

**EVALUACION DE LA CAPACIDAD CEMENTANTE DE LA CENIZA DE CAÑA Y  
CENIZA VOLANTE PARA SUELOS GRANULARES LIMPIOS**

**JENNY ROCIO PEREZ BLANCO  
RAUL ANDRES RIBERO FRANCO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECANICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2008**

**EVALUACION DE LA CAPACIDAD CEMENTANTE DE LA CENIZA DE CAÑA Y  
CENIZA VOLANTE PARA SUELOS GRANULARES LIMPIOS**

**JENNY ROCIO PEREZ BLANCO  
RAUL ANDRES RIBERO FRANCO**

Trabajo de grado para optar por el título de  
**Ingeniero Civil**

Director  
**WILFREDO DEL TORO RODRIGUEZ**  
**Ingeniero Civil, M. Sc.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECANICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2008**

Dedico este trabajo a Dios que fue mi guía  
A mis padres por el apoyo brindado  
A mis hermanas y a mi hermano  
Y a esa persona que me acompaño incondicionalmente  
A mis amigos y compañeros de estudio  
A mi compañero de proyecto

JENNY PEREZ BLANCO

Dedico este trabajo a Dios  
A mis padres que me brindaron todo su apoyo y comprensión  
A mis hermanos y toda mi familia  
A todos mis amigos que siempre estuvieron presentes en momentos  
definitivos de mi carrera  
Y por último a mi compañera de trabajo por valiosa colaboración

**RAUL ANDRES RIBERO FRANCO**

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Ingeniero Wilfredo del Toro, director del proyecto, por acompañar, guiar y facilitar la ejecución de este.

A los profesores de la Escuela de Ingeniería Civil por su valioso aporte a la formación profesional de cada uno de nosotros.

A los Técnicos del laboratorio, German Hernández, Jairo Hernández, al profesor Miguel Antonio Agudelo por su amplia colaboración y ayuda durante el proceso investigativo del proyecto.

A la ayuda de múltiples personas que quisiéramos mencionar una a una, familiares, amigos, compañeros y conocidos quienes con su apoyo físico y moral fueron de vital importancia en el transcurrir de nuestra vida universitaria, muchas gracias por su apoyo.

En fin, a todas las personas que nos acompañaron de alguna u otra manera en la realización y materialización de este proyecto a todos muchas gracias.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Estudio de la capacidad cementante de las cenizas de caña y volantes en suelos granulares limpios.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinación del porcentaje óptimo de adición de ceniza de caña para una mezcla de arena-ceniza de caña y otra mezcla de arena-ceniza volante.
- Estudio de la resistencia a compresión simple de un suelo granular limpio mas la adición de ceniza volante y otra con adición de ceniza de caña.
- Observar el comportamiento a compresión simple de dichas mezclas con la adición de cemento y cal.
- Estudio de la cohesión del suelo granular limpio mas la adición de ceniza de caña, y otra con la adición ceniza volante.
- Observar el efecto que produce la adición de cal y/o cemento en la cohesión.

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION	16
2. GENERALIDADES	18
2.1 ARENA	18
2.2 CENIZA VOLANTE	19
2.3 CENIZA DE CAÑA	21
2.4 CAL Y CEMENTO	21
2.4.1 Cal	21
2.4.2 Cemento	22
3. PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS	23
3.1 ARENA	23
3.1.1 Morfología	23
3.1.2 Forma y Granulometría	23
3.1.3 Estructura Simple	26
3.1.4 Compacidad	26
3.2 CENIZA VOLANTE	26
3.2.1 Humedad y Pérdidas a la Incineración	26
3.2.2 Porosidad	27
3.2.3 Densidad Real y Aparente	27
3.2.4 Morfología de la Ceniza	27
3.2.5 Superficie Específica BET	29
3.2.6 Distribución del Tamaño del Grano	29
3.2.7 Análisis Químico de la Ceniza	29
3.2.8 Elementos Traza	30
3.3 CENIZA DE CAÑA	31
3.4 CAL Y CEMENTO	33
3.4.1 Cal	33
3.4.2 Cemento	33
4. ENSAYOS DE LABORATORIO	34
4.1 GRANULOMETRIA	34
4.2 DETERMINACION DE LAS DOSIFICACIONES ÓPTIMAS	36

4.3 DETERMINACION DE LA HUMEDAD OPTIMA	39
4.4 EVALUACION DE LA RESISTENCIA	41
4.4.1 RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE	41
4.4.2 RESISTENCIA A CORTE DIRECTO	44
4.4.3 RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)	47
5 ANALISIS DE RESULTADOS	49
5.1 RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE	49
5.2 RESISTENCIA A CORTE DIRECTO	54
5.3 RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)	58
CONCLUSIONES	59
RECOMENDACIONES	60
BIBLIOGRAFIA	61

## LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 Clasificación de la cenizas volantes. Norma ASTM C618	19
Tabla 2.2. Contenido en óxidos mayoritarios de las cenizas volantes Seleccionadas	20
Tabla 2.3 Proporción de las fibras del bagazo de caña	21
Tabla 3.1 Granulometría de arenas	23
Tabla 3.2 Contenido de óxidos presentes en las cenizas, Las concentraciones expresadas en (%en peso)	30
Tabla 3.3 Contenido de Nitrógeno y carbono de las cenizas	30
Tabla 3.4 Contenido de elementos traza en mg/Kg. de las cenizas	31
Tabla 3.5 Granulometría de la ceniza de caña	32
Tabla 4.1 Granulometría de la arena limpia, arena sin lavar y ceniza de caña	35
Tabla 4.2 Tabla de dosificaciones vs $q_u$ (resistencia a la compresión simple)	39
Tabla 4.3 Humedad óptima de la mezclas de ceniza volante y ceniza de caña con arena	40
Tabla 4.4 Resistencia a la compresión simple mezcla arena-ceniza volante	42
Tabla 4.5 Resistencia a la compresión simple mezcla arena-ceniza volante-cal	42
Tabla 4.6 Resistencia a la compresión simple mezcla arena-ceniza volante-cemento	43
Tabla 4.7 Resistencia a la compresión simple mezcla arena-ceniza de caña	43
Tabla 4.8 Resistencia a la compresión simple mezcla arena-ceniza de caña-cal	43
Tabla 4.9 Resistencia a la compresión simple mezcla arena-ceniza de caña-cemento	44
Tabla 4.10 Deformaciones y esfuerzos cortantes de las diferentes mezclas	45
Tabla 4.11 cohesión y fricción calculados de las diferentes mezclas	46
Tabla 4.12 Porcentaje de CBR obtenido en las diferentes mezclas	48

## LISTA DE FIGURAS Y GRAFICAS

Figura 2.1 Diferentes clases de residuos de la Combustión del carbón y cemento	20
Figura 2.2 Cal viva y cal apagada	22
Figura 3.1 Partículas de forma subangulosa y subredondeada	25
Figura 3.2 Partículas de forma redondeada entre el pasa N°10 y retenido el tamiz N°200	25
Figura 3.3 Estructura simple en estado suelto	26
Figura 3.4 Tipos morfológicos en las cenizas de Termo-Tasajero	28
Figura 3.5 Diferentes tipos de partículas esféricas presentes en las cenizas volantes	28
Figura 3.6 Distribución granulométrica de las Cenizas volantes	29
Figura 3.7 Ceniza de caña utilizada en el proyecto	32
Figura 3.8 mezcla de cal con la ceniza de caña y arena limpia	33
Figura 4.1 tamices usados en las muestras desde el pasa N°200 hasta el retenido 3/8"	35
Figura 4.2 Probetas para dosificación óptima de ceniza volante	36
Figura 4.3 Probetas de dosificación óptima de ceniza de caña	36
Figura 4.4 Equipo usado para realizar las probetas	37
Figura 4.5 Equipo utilizado en el ensayo de proctor estándar	40
Figura 4.6 maquina usada en compresión simple	42
Figura 4.7 equipo utilizado en corte directo	45
Figura 4.8 corte generado en la muestra ceniza volante- arena	45
Figura 4.9 probetas con las diferentes mezclas para CBR	47
Figura 4.10 maquina utilizada para el ensayo de CBR	47
Grafica 1 Granulometrías de las arenas	24
Grafica 2 Curva Granulométrica de la ceniza de caña	32
Grafica 3 Dosificaciones óptimas	38
Grafica 4 Humedades óptimas	40
Grafica 5 Resistencia a la Compresión simple mezcla arena-ceniza volante	49
Grafica 6 Compresión simple mezcla arena-ceniza de caña	50
Grafica 7 compresión simple mezcla arena-ceniza volante-cal	50
Grafica 8 compresión simple mezcla arena-ceniza de caña-cal	51
Grafica 9 compresión simple mezcla arena-ceniza volante-cemento	52
Grafica 10 compresión simple mezcla arena-ceniza de caña-cemento	52
Grafica 11 corte directo arena	54
Grafica 12 corte directo arena-ceniza volante	54
Grafica 13 corte directo arena-ceniza volante-cal	55
Grafica 14 corte directo arena-ceniza volante-cemento	55
Grafica 15 corte directo arena-ceniza de caña	56
Grafica 16 corte directo arena-ceniza de caña-cal	56
Grafica 17 corte directo arena-ceniza de caña-cal	57
Grafica 18 presión vs penetración	58

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1 GRANULOMETRIAS	64
ANEXO 2 DOSIFICACIONES ÓPTIMAS	68
ANEXO 3 HUMEDADES ÓPTIMAS	71
ANEXO 4 COMPRESION SIMPLE	71
ANEXO 5 CORTE DIRECTO	111
ANEXO 6 CBR	133

## RESUMEN

### TITULO

EVALUACION DE LA CAPACIDAD CEMENTANTE DE LA CENIZA DE CAÑA Y CENIZA VOLANTE PARA SUELOS GRANULARES LIMPIOS\*

### AUTORES

JENNY ROCIO PEREZ BLANCO  
RAUL ANDRES RIBERO FRANCO\*\*

### PALABRAS CLAVE

Arena, Ceniza Volante, Ceniza de Caña, Propiedades, Capacidad Cementante, Resistencia, Esfuerzo, cohesión.

### DESCRIPCIÓN

El objetivo de este proyecto es analizar la capacidad que tiene la cenizas de caña y cenizas volantes de cementar las partículas que conforman los suelos granulares limpios (arena), adicionalmente conocer el efecto que produce al adicionarle un bajo porcentaje de cal y/o cemento a las mezclas suelo-ceniza sin que estos intervengan en la evaluación de la capacidad cementante de cada ceniza; para así posteriormente aprovechar estos resultados en el mejoramiento de diferentes tipos de suelos y también ayudar a disminuir el impacto que estas cenizas producen en el medio ambiente.

Las cenizas de caña y cenizas volantes son desechos que resultan de la combustión del bagazo de caña y el carbón mineral respectivamente, las cuales son consideradas elementos contaminantes, y por ser de este tipo su costo es muy bajo comparado con otros tipos de cementantes.

Para la realización de este proyecto fueron necesarios ciertos análisis en el laboratorio tales como granulometría, determinación de dosificaciones optimas por medio del ensayo de compresión simple y proctor estándar para lograr determinar una dosificación optima; posteriormente se realizan una serie de ensayos como compresión simple, corte directo y CBR, los cuales nos proporcionan una medida de la resistencia de cada diseño de mezcla, y estas se analizan para dar un concepto acerca de la cementacion y cohesión que estos materiales proporcionan en un suelo granular limpio (arena).

---

\* Proyecto de grado

\*\* Facultad de Ingeniería Físico-Mecánicas. Ingeniería Civil. Director: Wilfredo del Toro Rodríguez.

## SUMMARY

### TITLE

EVALUATION OF CEMENT CAPACITY OF THE CANE ASH AND FLYING ASH FOR GRANULAR CLEAN SOILS.\*

### AUTHORS

JENNY ROCIO PEREZ BLANCO  
RAUL ANDRES RIVERO FRANCO\*\*

### KEY WORDS

Sand, Cane Ash, Flying Ash, Properties, cement Capacity, Resistance, strengthen, cohesion.

### ABSTRACT

The object of this project is to analyze the capacity that has the cane ashes and flying ashes to cement the particles to agree the granular clean soils (sand), additional to know the effect that produces when adds a low percentage of lime and / or cement to the mixtures soil - ash without these intervene in the evaluation of the cement capacity of every ash; this way later to take advantage of these results in the improvement of different types of soils and also to help to diminish the impact that these ashes produce in the environment

The ashes of cane and flying ashes are tailing that ensue from the combustion of the bagasse of cane and the mineral coal respectively, which are considered to be pollutant elements, and for being of this type his cost is very low compared with other types of cements.

For the accomplishment of this project they were necessary certain analyses in the laboratory such as grain, determination of ideal dosing by means of the simple compression test and proctor standard to manage to determine an ideal dosing; later a series of tests(essays) are realized as simple compression, direct cut and CBR, which provide to us a measure of the resistance of every design of mixture(mixing), and these are analyzed to give a concept it he brings over of the cementation and cohesion that these materials provide in a granular clean soil (sand).

---

\* Degree Proyect.

\*\* Physical – Mechanical Engineerings Faculty. Civil Engineering. Director: Wilfredo del Toro Rodríguez.

## INTRODUCCIÓN

Ante los desafíos que plantean los escenarios actuales tanto en el campo económico, como social, político y ambiental, los diferentes actores del desarrollo deben asumir nuevos roles y generar nuevas dinámicas de interacción con el entorno cambiante. El mercado y la sociedad están experimentando cada día situaciones novedosas que los llevan a replantear posturas y asumir nuevos planes de intervención de forma flexible y rápida.

La crisis ambiental que se nos presenta actualmente, ha incentivado a que los diferentes campos del conocimiento elaboren nuevas propuestas que contribuyan a aminorar los efectos no deseados del desarrollo. En el campo de la Ingeniería Civil se vienen construyendo propuestas para el aprovechamiento de materiales contaminantes revirtiendo estos efectos negativos a través de su aprovechamiento como insumos en las obras civiles.

Las cenizas de cana y cenizas volantes son residuos del proceso de combustión de la caña y el carbón, respectivamente, que contaminan el medio ambiente. Lo que antes fue "basura", ahora es un recurso para los ingenieros. En efecto las cenizas son utilizadas, en casi todo el mundo, para construir. La utilización de este residuo en la construcción ha contribuido en la disminución de la problemática ambiental y además por su condición de desecho, presenta un bajo costo.

La disminución del impacto ambiental ocurre porque estos materiales se utilizan como insumo en la mejora de procesos ingenieriles. De esta forma el esfuerzo se ha concentrado en darle utilidad a este tipo de material contaminante en el mejoramiento de la capacidad de soporte y la cohesión de los suelos.

Con este trabajo se busca desarrollar un método para aumentar la capacidad cementante de los suelos que sea alternativo al de los productos sintéticos, que reporte unos menores costos de fabricación y que disminuya el impacto ambiental.

El estudio que aquí se presenta inicia con la exposición de las generalidades de los materiales utilizados, mostrando su origen y rasgos distintivos. En un segundo momento se procede a describir de forma exhaustiva las propiedades y características de cada uno de los materiales empleados en los diferentes ensayos programados y realizados en el laboratorio. La Arena es un material que presenta cero cohesión con respecto a cualquier tipo de suelo, por tal razón se emplean otros materiales como la Ceniza Volante y la Ceniza de Caña para darle cohesión a este material mejorando sus propiedades. De esta forma se estaría determinando el impacto de la utilización de la Ceniza Volante y la Ceniza de Caña como mejoradores de cohesión en los suelos, También se utilizan materiales como la Cal y el Cemento que poseen propiedades cementantes para contribuir en la disminución de la abrasión.

En un tercer momento, a la arena se le realiza un ensayo de granulometría que nos permite clasificar el material. Seguido de esto, se realizan pruebas para poder estimar la dosificación óptima de los materiales que se adicionan a la arena -esto nos permite determinar la combinación ideal de materiales que presentan el mejor comportamiento-. De igual forma, se halla la humedad óptima de la mezcla obtenida en las pruebas anteriores y con esta combinación adecuada de materiales se procede a realizar los respectivos ensayos para poder determinar si la Ceniza Volante y la Ceniza de Caña tienen la capacidad de conglomerar las partículas de un suelo como lo es el suelo granular limpio.

## 1. GENERALIDADES

La formación de los suelos se debe a la meteorización de la roca madre, como producto de los distintos procesos erosivos, químicos y mecánicos, donde la roca madre se va desintegrando formando partículas de menor tamaño y con alguna organización o estructura definida, dando origen al perfil del suelo. En algunos casos este perfil se vuelve heterogéneo y es causado por los diferentes minerales y materia orgánica depositados en la parte superior de la corteza terrestre.

Muchos de estos suelos en su estado natural agrupan características físicas y químicas, algunas de estas características se pretenden alterar ya sea para mejorar su calidad y resistencia.

Algunos materiales no tienen la capacidad de cementar por si solos, pero pueden llegar a tener esta propiedad si reaccionan químicamente con agua; como el caso de las cenizas volantes y de caña.

El valor cementante es la diferencia de la resistencia a la compresión sin confinar y se da en  $kg/cm^2$ , para nuestro caso es la diferencia entre la arena y las mezclas con las cenizas, esta propiedad tiene la capacidad de cohesionar, un grupo de partículas en una mezcla para ganar resistencia.

Los materiales usados en el presente proyecto serán especificados en los siguientes numerales.

### 2.1 ARENA

Las arena que se utilizo para el desarrollo del proyecto viene de las rocas de la formación Girón, y son el basamento principal del río de oro; las arenas poseen las mismas propiedades da las rocas que provienen, ya que las rocas se rompen en fracciones muy pequeñas causadas por erosión, flujo sub-superficiales, etc. dando origen a las arenas; estas están formadas por areniscas cuarzosas y limonitas rojizas las cuales se arrastran y se sedimentan a lo largo de todo el cauce del río de oro, desde Bahondo hasta el parque industrial.

## 2.2 CENIZA VOLANTE

Son partículas finas de forma esférica que pueden ser sólidas o huecas, producidas por la combustión y gasificación del carbón donde son atrapadas por filtros; estas cenizas las producen las plantas generadoras de electricidad (en nuestro caso la Termoeléctrica de Tasajero).

Este material inorgánico pulverulento, está compuesto generalmente por más de un 70% de material vítreo aluminosilicatado y cantidades menores de Fe, Na, K, Ca, P, Ti, S, la capa superficial presenta Elementos volátiles.

De acuerdo a la norma ASTM C618 las cenizas se pueden clasificar en dos grupos según sus propiedades, las de carácter cementante están catalogadas en el grupo C y las de naturaleza puzolánica como de clase F; en la (Tabla 1.1) se muestra la clasificación según la norma.

**Tabla 2.1 Clasificación de la cenizas volantes. Norma ASTM C618**

	<b>CLASE F</b>	<b>CLASE C</b>
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	70% mín	50% mín
MgO	5% máx	5% máx
SO <sub>3</sub>	5% máx	5% máx
Humedad	3% máx	3% máx
Pérdidas a la incineración	6% máx	6% máx

Fuente: Caracterización de las Cenizas Volantes. Termo-Tasajero

Las cenizas seleccionadas (ceniza de Termo-Tasajero) se clasifican, de acuerdo a la norma ASTM C618 en las de naturaleza puzolánica como de clase F.

En la figura 2.1 se ve como la ceniza volante clase F es similar al cemento Pórtland.

**Figura 2.1 Diferentes clases de residuos de la Combustión del carbón y cemento**



Fuente: Tomada de Internet

**Tabla 2.2. Contenido en óxidos mayoritarios de las cenizas volantes seleccionadas. Las concentraciones vienen expresadas en % en peso.**

	Tasajero
SiO <sub>2</sub>	51,8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22,1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,2
CaO	0,6
MgO	0,4
Na <sub>2</sub> O	0,2
K <sub>2</sub> O	0,9
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,1
TiO <sub>2</sub>	1
MnO	0,01
SO <sub>3</sub>	0,5
SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,2

Fuente: Caracterización de las Cenizas Volantes. Termo-Tasajero

El carbón es el principal combustible para las centrales termoeléctricas, las previsiones de UE del programa Thermie (1992), estimaban que para el siglo XXI un incremento del 30% en la producción de energía eléctrica a partir del carbón, esto indica las cantidades de ceniza volante y escoria producidas por las termoeléctricas son muy grandes. La combustión de 1Ton de carbón genera un promedio de 80 a 250 kg de residuos, en Europa se estiman en 88 y 55 millones de toneladas por año, en Holanda se recicla el 100% de la producción.

## 2.3 CENIZA DE CAÑA

La ceniza de caña fue traída de Curiti; este es un municipio del departamento de Santander ubicado a 91 kilómetros de Bucaramanga.

Similarmente la ceniza de caña es producida por la combustión del bagazo de la caña. El bagazo es el residuo de la caña después de la extracción del jugo, es un material fibroso, constituye un 15% del peso de la caña, que se obtiene de la molienda de la caña; en cuanto a su composición granulométrica y estructural es heterogéneo con baja densidad y un alto contenido de humedad. Por cada 1000 kg molidos de caña de azúcar se producen aproximadamente 225 kg de bagazo húmedo (50% en peso aproximadamente en contenido de humedad) (García-Pérez et al. 2001).

El bagazo esta constituido de dos tipos de fibras; las fibras corticales que están en la parte externa y las fibras medulares que están unidas entre si por la medula que es un tejido esponjoso; su composición es la siguiente:

**Tabla 2.3 Proporción de las fibras del bagazo de caña**

Fibras corticales	50%
Fibras medulares	15%
Polvillo de medula	30%
Epidermis no fibrosa	5%

Fuente: Tesis de grado Estabilización de suelos finos utilizando ceniza del bagazo de caña de azúcar

## 2.4 CAL Y CEMENTO

### 2.4.1 Cal

Existen dos tipos de cal; la cal viva ( $\text{CaO}$ ) óxido de calcio y la cal apagada  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  hidróxido de calcio, la cual se obtiene por la reacción que produce el óxido de calcio o cal viva y agua. La roca caliza se saca de los depósitos sedimentarios de carbonato de calcio (caliches), donde la roca es calcinada en hornos de 900-1200 °C produciendo la cal viva.

Desde hace muchos siglos la cal es usada como aglomerante pero disminuye la plasticidad de los suelos arcillosos, aunque se usa la cal apagada por ser mas recomendable es más costosa, la cal viva por falta de hidratación cuando entra en contacto con los tejidos quema debido que absorbe el agua de la piel.

**Figura 2.2 Cal viva y cal apagada**



Fuente: tomada de Internet

### **2.4.2 Cemento**

Es el producto de construcción más usado en el mundo, ya que mezclado con agregados pétreos conforma una pasta muy dura y resistente; cuando es agregado a los suelos aumenta su resistencia y mejora su deformabilidad. Se obtiene producto de la calcinación de la caliza más arcillas; en el horno se forma el clinker que son granos de 3cm de diámetro; se estaciona entre 15-30 días, luego se introduce en la molienda adicionándole 3% de yeso (sulfato de calcio) para aumentar su tiempo de endurecimiento; por que el cemento sin yeso fragua muy rápido aproximadamente 5 minutos con la adición de yeso se demora aproximadamente 45 minutos obteniéndose así el cemento Pórtland.

### 3. PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DE LOS MATERIALES

#### 3.1 ARENA

##### 3.1.1 Morfología

La formación del valle de río de oro esta compuesta principalmente por arenas gravas y conglomerados de aluvión, muy permeables; su composición principal es de areniscas cuarzosas y limonitas rojizas

Las partículas constituyen masas rígidas cuyas partículas sufren desplazamientos; la arena utilizada cuyo contenido de finos lo hace un material friccionante sin cohesión.

##### 3.1.2 Forma y Granulometría

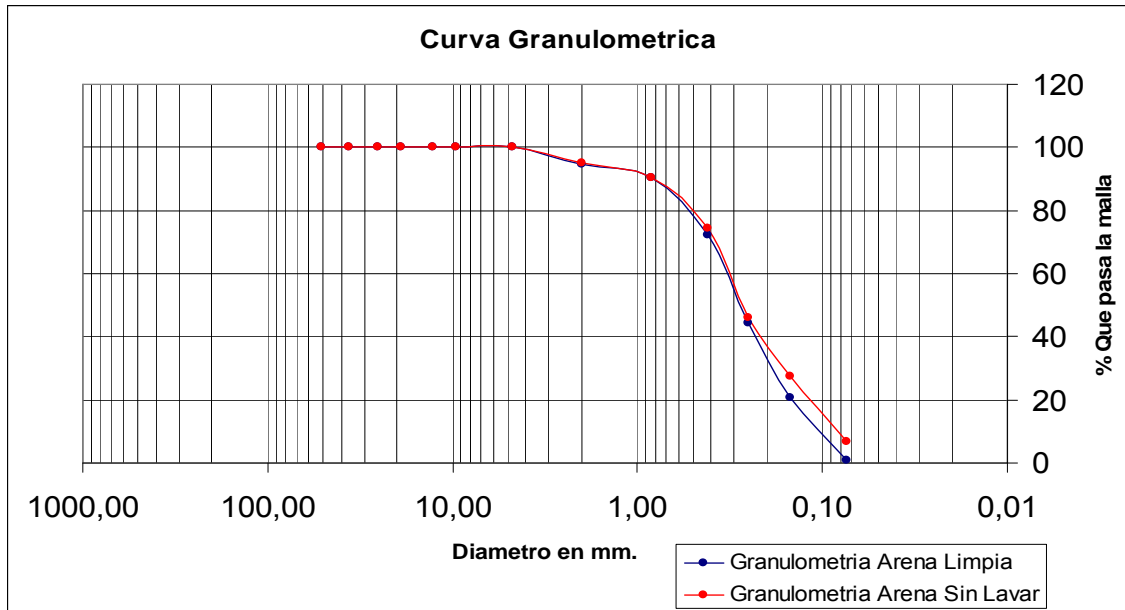
Las partículas son equidimensionales, tienen forma redondeada y subredondeada debido al arrastre y la abrasión.

Las muestras de arenas utilizadas en el estudio fue lavada por el tamiz N°200 y estan conformadas por partículas cuyo tamaño estaba contenido entre el pasa tamiz N°10 y retenido en el N°200; pues se considero que eran muy grandes para el tamaño de la probeta; produciendo así mayor fricción y corte en algunas zonas de la muestra creando gran volumen de vacíos, siendo las partículas entre pasa N°10 y retenido N°200 las de la forma redondeada; las retenidas en el tamiz N°10, N°4, y 3/8" son de forma subredondeadas y subangulosas.

Tabla 3.1 Granulometría de arenas

ARENA SIN LAVAR		ARENA LIMPIA	
MALLA No	% QUE PASA LA MALLA	MALLA N°	% QUE PASA
3/8"	100	3/8"	100
No 4	100	No 4	100
No 10	95,21	No 10	94,77
No 20	90,6	No 20	90,56
No 40	74,39	No 40	72,31
No 60	45,97	No 60	44,38
No 100	27,33	No 100	20,52
No 200	6,85	No 200	0,89

**Grafica 1 Granulometrías de las arenas**



Según las curvas de las 2 muestras de arena que se analizaron en este ensayo se obtuvieron los siguientes resultados:

Para la arena lavada:

$D_{60}=0,35$

$D_{30}=0,19$

$D_{10}=0,11$

Para la arena sin lavar:

$D_{60}=0,32$

$D_{30}=0,16$

$D_{10}=0,085$

Ambas muestras pertenecen al grupo S (arenas), ya que mas del 50% pasa el tamiz N°4 (ver tabla 4.1); en ambas muestras de arena pasan el 100% y también en ambas muestras < 5% pasa el tamiz N°200.

Si el mayor porcentaje retenido de partículas esta entre los tamices N°4 y el N°200, esta muestra se puede clasificar como una arena fina.

Para determinar si esta es bien o mal gradada se necesita conocer el valor del coeficiente de uniformidad y el coeficiente de curvatura. Para considerar si la arena es bien gradada se exige que:

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6 \text{ Y al mismo tiempo debe cumplirse } 1 < Cc < 3$$

Estos parámetros fueron evaluados par ambas muestras de arena.

Arena lavada:  $C_u=3,18$  y  $C_c=0,93$

Arena sin lavar:  $C_u=3,76$  y  $C_c=0,94$

Después de este análisis se puede determinar su completa clasificación.

En la grafica se puede ver que una vez lavada la muestra perdió material fino en muy poco porcentaje.

Las dos muestras se clasifican como: **(SP) ARENA FINA MAL GRADADA**

**Figura 3.1 Partículas de forma subangulosa y subredondeada**



**a) partículas retenidas tamiz N°10**

**b) partículas retenidas por el tamiz 3/8"**

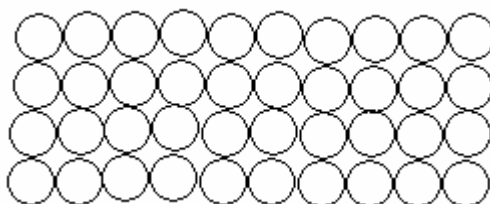
**Figura 3.2 Partículas de forma redondeada entre el pasa N°10 y retenido el tamiz N°200**



### 3.1.3 Estructura Simple

Debido al tamaño y peso de las partículas predominan las fuerzas gravitacionales, conformando así una estructura simple.

**Figura 3.3 Estructura simple en estado suelto**



### 3.1.4 Compacidad

La compacidad es baja ya que la muestra es arena limpia suelta, su grado de acomodo es menor que en una compacta, tiene gran volumen de vacíos, y su capacidad de deformación es muy alta.

## 3.2 CENIZA VOLANTE<sup>2</sup>

### 3.2.1 Humedad y Pérdidas a la Incineración

La alta porosidad de las partículas de carbón afecta negativamente la calidad de las cenizas; ya que un alto contenido de humedad o pérdida de incineración no contribuyen a la buena calidad de las cenizas.

Las muestras de ceniza volante de Termo-Tasajero fueron tomadas directamente de los precipitadores electrostáticos. Dando como resultados un 26.7% de humedad y un valor alto de 16.2% de pérdida a la incineración; el porcentaje de la pérdida de

---

<sup>2</sup> Los datos que se presentan en este apartado son tomados de la Caracterización de las Cenizas Volantes realizado por la Termoeléctrica Tasajero.

incineración es un indicador de la eficiencia en la combustión de la central termoeléctrica, este resultado muestra un alto contenido de carbón inquemado y una deficiencia en el sistema de combustión.

### **3.2.2 Porosidad**

El valor de porosidad de las cenizas volantes es de 67.39%

### **3.2.3 Densidad Real y Aparente**

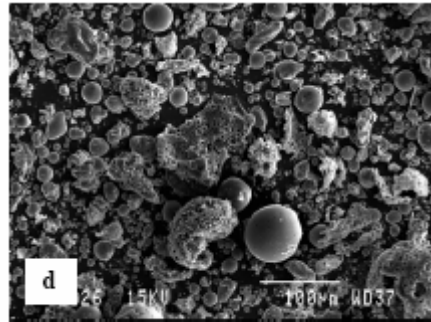
La densidad real muestra un valor promedio de 2.3 g/cm<sup>3</sup>; lo cual indica que son partículas ricas en fase vítrea con inclusiones de mullita, cuarzo y niveles elevados de fases cristalinas aluminosilicatadas, esta clasificación fue dada por Hemmings y Berry (1985).

Para la densidad aparente el valor fue de 0.75g/cm<sup>3</sup> para este el factor más influyente es la porosidad, donde la porosidad y la densidad están relacionadas ya que a mayor porosidad el valor de la densidad aparente es menor. Si las densidades son bajas hay mayor presencia de cenoesferas e inquemados.

### **3.2.4 Morfología de las Cenizas**

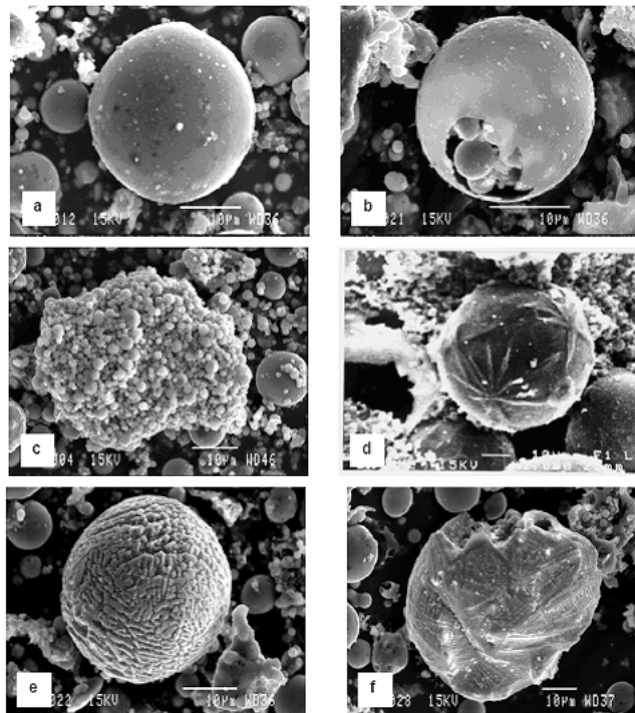
Las partículas están constituidas por alto contenido de formas irregulares principalmente de carbón inquemado y de microsferas de varios tipos algunas son huecas, compactas; algunas de las huecas presentan aglomerados dentro de las esferas huecas compuestas de aluminosilicatos amorfos y en algunas de ellas se puede ver la cristalización de la mullita. La capa superficial de las partículas esféricas presenta un claro enriquecimiento de elementos volátiles condensan posteriormente a la combustión del carbón.

