8	11139	11,94	20,6207318	0,578990121
420	125	85	33,7	11446	12,38	20,68261553	0,598376931
430	128	88	33,6	11745	12,81	20,74487182	0,617636981
440	130	90	33,5	12052	13,10	20,80750402	0,629772797
460	134	94	33,3	12730	13,69	20,93390991	0,653790909
480	137	97	33,2	13340	14,12	21,06186102	0,670558028

500	141	101	33,1	13931	14,71	21,19138586	0,693942345
520	145	105	33	14550	15,29	21,32251365	0,716988637
540	148	108	32,9	15130	15,72	21,45527432	0,732910694
560	151	111	32,8	15847	16,16	21,58969857	0,748579233
580	153	113	32,7	20457	16,45	21,72581786	0,75729255
600	156	116	32,6	21107	16,89	21,86366446	0,772496305
620	158	118	32,6	21720	17,18	22,00327145	0,780829343
640	162	122	32,5	22320	17,76	22,14467278	0,802143259
660	165	125	32,5	22933	18,20	22,28790326	0,816586459
680	168	128	32,45	23540	18,64	22,43299861	0,83077614
700	171	131	32,45	24150	19,07	22,5799955	0,844712303
720	173	133	32,45	24800	19,36	22,72893156	0,851989015
740	176	136	32,4	25411	19,80	22,8798454	0,865460393
760	178	138	32,4	30035	20,09	23,03277669	0,872356828
780	181	141	32,4	30804	20,53	23,18776615	0,885363423
800	185	145	32,4	31433	21,11	23,34485562	0,904353419
820	189	149	32,4	32105	21,69	23,50408806	0,923005391
840	191	151	32,4	32712	21,99	23,66550764	0,929014511
860	192,5	152,5	32,4	33315	22,20	23,82915971	0,931799538
880	195	155	32,4	33921	22,57	23,99509093	0,940525713
900	197	157	32,4	34534	22,86	24,16334923	0,946027795
920	200	160	32,4	35143	23,30	24,33398391	<b>0,957344267</b>

Tabla 18. Resultados pruebas triaxial para presión de cámara de 1.0 Kg/cm<sup>2</sup>.

					q	Ai	$\Delta\sigma$
Der ver	Carga	Carga Corr.	Bureta	tiempo	Carga	Área	Esfuerzo
300	62	0	40,1	10443	0,00	19,491228	0
310	82	20	39,5	10839	2,91	19,546987	0,1489744
320	97	35	39,3	11220	5,10	19,603066	0,2599593
330	111	49	39,1	11556	7,13	19,659467	0,362899
340	123	61	39	11939	8,88	19,716194	0,4504723
350	133	71	38,7	12326	10,34	19,773249	0,5228074
360	145	83	38,4	12721	12,08	19,830635	0,6094006
370	155	93	38,1	13105	13,54	19,888355	0,6808406
380	165	103	37,7	13442	15,00	19,946413	0,7518545
390	175	113	37,5	13820	16,45	20,00481	0,8224422
400	183	121	37,4	14145	17,62	20,06355	0,8780899
420	198	136	37,3	15504	19,80	20,182071	0,9811481
440	212	150	37,3	15504	21,84	20,302001	1,075756
460	223	161	37,2	20142	23,44	20,423365	1,1477834

480	233	171	37,1	20801	24,90	20,546189	1,2117868
500	244	182	36,7	21431	26,50	20,670498	1,2819817
520	261	199	35,9	22109	28,97	20,796322	1,3932464
540	270	208	35,7	22742	30,28	20,923686	1,4473932
560	280	218	35,6	23414	31,74	21,05262	1,5076888
580	286	224	35,5	24052	32,61	21,183153	1,5396386
600	293	231	35,5	24714	33,63	21,315314	1,5779078
620	300	238	35,5	25300	34,65	21,449135	1,6155803
640	305	243	35,4	30008	35,38	21,584648	1,6391651
660	312	250	35,3	30615	36,40	21,721883	1,6757295
680	316	254	35,3	31221	36,98	21,860874	1,6917164
700	321	259	35,3	31831	37,71	22,001656	1,7139801
720	325	263	35,3	32440	38,29	22,144262	1,7292425
740	330	268	35,3	33052	39,02	22,28873	1,7506964
760	333	271	35,2	33710	39,46	22,435094	1,7587445
780	338	276	35,2	34334	40,19	22,583394	1,7794314
800	342	280	35,2	35004	40,77	22,733667	<b>1,793287</b>

Tabla 19. Resultados pruebas triaxial para presión de cámara de 1.5 Kg/cm<sup>2</sup>.

					q	Ai	Δσ
Der ver	Carga	Carga Corr	Bureta	tiempo	Carga	Área	Esfuerzo
75	30	0	33	0	0,00	19,21399255	0
75	40	10	30,2	45	1,46	19,21399255	0,0757781
75,5	50	20	30,2	110	2,91	19,21667267	0,1515351
77	55	25	30,2	144	3,64	19,22471752	0,1893396
78	60	30	30,2	211	4,37	19,23008449	0,2271441
80	63	33	30,2	302	4,80	19,24082744	0,249719
83	65	35	30,2	357	5,10	19,25696438	0,2646315
85	67	37	30,2	450	5,39	19,26773739	0,2795969
90	71	41	30,1	620	5,97	19,29472272	0,3093903
95	74	44	30	800	6,41	19,32178374	0,3315636
100	82	52	30	943	7,57	19,34892078	0,3912983
105	89	59	30	1131	8,59	19,37613415	0,4433495
110	91	61	29,95	1308	8,88	19,40342418	0,4577336
115	94	64	29,9	1448	9,32	19,43079118	0,4795687
120	103	73	29,8	1643	10,63	19,4582355	0,5462366
125	106	76	29,7	1836	11,07	19,48575745	0,5678814
130	110	80	29,6	2125	11,65	19,51335736	0,5969244
135	110	80	29,6	2250	11,65	19,54103558	0,596079
140	114	84	29,6	2446	12,23	19,56879242	0,6249951

145	123	93	29,5	2653	13,54	19,59662823	0,690976
150	128	98	29,4	2839	14,27	19,62454334	0,7270895
162	140	110	29,3	3222	16,02	19,6918652	0,8133308
170	150	120	29,2	3510	17,47	19,73700364	0,8852408
180	160	130	29,2	3811	18,93	19,79371852	0,956263
190	170	140	29,1	4114	20,38	19,85076029	1,0268624
200	182	152	29	4413	22,13	19,90813178	1,1116663
210	190	160	29	4727	23,30	19,96583585	1,1667931
220	196	166	28,9	5113	24,17	20,02387541	1,2070391
230	202	172	28,9	5429	25,04	20,08225338	1,2470314
240	206	176	28,8	5732	25,63	20,14097274	1,2723119
250	216	186	28,6	10030	27,08	20,2000365	1,3406708
260	228	198	28,5	10335	28,83	20,25944768	1,4229805
270	239	209	28,4	10721	30,43	20,31920937	1,4976173
280	246	216	28,3	11021	31,45	20,37932468	1,5432111
290	254	224	28,3	11305	32,61	20,43979674	1,5956323
300	262	232	28,2	11601	33,78	20,50062876	1,6477153
310	268	238	28,2	11802	34,65	20,56182395	1,685298
320	274	244	28,1	12380	35,53	20,62338557	1,722627
330	280	250	28	12590	36,40	20,68531692	1,7597023
340	286	256	27,8	12820	37,27	20,74762136	1,796524
350	291	261	27,7	13124	38,00	20,81030225	1,8260955
364	294	264	27,6	13437	38,44	20,89869446	1,8392728
370	297	267	27,6	13750	38,88	20,93680713	1,8567874
380	301	271	27,5	14057	39,46	21,00063809	1,8788762
390	306	276	27,4	14359	40,19	21,06485945	1,907708
400	312	282	27,3	14716	41,06	21,12947481	1,9432191
420	320	290	27,2	15353	42,22	21,25990208	1,9860863
440	331	301	27,1	20023	43,83	21,39194955	2,0486959
460	341	311	27,1	20600	45,28	21,52564758	2,1036115
480	350	320	27	21150	46,59	21,66102734	2,1509598
500	361	331	26,9	21804	48,19	21,79812074	2,2109062
524	368	338	26,9	22500	49,21	21,964941	2,2405159
540	376	346	26,8	22937	50,38	22,0775803	2,2818443
560	388	358	26,7	23541	52,12	22,2200145	2,3458491
590	404	374	26,7	24613	54,45	22,4371454	2,4269754
600	408	378	26,6	24945	55,04	22,51046846	2,4449425
620	419	389	26,6	25655	56,64	22,65856173	2,4996467
640	430	400	26,5	30421	58,24	22,80861648	2,553421
660	441	411	26,5	31145	59,84	22,96067192	2,6062652
680	453	423	26,4	31824	61,59	23,11476836	2,6644784
700	459	429	26,4	32658	62,46	23,27094715	2,6841366
720	467	437	26,4	33110	63,63	23,42925079	2,7157164
740	476	446	26,3	33821	64,94	23,58972295	2,752792

760	484	454	26,3	34507	66,10	23,75240848	2,7829767
780	487	457	26,2	35151	66,54	23,91735351	2,7820469
800	494	464	26,1	35835	67,56	24,08460543	2,8050449
820	500	470	26	40519	68,43	24,25421297	2,821448
840	506	476	26	41157	69,31	24,42622627	2,8373437
860	512	482	25,9	41849	70,18	24,60069686	2,8527322
880	517	487	25,9	42524	70,91	24,77767778	2,8617371
900	525	495	25,8	43203	72,07	24,95722361	2,8878212
920	530	500	25,8	43827	72,80	25,13939051	2,8958538
944	536	506	25,8	44605	73,67	25,36153213	2,9049349
960	540	510	25,8	45117	74,26	25,51182049	<b>2,910651</b>
980	546	516	25,8	45725	75,13	25,70220442	2,92308

Tabla 20. Resultados pruebas triaxial para presión de cámara de 2.0Kg/cm<sup>2</sup>.

					q	Ai	Δσ
Der ver	Carga	Carga Corr	Bureta	tiempo	Carga	Área	Esfuerzo
356	220	0	33,5	0	0,00	19,15361191	0
357	230	10	33,4	40	1,46	19,15897077	0,0759957
358,5	240	20	33,3	150	2,91	19,16701468	0,1519277
360	250	30	33,2	237	4,37	19,17506535	0,2277958
361	260	40	33,2	352	5,82	19,18043622	0,3036427
363	270	50	33,2	445	7,28	19,19118699	0,3793408
365	280	60	33,1	558	8,74	19,20194982	0,4549538
367,5	290	70	33,1	708	10,19	19,21542035	0,5304073
369	300	80	33,1	821	11,65	19,22351174	0,6059247
372	310	90	33,05	944	13,10	19,23971499	0,6810912
374	320	100	33	1102	14,56	19,25053233	0,7563427
376	330	110	32,9	1226	16,02	19,26136185	0,8315092
379	340	120	32,9	1305	17,47	19,27762899	0,9063355
382	350	130	32,8	1509	18,93	19,29392363	0,9810343
384	360	140	32,7	1636	20,38	19,30480204	1,0559031
387	370	150	32,6	1806	21,84	19,32114267	1,1303679
390	380	160	32,6	2005	23,30	19,33751098	1,2047052
392	390	170	32,5	2136	24,75	19,34843861	1,2792764
396	400	180	32,5	2321	26,21	19,37033095	1,352997
399	410	190	32,4	2513	27,66	19,38678275	1,4269516
402	420	200	32,3	2711	29,12	19,40326252	1,5007785
406	430	210	32,3	2856	30,58	19,42527918	1,5740314
409	440	220	32,2	3040	32,03	19,44182449	1,647582
414	450	230	32,15	3241	33,49	19,46946273	1,7200269

417	460	240	32,1	3442	34,94	19,48608342	1,7932798
423	470	250	32,1	3636	36,40	19,51941009	1,8648105
428,5	480	260	32	3900	37,86	19,55005983	1,9363624
434,5	490	270	31,9	4112	39,31	19,58360587	2,0073933
440	500	280	31,8	4315	40,77	19,61445771	2,0784668
445	510	290	31,8	4543	42,22	19,64258931	2,1496148
454	520	300	31,7	4851	43,68	19,69343006	2,2179986
466	540	320	31,6	5336	46,59	19,76162854	2,3577004
480	560	340	31,5	5855	49,50	19,84179285	2,4949358
496	580	360	31,4	10453	52,42	19,93420929	2,6294497
514	600	380	31,2	11117	55,33	20,03921225	2,7609868
560	650	430	31	12806	62,61	20,31264741	3,0822176
580	664	444	30,9	13405	64,65	20,43387364	3,163688
600	675	455	30,9	14100	66,25	20,55655551	3,2227189
610	683	463	30,8	14521	67,41	20,61845054	3,2695376
630	686	466	30,6	15033	67,85	20,74336554	3,2709061
660	688	468	30,3	15833	68,14	20,93360202	3,255092
700	696	476	29,9	21010	69,31	21,19274565	3,2702511
750	701	481	29,8	21614	70,03	21,52583955	3,2534666
800	708	488	29,6	22530	71,05	21,86957137	3,2489343
850	715	495	29,4	23312	72,07	22,22445897	<b>3,242914</b>
900	720	500	29,2	24010	72,80	22,59105441	3,2225145
950	723	503	29	24814	73,24	22,96994678	3,1883748
1000	727	507	29	25416	73,82	23,36176534	3,1598297

Tabla 21. Resultados pruebas triaxial para presión de cámara de 0.5 Kg/cm<sup>2</sup>.

