



Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Ingeniería  
Maestría

**USO DEL COMPOSITO SUELO DE DESECHO-CAL COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN**

**TESIS**

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de  
Maestro en Ciencias (Construcción)

**Presenta:**

Carlos Lauro González Vega

**Dirigido por:**

Dra. Teresa López Lara

**SINODALES**

Dra. Teresa López Lara  
Presidente

Dr. Juan Bosco Hernández Zaragoza  
Secretario

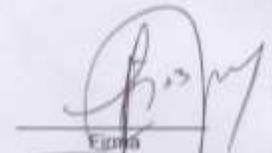
Dr. Alfredo Pérez García  
Vocal

M. I. Rubén Ramírez Jiménez  
Suplente

Dr. José Luis Reyes Araiza  
Suplente

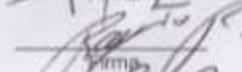
  
Firma

Director de la Facultad  
Dr. Aurelio Domínguez González

  
Firma

  
Firma

  
Firma

  
Firma

  
Firma

  
Firma

Director de Investigación y Posgrado  
Dr. Irineo Torres Pacheco

Centro Universitario  
Querétaro, Gro.  
Enero 2012  
México

## RESUMEN

Los suelos expansivos existen en vastas regiones alrededor del mundo, en México ocupan el 8% del territorio nacional concentrándose la mayor parte en el centro del país, estos suelos se caracterizan por presentar cambios volumétricos al variar su contenido de agua, fenómeno que provoca daños estructurales en las edificaciones construidas sobre ellos; una solución muy generalizada al problema que ocasionan estos suelos en las edificaciones es sustituirlos por otros que no presentan cambios volumétricos, proceso que consume una parte importante del presupuesto en los proyectos constructivos, ocasionando que el suelo arcilloso extraído se convierta en suelo de desecho para fines del proceso constructivo.

Se plantea una metodología por medio de la cual se le dará uso a estos suelos, convirtiendo el suelo natural en un compuesto de suelo-cal después de un proceso de estabilización, que pueda ser utilizado en una pieza de mampostería y después de ser compactado aplicando una energía específica de compactación que le de homogeneidad y brinde la mayor densidad posible y por ende incrementa su resistencia.

Se determinó que el porcentaje donde ocurre el punto de fijación es con el 8% de cal, es decir se inhiben por completo los cambios volumétricos del suelo. Después del análisis de distintas energías de compactación se determinó que la de 21 kg-cm/cm<sup>3</sup> asegura mayor densidad y resistencia.

La resistencia a la compresión simple de los especímenes bajo la energía específica seleccionada aumenta conforme pasa el tiempo (para este estudio fueron 60 días) llegando a 36.4 kg/cm<sup>2</sup>.

Se elaboró un prototipo de material cerámico con dimensiones similares a un tabique, con la mezcla de arcilla con 8% de cal y se compactó con la energía de 21 kg-cm/cm<sup>3</sup>, se probó para determinar su Módulo de Ruptura (MR) y su Resistencia a la Primera Grieta (RPG), a la edad de 60 días, alcanzando un MR de 3.82 kg/cm<sup>2</sup> y una RPG de 38.87 kg/cm<sup>2</sup>. Con lo cual se llegó a sobrepasar la resistencia del tabique en un 19%, del sillar en un 38% y del adobe en un 65%. Por otro lado se alcanzó un 65 % de la resistencia del block sólido.

Podemos decir que la estabilización de suelos arcillosos con cal genera un compuesto inerte (no presenta cambios volumétricos con la variación de la humedad), y el aumento de la densidad de este compuesto mediante la aplicación de energías específicas de compactación, es una técnica apropiada para mejorar el comportamiento mecánico del compuesto.

**(Palabras Clave:** suelo expansivo, compuesto, estabilización, compactación, arcilla, cal, humedad, ladrillo, mampostería.)

## SUMMARY

Expansive soils exist in vast regions around the world, in Mexico occupy 8% of the country where the majority party in the center of the country, these soils are characterized by volumetric changes with changes in water content, a phenomenon that causes structural damage in buildings built on them, a solution to the problem widespread soil caused these buildings are replaced by others who do not present volumetric changes, a process that consumes a significant portion of the budget for construction projects, causing the clay soil is removed become waste ground by the end of the construction process.

We propose a methodology by which it will use these lands, making the natural soil in a soil-lime composite after a stabilization process that can be used in a piece of masonry and after being compacted using a specific energy compaction and homogeneity will provide the greatest possible density and hence increase its resistance.

It was determined that the percentage where it occurs is the point of fixation with 8% lime, that is completely inhibited by soil volumetric changes. After analyzing different compaction energies determined that the 21 kg-cm/cm<sup>3</sup> ensures greater density and strength.

The compressive strength of specimens selected under the specific energy increases as time passes (for this study were 60 days), reaching 36.4 kg/cm<sup>2</sup>. A prototype was developed ceramic material with dimensions similar to a partition, with the mixture of clay with 8% lime and compact energy kg-cm/cm<sup>3</sup> 21 was tested to determine the Modulus of Rupture (MR) and the First Crack Resistance (RPG), at the age of 60 days, reaching 3.82 MR kg/cm<sup>2</sup> and kg/cm<sup>2</sup> 38.87 RPG. Thus came to overcome the resistance of the wall by 19%, Ashlar by 38% and 65% mud. On the other hand reached 65% of the resistance of the solid block.

We can say that the stabilization of clay soils with lime generates a composite inert (no volumetric changes with changes in humidity), and increasing the density of this composite by applying specific compaction energy is an appropriate technique for improve the mechanical behavior of composite.

**(Keywords:** expansive soil, composite, stabilization, compaction, clay, lime, humidity, brick, masonry.)

**Este trabajo está dedicado a mis padres.**

**Gracias por darme la confianza y el apoyo,  
ustedes siempre serán mi ejemplo a seguir.**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios mi Señor quien día a día me muestra su amor y me obsequia lo necesario para seguir adelante confiado en él, a mi padre Sr. Lauro González y a mi madre la Sra. Ma. Amalia Vega quienes me dieron el regalo de la educación, a mi novia Sarita que me apoyo en todo momento, a mis familiares y conocidos quienes me brindan su apoyo incondicional, a mi asesora la Dra. Teresa López Lara, quien me guió, corrigió y dio aliento para seguir adelante y concluir satisfactoriamente esta tesis.

También agradezco a los sinodales antes mencionados, quienes dieron su opinión y correcciones, también agradezco al Dr. Mota encargado del Laboratorio de Suelos de la Universidad Autónoma de Querétaro por brindarme las facilidades para realizar mi experimentación y también a mis compañeros quienes me dieron ideas y consejos acerca de mi tema de tesis.

# ÍNDICE

	Página
RESUMEN.....	I
SUMMARY.....	III
AGRADECIMIENTOS.....	V
ÍNDICE.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
I.INTRODUCCIÓN.....	1
I.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	1
I.2 JUSTIFICACIÓN.....	2
I.3 ANTECEDENTES.....	2
I.4 HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....	6
HIPÓTESIS.....	6
II.REVISIÓN DE LITERATURA.....	7
II.1 DISTRIBUCIÓN DE LOS SUELOS EXPANSIVOS.....	7
II.1.1 ZONAS EN QUE SE PRESENTAN LOS SUELOS EXPANSIVOS.....	7
II.2 AGENTES GENERADORES DE SUELO.....	10
II.2.1 SUELOS RESIDUALES Y TRANSPORTADOS.....	11
II.3 MINERALES CONSTITUTIVOS DE LAS ARCILLAS.....	12
II.3.1 FÍSICO-QUÍMICA DE LAS ARCILLAS.....	16
II.4 ESTABILIZACIÓN DE SUELOS.....	23
II.4.1 CON CEMENTO PORTLAND.....	23
II.4.2 CON PRODUCTOS ASFÁLTICOS.....	25
II.4.3 CON CAL.....	26
II.5 CARACTERÍSTICAS DE LA CAL.....	34
II.5.1 DIFERENTES USOS DE LA CAL EN LA INDUSTRIA.....	37
II.6 COMPACTACIÓN DE LOS SUELOS ARCILLOSOS.....	40
II.6.1 PRUEBAS DE COMPACTACIÓN.....	40
II.7 EL LADRILLO, INICIO, EVOLUCIÓN Y SUS VERSIONES MODERNAS.....	44
II.7.1 EL LADRILLO EN LAS ANTIGUAS CIVILIZACIONES.....	44
II.7.2 PROCESO DE FABRICACIÓN DEL LADRILLO.....	49
II.7.3 MATERIALES Y TÉCNICAS MODERNAS DE LOS LADRILLOS.....	52
III.METODOLOGÍA.....	57

<b>III.1</b>	<b>EXTRACCIÓN E IDENTIFICACIÓN DEL SUELO POR ESTUDIAR .....</b>	<b>58</b>
<b>III.2</b>	<b>CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUELO DE DESECHO EN ESTUDIO .....</b>	<b>59</b>
<b>III.2.1</b>	GRANULOMETRÍA .....	59
<b>III.2.2</b>	LÍMITES DE PLASTICIDAD .....	60
<b>III.2.4</b>	PESO ESPECÍFICO DE LA MUESTRA POR INMERSIÓN EN AGUA .....	62
<b>III.2.5</b>	PESO ESPECÍFICO RELATIVO DE SÓLIDOS (Ss) .....	62
<b>III.3</b>	<b>ESTABILIZACIÓN DEL SUELO CON CAL .....</b>	<b>63</b>
<b>III.4</b>	<b>CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LOS MATERIALES EN ESTUDIO .....</b>	<b>64</b>
<b>III.4.1</b>	DIFRACCIÓN DE RAYOS X EN EL SUELO NATURAL Y EL SUELO ESTABILIZADO. ....	64
<b>III.5</b>	<b>APLICACIÓN DE ENERGÍAS DE COMPACTACIÓN. ....</b>	<b>64</b>
<b>III.5.1</b>	<i>ENERGÍA PROCTOR ESTÁNDAR (6 KG-CM/CM<sup>3</sup>), PROCTOR MODIFICADA (27 KG-CM/CM<sup>3</sup>) Y ENERGÍA DE 40 KG-CM/CM<sup>3</sup></i> .....	65
<b>III.5.2</b>	<i>ENERGÍAS DE 15, 18, 21 Y 24 KG-CM/CM<sup>3</sup></i> .....	66
<b>III.6</b>	<b>ANÁLISIS DE RESISTENCIA EN PROBETAS APLICANDO COMPRESIÓN SIMPLE .....</b>	<b>67</b>
<i>PREPARACIÓN DEL MATERIAL</i> .....	67	
<b>III.6.1.5</b>	<i>EDADES DE PRUEBA</i> .....	69
<b>III.6.2</b>	<i>OTRAS PROBETAS</i> .....	70
<b>III.7</b>	<b>ELABORACIÓN DE PROTOTIPO DE MATERIAL CERÁMICO .....</b>	<b>73</b>
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>77</b>
<b>IV.1</b>	<b>EXTRACCIÓN E IDENTIFICACIÓN DEL SUELO POR ESTUDIAR .....</b>	<b>77</b>
<b>IV.2</b>	<b>CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUELO DE DESECHO EN ESTUDIO .....</b>	<b>77</b>
<b>IV.2.1</b>	GRANULOMETRÍA .....	77
<b>IV.2.2</b>	LÍMITES DE PLASTICIDAD .....	79
<b>IV.2.4</b>	PESO ESPECÍFICO DE LA MUESTRA POR INMERSIÓN EN AGUA .....	82
<b>IV.2.5</b>	PESO ESPECÍFICO RELATIVO DE SÓLIDOS (Ss) .....	83
<b>IV.3</b>	<b>ESTABILIZACIÓN DEL SUELO CON CAL .....</b>	<b>84</b>
<b>IV.4</b>	<b>CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LOS MATERIALES EN ESTUDIO .....</b>	<b>89</b>
<b>IV.4.1</b>	DIFRACCIÓN DE RAYOS X EN EL SUELO NATURAL Y EL SUELO ESTABILIZADO. ....	89
<b>IV.5</b>	<b>APLICACIÓN DE ENERGÍAS DE COMPACTACIÓN. ....</b>	<b>91</b>
<b>IV.5.1</b>	<i>ENERGÍA PROCTOR ESTÁNDAR (6 KG-CM/CM<sup>3</sup>), PROCTOR MODIFICADA (27 KG-CM/CM<sup>3</sup>) Y ENERGÍA DE 40 KG-CM/CM<sup>3</sup></i> .....	92
<b>IV.5.2</b>	<i>ENERGÍAS DE 15, 18, 21 Y 24 KG-CM/CM<sup>3</sup></i> .....	94
<b>IV.6</b>	<b>ANÁLISIS DE RESISTENCIA EN PROBETAS APLICANDO COMPRESIÓN SIMPLE .....</b>	<b>96</b>
<b>IV.6.1</b>	PROBETAS BAJO NORMA ASTM D 2166 .....	96
<b>IV.6.2</b>	OTRAS PROBETAS .....	102
<b>IV.7</b>	<b>ELABORACIÓN DE PROTOTIPO DE MATERIAL CERÁMICO .....</b>	<b>104</b>

<b>IV.7.1</b> MODULO DE RUPTURA (MR) Y RESISTENCIA A LA PRIMER GRIETA (RPG) DEL PROTOTIPO.....	104
<b>IV.7.2</b> MODULO DE RUPTURA (MR) Y RESISTENCIA A LA PRIMER GRIETA (RPG) DE LOS MATERIALES PARA MAMPOSTERÍA. ....	105
<b>V.CONCLUSIONES</b> .....	<b>107</b>
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>110</b>

## **APÉNDICE**

### **Apéndice A**

CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

### **Apéndice B**

LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLÁSTICO DE LA ESTABILIZACIÓN DEL SUELO CON DIFERENTES PORCENTAJES DE CAL (6, 8 Y 10%).

### **Apéndice C**

FORMATOS Y GRÁFICAS DE LA DETERMINACIÓN DE HUMEDADES ÓPTIMAS y PESOS ESPECÍFICOS SECOS MÁXIMOS USANDO UNA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN DE 6kg-cm/cm<sup>3</sup> (Proctor Estándar) PARA LA ARCILLA NATURAL, ARCILLA-CAL 6%, ARCILLA-CAL 8% Y ARCILLA-CAL 10%

### **Apéndice D**

FORMATOS Y GRÁFICAS DE LA DETERMINACIÓN DE HUMEDADES ÓPTIMAS y PESOS ESPECÍFICOS SECOS MÁXIMOS USANDO UNA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN DE 27kg-cm/cm<sup>3</sup> (Proctor Modificada) PARA LA ARCILLA NATURAL, ARCILLA-CAL 6%, ARCILLA-CAL 8% Y ARCILLA-CAL 10%

### **Apéndice E**

FORMATOS Y GRÁFICAS DE LA DETERMINACIÓN DE HUMEDADES ÓPTIMAS y PESOS ESPECÍFICOS SECOS MÁXIMOS USANDO UNA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN DE 40kg-cm/cm<sup>3</sup> PARA LA ARCILLA NATURAL, ARCILLA-CAL 6%, ARCILLA-CAL 8% Y ARCILLA-CAL 10%

### **Apéndice F**

FORMATOS Y GRÁFICAS DE LA DETERMINACIÓN DE HUMEDADES ÓPTIMAS y PESOS ESPECÍFICOS SECOS MÁXIMOS USANDO ENERGÍAS DE COMPACTACIÓN DE 15, 18, 21 Y 24kg-cm/cm<sup>3</sup> PARA ARCILLA-CAL 8%

### **Apéndice G**

FORMATOS DE LAS PRUEBAS DE COMPRESION SIMPLE DE PROBETAS REMOLDEADAS CON ENERGÍA DE COMPACTACIÓN DE 6 kg-cm/cm<sup>3</sup> (Proctor Estándar).

### **Apéndice H**

FORMATOS DE LAS PRUEBAS DE COMPRESION SIMPLE DE PROBETAS REMOLDEADAS CON ENERGÍA DE COMPACTACIÓN DE 27 kg-cm/cm<sup>3</sup> (Proctor Modificada).

**Apéndice I**

FORMATOS DE LAS PRUEBAS DE COMPRESION SIMPLE DE PROBETAS REMOLDEADAS CON ENERGÍA DE COMPACTACIÓN DE 40 kg-cm/cm<sup>3</sup>.

**Apéndice J**

FORMATOS DE LAS PRUEBAS DE COMPRESION SIMPLE DE PROBETAS REMOLDEADAS ARCILLA-CAL 8% CON ENERGÍA DE COMPACTACIÓN DE 15 kg-cm/cm<sup>3</sup>.

**Apéndice K**

FORMATOS DE LAS PRUEBAS DE COMPRESION SIMPLE DE PROBETAS REMOLDEADAS ARCILLA-CAL 8% CON ENERGÍA DE COMPACTACIÓN DE 18 kg-cm/cm<sup>3</sup>.

**Apéndice L**

FORMATOS DE LAS PRUEBAS DE COMPRESION SIMPLE DE PROBETAS REMOLDEADAS ARCILLA-CAL 8% CON ENERGÍA DE COMPACTACIÓN DE 21 kg-cm/cm<sup>3</sup>.

**Apéndice M**

FORMATOS DE LAS PRUEBAS DE COMPRESION SIMPLE DE PROBETAS REMOLDEADAS ARCILLA-CAL 8% CON ENERGÍA DE COMPACTACIÓN DE 24 kg-cm/cm<sup>3</sup>.

**Apéndice N**

FORMATOS DE LAS PRUEBAS DE COMPRESION SIMPLE DE MUESTRAS LABRADAS DE PIEZAS DE MAMPOSTERÍA COMERCIALES.

**Apéndice O**

FORMATOS DE LAS PRUEBAS DE COMPRESION SIMPLE DE PROBETAS CUBICAS REMOLDEADAS ARCILLA-CAL 8% CON ENERGÍA DE COMPACTACIÓN DE 21 kg-cm/cm<sup>3</sup>.

**Apéndice P**

FORMATOS DE LAS PRUEBAS MODULO DE RUPTURA Y RESISTENCIA A LA PRIMER GRIETA DE LAS PIEZAS DE MAMPOSTERÍA.

**Apéndice Q**

FORMATOS DE LAS PRUEBAS MODULO DE RUPTURA Y RESISTENCIA A LA PRIMER GRIETA DEL PROTOTIPO CERÁMICO.

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
II.1	Distribución de las zonas de suelos expansivos	6
II.2	Zonas potenciales de suelos expansivos en la República Mexicana	7
II.3	Zona de Suelos Vertisoles en el Estado de Querétaro	7
II.4	Lámina Alumínica	11
II.5	Lámina Silícica	11
II.6	Arreglo de láminas constituyentes en la arcilla caolinita	12
II.7	Arreglo de láminas constituyentes en la arcilla montmorilonita	13
II.8	Arreglo de láminas constituyentes en la arcilla illita	14
II.9	Esquema del Estabilómetro de Hveem	27
II.10	Esquema del cohesiómetro de Hveen	28
II.11	Esquema del Expansiómetro de Hveen	29
II.12	Curvas de compactación en Pruebas Proctor estándar y Modificada	41
III.1	Vista aérea del lugar de extracción de la muestra	45
III.2	Extracción de muestras alteradas e inalteradas	45
III.3	Determinación de humedad y cantidades de cal	54
III.4	Aplicación de agua para la humedad óptima	54
III.5	Proceso para elaborar los especímenes	55
III.6	Molde para especímenes remoldeados cúbicos	57
III.7	Ensaye a compresión simple en cubo de 50 mm por lado	57
III.8	Probetas labradas de piezas de mampostería	58
III.9	Ensaye de compresión simple en la Máquina Universal	59
III.10	Molde para elaborar las piezas de material cerámico.	61
III.11	Aplicación de la energía de compactación en las piezas de mampostería	61
III.12	Piezas de mampostería hechas con arcilla y con 8% de cal.	62
IV.1	Curva granulométrica de la arcilla analizada	65
IV.2	Curva de fluidez del suelo natural	66
IV.3	Clasificación del suelo en la Carta de Plasticidad	67
IV.4	Clasificación del suelo arcilloso estabilizado con 6, 8 y 10% de cal, en la Carta de Plasticidad	71
IV.5	Límite Líquido vs porcentaje de cal	72
IV.6	Índice Plástico vs porcentaje de cal	72
IV.7	Límite de contracción vs porcentaje de cal	73
IV.8	Contracción Lineal vs porcentaje de cal	73
IV.9	Comparación entre el suelo natural y el suelo estabilizado con cal	75
IV.10	Comparación entre la contracción lineal del suelo con diferentes porcentajes de cal	75
IV.11	Difractograma de la muestra de suelo natural	77
IV.12	Difractograma del suelo estabilizado con 8% de cal	77

IV.13	Pesos Específicos de diferentes mezclas suelo-cal, obtenidos con energías específicas de compactación de 6, 27 y 40 kg-cm/cm <sup>3</sup> .	80
IV.14	Pesos Específicos de la mezcla suelo-cal 8% obtenidos energías específicas de compactación de 15, 18, 21 y 24 kg-cm/cm <sup>3</sup>	81
IV.15	Esfuerzos en probetas remoldeadas con Proctor Estándar	82
IV.16	Esfuerzos en probetas remoldeadas con Proctor Modificada	83
IV.17	Esfuerzos de Probetas remoldeadas con la energía de 40 kg-cm/cm <sup>3</sup>	84
IV.18	Esfuerzos de Probetas remoldeadas con distintas energías de compactación	86
IV.19	Esfuerzos de probetas con 8 % de cal remoldeadas con distintas energías de compactación.	87
IV.20	Resistencia a la Primer Grieta de piezas de Mampostería	90
IV.21	Resistencia a la Primer Grieta del prototipo de material cerámico	91

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla		Página
II.1	Capacidad de intercambio de cationes de minerales arcillosos en miniequivalentes por 100 gr.	17
II.2	Valores de la capacidad de cambio de aniones de algunos minerales arcillosos en miliequivalentes por 100 gr.	17
II.3	Actividad de algunos minerales constituyentes de los suelos	20
III.1	Edades de ensaye a compresión simple para los especímenes.	56
IV.1	Análisis granulométrico por vía seca.	63
IV.2	Diámetro y porcentajes de las partículas por vía seca y húmeda	64
IV.3	Golpes en la Copa de Casagrande y humedades para el suelo natural	66
IV.4	Determinación del límite plástico	66
IV.5	Longitudes de la muestra tanto húmeda como seca	68
IV.6	Determinación del límite de contracción.	68
IV.7	Determinación del peso específico por inmersión en agua.	69
IV.8	Temperatura y pesos obtenidos	69
IV.9	Resultados de los límites de plasticidad después de la adición de cal	70
IV.10	Clasificación de suelos expansivos basada en contenido coloidal, Índice Plástico y Límite de Contracción.	74
IV.11	Humedades Óptimas y Pesos Específicos Secos Máximos de la prueba Proctor Estándar	78
IV.12	12 Humedades Óptimas y Pesos Específicos Secos Máximos de la prueba Proctor Modificada	78
IV.13	Humedades Óptimas y Pesos Específicos Secos Máximos de la energía de compactación de 40 kg-cm/cm <sup>3</sup> .	79
IV.14	Humedades Óptimas y Pesos Específicos Secos Máximos de la mezcla suelo con 8% de cal aplicando energías de compactación de 15, 18, 21 y 24 kg-cm/cm <sup>3</sup> .	81
IV.15	Esfuerzos de Probetas remoldeadas con Proctor Estándar	82
IV.16	Esfuerzos de Probetas remoldeadas con Proctor Modificada	83
IV.17	Esfuerzos de Probetas remoldeadas con la energía de 40 kg-cm/cm <sup>3</sup>	84
IV.18	Esfuerzos de Probetas remoldeadas con distintas energías de compactación	86
IV.19	Esfuerzo de probetas cubicas.	88
IV.20	Módulo de ruptura de piezas de mampostería	89
IV.21	Resistencia a la primer grieta de piezas de mampostería	90
IV.22	Módulo de Ruptura del prototipo	91
IV.23	Resistencia a la primer grieta del prototipo	91

# I.INTRODUCCIÓN

## I.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Las piezas cerámicas para mampostería son preferidos por las personas por razones de tipo cultural (independientemente de si cumplen con las normas en cuanto a resistencia y dimensiones), debido a que desde la época en que comenzaron a florecer las primeras civilizaciones a.C., estas elaboraron sus edificaciones con piezas similares a las que hoy en día usamos, y este sistema de construcción ha sido adoptado por muchas generaciones al ser un material accesible; mostrándose ciertamente indiferentes ante nuevos materiales con mejores características. El poco control de calidad en la elaboración de piezas para mampostería da como resultado que las piezas que encontramos en el mercado tengan variaciones en su resistencia, dimensiones y densidad, lo que ocasiona que no cumplan con lo especificado en las normas mexicanas correspondientes a resistencia y dimensiones.

El constante crecimiento de los asentamientos humanos ha ocasionado que la mancha urbana se extienda hasta zonas donde existen suelos de cultivo obligando a edificar sobre ellos. Se han reportado daños en las edificaciones causados por este tipo de suelos debido a su constate cambio volumétrico al variar su contenido de agua, esto ha dado como resultado que este tipo de suelo se desechen y sean sustituidos por otros, quedando estos sin ningún uso.

El problema específico que se pretende resolver es darle uso a los suelos arcillosos que son desechados de las construcciones, mediante la estabilización con cal y la aplicación de una energía específica de compactación que genere mayor resistencia y una densidad constante, y con esto elaborar una pieza para mampostería a la cual se le pueda dar uso en algún proceso constructivo.

## **I.2 JUSTIFICACIÓN**

Aprovechar suelos clasificados como desecho en la región (arcillas expansivas) por no cumplir con las características necesarias para su empleo en la construcción, los cuales son tirados en la mayoría de las ocasiones en lugares inapropiados. Utilizar un método como la estabilización con cal en estos suelos para eliminar el problema de inestabilidad volumétrica y aprovechar dichos suelos en un producto cerámico útil y resistente en la industria de la construcción, con características de uniformidad en sus dimensiones, resistencia y calidad superiores a los ofrecidos en el mercado, teniendo un costo similar o menor al comercial.

Este nuevo material cerámico por el proceso de elaboración no requerirá tiempo de cocción en horno evitando emisiones de gases contaminantes, y así promover una cultura ecológica. La fabricación artesanal de ladrillo es una actividad económica importante en varias localidades de México y de otros países en vías de desarrollo (Moreno, 2003).

## **I.3 ANTECEDENTES**

Uno de los problemas más comunes, a los que se enfrenta la industria de la construcción, es la variabilidad de los tipos de suelo en donde se desarrollarán las construcciones, siendo los suelos con problemas de cambios volumétricos (arcillas expansivas) los más desfavorables y problemáticos. Suelos de arcilla de alto o muy alto potencial de expansión a menudo presentan dificultades en las operaciones de construcción (Stavridakis, 2005).

Los suelos expansivos aumentan su volumen una vez hidratados, y se contraen cuando se están secando. Este tipo de cambios volumétricos causan grandes daños a edificios, carreteras, oleoductos y otras estructuras y los gastos de reparación se estiman en millones de dólares anuales, pudiendo encontrar

suelos expansivos en la mayoría de los continentes en el mundo (Shamran, et al 2010).

Existen vastas zonas de suelos arcillosos, que generalmente se extraen hasta tres metros de profundidad (Capa activa). Debido a las variaciones de humedad durante todo el año, este tipo de suelo causa muchos daños a estructuras debido a los continuos cambios en el volumen. Frecuentemente, la arcilla se descarta y es sustituida por materiales inertes en la fase de construcción. El uso de cal hidratada con este tipo de suelo es un tratamiento que tiene como objetivo inhibir la inestabilidad volumétrica mediante la mezcla resultante como material inerte (López et al, 2006).

En la historia de las civilizaciones los materiales cerámicos fabricados a partir de barro cocido (arcillas), se han utilizado en la construcción por lo menos desde hace 4000 años a.C. en Egipto, y representan los primeros materiales manufacturados en edificios (Lyons, 2006). La utilización de estas técnicas de fabricación de materiales cerámicos se ha mantenido vigente en países en vías de desarrollo como México.

La industria en México se ha convertido en un motor fundamental del desarrollo, al ser el sector que aporta la mayor parte de los recursos del país, pero también el que más contaminantes genera, tal es el caso de la industria ladrillera, actividad productiva que además de ser una fuente de empleos importante, genera un insumo básico para la industria de la construcción. Sigue las mismas etapas desarrolladas desde la antigüedad: preparación de la pasta, moldeado y cocción en hornos. Empleando combustibles altamente contaminantes, que generan dioxinas, distintas especies de hidrocarburos, volúmenes masivos de partículas, monóxido de carbono, óxidos de azufre y de nitrógeno. Contaminando la atmósfera, cuerpos de agua y suelo (Moreno, 2003).

La manufactura de los ladrillos es manual, no sigue un control de proceso ni de calidad estricto y el personal que fabrica el ladrillo son los miembros de las familias incluyendo a los niños. Se emplean como materias primas agua, arcilla y estiércol, siendo almacenadas al aire libre. La preparación de la pasta y el moldeo se realizan directamente sobre el suelo. El secado es natural, tardando según los ladrilleros hasta seis días. La cocción dura entre 48 y 72 horas. Los combustibles empleados con mayor frecuencia a nivel nacional son la madera, aserrín, combustóleo y aceites gastados, además de diesel, basura doméstica y algunos hornos más modernos emplean gas natural o gas LP (CENICA, 2002).

En el Estado de México se consumen entre aserrín y la madera, 27 000 toneladas/año y aceites gastados, 2 000 000 Litros/año (Secretaría de Ecología del Estado de México, 1999).

Los materiales cerámicos macizos (tabique rojo recocido) son los de mayor demanda para la construcción de elementos de mampostería en las construcciones de casa habitación generalmente. La elaboración de tabiques de arcilla y cocidos en hornos poco ecológicos por el tipo de combustible empleado, es una fuente de ingresos económicos para muchas familias, lo que ocasiona que proliferen con facilidad, dificultando tener un control de ellos y por ende de la contaminación que estos provocan.

En Querétaro hay 547 hornos ladrilleros que producen, en promedio, 10,000 ladrillos/mes/horno para cubrir la demanda del estado. La industria ladrillera artesanal provee de oportunidades de empleo a cientos de personas, pero también genera grandes cantidades de contaminantes por periodos prolongados (Rodríguez, 2009).

Utilizar suelos inestables volumétricamente que se desechan de las construcciones, estabilizarlos con un agente cementante; en este caso con una cal comercial, y así obtener un composito suelo-cal que al aplicarle una energía de

compactación se pueda remodelar en un material cerámico que se pueda utilizar en la elaboración de elementos de construcción con la ventaja de no necesitar cocción para obtener su resistencia, es una buena técnica para tratar de reducir los contaminantes producidos por los hornos de la industria ladrillera.

La adición de cal es una técnica atractiva cuando el proyecto requiere una mejora de los suelos locales. El tratamiento de suelos con cal encuentra una aplicación, por ejemplo, en la construcción de las capas de base de pavimento, en la protección de laderas de presas de tierra, y como una capa de soporte para las cimentaciones poco profundas (Consoli, 2009). Tratar los suelos expansivos con cal es una técnica convencional para mejorar las propiedades de los suelos expansivos (Long, et al 2009). La adición de cal, ayuda a detener la expansión de los suelos expansivos (Russell L., 2007).

Los ladrillos de cal con cenizas volcánicas son una de las mejores alternativas para los ladrillos de barro cocido convencional. Los bloques estabilizados indican una favorable estabilidad de la arcilla-cal a largo plazo, lo que demuestra el potencial del bloque como material para la construcción de mampostería. (Kumar, 2000)

## I.4 HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

### Hipótesis

*El composito arcilla-cal adquiere mejores resistencias después de aplicarle una energía específica de compactación y prolongar el tiempo de secado. Propiedades que podrían aplicarse para elaborar una pieza cerámica de mampostería, con mejores propiedades y costos similares a los productos comerciales.*

### Objetivos:

- Caracterizar el suelo de desecho.
- Estabilizar el suelo utilizando una cal comercial.
- Obtener la energía específica de compactación que genere la mayor densidad en el composito suelo-cal.
- Elaborar prototipo de material cerámico utilizando el composito suelo-cal.
- Comparara la resistencia del prototipo contra la resistencia de los materiales cerámicos para mampostería más comerciales.

## II.REVISIÓN DE LITERATURA

### II.1 DISTRIBUCIÓN DE LOS SUELOS EXPANSIVOS

#### II.1.1 Zonas en que se presentan los suelos expansivos

Muchos países del mundo padecen el problema de las arcillas expansivas: México, Estados Unidos, Australia, Sudáfrica, India, Israel, entre otros. En varias regiones de nuestro país como en los estados de Querétaro, Guanajuato, Michoacán, Tamaulipas, Morelos, Sonora, Baja California Norte, Veracruz, Chiapas y Campeche se localizan formaciones de este tipo de suelo. Los suelos expansivos se presentan en regiones con depósitos de arcilla donde ocurren variaciones significativas de humedad: en zonas como las monzónicas, con estaciones muy diferentes, y en las zonas semidesérticas en las cuales se alternan extensas temporadas de sequía con pequeños periodos de precipitación. En especial, los suelos expansivos se encuentran en zonas semiáridas de las regiones con clima templado y tropical. En estos lugares la evapotranspiración anual es mayor que la precipitación anual (Zepeda y Castañeda, 1986). En la figura II.1 se muestran las zonas del planeta donde se han reportado problemas de suelos expansivos.

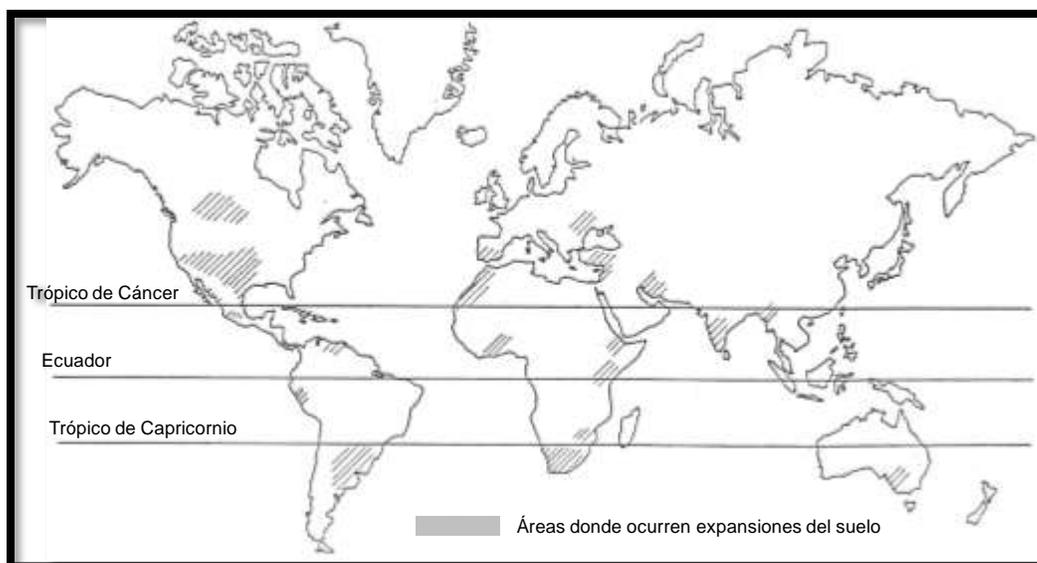


Figura II.1 Distribución de las zonas de suelos expansivos. (Zepeda y Castañeda, 1989)

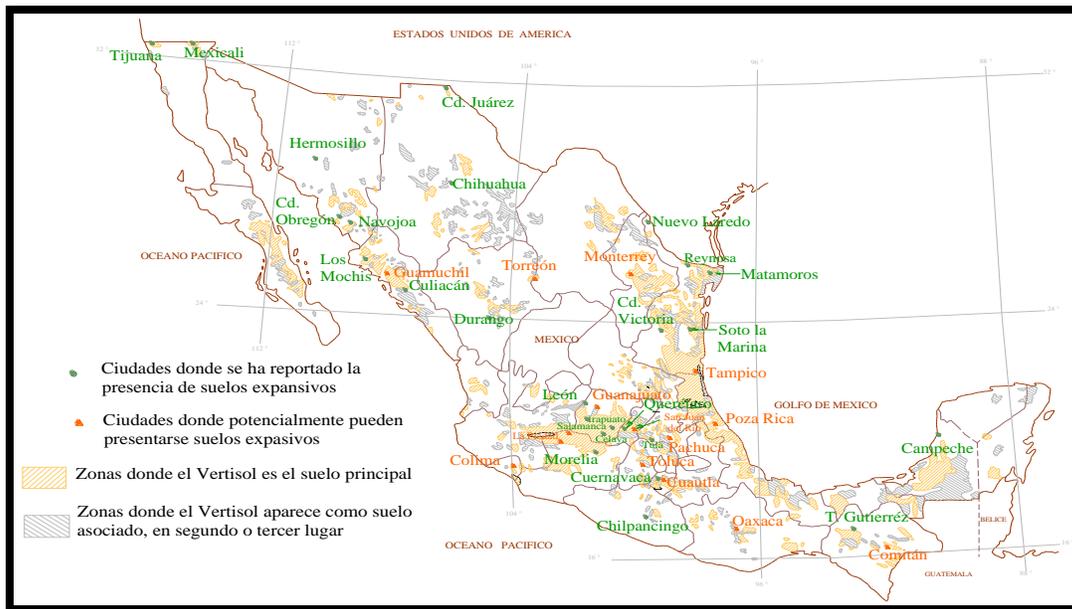


Figura II.2 Zonas potenciales de suelos expansivos en la República Mexicana. (Zepeda y Castañeda, 1989)

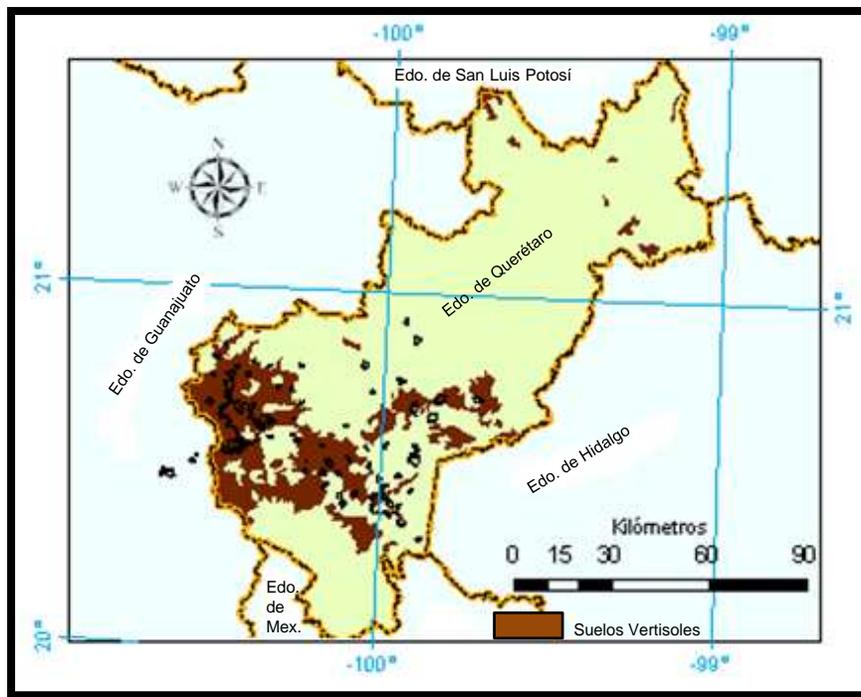


Figura II.3 Zona de Suelos Vertisoles en el Estado de Querétaro. (Zepeda y Castañeda, 1989)

En las figuras II.2 y II.3 se muestran las zonas con suelos potencialmente expansivos tanto en la República Mexicana como en el Estado de Querétaro.

### **II.1.2 Vertisol: Tipo de suelo expansivo**

La edafología señala que los vertisoles son el principal tipo de suelo expansivo, según la clasificación del sistema FAO-UNESCO modificado por la Dirección General de Geografía del Territorio Nacional. Esta clasificación utiliza las características morfológicas, físicas y químicas para separar los suelos en unidades que proporcionen información referente a su aplicación práctica con fines agropecuarios, forestales y de Ingeniería Civil principalmente.

Los vertisoles son suelos que después de haber mezclado los 20 cm. superiores, tienen generalmente un contenido de arcilla uniforme mayor del 35%, aunque muchas veces supera el 80% en todos los horizontes a una profundidad no menor de 50 cm. el concepto de arcilla es el mismo en Edafología y en Mecánica de Suelos. La propiedad más importante de los vertisoles es su contenido mayoritario de montmorilonita, que les confiere su característica de suelos expansivos. Por ello, pueden sufrir cambios de volumen del 25 al 50%, tanto de expansión como de contracción.

La formación de los vertisoles requiere de condiciones importantes: un periodo de saturación completa y luego una estación seca bien definida. La montmorilonita se origina con la desintegración, la hidratación interna y pocas filtraciones. Si la filtración es pequeña, los cationes de magnesio, sodio y calcio se almacenan en el suelo; el medio alcalino y los iones de magnesio favorecen la formación de montmorilonita. Estas condiciones son comunes en regiones semiáridas con escasa precipitación y donde ésta es inferior a la evaporación. Confirmando lo anterior, los vertisoles se presentan en zonas áridas y semiáridas de climas templados y cálidos con una marcada estación seca y otra lluviosa. (Zepeda y Castañeda, 1986)

Los vertisoles son suelos de color oscuro que tienen textura uniforme, fina a muy fina y un contenido bajo de materia orgánica. Estos suelos tienen un peso específico de 1.7 a 2.0 ton/m<sup>3</sup> y, por tanto, son más densos que la mayoría de los

suelos, tal vez como resultado de las repetidas expansiones y contracciones que aprietan más y más el terreno. El contenido de materia orgánica puede ser de hasta un 5% en la superficie, pero, por lo general, no es mayor del 2%. La capacidad de intercambio catiónico es elevada y varía de 25 a 80 miliequivalencias por ciento. La mayoría de los vertisoles contienen carbonato de calcio libre en forma de depósitos pulvulentos o como concreciones, pero muchos de ellos no tienen esa propiedad. El contenido puede ser hasta de 60%, pero en general varían entre un 5 y 10%. El sodio intercambiable por lo común está en el rango del 5 10%. Los vertisoles presentan valores del PH en el rango de 6 a 8.5, sin embargo, los valores del PH aumentan a medida que el complejo de intercambio se vuelve más saturado de sodio.

Muchos vertisoles se han desarrollado en depósitos superficiales de textura fina o muy fina, los cuales generalmente son depósitos aluviales o lacustres; sin embargo, en algunos casos no se puede tener certeza respecto a su origen. Algunos depósitos aparecen como formados por erosión insidiosa de los suelos, acumulando el material en una depresión de un sitio plano. Otros vertisoles se han desarrollado por intemperización progresiva de la roca subyacente, que puede ser basalto, caliza o ceniza volcánica. (Zepeda y Castañeda, 1989)

## **II.2 AGENTES GENERADORES DE SUELO**

La corteza terrestre es atacada principalmente por el aire y las aguas, siendo los medios de acción estas sustancias sumamente variadas. Sin embargo, todos los mecanismos de ataque pueden incluirse en dos grupos: desintegración mecánica y descomposición química.

El termino desintegración mecánica se refiere a la intemperización de las rocas por agentes físicos, tales como cambios periódicos de temperatura, acción de la congelación del agua en las juntas y grietas de las rocas, efectos de organismos, plantas, entre otros. Por estos fenómenos las rocas llegan a formar arenas o, cuando mucho, limos y solo en casos especiales arcillas.

Por descomposición química se entiende la acción de agentes que atacan las rocas modificando su constitución mineralógica o química. El principal agente desde luego, el agua y los mecanismos de ataque más importantes son la oxidación, la hidratación y la carbonatación. Estos mecanismos generalmente producen arcilla como último producto de descomposición. Todos los efectos anteriores suelen acentuarse con los cambios de temperatura, por lo cual es frecuente encontrar formaciones arcillosas de importancia en zonas húmedas y cálidas, mientras que son típicas de zonas más frías formaciones arenosas o limosas, más gruesas.

Los suelos deben, pues, su origen a una tal variedad de causas que excede todo poder de descripción detallada. También debe notarse que su formación ha ocurrido a través de las Eras Geológicas, tal como sigue ocurriendo hoy; en consecuencia, el hombre es completamente ajeno a la génesis del suelo. (Juárez y Rico, 2009)

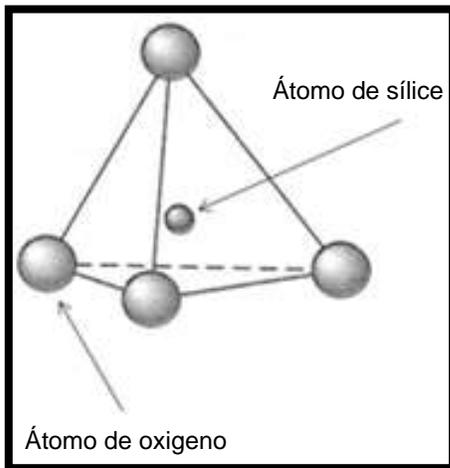
### **II.2.1 Suelos residuales y transportados**

Los productos del ataque de los agentes de intemperismo, pueden quedar en el lugar, directamente sobre la roca de la cual se derivan, dando así origen a suelos llamados residuales. Pero esos productos pueden ser removidos del lugar de formación, por los mismos agentes geológicos y redepositados en otras zonas. Así se generan suelos que sobresalen sobre otros estratos sin relación directa con ellos; a estos suelos se les denomina transportados.

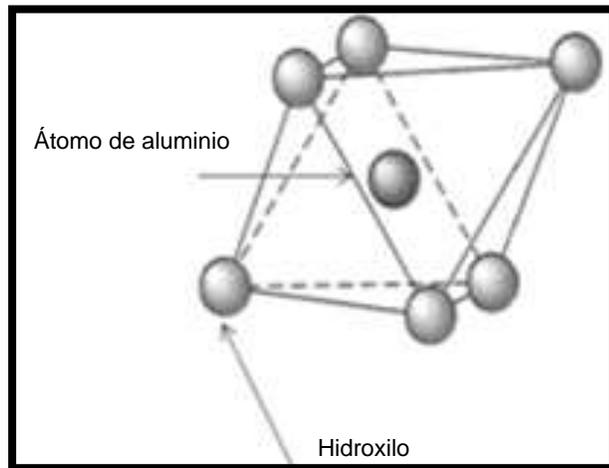
Existen en la naturaleza numerosos agentes de transporte, de los cuales pueden citarse como principales los glaciares, el viento, los ríos y corrientes de agua superficial, los mares y las fuerzas de gravedad; estos factores actúan a menudo combinándose. (Juárez y Rico, 2009)

### II.3 MINERALES CONSTITUTIVOS DE LAS ARCILLAS

Partiendo de los numerosos minerales (principalmente silicatos) que se encuentran en las rocas ígneas y metamórficas, los agentes de descomposición química llegan a un producto final: la arcilla. Las arcillas están constituidas básicamente por silicatos de aluminio hidratados, presentando además, en algunas ocasiones, silicatos de magnesio, hierro u otros metales también hidratados. Estos minerales tienen, casi siempre, una estructura cristalina definida, cuyos átomos se disponen en láminas. Existen dos variedades de láminas: la silícica (fig. II.4) y la alumínica (fig. II.5). La primera está formada por un átomo de silicio, rodeado de cuatro de oxígeno, disponiéndose el conjunto en forma de tetraedro. Las láminas alumínicas están formadas por retículas de octaedros, dispuestos con un átomo de aluminio al centro y seis de oxígeno alrededor. (Juárez y Rico, 2009)



*Figura II.5 Lámina Silícica  
(Berry y Reid 1993)*



*Figura II.4 Lámina Alumínica  
(Berry y Reid 1993)*

De acuerdo con su estructura reticular, los minerales de arcilla se clasifican en tres grandes grupos: caolinitas, montmorilonitas e illitas.

Las partículas de caolinita se componen de capas de octaedros y tetraedros alternadas (fig. II.6). La unidad fundamental a la que designaremos con el nombre de hoja, tiene un espesor de  $7.2 \text{ \AA}$ , y se extiende indefinidamente en las otras dos direcciones. La partícula de caolinita está formada por un bloque de hojas de  $7.2$

Å de espesor. Las sucesivas hojas de 7.2 Å se mantienen unidas mediante enlaces de hidrógeno. El mineral se exfolia a lo largo de la superficie que separa las unidades de 7.2 Å.

En la caolinita, la sustitución de átomos dentro de la red cristalina es, si existe, pequeña, por lo cual la fórmula es prácticamente constante e igual a  $(Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O)$  (Jiménez y De Justo, 1975).

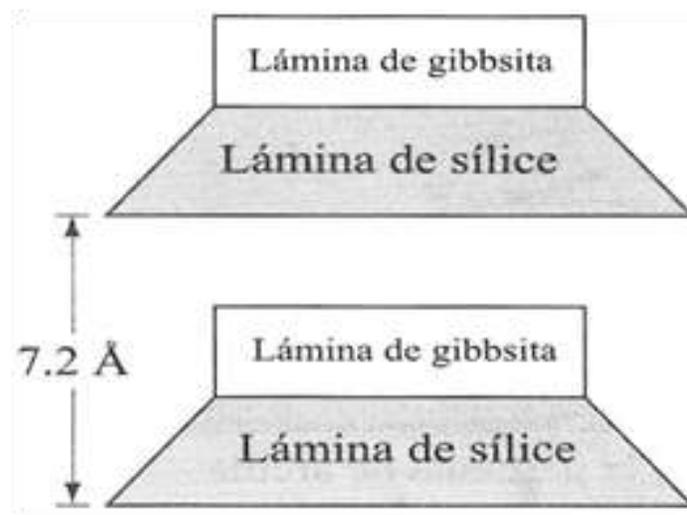


Figura II.6 Arreglo de láminas constituyentes en la arcilla caolinita (Berry y Reid 1993)

Como se muestra en la figura II.7, la unidad fundamental de la partícula de montmorilonita parece estar formada por dos capas de tetraedros que encierran una de octaedros. La unión entre cada dos unidades es mucho más débil que el enlace de hidrógeno en el caolín. Como consecuencia, el agua puede penetrar entre ellas ocasionando una expansión de la partícula en el sentido perpendicular a la capa. Esta expansión puede ser muy grande. La partícula de montmorilonita considerada como estructura indefinida tendría sus enlaces satisfechos si el centro de todos los tetraedros estuviese ocupado por silicio y el de los octaedros por aluminio. Sin embargo hay siempre una cierta proporción de átomos de silicio, tetravalente, sustituidos por aluminio, trivalente, en los tetraedros, y otra cantidad de átomos de aluminio, trivalente, sustituidos por magnesio, hierro, etc.,

bivalentes, en los octaedros. Debido a ello, existe una deficiencia de cargas positivas en la estructura. Esta deficiencia es compensada por medio de cationes que se sitúan entre las unidades fundamentales y alrededor de los bordes. Estos cationes pueden ser sustituidos con facilidad por otros, por lo cual reciben el nombre de “cationes de cambio”. El diámetro medio de las partículas de montmorilonita suele oscilar entre 100 y 5000 Å, y al dispersarse en agua se separan las distintas unidades fundamentales si el catión de cambio es sodio, la fórmula de esta arcilla es igual a  $[(OH)_4Si_8Al_4O_{20} \cdot nH_2O]$ . (Jiménez y De Justo, 1975)

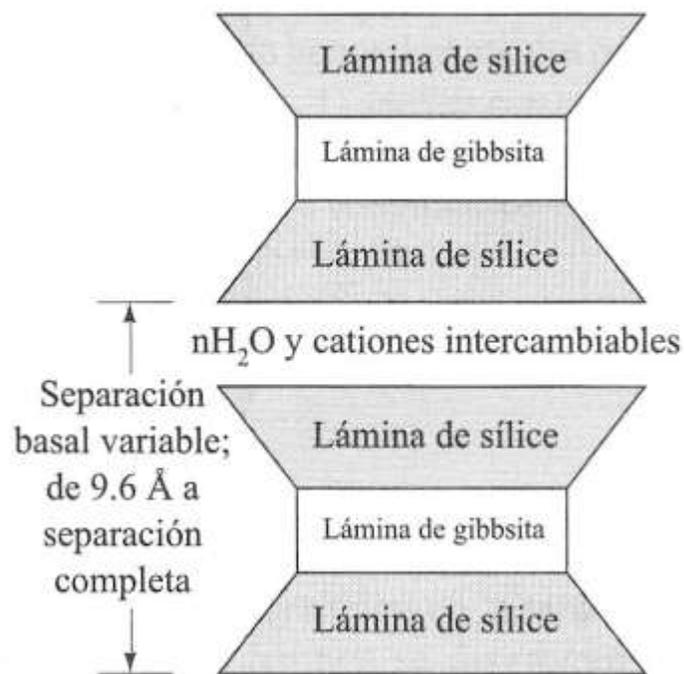


Figura II.7 Arreglo de láminas constituyentes en la arcilla montmorilonita (Berry y Reid 1993)

La illita (fig. II.8) es también semejante a la montmorilonita. Una de las diferencias es que las deficiencias de carga son equilibradas casi en su totalidad por átomos de potasio que se sitúan entre las diversas unidades fundamentales, y que no son intercambiables. La estructura de la illita no es expansiva; admite la entrada de átomos de agua entre las capas. Su espesor puede oscilar entre 1/10 y 1/50 del diámetro. Las illitas son micras de segunda formación, por lo cual reciben

el nombre de “micas hídricas”. En gran parte, se supone incluso que proceden de un proceso diagenético de ilitización de la montmorilonita. Conforme a él, los sedimentos montmorilonicos antiguos van fijando el potasio entre sus láminas. Esta circunstancia sería la causa de la deficiencia de potasio en los océanos, ya que la razón entre el contenido de este metal y el contenido de sodio, en el agua de mar, es varias veces inferior a la razón que existe en las rocas de la corteza terrestre. Esta influencia de carácter global como fijadora del potasio puede ser ejercida por la ilita por ser ésta la especie mineralógica de arcilla más abundante. La fórmula de este tipo de arcilla es igual a  $[(OH)_4 \cdot K_y (Si_{8-y} \cdot Al_y)(Al_4 \cdot Fe_4 \cdot Mg_4 \cdot Mg_6)O_{20}]$  (Jiménez y De Justo, 1975)

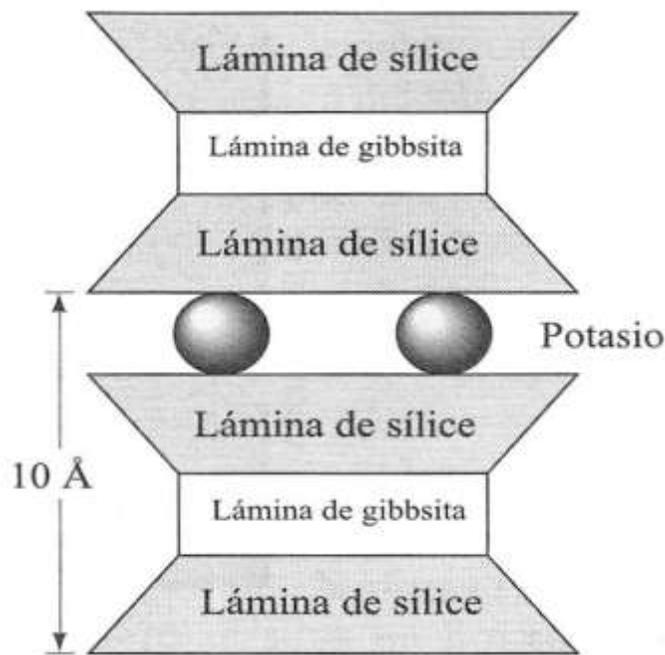


Figura II.8 Arreglo de láminas constituyentes en la arcilla ilita (Berry y Reid 1993)

### **II.3.1 Físico-Química de las arcillas**

En los suelos de grano muy fino, existen fuerzas que ejercen acción importantísima, ello es debido a que en estos granos, la relación de área volumen alcanza valores de consideración y fuerzas electromagnéticas desarrolladas en la superficie de los compuestos minerales cobran significación. En general, se estima que esta actividad en la superficie de la partícula individual es fundamental para tamaños menores que dos micras (0.002 mm).

Una de las teorías más comunes hasta ahora desarrolladas para explicar la estructura interna de las arcillas es la que se presenta a continuación.

La superficie de cada partícula de suelo posee carga eléctrica negativa, según se desprende de la estructura iónica arriba descrita. La intensidad de la carga depende de la estructuración y composición de la arcilla. Así la partícula atrae a los iones positivos del agua ( $H^+$ ) y a cationes de diferentes elementos químicos, tales como  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $Al^{+++}$ ,  $Fe^{+++}$ , etc. Lo anterior conduce, en primer lugar, al hecho de que cada partícula individual de arcilla se ve rodeada de una capa de moléculas de agua orientadas en forma definida y ligadas a su estructura (agua adsorbida).

Las moléculas de agua son polarizadas, es decir, en ellas no coinciden los centros de gravedad de sus cargas negativas y positivas, sino que funcionan como pequeños dipolos permanentes; al ligarse a la partícula por su carga (+), el polo de carga (-) queda en posibilidad de actuar como origen de atracción para otros cationes positivos. Los propios cationes atraen moléculas de agua gracias a la naturaleza polarizada de éstas, de modo que cada catión está en posibilidad de poseer un volumen de agua en torno a él. El agua adsorbida por cada catión aumenta con la carga eléctrica de éste y en su radio iónico. Por lo anterior, cuando las partículas de suelo atraen a los cationes, se ve reforzada la película de agua ligada a la partícula. El espesor de la película de agua adsorbida por el cristal de suelo es así función, no solo de la naturaleza del mismo, sino también del tipo de los cationes atraídos. (Juárez y Rico, 2009)

### II.3.1.1 Intercambio catiónico

Los cristales de arcilla pueden cambiar cationes adsorbidos en su película superficial, por ejemplo, una arcilla hidrógena (con cationes  $H^+$ ) puede transformarse en sódica, si se hace que circule a través de su masa agua con sales de sodio en disolución. En realidad lo que ocurre es un intercambio de cationes entre el agua y las películas adsorbidas por las partículas minerales, algunas veces en reacción rápida. Los cationes intercambiables más usuales son:  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $H^+$  y  $(NH_4)^+$ . (Juárez y Rico, 2009)

Ya hemos visto que en la partícula de arcilla existen cargas insatisfechas, debido a dos razones principales:

- 1.- Las cargas existentes en los enlaces rotos de los bordes. Este fenómeno ocurre en todas las especies arcillosas, y aumenta al disminuir el tamaño de la partícula e incrementarse, por tanto el número de enlaces rotos.
- 2.- Las sustituciones dentro de la red cristalina. Este fenómeno, es de mucha importancia en el grupo de la montmorilonita, debido a esta causa, las partículas suelen presentar deficiencia de cargas positivas.

Las caolinitas son menos susceptibles de intercambiar sus cationes que las montmorilonitas y las ilitas poseen la propiedad en grado indeterminado. La capacidad de intercambio crece con el grado de acidez de los cristales, es decir, es mayor si el pH del suelo es menor; la actividad catiónica se hace notable, en general, para valores del pH menores de 7. La capacidad de intercambio también crece con la velocidad y concentración de la solución que circule por la masa del suelo. Las propiedades mecánicas de las arcillas pueden cambiar al variar los cationes contenidos en sus complejos de adsorción, pues a diferentes cationes ligados corresponden distintos espesores de la película adsorbida, lo que se refleja sobre todo en las propiedades de plasticidad y resistencia del suelo. Por esta razón el intercambio catiónico forzado se ha usado y se usa para tratar suelos

con fines de mejorar su comportamiento mecánico. La “capacidad de cambio” (tabla II.1 y tabla II.2) de cationes de un mineral describe su aptitud para adsorber cationes. Se suele expresar en miliequivalentes por cada 100 g. de suelo seco. (Jiménez y De Justo, 1975)

*Tabla II.1 Capacidad de intercambio de cationes de minerales arcillosos en miliequivalentes por 100 gr. (Jiménez De Justo, 1975)*

Cuarzo (mineral masivo)...	0.004-0.3
Talco.....	<2
Pirofilita.....	<1-5
Caolinita.....	2.2-15
Metahalloysita.....	5-10
Illita y clorita.....	10-40
Sepiolita y atapulgita.....	20-30
Halloysita.....	10-50
Alofana.....	20-43
Montmorillonita.....	75-150
Vermiculita.....	100-150

*Tabla II.2 Valores de la capacidad de cambio de aniones de algunos minerales arcillosos en miliequivalentes por 100 gr. (Jiménez y De Justo, 1975)*

Caolinita.....	6.6-20.2
Halloysita.....	80
Montmorillonita.....	23-31
Vermiculita.....	4

### **II.3.1.2 Fuerzas fisicoquímicas actuantes entre las partículas de arcilla**

Según la experimentación realizada hasta el momento; parece ser que entre ellas destacan las fuerzas de la doble capa y las fuerzas en los contactos.

La capa doble

Las partículas de arcilla suelen presentar una carga neta negativa que es neutralizada por los cationes de cambio. En una arcilla los cationes de cambio son atraídos hacia las partículas arcillosas debido a la carga negativa de éstas. A esta atracción se opone la tendencia de los cationes a repartirse por igual en la fase líquida del sistema. El resultado es una distribución difusa de los iones alrededor de las partículas arcillosas: la concentración de cationes disminuye a medida que nos alejamos de la superficie de la partícula. Se forma una doble capa eléctrica: negativos en la partícula arcillosa y positiva en la zona próxima a ella en que la concentración de cationes es alta; de ahí su nombre de “doble capa difusa”.

Las fuerzas en los contactos

Thiessen ha demostrado experimentalmente que las micelas de oro con carga negativa se adsorben tan solo en los bordes de las partículas de caolinita. También demostró que los coloides de plata positivos se adsorben en las caras y en los bordes de las partículas. Esto prueba que las caras carga negativa, mientras que en los bordes las hay positivas y negativas.

Van Olphen, Meldau y Robertson demostraron la misma cosa en montmorilonitas. Alrededor de estas cargas positivas se forman también diminutas dobles capas. Ellas son, probablemente, las responsables de la adsorción de aniones.

Entre las cargas positivas de los bordes y las negativas de las caras y bordes de partículas próximas se originan fuerzas atractivas que pueden originar los contactos cara-borde o borde-borde. El número de cargas positivas en los bordes aumenta considerablemente al disminuir el pH del líquido. (Jiménez y De Justo, 1975)

### **II.3.1.3 Sinéresis. Arcillas fisuradas**

La sinéresis es la retracción espontánea de un gel, debida a la atracción existente entre sus partículas. No tiene que ver con la desecación, pues se produce estando el gel sumergido en líquido.

Es muy intensa en muchos geles de sílice, donde fue estudiada por primera vez, pero también se produce muy atenuadamente, en ciertas arcillas. La

disminución de volumen consecuente se supone que es la causa de la existencia de las arcillas fisuradas. Estas arcillas con aspecto de masas homogéneas, se fracturan, al ser excavadas, en bloques de tamaño bastante uniforme que indica que están previamente determinados por superficies de debilidad. A veces y según la posición, estas fisuras están, o han estado, ligeramente abiertas, y se aprecia que están teñidas de colores amarillos o rojizos dentro de una masa gris.

La existencia de fisuras en una masa arcillosa hace que sea incapaz de soportar por largo tiempo la más mínima tracción, pues las fisuras se van abriendo.

#### **II.3.1.4 *Relaciones entre las partículas cristalinas de arcilla y el agua.***

Cuando una partícula cristalina de arcilla queda rodeada de agua, los átomos de oxígeno del cristal quedan en la superficie de estos, como consecuencia de su constitución interna. Si el cristal se considerase como un ente ideal sería eléctricamente neutro, con todas sus cargas eléctricas positivas y negativas balanceadas.

Aunque en la realidad es otra y en los vértices y aristas de los cristales se rompe de hecho la continuidad de la estructura, por lo que verdaderamente se tiene, por lo menos en estas zonas, cargas desbalanceadas, es una hipótesis razonable y muy simplificada en un análisis elemental el considerar el cristal en conjunto es neutro. Las cargas negativas de los átomos de oxígeno en consecuencia, crean en la superficie del cristal real, un campo eléctrico hacia el exterior, con lo cual las moléculas del agua vecina se ionizan, de manera que los iones de hidrógeno positivos resultan captados por el cristal, así como también lo hacen los cationes que pudieran haber en disolución en el agua. La atracción eléctrica del cristal disminuye rápidamente con la distancia, de manera que la concentración de cationes en la atmosfera del cristal disminuye también. Puesto que el agua que rodea al cristal es, por lo menos en principio, eléctricamente neutra, la concentración de iones positivos cerca del cristal debe estar balanceada por un número igual de iones negativos moviéndose libremente en el fluido. (Jiménez y De Justo, 1975)

### II.3.1.5 Actividad de las arcillas

Skempton encontró que si se toma una serie de muestras de un estrato de arcilla, y se representa en abscisas la fracción granulométrica de arcilla, y en ordenadas el índice de plasticidad, se obtiene una serie de puntos que oscilan alrededor de una recta que pasa por el origen. El coeficiente angular de la recta fue designado por él con el nombre de “actividad” de la arcilla (ecuación II.1).

$$Actividad = \frac{Indicedeplasticidad}{fracciónde arcilla} \quad [ II.1 ]$$

Ahora bien, como cuanto mayor es el índice de plasticidad más pronunciadas son las propiedades coloidales de la arcilla, este número es una medida de su actividad coloidal, que, como sabemos reside en su fracción inferior a dos micras. En la tabla II.3 se dan valores de la actividad de algunos minerales constituyentes de los suelos.

*Tabla II.3 Actividad de algunos minerales constituyentes de los suelos (Jiménez y De Justo, 1975)*

Cuarzo	0.0
Halloysita	0.02-0.07
Metahalloysita	0.07-0.16
Calcita	0.18
Mica (moscovita)	0.23
Caolinita	0.01-0.41
Ilita	0.23-0.80
Atapulgita	0.57-1.23
Montmorillonita (Ca, Mg, K, NH <sub>4</sub> )	0.32-3.09
Montmorillonita (Na, Li)	1.12-11.5

### **II.3.1.6 Tixotropía**

La tixotropía en el suelo se emplea para describir un aumento de la resistencia con el tiempo sin variar su composición, la tixotropía se puede definir desde un punto de vista geotécnico como el proceso de ablandamiento del suelo cuando es remoldeado y el tiempo en que empieza a retomar gradualmente su resistencia natural cuando se deja en reposo, la tixotropía de un material está en función del tiempo de reposo del material, de lo difícil de su condiciones originales, su contenido de agua y la porosidad del material (Romero 2008).

### **II.3.1.7 Succión**

La succión en suelos no saturados está compuesta por la succión matricial ( $S_m$ ) y la succión osmótica ( $S_{osm}$ ) y la suma de ambos componentes se denomina succión total ( $S_t$ ). En ese contexto, la magnitud de la succión total corresponde al trabajo total de las fuerzas de capilaridad, absorción y osmosis. La succión total, se representa en unidades de presión y puede ser expresa:  $S_t = S_m + S_{osm}$  (Alfaro, 2008).

Succión matriz.- Se define como la presión negativa que debe aplicarse al agua que tiene una composición idéntica a la del suelo, para que alcance el equilibrio con ésta a través de una membrana semipermeable. Esta succión depende de las fuerzas de atracción entre el agua y los cationes del suelo, de las fuerzas de tensión superficial y de las cargas externas.