**Figura 3.4 Tipos morfológicos en las cenizas de Termo-Tasajero**



Fuente: Caracterización de las Cenizas Volantes. Termo-Tasajero

**Figura 3.5 Diferentes tipos de partículas esféricas presentes en las cenizas volantes.**



Fuente: Caracterización de las Cenizas Volantes. Termo-Tasajero

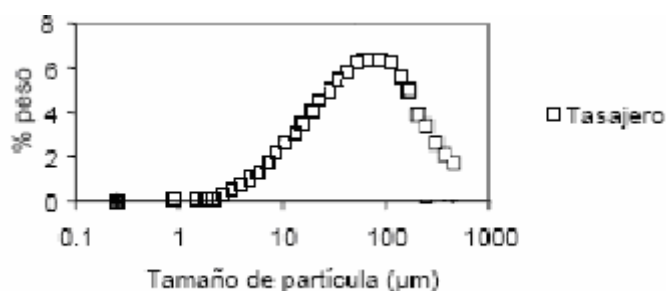
### 3.2.5 Superficie específica BET

Debido a la alta porosidad, contenido de inquemados y características morfológicas presentan altos valores de superficie específica; las muestras analizadas por (Termo-Tasajero) fue de  $11.21m^2 / g$ .

### 3.2.6 Distribución del Tamaño del grano

Las partículas de la ceniza volante de Termo-Tasajero tiene aspecto de polvo de color grisáceo, presentan diferencias en porosidad, densidad y tamaño; las partículas analizadas presentan una distribución normal de tamaño de grano, con modas altas cerca de  $100 \mu m$ .

**Figura 3.6 Distribución granulométrica de las Cenizas volantes**



Fuente: Caracterización de las Cenizas Volantes. Termo-Tasajero

### 3.2.7 Análisis Químico de la Ceniza

La relación de  $SiO_2/Al_2O_3$  es considerablemente alta, en cuanto al contenido de nitrógeno de las cenizas volantes es bajo ( $<0.25\%$ ); en cuanto a la concentración de carbono es alta.

En la tabla 3.2 presenta una composición química típica de la ceniza.

**Tabla 3.2 Contenido de óxidos presentes en las cenizas,  
Las concentraciones expresadas en (%en peso)**

Composición	Termo-tasajero
SiO <sub>2</sub>	51,8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22,1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,2
CaO	0,6
MgO	0,4
Na <sub>2</sub> O	0,2
K <sub>2</sub> O	0,9
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,1
TiO <sub>2</sub>	1,0
MnO	0,01
SO <sub>3</sub>	0,5
SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,2

Fuente: Caracterización de las Cenizas Volantes. Termo-Tasajero

**Tabla 3.3 Contenido de Nitrógeno y carbono de las cenizas**

% N	% C
0,22	13,4

Fuente: Caracterización de las Cenizas Volantes. Termo-Tasajero

### 3.2.8 Elementos Traza

Son elementos muy importantes para algunos procesos como la síntesis de las zeolitas ya que por su solubilización de estos elementos tiene un gran impacto e implicaciones ambientales estos, elementos se presentan en muy bajas proporciones.

**Tabla 3.4 Contenido de elementos traça en mg/Kg. de las cenizas**

<b>Tasajero</b>	
As	49
B	68
Ba	670
Be	11.0
Cd	11.0
Co	50
Cr	129
Cu	170
Ge	23.0
Hg	<0.01
Li	69
Mo	46
Ni	138
Pb	48
Rb	49
Se	52
Sn	5.0
Sr	181
Th	23
U	11.0
V	419
Zn	309

Fuente: Caracterización de las Cenizas Volantes. Termo-Tasajero

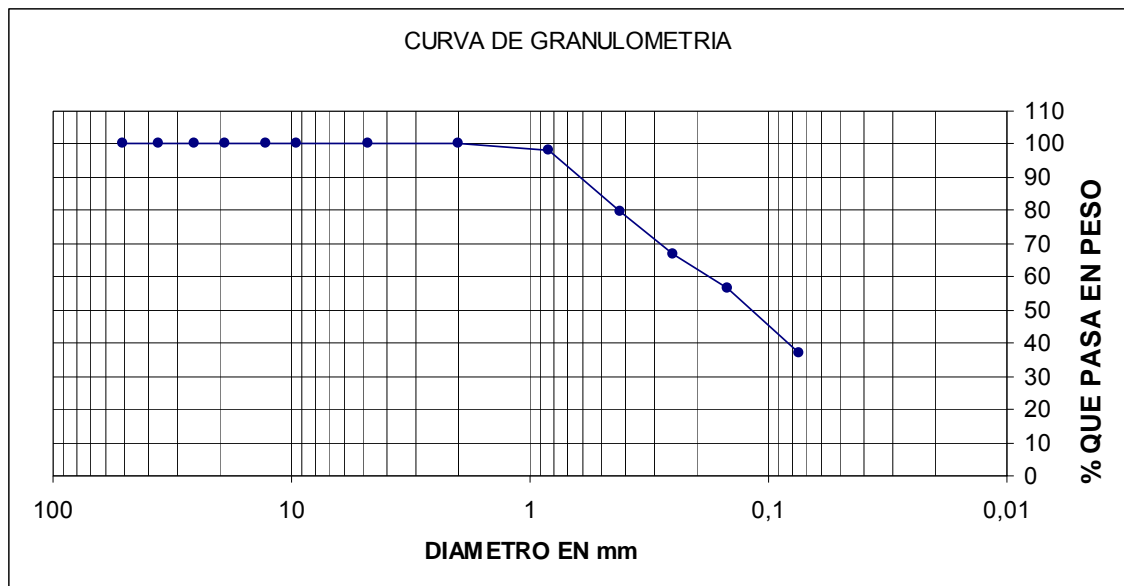
### **3.3 CENIZA DE CAÑA**

Cuando el bagazo de caña se quema convenientemente se convierte en un material con propiedades puzolanicas, ricas en sílice y alúmina; su estructura depende de la temperatura de combustión.

La ceniza de caña al tener esta característica no posee propiedades cementantes por si sola, pero con presencia de agua reaccionan químicamente para formar compuestos con propiedades cementantes.

El bagazo de caña fue quemada en el trapiche el Común ubicado en la vereda de este mismo nombre, en el municipio de Curita; para esta comunidad la ceniza de caña es solo un residuo contaminante por lo cual no tiene estudios de su estructura ni de su composición química y propiedades físicas.

**Grafica 2 Curva Granulométrica de la ceniza de caña**



**Figura 3.7 Ceniza de caña utilizada en el proyecto**



**Tabla 3.5 Granulometría de la ceniza de caña**

CENIZA DE CAÑA	
MALLA No	% QUE PASA LA MALLA
3/8"	100
No 4	100
No 10	100
No 20	98,24
No 40	79,69
No 60	66,61
No 100	56,76
No 200	37,22

## 3.4 CAL Y CEMENTO

### 3.4.1 Cal

La cal agregada a las muestras, es cal apagada (hidróxido de Calcio) ya que es la más recomendable para manejo y utilización; uno de sus efectos es disminuir el contenido de agua en los suelos.

Son partículas sólidas, pulverulentas secas de color blanca, solubles en agua y tienen la propiedad de fraguar con presencia de agua y otros elementos.

**Figura 3.8 mezcla de cal con la ceniza de caña y arena limpia**



### 3.4.2 Cemento

El cemento utilizado, es cemento Pórtland tipo I, es un material inorgánico, pulverizado de color grisáceo, es un conglomerante ya sea solo o con arena y demás materiales, el da propiedades cohesivas y adhesivas a la mezcla que se va a hacer, tiene la propiedad de fraguar, cuando se endurece no pierde su resistencia.

## 4. ENSAYOS DE LABORATORIO

Para la elaboración de este proyecto fue necesario realizar una serie de ensayos en laboratorio de suelos de la facultad, los cuales demoraron un tiempo de 3 meses debido a lo complicado del manejo del material utilizado y los tiempos de curado de los especímenes realizados.

Los siguientes fueron los ensayos realizados:

- Granulometrías
- Dosificación óptima
- Proctor Standard
- Compresión simple
- Corte directo
- CBR

### 4.1 GRANULOMETRIA

Se realizaron en total 3 granulometrías, dos de ellas a la muestra de arena y una a la muestra de ceniza de caña. Para la ceniza volante no fue necesario hacer este ensayo ya que estos datos fueron proporcionados por la empresa Termo-Tasajeros que nos suministro el material.

Para este ensayo se tomo como referencia la norma **I.N.V-E 123** la cual nos proporciona los parámetros para la realización del ensayo.

El equipo utilizado fue una serie de tamices para material fino: 3/8, N°4, N°10, N°20, N°40, N°60, N°100, N°200, y fondo. Este proceso se realizo de forma manual.

**Figura 4.1 tamices usados en las muestras desde el pasa N°200 hasta el retenido 3/8"**



Para la granulometría de las arenas se usaron dos tipos de muestra; una sin lavado y la con lavado sobre el tamiz N°200. Se le hizo granulometría a la arena sucia por que se necesita caracterizar la arena original para poderla clasificar y la lavada por que es la usada en las muestras. De estas dos se muestran las tablas obtenidos en los anexos al igual que la de la ceniza de caña.

Los resultados de este proceso es la clasificación de la muestra analizada. Según las tablas de clasificación de suelos del sistema **SUCS**, para la ceniza de caña no se le da una clasificación como tal, este ensayo solo se realizo con el fin de conocer los tamaños de las partículas que contenía la muestra en mención.

Los resultados de los porcentajes que pasan cada una de las mallas de los tamices se muestran a continuación:

**Tabla 4.1 Granulometría de la arena limpia, arena sin lavar y ceniza de caña**

ARENA SIN LAVAR		ARENA LIMPIA		CENIZA DE CAÑA	
MALLA No	% QUE PASA LA MALLA	MALLA No	% QUE PASA	MALLA No	% QUE PASA LA MALLA
3/8"	100	3/8"	100	3/8"	100
No 4	100	No 4	100	No 4	100
No 10	95,21	No 10	94,77	No 10	100
No 20	90,6	No 20	90,56	No 20	98,24
No 40	74,39	No 40	72,31	No 40	79,69
No 60	45,97	No 60	44,38	No 60	66,61
No 100	27,33	No 100	20,52	No 100	56,76
No 200	6,85	No 200	0,89	No 200	37,22

## 4.2 DETERMINACION DE LAS DOSIFICACIONES ÓPTIMAS

Para poder obtener la dosificación óptima de la mezcla Arena-Ceniza Volante y Arena-Ceniza de caña, fue necesario realizar una batería de probetas para cada tipo de mezcla, variando la dosificación de las cenizas. Para la ceniza volante se utilizó los siguientes porcentajes en peso: 5%, 10%, 15%, y 20%, para la ceniza de caña se utilizaron estos mismos más: 30%, 40%, 50%. Para cada uno de estos porcentajes se realizaron 3 probetas manteniendo en todas las mismas condiciones de elaboración y el mismo tiempo de curado que para nuestro caso fue de 7 días. En total se elaboraron 33 probetas para ensayar a compresión simple.

**Figura 4.2** Probetas para dosificación óptima de ceniza volante.



**Figura 4.3** Probetas de dosificación óptima de ceniza de caña



Para la elaboración de las probetas de dosificación se utilizó el siguiente equipo: un molde cilíndrico metálico, con un diámetro de 3 in, y una altura de 15 cm, ajustable en su base, con un collarín desmontable, Un pison o martillo de 2,5Kg y un enrasador.

**Figura 4.4 Equipo usado para realizar las probetas**



Para la compactación de las mezclas se utilizó el método del Proctor Estándar, con 3 capas de material, el martillo de este, pero modificando el número de golpes por capa debido a que se utilizó el molde del proctor sino el molde descrito anteriormente. Para obtener el número de golpes por capa se recurrió a la energía específica de compactación del proctor Standard que tiene un valor de  $6Kg * cm / cm^3$ , modificando el valor correspondiente al volumen del molde y despejando N que es el número de golpes, se obtiene un resultado de 10 golpes por capa. A continuación se muestra la fórmula utilizada:

$$Ee = \frac{NnWh}{V}$$

Donde: Ee= Energía específica

N= Número de golpes

n= Número de capas

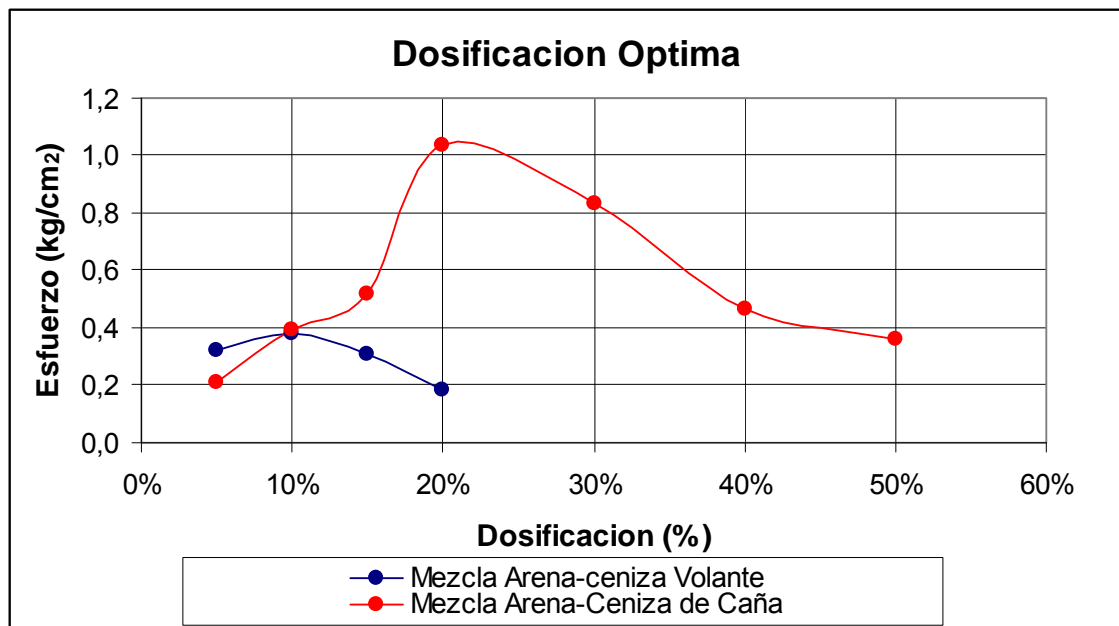
W= peso del martillo

h = Altura de caída del martillo

V= Volumen molde

Después de la elaboración de las probetas con una humedad tanteada (porcentaje de humedad que deja formar la probeta 20%) y el respectivo tiempo de curado (7días), cada una de estas fue ensayada en la maquina de compresión simple de marca SOILTEST modelo U-160-A, con una celda de carga modelo TEDEA N° 616. Obteniéndose los siguientes resultados que corresponden a los valores promedio de cada juego de 3 probetas de cada porcentaje antes mencionado.

**Grafica 3 Dosificaciones optimas**



Con esta grafica se puede determinar los valores correspondientes a las dosificaciones óptimas para cada una de las mezclas (Arena-Ceniza de caña, Arena-Ceniza volante) los cuales se dan a continuación:

Mezcla arena-ceniza de caña: 20 %

Mezcla arena-ceniza volante: 10%

La ceniza de caña requirió un 10% más de adición que la volante, esto pudo ser debido a la diferencia química y física de ambas cenizas, ya que ambas se hicieron con la misma energía de compactación, el mismo molde, la misma humedad (20%) y la misma muestra de arena.

**Tabla 4.2 Tabla de dosificaciones vs  $q_u$  (resistencia a la compresión simple)**

Ceniza de caña	
Dosificación%	Esfuerzo kg/cm <sup>2</sup>
5	0,21
10	0,39
15	0,52
<b>20</b>	<b>1,03</b>
30	0,83
40	0,46
50	0,36

Ceniza volante	
Dosificación%	Esfuerzo kg/cm <sup>2</sup>
5	0,32
<b>10</b>	<b>0,39</b>
15	0,31
20	0,18

Después de obtener los valores de dosificación óptima para cada una de las mezclas, se propuso encontrar la humedad óptima de compactación para cada mezcla.

### **4.3 DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD ÓPTIMA**

Este ensayo se realizó con el fin de encontrar la humedad óptima para cada una de las mezclas y así poder elaborar las probetas definitivas para someterlas a los diferentes ensayos de resistencia. El método proctor consiste básicamente en compactar la mezcla en 3 capas dando 25 golpes con un martillo, realizando la mezcla con una humedad inicial y variándola gradualmente hasta un cierto punto en que el peso de la mezcla comienza a descender. La norma a la cual recurrimos para el ensayo fue la **I.N.V-E 142**

El equipo utilizado fue: un molde cilíndrico de 4 in de diámetro y 11,7cm de altura, provisto de un collarín desmontable, un martillo de 2,5 Kg y una balanza digital. Se realizaron para la mezcla arena-ceniza volante, 6 puntos y para la mezcla arena-ceniza de caña, 5 puntos.

Figura 4.5 Equipo utilizado en el ensayo de proctor estándar



Los resultados obtenidos del ensayo son:

Grafica 4 Humedades optimas

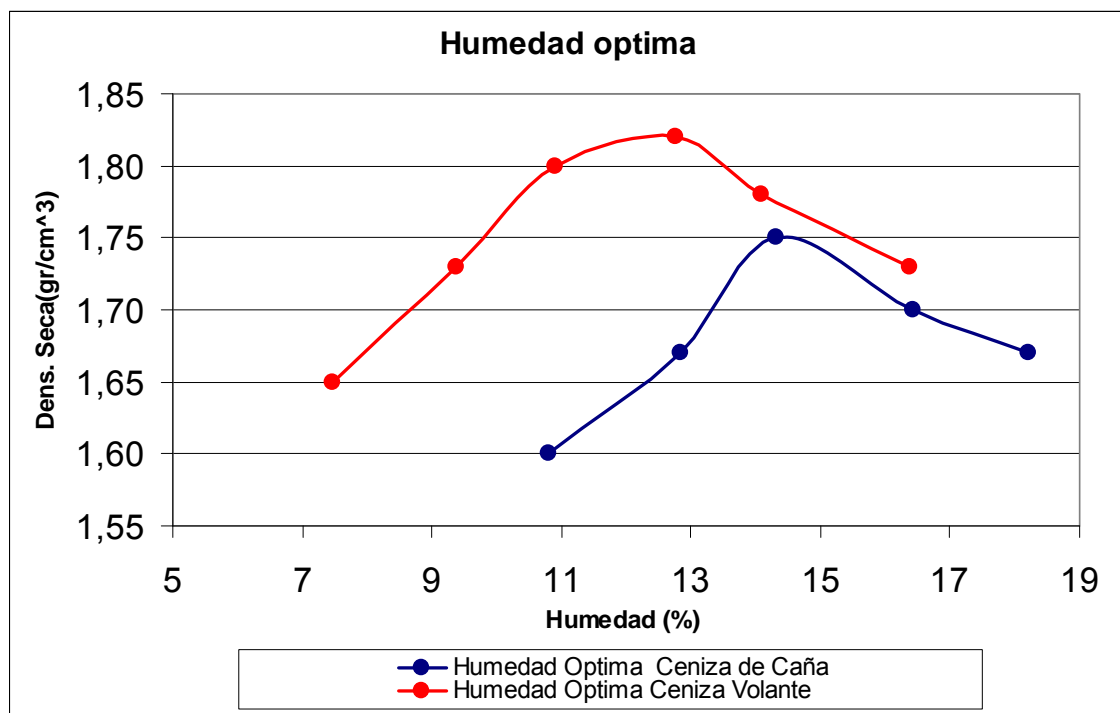


Tabla 4.3 Humedad optima de la mezclas de ceniza volante y ceniza de caña con arena

MEZCLA DE ARENA-CENIZA VOLNATE		MEZCLA DE ARENA-CENIZA DE CAÑA	
Humedad Optima	12,77%	Humedad Optima	14,32%
Densidad Seca	1,82 (gr./cm³)	Densidad Seca	1,75 (gr./cm³)

## **4.4 EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA**

### **4.4.1 RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE**

El ensayo consiste en probar cada una de las probetas hechas en la maquina a compresión pura, para evaluar el esfuerzo máximo que pueden alcanzar.

Este ensayo se realizo con las humedades y las dosificaciones óptimas que fueron halladas de los ensayos anteriores, además a las mezclas óptimas se les agrego un porcentaje de cal y de cemento, el cual corresponde a un porcentaje optimo de estos materiales encontrado en trabajos anteriores, para observar como se comporta la mezcla optima con esta nueva adición. De acuerdo con el porcentaje utilizado para la cal es del 4% y para el cemento del 2%.

El equipo utilizado para la elaboración de las probetas es el siguiente: un molde cilíndrico metálico, con un diámetro de 3 in, y una altura de 15 cm, ajustable en su base, con un collarín desmontable, un pison o martillo de 2,5Kg, y un enrrasador. La probeta se realiza agregando en el molde 3 capas de mezcla y martillando cada capa con la energía de compactación hallada y mencionada anteriormente (10 golpes por capa), se desmolda y ubica en un sitio para que pueda curar. Los tiempos de curado escogidos fueron 7 días y 14 días. En total se elaboraron 42 probetas. No fue posible probar las probetas de solo arena debido a que a medida que pasaban los días de curado estas se desmoronaban, y se dañaban por completo antes de efectuar el ensayo en la maquina.

Este comportamiento se esperaba dado que la arena limpia no tiene cohesión y confirmo que armar la probeta era posible únicamente por la acción del agua que contenía el material en forma capilar.

**Figura 4.6 maquina usada en compresión simple**



Los resultados obtenidos en los ensayos de compresión fueron los siguientes:

**Tabla 4.4 Resistencia a la compresión simple mezcla arena-ceniza volante**

	Qu Kg/cm <sup>2</sup>	Def Unit (%)	Qu prom Kg/cm <sup>2</sup>
Ceniza Volante 7 dias	0,160	0,508	0,169
	0,173	0,677	
	0,173	0,677	
Ceniza Volante 15 dias	0,132	0,508	0,140
	0,147	0,847	
	0,143	0,508	

**Tabla 4.5 Resistencia a la compresión simple mezcla arena-ceniza volante-cal**

	Qu Kg/cm <sup>2</sup>	Def Unit (%)	Qu prom Kg/cm <sup>2</sup>
Ceniza Volante-cal 7 dias	1,454	0,677	1,411
	1,443	0,847	
	1,335	0,677	
Ceniza Volante- cal 15 dias	1,213	1,016	1,148
	1,195	1,016	
	1,037	0,677	

**Tabla 4.6 Resistencia a la compresión simple mezcla arena-ceniza volante-cemento**

	Qu Kg/cm <sup>2</sup>	Def Unit (%)	Qu prom Kg/cm <sup>2</sup>
Ceniza Volante-cemento 7 días	2,638	1,185	2,473
	2,574	1,185	
	2,208	1,355	
Ceniza Volante-cemento 15 días	1,434	1,185	1,285
	1,112	0,847	
	1,309	0,847	

**Tabla 4.7 Resistencia a la compresión simple mezcla arena-ceniza de caña**

	Qu Kg/cm <sup>2</sup>	Def Unit (%)	Qu prom Kg/cm <sup>2</sup>
Ceniza de Caña- 7 días	0,662	1,524	0,641
	0,570	1,693	
	0,691	0,847	
Ceniza de Caña 15 días	0,325	1,185	0,240
	0,211	1,185	
	0,186	1,016	

**Tabla 4.8 Resistencia a la compresión simple mezcla arena-ceniza de caña-cal**

	Qu Kg/cm <sup>2</sup>	Def Unit (%)	Qu prom Kg/cm <sup>2</sup>
Ceniza de Caña-cal 7 días	2,653	1,863	2,632
	2,335	1,185	
	2,908	1,524	
Ceniza de Caña-cal 15 días	2,528	1,693	2,370
	2,120	1,693	
	2,460	2,032	

**Tabla 4.9 Resistencia a la compresión simple mezcla arena-ceniza de caña-cemento**

	Qu Kg/cm <sup>2</sup>	Def Unit (%)	Qu prom Kg/cm <sup>2</sup>
Ceniza de caña-cemento 7 días	4,822	1,355	4,663
	3,967	1,693	
	5,199	1,524	
Ceniza de caña-cemento 15 días	0,857	1,355	1,374
	2,526	1,355	
	0,739	1,016	

#### **4.4.2 RESISTENCIA EN CORTE DIRECTO**

Para la realización de este ensayo se recurrió a la norma I.N.V.E-154, con este ensayo se evalúa el esfuerzo máximo cortante al que pueden ser sometidas cada una de las mezclas realizadas, así como el valor de la cohesión y el ángulo de fricción interna entre las partículas de las mezclas.

Básicamente el ensayo consiste en colocar una pequeña muestra en forma de torta de aproximadamente 2cm de altura y un diámetro de 6cm dentro de un par de anillos móviles. A cada una de las muestras se le aplica una carga normal de 16kg, 32kg y 64kg y perpendicular a esta carga se le aplica el esfuerzo cortante.

El equipo que se utilizó en el ensayo fue: máquina de corte directo marca SOILTEST modelo D-110-B serial 532 con pesas y un cronómetro. Debido a que el material que se usó en este proyecto era tan difícil de manipular no fue posible elaborar las probetas con los diferentes días de curado ya que estas se dañaban con mucha facilidad, por tal motivo hubo la necesidad de realizar cada una de las probetas de las diferentes mezclas dentro del equipo simulando el proceso de compactación anteriormente descrito y realizar la prueba de forma inmediata por no disponer de tiempo para el curado. En total se realizaron 21 probetas para el corte directo.

**Figura 4.7 equipo utilizado en corte directo**



**Figura 4.8 corte generado en la muestra ceniza volante- arena**



Los resultados obtenidos con la prueba de corte se muestran a continuación:

**Tabla 4.10 Deformaciones y esfuerzos cortantes de las diferentes mezclas**

	<b>Deformación Horizontal (mm)</b>	<b>Esfuerzo Cortante (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Esfuerzo normal (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
ARENA	1,52	0,321	0,57
	2,03	0,858	1,13
	3,56	1,623	2,26
ARENA-CENIZA VOLANTE	2,03	0,514	0,57
	2,54	0,774	1,13
	3,05	1,555	2,26
ARENA-CENIZA VOLANTE-CAL	1,78	0,42	0,57
	3,05	0,686	1,13
	2,54	0,852	2,26

ARENA-CENIZA VOLANTE- CEMENTO	1,02	0,451	0,57
	1,27	0,462	1,13
	2,03	0,93	2,26
ARENA-CENIZA DE CAÑA	1,27	0,446	0,57
	2,79	0,54	1,13
	3,3	1,441	2,26
ARENA-CENIZA DE CAÑA-CAL	1,27	0,42	0,57
	2,03	0,54	1,13
	2,29	1,128	2,26
ARENA-CENIZA DE CAÑA- CEMENTO	1,78	0,472	0,57
	2,54	0,967	1,13
	2,29	1,477	2,26

**Tabla 4.11 cohesión y fricción calculados de las diferentes mezclas**

	<b>COHESION</b>	<b>FRICCION INTERNA</b>
ARENA	0,000	36,21
ARENA- CENIZA VOLANTE	0,150	31,34
ARENA- CENIZA VOLANTE-CAL	0,300	14,61
ARENA-CENIZA VOLANTE- CEMENTO	0,261	15,37
ARENA-CENIZA DE CAÑA	0,067	29,86
ARENA-CENIZA DE CAÑA-CAL	0,161	22,36
ARENA-CENIZA DE CAÑA- CEMENTO	0,169	30,97

#### 4.4.3 RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)

El equipo que se utiliza para hacer las probetas de CBR consta de: un molde metálico de 5 in con collarín, un martillo de 10 libras aproximadamente, y un enrrasador. Se realizaron con las diferentes mezclas un total de 7 probetas, las cuales se compactaron en 5 capas iguales dando a cada una de estos 55 golpes con el martillo. Solo se realizo el ensayo de CBR para 55 golpes pues se considero que para fines comparativos un solo numero de golpes igual era suficiente.

**Figura 4.9 probetas con las diferentes mezclas para CBR**



Luego de realizar todas las probetas estas fueron sumergidas en agua durante 1 día poniendo sobre estas una sobrecarga, para despues proceder a realizar el ensayo correspondiente, en la maquina SOILTEST como lo establece la norma.

**Figura 4.10 maquina utilizada para el ensayo de CBR**



Los resultados obtenidos con el ensayo son:

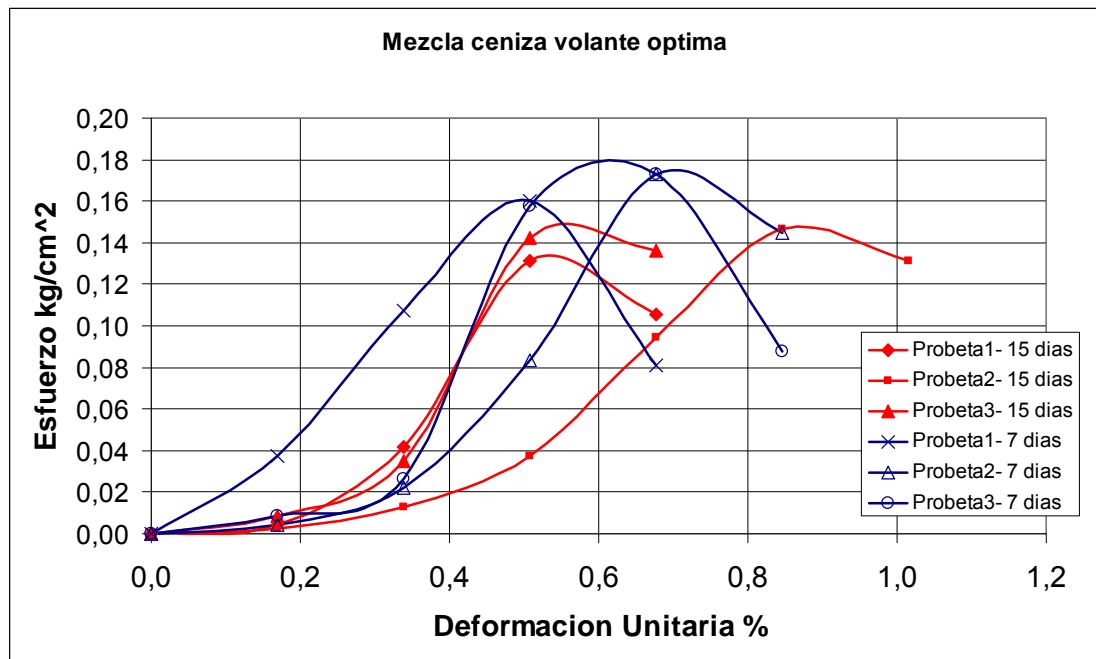
**Tabla 4.12 Porcentaje de CBR obtenido en las diferentes mezclas**

	<b>CBR A 0,1"</b>	<b>CBR A 0,2"</b>
<b>ARENA</b>	54,675	74,25
<b>ARENA+CENIZA VOLANTE</b>	24,3	43,875
<b>ARENA+CENIZA VOLANTE+CAL</b>	73,91	103,95
<b>ARENA+CENIZA VOLANTE+CEMENTO</b>	156,94	193,05
<b>ARENA+CENIZA DE CANA</b>	108,34	133,65
<b>ARENA+CENIZA DE CANA+CAL</b>	222,75	236,25
<b>ARENA+CENIZA DE CANA+CEMENTO</b>	264,26	270

## 5. ANALISIS DE RESULTADOS

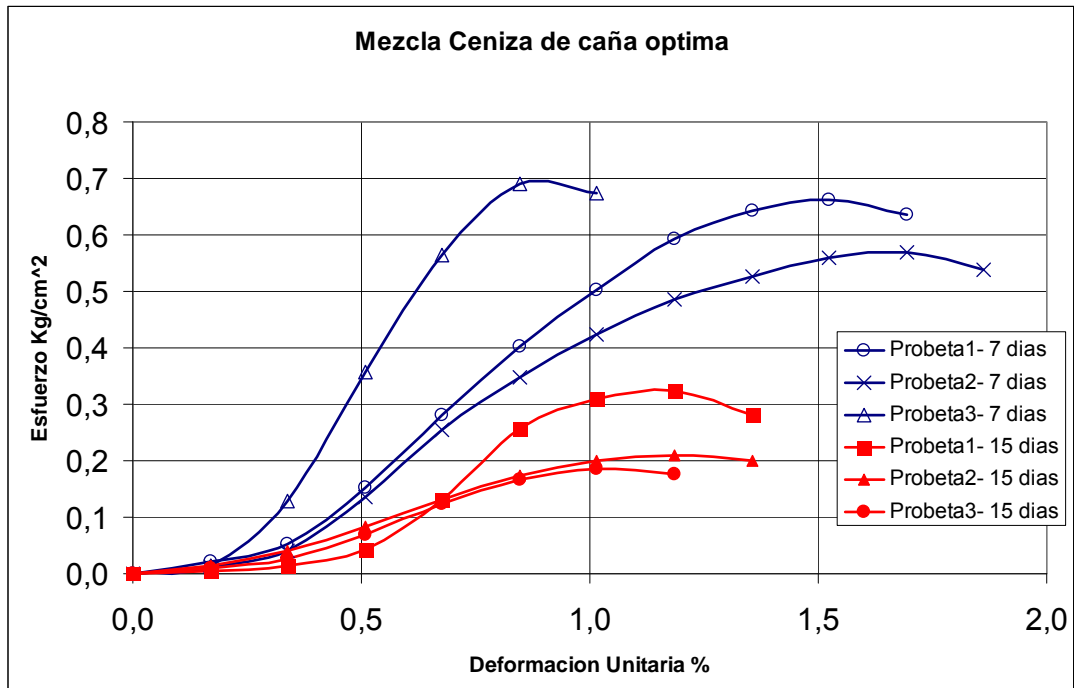
### 5.1 RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE

Grafica 5 Resistencia a la Compresión simple mezcla arena-ceniza volante



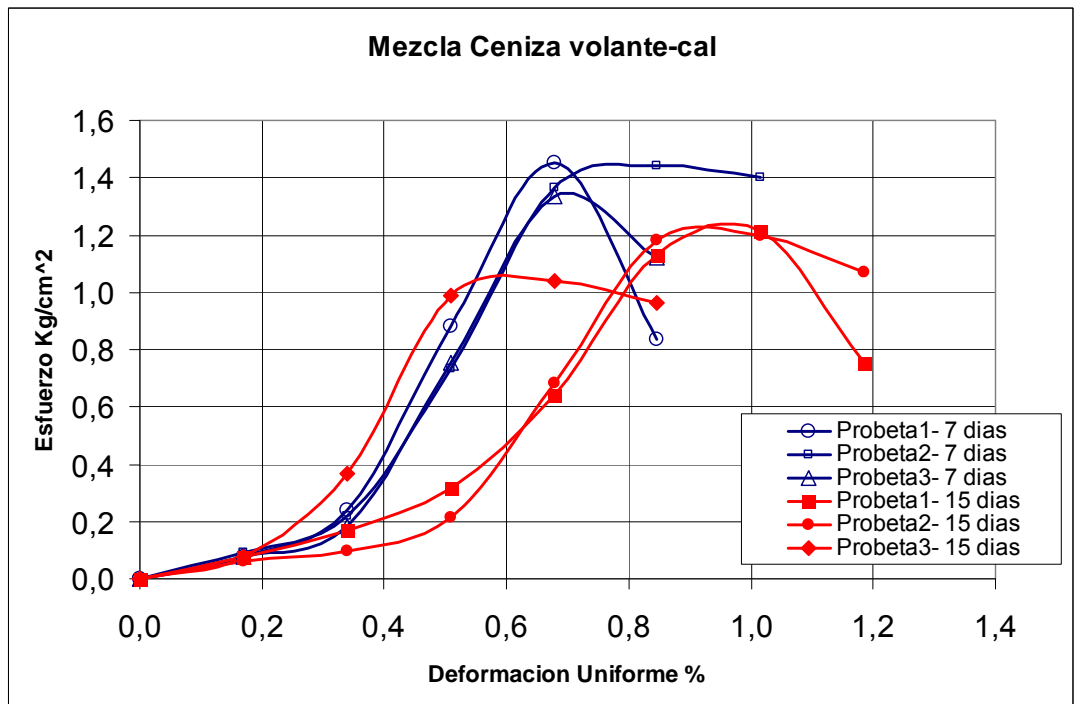
De esta grafica se concluye que para la mezcla óptima de arena-ceniza volante que curaron a los 7 días alcanzaron un valor de esfuerzo máximo mayor que las que curaron a los 15 días y su rango de valor esta entre  $0.16kg / cm^2$  y  $0.18kg / cm^2$

**Grafica 6 Compresión simple mezcla arena-ceniza de caña**



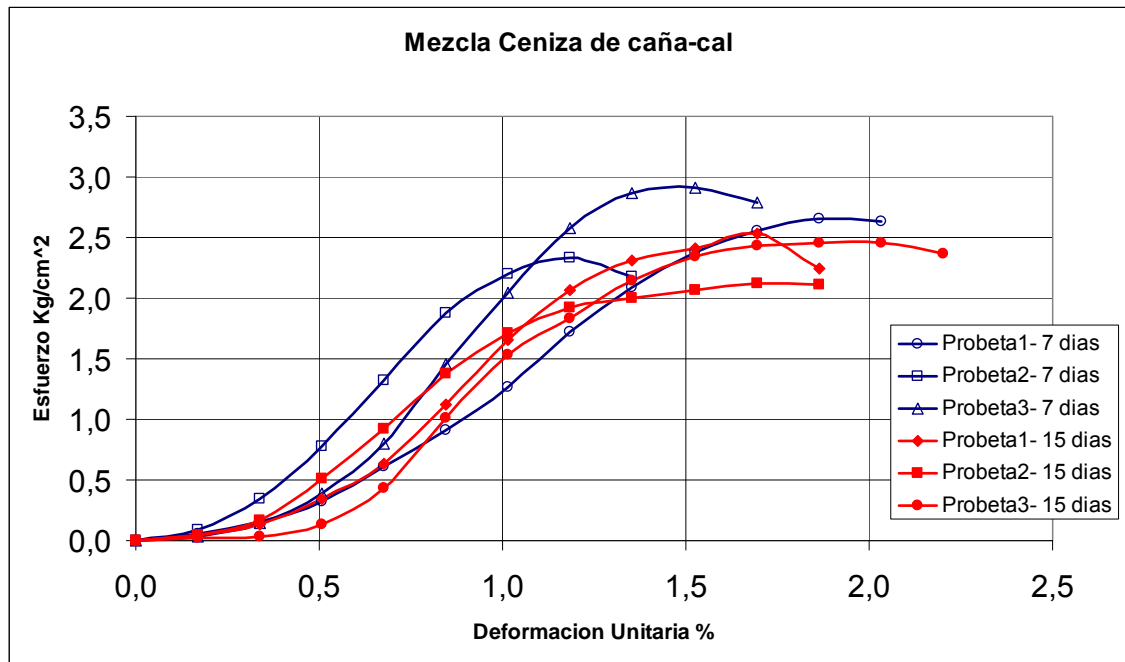
Esta grafica muestra un comportamiento similar a la anterior (grafica 6), este valor se encuentra en un rango entre  $0.55kg/cm^2$  y  $0.7kg/cm^2$

**Grafica 7 compresión simple mezcla arena-ceniza volante-cal**



Se observò que al adicionar cal a la mezcla arena-ceniza volante, la resistencia aumentó considerablemente, llegando a ser de aproximadamente un 800%, comparada con la mezcla arena-ceniza volante; el rango de valores máximos de esfuerzos se encontró entre  $1.3\text{kg} / \text{cm}^2$  y  $1.45\text{kg} / \text{cm}^2$ .

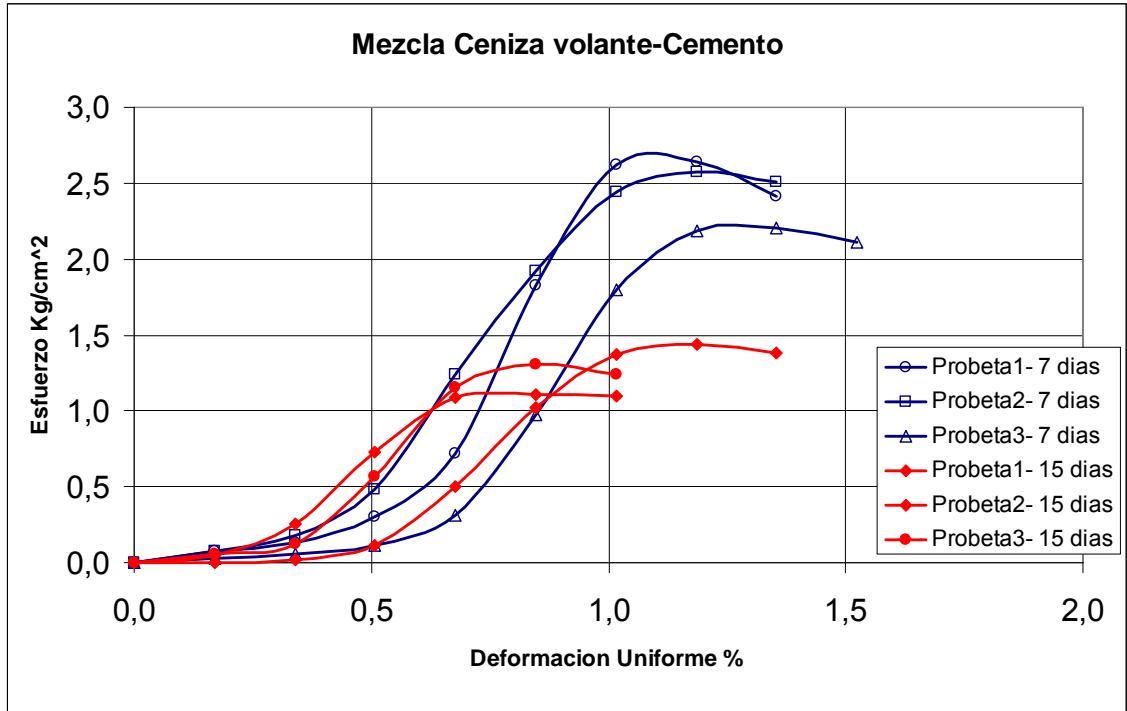
**Grafica 8 compresión simple mezcla arena-ceniza de caña-cal**



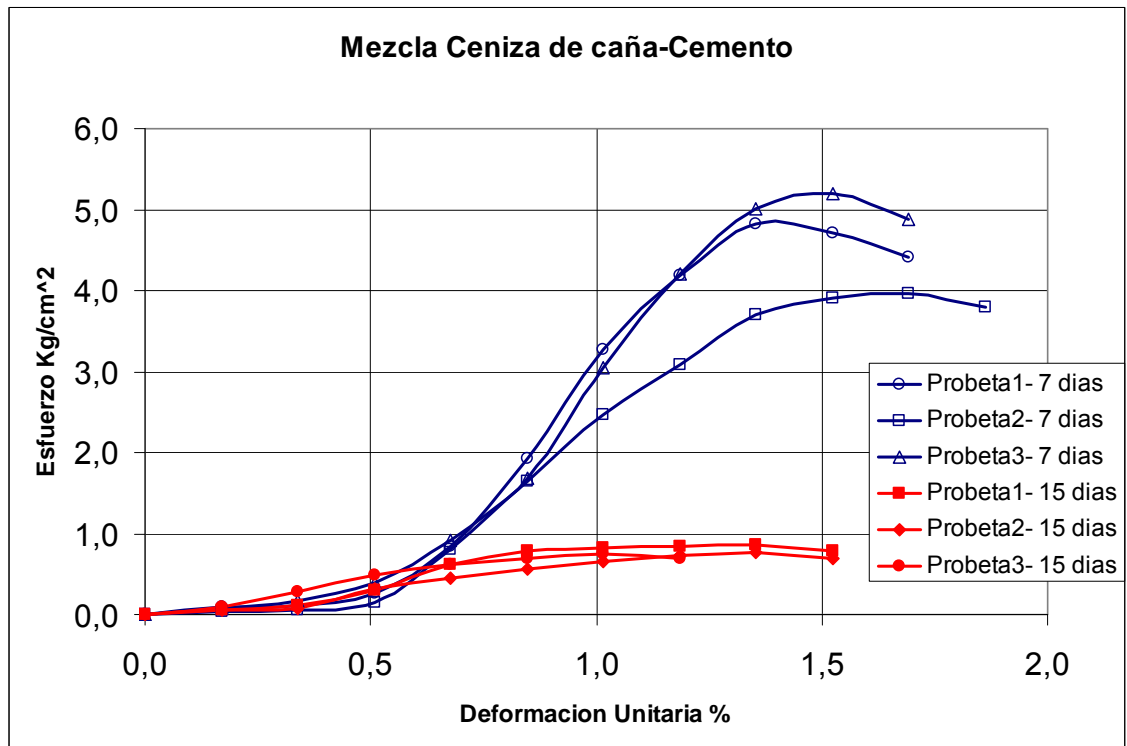
Al igual que para la mezcla arena-ceniza volante, la adición de cal aumenta la resistencia a la compresión de la mezcla de arena con ceniza de caña aproximadamente en un 400% y el rango de estos valores esta entre  $2.3\text{kg} / \text{cm}^2$  y  $2.9\text{kg} / \text{cm}^2$

Se observa además, que los valores máximos alcanzados por la mezcla de arena-ceniza de caña son mayores que los que se registran para la arena-ceniza volante.

Grafica 9 compresión simple mezcla arena-ceniza volante-cemento



Grafica 10 compresión simple mezcla arena-ceniza de caña-cemento



En la grafica 10 y 11 se observa que al adicionar 2% de cemento a la mezcla de arena-ceniza volante, la resistencia aumenta en un 1400% con respecto a la mezcla sin cemento, mientras que al compararla con la misma mezcla adicionada de cal, su aumento es del 200%.

Para las mezclas con ceniza de caña, similarmente al agregar 2% de cemento, la resistencia aumenta un 700% respecto de la mezcla arena-ceniza de caña y un 200% con respecto a la adición de cal.

Todas las graficas de compresión simple muestran un comportamiento esfuerzo-deformación de tipo frágil, tanto a los 7 como a los 15 días, ya que las mezclas fueron compactadas. Además se observó que la mezcla arena-ceniza de caña tiene mejor comportamiento a la compresión que la mezcla arena-ceniza volante, en cuanto a que para un mismo esfuerzo, se producen mayores deformaciones en la mezcla con ceniza volante.

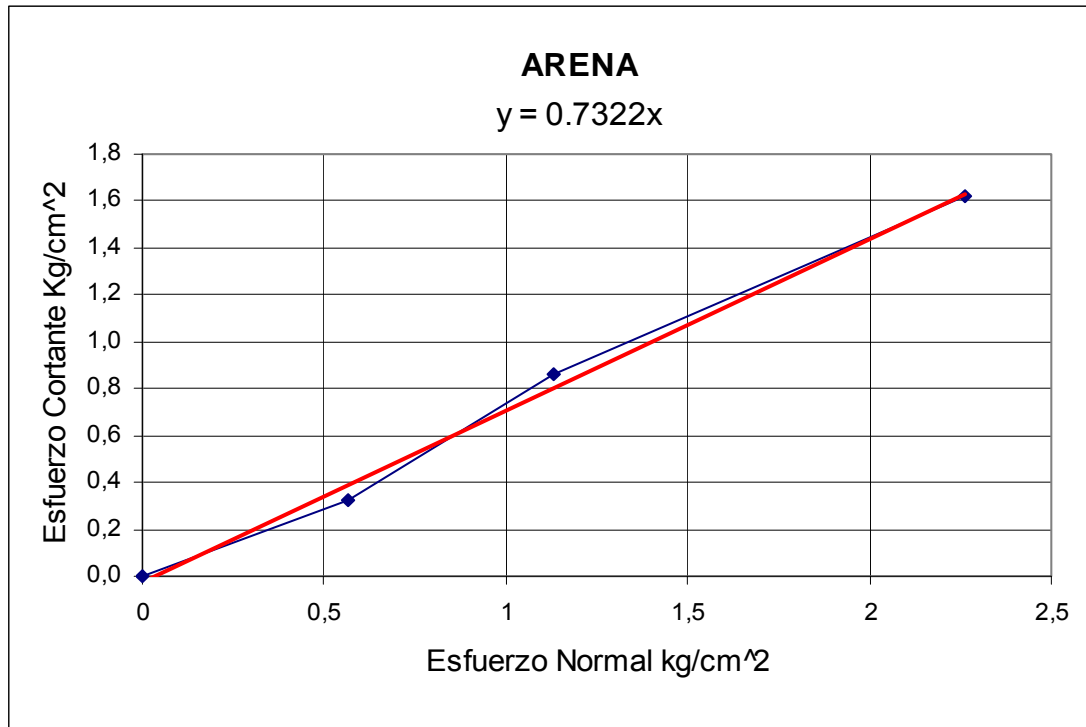
A medida que aumenta el tiempo de curado disminuye la resistencia en todas las mezclas.

Las tres probetas de cada mezcla presentaron valores de esfuerzos similares pero sus deformaciones unitarias varían.

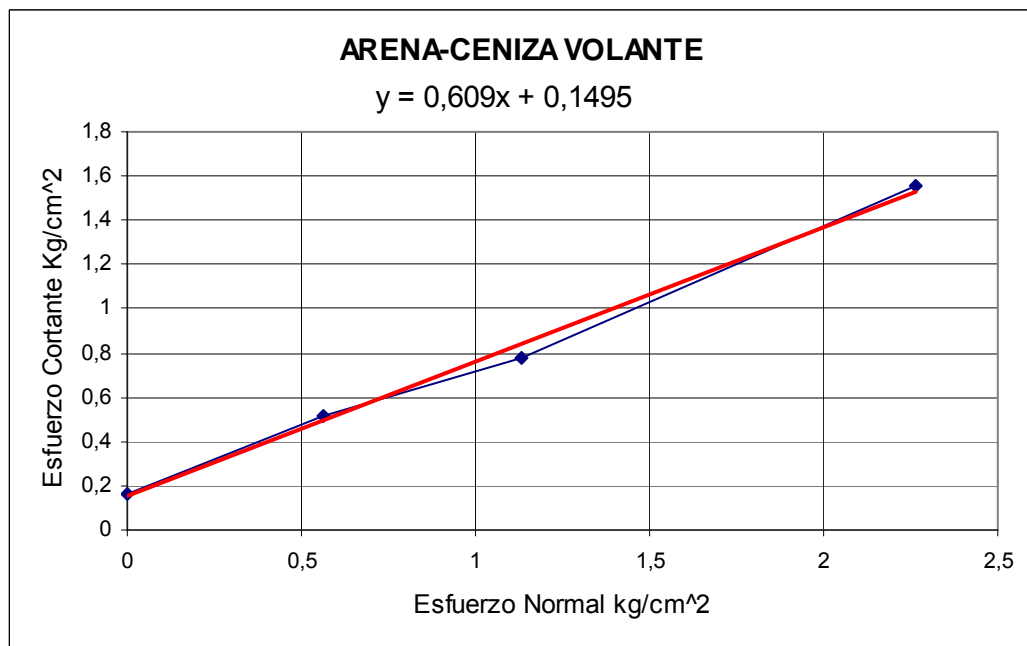
La cal aumento la resistencia significativamente de las mezclas, aunque su dosificación en las mezclas fue baja, ya que lo que se busca es analizar la capacidad cementante de la ceniza de caña y la ceniza volante en cada mezcla. Igual puede decirse de la adición de cemento.

## 5.2 RESISTENCIA AL CORTE DIRECTO

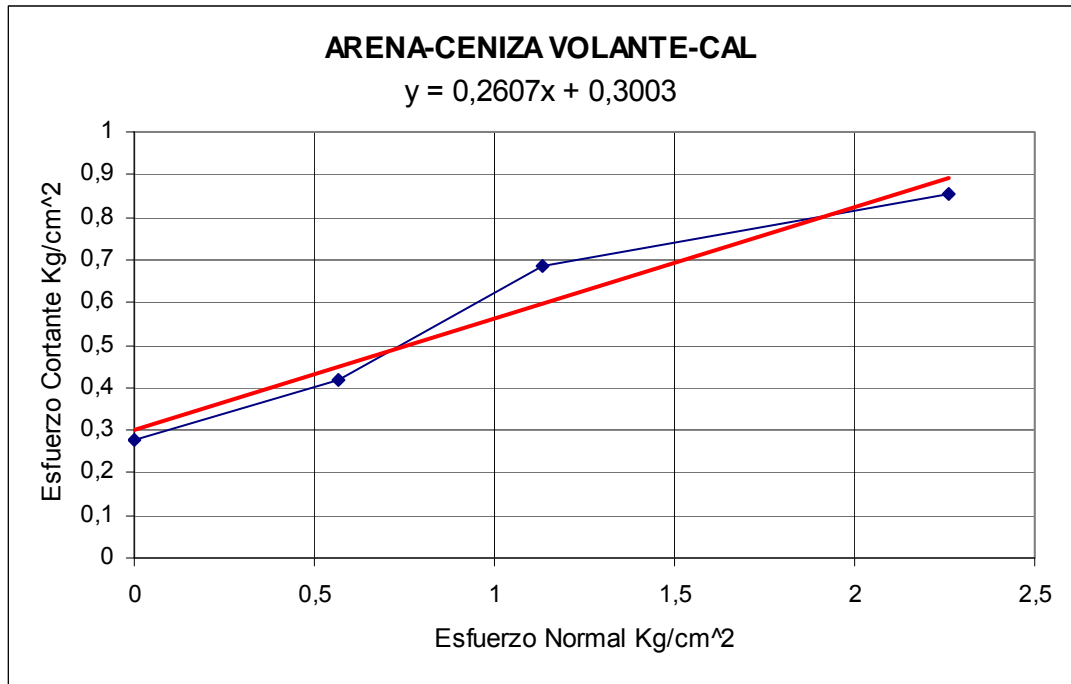
Grafica 11 corte directo arena



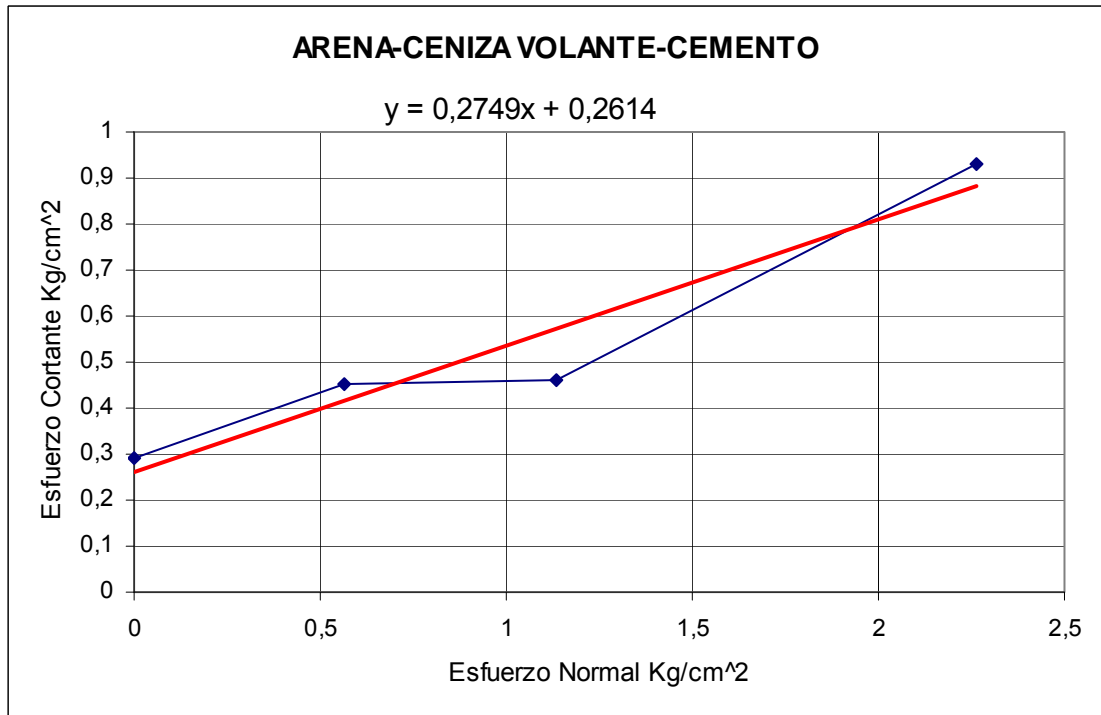
Grafica 12 corte directo arena-ceniza volante



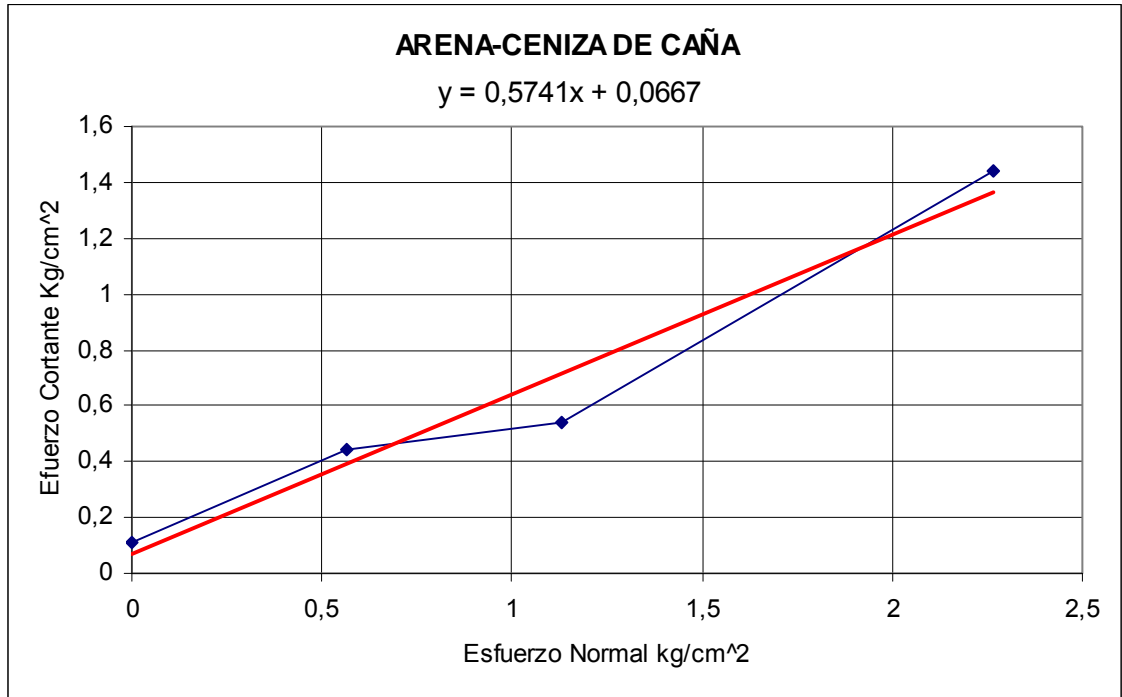
Grafica 13 corte directo arena-ceniza volante-cal



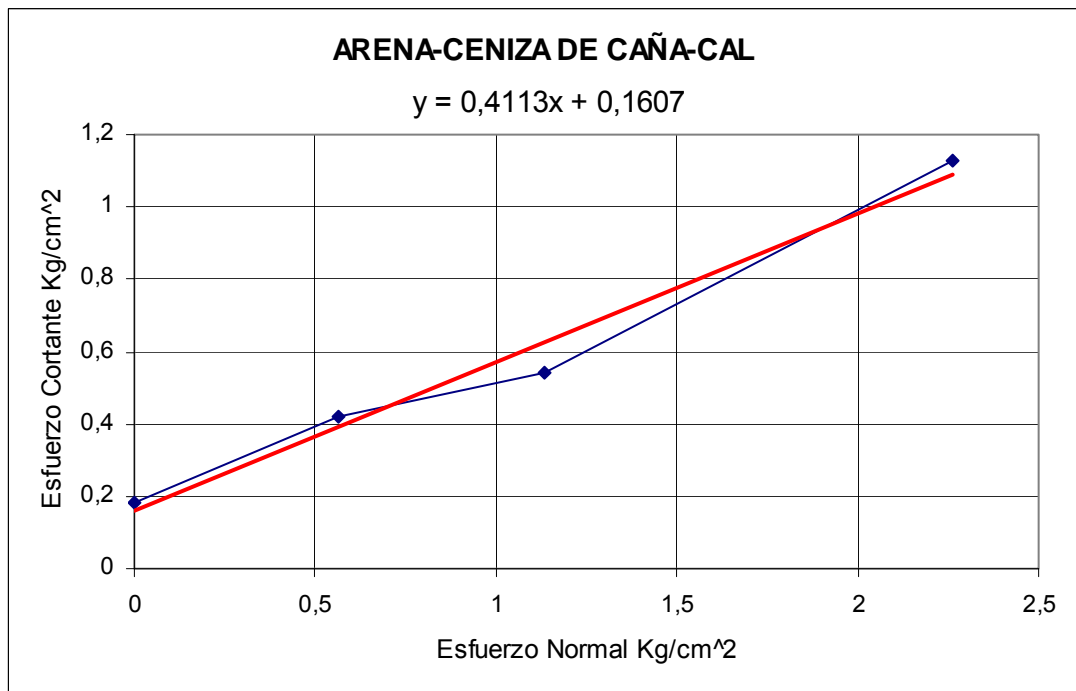
Grafica 14 corte directo arena-ceniza volante-cemento



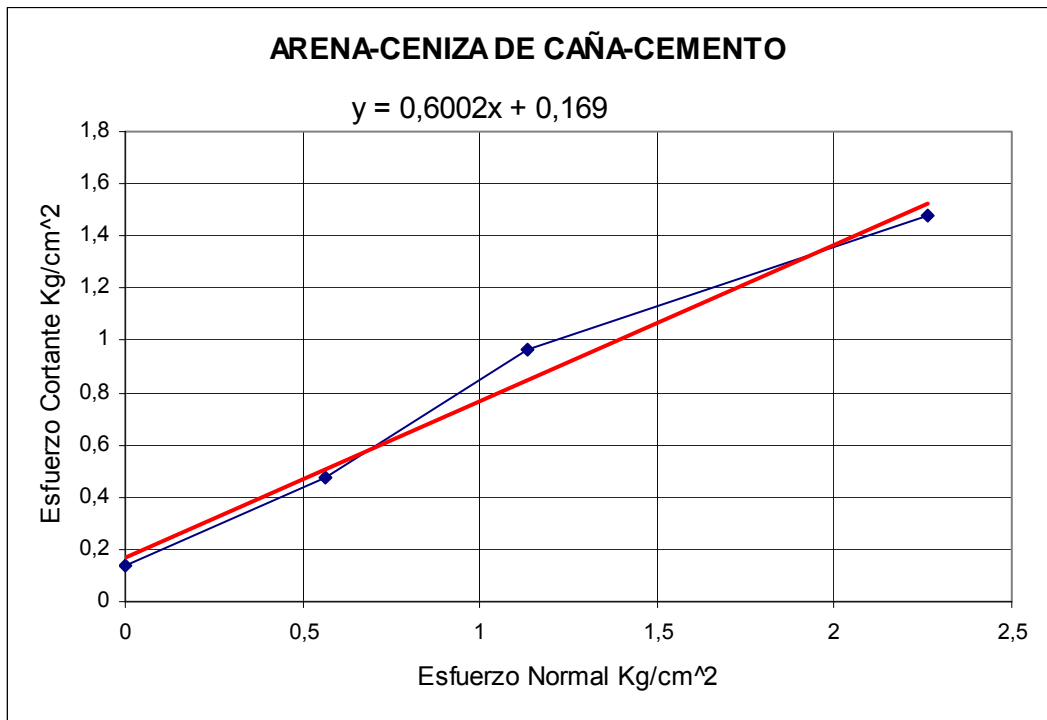
Grafica 15 corte directo arena-ceniza de caña



Grafica 16 corte directo arena-ceniza de caña-cal



Grafica 17 corte directo arena-ceniza de caña-cal

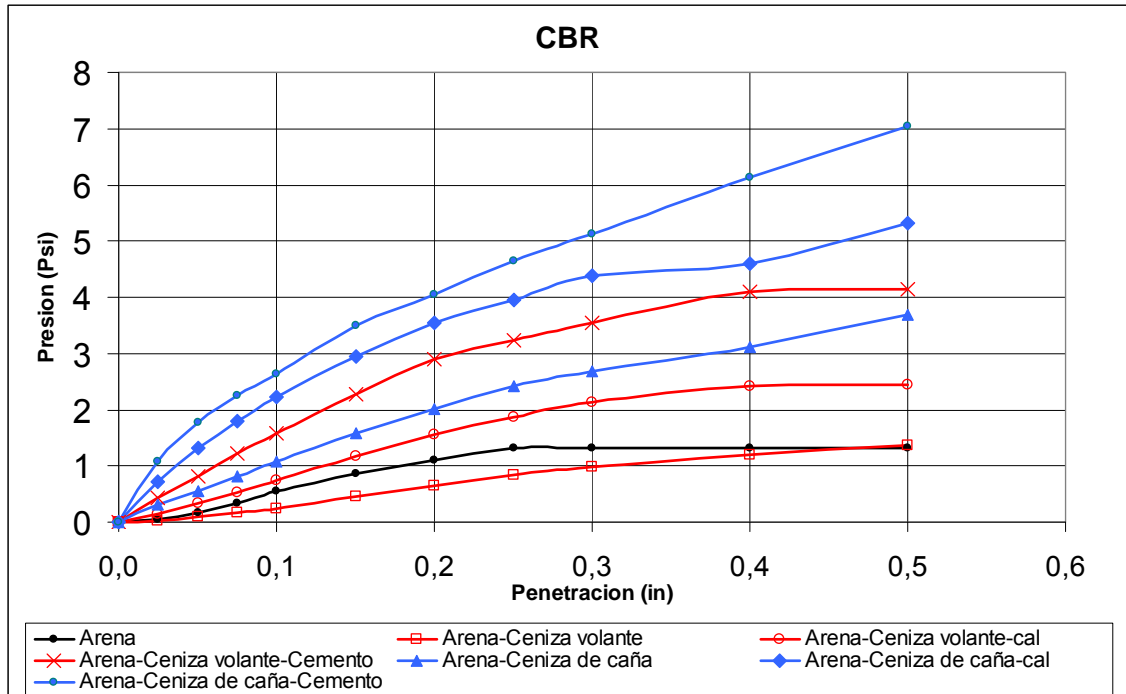


Ya que las muestra no se dejaron curar como en el ensayo de compresión simple, por el difícil manejo de desmolde de estas; la arena presento el mayor ángulo de fricción y la mayor resistencia al corte.

Pero las cenizas notablemente aumentaron la cohesión en la arena. La cohesión pasa de 0 a un valor de 0.30 con la mezcla arena-ceniza de caña-cal.