(cámara)					
$\sigma_3$	$\sigma_1$	t	s'	p	q
0,5	0,5	0	0,5	0,5	0
0,5	0,5	0	0,5	0,5	0
0,5	0,5225135	0,0112568	0,5112568	0,5075045	0,0225135
0,5	0,5674455	0,0337228	0,5337228	0,5224818	0,0674455
0,5	0,5898006	0,0449003	0,5449003	0,5299335	0,0898006
0,5	0,6120923	0,0560462	0,5560462	0,5373641	0,1120923
0,5	0,6343207	0,0671603	0,5671603	0,5447736	0,1343207
0,5	0,6564856	0,0782428	0,5782428	0,5521619	0,1564856
0,5	0,6711461	0,0855573	0,5855573	0,5570487	0,1711461
0,5	0,6931948	0,0965974	0,5965974	0,5643983	0,1931948

0,5	0,7077602	0,1038801	0,6038801	0,5692534	0,2077602
0,5	0,7222833	0,1111416	0,6111416	0,5740944	0,2222833
0,5	0,7367642	0,1183821	0,6183821	0,5789214	0,2367642
0,5	0,7729769	0,1364884	0,6364884	0,5909923	0,2729769
0,5	0,7942651	0,1471325	0,6471325	0,5980884	0,2942651
0,5	0,8154265	0,1577133	0,6577133	0,6051422	0,3154265
0,5	0,8437756	0,1718878	0,6718878	0,6145919	0,3437756
0,5	0,8646624	0,1823312	0,6823312	0,6215541	0,3646624
0,5	0,8854224	0,1927112	0,6927112	0,6284741	0,3854224
0,5	0,8988047	0,1994023	0,6994023	0,6329349	0,3988047
0,5	0,9193323	0,2096662	0,7096662	0,6397774	0,4193323
0,5	0,9325245	0,2162622	0,7162622	0,6441748	0,4325245
0,5	0,9456321	0,222816	0,722816	0,648544	0,4456321
0,5	0,9658217	0,2329109	0,7329109	0,6552739	0,4658217
0,5	0,9930299	0,246515	0,746515	0,6643433	0,4930299
0,5	1,0129449	0,2564725	0,7564725	0,6709816	0,5129449
0,5	1,0327331	0,2663666	0,7663666	0,6775777	0,5327331
0,5	1,0523946	0,2761973	0,7761973	0,6841315	0,5523946
0,5	1,0789901	0,2894951	0,7894951	0,6929967	0,5789901
0,5	1,0983769	0,2991885	0,7991885	0,699459	0,5983769
0,5	1,117637	0,3088185	0,8088185	0,705879	0,617637
0,5	1,1297728	0,3148864	0,8148864	0,7099243	0,6297728
0,5	1,1537909	0,3268955	0,8268955	0,7179303	0,6537909
0,5	1,170558	0,335279	0,835279	0,7235193	0,670558
0,5	1,1939423	0,3469712	0,8469712	0,7313141	0,6939423
0,5	1,2169886	0,3584943	0,8584943	0,7389962	0,7169886
0,5	1,2329107	0,3664553	0,8664553	0,7443036	0,7329107
0,5	1,2485792	0,3742896	0,8742896	0,7495264	0,7485792
0,5	1,2572925	0,3786463	0,8786463	0,7524308	0,7572925
0,5	1,2724963	0,3862482	0,8862482	0,7574988	0,7724963
0,5	1,2808293	0,3904147	0,8904147	0,7602764	0,7808293
0,5	1,3021433	0,4010716	0,9010716	0,7673811	0,8021433
0,5	1,3165865	0,4082932	0,9082932	0,7721955	0,8165865
0,5	1,3307761	0,4153881	0,9153881	0,7769254	0,8307761
0,5	1,3447123	0,4223562	0,9223562	0,7815708	0,8447123
0,5	1,351989	0,4259945	0,9259945	0,7839963	0,851989
0,5	1,3654604	0,4327302	0,9327302	0,7884868	0,8654604
0,5	1,3723568	0,4361784	0,9361784	0,7907856	0,8723568
0,5	1,3853634	0,4426817	0,9426817	0,7951211	0,8853634
0,5	1,4043534	0,4521767	0,9521767	0,8014511	0,9043534
0,5	1,4230054	0,4615027	0,9615027	0,8076685	0,9230054
0,5	1,4290145	0,4645073	0,9645073	0,8096715	0,9290145
0,5	1,4317995	0,4658998	0,9658998	0,8105998	0,9317995
0,5	1,4405257	0,4702629	0,9702629	0,8135086	0,9405257



0,5	1,4460278	0,4730139	0,9730139	0,8153426	0,9460278
0,5	<b>1,457344</b>	0,4786721	0,9786721	0,8191148	0,9573443

Tabla 22. Resultados pruebas triaxial para presión de cámara de 1.0 Kg/cm<sup>2</sup>.

(cámara)					
$\sigma_3$	$\sigma_1$	t	s'	p	q
1	1	0	1	1	0
1	1,1489744	0,0744872	1,0744872	1,0496581	0,1489744
1	1,2599593	0,1299797	1,1299797	1,0866531	0,2599593
1	1,362899	0,1814495	1,1814495	1,1209663	0,362899
1	1,4504723	0,2252362	1,2252362	1,1501574	0,4504723
1	1,5228074	0,2614037	1,2614037	1,1742691	0,5228074
1	1,6094006	0,3047003	1,3047003	1,2031335	0,6094006
1	1,6808406	0,3404203	1,3404203	1,2269469	0,6808406
1	1,7518545	0,3759272	1,3759272	1,2506182	0,7518545
1	1,8224422	0,4112211	1,4112211	1,2741474	0,8224422
1	1,8780899	0,4390449	1,4390449	1,2926966	0,8780899
1	1,9811481	0,490574	1,490574	1,3270494	0,9811481
1	2,075756	0,537878	1,537878	1,3585853	1,075756
1	2,1477834	0,5738917	1,5738917	1,3825945	1,1477834
1	2,2117868	0,6058934	1,6058934	1,4039289	1,2117868
1	2,2819817	0,6409908	1,6409908	1,4273272	1,2819817
1	2,3932464	0,6966232	1,6966232	1,4644155	1,3932464
1	2,4473932	0,7236966	1,7236966	1,4824644	1,4473932
1	2,5076888	0,7538444	1,7538444	1,5025629	1,5076888
1	2,5396386	0,7698193	1,7698193	1,5132129	1,5396386
1	2,5779078	0,7889539	1,7889539	1,5259693	1,5779078
1	2,6155803	0,8077901	1,8077901	1,5385268	1,6155803
1	2,6391651	0,8195825	1,8195825	1,5463884	1,6391651
1	2,6757295	0,8378648	1,8378648	1,5585765	1,6757295
1	2,6917164	0,8458582	1,8458582	1,5639055	1,6917164
1	2,7139801	0,85699	1,85699	1,5713267	1,7139801
1	2,7292425	0,8646213	1,8646213	1,5764142	1,7292425
1	2,7506964	0,8753482	1,8753482	1,5835655	1,7506964
1	2,7587445	0,8793723	1,8793723	1,5862482	1,7587445
1	2,7794314	0,8897157	1,8897157	1,5931438	1,7794314
1	<b>2,793287</b>	0,8966437	1,8966437	1,5977625	1,7932874

Tabla 23. Resultados pruebas triaxial para presión de cámara de 1.5 Kg/cm<sup>2</sup>.

(cámara)					
$\sigma_3$	$\sigma_1$	t	s'	p	q
1,5	1,5	0	1,5	1,5	0
1,5	1,5757781	0,0378891	1,5378891	1,5252594	0,0757781
1,5	1,6515351	0,0757675	1,5757675	1,5505117	0,1515351
1,5	1,6893396	0,0946698	1,5946698	1,5631132	0,1893396
1,5	1,7271441	0,113572	1,613572	1,5757147	0,2271441
1,5	1,749719	0,1248595	1,6248595	1,5832397	0,249719
1,5	1,7646315	0,1323158	1,6323158	1,5882105	0,2646315
1,5	1,7795969	0,1397985	1,6397985	1,593199	0,2795969
1,5	1,8093903	0,1546951	1,6546951	1,6031301	0,3093903
1,5	1,8315636	0,1657818	1,6657818	1,6105212	0,3315636
1,5	1,8912983	0,1956492	1,6956492	1,6304328	0,3912983
1,5	1,9433495	0,2216748	1,7216748	1,6477832	0,4433495
1,5	1,9577336	0,2288668	1,7288668	1,6525779	0,4577336
1,5	1,9795687	0,2397844	1,7397844	1,6598562	0,4795687
1,5	2,0462366	0,2731183	1,7731183	1,6820789	0,5462366
1,5	2,0678814	0,2839407	1,7839407	1,6892938	0,5678814
1,5	2,0969244	0,2984622	1,7984622	1,6989748	0,5969244
1,5	2,096079	0,2980395	1,7980395	1,698693	0,596079
1,5	2,1249951	0,3124976	1,8124976	1,7083317	0,6249951
1,5	2,190976	0,345488	1,845488	1,7303253	0,690976
1,5	2,2270895	0,3635448	1,8635448	1,7423632	0,7270895
1,5	2,3133308	0,4066654	1,9066654	1,7711103	0,8133308
1,5	2,3852408	0,4426204	1,9426204	1,7950803	0,8852408
1,5	2,456263	0,4781315	1,9781315	1,8187543	0,956263
1,5	2,5268624	0,5134312	2,0134312	1,8422875	1,0268624
1,5	2,6116663	0,5558332	2,0558332	1,8705554	1,1116663
1,5	2,6667931	0,5833966	2,0833966	1,888931	1,1667931
1,5	2,7070391	0,6035195	2,1035195	1,9023464	1,2070391
1,5	2,7470314	0,6235157	2,1235157	1,9156771	1,2470314
1,5	2,7723119	0,636156	2,136156	1,924104	1,2723119
1,5	2,8406708	0,6703354	2,1703354	1,9468903	1,3406708
1,5	2,9229805	0,7114903	2,2114903	1,9743268	1,4229805
1,5	2,9976173	0,7488087	2,2488087	1,9992058	1,4976173
1,5	3,0432111	0,7716055	2,2716055	2,0144037	1,5432111
1,5	3,0956323	0,7978162	2,2978162	2,0318774	1,5956323
1,5	3,1477153	0,8238577	2,3238577	2,0492384	1,6477153
1,5	3,185298	0,842649	2,342649	2,061766	1,685298
1,5	3,222627	0,8613135	2,3613135	2,074209	1,722627
1,5	3,2597023	0,8798512	2,3798512	2,0865674	1,7597023
1,5	3,296524	0,898262	2,398262	2,0988413	1,796524
1,5	3,3260955	0,9130478	2,4130478	2,1086985	1,8260955