Succión osmótica.- Se define como la presión negativa a la cual debe someterse el agua químicamente pura, para que esté en equilibrio, a través de una membrana semipermeable, con el agua del suelo. Esta componente depende de la presencia de sales disueltas en el agua del suelo y no depende de la sobrecarga; para la mayoría de los efectos prácticos, esta componente se puede despreciar.

Succión total del suelo (h).- El término succión total del suelo se define como la presión negativa, con respecto a la presión externa (atmosférica), que debe aplicarse al agua químicamente pura que se encuentra en un depósito, para que alcance el equilibrio con el agua del suelo a través de una membrana semipermeable (permite únicamente el paso a moléculas de agua). La succión total también se expresa como la suma de dos componentes: succión matriz y succión osmótica (Coronado y Ruiz, 1987).

## **II.4 ESTABILIZACIÓN DE SUELOS.**

### **II.4.1 *Con cemento portland***

Comúnmente se piensa que la mejoría en las propiedades ingenieriles en un suelo tratado con cemento, se debe principalmente al endurecimiento del cemento portland, pero a la fecha se sigue discutiendo acerca de los procesos que tienen lugar durante la hidratación del cemento en presencia de arcillas. Si el endurecimiento de la mezcla de suelo-cemento se debiese solamente a la hidratación del cemento, podría considerarse al suelo como un componente químicamente inerte. Las partículas de cemento hidratado ligarían a los granos adyacentes de suelo y formarían un esqueleto más o menos continuo de un material duro resistente que encerraría a una matriz de suelo inalterado químicamente. También podría este esqueleto sellar vacíos en el suelo con el que éste sería más impermeable y en consecuencia más resistente a los efectos propiciados por los cambios de humedad. Si además del endurecimiento, se presentan reacciones adicionales entre los componentes del cemento y de la arcilla, se obtendría un material adicional cementante que contribuiría no solamente a la unión entre las partículas del suelo y las del cemento endurecido. Al mismo tiempo, la arcilla que participa en tales reacciones podría sufrir alteraciones, se volvería menos plástica y menos expansiva al quedar en contacto con la humedad. Un prerequisite esencial en la formación de materiales cementantes adicionales en una arcilla estabilizada con cemento, es que se tengan presentes en la arcilla sílice y alúmina solubles. Algunos de los factores

que ejercen influencia sobre la solubilidad son: el grado de cristalización de los minerales, impurezas, distribución y tamaño de las partículas. (Fernández, 1982) Durante el endurecimiento de una mezcla de arcilla y cemento portland, se pueden distinguir un proceso primario y uno secundario. Como reacción primaria se tiene la hidratación del cemento, este proceso formaría inicialmente a los productos usuales en la hidratación pero adicionalmente incrementaría el valor del pH en el agua de moldeo; durante este período se forma hidróxido de calcio que reacciona más fácilmente que la cal ordinaria. Las partículas de la arcilla participan entonces en el proceso secundario, que consiste en que los iones de calcio producidos durante la hidratación del cemento atacan a la arcilla tendiendo a intensificar la floculación iniciada por el incremento en la proporción de electrólito que acompaña a la adición del cemento.

El hidróxido de calcio inicia el ataque de las partículas arcillosas y de los constituyentes amorfos, se combina la sílice y la alúmina disueltas con los iones de calcio y se precipitan formando un material cementante adicional. El hidróxido de calcio utilizado en el proceso secundario es proporcionado por la cal liberada durante la hidratación del cemento; en esta forma los productos de la reacción primaria proporcionan el reactivo necesario para la continuación del proceso secundario. Debido a que la materia cementante secundaria se formaría sobre o cerca de la superficie de las partículas arcillosas, una vez floculadas estas, se pegarían en los puntos de contacto gracias a la formación de los materiales cementantes secundarios, por lo que puede esperarse que se desarrollen uniones muy fuertes entre la pasta de cemento hidratado y las partículas arcillosas que cubren los granos de cemento endurecido. Los procesos secundarios aumentan la resistencia y la estabilidad de la mezcla obtenida en el proceso primario. Algunos autores afirman que la mayor reactividad se presenta con las arcillas de tipo montmorilonítico siguiendo en orden las del tipo de las caolinitas y finalmente las illitas. Esto podría esperarse debido a que las montmorilonitas presentan la capacidad de intercambio catiónico mayor. (Fernández, 1982)

#### **II.4.2 Con productos asfálticos**

La estabilización con productos asfálticos ha sido uno de los métodos más usuales para mejorar la calidad de materiales para bases y sub-bases de pavimentos. Una de las principales razones son sus cualidades cementantes y de impermeabilización, siendo en el caso de las gravas, arena y limos, es decir en materiales no cohesivos o con pocos finos cohesivos, en los que la acción cementante juega un papel importante; la impermeabilización se aplica principalmente al caso de suelos cohesivos a los que se desea proteger de cambios en la estabilidad por efectos de la humedad, conservándolos lo más secos que se pueda y en el estado en que fueron compactados, o bien en el estado en que se encuentren en la naturaleza. (Fernández, 1982)

De las teorías que se presentan para explicar los mecanismos de estabilización con asfalto, las que parecen tener mayor aceptación son las de, “mezcla íntima” y la de “taponamiento”. Se ha encontrado que los agregados granulares se adaptan mejor a la primer teoría que se basa en que estos quedan cubiertos y pegados unos con otros. En el caso de los suelos finos, esto no sería posible debido a su gran área específica, lo que se traduce en contenidos de asfalto muy altos, además de la dificultad que presentan para su separación en partículas individuales; resumiendo el mecanismo referido como “mezcla íntima” se refiere a que el asfalto se mezcla con los materiales granulares, cubre sus partículas y funciona como cementante e impermeabilizante. El mecanismo de “taponamiento” funciona con suelos que contienen arcilla; el asfalto cubre a los grumos y actúa como impermeabilizante al tapar los vacíos, es decir que el objetivo del asfalto es reducir la entrada del agua a los grumos arcillosos, aunque también se admite alguna cementación entre los grumos, propiciada por el asfalto. Los tipos de productos asfálticos que generalmente se utilizan en la estabilización de suelos, ya sea a temperaturas ambiente o ligeramente elevadas, son los asfaltos rebajados y las emulsiones en sus diferentes variedades. (Fernández, 1982)

### **II.4.3 Con cal**

En el tratamiento de suelos arcillosos mediante el uso de cal, pueden obtenerse alguno o varios de los efectos siguientes:

- Se reduce el índice plástico en forma considerable; esto se debe generalmente a un pequeño incremento en el límite plástico y una considerable reducción del límite líquido.
- El agua y la cal colaboran para acelerar la disgregación de los grumos de arcilla durante la operación de pulverización, lo cual facilita la trabajabilidad.
- Se reducen los efectos aglomerantes.
- En áreas pantanosas o en donde los suelos tienen humedades superiores a la óptima, la aplicación de la cal facilita el disgregado del suelo, lo que a su vez propicia un secado más rápido.
- Las contracciones y expansiones debidas a cambios de humedad se reducen considerablemente.
- La resistencia del suelo a la compresión se incrementa. Asimismo también el valor relativo de soporte se incrementa.
- La capa estabilizada proporciona una excelente plataforma de trabajo para la construcción de las capas superiores de la sección estructural en un camino.

#### **II.4.3.1 Acción de la cal sobre las arcillas**

Montmorilonita. Las montmorilonitas se presentan como fuertemente reactivas con la cal, sufriendo profundas modificaciones al quedar en contacto con ella. Al sustituir un ion trivalente ( $Al^{+++}$ ) por un ion divalente ( $Mg^{++}$ ), sustitución isomorfa, se provoca una compensación mediante la entrada de iones positivos entre las láminas, produciéndose, entre estas, ligas relativamente débiles. La circulación de la solución de  $Ca(OH)_2$ , entre las láminas de arcilla, se lleva a cabo en una forma rápida, de tal manera que la superficie en contacto con la solución agresiva sufre cambios prácticamente inmediatos, del tipo de intercambio catiónico, y una lenta acción puzolánica.

Caolinita. La unión entre las láminas de caolinita es del tipo hidrógeno. El ion  $H^+$  sufre la atracción de los oxígenos de dos láminas. Este tipo de unión es notablemente más fuerte que en el caso de las montmorilonitas, la solución de ataque no puede circular libremente entre las láminas; el mineral arcilloso es entonces atacado progresivamente por los bordes y caras expuestas. Hay que tomar en cuenta que si la arcilla contiene carbonatos en exceso, se puede tener que éstos presenten un comportamiento diluyente y protector, es decir, que el hidróxido de calcio no pueda reaccionar inmediatamente con los minerales arcillosos debido a la presencia de dichos carbonatos.

Ilita. La ilita mostró una cierta pasividad en contacto con la cal J. B. Croft, ha demostrado que es necesario esperar 60 semanas y aún más, para poder observar un aumento sensible en las resistencias a la compresión, lo que indica el ataque al mineral arcilloso y la aparición de un cemento de silicatos y aluminatos de calcio hidratados. En este caso, además de la estructura muy cerrada de la ilita es posible que la presencia de azufre, movilice una parte de la cal para formar sulfatos, lo que contribuye aún más a disminuir las posibilidades de reacción del mineral arcilloso con la cal. (Fernández, 1982)

La acción de la cal sobre las arcillas podría resumirse en las siguientes dos fases:

- En una primera etapa se tiene una reacción iónica. La adición de cal a una arcilla corresponde a un aporte masivo de iones  $(OH)^-$  y  $Ca^{++}$ . Los cationes de calcio se unen a las superficies de las láminas arcillosas por los efectos de intercambio catiónico; desarrollando fuerzas eléctricas suficientes para contribuir a la formación de puentes que unen las partículas arcillosas. Esta acción análoga a una floculación, ayuda en edades tempranas a modificar al material aumentando o reduciendo el límite líquido y aumentando en mayor escala al límite plástico. Asimismo el suelo se vuelve menos sensible al agua.
- Una segunda etapa, durante la cual, las arcillas reaccionan en forma más o menos vigorosa de acuerdo con la naturaleza del mineral arcilloso. Esta reacción se traduce por una degradación más o menos acelerada del

mineral arcilloso y la aparición de especies minerales nuevas, responsables del aumento en la resistencia a la compresión simple, (acción puzolánica).

Concluyendo se podría decir que las caolinitas se revelan como un mineral poco sensible a la cal comparadas con las montmorilonitas, necesitando de tiempos de contacto largos para sufrir modificaciones. Las montmorilonitas son minerales altamente reactivos con cal. La illita es un mineral arcilloso que reacciona más difícilmente con la cal. La cal al modificar la composición mineralógica de la arcilla modifica sus respuestas al agua reduciéndose la plasticidad y teniéndose menores cambios volumétricos por variaciones en la humedad. (Fernández, 1982)

#### **II.4.3.2 *Diseño de la estabilización***

Son diferentes los criterios para la elección del contenido óptimo de cal, ya que son muy diversos los factores que en ello influyen, destacándose entre otros el contenido de materia orgánica, porcentajes de los diferentes minerales arcillosos presentes en el suelo, características que se desee modificar en el suelo, tipo de cal, porcentaje de finos y gruesos en el suelo a tratar. Los procedimientos empleados para determinar la efectividad de la reacción suelo-cal son también muy variados, algunos de ellos requieren el empleo de técnicas muy especializadas. Cualquiera que sea el procedimiento empleado para el estudio de la estabilización, es conveniente mencionar que existe un punto en el contenido de cal, más allá del cual, la cal prácticamente no produce mejorías notables en el material, al menos a corto plazo. A este punto se es a lo que se conoce como “Punto de Fijación” y significa que en este contenido de cal se ha satisfecho la reactividad potencial de los minerales arcillosos, e inclusive la de la materia orgánica. (Fernández, 1982)

El proceso de diseño del Método de California, realiza varias pruebas en el suelo que sirven para el diseño de la estructura del pavimento. Dichas pruebas son en síntesis las siguientes:

- Determinación de la estabilidad del suelo compactado, introduciendo especímenes de éste en una cámara como la mostrada en la figura II.9.

Se aplica una carga vertical, que provoca el desplazamiento lateral del suelo, deformando a la membrana y comprimiendo al líquido que produce una presión, la cual se registra en el manómetro. Con los datos obtenidos se calcula el valor “R” de estabilidad.

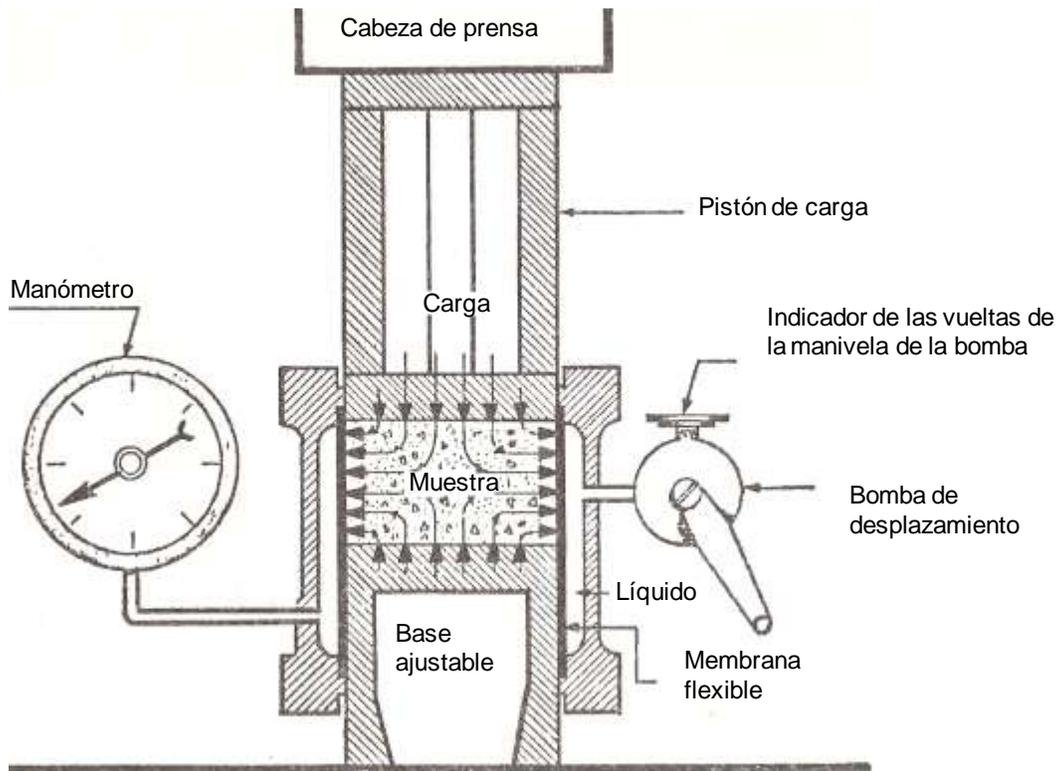


Figura II.9 Esquema del Estabilómetro de Hveem (Fernández, 1982)

- Determinación de lo que se conoce como valor de cohesiómetro mediante el empleo del aparato ilustrado en la figura II.10. Se coloca un espécimen de suelo compactado entre dos mordazas, una de ellas fija y la otra móvil; la mordaza móvil es accionada por un flujo de perdigones que se interrumpen automáticamente al fallar el espécimen a la tensión. Con los datos obtenidos se calcula el valor de cohesiómetro.

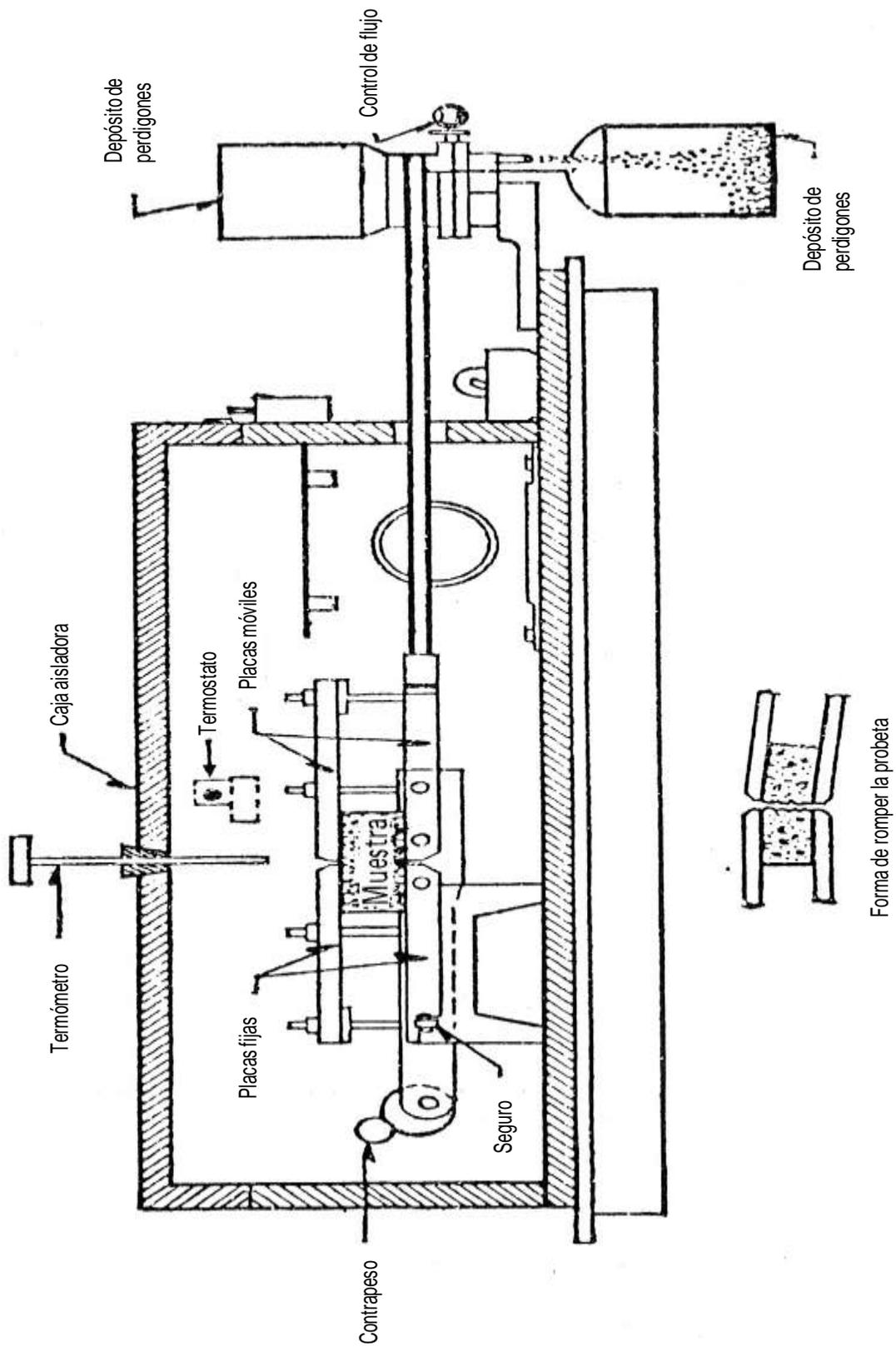


Figura II.10 Esquema del cohesiómetro de Hveen (Fernández, 1982)

- Determinación de la presión de expansión, colocando al espécimen en un molde; sobre el espécimen se colocan unos dispositivos que impiden su expansión vertical, pero que registran las presiones de expansión producidas al saturar al espécimen, ver la figura II.11.

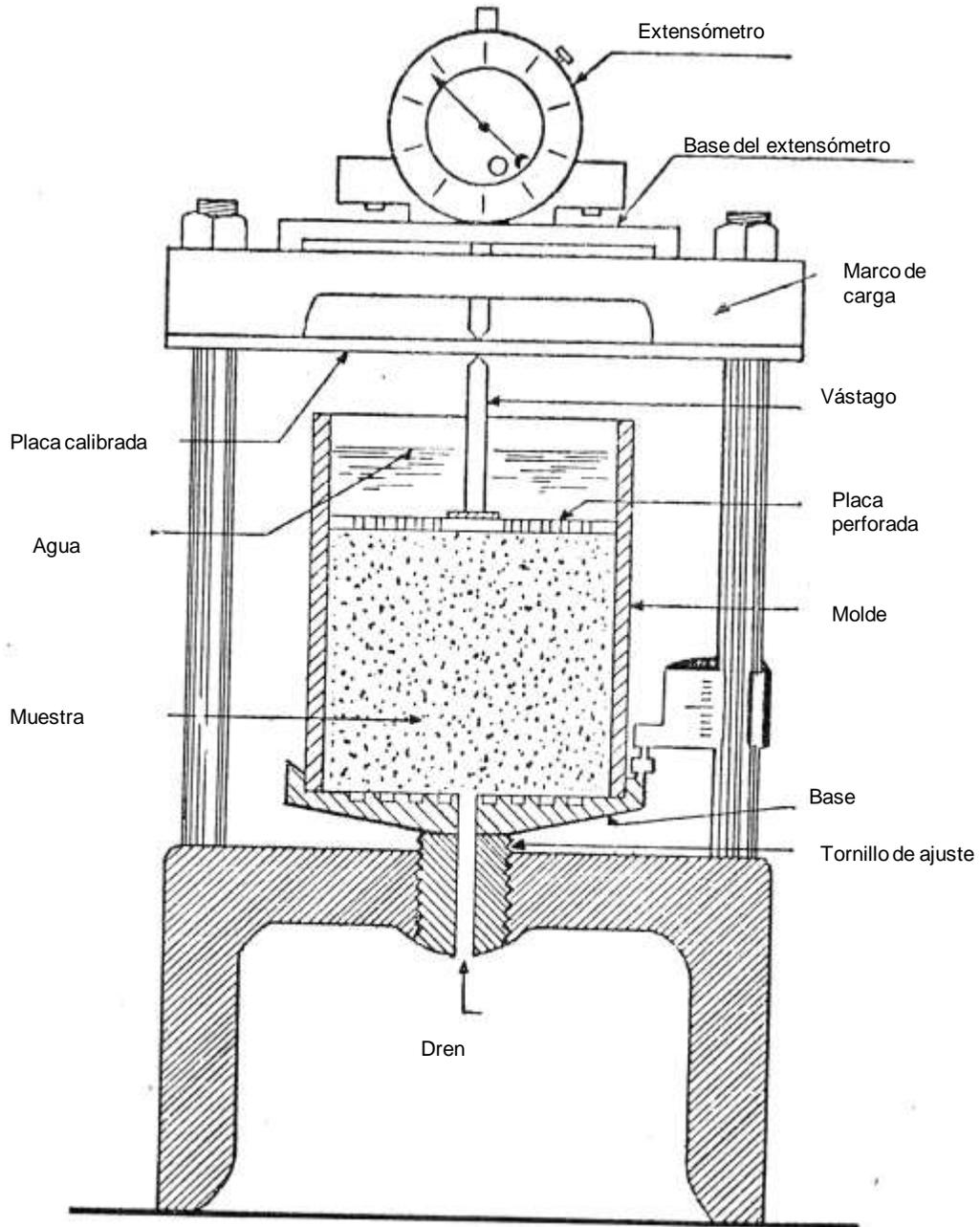


Figura II.11 Esquema del Expansiómetro de Hveen (Fernández, 1982)

- Determinación de la presión de exudación, mediante la medición de la carga necesaria para provocar la expulsión de agua en el espécimen. Dicha medición se lleva a cabo mediante el empleo de dispositivos electrónicos.
- Determinación de pesos volumétricos.

El método mencionado no es, desde luego, el único empleado para el diseño de la estabilización sino que actualmente se cuenta con un número considerable de ellos. (Fernández, 1982)

#### **II.4.3.3 Reacciones suelo – cal**

Las reacciones que ocurren dentro del proceso de estabilización de suelos con cal comprenden un conjunto de procesos físico químicos que han sido referidos en la literatura con los siguientes términos:

- **Mejoramiento:** son los fenómenos que ocurren inmediatamente al agregar la cal, también denominados “de corto plazo” tales como floculación y aglomeración de partículas, disminución de plasticidad y potencial de hinchamiento, aumento de la trabajabilidad, durabilidad y constancia volumétrica. Existe alguna controversia al respecto de las causas por la que ocurren estos fenómenos. La mayoría de los investigadores coinciden en que se producen reacciones químicas como el intercambio catiónico, por el cual los minerales arcillosos, constituidos por láminas de sílice y alúmina negativamente cargadas, compensan dicha carga mediante la adsorción de los iones solubles de la fase líquida del suelo (Quintana, 2005).
- **Cementación:** comprende los fenómenos denominados de largo plazo, consistentes en una serie de reacciones químicas entre la sílice y la alúmina del suelo y la cal, denominadas reacciones puzolánicas. Estas reacciones comprenden la solubilización de los compuestos de sílice y alúmina amorfos o débilmente cristalizados en la solución de hidróxido de

calcio, generándose aluminosilicatos dicálcicos y tricálcicos similares a los obtenidos en el fraguado del cemento Pórtland. Los beneficios que trae aparejada la cementación puzolánica a medida que la reacción progresa en el tiempo son: una continuación de la reducción en plasticidad y potencial de hinchamiento y en el incremento en el tamaño efectivo de grano y la trabajabilidad y un sustancial incremento en la resistencia al corte y rigidez de la mezcla (Quintana, 2005).

- Carbonatación de la cal utilizada en la mezcla, por reversión del hidróxido de calcio a carbonato de calcio, mediante la reacción de la cal con el anhídrido carbónico atmosférico. Esta reacción es perjudicial durante la fase constructiva del suelo cal ya que el carbonato de calcio es un cementante débil, que extrae el calcio libre necesario para el proceso de estabilización (Quintana, 2005).

Las reacciones más comunes que ocurren cuando se estabiliza un material arcilloso con hidróxido de calcio se da por las siguientes reacciones:



La descomposición del hidróxido de calcio en iones calcio e hidroxilos como se muestra en la reacción (1), en la reacción (2) se presenta un gel de baja cristalinidad de silicato de calcio hidratado SCH. En la reacción (3) se observa la formación de aluminatos de tricalcicos hidratados ACH, (Munive et al, 2010).

## II.5 CARACTERÍSTICAS DE LA CAL

La cal es uno de los productos químicos más antiguos conocidos por el hombre. Su producción y usos se han incrementado a través del tiempo y continúa ocupando un lugar esencial en la industria moderna. La misma es empleada en una amplia gama de industrias con diversos fines.

La cal proviene de la piedra caliza o carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ). Las principales características de este material es que posee una alta alcalinidad (pH 12) y cuenta con propiedades aglomerantes.

La fabricación de la cal comienza con la calcinación de piedra caliza, la cual libera dióxido de carbono y se convierte en cal viva u óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ), esta cal viva es un producto químicamente inestable que al agregarle agua, en el proceso conocido como hidratación, se convierte en hidróxido de calcio  $\text{Ca(OH)}_2$ , comúnmente llamada cal apagada, cal aérea o cal hidratada.

La cal hidratada es un hidróxido que en solución de agua es un alcalino, que disminuye el valor del pH, absorbiendo iones de Hidrógeno.

Durante el proceso de hidratación o apagado la cal libera rápidamente una gran cantidad de calor. Una vez apagada, la misma reacciona con el dióxido de carbono del aire ( $\text{CO}_2$ ), proceso que se denomina recarbonatación, y vuelve a formar carbonato de calcio adquiriendo las propiedades que poseía originalmente como piedra.

Existen tres tipos de cales:

Cal viva cálcica.

La cal viva cálcica es obtenida mediante la calcinación de piedras calizas de elevada pureza, con un contenido superior al 95 % de óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ), razón por la cual se denominan cales cálcicas.

Cal viva dolomítica.

La cal viva dolomítica es obtenida mediante la calcinación de piedras calizas con contenido de magnesianas (dolomitas), pueden contener hasta un 50 % de óxido de magnesio ( $\text{MgO}$ ) pero sólo un 10 % de éste óxido es suficiente para lograr una cal dolomítica. De acuerdo al origen de las calizas pueden también

contener arcilla. Su característica principal es la presencia de óxido de magnesio y su hidratación más lenta.

Cal hidratada.

La cal aérea hidratada es un fino polvo blanco producido por la calcinación de piedras calizas de alta pureza las cuales contienen más del 95 % de óxido de calcio (CaO), resultando de este proceso cal viva cálcica. La cal viva cálcica se hidrata mediante la incorporación de agua (H<sub>2</sub>O), proceso que genera un desprendimiento de calor. (CEFAS, 2011)

El producto de la reacción química al agregado de agua es el hidróxido cálcico, Ca(OH)<sub>2</sub>, y se denomina cal aérea hidratada o cal apagada (CaO + H<sub>2</sub>O Ca(OH)<sub>2</sub>).

Químicamente hablando, la cal se relaciona solamente con el óxido de calcio (CaO); sin embargo, en el uso común, el término incluye los productos de la calcinación de calizas calcínicas o dolomíticas.

Las cales calcínicas (alto contenido de calcio) se obtienen mediante la calcinación de rocas calcáreas, las cuales contienen del 95 al 99% de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>). Las cales dolomíticas se obtienen de la calcinación de calizas dolomíticas o de dolomitas que contengan de 30 a 40 % de carbonato de magnesio (MgCO<sub>3</sub>), siendo el resto, carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>).

A presión atmosférica, las calizas calcínicas se descomponen a una temperatura de 880 a 900°C para formar óxido de calcio (CaO) y bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). La descomposición de la dolomita CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> es un proceso que se realiza en dos etapas. A la temperatura de 730°C aproximadamente, la dolomita se descompone para formar óxido de magnesio (MgO) y bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>). Es necesario elevar posteriormente la temperatura hasta aproximadamente 900°C para descomponer el carbonato de calcio como anteriormente se mencionó.

La máxima temperatura a que se sujetan las rocas calizas durante la calcinación afecta grandemente a las propiedades de los óxidos obtenidos. El tiempo de duración de la calcinación es también importante (tiempo de retención).

Sin embargo se ha encontrado que el tiempo de retención, produce efectos mucho menores que la temperatura de calcinación, en las propiedades de los óxidos obtenidos. Frecuentemente se utilizan los términos de “quemado suave” o “quemado fuerte” para describir la intensidad de calor empleado durante la calcinación. Las cales obtenidas de un quemado fuerte (temperaturas más altas) son más densas y menos activas que las cales obtenidas de quemado suave (temperaturas menos altas), debido a la “sinterización de los óxidos”(unión de las superficies de las partículas de un polvo compacto cuando se calientan).

Los mecanismos involucrados en la sinterización son sumamente complejos, pero los resultados usuales son que se tienen incrementos en el peso específico, menor porosidad, y un mayor crecimiento tanto de las partículas como de los cristales de los óxidos. Estos cambios hacen que la reactividad del producto sinterizado sea menor.

La presencia de impurezas incrementa la susceptibilidad a la sinterización del compuesto puro; y en general mientras más alta sea la temperatura de calcinación, mayor será la posibilidad de sinterización. Como ya se mencionó anteriormente, se deberá alcanzar cuando menos una temperatura de 900°C para descomponer totalmente a una caliza calcítica. Esta temperatura también será necesaria para calcinar una caliza dolomítica, pero debido a que esta temperatura es mayor que la necesaria para la formación de óxido de magnesio (MgO), este sufre una sinterización muy severa. En consecuencia, las temperaturas de calcinación muy altas tienen un efecto definitivamente negativo en la reactividad de cales dolomíticas y específicamente en el componente MgO. Parte de este decremento en la reactividad de óxido de magnesio se ha atribuido también a la obtención de cristales mayores a medida que se incrementa la temperatura de calcinación y el tiempo de retención.

Al reaccionar la cal con el agua se produce su hidratación, lo que se acompaña por un incremento en volumen. La reacción, que se presenta es exotérmica, mayor en el óxido de calcio, que en el de magnesio; esta es tal vez la causa de que la hidratación del MgO sea más lenta. Existe la probabilidad de que

también tenga una importancia decisiva el sobrecalentamiento del óxido de magnesio durante la calcinación. (Fernández, 1982)

### **II.5.1 Diferentes usos de la cal en la industria**

#### **Industria Minera**

Tanto la cal viva como la hidratada son ampliamente utilizadas en la extracción de minerales no ferrosos. Por ejemplo: en el proceso de flotación del cobre, la cal actúa como agente estabilizador y mantiene la alcalinidad en niveles adecuados; en la extracción del mercurio, la cal se usa para eliminar el azufre; en la extracción de oro y plata, la cal es utilizada para disminuir las pérdidas de los agentes flotantes y el control del pH; tanto en la extracción de zinc como de níquel y plomo, entre otros minerales, también se emplea cal

#### **Industria del Acero**

La cal viva cálcica y la cal viva dolomítica son comúnmente utilizadas en hornos convertidores de oxígeno (BOF) y hornos eléctricos (EAF), donde ayudan a la formación de escoria para eliminar impurezas como silicón y fosfuros. La cal también se utiliza para mejorar la productividad en el proceso de aglomeración del mineral.

#### **Industria del Papel**

La cal es utilizada en la reconstitución de la solución de soda cáustica durante el proceso de elaboración de la pulpa. Se emplea también como reactivo en el proceso de suavizado de agua de proceso.

La Cal es también utilizada en el proceso de fabricación de carbonato de calcio precipitado, este es un aditivo utilizado en la fabricación de papel para realzar su blancura y textura.

## Industria Alimenticia

En los procesos de almacenamiento de frutas y vegetales frescos, los mismos son colocados en recipientes con cal hidratada dentro de cámaras de refrigeración con el objeto de absorber el dióxido de carbono que estas exudan tales. De esta forma se mantienen las cámaras con un ambiente rico en oxígeno y bajo en dióxido de carbono que permite conservar frescos los alimentos por períodos más largos.

En la producción de azúcar de caña, el crudo de los jugos de azúcar se reactiva mediante el uso de cal, formando un sucarato de calcio insoluble, el cual luego es filtrado para retirar materiales fosfáticos y ácidos orgánicos. Posteriormente el sucarato de calcio reacciona con dióxido de carbono produciéndose sacarosa y carbonato de calcio.

## Industria del Vidrio

En la industria del vidrio se utiliza cal dolomítica de alta pureza, como fuente de magnesio, la misma actúa como estabilizador mejorando la resistencia del vidrio al ataque químico y del medio ambiente.

## Industria de la Pintura

La cal se utiliza en la mayoría de las composiciones de pinturas a base de agua. Posee además diversos usos en la fabricación de pinturas, ya sea como agente protector, componente de pigmento, reactivo químico o aglutinante. Asimismo, es utilizada en la producción de diversos pigmentos.

## Industria Química

La cal tiene numerosas aplicaciones en la industria química gracias a sus propiedades y precio competitivo.

Se emplea en la producción de químicos tales como óxido de propileno, carbonato de sodio y glicerina, así como reactivo en la producción de compuestos a base de calcio y en procesos donde se requieren cambios de pH. La mayoría de las aguas de proceso en la industria química requieren de tratamientos con cal

para corregir su pH y contenido de minerales. Las aguas residuales ácidas también pueden ser tratadas con cal antes de ser recicladas o desechadas.

#### Agroindustria

Diversas mezclas de cal, piedra caliza y dolomita son utilizadas en la agricultura y el tratamiento de bosques. En ambos casos mediante su utilización, se regula la acidez de los suelos y aportan nutrientes tales como magnesio y calcio.

Estos nutrientes son esenciales tanto para el saludable crecimiento de las plantas como para incrementar el rendimiento de las explotaciones agrícolas.

#### Neutralización de Ácidos

En los procesos industriales se generan desperdicios ácidos, que requieren su posterior neutralización. Para lograr esto, la neutralización con cal es la mejor solución.

La neutralización de desperdicios ácidos, requiere elevar el pH, usualmente mediante la adición de un químico alcalino como la cal. Aunque existen otros productos químicos que pueden ser utilizados, estos presentan algunos problemas tales como su alto costo, compleja manipulación, alta cantidad de sólidos disueltos en los efluentes, etc. Por tales razones es que la cal es el material de neutralización más utilizado.

#### Residuos químicos, orgánicos y radioactivos

La cal es utilizada en el tratamiento de residuos de ácidos orgánicos e inorgánicos y en la producción de productos químicos y farmacéuticos, los cuales son neutralizados antes de su deposición. Asimismo, la cal es también utilizada para el tratamiento de animales muertos que hayan tenido contacto con radiación.

#### Residuos Peligrosos

La cal se emplea en el tratamiento de una amplia variedad de desechos peligrosos, como agente neutralizante y/o precipitante de metales pesados.

#### Deshidratación

Las cales vivas reaccionan ante el contacto con el agua incrementando la temperatura y consumiendo la misma. Por su parte, las cales hidratadas poseen un alto poder de absorción de la humedad. Ambos tipos de cales son utilizados en diversos procesos productivos para deshidratación. (CEFAS, 2011)

## **II.6 COMPACTACIÓN DE LOS SUELOS ARCILLOSOS.**

Se entiende por compactación de los suelos el mejoramiento artificial de sus propiedades mecánicas por medios mecánicos.

La importancia de la compactación de los suelos estriba en el aumento de resistencia y disminución de capacidad de deformación que se obtiene al sujetar el suelo a técnicas convenientes que aumenten su peso específico seco, disminuyendo sus vacíos. (Juárez y Rico, 2009)

### **II.6.1 Pruebas de compactación**

Actualmente existen muchos métodos para reproducir, al menos teóricamente, en el laboratorio condiciones dadas de compactación de campo. Todos ellos pensados para estudiar, además los distintos factores que gobiernan la compactación de los suelos. Históricamente, el primer método, en el sentido de la técnica actual, es el debido a R.R. Proctor y es conocido hoy en día como Prueba Proctor estándar. La prueba consiste en compactar el suelo en cuestión en tres capas, dentro de un molde de dimensiones y forma especificadas, por medio de golpes de un pisón, también especificado, que se deja caer libremente desde una altura prefijada.

El molde es un cilindro de 0.94 litros de capacidad aproximada, de 10.2 cm. de diámetro y 11.7 cm. de altura, provisto de una extensión desmontable de igual diámetro y 5 cm de altura. El molde puede fijarse a una base metálica con tornillos de mariposa.

El pisón es de 2.5 kg. De peso y consta de un vástago en cuyo extremo inferior hay un cilindro metálico de 5 cm. de diámetro. Los golpes se aplican dejando caer el pisón desde una altura de 30.5 cm. Dentro del molde el suelo

debe colocarse en tres capas que se compactan dando 25 golpes, repartidas en el área del cilindro, a cada una de ellas.

Con los datos anteriores la energía específica de compactación es de 6 kg-cm/cm<sup>3</sup>, calculada con la ecuación II.2:

$$E = \frac{NnWh}{V} \quad [ II.2 ]$$

En donde:

*E = Energía específica*

*N = Número de golpes por capa*

*n = Número de capas de suelo*

*W = Peso del pisón*

*h = Altura de caída libre del pisón*

*V = Volumen del suelo compactado*

Los datos que determina la energía específica en la prueba, fueron establecidos originalmente por Proctor como los adecuados para reproducir los pesos específicos secos que podían lograrse económicamente (es decir, con un número moderado de pasadas) con el equipo comercialmente disponible en aquella época.

Con este procedimiento de compactación Proctor estudió la influencia que ejercía en el proceso el contenido inicial de agua del suelo, encontrando que tal valor era de fundamental importancia en la compactación lograda. Observó que a contenidos de humedad crecientes, a partir de valores bajos, se obtenían más altos pesos específicos secos y, por lo tanto, mejores compactaciones del suelo, pero que esta tendencia no se mantenía indefinidamente, sino que al pasar la humedad un cierto valor, los pesos específicos secos obtenidos disminuían, resultando peores compactaciones en la muestra. Es decir, Proctor puso de manifiesto que, para un suelo dado y usando el procedimiento descrito, existe una

humedad inicial, llamada "óptima", que produce el máximo peso específico seco que puede lograrse con este procedimiento de compactación.

Lo anterior puede explicarse, en términos generales, teniendo en cuenta que a bajos contenidos de agua, en los suelos finos, del tipo de los suelos arcillosos, el agua está en forma capilar produciendo compresiones entre las partículas constituyentes del suelo, lo cual tiende a formar grumos difícilmente desintegrables que dificultan la compactación. El aumento en contenido de agua disminuye esa tensión capilar en el agua haciendo que una misma energía de compactación produzca mejores resultados, pero si el contenido de agua es tal que haya exceso de agua libre, al grado de llenar casi los vacíos del suelo, ésta impide una buena compactación, puesto que no puede desplazarse instantáneamente bajo los impactos del pisón.

Debido al rápido desenvolvimiento del equipo de compactación de campo comercialmente disponible, la energía específica de compactación en la prueba Proctor Estándar empezó a no lograr representar en forma adecuada las compactaciones mayores que podían lograrse con dicho nuevo equipo. Esto condujo a una modificación en la prueba, de modo que conservando el número de golpes por capa se elevó el número de estas de 3 a 5, aumentando al mismo tiempo el peso del pisón y la altura de caída del mismo. Las nuevas dimensiones son 4.5 kg. y 45.7 cm. respectiva y aproximadamente. La energía específica de compactación es ahora  $27 \text{ kg-cm/cm}^3$ , sobre la base de que el molde utilizado es el mismo que en la prueba Proctor Estándar y, consecuentemente, según la discusión precedente en torno al contenido inicial de agua, la nueva humedad óptima será ahora menor que en aquel caso. Esta prueba es conocida como Proctor Modificada.

En la figura II.12 se presentan gráficas de compactación que ilustran los conceptos antes mencionados.

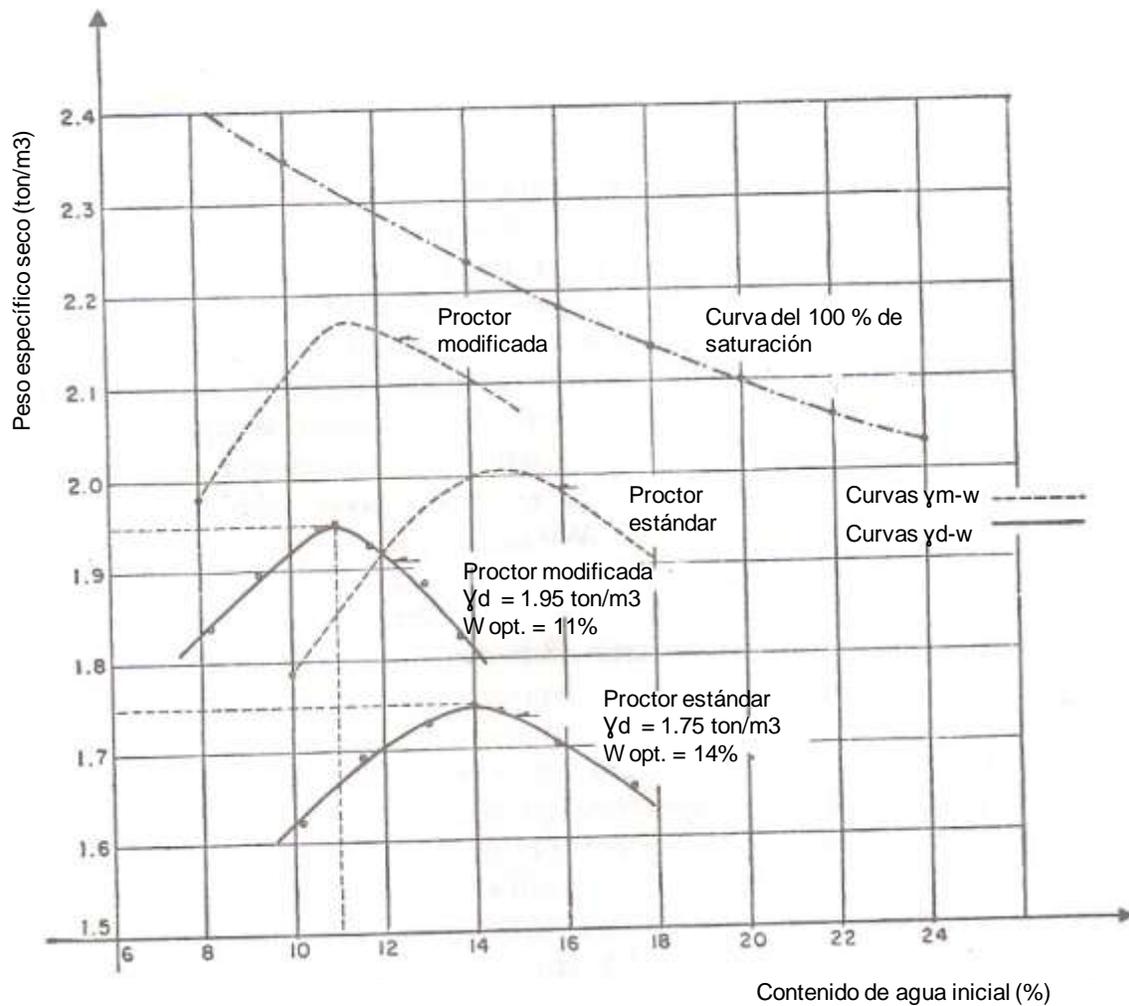


Figura II.12 Curvas de compactación en Pruebas Proctor estándar y Modificada. (Juárez y Rico, 2009)

En la gráfica aparecen las curvas de peso específico húmedo-contenido de agua de un suelo arcillo-arenoso sujeto a prueba Proctor Estándar y Proctor Modificada; aparecen también las curvas peso específico seco-contenido de agua y la curva “del 100% de saturación”.

Las curvas  $\gamma_d - w$  se dibujan de las anteriores aplicando la ecuación II.3:

$$\gamma_d = \frac{\gamma_m}{1 + w} \quad [ II.3 ]$$

La curva del 100% de saturación se obtiene calculando los pesos específicos secos del mismo suelo, supuesto saturado con el contenido de agua considerado, aplicando la ecuación II.4:

$$\gamma_d = \frac{S_s}{1 + wS_s} \gamma_0 \quad [ II.4 ]$$

Puede observarse que el peso específico crece al principio al aumentar la humedad ( $w$ ), disminuyendo después de sobrepasado el valor óptimo del contenido de agua y que el peso específico máximo de la prueba Proctor Modificada es mayor que el alcanzado con la Proctor Estándar, en tanto que la humedad óptima de ésta es mayor que la de aquella. (Juárez y Rico, 2009)

## **II.7 EL LADRILLO, INICIO, EVOLUCIÓN Y SUS VERSIONES MODERNAS.**

### **II.7.1 El ladrillo en las antiguas civilizaciones**

#### **II.7.1.1 Introducción**

La arcilla como material constructivo forma parte del paisaje habitual de nuestras modernas urbes. Enormes edificios de viviendas, museos, escuelas; en todos aparece este elemento. Sin embargo, pocos se imaginan la antigüedad y el origen de este elemento que ya era utilizado por las poblaciones de Mesopotamia (llanura aluvial entre los ríos Tigris y Éufrates) hacia el 6000 a. C. La deuda de nuestra sociedad con aquellas primeras civilizaciones no sólo queda patente por el

continuo uso que hacemos de la arcilla, sino que se demuestra también en cuestiones más sutiles pero no por ello menos importantes.

El inicio de la construcción con materiales imperecederos se produce cuando el hombre abandona el nomadismo para adoptar unas pautas de vida sedentarias, proceso que comienza a partir del Neolítico. Desde el inicio de esta evolución, los hombres han construido con los materiales que le rodeaban, con aquello que tenían al alcance de la mano.

De esta forma, se comprende que al iniciarse el fenómeno de sedentarización en Mesopotamia casi todas las construcciones se realizaran en arcilla que era el material predilecto de mayor abundancia. Su uso en la construcción se difundió a Egipto y al lejano Oriente, pasando después a Europa a través de Grecia y Roma.

#### **II.7.1.2 Los inicios: la fabricación del ladrillo en el Jericó neolítico**

Se cree que el primer poblado humano data de entre el 10000 y el 8000 a.C. un periodo conocido como el neolítico. Hasta ese momento, el ser humano había sido nómada. Los primeros agricultores se asentaron para cosechar cultivos y criar animales, formaron pequeños poblados amurallados a fin de protegerse del exterior. Los primeros poblados son anteriores a la invención de la cerámica y el descubrimiento de los metales, y en ellos se han hallado los ladrillos más primitivos, realizados de una forma tosca y secados al sol.

El ladrillo más antiguo del mundo se encontró en 1952 en unas excavaciones de Jericó, a orillas del río Jordán, Jericó fue particularmente importante pues se descubrió que tenía restos de los poblados más antiguos descubiertos hasta la fecha, se cree que pertenecía a periodos anteriores a la invención de la alfarería o al descubrimiento de los metales.

Se ha creído que la alfarería surgió al mismo tiempo que las primeras comunidades sedentarias pero quedó patente que el ser humano había construido asentamientos antes del uso de la alfarería, estas ciudades primitivas se levantaron con ladrillos de barro. En las ruinas de Jericó se encontraron dos tipos

de ladrillos, los más antiguos datan del 8300 a.C. y varían en tamaño, median aproximadamente 26x10x10 cm. y se hacían escarbando barro del suelo con ayuda de un palo, mezclándolo con agua u amasándolo hasta darle una forma más o menos rectangular, luego se secaban exponiéndolos al sol. El segundo tipo de ladrillo que se encontró en Jericó era más trabajado (7660 a.C.), se le formaba de manera similar al anterior pero era más largo, fino y consistente, se marcaban en la superficie superior con espinas de pescado o con la huella del dedo pulgar.

Los ladrillos tenían ventajas sobre el barro; se transportaban con mayor facilidad, la pared de barro era más resistente, eliminó la necesidad de un soporte que sujetara ambos lados de la pared para mantenerla recta. También tenían algunas desventajas pues no encajaban bien unos con otros, su tamaño no era muy uniforme y dependían de juntas muy gruesas de barro que eran más frágiles que el ladrillo.

### **II.7.1.3 El perfeccionamiento del ladrillo en el antiguo Egipto**

El molde es una de las principales herramientas para hacer ladrillos y supuso la primera gran innovación en su fabricación.

Las imágenes más antiguas de la fabricación de ladrillos se encontraron en Tebas hacia el 1450 a.C., en estas se observan a varios obreros sacando agua de una charca, mezclándola con barro y paja y depositando el amasijo en un molde de madera sin fondo. Con este método ladrillero podían moldear cientos de ladrillos idénticos y perfectamente rectangulares en un solo día. Según parece los egipcios adoptaron este método desde Mesopotamia pues al parecer los ladrillos moldeados fueron de uso común en Mesopotamia mucho antes (5900 a.C.).

A pesar de que el hombre del neolítico apreció sin duda las ventajas de los moldes de madera, construirlos debió resultar extremadamente difícil.

Hubo un periodo intermedio entre el aplanado a mano y el fabricado con moldes. Estos se reconocen porque tienen las caras lisas pero no poseen uniformidad de los ladrillos fabricados con moldes, estos se han descubierto al sur de Mesopotamia y datan del 6300 a.C.

Puede ser que los egipcios no hayan inventado el ladrillo en molde rectangular pero una vez que lo introdujeron lo utilizaron de una forma muy imaginativa y lo más importante es que desarrollaron una sofisticada arquitectura de ladrillos con arcos y bóvedas.

A pesar de que los egipcios perfeccionaron el ladrillo de barro mostraron muy poco interés por el ladrillo cocido, ellos no lo necesitaban pues contaban con grandes yacimientos de piedra para sus construcciones.

#### **II.7.1.4 El ladrillo cocido en Mesopotamia**

Jerico realizó un bosquejo de lo que sería el ladrillo primitivo, pero de forma bastante rudimentaria. Por lo contrario, en la antigua Mesopotamia las grandes civilizaciones desarrollaron sofisticados métodos de fabricación y uso del ladrillo que se han mantenido intactos durante siglos después de su desaparición, y que aún nos siguen impresionando.

Para cocer la arcilla con eficacia y conseguir que se convirtiera en una masa dura se debe someter a temperaturas de entre 950 y 1150 °C; si las temperaturas son muy elevadas el ladrillo se derrite pero si son demasiado bajas se desmorona con facilidad, por lo tanto el ladrillo cocido se convirtió en un material muy preciado, este entonces solo era adecuado para templos y palacios, las casas de los dioses y los reyes. Los ladrillos cocidos costaban 30 veces más que los de barro.

#### **II.7.1.5 El ladrillo y la sociedad mesopotámica**

Las estructuras defensivas desempeñaban un importante papel en todas las ciudades mesopotámicas, que desde un principio estuvieron rodeadas por sólidas murallas.

El rey necesitaba un palacio y un templo y ambos se hallaban íntimamente ligados. La gran estructura que dominaba la ciudad y el palacio era el zigurat, los zigurats de Mesopotamia eran grandiosas bases para templos.

El ladrillo era parte fundamental para esta civilización, la palabra ladrillo (sig en sumerio) también quería decir ciudad y construcción, además de que era el nombre del dios de la construcción, a cual se le depositaban ofrendas de comida y bebida antes de poner los cimientos de cualquier edificio.

Construir un zigurat era una empresa de enorme envergadura, se ha calculado que el zigurat de babilonia tiene unos 36 millones de ladrillos, de los cuales una décima parte eran cocidos y el resto de barro secado al sol. Se necesitaron unos 72000 días laborales para poder moldear los ladrillos cocidos y otros 21600 más para los restantes, además el zigurat habría empleado a 1500 obreros solo para fabricar y colocar los ladrillos.

No había en ningún lugar con construcciones que rivalizaran con los zigurats o con los palacios que los rodeaban, y estas continuaron siendo las estructuras de ladrillos más grandes durante mucho tiempo.

#### **II.7.1.6 Conclusión**

Los 9500 años que abarca este resumen vieron el desarrollo de las características más importantes del trabajo del ladrillo que han llegado hasta nuestros días. La invención del molde, la evolución de los hornos, la introducción del esmaltado la manera de dar forma a los ladrillos para crear esculturas, la división del trabajo entre el fabricante y el albañil, y la creación de complicados diseños para la unión de la juntas, todos esos avances pertenecen a este periodo, lo que lo convierte en uno de los más importantes de la historia del ladrillo.

A pesar de su aparente simpleza el ladrillo ha sido uno de los logros tecnológicos más grandes de la humanidad contribuyendo y beneficiando el desarrollo de las culturas. Desde sus inicios y hasta hoy día el ladrillo es uno de los elementos más importantes para la Arquitectura (Campbell y Price, 2004).

## **II.7.2** Proceso de fabricación del ladrillo.

El proceso que se describe a continuación es el proceso más común de elaboración pero es necesario especificar que dependiendo de la región donde se realice el proceso los pasos pueden variar. A continuación se describen cada uno de los pasos necesarios.

### **II.7.2.1** Extracción

Se extrae y transporta la materia prima necesaria para la elaboración de ladrillos, los cuales son arena, tierra fértil (tepetate) y barro, estos materiales son transportados en camiones de volteo desde ríos y bancos de material hasta los lugares donde se va a producir los ladrillos (González, 2008).

### **II.7.2.2** Mezcla.

Se procede a realizar una mezcla de los tres materiales (arena, barro y tierra fértil) previo cernido, para evitar piedras pequeñas y grumos los cuales llegan a lastimar a la persona que esta trabajando y en especial es indeseable porque se producen pequeñas fisuras en los ladrillos.

A la mezcla de tierras se le agrega agua de dos a tres ocasiones todo esto en un espacio al cual llaman cajete, y debido a las cantidades de estos materiales se utiliza como mezclador un tractor agrícola o bien un mezclador eléctrico, que ayuda a dejar una masa homogénea, evitando la formación de grumos que pudieran generar porosidad o agrietamiento al ser cocidos los ladrillos y por consecuencia tener baja producción debido a la mala calidad de este producto.

Para la elección del material se evita que la tierra fértil sea dura, a este tipo de tierra se le dice que está liza y tiene como característica que al momento de mezclarse esta muy denso el material y esto hace que al momento de moldear los ladrillos no se maneja fácilmente este dentro de

los moldes de madera llamados popularmente “Gaveras” (González, 2008).

#### **II.7.2.3 Proceso de Corte.**

Este consiste en vaciar la masa homogénea en moldes (gaveras), que generalmente están hechas de madera y son de 10, 14 y 16 piezas, existen tres tamaños de tabiques, el más producido es el de 5 x 12 x 23.5 cm, que es el que se emplea regularmente en la construcción de casas o edificios.

Una vez que están llenos se les retira el material excedente con una regla que puede ser metálica o de madera y este proceso se le llama “rasero” con el objeto de dar un acabado liso de los ladrillos.

Posteriormente se retira el molde, y se rocía con agua para ayudar a desprender con mayor facilidad el ladrillo moldeado, para seguir nuevamente con el mismo proceso hasta terminar la masa (González, 2008).

#### **II.7.2.4 Secado al medio ambiente.**

Este consiste en exponer los tabiques los cuales ya fueron retirados de los moldes, estos son ordenados en forma lineal para quedar expuestos tanto al sol como al viento. Se agrupan los ladrillos en forma lineal, lo que se conoce popularmente como “rejas o trincheras”.

Se estima que un ladrillo pesa en promedio un kilogramo cuando está húmedo, después de tres a cuatro días de estar expuesto al medio ambiente (siempre y cuando no llueva) llega a pesar medio kilogramo y esta parte del proceso busca que tenga la menor porción de humedad antes de ingresar al horno.

Cabe destacar que en tiempo de lluvias el ladrillo sube de precio debido, a la humedad que conserva el ladrillo y que en ocasiones se necesita cubrir o bien trabaja en un lugar techado o una galera (González, 2008).

#### **II.7.2.5 Horneado de ladrillos.**

Para este paso primero se acomodaran los ladrillos en cuatro filas las cuales se le conoce como mesa de amarre, la cual será la base de los demás ladrillos que irán estibados hasta alcanzar una altura de 4 m y de largo por cada hilera de 4 m que es casi el tamaño promedio del interior del horno.

El horno está construido con las siguientes características, el horno mide 48 m<sup>3</sup>, la mitad de este horno se encuentra a 2 m por debajo del nivel del suelo, las paredes son de ladrillo recocido con 50 cm de espesor, también se aprecia las emisiones contaminantes al momento de la cocción (González, 2008).

#### **II.7.2.6 Enfriado.**

Después del tiempo de horneado se deja los ladrillos en el horno sin mover todo este material hasta enfriarse gradualmente evitando cambios bruscos de temperatura así se disipa el calor interno del horno hacia el exterior, hasta alcanzar un equilibrio térmico con el medio ambiente, obteniendo ladrillos de buena calidad si se logra que este proceso se efectuó de la manera adecuada sin cambios bruscos de temperatura, Para este paso se requiere de 3 días a una semana (González, 2008).

#### **II.7.2.7 Estiba y almacenamiento de los ladrillos.**

En este paso se agrupa el ladrillo como producto terminado antes de ser transportado y vendido hasta el lugar que se requiera (González, 2008).

### II.7.3 Materiales y técnicas modernas de los ladrillos.

El estudio de distintos materiales para la elaboración de piezas sustitutas de los ladrillos de arcilla cocida tiene muchos años de estar en los objetivos de los investigadores, preocupados por el medio ambiente, el aprovechamiento de los recursos naturales y el reuso de desechos industriales.

Según explican Dass y Malhotra (1990), el barro rojo es un material de desecho obtenido de la industria de extracción de aluminio y se compone principalmente de los óxidos de aluminio, hierro y titanio. Comentan que se han hecho esfuerzos para la producción de ladrillos con barro rojo y cenizas volantes para el remplazo de los ladrillos de arcilla cocida. Los esfuerzos también se han hecho para incorporar en el barro rojo un pequeño porcentaje de cal y comprimir la mezcla con un contenido de humedad óptimo en forma de ladrillos con una finalidad de examinar su resistencia y estabilidad a la acción erosiva del agua. Las muestras de ladrillo fueron estudiadas por el desgaste acelerado y consideradas idóneas para su uso como material de albañilería de bajo costo para los refugios.

Los ladrillos de cenizas volantes-cal-yeso son una de las mejores alternativas para los ladrillos de barro cocido convencional. Se realizó una investigación experimental sobre la resistencia a la compresión, absorción de agua, densidad y durabilidad de los ladrillos hechos con cenizas volantes-cal-yeso, se utilizaron cantidades variables de cenizas, cal y yeso. Las propiedades de los ladrillos hechos con cenizas volantes-cal-yeso se compararon con las de los ladrillos de arcilla cocida ordinaria. Los resultados indican que estos bloques son más ligeros en peso, durable en ambientes agresivos y tienen la fuerza suficiente para su uso en la construcción de edificios (Kumar, 200).

El trabajo intensivo que se ha hecho sobre investigaciones acerca de las posibilidades del uso de diferentes residuos como aditivos en la producción de nuevos productos para la construcción de cerámica, demuestra que la base de materia prima puede ser ampliada y algunos problemas ambientales resueltos. Se investigado la posibilidad de la utilización combinada de los lodos de las plantas

de tratamiento de aguas residuales y productos de desecho de la producción del coque como aditivos para ladrillos de arcilla. Los resultados obtenidos son útiles para mostrar las posibilidades de la solución de los problemas ambientales (Balgaranova et al, 2003).

Los bloques de tierra con cemento también se conocen como bloques de tierra comprimida. El estudio se centra las diversas características físicas y mecánicas de los bloques de suelo-cemento con suelos muy arenosos. Las características de los bloques suelo-cemento con tres diferentes contenidos de cemento (6%, 8% y 12%) se examinaron. Los resultados indican que aumenta 2.5 veces la resistencia a compresión al duplicar el contenido de cemento de 6% a 12%. El contenido de agua saturada de los bloques no es sensible al contenido de cemento, mientras que la tasa de absorción de la humedad depende en gran medida el contenido de cemento. El tamaño de los poros disminuye con el aumento del contenido de cemento del bloque, mientras que la porosidad es independiente del contenido de cemento (Venkatarama y Gupta, 2005).

Con la acumulación cada vez mayor de la vivienda en la mayor parte del tercer mundo, se están haciendo intentos para desarrollar piezas para muros de bajo costo, pero durables. La introducción de bloques de tierra comprimida (BTC) hace unos 50 años fue visto como un paso importante. Estos bloques se realizan mediante la compresión de una mezcla húmeda de suelo (90-95%) y cemento (10-5%) para formar bloques fuertes y densos utilizados para muros. Mientras que se conocen bien sus propiedades con respecto a sus características de rendimiento inicial, poca investigación se ha llevado a cabo hasta el momento de su durabilidad a largo plazo y el deterioro debido a la exposición prolongada a factores ambientales (Kerali, 2005).

En el estudio de Maitra y Basumajumdar (2005) se estudiaron cuatro variedades distintas de cenizas volantes, recogidas de distintas fuentes del estado de Bengala Occidental (India) se mezclaron con 9% de cal con respecto del peso seco de las cenizas, se humedecieron y se compactaron. Se elaboraron comprimidos que fueron sometidos a vapor de curado para desarrollar una fuerza óptima por la reacción entre cenizas y cal. Los comprimidos curados con vapor

fueron calentados a diferentes temperaturas, estudiándose la resistencia a la compresión, densidad aparente y la tendencia de absorción de agua de estos pactos se midieron en función de las temperaturas de calentamiento.

En el estudio de de Achenza y Fenu (2006), se estudia el problema de la preparación de ladrillos de adobe para la construcción. Por tanto, hemos probado las muestras de tierra estabilizada con dos fibras vegetales y un compuesto de polímeros naturales. Hemos estudiado cómo la estabilización de estos polímeros naturales modifica la porosidad y la densidad aparente, y cómo se mejora tanto el comportamiento bajo la acción del agua y la resistencia a la compresión. Este tipo de estabilización que parece dar a la tierra un muy buen comportamiento bajo la acción del agua, y además hemos encontrado que la resistencia a la compresión se ha aumentado significativamente.

Según Turgut (2008), grandes cantidades de residuos de vidrio y de piedra caliza se están acumulando en todo el mundo. La eliminación de residuos de polvo de piedra caliza y polvo de los residuos de vidrio es un creciente problema para algunas regiones, en este sentido, los objetivos de este estudio son investigar las propiedades físicas y mecánicas de las muestras que contienen combinaciones de estos polvos para la producción de nuevos materiales como ladrillos de construcción. El polvo de vidrio y de piedra caliza se mezclan con cemento, humedeciendo y compactado en moldes. Los valores de resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, la absorción de agua, resistencia a la abrasión, resistencia a la congelación-descongelación y la conductividad térmica satisfacen las normas internacionales pertinentes y presenta una superficie más lisa en comparación con los ladrillos de arcilla actual en el mercado.

Un programa experimental se llevó a cabo para estudiar el efecto del uso de cal puzolana natural o una combinación de ambos en las características geotécnicas de los suelos blandos. Cal o puzolana natural se agrega a los suelos blandos en rangos de 00-10% y 00-20%, respectivamente. Además, las combinaciones de cal-puzolana natural se agrega a los suelos blandos en los mismos rangos. Los ejemplares de prueba fueron sometidos a pruebas de compactación, ensayos de corte y pruebas de compresión no confinada. Las

muestras probaron a compresión simple a las edades de 1, 7, 28 y 90 días, Con base en los resultados favorables obtenidos, se puede concluir que los suelos blandos pueden ser exitosamente estabilizados por la acción combinada de cal y puzolana natural. La puzolana natural es mucho más barata que la cal, la adición de puzolana natural en la mezcla suelo-cal puede llegar a ser particularmente atractiva y puede resultar en la reducción del costo de la construcción (Harichane et al, 2009).

En la investigación realizada por (Harichane et al, 2009), se estudió el uso de puzolana natural combinada con la cal para las aplicaciones de mejora del suelo. Las pruebas de laboratorio se llevaron a cabo para estudiar el efecto de puzolana natural, cal o una combinación de ambos en las propiedades físicas y mecánicas de los suelos cohesivos. Puzolana natural y cal se han añadido a suelos cohesivos en rangos de 00-20% y 0-8%, respectivamente. La consistencia, la compactación, pruebas de resistencia a la compresión triaxial sin drenar y no confinados se realizaron en muestras de suelos tratados y no tratados para determinar las características físicas y mecánicas del suelo. Las muestras tratadas se curaron durante los días 1, 7, 28 y 90. Los resultados muestran que los suelos cohesivos pueden ser estabilizados con éxito mediante la combinación de puzolana natural y cal.