### 5.3 RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA CBR

Grafica 18 Presión vs penetración



En la grafica 18 se observa que las probetas que requirieron una mayor presión de penetración fueron las mezclas hechas con ceniza de caña, que llegó a un valor de  $7.037\text{Psi}$  para penetración de  $0.5''$  cuando se le adiciona cemento.

Se observo notablemente que si se quiere ganar resistencia se le puede adicionar cemento o cal, lo cual ayuda a las cenizas a mejorar su resistencia en la mezcla.

Este valor es un indicador de que se necesita una presión de  $7.037\text{Psi}$  para que penetre  $0.5\text{ in}$ . Este es un valor muy significativo comparado con el valor que da solo la arena de  $1.316\text{Psi}$  aproximadamente un  $700\%$ .

A diferencia de la mezcla con ceniza volante se observo que todas obtuvieron resultados mayores que la mezcla de arena.

## CONCLUSIONES

- La adición de ceniza volante y de bagazo de caña de azúcar en las dosificaciones estudiadas, proporcionan cementación a la arena limpia, medida como una menor dificultad para la elaboración y manejo de muestras estables y como la resistencia a la compresión no confinada presentada en ambos casos.
- La Ceniza de Caña posee una mayor capacidad cementante que la Ceniza Volante, esto se refleja en los resultados de los ensayos de compresión simple, en donde los valores de resistencia que se obtienen con la adición de la primera superaron a los obtenidos en la segunda.
- Los valores de resistencia al corte de las mezclas hechas con Ceniza de Caña fueron inferiores en comparación con los obtenidos en las mezclas realizadas con Ceniza Volante. Igualmente estos fueron inferiores a los obtenidos con la arena limpia. Es probable que la falta de tiempo de curado haya afectado estos resultados, dado que no fue posible darle tiempo de curado a estas probetas.
- Igualmente, los ángulos de fricción obtenidos con la arena adicionada de cenizas fueron inferiores al obtenido para la arena limpia, evidenciando el probable efecto de la falta de curado. Sin embargo, a pesar de ello, se observa un aumento de la cohesión del suelo adicionado de cenizas, evidenciando la capacidad de cementación de las cenizas.
- Se observó además un aumento significativo de la presión necesaria para penetración en el ensayo de CBR al adicionar cenizas al suelo granular, especialmente en el caso de la ceniza de caña.
- El tiempo de curado es una variable relevante que influye directamente en la capacidad cementante de todas las mezclas realizadas.

## RECOMENDACIONES

- Estudiar el efecto que tiene el aumentar el tiempo de curado en las mezclas con tiempo de curado mayor a 15 días, es decir, aumentarle la serie de tiempo.
- Hacer el estudio de la resistencia al corte directo teniendo en cuenta un tiempo de curado de 7 días, para las todas las mezclas diseñadas.
- Estudiar el efecto del agua, después del tiempo de curado al que fueron sometidas las probetas, con el fin de determinar la variación de resistencia que ésta pueda producir, así como su erosionabilidad.
- Utilizar ceniza volante de clase C las cuales son de tipo cementante y determinar la diferencia en su capacidad cementante con las de clase F que fueron utilizadas en este trabajo.
- Estudiar el comportamiento más a nivel químico para comprender mejor la naturaleza de la interacción entre las cenizas y el suelo granular.

## BIBLIOGRAFIA

JUAREZ, Badillo y RICO RODRIGUEZ. Mecánica de suelos, 3 ed. México (tomo I)

OLANO DE MADRINAN, Yolanda. Bibliografía Nacional en caña de azúcar sobre tesis de grado realizado por estudiantes de educación superior. OSACAÑA, 1985

HERNANDEZ MOLINA, Luigi Hilario y PEDRAZA PEDRAZA, Mardonio. Estabilización de suelos finos utilizando ceniza del bagazo de caña de azúcar, Proyecto de grado, Universidad Industrial de Santander. 1995

QUINTERO AZUERO, Ramón Alexis. Análisis del efecto de las cenizas volantes en la resistencia de las capas de base de pavimento, Proyecto de grado, Universidad Industrial de Santander. 2000

ZUALAGA ANGEL, Diego Fernando. Uso de la cal en la estabilización de suelos derivados de cenizas volcánicas, un caso particular, Proyecto de grado.

### Enlaces de Internet

Características del cemento:

[http://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP\\_30\\_ES.pdf](http://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP_30_ES.pdf)

Cenizas:

<http://aupec.univalle.edu.co/informes/junio97/boletin40/cenizas.html>

DIAGNOSTICO DE LAS AMENAZAS DE INUNDACION Y EROSION EN EL RÍO DE ORO INFORME EJECUTIVO (VOLUMEN 1 – GEOLOGIA Y GEOTECNIA)

[www.erosion.com.co/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_download&gid=310](http://www.erosion.com.co/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=310) -

**ANEXO I**

**GRANULOMETRIAS**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS**  
**ENSAYO DE GRANULOMETRIA INV E- 123**

**FECHA** MARZO 28 DEL 2008

**PROYECTO** EVALUACION DE LA CAPACIDAD CEMENTANTE DE LA CENIZA DE CAÑA Y CENIZA VOLANTE PARA SUELOS GRANULARES LIMPIOS  
**LOCALIZACION** GIRON MUESTRA SIN LAVAR

<b>PESO TARA (gr)</b>	12,2
<b>TARA+MUESTRA HUMEDA (gr)</b>	1440
<b>TARA+MUESTRA SECA (gr)</b>	1315
<b>PESO AGUA (gr)</b>	125
<b>PESO MUEST. SECA (gr)</b>	1302,8
<b>HUMEDAD (%)</b>	8,68%

**PESO INICIAL DE LA MUESTRA gr:** 1302,8

**PESO DESPUES DE LAVADO gr:** 0,0

MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
****	mm	gr	%	%	****	mm	gr	%	%
2"	50,8	0,0000	0,00	100	10	2	62,40	4,79	95,21
1 1/2"	36,1	0,0000	0,00	100	20	0,84	60,10	4,61	90,60
1"	25,4	0,0000	0,00	100	40	0,42	211,10	16,20	74,39
3/4"	19,05	0,0000	0,00	100	60	0,25	370,30	28,42	45,97
1/2"	12,7	0,0000	0,00	100	100	0,149	242,80	18,64	27,33
3/8"	9,52	0,0000	0,00	100	200	0,074	266,80	20,48	6,85
No 4	4,75	0,00	0,00	100	PASA 200	*****	89,00		
SUMA	*****	0,00	0,00		SUMA	*****	1302,50	93,15	
					<b>TOTAL</b>		<b>1302,50</b>	<b>100,00</b>	



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS**  
**ENSAYO DE GRANULOMETRIA INV E- 123**

**FECHA** ABRIL 1 DEL 2008  
**PROYECTO** EVALUACION DE LA CAPACIDAD CEMENTANTE DE LA CENIZA DE CAÑA Y CENIZA VOLANTE PARA SUELOS GRANULARES LIMPIOS  
**LOCALIZACION** GIRON MUESTRA LAVADA

<b>PESO TARA (gr)</b>	12,2
<b>TARA+MUESTRA HUMEDA (gr)</b>	1060,0
<b>TARA+MUESTRA SECA (gr)</b>	968,5
<b>PESO AGUA (gr)</b>	91,5
<b>PESO MUEST. SECA (gr)</b>	956,3
<b>HUMEDAD (%)</b>	8,63%

**PESO INICIAL DE LA MUESTRA gr:** 956,3  
**PESO DESPUES DE LAVADO gr:** 835,7  
**PORCENTAJE DE ERROR %:** 0,22

MALLA Ho	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	MALLA Ho	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
****	mm	gr	%	%	****	mm	gr	%	%
2"	50,8	0,0000	0,00	100	10	2	43,70	5,23	94,77
1 1/2"	36,1	0,0000	0,00	100	20	0,84	35,20	4,21	90,56
1"	25,4	0,0000	0,00	100	40	0,42	152,50	18,25	72,31
3/4"	19,05	0,0000	0,00	100	60	0,25	233,40	27,93	44,38
1/2"	12,7	0,0000	0,00	100	100	0,149	199,40	23,86	20,52
3/8"	9,52	0,0000	0,00	100	200	0,074	164,10	19,64	0,89
No 4	4,75	0,00	0,00	100	PASA 200	****	5,60		
SUMA	****	0,00	0,00		SUMA	****	833,90	99,11	
					<b>TOTAL</b>		<b>833,90</b>	<b>100,00</b>	



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS**  
**ENSAYO DE GRANULOMETRIA INV E- 123**

**FECHA** ABRIL 3 DEL 2008

**PROYECTO** EVALUACION DE LA CAPACIDAD CEMENTANTE DE LA CENIZA DE CAÑA Y CENIZA VOLANTE PARA SUELOS GRANULARES LIMPIOS

**LOCALIZACION** TRAPICHE EL COMUN CURITI SANTANDER

**MUESTRA**

CENIZA DE CAÑA

<b>PESO TARA (gr)</b>	12,2
<b>TARA+MUESTRA HUMEDA (gr)</b>	0
<b>TARA+MUESTRA SECA (gr)</b>	404,2
<b>PESO AGUA (gr)</b>	0
<b>PESO MUEST. SECA (gr)</b>	392
<b>HUMEDAD (%)</b>	0,00%

**PESO INICIAL DE LA MUESTRA gr:**

392,0

**PESO DESPUES DE LAVADO gr:**

0,0

MALLA Ho	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	MALLA Ho	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
****	mm	gr	%	%	****	mm	gr	%	%
2"	50,8	0,0000	0,00	100	10	2	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	36,1	0,0000	0,00	100	20	0,84	6,90	1,76	98,24
1"	25,4	0,0000	0,00	100	40	0,42	72,70	18,55	79,69
3/4"	19,05	0,0000	0,00	100	60	0,25	51,30	13,09	66,61
1/2"	12,7	0,0000	0,00	100	100	0,149	38,60	9,85	56,76
3/8"	9,52	0,0000	0,00	100	200	0,074	76,60	19,54	37,22
No 4	4,75	0,00	0,00	100	PASA 200	*****	141,60		
SUMA	*****	0,00	0,00		SUMA	*****	387,70	62,78	
					<b>TOTAL</b>		<b>387,70</b>	<b>100,00</b>	

**Anexo 2**  
**DOSIFICACIONES ÓPTIMAS**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS**  
**DOSIFICACION OPTIMA**

		DOSIFICACION												
		5%			10%			15%			20%			
Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,11	0,02	0,05	0,00	0,07	0,04	0,01	0,05	0,07	0,01	0,05	0,07	0,01	0,03
	0,22	0,03	0,10	0,04	0,16	0,10	0,15	0,11	0,11	0,15	0,11	0,11	0,17	0,13
	0,28	0,05	0,15	0,17	0,24	0,17	0,27	0,18	0,14	0,27	0,18	0,14	<b>0,20</b>	<b>0,18</b>
	0,29	0,08	0,21	0,27	0,29	0,25	<b>0,31</b>	0,26	0,19	<b>0,31</b>	0,26	0,19	0,18	0,15
	<b>0,30</b>	0,15	0,26	0,34	0,30	0,32	0,29	<b>0,32</b>	0,24	0,29	<b>0,32</b>	0,24		<b>0,17</b>
	0,28	0,20	0,30	0,35	0,35	0,37		0,27	0,27		0,27	0,27		0,15
		0,27	<b>0,32</b>	<b>0,39</b>	<b>0,36</b>	<b>0,40</b>			<b>0,30</b>			<b>0,30</b>		
		0,32	0,31	0,35	<b>0,38</b>	0,39			0,24			0,24		
		<b>0,34</b>			0,35									
		0,34												



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
 DOSIFICACION OPTIMA

DOSIFICACION														
	5%		10%		15%		20%		30%		40%		50%	
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,04	0,09	0,04	0,06	0,05	0,11	0,04	0,09	0,06	0,01	0,04	0,00	0,04
0,01	0,01	0,12	0,16	0,14	0,06	0,13	0,17	0,24	0,21	0,19	0,06	0,11	0,02	0,17
0,01	0,02	0,19	0,21	0,29	0,12	0,22	0,32	0,35	0,48	0,38	0,32	0,19	0,09	0,32
0,05	0,05	<b>0,23</b>	0,24	<b>0,39</b>	0,19	0,34	0,43	0,43	0,65	0,61	0,42	0,32	0,22	0,34
0,10	0,09	0,23	0,29	0,39	0,26	0,42	0,49	0,49	0,77	0,81	0,50	0,43	0,34	0,38
0,15	0,13		0,34		0,32	0,48	0,52	0,52	0,90	0,99	0,58	0,56	<b>0,46</b>	0,41
0,17	0,17		<b>0,38</b>		0,36	0,48	<b>0,53</b>	0,94	1,06	0,95	0,64	0,68	0,43	0,43
<b>0,20</b>	0,19		0,37		0,39	<b>0,49</b>	0,49	0,51	<b>1,07</b>	<b>1,02</b>	0,72	0,79	0,44	0,29
0,18	<b>0,20</b>				<b>0,39</b>	0,47			<b>1,01</b>	1,04	0,76	<b>0,86</b>	0,45	0,34
0,20					0,37				0,96		0,80	0,83	0,46	0,38
											<b>0,82</b>		<b>0,47</b>	0,40
											0,80			<b>0,34</b>
											0,81		0,45	0,42
												<b>0,82</b>		0,44
												0,78		<b>0,46</b>
														0,45
														<b>0,39</b>
														0,37

Esfuerzo (Kg/cm<sup>2</sup>)

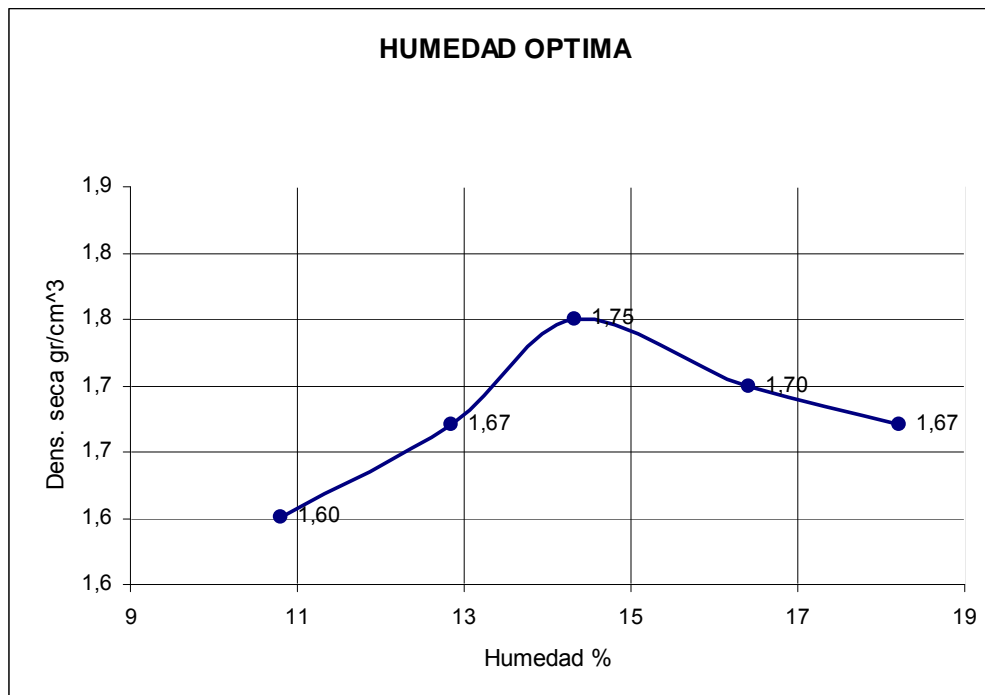
ANEXO 3  
HUMEDADES ÓPTIMAS



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
 PROCTOR STANDART

MUESTRA: ARENA+CENIZA DE CAÑA  
 METODO: PROCTOR STANDARD

PRUEBA #	1	2	3	4	5
# GOLPES	25	25	25	25	25
MUESTRA HUMEDA (gr)	2500	2500	2500	2500	2500
MOLDE #	1	1	1	1	1
PESO MOLDE (gr)	4115	4115	4115	4115	4115
MOLDE+MUESTRA COMPACTADA (gr)	5790	5890	6005	5985	5980
# TARA	1	2	3	4	5
PESO TARA (gr)	7,19	7,54	7,55	7,28	7,67
W TARA+W HUMEDO (gr)	25,65	41,12	36,85	27,49	39,61
W TARA+W SECO (gr)	23,85	37,3	33,18	24,64	34,69
% DE HUMEDAD	10,80	12,84	14,32	16,42	18,21
% DE HUMEDAD PROMEDIO	10,80	12,84	14,32	16,42	18,21
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm <sup>3</sup> )	1,775	1,881	2,003	1,982	1,976
DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	1,60	1,67	1,75	1,70	1,67

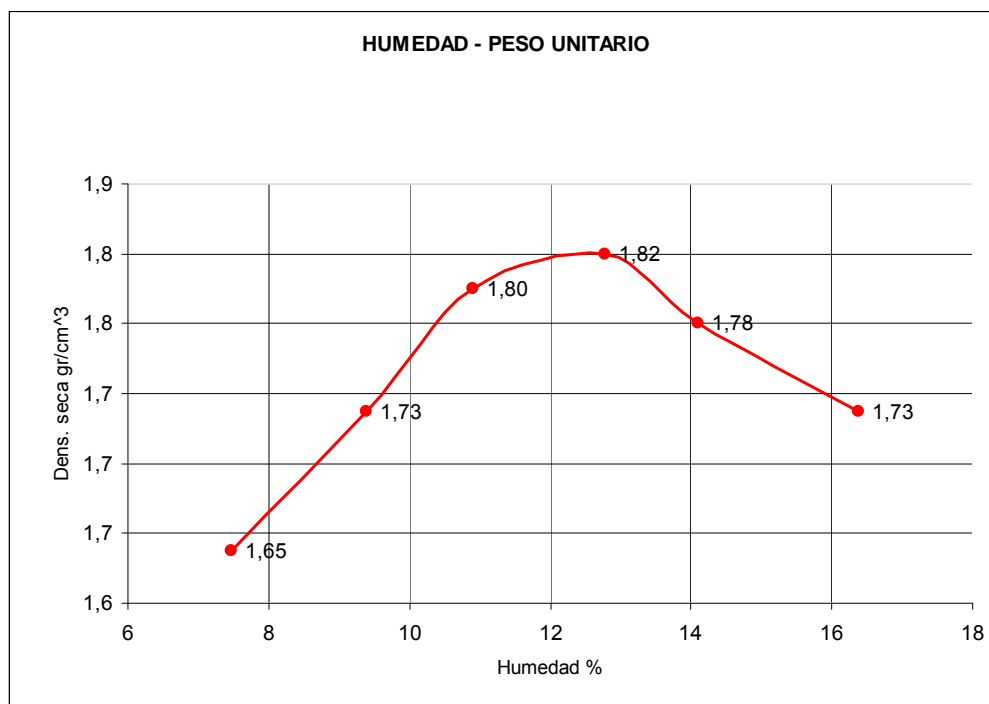




UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
 PROCTOR STANDART

MUESTRA: ARENA+CENIZA VOLANTE  
 METODO: PROCTOR STANDARD

PRUEBA #	1	2	3	4	5	6
# GOLPES	25	25	25	25	25	25
MUESTRA HUMEDA (gr)	2500	2500	2500	2500	2500	2500
MOLDE #	1	1	1	1	1	1
PESO MOLDE (gr)	4115	4115	4115	4115	4115	4115
MOLDE+MUESTRA COMPACTADA (gr)	5785	5905	6000	6050	6030	6015
# TARA	1	2	3	4	5	6
PESO TARA (gr)	7,19	7,54	7,55	7,28	7,67	7,67
W TARA+W HUMEDO (gr)	27,47	35,4	51,9	44,8	40,87	57,31
W TARA+W SECO (gr)	26,06	33,01	47,54	40,55	36,77	50,32
% DE HUMEDAD	7,47	9,38	10,90	12,77	14,09	16,39
% DE HUMEDAD PROMEDIO	7,47	9,38	10,90	12,77	14,09	16,39
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm <sup>3</sup> )	1,770	1,897	1,997	2,050	2,029	2,013
DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	1,65	1,73	1,80	1,82	1,78	1,73



ANEXO 4

COMPRESION SIMPLE

## Mezcla optima ceniza volante 7 días

### Probeta 1

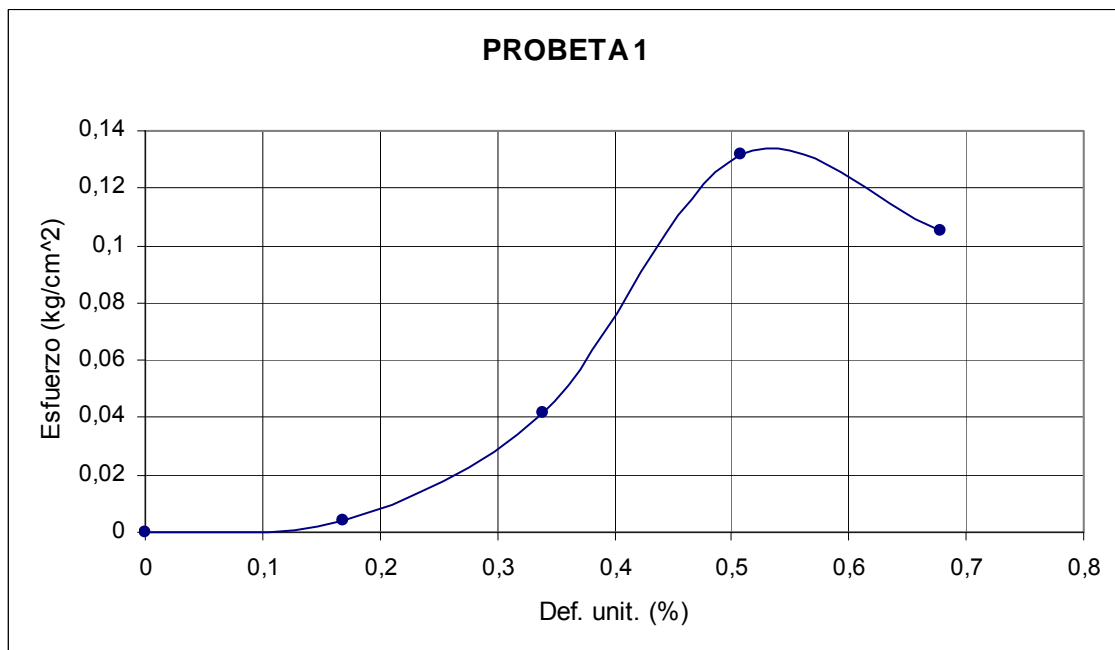


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
COMPRESION SIMPLE

#### DIMENSIONES CILINDRO

Diámetro superior (cm)	7,62
Diámetro central (cm)	7,62
Diámetro inferior (cm)	7,62
Altura (cm)	15,00
Área (cm <sup>2</sup> )	45,60
Volumen (cm <sup>3</sup> )	684,06

Tiempo (min)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Def. Unitaria	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (%)
0	0	0	0	0	0
0,25	0,2	0,25	0,0017	0,00	0,169
0,5	1,9	0,51	0,0034	0,04	0,339
0,75	6	0,76	0,0051	0,13	0,508
1	4,8	1,02	0,0068	0,11	0,677



## Mezcla optima ceniza volante 7 días

### Probeta 2

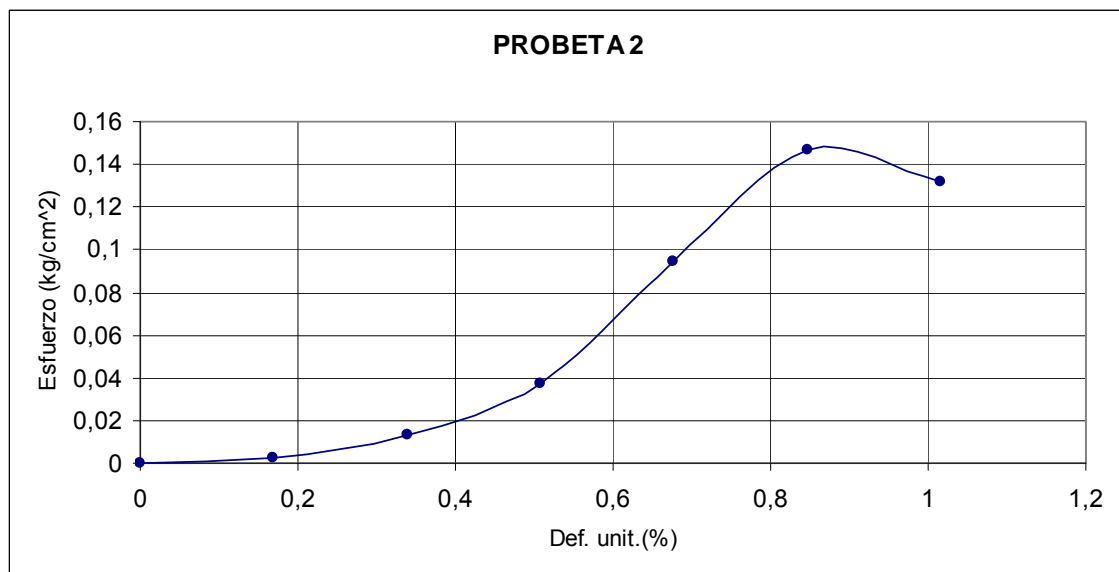


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
COMPRESION SIMPLE

#### DIMENSIONES CILINDRO

Diámetro superior (cm)	7,62
Diámetro central (cm)	7,62
Diámetro inferior (cm)	7,62
Altura (cm)	15,00
Área (cm <sup>2</sup> )	45,60
Volumen (cm <sup>3</sup> )	684,06

Tiempo (min)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Def. Unitaria	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (%)
0	0	0	0	0	0
0,25	0,1	0,25	0,0017	0,00	0,169
0,5	0,6	0,51	0,0034	0,01	0,339
0,75	1,7	0,76	0,0051	0,04	0,508
1	4,3	1,02	0,0068	0,09	0,677
1,25	6,7	1,27	0,0085	0,15	0,847
1,5	6	1,52	0,0102	0,13	1,016



## Mezcla optima ceniza volante 7 días

### Probeta 3

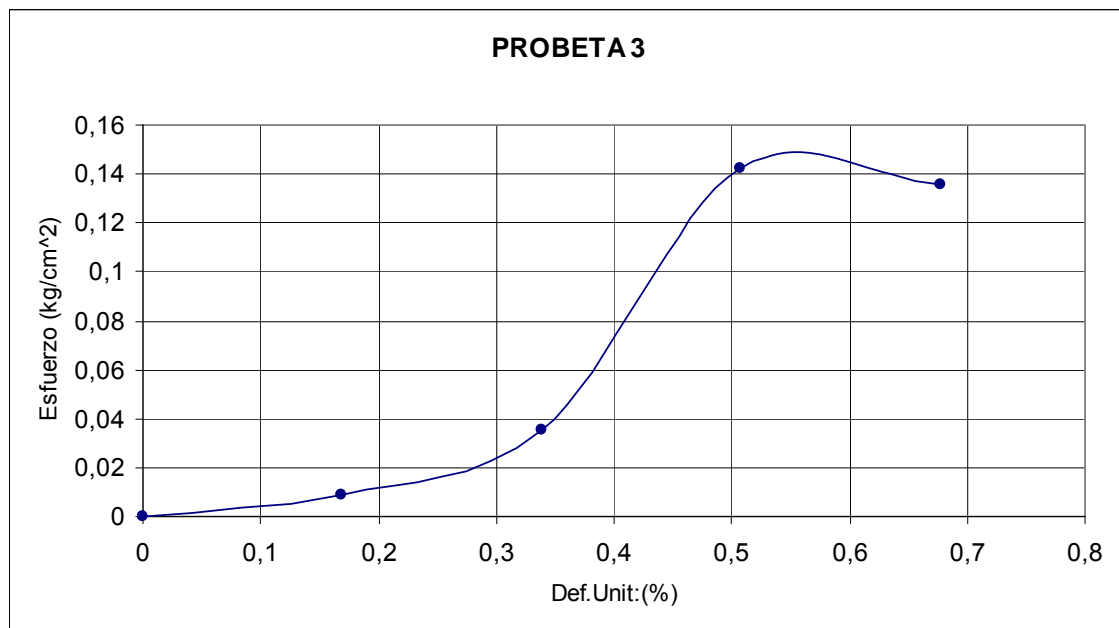


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
COMPRESION SIMPLE

#### DIMENSIONES CILINDRO

Diámetro superior (cm)	7,62
Diámetro central (cm)	7,62
Diámetro inferior (cm)	7,62
Altura (cm)	15,00
Área (cm <sup>2</sup> )	45,60
Volumen (cm <sup>3</sup> )	684,06

Tiempo (min)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Def. Unitaria	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (%)
0	0	0	0	0	0
0,25	0,4	0,25	0,0017	0,01	0,169
0,5	1,6	0,51	0,0034	0,04	0,339
0,75	6,5	0,76	0,0051	0,14	0,508
1	6,2	1,02	0,0068	0,14	0,677



## Mezcla optima ceniza volante 15 días

### Probeta 1

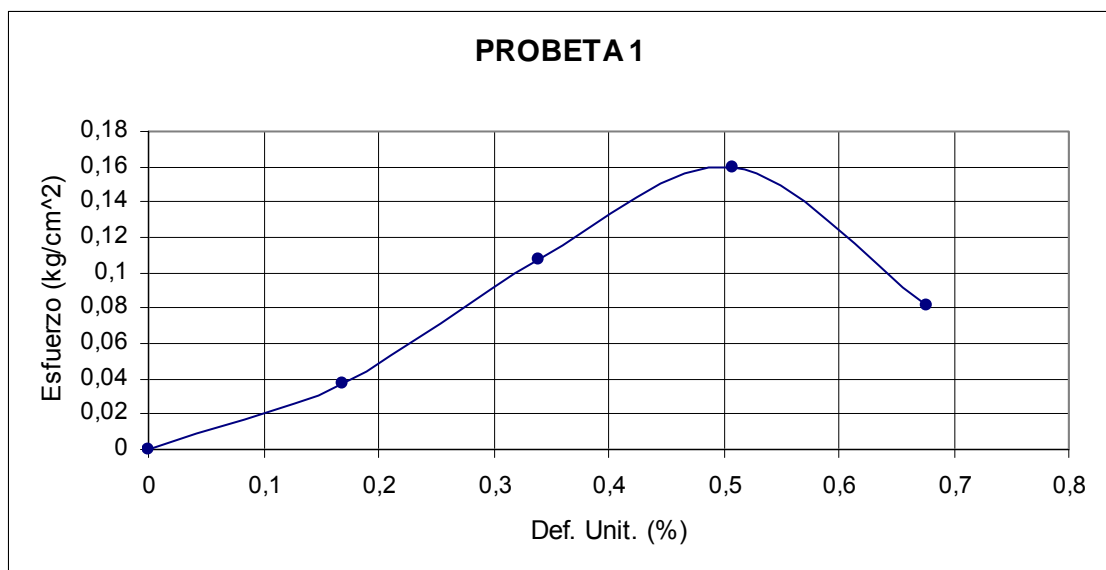


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
COMPRESION SIMPLE

#### DIMENSIONES CILINDRO

Diámetro superior (cm)	<u>7,62</u>
Diámetro central (cm)	<u>7,62</u>
Diámetro inferior (cm)	<u>7,62</u>
Altura (cm)	<u>15,00</u>
Área (cm <sup>2</sup> )	<u>45,60</u>
Volumen (cm <sup>3</sup> )	<u>684,06</u>

Tiempo (min)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Def. Unitaria	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (%)
0	0	0	0	0	0
0,25	1,7	0,25	0,0017	0,04	0,169
0,5	4,9	0,51	0,0034	0,11	0,339
0,75	7,3	0,76	0,0051	0,16	0,508
1	3,7	1,02	0,0068	0,08	0,677



## Mezcla optima ceniza volante 15 días

### Probeta 2

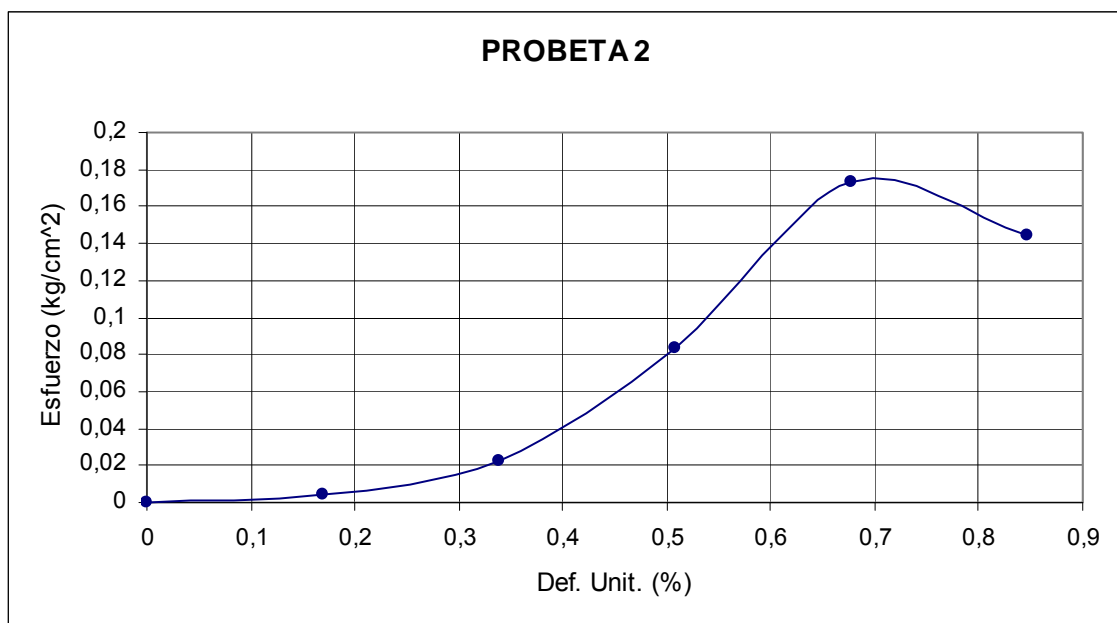


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
COMPRESION SIMPLE

#### DIMENSIONES CILINDRO

Diámetro superior (cm)	7,62
Diámetro central (cm)	7,62
Diámetro inferior (cm)	7,62
Altura (cm)	15,00
Área (cm <sup>2</sup> )	45,60
Volumen (cm <sup>3</sup> )	684,06