1,5	3,3392728	0,9196364	2,4196364	2,1130909	1,8392728
1,5	3,3567874	0,9283937	2,4283937	2,1189291	1,8567874
1,5	3,3788762	0,9394381	2,4394381	2,1262921	1,8788762
1,5	3,407708	0,953854	2,453854	2,1359027	1,907708
1,5	3,4432191	0,9716096	2,4716096	2,1477397	1,9432191
1,5	3,4860863	0,9930431	2,4930431	2,1620288	1,9860863
1,5	3,5486959	1,024348	2,524348	2,1828986	2,0486959
1,5	3,6036115	1,0518058	2,5518058	2,2012038	2,1036115
1,5	3,6509598	1,0754799	2,5754799	2,2169866	2,1509598
1,5	3,7109062	1,1054531	2,6054531	2,2369687	2,2109062
1,5	3,7405159	1,120258	2,620258	2,2468386	2,2405159
1,5	3,7818443	1,1409221	2,6409221	2,2606148	2,2818443
1,5	3,8458491	1,1729245	2,6729245	2,2819497	2,3458491
1,5	3,9269754	1,2134877	2,7134877	2,3089918	2,4269754
1,5	3,9449425	1,2224712	2,7224712	2,3149808	2,4449425
1,5	3,9996467	1,2498234	2,7498234	2,3332156	2,4996467
1,5	4,053421	1,2767105	2,7767105	2,3511403	2,553421
1,5	4,1062652	1,3031326	2,8031326	2,3687551	2,6062652
1,5	4,1644784	1,3322392	2,8322392	2,3881595	2,6644784
1,5	4,1841366	1,3420683	2,8420683	2,3947122	2,6841366
1,5	4,2157164	1,3578582	2,8578582	2,4052388	2,7157164
1,5	4,252792	1,376396	2,876396	2,4175973	2,752792
1,5	4,2829767	1,3914884	2,8914884	2,4276589	2,7829767
1,5	4,2820469	1,3910235	2,8910235	2,427349	2,7820469
1,5	4,3050449	1,4025225	2,9025225	2,435015	2,8050449
1,5	4,321448	1,410724	2,910724	2,4404827	2,821448
1,5	4,3373437	1,4186719	2,9186719	2,4457812	2,8373437
1,5	4,3527322	1,4263661	2,9263661	2,4509107	2,8527322
1,5	4,3617371	1,4308686	2,9308686	2,4539124	2,8617371
1,5	4,3878212	1,4439106	2,9439106	2,4626071	2,8878212
1,5	4,3958538	1,4479269	2,9479269	2,4652846	2,8958538
1,5	4,4049349	1,4524675	2,9524675	2,4683116	2,9049349
1,5	4,4106508	1,4553254	2,9553254	2,4702169	2,9106508
1,5	<b>4,42308</b>	1,46154	2,96154	2,47436	2,92308

Tabla 24. Resultados pruebas triaxial para presión de cámara de 2.0 Kg/cm<sup>2</sup>.

(cámara)					
$\sigma_3$	$\sigma_1$	t	s'	p'	q
2	2	0	2	2	0
2	2,0759957	0,0379979	2,0379979	2,0253319	0,0759957
2	2,1519277	0,0759638	2,0759638	2,0506426	0,1519277
2	2,2277958	0,1138979	2,1138979	2,0759319	0,2277958
2	2,3036427	0,1518214	2,1518214	2,1012142	0,3036427

2	2,3793408	0,1896704	2,1896704	2,1264469	0,3793408
2	2,4549538	0,2274769	2,2274769	2,1516513	0,4549538
2	2,5304073	0,2652037	2,2652037	2,1768024	0,5304073
2	2,6059247	0,3029623	2,3029623	2,2019749	0,6059247
2	2,6810912	0,3405456	2,3405456	2,2270304	0,6810912
2	2,7563427	0,3781714	2,3781714	2,2521142	0,7563427
2	2,8315092	0,4157546	2,4157546	2,2771697	0,8315092
2	2,9063355	0,4531678	2,4531678	2,3021118	0,9063355
2	2,9810343	0,4905171	2,4905171	2,3270114	0,9810343
2	3,0559031	0,5279515	2,5279515	2,3519677	1,0559031
2	3,1303679	0,565184	2,565184	2,3767893	1,1303679
2	3,2047052	0,6023526	2,6023526	2,4015684	1,2047052
2	3,2792764	0,6396382	2,6396382	2,4264255	1,2792764
2	3,352997	0,6764985	2,6764985	2,450999	1,352997
2	3,4269516	0,7134758	2,7134758	2,4756505	1,4269516
2	3,5007785	0,7503893	2,7503893	2,5002595	1,5007785
2	3,5740314	0,7870157	2,7870157	2,5246771	1,5740314
2	3,647582	0,823791	2,823791	2,549194	1,647582
2	3,7200269	0,8600135	2,8600135	2,5733423	1,7200269
2	3,7932798	0,8966399	2,8966399	2,5977599	1,7932798
2	3,8648105	0,9324052	2,9324052	2,6216035	1,8648105
2	3,9363624	0,9681812	2,9681812	2,6454541	1,9363624
2	4,0073933	1,0036967	3,0036967	2,6691311	2,0073933
2	4,0784668	1,0392334	3,0392334	2,6928223	2,0784668
2	4,1496148	1,0748074	3,0748074	2,7165383	2,1496148
2	4,2179986	1,1089993	3,1089993	2,7393329	2,2179986
2	4,3577004	1,1788502	3,1788502	2,7859001	2,3577004
2	4,4949358	1,2474679	3,2474679	2,8316453	2,4949358
2	4,6294497	1,3147248	3,3147248	2,8764832	2,6294497
2	4,7609868	1,3804934	3,3804934	2,9203289	2,7609868
2	5,0822176	1,5411088	3,5411088	3,0274059	3,0822176
2	5,163688	1,581844	3,581844	3,0545627	3,163688
2	5,2227189	1,6113595	3,6113595	3,0742396	3,2227189
2	5,2695376	1,6347688	3,6347688	3,0898459	3,2695376
2	5,2709061	1,635453	3,635453	3,090302	3,2709061
2	5,255092	1,627546	3,627546	3,0850307	3,255092
2	5,2702511	1,6351256	3,6351256	3,0900837	3,2702511
2	5,2534666	1,6267333	3,6267333	3,0844889	3,2534666
2	5,2489343	1,6244671	3,6244671	3,0829781	3,2489343
2	<b>5,242914</b>	1,6214568	3,6214568	3,0809712	3,2429136
2	5,2225145	1,6112572	3,6112572	3,0741715	3,2225145
2	5,1883748	1,5941874	3,5941874	3,0627916	3,1883748
2	5,1598297	1,5799149	3,5799149	3,0532766	3,1598297

Tabla 25. Relaciones de fase para una presión de cámara de 0.5 Kg/cm<sup>2</sup>.

Vvo	Vvi	Vsoil	e <sub>i</sub>	v
63,274	63,274	111,778	0,5660711	1,5660711
63,274	62,674	111,778	0,5607033	1,5607033
63,274	62,674	111,778	0,5607033	1,5607033
63,274	62,474	111,778	0,558914	1,558914
63,274	62,274	111,778	0,5571247	1,5571247
63,274	62,174	111,778	0,5562301	1,5562301
63,274	62,074	111,778	0,5553355	1,5553355
63,274	61,974	111,778	0,5544408	1,5544408
63,274	61,874	111,778	0,5535462	1,5535462
63,274	61,674	111,778	0,5517569	1,5517569
63,274	61,574	111,778	0,5508623	1,5508623
63,274	61,474	111,778	0,5499677	1,5499677
63,274	61,374	111,778	0,549073	1,549073
63,274	61,074	111,778	0,5463891	1,5463891
63,274	60,874	111,778	0,5445999	1,5445999
63,274	60,774	111,778	0,5437052	1,5437052
63,274	60,574	111,778	0,541916	1,541916
63,274	60,374	111,778	0,5401267	1,5401267
63,274	60,174	111,778	0,5383374	1,5383374
63,274	60,074	111,778	0,5374428	1,5374428
63,274	59,874	111,778	0,5356536	1,5356536
63,274	59,674	111,778	0,5338643	1,5338643
63,274	59,474	111,778	0,532075	1,532075
63,274	59,274	111,778	0,5302858	1,5302858
63,274	59,174	111,778	0,5293911	1,5293911
63,274	58,974	111,778	0,5276019	1,5276019
63,274	58,774	111,778	0,5258126	1,5258126
63,274	58,574	111,778	0,5240233	1,5240233
63,274	58,474	111,778	0,5231287	1,5231287
63,274	58,374	111,778	0,5222341	1,5222341
63,274	58,274	111,778	0,5213394	1,5213394
63,274	58,174	111,778	0,5204448	1,5204448
63,274	57,974	111,778	0,5186555	1,5186555
63,274	57,874	111,778	0,5177609	1,5177609
63,274	57,774	111,778	0,5168663	1,5168663
63,274	57,674	111,778	0,5159716	1,5159716
63,274	57,574	111,778	0,515077	1,515077
63,274	57,474	111,778	0,5141824	1,5141824

63,274	57,374	111,778	0,5132877	1,5132877
63,274	57,274	111,778	0,5123931	1,5123931
63,274	57,274	111,778	0,5123931	1,5123931
63,274	57,174	111,778	0,5114985	1,5114985
63,274	57,174	111,778	0,5114985	1,5114985
63,274	57,124	111,778	0,5110512	1,5110512
63,274	57,124	111,778	0,5110512	1,5110512
63,274	57,124	111,778	0,5110512	1,5110512
63,274	57,074	111,778	0,5106038	1,5106038
63,274	57,074	111,778	0,5106038	1,5106038
63,274	57,074	111,778	0,5106038	1,5106038
63,274	57,074	111,778	0,5106038	1,5106038
63,274	57,074	111,778	0,5106038	1,5106038
63,274	57,074	111,778	0,5106038	1,5106038
63,274	57,074	111,778	0,5106038	1,5106038
63,274	57,074	111,778	0,5106038	1,5106038
63,274	57,074	111,778	0,5106038	1,5106038
63,274	57,074	111,778	0,5106038	1,5106038

Tabla 26. Relaciones de fase para una presión de cámara de 1.0 Kg/cm<sup>2</sup>.

Vvo	Vvi	Vsoil	ei	v
61,656	61,656	111,901	0,550983434	1,5509834
61,656	61,056	111,901	0,545621545	1,5456215
61,656	60,856	111,901	0,543834249	1,5438342
61,656	60,656	111,901	0,542046953	1,542047
61,656	60,556	111,901	0,541153305	1,5411533
61,656	60,256	111,901	0,538472361	1,5384724
61,656	59,956	111,901	0,535791416	1,5357914
61,656	59,656	111,901	0,533110472	1,5331105
61,656	59,256	111,901	0,52953588	1,5295359
61,656	59,056	111,901	0,527748583	1,5277486
61,656	58,956	111,901	0,526854935	1,5268549
61,656	58,856	111,901	0,525961287	1,5259613
61,656	58,856	111,901	0,525961287	1,5259613
61,656	58,756	111,901	0,525067639	1,5250676
61,656	58,656	111,901	0,524173991	1,524174
61,656	58,256	111,901	0,520599398	1,5205994
61,656	57,456	111,901	0,513450214	1,5134502
61,656	57,256	111,901	0,511662917	1,5116629
61,656	57,156	111,901	0,510769269	1,5107693

61,656	57,056	111,901	0,509875621	1,5098756
61,656	57,056	111,901	0,509875621	1,5098756
61,656	57,056	111,901	0,509875621	1,5098756
61,656	56,956	111,901	0,508981973	1,508982
61,656	56,856	111,901	0,508088325	1,5080883
61,656	56,856	111,901	0,508088325	1,5080883
61,656	56,856	111,901	0,508088325	1,5080883
61,656	56,856	111,901	0,508088325	1,5080883
61,656	56,856	111,901	0,508088325	1,5080883
61,656	56,756	111,901	0,507194677	1,5071947
61,656	56,756	111,901	0,507194677	1,5071947
61,656	56,756	111,901	0,507194677	1,5071947

Tabla 27. Relaciones de fase para una presión de cámara de 1.5 Kg/cm<sup>2</sup>.