En la investigación de (Lui et al, 2010) explica que sirviendo como agregado grueso reciclado, los residuos pretratados de un edificio rural se añadieron en blocks huecos de cemento en porcentajes de 20%, 40%, 60%, 80% y 100%. Al poner a prueba su resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, y la pérdida de fuerza después de ciclos hielo-deshielo. Los resultados experimentales muestran que, con el aumento del porcentaje de reciclado grueso de reemplazo, las propiedades mecánicas y resistencia a las heladas, muestran una tendencia a la baja, cuando la tasa de reemplazo es de 40% en adelante, la resistencia a la compresión y a la flexión del block hueco de cemento demostró que cumplen los requisitos de la norma respectiva, las estructuras de interfase del hormigón reciclado con pretratados es más complicada que las de concreto hecho de

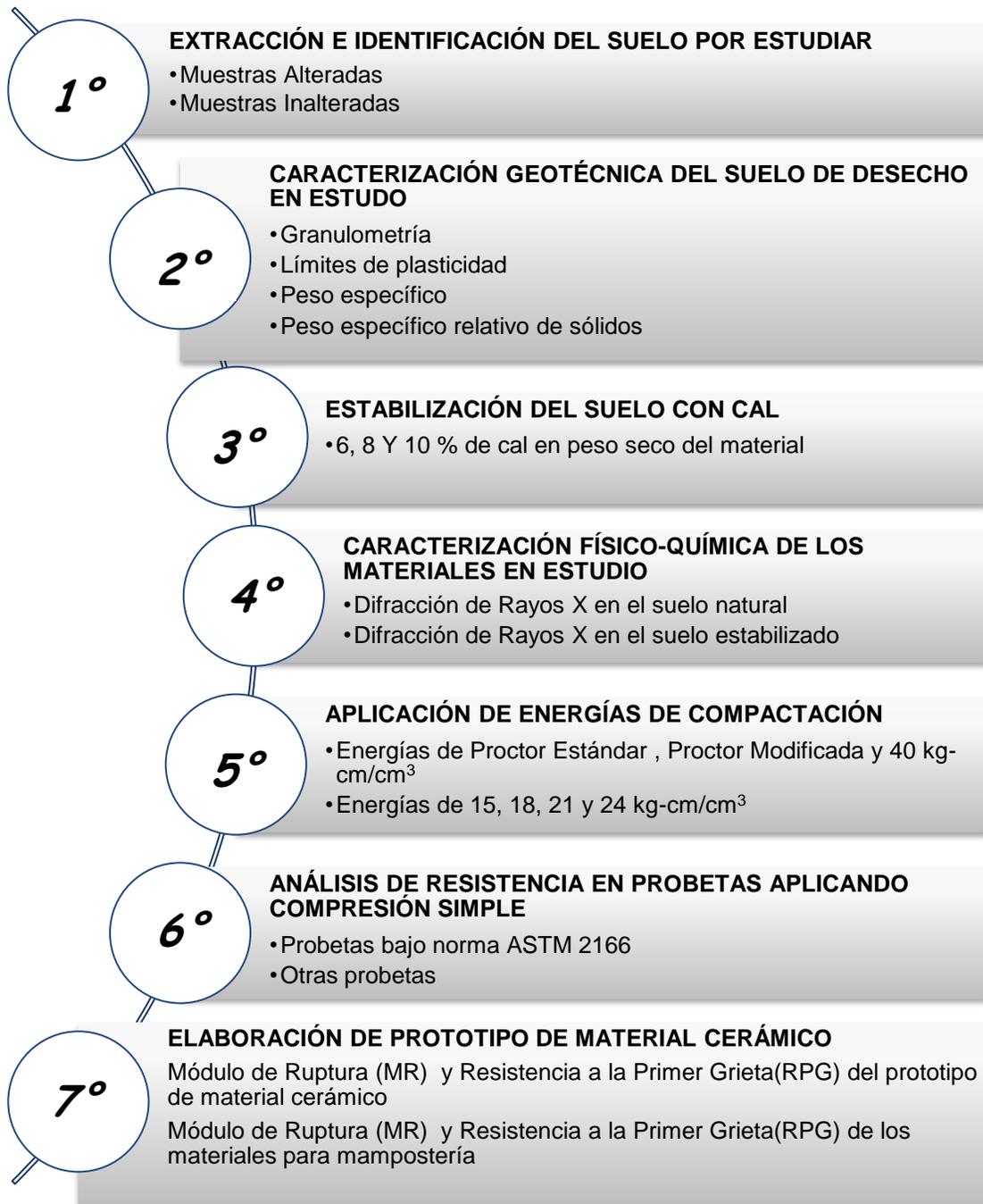
agregados naturales, pero el primero goza de una mejor vinculación de interfaz y estructura compacta.

En la última década casi un centenar de artículos de investigación relacionados con la construcción de tierra han sido publicados en revistas. Esto representa un aumento de diez veces en comparación con los artículos de investigación publicados en los años 90 lo que significa que la construcción con tierra es un tema importante para el futuro eco-eficiente de la construcción. Aunque la mayoría de las construcciones de tierra se encuentran en los países menos desarrollados, este tipo de construcción también se puede encontrar en el Reino Unido, Francia o Alemania, donde varias universidades ofrecen cursos sobre este tema (Pacheco y Jalali, 2011)

Según Venkatarama y Gourav (2011), las mezclas de cal y cenizas volantes son explotadas para la fabricación de ladrillos que encuentren aplicaciones en mampostería de carga. Las reacciones cal-puzolana se producen a un ritmo lento bajo temperatura ambiente y por lo tanto la duración del curado que se requieren para alcanzar valores significativos de fuerza es muy larga. La presente investigación examina las mejoras en el desarrollo de la fuerza en los ladrillos de ceniza-cal a través del curado con vapor a baja temperatura y el uso de aditivos como yeso. Los resultados de las pruebas revelan que aumenta la fuerza, con el aumento de la densidad, independientemente del contenido de cal, el tipo de curado y el contenido de agua del moldeado, 24 horas de curado al vapor (a 80 °C) es suficiente para lograr casi la máxima resistencia posible, el contenido óptimo de yeso que genera la resistencia a la compresión máxima es de un 2%, con el aditivo de yeso, es posible obtener ladrillos de cal-ceniza volante con la fuerza suficiente a los 28 días.

### III.METODOLOGÍA

La metodología empleada consta de siete puntos principales los cuales se muestran en el siguiente esquema:



Esta metodología se consideró la más adecuada para llegar a los objetivos planteados, primeramente obtuvimos el material objeto de estudio, este suelo lo caracterizamos geotécnicamente para determinar de qué tipo de suelo se trataba (se deseaba fuera un suelo fino, es decir una arcilla expansiva), este suelo lo estabilizamos utilizando cal hidratada, a las mezclas de suelo-cal se les aplicaron diferentes energías específicas de compactación para determinar cual generaba mayor densidad, se realizaron estudios de caracterización físico-química del suelo natural y del mismo una vez estabilizado; con la mejor energía específica de compactación se elaboraron probetas para probarlas a compresión simple según la norma ASTM 2166 a diferentes edades, por último se elaboró un prototipo de material cerámico con dimensiones semejantes a un tabique.

En los siguientes párrafos se describirá cada uno de los puntos antes mencionados; algunas pruebas no se describen a detalle en este capítulo pero cuando sea el caso se dará el apéndice en el cual se encuentra la descripción de dicha prueba.

### **III.1EXTRACCIÓN E IDENTIFICACIÓN DEL SUELO POR ESTUDIAR**

El suelo que se estudiara deberá ser una arcilla, es decir, un suelo fino, del cual ya es conocido posee propiedades de cambios volumétricos (expansión y contracción) al tener variaciones de humedad, para después estabilizarlo con un material cementante, en nuestro caso será una cal comercial. El suelo se extrajo del Parque Industrial Querétaro (*figura III.1*), aquí se excavo un pozo a cielo abierto con una profundidad de 1.20 metros, se extrajeron muestras alteradas e inalteradas (*figura III.2*), las cuales fueron transportadas al laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Autónoma de Querétaro. La inspección visual del material indica que se trata de un suelo fino al carecer de gravas, y tener un color café negro, característico de las arcillas.



*Figura III.1 Vista aérea del lugar de extracción de la muestra*



*Figura III.2 Extracción de muestras alteradas e inalteradas*

## **III.2 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUELO DE DESECHO EN ESTUDIO**

### **III.2.1 Granulometría**

El análisis granulométrico es la distribución de tamaños de un suelo y normalmente se representa a través de la curva granulométrica. La curva granulométrica se dibuja con porcentajes como ordenadas y tamaños de las partículas como abscisas. Las ordenadas se refieren a porcentaje, en peso, de las partículas menores que el tamaño correspondiente. La representación en escala semilogarítmica en el eje de las abscisas resulta preferible a la simple representación natural, pues en la primera se dispone de mayor amplitud en los

tamaños finos y muy finos, que en escala natural resultan muy comprimidos, usando un módulo práctico de escalas (*Bowles, 1978*).

La distribución de tamaños de un suelo se divide en dos etapas, para suelos gruesos el análisis por mallas (ASTM D 2487) y a través del hidrómetro (ASTM D 422). El análisis por mallas consiste en pasar la muestra de suelo a través de mallas cuyas aberturas progresivamente son más pequeñas. Existen mallas básicas las cuales nos permiten diferenciar gravas, arenas y finos, dentro de las cuales están la malla de 3 pulgadas, la malla número 4 (4.76 mm) y la número 200 (0.075 mm). Aquel material retenido en la malla no. 4 se considera grava, el material que pasa la malla no. 200 se consideran finos y el material ubicado entre las dos mallas anteriores se consideran como arenas (*Juárez y Rico, 2009*).

El análisis por mallas se detalla en el apéndice A.1.2 y para el análisis por hidrómetro en el punto A.1.3.

### **III.2.2 Límites de plasticidad**

Los límites de Plasticidad o de Atterberg serán determinados de acuerdo con la norma ASTM D4318. La plasticidad es una propiedad útil para clasificar suelos y tiene relación con las propiedades fisicoquímicas determinantes del comportamiento mecánico de las arcillas (*Juárez y Rico, 2009*).

Para la mecánica de suelos, la plasticidad es la propiedad de un material por la cual es capaz de soportar deformaciones rápidas sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable y sin desmoronarse ni agrietarse (*Juárez y Rico, 2009*).

La plasticidad no es una propiedad permanente de las arcillas, sino circunstancial y dependiente de su contenido de agua. Una arcilla muy seca puede tener la consistencia de un ladrillo, con una plasticidad nula, y esa misma, con gran contenido de agua, puede presentar las propiedades de un lodo semilíquido o, inclusive, las de una suspensión líquida. Entre ambos extremos existe un intervalo del contenido de agua en que la arcilla se comporta plásticamente (*Juárez y Rico, 2009*).

Dependiendo de la cantidad de agua se pueden distinguir los siguientes estados de consistencia para un suelo (*Juárez y Rico, 2009*):

- Estado líquido. Cuenta con la apariencia y propiedades de una suspensión, se comporta como un fluido.
- Estado semilíquido. Cuenta con la apariencia de un gel que se adhiere fácilmente a otras superficies, no es moldeable y no toma la forma del recipiente que lo contiene.
- Estado plástico. El suelo se comporta plásticamente de acuerdo a la definición de plasticidad.
- Estado semisólido. El suelo tiene la apariencia de un sólido, pero aún disminuye de volumen al estar sujeto a secado.
- Estado sólido. El volumen del suelo no varía con el secado.

Existen además las siguientes fronteras convencionales entre los estados de consistencia anteriormente mencionados:

- *Límite líquido*. Es la frontera entre el estado semilíquido y plástico, corresponde a una resistencia al corte de  $25 \text{ gr/cm}^2$ .
- *Límite plástico*. Frontera entre el estado plástico y semisólido.

Al límite líquido y el límite plástico, de manera conjunta se les denomina límites de plasticidad. Otro parámetro que es muy importante para la clasificación de suelos es el Índice de plasticidad, el cual se define como la diferencia del límite líquido y el límite plástico. Es muy importante la determinación de los límites de consistencia ya que nos permite inferir el comportamiento mecánico e hidráulico de los suelos finos como son las arcillas, ello debido a que la plasticidad del suelo es un reflejo de la presencia de la fracción coloidal del suelo.

- Límite de contracción: el límite de contracción es la frontera entre el estado semisólido y sólido, se define como el contenido de agua a partir del cual a través de un proceso de secado ya no sufre cambio alguno de volumen. Para límites de contracción con valores menores a 10 el suelo es peligrosamente expansivo, para valores mayores de 15 el grado de expansión es bajo, de 20 a 25 es un suelo muy estable volumétricamente.

- **Contracción lineal:** la contracción lineal, cuyo concepto se apoya en el decrecimiento de la longitud del suelo a medida que disminuye el contenido de agua desde un contenido de agua inicial hasta el límite de contracción. La contracción lineal se obtiene moldeando una barra de suelo en un molde rectangular. Este parámetro ha ganado popularidad porque se puede ver inmediatamente que cuando un suelo tiene grandes deformaciones es muy susceptible a cambios volumétricos. De manera cotidiana en los laboratorios de vías terrestres es común la determinación de la contracción lineal que a diferencia de los límites líquido y plástico no es un contenido de agua, sino la deformación lineal que experimenta un suelo a partir de un proceso de secado.

Todo el proceso detallado de cada uno de los conceptos incluidos en límites de plasticidad se muestra en el punto A.2 del apéndice.

#### **III.2.4** Peso específico de la muestra por inmersión en agua

Es la relación entre el peso del suelo y su volumen. También se denomina peso volumétrico; es decir peso de dicho suelo contenido en la unidad de volumen. Para esta prueba nos basaremos en la norma ASTM D 4531. Esta prueba se detalla en el punto A.3 del apéndice.

#### **III.2.5** Peso específico relativo de sólidos ( $S_s$ )

También llamada gravedad específica, se define como la relación entre el peso específico de una sustancia y el peso específico del agua, esta prueba se llevará a cabo conforme lo marca la norma ASTM D 854. Esta prueba se detalla en el punto A.4 del apéndice.

### III.3 ESTABILIZACIÓN DEL SUELO CON CAL

Para realizar el proceso de estabilización de la arcilla expansiva, se realizaron tres dosificaciones de cal, 6, 8 y 10% con respecto al peso seco del material empleado.

La cantidad de material utilizado es la misma que se utilizó en la prueba del Límite Líquido, cribamos 1500 gr. de material por la malla # 40, este material lo dividimos en tres partes iguales de 500 gr. a cada una de las partes le sacamos la humedad, y con una sencilla regla de tres, obtenemos la cantidad de cal que debemos de adicionar a cada porción de material para obtener los diferentes porcentajes de cal antes mencionados.

Una vez que tenemos la cantidad de cal que debemos de adicionar, procedemos a mezclar cada parte de 500 gr. de suelo con su respectivo contenido de cal, después de esto procedemos a colocar cada mezcla dentro de un vaso de aluminio y le agregamos agua y lo mezclamos hasta obtener una mezcla homogénea, teniendo cuidado de no agregar demasiada agua, dejamos reposar un periodo de 24 horas, una vez pasado este lapso de tiempo, procedemos igual que en la prueba de límite líquido y con ayuda de la copa de Casagrande determinamos el contenido de agua para los 25 golpes, cuando llegamos a este contenido de agua procedemos a llenar la caja de Petri y el molde de contracción, y determinamos los pesos y medidas de estos. Este proceso se realiza para cada uno de los porcentajes de 6, 8 y 10 % de cal.

Cuando tengamos todas las cajas de Petri y los moldes de contracción con suelo los sometemos al proceso de secado ya conocido, para evitar que se agrieten las muestras. Después de esto procedemos a calcular la contracción lineal y el límite de contracción para cada una de las muestras. Cuando analicemos los resultados podremos determinar la cantidad de cal que estabiliza arcilla expansiva. En el apéndice B se muestran las tablas y gráficas del límite líquido y límite plástico para cada uno de los porcentajes de cal utilizados en la estabilización.

### **III.4 CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LOS MATERIALES EN ESTUDIO**

#### **III.4.1 Difracción de Rayos X en el suelo natural y el suelo estabilizado.**

Se aplicó una prueba de Difracción de Rayos X en el Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada (CFATA), en este estudio se determina que minerales están presentes en el suelo de estudio, es una prueba cualitativa y no cuantitativa, es decir, solo nos dice que minerales están presentes pero no nos dice que cantidad de cada uno de ellos componen la muestra.

También se realizó un estudio de Difracción de Rayos X en el suelo estabilizado con el porcentaje correspondiente al punto de fijación, es decir 8 %. Los resultados de la interpretación se describen en capítulo 4.

#### **III.5 APLICACIÓN DE ENERGÍAS DE COMPACTACIÓN.**

La compactación es un punto muy importante en la metodología empleada, pues el estudio de distintas energías específicas de compactación nos permitirá determinar cuál es la que genera una mejor compactación en nuestro composito.

Debido a que el comportamiento del suelo-cal bajo diferentes energías específicas de compactación no está tan definido como en los suelos naturales, se decidió aplicar un primer grupo de energías a nuestro composito suelo-cal, estas energías fueron las correspondientes a las pruebas Proctor Estándar (6 kg-cm/cm<sup>3</sup>), Proctor Modificada (27 kg-cm/cm<sup>3</sup>) y una prueba que aplica 40 kg-cm/cm<sup>3</sup> pero que sigue el mismo procedimiento que las pruebas Proctor.

Los resultados que se busca obtener de estas pruebas son el Peso Específico Seco Máximo y la Humedad Óptima, como se sabe, en un suelo fino mientras mayor sea la energía de compactación que se aplique, se obtendrá una mayor densidad del suelo compactado, es por eso que siguiendo esta tendencia, las energías que se decidió aplicar van aumentando de magnitud, esperando que la densidad en el suelo compactado aumente. Se consideró importante trabajar con

los tres porcentajes de cal utilizados en la estabilización, es decir, que a cada combinación de suelo con cal se le aplicaran las tres energías de compactación, para observar si el contenido de cal influye en el grado de compactación, también se trabajara con el suelo natural para tenerlo como referencia de los resultados obtenidos.

### III.5.1 Energía Proctor Estándar (6 kg-cm/cm<sup>3</sup>), Proctor Modificada (27 kg-cm/cm<sup>3</sup>) y Energía de 40 kg-cm/cm<sup>3</sup>

En el laboratorio, la energía empleada en la prueba de compactación Proctor Estándar es de 6 Kg-cm/cm<sup>3</sup>, este valor fue calculado pero puede ser determinado por medio de la ecuación A.11

$$Ec = \frac{N(n)W(h)}{V}$$

[A.11]

Dónde:

Ec = energía de compactación

N = número de golpes

n = número d capas

W = peso del martillo

h = altura de caída

V = volumen del suelo compactado = volumen del cilindro sin extensión

El proceso de esta prueba se describe con detalle en el apéndice A.6, aquí veremos la preparación del material como también los pasos en que consiste la prueba.

En cuanto a las pruebas de Proctor Modificada y a la energía de 40 kg-cm/cm<sup>3</sup>, el proceso para aplicar estas energías de compactación es similar al ya realizado en la prueba Proctor Estándar, tanto para la preparación de la muestra así como también en la realización de la prueba; los únicos cambios que se hicieron fue cambiar el número de capas en que se coloca el material dentro del

molde aumentando de tres capas a cinco capas, el número de golpes queda igual de 25 para la energía de 27 y para la de 40 el número de golpes resulta ser igual a 36, también se cambia el pisón aumentando su peso de 2486 gr. a 4520 gr. y la altura de caída aumenta de 31 cm. a 45.5 cm. El cambio en el número de golpes de una prueba a otra radica en la ecuación II.2 de Energía Específica, en donde la única variable que tenemos para despejar es justamente el número de golpes.

El proceso para determinar los puntos de la gráfica, la humedad óptima así como el peso específico seco máximo es idéntico al de la prueba Proctor Estándar, el cual ya se explicó anteriormente.

### **III.5.2 Energías de 15, 18, 21 y 24 kg-cm/cm<sup>3</sup>**

Debido a que los valores obtenidos en las pruebas de compactación Proctor Modificada y con Energía de 40 kg-cm/cm<sup>3</sup> no fueron los esperados, se decidió aplicar energías de compactación intermedias entre los valores de las pruebas Proctor Estándar y Proctor Modificada debido a que entre estas dos se generaron los mayores pesos específicos; las energías que se determinó aplicar tienen valores de 15, 18, 21 y 24 kg-cm/cm<sup>3</sup>, otro aspecto importante es que en este paso solo se trabajara con una mezcla de arcilla-cal al 8%, debido a que las mejores compactaciones se dieron con este porcentaje de arcilla en la primer ronda de energías.

Al igual que en el inciso anterior el objetivo de aplicar estas otras energías de compactación, es aumentar el Peso Específico Seco Máximo de nuestra mezcla de arcilla-cal. El proceso para preparar el material y realizar las pruebas es el mismo que se viene siguiendo desde la prueba Proctor Estándar, se utiliza el mismo molde y el mismo pisón; los únicos parámetros que cambiaremos es el número de capas cambiando de 3 a 5 capas, y el número de golpes que serán respectivamente de 14, 16, 19 y 21, para las energías de 15, 18, 21 y 24 kg-cm/cm<sup>3</sup>.

## **III.6 ANÁLISIS DE RESISTENCIA EN PROBETAS APLICANDO COMPRESIÓN SIMPLE**

### **III.6.1 Probetas bajo norma ASTM 2166**

Continuando con la metodología planteada, el siguiente paso es elaborar probetas para ensayarlas por medio de la prueba de compresión simple (ASTM D2166) a diferentes edades. Se elaboraran probetas para las tres primeras energías de compactación del punto III.5.1 con los tres porcentajes de cal utilizados, para observar si el porcentaje de cal influye en la resistencia de las probetas. También se elaboraran probetas para la energía de 21 kg-cm/cm<sup>3</sup> del punto III.5.2, pero para esta energía solo se trabajara con una mezcla de arcilla con 8 % de cal

En los siguientes puntos se describe el proceso que se sigue para la elaboración de estas probetas según la norma antes mencionada.

#### *Preparación del material*

##### **III.6.1.1 Cribado**

Se cribo material a través de la malla No. 40 el cual se apisono para deshacer los grumos de arcilla y así esta pudiera pasar por la malla. Se cribo un aproximado de 20 kg por cada contenido de cal, cabe mencionar que el material se depositó en bolsas de 2 kg cada una para de esta manera tener más control.

##### **III.6.1.2 Dosificación de cal**

En este paso se determinó primeramente la humedad con la que contaba el material para de esta forma calcular el peso seco del material y en base a este determinar los porcentajes de cal correspondientes, se agrega el contenido de cal correspondiente y se deja reposar por 48 horas para determinar nuevamente la humedad del material ya con cal debido a que esta absorbe humedad, este largo proceso se trata de ejemplificar en la figura III.3.



*Figura III. 3 Determinación de humedad y cantidades de cal*

### **III.6.1.3 Dosificación de agua**

Teniendo los valores de la humedad del material ya con cal, determinamos el contenido de agua necesario para llegar a la humedad óptima la cual ya se determinó con anterioridad, con las cantidades de agua calculadas se prosigue a humedecer el material (figura III.4) y se deja reposar por un periodo de 24 horas, pasado este tiempo tomamos nuevamente muestras para verificar la humedad obtenida y así determinar si se llegó a la humedad deseada o si se tiene que hacer una corrección, es decir aumentar o disminuir la humedad, en nuestro caso faltó humedad por lo cual agregamos un poco de más agua y dejamos reposar por otras 24 horas y nuevamente determinamos la humedad la cual ya se encontraba muy cercana a la requerida.



*Figura III. 4 Aplicación de agua para la humedad óptima*

#### III.6.1.4 *Tamaño de las probetas*

Los especímenes deben tener un diámetro mínimo de 30 milímetros y la partícula mayor contenida dentro del espécimen de ensayo debe ser menor que 1/10 del diámetro del espécimen. La relación de altura a diámetro debe encontrarse entre 2 y 2.5. En la figura III.5 se muestran todos los pasos que se siguieron para moldear cada uno de los especímenes.

En esta prueba reproduciremos todas las energías de compactación que estudiamos, para las energías de 6, 27 y 40 kg-cm/cm<sup>3</sup> se elaboraran probetas con porcentajes de cal de 6, 8 y 10 %, para las energías de 15, 18, 21 y 24 kg-cm/cm<sup>3</sup> se elaboraran probetas únicamente con un 8% de cal.

El procedimiento que se seguirá consistirá en determinar el volumen del molde con, el cual estará dado en unidades de centímetros cúbicos (cm<sup>3</sup>) y lo multiplicaremos por el peso específico seco que se obtiene de la curva de compactación el cual está dado en unidades de gramos sobre centímetros cúbicos (gr/cm<sup>3</sup>), con esto tendremos el peso del volumen de material el cual introduciremos en el molde acomodado en tres capas de igual altura, la altura de los especímenes será de 90 milímetros y el diámetros será de 36.68 milímetros con lo cual tenemos una relación altura a diámetros de 2.45 lo cual está dentro de lo especificado.



*Figura III. 5 Proceso para elaborar los especímenes*

#### III.6.1.5 *Edades de prueba*

Las edades de prueba serán cuatro, 7, 14, 30, 60 días las cuales se muestran en la tabla III.1, cabe mencionar que la última edad es solo para estadística ya que al elaborar un producto de mampostería sería inviable esperar tanto tiempo, el tiempo que resulta razonable esperar es el de 30 días; los especímenes probados en cada edad serán cuatro y de los resultados obtenidos se determinara un promedio del cual se dará la resistencia.

*Tabla III.1 Edades de ensaye a compresión simple para los especímenes.*

Tipo de especimen	Edad en días	No. de especímenes por ensaye
	7	4
Arcilla Natural	14	4
	30	4
	60	4
	7	4
Arcilla con 6% de cal	14	4
	30	4
	60	4
	7	4
Arcilla con 8% de cal	14	4
	30	4
	60	4
	7	4
Arcilla con 10% de cal	14	4
	30	4
	60	4
	7	4

### **III.6.2 Otras probetas**

En morteros se utiliza la norma ASTM C109, la cual especifica que se elaboren cubos con dimensiones de 50 mm por lado, quisimos aplicar esta norma que es exclusiva para morteros a suelos estabilizados con cal por ello se elaboraron probetas cubicas con las dimensiones antes descritas, este cubo se elaborara con la mezcla de arcilla con un 8% de cal aplicando la energía de compactación que proporcione la mayor densidad y con la humedad óptima respectiva a esta energía de compactación; el tiempo de secado será igual al de las probetas remoldeadas (7, 14, 30 y 60 días).

Para elaborar estos cubos se fabricó un molde (figura III.6) tal que los cubos tendrán las dimensiones especificadas, la mezcla se depositó en cinco capas

dentro del molde, se elaboraron tres cubos para cada una de las edades de prueba.



*Figura III.6 Molde para especímenes remoldeados cúbicos*

En la figura III.7 se muestra el dispositivo utilizado para llevar a cabo al prueba de compresión simple en estas probetas cubicas remoldeadas.



*Figura III.7 Ensayo a compresión simple en cubo de 50 mm por lado*

También se labraron probetas de distintas piezas de mampostería de las más usuales como lo son el tabique rojo recocido, block sólido, sillar y adobe; de estas piezas se labraron probetas con altura de nueve centímetros, y con sección

cuadrada de 50 milímetros de lado (figura III.8), y se probaron a compresión simple.

Esta prueba de compresión simple utilizando este tipo de probetas no se encuentra bajo ninguna norma, sin embargo la realizamos para comparar los valores de esfuerzo de las probetas de la norma ASTM 2166 con estas probetas de distintos materiales de mampostería.



*Figura III.8 Probetas con sección de 50 mm y altura de 90 mm labradas de piezas de mampostería*

Se ensayaron tres probetas de cada material a compresión simple, la prueba se realizó en la Máquina Universal en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Autónoma de Querétaro. Se implementó un micrómetro el cual media la deformación axial que sufrían las probetas (figura III.9), mientras que en el monitor de la Máquina Universal se medía la carga aplicada. Los valores de esfuerzo de los distintos materiales se muestran en el capítulo IV.



Figura III.9 Ensaye de compresión simple en la Máquina Universal

### III.7 ELABORACIÓN DE PROTOTIPO DE MATERIAL CERÁMICO

Una vez que se determinó con qué porcentaje de cal y con qué energía específica de compactación se obtenían los mejores resultados, se procedió a elaborar el prototipo de material cerámico con la mezcla de arcilla-8% de cal y compactado con una energía específica de compactación de  $21 \text{ kg-cm}^3$ , se elaboraron piezas con las siguientes dimensiones, largo 19 cm., ancho 10 cm. y alto 5 cm, similar a un tabique, para ello se elaboró un molde (fig. III.10) con las dimensiones antes descritas.

Los pasos que se siguieron para la elaboración fueron los siguientes:

- El suelo natural se cribó por la malla número 40.
- Se sacó un testigo de humedad para determinar a cuanto correspondía el 8% de cal en peso seco del material.
- Se agregó la cantidad de cal correspondiente al 8% del peso seco del material.
- Se humedeció el material de manera preliminar y se dejó reposar por un lapso de 48 horas.
- Se realizó el pulverizado para deshacer los grumos que se forman y nuevamente se cribó por la malla número 40.
- Se sacó otro testigo de humedad, pero ahora del suelo con cal, y así determinar cuánta agua le faltaba para llegar a la humedad óptima de la energía de 21 kg-cm/cm<sup>3</sup>.
- Se saca nuevamente un testigo de humedad para verificar que ya se tenga la humedad correspondiente.
- El material se colocó dentro del molde y se compactó aplicando una energía específica de 21 kg-cm/cm<sup>3</sup>, esta energía se generó por medio de un gato hidráulico en una sola aplicación (fig.III.11).
- Se curó agregando agua por un periodo de dos días y después de esto se dejó que llegara a cada una de las edades de prueba.
- Los prototipos se dejaron reposar en un cuarto de curado.

El prototipo de material cerámico (fig. III.12) se probará a las edades de 7, 14, 30 y 60 días, se probaran dos piezas por cada una de las edades. Se determinara el Modulo de Ruptura y la Resistencia de Ruptura a la primer grieta, según lo establecido en la norma ASTM C 67.



Figura III.10 Molde para elaborar las piezas de material cerámico.



*Figura III.11 Aplicación de la energía de compactación en las piezas de mampostería*



*Figura III.12 Piezas de mampostería hechas con arcilla y con 8% de cal.*

## IV. RESULTADOS

### IV.1 EXTRACCIÓN E IDENTIFICACIÓN DEL SUELO POR ESTUDIAR

El material se extrajo de una profundidad de 1.20 metros de un pozo a cielo abierto se tomaron muestras alteradas e inalteradas las cuales se analizaron en el laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Autónoma de Querétaro, también se le aplicó una prueba de Difracción de Rayos X en el Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada (CFATA).

### IV.2 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUELO DE DESECHO EN ESTUDIO

#### IV.2.1 Granulometría

Se realizó el análisis granulométrico tanto por vía seca como húmeda; por vía seca (ASTM D 2487) se determinó que se trata de un material fino ya que de la muestra analizada el 94.835 % paso por la malla del número 200 (0.074 mm) como se muestra en el porcentaje que pasa la malla de la tabla IV.1.

*Tabla IV.1 Análisis granulométrico por vía seca.*

Malla	Tamaño (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido parcial	% Retenido acumulado	% que pasa la malla
10	2.000	0.37	0.124	0.124	99.876
20	0.840	1.2	0.401	0.525	99.475
40	0.420	2.69	0.900	1.425	98.575
60	0.250	2.92	0.977	2.402	97.598
100	0.149	3.22	1.077	3.479	96.521
200	0.074	5.04	1.686	5.165	94.835
Pasa 200		283.5			
Total		298.940			

Ya que se trata de un material fino, procedió a realizar el análisis por vía húmeda (ASTM D 422), del cual se determinó que el diámetro de la partícula más fina es de 0.0008 milímetros con un porcentaje de 11.43% del total de la muestra, los valores del diámetro de la partícula con su respectivo porcentaje que pasa la malla, se muestran en la tabla IV.2.

*Tabla IV.2 Diámetro y porcentajes de las partículas por vía seca y húmeda*

Prueba	Diámetro en mm.	% que pasa la malla
Granulometría Vía Seca	2.0000	99.8762
	0.8400	99.4748
	0.4200	98.5750
	0.2500	97.5982
	0.1490	96.5210
	0.0740	94.8351
Granulometría Vía Húmeda	0.0627	94.3518
	0.0449	92.3457
	0.0367	91.0083
	0.0268	84.6558
	0.0224	79.6406
	0.0198	75.6285
	0.0146	66.6012
	0.0110	58.5770
	0.0081	48.5467
	0.0059	39.5194
	0.0036	28.1852
	0.0017	16.6503
	0.0013	15.4467
	0.0012	15.1458
0.0009	12.4376	
0.0008	11.4346	

En la figura IV.1 se muestra la gráfica de la granulometría realizada, tanto por vía seca como por vía húmeda teniendo un porcentaje de 0.0% de gravas,

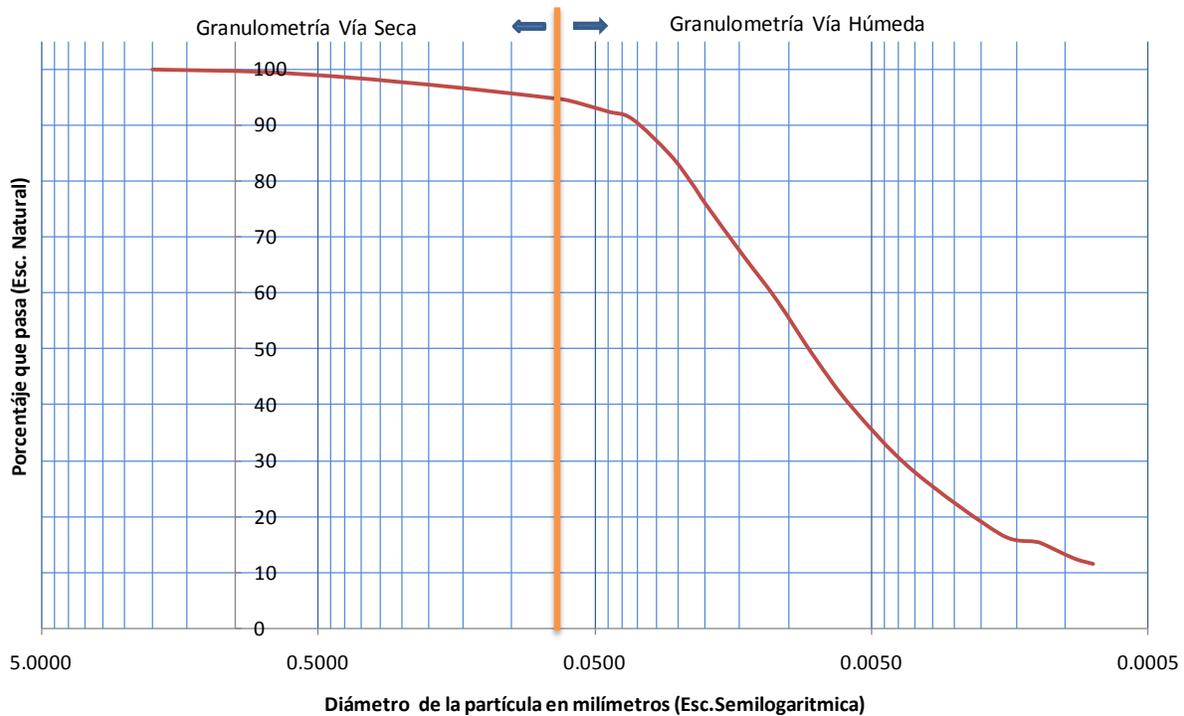


Figura IV.1 Curva granulométrica de la arcilla analizada

5.165% de arenas y 94.835% de finos. Cabe mencionar que los finos se clasifican según la carta de plasticidad del Sistema Unificado de Clasificación de suelos como una arcilla de alta plasticidad (CH), estos resultados se muestran más adelante en la carta de plasticidad.

#### IV.2.2 Límites de plasticidad

Esta prueba se realizó bajo la norma ASTM D4318, se realizaron seis puntos con distintas humedades como lo muestra la tabla IV.3; con los datos obtenidos se grafica la curva de fluidez del material como lo muestra la figura IV.2, de aquí se determina la humedad para el límite líquido la cual resulto ser de 70.21 %.

Tabla IV.3 Golpes en la Copa de Casagrande y humedades para el suelo natural

Número de Golpes	Peso Húmedo (gr)	Peso Seco (gr)	Humedad (%)
36	17.70	10.67	65.89
30	19.41	11.48	69.08
26	20.69	12.17	70.01
25	19.20	11.28	70.21
20	11.67	6.81	71.37
14	16.54	9.59	72.47

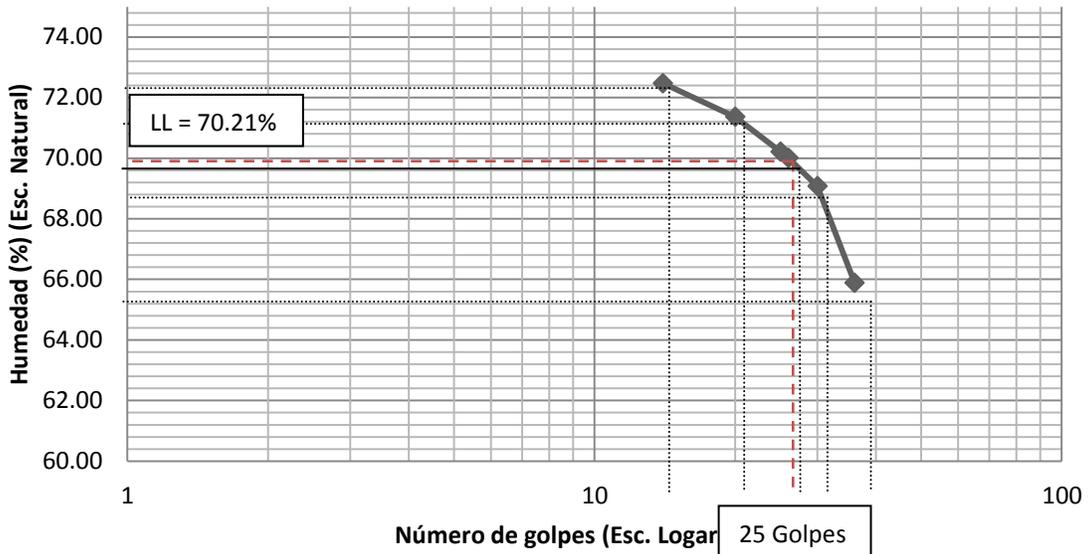


Figura IV.2 Curva de fluidez del suelo natural

Para el límite plástico se realizaron dos determinaciones de la prueba de los cuales se tomó el promedio como valor del Límite Plástico el cual resultó ser una humedad del 27.56% como lo muestra la tabla IV.4.

Tabla IV.4 Determinación del límite plástico

Vidrio de reloj	Peso Húmedo (gr)	Peso Seco (gr)	Humedad (%)
1	4	3.14	27.39
2	3.73	2.92	27.74
Promedio			27.56

Teniendo los valores de Límite Líquido y Límite Plástico podemos determinar el valor del Índice de Plasticidad restando al valor del Límite Líquido el valor del Límite Plástico, lo cual dio como resultado una humedad de 42.64 %.

Con el valor del Límite Líquido y del Índice de Plasticidad entramos a la carta de plasticidad del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) para clasificar el suelo en estudio, relacionando los datos que tenemos del análisis granulométrico por mallas en el cual se definió que el suelo en estudio se trataba de un suelo fino y el resultado de la clasificación de la carta de plasticidad (figura IV.3), el suelo en estudio se clasifico como una arcilla de alta plasticidad (CH).

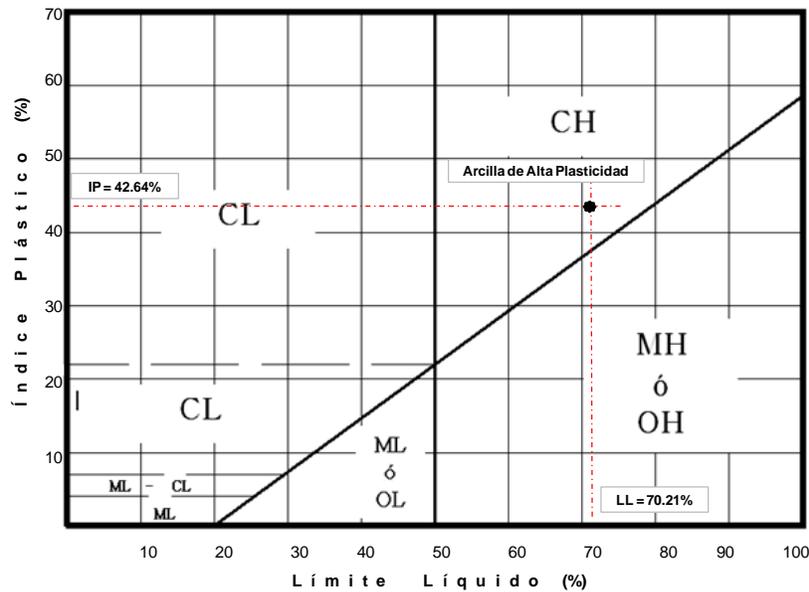


Figura IV.3 Clasificación del suelo en la Carta de Plasticidad

La prueba de contracción lineal se realiza con el material de la consistencia del Límite Líquido a los 25 golpes en la copa de Casa Grande, en la tabla IV.5 se muestran los valores de la prueba, una vez que conocemos las longitudes de la muestra tanto húmeda como seca, con la ecuación IV.1 determinamos el porcentaje de contracción lineal dándonos un valor de 16.5 %.

Tabla IV.5 Longitudes de la muestra tanto húmeda como seca

Prueba	Longitud inicial (cm)	Longitud Final (cm)	$\Delta L$ (cm)
1	10	8.35	1.65

$$CL = \frac{L_o - L_f}{L_o} \times 100$$

[IV.5]

Donde:

$L_o$  = Longitud inicial de la barra (cm).

$L_f$  = Longitud final de la barra (cm).

CL = Contracción lineal del suelo (%).

$$CL = \frac{10.0\text{cm} - 8.35\text{cm}}{10.0\text{cm}} * 100 = 16.5\%$$

Para el límite de contracción se utilizó la ecuación A.8 que se encuentra en el apéndice A, se realizaron dos determinaciones y se promedió con lo cual tenemos un valor de 8.68 %. Estos datos se ven en la tabla IV.6.

Tabla IV.6 Determinación del límite de contracción.

Prueba	Volumen inicial (cm <sup>3</sup> )	Volumen final (cm <sup>3</sup> )	Suelo Húmedo (gr)	Suelo Seco (gr)	Límite de contracción (%)
1	39.63	20.07	55.47	33.10	8.49
2	39.63	20.04	56.18	33.61	8.87
Promedio					8.68

Por los valores encontrados de límite de contracción y contracción lineal este suelo se clasifica con un grado de expansión alto. (Juárez y Rico, 2009)

#### IV.2.4 Peso específico de la muestra por inmersión en agua

Para determinar este dato nos basamos en la norma ASTM D 4531, se realizaron tres determinaciones y de estas se calculó el promedio como el valor del peso específico de la muestra dando un valor de  $1.607 \text{ gr/cm}^3$ , estos datos se muestran en la tabla IV.7.

*Tabla IV.7 Determinación del peso específico por inmersión en agua.*

Peso de la masa de suelo (gr)	Peso de suelo con parafina (gr)	Peso de la parafina (gr)	Peso sumergido (gr)	Volumen de parafina ( $\text{cm}^3$ )	Volumen de la masa de suelo ( $\text{cm}^3$ )	Peso específico del suelo ( $\text{gr/cm}^3$ )	Peso específico del suelo ( $\text{kg/m}^3$ )
350.2	395.3	45.1	130.2	46.98	218.12	1.606	1606
160.5	193.7	33.2	59.1	34.58	100.02	1.605	1605
172.85	195.1	22.25	64.7	23.18	107.22	1.612	1612
Promedio						1.607	1607

#### IV.2.5 Peso específico relativo de sólidos (Ss)

La descripción de esta prueba se muestra en el punto A.5 del Apéndice con referencia en la norma ASTM D 854, dicha prueba arroja los resultados de temperaturas y pesos mostrados en la tabla IV.8 y que alimentan la ecuación A.10, con lo que se obtiene un valor del peso específico relativo de sólidos de 2.52 el cual es adimensional.

*Tabla IV.8 Temperatura y pesos obtenidos.*

Determinación no.	1
Temperatura °C	18
Peso matraz, agua y suelo (Wfws) gr.	763.3
Peso matraz y agua aforado (Wfw) gr.	704.42
Peso de suelo seco (Ws) gr.	97.74

$$S_s = \frac{\alpha W_s}{W_w} = \frac{\alpha W_s}{W_{fw} + W_s - W_{fws}}$$

[A. 10]

Dónde:

$S_s$  = Peso específico relativo de sólidos corregido por temperatura.

$W_{fw}$  = Peso del matraz más agua (gr).

$W_{fws}$  = Peso del matraz más agua y suelo (gr).

$W_s$  = Peso seco del suelo (gr).

$\alpha$  = corrección por temperatura (adimensional).

$$S_s = \frac{1.0004 * 97.74 \text{ gr}}{704.42 \text{ gr} + 97.74 \text{ gr} - 763.3 \text{ gr}} = 2.52$$

### IV.3 ESTABILIZACIÓN DEL SUELO CON CAL

En esta parte se determinó la estabilización del material mediante los límites de plasticidad, su correspondiente clasificación en la carta de plasticidad y por las pruebas de límite de contracción y contracción lineal.

En la tabla IV.9 se muestran los límites de plasticidad (Límite Líquido, Límite Plástico e índice de plasticidad) obtenidos después de agregar cal en los diferentes porcentajes antes determinados (6, 8 y 10 %).

*Tabla IV.9 Resultados de los límites de plasticidad después de la adición de cal.*

Tipo de suelo	Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Índice Plástico (%)
Natural	70.21	27.56	42.65
con 6 % de cal	51.2	28.56	22.64
con 8 % de cal	45.3	31.01	14.29
con 10 % de cal	48.72	36.09	12.63

Con los datos de la tabla IV.9 se entra en la carta de plasticidad para determinar su clasificación, los resultados son los siguientes: con el 6% de cal el

material se clasifico como una arcilla de baja plasticidad (CL), con el 8% de cal se clasifico como un limo de baja plasticidad (ML) y con el 10% de cal también se clasifico como un limo de baja plasticidad (ML); estos resultados se ven de la figura IV.4 donde se asignó una figura para cada combinación de suelo-cal ubicada en su correspondiente clasificación.

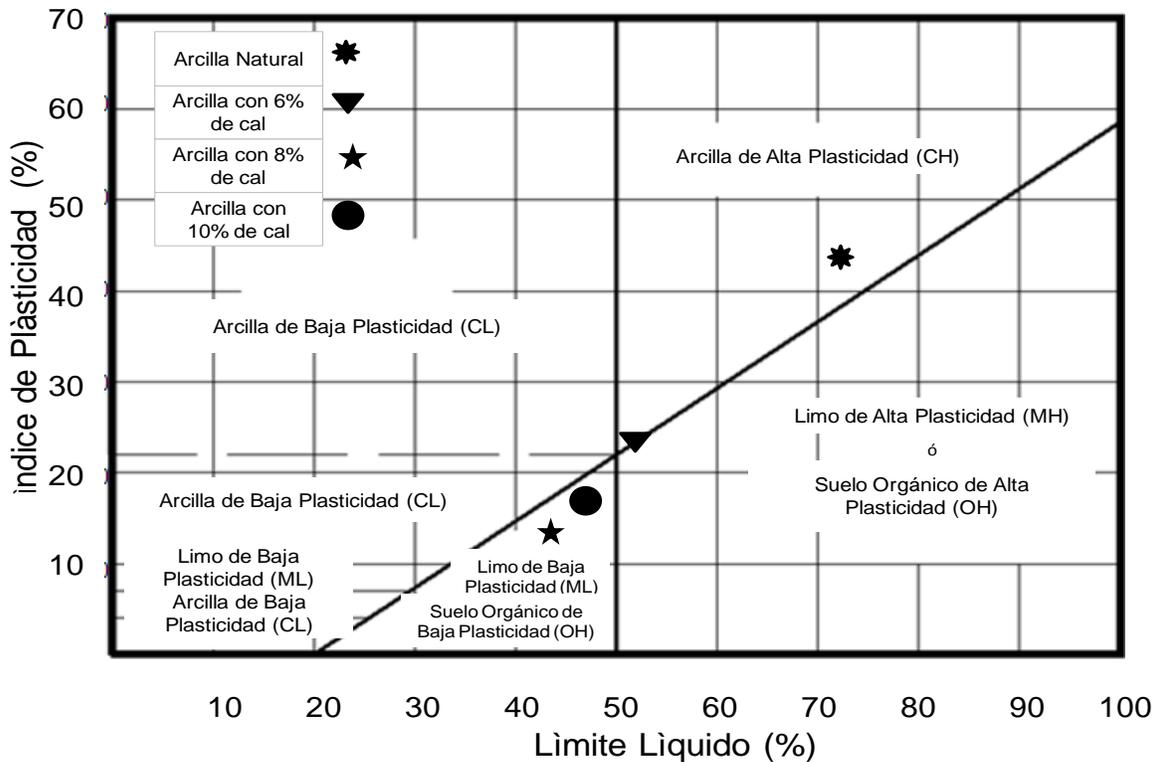


Figura IV.4 Clasificación del suelo arcilloso estabilizado con 6, 8 y 10% de cal, en la Carta de Plasticidad

En las figuras de la IV.5 a la IV.8 se muestran las comparaciones que existen entre los límites de plasticidad contra el porcentaje de cal utilizado, así como también la contracción lineal y el límite de contracción contra el porcentaje de cal utilizado. En los límites de plasticidad podemos observar como las propiedades se estabilizan a partir del 8% de cal, al comportarse la curva de forma continua a partir de este porcentaje de cal en adelante, mientras que en el límite de contracción como en la contracción lineal nos damos cuenta que el porcentaje óptimo de cal para estabilizar nuestro suelo es del 8%. Según la clasificación de la

tabla IV.10, con los valores que tenemos para índice de plasticidad y límite de contracción con un 8% de cal, tenemos un grado de expansión bajo.

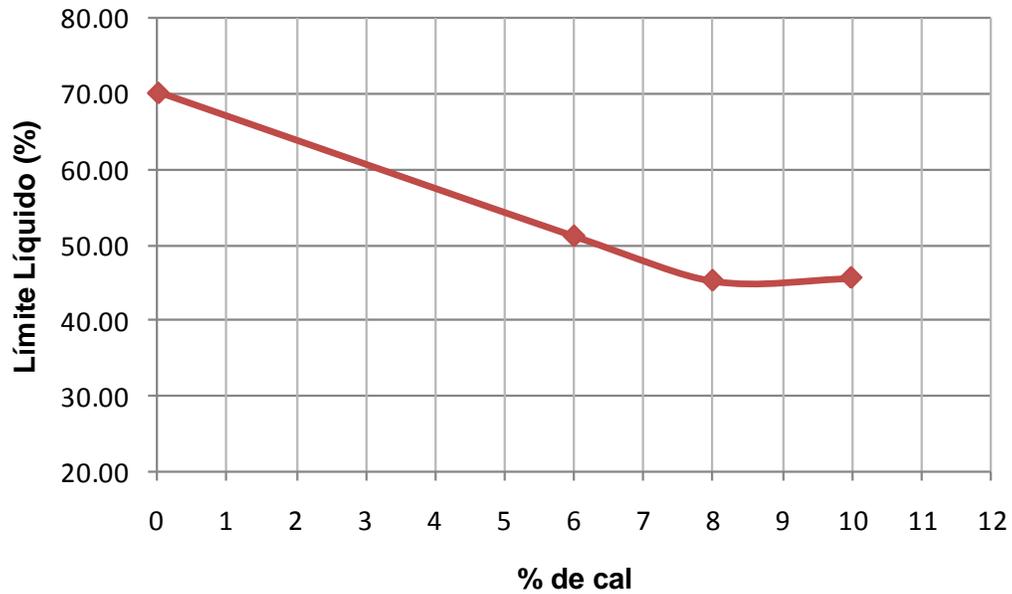


Figura IV.5 Límite Líquido vs porcentaje de cal

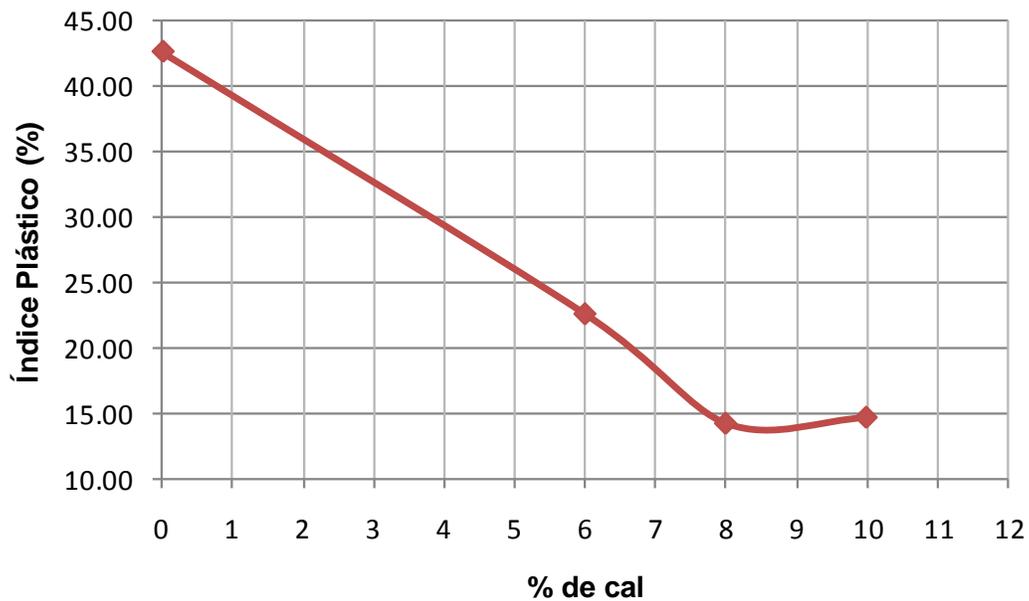


Figura IV.6 Índice Plástico vs porcentaje de cal

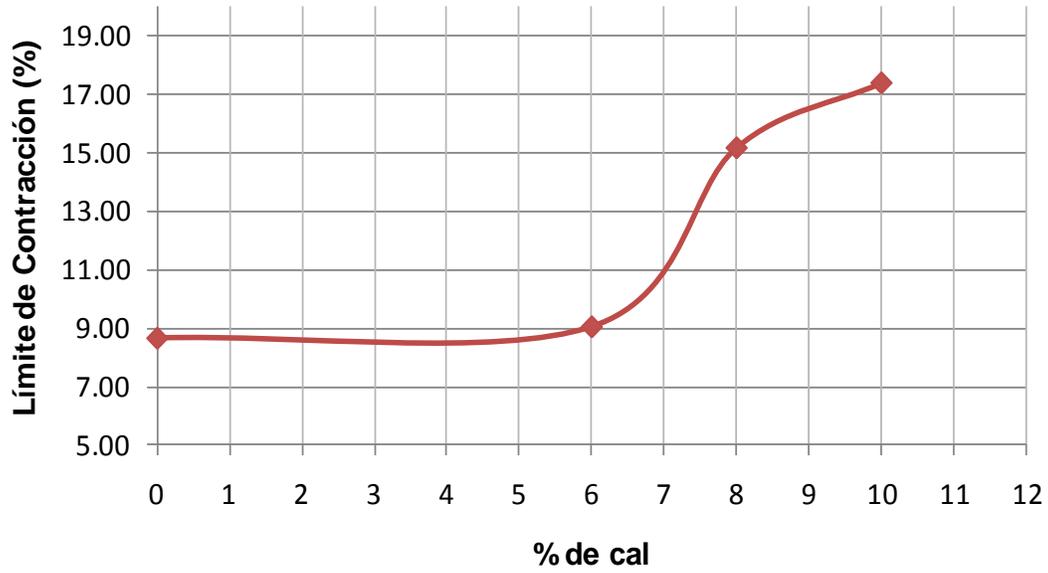


Figura IV.7 Límite de contracción vs porcentaje de cal

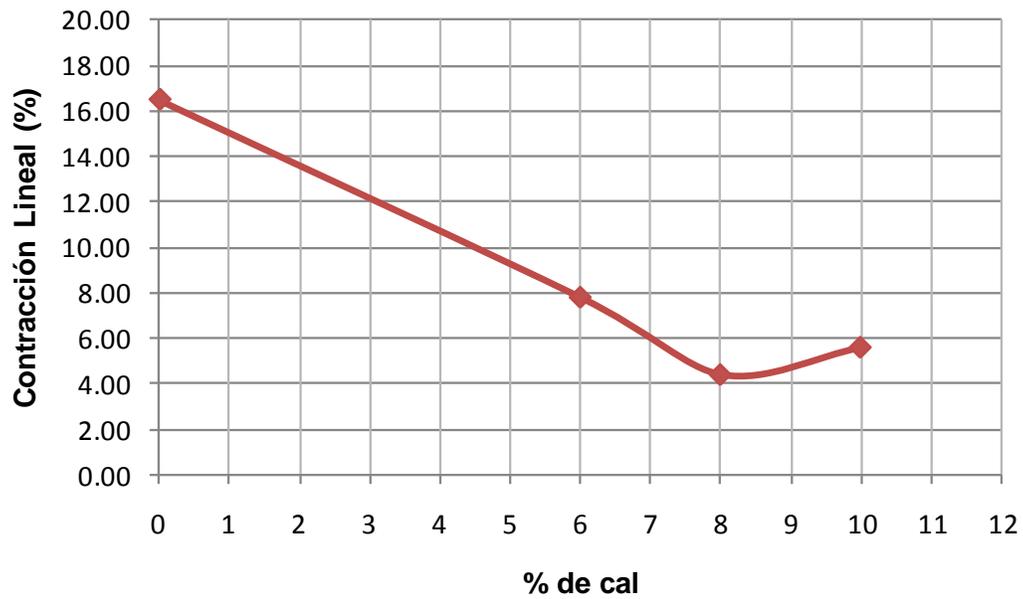


Figura IV.8 Contracción Lineal vs porcentaje de cal

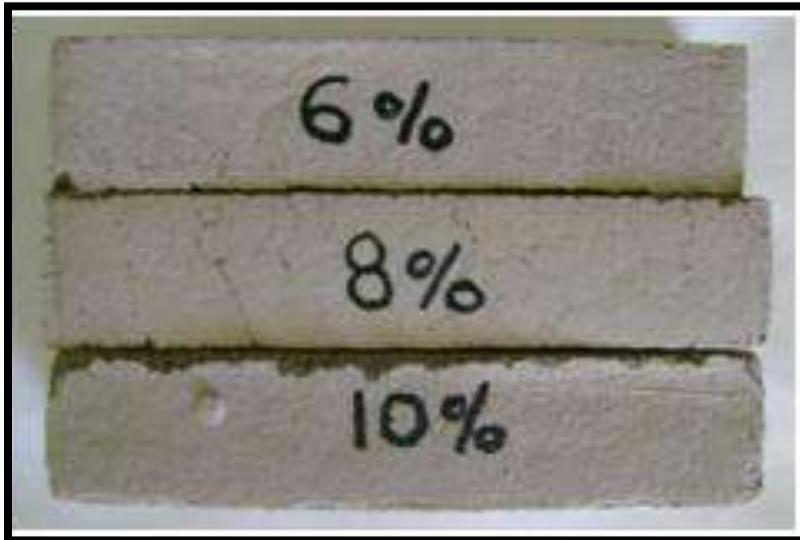
Tabla IV.10 Clasificación de suelos expansivos basada en contenido coloidal, Índice Plástico y Límite de Contracción.

Data from Index Tests			Probable expansion (% Total Volume Change)	Degree of Expansion
Colloid Content (% minus 0.0001 mm)	Plasticity Index	Shrinkage Limit		
>28	>35	<11	>30	Very high
20-31	25-41	7-12	20-30	High
13-23	15-28	10-16	10-20	Medium
<15	<18	>15	<10	Low

En la figura IV.9 podemos observar el pequeño cambio de volumen que sufre el suelo arcilloso al adicionarle diferentes porcentajes de cal, comparado con el mismo suelo pero sin adicionar cal. Al realizar una inspección visual se observa que con un 8% de cal el suelo sufre muy pocos cambios volumétricos, en comparación con el 6% de cal, el 10% de cal sufrió cambios volumétricos similares al 8%, concluyendo por inspección visual que el porcentaje idóneo sería un 8% de cal, figura IV.10.



Figura IV. 9 Comparación entre el suelo natural y el suelo estabilizado con cal



*Figura IV. 10 Comparación entre la contracción lineal del suelo con diferentes porcentajes de cal*

#### **IV.4 Caracterización físico-química de los materiales en estudio**

##### **IV.4.1 Difracción de Rayos X en el suelo natural y el suelo estabilizado.**

Se utilizó un Difractómetro marca Rigaku, modelo MiniFlex+, mismo que cuenta con un tubo de rayos X con blanco de cobre, con lo cual se obtiene una radiación cuya longitud de onda tiene un valor de  $1.54 \text{ \AA}$  y que corresponde a la radiación  $k\alpha$  del Cu. Dicho difractómetro es manejado de forma automática mediante una computadora personal.

Para poder determinar las posibles fases cristalinas presentes en las muestras analizadas se utilizó el software “Materials Data Jade”, de la empresa “MDI Materials Data”, mediante el cual es posible analizar uno o varios difractogramas. Nuestras muestras se corrieron con las siguientes especificaciones:

- De  $5$  a  $80^\circ$ , con una velocidad de  $2^\circ/\text{min}$  y un muestreo de  $0.02s$

El resultado del análisis de Difracción de Rayos X, nos dice que el suelo extraído tiene mineral de montmorilonita (el pico que se eleva en un ángulo de  $6$

grados y el otro que se eleva en un ángulo de 74 grados aproximadamente según la figura IV.11), son los picos característicos del mineral montmorilonita, lo cual indica que se trata de una arcilla con un alto grado de expansión, esto se corroborará con otras pruebas como lo son los Límites de Atterberg.

También se realizaron estudios de Difracción de Rayos X, para ver que sucedía en la combinación de arcilla con 8% de cal, en la figura IV.12 observamos el difractograma en donde tenemos la presencia de dos nuevos minerales como lo son el óxido de calcio en color verde y el carbonato de calcio en color anaranjado, lo que nos indica que se está dando un intercambio catiónico entre estos dos materiales lo cual impide que la arcilla siga sufriendo cambios en su volumen con la variación de la humedad

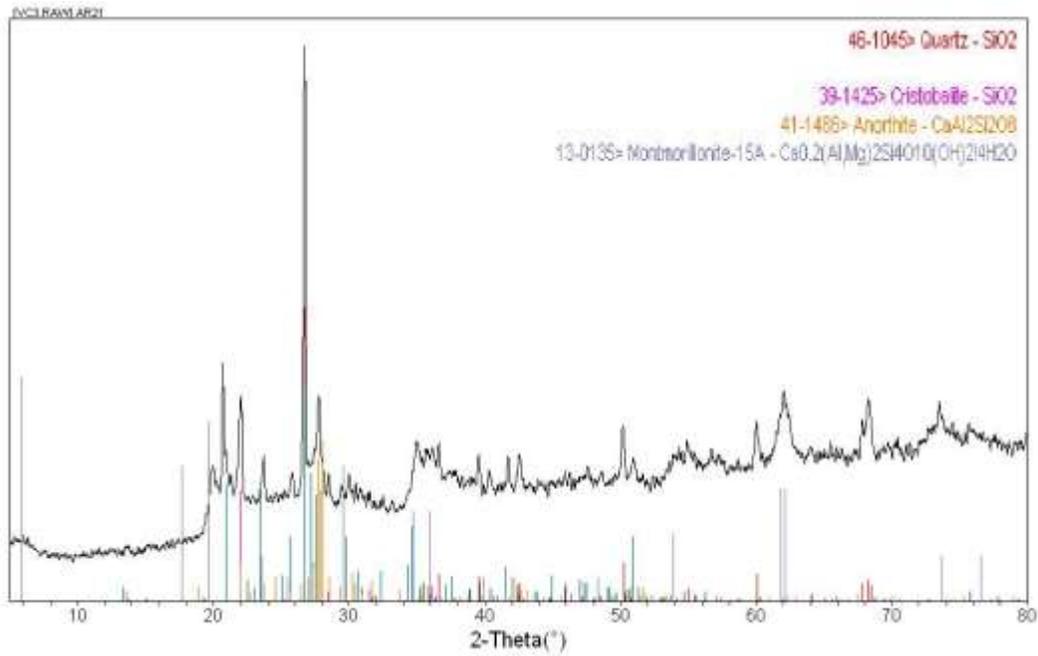


Figura IV.11 Difractograma de la muestra de suelo natural

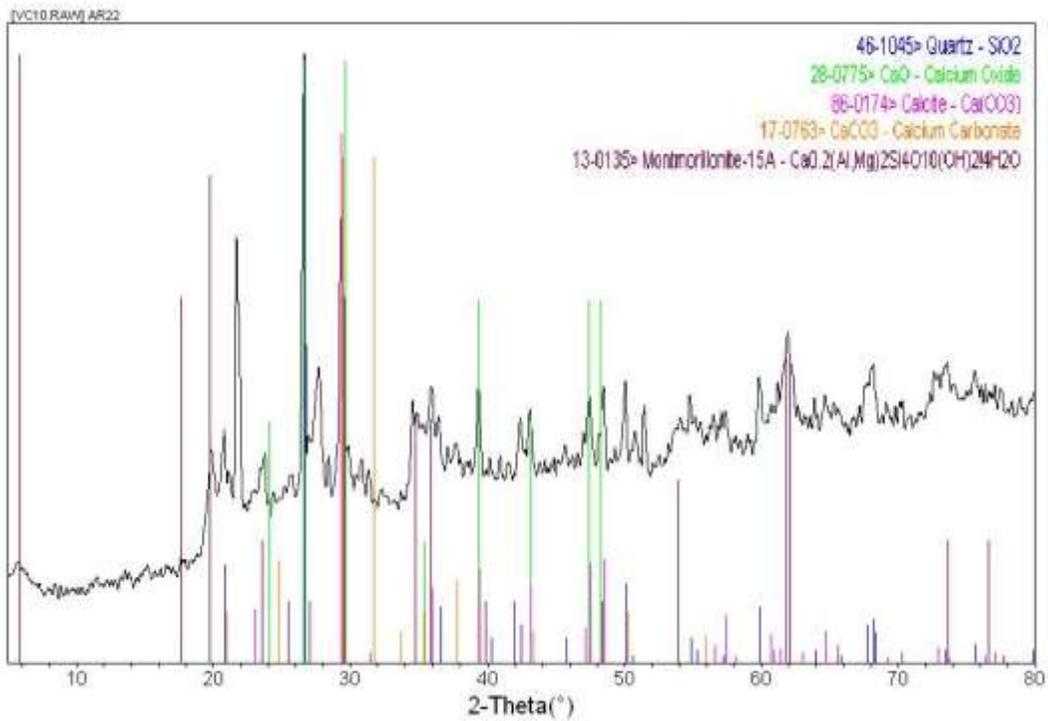


Figura IV.12 Difractograma del suelo estabilizado con 8% de cal

#### IV.5 APLICACIÓN DE ENERGÍAS DE COMPACTACIÓN.

**IV.5.1 Energía Proctor Estándar (6 kg-cm/cm<sup>3</sup>), Proctor Modificada (27 kg-cm/cm<sup>3</sup>) y Energía de 40 kg-cm/cm<sup>3</sup>**

En la tabla IV.11 se presentan los resultados de la prueba Proctor Estándar (ASTM D698), en esta tabla se observa que se obtiene un mayor peso específico en la mezcla de arcilla con 8% de cal, teniendo en cuenta que este porcentaje de cal (8%) resulto ser el punto de fijación en la prueba de estabilización, es decir el porcentaje óptimo de cal.

En la tabla IV.12 se muestran los valores obtenidos de la prueba Proctor Modificada (ASTM D1557), donde se observa que al igual que en la prueba Proctor Estándar la mejor compactación se logró con la mezcla de arcilla con 8% de cal, en la tabla IV.13 se muestran los valores obtenido con la energía de 40 kg-cm/cm<sup>3</sup>, aquí se observa que con las mezclas de arcilla con 8 y 10 % de cal se obtiene el mismo grado de compactación al obtener ambas mezclas el mismo peso específico seco.