Tiempo (min)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Def. Unitaria	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (%)
0	0	0	0	0	0
0,25	0,2	0,25	0,0017	0,00	0,169
0,5	1,0	0,51	0,0034	0,02	0,339
0,75	3,8	0,76	0,0051	0,08	0,508
1	7,9	1,02	0,0068	0,17	0,677
1,25	6,6	1,27	0,0085	0,14	0,847



## Mezcla optima ceniza volante 15 días

### Probeta 3

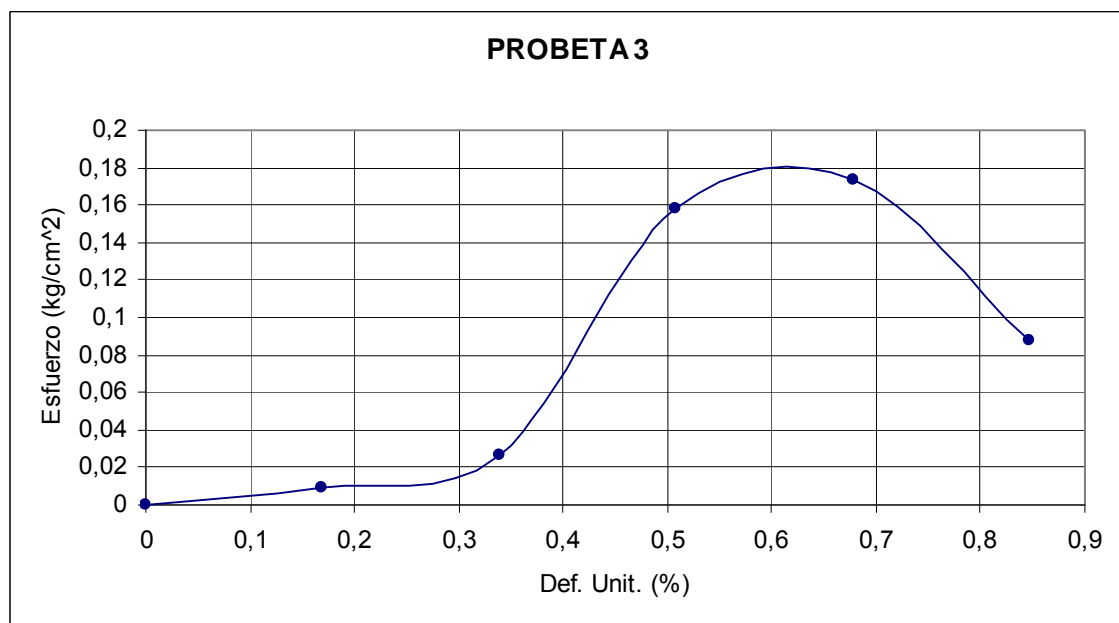


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
COMPRESION SIMPLE

#### DIMENSIONES CILINDRO

Diámetro superior (cm)	7,62
Diámetro central (cm)	7,62
Diámetro inferior (cm)	7,62
Altura (cm)	15,00
Área (cm <sup>2</sup> )	45,60
Volumen (cm <sup>3</sup> )	684,06

Tiempo (min)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Def. Unitaria	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (%)
0	0	0	0	0	0
0,25	0,4	0,25	0,0017	0,01	0,169
0,5	1,2	0,51	0,0034	0,03	0,339
0,75	7,2	0,76	0,0051	0,16	0,508
1	7,9	1,02	0,0068	0,17	0,677
1,25	4	1,27	0,0085	0,09	0,847



## Mezcla optima ceniza de caña 7 días

### Probeta 1

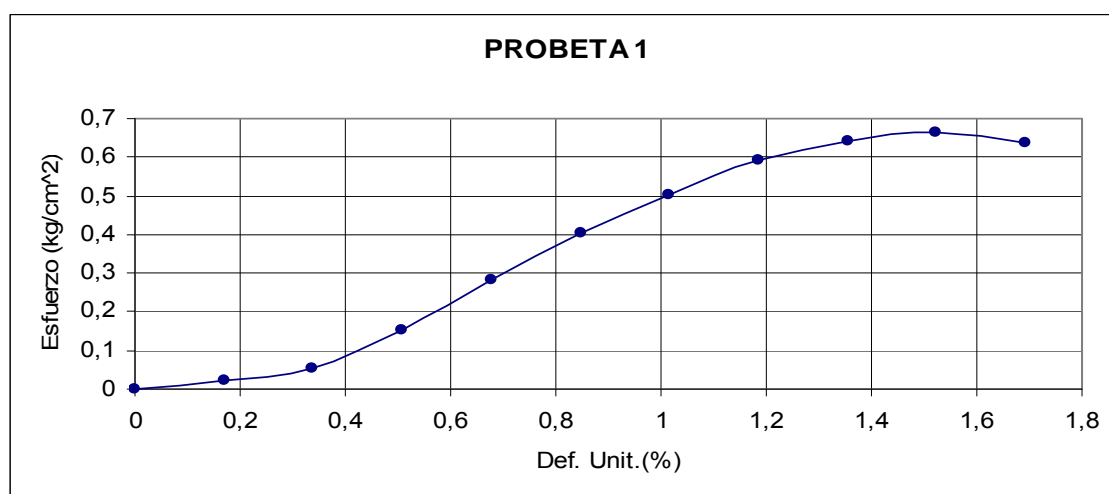


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
COMPRESION SIMPLE

#### DIMENSIONES CILINDRO

Diámetro superior (cm)	7,62
Diámetro central (cm)	7,62
Diámetro inferior (cm)	7,62
Altura (cm)	15,00
Área (cm <sup>2</sup> )	45,60
Volumen (cm <sup>3</sup> )	684,06

Tiempo (min)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Def. Unitaria	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (%)
0	0	0	0	0	0
0,25	1,0	0,25	0,0017	0,02	0,169
0,5	2,4	0,51	0,0034	0,05	0,339
0,75	6,9	0,76	0,0051	0,15	0,508
1	12,8	1,02	0,0068	0,28	0,677
1,25	18,4	1,27	0,0085	0,40	0,847
1,5	22,9	1,52	0,0102	0,50	1,016
1,75	27,0	1,78	0,0119	0,59	1,185
2	29,3	2,03	0,0135	0,64	1,355
2,25	30,2	2,29	0,0152	0,66	1,524
2,5	29,0	2,54	0,0169	0,64	1,693



## Mezcla optima ceniza de caña 7 días

### Probeta 2

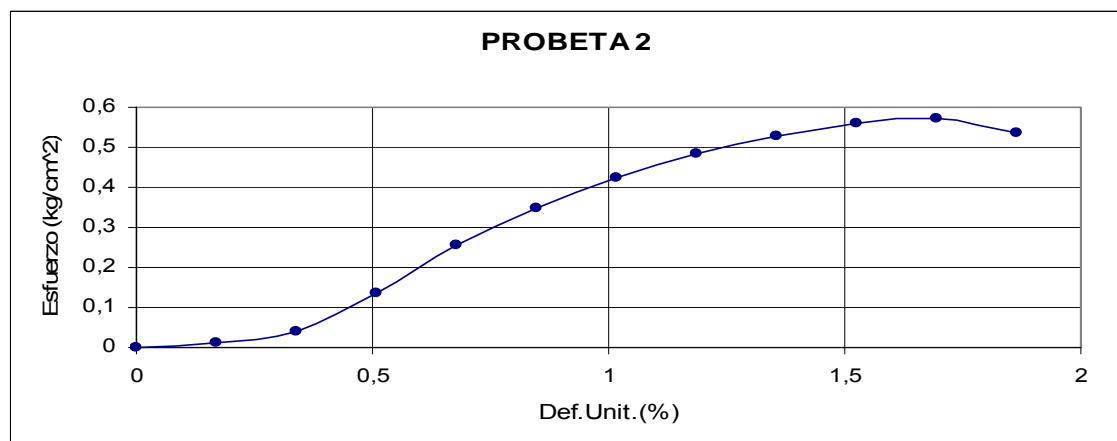


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
COMPRESION SIMPLE

#### DIMENSIONES CILINDRO

Diámetro superior (cm)	7,62
Diámetro central (cm)	7,62
Diámetro inferior (cm)	7,62
Altura (cm)	15,00
Área (cm <sup>2</sup> )	45,60
Volumen (cm <sup>3</sup> )	684,06

Tiempo (min)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Def. Unitaria	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (%)
0	0	0	0	0	0
0,25	0,5	0,25	0,0017	0,01	0,169
0,5	1,9	0,51	0,0034	0,04	0,339
0,75	6,2	0,76	0,0051	0,14	0,508
1	11,6	1,02	0,0068	0,25	0,677
1,25	15,9	1,27	0,0085	0,35	0,847
1,5	19,3	1,52	0,0102	0,42	1,016
1,75	22,1	1,78	0,0119	0,48	1,185
2	24,0	2,03	0,0135	0,53	1,355
2,25	25,5	2,29	0,0152	0,56	1,524
2,5	26,0	2,54	0,0169	0,57	1,693
2,75	24,5	2,79	0,0186	0,54	1,863



## Mezcla optima ceniza de caña 7 días

### Probeta 3

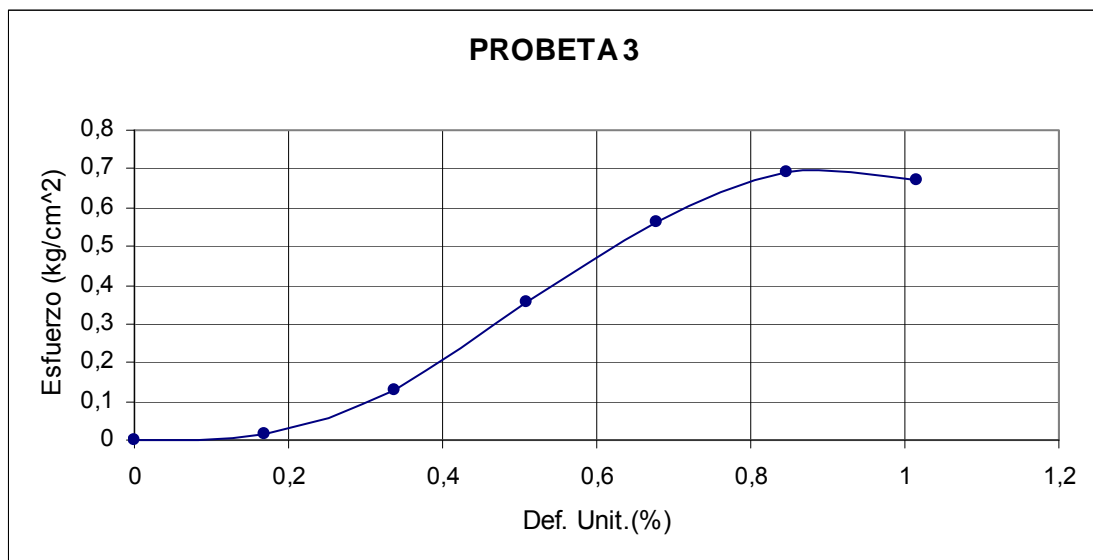


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
COMPRESION SIMPLE

#### DIMENSIONES CILINDRO

Diámetro superior (cm)	7,62
Diámetro central (cm)	7,62
Diámetro inferior (cm)	7,62
Altura (cm)	15,00
Área (cm <sup>2</sup> )	45,60
Volumen (cm <sup>3</sup> )	684,06

Tiempo (min)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Def. Unitaria	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (%)
0	0	0	0	0	0
0,25	0,7	0,25	0,0017	0,02	0,169
0,5	5,9	0,51	0,0034	0,13	0,339
0,75	16,3	0,76	0,0051	0,36	0,508
1	25,7	1,02	0,0068	0,56	0,677
1,25	31,5	1,27	0,0085	0,69	0,847
1,5	30,7	1,52	0,0102	0,67	1,016



## Mezcla optima ceniza de caña 15 días

### Probeta 1

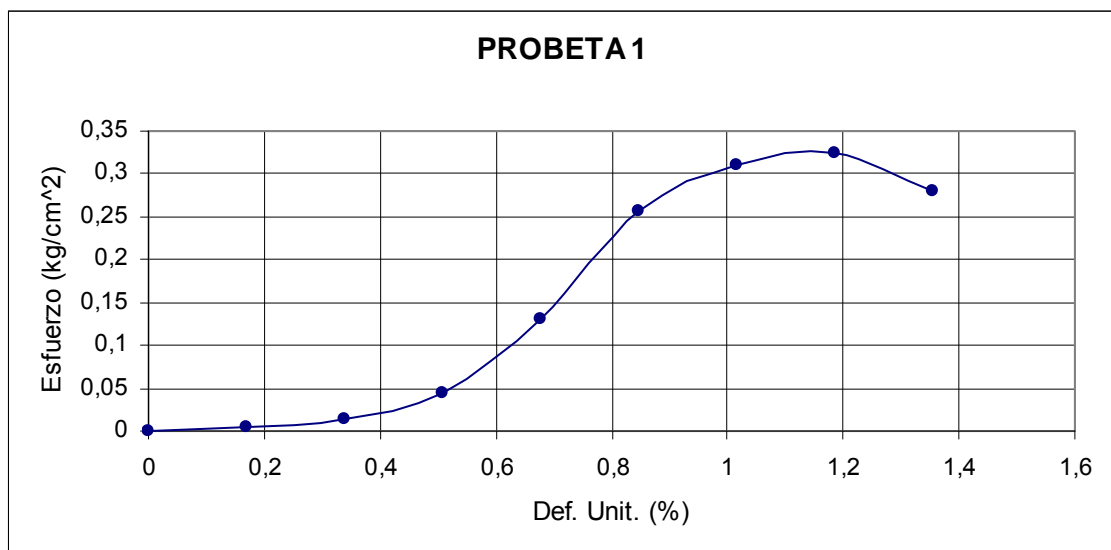


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
COMPRESION SIMPLE

#### DIMENSIONES CILINDRO

Diámetro superior (cm)	7,62
Diámetro central (cm)	7,62
Diámetro inferior (cm)	7,62
Altura (cm)	15,00
Área (cm <sup>2</sup> )	45,60
Volumen (cm <sup>3</sup> )	684,06

Tiempo (min)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Def. Unitaria	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (%)
0	0	0	0	0	0
0,25	0,2	0,25	0,0017	0,00	0,169
0,5	0,6	0,51	0,0034	0,01	0,339
0,75	2	0,76	0,0051	0,04	0,508
1	6	1,02	0,0068	0,13	0,677
1,25	11,7	1,27	0,0085	0,26	0,847
1,5	14,1	1,52	0,0102	0,31	1,016
1,75	14,8	1,78	0,0119	0,32	1,185
2	12,8	2,03	0,0135	0,28	1,355



## Mezcla optima ceniza de caña 15 días

### Probeta 2

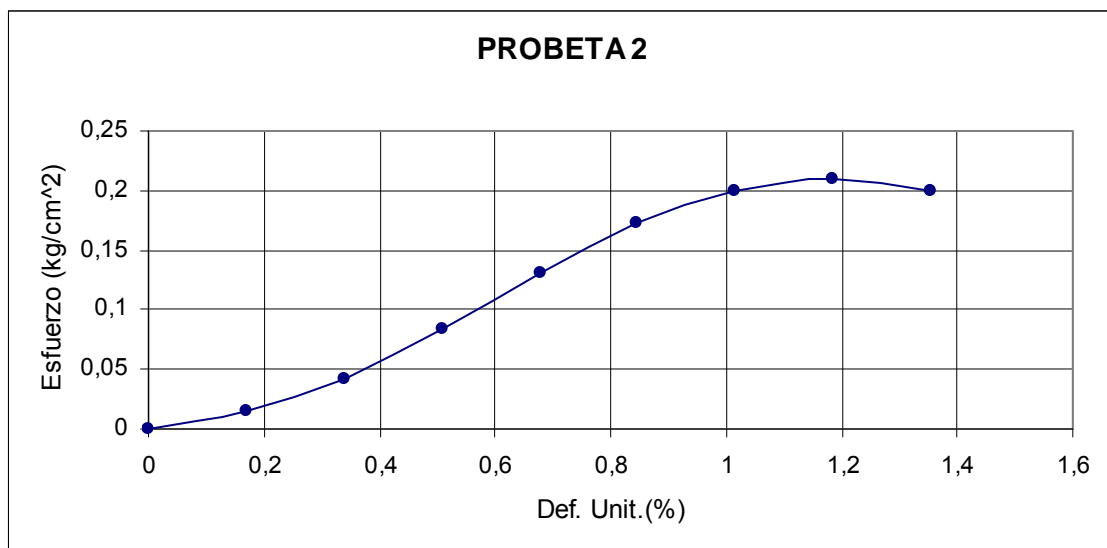


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
COMPRESION SIMPLE

#### DIMENSIONES CILINDRO

Diámetro superior (cm)	7,62
Diámetro central (cm)	7,62
Diámetro inferior (cm)	7,62
Altura (cm)	15,00
Área (cm <sup>2</sup> )	45,60
Volumen (cm <sup>3</sup> )	684,06

Tiempo (min)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Def. Unitaria	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (%)
0	0	0	0	0	0
0,25	0,7	0,25	0,0017	0,02	0,169
0,5	1,9	0,51	0,0034	0,04	0,339
0,75	3,8	0,76	0,0051	0,08	0,508
1	6	1,02	0,0068	0,13	0,677
1,25	7,9	1,27	0,0085	0,17	0,847
1,5	9,1	1,52	0,0102	0,20	1,016
1,75	9,6	1,78	0,0119	0,21	1,185
2	9,1	2,03	0,0135	0,20	1,355



## Mezcla optima ceniza de caña 15 días

### Probeta 3

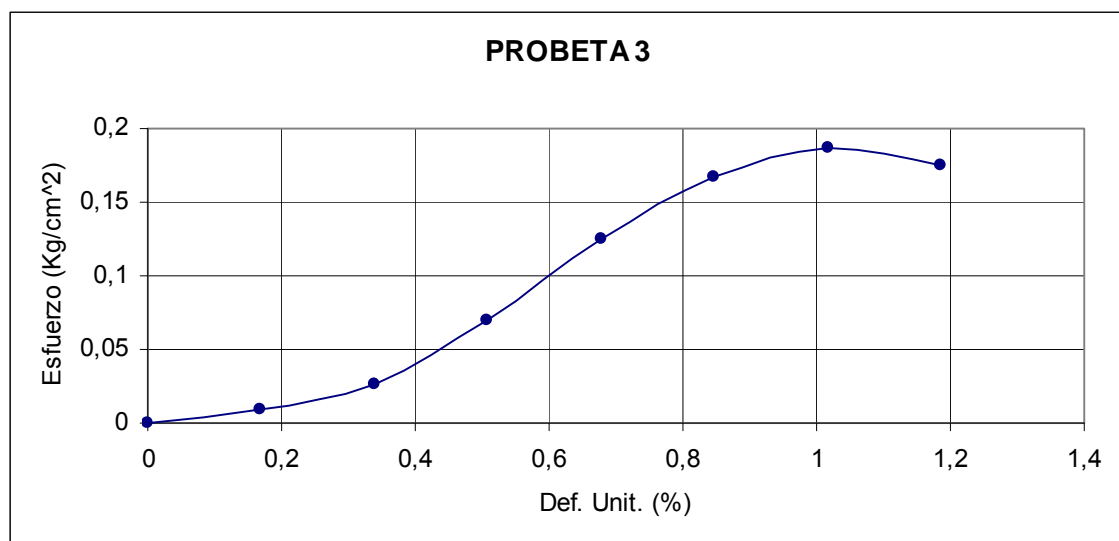


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
COMPRESION SIMPLE

#### DIMENSIONES CILINDRO

Diámetro superior (cm)	7,62
Diámetro central (cm)	7,62
Diámetro inferior (cm)	7,62
Altura (cm)	15,00
Área (cm <sup>2</sup> )	45,60
Volumen (cm <sup>3</sup> )	684,06

Tiempo (min)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Def. Unitaria	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (%)
0	0	0	0	0	0
0,25	0,4	0,25	0,0017	0,01	0,169
0,5	1,2	0,51	0,0034	0,03	0,339
0,75	3,2	0,76	0,0051	0,07	0,508
1	5,7	1,02	0,0068	0,12	0,677
1,25	7,6	1,27	0,0085	0,17	0,847
1,5	8,5	1,52	0,0102	0,19	1,016
1,75	8	1,78	0,0119	0,18	1,185



Mezcla optima ceniza volante+4% de cal 7 días

Probeta 1

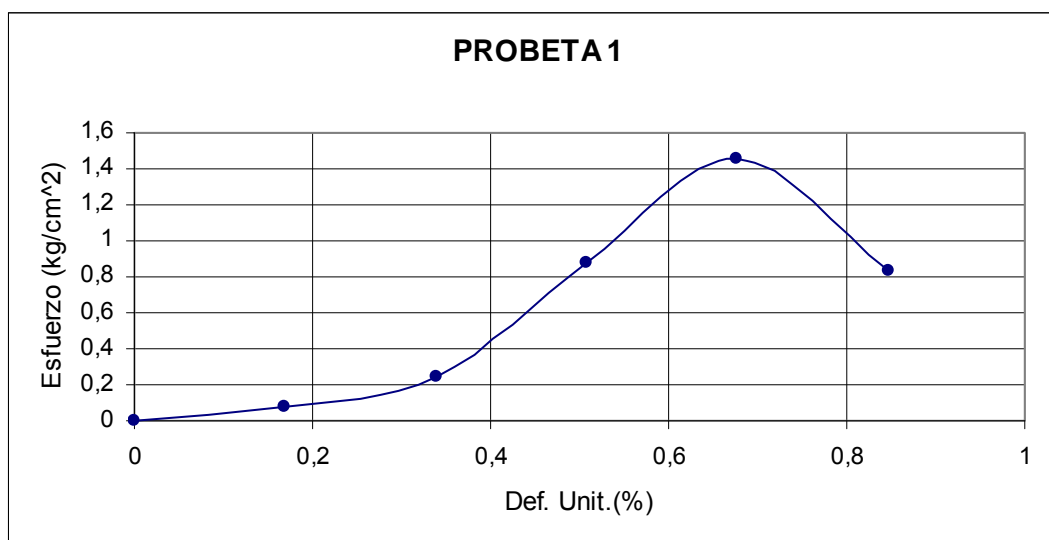


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
 COMPRESION SIMPLE

**DIMENSIONES CILINDRO**

Diámetro superior (cm)	7,62
Diámetro central (cm)	7,62
Diámetro inferior (cm)	7,62
Altura (cm)	15,00
Área (cm <sup>2</sup> )	45,60
Volumen (cm <sup>3</sup> )	684,06

Tiempo (min)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Def. Unitaria	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (%)
0	0	0	0	0	0
0,25	3,4	0,25	0,0017	0,07	0,169
0,5	10,9	0,51	0,0034	0,24	0,339
0,75	40,2	0,76	0,0051	0,88	0,508
1	66,3	1,02	0,0068	1,45	0,677
1,25	38,2	1,27	0,0085	0,84	0,847



Mezcla optima ceniza volante+4% de cal 7 días

Probeta 2

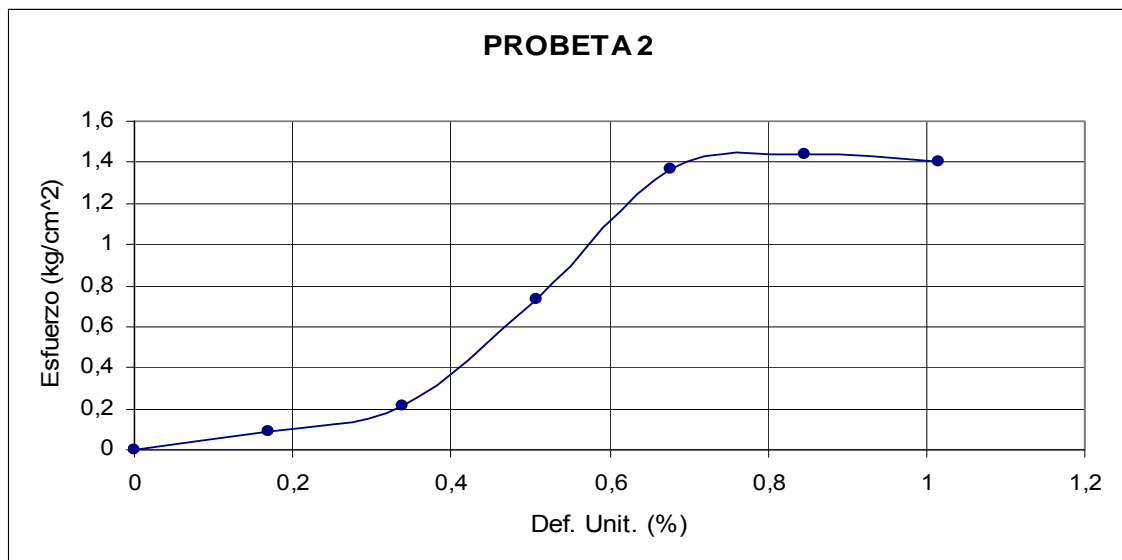


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
 COMPRESION SIMPLE

**DIMENSIONES CILINDRO**

Diámetro superior (cm)	7,62
Diámetro central (cm)	7,62
Diámetro inferior (cm)	7,62
Altura (cm)	15,00
Área (cm <sup>2</sup> )	45,60
Volumen (cm <sup>3</sup> )	684,06

Tiempo (min)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Def. Unitaria	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (%)
0	0	0	0	0	0
0,25	4,2	0,25	0,0017	0,09	0,169
0,5	9,9	0,51	0,0034	0,22	0,339
0,75	33,5	0,76	0,0051	0,73	0,508
1	62,3	1,02	0,0068	1,37	0,677
1,25	65,8	1,27	0,0085	1,44	0,847
1,5	63,9	1,52	0,0102	1,40	1,016



Mezcla optima ceniza volante+4% de cal 7 días

Probeta 3

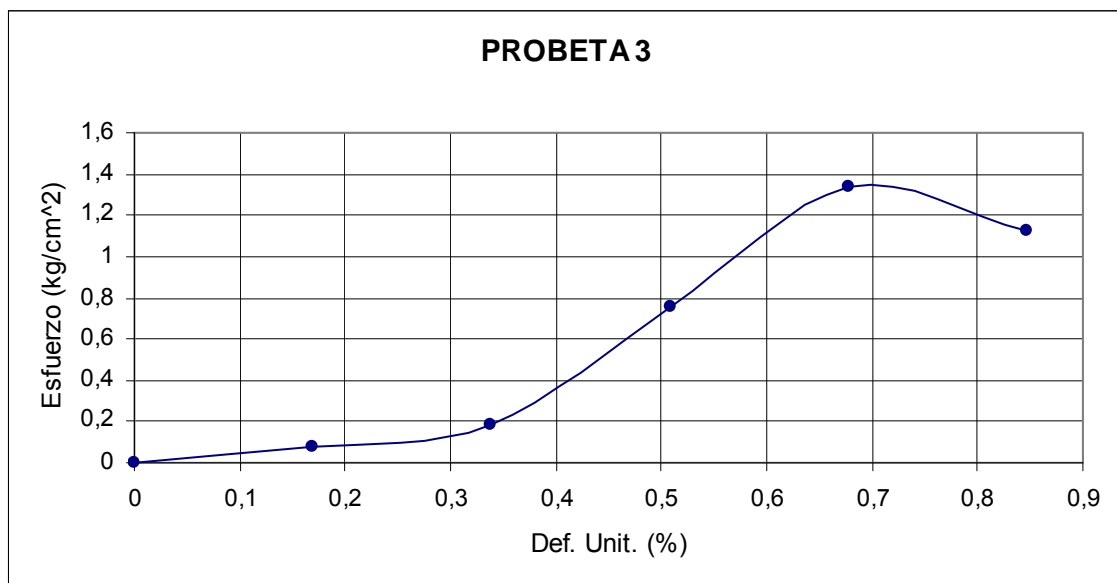


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
 COMPRESION SIMPLE

**DIMENSIONES CILINDRO**

Diámetro superior (cm)	7,62
Diámetro central (cm)	7,62
Diámetro inferior (cm)	7,62
Altura (cm)	15,00
Área (cm <sup>2</sup> )	45,60
Volumen (cm <sup>3</sup> )	684,06

Tiempo (min)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Def. Unitaria	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (%)
0	0	0	0	0	0
0,25	3,6	0,25	0,0017	0,08	0,169
0,5	8,4	0,51	0,0034	0,18	0,339
0,75	34,3	0,76	0,0051	0,75	0,508
1	60,9	1,02	0,0068	1,34	0,677
1,25	51,2	1,27	0,0085	1,12	0,847



Mezcla optima ceniza volante+4% de cal 15 días

Probeta 1

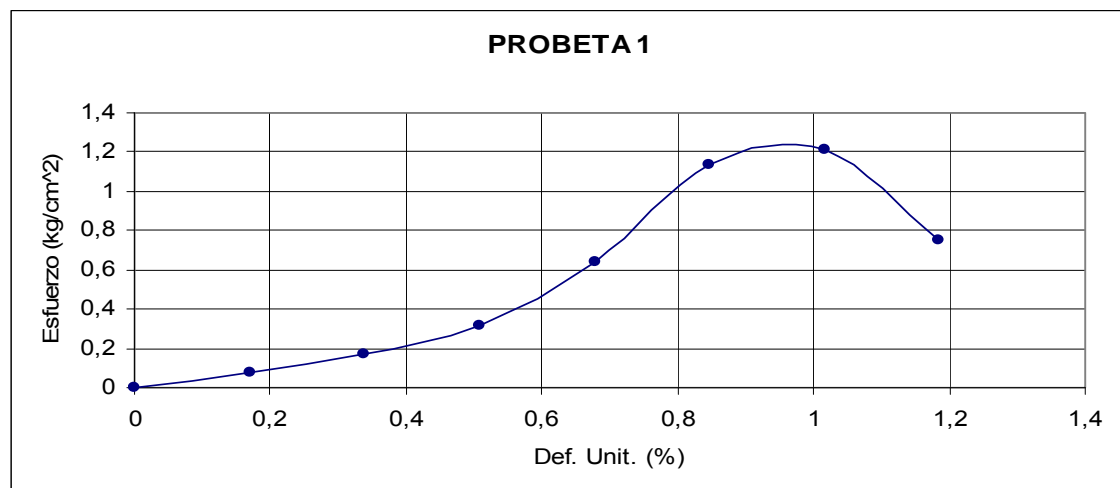


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
 COMPRESION SIMPLE

**DIMENSIONES CILINDRO**

Diámetro superior (cm)	7,62
Diámetro central (cm)	7,62
Diámetro inferior (cm)	7,62
Altura (cm)	15,00
Área (cm <sup>2</sup> )	45,60
Volumen (cm <sup>3</sup> )	684,06

Tiempo (min)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Def. Unitaria	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (%)
0	0	0	0	0	0
0,25	3,6	0,25	0,0017	0,08	0,169
0,5	7,6	0,51	0,0034	0,17	0,339
0,75	14,5	0,76	0,0051	0,32	0,508
1	29,2	1,02	0,0068	0,64	0,677
1,25	51,6	1,27	0,0085	1,13	0,847
1,5	55,3	1,52	0,0102	1,21	1,016
1,75	34,3	1,78	0,0119	0,75	1,185



Mezcla optima ceniza volante+4% de cal 15 días

Probeta 2

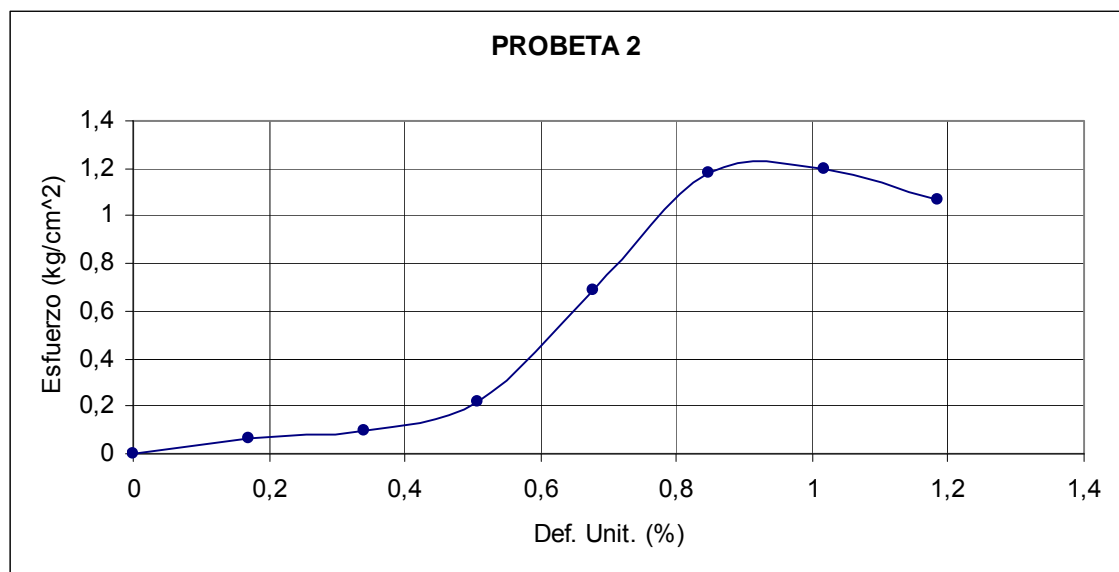


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
 COMPRESION SIMPLE

**DIMENSIONES CILINDRO**

Diámetro superior (cm)	7,62
Diámetro central (cm)	7,62
Diámetro inferior (cm)	7,62
Altura (cm)	15,00
Área (cm <sup>2</sup> )	45,60
Volumen (cm <sup>3</sup> )	684,06