Vvo	Vvi	Vsoil	ei	v
63,334	63,334	111,628	0,5673656	1,5673656
63,334	60,534	111,628	0,5422823	1,5422823
63,334	60,534	111,628	0,5422823	1,5422823
63,334	60,534	111,628	0,5422823	1,5422823
63,334	60,534	111,628	0,5422823	1,5422823
63,334	60,534	111,628	0,5422823	1,5422823
63,334	60,534	111,628	0,5422823	1,5422823
63,334	60,534	111,628	0,5422823	1,5422823
63,334	60,534	111,628	0,5422823	1,5422823
63,334	60,434	111,628	0,5413865	1,5413865
63,334	60,334	111,628	0,5404907	1,5404907
63,334	60,334	111,628	0,5404907	1,5404907
63,334	60,334	111,628	0,5404907	1,5404907
63,334	60,284	111,628	0,5400428	1,5400428
63,334	60,234	111,628	0,5395949	1,5395949
63,334	60,134	111,628	0,538699	1,538699
63,334	60,034	111,628	0,5378032	1,5378032
63,334	59,934	111,628	0,5369074	1,5369074
63,334	59,934	111,628	0,5369074	1,5369074
63,334	59,934	111,628	0,5369074	1,5369074
63,334	59,834	111,628	0,5360115	1,5360115
63,334	59,734	111,628	0,5351157	1,5351157
63,334	59,634	111,628	0,5342199	1,5342199
63,334	59,534	111,628	0,5333241	1,5333241
63,334	59,534	111,628	0,5333241	1,5333241
63,334	59,434	111,628	0,5324282	1,5324282

63,334	59,334	111,628	0,5315324	1,5315324
63,334	59,334	111,628	0,5315324	1,5315324
63,334	59,234	111,628	0,5306366	1,5306366
63,334	59,234	111,628	0,5306366	1,5306366
63,334	59,134	111,628	0,5297407	1,5297407
63,334	58,934	111,628	0,5279491	1,5279491
63,334	58,834	111,628	0,5270533	1,5270533
63,334	58,734	111,628	0,5261574	1,5261574
63,334	58,634	111,628	0,5252616	1,5252616
63,334	58,634	111,628	0,5252616	1,5252616
63,334	58,534	111,628	0,5243658	1,5243658
63,334	58,534	111,628	0,5243658	1,5243658
63,334	58,434	111,628	0,5234699	1,5234699
63,334	58,334	111,628	0,5225741	1,5225741
63,334	58,134	111,628	0,5207825	1,5207825
63,334	58,034	111,628	0,5198866	1,5198866
63,334	57,934	111,628	0,5189908	1,5189908
63,334	57,934	111,628	0,5189908	1,5189908
63,334	57,834	111,628	0,518095	1,518095
63,334	57,734	111,628	0,5171991	1,5171991
63,334	57,634	111,628	0,5163033	1,5163033
63,334	57,534	111,628	0,5154075	1,5154075
63,334	57,434	111,628	0,5145117	1,5145117
63,334	57,434	111,628	0,5145117	1,5145117
63,334	57,334	111,628	0,5136158	1,5136158
63,334	57,234	111,628	0,51272	1,51272
63,334	57,234	111,628	0,51272	1,51272
63,334	57,134	111,628	0,5118242	1,5118242
63,334	57,034	111,628	0,5109283	1,5109283
63,334	57,034	111,628	0,5109283	1,5109283
63,334	56,934	111,628	0,5100325	1,5100325
63,334	56,934	111,628	0,5100325	1,5100325
63,334	56,834	111,628	0,5091367	1,5091367
63,334	56,834	111,628	0,5091367	1,5091367
63,334	56,734	111,628	0,5082409	1,5082409
63,334	56,734	111,628	0,5082409	1,5082409
63,334	56,734	111,628	0,5082409	1,5082409
63,334	56,634	111,628	0,507345	1,507345
63,334	56,634	111,628	0,507345	1,507345
63,334	56,534	111,628	0,5064492	1,5064492
63,334	56,434	111,628	0,5055534	1,5055534
63,334	56,334	111,628	0,5046575	1,5046575
63,334	56,334	111,628	0,5046575	1,5046575
63,334	56,234	111,628	0,5037617	1,5037617



63,334	56,234	111,628	0,5037617	1,5037617
63,334	56,134	111,628	0,5028659	1,5028659
63,334	56,134	111,628	0,5028659	1,5028659
63,334	56,134	111,628	0,5028659	1,5028659
63,334	56,134	111,628	0,5028659	1,5028659
63,334	56,134	111,628	0,5028659	1,5028659

Tabla 28. Relaciones de fase para una presión de cámara de 2.0 Kg/cm<sup>2</sup>.

Vvo	Vvi	Vsoil	ei	v
62,100	62,100	111,834	0,555291	1,555291
62,100	62,000	111,834	0,5543968	1,5543968
62,100	61,900	111,834	0,5535026	1,5535026
62,100	61,800	111,834	0,5526084	1,5526084
62,100	61,800	111,834	0,5526084	1,5526084
62,100	61,800	111,834	0,5526084	1,5526084
62,100	61,700	111,834	0,5517143	1,5517143
62,100	61,700	111,834	0,5517143	1,5517143
62,100	61,700	111,834	0,5517143	1,5517143
62,100	61,650	111,834	0,5512672	1,5512672
62,100	61,600	111,834	0,5508201	1,5508201
62,100	61,500	111,834	0,5499259	1,5499259
62,100	61,500	111,834	0,5499259	1,5499259
62,100	61,400	111,834	0,5490317	1,5490317
62,100	61,300	111,834	0,5481375	1,5481375
62,100	61,200	111,834	0,5472433	1,5472433
62,100	61,200	111,834	0,5472433	1,5472433
62,100	61,100	111,834	0,5463491	1,5463491
62,100	61,100	111,834	0,5463491	1,5463491
62,100	61,000	111,834	0,545455	1,545455
62,100	60,900	111,834	0,5445608	1,5445608
62,100	60,900	111,834	0,5445608	1,5445608
62,100	60,800	111,834	0,5436666	1,5436666
62,100	60,750	111,834	0,5432195	1,5432195
62,100	60,700	111,834	0,5427724	1,5427724
62,100	60,700	111,834	0,5427724	1,5427724
62,100	60,600	111,834	0,5418782	1,5418782
62,100	60,500	111,834	0,540984	1,540984
62,100	60,400	111,834	0,5400899	1,5400899
62,100	60,400	111,834	0,5400899	1,5400899
62,100	60,300	111,834	0,5391957	1,5391957

62,100	60,200	111,834	0,5383015	1,5383015
62,100	60,100	111,834	0,5374073	1,5374073
62,100	60,000	111,834	0,5365131	1,5365131
62,100	59,800	111,834	0,5347247	1,5347247
62,100	59,600	111,834	0,5329364	1,5329364
62,100	59,500	111,834	0,5320422	1,5320422
62,100	59,500	111,834	0,5320422	1,5320422
62,100	59,400	111,834	0,531148	1,531148
62,100	59,200	111,834	0,5293596	1,5293596
62,100	58,900	111,834	0,5266771	1,5266771
62,100	58,500	111,834	0,5231003	1,5231003
62,100	58,400	111,834	0,5222062	1,5222062
62,100	58,200	111,834	0,5204178	1,5204178
62,100	58,000	111,834	0,5186294	1,5186294
62,100	57,800	111,834	0,516841	1,516841
62,100	57,600	111,834	0,5150527	1,5150527
62,100	57,600	111,834	0,5150527	1,5150527

## Anexo B. Tablas de resultados de pruebas sin drenar.

Tabla 29. Resultados pruebas triaxial para presión de cámara de 0.5 Kg/cm<sup>2</sup>.

					q	Ai	$\Delta\sigma$
Der ver	Carga	Carga Corr	POROS	tiempo	Carga	Area	Esfuerzo
537	8	0	0,5	0	0,00	19,28743964	0
538	20	12	0,5	48	1,75	19,2928407	0,0905621
539	25	17	0,5	120	2,48	19,29824478	0,1282604
540	30	22	0,5	150	3,20	19,3036519	0,1659375
541	40	32	0,505	231	4,66	19,30906204	0,241296
542	45	37	0,51	312	5,39	19,31447522	0,2789203
546	50	42	0,53	429	6,12	19,33615832	0,3162572
550	54	46	0,54	600	6,70	19,35789015	0,3459881
555	60	52	0,57	743	7,57	19,38512374	0,3905675
560	62	54	0,585	912	7,86	19,41243406	0,4050188
565	63	55	0,6	1042	8,01	19,43982144	0,4119379
570	65	57	0,61	1203	8,30	19,46728621	0,4263152
575	66	58	0,62	1346	8,44	19,49482869	0,4331815
580	67	59	0,63	1516	8,59	19,52244922	0,4400268
585	68	60	0,65	1645	8,74	19,55014812	0,4468508
590	69	61	0,66	1810	8,88	19,57792574	0,4536538
595	69,5	61,5	0,67	1947	8,95	19,6057824	0,4567224

600	69,5	61,5	0,68	2105	8,95	19,63371845	0,4560725
610	70	62	0,695	2411	9,03	19,68983006	<b>0,45847</b>
620	70	62	0,7	2706	9,03	19,74626332	0,4571599
630	70	62	0,71	3008	9,03	19,80302099	0,4558496
640	70	62	0,72	3314	9,03	19,86010589	0,4545394
650	70,5	62,5	0,74	3608	9,10	19,91752085	0,4568842
660	70,5	62,5	0,745	3914	9,10	19,97526874	0,4555633
670	70,5	62,5	0,75	4218	9,10	20,03335247	0,4542425
680	70,5	62,5	0,76	4528	9,10	20,09177497	0,4529217
690	70,5	62,5	0,76	4833	9,10	20,15053923	0,4516008
700	70,5	62,5	0,76	5140	9,10	20,20964823	0,45028

Tabla 30. Resultados pruebas triaxial para presión de cámara de 1.0 Kg/cm<sup>2</sup>.

					q	Ai	$\Delta\sigma$
Der ver	Carga	Carga Corr	POROS	tiempo	Carga	Area	Esfuerzo
685	170	0	1	0	0,00	19,1699915	0
689	185	15	1,04	50	2,18	19,1914137	0,1138009
690	195	25	1,06	124	3,64	19,1967768	0,1896152
690,5	200	30	1,065	200	4,37	19,1994594	0,2275064
691	205	35	1,08	228	5,10	19,2021428	0,265387
692	210	40	1,09	259	5,82	19,2075118	0,3032147
693	215	45	1,1	331	6,55	19,2128839	0,3410212
694	220	50	1,105	426	7,28	19,2182589	0,3788064
698	230	60	1,12	607	8,74	19,2397892	0,454059
703	235	65	1,14	746	9,46	19,2667699	0,4912084
707	240	70	1,15	916	10,19	19,2884091	0,5284002
715	243	73	1,18	1155	10,63	19,3318335	0,5498082
720	246	76	1,19	1329	11,07	19,3590732	0,5715976
725	247	77	1,2	1519	11,21	19,3863898	0,5783026
730	249	79	1,21	1709	11,50	19,4137836	0,5924863
735	250	80	1,21	1830	11,65	19,4412549	0,5991383
740	251	81	1,21	2012	11,79	19,4688041	0,6057691
745	252	82	1,22	2146	11,94	19,4964315	0,6123787
750	253	83	1,23	2319	12,08	19,5241373	0,6189672
755	254	84	1,24	2500	12,23	19,5519221	0,6255344
760	255	85	1,25	2640	12,38	19,579786	0,6320805
765	256	86	1,25	2821	12,52	19,6077295	0,6386053
780	258	88	1,265	3304	12,81	19,6920405	0,6506588
785	259	89	1,27	3453	12,96	19,7203055	0,6571095
790	260	90	1,27	3618	13,10	19,7486518	0,663539

795	260	90	1,28	3758	13,10	19,7770797	0,6625852
800	260	90	1,28	3925	13,10	19,8055895	0,6616314
810	261	91	1,28	4233	13,25	19,8628565	0,6670541
820	262	92	1,285	4606	13,40	19,9204556	0,6724344
830	263	93	1,29	4901	13,54	19,9783898	0,6777723
840	265	95	1,305	5142	13,83	20,0366619	0,6903346
850	266	96	1,31	5618	13,98	20,095275	0,6955665
860	266	96	1,315	5807	13,98	20,1542319	0,6935318
870	268	98	1,32	10101	14,27	20,2135359	0,7059032
880	270	100	1,32	10425	14,56	20,2731898	0,7181899
900	271	101	1,33	11028	14,71	20,3935604	0,7210904
932	276	106	1,34	12043	15,43	20,5891548	<b>0,749599</b>
980	280	110	1,34	13606	16,02	20,8896839	0,7666942