*Tabla IV.11 Humedades Óptimas y Pesos Específicos Secos Máximos de la prueba Proctor Estándar*

Tipo de suelo	Humedad Óptima (%)	Peso Específico Seco Máximo (gr/cm <sup>3</sup> )	Peso Específico Seco Máximo (kg/m <sup>3</sup> )
Natural	31.30	1.40	1400
con 6% de cal	35.20	1.17	1170
con 8% de cal	35.00	1.39	1390
con 10% de cal	35.60	1.36	1360

*Tabla IV.12 Humedades Óptimas y Pesos Específicos Secos Máximos de la prueba Proctor Modificada*

Tipo de suelo	Humedad Óptima (%)	Peso Específico Seco Máximo (gr/cm <sup>3</sup> )	Peso Específico Seco Máximo (kg/m <sup>3</sup> )
Natural	22.56	1.57	1570
con 6% de cal	39.10	1.22	1220
con 8% de cal	38.20	1.25	1250
con 10% de cal	39.53	1.23	1230
con 6% de cal	39.52	1.21	1210
con 8% de cal	37.82	1.25	1250
con 10% de cal	38.50	1.25	1250

Los resultados obtenidos al aplicar estas energías de compactación no fueron los esperados, es decir se esperaba que los pesos específicos aumentaran con la aplicación de cada una de las energías de compactación y por el contrario disminuyeron en comparación con los resultados obtenidos en la prueba Proctor Estándar. Es muy probable que el suelo tenga un comportamiento diferente cuando está estabilizado con cal; de manera comparativa los resultados de las tres energías de compactación se muestran gráficamente en la figura IV.13. En esta gráfica observamos que en el suelo natural la densidad aumenta al aumentar la energía de compactación aplicada, en la mezcla con un 6% de cal, observamos que el grado de compactación aumenta de la Prueba Proctor estándar a la prueba Proctor Modificada, pero disminuye de la Proctor estándar a la energía de  $40 \text{ kg-cm/cm}^3$ , con el 8 y 10% de cal observamos que la energía que genera un mejor grado de compactación es la prueba Proctor Estándar, con las energías de Proctor Modificada y de  $40 \text{ kg-cm/cm}^3$ , los valores disminuyen considerablemente.

En el apéndice C, D y E se muestran las gráficas y las tablas correspondientes a los datos obtenidos de las pruebas Proctor Estándar, Proctor Modificada y la energía de  $40 \text{ kg-cm/cm}^3$  respectivamente.

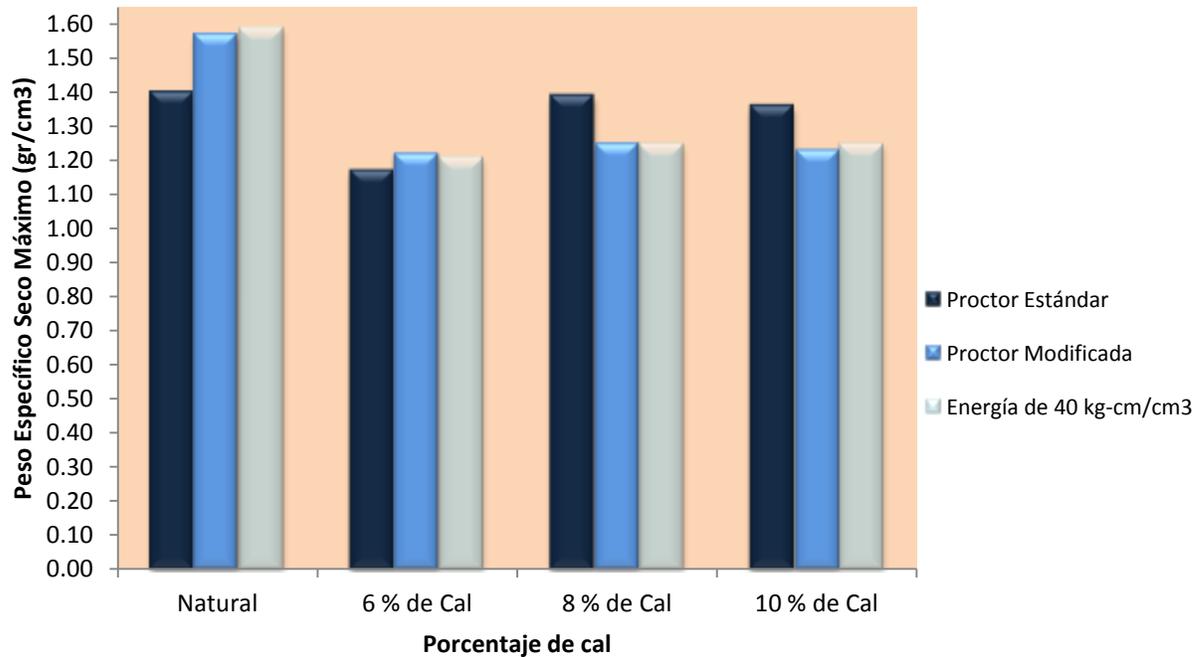


Figura IV.13 Pesos Específicos de diferentes mezclas suelo-cal, obtenidos con energías específicas de compactación de 6, 27 y 40 kg-cm/cm<sup>3</sup>.

#### IV.5.2 Energías de 15, 18, 21 y 24 kg-cm/cm<sup>3</sup>

De estos resultados se consideró pertinente aplicar otras energías de compactación ubicadas entre la Proctor Estándar y la Proctor Modificada, es decir mayores que 6 kg-cm/cm<sup>3</sup> pero menores de 27 kg-cm/cm<sup>3</sup>; debido a que los mejores pesos específicos secos se ubicaron entre estas dos energías. Las nuevas energías de compactación fueron de 15, 18, 21 y 24 kg-cm/cm<sup>3</sup>, las cuales solo se aplicaron en la mezcla de suelo con 8% de cal debido a que este porcentaje fue el que mejores resultados dio en la primer ronda de energías de compactación.. Los resultados obtenidos de estas nuevas energías de compactación se muestran en la tabla IV.14 y en la figura IV.14.

Tabla IV.14 Humedades Óptimas y Pesos Específicos Secos Máximos de la mezcla suelo con 8% de cal aplicando energías de compactación de 15, 18, 21 y 24 kg-cm/cm<sup>3</sup>.

Tipo de suelo	Energía aplicada (kg-cm/cm <sup>3</sup> )	Humedad Óptima (%)	Peso Específico Seco Máximo (gr/cm <sup>3</sup> )	Peso Específico Seco Máximo (kg/m <sup>3</sup> )
con 8% de cal	15	33.30	1.50	1500
con 8% de cal	18	31.53	1.54	1540
con 8% de cal	21	31.40	1.56	1560
con 8% de cal	24	34.20	1.57	1570

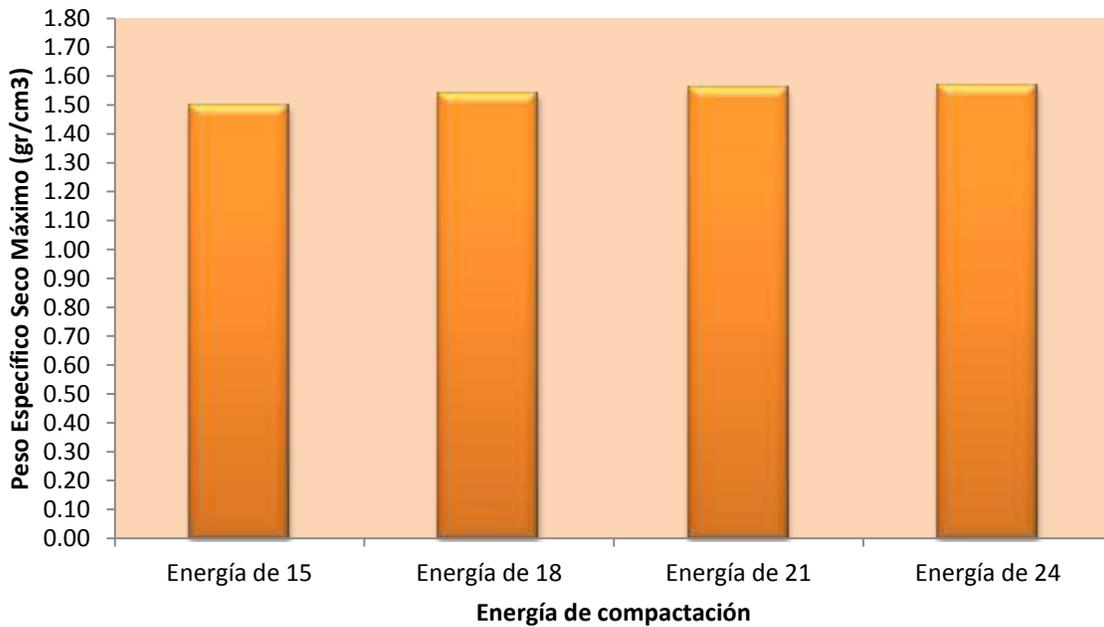


Figura IV.14 Pesos Específicos de la mezcla suelo-cal 8% obtenidos energías específicas de compactación de 15, 18, 21 y 24 kg-cm/cm<sup>3</sup>.

De la tabla IV.16 podemos observar que entre las energías de 21 y 24 kg-cm/cm<sup>3</sup> son las que mayor peso específico seco generan, pero es muy poca la diferencia entre sus valores pero si es mucha diferencia en el proceso, por ello se decidió que la energía de compactación que conviene aplicar a el composito de arcilla con 8% de cal en particular, es la de 21 kg-cm/cm<sup>3</sup>. En el apéndice F se muestran las tablas y gráficas de los datos obtenidos de las estas energías de compactación.

## IV.6 ANÁLISIS DE RESISTENCIA EN PROBETAS APLICANDO COMPRESIÓN SIMPLE

### IV.6.1 Probetas bajo norma ASTM D 2166

El procedimiento para elaborar estas probetas remoldeadas se detalló en el capítulo tres, los valores de esfuerzo de las probetas remoldeadas con Proctor Estándar se muestran en la tabla IV.15 y de manera gráfica en la figura IV.15.

Tabla IV.15 Esfuerzos de Probetas remoldeadas con Proctor Estándar

Edad (días)	Material (Resistencia, kg/cm <sup>2</sup> )			
	Arcilla natural	Arcilla-6% cal	Arcilla-8% cal	Arcilla-10% cal
7	1.33	2.24	7.91	8.57
14	1.48	1.99	9.90	11.67
30	3.23	2.34	10.81	15.63
60	7.87	4.14	14.39	19.33

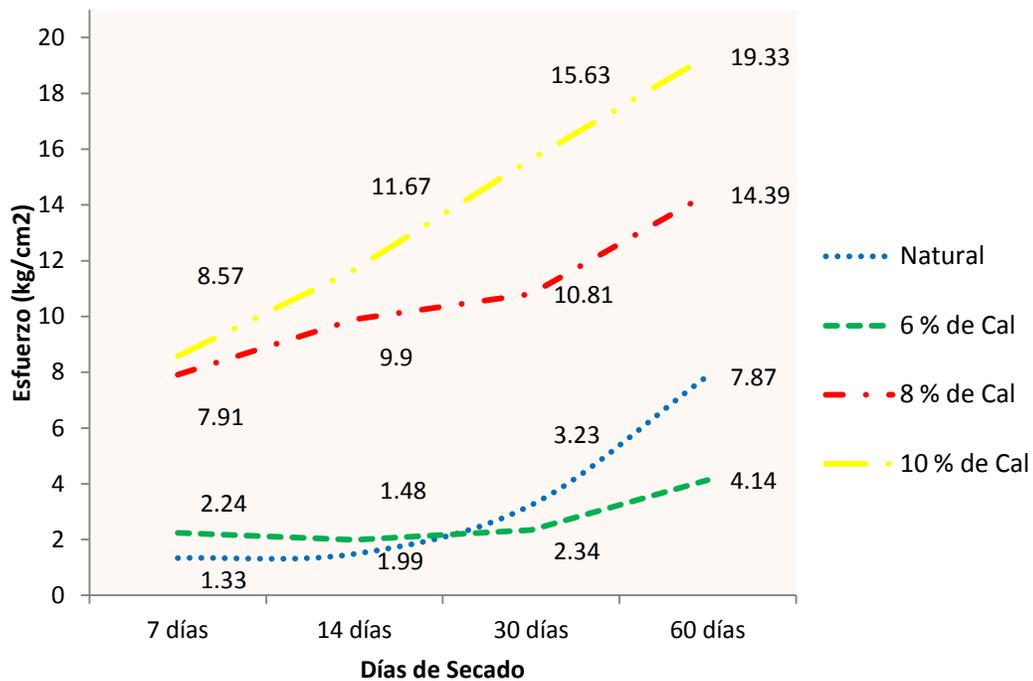


Figura IV.15 Esfuerzos en probetas remoldeadas con Proctor Estándar

Los valores de resistencia de las probetas remoldeadas con Proctor Modificada se muestran en la tabla IV.16 y de manera gráfica en la figura IV.16.

Tabla IV.16 Esfuerzos de Probetas remoldeadas con Proctor Modificada

Edad (días)	Material (Resistencia, kg/cm <sup>2</sup> )			
	Arcilla natural	Arcilla-6% cal	Arcilla-8% cal	Arcilla-10% cal
7	3.17	0.81	5.02	4.28
14	3.18	0.85	4.09	5.99
30	6.35	0.89	4.26	6.35
60	18.12	0.96	5.13	6.23

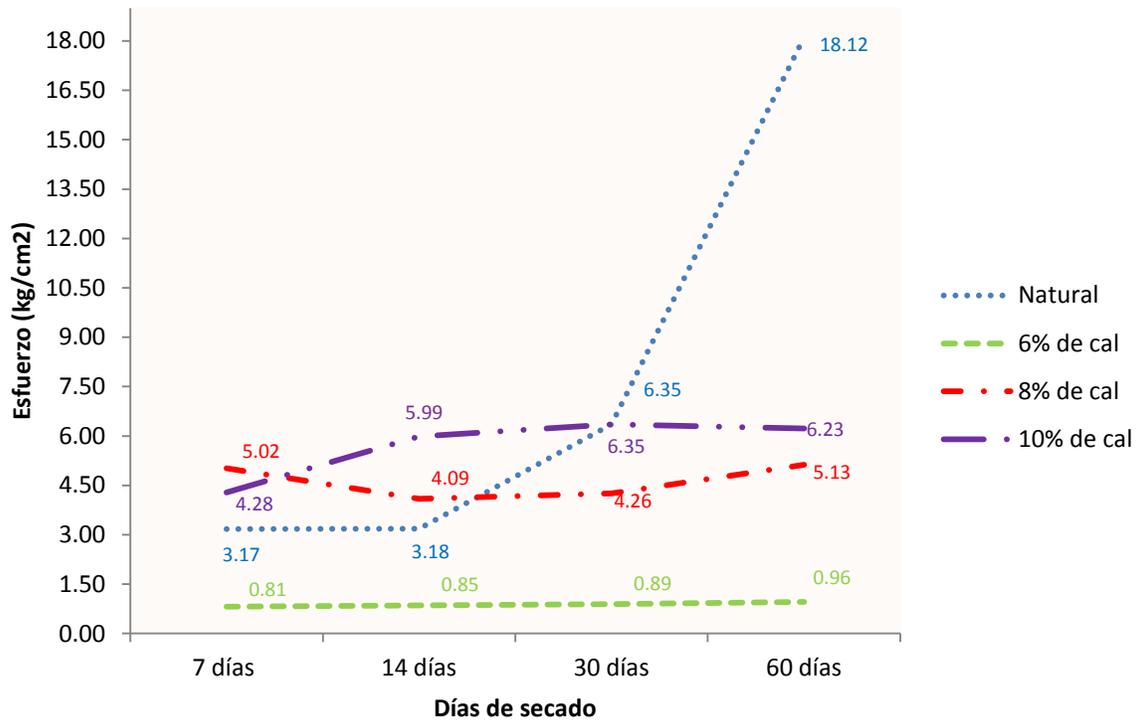


Figura IV.16 Esfuerzos en probetas remoldeadas con Proctor Modificada

De igual manera se elaboraron probetas remoldeadas con la energía de 40 kg-cm/cm<sup>3</sup>, en la tabla IV.17 se muestran los resultados obtenidos y de manera gráfica en la figura IV.17.

Tabla IV.17 Esfuerzos de Probetas remoldeadas con la energía de 40 kg-cm/cm<sup>3</sup>

Edad (días)	Material (Resistencia, kg/cm <sup>2</sup> )			
	Arcilla natural	Arcilla-6% cal	Arcilla-8% cal	Arcilla-10% cal
7	6.81	0.71	4.58	3.94
14	6.78	0.75	3.79	5.59
30	13.78	0.80	4.07	6.02
60	38.19	0.88	4.89	5.99

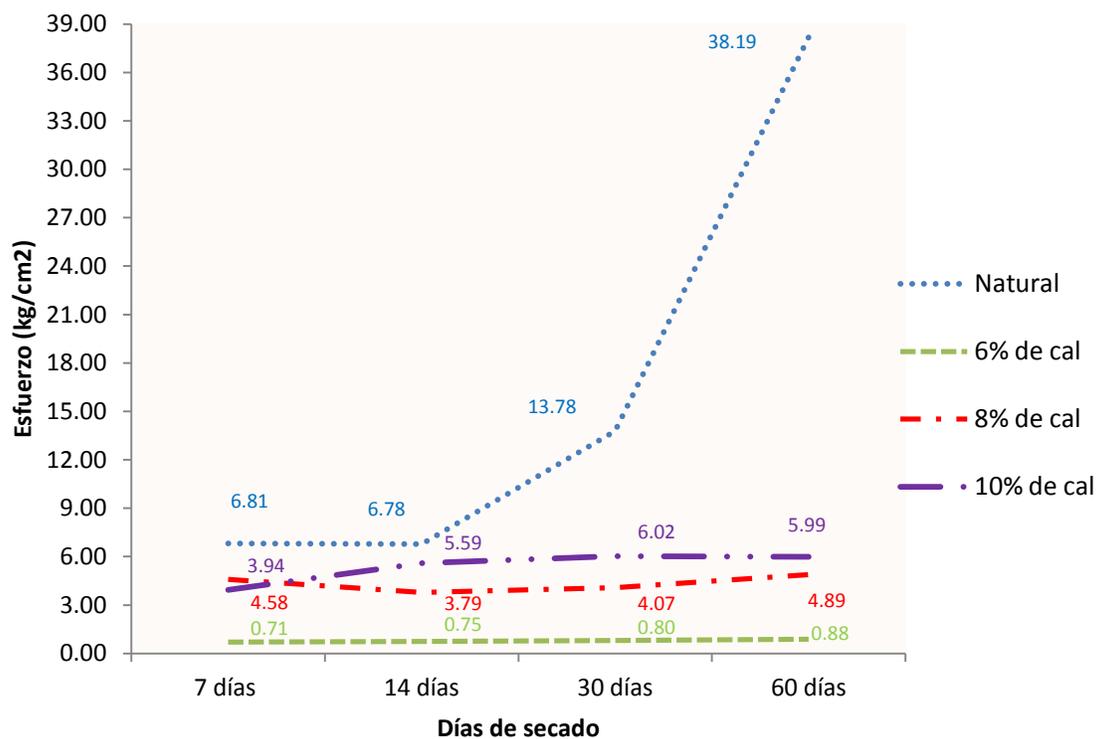


Figura IV.17 Esfuerzos de Probetas remoldeadas con la energía de 40 kg-cm/cm<sup>3</sup>

En la figura IV.15, observamos que el esfuerzo a los 60 días de la arcilla natural supera al del 6% de cal, esta se puede explicar debido al fenómeno de la tixotropía, el cual permite que el suelo natural se recupere después de un lapso de reposo, y de esta manera su resistencia aumente. En los porcentajes de 8 y 10% de cal se observa que su resistencia a los 60 días es superior a la arcilla natural y al 6 % de cal. Se nota muy marcadamente que entre los contenidos de 6 y 8% de cal, la resistencia aumenta un 70%, es decir, se mejora de manera significativa la resistencia, pero del 8 al 10% de cal la resistencia aumenta solamente el 25%. Por los resultados obtenidos podemos decir que el porcentaje de cal que genera una mayor resistencia es el 8%.

En la figura IV.16 se puede observar que el fenómeno de tixotropía se presenta más marcadamente, esto debido a que la energía de compactación que genera la prueba Proctor Modificada es mayor que la que genera la prueba Proctor Estándar. En las pruebas de compactación determinamos que el grado de compactación de la prueba Proctor Modificada era menor que el de la prueba Proctor estándar y esto se ve reflejado en las resistencias obtenidas en las probetas de Proctor Modificada, donde observamos que con el porcentaje de 6% de cal los valores son prácticamente iguales para todas las edades de prueba, para el 8% de cal es donde se presenta la mayor resistencia a los 60 días y para el 10 % de cal el valor a los 60 días está entre los valores del 6 y 8% de cal.

En la figura IV.17 se presenta prácticamente el mismo comportamiento de la figura IV.16, es decir, que el suelo ya no presenta cambios significativos si aplicamos energías de compactación mayores de  $27 \text{ kg-cm/cm}^3$  para este suelo en particular.

De los datos mostrados en las tablas anteriores, se determina que en el composito suelo-cal disminuye el esfuerzo, debido a que al agregarle cal al suelo natural, ésta destruye las propiedades de plasticidad, tixotropía y succión, pero al pasar el tiempo esta misma hace que vaya ganando resistencia debido a la reacción que se presenta entre el suelo y la cal.

En la tabla IV.18 se muestran los datos de las resistencias de las probetas elaboradas con la mezcla de arcilla con 8% de cal y compactadas con las energías de 15, 18, 21 y 24 kg-cm/cm<sup>3</sup>, y de manera gráfica en la figura IV.18.

Tabla IV.18 Esfuerzos de Probetas remoldeadas con distintas energías de compactación

Edad (días)	Energía de compactación (Resistencia, kg/cm <sup>2</sup> )			
	Energía de 15 kg-cm/cm <sup>3</sup>	Energía de 18 kg-cm/cm <sup>3</sup>	Energía de 21 kg-cm/cm <sup>3</sup>	Energía de 24 kg-cm/cm <sup>3</sup>
7	13.41	14.69	14.47	16.67
14	20.54	23.37	24.00	26.67
30	27.59	31.20	32.63	36.41
60	36.40	41.56	43.30	48.31

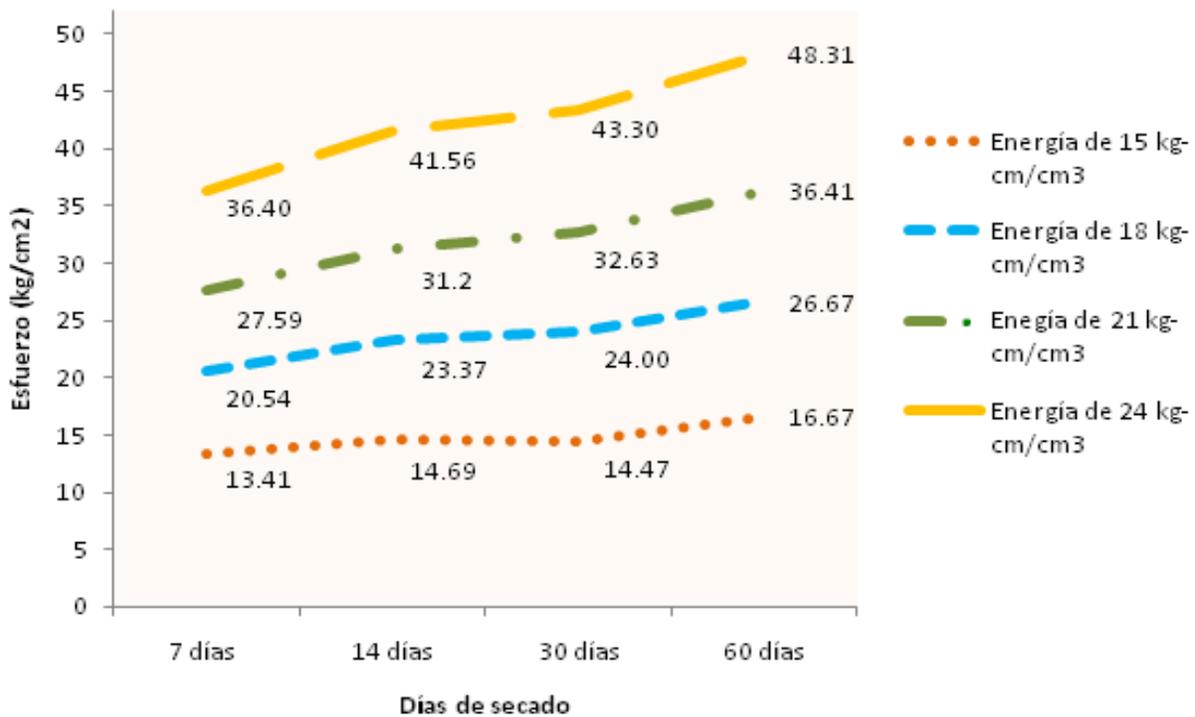


Figura IV.18 Esfuerzos de Probetas remoldeadas con distintas energías de compactación

De la tabla IV.18 y de la figura IV.18, observamos que los valores de resistencia obtenidos, comparados con los de las probetas con 8% de cal remoldeadas con la prueba Proctor Estándar, aumentaron, se observa que el suelo tiene un comportamiento similar, de la energía de 15 kg-cm/cm<sup>3</sup> a la de 18 kg-cm/cm<sup>3</sup> la resistencia aumento un 37%, de la energía de 18 kg-cm/cm<sup>3</sup> a la de 21 kg-cm/cm<sup>3</sup> la resistencia aumento un 26%, de la energía de 21 kg-cm/cm<sup>3</sup> a la de 24 kg-cm/cm<sup>3</sup> la resistencia aumento un 25%. Por lo tanto podemos decir que las mejores resistencias se obtienen con las energías de 21 y 24 kg-cm/cm<sup>3</sup>.

En la figura IV.19 se muestra gráficamente los resultados de las resistencias de las probetas elaboradas con 8% de cal y compactadas con todas las energías utilizadas, es decir, con las energías de 6, 15, 18, 21, 24, 27 y 40 kg-cm/cm<sup>3</sup>, se observa que la menor resistencia se obtiene con la energía de 40 kg-cm/cm<sup>3</sup> y la mayor resistencia con la energía de 24 kg-cm/cm<sup>3</sup>.

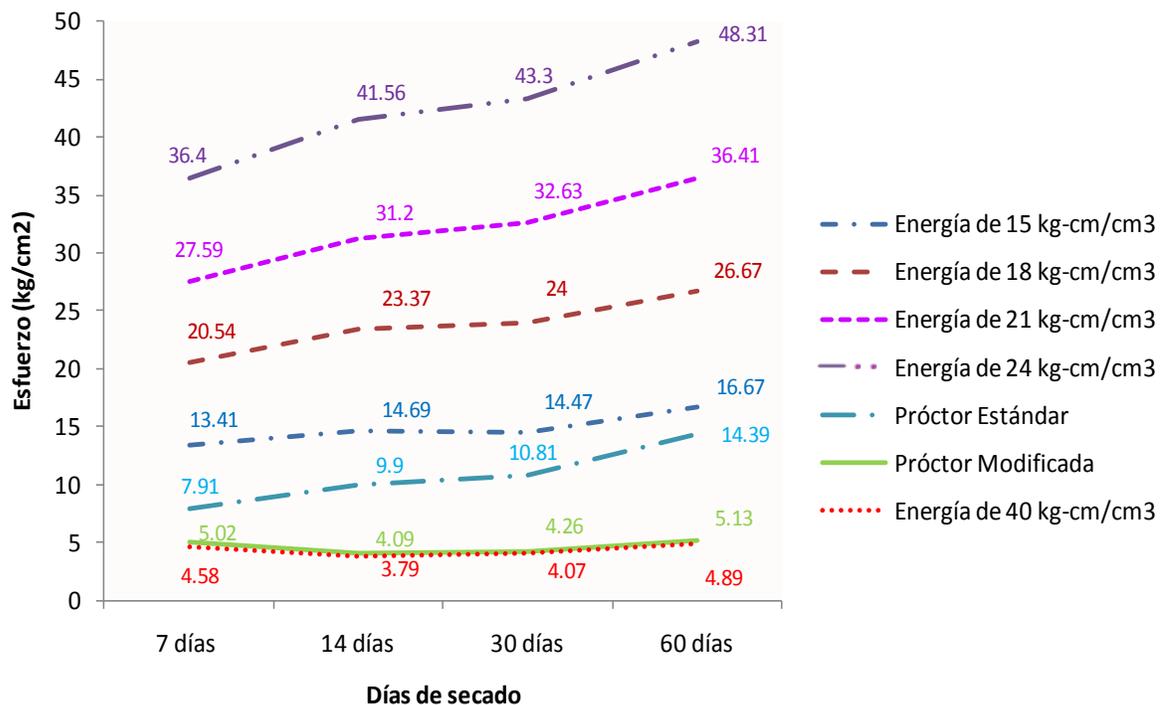


Figura IV.19 Esfuerzos de probetas con 8 % de cal remoldeadas con distintas energías de compactación.

#### IV.6.2 Otras probetas

Como se mencionó en la metodología correspondiente a este punto, se elaboraron otro tipo de probetas que se encuentran especificadas en la norma ASTM C109, pero que es exclusiva para morteros, se decidió aplicar esta norma a suelos estabilizados para ver si influía el área de contacto en la prueba de compresión simple, pero se aclara que estos cubos no tienen una norma como tal para su aplicación en suelos.

Estos cubos se elaboraron conforme la norma ASTM C109, con una mezcla de arcilla con 8% de cal y compactados con la energía de 21 kg-cm/cm<sup>3</sup>, se probaron a distintas edades (7, 14, 30 y 60 días), se ensayaron a compresión simple tres especímenes en cada una de las edades, los resultados obtenidos se muestran en la tabla IV.19, observamos que la resistencia a 60 días es la mayor. Si comparamos estos resultados con los de las probetas cilíndricas con 8 % de cal, nos podremos dar cuenta que estamos muy por encima de los resultados obtenidos de las energías de 6, 27 y 40 kg-cm/cm<sup>3</sup>, en cuanto a las energías intermedias nos encontramos entre las energías de 21 y 24 kg-cm/cm<sup>3</sup>.

*Tabla IV.19 Esfuerzo de probetas cubicas.*

Días de reposo	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
7	25.61
14	31.02
30	33.31
60	44.73

También se ensayaron a compresión simple las probetas labrada de los materiales cerámicos, las probetas tenían una sección transversal de 50 milímetros por lado y una altura de 90 milímetros, estas probetas se extrajeron del centro de la pieza cerámica, para el adobe tuvimos un esfuerzo de 25.62 kg/cm<sup>2</sup>,

para el sillar tuvimos un esfuerzo de  $31.49 \text{ kg/cm}^2$ , para el tabique rojo recocido  $117.12 \text{ kg/cm}^2$  y para el block sólido o tabicón  $150.42 \text{ kg/cm}^2$ ; al comparar los resultados vemos que estamos por debajo de algunos de ellos, aunque sabemos que nuestro composito de arcilla-cal conforme pasa el tiempo sigue adquiriendo más resistencia por lo tanto en un tiempo no definido se podría llegar a alcanzar los esfuerzos que nos ofrecen las piezas de mampostería comerciales. Aunque queda fuera de los alcances de este trabajo el verificar en cuanto tiempo se llegaría a alcanzar estos esfuerzos sabemos que es una gran aportación establecer entre que rangos de contenido de cal y energía de compactación se logra una buena resistencia a 60 días de reposo, aclarando que los resultados obtenidos son aplicables a suelos con las mismas características al estudiado en este trabajo, así como la metodología empleada, si se trabaja con suelos distintos no se garantiza que los resultados sean iguales a los obtenidos en este trabajo.

## IV.7 ELABORACIÓN DE PROTOTIPO DE MATERIAL CERÁMICO

**IV.7.1** Modulo de Ruptura (MR) y Resistencia a la Primer Grieta (RPG) del prototipo.

En esta parte se elaboraron piezas similares a un tabique, con las siguientes dimensiones, de largo 19 cm. de ancho 10 cm y de altura 5 cm; estas piezas también según lo establecido en la norma ASTM C 67 a las edades antes usadas (7, 14, 30 y 60 días) los resultados se compararon contra piezas de mampostería que se probaron bajo la misma norma.

En la tabla IV. 20 se muestran los resultados del Módulo de Ruptura (M.R.) y en la tabla IV.21 los resultados de Resistencia a la Primer Grieta (R.P.G.) del prototipo. En la figura IV.20 se muestran de manera gráfica los valores de la RPG del prototipo.

*Tabla IV.20 Modulo de Ruptura del prototipo*

Edad (días)	M.R. (kg/cm <sup>2</sup> )
7	0.91
14	1.64
30	3.13
60	3.82

*Tabla IV.21 Resistencia a la Primer Grieta del prototipo*

Edad (días)	R.P.G. (Kg/cm <sup>2</sup> )
7	15.95
14	25.63
30	33.93
60	38.87

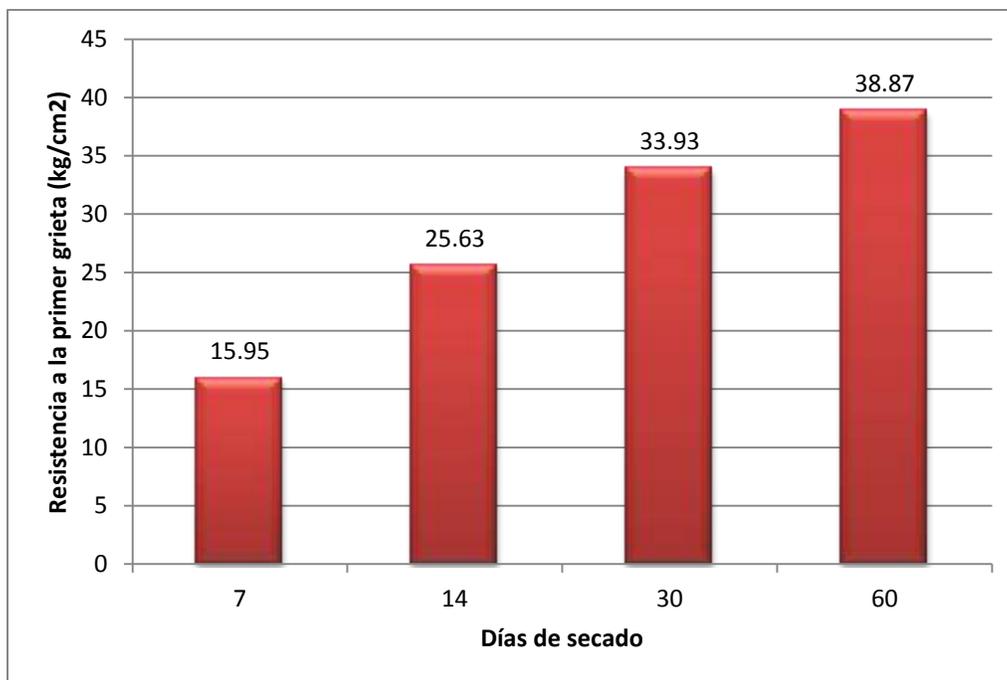


Figura IV.20 Resistencia a la Primer Grieta del prototipo de material cerámico

En la gráfica podemos observar que la RPG en el prototipo aumenta conforme pasa el tiempo, obteniendo a los 60 días 38.87 kg/cm<sup>2</sup>, esto lo hace atractivo para competir con los materiales comerciales.

#### IV.7.2 Modulo de Ruptura (MR) y Resistencia a la Primer Grieta (RPG) de los materiales para mampostería.

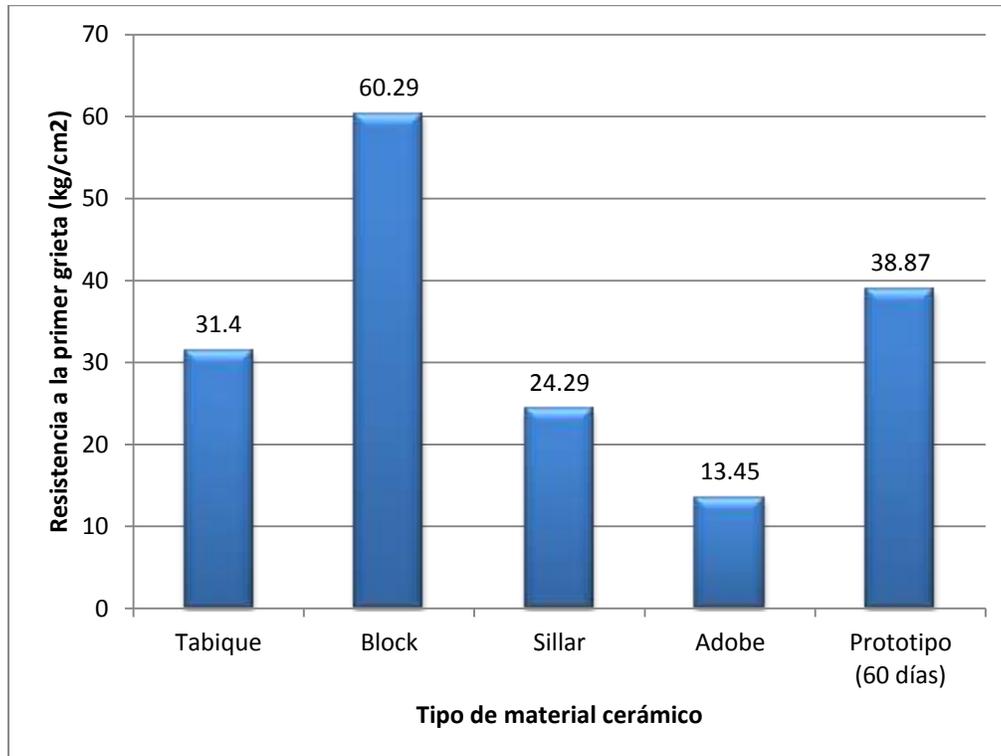
En la tabla IV.22 se muestran los valores del Módulo de Ruptura y en la tabla IV.23 la resistencia a la primer grieta, de las piezas para mampostería. De manera gráfica en la figura IV.21 la RPG de las piezas para mampostería.

Tabla IV.22 Modulo de ruptura de piezas de mampostería

Material	M.R. (kg/cm <sup>2</sup> )
Tabique	4.54
Block	2.04
Sillar	0.12
Adobe	1.65
Prototipo (60 días)	3.82

Tabla IV.23 Resistencia a la Primer Grieta de piezas de mampostería

Material	R.P.G. (Kg/cm <sup>2</sup> )
Tabique	31.4
Block	60.29
Sillar	24.29
Adobe	13.45
Prototipo (60 días)	38.87



*Figura IV.21 Resistencia a la Primer Grieta de piezas de Mampostería*

De la figura IV.21 podemos determinar lo siguiente: con el prototipo correspondiente a la edad de 60 días el cual obtuvo una resistencia de 38.87 kg/cm<sup>2</sup> se llegó a sobrepasar la resistencia del tabique en un 19%, del sillar en un 38% y del adobe en un 65%. Por otro lado se alcanzó un 65 % de la resistencia del block sólido.

## V.CONCLUSIONES

La estabilización con cal de suelos arcillosos, da como resultado un composito inerte que no presenta cambios volumétricos con la variación de la humedad, y el aumento de la densidad de este composito mediante la aplicación de energías específicas de compactación, es una técnica apropiada para mejorar el comportamiento mecánico de este tipo de suelos.

El suelo utilizado en este estudio se extrajo del Parque Industrial Benito Juárez en la ciudad de Querétaro, México. Se caracterizó mediante pruebas Índice y con Difracción de Rayos X, basándonos en la clasificación de suelos del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, nuestro suelo se clasificó como un suelo de grano fino y dentro de estos como una arcilla de alta plasticidad (CH), y mediante el estudio de Difracción de Rayos X determinamos que se trata de una arcilla del tipo montmorilonita, las cuales son clasificadas como de un alto grado de expansibilidad.

Para este suelo en específico se determinó que el porcentaje donde se da el punto de fijación es en el 8% de cal, es decir, en este punto ya no se presentan cambios volumétricos al variar el contenido de agua en el suelo. En el estudio de Difracción de Rayos X, se determinó que existe un intercambio catiónico entre las partículas del suelo y las de la cal hidratada, lo que conlleva a que la estabilización se da desde el campo intermolecular y no solamente en el campo mecánico, por ello se tiene esa gran afinidad entre estos dos materiales, es decir el comportamiento que tiene la arcilla montmorilonita con la cal hidratada, es que los electrones libres de ambos materiales son fácilmente intercambiables, dando como resultado enlaces fuertes que inhiben los cambios volumétricos de esta arcilla.

Las distintas energías de compactación aplicadas a compositos de suelo-cal es que estos no siguen la misma tendencia que los suelos naturales, es decir,

que si se incrementa la energía de compactación no incrementa el grado de compactación como ocurriría en los suelos naturales; es necesario definir que este resultado es válido solamente para este suelo en particular, Por lo tanto se concluye que para este composito de suelo con 8% de cal, la energía específica de compactación recomendable es la de 21 kg-cm/cm<sup>3</sup>.

Del análisis de esfuerzo en probetas remodeladas, se observó que la resistencia en el composito suelo-cal aumenta con en el tiempo, esto se estudió para un intervalo de 60 días, periodo en el cual se tuvo un control en el curado y en el lugar donde las probetas cumplían sus edades de prueba.

Se observó en este análisis de esfuerzo en probetas de suelo natural, es que después de aplicarle la energía de compactación y dejarlas llegar a sus edades de prueba, el valor del esfuerzo aumentaba en tanto se aumentara la energía de compactación, este aspecto se puede explicar por el fenómeno de la tixotropía y succión adquirida.

Se realizaron varios prototipos de un material cerámico con las siguientes dimensiones, 19 centímetros de largo, 10 centímetros de ancho y 5 centímetros de espesor, se probaron bajo la norma ASTM C 67 en los puntos referentes al Módulo de Ruptura y Resistencia a la Primer Grieta, estos valores se compararon contra los obtenidos de piezas de mampostería comerciales que se probaron bajo esta misma norma, se determinó que para valores correspondientes a Resistencia a la Primer Grieta, con el prototipo correspondiente a la edad de 60 días el cual obtuvo una resistencia de 38.87 kg/cm<sup>2</sup> se llegó a sobrepasar la resistencia del tabique en un 19%, del sillar en un 38% y del adobe en un 65%. Por otro lado se alcanzó un 65 % de la resistencia del block sólido.

La hipótesis planteada se cumplió, es decir, El composito arcilla-cal si adquiere mejores resistencias después de aplicarle una energía específica de compactación y prolongar el tiempo de secado. Estas Propiedades se aplicaron en un prototipo de material cerámico el cual se comparó con otros materiales

cerámicos comerciales, donde se observa que la resistencia del composito sobrepasa algunos de éstos.

Algunas ventajas de este composito desde el punto de vista ecológico son las siguientes:

- No incluye cemento hidráulico en su elaboración
- No necesita cocción para adquirir su resistencia y
- Utiliza un suelo que para la industria de la construcción es considerado un desecho.

Desde el punto de vista técnico:

- Tiene uniformidad en las dimensiones
- Tiene una misma densidad en todas la piezas cerámicas
- Tiene una resistencia muy similar en las piezas cerámicas

Este estudio considera una metodología adecuada para la producción regional y local de materiales de construcción con tecnología adecuada para la elaboración de material de mampostería sin la quema de combustibles de los ladrillos tradicionales evitando así la contaminación hacia el medio ambiente, también como una alternativa para reducir de alguna manera el contenido de clinker de cemento Pórtland en la elaboración de materiales de mampostería.

## REFERENCIAS

- Achenza M. y Fenu L., 2006; On Earth Stabilization with Natural Polymers for Earth Masonry Construction, Materials and Structures, 2006, Volume 39, Number 1, Pages 21-27.
- Alfaro Soto Miguel Angel, 2008 Geotecnia en Suelos no Saturados, Rev. Acad. Colomb. Cienc. 32(125):471-481, 2008. ISSN 0370-3908
- ASTM D 2166, Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil.
- ASTM D 2487, Standard Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soils Classification System), Estados Unidos, 1993
- ASTM D 422 (Reapproved 1990), Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils. Estados Unidos, 1990
- ASTM D 854, Standard Test Method for Specific Gravity of Soils. Estados Unidos, 1992
- ASTM D 4531 (Reapproved 1992), Standard Test Methods for Bulk Density of Peat and Peat Products. Estados Unidos, 1992
- ASTM C109, Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)
- ASTM D4318-00, Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.
- ASTM D698-00, Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12,400 ft-lbf/ft<sup>3</sup> (600 kN-m/m<sup>3</sup>)).
- ASTM D1557-02E01, Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft<sup>3</sup> (2,700 kN-m/m<sup>3</sup>)).
- Balgaranova Janetta , Petkov Assen, Pavlova Liliana y Alexandrova Elena, 2003; Utilization of Wastes from the Coke-Chemical Production and Sewage Sludge as Additives in the Brick-Clay, Water, Air, & Soil Pollution, 2003, Volume 150, Numbers 1-4, Pages 103-111
- Berry Peter L. y Reid David, 1993, Mecánica de Suelos, Mc Graw-Hill Interamericana, S.A.

Bowles, Joseph E., 1978, Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil, Editorial McGraw Hill Latinoamericana, S.A., Estados Unidos de América, 1978.

CEFAS, 2011. Empresa líder en cales, consultado en lineal en septiembre de 2011. (<http://www.cefes.com.ar/Industria0.htm>)

CENICA, 2002, Informe de la situación y los conocimientos actuales sobre las principales fuentes y emisiones de dioxinas en México. Centro de Investigación y Capacitación Ambiental. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa. México. Segundo reporte. Revisión 1, 2002.177 pp.

Comisión Federal de Electricidad, 1979, Manual de Diseño de Obras Civiles. Geotecnia B.2.1, México, 1979.

Consoli Nilo Cesar, Luizmar da Silva Lopes, Jr., and Karla Salvagni Heineck, 2009, Key Parameters for the Strength Control of Lime Stabilized Soils, J. Mat. in Civ. Engrg. Volume 21, Issue 5, pp. 210-216 (May 2009). Issue Date: May 2009

Coronado J., ROA C. Y Ruiz, 1987 G. Humedad de Equilibrio y Succión en los Suelos de la Sabana de Bogotá. Universidad Nacional de Colombia.

Dass Arjun y Malhotra S. K., 1990, Lime-stabilized red mud bricks, Materials and Structures, 1990, Volume 23, Number 4, Pages 252-255

Fernández Loaiza Carlos, 1982, Mejoramiento y Estabilización de Suelos

González Manzanilla Fernando Osvaldo, 2008, Proceso de Fabricación de Ladrillos, Universidad Politécnica de Puebla.

Harichane Khelifa , Mohamed Ghrici y Said Kenai, 2009, Effect of the combination of lime and natural pozzolana on the compaction and strength of soft clayey soils: a preliminary study, Earth and Environmental Science DOI: 10.1007/s12665-011-1441-x

Harichane Khelifa , Mohamed Ghrici, Said Kenai y Khaled Grine, 2009; Use of Natural Pozzolana and Lime for Stabilization of Cohesive Soils, Geotechnical and Geological Engineering, Volume 29, Number 5, 759-769, DOI: 10.1007/s10706-011-9415-z

James W. P. Campbell, Will Price, 2004. Ladrillo, Historia Universal; Blume,2004

- Jiménez Salas J.A., J.L. De Justo Alpañes, 1975, Geotecnia y Cimientos I, Propiedades de los Suelos y Rocas
- Juárez Badillo Eulalio, Rico Rodríguez Alfonso, 2009, Mecánica de Suelos Tomo 1, Fundamentos de Mecánica de suelos
- Kerali A. G., 2005, In-service deterioration of compressed earth blocks, Geotechnical and Geological Engineering, Volume 23, Number 4, 461-468, DOI: 10.1007/s10706-004-5116-1
- Kumar S., 2000, Fly ash-lime-phosphogypsum cementitious binder: A new trend in bricks, Materials and Structures, 2000, Volume 33, Number 1, Pages 59-64
- Liu, Jun Yao Li, Miao Jiang y Honghong Zhou, 2010; Mechanical and frost-resistance properties of rural area building waste hollow bricks, Journal of Wuhan University of Technology--Materials Science Edition, 2010, Volume 25, Number 6, Pages 1017-1021
- Long Zheng Jian, Rui Zhang and He-Ping Yang, 2009, Highway Subgrade Construction in Expansive Soil Areas, J. Mat. in Civ. Engrg. 21, 154 (2009); doi:10.1061/(ASCE)0899-1561(2009)21:4(154), Issue Date: April 2009
- López-Lara T., J. Horta Rangel, J. B. Hernández Zaragoza and V. M. Castaño, 2006, Properties of waste soil—hydrated lime composite, Mechanics of Time-Dependent Materials, 2006, Volume 10, Number 2, Pages 155-163
- Maitra S., Das S., Das K. Basumajumdar A., 2005; Effect of heat treatment on properties of steam cured fly ash-lime compacts, Bulletin of Materials Science, 2005, Volume 28, Number 7, Pages 697-702.
- Moreno Murguía Paola, 2003, Estimación de Riesgos ambientales Causados por la Industria de la Construcción. División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, UNAM. Ingeniera Química.
- Munive G. T., J. Varela Salasar, A. Valenzuela Soto, 2010, Estabilización De Un Material Arcilloso Con Hidróxido De Calcio, Cemento Portland, Zeolita Como Una Alternativa Al Quemado Del Ladrillo Tradicional, INTEC JOURNAL, mayo 2010, Volúmen 1, Número 1.
- Nelson John D. y Miller Debora J., 1992, Expansive Soils, Problems and Practice in Foundation and Pavementn Engineering.

Pacheco Torgal Fernando y Jalali Said, 2011, Earth Construction, Eco-efficient Construction and Building Materials 2011, 157-181, DOI: 10.1007/978-0-85729-892-8\_8

Quintana Crespo Enrique, 2005, Relación entre las propiedades geotécnicas y los componentes puzolánicos de los sedimentos pampeanos, Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

Rodríguez Muñoz Ma. Eustolia, 2009, Dispersión y Efectos de Contaminantes Emitidos por la Industria Ladrillera Artesanal. Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Química. Cerro de las Campanas s/n, Querétaro, Qro. 76010, México. Tel (442)1921-200 ext. 5546, Fax (442)1921-303, marea@uaq.mx

Romero Cervantes J. C., Pérez Rea M. L., 2008, Análisis de la pérdida de resistencia por remoldeo de suelos arenosos de la zona estuarina de Nayarit, Revista Electronica Enlace Químico Universidad Autónoma de Guanajuato, Volumen 2, Número 2, Septiembre del 2008

Russell L. Buhler and Amy B. Cerato, 2007, Stabilization of Oklahoma Expansive Soils using Lime and Class C Fly Ash, Problematic Soils and Rocks and In Situ Characterization (GSP 162) Part of Geo-Denver 2007: New Peaks in Geotechnics Proceedings of Sessions of Geo-Denver 2007

Secretaría de Ecología del Estado de México, 1999, Inventario de emisiones por la fabricación artesanal de tabique rojo en el Valle de Cuautitlán Texcoco. <http://www.edomexico.gob.mx/se/ladrillo.htm>.

Shamrani M. A., Mutaz E., Puppala A. J., and Dafalla M. A., 2010, Characterization of Problematic Expansive Soils from Mineralogical and Swell Characterization Studies, GeoFlorida 2010: Advances in Analysis, Modeling, & Design. Proceedings of the GeoFlorida, 2010 Conference

Stavridakis Evangelos I., 2005, A Critical Bound Meeting the Physical and Engineering Requirements for Best Cement Stabilization Effect on Clay–Sand Mixtures, Journal of Geotechnical Engineering, Volume 10, 2005

Turgut Paki, 2008; Limestone dust and glass powder wastes as new brick material, Materials and Structures, 2008, Volume 41, Number 5, Pages 805-813

Venkatarama Reddy B. V. y A. Gupta, 2005; Characteristics of soil-cement blocks using highly sandy soils, *Materials and Structures*, 2005, Volume 38, Number 6, Pages 651-658

Venkatarama Reddy B. V. y Gourav K., 2011, Strength of lime-fly ash compacts using different curing techniques and gypsum additive, *Materials and Structures*, 2011, Volume 44, Number 10, Pages 1793-1808

Zepeda Garrido José Alfredo, Hugo Castañeda Álvarez, 1986.  
Cimentaciones sobre arcillas expansivas, Capítulo I segunda parte, *Naturaleza de los Suelos Expansivos*

Zepeda Garrido José Alfredo, Hugo Castañeda Álvarez, 1989.  
Distribución de suelos expansivos en la República Mexicana, *Curso Internacional de Mecánica de Suelos*

# APÉNDICE

## Apéndice A

### CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

#### A.1 GRANULOMETRIA

##### A.1.1 *Introducción.*

Una parte importante de los criterios de aceptabilidad de suelos para carreteras, aeropistas, presas de tierra, diques, y otro tipo de terraplenes es el análisis granulométrico. La información obtenida del análisis granulométrico puede en ocasiones utilizarse para predecir movimientos del agua a través del suelo, la susceptibilidad de sufrir la acción de las heladas y obtener la graduación adecuada de materiales granulares para su utilización como filtros en sistemas de subdrenaje. De igual forma, el análisis granulométrico es muy importante para la clasificación de suelos (*Comisión Federal de Electricidad, 1979*).

El análisis granulométrico es la distribución de tamaños de un suelo y normalmente se representa a través de la curva granulométrica. La curva granulométrica suele dibujarse con porcentajes como ordenadas y tamaños de las partículas como abscisas. Las ordenadas se refieren a porcentaje, en peso, de las partículas menores que el tamaño correspondiente. La representación en escala semilogarítmica en el eje de las abscisas resulta preferible a la simple representación natural, pues en la primera se dispone de mayor amplitud en los tamaños finos y muy finos, que en escala natural resultan muy comprimidos, usando un módulo práctico de escalas (*Bowles, 1978*).

Existen dos métodos para determinar la distribución de tamaños de un suelo, que es el análisis por mallas y a través del hidrómetro. El análisis por mallas

consiste en pasar la muestra de suelo a través de mallas cuyas aberturas progresivamente son más pequeñas. Existen mallas básicas las cuales nos permiten diferenciar gravas, arenas y finos, dentro de las cuales están la malla de 3 pulgadas, la malla número 4 (4.76 mm) y la número 200 (0.075 mm). Aquel material retenido en la malla no. 4 se considera grava, el material que pasa la malla no. 200 se consideran finos y el material ubicado entre las dos mallas anteriores se consideran como arenas (Juárez y Rico, 1989). En la figura A.1 se muestra un esquema del proceso de granulometría.



Figura A.4 Esquema de las diferentes etapas de la granulometría.

### A.1.2 Granulometría vía seca.

#### A.1.2.1 Criterio de selección de prueba granulométrica.

El suelo que estamos analizando ya sabemos de antemano que se trata de una arcilla, de la cual el tamaño de sus partículas es menor de la maya número 4, por lo tanto solo se realizó el análisis granulométrico mecánico con la mallas número 10, 20, 40, 60, 100 y 200, al material que se retuvo en la malla número 200 se le realizó un lavado con agua a través de esta misma malla, el material que paso se retuvo en un recipiente el cual se utilizara más adelante en la prueba de la granulometría por hidrómetro.

**A.1.2.2** *Distribución de tamaños de partículas menores a la malla no. 4 y mayores a la malla no. 200.*

Para conocer la distribución de tamaños de partículas menores a la malla no. 4, se toma una muestra representativa por cuarteo de 300 gr. del material que pasó por la malla No. 4 y se toma un testigo de humedad de 100 gr., este deberá secarse en el horno. Es importante este testigo de humedad, ya que la distribución de tamaños debe obtenerse utilizando como peso total el peso seco de la muestra (ASTM D 2487-93, 1993).

Se colocan los 300 gr. de suelo en un vaso de aluminio de 1 litro y se satura por ebullición, utilizando la estufa, durante 15 minutos. Se agita el material con una varilla haciendo movimientos en forma de ocho con ella, posteriormente se lava el material en suspensión través de la malla no. 200 con el propósito de no dañarla. Se deposita después el producto de lavado en una cubeta para que este material sea utilizado en una práctica posterior con el fin de obtener la granulometría fina. El material retenido en la malla no. 200 se seca en la estufa. Se puede verificar si el material está seco con la ayuda del vidrio de reloj, el cual se pondrá directamente sobre el material y se observará si el vidrio de reloj se empaña, si no lo hace entonces el material está seco. Una vez seco el material, se criban y pesan los retenidos por las mallas no. 10, 20, 40, 60, 100 y 200. Se corrige el material que pasó por el lavado agregándole el peso del material que pasó la malla no. 200.

**A.1.3** *Granulometría vía húmeda.*

El análisis del hidrómetro es un método ampliamente utilizado para obtener un estimado de la distribución granulométrica de suelos cuyas partículas se encuentran desde el tamiz no. 200 (0.075 mm) hasta alrededor de 0.001 mm. Los datos se representan en gráfico semilogarítmico; cabe aclarar que la conducta de esta fracción de suelo cohesivo depende del tipo y porcentaje de arcilla de suelo presente, de su historia geológica y del contenido de agua más que de la distribución misma de los tamaños de partícula (*Bowles, 1978*).

Los tamaños menores del suelo exigen una investigación fundada en otros principios. El método del hidrómetro es hoy, quizá, el de uso más extendido y el único que se verá con cierto grado de detalle. El método se basa en el principio de sedimentación, debida a Stokes, el cual dice que la velocidad de sedimentación de partículas en un líquido es función de su tamaño (Juárez\_Rico, 2009).

#### **A.1.3.1 Preparación de material.**

El material que pasa la malla no. 200 (figura A.2), cuya cantidad deberá ser aproximadamente 115 gr. para suelos arenosos y 65 gr. para limos y suelos arcillosos, se seca al horno 72 horas antes de la realización de esta prueba. Del material secado al horno se obtienen 50 g de material y se satura dentro de una flanera durante al menos 16 horas. Un procedimiento alternativo es obtener el peso seco ( $W_s$ ) después de la prueba para evitar la formación de grumos.



*Figura A.2 Lavado del material por la malla No. 200.*

Es importante que se pese con la mayor precisión posible la muestra que se utilizará en el ensaye, no deben ser exactamente los 50 gr., sino que la cantidad que se ensaye se pese con precisión.

Para dispersar los grumos formados por las partículas del suelo se prepara un defloculante. Se disuelve 5 gr. de hexametáfosfato de sodio con 125 ml. de agua, lo que representa un concentrado al 4 %, en un vaso de precipitado (ASTM D 422- 63, 1990).

### A.1.3.2 Calibración del hidrómetro.

Posteriormente se debe calibrar el hidrómetro (figura A.3), para esto se debe determinar la profundidad efectiva ( $L$ ), que es la distancia que hay de la superficie del agua libre al centro del bulbo del hidrómetro y se calcula utilizando la ecuación A.1 (ASTM D 422-63, 1990). En la tabla A.1 se especifican las propiedades del hidrómetro utilizado y en la figura A.4 se muestra un esquema para la ecuación A.1

$$L = L_1 + \frac{1}{2} \left[ L_2 - \frac{V_b}{A} \right]$$

[A. 6]

Donde:

$A$  = se refiere al área transversal de la probeta de 1000 cm<sup>3</sup> utilizada en la prueba. Se calcula a partir de la distancia entre dos lecturas y el volumen alojado entre ellas.

$V_b$  = se refiere al volumen del hidrómetro, se obtiene al sumergir el bulbo del hidrómetro y determinar el cambio en la medición en una probeta de 500 ml.

$L_2$  = se refiere a la distancia del extremo inferior del bulbo a la lectura de 60 en el vástago del hidrómetro.

$L_1$  = es un valor variable y se refiere a la distancia existente entre la lectura de 60 en el vástago del hidrómetro y las demás graduaciones. Para obtener cada una de ellas será suficiente con medir la distancia de la lectura 60 a la lectura cero y posteriormente calcular las demás mediante una interpolación.



Figura A. 3 Calibración del hidrómetro.

Tabla A.1 Propiedades del hidrómetro

Distancia del 0 al 60 en cm. (L1) 9.2	Distancia unitaria (cm) 0.153	Distancia del -5 al 60 (cm) 9.967
Lectura 1 (antes de introducir el bulbo) ml 400	Lectura 2 (después de introducir el bulbo) ml 475.2	Volumen del bulbo (ml) 75.2
Volumen de prueba (ml) 200	Distancia en cm 7.6	Area (cm <sup>2</sup> ) 26.316

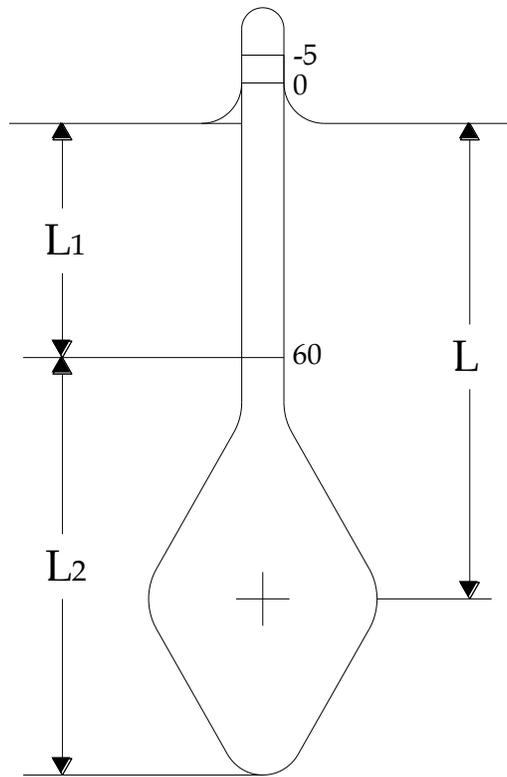


Figura A.4 Esquema del hidrómetro

En la tabla A.2 se muestran los valores de profundidad efectiva utilizadas, para cada una de las lecturas tomadas en el hidrómetro.

*Tabla A.2 Profundidades Efectivas “L”*

LECTURA HIDROMETRO	L1 (cm)	L2 (cm)	Vb (cm <sup>3</sup> )	Área (cm <sup>2</sup> )	L (cm)	LECTURA HIDROMETRO	L1 (cm)	L2 (cm)	Vb (cm <sup>3</sup> )	Área (cm <sup>2</sup> )	L (cm)	LECTURA HIDROMETRO	L1 (cm)	L2 (cm)	Vb (cm <sup>3</sup> )	Área (cm <sup>2</sup> )	L (cm)
-5	9.967	14.0	75.2	26.32	15.538	16	6.747	14.0	75.2	26.32	12.318	38	3.373	14.0	75.2	26.32	8.945
-4	9.813	14.0	75.2	26.32	15.385	17	6.593	14.0	75.2	26.32	12.165	39	3.220	14.0	75.2	26.32	8.791
-3	9.660	14.0	75.2	26.32	15.231	18	6.440	14.0	75.2	26.32	12.011	40	3.067	14.0	75.2	26.32	8.638
-2	9.507	14.0	75.2	26.32	15.078	19	6.287	14.0	75.2	26.32	11.858	41	2.913	14.0	75.2	26.32	8.485
-1	9.353	14.0	75.2	26.32	14.925	20	6.133	14.0	75.2	26.32	11.705	42	2.760	14.0	75.2	26.32	8.331
0	9.200	14.0	75.2	26.32	14.771	21	5.980	14.0	75.2	26.32	11.551	43	2.607	14.0	75.2	26.32	8.178
1	9.047	14.0	75.2	26.32	14.618	22	5.827	14.0	75.2	26.32	11.398	44	2.453	14.0	75.2	26.32	8.025
2	8.893	14.0	75.2	26.32	14.465	23	5.673	14.0	75.2	26.32	11.245	45	2.300	14.0	75.2	26.32	7.871
3	8.740	14.0	75.2	26.32	14.311	24	5.520	14.0	75.2	26.32	11.091	46	2.147	14.0	75.2	26.32	7.718
4	8.587	14.0	75.2	26.32	14.158	25	5.367	14.0	75.2	26.32	10.938	47	1.993	14.0	75.2	26.32	7.565
5	8.433	14.0	75.2	26.32	14.005	26	5.213	14.0	75.2	26.32	10.785	48	1.840	14.0	75.2	26.32	7.411
6	8.280	14.0	75.2	26.32	13.851	27	5.060	14.0	75.2	26.32	10.631	49	1.687	14.0	75.2	26.32	7.258
7	8.127	14.0	75.2	26.32	13.698	28	4.907	14.0	75.2	26.32	10.478	50	1.533	14.0	75.2	26.32	7.105
8	7.973	14.0	75.2	26.32	13.545	29	4.753	14.0	75.2	26.32	10.325	51	1.380	14.0	75.2	26.32	6.951
9	7.820	14.0	75.2	26.32	13.391	30	4.600	14.0	75.2	26.32	10.171	52	1.227	14.0	75.2	26.32	6.798
10	7.667	14.0	75.2	26.32	13.238	31	4.447	14.0	75.2	26.32	10.018	53	1.073	14.0	75.2	26.32	6.645
11	7.513	14.0	75.2	26.32	13.085	32	4.293	14.0	75.2	26.32	9.865	54	0.920	14.0	75.2	26.32	6.491
12	7.360	14.0	75.2	26.32	12.931	33	4.140	14.0	75.2	26.32	9.711	55	0.767	14.0	75.2	26.32	6.338
13	7.207	14.0	75.2	26.32	12.778	34	3.987	14.0	75.2	26.32	9.558	56	0.613	14.0	75.2	26.32	6.185
14	7.053	14.0	75.2	26.32	12.625	35	3.833	14.0	75.2	26.32	9.405	57	0.460	14.0	75.2	26.32	6.031
15	6.900	14.0	75.2	26.32	12.471	36	3.680	14.0	75.2	26.32	9.251	58	0.307	14.0	75.2	26.32	5.878
						37	3.527	14.0	75.2	26.32	9.098	59	0.153	14.0	75.2	26.32	5.725
												60	0.000	14.0	75.2	26.32	5.571

### A.1.3.3 Corrección por menisco.

La lectura debe hacerse al nivel libre del líquido, pero no podemos llevar a cabo una lectura correcta debido a que se forma alrededor del vástago un menisco y como la suspensión con que se trabaja no es transparente es necesario leer donde termina el menisco y corregir la lectura sumando su altura. Una vez sumergido el hidrómetro en agua destilada, la corrección se determina tomando dos lecturas, una en la parte superior del menisco y otra en la inferior. La diferencia entre las dos lecturas proporciona la corrección por menisco (Cm), esta resulta ser una lectura en centímetros. (Bowles, 1978).

#### A.1.3.4 Corrección del cero.

Cuando agregamos un agente defloculante a la suspensión aumentamos la densidad de ésta; por lo anterior debemos hacer una corrección del cero del hidrómetro (Cd). Para determinar el valor de Cd, se sumerge el hidrómetro en agua destilada y tomamos una lectura en la escala del vástago del hidrómetro. Después se vierte el defloculante en agua, se agita vigorosamente por un minuto y se lee nuevamente; la diferencia entre ambas lecturas es Cd. Esta corrección es negativa (Bowles, 1978). En la tabla A.3 se muestran todas las dimensiones necesarias para llevar a cabo la calibración del hidrómetro así como las correspondientes correcciones.

Tabla A.3 Propiedades del hidrómetro.