Tiempo (min)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Def. Unitaria	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (%)
0	0	0	0	0	0
0,25	2,8	0,25	0,0017	0,06	0,169
0,5	4,3	0,51	0,0034	0,09	0,339
0,75	9,8	0,76	0,0051	0,21	0,508
1	31,2	1,02	0,0068	0,68	0,677
1,25	53,8	1,27	0,0085	1,18	0,847
1,5	54,5	1,52	0,0102	1,20	1,016
1,75	48,7	1,78	0,0119	1,07	1,185



Mezcla optima ceniza volante+4% de cal 15 días

Probeta 3

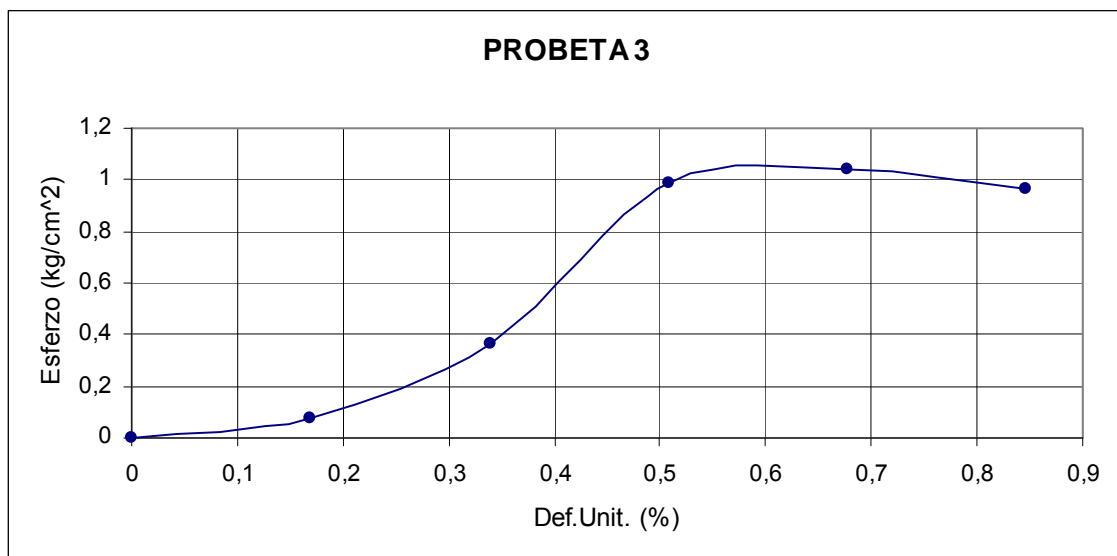


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
 COMPRESION SIMPLE

**DIMENSIONES CILINDRO**

Diámetro superior (cm)	7,62
Diámetro central (cm)	7,62
Diámetro inferior (cm)	7,62
Altura (cm)	15,00
Área (cm <sup>2</sup> )	45,60
Volumen (cm <sup>3</sup> )	684,06

Tiempo (min)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Def. Unitaria	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (%)
0	0	0	0	0	0
0,25	3,5	0,25	0,0017	0,08	0,169
0,5	16,7	0,51	0,0034	0,37	0,339
0,75	45,1	0,76	0,0051	0,99	0,508
1	47,3	1,02	0,0068	1,04	0,677
1,25	44,0	1,27	0,0085	0,96	0,847



Mezcla optima ceniza de caña+4% de cal 7 días

Probeta 1

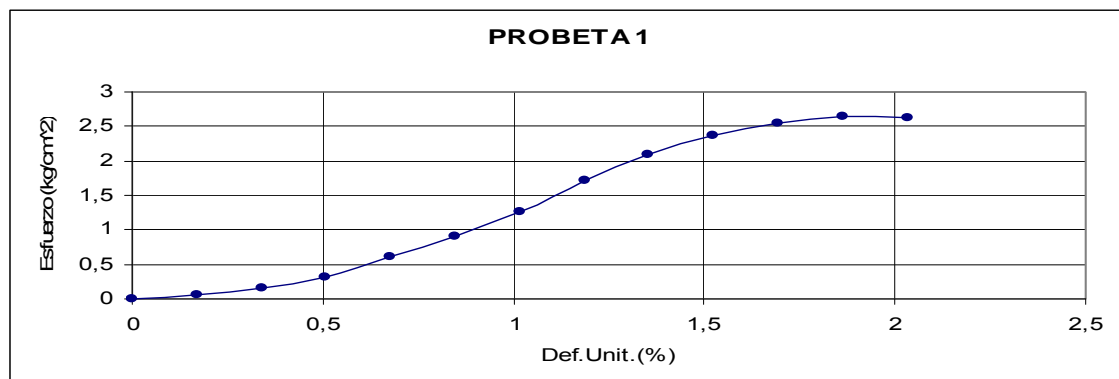


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
 COMPRESION SIMPLE

**DIMENSIONES CILINDRO**

Diámetro superior (cm)	7,62
Diámetro central (cm)	7,62
Diámetro inferior (cm)	7,62
Altura (cm)	15,00
Área (cm <sup>2</sup> )	45,60
Volumen (cm <sup>3</sup> )	684,06

Tiempo (min)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Def. Unitaria	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (%)
0	0	0	0	0	0
0,25	2,6	0,25	0,0017	0,06	0,169
0,5	7,3	0,51	0,0034	0,16	0,339
0,75	14,7	0,76	0,0051	0,32	0,508
1	28	1,02	0,0068	0,61	0,677
1,25	41,7	1,27	0,0085	0,91	0,847
1,5	58	1,52	0,0102	1,27	1,016
1,75	78,7	1,78	0,0119	1,73	1,185
2	95,4	2,03	0,0135	2,09	1,355
2,25	108,4	2,29	0,0152	2,38	1,524
2,5	116,5	2,54	0,0169	2,55	1,693
2,75	121	2,79	0,0186	2,65	1,863
3	120,1	3,05	0,0203	2,63	2,032



Mezcla optima ceniza de caña+4% de cal 7 días

Probeta 2

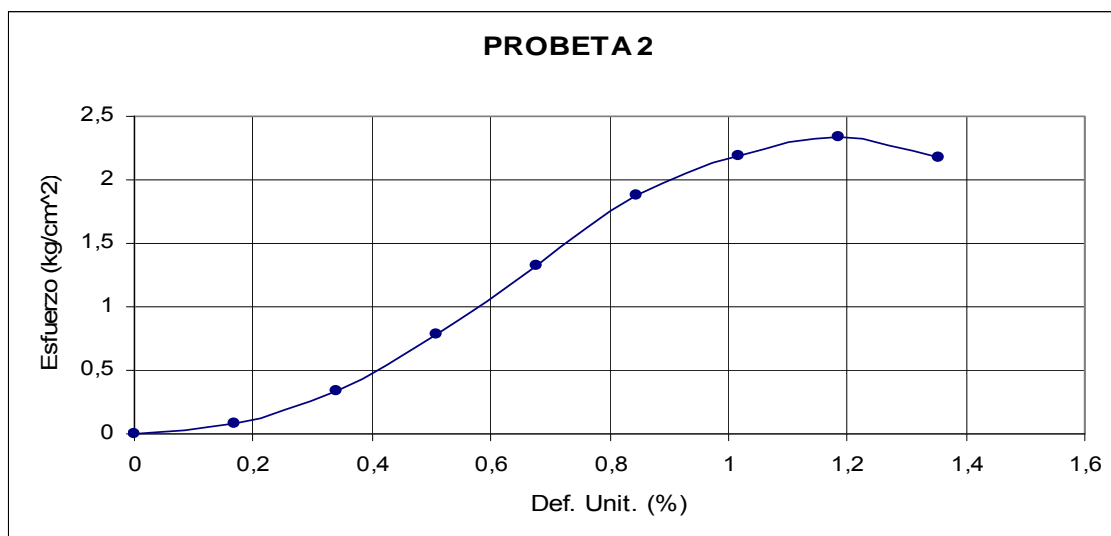


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
 COMPRESION SIMPLE

**DIMENSIONES CILINDRO**

Diámetro superior (cm)	7,62
Diámetro central (cm)	7,62
Diámetro inferior (cm)	7,62
Altura (cm)	15,00
Área (cm <sup>2</sup> )	45,60
Volumen (cm <sup>3</sup> )	684,06

Tiempo (min)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Def. Unitaria	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (%)
0	0	0	0	0	0
0,25	4	0,25	0,0017	0,09	0,169
0,5	15,7	0,51	0,0034	0,34	0,339
0,75	35,5	0,76	0,0051	0,78	0,508
1	60,1	1,02	0,0068	1,32	0,677
1,25	85,8	1,27	0,0085	1,88	0,847
1,5	100,1	1,52	0,0102	2,19	1,016
1,75	106,5	1,78	0,0119	2,34	1,185
2	99,4	2,03	0,0135	2,18	1,355



Mezcla optima ceniza de caña+4% de cal 7 días

Probeta 3

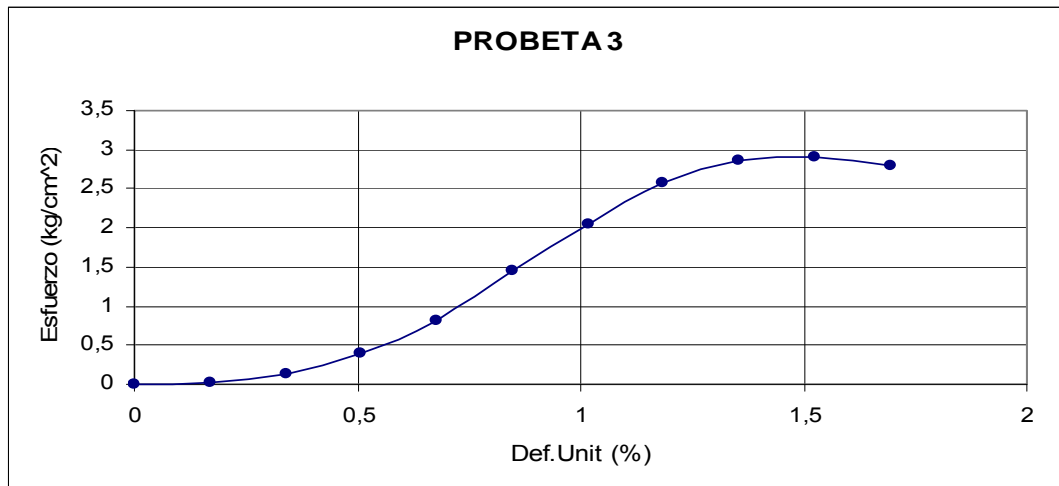


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
 COMPRESION SIMPLE

**DIMENSIONES CILINDRO**

Diámetro superior (cm)	7,62
Diámetro central (cm)	7,62
Diámetro inferior (cm)	7,62
Altura (cm)	15,00
Área (cm <sup>2</sup> )	45,60
Volumen (cm <sup>3</sup> )	684,06

Tiempo (min)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Def. Unitaria	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (%)
0	0	0	0	0	0
0,25	1,5	0,25	0,0017	0,03	0,169
0,5	6,5	0,51	0,0034	0,14	0,339
0,75	17,7	0,76	0,0051	0,39	0,508
1	36,7	1,02	0,0068	0,80	0,677
1,25	66,4	1,27	0,0085	1,46	0,847
1,5	93,1	1,52	0,0102	2,04	1,016
1,75	117,5	1,78	0,0119	2,58	1,185
2	130,8	2,03	0,0135	2,87	1,355
2,25	132,6	2,29	0,0152	2,91	1,524
2,5	127,3	2,54	0,0169	2,79	1,693



Mezcla optima ceniza de caña+4% de cal 15 días

Probeta 1

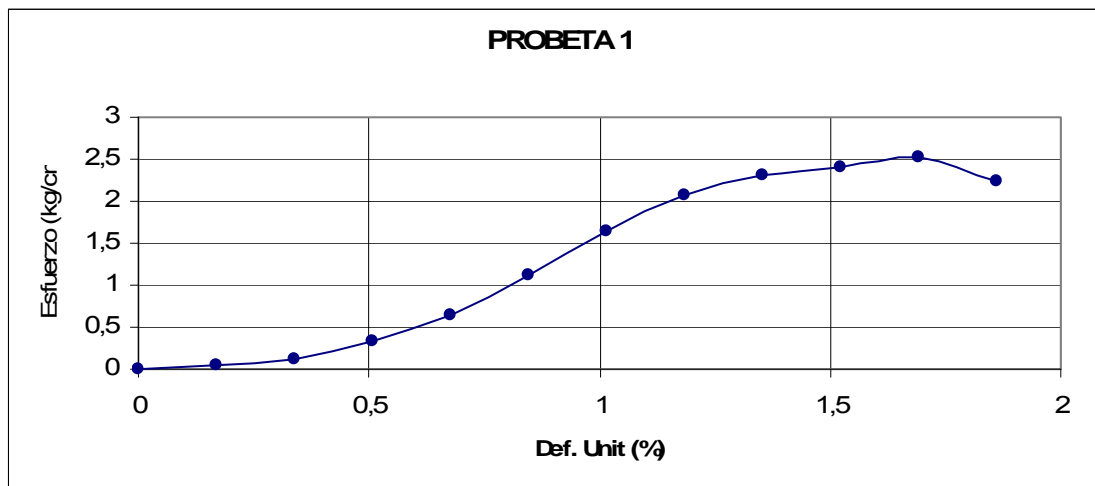


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
 COMPRESION SIMPLE

**DIMENSIONES CILINDRO**

Diámetro superior (cm)	7,62
Diámetro central (cm)	7,62
Diámetro inferior (cm)	7,62
Altura (cm)	15,00
Área (cm <sup>2</sup> )	45,60
Volumen (cm <sup>3</sup> )	684,06

Tiempo (min)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Def. Unitaria	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (%)
0	0	0	0	0	0
0,25	1,8	0,25	0,0017	0,04	0,169
0,5	5,9	0,51	0,0034	0,13	0,339
0,75	15,6	0,76	0,0051	0,34	0,508
1	29	1,02	0,0068	0,64	0,677
1,25	51,3	1,27	0,0085	1,12	0,847
1,5	75,4	1,52	0,0102	1,65	1,016
1,75	94,5	1,78	0,0119	2,07	1,185
2	105,4	2,03	0,0135	2,31	1,355
2,25	110,2	2,29	0,0152	2,42	1,524
2,5	115,3	2,54	0,0169	2,53	1,693
2,75	102,5	2,79	0,0186	2,25	1,863



Mezcla optima ceniza de caña+4% de cal 15 días

Probeta 2

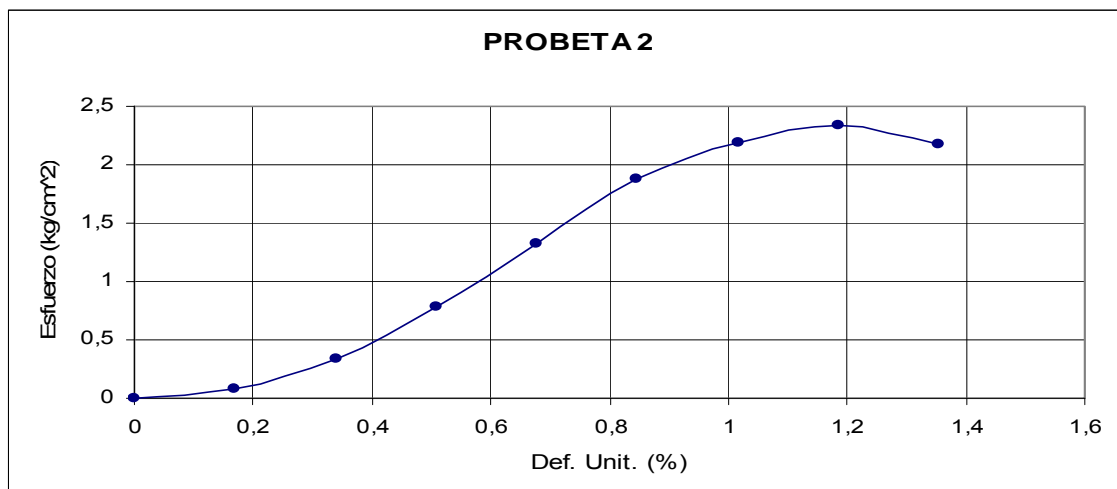


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
 COMPRESION SIMPLE

**DIMENSIONES CILINDRO**

Diámetro superior (cm)	7,62
Diámetro central (cm)	7,62
Diámetro inferior (cm)	7,62
Altura (cm)	15,00
Área (cm <sup>2</sup> )	45,60
Volumen (cm <sup>3</sup> )	684,06

Tiempo (min)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Def. Unitaria	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (%)
0	0	0	0	0	0
0,25	1,8	0,25	0,0017	0,04	0,169
0,5	7,8	0,51	0,0034	0,17	0,339
0,75	23,4	0,76	0,0051	0,51	0,508
1	41,9	1,02	0,0068	0,92	0,677
1,25	62,8	1,27	0,0085	1,38	0,847
1,5	77,8	1,52	0,0102	1,71	1,016
1,75	87,9	1,78	0,0119	1,93	1,185
2	91,3	2,03	0,0135	2,00	1,355
2,25	94,4	2,29	0,0152	2,07	1,524
2,5	96,7	2,54	0,0169	2,12	1,693
2,75	96,3	2,79	0,0186	2,11	1,863



Mezcla optima ceniza de caña+4% de cal 15 días

Probeta 3

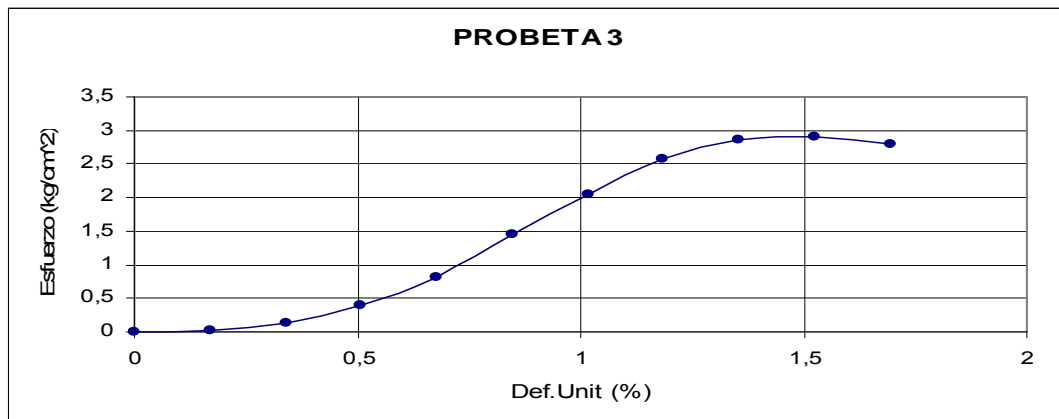


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
 COMPRESION SIMPLE

**DIMENSIONES CILINDRO**

Diámetro superior (cm)	7,62
Diámetro central (cm)	7,62
Diámetro inferior (cm)	7,62
Altura (cm)	15,00
Área (cm <sup>2</sup> )	45,60
Volumen (cm <sup>3</sup> )	684,06

Tiempo (min)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Def. Unitaria	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (%)
0	0	0	0	0	0
0,25	0,8	0,25	0,0017	0,02	0,169
0,5	1,4	0,51	0,0034	0,03	0,339
0,75	5,9	0,76	0,0051	0,13	0,508
1	19,8	1,02	0,0068	0,43	0,677
1,25	46,2	1,27	0,0085	1,01	0,847
1,5	69,7	1,52	0,0102	1,53	1,016
1,75	83,4	1,78	0,0119	1,83	1,185
2	97,8	2,03	0,0135	2,14	1,355
2,25	106,7	2,29	0,0152	2,34	1,524
2,5	111,2	2,54	0,0169	2,44	1,693
2,75	111,9	2,79	0,0186	2,45	1,863
3	112,2	3,05	0,0203	2,46	2,032
3,25	107,8	3,30	0,0220	2,36	2,201



Mezcla optima ceniza volante+2% de cemento 7 días

Probeta 1



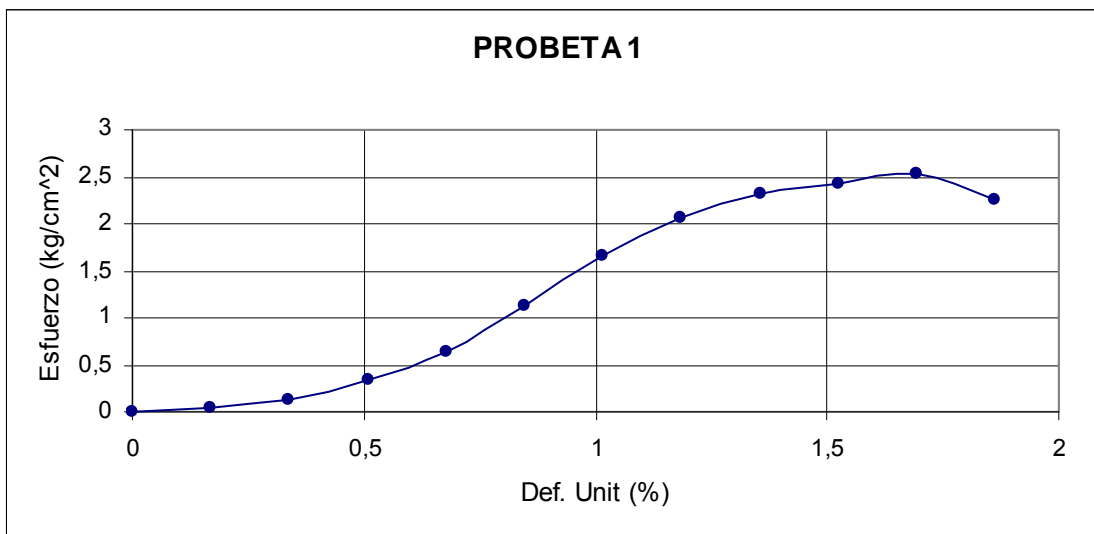
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
 COMPRESION SIMPLE

**DIMENSIONES CILINDRO**

Diámetro superior (cm)	7,62
Diámetro central (cm)	7,62
Diámetro inferior (cm)	7,62
Altura (cm)	15,00
Área (cm <sup>2</sup> )	45,60
Volumen (cm <sup>3</sup> )	684,06



Tiempo (min)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Def. Unitaria	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (%)
0	0	0	0	0	0
0,25	3,6	0,25	0,0017	0,08	0,169
0,5	6,1	0,51	0,0034	0,13	0,339
0,75	13,9	0,76	0,0051	0,30	0,508
1	32,8	1,02	0,0068	0,72	0,677
1,25	83,4	1,27	0,0085	1,83	0,847
1,5	119,7	1,52	0,0102	2,62	1,016
1,75	120,3	1,78	0,0119	2,64	1,185
2	110,2	2,03	0,0135	2,42	1,355



Mezcla optima ceniza volante+2% de cemento 7 días

Probeta 2

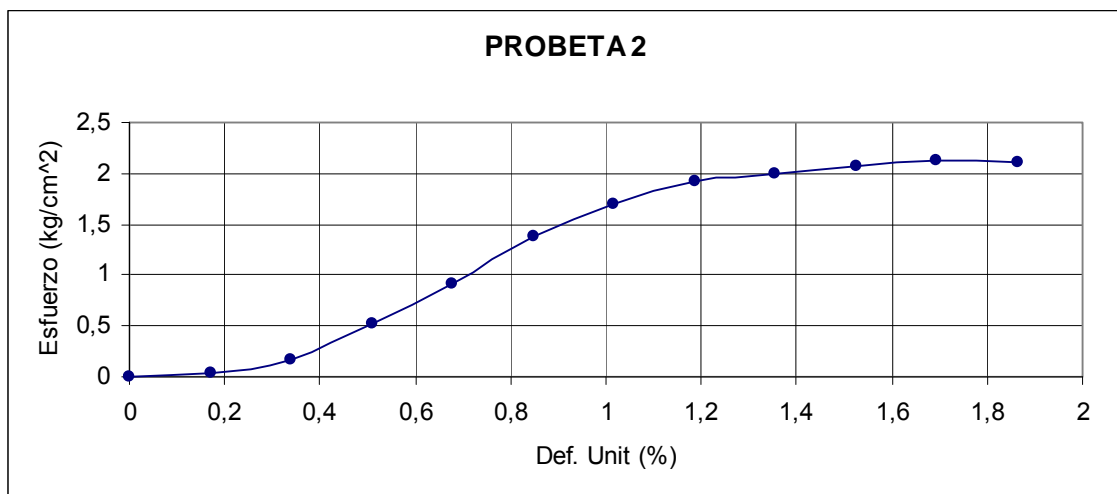


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
 COMPRESION SIMPLE

**DIMENSIONES CILINDRO**

Diámetro superior (cm)	7,62
Diámetro central (cm)	7,62
Diámetro inferior (cm)	7,62
Altura (cm)	15,00
Área (cm <sup>2</sup> )	45,60
Volumen (cm <sup>3</sup> )	684,06

Tiempo (min)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Def. Unitaria	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (%)
0	0	0	0	0	0
0,25	3,4	0,25	0,0017	0,07	0,169
0,5	8,4	0,51	0,0034	0,18	0,339
0,75	21,9	0,76	0,0051	0,48	0,508
1	56,7	1,02	0,0068	1,24	0,677
1,25	87,8	1,27	0,0085	1,93	0,847
1,5	111,2	1,52	0,0102	2,44	1,016
1,75	117,4	1,78	0,0119	2,57	1,185
2	114,2	2,03	0,0135	2,50	1,355



Mezcla optima ceniza volante+2% de cemento 7 días

Probeta 3

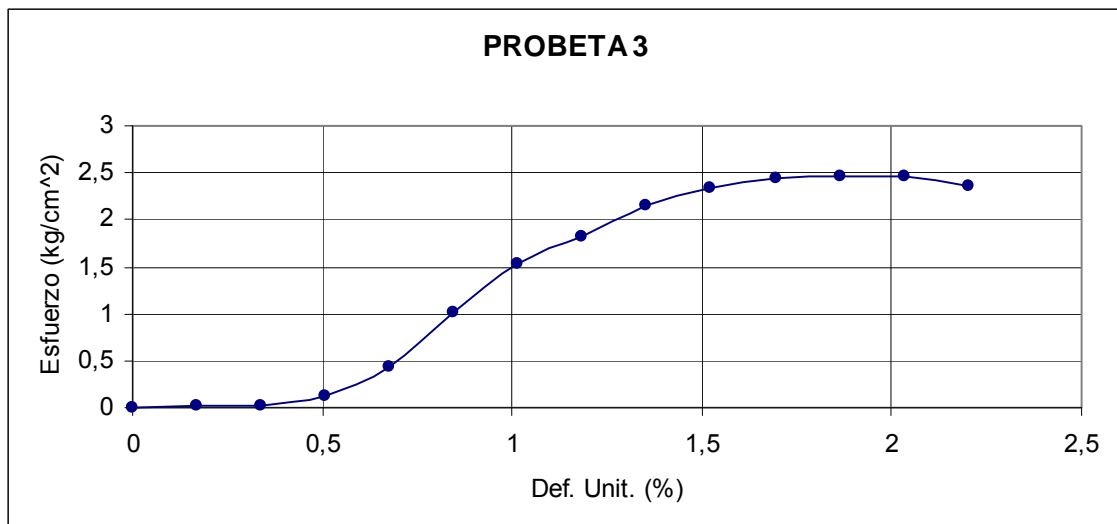


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
 COMPRESION SIMPLE

**DIMENSIONES CILINDRO**

Diámetro superior (cm)	7,62
Diámetro central (cm)	7,62
Diámetro inferior (cm)	7,62
Altura (cm)	15,00
Área (cm <sup>2</sup> )	45,60
Volumen (cm <sup>3</sup> )	684,06

Tiempo (min)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Def. Unitaria	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (%)
0	0	0	0	0	0
0,25	1,2	0,25	0,0017	0,03	0,169
0,5	2,7	0,51	0,0034	0,06	0,339
0,75	5,1	0,76	0,0051	0,11	0,508
1	14,4	1,02	0,0068	0,32	0,677
1,25	44,3	1,27	0,0085	0,97	0,847
1,5	82,2	1,52	0,0102	1,80	1,016
1,75	99,7	1,78	0,0119	2,19	1,185
2	100,7	2,03	0,0135	2,21	1,355
2,25	96,4	2,29	0,0152	2,11	1,524



Mezcla optima ceniza volante+2% de cemento 15 días

Probeta 1

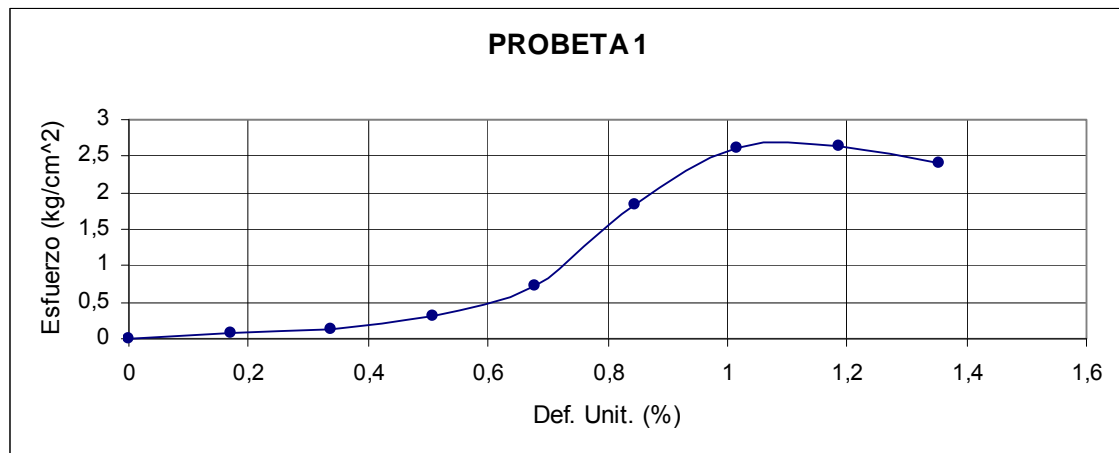


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
 COMPRESION SIMPLE

**DIMENSIONES CILINDRO**

Diámetro superior (cm)	7,62
Diámetro central (cm)	7,62
Diámetro inferior (cm)	7,62
Altura (cm)	15,00
Área (cm <sup>2</sup> )	45,60
Volumen (cm <sup>3</sup> )	684,06

Tiempo (min)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Def. Unitaria	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (%)
0	0	0	0	0	0
0,25	0,2	0,25	0,0017	0,00	0,169
0,5	0,8	0,51	0,0034	0,02	0,339
0,75	5,1	0,76	0,0051	0,11	0,508
1	22,9	1,02	0,0068	0,50	0,677
1,25	46,7	1,27	0,0085	1,02	0,847
1,5	62,7	1,52	0,0102	1,37	1,016
1,75	65,4	1,78	0,0119	1,43	1,185
2	62,9	2,03	0,0135	1,38	1,355



Mezcla optima ceniza volante+2% de cemento 15 días

Probeta 2

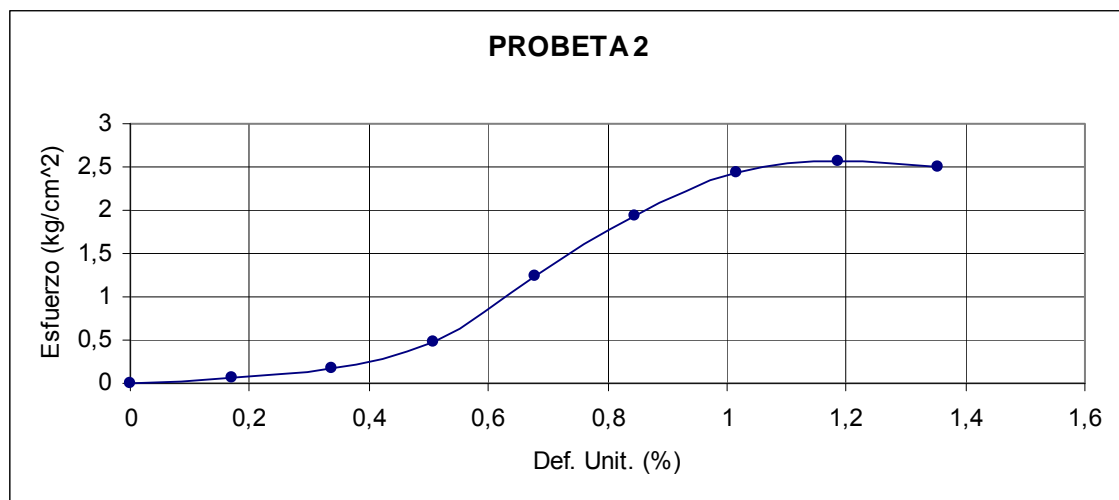


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
 COMPRESION SIMPLE

**DIMENSIONES CILINDRO**

Diámetro superior (cm)	7,62
Diámetro central (cm)	7,62
Diámetro inferior (cm)	7,62
Altura (cm)	15,00
Área (cm <sup>2</sup> )	45,60
Volumen (cm <sup>3</sup> )	684,06