Tabla 31. Resultados pruebas triaxial para presión de cámara de 1.5 Kg/cm<sup>2</sup>.

					q	Ai	$\Delta\sigma$
Der ver	Carga	Carga Corr	POROS	tiempo	Carga	Area	Esfuerzo
533	100	0	1	0	0,00	19,20795021	0
540	117	17	1,08	329	2,48	19,24579194	0,1286099
540	120	20	1,09	349	2,91	19,24579194	0,1513058
541	125	25	1,1	415	3,64	19,25121008	0,189079
542	130	30	1,11	449	4,37	19,25663127	0,226831
544	135	35	1,14	530	5,10	19,26748281	0,2644871
545	140	40	1,16	602	5,82	19,27291317	0,3021858
548	150	50	1,2	730	7,28	19,28922263	0,3774128
550	155	55	1,22	817	8,01	19,30011094	0,4149199
551	160	60	1,23	832	8,74	19,30555971	0,4525121
553	165	65	1,26	931	9,46	19,31646648	0,4899447
556	170	70	1,29	1040	10,19	19,33284977	0,5271856
557	175	75	1,32	1128	10,92	19,33831704	0,564682
560	180	80	1,35	1239	11,65	19,35473743	0,6018165
564	185	85	1,38	1332	12,38	19,3766747	0,6387061
568	190	90	1,43	1523	13,10	19,39866176	0,6755105
571	195	95	1,46	1639	13,83	19,41518483	0,7124321
578	200	100	1,5	1838	14,56	19,45384834	0,748438
584	205	105	1,55	2107	15,29	19,48711127	0,7845185
590	207	107	1,59	2225	15,58	19,52048813	0,7980948
600	210	110	1,65	2610	16,02	19,57637104	0,8181292
610	214	114	1,68	2920	16,60	19,63257484	0,845452
628	215	115	1,75	3505	16,74	19,73455915	0,8484608
630	215	115	1,76	3542	16,74	19,74595618	0,8479711
640	216	116	1,78	3858	16,89	19,80313937	0,8528749
650	216	116	1,8	4141	16,89	19,86065472	0,850405

660	218	118	1,82	4541	17,18	19,91850514	<b>0,862555</b>
670	218	118	1,83	4800	17,18	19,97669355	0,8600422

Tabla 32. Resultados pruebas triaxial para presión de cámara de 2.0 Kg/cm<sup>2</sup>.

					q	Ai	$\Delta\sigma$
Der ver	Carga	Carga Corr	POROS	tiempo	Carga	Area	Esfuerzo
330	40	0	0,5	0	0,00	19,04172855	0
332	45	5	0,505	19	0,73	19,05233406	0,0382105
333	50	10	0,51	43	1,46	19,05764124	0,0763998
333	55	15	0,51	106	2,18	19,05764124	0,1145997
336	60	20	0,52	200	2,91	19,07358055	0,1526719
350	60	20	0,52	559	2,91	19,14831792	0,152076
353	65	25	0,525	725	3,64	19,16440933	0,1899354
354	70	30	0,525	741	4,37	19,16977915	0,2278587
354	70	30	0,53	758	4,37	19,16977915	0,2278587
354	80	40	0,53	814	5,82	19,16977915	0,3038115
354	85	45	0,53	837	6,55	19,16977915	0,341788
355	90	50	0,535	904	7,28	19,17515197	0,379658
356	100	60	0,54	959	8,74	19,18052781	0,4554619
357	110	70	0,55	1102	10,19	19,18590667	0,5312233
358	115	75	0,56	1131	10,92	19,19128854	0,5690082
359	120	80	0,562	1157	11,65	19,19667343	0,6067718
359	125	85	0,57	1232	12,38	19,19667343	0,644695
360	130	90	0,575	1256	13,10	19,20206134	0,6824267
360	135	95	0,58	1329	13,83	19,20206134	0,7203393
362	140	100	0,585	1401	14,56	19,21284625	0,7578263
363	145	105	0,595	1438	15,29	19,21824325	0,7954941
364	150	110	0,6	1449	16,02	19,22364328	0,8331407
364,5	155	115	0,605	1540	16,74	19,22634443	0,8708884
365	160	120	0,61	1604	17,47	19,22904635	0,9086254
366	165	125	0,62	1639	18,20	19,23445245	0,9462188
367	170	130	0,625	1710	18,93	19,2398616	0,9837909
368	175	135	0,63	1744	19,66	19,24527379	1,0213417
369	180	140	0,64	1821	20,38	19,25068902	1,0588712
371	185	145	0,645	1902	21,11	19,26152864	1,0960708
372	190	150	0,65	1953	21,84	19,26695302	1,1335472
373	195	155	0,66	2020	22,57	19,27238047	1,1710022
375	200	160	0,67	2103	23,30	19,28324453	1,2080955
376	205	165	0,685	2139	24,02	19,28868116	1,2454973
377	210	170	0,685	2231	24,75	19,29412085	1,2828778
379	215	175	0,69	2308	25,48	19,30500945	1,3198647

381	220	180	0,7	2352	26,21	19,31591034	1,3568089
382	225	185	0,705	2440	26,94	19,32136541	1,3941044
384	230	190	0,72	2528	27,66	19,33228478	1,4309742
385	235	195	0,725	2607	28,39	19,3377491	1,4682164
387	240	200	0,73	2652	29,12	19,34868701	1,5050117
389	245	205	0,74	2742	29,85	19,3596373	1,5417644
391	250	210	0,75	2837	30,58	19,37059999	1,5784746
393	255	215	0,76	2924	31,30	19,3815751	1,6151422
395	260	220	0,77	3024	32,03	19,39256266	1,6517673
397	265	225	0,78	3124	32,76	19,40356268	1,6883497
400	270	230	0,79	3229	33,49	19,42008613	1,7244002
402	275	235	0,8	3339	34,22	19,43111741	1,7608869
405	280	240	0,81	3432	34,94	19,44768785	1,7968203
408	285	245	0,83	3545	35,67	19,46428657	1,8326898
410	290	250	0,84	3640	36,40	19,47536813	1,8690276
414	295	255	0,85	3803	37,13	19,49756915	1,9042374
417	300	260	0,86	3913	37,86	19,51425317	1,9399154
419	305	265	0,87	4018	38,58	19,52539172	1,9760935
423	310	270	0,88	4120	39,31	19,547707	2,0110799
427	315	275	0,9	4302	40,04	19,57007335	2,0459811
430	320	280	0,91	4425	40,77	19,58688173	2,0813931
434	325	285	0,92	4538	41,50	19,60933787	2,1161347
438	330	290	0,935	4657	42,22	19,63184556	2,1507912
442	335	295	0,95	4836	42,95	19,65440498	2,1853625
447	340	300	0,96	5010	43,68	19,68267727	2,2192103
451	345	305	0,975	5155	44,41	19,70535373	2,2536008
456	350	310	0,985	5331	45,14	19,73377289	2,2872463
463	355	315	1,01	5555	45,86	19,77369771	2,3194448
468	360	320	1,02	5736	46,59	19,80231449	2,3528563
474	365	325	1,03	5948	47,32	19,83676415	2,3854697
480	370	330	1,04	10147	48,05	19,87133388	2,4179554
489	375	335	1,06	10442	48,78	19,92341498	2,4481747
495	380	340	1,07	10647	49,50	19,95828765	2,4803731
505	385	345	1,09	10957	50,23	20,01668084	2,509507
513	390	350	1,11	11252	50,96	20,06364199	2,5399177
521	395	355	1,115	11525	51,69	20,11082401	2,5701582
530	400	360	1,12	11756	52,42	20,16416973	2,5994623
540	404	364	1,135	12144	53,00	20,22377566	2,6205987
550	410	370	1,15	12521	53,87	20,28373503	2,6559211
560	413	373	1,16	12806	54,31	20,34405099	2,6695175
570	417	377	1,165	13158	54,89	20,40472673	2,6901218
580	421	381	1,17	13442	55,47	20,46576549	2,7105558
590	427	387	1,18	13819	56,35	20,52717052	2,7450057
600	430	390	1,18	14120	56,78	20,58894514	2,7579849

610	432	392	1,185	14442	57,08	20,65109269	2,763786
620	437	397	1,19	14747	57,80	20,71361656	2,7905895
630	441	401	1,195	15102	58,39	20,77652018	2,8101722
640	444	404	1,195	15438	58,82	20,83980701	2,8225981
650	448	408	1,2	15736	59,40	20,90348058	2,8418617
670	456	416	1,2	20521	60,57	21,03200217	2,879878
680	459	419	1,2	20721	61,01	21,09685744	2,8917293
690	463	423	1,2	21038	61,59	21,16211393	2,9103331
700	467	427	1,2	21351	62,17	21,22777537	2,9287666
710	470	430	1,2	21716	62,61	21,29384555	2,9401923
720	473	433	1,2	22006	63,04	21,36032829	2,9514902
730	476	436	1,2	22324	63,48	21,42722747	2,9626605
740	480	440	1,2	22632	64,06	21,49454701	2,9804769
750	482	442	1,2	22948	64,36	21,56229089	2,9846179
760	485	445	1,2	23245	64,79	21,63046314	2,9954051
770	487,5	447,5	1,2	23631	65,16	21,69906782	3,0027096
780	490	450	1,2	23850	65,52	21,76810908	3,0099077
790	493	453	1,2	24203	65,96	21,83759108	3,0203331
800	496	456	1,2	24510	66,39	21,90751806	3,0306308
810	498	458	1,2	24821	66,68	21,97789431	3,034176
820	500	460	1,2	25108	66,98	22,04872418	<b>3,037636</b>

Tabla 33. Resultados pruebas triaxial para presión de cámara de 0.5 Kg/cm<sup>2</sup>.

(cámara)							Esf. Desviador		Esf. Normal Prom.
$\sigma_3$	$\sigma_1$	$\sigma_3'$	$\sigma_1'$	s	t	p	q	s'	p'
0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0,5	0	0,5	0,5
0,5	0,5905621	0,5	0,5905621	0,545281	0,045281	0,530187364	0,0905621	0,545281046	0,530187364
0,5	0,6282604	0,5	0,6282604	0,5641302	0,0641302	0,542753456	0,1282604	0,564130185	0,542753456
0,5	0,6659375	0,5	0,6659375	0,5829688	0,0829688	0,555312505	0,1659375	0,582968757	0,555312505
0,5	0,741296	0,495	0,736296	0,620648	0,120648	0,58043201	0,241296	0,615648015	0,57543201
0,5	0,7789203	0,49	0,7689203	0,6394602	0,1394602	0,592973447	0,2789203	0,62946017	0,582973447
0,5	0,8162572	0,47	0,7862572	0,6581286	0,1581286	0,605419079	0,3162572	0,628128618	0,575419079
0,5	0,8459881	0,46	0,8059881	0,6729941	0,1729941	0,615329373	0,3459881	0,632994059	0,575329373
0,5	0,8905675	0,43	0,8205675	0,6952838	0,1952838	0,630189178	0,3905675	0,625283768	0,560189178
0,5	0,9050188	0,415	0,8200188	0,7025094	0,2025094	0,635006254	0,4050188	0,617509381	0,550006254
0,5	0,9119379	0,4	0,8119379	0,705969	0,205969	0,637312647	0,4119379	0,60596897	0,537312647
0,5	0,9263152	0,39	0,8163152	0,7131576	0,2131576	0,642105066	0,4263152	0,6031576	0,532105066
0,5	0,9331815	0,38	0,8131815	0,7165908	0,2165908	0,644393848	0,4331815	0,596590772	0,524393848
0,5	0,9400268	0,37	0,8100268	0,7200134	0,2200134	0,646675585	0,4400268	0,590013378	0,516675585
0,5	0,9468508	0,35	0,7968508	0,7234254	0,2234254	0,648950278	0,4468508	0,573425417	0,498950278
0,5	0,9536538	0,34	0,7936538	0,7268269	0,2268269	0,651217926	0,4536538	0,56682689	0,491217926
0,5	0,9567224	0,33	0,7867224	0,7283612	0,2283612	0,6522408	0,4567224	0,5583612	0,4822408
0,5	0,9560725	0,32	0,7760725	0,7280363	0,2280363	0,652024183	0,4560725	0,548036274	0,472024183
0,5	<b>0,95847</b>	0,305	0,7634702	0,7292351	0,2292351	0,652823394	0,4584702	0,534235092	0,457823394
0,5	0,9571599	0,3	0,7571599	0,72858	0,22858	0,652386637	0,4571599	0,528579956	0,452386637
0,5	0,9558496	0,29	0,7458496	0,7279248	0,2279248	0,65194988	0,4558496	0,51792482	0,44194988
0,5	0,9545394	0,28	0,7345394	0,7272697	0,2272697	0,651513123	0,4545394	0,507269685	0,431513123
0,5	0,9568842	0,26	0,7168842	0,7284421	0,2284421	0,652294724	0,4568842	0,488442085	0,412294724
0,5	0,9555633	0,255	0,7105633	0,7277817	0,2277817	0,651854444	0,4555633	0,482781666	0,406854444