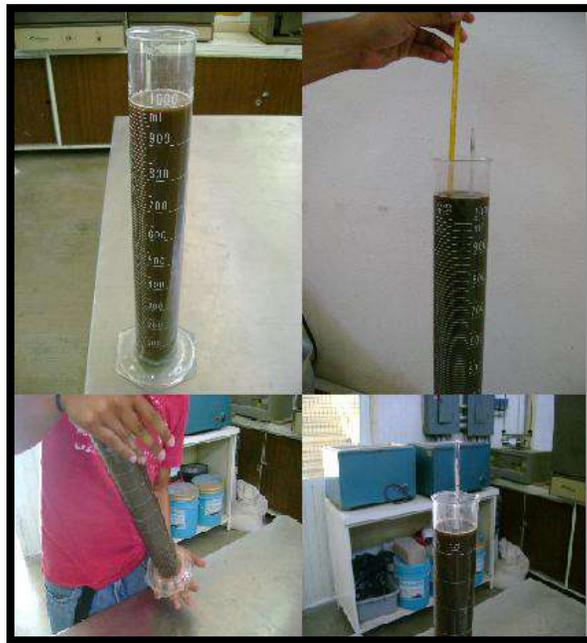
Distancia del 0 al 60 (cm)	Distancia unitaria (cm)	Distancia del -5 al 60 (cm)
9.2	0.1533	9.9667
Lectura 1 (antes de 400)	Lectura 2 (después de 475.2)	Volumen del bulbo ml (Vb)
400	475.2	75.2
Volumen de prueba (ml)	Distancia en cm	Area (cm <sup>2</sup> )
200	7.6	26.3158

#### A.1.3.5 Realización de la prueba.

Se prepara la solución defloculante como ya se indicó y se mezcla con el suelo. Se vierte la mezcla suelo-defloculante en la probeta de 1000 ml. Se procede a aforar la probeta. Obtura la boca de la probeta con la palma de la mano y luego agite vigorosamente. Coloque la probeta en la mesa cuidadosamente y eche a andar el cronómetro. Se sumerge el hidrómetro hasta que comience a flotar y se

mantiene dentro de la solución durante los tres primeros minutos (figura III.6). Se toman las lecturas en los tiempos correspondientes: 20, 40 y 180 segundos. (Bowles, 1978).

Retire el hidrómetro y detenga el cronómetro. Agite nuevamente de forma vigorosa la probeta 2 veces más y colóquela sobre la mesa. Ponga a correr nuevamente el cronómetro y sumerja el hidrómetro durante tres minutos. Se toman lecturas en los tiempos indicados (20, 40 y 180 seg.) después de la tercer serie de lecturas no se detiene el cronómetro y se retira el hidrómetro. (Bowles, 1978).



*Figura A.5 Mezclado del suelo y toma de lecturas del hidrómetro*

Se continúa tomando lecturas del hidrómetro y temperaturas en los tiempos indicados a continuación. En cada lectura debe sumergirse el hidrómetro 30 segundos antes de tomar la lectura y retirarlo después de ello. Mantenga el hidrómetro dentro de otra probeta con agua destilada. Se determinará el diámetro de la partícula con la ecuación A.2 y para el porcentaje más fino del material

usando la ecuación A.4 y tomando en cuenta la lectura corregida del hidrómetro  
ecuación A.3 (Bowles, 1978)

$$D = K \sqrt{\frac{L}{t}}$$

[A. 7]

Dónde:

*L* = Profundidad efectiva de caída (cm).

*t* = Tiempo transcurrido (min).

*K* = Constante para varias combinaciones de pesos unitarios y temperaturas.

*D* = Diámetro de la partícula (mm).

$$R_c = R_{real} - \text{corrección del cero} + C_t$$

[A. 8]

Dónde:

*R<sub>real</sub>* = Lectura real

*C<sub>t</sub>* = Corrección por temperatura

*R<sub>c</sub>* = Lectura corregida del hidrómetro

$$PMF = \frac{1.65 S_s}{2.65 (S_s - 1) W_s} R_c \times 100$$

[A. 9]

Dónde:

*W<sub>s</sub>* = Peso de sólidos

*S<sub>s</sub>* = Peso específico relativo de sólidos

*PMF* = Porcentaje más fino

*Tabla A.4 Formato para toma de tiempos y lecturas de la prueba de hidrómetro*

Hora	Tiempo	Tiempo (min)	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	Lectura promedio
	20"	0.33	51.00	52.50	50.50	51.33
	40"	0.66	50.00	51.50	49.50	50.33
	60"	1	49.50	50.50	49.00	49.67
	120"	2	46.00	47.50	46.00	46.50
	180"	3	43.00	45.00	44.00	44.00
		4				42.00
		8				37.50
		15				33.50
		30				28.50
6:00:00 p.m.	1 hora	60				24.00
8:00:00 p.m.	3 horas	180				18.50
9:00:00 a.m.	16 horas	960				14.00
5:05:00 p.m.	24 horas 5'	1445				12.00
8:43:00 p.m.	27 horas 43'	1663				12.00
5:00:00 p.m.	48 horas	2880				10.50
11:41:00 a.m.	66 horas 41'	4001				10.00

*Tabla A.5 Formato de cálculos de la prueba de hidrómetro*

Longitud efectiva de caída (cm)	Temperatura	Ct	K	D (mm)	Rc	R	WD (%) (PMF)	WD (%) (Respecto del total de la muestra pasada por las mallas)
6.901	23.00	0.70	0.0137	0.0627	47.03	47.03	99.4904	94.3518
7.054	23.00	0.70	0.0137	0.0449	46.03	46.03	97.3750	92.3457
7.156	23.00	0.70	0.0137	0.0367	45.37	45.37	95.9648	91.0083
7.641	23.00	0.70	0.0137	0.0268	42.20	42.20	89.2663	84.6558
8.025	23.00	0.70	0.0137	0.0224	39.70	39.70	83.9780	79.6406
8.331	23.00	0.70	0.0137	0.0198	37.70	37.70	79.7474	75.6285
9.021	23.00	0.70	0.0137	0.0146	33.20	33.20	70.2285	66.6012
9.635	23.00	0.70	0.0137	0.0110	29.20	29.20	61.7672	58.5770
10.401	23.00	0.70	0.0137	0.0081	24.20	24.20	51.1906	48.5467
11.091	23.00	0.70	0.0137	0.0059	19.70	19.70	41.6717	39.5194
11.935	22.50	0.55	0.0138	0.0036	14.05	14.05	29.7202	28.1852
12.625	17.00	-0.70	0.0148	0.0017	8.30	8.30	17.5571	16.6503
12.931	23.00	0.70	0.0137	0.0013	7.70	7.70	16.2879	15.4467
12.931	22.50	0.55	0.0138	0.0012	7.55	7.55	15.9706	15.1458
13.161	23.00	0.70	0.0137	0.0009	6.20	6.20	13.1150	12.4376
13.238	23.00	0.70	0.0137	0.0008	5.70	5.70	12.0573	11.4346

En la tabla A.4 se muestran los datos que se recolectaron de las distintas tomas de lecturas del hidrómetro, y en la tabla A.5 se muestran los datos obtenidos mediante fórmulas y cálculos para llegar hasta el valor del porcentaje de la partícula más fina respecto del total de la muestra empleada en la prueba.

## A.2 LÍMITES DE PLASTICIDAD

### A.2.1 Introducción.

Los límites de Plasticidad o de Atterberg serán determinados de acuerdo con la norma ASTM D4318. La plasticidad es una propiedad útil para clasificar suelos y tiene relación con las propiedades fisicoquímicas determinantes del comportamiento mecánico de las arcillas (*Juárez\_Rico, 2009*).

Para la mecánica de suelos, la plasticidad es la propiedad de un material por la cual es capaz de soportar deformaciones rápidas sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable y sin desmoronarse ni agrietarse (*Juárez\_Rico, 2009*).

La plasticidad no es una propiedad permanente de las arcillas, sino circunstancial y dependiente de su contenido de agua. Una arcilla muy seca puede tener la consistencia de un ladrillo, con una plasticidad nula, y esa misma, con gran

contenido de agua, puede presentar las propiedades de un lodo semilíquido o, inclusive, las de una suspensión líquida. Entre ambos extremos existe un intervalo del contenido de agua en que la arcilla se comporta plásticamente (Juárez\_Rico, 2009).

Dependiendo de la cantidad de agua se pueden distinguir los siguientes estados de consistencia para un suelo (Juárez\_Rico, 2009):

- Estado líquido. Cuenta con la apariencia y propiedades de una suspensión, se comporta como un fluido.
- Estado semilíquido. Cuenta con la apariencia de un gel que se adhiere fácilmente a otras superficies, no es moldeable y no toma la forma del recipiente que lo contiene.
- Estado plástico. El suelo se comporta plásticamente de acuerdo a la definición de plasticidad.
- Estado semisólido. El suelo tiene la apariencia de un sólido, pero aún disminuye de volumen al estar sujeto a secado.
- Estado sólido. El volumen del suelo no varía con el secado.

Existen además las siguientes fronteras convencionales entre los estados de consistencia anteriormente mencionados:

- *Límite líquido*. Es la frontera entre el estado semilíquido y plástico, corresponde a una resistencia al corte de  $25 \text{ gr/cm}^2$ .
- *Límite plástico*. Frontera entre el estado plástico y semisólido.

Al límite líquido y el límite plástico, de manera conjunta se les denomina límites de plasticidad.

Otro parámetro que es muy importante para la clasificación de suelos es el Índice de plasticidad, el cual se define como la diferencia del límite líquido y el límite plástico.

Es muy importante la determinación de los límites de consistencia ya que nos permite inferir el comportamiento mecánico e hidráulico de los suelos finos como son las arcillas, ello debido a que la plasticidad del suelo es un reflejo de la presencia de la fracción coloidal del suelo.

### **A.2.2** *Preparación de la muestra.*

Se debe disgregar y cribar el suelo por la malla no. 40 aproximadamente 500 gramos 24 horas antes de la realización de la práctica. A veces es necesario secar el suelo previamente al aire. Se agrega agua hasta que se obtenga una consistencia plástica y se homogeniza el suelo en un vaso de aluminio de 1 litro cubriéndolo con una bolsa de plástico durante 24 horas.

### **A.2.3** *Realización del Límite Líquido.*

Del material preparado en el vaso de aluminio, tomar una porción de 150 a 200 gr. de material y mezclarla en una cápsula de porcelana utilizando una espátula hasta lograr una pasta homogénea. De esta pasta homogénea, colocar una cantidad suficiente sobre la copa de tal forma que al enrasar y nivelar la superficie se pueda labrar con el ranurador un corte a lo largo de aproximadamente 4 cm. El material debe ser extendido desde el centro hacia los lados y quedando una superficie horizontal de aproximadamente 8 mm. de espesor a partir de punto más profundo de la copa de Casagrande. En la figura A.6 se muestra la copa de Casagrande así como otras herramientas utilizadas en esta prueba



El *Figura A.6 Material utilizado para determinar el límite líquido.* Límite líquido se define como el contenido de agua que tiene un suelo sí al ser colocado sobre la Copa de Casagrande la ranura que se hace sobre el suelo se cierra una longitud de 13 mm. (1/2") a 25 golpes (dados a razón de 2 golpes por segundo). Para tener una buena precisión en la determinación de este parámetro, la norma específica que se ensaye un suelo con diferente consistencia, 4 ó 5 determinaciones entre 6 y 35 golpes, y se determine el número de golpes y contenido de agua cuando la ranura se cierre una longitud de 13 mm (1/2").

Con el número de golpes y su contenido de agua correspondiente, se hace un gráfico semilogarítmico o curva de fluidez que nos permitirá determinar el límite líquido con mayor precisión. Para hacer lo anterior, será necesario obtener la humedad para 35, 30, 25, 20 y 15 golpes.

El procedimiento de prueba es el siguiente: Se procede a realizar una ranura en el centro de la muestra ya colocada en la copa, esta ranura debe cumplir con las dimensiones y forma del ranurador especificado para realizar esta prueba. Una vez realizado lo anterior, se acciona la manivela manualmente o si cuenta con motor el contador se pone en ceros, se hará caer la copa desde una altura de 1 cm a razón de 2 golpes por segundo.

La copa golpeará un número de veces necesario (35, 30, 25, 20 y 15 golpes) para lograr una liga entre los bordes interiores e inferiores de la ranura en una longitud aproximada de 1/2" (13 mm.) figura A.7. Para lograr los golpes deseados, la prueba deberá empezar en 35 golpes y posteriormente se le agregará agua para que el suelo sea más fluido y la ranura se cierre en menor número de golpes.



*Figura A.7 Medición de la ranura en la copa de Casagrande*

Para cada determinación de golpes en la que la ranura se cierra 1/2" debemos obtener la humedad correspondiente; lo anterior se logra extrayendo 20 gr. de la muestra ensayada que se encuentra en la copa para colocarla en los vidrios de reloj de los cuales previamente se conoce su peso. Las muestras colocadas en los vidrios de reloj se introducen al horno para su secado en un periodo de 12 a 16 horas y a una temperatura de 110 °C +/- 5° C aproximadamente, posteriormente serán pesados para determinar el contenido de agua.

Se debe determinar la humedad del suelo a los 25 golpes ya que esta es la consistencia requerida de la muestra para poder obtener el límite de contracción y la contracción lineal.

Con los resultados de humedad y número de golpes se traza la curva de fluidez y se determina exactamente el límite líquido, o sea, la humedad correspondiente a los 25 golpes.

#### **A.2.4 Límite Plástico.**

Del material usado para determinar el límite líquido se toman 20 gr. de material, se extiende sobre la mesa y se espera a que pierda humedad hasta el momento en que se pueda manipular con las manos. De estos 20 gr. se toma una porción de 1.5 a 2 gr. de suelo y se forma una esfera con él.

Se hace rodar con la mano el suelo sobre una superficie plana y limpia formando rollitos de 3.2 mm. de diámetro con la palma de la mano como se muestra en la figura A.8. Se repite este proceso hasta que el suelo pierda humedad suficiente como para que se rompa en pequeños pedazos exactamente al formar los rollos de 3.2 mm. de diámetro y que pierdan la capacidad de volver a enrollarse. Se ponen los rollitos agrietados sobre un vidrio de reloj y cuando se tengan 6 gramos de estos rollos se ingresan al horno para determinar su contenido de agua, la cual corresponderá al límite plástico del suelo.



Figura A.8 Rollitos de 3.2 mm de diámetro

#### A.2.5 Índice de Plasticidad.

Otro parámetro que es muy importante para la clasificación de suelos es el Índice de plasticidad (ecuación), el cual se define como la diferencia del límite líquido y el límite plástico, con este valor y junto con el valor de límite líquido podemos entrar a la carta de plasticidad (figura A.9)

$$I_p = LL - LP$$

[A.

10]

Dónde:

$LL$  = Límite líquido (%)

$LP$  = Límite plástico (%)

$I_p$  = índice plástico (%)

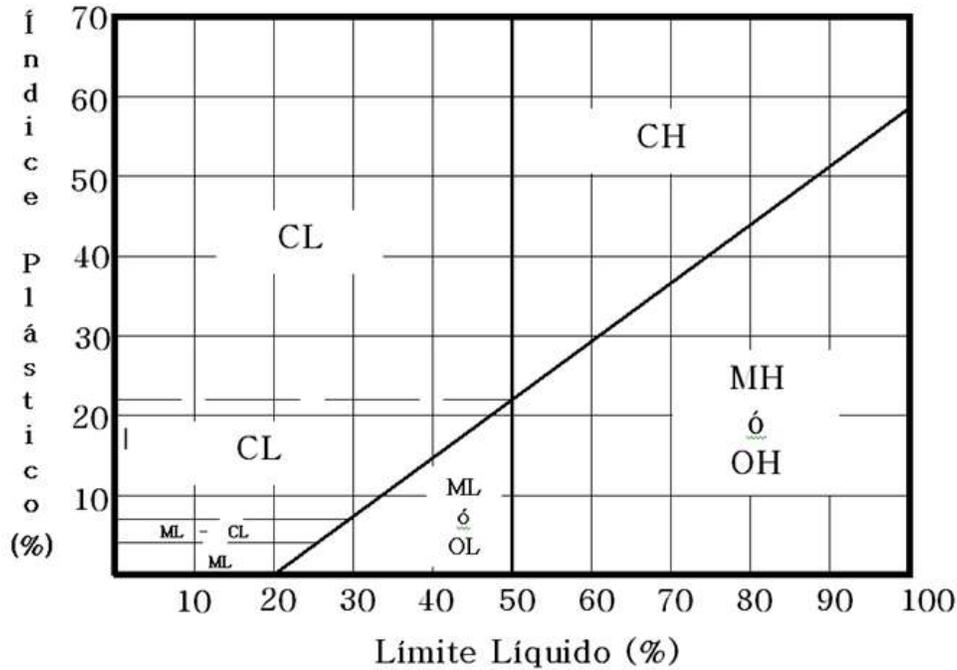


Figura A.9 Carta de plasticidad según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

Dónde:

- CH = Arcilla de alta plasticidad
- CL = Arcilla de baja plasticidad
- MH = Limo de alta plasticidad
- ML = Limo de baja plasticidad
- OH = Suelo orgánico de alta plasticidad
- OL = Suelo orgánico de baja plasticidad

#### A.2.6 Detern

Este procedimiento se deberá realizar en el momento en que el suelo se encuentre en su límite líquido, o lo que es igual, cuando el suelo tenga la consistencia correspondiente a los 25 golpes con la Copa de Casagrande.

Se comienza tomando el molde de contracción lineal, se mide su longitud inicial ( $L_0$ ), se pesa y se engrasa perfectamente con vaselina, grasa o similar.

El molde se llena con la muestra de suelo en tres capas, golpeando en cada capa el molde sobre la mesa con la finalidad de expulsar el aire atrapado. Una vez lleno y engrasado el molde se procede a tomar el peso del mismo.

El proceso de secado iniciará dejando el molde con la muestra al aire libre, cubierto únicamente con una franela húmeda durante dos días, y un día solamente al aire libre; después se colocará la muestra dentro del horno con todo y molde y se secará a una temperatura aproximada de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  durante un periodo de 12 a 16 horas. Después de esto se extrae la muestra del horno se mide su longitud final ( $L_f$ ) y se pesa, en la figura A.10 se muestra la reducción en la longitud como en el ancho de la muestra colocada dentro del molde de contracción después del proceso de secado.



*Figura A.10 Arcilla en molde de contracción lineal antes y después del secado.*

## **A.2.**

### **7 Determinación del límite de contracción.**

Es la frontera entre el estado semisólido y sólido, se define como el contenido de agua a partir del cual a través de un proceso de secado ya no sufre cambio alguno de volumen. Para límites de contracción con valores menores a 10 el suelo es peligrosamente expansivo, para valores mayores de 15 el grado de expansión es bajo, de 20 a 25 es un suelo muy estable volumétricamente.

Este procedimiento se deberá realizar en el momento en que el suelo se encuentre en su límite líquido, o lo que es igual, cuando el suelo tenga la consistencia correspondiente a los 25 golpes con la Copa de Casagrande. Se comienza pesando y engrasando la caja Petri con una capa delgada de vaselina, grasa o lubricante similar para la prueba del límite de contracción. El engrasado

permitirá al suelo no adherirse a la caja de Petri y por ello no agrietarse y desmoronarse, si esto sucediera deberá repetirse la prueba.

Se toma al menos 30 gr. de suelo que pase la malla no. 40 y se llena el molde con dicha muestra en tres capas, golpeando en cada capa el molde sobre la mesa con la finalidad de expulsar el aire atrapado.

Una vez lleno y enrasado el molde se procede a tomar el peso del mismo. El proceso de secado iniciará dejando el molde con la muestra al aire libre, cubierto únicamente con una franela húmeda durante dos días, y un día solamente al aire libre hasta que se observe un cambio de color de oscuro a claro; después se colocará la muestra dentro del horno con todo y molde y se secará a una temperatura aproximada de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  durante un periodo de 12 a 16 horas. Después de esto se extrae la muestra del horno y se pesa, en la figura A.11 se muestra la reducción de volumen de las pastillas de arcilla colocadas dentro de la caja de Petri después del proceso de secado. El proceso de secado lento pretende evitar la aparición de grietas en el suelo. Ya que se encuentra seca la muestra contenida en la caja Petri, será necesario calcular el volumen inicial de la muestra (igual al volumen de la caja Petri) y el volumen final de la muestra, esto es lo que se conoce como "voluminación". Para realizar la "voluminación" se debe llenar con mercurio la caja Petri vacía, enrasarla y pesarla (figura A.12). Se calcula el volumen inicial  $V_1$  mediante el uso del concepto de peso específico como lo muestra la ecuación A.6



*Figura A.11 Arcilla en cajas de Petri antes y después del secado*



*Figura A.12 Caja de Petri llena con mercurio.*

$$V_1 = \frac{W_{Hg}}{\gamma_{Hg}}$$

[A.

11] Dónde:

$W_{Hg}$  = Peso del mercurio

$\gamma_{Hg}$  = Peso específico del mercurio

Después se sumerge la pastilla del suelo ayudándose de una placa de vidrio y se determina el peso del mercurio desalojado. Se calcula el volumen final  $V_2$  (ecuación A.7), este volumen final  $V_2$  es resultado de la contracción debida al proceso de secado en el horno del suelo en la caja Petri.

$$V_2 = \frac{W_{Hg}}{\gamma_{Hg}}$$

[A.

12] Dónde:

$W_{Hg}$  = Peso del mercurio

$\gamma_{Hg}$  = Peso específico del mercurio

Con estos volúmenes ahora ya es posible determinar el límite de contracción con la ecuación A.8

$$LC = \left[ \frac{W_m - W_s - \gamma_o (V_1 - V_2)}{W_s} \right] \times 100$$

[A.

13]

Dónde:

LC = Límite de contracción (%).

$W_m$  = Peso de la muestra en límite líquido (g).

$W_s$  = Peso de la muestra seca (g).

$V_1$  = Volumen inicial de la muestra igual al volumen interior de la caja petri (cm<sup>3</sup>).

$V_2$  = Volumen final de la muestra una vez secada al horno (cm<sup>3</sup>).

$\gamma_0$  = Peso específico del agua.

### A.3 PESO ESPECÍFICO DE LA MUESTRA POR INMERSIÓN EN AGUA.

Después de obtener una muestra inalterada en campo y de ser adecuadamente transportada al laboratorio, se procede a labrar un terrón de suelo, careciendo de importancia las dimensiones y forma del mismo. Posteriormente se pesa la muestra para conocer el peso de su masa.

Paralelamente a las actividades anteriores, se procede a calentar parafina a una temperatura de 60 °C.

Una vez que la parafina se encuentra lo suficientemente caliente y el terrón se encuentra listo, se amarra un hilo al terrón de suelo y se sumerge en la parafina procurando que esta lo cubra perfectamente, se retira el terrón de la parafina y se pesa al aire, es decir, se suspende del hilo en un gancho especial con el que cuenta la báscula y se determina su peso.

Se procede después a pesar el cubo cubierto de parafina pero sumergido en agua. Tomar un testigo de humedad del producto del labrado del terrón introduciéndolo en un horno a temperatura de 110° C +/- 5° C durante un periodo de 12 a 16 horas con la finalidad de determinar la humedad contenida en la muestra.

El peso específico se calcula con la ecuación A.9

$$\gamma_m = \frac{W_m}{V_m}$$

[A.

14]

Dónde:

$\gamma_m$  = Peso específico de la muestra de suelo.

$W_m$  = Peso total de la muestra.

$V_m$  = Volumen total de la muestra.

## A.4 PESO ESPECÍFICO RELATIVO DE SÓLIDOS (S<sub>s</sub>)

### A.4.1 Preparación de la muestra.

Se debe aclarar que el siguiente procedimiento corresponde para el tratamiento de suelos finos. Se toma una muestra del suelo que se desea analizar de 100 gr y se somete a un proceso de secado al horno con una duración de 12 a 16 horas a una temperatura de 110 °C +/- 5 °C. Después de que se termina el proceso de secado, se continúa la prueba tomando 50 gramos de suelo en estado seco los cuales se saturan dentro de un recipiente de vidrio o flanera con un espesor de agua libre de 1 cm. durante un periodo de 24 horas (figura III.14). La flanera debe conservarse en un lugar seguro y teniendo la precaución de no tener pérdidas del material saturado.



*Figura A.13 Saturación de la muestra*

#### **A.4.2 Calibración del matraz.**

Debido a que los matraces pueden contener diferente volumen de agua dependiendo de la temperatura a la que estén sometidos es recomendable elaborar una curva de calibración que relacione su volumen o su peso a diferentes temperaturas. Para realizar lo anterior deberán seguirse los siguientes pasos:

Se limpian ambos matraces con detergente y agua: posteriormente se secan con alcohol y un chifón de aire, se pesa e identifica uno de los dos matraces, el cual será utilizado como herramienta para determinar el peso específico relativo de sólidos (Ss) del material a analizar.

Llenar ambos matraces con agua hasta  $\frac{3}{4}$  de la altura del bulbo, posteriormente se pondrán a hervir los dos matraces hasta una temperatura de 80 °C en un baño de agua dentro de un recipiente para evitar el contacto directo con el fuego.

Se colocan ambos matraces en una bomba de vacío, la cual tendrá la función de extraer todas las posibles burbujas de aire contenidas en el agua de los matraces. La bomba deberá estar en operación durante un lapso de 12 minutos por cada matraz.

El matraz previamente identificado se llena con agua del otro matraz hasta 1 cm. por debajo de la marca de aforo con cuidado de no introducir burbujas de aire. Se encenderá de nuevo la bomba de vacío por un lapso de aproximadamente 5 minutos y se dejan enfriar ambos matraces hasta que alcancen

aproximadamente una temperatura de 60 °C +/- 10 °C, esto se verificará con un termómetro de manera frecuente.

Se afora el matraz y se seca perfectamente la superficie exterior y la superficie interior del cuello sobre el nivel del agua.

Se dejan reposar 24 horas ambos matraces, pasado este tiempo se afora si es necesario el matraz que servirá para determinar el Ss con agua del otro matraz, teniendo cuidado de no introducir burbujas de aire, se seca perfectamente el cuello del matraz, enseguida procedemos a pesar el matraz aforado y a tomar su temperatura (Wfw).

Es importante la temperatura a la que estemos pesando el matraz aforado con agua, ya que a esta misma temperatura se tendrá que pesar el matraz aforado con agua y con el suelo en estudio.

#### **A.4.3** *Determinación del peso específico relativo de sólidos.*

Se limpia el matraz que utilizaremos para determinar el Ss, que fue previamente identificado y se vierte el material preparado. Esta operación debe realizarse con el mínimo de agua y con la debida precaución para no perder ni un miligramo de material.

Se agrega agua en el matraz calibrado hasta  $\frac{3}{4}$  de la altura del bulbo y se calientan ambos matraces hasta una temperatura aproximada de 80 °C. No deberán colocarse ambos matraces directamente al fuego, sino en un baño de agua dentro de un recipiente. Se hace vacío con la bomba en ambos matraces durante unos 15 minutos. Se agrega agua en el matraz calibrado hasta 1 cm debajo de la marca de aforo y se hace vacío con la bomba que se opera durante 5 minutos, al mismo tiempo se agita para lograr la homogeneización de la temperatura. Para homogeneizar la temperatura se puede utilizar una pipeta y extraer e introducir con ella, sin sacarla del matraz, el agua de la mezcla del matraz. El agua contenida en el matraz no calibrado deberá de utilizarse en los

pasos siguientes para agregar agua y aforar el matraz calibrado. Se afora el matraz y se seca perfectamente su superficie exterior y la superficie del interior del cuello sobre el nivel del agua.

Se dejan reposar 24 horas ambos matraces, pasado este tiempo se afora si es necesario el matraz que contiene el suelo, con agua del otro matraz, teniendo cuidado de no introducir burbujas de aire, se seca perfectamente el cuello del matraz, enseguida procedemos a tomar su temperatura, esta deberá ser igual a la temperatura que tenía el matraz aforado con agua, cuando se peso en la calibración del matraz; después de que son iguales las temperaturas procedemos a pesar el matraz aforado con agua y suelo ( $W_{fws}$ ).

Cuando se desaloja el aire contenido en el agua del matraz con la bomba de vacío, en ocasiones se pierde un poco de suelo, por esto es necesario después de tener los pesos del matraz aforado solo con agua y del matraz aforado con agua y suelo, determinar el peso real del suelo con el que se trabajo, para esto es necesario verter el contenido del matraz forado con agua y suelo en un vaso de aluminio, teniendo cuidado de no perder nada de material al vaciarlo y de no dejar nada en el fondo del matraz; cuando ya se tiene el total del material en el vaso de aluminio, este se somete a un proceso de secado durante un período de 24 horas, después de este tiempo pesamos el vaso de aluminio con el suelo y al resultado le restamos el peso del vaso de aluminio solo, y así tendremos nuestro peso del material realmente utilizado ( $W_s$ ).

Después de lo anterior ya podemos calcular el peso específico relativo de sólidos ( $S_s$ ). Se debe considerar un detalle; a menudo para este experimento se utiliza agua común en lugar de agua destilada, el error en este caso es bastante pequeño. Es posible determinar este error al introducir agua común de la siguiente forma: se llena el matraz hasta la marca de aforo para obtener la temperatura y el peso del matraz; si se resta de este dato el peso del matraz vacío es posible determinar la densidad del agua común y compararla con la densidad del agua destilada a la temperatura adecuada. Generalmente si el error relativo de densidad

es menor que 0.001, entonces puede ser despreciado. Puede obtenerse un incremento pequeño en precisión si se tiene en cuenta el efecto de la temperatura sobre la densidad del agua con la ecuación A.10. En la tabla A.6 se muestran los valores para corrección por temperatura ( $\alpha$ ).

$$S_s = \frac{\alpha W_s}{W_w} = \frac{\alpha W_s}{W_{fw} + W_s - W_{fws}}$$

[A. 15]

Dónde:

$S_s$  = Peso específico relativo de sólidos corregido por temperatura.

$W_w$  = Peso del matraz más agua (g).

$W_{fws}$  = Peso del matraz más agua y suelo (g).

$W_s$  = Peso seco del suelo (g).

$\alpha$  = corrección por temperatura (adimensional).

Tabla A.6 Factor de corrección por temperatura  $\alpha$

$T(^{\circ}\text{C})$	Densidad ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	$\alpha$	$T(^{\circ}\text{C})$	Densidad ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	$\alpha$
16.00	0.99897	1.0007	23.50	0.99745	0.9992
16.50	0.99899	1.0007	24.00	0.99732	0.9991
17.00	0.9988	1.0006	24.50	0.9972	0.999
17.50	0.99871	1.0005	25.00	0.99707	0.9988
18.00	0.99862	1.0004	25.50	0.99694	0.9987
18.50	0.99853	1.0003	26.00	0.99681	0.9986
19.00	0.99843	1.0002	26.50	0.99668	0.9984
19.50	0.99833	1.0001	27.00	0.99654	0.9983
20.00	0.99823	1.0000	27.50	0.9964	0.9982
20.50	0.99812	0.9999	28.00	0.99626	0.998
21.00	0.99802	0.9998	28.50	0.99612	0.9979
22.00	0.9978	0.9996	29.00	0.99597	0.9977
22.50	0.99768	0.9995	29.50	0.99582	0.9976
23.00	0.99757	0.9993	30.00	0.99567	0.9974

## A.5 PRUEBA PROCTOR ESTÁNDAR

La compactación es un proceso mecánico que tiene como finalidad aumentar el peso específico del material. Esto se logra únicamente cuando se reduce el volumen de vacíos al sufrir el impacto de una energía.

Para lograr reducir el volumen de vacíos, es necesario agregar agua al material. Este fluido hace la función de lubricante y a medida que se va incrementando, el suelo adquiere un mejor acomodamiento de partículas hasta llegar a un máximo, obteniéndose en ese instante el mayor peso volumétrico seco, correspondiente a una humedad óptima.

En el laboratorio, la energía empleada en la prueba de compactación Proctor Estándar es de 6 Kg-cm/cm<sup>3</sup>, este valor fue calculado pero puede ser determinado por medio de la ecuación III.1

$$E_c = \frac{N(n)W(h)}{V} \quad | \quad [A.11]$$

Dónde:

$E_c$  = energía de compactación

$N$  = número de golpes

$n$  = número d capas

W = peso del martillo

h = altura de caída

V = volumen del suelo compactado = volumen del cilindro sin extensión

#### **A.5.1 Preparación de la muestra.**

Para realizar esta prueba necesitamos 2 kg. de material que pase por la malla # 4, una aclaración pertinente es que para determinar la humedad óptima es necesario graficar los resultados de 5 puntos, por lo tanto para cada porcentaje de cal necesitamos 10 kg. de material dividido en cinco bolsas de dos kilos cada una; para agregar el porcentaje de cal aplicamos el mismo procedimiento que usamos en la estabilización del material.

Cuando ya tenemos mezclado nuestro material con diferentes porcentajes de cal y dividido en bolsas, hacemos variar la humedad agregando diferentes cantidades de agua, es un tanto arbitrario pero en bibliografía consultada tenemos los parámetros que para una arcilla sin cal las humedades óptimas oscilan entre un 30 % y un 32 % y para arcillas con cal las humedades óptimas oscilan entre un 34 % a un 38 %, por lo tanto las humedades que agregamos a el suelo de las bolsas oscila entre estos valores. El material húmedo se deja reposar por un lapso de 24 horas, antes de realizar la prueba.

#### **A.5.2 Realización de la prueba.**

Determinamos previamente: el peso del molde, diámetro, altura sin incluir extensión, volumen del molde, peso del martillo y altura de caída, enseguida con las manos agregamos al cilindro Proctor la primera capa de material (aprox. 7 cm). Se compacta la 1ra. capa, aplicando 25 golpes con el martillo procurando repartirlos en toda la superficie. Depositamos la 2da. capa agregando material aproximadamente 2 cm. Debajo de la parte superior del cilindro Proctor. Se procede a compactar la segunda capa (25 golpes). De igual forma se procede con la 3ra. capa procurando que, una vez compactado el material, la superficie se encuentre 1 o 2 cm. Arriba de la parte superior del cilindro.

Al terminar la compactación de 3 capas, con una espátula se recorre el perímetro con el objeto de despegar en parte el material quitando enseguida la extensión. Se enrasa la muestra del cilindro, procediendo a efectuar la misma operación girándolo 180 grados, limpiamos exteriormente el molde, determinando su peso con la muestra compactada. A continuación, quitamos la placa base y se extrae la muestra del cilindro.

La muestra obtenida se corta transversalmente y con una espátula se toma de la parte central una porción representativa en toda su altura la cual se vacía en una flanera de vidrio previamente tarada (figura A.14). De esta manera se obtienen los datos para trazar un punto en la gráfica de compactación (contenido de humedad-peso volumétrico seco). El ir agregando el agua en cada ensaye, tiene como finalidad que el material se compacte cada vez más, hasta llegar a un límite correspondiente a una humedad optima, que es la que garantiza un peso volumétrico seco máximo. Podrá observarse que al ir incrementando la humedad el valor del peso volumétrico disminuye debido a que se provoca un aumento del volumen de los huecos, ocasionando una sustitución sucesiva de partículas de suelo por agua.

Las muestras obtenidas en forma representativa se introducen en el horno eléctrico durante un tiempo 24 horas, calculando a continuación sus correspondientes contenidos de humedad.



*Figura A. 14 Extracción del corazón para determinar la humedad.*

## **Apéndice B**

### **LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLÁSTICO DE LA ESTABILIZACIÓN DEL SUELO CON DIFERENTES PORCENTAJES DE CAL (6, 8 Y 10%).**

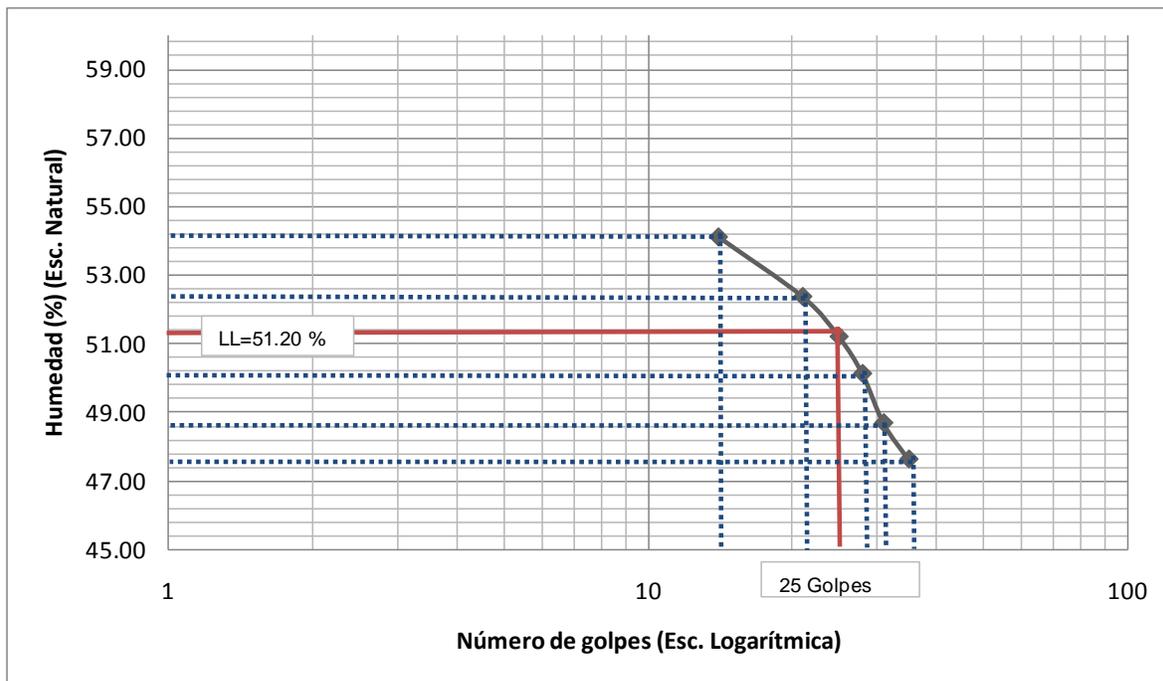
B.1 Estabilización con 6% de cal.

*Tabla B.1 Límite líquido con el 6% de cal*

Número de Golpes	Peso Húmedo (gr)	Peso Seco (gr)	Humedad (%)
35	16.75	11.35	47.62
31	18.05	12.14	48.68
28	19.31	12.86	50.12
25	18.30	12.10	51.20
21	11.44	7.51	52.37
14	15.87	10.30	54.11

*Tabla B.2 Límite de plasticidad con 6% de cal*

Vidrio de reloj	Peso Húmedo (gr)	Peso Seco (gr)	Humedad (%)
1	6.72	5.23	28.48
2	7.00	5.44	28.63
Promedio			28.56



*Figura B.1 Curva de fluidez del suelo con 6% de cal*

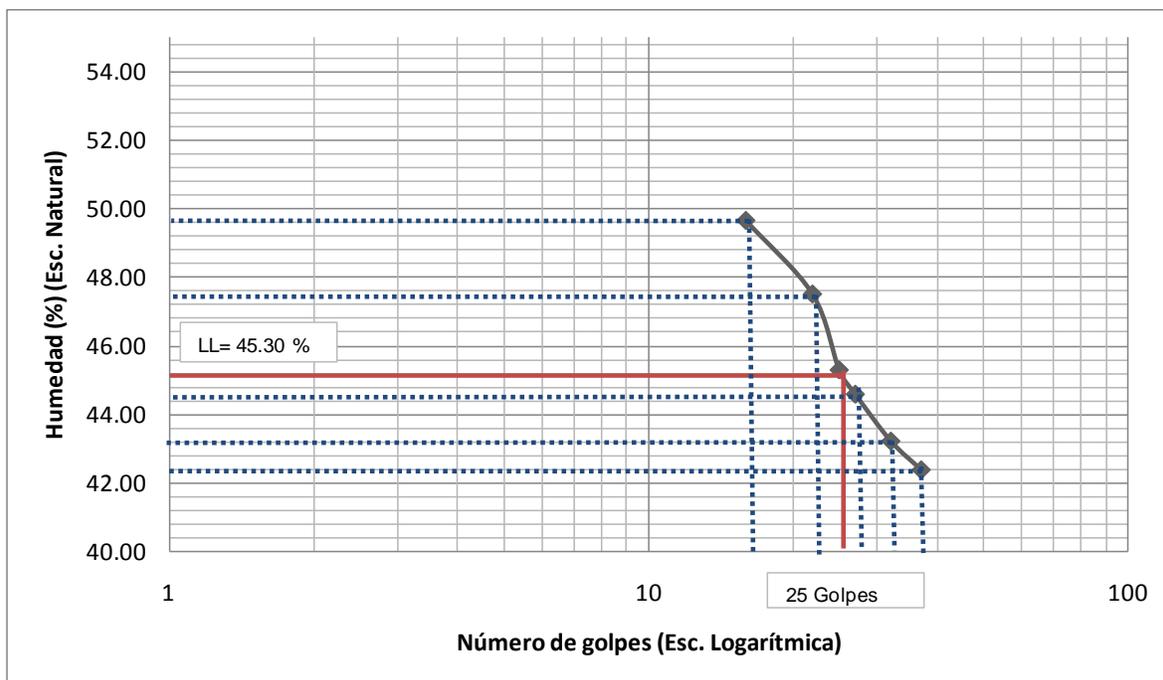
B.2 Estabilización con 8% de cal.

*Tabla B.3 Límite líquido con 8% de cal*

Número de Golpes	Peso Húmedo (gr)	Peso Seco (gr)	Humedad (%)
37	16.16	11.35	42.38
32	17.40	12.15	43.22
27	18.68	12.92	44.59
25	17.35	11.94	45.30
22	11.08	7.51	47.52
16	15.42	10.30	49.67

*Tabla B.4 Límite de plasticidad con 8% de cal*

Vidrio de reloj	Peso Húmedo (gr)	Peso Seco (gr)	Humedad (%)
1	7.63	5.82	31.15
2	7.50	5.73	30.87
Promedio			31.01



*Figura B.2 Curva de fluidez del suelo con 8% de cal*

### B.3 Estabilización con 10% de cal.

*Tabla B.5 Límite líquido con 10% de cal*

Número de Golpes	Peso Húmedo (gr)	Peso Seco (gr)	Humedad (%)
37	16.33	11.51	41.86
32	17.51	12.31	42.25
27	18.67	12.90	44.72
25	17.79	12.21	45.66
22	11.32	7.66	47.83
16	15.65	10.43	50.01

Tabla B.6 Límite de plasticidad con 10% de cal

Vidrio de reloj	Peso Húmedo (gr)	Peso Seco (gr)	Humedad (%)
1	7.06	5.37	31.56
2	7.97	6.12	30.25
Promedio			30.91

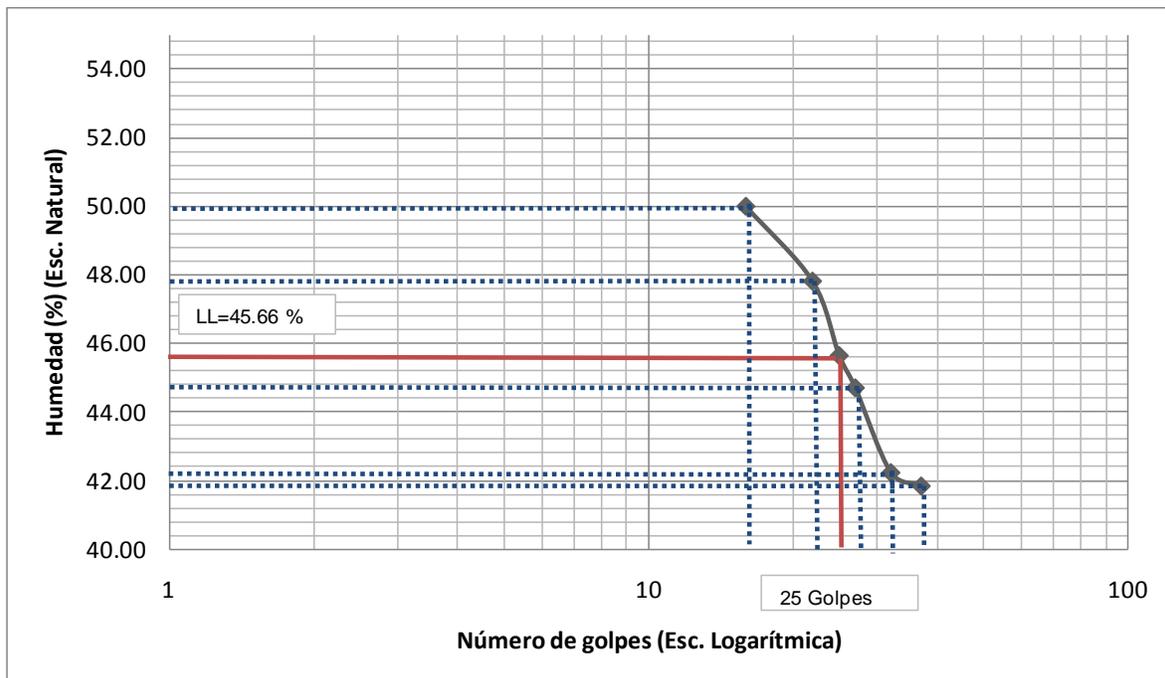


Figura B.3 Curva de fluidez del suelo con 10% de cal

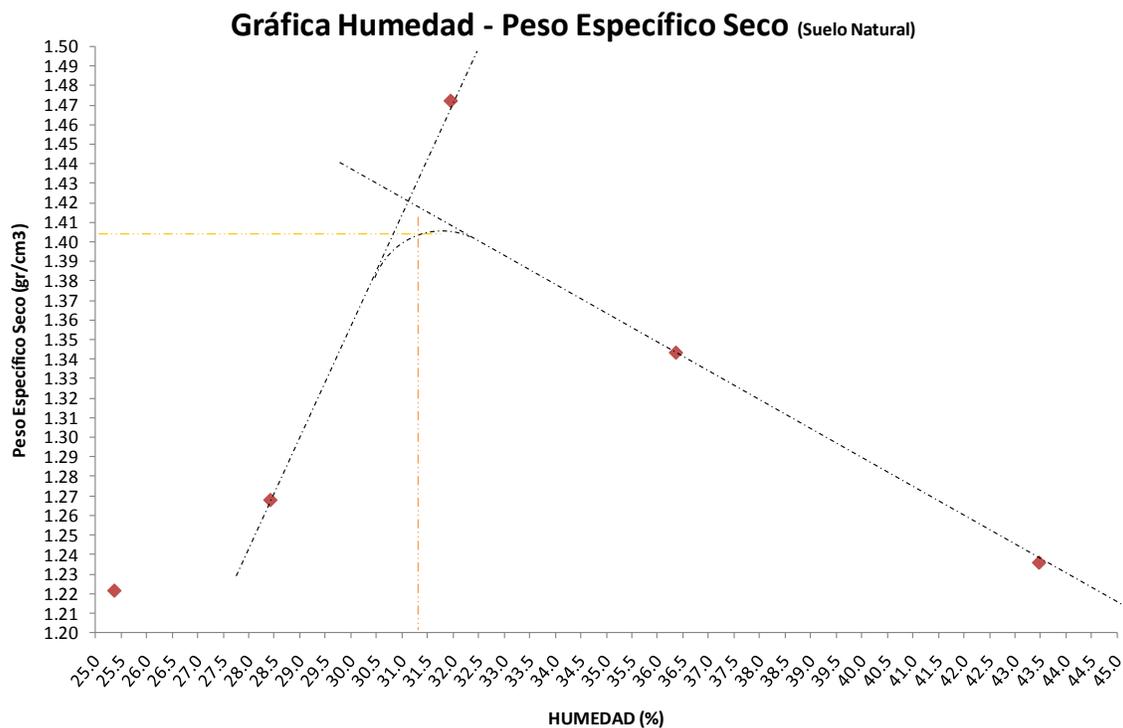
## Apéndice C

**FORMATOS Y GRÁFICAS DE LA DETERMINACIÓN DE HUMEDADES ÓPTIMAS Y PESOS ESPECÍFICOS SECOS MÁXIMOS USANDO UNA**

## ENERGÍA DE COMPACTACIÓN DE 6kg-cm/cm<sup>3</sup> (Proctor Estándar) PARA LA ARCILLA NATURAL, ARCILLA-CAL 6%, ARCILLA-CAL 8% Y ARCILLA-CAL 10%

### C.1 Humedad óptima arcilla natural.

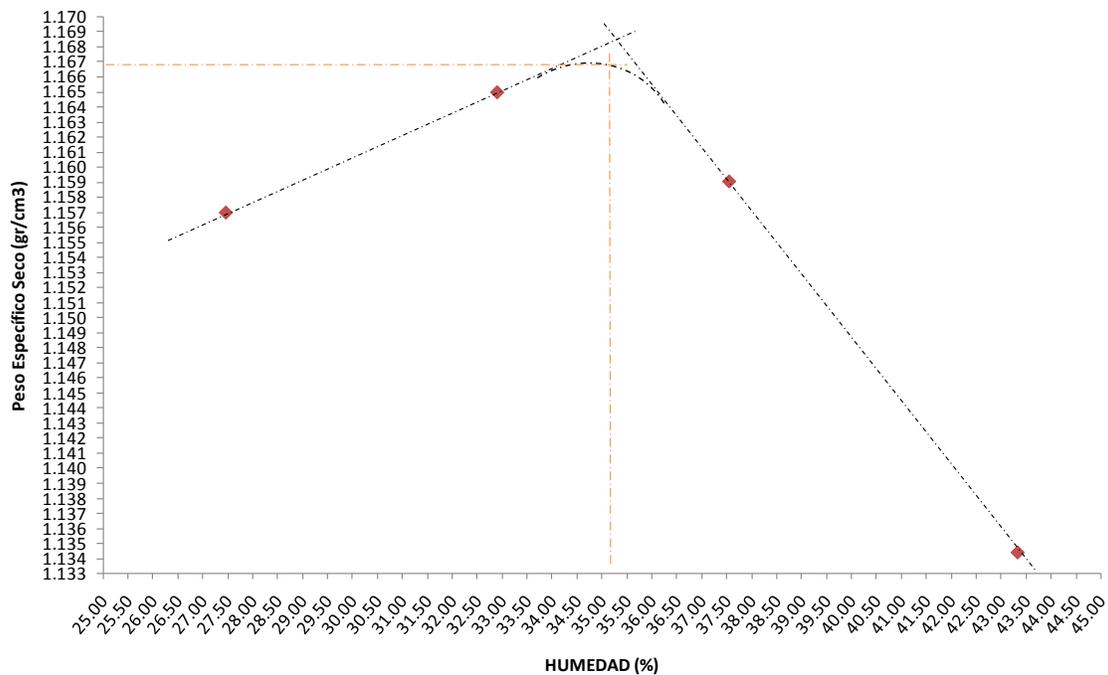
No. Prueba	1	2	3	4	5
Peso molde + suelo húmedo (g)	5525	5368	5279	5555	5501
Peso molde (g)	3872	3872	3872	3872	3872
Peso suelo húmedo (g)	1653	1496	1407	1683	1629
Peso específico húmedo (g/cm <sup>3</sup> )	1.799	1.628	1.531	1.832	1.773
Peso tara + suelo húmedo (g)	259.95	251.62	187.86	202	209.8
Peso tara + suelo seco (g)	225.7	222	173.7	180	184.5
Peso suelo húmedo (g)	141.43	133.82	69.97	82.5	83.5
Peso tara (g)	118.52	117.8	117.89	119.5	126.3
Peso suelo seco (g)	107.18	104.2	55.81	60.5	58.2
Contenido de agua (%)	31.96%	28.43%	25.37%	36.36%	43.47%
Peso específico seco (g/cm <sup>3</sup> )	1.363	1.268	1.221	1.343	1.236



### C.2 Humedad óptima arcilla-cal 6%

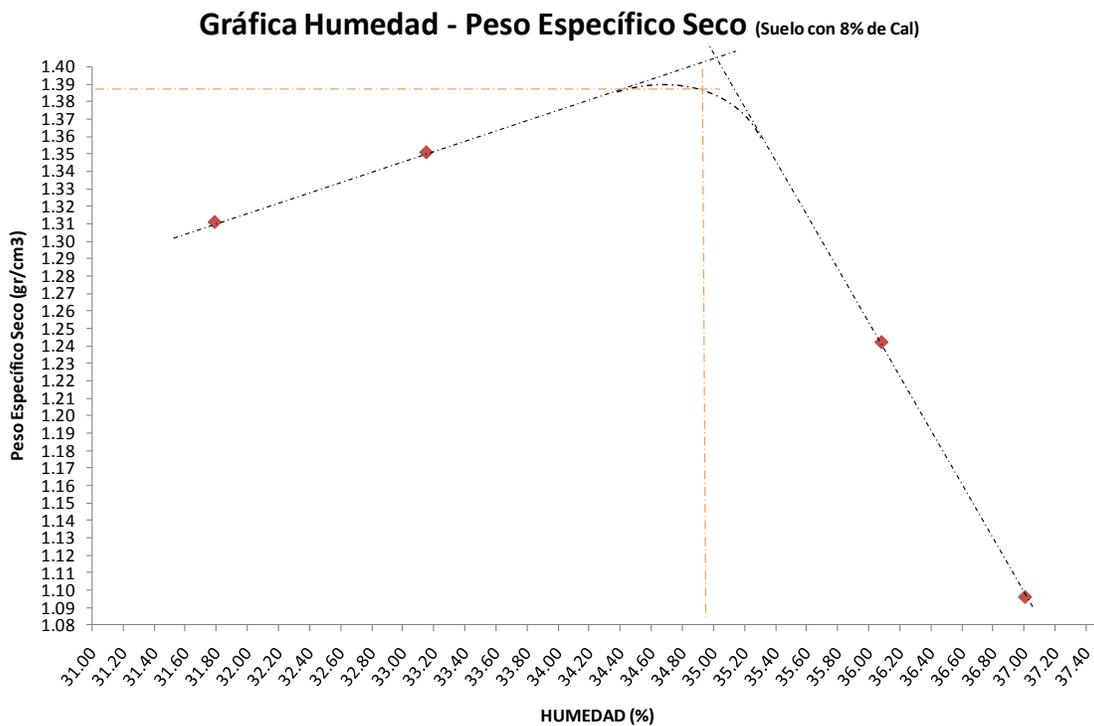
No. Prueba	1	2	3	4	5
Peso molde + suelo húmedo (g)	5401	5366	5337	5295	5240
Peso molde (g)	3872	3872	3872	3872	3872
Peso suelo húmedo (g)	1529	1494	1465	1423	1368
Peso específico húmedo (g/cm <sup>3</sup> )	1.664	1.626	1.594	1.549	1.489
Peso tara + suelo húmedo (g)	275.8	199.6	202.3	223.7	199.4
Peso tara + suelo seco (g)	230.6	174.3	182.4	198.2	180.5
Peso suelo húmedo (g)	146.6	83.7	72.9	103	84.7
Peso tara (g)	129.2	115.9	129.4	120.7	114.7
Peso suelo seco (g)	101.4	58.4	53	77.5	65.8
Contenido de agua (%)	44.58%	43.32%	37.55%	32.90%	28.72%
Peso específico seco (T/m <sup>3</sup> )	1.151	1.134	1.159	1.165	1.157

**Gráfica Humedad - Peso Específico Seco** (Suelo con 6% de Cal)



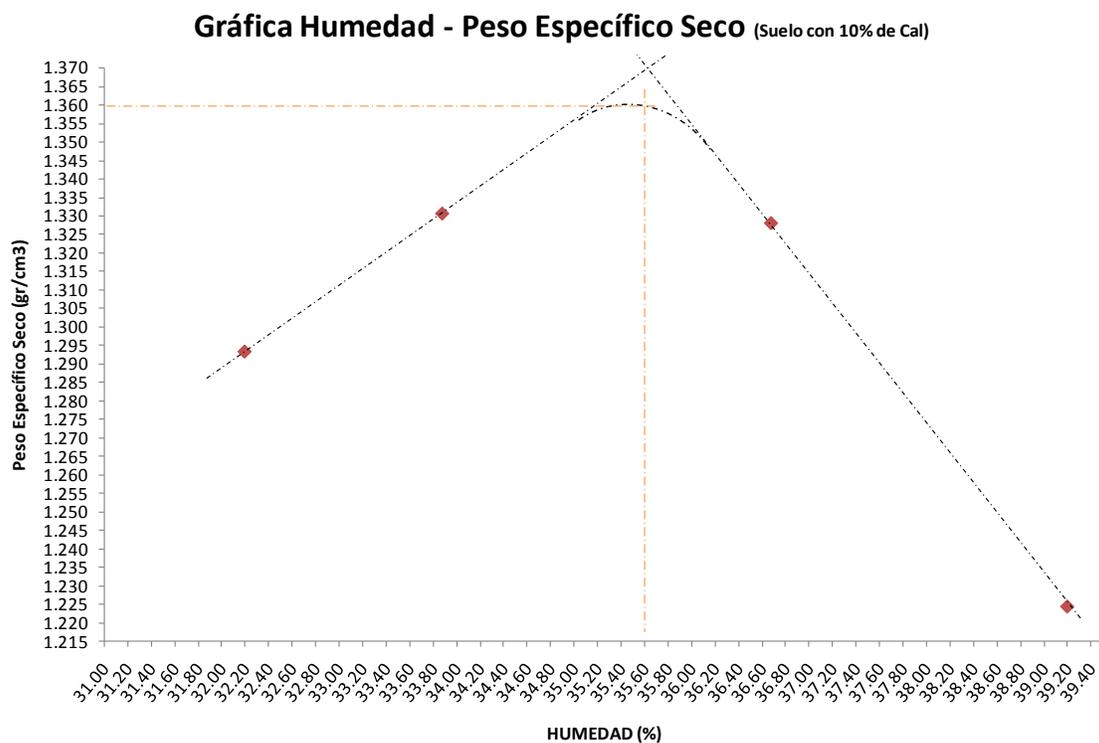
### C.3 Humedad óptima arcilla-cal 8%

No. Prueba	1	2	3	4	5
Peso molde + suelo húmedo (g)	5534	5460	5252	5439.3	5415
Peso molde (g)	3872	3872	3872	3872	3872
Peso suelo húmedo (g)	1662	1588	1380	1567.3	1543
Peso específico húmedo (g/cm <sup>3</sup> )	1.809	1.728	1.502	1.706	1.679
Peso tara + suelo húmedo (g)	203	240	202.4	232.2	269.9
Peso tara + suelo seco (g)	184.6	211.2	181.9	199.7	237.5
Peso suelo húmedo (g)	73.9	119.4	75.9	117.9	122.2
Peso tara (g)	129.1	120.6	126.5	114.3	147.7
Peso suelo seco (g)	55.5	90.6	55.4	85.4	89.8
Contenido de agua (%)	33.15%	31.79%	37.00%	38.06%	36.08%
Peso específico seco (T/m <sup>3</sup> )	1.358	1.311	1.096	1.235	1.234



#### C.4 Humedad óptima arcilla-cal 10%

No. Prueba	1	2	3	4	5
Peso molde + suelo húmedo (g)	5540	5509	5443	5438	5430
Peso molde (g)	3872	3872	3872	3872	3872
Peso suelo húmedo (g)	1668	1637	1571	1566	1558
Peso específico húmedo (g/cm <sup>3</sup> )	1.815	1.781	1.710	1.704	1.695
Peso tara + suelo húmedo (g)	157.2	159.5	156.4	201.3	232
Peso tara + suelo seco (g)	146.6	149.1	147	163	189.6
Peso suelo húmedo (g)	39.5	41.1	38.6	136	157.9
Peso tara (g)	117.7	118.4	117.8	119.4	117.3
Peso suelo seco (g)	28.9	30.7	29.2	97.7	115.5
Contenido de agua (%)	36.68%	33.88%	32.19%	39.20%	36.71%
Peso específico seco (T/m <sup>3</sup> )	1.328	1.331	1.293	1.224	1.240



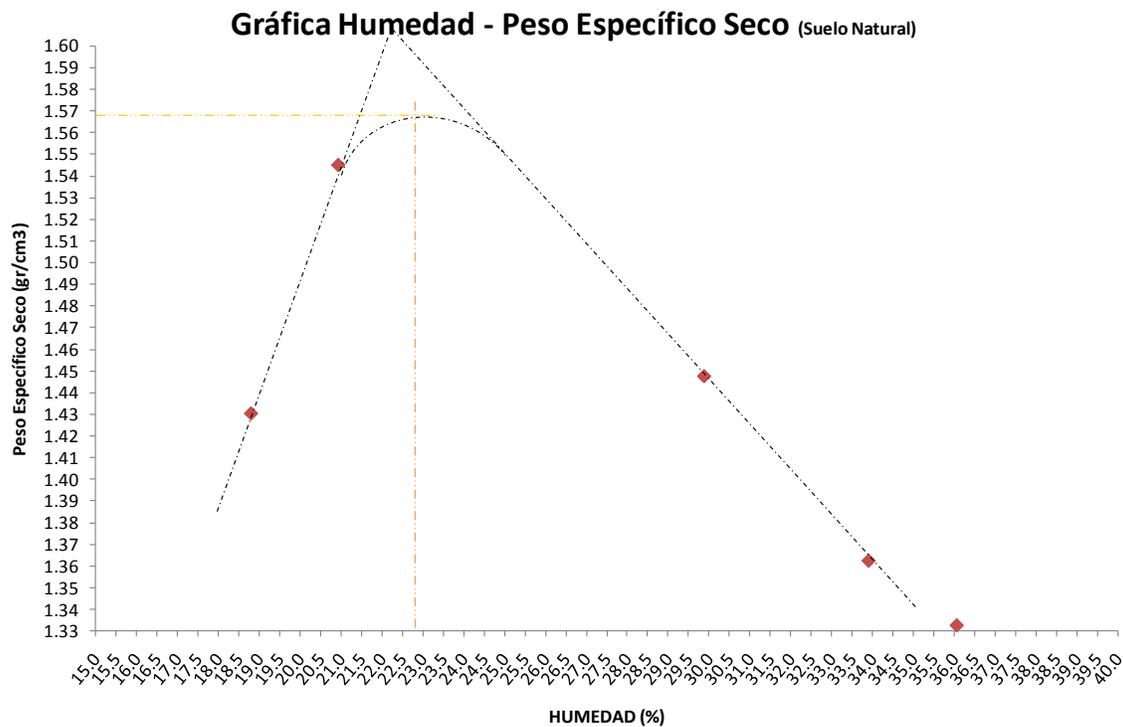
## Apéndice D

**FORMATOS Y GRÁFICAS DE LA DETERMINACIÓN DE HUMEDADES ÓPTIMAS y PESOS ESPECÍFICOS SECOS MÁXIMOS USANDO UNA**

## ENERGÍA DE COMPACTACIÓN DE 27kg-cm/cm<sup>3</sup> (Proctor Modificada) PARA LA ARCILLA NATURAL, ARCILLA-CAL 6%, ARCILLA-CAL 8% Y ARCILLA-CAL 10%

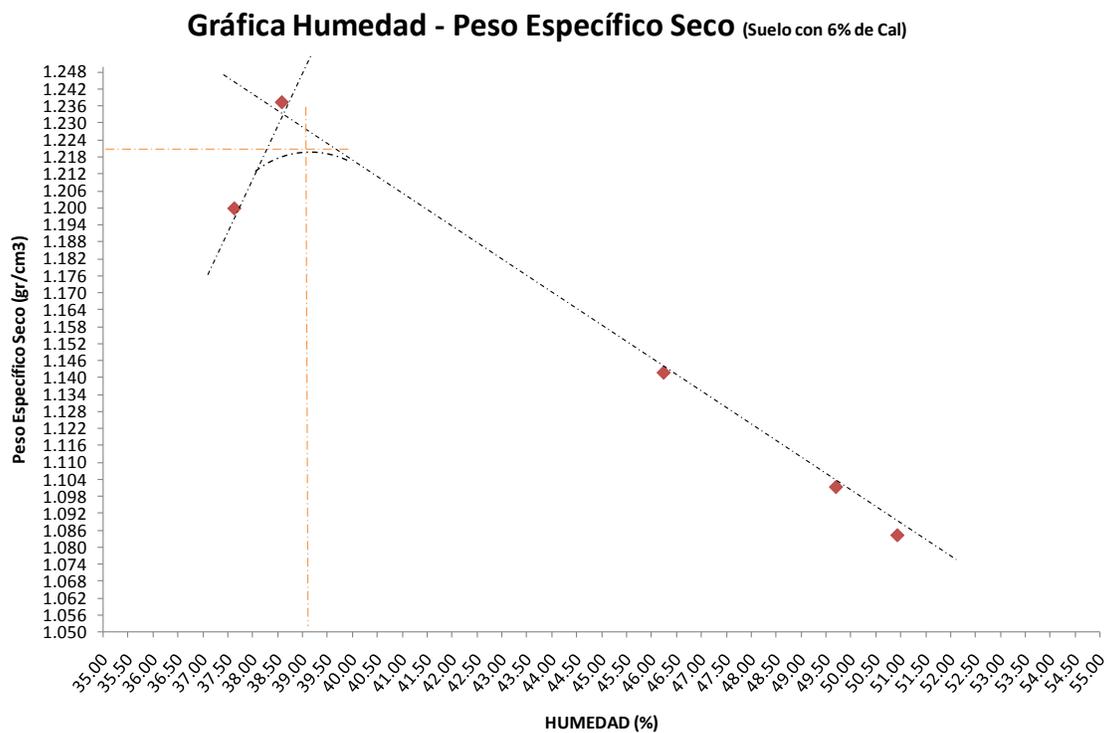
### D.1 Humedad óptima arcilla natural

No. Prueba	1	2	3	4	5
Peso molde + suelo húmedo (g)	5468.5	5417.2	5406.9	5457.8	5302.3
Peso molde (g)	3741	3741	3741	3741	3741
Peso suelo húmedo (g)	1727.5	1676.2	1665.9	1716.8	1561.3
Peso específico húmedo (g/cm <sup>3</sup> )	1.880	1.824	1.813	1.868	1.699
Peso tara + suelo húmedo (g)	232.1	217.2	229.7	255.8	186.8
Peso tara + suelo seco (g)	208.57	191.91	202.3	232.72	176.44
Peso suelo húmedo (g)	102.3	99.9	103.4	133.4	65.5
Peso tara (g)	129.8	117.3	126.3	122.4	121.3
Peso suelo seco (g)	78.77	74.61	76	110.32	55.14
Contenido de agua (%)	29.87%	33.90%	36.05%	20.92%	18.79%
Peso específico seco (g/cm <sup>3</sup> )	1.448	1.362	1.332	1.545	1.430



### D.2 Humedad óptima arcilla-cal 6%

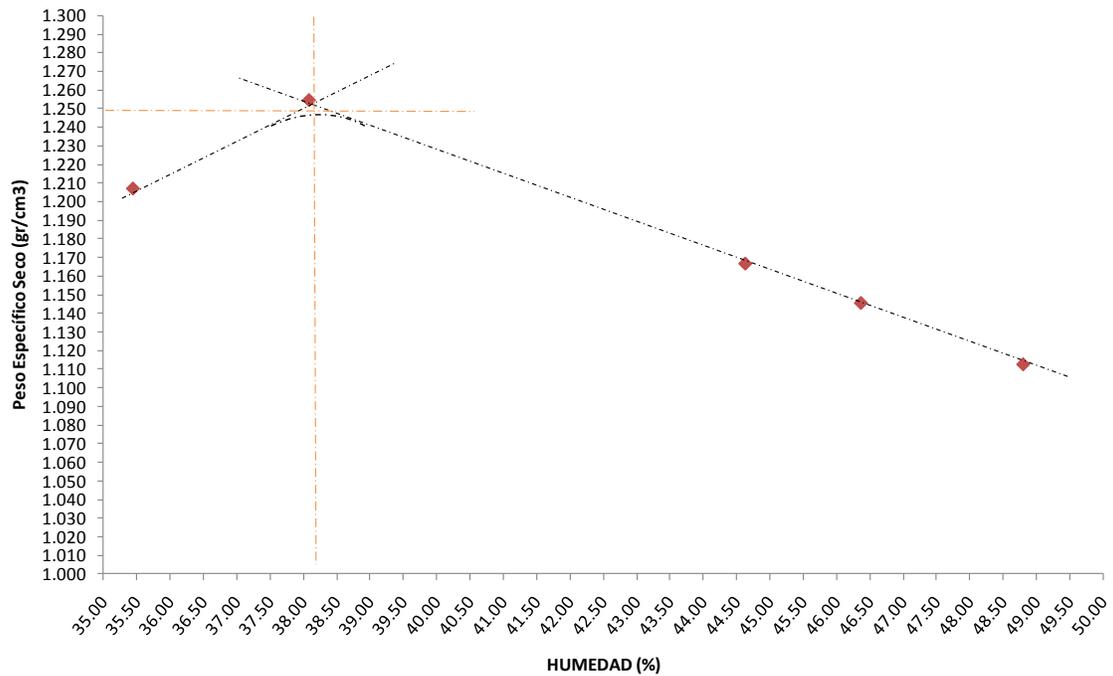
No. Prueba	1	2	3	4	5
Peso molde + suelo húmedo (g)	5275.4	5256	5244.8	5316.9	5258.6
Peso molde (g)	3741	3741	3741	3741	3741
Peso suelo húmedo (g)	1534.4	1515	1503.8	1575.9	1517.6
Peso específico húmedo (g/cm <sup>3</sup> )	1.670	1.649	1.636	1.715	1.652
Peso tara + suelo húmedo (g)	240.1	241.9	234.3	247.7	233.8
Peso tara + suelo seco (g)	201.87	202.46	194.82	213.31	201.64
Peso suelo húmedo (g)	120.9	118.8	117	123.5	117.6
Peso tara (g)	119.2	123.1	117.3	124.2	116.2
Peso suelo seco (g)	82.67	79.36	77.52	89.11	85.44
Contenido de agua (%)	46.24%	49.70%	50.93%	38.59%	37.64%
Peso específico seco (T/m <sup>3</sup> )	1.142	1.101	1.084	1.237	1.200