Tiempo (min)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Def. Unitaria	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (%)
0	0	0	0	0	0
0,25	2,1	0,25	0,0017	0,05	0,169
0,5	11,5	0,51	0,0034	0,25	0,339
0,75	33,2	0,76	0,0051	0,73	0,508
1	49,7	1,02	0,0068	1,09	0,677
1,25	50,7	1,27	0,0085	1,11	0,847
1,5	50,2	1,52	0,0102	1,10	1,016



Mezcla optima ceniza volante+2% de cemento 15 días

Probeta 3

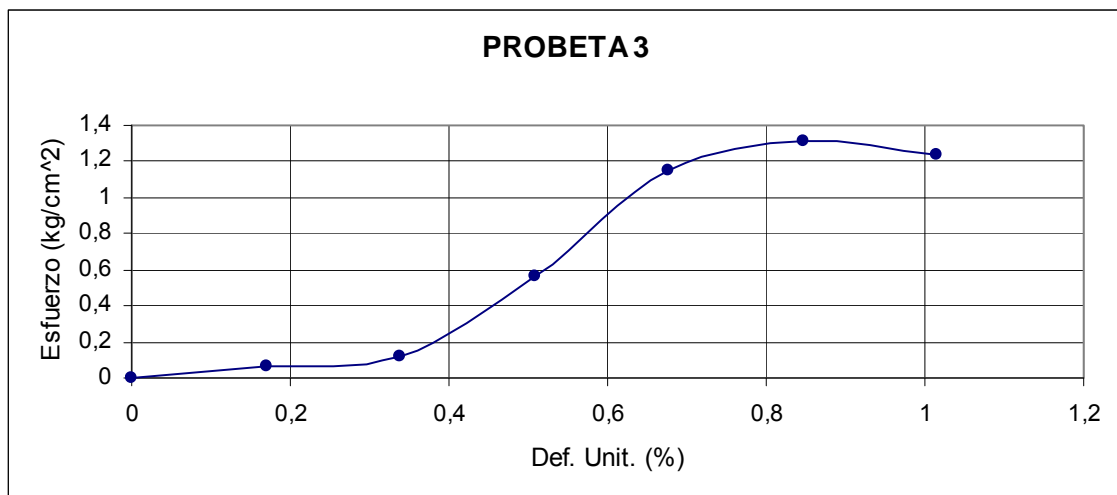


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
 COMPRESION SIMPLE

**DIMENSIONES CILINDRO**

Diámetro superior (cm)	7,62
Diámetro central (cm)	7,62
Diámetro inferior (cm)	7,62
Altura (cm)	15,00
Área (cm <sup>2</sup> )	45,60
Volumen (cm <sup>3</sup> )	684,06

Tiempo (min)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Def. Unitaria	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (%)
0	0	0	0	0	0
0,25	2,8	0,25	0,0017	0,06	0,169
0,5	5,6	0,51	0,0034	0,12	0,339
0,75	25,9	0,76	0,0051	0,57	0,508
1	52,7	1,02	0,0068	1,16	0,677
1,25	59,7	1,27	0,0085	1,31	0,847
1,5	56,6	1,52	0,0102	1,24	1,016



Mezcla optima ceniza de caña+2% de cemento 7 días

Probeta 1

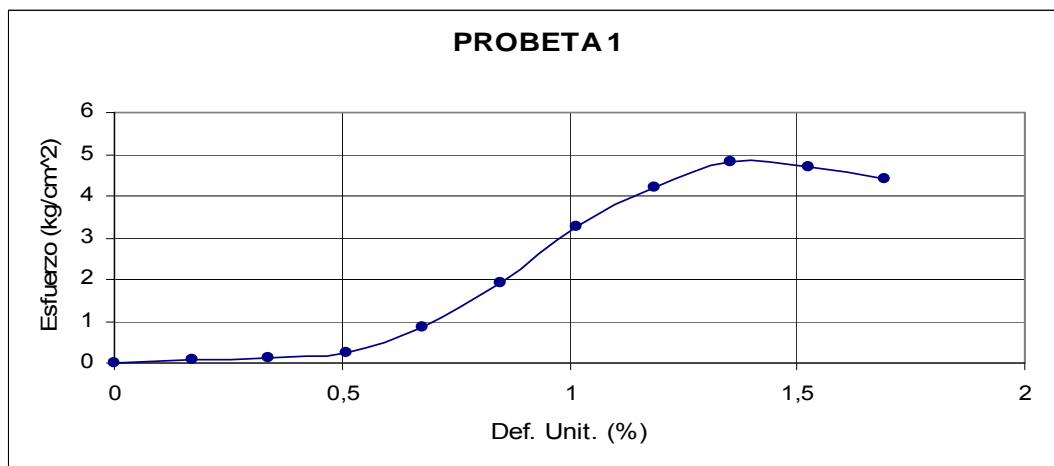


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
 COMPRESION SIMPLE

**DIMENSIONES CILINDRO**

Diámetro superior (cm)	7,62
Diámetro central (cm)	7,62
Diámetro inferior (cm)	7,62
Altura (cm)	15,00
Área (cm <sup>2</sup> )	45,60
Volumen (cm <sup>3</sup> )	684,06

Tiempo (min)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Def. Unitaria	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (%)
0	0	0	0	0	0
0,25	4,1	0,25	0,0017	0,09	0,169
0,5	4,8	0,51	0,0034	0,11	0,339
0,75	11,9	0,76	0,0051	0,26	0,508
1	38,4	1,02	0,0068	0,84	0,677
1,25	87,7	1,27	0,0085	1,92	0,847
1,5	149	1,52	0,0102	3,27	1,016
1,75	190,9	1,78	0,0119	4,19	1,185
2	219,9	2,03	0,0135	4,82	1,355
2,25	214,4	2,29	0,0152	4,70	1,524
2,5	201,3	2,54	0,0169	4,41	1,693



Mezcla optima ceniza de caña+2% de cemento 7 días

Probeta 2

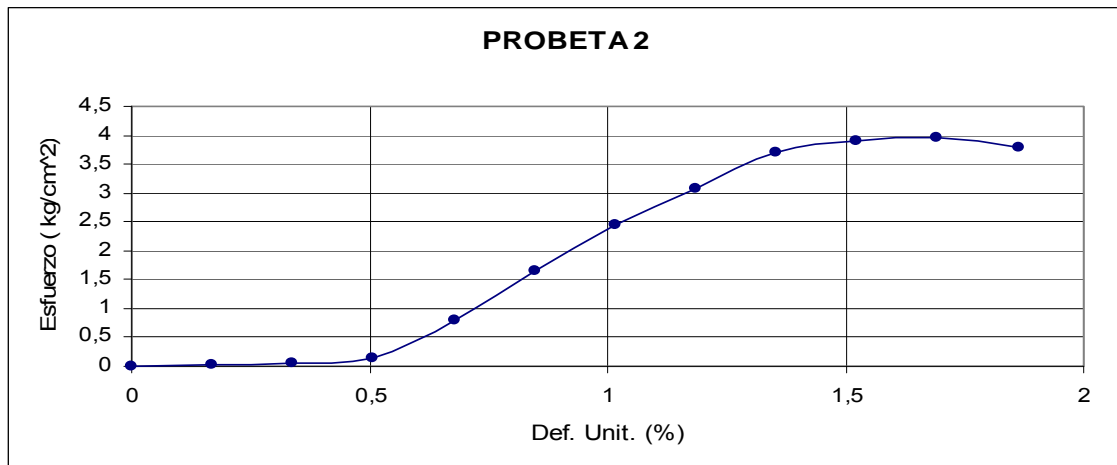


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
 COMPRESION SIMPLE

**DIMENSIONES CILINDRO**

Diámetro superior (cm)	7,62
Diámetro central (cm)	7,62
Diámetro inferior (cm)	7,62
Altura (cm)	15,00
Área (cm <sup>2</sup> )	45,60
Volumen (cm <sup>3</sup> )	684,06

Tiempo (min)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Def. Unitaria	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (%)
0	0	0	0	0	0
0,25	1,8	0,25	0,0017	0,04	0,169
0,5	2,9	0,51	0,0034	0,06	0,339
0,75	6,4	0,76	0,0051	0,14	0,508
1	36,7	1,02	0,0068	0,80	0,677
1,25	75,1	1,27	0,0085	1,65	0,847
1,5	112,3	1,52	0,0102	2,46	1,016
1,75	140,4	1,78	0,0119	3,08	1,185
2	169,1	2,03	0,0135	3,71	1,355
2,25	177,8	2,29	0,0152	3,90	1,524
2,5	180,9	2,54	0,0169	3,97	1,693
2,75	173,2	2,79	0,0186	3,80	1,863



Mezcla optima ceniza de caña+2% de cemento 7 días

Probeta 3

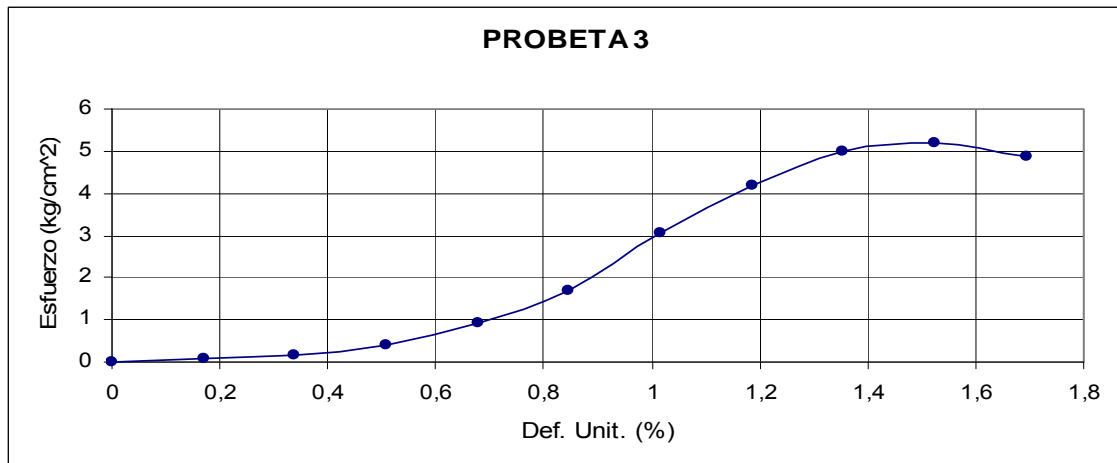


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
 COMPRESION SIMPLE

**DIMENSIONES CILINDRO**

Diámetro superior (cm)	7,62
Diámetro central (cm)	7,62
Diámetro inferior (cm)	7,62
Altura (cm)	15,00
Área (cm <sup>2</sup> )	45,60
Volumen (cm <sup>3</sup> )	684,06

Tiempo (min)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Def. Unitaria	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (%)
0	0	0	0	0	0
0,25	3	0,25	0,0017	0,07	0,169
0,5	7,9	0,51	0,0034	0,17	0,339
0,75	17,8	0,76	0,0051	0,39	0,508
1	41,7	1,02	0,0068	0,91	0,677
1,25	77,1	1,27	0,0085	1,69	0,847
1,5	139,2	1,52	0,0102	3,05	1,016
1,75	191,5	1,78	0,0119	4,20	1,185
2	228,2	2,03	0,0135	5,00	1,355
2,25	237,1	2,29	0,0152	5,20	1,524
2,5	222,2	2,54	0,0169	4,87	1,693



Mezcla optima ceniza de caña+2% de cemento 15 días

Probeta 1

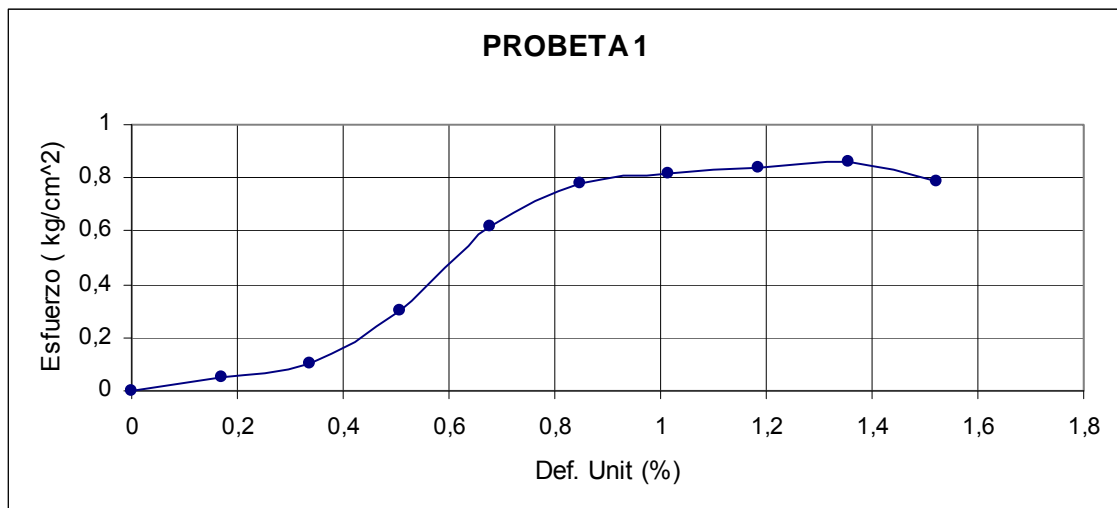


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
 COMPRESION SIMPLE

**DIMENSIONES CILINDRO**

Diámetro superior (cm)	7,62
Diámetro central (cm)	7,62
Diámetro inferior (cm)	7,62
Altura (cm)	15,00
Área (cm <sup>2</sup> )	45,60
Volumen (cm <sup>3</sup> )	684,06

Tiempo (min)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Def. Unitaria	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (%)
0	0	0	0	0	0
0,25	2,3	0,25	0,0017	0,05	0,169
0,5	4,8	0,51	0,0034	0,11	0,339
0,75	13,7	0,76	0,0051	0,30	0,508
1	28,2	1,02	0,0068	0,62	0,677
1,25	35,7	1,27	0,0085	0,78	0,847
1,5	37,2	1,52	0,0102	0,82	1,016
1,75	38,3	1,78	0,0119	0,84	1,185
2	39,1	2,03	0,0135	0,86	1,355
2,25	36,0	2,29	0,0152	0,79	1,524



Mezcla optima ceniza de caña+2% de cemento 15 días

Probeta 2

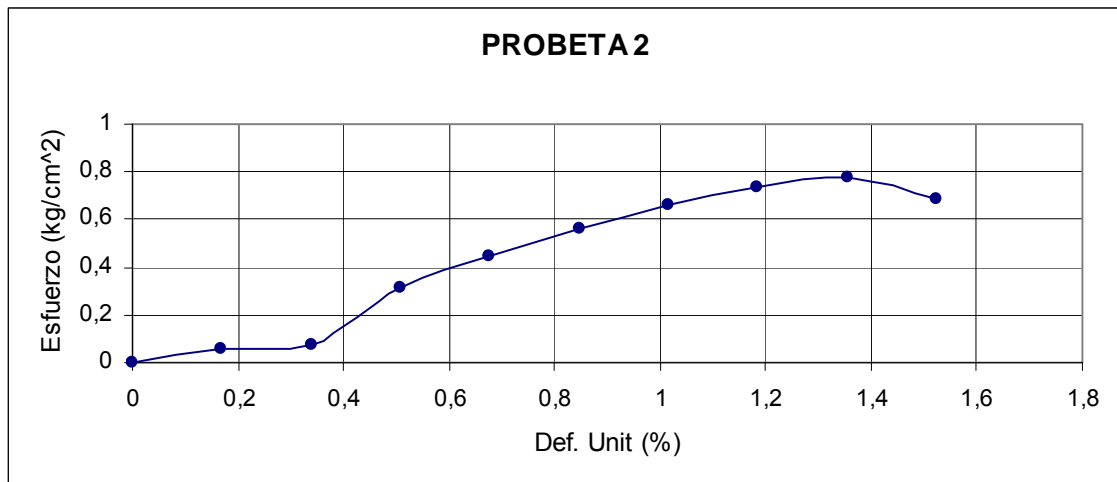


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
 COMPRESION SIMPLE

**DIMENSIONES CILINDRO**

Diámetro superior (cm)	7,62
Diámetro central (cm)	7,62
Diámetro inferior (cm)	7,62
Altura (cm)	15,00
Área (cm <sup>2</sup> )	45,60
Volumen (cm <sup>3</sup> )	684,06

Tiempo (min)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Def. Unitaria	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (%)
0	0	0	0	0	0
0,25	2,8	0,25	0,0017	0,06	0,169
0,5	8,9	0,51	0,0034	0,20	0,339
0,75	28,4	0,76	0,0051	0,62	0,508
1	59,2	1,02	0,0068	1,30	0,677
1,25	84,9	1,27	0,0085	1,86	0,847
1,5	101,7	1,52	0,0102	2,23	1,016
1,75	111	1,78	0,0119	2,43	1,185
2	115,2	2,03	0,0135	2,53	1,355
2,25	104,7	2,29	0,0152	2,30	1,524



Mezcla optima ceniza de caña+2% de cemento 15 días

Probeta 3

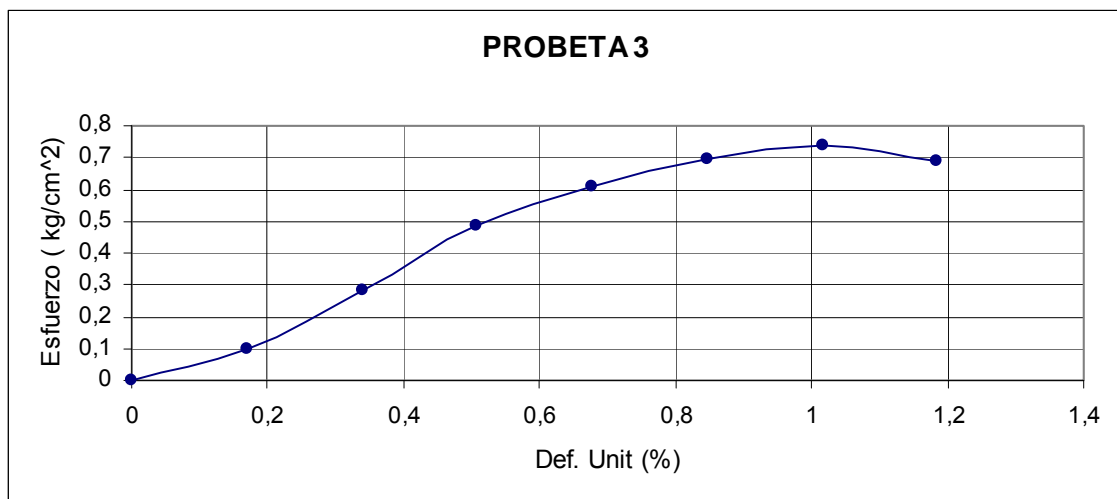


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
 COMPRESION SIMPLE

**DIMENSIONES CILINDRO**

Diámetro superior (cm)	7,62
Diámetro central (cm)	7,62
Diámetro inferior (cm)	7,62
Altura (cm)	15,00
Área (cm <sup>2</sup> )	45,60
Volumen (cm <sup>3</sup> )	684,06

Tiempo (min)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Def. Unitaria	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (%)
0	0	0	0	0	0
0,25	4,4	0,25	0,0017	0,10	0,169
0,5	12,8	0,51	0,0034	0,28	0,339
0,75	22,1	0,76	0,0051	0,48	0,508
1	27,9	1,02	0,0068	0,61	0,677
1,25	31,7	1,27	0,0085	0,70	0,847
1,5	33,7	1,52	0,0102	0,74	1,016
1,75	31,5	1,78	0,0119	0,69	1,185



ANEXO 5  
CORTE DIRECTO

Arena

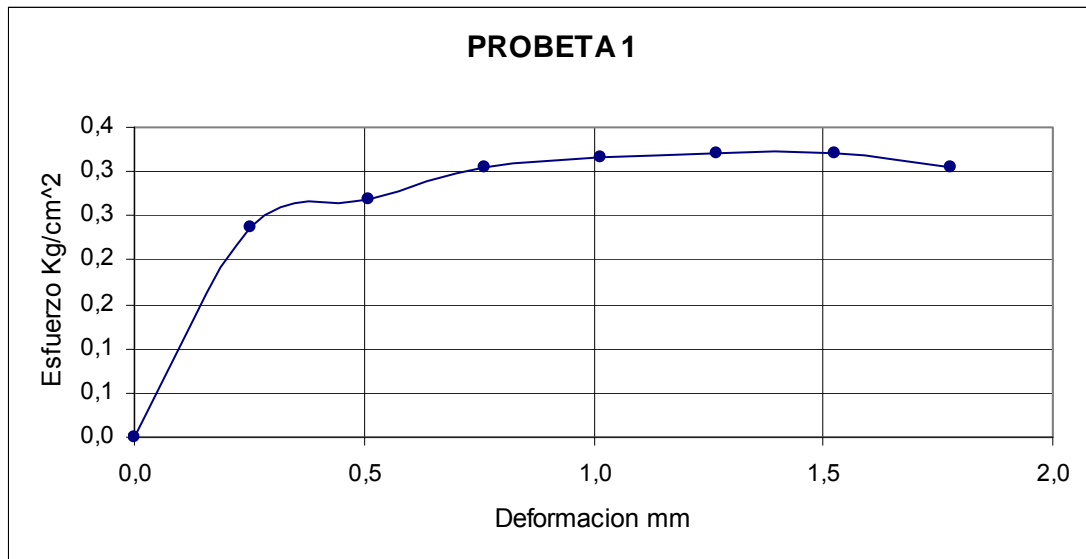
Probeta 1



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Lectura de carga	P (Kg)	Deformación Horizontal (0,001In)	Deformación Horizontal (mm)	Esfuerzo cortante
0	0,000	0,0	0,00	0,000
47	6,724	10	0,25	0,238
53	7,608	20	0,51	0,269
60	8,638	30	0,76	0,306
62	8,933	40	1,02	0,316
63	9,080	50	1,27	0,321
63	9,080	60	1,52	0,321
60	8,638	70	1,78	0,306

CARGA NORMAL 16Kg



Arena

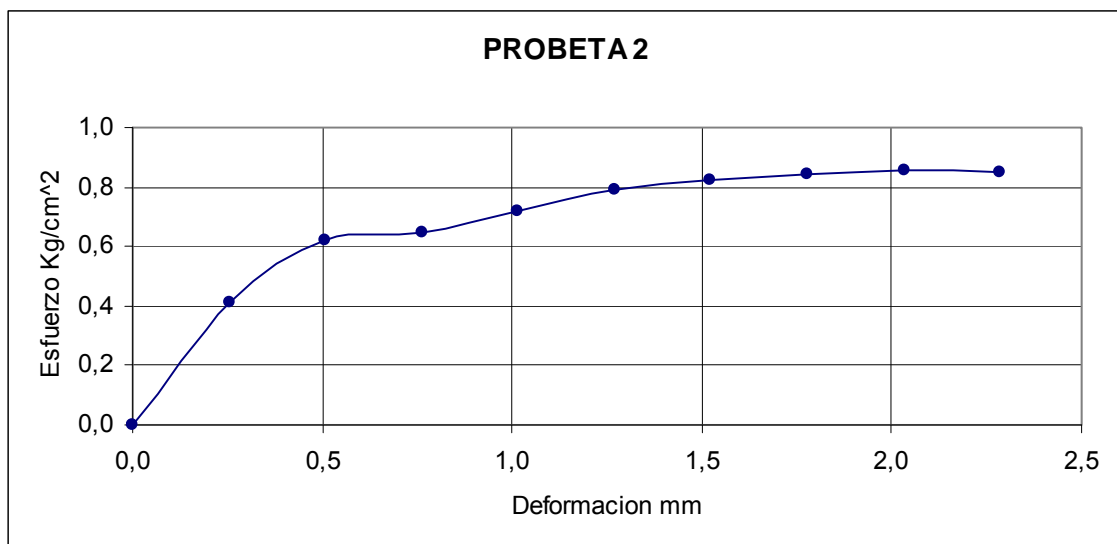
Probeta 2



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Lectura de carga	P (Kg)	Deformación Horizontal (0,001In)	Deformación Horizontal (mm)	Esfuerzo Cortante
0	0,000	0	0,00	0,000
80	11,583	10	0,25	0,410
120	17,473	20	0,51	0,618
125	18,209	30	0,76	0,644
140	20,418	40	1,02	0,722
153	22,332	50	1,27	0,790
160	23,363	60	1,52	0,826
163	23,805	70	1,78	0,842
166	24,246	80	2,03	0,858
165	24,099	90	2,29	0,852

CARGA NORMAL 32Kg



Arena

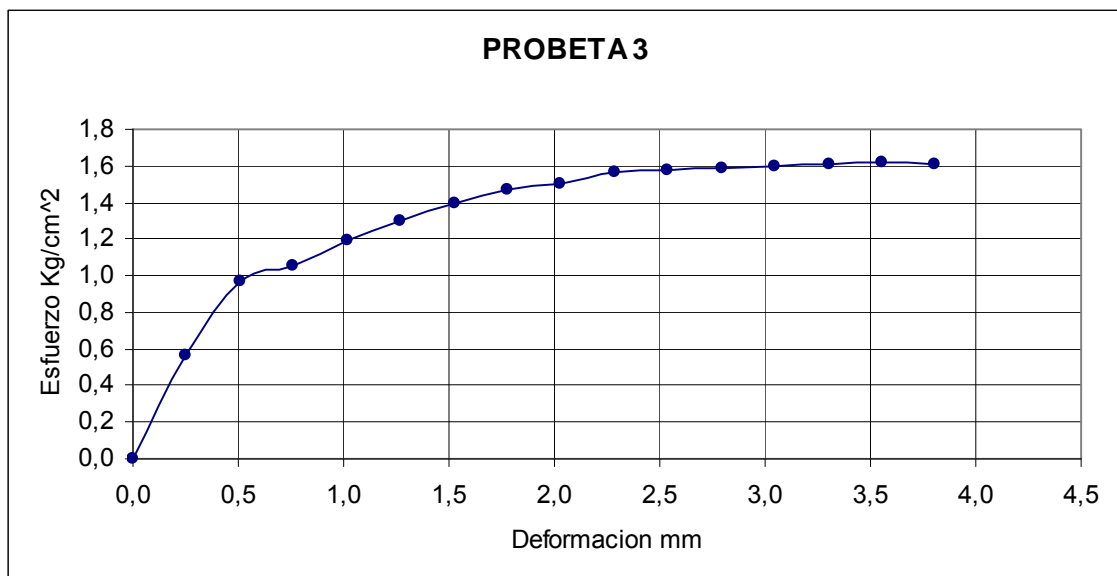
Probeta 3



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Lectura de carga	P (Kg)	Deformación Horizontal (0,001In)	Deformación Horizontal (mm)	Esfuerzo Cortante
0	0,000	0	0,00	0,000
110	16,001	10	0,25	0,566
188	27,486	20	0,51	0,972
203	29,694	30	0,76	1,050
230	33,670	40	1,02	1,191
250	36,615	50	1,27	1,295
270	39,560	60	1,52	1,399
283	41,474	70	1,78	1,467
290	42,505	80	2,03	1,503
302	44,272	90	2,29	1,566
305	44,713	100	2,54	1,581
307	45,008	110	2,79	1,592
309	45,302	120	3,05	1,602
310	45,450	130	3,30	1,607
313	45,891	140	3,56	1,623
310	45,450	150	3,81	1,607

CARGA NORMAL 64Kg



Mezcla arena+ceniza volante

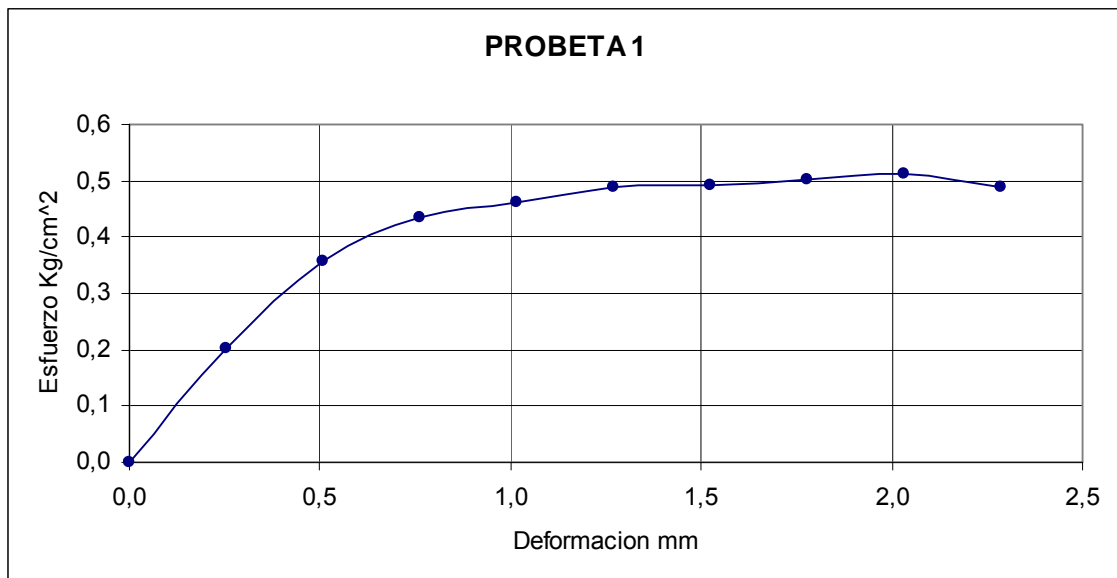
Probeta 1



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Lectura de carga	P (Kg)	Deformación Horizontal (0,001In)	Deformación Horizontal (mm)	Esfuerzo Cortante
0	0,000	0	0,00	0,000
40	5,693	10	0,25	0,201
70	10,111	20	0,51	0,358
85	12,320	30	0,76	0,436
90	13,056	40	1,02	0,462
95	13,792	50	1,27	0,488
96	13,939	60	1,52	0,493
98	14,234	70	1,78	0,503
100	14,528	80	2,03	0,514
95	13,792	90	2,29	0,488

CARGA NORMAL 16Kg



Mezcla arena+ceniza volante

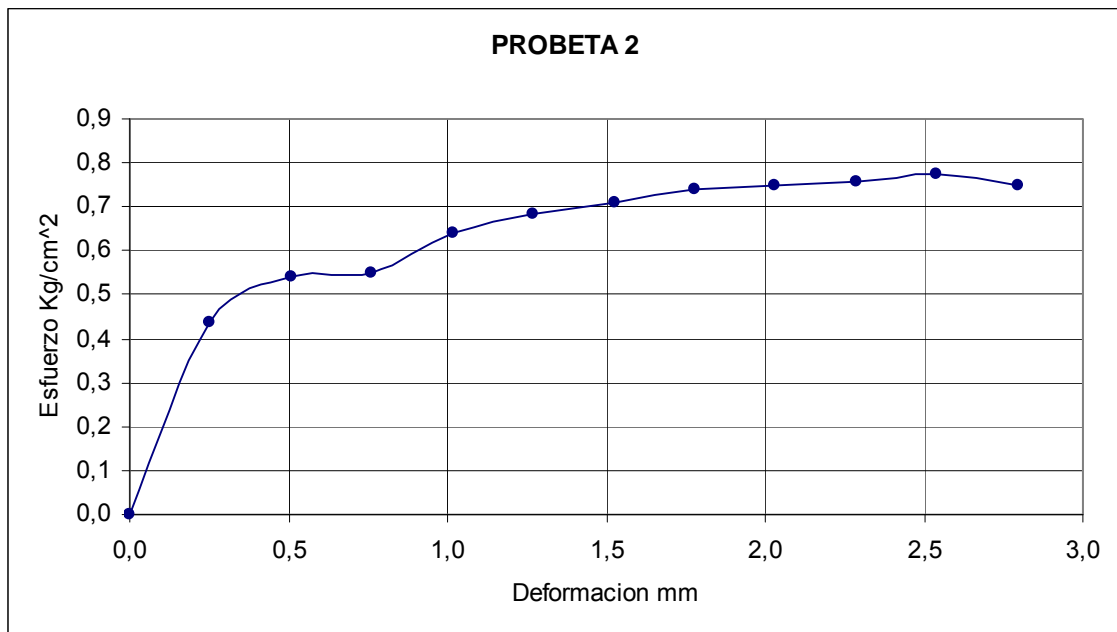
Probeta 2



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
 ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Lectura de carga	P (Kg)	Deformación Horizontal (0,001In)	Deformación Horizontal (mm)	Esfuerzo Cortante
0	0,000	0	0,00	0,000
85	12,320	10	0,25	0,436
105	15,264	20	0,51	0,540
107	15,559	30	0,76	0,550
124	18,062	40	1,02	0,639
133	19,387	50	1,27	0,686
138	20,123	60	1,52	0,712
143	20,860	70	1,78	0,738
145	21,154	80	2,03	0,748
147	21,449	90	2,29	0,759
150	21,890	100	2,54	0,774
145	21,154	110	2,79	0,748