0,5	0,9542425	0,25	0,7042425	0,7271212	0,2271212	0,651414165	0,4542425	0,477121247	0,401414165
0,5	0,9529217	0,24	0,6929217	0,7264608	0,2264608	0,650973885	0,4529217	0,466460828	0,390973885
0,5	0,9516008	0,24	0,6916008	0,7258004	0,2258004	0,650533606	0,4516008	0,465800409	0,390533606
0,5	0,95028	0,24	0,69028	0,72514	0,22514	0,650093327	0,45028	0,46513999	0,390093327

Tabla 34. Resultados pruebas triaxial para presión de cámara de 1.0 Kg/cm<sup>2</sup>.

(cámara)							Esf. Desviador		Esf. Normal Prom.
$\sigma_3$	$\sigma_1$	$\sigma_3'$	$\sigma_1'$	s	t	p	q	s'	p'
1	1	1	1	1	0	1	0	1	1
1	1,1138009	0,96	1,0738009	1,0569004	0,0569004	1,037933631	0,1138009	1,0169004	0,997933631
1	1,1896152	0,94	1,1296152	1,0948076	0,0948076	1,063205055	0,1896152	1,0348076	1,003205055
1	1,2275064	0,935	1,1625064	1,1137532	0,1137532	1,075835469	0,2275064	1,0487532	1,010835469
1	1,265387	0,92	1,185387	1,1326935	0,1326935	1,088462349	0,265387	1,0526935	1,008462349
1	1,3032147	0,91	1,2132147	1,1516074	0,1516074	1,101071568	0,3032147	1,0616074	1,011071568
1	1,3410212	0,9	1,2410212	1,1705106	0,1705106	1,113673721	0,3410212	1,0705106	1,013673721
1	1,3788064	0,895	1,2738064	1,1894032	0,1894032	1,126268809	0,3788064	1,0844032	1,021268809
1	1,454059	0,88	1,334059	1,2270295	0,2270295	1,15135301	0,454059	1,1070295	1,03135301
1	1,4912084	0,86	1,3512084	1,2456042	0,2456042	1,163736147	0,4912084	1,1056042	1,023736147
1	1,5284002	0,85	1,3784002	1,2642001	0,2642001	1,176133414	0,5284002	1,1142001	1,026133414
1	1,5498082	0,82	1,3698082	1,2749041	0,2749041	1,18326939	0,5498082	1,0949041	1,00326939
1	1,5715976	0,81	1,3815976	1,2857988	0,2857988	1,190532537	0,5715976	1,0957988	1,000532537
1	1,5783026	0,8	1,3783026	1,2891513	0,2891513	1,192767539	0,5783026	1,0891513	0,992767539
1	1,5924863	0,79	1,3824863	1,2962431	0,2962431	1,197495419	0,5924863	1,0862431	0,987495419
1	1,5991383	0,79	1,3891383	1,2995691	0,2995691	1,199712759	0,5991383	1,0895691	0,989712759
1	1,6057691	0,79	1,3957691	1,3028846	0,3028846	1,201923034	0,6057691	1,0928846	0,991923034
1	1,6123787	0,78	1,3923787	1,3061894	0,3061894	1,204126244	0,6123787	1,0861894	0,984126244
1	1,6189672	0,77	1,3889672	1,3094836	0,3094836	1,206322389	0,6189672	1,0794836	0,976322389

1	1,6255344	0,76	1,3855344	1,3127672	0,3127672	1,208511469	0,6255344	1,0727672	0,968511469
1	1,6320805	0,75	1,3820805	1,3160402	0,3160402	1,210693484	0,6320805	1,0660402	0,960693484
1	1,6386053	0,75	1,3886053	1,3193027	0,3193027	1,212868434	0,6386053	1,0693027	0,962868434
1	1,6506588	0,735	1,3856588	1,3253294	0,3253294	1,216886276	0,6506588	1,0603294	0,951886276
1	1,6571095	0,73	1,3871095	1,3285547	0,3285547	1,219036499	0,6571095	1,0585547	0,949036499
1	1,663539	0,73	1,393539	1,3317695	0,3317695	1,221179656	0,663539	1,0617695	0,951179656
1	1,6625852	0,72	1,3825852	1,3312926	0,3312926	1,220861729	0,6625852	1,0512926	0,940861729
1	1,6616314	0,72	1,3816314	1,3308157	0,3308157	1,220543801	0,6616314	1,0508157	0,940543801
1	1,6670541	0,72	1,3870541	1,3335271	0,3335271	1,222351369	0,6670541	1,0535271	0,942351369
1	1,6724344	0,715	1,3874344	1,3362172	0,3362172	1,224144806	0,6724344	1,0512172	0,939144806
1	1,6777723	0,71	1,3877723	1,3388862	0,3388862	1,225924113	0,6777723	1,0488862	0,935924113
1	1,6903346	0,695	1,3853346	1,3451673	0,3451673	1,230111517	0,6903346	1,0401673	0,925111517
1	1,6955665	0,69	1,3855665	1,3477832	0,3477832	1,231855499	0,6955665	1,0377832	0,921855499
1	1,6935318	0,685	1,3785318	1,3467659	0,3467659	1,231177254	0,6935318	1,0317659	0,916177254
1	1,7059032	0,68	1,3859032	1,3529516	0,3529516	1,235301072	0,7059032	1,0329516	0,915301072
1	1,7181899	0,68	1,3981899	1,3590949	0,3590949	1,23939663	0,7181899	1,0390949	0,91939663
1	1,7210904	0,67	1,3910904	1,3605452	0,3605452	1,240363457	0,7210904	1,0305452	0,910363457
1	<b>1,749599</b>	0,66	1,4095985	1,3747993	0,3747993	1,249866174	0,7495985	1,0347993	0,909866174
1	1,7666942	0,66	1,4266942	1,3833471	0,3833471	1,255564741	0,7666942	1,0433471	0,915564741

Tabla 35. Resultados pruebas triaxial para presión de cámara de 1.5 Kg/cm<sup>2</sup>.

(cámara)							Esf. Desviador		Esf. Normal Prom.
$\sigma_3$	$\sigma_1$	$\sigma_3'$	$\sigma_1'$	s	t	p	q	s'	p'
1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0	1,5	0	1,5	1,5
1,5	1,6286099	1,42	1,5486099	1,564305	0,064305	1,542869977	0,1286099	1,484304966	1,462869977
1,5	1,6513058	1,41	1,5613058	1,5756529	0,0756529	1,550435268	0,1513058	1,485652901	1,460435268
1,5	1,689079	1,4	1,589079	1,5945395	0,0945395	1,563026341	0,189079	1,494539512	1,463026341

1,5	1,726831	1,39	1,616831	1,6134155	0,1134155	1,575610317	0,226831	1,503415476	1,465610317
1,5	1,7644871	1,36	1,6244871	1,6322435	0,1322435	1,588162355	0,2644871	1,492243533	1,448162355
1,5	1,8021858	1,34	1,6421858	1,6510929	0,1510929	1,600728588	0,3021858	1,491092882	1,440728588
1,5	1,8774128	1,3	1,6774128	1,6887064	0,1887064	1,625804275	0,3774128	1,488706412	1,425804275
1,5	1,9149199	1,28	1,6949199	1,7074599	0,2074599	1,638306632	0,4149199	1,487459947	1,418306632
1,5	1,9525121	1,27	1,7225121	1,7262561	0,2262561	1,650837378	0,4525121	1,496256066	1,420837378
1,5	1,9899447	1,24	1,7299447	1,7449723	0,2449723	1,663314894	0,4899447	1,48497234	1,403314894
1,5	2,0271856	1,21	1,7371856	1,7635928	0,2635928	1,675728533	0,5271856	1,4735928	1,385728533
1,5	2,064682	1,18	1,744682	1,782341	0,282341	1,688227341	0,564682	1,462341012	1,368227341
1,5	2,1018165	1,15	1,7518165	1,8009082	0,3009082	1,700605494	0,6018165	1,450908241	1,350605494
1,5	2,1387061	1,12	1,7587061	1,819353	0,319353	1,712902028	0,6387061	1,439353041	1,332902028
1,5	2,1755105	1,07	1,7455105	1,8377553	0,3377553	1,725170172	0,6755105	1,407755258	1,295170172
1,5	2,2124321	1,04	1,7524321	1,856216	0,356216	1,737477351	0,7124321	1,396216027	1,277477351
1,5	2,248438	1	1,748438	1,874219	0,374219	1,749479345	0,748438	1,374219017	1,249479345
1,5	2,2845185	0,95	1,7345185	1,8922593	0,3922593	1,761506179	0,7845185	1,342259268	1,211506179
1,5	2,2980948	0,91	1,7080948	1,8990474	0,3990474	1,766031599	0,7980948	1,309047398	1,176031599
1,5	2,3181292	0,85	1,6681292	1,9090646	0,4090646	1,77270972	0,8181292	1,25906458	1,12270972
1,5	2,345452	0,82	1,665452	1,922726	0,422726	1,781817339	0,845452	1,242726009	1,101817339
1,5	2,3484608	0,75	1,5984608	1,9242304	0,4242304	1,782820269	0,8484608	1,174230404	1,032820269
1,5	2,3479711	0,74	1,5879711	1,9239855	0,4239855	1,78265703	0,8479711	1,163985545	1,02265703
1,5	2,3528749	0,72	1,5728749	1,9264374	0,4264374	1,784291625	0,8528749	1,146437437	1,004291625
1,5	2,350405	0,7	1,550405	1,9252025	0,4252025	1,783468332	0,850405	1,125202498	0,983468332
1,5	<b>2,362555</b>	0,68	1,5425547	1,9312773	0,4312773	1,78751823	0,8625547	1,111277344	0,96751823
1,5	2,3600422	0,67	1,5300422	1,9300211	0,4300211	1,786680742	0,8600422	1,100021113	0,956680742

Tabla 36. Resultados pruebas triaxial para presión de cámara de 2.0 Kg/cm<sup>2</sup>.