### D.3 Humedad óptima arcilla-cal 8%

No. Prueba	1	2	3	4	5
Peso molde + suelo húmedo (g)	5291.5	5281.6	5262.1	5243.2	5332.9
Peso molde (g)	3741	3741	3741	3741	3741
Peso suelo húmedo (g)	1550.5	1540.6	1521.1	1502.2	1591.9
Peso específico húmedo (g/cm <sup>3</sup> )	1.687	1.677	1.655	1.635	1.732
Peso tara + suelo húmedo (g)	234.3	219.6	243.2	250.1	192.8
Peso tara + suelo seco (g)	200.91	187.54	205.58	217.42	172.64
Peso suelo húmedo (g)	108.2	101.2	114.7	124.9	73.1
Peso tara (g)	126.1	118.4	128.5	125.2	119.7
Peso suelo seco (g)	74.81	69.14	77.08	92.22	52.94
Contenido de agua (%)	44.63%	46.37%	48.81%	35.44%	38.08%
Peso específico seco (T/m <sup>3</sup> )	1.167	1.145	1.112	1.207	1.255

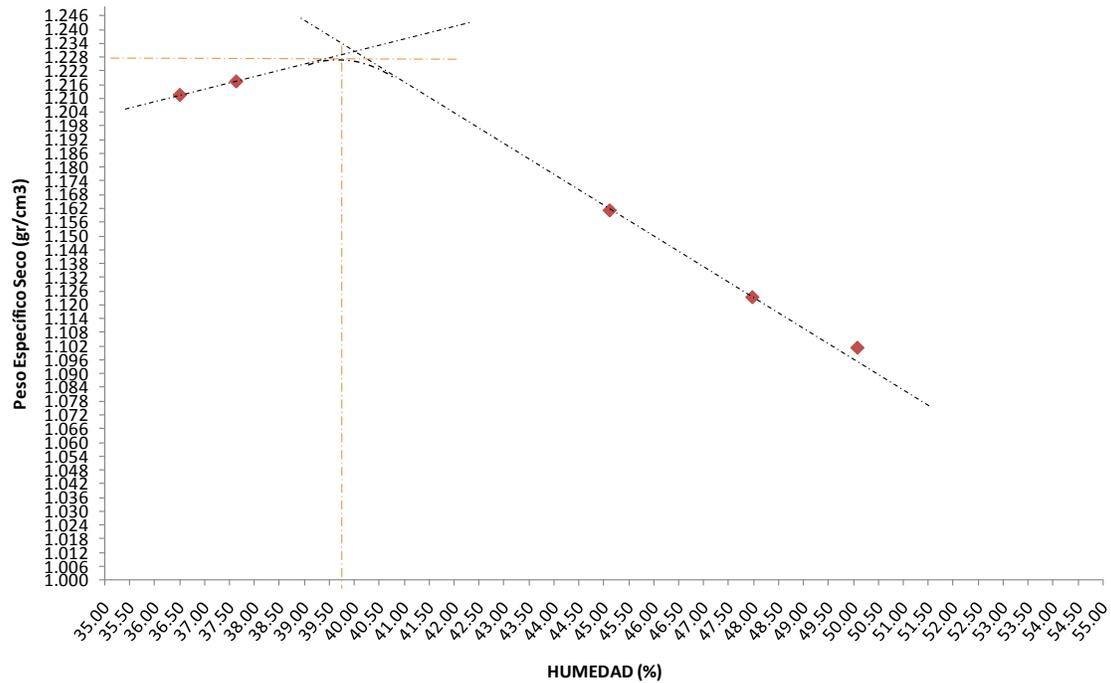
**Gráfica Humedad - Peso Específico Seco** (Suelo con 8% de Cal)



#### D.4 Humedad óptima arcilla-cal 10%

No. Prueba	1	2	3	4	5
Peso molde + suelo húmedo (g)	5289.7	5268.7	5260	5261	5281
Peso molde (g)	3741	3741	3741	3741	3741
Peso suelo húmedo (g)	1548.7	1527.7	1519	1520	1540
Peso específico húmedo (g/cm <sup>3</sup> )	1.685	1.663	1.653	1.654	1.676
Peso tara + suelo húmedo (g)	220.7	223	293.7	229	229
Peso tara + suelo seco (g)	188.52	192.62	238.94	200.57	200.15
Peso suelo húmedo (g)	103.5	93.7	164.1	106.3	105.5
Peso tara (g)	117.2	129.3	129.6	122.7	123.5
Peso suelo seco (g)	71.32	63.32	109.34	77.87	76.65
Contenido de agua (%)	45.12%	47.98%	50.08%	36.51%	37.64%
Peso específico seco (T/m <sup>3</sup> )	1.161	1.123	1.101	1.212	1.218

**Gráfica Humedad - Peso Específico Seco** (Suelo con 10% de Cal)

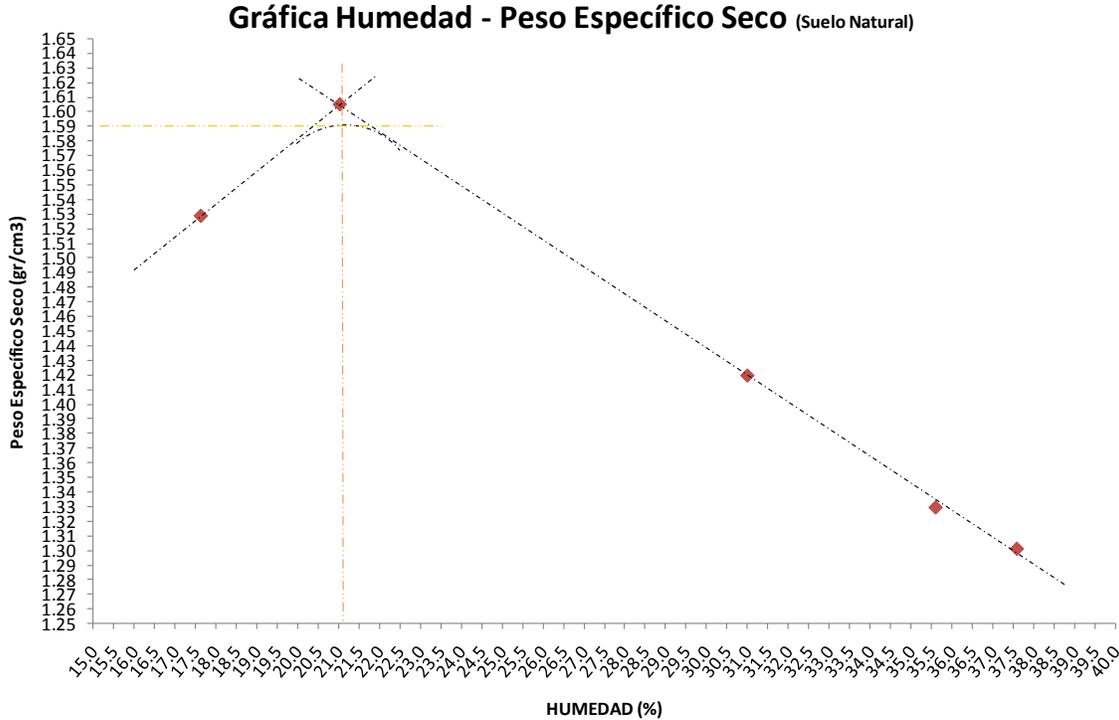


## Apéndice E

**FORMATOS Y GRÁFICAS DE LA DETERMINACIÓN DE HUMEDADES ÓPTIMAS y PESOS ESPECÍFICOS SECOS MÁXIMOS USANDO UNA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN DE 40kg-cm/cm<sup>3</sup> PARA LA ARCILLA NATURAL, ARCILLA-CAL 6%, ARCILLA-CAL 8% Y ARCILLA-CAL 10%**

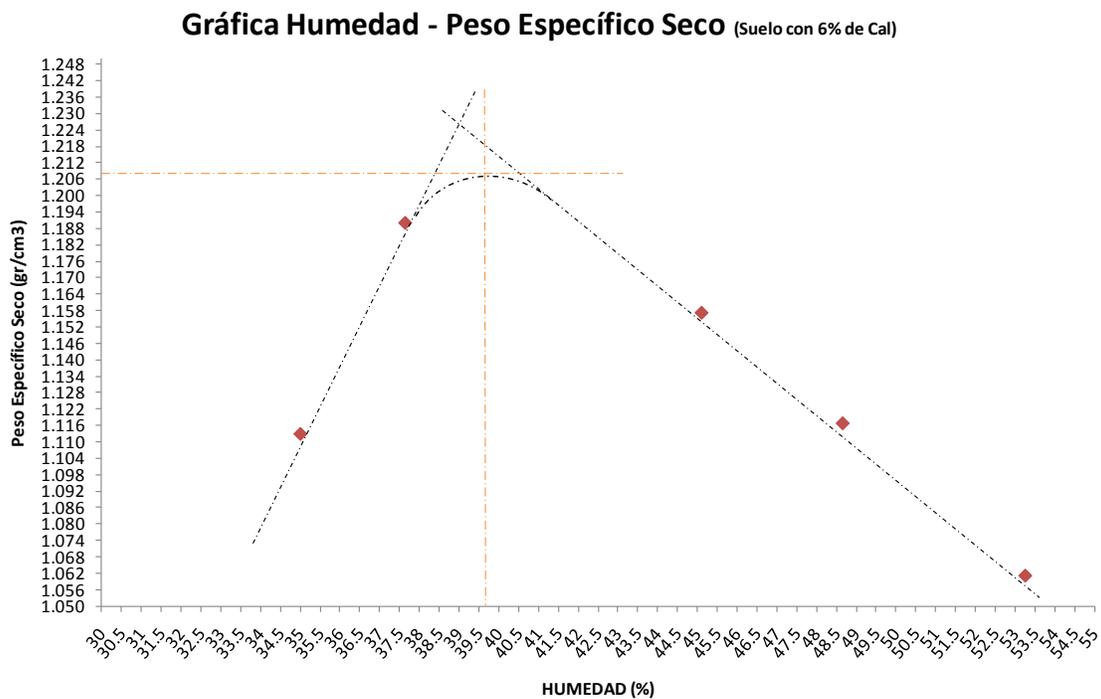
**E.1 Humedad óptima arcilla natural**

No. Prueba	1	2	3	4	5
Peso molde + suelo húmedo (g)	5449.8	5397.7	5386.3	5525.7	5393.2
Peso molde (g)	3741	3741	3741	3741	3741
Peso suelo húmedo (g)	1708.8	1656.7	1645.3	1784.7	1652.2
Peso específico húmedo (g/cm <sup>3</sup> )	1.860	1.803	1.790	1.942	1.798
Peso tara + suelo húmedo (g)	196.7	214.1	220.9	201.8	215
Peso tara + suelo seco (g)	176.23	190.94	193.74	188.7	200.42
Peso suelo húmedo (g)	86.5	88.2	99.4	75.4	97.3
Peso tara (g)	110.2	125.9	121.5	126.4	117.7
Peso suelo seco (g)	66.03	65.04	72.24	62.3	82.72
Contenido de agua (%)	31.00%	35.61%	37.60%	21.03%	17.63%
Peso específico seco (g/cm <sup>3</sup> )	1.420	1.329	1.301	1.605	1.529



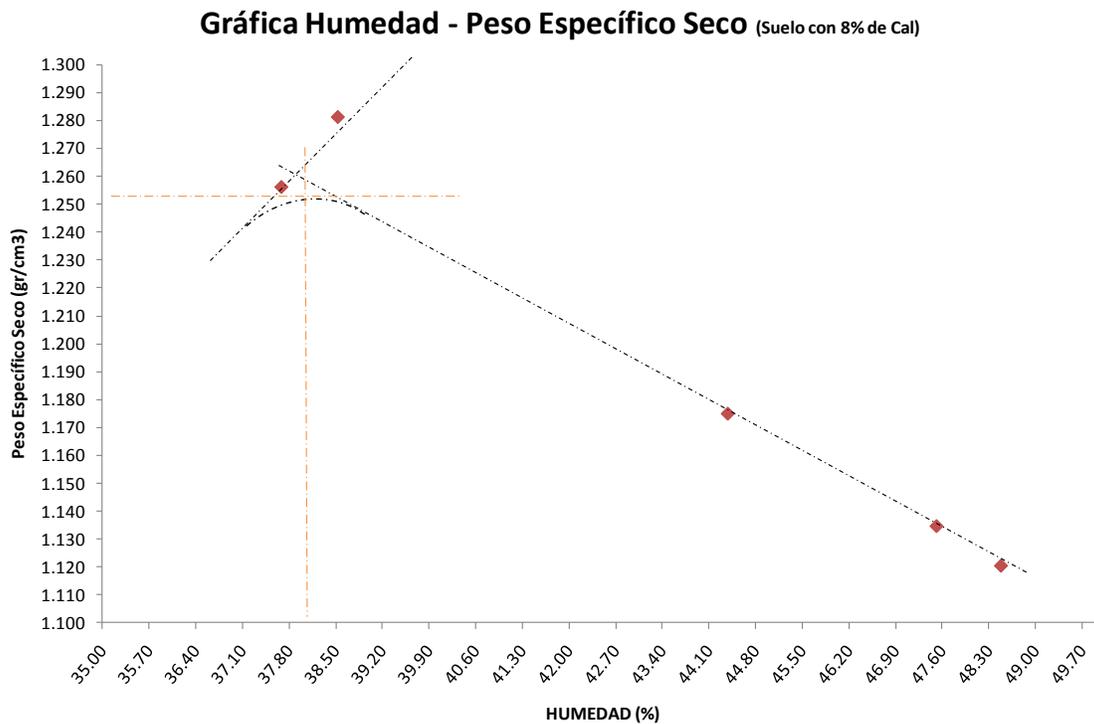
**E.2 Humedad óptima arcilla-cal 6%**

No. Prueba	1	2	3	4	5
Peso molde + suelo húmedo (g)	5284.1	5266.8	5235.7	5246.2	5121.8
Peso molde (g)	3741	3741	3741	3741	3741
Peso suelo húmedo (g)	1543.1	1525.8	1494.7	1505.2	1380.8
Peso específico húmedo (g/cm <sup>3</sup> )	1.679	1.660	1.627	1.638	1.503
Peso tara + suelo húmedo (g)	209.03	277.7	232.1	233	242
Peso tara + suelo seco (g)	180.73	222.9	192.48	201.82	210.26
Peso suelo húmedo (g)	91.03	167.4	114	114	122.4
Peso tara (g)	118	110.3	118.1	119	119.6
Peso suelo seco (g)	62.73	112.6	74.38	82.82	90.66
Contenido de agua (%)	45.11%	48.67%	53.27%	37.65%	35.01%
Peso específico seco (T/m <sup>3</sup> )	1.157	1.117	1.061	1.190	1.113



### E.3 Humedad óptima arcilla-cal 8%

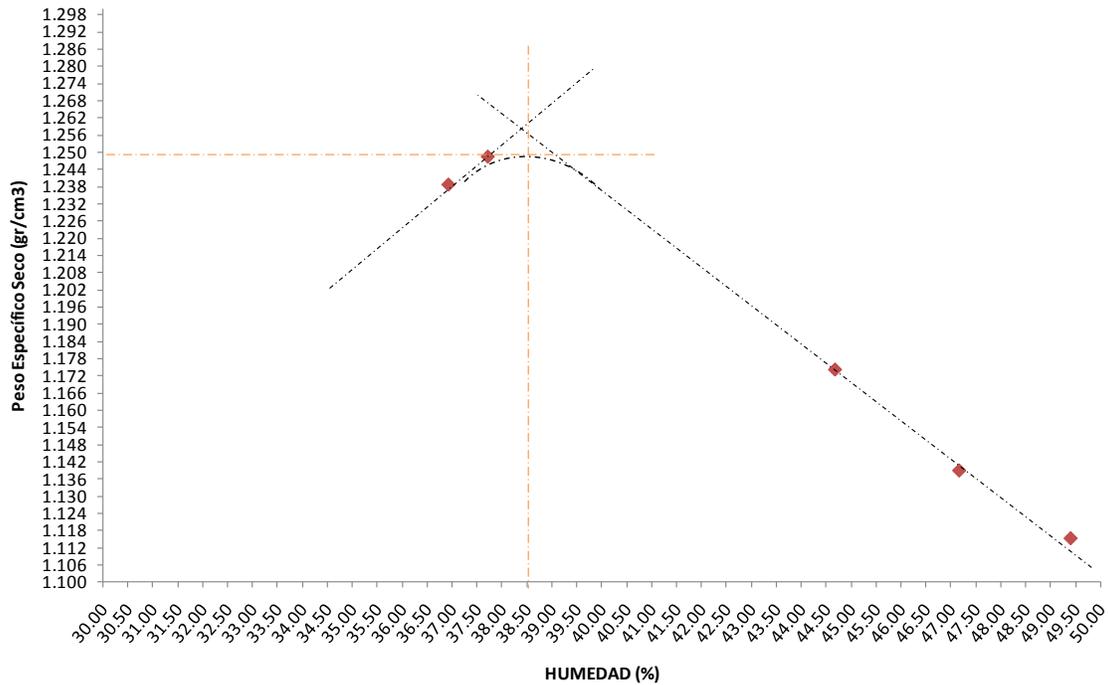
No. Prueba	1	2	3	4	5
Peso molde + suelo húmedo (g)	5299.6	5278.8	5269.5	5330.1	5371.8
Peso molde (g)	3741	3741	3741	3741	3741
Peso suelo húmedo (g)	1558.6	1537.8	1528.5	1589.1	1630.8
Peso específico húmedo (g/cm <sup>3</sup> )	1.696	1.673	1.663	1.729	1.775
Peso tara + suelo húmedo (g)	208.9	215.2	264.5	223.9	216.5
Peso tara + suelo seco (g)	181.48	186.21	216.86	196.64	189.91
Peso suelo húmedo (g)	89.2	90	145.9	99.6	95.6
Peso tara (g)	119.7	125.2	118.6	124.3	120.9
Peso suelo seco (g)	61.78	61.01	98.26	72.34	69.01
Contenido de agua (%)	44.38%	47.52%	48.48%	37.68%	38.53%
Peso específico seco (T/m <sup>3</sup> )	1.175	1.134	1.120	1.256	1.281



#### E.4 Humedad óptima arcilla-cal 10%

No. Prueba	1	2	3	4	5
Peso molde + suelo húmedo (g)	5301.7	5280.9	5271.8	5299.37	5320.7
Peso molde (g)	3741	3741	3741	3741	3741
Peso suelo húmedo (g)	1560.7	1539.9	1530.8	1558.37	1579.7
Peso específico húmedo (g/cm <sup>3</sup> )	1.698	1.676	1.666	1.696	1.719
Peso tara + suelo húmedo (g)	206.3	229.4	245.5	200	235
Peso tara + suelo seco (g)	182.74	195.59	204.27	179.29	204.22
Peso suelo húmedo (g)	76.3	105.5	124.7	76.8	112.4
Peso tara (g)	130	123.9	120.8	123.2	122.6
Peso suelo seco (g)	52.74	71.69	83.47	56.09	81.62
Contenido de agua (%)	44.67%	47.16%	49.39%	36.92%	37.71%
Peso específico seco (T/m <sup>3</sup> )	1.174	1.139	1.115	1.239	1.248

**Gráfica Humedad - Peso Específico Seco** (Suelo con 10% de Cal)

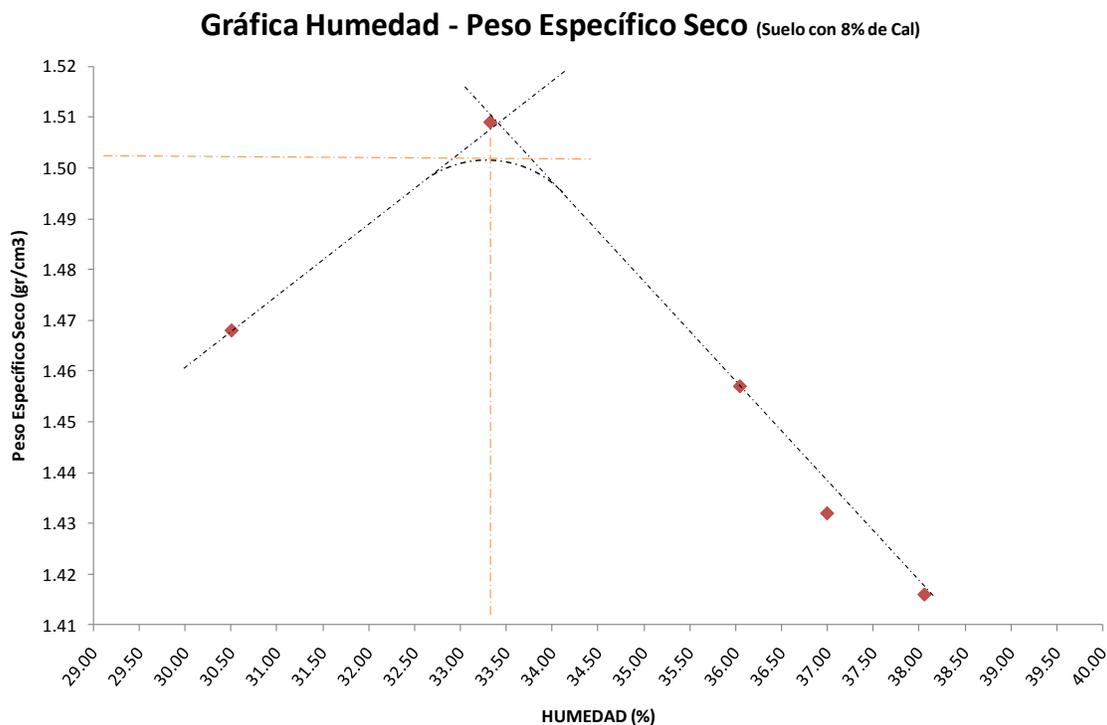


## Apéndice F

## FORMATOS Y GRÁFICAS DE LA DETERMINACIÓN DE HUMEDADES ÓPTIMAS y PESOS ESPECÍFICOS SECOS MÁXIMOS USANDO ENERGÍAS DE COMPACTACIÓN DE 15, 18, 21 Y 24kg-cm/cm<sup>3</sup> PARA ARCILLA-CAL 8%

F.1 Humedad óptima arcilla-cal 8%, energía de compactación 15 kg-cm/cm<sup>3</sup>.

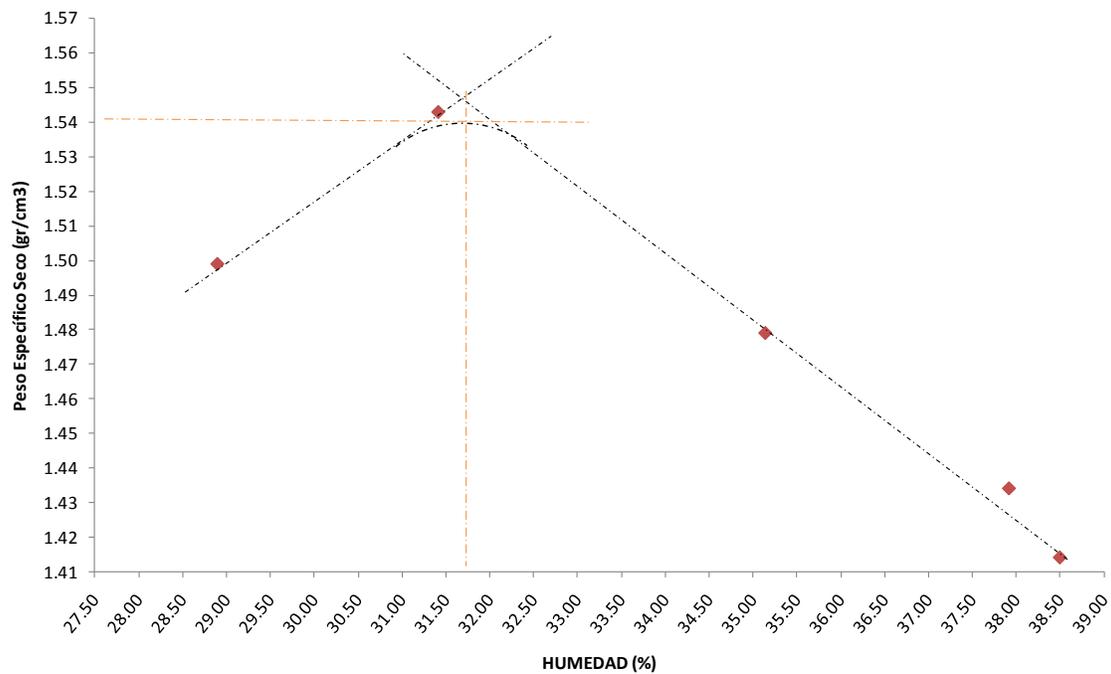
No. Prueba	1	2	3	4	5
Peso molde + suelo húmedo (g)	5721	5694	5675	5668	5633
Peso molde (g)	3872	3872	3872	3872	3872
Peso suelo húmedo (g)	1849	1822	1803	1796	1761
Peso específico húmedo (g/cm <sup>3</sup> )	2.012	1.983	1.962	1.954	1.916
Peso tara + suelo húmedo (g)	206.8	244.5	201.4	231.2	262.9
Peso tara + suelo seco (g)	184.6	212.2	180.9	198.7	235.5
Peso suelo húmedo (g)	88.8	121.9	75.9	117.9	117.2
Peso tara (g)	118	122.6	125.5	113.3	145.7
Peso suelo seco (g)	66.6	89.6	55.4	85.4	89.8
Contenido de agua (%)	33.33%	36.05%	37.00%	38.06%	30.51%
Peso específico seco (T/m <sup>3</sup> )	1.509	1.457	1.432	1.416	1.468



F.2 Humedad óptima arcilla-cal 8%, energía de compactación 18 kg-cm/cm<sup>3</sup>.

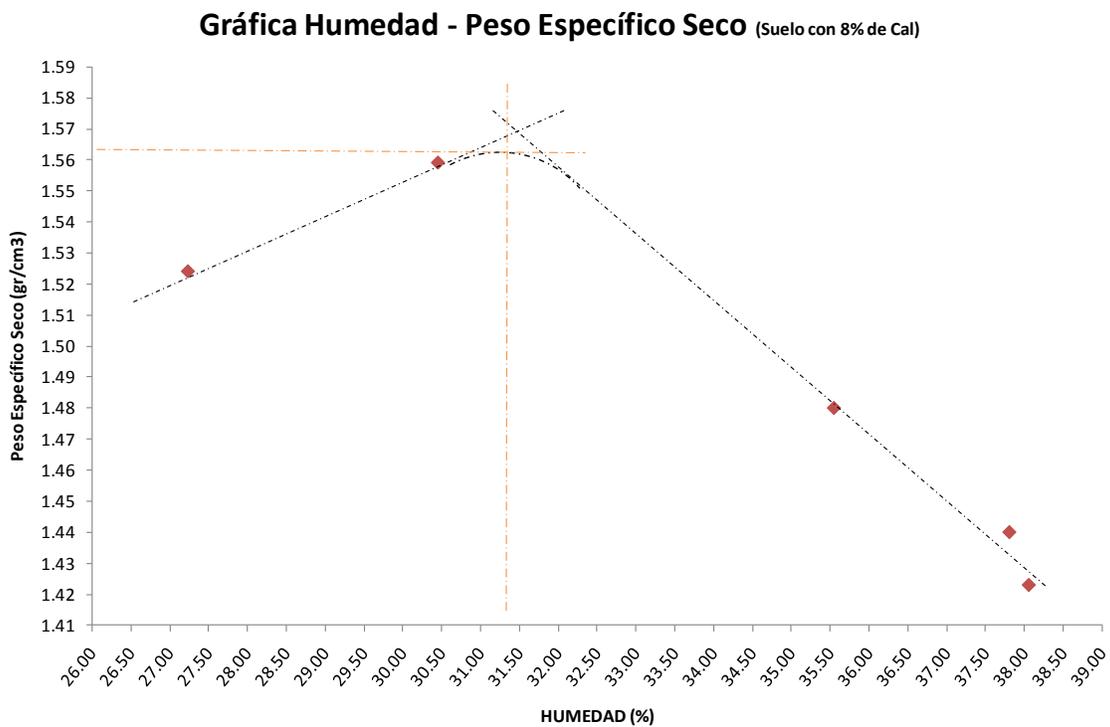
No. Prueba	1	2	3	4	5
Peso molde + suelo húmedo (g)	5735	5708	5689	5672	5647
Peso molde (g)	3872	3872	3872	3872	3872
Peso suelo húmedo (g)	1863	1836	1817	1800	1775
Peso específico húmedo (g/cm <sup>3</sup> )	2.027	1.998	1.977	1.959	1.932
Peso tara + suelo húmedo (g)	204.6	242.6	199.7	229.5	259.9
Peso tara + suelo seco (g)	183.9	211.4	179.3	197.2	234.3
Peso suelo húmedo (g)	86.6	120	74.2	116.2	114.2
Peso tara (g)	118	122.6	125.5	113.3	145.7
Peso suelo seco (g)	65.9	88.8	53.8	83.9	88.6
Contenido de agua (%)	31.41%	35.14%	37.92%	38.50%	28.89%
Peso específico seco (T/m <sup>3</sup> )	1.543	1.479	1.434	1.414	1.499

**Gráfica Humedad - Peso Específico Seco** (Suelo con 8% de Cal)



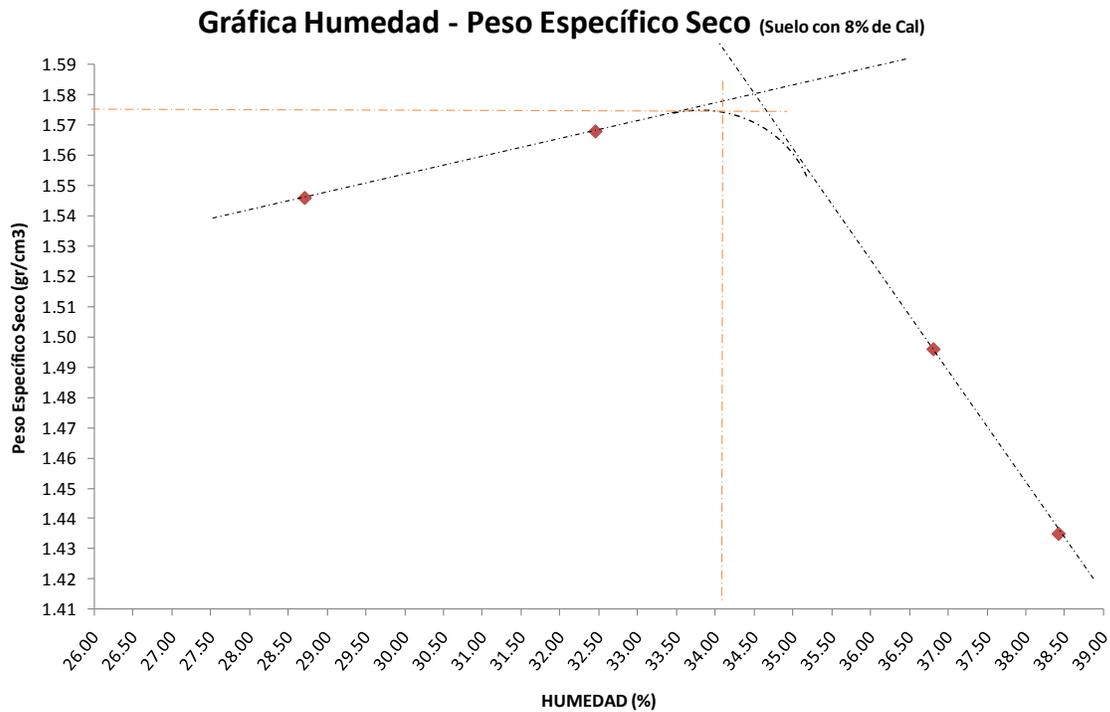
F.3 Humedad óptima arcilla-cal 8%, energía de compactación 21 kg-cm/cm<sup>3</sup>.

No. Prueba	1	2	3	4	5
Peso molde + suelo húmedo (g)	5741	5715	5696	5677	5654
Peso molde (g)	3872	3872	3872	3872	3872
Peso suelo húmedo (g)	1869	1843	1824	1805	1782
Peso específico húmedo (g/cm <sup>3</sup> )	2.034	2.006	1.985	1.964	1.939
Peso tara + suelo húmedo (g)	202.4	240.8	197.3	227.2	256.9
Peso tara + suelo seco (g)	182.7	209.8	177.6	195.8	233.1
Peso suelo húmedo (g)	84.4	118.2	71.8	113.9	111.2
Peso tara (g)	118	122.6	125.5	113.3	145.7
Peso suelo seco (g)	64.7	87.2	52.1	82.5	87.4
Contenido de agua (%)	30.45%	35.55%	37.81%	38.06%	27.23%
Peso específico seco (T/m <sup>3</sup> )	1.559	1.480	1.440	1.423	1.524



F.4 Humedad óptima arcilla-cal 8%, energía de compactación 24 kg-cm/cm<sup>3</sup>.

No. Prueba	1	2	3	4	5
Peso molde + suelo húmedo (g)	5751	5736	5696	5692	5680
Peso molde (g)	3872	3872	3872	3872	3872
Peso suelo húmedo (g)	1879	1864	1824	1820	1808
Peso específico húmedo (g/cm <sup>3</sup> )	2.045	2.028	1.985	1.981	1.968
Peso tara + suelo húmedo (g)	202.4	240.8	197.3	227.2	256.9
Peso tara + suelo seco (g)	182.7	209.8	177.6	195.8	233.1
Peso suelo húmedo (g)	85.7	119.3	82.4	114.2	112.5
Peso tara (g)	118	122.6	125.5	113.3	145.7
Peso suelo seco (g)	64.7	87.2	52.1	82.5	87.4
Contenido de agua (%)	32.46%	36.81%	58.16%	38.42%	28.72%
Peso específico seco (T/m <sup>3</sup> )	1.544	1.483	1.255	1.431	1.529



## Apéndice G

**FORMATOS DE LAS PRUEBAS DE COMPRESION SIMPLE DE PROBETAS REMOLDEADAS CON ENERGÍA DE COMPACTACIÓN DE 6 kg-cm/cm3 (Proctor Estándar).**

**Ensayo a Compresión Simple**

**Arcilla Natural (7 días)**

Deformaciones		Esfuerzo						
Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon = \delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c = A_0 / (1 - \epsilon)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	
10.57								
Especimen 1	5	0.13	0.14	2.0	0.0020	1.61	10.58	0.15
	10	0.25	0.28	6.0	0.0060	4.84	10.60	0.46
	15	0.38	0.42	9.5	0.0095	7.67	10.61	0.72
	20	0.51	0.56	12.5	0.0125	10.09	10.63	0.95
	25	0.64	0.71	15.0	0.0150	12.11	10.64	1.14
	30	0.76	0.85	17.0	0.0170	13.72	10.66	1.29
	35	0.89	0.99	18.0	0.0180	14.53	10.67	1.36
	40	1.02	1.13	19.0	0.0190	15.34	10.69	1.44
	45	1.14	1.27	19.0	0.0190	15.34	10.70	1.43
	50	1.27	1.41	18.0	0.0180	14.53	10.72	1.36
	55	1.40	1.55	17.0	0.0170	13.72	10.73	1.28
60	1.52	1.69	15.0	0.0150	12.11	10.75	1.13	
Especimen 2	5	0.13	0.14	0.5	0.0005	0.40	10.58	0.04
	10	0.25	0.28	6.0	0.0060	4.84	10.60	0.46
	15	0.38	0.42	10.0	0.0100	8.07	10.61	0.76
	20	0.51	0.56	14.0	0.0140	11.30	10.63	1.06
	25	0.64	0.71	17.5	0.0175	14.13	10.64	1.33
	30	0.76	0.85	20.0	0.0200	16.14	10.66	1.51
	35	0.89	0.99	23.0	0.0230	18.57	10.67	1.74
	40	1.02	1.13	24.5	0.0245	19.78	10.69	1.85
	45	1.14	1.27	26.0	0.0260	20.99	10.70	1.96
	50	1.27	1.41	26.0	0.0260	20.99	10.72	1.96
	55	1.40	1.55	25.0	0.0250	20.18	10.73	1.88
60	1.52	1.69	21.5	0.0215	17.35	10.75	1.61	
Especimen 3	5	0.13	0.14	3.5	0.0035	2.83	10.58	0.27
	10	0.25	0.28	7.0	0.0070	5.65	10.60	0.53
	15	0.38	0.42	10.5	0.0105	8.48	10.61	0.80
	20	0.51	0.56	13.5	0.0135	10.90	10.63	1.03
	25	0.64	0.71	15.5	0.0155	12.51	10.64	1.18
	30	0.76	0.85	16.5	0.0165	13.32	10.66	1.25
	35	0.89	0.99	16.5	0.0165	13.32	10.67	1.25
	40	1.02	1.13	16.0	0.0160	12.92	10.69	1.21
	45	1.14	1.27	14.0	0.0140	11.30	10.70	1.06
	50	1.27	1.41	11.0	0.0110	8.88	10.72	0.83
	55	1.40	1.55	9.5	0.0095	7.67	10.73	0.71
60	1.52	1.69	9.5	0.0095	7.67	10.75	0.71	
Especimen 4	5	0.13	0.14	3.0	0.0030	2.42	10.58	0.23
	10	0.25	0.28	7.0	0.0070	5.65	10.60	0.53
	15	0.38	0.42	11.0	0.0110	8.88	10.61	0.84
	20	0.51	0.56	13.5	0.0135	10.90	10.63	1.03
	25	0.64	0.71	15.5	0.0155	12.51	10.64	1.18
	30	0.76	0.85	16.5	0.0165	13.32	10.66	1.25
	35	0.89	0.99	17.0	0.0170	13.72	10.67	1.29
	40	1.02	1.13	17.0	0.0170	13.72	10.69	1.28
	45	1.14	1.27	15.0	0.0150	12.11	10.70	1.13
	50	1.27	1.41	13.0	0.0130	10.49	10.72	0.98
	55	1.40	1.55	11.5	0.0115	9.28	10.73	0.86
60	1.52	1.69	10.0	0.0100	8.07	10.75	0.75	

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2 y 4.

Esfuerzo Prom. = 1.33

## Ensaye a Compresión Simple

### Arcilla Natural (15 días)

Deformaciones			Esfuerzo					
Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon = \delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c = A_0 / (1 - \epsilon)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	
10.57								
Especimen 1	5	0.13	0.14	3.0	0.0030	2.42	10.58	0.23
	10	0.25	0.28	7.5	0.0075	6.05	10.60	0.57
	15	0.38	0.42	12.0	0.0120	9.69	10.61	0.91
	20	0.51	0.56	15.0	0.0150	12.11	10.63	1.14
	25	0.64	0.71	17.0	0.0170	13.72	10.64	1.29
	30	0.76	0.85	18.5	0.0185	14.93	10.66	1.40
	35	0.89	0.99	18.0	0.0180	14.53	10.67	1.36
	40	1.02	1.13	16.5	0.0165	13.32	10.69	1.25
	45	1.14	1.27	14.5	0.0145	11.70	10.70	1.09
	50	1.27	1.41	11.0	0.0110	8.88	10.72	0.83
	55	1.40	1.55	10.5	0.0105	8.48	10.73	0.79
	60	1.52	1.69	10.5	0.0105	8.48	10.75	0.79
Especimen 2	5	0.13	0.14	5.5	0.0055	4.44	10.58	0.42
	10	0.25	0.28	12.0	0.0120	9.69	10.60	0.91
	15	0.38	0.42	17.0	0.0170	13.72	10.61	1.29
	20	0.51	0.56	20.0	0.0200	16.14	10.63	1.52
	25	0.64	0.71	21.0	0.0210	16.95	10.64	1.59
	30	0.76	0.85	19.5	0.0195	15.74	10.66	1.48
	35	0.89	0.99	17.0	0.0170	13.72	10.67	1.29
	40	1.02	1.13	14.0	0.0140	11.30	10.69	1.06
	45	1.14	1.27	10.0	0.0100	8.07	10.70	0.75
	50	1.27	1.41	9.5	0.0095	7.67	10.72	0.72
	55	1.40	1.55	9.0	0.0090	7.26	10.73	0.68
	60	1.52	1.69	9.0	0.0090	7.26	10.75	0.68
Especimen 3	5	0.13	0.14	2.5	0.0025	2.02	10.58	0.19
	10	0.25	0.28	6.0	0.0060	4.84	10.60	0.46
	15	0.38	0.42	19.0	0.0190	15.34	10.61	1.45
	20	0.51	0.56	11.0	0.0110	8.88	10.63	0.84
	25	0.64	0.71	12.0	0.0120	9.69	10.64	0.91
	30	0.76	0.85	11.5	0.0115	9.28	10.66	0.87
	35	0.89	0.99	9.5	0.0095	7.67	10.67	0.72
	40	1.02	1.13	9.0	0.0090	7.26	10.69	0.68
	45	1.14	1.27	9.0	0.0090	7.26	10.70	0.68
	50	1.27	1.41	9.0	0.0090	7.26	10.72	0.68
	55	1.40	1.55	9.0	0.0090	7.26	10.73	0.68
	60	1.52	1.69	9.0	0.0090	7.26	10.75	0.68
Especimen 4	5	0.13	0.14	2.5	0.0025	2.02	10.58	0.19
	10	0.25	0.28	6.0	0.0060	4.84	10.60	0.46
	15	0.38	0.42	9.5	0.0095	7.67	10.61	0.72
	20	0.51	0.56	12.5	0.0125	10.09	10.63	0.95
	25	0.64	0.71	14.0	0.0140	11.30	10.64	1.06
	30	0.76	0.85	15.5	0.0155	12.51	10.66	1.17
	35	0.89	0.99	15.0	0.0150	12.11	10.67	1.13
	40	1.02	1.13	13.5	0.0135	10.90	10.69	1.02
	45	1.14	1.27	10.5	0.0105	8.48	10.70	0.79
	50	1.27	1.41	9.0	0.0090	7.26	10.72	0.68
	55	1.40	1.55	9.0	0.0090	7.26	10.73	0.68
	60	1.52	1.69	9.0	0.0090	7.26	10.75	0.68

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2 y 3.

Esfuerzo Prom. = 1.48

## Ensaye a Compresión Simple

### Arcilla Natural (30 días)

Deformaciones		Esfuerzo							
Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon=\delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c=A_o/(1-\epsilon)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )		
<b>10.57</b>									
Especímen 1	5	0.13	0.14	2.5	0.0025	2.02	10.58	0.19	
	10	0.25	0.28	6.5	0.0065	5.25	10.60	0.50	
	15	0.38	0.42	12.0	0.0120	9.69	10.61	0.91	
	20	0.51	0.56	18.5	0.0185	14.93	10.63	1.41	
	25	0.64	0.71	25.5	0.0255	20.58	10.64	1.93	
	30	0.76	0.85	32.0	0.0320	25.83	10.66	2.42	
	35	0.89	0.99	38.0	0.0380	30.67	10.67	2.87	
	40	1.02	1.13	42.5	0.0425	34.31	10.69	3.21	
	45	1.14	1.27	47.5	0.0475	38.34	10.70	3.58	
	50	1.27	1.41	49.2	0.0492	39.71	10.72	3.71	
	55	1.40	1.55	51.2	0.0512	41.33	10.73	3.85	
	60	1.52	1.69	51.9	0.0519	41.89	10.75	3.90	
	65	1.65	1.83	51.0	0.0510	41.17	10.76	3.82	
	70	1.78	1.98	48.3	0.0483	38.99	10.78	3.62	
75	1.91	2.12	42.5	0.0425	34.31	10.80	3.18		
Especímen 2	5	0.13	0.14	9.5	0.0095	7.67	10.58	0.72	
	10	0.25	0.28	16.1	0.0161	13.00	10.60	1.23	
	15	0.38	0.42	21.0	0.0210	16.95	10.61	1.60	
	20	0.51	0.56	25.6	0.0256	20.66	10.63	1.94	
	25	0.64	0.71	29.2	0.0292	23.57	10.64	2.21	
	30	0.76	0.85	31.0	0.0310	25.02	10.66	2.35	
	35	0.89	0.99	29.8	0.0298	24.05	10.67	2.25	
	40	1.02	1.13	28.3	0.0283	22.84	10.69	2.14	
	45	1.14	1.27	24.0	0.0240	19.37	10.70	1.81	
	50	1.27	1.41	18.0	0.0180	14.53	10.72	1.36	
	55	1.40	1.55	12.7	0.0127	10.25	10.73	0.96	
	60	1.52	1.69	8.0	0.0080	6.46	10.75	0.60	
	Especímen 3	5	0.13	0.14	7.0	0.0070	5.65	10.58	0.53
		10	0.25	0.28	12.8	0.0128	10.33	10.60	0.98
15		0.38	0.42	17.0	0.0170	13.72	10.61	1.29	
20		0.51	0.56	21.2	0.0212	17.11	10.63	1.61	
25		0.64	0.71	24.0	0.0240	19.37	10.64	1.82	
30		0.76	0.85	21.4	0.0214	17.27	10.66	1.62	
35		0.89	0.99	22.7	0.0227	18.32	10.67	1.72	
40		1.02	1.13	22.7	0.0227	18.32	10.69	1.71	
45		1.14	1.27	22.0	0.0220	17.76	10.70	1.66	
50		1.27	1.41	21.8	0.0218	17.60	10.72	1.64	
55		1.40	1.55	21.5	0.0215	17.35	10.73	1.62	
60		1.52	1.69	16.0	0.0160	12.92	10.75	1.20	
Especímen 4		5	0.13	0.14	2.0	0.0020	1.61	10.58	0.15
		10	0.25	0.28	5.5	0.0055	4.44	10.60	0.42
	15	0.38	0.42	11.0	0.0110	8.88	10.61	0.84	
	20	0.51	0.56	17.5	0.0175	14.13	10.63	1.33	
	25	0.64	0.71	24.0	0.0240	19.37	10.64	1.82	
	30	0.76	0.85	29.5	0.0295	23.81	10.66	2.23	
	35	0.89	0.99	34.7	0.0347	28.01	10.67	2.62	
	40	1.02	1.13	37.5	0.0375	30.27	10.69	2.83	
	45	1.14	1.27	42.0	0.0420	33.90	10.70	3.17	
	50	1.27	1.41	44.5	0.0445	35.92	10.72	3.35	
	55	1.40	1.55	46.0	0.0460	37.13	10.73	3.46	
	60	1.52	1.69	46.0	0.0460	37.13	10.75	3.45	
	65	1.65	1.83	45.0	0.0450	36.32	10.76	3.37	
	70	1.78	1.98	43.0	0.0430	34.71	10.78	3.22	
75	1.91	2.12	40.0	0.0400	32.29	10.80	2.99		

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2 y 4.

Esfuerzo Prom. = 3.23

Ensayo a Compresión Simple

Arcilla Natural (60 días)

	Deformaciones			Esfuerzo				
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon = \delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c = A_o / (1 - e)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Especímen 1	5	0.13	0.14	2.5	0.0025	2.02	10.58	0.19
	10	0.25	0.28	6.0	0.0060	4.84	10.60	0.46
	15	0.38	0.42	10.0	0.0100	8.07	10.61	0.76
	20	0.51	0.56	19.0	0.0190	15.34	10.63	1.44
	25	0.64	0.71	29.0	0.0290	23.41	10.64	2.20
	30	0.76	0.85	40.0	0.0400	32.29	10.66	3.03
	35	0.89	0.99	52.0	0.0520	41.97	10.67	3.93
	40	1.02	1.13	62.5	0.0625	50.45	10.69	4.72
	45	1.14	1.27	75.0	0.0750	60.54	10.70	5.66
	50	1.27	1.41	85.0	0.0850	68.61	10.72	6.40
	55	1.40	1.55	95.0	0.0950	76.68	10.73	7.14
	60	1.52	1.69	101.0	0.1010	81.53	10.75	7.58
	65	1.65	1.83	105.0	0.1050	84.76	10.76	7.87
	70	1.78	1.98	98.0	0.0980	79.11	10.78	7.34
	75	1.91	2.12	85.0	0.0850	68.61	10.80	6.36
Especímen 2	5	0.13	0.14	8.0	0.0080	6.46	10.58	0.61
	10	0.25	0.28	16.0	0.0160	12.92	10.60	1.22
	15	0.38	0.42	25.0	0.0250	20.18	10.61	1.90
	20	0.51	0.56	32.5	0.0325	26.23	10.63	2.47
	25	0.64	0.71	41.0	0.0410	33.10	10.64	3.11
	30	0.76	0.85	50.0	0.0500	40.36	10.66	3.79
	35	0.89	0.99	57.0	0.0570	46.01	10.67	4.31
	40	1.02	1.13	65.0	0.0650	52.47	10.69	4.91
	45	1.14	1.27	72.0	0.0720	58.12	10.70	5.43
	50	1.27	1.41	79.0	0.0790	63.77	10.72	5.95
	55	1.40	1.55	84.0	0.0840	67.80	10.73	6.32
	60	1.52	1.69	90.0	0.0900	72.65	10.75	6.76
	65	1.65	1.83	95.0	0.0950	76.68	10.76	7.12
	70	1.78	1.98	100.0	0.1000	80.72	10.78	7.49
	75	1.91	2.12	103.0	0.1030	83.14	10.80	7.70
80	2.03	2.26	105.0	0.1050	84.76	10.81	7.84	
85	2.16	2.40	105.0	0.1050	84.76	10.83	7.83	
90	2.29	2.54	100.0	0.1000	80.72	10.84	7.44	
95	2.41	2.68	95.0	0.0950	76.68	10.86	7.06	
100	2.54	2.82	70.0	0.0700	56.50	10.87	5.20	
Especímen 3	5	0.13	0.14	8.0	0.0080	6.46	10.58	0.61
	10	0.25	0.28	20.0	0.0200	16.14	10.60	1.52
	15	0.38	0.42	31.0	0.0310	25.02	10.61	2.36
	20	0.51	0.56	40.0	0.0400	32.29	10.63	3.04
	25	0.64	0.71	50.0	0.0500	40.36	10.64	3.79
	30	0.76	0.85	58.0	0.0580	46.82	10.66	4.39
	35	0.89	0.99	66.0	0.0660	53.28	10.67	4.99
	40	1.02	1.13	73.0	0.0730	58.93	10.69	5.51
	45	1.14	1.27	81.0	0.0810	65.38	10.70	6.11
	50	1.27	1.41	87.0	0.0870	70.23	10.72	6.55
	55	1.40	1.55	93.0	0.0930	75.07	10.73	6.99
	60	1.52	1.69	99.0	0.0990	79.91	10.75	7.43
	65	1.65	1.83	105.0	0.1050	84.76	10.76	7.87
	70	1.78	1.98	109.0	0.1090	87.98	10.78	8.16
	75	1.91	2.12	113.5	0.1135	91.62	10.80	8.49
80	2.03	2.26	116.0	0.1160	93.64	10.81	8.66	
85	2.16	2.40	118.0	0.1180	95.25	10.83	8.80	
90	2.29	2.54	115.0	0.1150	92.83	10.84	8.56	
95	2.41	2.68	114.0	0.1140	92.02	10.86	8.47	
100	2.54	2.82	93.0	0.0930	75.07	10.87	6.90	
105	2.67	2.96	80.0	0.0800	64.58	10.89	5.93	
Especímen 4	5	0.13	0.14	8.0	0.0080	6.46	10.58	0.61
	10	0.25	0.28	14.0	0.0140	11.30	10.60	1.07
	15	0.38	0.42	21.0	0.0210	16.95	10.61	1.60
	20	0.51	0.56	28.0	0.0280	22.60	10.63	2.13
	25	0.64	0.71	37.0	0.0370	29.87	10.64	2.81
	30	0.76	0.85	45.0	0.0450	36.32	10.66	3.41
	35	0.89	0.99	54.0	0.0540	43.59	10.67	4.08
	40	1.02	1.13	61.0	0.0610	49.24	10.69	4.61
	45	1.14	1.27	68.0	0.0680	54.89	10.70	5.13
	50	1.27	1.41	75.0	0.0750	60.54	10.72	5.65
	55	1.40	1.55	82.0	0.0820	66.19	10.73	6.17
	60	1.52	1.69	87.0	0.0870	70.23	10.75	6.53
	65	1.65	1.83	93.0	0.0930	75.07	10.76	6.97
	70	1.78	1.98	98.0	0.0980	79.11	10.78	7.34
	75	1.91	2.12	102.0	0.1020	82.33	10.80	7.63
80	2.03	2.26	105.0	0.1050	84.76	10.81	7.84	
85	2.16	2.40	106.0	0.1060	85.56	10.83	7.90	
90	2.29	2.54	105.0	0.1050	84.76	10.84	7.82	
95	2.41	2.68	104.0	0.1040	83.95	10.86	7.73	
100	2.54	2.82	90.0	0.0900	72.65	10.87	6.68	
105	2.67	2.96	70.0	0.0700	56.50	10.89	5.19	

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2 y 4.

Esfuerzo Prom. = 7.87

## Ensaye a Compresión Simple

### Arcilla con 6% de cal (7 días)

	Deformaciones			Esfuerzo				
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon = \delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c = A_o / (1 - e)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Especímen 1	5	0.13	0.14	3.0	0.0030	2.42	10.58	0.23
	10	0.25	0.28	7.0	0.0070	5.65	10.60	0.53
	15	0.38	0.42	10.5	0.0105	8.48	10.61	0.80
	20	0.51	0.56	14.5	0.0145	11.70	10.63	1.10
	25	0.64	0.71	17.5	0.0175	14.13	10.64	1.33
	30	0.76	0.85	19.5	0.0195	15.74	10.66	1.48
	35	0.89	0.99	20.0	0.0200	16.14	10.67	1.51
	40	1.02	1.13	18.5	0.0185	14.93	10.69	1.40
	45	1.14	1.27	13.0	0.0130	10.49	10.70	0.98
	50	1.27	1.41		0.0000	0.00	10.72	
	55	1.40	1.55		0.0000	0.00	10.73	
60	1.52	1.69		0.0000	0.00	10.75		
Especímen 2	5	0.13	0.14	2.5	0.0025	2.02	10.58	0.19
	10	0.25	0.28	7.0	0.0070	5.65	10.60	0.53
	15	0.38	0.42	12.5	0.0125	10.09	10.61	0.95
	20	0.51	0.56	16.5	0.0165	13.32	10.63	1.25
	25	0.64	0.71	21.0	0.0210	16.95	10.64	1.59
	30	0.76	0.85	25.5	0.0255	20.58	10.66	1.93
	35	0.89	0.99	29.0	0.0290	23.41	10.67	2.19
	40	1.02	1.13	31.0	0.0310	25.02	10.69	2.34
	45	1.14	1.27	31.0	0.0310	25.02	10.70	2.34
	50	1.27	1.41	30.0	0.0300	24.22	10.72	2.26
	55	1.40	1.55	28.0	0.0280	22.60	10.73	2.11
60	1.52	1.69	24.0	0.0240	19.37	10.75	1.80	
Especímen 3	5	0.13	0.14	2.5	0.0025	2.02	10.58	0.19
	10	0.25	0.28	6.5	0.0065	5.25	10.60	0.50
	15	0.38	0.42	12.0	0.0120	9.69	10.61	0.91
	20	0.51	0.56	16.5	0.0165	13.32	10.63	1.25
	25	0.64	0.71	21.5	0.0215	17.35	10.64	1.63
	30	0.76	0.85	26.0	0.0260	20.99	10.66	1.97
	35	0.89	0.99	29.0	0.0290	23.41	10.67	2.19
	40	1.02	1.13	29.0	0.0290	23.41	10.69	2.19
	45	1.14	1.27	28.0	0.0280	22.60	10.70	2.11
	50	1.27	1.41	26.0	0.0260	20.99	10.72	1.96
	55	1.40	1.55	23.5	0.0235	18.97	10.73	1.77
60	1.52	1.69	19.0	0.0190	15.34	10.75	1.43	
Especímen 4	5	0.13	0.14	3.0	0.0030	2.42	10.58	0.23
	10	0.25	0.28	7.0	0.0070	5.65	10.60	0.53
	15	0.38	0.42	13.0	0.0130	10.49	10.61	0.99
	20	0.51	0.56	17.0	0.0170	13.72	10.63	1.29
	25	0.64	0.71	23.0	0.0230	18.57	10.64	1.74
	30	0.76	0.85	26.0	0.0260	20.99	10.66	1.97
	35	0.89	0.99	29.0	0.0290	23.41	10.67	2.19
	40	1.02	1.13	29.0	0.0290	23.41	10.69	2.19
	45	1.14	1.27	26.0	0.0260	20.99	10.70	1.96
	50	1.27	1.41	22.5	0.0225	18.16	10.72	1.69
	55	1.40	1.55	20.5	0.0205	16.55	10.73	1.54
60	1.52	1.69	20.0	0.0200	16.14	10.75	1.50	

El Promedio se realizó de los especímenes 2, 3 y 4.

Esfuerzo Prom. = 2.24

## Ensaye a Compresión Simple

Arcilla con 6% de cal (14 días)

Deformaciones			Esfuerzo					
Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon = \delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c = A_o / (1 - e)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	
10.57								
Especímen 1	5	0.13	0.14	3.5	0.0035	2.83	10.58	0.27
	10	0.25	0.28	7.5	0.0075	6.05	10.60	0.57
	15	0.38	0.42	11.5	0.0115	9.28	10.61	0.87
	20	0.51	0.56	16.0	0.0160	12.92	10.63	1.22
	25	0.64	0.71	19.5	0.0195	15.74	10.64	1.48
	30	0.76	0.85	22.5	0.0225	18.16	10.66	1.70
	35	0.89	0.99	24.0	0.0240	19.37	10.67	1.82
	40	1.02	1.13	23.5	0.0235	18.97	10.69	1.77
	45	1.14	1.27	22.0	0.0220	17.76	10.70	1.66
	50	1.27	1.41	22.0	0.0220	17.76	10.72	1.66
	55	1.40	1.55	22.0	0.0220	17.76	10.73	1.65
60	1.52	1.69	22.0	0.0220	17.76	10.75	1.65	
Especímen 2	0.00	0.00		0.0000	0.00	0.00	10.57	
	0.00	0.00		0.0000	0.00	0.00	10.57	
	0.00	0.00		0.0000	0.00	0.00	10.57	
	0.00	0.00		0.0000	0.00	0.00	10.57	
	0.00	0.00		0.0000	0.00	0.00	10.57	
	0.00	0.00		0.0000	0.00	0.00	10.57	
	0.00	0.00		0.0000	0.00	0.00	10.57	
	0.00	0.00		0.0000	0.00	0.00	10.57	
	0.00	0.00		0.0000	0.00	0.00	10.57	
	0.00	0.00		0.0000	0.00	0.00	10.57	
	0.00	0.00		0.0000	0.00	0.00	10.57	
Especímen 3	5	0.13	0.14	2.5	0.0025	2.02	10.58	0.19
	10	0.25	0.28	6.0	0.0060	4.84	10.60	0.46
	15	0.38	0.42	11.0	0.0110	8.88	10.61	0.84
	20	0.51	0.56	16.5	0.0165	13.32	10.63	1.25
	25	0.64	0.71	21.0	0.0210	16.95	10.64	1.59
	30	0.76	0.85	25.0	0.0250	20.18	10.66	1.89
	35	0.89	0.99	28.5	0.0285	23.01	10.67	2.16
	40	1.02	1.13	28.0	0.0280	22.60	10.69	2.11
	45	1.14	1.27	26.0	0.0260	20.99	10.70	1.96
	50	1.27	1.41	21.5	0.0215	17.35	10.72	1.62
	55	1.40	1.55	20.0	0.0200	16.14	10.73	1.50
60	1.52	1.69	20.0	0.0200	16.14	10.75	1.50	
Especímen 4	0.00	0.00		0.0000	0.00	0.00	10.57	
	0.00	0.00		0.0000	0.00	0.00	10.57	
	0.00	0.00		0.0000	0.00	0.00	10.57	
	0.00	0.00		0.0000	0.00	0.00	10.57	
	0.00	0.00		0.0000	0.00	0.00	10.57	
	0.00	0.00		0.0000	0.00	0.00	10.57	
	0.00	0.00		0.0000	0.00	0.00	10.57	
	0.00	0.00		0.0000	0.00	0.00	10.57	
	0.00	0.00		0.0000	0.00	0.00	10.57	
	0.00	0.00		0.0000	0.00	0.00	10.57	
	0.00	0.00		0.0000	0.00	0.00	10.57	

El Promedio se realizó de los especímenes 1 y 2

Esfuerzo Prom. = 1.99

## Ensaye a Compresión Simple

Arcilla con 6% de cal (30 días)

	Deformaciones			Esfuerzo				
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon=\delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c=A_o/(1-e)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Especimen 1	5	0.13	0.14	4.0	0.0040	3.23	10.58	0.31
	10	0.25	0.28	10.5	0.0105	8.48	10.60	0.80
	15	0.38	0.42	15.5	0.0155	12.51	10.61	1.18
	20	0.51	0.56	20.5	0.0205	16.55	10.63	1.56
	25	0.64	0.71	25.0	0.0250	20.18	10.64	1.90
	30	0.76	0.85	28.5	0.0285	23.01	10.66	2.16
	35	0.89	0.99	30.0	0.0300	24.22	10.67	2.27
	40	1.02	1.13	28.0	0.0280	22.60	10.69	2.11
	45	1.14	1.27	23.0	0.0230	18.57	10.70	1.73
	50	1.27	1.41	18.5	0.0185	14.93	10.72	1.39
	55	1.40	1.55	13.0	0.0130	10.49	10.73	0.98
	60	1.52	1.69	10.0	0.0100	8.07	10.75	0.75
Especimen 2	5	0.13	0.14	3.5	0.0035	2.83	10.58	0.27
	10	0.25	0.28	6.5	0.0065	5.25	10.60	0.50
	15	0.38	0.42	12.0	0.0120	9.69	10.61	0.91
	20	0.51	0.56	18.5	0.0185	14.93	10.63	1.41
	25	0.64	0.71	25.5	0.0255	20.58	10.64	1.93
	30	0.76	0.85	32.0	0.0320	25.83	10.66	2.42
	35	0.89	0.99	36.0	0.0360	29.06	10.67	2.72
	40	1.02	1.13	37.0	0.0370	29.87	10.69	2.79
	45	1.14	1.27	33.0	0.0330	26.64	10.70	2.49
	50	1.27	1.41	21.0	0.0210	16.95	10.72	1.58
	55	1.40	1.55	21.0	0.0210	16.95	10.73	1.58
	60	1.52	1.69	20.5	0.0205	16.55	10.75	1.54
Especimen 3	5	0.13	0.14	5.5	0.0055	4.44	10.58	0.42
	10	0.25	0.28	11.0	0.0110	8.88	10.60	0.84
	15	0.38	0.42	16.5	0.0165	13.32	10.61	1.26
	20	0.51	0.56	21.0	0.0210	16.95	10.63	1.60
	25	0.64	0.71	25.5	0.0255	20.58	10.64	1.93
	30	0.76	0.85	27.5	0.0275	22.20	10.66	2.08
	35	0.89	0.99	27.5	0.0275	22.20	10.67	2.08
	40	1.02	1.13	24.0	0.0240	19.37	10.69	1.81
	45	1.14	1.27	20.0	0.0200	16.14	10.70	1.51
	50	1.27	1.41	20.0	0.0200	16.14	10.72	1.51
	55	1.40	1.55	20.0	0.0200	16.14	10.73	1.50
	60	1.52	1.69	19.5	0.0195	15.74	10.75	1.46
Especimen 4	5	0.13	0.14	5.0	0.0050	4.04	10.58	0.38
	10	0.25	0.28	9.0	0.0090	7.26	10.60	0.69
	15	0.38	0.42	14.0	0.0140	11.30	10.61	1.06
	20	0.51	0.56	19.5	0.0195	15.74	10.63	1.48
	25	0.64	0.71	24.0	0.0240	19.37	10.64	1.82
	30	0.76	0.85	28.0	0.0280	22.60	10.66	2.12
	35	0.89	0.99	29.5	0.0295	23.81	10.67	2.23
	40	1.02	1.13	28.0	0.0280	22.60	10.69	2.11
	45	1.14	1.27	22.5	0.0225	18.16	10.70	1.70
	50	1.27	1.41	21.0	0.0210	16.95	10.72	1.58
	55	1.40	1.55	21.0	0.0210	16.95	10.73	1.58
	60	1.52	1.69	21.0	0.0210	16.95	10.75	1.58

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2, 3 y 4.