CARGA NORMAL 32Kg



Mezcla arena+ceniza volante

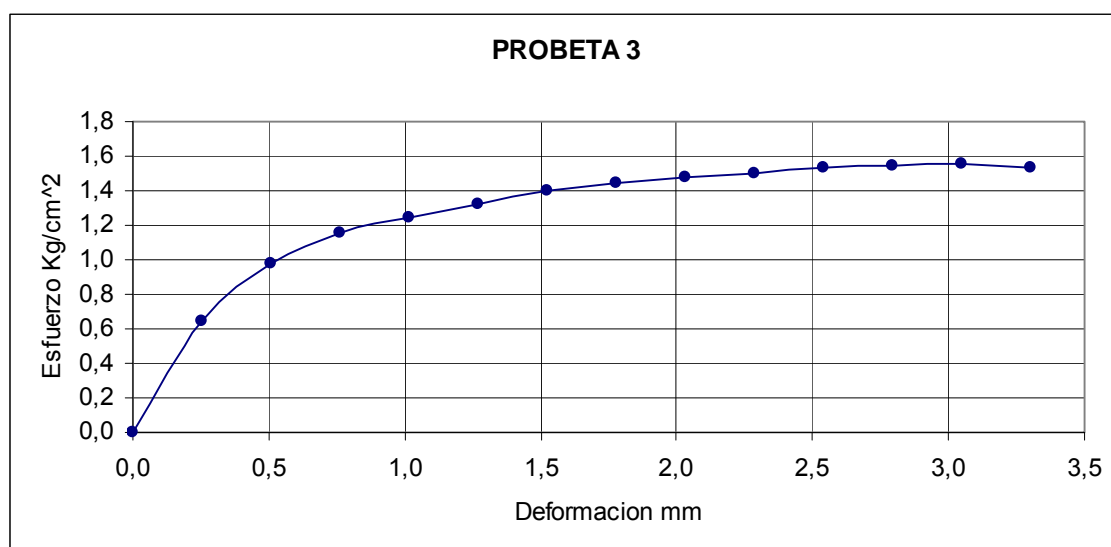
Probeta 3



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
 ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Lectura de carga	P (Kg)	Deformación Horizontal (0,001In)	Deformación Horizontal (mm)	Esfuerzo Cortante
0	0,000	0	0,00	0,000
125	18,209	10	0,25	0,644
190	27,780	20	0,51	0,983
223	32,639	30	0,76	1,154
240	35,142	40	1,02	1,243
256	37,498	50	1,27	1,326
270	39,560	60	1,52	1,399
278	40,738	70	1,78	1,441
285	41,769	80	2,03	1,477
290	42,505	90	2,29	1,503
295	43,241	100	2,54	1,529
298	43,683	110	2,79	1,545
300	43,977	120	3,05	1,555
295	43,241	130	3,30	1,529

CARGA NORMAL 64Kg



Mezcla arena+ceniza volante+cal

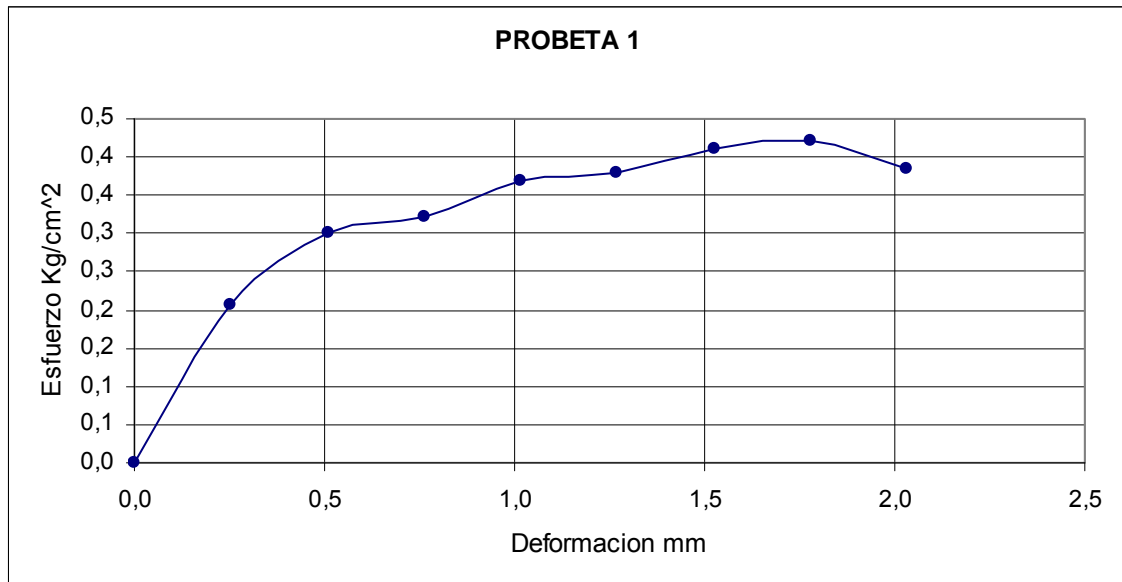
Probeta 1



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Lectura de carga	P (Kg)	Deformación Horizontal (0,001In)	Deformación Horizontal (mm)	Esfuerzo Cortante
0	0,000	0	0,00	0,000
41	5,841	10	0,25	0,207
59	8,491	20	0,51	0,300
63	9,080	30	0,76	0,321
72	10,405	40	1,02	0,368
74	10,700	50	1,27	0,378
80	11,583	60	1,52	0,410
82	11,878	70	1,78	0,420
75	10,847	80	2,03	0,384

CARGA NORMAL 16Kg



Mezcla arena+ceniza volante+cal

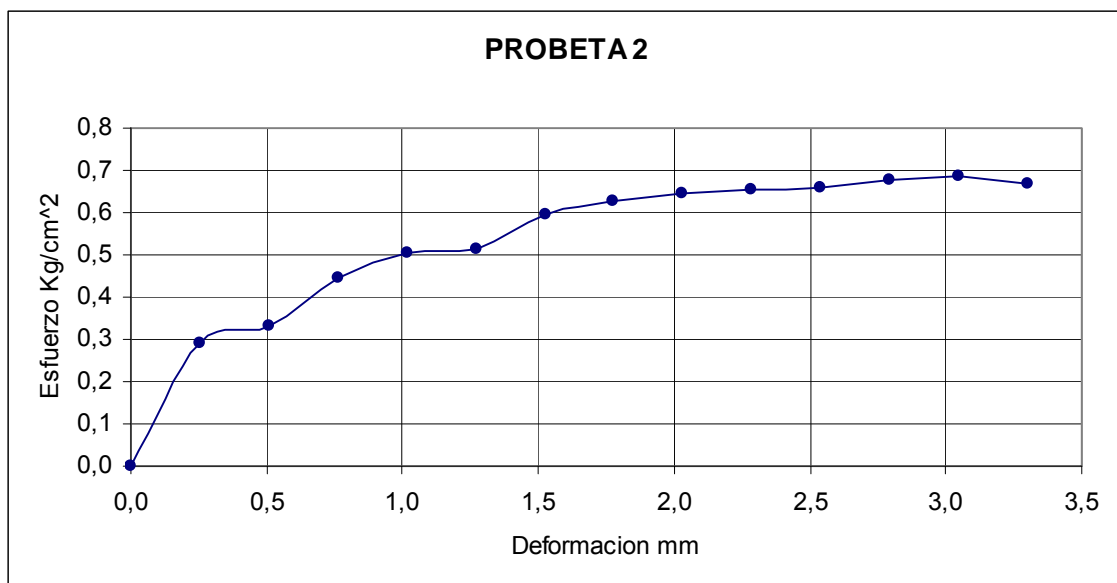
Probeta 2



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
 ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Lectura de carga	P (Kg)	Deformación Horizontal (0,001In)	Deformación Horizontal (mm)	Esfuerzo Cortante
0	0,000	0	0,00	0,000
57	8,197	10	0,25	0,290
65	9,375	20	0,51	0,332
87	12,614	30	0,76	0,446
98	14,234	40	1,02	0,503
100	14,528	50	1,27	0,514
116	16,884	60	1,52	0,597
122	17,768	70	1,78	0,628
125	18,209	80	2,03	0,644
127	18,504	90	2,29	0,654
128	18,651	100	2,54	0,660
131	19,093	110	2,79	0,675
133	19,387	120	3,05	0,686
130	18,946	130	3,30	0,670

CARGA NORMAL 32Kg



Mezcla arena+ceniza volante+cal

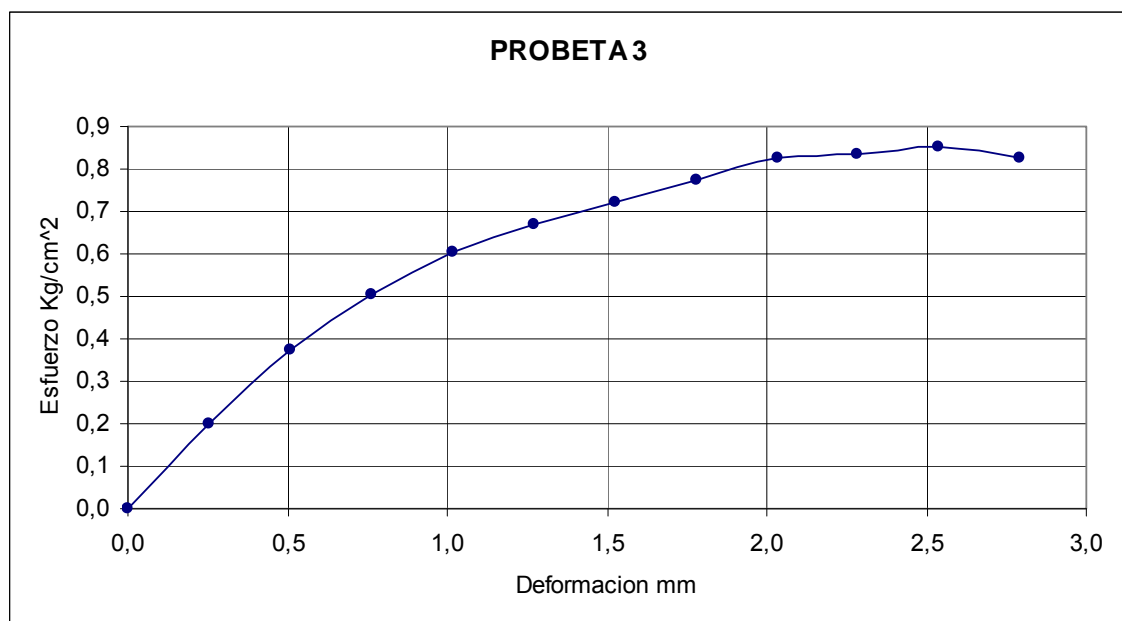
Probeta 3



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Lectura de carga	P (Kg)	Deformación Horizontal (0,001In)	Deformación Horizontal (mm)	Esfuerzo Cortante
0	0,000	0	0,00	0,000
40	5,693	10	0,25	0,201
73	10,553	20	0,51	0,373
98	14,234	30	0,76	0,503
117	17,031	40	1,02	0,602
130	18,946	50	1,27	0,670
140	20,418	60	1,52	0,722
150	21,890	70	1,78	0,774
160	23,363	80	2,03	0,826
162	23,657	90	2,29	0,837
165	24,099	100	2,54	0,852
160	23,363	110	2,79	0,826

CARGA NORMAL 64Kg



Mezcla arena+ceniza volante+cemento

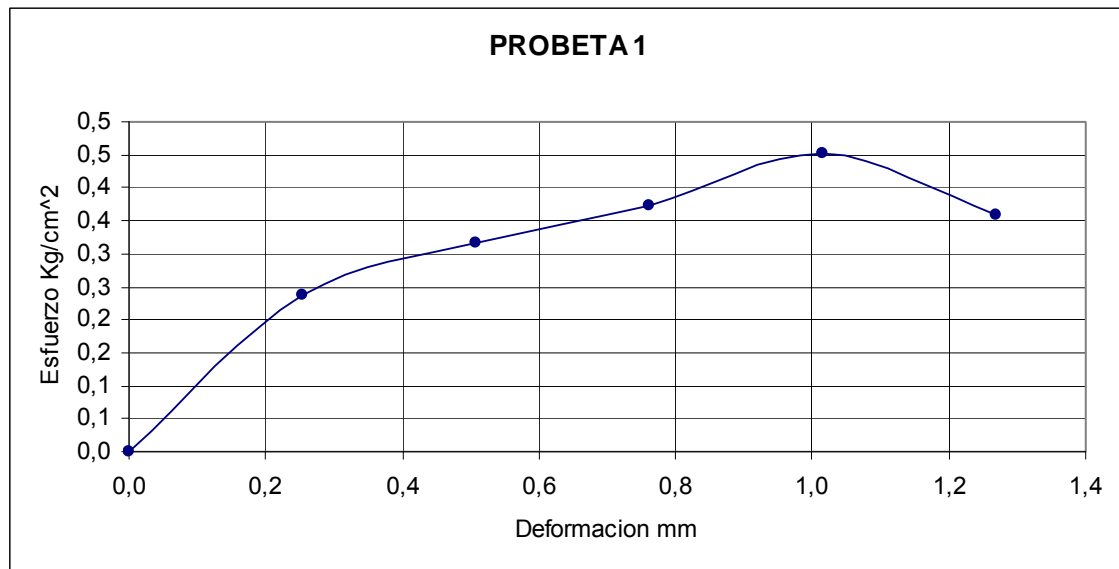
Probeta 1



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Lectura de carga	P (Kg)	Deformación Horizontal (0,001In)	Deformación Horizontal (mm)	Esfuerzo Cortante
0	0,000	0	0,00	0,000
47	6,724	10	0,25	0,238
62	8,933	20	0,51	0,316
73	10,553	30	0,76	0,373
88	12,761	40	1,02	0,451
70	10,111	50	1,27	0,358

CARGA NORMAL 16Kg



Mezcla arena+ceniza volante+cemento

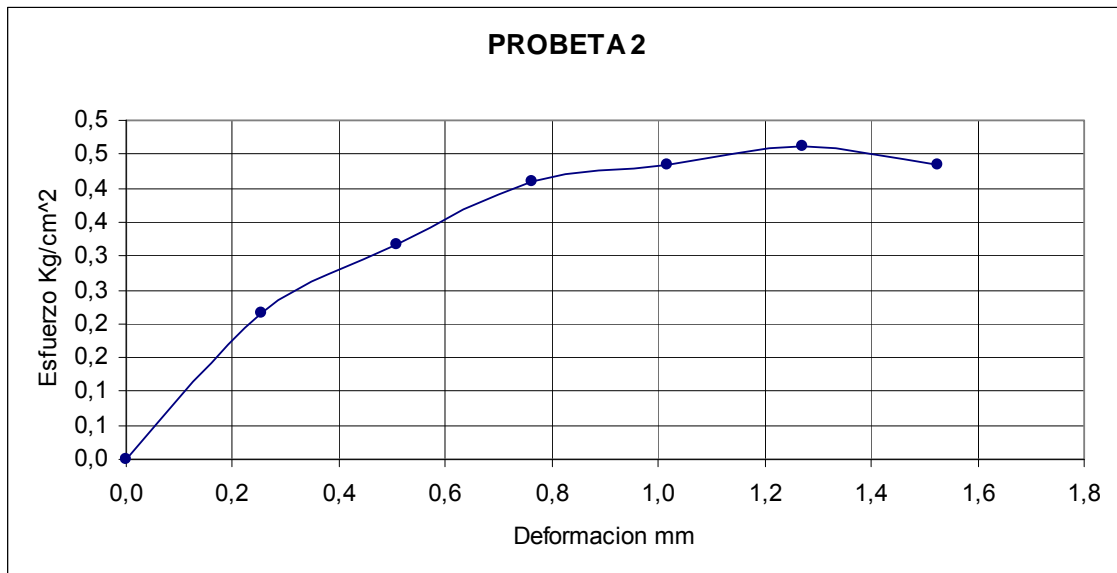
Probeta 2



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Lectura de carga	P (Kg)	Deformación Horizontal (0,001In)	Deformación Horizontal (mm)	Esfuerzo Cortante
0	0,000	0	0,00	0,000
43	6,135	10	0,25	0,217
62	8,933	20	0,51	0,316
80	11,583	30	0,76	0,410
85	12,320	40	1,02	0,436
90	13,056	50	1,27	0,462
85	12,320	60	1,52	0,436

CARGA NORMAL 32Kg



Mezcla arena+ceniza volante+cemento

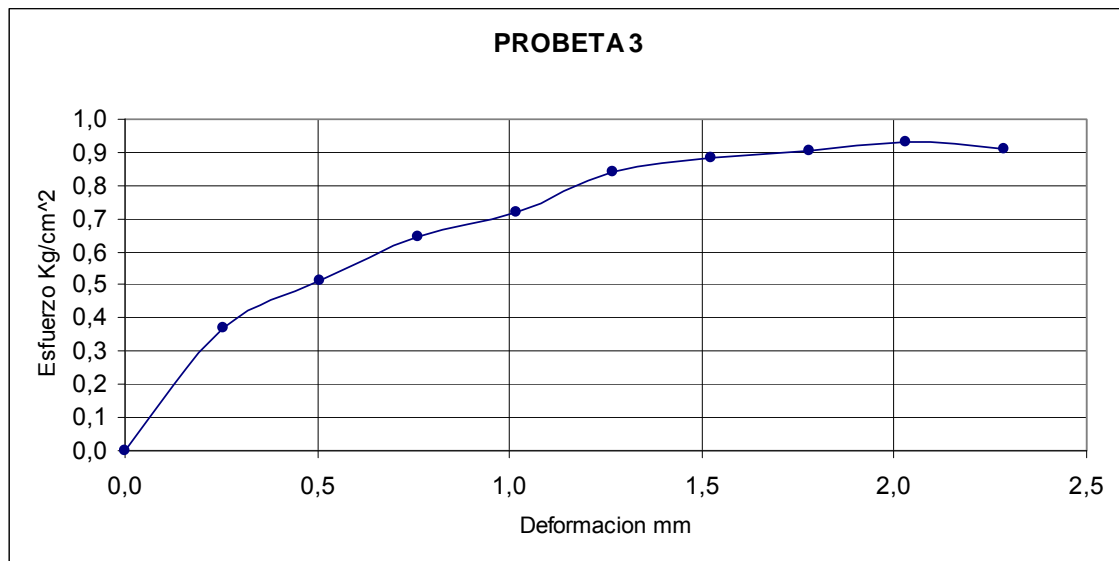
Probeta 3



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Lectura de carga	P (Kg)	Deformación Horizontal (0,001In)	Deformación Horizontal (mm)	Esfuerzo Cortante
0	0,000	0	0,00	0,000
72	10,405	10	0,25	0,368
100	14,528	20	0,51	0,514
125	18,209	30	0,76	0,644
140	20,418	40	1,02	0,722
163	23,805	50	1,27	0,842
171	24,983	60	1,52	0,884
175	25,572	70	1,78	0,904
180	26,308	80	2,03	0,930
176	25,719	90	2,29	0,910

CARGA NORMAL 64Kg



Mezcla arena+ceniza de caña

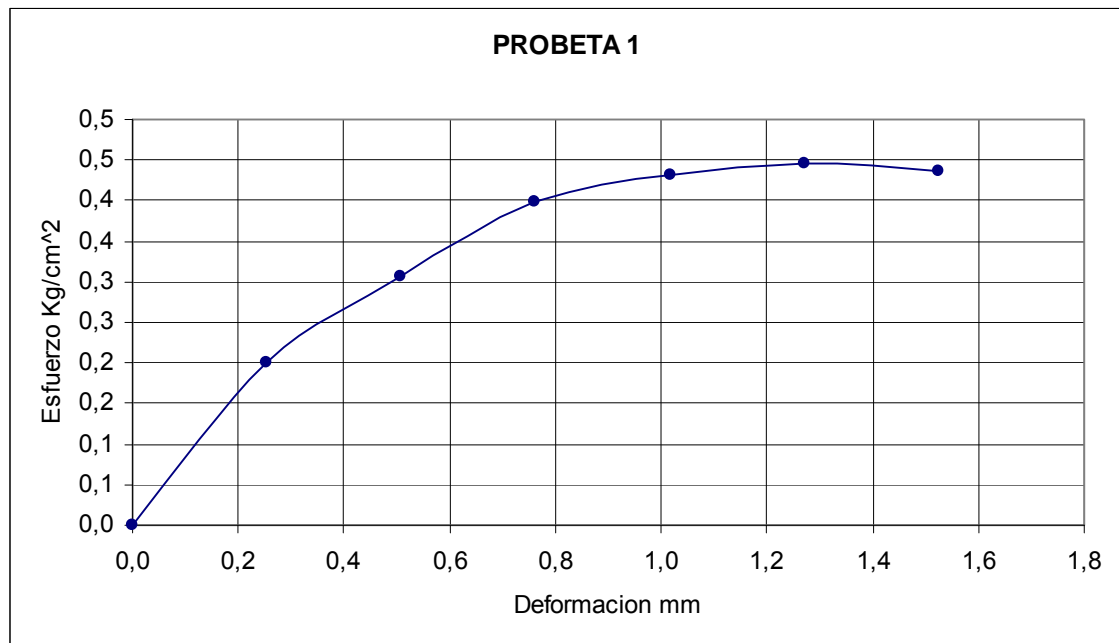
Probeta 1



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Lectura de carga	P (Kg)	Deformación Horizontal (0,001In)	Deformación Horizontal (mm)	Esfuerzo Cortante
0	0,000	0	0,00	0,000
40	5,693	10	0,25	0,201
60	8,638	20	0,51	0,306
78	11,289	30	0,76	0,399
84	12,172	40	1,02	0,431
87	12,614	50	1,27	0,446
85	12,320	60	1,52	0,436

CARGA NORMAL 16Kg



Mezcla arena+ceniza de caña

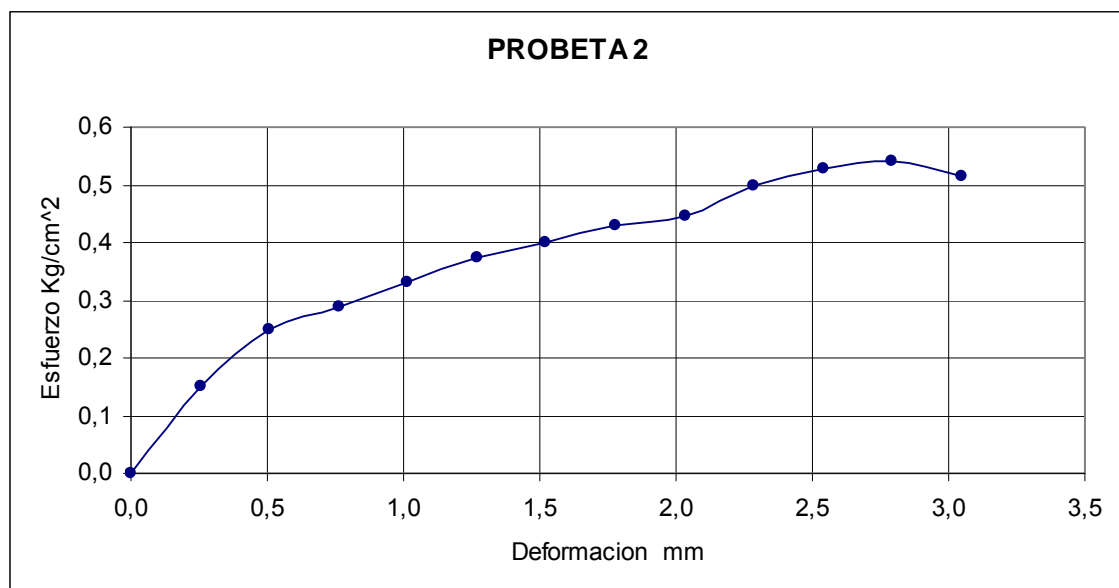
Probeta 2



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Lectura de carga	P (Kg)	Deformación Horizontal (0,001In)	Deformación Horizontal (mm)	Esfuerzo Cortante
0	0,000	0	0,00	0,000
30	4,221	10	0,25	0,149
49	7,019	20	0,51	0,248
57	8,197	30	0,76	0,290
65	9,375	40	1,02	0,332
73	10,553	50	1,27	0,373
78	11,289	60	1,52	0,399
84	12,172	70	1,78	0,431
87	12,614	80	2,03	0,446
97	14,086	90	2,29	0,498
103	14,970	100	2,54	0,529
105	15,264	110	2,79	0,540
100	14,528	120	3,05	0,514

CARGA NORMAL 32Kg



Mezcla arena+ceniza de caña

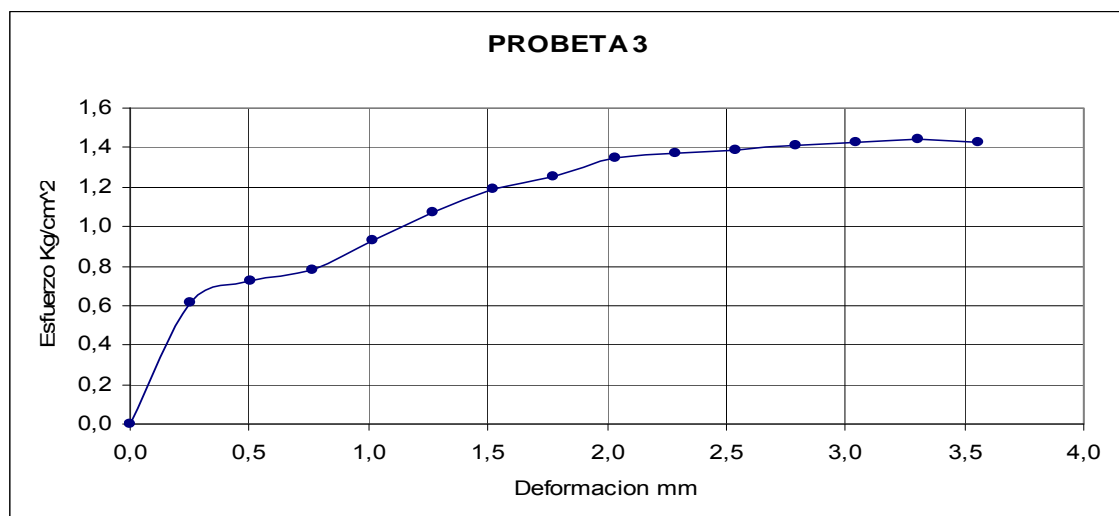
Probeta 3



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Lectura de carga	P (Kg)	Deformación Horizontal (0,001In)	Deformación Horizontal (mm)	Esfuerzo Cortante
0	0,000	0	0,00	0,000
119	17,326	10	0,25	0,613
140	20,418	20	0,51	0,722
151	22,038	30	0,76	0,779
180	26,308	40	1,02	0,930
207	30,283	50	1,27	1,071
230	33,670	60	1,52	1,191
242	35,437	70	1,78	1,253
260	38,087	80	2,03	1,347
265	38,824	90	2,29	1,373
267	39,118	100	2,54	1,384
272	39,854	110	2,79	1,410
275	40,296	120	3,05	1,425
278	40,738	130	3,30	1,441
275	40,296	140	3,56	1,425

CARGA NORMAL 64Kg



Mezcla arena+ceniza de caña+cal

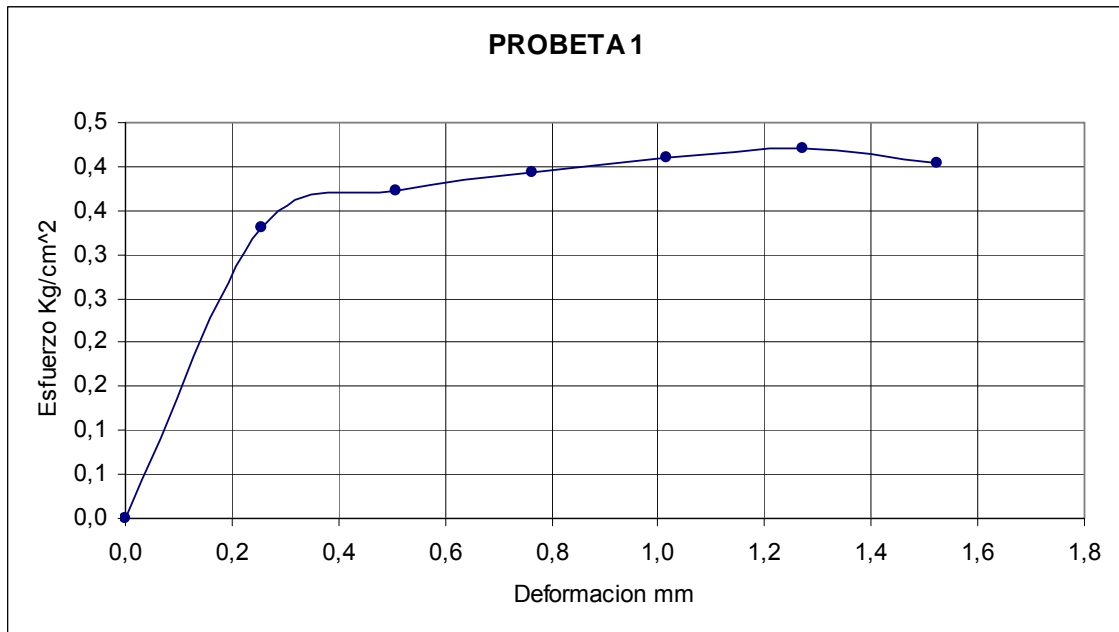
Probeta 1



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Lectura de carga	P (Kg)	Deformación Horizontal (0,001In)	Deformación Horizontal (mm)	Esfuerzo Cortante
0	0,000	0	0,00	0,000
65	9,375	10	0,25	0,332
73	10,553	20	0,51	0,373
77	11,142	30	0,76	0,394
80	11,583	40	1,02	0,410
82	11,878	50	1,27	0,420
79	11,436	60	1,52	0,404

CARGA NORMAL 16Kg



Mezcla arena+ceniza de caña+cal

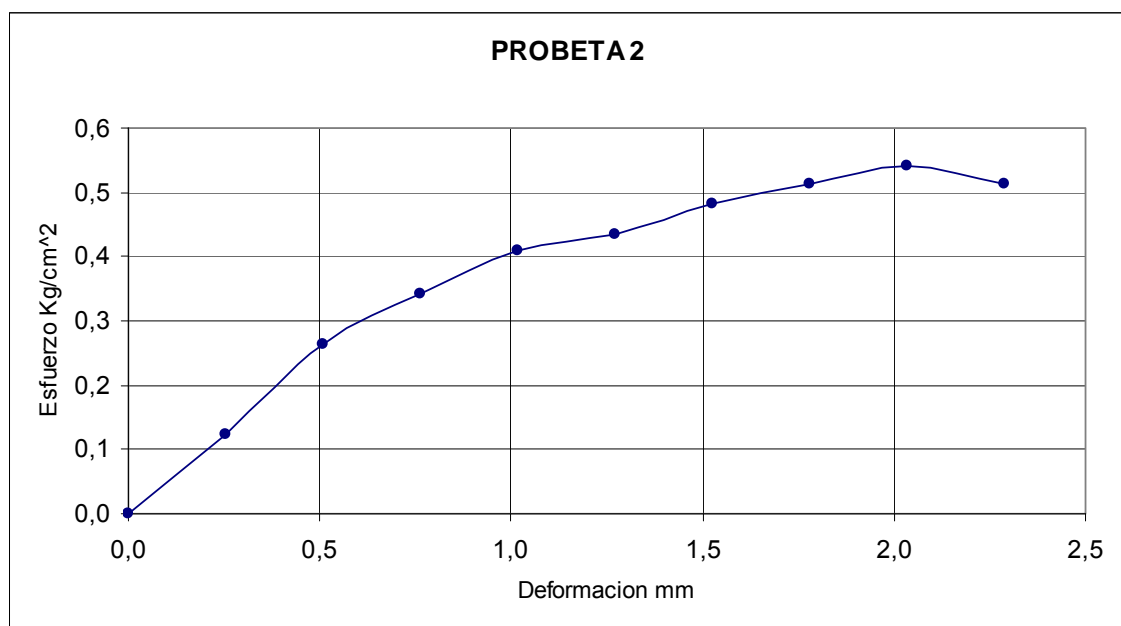
Probeta 2



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Lectura de carga	P (Kg)	Deformacion Horizontal (0,001In)	Deformacion Horizontal (mm)	Esfuerzo Cortante
0	0,000	0	0,00	0,000
25	3,485	10	0,25	0,123
52	7,460	20	0,51	0,264
67	9,669	30	0,76	0,342
80	11,583	40	1,02	0,410
85	12,320	50	1,27	0,436
94	13,645	60	1,52	0,483
100	14,528	70	1,78	0,514
105	15,264	80	2,03	0,540
100	14,528	90	2,29	0,514

CARGA NORMAL 32Kg



# Mezcla arena+ceniza de caña+cal

## Probeta 3



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Lectura de carga	P (Kg)	Deformacion Horizontal (0,001In)	Deformacion Horizontal (mm)	Esfuerzo Cortante
0	0,000	0	0,00	0,000
105	15,264	10	0,25	0,540
145	21,154	20	0,51	0,748
170	24,835	30	0,76	0,878
198	28,958	40	1,02	1,024
205	29,989	50	1,27	1,061
210	30,725	60	1,52	1,087
212	31,020	70	1,78	1,097
215	31,461	80	2,03	1,113
218	31,903	90	2,29	1,128
210	30,725	100	2,54	1,087

CARGA NORMAL 64Kg