(cámara)							Esf. Desviador		Esf. Normal Prom.
$\sigma_3$	$\sigma_1$	$\sigma_3'$	$\sigma_1'$	s	t	p	q	s'	p'
2	2	2	2	2	0	2	0	2	2
2	2,0382105	1,995	2,0332105	2,0191053	0,0191053	2,012736847	0,0382105	2,014105271	2,007736847
2	2,0763998	1,99	2,0663998	2,0381999	0,0381999	2,0254666	0,0763998	2,028199901	2,0154666
2	2,1145997	1,99	2,1045997	2,0572999	0,0572999	2,038199901	0,1145997	2,047299851	2,028199901
2	2,1526719	1,98	2,1326719	2,076336	0,076336	2,050890637	0,1526719	2,056335956	2,030890637
2	2,152076	1,98	2,132076	2,076038	0,076038	2,050692007	0,152076	2,056038011	2,030692007
2	2,1899354	1,98	2,1699354	2,0949677	0,0949677	2,063311804	0,1899354	2,074967706	2,043311804
2	2,2278587	1,975	2,2028587	2,1139293	0,1139293	2,075952883	0,2278587	2,088929325	2,050952883
2	2,2278587	1,97	2,1978587	2,1139293	0,1139293	2,075952883	0,2278587	2,083929325	2,045952883
2	2,3038115	1,97	2,2738115	2,1519058	0,1519058	2,101270511	0,3038115	2,121905767	2,071270511
2	2,341788	1,97	2,311788	2,170894	0,170894	2,113929325	0,341788	2,140893988	2,083929325
2	2,379658	1,965	2,344658	2,189829	0,189829	2,126552669	0,379658	2,154829004	2,091552669
2	2,4554619	1,96	2,4154619	2,227731	0,227731	2,15182064	0,4554619	2,187730959	2,11182064
2	2,5312233	1,95	2,4812233	2,2656116	0,2656116	2,177074422	0,5312233	2,215611633	2,127074422
2	2,5690082	1,94	2,5090082	2,2845041	0,2845041	2,189669391	0,5690082	2,224504086	2,129669391
2	2,6067718	1,938	2,5447718	2,3033859	0,3033859	2,202257265	0,6067718	2,241385898	2,140257265
2	2,644695	1,93	2,574695	2,3223475	0,3223475	2,214898344	0,644695	2,252347516	2,144898344
2	2,6824267	1,925	2,6074267	2,3412134	0,3412134	2,227475578	0,6824267	2,266213367	2,152475578
2	2,7203393	1,92	2,6403393	2,3601697	0,3601697	2,24011311	0,7203393	2,280169665	2,16011311
2	2,7578263	1,915	2,6728263	2,3789131	0,3789131	2,252608763	0,7578263	2,293913145	2,167608763
2	2,7954941	1,905	2,7004941	2,3977471	0,3977471	2,265164715	0,7954941	2,302747073	2,170164715
2	2,8331407	1,9	2,7331407	2,4165704	0,4165704	2,277713573	0,8331407	2,31657036	2,177713573
2	2,8708884	1,895	2,7658884	2,4354442	0,4354442	2,290296127	0,8708884	2,330444191	2,185296127
2	2,9086254	1,89	2,7986254	2,4543127	0,4543127	2,302875135	0,9086254	2,344312702	2,192875135
2	2,9462188	1,88	2,8262188	2,4731094	0,4731094	2,315406258	0,9462188	2,353109387	2,195406258
2	2,9837909	1,875	2,8587909	2,4918954	0,4918954	2,327930287	0,9837909	2,36689543	2,202930287

2	3,0213417	1,87	2,8913417	2,5106708	0,5106708	2,340447222	1,0213417	2,380670833	2,210447222
2	3,0588712	1,86	2,9188712	2,5294356	0,5294356	2,352957063	1,0588712	2,389435595	2,212957063
2	3,0960708	1,855	2,9510708	2,5480354	0,5480354	2,365356949	1,0960708	2,403035423	2,220356949
2	3,1335472	1,85	2,9835472	2,5667736	0,5667736	2,377849055	1,1335472	2,416773583	2,227849055
2	3,1710022	1,84	3,0110022	2,5855011	0,5855011	2,390334068	1,1710022	2,425501102	2,230334068
2	3,2080955	1,83	3,0380955	2,6040477	0,6040477	2,402698484	1,2080955	2,434047726	2,232698484
2	3,2454973	1,815	3,0604973	2,6227486	0,6227486	2,415165761	1,2454973	2,437748642	2,230165761
2	3,2828778	1,815	3,0978778	2,6414389	0,6414389	2,427625945	1,2828778	2,456438918	2,242625945
2	3,3198647	1,81	3,1298647	2,6599323	0,6599323	2,439954891	1,3198647	2,469932337	2,249954891
2	3,3568089	1,8	3,1568089	2,6784045	0,6784045	2,45226965	1,3568089	2,478404474	2,25226965
2	3,3941044	1,795	3,1891044	2,6970522	0,6970522	2,464701458	1,3941044	2,492052186	2,259701458
2	3,4309742	1,78	3,2109742	2,7154871	0,7154871	2,476991387	1,4309742	2,495487081	2,256991387
2	3,4682164	1,775	3,2432164	2,7341082	0,7341082	2,48940546	1,4682164	2,50910819	2,26440546
2	3,5050117	1,77	3,2750117	2,7525058	0,7525058	2,501670561	1,5050117	2,522505841	2,271670561
2	3,5417644	1,76	3,3017644	2,7708822	0,7708822	2,513921474	1,5417644	2,530882211	2,273921474
2	3,5784746	1,75	3,3284746	2,7892373	0,7892373	2,526158199	1,5784746	2,539237298	2,276158199
2	3,6151422	1,74	3,3551422	2,8075711	0,8075711	2,538380736	1,6151422	2,547571104	2,278380736
2	3,6517673	1,73	3,3817673	2,8258836	0,8258836	2,550589085	1,6517673	2,555883628	2,280589085
2	3,6883497	1,72	3,4083497	2,8441749	0,8441749	2,562783246	1,6883497	2,56417487	2,282783246
2	3,7244002	1,71	3,4344002	2,8622001	0,8622001	2,57480006	1,7244002	2,572200089	2,28480006
2	3,7608869	1,7	3,4608869	2,8804434	0,8804434	2,586962298	1,7608869	2,580443447	2,286962298
2	3,7968203	1,69	3,4868203	2,8984101	0,8984101	2,598940095	1,7968203	2,588410142	2,288940095
2	3,8326898	1,67	3,5026898	2,9163449	0,9163449	2,610896609	1,8326898	2,586344914	2,280896609
2	3,8690276	1,66	3,5290276	2,9345138	0,9345138	2,623009191	1,8690276	2,594513786	2,283009191
2	3,9042374	1,65	3,5542374	2,9521187	0,9521187	2,634745793	1,9042374	2,60211869	2,284745793
2	3,9399154	1,64	3,5799154	2,9699577	0,9699577	2,646638463	1,9399154	2,609957694	2,286638463
2	3,9760935	1,63	3,6060935	2,9880468	0,9880468	2,658697839	1,9760935	2,618046759	2,288697839
2	4,0110799	1,62	3,6310799	3,0055399	1,0055399	2,670359956	2,0110799	2,625539934	2,290359956
2	4,0459811	1,6	3,6459811	3,0229905	1,0229905	2,681993696	2,0459811	2,622990545	2,281993696
2	4,0813931	1,59	3,6713931	3,0406965	1,0406965	2,693797692	2,0813931	2,630696537	2,283797692
2	4,1161347	1,58	3,6961347	3,0580673	1,0580673	2,705378228	2,1161347	2,638067342	2,285378228

2	4,1507912	1,565	3,7157912	3,0753956	1,0753956	2,716930388	2,1507912	2,640395583	2,281930388
2	4,1853625	1,55	3,7353625	3,0926813	1,0926813	2,728454173	2,1853625	2,64268126	2,278454173
2	4,2192103	1,54	3,7592103	3,1096051	1,1096051	2,739736764	2,2192103	2,649605147	2,279736764
2	4,2536008	1,525	3,7786008	3,1268004	1,1268004	2,751200251	2,2536008	2,651800376	2,276200251
2	4,2872463	1,515	3,8022463	3,1436232	1,1436232	2,76241545	2,2872463	2,658623174	2,27741545
2	4,3194448	1,49	3,8094448	3,1597224	1,1597224	2,773148261	2,3194448	2,649722392	2,263148261
2	4,3528563	1,48	3,8328563	3,1764281	1,1764281	2,784285427	2,3528563	2,65642814	2,264285427
2	4,3854697	1,47	3,8554697	3,1927349	1,1927349	2,79515657	2,3854697	2,662734855	2,26515657
2	4,4179554	1,46	3,8779554	3,2089777	1,2089777	2,805985149	2,4179554	2,668977724	2,265985149
2	4,4481747	1,44	3,8881747	3,2240873	1,2240873	2,816058225	2,4481747	2,664087338	2,256058225
2	4,4803731	1,43	3,9103731	3,2401866	1,2401866	2,826791036	2,4803731	2,670186555	2,256791036
2	4,509507	1,41	3,919507	3,2547535	1,2547535	2,836502322	2,509507	2,664753483	2,246502322
2	4,5399177	1,39	3,9299177	3,2699589	1,2699589	2,846639243	2,5399177	2,659958864	2,236639243
2	4,5701582	1,385	3,9551582	3,2850791	1,2850791	2,856719413	2,5701582	2,670079119	2,241719413
2	4,5994623	1,38	3,9794623	3,2997312	1,2997312	2,866487449	2,5994623	2,679731174	2,246487449
2	4,6205987	1,365	3,9855987	3,3102993	1,3102993	2,873532897	2,6205987	2,675299345	2,238532897
2	4,6559211	1,35	4,0059211	3,3279606	1,3279606	2,885307036	2,6559211	2,677960554	2,235307036
2	4,6695175	1,34	4,0095175	3,3347587	1,3347587	2,889839164	2,6695175	2,674758747	2,229839164
2	4,6901218	1,335	4,0251218	3,3450609	1,3450609	2,896707263	2,6901218	2,680060895	2,231707263
2	4,7105558	1,33	4,0405558	3,3552779	1,3552779	2,903518611	2,7105558	2,685277916	2,233518611
2	4,7450057	1,32	4,0650057	3,3725028	1,3725028	2,915001899	2,7450057	2,692502848	2,235001899
2	4,7579849	1,32	4,0779849	3,3789925	1,3789925	2,919328303	2,7579849	2,698992455	2,239328303
2	4,763786	1,315	4,078786	3,381893	1,381893	2,921261986	2,763786	2,696892979	2,236261986
2	4,7905895	1,31	4,1005895	3,3952947	1,3952947	2,930196486	2,7905895	2,705294729	2,240196486
2	4,8101722	1,305	4,1151722	3,4050861	1,4050861	2,936724076	2,8101722	2,710086114	2,241724076
2	4,8225981	1,305	4,1275981	3,4112991	1,4112991	2,940866039	2,8225981	2,716299058	2,245866039
2	4,8418617	1,3	4,1418617	3,4209308	1,4209308	2,94728722	2,8418617	2,72093083	2,24728722
2	4,879878	1,3	4,179878	3,439939	1,439939	2,959959328	2,879878	2,739938992	2,259959328
2	4,8917293	1,3	4,1917293	3,4458646	1,4458646	2,963909754	2,8917293	2,745864631	2,263909754
2	4,9103331	1,3	4,2103331	3,4551665	1,4551665	2,970111023	2,9103331	2,755166535	2,270111023
2	4,9287666	1,3	4,2287666	3,4643833	1,4643833	2,976255541	2,9287666	2,764383312	2,276255541

2	4,9401923	1,3	4,2401923	3,4700961	1,4700961	2,980064089	2,9401923	2,770096133	2,280064089
2	4,9514902	1,3	4,2514902	3,4757451	1,4757451	2,983830073	2,9514902	2,775745109	2,283830073
2	4,9626605	1,3	4,2626605	3,4813302	1,4813302	2,987553493	2,9626605	2,78133024	2,287553493
2	4,9804769	1,3	4,2804769	3,4902384	1,4902384	2,993492287	2,9804769	2,790238431	2,293492287
2	4,9846179	1,3	4,2846179	3,492309	1,492309	2,994872643	2,9846179	2,792308965	2,294872643
2	4,9954051	1,3	4,2954051	3,4977026	1,4977026	2,998468373	2,9954051	2,797702559	2,298468373
2	5,0027096	1,3	4,3027096	3,5013548	1,5013548	3,000903211	3,0027096	2,801354817	2,300903211
2	5,0099077	1,3	4,3099077	3,5049539	1,5049539	3,00330258	3,0099077	2,80495387	2,30330258
2	5,0203331	1,3	4,3203331	3,5101666	1,5101666	3,006777713	3,0203331	2,810166569	2,306777713
2	5,0306308	1,3	4,3306308	3,5153154	1,5153154	3,010210282	3,0306308	2,815315423	2,310210282
2	5,034176	1,3	4,334176	3,517088	1,517088	3,011392008	3,034176	2,817088012	2,311392008
2	<b>5,037636</b>	1,3	4,3376361	3,518818	1,518818	3,012545359	3,0376361	2,818818038	2,312545359

## Anexo C. Tablas y curvas de calibración picnómetro.

Tabla 37. Calibración del picnómetro N°1.