Esfuerzo Prom. = 2.34

## Ensaye a Compresión Simple

Arcilla con 6% de cal (60 días)

Deformaciones		Esfuerzo						
Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon = \delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c = A_o / (1 - e)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	
Especímen 1	5	0.13	0.14	6.0	0.0060	4.84	10.58	0.46
	10	0.25	0.28	12.0	0.0120	9.69	10.60	0.91
	15	0.38	0.42	19.5	0.0195	15.74	10.61	1.48
	20	0.51	0.56	27.5	0.0275	22.20	10.63	2.09
	25	0.64	0.71	36.5	0.0365	29.46	10.64	2.77
	30	0.76	0.85	43.0	0.0430	34.71	10.66	3.26
	35	0.89	0.99	50.0	0.0500	40.36	10.67	3.78
	40	1.02	1.13	53.5	0.0535	43.19	10.69	4.04
	45	1.14	1.27	51.0	0.0510	41.17	10.70	3.85
	50	1.27	1.41	35.0	0.0350	28.25	10.72	2.64
Especímen 2	5	0.13	0.14	10.0	0.0100	8.07	10.58	0.76
	10	0.25	0.28	18.0	0.0180	14.53	10.60	1.37
	15	0.38	0.42	26.0	0.0260	20.99	10.61	1.98
	20	0.51	0.56	33.0	0.0330	26.64	10.63	2.51
	25	0.64	0.71	39.0	0.0390	31.48	10.64	2.96
	30	0.76	0.85	42.0	0.0420	33.90	10.66	3.18
	35	0.89	0.99	40.0	0.0400	32.29	10.67	3.03
	40	1.02	1.13	34.0	0.0340	27.44	10.69	2.57
	45	1.14	1.27	22.0	0.0220	17.76	10.70	1.66
	50	1.27	1.41	10.5	0.0105	8.48	10.72	0.79
Especímen 3	5	0.13	0.14	5.0	0.0050	4.04	10.58	0.38
	10	0.25	0.28	10.0	0.0100	8.07	10.60	0.76
	15	0.38	0.42	17.0	0.0170	13.72	10.61	1.29
	20	0.51	0.56	22.5	0.0225	18.16	10.63	1.71
	25	0.64	0.71	30.0	0.0300	24.22	10.64	2.28
	30	0.76	0.85	37.5	0.0375	30.27	10.66	2.84
	35	0.89	0.99	45.0	0.0450	36.32	10.67	3.40
	40	1.02	1.13	52.0	0.0520	41.97	10.69	3.93
	45	1.14	1.27	55.0	0.0550	44.40	10.70	4.15
	50	1.27	1.41	52.0	0.0520	41.97	10.72	3.92
Especímen 4	5	0.13	0.14	6.0	0.0060	4.84	10.58	0.46
	10	0.25	0.28	10.0	0.0100	8.07	10.60	0.76
	15	0.38	0.42	17.0	0.0170	13.72	10.61	1.29
	20	0.51	0.56	24.0	0.0240	19.37	10.63	1.82
	25	0.64	0.71	30.5	0.0305	24.62	10.64	2.31
	30	0.76	0.85	39.0	0.0390	31.48	10.66	2.95
	35	0.89	0.99	47.0	0.0470	37.94	10.67	3.55
	40	1.02	1.13	54.0	0.0540	43.59	10.69	4.08
	45	1.14	1.27	56.0	0.0560	45.20	10.70	4.22
	50	1.27	1.41	50.0	0.0500	40.36	10.72	3.77
52	1.32	1.47	30.0	0.0300	24.22	10.72	2.26	
55	1.40	1.55	20.0	0.0200	16.14	10.73	1.50	

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 3 y 4.

Esfuerzo Prom. = 4.14

## Ensaye a Compresión Simple

Arcilla con 8% de cal (7 días)

	Deformaciones			Esfuerzo				
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon = \delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c = A_o / (1 - e)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Especímen 1	5	0.13	0.14	14.0	0.0140	11.30	10.58	1.07
	10	0.25	0.28	29.0	0.0290	23.41	10.60	2.21
	15	0.38	0.42	42.0	0.0420	33.90	10.61	3.19
	20	0.51	0.56	54.0	0.0540	43.59	10.63	4.10
	25	0.64	0.71	64.0	0.0640	51.66	10.64	4.85
	30	0.76	0.85	76.0	0.0760	61.35	10.66	5.76
	35	0.89	0.99	85.0	0.0850	68.61	10.67	6.43
	40	1.02	1.13	95.0	0.0950	76.68	10.69	7.18
	45	1.14	1.27	103.0	0.1030	83.14	10.70	7.77
	50	1.27	1.41	105.0	0.1050	84.76	10.72	7.91
	55	1.40	1.55	40.0	0.0400	32.29	10.73	3.01
60	1.52	1.69	30.0	0.0300	24.22	10.75	2.25	
Especímen 2	5	0.13	0.14	8.0	0.0080	6.46	10.58	0.61
	10	0.25	0.28	23.0	0.0230	18.57	10.60	1.75
	15	0.38	0.42	37.5	0.0375	30.27	10.61	2.85
	20	0.51	0.56	50.0	0.0500	40.36	10.63	3.80
	25	0.64	0.71	62.0	0.0620	50.05	10.64	4.70
	30	0.76	0.85	73.0	0.0730	58.93	10.66	5.53
	35	0.89	0.99	83.0	0.0830	67.00	10.67	6.28
	40	1.02	1.13	93.0	0.0930	75.07	10.69	7.02
	45	1.14	1.27	101.5	0.1015	81.93	10.70	7.66
	50	1.27	1.41	105.0	0.1050	84.76	10.72	7.91
	55	1.40	1.55		0.0000	0.00	10.73	
60	1.52	1.69	30.0	0.0300	24.22	10.75	2.25	
Especímen 3	5	0.13	0.14	12.0	0.0120	9.69	10.58	0.92
	10	0.25	0.28	23.0	0.0230	18.57	10.60	1.75
	15	0.38	0.42	35.0	0.0350	28.25	10.61	2.66
	20	0.51	0.56	45.0	0.0450	36.32	10.63	3.42
	25	0.64	0.71	55.0	0.0550	44.40	10.64	4.17
	30	0.76	0.85	65.0	0.0650	52.47	10.66	4.92
	35	0.89	0.99	79.0	0.0790	63.77	10.67	5.98
	40	1.02	1.13	82.0	0.0820	66.19	10.69	6.19
	45	1.14	1.27	85.0	0.0850	68.61	10.70	6.41
	50	1.27	1.41	50.0	0.0500	40.36	10.72	3.77
	55	1.40	1.55	19.0	0.0190	15.34	10.73	1.43
60	1.52	1.69	9.5	0.0095	7.67	10.75	0.71	
Especímen 4	5	0.13	0.14	13.0	0.0130	10.49	10.58	0.99
	10	0.25	0.28	24.0	0.0240	19.37	10.60	1.83
	15	0.38	0.42	36.0	0.0360	29.06	10.61	2.74
	20	0.51	0.56	47.0	0.0470	37.94	10.63	3.57
	25	0.64	0.71	58.0	0.0580	46.82	10.64	4.40
	30	0.76	0.85	68.0	0.0680	54.89	10.66	5.15
	35	0.89	0.99	78.0	0.0780	62.96	10.67	5.90
	40	1.02	1.13	84.5	0.0845	68.21	10.69	6.38
	45	1.14	1.27	81.5	0.0815	65.79	10.70	6.15
	50	1.27	1.41					
	55	1.40	1.55					
60	1.52	1.69						

El Promedio se realizó de los especímenes 1 y 2.

Esfuerzo Prom. = 7.91

## Ensaye a Compresión Simple

Arcilla con 8% de cal (14 días)

	Deformaciones			Esfuerzo				
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon = \delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c = A_0 / (1 - e)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Especímen 1	5	0.13	0.14	4.5	0.0045	3.63	10.58	0.34
	10	0.25	0.28	20.0	0.0200	16.14	10.60	1.52
	15	0.38	0.42	41.0	0.0410	33.10	10.61	3.12
	20	0.51	0.56	59.0	0.0590	47.62	10.63	4.48
	25	0.64	0.71	73.0	0.0730	58.93	10.64	5.54
	30	0.76	0.85	88.0	0.0880	71.03	10.66	6.67
	35	0.89	0.99	100.0	0.1000	80.72	10.67	7.56
	40	1.02	1.13	113.0	0.1130	91.21	10.69	8.53
	45	1.14	1.27	122.0	0.1220	98.48	10.70	9.20
	50	1.27	1.41	127.5	0.1275	102.92	10.72	9.60
	55	1.40	1.55	122.0	0.1220	98.48	10.73	9.17
60	1.52	1.69	30.0	0.0300	24.22	10.75	2.25	
Especímen 2	5	0.13	0.14	18.0	0.0180	14.53	10.58	1.37
	10	0.25	0.28	36.0	0.0360	29.06	10.60	2.74
	15	0.38	0.42	54.0	0.0540	43.59	10.61	4.11
	20	0.51	0.56	67.0	0.0670	54.08	10.63	5.09
	25	0.64	0.71	80.0	0.0800	64.58	10.64	6.07
	30	0.76	0.85	92.0	0.0920	74.26	10.66	6.97
	35	0.89	0.99	102.5	0.1025	82.74	10.67	7.75
	40	1.02	1.13	108.0	0.1080	87.18	10.69	8.16
	45	1.14	1.27	102.0	0.1020	82.33	10.70	7.69
	50	1.27	1.41	83.0	0.0830	67.00	10.72	6.25
	55	1.40	1.55	80.5	0.0805	64.98	10.73	6.05
60	1.52	1.69	80.0	0.0800	64.58	10.75	6.01	
Especímen 3	5	0.13	0.14	12.0	0.0120	9.69	10.58	0.92
	10	0.25	0.28	32.0	0.0320	25.83	10.60	2.44
	15	0.38	0.42	48.5	0.0485	39.15	10.61	3.69
	20	0.51	0.56	64.0	0.0640	51.66	10.63	4.86
	25	0.64	0.71	78.0	0.0780	62.96	10.64	5.92
	30	0.76	0.85	93.5	0.0935	75.47	10.66	7.08
	35	0.89	0.99	107.5	0.1075	86.77	10.67	8.13
	40	1.02	1.13	120.0	0.1200	96.86	10.69	9.06
	45	1.14	1.27	129.0	0.1290	104.13	10.70	9.73
	50	1.27	1.41	134.5	0.1345	108.57	10.72	10.13
	55	1.40	1.55	128.0	0.1280	103.32	10.73	9.63
60	1.52	1.69	106.0	0.1060	85.56	10.75	7.96	
Especímen 4	5	0.13	0.14	12.0	0.0120	9.69	10.58	0.92
	10	0.25	0.28	27.0	0.0270	21.79	10.60	2.06
	15	0.38	0.42	43.5	0.0435	35.11	10.61	3.31
	20	0.51	0.56	57.0	0.0570	46.01	10.63	4.33
	25	0.64	0.71	69.5	0.0695	56.10	10.64	5.27
	30	0.76	0.85	82.0	0.0820	66.19	10.66	6.21
	35	0.89	0.99	91.5	0.0915	73.86	10.67	6.92
	40	1.02	1.13	105.0	0.1050	84.76	10.69	7.93
	45	1.14	1.27	118.0	0.1180	95.25	10.70	8.90
	50	1.27	1.41	127.0	0.1270	102.51	10.72	9.56
	55	1.40	1.55	132.5	0.1325	106.95	10.73	9.96
60	1.52	1.69	130.0	0.1300	104.94	10.75	9.76	

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 3 y 4.

Esfuerzo Prom. = 9.90

## Ensaye a Compresión Simple

Arcilla con 8% de cal (30 días)

	Deformaciones			Esfuerzo					
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon = \delta/L$	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c = A_o / (1 - e)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	
Especímen 1	5	0.13	0.14	3.5	0.0035	2.83	10.58	0.27	
	10	0.25	0.28	6.5	0.0065	5.25	10.60	0.50	
	15	0.38	0.42	16.0	0.0160	12.92	10.61	1.22	
	20	0.51	0.56	31.0	0.0310	25.02	10.63	2.35	
	25	0.64	0.71	45.5	0.0455	36.73	10.64	3.45	
	30	0.76	0.85	61.0	0.0610	49.24	10.66	4.62	
	35	0.89	0.99	75.5	0.0755	60.94	10.67	5.71	
	40	1.02	1.13	90.5	0.0905	73.05	10.69	6.84	
	45	1.14	1.27	105.0	0.1050	84.76	10.70	7.92	
	50	1.27	1.41	121.0	0.1210	97.67	10.72	9.11	
	55	1.40	1.55	133.0	0.1330	107.36	10.73	10.00	
	60	1.52	1.69	145.0	0.1450	117.04	10.75	10.89	
	65	1.65	1.83	143.5	0.1435	115.83	10.76	10.76	
	70	1.78	1.98	141.5	0.1415	114.22	10.78	10.60	
75	1.91	2.12	131.5	0.1315	106.15	10.80	9.83		
Especímen 2	5	0.13	0.14	17.0	0.0170	13.72	10.58	1.30	
	10	0.25	0.28	37.0	0.0370	29.87	10.60	2.82	
	15	0.38	0.42	56.0	0.0560	45.20	10.61	4.26	
	20	0.51	0.56	71.0	0.0710	57.31	10.63	5.39	
	25	0.64	0.71	89.0	0.0890	71.84	10.64	6.75	
	30	0.76	0.85	105.0	0.1050	84.76	10.66	7.95	
	35	0.89	0.99	121.0	0.1210	97.67	10.67	9.15	
	40	1.02	1.13	134.0	0.1340	108.16	10.69	10.12	
	45	1.14	1.27	143.0	0.1430	115.43	10.70	10.78	
	50	1.27	1.41	135.0	0.1350	108.97	10.72	10.17	
	55	1.40	1.55	50.0	0.0500	40.36	10.73	3.76	
	60	1.52	1.69	22.0	0.0220	17.76	10.75	1.65	
	Especímen 3	5	0.13	0.14	15.0	0.0150	12.11	10.58	1.14
		10	0.25	0.28	33.5	0.0335	27.04	10.60	2.55
15		0.38	0.42	52.5	0.0525	42.38	10.61	3.99	
20		0.51	0.56	69.0	0.0690	55.70	10.63	5.24	
25		0.64	0.71	85.0	0.0850	68.61	10.64	6.45	
30		0.76	0.85	100.0	0.1000	80.72	10.66	7.57	
35		0.89	0.99	116.0	0.1160	93.64	10.67	8.77	
40		1.02	1.13	129.5	0.1295	104.53	10.69	9.78	
45		1.14	1.27	140.0	0.1400	113.01	10.70	10.56	
50		1.27	1.41	141.0	0.1410	113.82	10.72	10.62	
55		1.40	1.55	130.0	0.1300	104.94	10.73	9.78	
60		1.52	1.69	35.0	0.0350	28.25	10.75	2.63	
Especímen 4		5	0.13	0.14	5.5	0.0055	4.44	10.58	0.42
		10	0.25	0.28	12.5	0.0125	10.09	10.60	0.95
	15	0.38	0.42	26.0	0.0260	20.99	10.61	1.98	
	20	0.51	0.56	40.0	0.0400	32.29	10.63	3.04	
	25	0.64	0.71	54.0	0.0540	43.59	10.64	4.10	
	30	0.76	0.85	69.0	0.0690	55.70	10.66	5.23	
	35	0.89	0.99	83.0	0.0830	67.00	10.67	6.28	
	40	1.02	1.13	98.0	0.0980	79.11	10.69	7.40	
	45	1.14	1.27	112.5	0.1125	90.81	10.70	8.48	
	50	1.27	1.41	127.0	0.1270	102.51	10.72	9.56	
	55	1.40	1.55	139.0	0.1390	112.20	10.73	10.45	
	60	1.52	1.69	146.0	0.1460	117.85	10.75	10.96	
	70	1.78	1.98	140.0	0.1400	113.01	10.78	10.48	
	75	1.91	2.12	55.0	0.0550	44.40	10.80	4.11	

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2, 3 y 4.

Esfuerzo Prom. = 10.81

### Ensaye a Compresión Simple

#### Arcilla con 8% de cal (60 días)

	Deformaciones			Esfuerzo				
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon = \delta/L$ (mm/mm)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c = A_o / (1 - \epsilon)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Especímen 1	5	0.13	0.14	6.0	0.0060	4.84	10.58	0.46
	10	0.25	0.28	18.0	0.0180	14.53	10.60	1.37
	15	0.38	0.42	32.0	0.0320	25.83	10.61	2.43
	20	0.51	0.56	46.0	0.0460	37.13	10.63	3.49
	25	0.64	0.71	63.0	0.0630	50.85	10.64	4.78
	30	0.76	0.85	80.0	0.0800	64.58	10.66	6.06
	35	0.89	0.99	98.0	0.0980	79.11	10.67	7.41
	40	1.02	1.13	115.0	0.1150	92.83	10.69	8.69
	45	1.14	1.27	132.0	0.1320	106.55	10.70	9.96
	50	1.27	1.41	149.0	0.1490	120.27	10.72	11.22
	55	1.40	1.55	169.0	0.1690	136.42	10.73	12.71
60	1.52	1.69	182.0	0.1820	146.91	10.75	13.67	
65	1.65	1.83	192.0	0.1920	154.98	10.76	14.40	
70	1.78	1.98	185.0	0.1850	149.33	10.78	13.85	
Especímen 2	5	0.13	0.14	15.0	0.0150	12.11	10.58	1.14
	10	0.25	0.28	32.0	0.0320	25.83	10.60	2.44
	15	0.38	0.42	50.0	0.0500	40.36	10.61	3.80
	20	0.51	0.56	67.0	0.0670	54.08	10.63	5.09
	25	0.64	0.71	84.0	0.0840	67.80	10.64	6.37
	30	0.76	0.85	102.0	0.1020	82.33	10.66	7.73
	35	0.89	0.99	119.0	0.1190	96.06	10.67	9.00
	40	1.02	1.13	137.0	0.1370	110.59	10.69	10.35
	45	1.14	1.27	153.0	0.1530	123.50	10.70	11.54
	50	1.27	1.41	170.0	0.1700	137.22	10.72	12.80
	55	1.40	1.55	185.0	0.1850	149.33	10.73	13.91
60	1.52	1.69	193.0	0.1930	155.79	10.75	14.49	
Especímen 3	5	0.13	0.14	17.0	0.0170	13.72	10.58	1.30
	10	0.25	0.28	34.0	0.0340	27.44	10.60	2.59
	15	0.38	0.42	53.0	0.0530	42.78	10.61	4.03
	20	0.51	0.56	71.5	0.0715	57.71	10.63	5.43
	25	0.64	0.71	91.0	0.0910	73.46	10.64	6.90
	30	0.76	0.85	110.0	0.1100	88.79	10.66	8.33
	35	0.89	0.99	130.0	0.1300	104.94	10.67	9.83
	40	1.02	1.13	147.0	0.1470	118.66	10.69	11.10
	45	1.14	1.27	165.0	0.1650	133.19	10.70	12.44
	50	1.27	1.41	180.0	0.1800	145.30	10.72	13.56
	55	1.40	1.55	190.0	0.1900	153.37	10.73	14.29
60	1.52	1.69	180.0	0.1800	145.30	10.75	13.52	
Especímen 4	5	0.13	0.14	4.0	0.0040	3.23	10.58	0.31
	10	0.25	0.28	9.5	0.0095	7.67	10.60	0.72
	15	0.38	0.42	20.0	0.0200	16.14	10.61	1.52
	20	0.51	0.56	32.0	0.0320	25.83	10.63	2.43
	25	0.64	0.71	45.0	0.0450	36.32	10.64	3.41
	30	0.76	0.85	62.0	0.0620	50.05	10.66	4.70
	35	0.89	0.99	80.0	0.0800	64.58	10.67	6.05
	40	1.02	1.13	99.0	0.0990	79.91	10.69	7.48
	45	1.14	1.27	118.0	0.1180	95.25	10.70	8.90
	50	1.27	1.41	135.0	0.1350	108.97	10.72	10.17
	55	1.40	1.55	152.0	0.1520	122.69	10.73	11.43
60	1.52	1.69	171.0	0.1710	138.03	10.75	12.84	
65	1.65	1.83	188.0	0.1880	151.75	10.76	14.10	
70	1.78	1.98	204.0	0.2040	164.67	10.78	15.28	
75	1.91	2.12	215.0	0.2150	173.55	10.80	16.08	
80	2.03	2.26	216.0	0.2160	174.36	10.81	16.13	

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2 y 3.

Esfuerzo Prom. = 14.39

## Ensaye a Compresión Simple

### Arcilla con 10% de cal (7 días)

	Deformaciones			Esfuerzo				
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon = \delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c = A_o / (1 - \epsilon)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Especímen 1	5	0.13	0.14	11.5	0.0115	9.28	10.58	0.88
	10	0.25	0.28	30.0	0.0300	24.22	10.60	2.29
	15	0.38	0.42	47.0	0.0470	37.94	10.61	3.58
	20	0.51	0.56	62.5	0.0625	50.45	10.63	4.75
	25	0.64	0.71	77.0	0.0770	62.15	10.64	5.84
	30	0.76	0.85	92.0	0.0920	74.26	10.66	6.97
	35	0.89	0.99	104.0	0.1040	83.95	10.67	7.87
	40	1.02	1.13	113.0	0.1130	91.21	10.69	8.53
	45	1.14	1.27	116.0	0.1160	93.64	10.70	8.75
	50	1.27	1.41		0.0000	0.00	10.72	
	55	1.40	1.55		0.0000	0.00	10.73	
60	1.52	1.69		0.0000	0.00	10.75		
Especímen 2	5	0.13	0.14	7.0	0.0070	5.65	10.58	0.53
	10	0.25	0.28	23.0	0.0230	18.57	10.60	1.75
	15	0.38	0.42	38.0	0.0380	30.67	10.61	2.89
	20	0.51	0.56	54.0	0.0540	43.59	10.63	4.10
	25	0.64	0.71	69.0	0.0690	55.70	10.64	5.23
	30	0.76	0.85	83.0	0.0830	67.00	10.66	6.29
	35	0.89	0.99	95.0	0.0950	76.68	10.67	7.19
	40	1.02	1.13	101.5	0.1015	81.93	10.69	7.67
	45	1.14	1.27	103.0	0.1030	83.14	10.70	7.77
	50	1.27	1.41	98.0	0.0980	79.11	10.72	7.38
	55	1.40	1.55	85.0	0.0850	68.61	10.73	6.39
60	1.52	1.69	70.0	0.0700	56.50	10.75	5.26	
Especímen 3	5	0.13	0.14	18.0	0.0180	14.53	10.58	1.37
	10	0.25	0.28	38.0	0.0380	30.67	10.60	2.89
	15	0.38	0.42	55.0	0.0550	44.40	10.61	4.18
	20	0.51	0.56	72.0	0.0720	58.12	10.63	5.47
	25	0.64	0.71	85.0	0.0850	68.61	10.64	6.45
	30	0.76	0.85	98.0	0.0980	79.11	10.66	7.42
	35	0.89	0.99	108.0	0.1080	87.18	10.67	8.17
	40	1.02	1.13	111.0	0.1110	89.60	10.69	8.38
	45	1.14	1.27	110.0	0.1100	88.79	10.70	8.30
	50	1.27	1.41	50.0	0.0500	40.36	10.72	3.77
	55	1.40	1.55		0.0000	0.00	10.73	
60	1.52	1.69		0.0000	0.00	10.75		
Especímen 4	5	0.13	0.14	18.0	0.0180	14.53	10.58	1.37
	10	0.25	0.28	34.0	0.0340	27.44	10.60	2.59
	15	0.38	0.42	48.0	0.0480	38.75	10.61	3.65
	20	0.51	0.56	67.0	0.0670	54.08	10.63	5.09
	25	0.64	0.71	80.0	0.0800	64.58	10.64	6.07
	30	0.76	0.85	93.0	0.0930	75.07	10.66	7.04
	35	0.89	0.99	101.0	0.1010	81.53	10.67	7.64
	40	1.02	1.13	100.0	0.1000	80.72	10.69	7.55
	45	1.14	1.27	90.0	0.0900	72.65	10.70	6.79
	50	1.27	1.41					
	55	1.40	1.55					
60	1.52	1.69						

El Promedio se realizó de los especímenes 1 y 3.

Esfuerzo Prom. = 8.57

## Ensaye a Compresión Simple

Arcilla con 10% de cal (14 días)

	Deformaciones			Esfuerzo				
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon = \delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c = A_0 / (1 - e)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Especímen 1	5	0.13	0.14	33.0	0.0330	26.64	10.58	2.52
	10	0.25	0.28	65.0	0.0650	52.47	10.60	4.95
	15	0.38	0.42	94.0	0.0940	75.88	10.61	7.15
	20	0.51	0.56	117.0	0.1170	94.44	10.63	8.89
	25	0.64	0.71	135.0	0.1350	108.97	10.64	10.24
	30	0.76	0.85	154.0	0.1540	124.31	10.66	11.66
	35	0.89	0.99	168.0	0.1680	135.61	10.67	12.71
	40	1.02	1.13	50.0	0.0500	40.36	10.69	3.78
	45	1.14	1.27	35.0	0.0350	28.25	10.70	2.64
	50	1.27	1.41	20.0	0.0200	16.14	10.72	1.51
	55	1.40	1.55		0.0000	0.00	10.73	
60	1.52	1.69		0.0000	0.00	10.75		
Especímen 2	5	0.13	0.14	11.0	0.0110	8.88	10.58	0.84
	10	0.25	0.28	41.0	0.0410	33.10	10.60	3.12
	15	0.38	0.42	69.0	0.0690	55.70	10.61	5.25
	20	0.51	0.56	90.0	0.0900	72.65	10.63	6.84
	25	0.64	0.71	110.0	0.1100	88.79	10.64	8.34
	30	0.76	0.85	125.0	0.1250	100.90	10.66	9.47
	35	0.89	0.99	137.0	0.1370	110.59	10.67	10.36
	40	1.02	1.13	141.0	0.1410	113.82	10.69	10.65
	45	1.14	1.27	141.0	0.1410	113.82	10.70	10.63
	50	1.27	1.41	120.0	0.1200	96.86	10.72	9.04
	55	1.40	1.55	58.0	0.0580	46.82	10.73	4.36
60	1.52	1.69	35.0	0.0350	28.25	10.75	2.63	
Especímen 3	5	0.13	0.14	30.0	0.0300	24.22	10.58	2.29
	10	0.25	0.28	55.0	0.0550	44.40	10.60	4.19
	15	0.38	0.42	81.0	0.0810	65.38	10.61	6.16
	20	0.51	0.56	104.0	0.1040	83.95	10.63	7.90
	25	0.64	0.71	122.0	0.1220	98.48	10.64	9.25
	30	0.76	0.85	139.0	0.1390	112.20	10.66	10.53
	35	0.89	0.99	154.0	0.1540	124.31	10.67	11.65
	40	1.02	1.13		0.0000	0.00	10.69	
	45	1.14	1.27		0.0000	0.00	10.70	
	50	1.27	1.41		0.0000	0.00	10.72	
	55	1.40	1.55		0.0000	0.00	10.73	
60	1.52	1.69		0.0000	0.00	10.75		
Especímen 4	5	0.13	0.14	23.0	0.0230	18.57	10.58	1.75
	10	0.25	0.28	44.0	0.0440	35.52	10.60	3.35
	15	0.38	0.42	63.0	0.0630	50.85	10.61	4.79
	20	0.51	0.56	84.0	0.0840	67.80	10.63	6.38
	25	0.64	0.71	99.0	0.0990	79.91	10.64	7.51
	30	0.76	0.85	110.5	0.1105	89.20	10.66	8.37
	35	0.89	0.99	115.0	0.1150	92.83	10.67	8.70
	40	1.02	1.13					
	45	1.14	1.27					
	50	1.27	1.41					
	55	1.40	1.55					
60	1.52	1.69						

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2 y 3.

Esfuerzo Prom. = 11.67

## Ensaye a Compresión Simple

Arcilla con 10% de cal (30 días)

	Deformaciones			Esfuerzo				
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon = \delta/L$ (mm)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c = A_o / (1 - e)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Especimen 1	5	0.13	0.14	10.0	0.0100	8.07	10.58	0.76
	10	0.25	0.28	31.0	0.0310	25.02	10.60	2.36
	15	0.38	0.42	55.0	0.0550	44.40	10.61	4.18
	20	0.51	0.56	81.0	0.0810	65.38	10.63	6.15
	25	0.64	0.71	101.0	0.1010	81.53	10.64	7.66
	30	0.76	0.85	128.0	0.1280	103.32	10.66	9.70
	35	0.89	0.99	150.0	0.1500	121.08	10.67	11.35
	40	1.02	1.13	171.0	0.1710	138.03	10.69	12.92
	45	1.14	1.27	189.0	0.1890	152.56	10.70	14.25
	50	1.27	1.41	197.5	0.1975	159.42	10.72	14.87
	55	1.40	1.55	160.0	0.1600	129.15	10.73	12.03
60	1.52	1.69	60.0	0.0600	48.43	10.75	4.51	
Especimen 2	5	0.13	0.14	8.0	0.0080	6.46	10.58	0.61
	10	0.25	0.28	24.0	0.0240	19.37	10.60	1.83
	15	0.38	0.42	50.0	0.0500	40.36	10.61	3.80
	20	0.51	0.56	79.0	0.0790	63.77	10.63	6.00
	25	0.64	0.71	106.0	0.1060	85.56	10.64	8.04
	30	0.76	0.85	132.0	0.1320	106.55	10.66	10.00
	35	0.89	0.99	160.0	0.1600	129.15	10.67	12.10
	40	1.02	1.13	187.0	0.1870	150.95	10.69	14.12
	45	1.14	1.27	208.0	0.2080	167.90	10.70	15.69
	50	1.27	1.41	221.5	0.2215	178.79	10.72	16.68
	55	1.40	1.55	142.0	0.1420	114.62	10.73	10.68
60	1.52	1.69	41.5	0.0415	33.50	10.75	3.12	
Especimen 3	5	0.13	0.14	5.0	0.0050	4.04	10.58	0.38
	10	0.25	0.28	7.0	0.0070	5.65	10.60	0.53
	15	0.38	0.42	16.0	0.0160	12.92	10.61	1.22
	20	0.51	0.56	31.0	0.0310	25.02	10.63	2.35
	25	0.64	0.71	55.0	0.0550	44.40	10.64	4.17
	30	0.76	0.85	82.0	0.0820	66.19	10.66	6.21
	35	0.89	0.99	109.0	0.1090	87.98	10.67	8.24
	40	1.02	1.13	136.0	0.1360	109.78	10.69	10.27
	45	1.14	1.27	160.0	0.1600	129.15	10.70	12.07
	50	1.27	1.41	186.0	0.1860	150.14	10.72	14.01
	55	1.40	1.55	205.0	0.2050	165.48	10.73	15.42
58	1.47	1.64	210.0	0.2100	169.51	10.74	15.78	
Especimen 4	5	0.13	0.14	11.0	0.0110	8.88	10.58	0.84
	10	0.25	0.28	35.0	0.0350	28.25	10.60	2.67
	15	0.38	0.42	60.0	0.0600	48.43	10.61	4.56
	20	0.51	0.56	85.0	0.0850	68.61	10.63	6.46
	25	0.64	0.71	107.0	0.1070	86.37	10.64	8.12
	30	0.76	0.85	129.0	0.1290	104.13	10.66	9.77
	35	0.89	0.99	150.0	0.1500	121.08	10.67	11.35
	40	1.02	1.13	171.0	0.1710	138.03	10.69	12.92
	45	1.14	1.27	190.0	0.1900	153.37	10.70	14.33
	50	1.27	1.41	201.5	0.2015	162.65	10.72	15.18
	53	1.35	1.50	202.0	0.2020	163.05	10.73	15.20
60	1.52	1.69	30.0	0.0300	24.22	10.75	2.25	

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2, 3 y 4.

Esfuerzo Prom. = 15.63

## Ensaye a Compresión Simple

Arcilla con 10% de cal (60 días)

	Deformaciones			Esfuerzo				
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon = \delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c = A_o / (1 - e)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Especímen 1	5	0.13	0.14	18.0	0.0180	14.53	10.58	1.37
	10	0.25	0.28	34.0	0.0340	27.44	10.60	2.59
	15	0.38	0.42	54.0	0.0540	43.59	10.61	4.11
	20	0.51	0.56	78.0	0.0780	62.96	10.63	5.92
	25	0.64	0.71	102.0	0.1020	82.33	10.64	7.74
	30	0.76	0.85	127.0	0.1270	102.51	10.66	9.62
	35	0.89	0.99	148.0	0.1480	119.47	10.67	11.19
	40	1.02	1.13	178.0	0.1780	143.68	10.69	13.44
	45	1.14	1.27	200.0	0.2000	161.44	10.70	15.08
	50	1.27	1.41	225.0	0.2250	181.62	10.72	16.95
	55	1.40	1.55	247.0	0.2470	199.38	10.73	18.58
60	1.52	1.69	259.5	0.2595	209.47	10.75	19.49	
Especímen 2	5	0.13	0.14	8.0	0.0080	6.46	10.58	0.61
	10	0.25	0.28	18.0	0.0180	14.53	10.60	1.37
	15	0.38	0.42	38.0	0.0380	30.67	10.61	2.89
	20	0.51	0.56	62.0	0.0620	50.05	10.63	4.71
	25	0.64	0.71	88.0	0.0880	71.03	10.64	6.67
	30	0.76	0.85	108.0	0.1080	87.18	10.66	8.18
	35	0.89	0.99	132.0	0.1320	106.55	10.67	9.98
	40	1.02	1.13	152.0	0.1520	122.69	10.69	11.48
	45	1.14	1.27	175.0	0.1750	141.26	10.70	13.20
	50	1.27	1.41	198.0	0.1980	159.83	10.72	14.91
	55	1.40	1.55	220.0	0.2200	177.58	10.73	16.54
60	1.52	1.69	239.0	0.2390	192.92	10.75	17.95	
65	1.65	1.83	255.0	0.2550	205.84	10.76	19.12	
70	1.78	1.98	230.0	0.2300	185.66	10.78	17.22	
Especímen 3	5	0.13	0.14	7.0	0.0070	5.65	10.58	0.53
	10	0.25	0.28	18.0	0.0180	14.53	10.60	1.37
	15	0.38	0.42	33.0	0.0330	26.64	10.61	2.51
	20	0.51	0.56	50.0	0.0500	40.36	10.63	3.80
	25	0.64	0.71	68.0	0.0680	54.89	10.64	5.16
	30	0.76	0.85	90.0	0.0900	72.65	10.66	6.82
	35	0.89	0.99	113.0	0.1130	91.21	10.67	8.55
	40	1.02	1.13	137.0	0.1370	110.59	10.69	10.35
	45	1.14	1.27	163.0	0.1630	131.57	10.70	12.29
	50	1.27	1.41	188.0	0.1880	151.75	10.72	14.16
	55	1.40	1.55	216.0	0.2160	174.36	10.73	16.24
60	1.52	1.69	243.0	0.2430	196.15	10.75	18.25	
65	1.65	1.83	265.0	0.2650	213.91	10.76	19.87	
70	1.78	1.98	283.0	0.2830	228.44	10.78	21.19	
Especímen 4	5	0.13	0.14	21.0	0.0210	16.95	10.58	1.60
	10	0.25	0.28	43.0	0.0430	34.71	10.60	3.28
	15	0.38	0.42	67.0	0.0670	54.08	10.61	5.10
	20	0.51	0.56	88.0	0.0880	71.03	10.63	6.68
	25	0.64	0.71	112.0	0.1120	90.41	10.64	8.50
	30	0.76	0.85	137.0	0.1370	110.59	10.66	10.38
	35	0.89	0.99	160.0	0.1600	129.15	10.67	12.10
	40	1.02	1.13	181.0	0.1810	146.10	10.69	13.67
	45	1.14	1.27	207.0	0.2070	167.09	10.70	15.61
	50	1.27	1.41	226.0	0.2260	182.43	10.72	17.02
	55	1.40	1.55	246.0	0.2460	198.57	10.73	18.50
60	1.52	1.69	258.0	0.2580	208.26	10.75	19.37	

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2 y 4.

Esfuerzo Prom. = 19.33

## Apéndice H

### FORMATOS DE LAS PRUEBAS DE COMPRESION SIMPLE DE PROBETAS REMOLDEADAS CON ENERGÍA DE COMPACTACIÓN DE 27 kg-cm/cm3 (Proctor Modificada).

#### Ensayo a Compresión Simple

##### Arcilla Natural (7 días)

	Deformaciones			Esfuerzo				
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria $\epsilon = \delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c = A_o/(1-\epsilon)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Especímen 1	5	0.13	0.14	4.3	0.0043	3.47	10.58	0.33
	10	0.25	0.28	12.8	0.0128	10.33	10.60	0.98
	15	0.38	0.42	20.3	0.0203	16.39	10.61	1.54
	20	0.51	0.56	26.7	0.0267	21.55	10.63	2.03
	25	0.64	0.71	32.0	0.0320	25.83	10.64	2.43
	30	0.76	0.85	36.3	0.0363	29.30	10.66	2.75
	35	0.89	0.99	38.4	0.0384	31.00	10.67	2.90
	40	1.02	1.13	40.6	0.0406	32.77	10.69	3.07
	45	1.14	1.27	40.0	0.0400	32.29	10.70	3.02
	50	1.27	1.41	38.4	0.0384	31.00	10.72	2.89
55	1.40	1.55	36.3	0.0363	29.30	10.73	2.73	
60	1.52	1.69	32.0	0.0320	25.83	10.75	2.40	
Especímen 2	5	0.13	0.14	1.1	0.0011	0.89	10.58	0.08
	10	0.25	0.28	12.8	0.0128	10.33	10.60	0.98
	15	0.38	0.42	21.4	0.0214	17.27	10.61	1.63
	20	0.51	0.56	29.9	0.0299	24.14	10.63	2.27
	25	0.64	0.71	37.4	0.0374	30.19	10.64	2.84
	30	0.76	0.85	42.7	0.0427	34.47	10.66	3.23
	35	0.89	0.99	49.5	0.0495	39.96	10.67	3.74
	40	1.02	1.13	52.3	0.0523	42.22	10.69	3.95
	45	1.14	1.27	55.5	0.0555	44.80	10.70	4.19
	50	1.27	1.41	53.6	0.0536	43.27	10.72	4.04
55	1.40	1.55	52.4	0.0524	42.30	10.73	3.94	
60	1.52	1.69	46.8	0.0468	37.78	10.75	3.51	
Especímen 3	5	0.13	0.14	7.5	0.0075	6.05	10.58	0.57
	10	0.25	0.28	14.9	0.0149	12.03	10.60	1.13
	15	0.38	0.42	22.4	0.0224	18.08	10.61	1.70
	20	0.51	0.56	28.8	0.0288	23.25	10.63	2.19
	25	0.64	0.71	33.1	0.0331	26.72	10.64	2.51
	30	0.76	0.85	35.2	0.0352	28.41	10.66	2.67
	35	0.89	0.99	33.8	0.0338	27.28	10.67	2.56
	40	1.02	1.13	31.5	0.0315	25.43	10.69	2.38
	45	1.14	1.27	29.9	0.0299	24.13	10.70	2.25
	50	1.27	1.41	23.5	0.0235	18.96	10.72	1.77
55	1.40	1.55	20.3	0.0203	16.37	10.73	1.53	
60	1.52	1.69	19.6	0.0196	15.82	10.75	1.47	
Especímen 4	5	0.13	0.14	6.4	0.0064	5.17	10.58	0.49
	10	0.25	0.28	14.9	0.0149	12.03	10.60	1.13
	15	0.38	0.42	23.5	0.0235	18.97	10.61	1.79
	20	0.51	0.56	28.8	0.0288	23.25	10.63	2.19
	25	0.64	0.71	33.1	0.0331	26.72	10.64	2.51
	30	0.76	0.85	35.2	0.0352	28.41	10.66	2.67
	35	0.89	0.99	36.3	0.0363	29.30	10.67	2.75
	40	1.02	1.13	34.6	0.0346	27.93	10.69	2.61
	45	1.14	1.27	32.0	0.0320	25.83	10.70	2.41
	50	1.27	1.41	27.8	0.0278	22.44	10.72	2.09
55	1.40	1.55	24.6	0.0246	19.86	10.73	1.85	
60	1.52	1.69	21.4	0.0214	17.27	10.75	1.61	

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2, 3 y 4.

Esfuerzo Prom. = 3.17

## Ensaye a Compresión Simple

### Arcilla Natural (15 días)

	Deformaciones			Esfuerzo				
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon = \delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c = A_o / (1 - \epsilon)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Especímen 1	5	0.13	0.14	6.8	0.0068	5.49	10.58	0.52
	10	0.25	0.28	17.0	0.0170	13.72	10.60	1.29
	15	0.38	0.42	27.2	0.0272	21.96	10.61	2.07
	20	0.51	0.56	33.9	0.0339	27.36	10.63	2.57
	25	0.64	0.71	38.5	0.0385	31.08	10.64	2.92
	30	0.76	0.85	41.9	0.0419	33.82	10.66	3.17
	35	0.89	0.99	40.7	0.0407	32.85	10.67	3.08
	40	1.02	1.13	37.3	0.0373	30.11	10.69	2.82
	45	1.14	1.27	32.8	0.0328	26.48	10.70	2.47
	50	1.27	1.41	24.9	0.0249	20.10	10.72	1.88
	55	1.40	1.55	23.8	0.0238	19.21	10.73	1.79
60	1.52	1.69	21.6	0.0216	17.44	10.75	1.62	
Especímen 2	5	0.13	0.14	12.4	0.0124	10.01	10.58	0.95
	10	0.25	0.28	27.2	0.0272	21.96	10.60	2.07
	15	0.38	0.42	38.5	0.0385	31.08	10.61	2.93
	20	0.51	0.56	45.3	0.0453	36.57	10.63	3.44
	25	0.64	0.71	47.5	0.0475	38.34	10.64	3.60
	30	0.76	0.85	44.1	0.0441	35.60	10.66	3.34
	35	0.89	0.99	38.5	0.0385	31.08	10.67	2.91
	40	1.02	1.13	31.7	0.0317	25.59	10.69	2.39
	45	1.14	1.27	22.6	0.0226	18.24	10.70	1.70
	50	1.27	1.41	21.5	0.0215	17.35	10.72	1.62
	55	1.40	1.55	20.4	0.0204	16.47	10.73	1.53
60	1.52	1.69	19.6	0.0196	15.82	10.75	1.47	
Especímen 3	5	0.13	0.14	5.7	0.0057	4.60	10.58	0.43
	10	0.25	0.28	13.6	0.0136	10.98	10.60	1.04
	15	0.38	0.42	23.5	0.0235	18.97	10.61	1.79
	20	0.51	0.56	32.8	0.0328	26.48	10.63	2.49
	25	0.64	0.71	39.4	0.0394	31.80	10.64	2.99
	30	0.76	0.85	43.5	0.0435	35.11	10.66	3.29
	35	0.89	0.99	38.4	0.0384	31.00	10.67	2.90
	40	1.02	1.13	31.2	0.0312	25.18	10.69	2.36
	45	1.14	1.27	26.4	0.0264	21.31	10.70	1.99
	50	1.27	1.41	24.2	0.0242	19.53	10.72	1.82
	55	1.40	1.55	19.6	0.0196	15.82	10.73	1.47
60	1.52	1.69	15.3	0.0153	12.35	10.75	1.15	
Especímen 4	5	0.13	0.14	5.7	0.0057	4.60	10.58	0.43
	10	0.25	0.28	13.6	0.0136	10.98	10.60	1.04
	15	0.38	0.42	21.5	0.0215	17.35	10.61	1.64
	20	0.51	0.56	28.3	0.0283	22.84	10.63	2.15
	25	0.64	0.71	31.7	0.0317	25.59	10.64	2.40
	30	0.76	0.85	35.1	0.0351	28.33	10.66	2.66
	35	0.89	0.99	33.9	0.0339	27.36	10.67	2.56
	40	1.02	1.13	30.6	0.0306	24.70	10.69	2.31
	45	1.14	1.27	23.8	0.0238	19.21	10.70	1.79
	50	1.27	1.41	20.4	0.0204	16.47	10.72	1.54
	55	1.40	1.55	19.2	0.0192	15.50	10.73	1.44
60	1.52	1.69	15.8	0.0158	12.75	10.75	1.19	

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2, 3 y 4.

Esfuerzo Prom. = 3.18

## Ensaye a Compresión Simple

### Arcilla Natural (30 días)

	Deformaciones			Esfuerzo				
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon = \delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c = A_o/(1-e)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Especimen 1	5	0.13	0.14	5.6	0.0056	4.52	10.58	0.43
	10	0.25	0.28	14.6	0.0146	11.79	10.60	1.11
	15	0.38	0.42	27.0	0.0270	21.79	10.61	2.05
	20	0.51	0.56	41.6	0.0416	33.58	10.63	3.16
	25	0.64	0.71	57.3	0.0573	46.25	10.64	4.35
	30	0.76	0.85	71.9	0.0719	58.04	10.66	5.45
	35	0.89	0.99	85.3	0.0853	68.85	10.67	6.45
	40	1.02	1.13	95.5	0.0955	77.09	10.69	7.21
	45	1.14	1.27	106.7	0.1067	86.13	10.70	8.05
	50	1.27	1.41	110.5	0.1105	89.20	10.72	8.32
Especimen 2	55	1.40	1.55	98.6	0.0986	79.59	10.73	7.42
	60	1.52	1.69	84.2	0.0842	67.97	10.75	6.32
	65	1.65	1.83	78.6	0.0786	63.45	10.76	5.89
	70	1.78	1.98	52.3	0.0523	42.22	10.78	3.92
	5	0.13	0.14	21.3	0.0213	17.19	10.58	1.62
	10	0.25	0.28	36.2	0.0362	29.22	10.60	2.76
	15	0.38	0.42	47.2	0.0472	38.10	10.61	3.59
	20	0.51	0.56	57.5	0.0575	46.41	10.63	4.37
	25	0.64	0.71	65.6	0.0656	52.95	10.64	4.98
	30	0.76	0.85	69.6	0.0696	56.18	10.66	5.27
Especimen 3	35	0.89	0.99	66.9	0.0669	54.00	10.67	5.06
	40	1.02	1.13	63.6	0.0636	51.34	10.69	4.80
	45	1.14	1.27	53.9	0.0539	43.51	10.70	4.07
	50	1.27	1.41	40.4	0.0404	32.61	10.72	3.04
	55	1.40	1.55	28.5	0.0285	23.01	10.73	2.14
	60	1.52	1.69	18.0	0.0180	14.53	10.75	1.35
	5	0.13	0.14	15.7	0.0157	12.67	10.58	1.20
	10	0.25	0.28	28.7	0.0287	23.17	10.60	2.19
	15	0.38	0.42	38.2	0.0382	30.84	10.61	2.91
	20	0.51	0.56	47.6	0.0476	38.42	10.63	3.62
Especimen 4	25	0.64	0.71	53.9	0.0539	43.51	10.64	4.09
	30	0.76	0.85	48.1	0.0481	38.83	10.66	3.64
	35	0.89	0.99	53.2	0.0532	42.94	10.67	4.02
	40	1.02	1.13	51.0	0.0510	41.17	10.69	3.85
	45	1.14	1.27	49.4	0.0494	39.88	10.70	3.73
	50	1.27	1.41	49.0	0.0490	39.55	10.72	3.69
	55	1.40	1.55	48.3	0.0483	38.99	10.73	3.63
	60	1.52	1.69	35.9	0.0359	28.98	10.75	2.70
	5	0.13	0.14	4.5	0.0045	3.63	10.58	0.34
	10	0.25	0.28	12.4	0.0124	10.01	10.60	0.94
15	0.38	0.42	24.7	0.0247	19.94	10.61	1.88	
20	0.51	0.56	39.3	0.0393	31.72	10.63	2.99	
25	0.64	0.71	53.9	0.0539	43.51	10.64	4.09	
30	0.76	0.85	66.3	0.0663	53.52	10.66	5.02	
35	0.89	0.99	77.9	0.0779	62.88	10.67	5.89	
40	1.02	1.13	84.2	0.0842	67.97	10.69	6.36	
45	1.14	1.27	94.3	0.0943	76.12	10.70	7.11	
50	1.27	1.41	99.9	0.0999	80.64	10.72	7.52	
55	1.40	1.55	103.3	0.1033	83.38	10.73	7.77	
60	1.52	1.69	96.2	0.0962	77.65	10.75	7.22	
65	1.65	1.83	85.4	0.0854	68.93	10.76	6.40	
70	1.78	1.98	76.9	0.0769	62.07	10.78	5.76	
75	1.91	2.12	62.5	0.0625	50.45	10.80	4.67	

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2, 3 y 4.

Esfuerzo Prom. = 6.35

## Ensaye a Compresión Simple

### Arcilla Natural (60 días)

	Deformaciones			Esfuerzo				
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon = \delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c = A_o/(1-\epsilon)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Especimen 1	5	0.13	0.14	5.8	0.0058	4.68	10.58	0.44
	10	0.25	0.28	13.9	0.0139	11.22	10.60	1.06
	15	0.38	0.42	23.2	0.0232	18.73	10.61	1.76
	20	0.51	0.56	44.2	0.0442	35.68	10.63	3.36
	25	0.64	0.71	67.4	0.0674	54.41	10.64	5.11
	30	0.76	0.85	93.0	0.0930	75.07	10.66	7.04
	35	0.89	0.99	120.8	0.1208	97.51	10.67	9.14
	40	1.02	1.13	145.3	0.1453	117.29	10.69	10.97
	45	1.14	1.27	174.3	0.1743	140.69	10.70	13.15
	50	1.27	1.41	197.5	0.1975	159.42	10.72	14.87
	55	1.40	1.55	220.8	0.2208	178.23	10.73	16.60
	60	1.52	1.69	234.7	0.2347	189.45	10.75	17.62
	65	1.65	1.83	244.0	0.2440	196.96	10.76	18.30
	70	1.78	1.98	227.8	0.2278	183.88	10.78	17.06
75	1.91	2.12	197.5	0.1975	159.42	10.80	14.77	
Especimen 2	5	0.13	0.14	18.6	0.0186	15.01	10.58	1.42
	10	0.25	0.28	37.2	0.0372	30.03	10.60	2.83
	15	0.38	0.42	58.1	0.0581	46.90	10.61	4.42
	20	0.51	0.56	75.5	0.0755	60.94	10.63	5.73
	25	0.64	0.71	95.3	0.0953	76.93	10.64	7.23
	30	0.76	0.85	116.2	0.1162	93.80	10.66	8.80
	35	0.89	0.99	132.5	0.1325	106.95	10.67	10.02
	40	1.02	1.13	151.1	0.1511	121.97	10.69	11.41
	45	1.14	1.27	167.3	0.1673	135.04	10.70	12.62
	50	1.27	1.41	183.6	0.1836	148.20	10.72	13.83
	55	1.40	1.55	195.2	0.1952	157.57	10.73	14.68
	60	1.52	1.69	209.3	0.2093	168.95	10.75	15.72
	65	1.65	1.83	220.3	0.2203	177.83	10.76	16.52
	70	1.78	1.98	232.4	0.2324	187.59	10.78	17.40
75	1.91	2.12	219.3	0.2193	177.02	10.80	16.40	
80	2.03	2.26	196.4	0.1964	158.53	10.81	14.66	
Especimen 3	5	0.13	0.14	18.6	0.0186	15.01	10.58	1.42
	10	0.25	0.28	46.5	0.0465	37.53	10.60	3.54
	15	0.38	0.42	72.0	0.0720	58.12	10.61	5.48
	20	0.51	0.56	93.0	0.0930	75.07	10.63	7.06
	25	0.64	0.71	116.2	0.1162	93.80	10.64	8.81
	30	0.76	0.85	134.8	0.1348	108.81	10.66	10.21
	35	0.89	0.99	153.4	0.1534	123.82	10.67	11.60
	40	1.02	1.13	169.7	0.1697	136.98	10.69	12.82
	45	1.14	1.27	188.2	0.1882	151.92	10.70	14.19
	50	1.27	1.41	202.2	0.2022	163.22	10.72	15.23
	55	1.40	1.55	216.1	0.2161	174.44	10.73	16.25
	60	1.52	1.69	230.1	0.2301	185.74	10.75	17.28
	65	1.65	1.83	244.0	0.2440	196.96	10.76	18.30
	70	1.78	1.98	253.3	0.2533	204.46	10.78	18.97
75	1.91	2.12	263.8	0.2638	212.94	10.80	19.72	
80	2.03	2.26	225.1	0.2251	181.70	10.81	16.81	
85	2.16	2.40	194.3	0.1943	156.84	10.83	14.49	
Especimen 4	5	0.13	0.14	18.6	0.0186	15.01	10.58	1.42
	10	0.25	0.28	32.5	0.0325	26.23	10.60	2.48
	15	0.38	0.42	48.8	0.0488	39.39	10.61	3.71
	20	0.51	0.56	65.1	0.0651	52.55	10.63	4.94
	25	0.64	0.71	86.0	0.0860	69.42	10.64	6.52
	30	0.76	0.85	104.6	0.1046	84.43	10.66	7.92
	35	0.89	0.99	125.5	0.1255	101.30	10.67	9.49
	40	1.02	1.13	141.8	0.1418	114.46	10.69	10.71
	45	1.14	1.27	158.0	0.1580	127.54	10.70	11.92
	50	1.27	1.41	174.3	0.1743	140.69	10.72	13.13
	55	1.40	1.55	190.6	0.1906	153.85	10.73	14.33
	60	1.52	1.69	202.2	0.2022	163.22	10.75	15.18
	65	1.65	1.83	216.1	0.2161	174.44	10.76	16.20
	70	1.78	1.98	227.8	0.2278	183.88	10.78	17.06
75	1.91	2.12	201.6	0.2016	162.73	10.80	15.07	
80	2.03	2.26	185.4	0.1854	149.65	10.81	13.84	
85	2.16	2.40	162.3	0.1623	131.01	10.83	12.10	

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2, 3 y 4.

Esfuerzo Prom. = 18.12

## Ensaye a Compresión Simple

### Arcilla con 6% de cal (7 días)

	Deformaciones			Esfuerzo				
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon=\delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c=A_o/(1-e)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Especímen 1	5	0.13	0.14	1.5	0.0015	1.21	10.58	0.11
	10	0.25	0.28	3.5	0.0035	2.83	10.60	0.27
	15	0.38	0.42	5.5	0.0055	4.44	10.61	0.42
	20	0.51	0.56	7.0	0.0070	5.65	10.63	0.53
	25	0.64	0.71	8.5	0.0085	6.86	10.64	0.64
	30	0.76	0.85	9.0	0.0090	7.26	10.66	0.68
	35	0.89	0.99	10.0	0.0100	8.07	10.67	0.76
	40	1.02	1.13	9.0	0.0090	7.26	10.69	0.68
	45	1.14	1.27	6.5	0.0065	5.25	10.70	0.49
50	1.27	1.41	4.0	0.0040	3.23	10.72	0.30	
Especímen 2	5	0.13	0.14	2.0	0.0020	1.61	10.58	0.15
	10	0.25	0.28	3.5	0.0035	2.83	10.60	0.27
	15	0.38	0.42	6.0	0.0060	4.84	10.61	0.46
	20	0.51	0.56	8.0	0.0080	6.46	10.63	0.61
	25	0.64	0.71	10.5	0.0105	8.48	10.64	0.80
	30	0.76	0.85	11.0	0.0110	8.88	10.66	0.83
	35	0.89	0.99	9.0	0.0090	7.26	10.67	0.68
	40	1.02	1.13	5.0	0.0050	4.04	10.69	0.38
	45	1.14	1.27	1.5	0.0015	1.21	10.70	0.11
50	1.27	1.41	0.5	0.0005	0.40	10.72	0.04	
Especímen 3	5	0.13	0.14	2.0	0.0020	1.61	10.58	0.15
	10	0.25	0.28	3.0	0.0030	2.42	10.60	0.23
	15	0.38	0.42	6.0	0.0060	4.84	10.61	0.46
	20	0.51	0.56	7.5	0.0075	6.05	10.63	0.57
	25	0.64	0.71	9.5	0.0095	7.67	10.64	0.72
	30	0.76	0.85	11.0	0.0110	8.88	10.66	0.83
	35	0.89	0.99	11.0	0.0110	8.88	10.67	0.83
	40	1.02	1.13	8.0	0.0080	6.46	10.69	0.60
	45	1.14	1.27	5.0	0.0050	4.04	10.70	0.38
50	1.27	1.41	3.0	0.0030	2.42	10.72	0.23	
Especímen 4	5	0.13	0.14	3.0	0.0030	2.42	10.58	0.23
	10	0.25	0.28	5.0	0.0050	4.04	10.60	0.38
	15	0.38	0.42	6.5	0.0065	5.25	10.61	0.49
	20	0.51	0.56	9.0	0.0090	7.26	10.63	0.68
	25	0.64	0.71	10.5	0.0105	8.48	10.64	0.80
	30	0.76	0.85	11.0	0.0110	8.88	10.66	0.83
	35	0.89	0.99	8.0	0.0080	6.46	10.67	0.61
	40	1.02	1.13	5.0	0.0050	4.04	10.69	0.38
	45	1.14	1.27	3.5	0.0035	2.83	10.70	0.26
50	1.27	1.41	3.0	0.0030	2.42	10.72	0.23	

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2, 3 y 4.

Esfuerzo Prom. = 0.81

## Ensaye a Compresión Simple

### Arcilla con 6% de cal (14 días)

	Deformaciones			Esfuerzo				
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon = \delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c = A_o/(1-e)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Especímen 1	5	0.13	0.14	2.0	0.0020	1.61	10.58	0.15
	10	0.25	0.28	4.0	0.0040	3.23	10.60	0.30
	15	0.38	0.42	6.0	0.0060	4.84	10.61	0.46
	20	0.51	0.56	7.5	0.0075	6.05	10.63	0.57
	25	0.64	0.71	9.0	0.0090	7.26	10.64	0.68
	30	0.76	0.85	9.5	0.0095	7.67	10.66	0.72
	35	0.89	0.99	10.5	0.0105	8.48	10.67	0.79
	40	1.02	1.13	9.5	0.0095	7.67	10.69	0.72
	45	1.14	1.27	7.0	0.0070	5.65	10.70	0.53
Especímen 2	5	0.13	0.14	2.5	0.0025	2.02	10.58	0.19
	10	0.25	0.28	4.0	0.0040	3.23	10.60	0.30
	15	0.38	0.42	6.5	0.0065	5.25	10.61	0.49
	20	0.51	0.56	8.5	0.0085	6.86	10.63	0.65
	25	0.64	0.71	11.0	0.0110	8.88	10.64	0.83
	30	0.76	0.85	11.5	0.0115	9.28	10.66	0.87
	35	0.89	0.99	9.5	0.0095	7.67	10.67	0.72
	40	1.02	1.13	5.5	0.0055	4.44	10.69	0.42
	45	1.14	1.27	2.0	0.0020	1.61	10.70	0.15
Especímen 3	5	0.13	0.14	2.5	0.0025	2.02	10.58	0.19
	10	0.25	0.28	3.5	0.0035	2.83	10.60	0.27
	15	0.38	0.42	6.5	0.0065	5.25	10.61	0.49
	20	0.51	0.56	8.0	0.0080	6.46	10.63	0.61
	25	0.64	0.71	10.0	0.0100	8.07	10.64	0.76
	30	0.76	0.85	11.5	0.0115	9.28	10.66	0.87
	35	0.89	0.99	10.5	0.0105	8.48	10.67	0.79
	40	1.02	1.13	8.5	0.0085	6.86	10.69	0.64
	45	1.14	1.27	5.5	0.0055	4.44	10.70	0.41
Especímen 4	5	0.13	0.14	3.5	0.0035	2.83	10.58	0.27
	10	0.25	0.28	5.5	0.0055	4.44	10.60	0.42
	15	0.38	0.42	7.0	0.0070	5.65	10.61	0.53
	20	0.51	0.56	9.5	0.0095	7.67	10.63	0.72
	25	0.64	0.71	11.0	0.0110	8.88	10.64	0.83
	30	0.76	0.85	11.5	0.0115	9.28	10.66	0.87
	35	0.89	0.99	8.5	0.0085	6.86	10.67	0.64
	40	1.02	1.13	5.5	0.0055	4.44	10.69	0.42
	45	1.14	1.27	3.5	0.0035	2.83	10.70	0.26
50	1.27	1.41	2.5	0.0025	2.02	10.72	0.19	

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2, 3 y 4.

Esfuerzo Prom. = 0.85

## Ensaye a Compresión Simple

**Arcilla con 6% de cal (30 días)**

	Deformaciones			Esfuerzo				
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon=\delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $Ac=Ao/(1-e)$ (cm2)	Esfuerzo (kg/cm2)
Especimen 1	5	0.13	0.14	2.5	0.0025	2.02	10.58	0.19
	10	0.25	0.28	4.5	0.0045	3.63	10.60	0.34
	15	0.38	0.42	6.5	0.0065	5.25	10.61	0.49
	20	0.51	0.56	7.5	0.0075	6.05	10.63	0.57
	25	0.64	0.71	9.5	0.0095	7.67	10.64	0.72
	30	0.76	0.85	10.0	0.0100	8.07	10.66	0.76
	35	0.89	0.99	11.0	0.0110	8.88	10.67	0.83
	40	1.02	1.13	10.0	0.0100	8.07	10.69	0.76
	45	1.14	1.27	7.5	0.0075	6.05	10.70	0.57
	50	1.27	1.41	5.0	0.0050	4.04	10.72	0.38
Especimen 2	5	0.13	0.14	3.0	0.0030	2.42	10.58	0.23
	10	0.25	0.28	4.5	0.0045	3.63	10.60	0.34
	15	0.38	0.42	7.0	0.0070	5.65	10.61	0.53
	20	0.51	0.56	9.0	0.0090	7.26	10.63	0.68
	25	0.64	0.71	11.5	0.0115	9.28	10.64	0.87
	30	0.76	0.85	12.0	0.0120	9.69	10.66	0.91
	35	0.89	0.99	10.0	0.0100	8.07	10.67	0.76
	40	1.02	1.13	6.0	0.0060	4.84	10.69	0.45
	45	1.14	1.27	2.5	0.0025	2.02	10.70	0.19
	50	1.27	1.41	1.5	0.0015	1.21	10.72	0.11
Especimen 3	5	0.13	0.14	3.0	0.0030	2.42	10.58	0.23
	10	0.25	0.28	4.0	0.0040	3.23	10.60	0.30
	15	0.38	0.42	7.0	0.0070	5.65	10.61	0.53
	20	0.51	0.56	8.5	0.0085	6.86	10.63	0.65
	25	0.64	0.71	10.5	0.0105	8.48	10.64	0.80
	30	0.76	0.85	12.0	0.0120	9.69	10.66	0.91
	35	0.89	0.99	11.0	0.0110	8.88	10.67	0.83
	40	1.02	1.13	9.0	0.0090	7.26	10.69	0.68
	45	1.14	1.27	6.0	0.0060	4.84	10.70	0.45
	50	1.27	1.41	4.0	0.0040	3.23	10.72	0.30
Especimen 4	5	0.13	0.14	4.0	0.0040	3.23	10.58	0.31
	10	0.25	0.28	6.0	0.0060	4.84	10.60	0.46
	15	0.38	0.42	7.5	0.0075	6.05	10.61	0.57
	20	0.51	0.56	10.0	0.0100	8.07	10.63	0.76
	25	0.64	0.71	11.5	0.0115	9.28	10.64	0.87
	30	0.76	0.85	12.0	0.0120	9.69	10.66	0.91
	35	0.89	0.99	9.0	0.0090	7.26	10.67	0.68
	40	1.02	1.13	6.0	0.0060	4.84	10.69	0.45
	45	1.14	1.27	4.5	0.0045	3.63	10.70	0.34
	50	1.27	1.41	4.0	0.0040	3.23	10.72	0.30

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2, 3 y 4.

Esfuerzo Prom. = 0.89

## Ensaye a Compresión Simple

### Arcilla con 6% de cal (60 días)

	Deformaciones			Esfuerzo				
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon=\delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c=A_o/(1-e)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Especimen 1	5	0.13	0.14	3.5	0.0035	2.83	10.58	0.27
	10	0.25	0.28	5.5	0.0055	4.44	10.60	0.42
	15	0.38	0.42	7.5	0.0075	6.05	10.61	0.57
	20	0.51	0.56	9.0	0.0090	7.26	10.63	0.68
	25	0.64	0.71	10.5	0.0105	8.48	10.64	0.80
	30	0.76	0.85	11.0	0.0110	8.88	10.66	0.83
	35	0.89	0.99	12.0	0.0120	9.69	10.67	0.91
	40	1.02	1.13	11.0	0.0110	8.88	10.69	0.83
	45	1.14	1.27	8.5	0.0085	6.86	10.70	0.64
	50	1.27	1.41	6.0	0.0060	4.84	10.72	0.45
Especimen 2	5	0.13	0.14	4.0	0.0040	3.23	10.58	0.31
	10	0.25	0.28	5.5	0.0055	4.44	10.60	0.42
	15	0.38	0.42	8.0	0.0080	6.46	10.61	0.61
	20	0.51	0.56	10.0	0.0100	8.07	10.63	0.76
	25	0.64	0.71	12.5	0.0125	10.09	10.64	0.95
	30	0.76	0.85	13.0	0.0130	10.49	10.66	0.98
	35	0.89	0.99	11.0	0.0110	8.88	10.67	0.83
	40	1.02	1.13	7.0	0.0070	5.65	10.69	0.53
	45	1.14	1.27	3.5	0.0035	2.83	10.70	0.26
	50	1.27	1.41	2.0	0.0020	1.61	10.72	0.15
Especimen 3	5	0.13	0.14	4.0	0.0040	3.23	10.58	0.31
	10	0.25	0.28	5.0	0.0050	4.04	10.60	0.38
	15	0.38	0.42	8.0	0.0080	6.46	10.61	0.61
	20	0.51	0.56	9.5	0.0095	7.67	10.63	0.72
	25	0.64	0.71	11.5	0.0115	9.28	10.64	0.87
	30	0.76	0.85	13.0	0.0130	10.49	10.66	0.98
	35	0.89	0.99	11.0	0.0110	8.88	10.67	0.83
	40	1.02	1.13	10.0	0.0100	8.07	10.69	0.76
	45	1.14	1.27	7.0	0.0070	5.65	10.70	0.53
	50	1.27	1.41	5.0	0.0050	4.04	10.72	0.38
Especimen 4	5	0.13	0.14	5.0	0.0050	4.04	10.58	0.38
	10	0.25	0.28	7.0	0.0070	5.65	10.60	0.53
	15	0.38	0.42	8.5	0.0085	6.86	10.61	0.65
	20	0.51	0.56	11.0	0.0110	8.88	10.63	0.84
	25	0.64	0.71	12.5	0.0125	10.09	10.64	0.95
	30	0.76	0.85	10.0	0.0100	8.07	10.66	0.76
	35	0.89	0.99	8.5	0.0085	6.86	10.67	0.64
	40	1.02	1.13	4.5	0.0045	3.63	10.69	0.34
	45	1.14	1.27	3.0	0.0030	2.42	10.70	0.23
	50	1.27	1.41	2.5	0.0025	2.02	10.72	0.19

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2, 3 y 4.

Esfuerzo Prom. = 0.96

## Ensaye a Compresión Simple

### Arcilla con 8% de cal (7 días)

	Deformaciones			Esfuerzo				
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon = \delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c = A_o / (1 - e)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Especímen 1	5	0.13	0.14	5.0	0.0050	4.04	10.58	0.38
	10	0.25	0.28	20.0	0.0200	16.14	10.60	1.52
	15	0.38	0.42	33.0	0.0330	26.64	10.61	2.51
	20	0.51	0.56	45.0	0.0450	36.32	10.63	3.42
	25	0.64	0.71	55.0	0.0550	44.40	10.64	4.17
	30	0.76	0.85	67.0	0.0670	54.08	10.66	5.07
	35	0.89	0.99	50.0	0.0500	40.36	10.67	3.78
	40	1.02	1.13	41.0	0.0410	33.10	10.69	3.10
	45	1.14	1.27	30.0	0.0300	24.22	10.70	2.26
	50	1.27	1.41	15.0	0.0150	12.11	10.72	1.13
Especímen 2	5	0.13	0.14	4.3	0.0043	3.47	10.58	0.33
	10	0.25	0.28	19.7	0.0197	15.90	10.60	1.50
	15	0.38	0.42	32.5	0.0325	26.23	10.61	2.47
	20	0.51	0.56	43.2	0.0432	34.87	10.63	3.28
	25	0.64	0.71	54.3	0.0543	43.83	10.64	4.12
	30	0.76	0.85	66.4	0.0664	53.60	10.66	5.03
	35	0.89	0.99	50.8	0.0508	41.01	10.67	3.84
	40	1.02	1.13	41.3	0.0413	33.34	10.69	3.12
	45	1.14	1.27	29.6	0.0296	23.89	10.70	2.23
	50	1.27	1.41	12.5	0.0125	10.09	10.72	0.94
Especímen 3	5	0.13	0.14	5.1	0.0051	4.12	10.58	0.39
	10	0.25	0.28	20.5	0.0205	16.55	10.60	1.56
	15	0.38	0.42	33.8	0.0338	27.28	10.61	2.57
	20	0.51	0.56	46.0	0.0460	37.13	10.63	3.49
	25	0.64	0.71	56.3	0.0563	45.45	10.64	4.27
	30	0.76	0.85	68.5	0.0685	55.29	10.66	5.19
	35	0.89	0.99	51.2	0.0512	41.33	10.67	3.87
	40	1.02	1.13	41.9	0.0419	33.82	10.69	3.16
	45	1.14	1.27	30.7	0.0307	24.78	10.70	2.32
	50	1.27	1.41	15.3	0.0153	12.35	10.72	1.15
Especímen 4	5	0.13	0.14	4.2	0.0042	3.39	10.58	0.32
	10	0.25	0.28	19.8	0.0198	15.98	10.60	1.51
	15	0.38	0.42	32.7	0.0327	26.40	10.61	2.49
	20	0.51	0.56	47.3	0.0473	38.18	10.63	3.59
	25	0.64	0.71	55.2	0.0552	44.56	10.64	4.19
	30	0.76	0.85	63.1	0.0631	50.93	10.66	4.78
	35	0.89	0.99	50.6	0.0506	40.84	10.67	3.83
	40	1.02	1.13	40.8	0.0408	32.93	10.69	3.08
	45	1.14	1.27	31.5	0.0315	25.43	10.70	2.38
	50	1.27	1.41	13.8	0.0138	11.14	10.72	1.04

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2, 3 y 4.