PICNOMETRO 1	
T(C°)	PESO PICNOMETRO CON AGUA (gr)
75	663,7
69	665,6
59	668,1
51	669,9
37	672,2
32	673,2
26	674
23,5	674,6
16	675,5

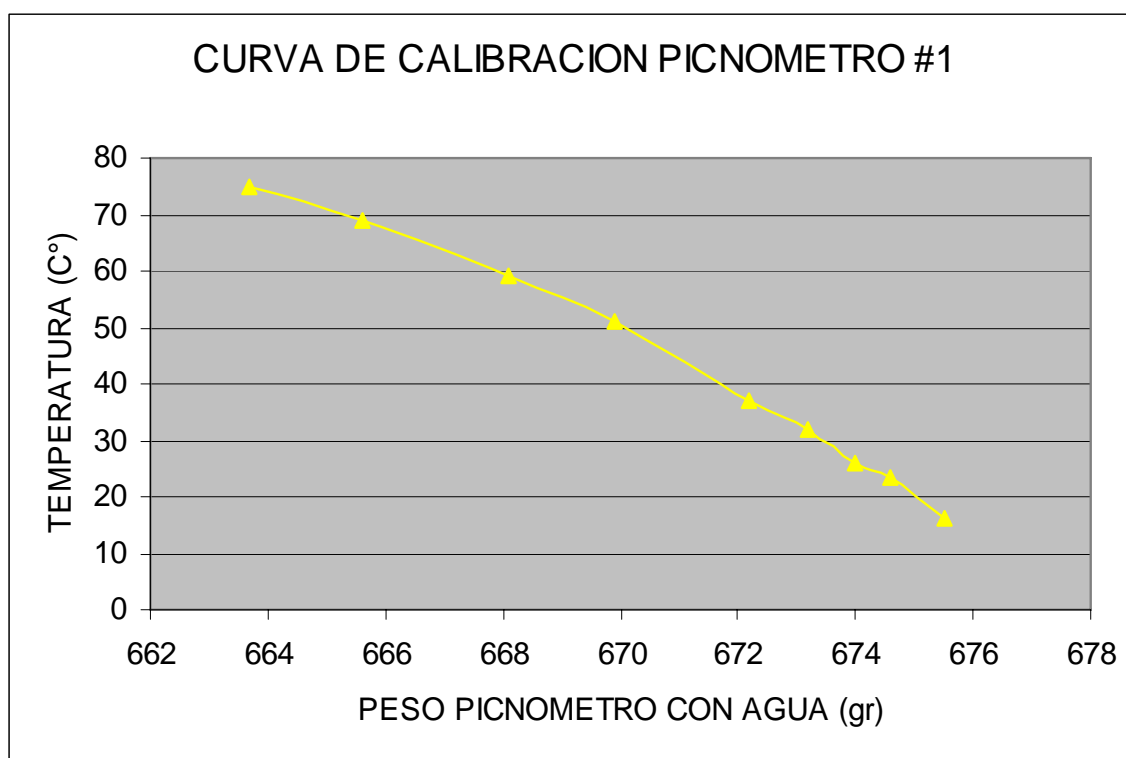


Figura 31. Curva de calibración.



Tabla 38. Calibración del picnómetro N°7.

PICNOMETRO 7	
T(C°)	PESO PICNOMETRO CON AGUA (gr)
81	666,2
69	669,8
58	672,9
46,5	675,5
31	678,2
23	679,3
16	680,1

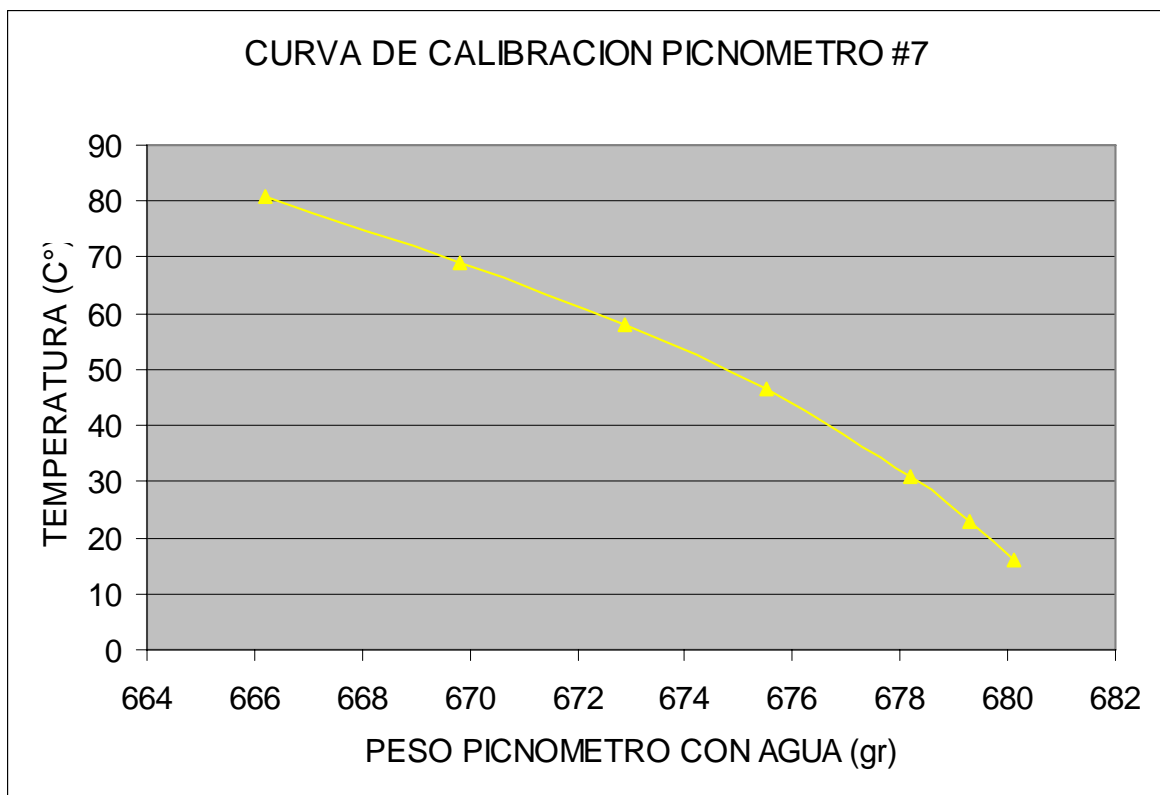
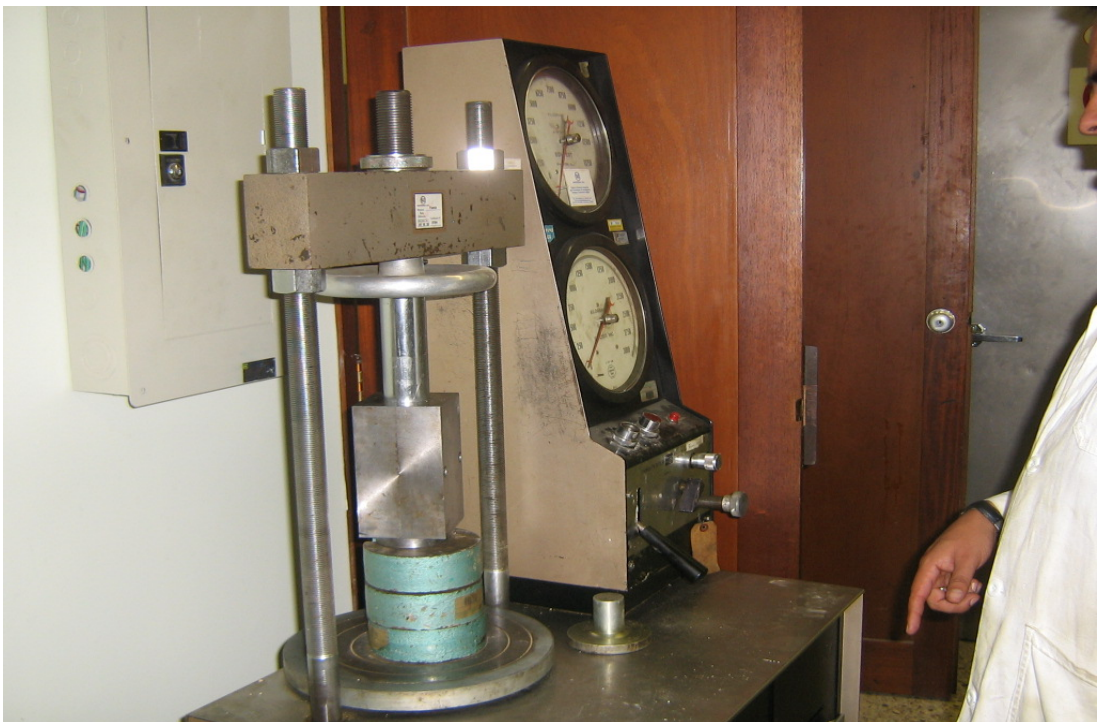


Figura 32. Curva de calibración.

Anexo D. Fotos ensayos triaxiales, Universidad Nacional de Colombia.



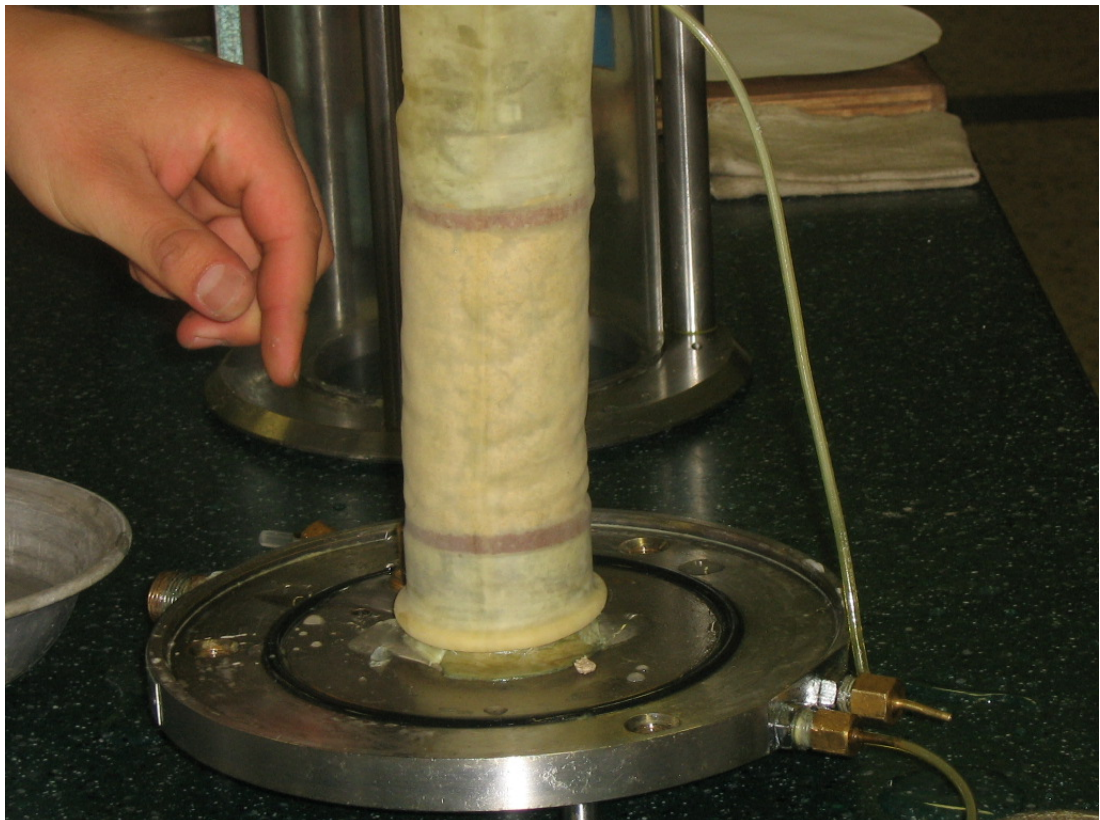






























Anexo E. Fotos de ensayos para caracterizar la muestra, Universidad de la Salle.









Anexo F. CD con software interactivo (**RESCORT.V1**).