Esfuerzo Prom. = 5.02

## Ensaye a Compresión Simple

**Arcilla con 8% de cal (14 días)**

	Deformaciones			Esfuerzo				
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon = \delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c = A_o / (1 - e)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Especimen 1	5	0.13	0.14	2.3	0.0023	1.86	10.58	0.18
	10	0.25	0.28	10.4	0.0104	8.39	10.60	0.79
	15	0.38	0.42	21.4	0.0214	17.27	10.61	1.63
	20	0.51	0.56	30.7	0.0307	24.78	10.63	2.33
	25	0.64	0.71	38.0	0.0380	30.67	10.64	2.88
	30	0.76	0.85	45.8	0.0458	36.97	10.66	3.47
	35	0.89	0.99	52.1	0.0521	42.06	10.67	3.94
	40	1.02	1.13	43.6	0.0436	35.19	10.69	3.29
	45	1.14	1.27	32.5	0.0325	26.23	10.70	2.45
	50	1.27	1.41	25.4	0.0254	20.50	10.72	1.91
Especimen 2	5	0.13	0.14	9.4	0.0094	7.59	10.58	0.72
	10	0.25	0.28	18.8	0.0188	15.18	10.60	1.43
	15	0.38	0.42	28.1	0.0281	22.68	10.61	2.14
	20	0.51	0.56	34.9	0.0349	28.17	10.63	2.65
	25	0.64	0.71	41.7	0.0417	33.66	10.64	3.16
	30	0.76	0.85	47.9	0.0479	38.66	10.66	3.63
	35	0.89	0.99	53.4	0.0534	43.10	10.67	4.04
	40	1.02	1.13	45.3	0.0453	36.57	10.69	3.42
	45	1.14	1.27	39.4	0.0394	31.80	10.70	2.97
	50	1.27	1.41	22.8	0.0228	18.40	10.72	1.72
Especimen 3	5	0.13	0.14	6.3	0.0063	5.09	10.58	0.48
	10	0.25	0.28	16.7	0.0167	13.48	10.60	1.27
	15	0.38	0.42	25.3	0.0253	20.42	10.61	1.92
	20	0.51	0.56	33.3	0.0333	26.88	10.63	2.53
	25	0.64	0.71	40.6	0.0406	32.77	10.64	3.08
	30	0.76	0.85	48.7	0.0487	39.31	10.66	3.69
	35	0.89	0.99	56.0	0.0560	45.20	10.67	4.24
	40	1.02	1.13	51.2	0.0512	41.33	10.69	3.87
	45	1.14	1.27	42.5	0.0425	34.31	10.70	3.21
	50	1.27	1.41	30.8	0.0308	24.86	10.72	2.32
Especimen 4	5	0.13	0.14	6.3	0.0063	5.09	10.58	0.48
	10	0.25	0.28	14.1	0.0141	11.38	10.60	1.07
	15	0.38	0.42	22.7	0.0227	18.32	10.61	1.73
	20	0.51	0.56	29.7	0.0297	23.97	10.63	2.26
	25	0.64	0.71	36.2	0.0362	29.22	10.64	2.75
	30	0.76	0.85	42.7	0.0427	34.47	10.66	3.23
	35	0.89	0.99	47.7	0.0477	38.50	10.67	3.61
	40	1.02	1.13	54.7	0.0547	44.15	10.69	4.13
	45	1.14	1.27	36.7	0.0367	29.62	10.70	2.77
	50	1.27	1.41	26.1	0.0261	21.07	10.72	1.97

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2, 3 y 4.

Esfuerzo Prom. = 4.09

## Ensaye a Compresión Simple

### Arcilla con 8% de cal (30 días)

	Deformaciones			Esfuerzo				
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon = \delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c = A_o / (1 - e)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Especímen 1	5	0.13	0.14	1.9	0.0019	1.53	10.58	0.14
	10	0.25	0.28	3.6	0.0036	2.91	10.60	0.27
	15	0.38	0.42	8.8	0.0088	7.10	10.61	0.67
	20	0.51	0.56	17.1	0.0171	13.80	10.63	1.30
	25	0.64	0.71	25.1	0.0251	20.26	10.64	1.90
	30	0.76	0.85	33.7	0.0337	27.20	10.66	2.55
	35	0.89	0.99	41.7	0.0417	33.66	10.67	3.15
	40	1.02	1.13	50.0	0.0500	40.36	10.69	3.78
	45	1.14	1.27	58.0	0.0580	46.82	10.70	4.37
	50	1.27	1.41	36.4	0.0364	29.38	10.72	2.74
Especímen 2	5	0.13	0.14	9.4	0.0094	7.59	10.58	0.72
	10	0.25	0.28	20.4	0.0204	16.47	10.60	1.55
	15	0.38	0.42	30.9	0.0309	24.94	10.61	2.35
	20	0.51	0.56	39.2	0.0392	31.64	10.63	2.98
	25	0.64	0.71	49.1	0.0491	39.63	10.64	3.72
	30	0.76	0.85	58.0	0.0580	46.82	10.66	4.39
	35	0.89	0.99	48.3	0.0483	38.99	10.67	3.65
	40	1.02	1.13	35.4	0.0354	28.57	10.69	2.67
	45	1.14	1.27	28.5	0.0285	23.01	10.70	2.15
	50	1.27	1.41	20.6	0.0206	16.63	10.72	1.55
Especímen 3	5	0.13	0.14	8.3	0.0083	6.70	10.58	0.63
	10	0.25	0.28	18.5	0.0185	14.93	10.60	1.41
	15	0.38	0.42	29.0	0.0290	23.41	10.61	2.21
	20	0.51	0.56	38.1	0.0381	30.75	10.63	2.89
	25	0.64	0.71	46.9	0.0469	37.86	10.64	3.56
	30	0.76	0.85	55.2	0.0552	44.56	10.66	4.18
	35	0.89	0.99	43.5	0.0435	35.11	10.67	3.29
	40	1.02	1.13	34.6	0.0346	27.93	10.69	2.61
	45	1.14	1.27	26.4	0.0264	21.31	10.70	1.99
	50	1.27	1.41	18.3	0.0183	14.77	10.72	1.38
Especímen 4	5	0.13	0.14	3.0	0.0030	2.42	10.58	0.23
	10	0.25	0.28	6.9	0.0069	5.57	10.60	0.53
	15	0.38	0.42	14.4	0.0144	11.62	10.61	1.10
	20	0.51	0.56	22.1	0.0221	17.84	10.63	1.68
	25	0.64	0.71	29.8	0.0298	24.05	10.64	2.26
	30	0.76	0.85	38.1	0.0381	30.75	10.66	2.89
	35	0.89	0.99	45.8	0.0458	36.97	10.67	3.46
	40	1.02	1.13	54.1	0.0541	43.67	10.69	4.09
	45	1.14	1.27	37.2	0.0372	30.03	10.70	2.81
	50	1.27	1.41	31.8	0.0318	25.67	10.72	2.39

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2, 3 y 4.

Esfuerzo Prom. = 4.26

## Ensaye a Compresión Simple

### Arcilla con 8% de cal (60 días)

	Deformaciones			Esfuerzo				
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon = \delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c = A_o / (1 - e)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Especímen 1	5	0.13	0.14	3.4	0.0034	2.74	10.58	0.26
	10	0.25	0.28	10.1	0.0101	8.15	10.60	0.77
	15	0.38	0.42	18.0	0.0180	14.53	10.61	1.37
	20	0.51	0.56	25.9	0.0259	20.91	10.63	1.97
	25	0.64	0.71	35.5	0.0355	28.66	10.64	2.69
	30	0.76	0.85	45.0	0.0450	36.32	10.66	3.41
	35	0.89	0.99	55.2	0.0552	44.56	10.67	4.18
	40	1.02	1.13	64.7	0.0647	52.23	10.69	4.89
	45	1.14	1.27	56.2	0.0562	45.36	10.70	4.24
	50	1.27	1.41	45.3	0.0453	36.57	10.72	3.41
Especímen 2	5	0.13	0.14	8.4	0.0084	6.78	10.58	0.64
	10	0.25	0.28	18.0	0.0180	14.53	10.60	1.37
	15	0.38	0.42	28.2	0.0282	22.76	10.61	2.15
	20	0.51	0.56	37.7	0.0377	30.43	10.63	2.86
	25	0.64	0.71	47.3	0.0473	38.18	10.64	3.59
	30	0.76	0.85	57.4	0.0574	46.33	10.66	4.35
	35	0.89	0.99	67.0	0.0670	54.08	10.67	5.07
	40	1.02	1.13	60.1	0.0601	48.51	10.69	4.54
	45	1.14	1.27	57.4	0.0574	46.33	10.70	4.33
	50	1.27	1.41	43.4	0.0434	35.03	10.72	3.27
Especímen 3	5	0.13	0.14	9.6	0.0096	7.75	10.58	0.73
	10	0.25	0.28	19.1	0.0191	15.42	10.60	1.45
	15	0.38	0.42	29.8	0.0298	24.05	10.61	2.27
	20	0.51	0.56	40.3	0.0403	32.53	10.63	3.06
	25	0.64	0.71	51.2	0.0512	41.33	10.64	3.88
	30	0.76	0.85	61.9	0.0619	49.97	10.66	4.69
	35	0.89	0.99	73.2	0.0732	59.09	10.67	5.54
	40	1.02	1.13	58.3	0.0583	47.06	10.69	4.40
	45	1.14	1.27	42.6	0.0426	34.39	10.70	3.21
	50	1.27	1.41	31.8	0.0318	25.67	10.72	2.39
Especímen 4	5	0.13	0.14	2.3	0.0023	1.86	10.58	0.18
	10	0.25	0.28	5.3	0.0053	4.28	10.60	0.40
	15	0.38	0.42	11.3	0.0113	9.12	10.61	0.86
	20	0.51	0.56	18.0	0.0180	14.53	10.63	1.37
	25	0.64	0.71	25.3	0.0253	20.42	10.64	1.92
	30	0.76	0.85	34.9	0.0349	28.17	10.66	2.64
	35	0.89	0.99	45.0	0.0450	36.32	10.67	3.40
	40	1.02	1.13	55.7	0.0557	44.96	10.69	4.21
	45	1.14	1.27	66.4	0.0664	53.60	10.70	5.01
	50	1.27	1.41	41.5	0.0415	33.50	10.72	3.13

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2, 3 y 4.

Esfuerzo Prom. = 5.13

## Ensaye a Compresión Simple

### Arcilla con 10% de cal (7 días)

	Deformaciones			Esfuerzo				
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon = \delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c = A_0/(1-\epsilon)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Especímen 1	5	0.13	0.14	6.0	0.0060	4.84	10.58	0.46
	10	0.25	0.28	15.8	0.0158	12.75	10.60	1.20
	15	0.38	0.42	24.7	0.0247	19.94	10.61	1.88
	20	0.51	0.56	32.9	0.0329	26.56	10.63	2.50
	25	0.64	0.71	40.5	0.0405	32.69	10.64	3.07
	30	0.76	0.85	48.4	0.0484	39.07	10.66	3.67
	35	0.89	0.99	54.7	0.0547	44.15	10.67	4.14
	40	1.02	1.13	59.4	0.0594	47.95	10.69	4.49
	45	1.14	1.27	61.0	0.0610	49.24	10.70	4.60
	50	1.27	1.41	42.3	0.0423	34.14	10.72	3.19
Especímen 2	5	0.13	0.14	3.7	0.0037	2.99	10.58	0.28
	10	0.25	0.28	12.1	0.0121	9.77	10.60	0.92
	15	0.38	0.42	20.0	0.0200	16.14	10.61	1.52
	20	0.51	0.56	28.4	0.0284	22.92	10.63	2.16
	25	0.64	0.71	36.4	0.0364	29.38	10.64	2.76
	30	0.76	0.85	43.7	0.0437	35.27	10.66	3.31
	35	0.89	0.99	50.0	0.0500	40.36	10.67	3.78
	40	1.02	1.13	53.4	0.0534	43.10	10.69	4.03
	45	1.14	1.27	54.2	0.0542	43.75	10.70	4.09
	50	1.27	1.41	40.8	0.0408	32.93	10.72	3.07
Especímen 3	5	0.13	0.14	9.5	0.0095	7.67	10.58	0.72
	10	0.25	0.28	20.0	0.0200	16.14	10.60	1.52
	15	0.38	0.42	28.9	0.0289	23.33	10.61	2.20
	20	0.51	0.56	37.9	0.0379	30.59	10.63	2.88
	25	0.64	0.71	44.7	0.0447	36.08	10.64	3.39
	30	0.76	0.85	51.5	0.0515	41.57	10.66	3.90
	35	0.89	0.99	56.8	0.0568	45.85	10.67	4.30
	40	1.02	1.13	58.4	0.0584	47.14	10.69	4.41
	45	1.14	1.27	57.9	0.0579	46.74	10.70	4.37
	50	1.27	1.41	26.3	0.0263	21.23	10.72	1.98
Especímen 4	5	0.13	0.14	9.5	0.0095	7.67	10.58	0.72
	10	0.25	0.28	17.9	0.0179	14.45	10.60	1.36
	15	0.38	0.42	25.2	0.0252	20.34	10.61	1.92
	20	0.51	0.56	35.2	0.0352	28.41	10.63	2.67
	25	0.64	0.71	42.1	0.0421	33.98	10.64	3.19
	30	0.76	0.85	48.9	0.0489	39.47	10.66	3.70
	35	0.89	0.99	53.1	0.0531	42.86	10.67	4.02
	40	1.02	1.13	42.6	0.0426	34.39	10.69	3.22
	45	1.14	1.27	32.5	0.0325	26.23	10.70	2.45
	50	1.27	1.41	26.4	0.0264	21.31	10.72	1.99

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2, 3 y 4.

Esfuerzo Prom. = 4.28

## Ensaye a Compresión Simple

### Arcilla con 10% de cal (14 días)

	Deformaciones			Esfuerzo				
	Lectura del Micrómetro de Deformación	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon = \delta/L$	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c = A_o / (1 - e)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Especímen 1	5	0.13	0.14	18.1	0.0181	14.61	10.58	1.38
	10	0.25	0.28	35.6	0.0356	28.74	10.60	2.71
	15	0.38	0.42	51.5	0.0515	41.57	10.61	3.92
	20	0.51	0.56	64.1	0.0641	51.74	10.63	4.87
	25	0.64	0.71	74.0	0.0740	59.73	10.64	5.61
	30	0.76	0.85	84.4	0.0844	68.13	10.66	6.39
	35	0.89	0.99	92.1	0.0921	74.34	10.67	6.97
	40	1.02	1.13	27.4	0.0274	22.12	10.69	2.07
	45	1.14	1.27	19.2	0.0192	15.50	10.70	1.45
	50	1.27	1.41	11.0	0.0110	8.88	10.72	0.83
Especímen 2	5	0.13	0.14	6.0	0.0060	4.84	10.58	0.46
	10	0.25	0.28	22.5	0.0225	18.16	10.60	1.71
	15	0.38	0.42	37.8	0.0378	30.51	10.61	2.88
	20	0.51	0.56	49.3	0.0493	39.79	10.63	3.74
	25	0.64	0.71	60.3	0.0603	48.67	10.64	4.57
	30	0.76	0.85	68.5	0.0685	55.29	10.66	5.19
	35	0.89	0.99	75.1	0.0751	60.62	10.67	5.68
	40	1.02	1.13	77.3	0.0773	62.37	10.69	5.84
	45	1.14	1.27	62.5	0.0625	50.45	10.70	4.71
	50	1.27	1.41	55.8	0.0558	45.04	10.72	4.20
Especímen 3	5	0.13	0.14	16.4	0.0164	13.24	10.58	1.25
	10	0.25	0.28	30.1	0.0301	24.30	10.60	2.29
	15	0.38	0.42	44.4	0.0444	35.84	10.61	3.38
	20	0.51	0.56	57.0	0.0570	46.01	10.63	4.33
	25	0.64	0.71	66.9	0.0669	54.00	10.64	5.07
	30	0.76	0.85	76.2	0.0762	61.51	10.66	5.77
	35	0.89	0.99	84.4	0.0844	68.13	10.67	6.38
	40	1.02	1.13	73.5	0.0735	59.33	10.69	5.55
	45	1.14	1.27	64.8	0.0648	52.31	10.70	4.89
	50	1.27	1.41	52.1	0.0521	42.06	10.72	3.92
Especímen 4	5	0.13	0.14	12.6	0.0126	10.17	10.58	0.96
	10	0.25	0.28	24.1	0.0241	19.45	10.60	1.84
	15	0.38	0.42	34.5	0.0345	27.85	10.61	2.62
	20	0.51	0.56	46.0	0.0460	37.13	10.63	3.49
	25	0.64	0.71	54.3	0.0543	43.83	10.64	4.12
	30	0.76	0.85	60.6	0.0606	48.92	10.66	4.59
	35	0.89	0.99	63.0	0.0630	50.85	10.67	4.76
	40	1.02	1.13	56.4	0.0564	45.53	10.69	4.26
	45	1.14	1.27	43.2	0.0432	34.87	10.70	3.26
	50	1.27	1.41	38.7	0.0387	31.24	10.72	2.91

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2, 3 y 4.

Esfuerzo Prom. = 5.99

## Ensaye a Compresión Simple

Arcilla con 10% de cal (30 días)

	Deformaciones			Esfuerzo				
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon = \delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c = A_o / (1 - e)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Especímen 1	5	0.13	0.14	5.6	0.0056	4.52	10.58	0.43
	10	0.25	0.28	17.5	0.0175	14.13	10.60	1.33
	15	0.38	0.42	31.0	0.0310	25.02	10.61	2.36
	20	0.51	0.56	45.6	0.0456	36.81	10.63	3.46
	25	0.64	0.71	56.9	0.0569	45.93	10.64	4.32
	30	0.76	0.85	72.1	0.0721	58.20	10.66	5.46
	35	0.89	0.99	84.5	0.0845	68.21	10.67	6.39
	40	1.02	1.13	69.4	0.0694	56.02	10.69	5.24
	45	1.14	1.27	55.2	0.0552	44.56	10.70	4.16
	50	1.27	1.41	48.6	0.0486	39.23	10.72	3.66
Especímen 2	5	0.13	0.14	4.5	0.0045	3.63	10.58	0.34
	10	0.25	0.28	13.5	0.0135	10.90	10.60	1.03
	15	0.38	0.42	28.2	0.0282	22.76	10.61	2.15
	20	0.51	0.56	44.5	0.0445	35.92	10.63	3.38
	25	0.64	0.71	59.7	0.0597	48.19	10.64	4.53
	30	0.76	0.85	74.6	0.0746	60.22	10.66	5.65
	35	0.89	0.99	90.1	0.0901	72.73	10.67	6.81
	40	1.02	1.13	82.3	0.0823	66.43	10.69	6.22
	45	1.14	1.27	63.4	0.0634	51.18	10.70	4.78
	50	1.27	1.41	56.8	0.0568	45.85	10.72	4.28
Especímen 3	5	0.13	0.14	2.8	0.0028	2.26	10.58	0.21
	10	0.25	0.28	3.9	0.0039	3.15	10.60	0.30
	15	0.38	0.42	9.0	0.0090	7.26	10.61	0.68
	20	0.51	0.56	17.5	0.0175	14.13	10.63	1.33
	25	0.64	0.71	31.0	0.0310	25.02	10.64	2.35
	30	0.76	0.85	46.2	0.0462	37.29	10.66	3.50
	35	0.89	0.99	61.4	0.0614	49.56	10.67	4.64
	40	1.02	1.13	76.6	0.0766	61.83	10.69	5.79
	45	1.14	1.27	57.9	0.0579	46.74	10.70	4.37
	50	1.27	1.41	48.3	0.0483	38.99	10.72	3.64
Especímen 4	5	0.13	0.14	6.2	0.0062	5.00	10.58	0.47
	10	0.25	0.28	19.7	0.0197	15.90	10.60	1.50
	15	0.38	0.42	33.8	0.0338	27.28	10.61	2.57
	20	0.51	0.56	47.9	0.0479	38.66	10.63	3.64
	25	0.64	0.71	60.2	0.0602	48.59	10.64	4.57
	30	0.76	0.85	72.6	0.0726	58.60	10.66	5.50
	35	0.89	0.99	84.5	0.0845	68.21	10.67	6.39
	40	1.02	1.13	68.2	0.0682	55.05	10.69	5.15
	45	1.14	1.27	53.6	0.0536	43.27	10.70	4.04
	50	1.27	1.41	43.1	0.0431	34.79	10.72	3.25

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2, 3 y 4.

Esfuerzo Prom. = 6.35

## Ensaye a Compresión Simple

**Arcilla con 10% de cal (60 días)**

	Deformaciones			Esfuerzo				
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon = \delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c = A_o / (1 - e)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Especímen 1	5	0.13	0.14	10.3	0.0103	8.31	10.58	0.79
	10	0.25	0.28	19.5	0.0195	15.74	10.60	1.49
	15	0.38	0.42	30.9	0.0309	24.94	10.61	2.35
	20	0.51	0.56	44.7	0.0447	36.08	10.63	3.40
	25	0.64	0.71	58.4	0.0584	47.14	10.64	4.43
	30	0.76	0.85	72.8	0.0728	58.76	10.66	5.51
	35	0.89	0.99	84.8	0.0848	68.45	10.67	6.41
	40	1.02	1.13	70.6	0.0706	56.99	10.69	5.33
	45	1.14	1.27	64.2	0.0642	51.82	10.70	4.84
	50	1.27	1.41	50.8	0.0508	41.01	10.72	3.83
Especímen 2	5	0.13	0.14	4.6	0.0046	3.71	10.58	0.35
	10	0.25	0.28	10.3	0.0103	8.31	10.60	0.78
	15	0.38	0.42	21.8	0.0218	17.60	10.61	1.66
	20	0.51	0.56	35.5	0.0355	28.66	10.63	2.70
	25	0.64	0.71	50.4	0.0504	40.68	10.64	3.82
	30	0.76	0.85	61.9	0.0619	49.97	10.66	4.69
	35	0.89	0.99	75.6	0.0756	61.02	10.67	5.72
	40	1.02	1.13	87.1	0.0871	70.31	10.69	6.58
	45	1.14	1.27	66.8	0.0668	53.92	10.70	5.04
	50	1.27	1.41	51.3	0.0513	41.41	10.72	3.86
Especímen 3	5	0.13	0.14	4.0	0.0040	3.23	10.58	0.31
	10	0.25	0.28	10.3	0.0103	8.31	10.60	0.78
	15	0.38	0.42	18.9	0.0189	15.26	10.61	1.44
	20	0.51	0.56	28.7	0.0287	23.17	10.63	2.18
	25	0.64	0.71	39.0	0.0390	31.48	10.64	2.96
	30	0.76	0.85	51.6	0.0516	41.65	10.66	3.91
	35	0.89	0.99	64.7	0.0647	52.23	10.67	4.89
	40	1.02	1.13	78.5	0.0785	63.37	10.69	5.93
	45	1.14	1.27	63.7	0.0637	51.42	10.70	4.80
	50	1.27	1.41	53.8	0.0538	43.43	10.72	4.05
Especímen 4	5	0.13	0.14	12.0	0.0120	9.69	10.58	0.92
	10	0.25	0.28	24.6	0.0246	19.86	10.60	1.87
	15	0.38	0.42	38.4	0.0384	31.00	10.61	2.92
	20	0.51	0.56	50.4	0.0504	40.68	10.63	3.83
	25	0.64	0.71	64.2	0.0642	51.82	10.64	4.87
	30	0.76	0.85	79.2	0.0792	63.93	10.66	6.00
	35	0.89	0.99	73.5	0.0735	59.33	10.67	5.56
	40	1.02	1.13	58.4	0.0584	47.14	10.69	4.41
	45	1.14	1.27	43.2	0.0432	34.87	10.70	3.26
	50	1.27	1.41	38.6	0.0386	31.16	10.72	2.91

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2, 3 y 4.

Esfuerzo Prom. = 6.23

## Apéndice I

### FORMATOS DE LAS PRUEBAS DE COMPRESION SIMPLE DE PROBETAS REMOLDEADAS CON ENERGÍA DE COMPACTACIÓN DE 40 kg-cm/cm<sup>3</sup>.

#### Ensayo a Compresión Simple

##### Arcilla Natural (7 días)

	Deformaciones			Esfuerzo				
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon = \delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c = A_o / (1 - \epsilon)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Especímen 1	5	0.13	0.14	9.2	0.0092	7.43	10.58	0.70
	10	0.25	0.28	27.5	0.0275	22.20	10.60	2.09
	15	0.38	0.42	43.6	0.0436	35.19	10.61	3.32
	20	0.51	0.56	57.4	0.0574	46.33	10.63	4.36
	25	0.64	0.71	68.8	0.0688	55.54	10.64	5.22
	30	0.76	0.85	78.0	0.0780	62.96	10.66	5.91
	35	0.89	0.99	82.6	0.0826	66.67	10.67	6.25
	40	1.02	1.13	87.3	0.0873	70.47	10.69	6.59
	45	1.14	1.27	86.0	0.0860	69.42	10.70	6.49
	50	1.27	1.41	82.6	0.0826	66.67	10.72	6.22
	55	1.40	1.55	78.0	0.0780	62.96	10.73	5.87
60	1.52	1.69	68.8	0.0688	55.54	10.75	5.17	
Especímen 2	5	0.13	0.14	2.4	0.0024	1.94	10.58	0.18
	10	0.25	0.28	27.5	0.0275	22.20	10.60	2.09
	15	0.38	0.42	46.0	0.0460	37.13	10.61	3.50
	20	0.51	0.56	64.3	0.0643	51.90	10.63	4.88
	25	0.64	0.71	80.4	0.0804	64.90	10.64	6.10
	30	0.76	0.85	94.8	0.0948	76.52	10.66	7.18
	35	0.89	0.99	406.4	0.4064	328.05	10.67	30.74
	40	1.02	1.13	112.4	0.1124	90.73	10.69	8.49
	45	1.14	1.27	119.3	0.1193	96.30	10.70	9.00
	50	1.27	1.41	115.2	0.1152	92.99	10.72	8.68
	55	1.40	1.55	112.7	0.1127	90.97	10.73	8.48
60	1.52	1.69	100.6	0.1006	81.20	10.75	7.55	
Especímen 3	5	0.13	0.14	16.1	0.0161	13.00	10.58	1.23
	10	0.25	0.28	32.0	0.0320	25.83	10.60	2.44
	15	0.38	0.42	48.2	0.0482	38.91	10.61	3.67
	20	0.51	0.56	61.9	0.0619	49.97	10.63	4.70
	25	0.64	0.71	71.2	0.0712	57.47	10.64	5.40
	30	0.76	0.85	75.7	0.0757	61.11	10.66	5.73
	35	0.89	0.99	72.7	0.0727	58.68	10.67	5.50
	40	1.02	1.13	67.7	0.0677	54.65	10.69	5.11
	45	1.14	1.27	64.3	0.0643	51.90	10.70	4.85
	50	1.27	1.41	50.5	0.0505	40.76	10.72	3.80
	55	1.40	1.55	43.6	0.0436	35.19	10.73	3.28
60	1.52	1.69	42.1	0.0421	33.98	10.75	3.16	
Especímen 4	5	0.13	0.14	13.8	0.0138	11.14	10.58	1.05
	10	0.25	0.28	32.0	0.0320	25.83	10.60	2.44
	15	0.38	0.42	50.5	0.0505	40.76	10.61	3.84
	20	0.51	0.56	61.9	0.0619	49.97	10.63	4.70
	25	0.64	0.71	71.2	0.0712	57.47	10.64	5.40
	30	0.76	0.85	75.7	0.0757	61.11	10.66	5.73
	35	0.89	0.99	78.0	0.0780	62.96	10.67	5.90
	40	1.02	1.13	74.4	0.0744	60.06	10.69	5.62
	45	1.14	1.27	68.8	0.0688	55.54	10.70	5.19
	50	1.27	1.41	59.8	0.0598	48.27	10.72	4.50
	55	1.40	1.55	52.9	0.0529	42.70	10.73	3.98
60	1.52	1.69	46.0	0.0460	37.13	10.75	3.45	

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2, 3 y 4.

Esfuerzo Prom. = 6.81

## Ensaye a Compresión Simple

### Arcilla Natural (15 días)

	Deformaciones			Esfuerzo				
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon = \delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c = A_o/(1-\epsilon)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Especímen 1	5	0.13	0.14	14.5	0.0145	11.70	10.58	1.11
	10	0.25	0.28	36.2	0.0362	29.22	10.60	2.76
	15	0.38	0.42	57.9	0.0579	46.74	10.61	4.40
	20	0.51	0.56	72.2	0.0722	58.28	10.63	5.48
	25	0.64	0.71	82.0	0.0820	66.19	10.64	6.22
	30	0.76	0.85	89.2	0.0892	72.00	10.66	6.76
	35	0.89	0.99	86.7	0.0867	69.98	10.67	6.56
	40	1.02	1.13	79.4	0.0794	64.09	10.69	6.00
	45	1.14	1.27	69.9	0.0699	56.42	10.70	5.27
	50	1.27	1.41	53.0	0.0530	42.78	10.72	3.99
Especímen 2	5	0.13	0.14	26.4	0.0264	21.31	10.58	2.01
	10	0.25	0.28	57.5	0.0575	46.41	10.60	4.38
	15	0.38	0.42	82.3	0.0823	66.43	10.61	6.26
	20	0.51	0.56	96.5	0.0965	77.89	10.63	7.33
	25	0.64	0.71	101.2	0.1012	81.69	10.64	7.68
	30	0.76	0.85	93.9	0.0939	75.80	10.66	7.11
	35	0.89	0.99	82.0	0.0820	66.19	10.67	6.20
	40	1.02	1.13	67.5	0.0675	54.49	10.69	5.10
	45	1.14	1.27	48.1	0.0481	38.83	10.70	3.63
	50	1.27	1.41	45.8	0.0458	36.97	10.72	3.45
Especímen 3	5	0.13	0.14	12.1	0.0121	9.77	10.58	0.92
	10	0.25	0.28	29.0	0.0290	23.41	10.60	2.21
	15	0.38	0.42	50.1	0.0501	40.44	10.61	3.81
	20	0.51	0.56	69.7	0.0697	56.26	10.63	5.29
	25	0.64	0.71	83.9	0.0839	67.72	10.64	6.36
	30	0.76	0.85	92.7	0.0927	74.83	10.66	7.02
	35	0.89	0.99	81.8	0.0818	66.03	10.67	6.19
	40	1.02	1.13	66.5	0.0665	53.68	10.69	5.02
	45	1.14	1.27	56.2	0.0562	45.36	10.70	4.24
	50	1.27	1.41	51.5	0.0515	41.57	10.72	3.88
Especímen 4	5	0.13	0.14	12.1	0.0121	9.77	10.58	0.92
	10	0.25	0.28	29.0	0.0290	23.41	10.60	2.21
	15	0.38	0.42	45.8	0.0458	36.97	10.61	3.48
	20	0.51	0.56	60.3	0.0603	48.67	10.63	4.58
	25	0.64	0.71	67.5	0.0675	54.49	10.64	5.12
	30	0.76	0.85	74.8	0.0748	60.38	10.66	5.67
	35	0.89	0.99	72.2	0.0722	58.28	10.67	5.46
	40	1.02	1.13	65.2	0.0652	52.63	10.69	4.92
	45	1.14	1.27	50.7	0.0507	40.93	10.70	3.82
	50	1.27	1.41	43.5	0.0435	35.11	10.72	3.28
55	1.40	1.55	40.9	0.0409	33.01	10.73	3.08	
60	1.52	1.69	33.7	0.0337	27.20	10.75	2.53	

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2, 3 y 4.

Esfuerzo Prom. = 6.78

## Ensaye a Compresión Simple

### Arcilla Natural (30 días)

	Deformaciones			Esfuerzo				
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon=\delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c=A_o/(1-e)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Especímen 1	5	0.13	0.14	12.2	0.0122	9.85	10.58	0.93
	10	0.25	0.28	31.9	0.0319	25.75	10.60	2.43
	15	0.38	0.42	59.0	0.0590	47.62	10.61	4.49
	20	0.51	0.56	91.0	0.0910	73.46	10.63	6.91
	25	0.64	0.71	125.3	0.1253	101.14	10.64	9.50
	30	0.76	0.85	157.2	0.1572	126.89	10.66	11.91
	35	0.89	0.99	186.5	0.1865	150.54	10.67	14.11
	40	1.02	1.13	208.8	0.2088	168.54	10.69	15.77
	45	1.14	1.27	233.3	0.2333	188.32	10.70	17.60
	50	1.27	1.41	241.6	0.2416	195.02	10.72	18.20
55	1.40	1.55	215.6	0.2156	174.03	10.73	16.21	
60	1.52	1.69	184.1	0.1841	148.61	10.75	13.83	
65	1.65	1.83	171.6	0.1716	138.52	10.76	12.87	
70	1.78	1.98	114.3	0.1143	92.26	10.78	8.56	
Especímen 2	5	0.13	0.14	46.6	0.0466	37.62	10.58	3.55
	10	0.25	0.28	79.4	0.0794	64.09	10.60	6.05
	15	0.38	0.42	103.2	0.1032	83.30	10.61	7.85
	20	0.51	0.56	125.7	0.1257	101.47	10.63	9.55
	25	0.64	0.71	143.4	0.1434	115.75	10.64	10.88
	30	0.76	0.85	152.2	0.1522	122.86	10.66	11.53
	35	0.89	0.99	146.3	0.1463	118.09	10.67	11.07
	40	1.02	1.13	139.0	0.1390	112.20	10.69	10.50
	45	1.14	1.27	117.8	0.1178	95.09	10.70	8.88
	50	1.27	1.41	88.3	0.0883	71.28	10.72	6.65
55	1.40	1.55	62.3	0.0623	50.29	10.73	4.69	
60	1.52	1.69	39.4	0.0394	31.80	10.75	2.96	
Especímen 3	5	0.13	0.14	34.3	0.0343	27.69	10.58	2.62
	10	0.25	0.28	62.7	0.0627	50.61	10.60	4.78
	15	0.38	0.42	83.5	0.0835	67.40	10.61	6.35
	20	0.51	0.56	104.1	0.1041	84.03	10.63	7.91
	25	0.64	0.71	117.8	0.1178	95.09	10.64	8.94
	30	0.76	0.85	105.2	0.1052	84.92	10.66	7.97
	35	0.89	0.99	116.3	0.1163	93.88	10.67	8.80
	40	1.02	1.13	111.5	0.1115	90.00	10.69	8.42
	45	1.14	1.27	108.0	0.1080	87.18	10.70	8.15
	50	1.27	1.41	107.1	0.1071	86.45	10.72	8.07
55	1.40	1.55	105.6	0.1056	85.24	10.73	7.94	
60	1.52	1.69	78.5	0.0785	63.37	10.75	5.90	
Especímen 4	5	0.13	0.14	9.8	0.0098	7.91	10.58	0.75
	10	0.25	0.28	27.1	0.0271	21.88	10.60	2.06
	15	0.38	0.42	54.0	0.0540	43.59	10.61	4.11
	20	0.51	0.56	85.9	0.0859	69.34	10.63	6.52
	25	0.64	0.71	117.8	0.1178	95.09	10.64	8.94
	30	0.76	0.85	145.0	0.1450	117.04	10.66	10.98
	35	0.89	0.99	170.3	0.1703	137.47	10.67	12.88
	40	1.02	1.13	184.1	0.1841	148.61	10.69	13.90
	45	1.14	1.27	206.2	0.2062	166.44	10.70	15.55
	50	1.27	1.41	218.4	0.2184	176.29	10.72	16.45
55	1.40	1.55	225.8	0.2258	182.27	10.73	16.98	
60	1.52	1.69	210.3	0.2103	169.75	10.75	15.79	
65	1.65	1.83	186.7	0.1867	150.70	10.76	14.00	
70	1.78	1.98	168.1	0.1681	135.69	10.78	12.59	
75	1.91	2.12	136.6	0.1366	110.26	10.80	10.21	

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2, 3 y 4.

Esfuerzo Prom. = 13.78

## Ensaye a Compresión Simple

### Arcilla Natural (60 días)

	Deformaciones			Esfuerzo				
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon = \delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c = A_o/(1-\epsilon)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Especimen 1	5	0.13	0.14	12.4	0.0124	10.01	10.58	0.95
	10	0.25	0.28	29.6	0.0296	23.89	10.60	2.25
	15	0.38	0.42	49.4	0.0494	39.88	10.61	3.76
	20	0.51	0.56	94.1	0.0941	75.96	10.63	7.15
	25	0.64	0.71	143.6	0.1436	115.91	10.64	10.89
	30	0.76	0.85	198.1	0.1981	159.91	10.66	15.00
	35	0.89	0.99	257.3	0.2573	207.69	10.67	19.46
	40	1.02	1.13	309.5	0.3095	249.83	10.69	23.38
	45	1.14	1.27	371.3	0.3713	299.71	10.70	28.00
	50	1.27	1.41	420.7	0.4207	339.59	10.72	31.68
	55	1.40	1.55	470.3	0.4703	379.63	10.73	35.37
	60	1.52	1.69	499.9	0.4999	403.52	10.75	37.54
	65	1.65	1.83	519.7	0.5197	419.50	10.76	38.97
70	1.78	1.98	485.2	0.4852	391.65	10.78	36.33	
75	1.91	2.12	420.7	0.4207	339.59	10.80	31.46	
Especimen 2	5	0.13	0.14	39.6	0.0396	31.97	10.58	3.02
	10	0.25	0.28	79.2	0.0792	63.93	10.60	6.03
	15	0.38	0.42	123.8	0.1238	99.93	10.61	9.42
	20	0.51	0.56	160.8	0.1608	129.80	10.63	12.21
	25	0.64	0.71	203.0	0.2030	163.86	10.64	15.40
	30	0.76	0.85	247.5	0.2475	199.78	10.66	18.75
	35	0.89	0.99	282.2	0.2822	227.79	10.67	21.34
	40	1.02	1.13	321.8	0.3218	259.76	10.69	24.30
	45	1.14	1.27	356.8	0.3568	288.01	10.70	26.91
	50	1.27	1.41	391.1	0.3911	315.70	10.72	29.45
	55	1.40	1.55	415.8	0.4158	335.63	10.73	31.27
	60	1.52	1.69	445.8	0.4458	359.85	10.75	33.48
	65	1.65	1.83	469.2	0.4692	378.74	10.76	35.18
70	1.78	1.98	495.0	0.4950	399.56	10.78	37.07	
75	1.91	2.12	467.1	0.4671	377.04	10.80	34.93	
80	2.03	2.26	418.3	0.4183	337.65	10.81	31.23	
Especimen 3	5	0.13	0.14	39.6	0.0396	31.97	10.58	3.02
	10	0.25	0.28	99.0	0.0990	79.91	10.60	7.54
	15	0.38	0.42	153.4	0.1534	123.82	10.61	11.67
	20	0.51	0.56	198.1	0.1981	159.91	10.63	15.05
	25	0.64	0.71	247.5	0.2475	199.78	10.64	18.77
	30	0.76	0.85	287.1	0.2871	231.75	10.66	21.75
	35	0.89	0.99	326.7	0.3267	263.71	10.67	24.71
	40	1.02	1.13	361.5	0.3615	291.80	10.69	27.30
	45	1.14	1.27	400.9	0.4009	323.61	10.70	30.24
	50	1.27	1.41	430.7	0.4307	347.66	10.72	32.44
	55	1.40	1.55	460.3	0.4603	371.55	10.73	34.62
	60	1.52	1.69	490.1	0.4901	395.61	10.75	36.80
	65	1.65	1.83	519.7	0.5197	419.50	10.76	38.97
70	1.78	1.98	539.3	0.5393	435.32	10.78	40.38	
75	1.91	2.12	502.8	0.5028	405.86	10.80	37.60	
80	2.03	2.26	479.5	0.4795	387.05	10.81	35.80	
85	2.16	2.40	413.9	0.4139	334.10	10.83	30.86	
Especimen 4	5	0.13	0.14	39.6	0.0396	31.97	10.58	3.02
	10	0.25	0.28	69.2	0.0692	55.86	10.60	5.27
	15	0.38	0.42	103.9	0.1039	83.87	10.61	7.90
	20	0.51	0.56	138.7	0.1387	111.96	10.63	10.54
	25	0.64	0.71	183.2	0.1832	147.88	10.64	13.90
	30	0.76	0.85	222.8	0.2228	179.84	10.66	16.88
	35	0.89	0.99	267.3	0.2673	215.76	10.67	20.22
	40	1.02	1.13	302.0	0.3020	243.77	10.69	22.81
	45	1.14	1.27	336.5	0.3365	271.62	10.70	25.38
	50	1.27	1.41	371.3	0.3713	299.71	10.72	27.96
	55	1.40	1.55	406.0	0.4060	327.72	10.73	30.53
	60	1.52	1.69	430.7	0.4307	347.66	10.75	32.34
	65	1.65	1.83	460.3	0.4603	371.55	10.76	34.52
70	1.78	1.98	485.2	0.4852	391.65	10.78	36.33	
75	1.91	2.12	429.4	0.4294	346.61	10.80	32.11	
80	2.03	2.26	394.9	0.3949	318.76	10.81	29.48	
85	2.16	2.40	345.7	0.3457	279.05	10.83	25.77	

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2, 3 y 4.

Esfuerzo Prom. = 38.19

## Ensaye a Compresión Simple

### Arcilla con 6% de cal (7 días)

	Deformaciones			Esfuerzo				
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon=\delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c=A_o/(1-e)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Especímen 1	5	0.13	0.14	1.2	0.0012	0.97	10.58	0.09
	10	0.25	0.28	2.9	0.0029	2.34	10.60	0.22
	15	0.38	0.42	4.5	0.0045	3.63	10.61	0.34
	20	0.51	0.56	5.8	0.0058	4.68	10.63	0.44
	25	0.64	0.71	7.0	0.0070	5.65	10.64	0.53
	30	0.76	0.85	7.4	0.0074	5.97	10.66	0.56
	35	0.89	0.99	8.2	0.0082	6.62	10.67	0.62
	40	1.02	1.13	7.4	0.0074	5.97	10.69	0.56
	45	1.14	1.27	5.3	0.0053	4.28	10.70	0.40
50	1.27	1.41	3.3	0.0033	2.66	10.72	0.25	
Especímen 2	5	0.13	0.14	1.6	0.0016	1.29	10.58	0.12
	10	0.25	0.28	2.9	0.0029	2.34	10.60	0.22
	15	0.38	0.42	4.9	0.0049	3.96	10.61	0.37
	20	0.51	0.56	6.6	0.0066	5.33	10.63	0.50
	25	0.64	0.71	8.6	0.0086	6.94	10.64	0.65
	30	0.76	0.85	9.1	0.0091	7.35	10.66	0.69
	35	0.89	0.99	7.4	0.0074	5.97	10.67	0.56
	40	1.02	1.13	4.1	0.0041	3.31	10.69	0.31
	45	1.14	1.27	1.2	0.0012	0.97	10.70	0.09
50	1.27	1.41	0.5	0.0005	0.40	10.72	0.04	
Especímen 3	5	0.13	0.14	1.6	0.0016	1.29	10.58	0.12
	10	0.25	0.28	2.5	0.0025	2.02	10.60	0.19
	15	0.38	0.42	4.9	0.0049	3.96	10.61	0.37
	20	0.51	0.56	6.2	0.0062	5.00	10.63	0.47
	25	0.64	0.71	7.8	0.0078	6.30	10.64	0.59
	30	0.76	0.85	9.8	0.0098	7.91	10.66	0.74
	35	0.89	0.99	8.4	0.0084	6.78	10.67	0.64
	40	1.02	1.13	6.6	0.0066	5.33	10.69	0.50
	45	1.14	1.27	4.1	0.0041	3.31	10.70	0.31
50	1.27	1.41	2.5	0.0025	2.02	10.72	0.19	
Especímen 4	5	0.13	0.14	3.5	0.0035	2.83	10.58	0.27
	10	0.25	0.28	4.1	0.0041	3.31	10.60	0.31
	15	0.38	0.42	5.3	0.0053	4.28	10.61	0.40
	20	0.51	0.56	7.4	0.0074	5.97	10.63	0.56
	25	0.64	0.71	8.6	0.0086	6.94	10.64	0.65
	30	0.76	0.85	10.4	0.0104	8.39	10.66	0.79
	35	0.89	0.99	6.6	0.0066	5.33	10.67	0.50
	40	1.02	1.13	4.1	0.0041	3.31	10.69	0.31
	45	1.14	1.27	2.9	0.0029	2.34	10.70	0.22
50	1.27	1.41	2.5	0.0025	2.02	10.72	0.19	

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2, 3 y 4.

Esfuerzo Prom. = 0.71

## Ensaye a Compresión Simple

### Arcilla con 6% de cal (14 días)

		Deformaciones			Esfuerzo			
		10.57						
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon=\delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c=A_o/(1-e)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Especímen 1	5	0.13	0.14	1.6	0.0016	1.29	10.58	0.12
	10	0.25	0.28	3.3	0.0033	2.66	10.60	0.25
	15	0.38	0.42	4.9	0.0049	3.96	10.61	0.37
	20	0.51	0.56	6.1	0.0061	4.92	10.63	0.46
	25	0.64	0.71	7.3	0.0073	5.89	10.64	0.55
	30	0.76	0.85	7.7	0.0077	6.22	10.66	0.58
	35	0.89	0.99	8.6	0.0086	6.94	10.67	0.65
	40	1.02	1.13	7.7	0.0077	6.22	10.69	0.58
	45	1.14	1.27	5.7	0.0057	4.60	10.70	0.43
	50	1.27	1.41	3.7	0.0037	2.99	10.72	0.28
Especímen 2	5	0.13	0.14	2.0	0.0020	1.61	10.58	0.15
	10	0.25	0.28	3.1	0.0031	2.50	10.60	0.24
	15	0.38	0.42	5.3	0.0053	4.28	10.61	0.40
	20	0.51	0.56	6.9	0.0069	5.57	10.63	0.52
	25	0.64	0.71	9.0	0.0090	7.26	10.64	0.68
	30	0.76	0.85	9.4	0.0094	7.59	10.66	0.71
	35	0.89	0.99	7.7	0.0077	6.22	10.67	0.58
	40	1.02	1.13	4.5	0.0045	3.63	10.69	0.34
	45	1.14	1.27	1.6	0.0016	1.29	10.70	0.12
	50	1.27	1.41	0.8	0.0008	0.65	10.72	0.06
Especímen 3	5	0.13	0.14	2.0	0.0020	1.61	10.58	0.15
	10	0.25	0.28	2.9	0.0029	2.34	10.60	0.22
	15	0.38	0.42	5.3	0.0053	4.28	10.61	0.40
	20	0.51	0.56	6.5	0.0065	5.25	10.63	0.49
	25	0.64	0.71	8.2	0.0082	6.62	10.64	0.62
	30	0.76	0.85	11.3	0.0113	9.12	10.66	0.86
	35	0.89	0.99	8.6	0.0086	6.94	10.67	0.65
	40	1.02	1.13	6.9	0.0069	5.57	10.69	0.52
	45	1.14	1.27	4.5	0.0045	3.63	10.70	0.34
	50	1.27	1.41	2.9	0.0029	2.34	10.72	0.22
Especímen 4	5	0.13	0.14	3.0	0.0030	2.42	10.58	0.23
	10	0.25	0.28	4.5	0.0045	3.63	10.60	0.34
	15	0.38	0.42	5.6	0.0056	4.52	10.61	0.43
	20	0.51	0.56	7.5	0.0075	6.05	10.63	0.57
	25	0.64	0.71	9.0	0.0090	7.26	10.64	0.68
	30	0.76	0.85	10.4	0.0104	8.39	10.66	0.79
	35	0.89	0.99	6.9	0.0069	5.57	10.67	0.52
	40	1.02	1.13	4.5	0.0045	3.63	10.69	0.34
	45	1.14	1.27	2.9	0.0029	2.34	10.70	0.22
	50	1.27	1.41	2.0	0.0020	1.61	10.72	0.15

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2, 3 y 4.

Esfuerzo Prom. = 0.75

## Ensaye a Compresión Simple

### Arcilla con 6% de cal (30 días)

Deformaciones			Esfuerzo					
Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon=\delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c=A_o/(1-e)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	
			10.57					
Especimen 1	5	0.13	0.14	2.1	0.0021	1.70	10.58	0.16
	10	0.25	0.28	3.9	0.0039	3.15	10.60	0.30
	15	0.38	0.42	5.6	0.0056	4.52	10.61	0.43
	20	0.51	0.56	6.4	0.0064	5.17	10.63	0.49
	25	0.64	0.71	8.1	0.0081	6.54	10.64	0.61
	30	0.76	0.85	8.6	0.0086	6.94	10.66	0.65
	35	0.89	0.99	9.4	0.0094	7.59	10.67	0.71
	40	1.02	1.13	8.5	0.0085	6.86	10.69	0.64
	45	1.14	1.27	6.4	0.0064	5.17	10.70	0.48
	50	1.27	1.41	4.3	0.0043	3.47	10.72	0.32
Especimen 2	5	0.13	0.14	2.6	0.0026	2.10	10.58	0.20
	10	0.25	0.28	3.9	0.0039	3.15	10.60	0.30
	15	0.38	0.42	6.0	0.0060	4.84	10.61	0.46
	20	0.51	0.56	7.7	0.0077	6.22	10.63	0.58
	25	0.64	0.71	9.8	0.0098	7.91	10.64	0.74
	30	0.76	0.85	10.3	0.0103	8.31	10.66	0.78
	35	0.89	0.99	8.6	0.0086	6.94	10.67	0.65
	40	1.02	1.13	5.1	0.0051	4.12	10.69	0.39
	45	1.14	1.27	2.1	0.0021	1.70	10.70	0.16
	50	1.27	1.41	1.3	0.0013	1.05	10.72	0.10
Especimen 3	5	0.13	0.14	2.6	0.0026	2.10	10.58	0.20
	10	0.25	0.28	3.4	0.0034	2.74	10.60	0.26
	15	0.38	0.42	6.0	0.0060	4.84	10.61	0.46
	20	0.51	0.56	7.3	0.0073	5.89	10.63	0.55
	25	0.64	0.71	9.0	0.0090	7.26	10.64	0.68
	30	0.76	0.85	11.5	0.0115	9.28	10.66	0.87
	35	0.89	0.99	9.4	0.0094	7.59	10.67	0.71
	40	1.02	1.13	7.7	0.0077	6.22	10.69	0.58
	45	1.14	1.27	5.1	0.0051	4.12	10.70	0.38
	50	1.27	1.41	3.4	0.0034	2.74	10.72	0.26
Especimen 4	5	0.13	0.14	3.8	0.0038	3.07	10.58	0.29
	10	0.25	0.28	5.1	0.0051	4.12	10.60	0.39
	15	0.38	0.42	6.4	0.0064	5.17	10.61	0.49
	20	0.51	0.56	8.6	0.0086	6.94	10.63	0.65
	25	0.64	0.71	9.8	0.0098	7.91	10.64	0.74
	30	0.76	0.85	11.0	0.0110	8.88	10.66	0.83
	35	0.89	0.99	7.7	0.0077	6.22	10.67	0.58
	40	1.02	1.13	5.1	0.0051	4.12	10.69	0.39
	45	1.14	1.27	3.9	0.0039	3.15	10.70	0.29
	50	1.27	1.41	3.2	0.0032	2.58	10.72	0.24

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2, 3 y 4.

Esfuerzo Prom. = 0.80

## Ensaye a Compresión Simple

### Arcilla con 6% de cal (60 días)

	Deformaciones			Esfuerzo				
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon = \delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c = A_o/(1-e)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Especímen 1	5	0.13	0.14	3.2	0.0032	2.58	10.58	0.24
	10	0.25	0.28	5.1	0.0051	4.12	10.60	0.39
	15	0.38	0.42	6.9	0.0069	5.57	10.61	0.52
	20	0.51	0.56	8.3	0.0083	6.70	10.63	0.63
	25	0.64	0.71	9.7	0.0097	7.83	10.64	0.74
	30	0.76	0.85	10.2	0.0102	8.23	10.66	0.77
	35	0.89	0.99	11.1	0.0111	8.96	10.67	0.84
	40	1.02	1.13	10.5	0.0105	8.48	10.69	0.79
	45	1.14	1.27	7.9	0.0079	6.38	10.70	0.60
	50	1.27	1.41	5.6	0.0056	4.52	10.72	0.42
Especímen 2	5	0.13	0.14	3.7	0.0037	2.99	10.58	0.28
	10	0.25	0.28	5.2	0.0052	4.20	10.60	0.40
	15	0.38	0.42	7.5	0.0075	6.05	10.61	0.57
	20	0.51	0.56	9.4	0.0094	7.59	10.63	0.71
	25	0.64	0.71	11.6	0.0116	9.36	10.64	0.88
	30	0.76	0.85	12.0	0.0120	9.69	10.66	0.91
	35	0.89	0.99	10.3	0.0103	8.31	10.67	0.78
	40	1.02	1.13	6.6	0.0066	5.33	10.69	0.50
	45	1.14	1.27	3.3	0.0033	2.66	10.70	0.25
	50	1.27	1.41	1.9	0.0019	1.53	10.72	0.14
Especímen 3	5	0.13	0.14	3.7	0.0037	2.99	10.58	0.28
	10	0.25	0.28	4.6	0.0046	3.71	10.60	0.35
	15	0.38	0.42	7.4	0.0074	5.97	10.61	0.56
	20	0.51	0.56	8.8	0.0088	7.10	10.63	0.67
	25	0.64	0.71	10.6	0.0106	8.56	10.64	0.80
	30	0.76	0.85	12.0	0.0120	9.69	10.66	0.91
	35	0.89	0.99	10.2	0.0102	8.23	10.67	0.77
	40	1.02	1.13	9.3	0.0093	7.51	10.69	0.70
	45	1.14	1.27	6.5	0.0065	5.25	10.70	0.49
	50	1.27	1.41	4.6	0.0046	3.71	10.72	0.35
Especímen 4	5	0.13	0.14	4.1	0.0041	3.31	10.58	0.31
	10	0.25	0.28	6.5	0.0065	5.25	10.60	0.50
	15	0.38	0.42	7.9	0.0079	6.38	10.61	0.60
	20	0.51	0.56	10.3	0.0103	8.31	10.63	0.78
	25	0.64	0.71	11.5	0.0115	9.28	10.64	0.87
	30	0.76	0.85	9.4	0.0094	7.59	10.66	0.71
	35	0.89	0.99	7.3	0.0073	5.89	10.67	0.55
	40	1.02	1.13	4.2	0.0042	3.39	10.69	0.32
	45	1.14	1.27	2.3	0.0023	1.86	10.70	0.17
	50	1.27	1.41	1.9	0.0019	1.53	10.72	0.14

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2, 3 y 4.

Esfuerzo Prom. = 0.88

## Ensaye a Compresión Simple

### Arcilla con 8% de cal (7 días)

	Deformaciones			Esfuerzo				
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon = \delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c = A_o / (1 - e)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Especímen 1	5	0.13	0.14	4.6	0.0046	3.71	10.58	0.35
	10	0.25	0.28	18.2	0.0182	14.69	10.60	1.39
	15	0.38	0.42	30.1	0.0301	24.30	10.61	2.29
	20	0.51	0.56	41.1	0.0411	33.18	10.63	3.12
	25	0.64	0.71	50.2	0.0502	40.52	10.64	3.81
	30	0.76	0.85	61.1	0.0611	49.32	10.66	4.63
	35	0.89	0.99	45.6	0.0456	36.81	10.67	3.45
	40	1.02	1.13	37.4	0.0374	30.19	10.69	2.82
	45	1.14	1.27	27.4	0.0274	22.12	10.70	2.07
	50	1.27	1.41	13.7	0.0137	11.06	10.72	1.03
Especímen 2	5	0.13	0.14	3.9	0.0039	3.15	10.58	0.30
	10	0.25	0.28	18.0	0.0180	14.53	10.60	1.37
	15	0.38	0.42	29.6	0.0296	23.89	10.61	2.25
	20	0.51	0.56	39.4	0.0394	31.80	10.63	2.99
	25	0.64	0.71	49.5	0.0495	39.96	10.64	3.75
	30	0.76	0.85	60.6	0.0606	48.92	10.66	4.59
	35	0.89	0.99	46.3	0.0463	37.37	10.67	3.50
	40	1.02	1.13	37.7	0.0377	30.43	10.69	2.85
	45	1.14	1.27	27.0	0.0270	21.79	10.70	2.04
	50	1.27	1.41	11.4	0.0114	9.20	10.72	0.86
Especímen 3	5	0.13	0.14	4.7	0.0047	3.79	10.58	0.36
	10	0.25	0.28	18.7	0.0187	15.09	10.60	1.42
	15	0.38	0.42	30.8	0.0308	24.86	10.61	2.34
	20	0.51	0.56	42.0	0.0420	33.90	10.63	3.19
	25	0.64	0.71	51.4	0.0514	41.49	10.64	3.90
	30	0.76	0.85	62.5	0.0625	50.45	10.66	4.73
	35	0.89	0.99	46.7	0.0467	37.70	10.67	3.53
	40	1.02	1.13	38.2	0.0382	30.84	10.69	2.89
	45	1.14	1.27	28.0	0.0280	22.60	10.70	2.11
	50	1.27	1.41	14.0	0.0140	11.30	10.72	1.05
Especímen 4	5	0.13	0.14	3.8	0.0038	3.07	10.58	0.29
	10	0.25	0.28	18.1	0.0181	14.61	10.60	1.38
	15	0.38	0.42	29.8	0.0298	24.05	10.61	2.27
	20	0.51	0.56	43.2	0.0432	34.87	10.63	3.28
	25	0.64	0.71	50.4	0.0504	40.68	10.64	3.82
	30	0.76	0.85	57.6	0.0576	46.49	10.66	4.36
	35	0.89	0.99	46.2	0.0462	37.29	10.67	3.49
	40	1.02	1.13	37.2	0.0372	30.03	10.69	2.81
	45	1.14	1.27	28.7	0.0287	23.17	10.70	2.16
	50	1.27	1.41	12.6	0.0126	10.17	10.72	0.95

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2, 3 y 4.

Esfuerzo Prom. = 4.58

## Ensaye a Compresión Simple

Arcilla con 8% de cal (14 días)

	Deformaciones			Esfuerzo				
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon = \delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c = A_o / (1 - e)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Especímen 1	5	0.13	0.14	2.1	0.0021	1.70	10.58	0.16
	10	0.25	0.28	9.6	0.0096	7.75	10.60	0.73
	15	0.38	0.42	19.8	0.0198	15.98	10.61	1.51
	20	0.51	0.56	28.4	0.0284	22.92	10.63	2.16
	25	0.64	0.71	35.2	0.0352	28.41	10.64	2.67
	30	0.76	0.85	42.4	0.0424	34.23	10.66	3.21
	35	0.89	0.99	48.2	0.0482	38.91	10.67	3.65
	40	1.02	1.13	40.4	0.0404	32.61	10.69	3.05
	45	1.14	1.27	30.1	0.0301	24.30	10.70	2.27
	50	1.27	1.41	23.5	0.0235	18.97	10.72	1.77
Especímen 2	5	0.13	0.14	8.7	0.0087	7.02	10.58	0.66
	10	0.25	0.28	17.4	0.0174	14.05	10.60	1.33
	15	0.38	0.42	26.0	0.0260	20.99	10.61	1.98
	20	0.51	0.56	32.3	0.0323	26.07	10.63	2.45
	25	0.64	0.71	38.6	0.0386	31.16	10.64	2.93
	30	0.76	0.85	44.4	0.0444	35.84	10.66	3.36
	35	0.89	0.99	49.4	0.0494	39.88	10.67	3.74
	40	1.02	1.13	41.9	0.0419	33.82	10.69	3.16
	45	1.14	1.27	36.5	0.0365	29.46	10.70	2.75
	50	1.27	1.41	21.1	0.0211	17.03	10.72	1.59
Especímen 3	5	0.13	0.14	5.8	0.0058	4.68	10.58	0.44
	10	0.25	0.28	15.5	0.0155	12.51	10.60	1.18
	15	0.38	0.42	23.4	0.0234	18.89	10.61	1.78
	20	0.51	0.56	30.8	0.0308	24.86	10.63	2.34
	25	0.64	0.71	37.6	0.0376	30.35	10.64	2.85
	30	0.76	0.85	45.1	0.0451	36.40	10.66	3.42
	35	0.89	0.99	51.9	0.0519	41.89	10.67	3.93
	40	1.02	1.13	47.4	0.0474	38.26	10.69	3.58
	45	1.14	1.27	39.4	0.0394	31.80	10.70	2.97
	50	1.27	1.41	28.5	0.0285	23.01	10.72	2.15
Especímen 4	5	0.13	0.14	5.8	0.0058	4.68	10.58	0.44
	10	0.25	0.28	13.1	0.0131	10.57	10.60	1.00
	15	0.38	0.42	21.0	0.0210	16.95	10.61	1.60
	20	0.51	0.56	27.5	0.0275	22.20	10.63	2.09
	25	0.64	0.71	33.5	0.0335	27.04	10.64	2.54
	30	0.76	0.85	39.5	0.0395	31.88	10.66	2.99
	35	0.89	0.99	44.2	0.0442	35.68	10.67	3.34
	40	1.02	1.13	50.7	0.0507	40.93	10.69	3.83
	45	1.14	1.27	34.0	0.0340	27.44	10.70	2.56
	50	1.27	1.41	24.2	0.0242	19.53	10.72	1.82

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2, 3 y 4.

Esfuerzo Prom. = 3.79

## Ensaye a Compresión Simple

Arcilla con 8% de cal (30 días)

	Deformaciones			Esfuerzo				
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon=\delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c=A_o/(1-e)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Especímen 1	5	0.13	0.14	1.8	0.0018	1.45	10.58	0.14
	10	0.25	0.28	3.4	0.0034	2.74	10.60	0.26
	15	0.38	0.42	8.4	0.0084	6.78	10.61	0.64
	20	0.51	0.56	16.3	0.0163	13.16	10.63	1.24
	25	0.64	0.71	23.9	0.0239	19.29	10.64	1.81
	30	0.76	0.85	32.1	0.0321	25.91	10.66	2.43
	35	0.89	0.99	39.7	0.0397	32.05	10.67	3.00
	40	1.02	1.13	47.7	0.0477	38.50	10.69	3.60
	45	1.14	1.27	55.3	0.0553	44.64	10.70	4.17
	50	1.27	1.41	34.7	0.0347	28.01	10.72	2.61
Especímen 2	5	0.13	0.14	9.0	0.0090	7.26	10.58	0.69
	10	0.25	0.28	19.4	0.0194	15.66	10.60	1.48
	15	0.38	0.42	29.4	0.0294	23.73	10.61	2.24
	20	0.51	0.56	37.4	0.0374	30.19	10.63	2.84
	25	0.64	0.71	46.8	0.0468	37.78	10.64	3.55
	30	0.76	0.85	56.0	0.0560	45.20	10.66	4.24
	35	0.89	0.99	46.0	0.0460	37.13	10.67	3.48
	40	1.02	1.13	33.7	0.0337	27.20	10.69	2.55
	45	1.14	1.27	27.2	0.0272	21.96	10.70	2.05
	50	1.27	1.41	19.6	0.0196	15.82	10.72	1.48
Especímen 3	5	0.13	0.14	7.9	0.0079	6.38	10.58	0.60
	10	0.25	0.28	17.6	0.0176	14.21	10.60	1.34
	15	0.38	0.42	27.6	0.0276	22.28	10.61	2.10
	20	0.51	0.56	36.4	0.0364	29.38	10.63	2.76
	25	0.64	0.71	44.7	0.0447	36.08	10.64	3.39
	30	0.76	0.85	52.6	0.0526	42.46	10.66	3.98
	35	0.89	0.99	41.5	0.0415	33.50	10.67	3.14
	40	1.02	1.13	33.0	0.0330	26.64	10.69	2.49
	45	1.14	1.27	25.2	0.0252	20.34	10.70	1.90
	50	1.27	1.41	17.4	0.0174	14.05	10.72	1.31
Especímen 4	5	0.13	0.14	2.9	0.0029	2.34	10.58	0.22
	10	0.25	0.28	6.6	0.0066	5.33	10.60	0.50
	15	0.38	0.42	13.7	0.0137	11.06	10.61	1.04
	20	0.51	0.56	21.1	0.0211	17.03	10.63	1.60
	25	0.64	0.71	28.4	0.0284	22.92	10.64	2.15
	30	0.76	0.85	36.3	0.0363	29.30	10.66	2.75
	35	0.89	0.99	43.6	0.0436	35.19	10.67	3.30
	40	1.02	1.13	51.6	0.0516	41.65	10.69	3.90
	45	1.14	1.27	35.5	0.0355	28.66	10.70	2.68
	50	1.27	1.41	30.3	0.0303	24.46	10.72	2.28

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2, 3 y 4.

Esfuerzo Prom. = 4.07

## Ensaye a Compresión Simple

**Arcilla con 8% de cal (60 días)**

	Deformaciones			Esfuerzo				
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon = \delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c = A_o / (1 - e)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Especimen 1	5	0.13	0.14	3.2	0.0032	2.58	10.58	0.24
	10	0.25	0.28	9.6	0.0096	7.75	10.60	0.73
	15	0.38	0.42	17.2	0.0172	13.88	10.61	1.31
	20	0.51	0.56	24.7	0.0247	19.94	10.63	1.88
	25	0.64	0.71	33.9	0.0339	27.36	10.64	2.57
	30	0.76	0.85	42.9	0.0429	34.63	10.66	3.25
	35	0.89	0.99	52.7	0.0527	42.54	10.67	3.99
	40	1.02	1.13	61.7	0.0617	49.80	10.69	4.66
	45	1.14	1.27	53.6	0.0536	43.27	10.70	4.04
	50	1.27	1.41	43.2	0.0432	34.87	10.72	3.25
Especimen 2	5	0.13	0.14	8.0	0.0080	6.46	10.58	0.61
	10	0.25	0.28	17.2	0.0172	13.88	10.60	1.31
	15	0.38	0.42	26.9	0.0269	21.71	10.61	2.05
	20	0.51	0.56	36.0	0.0360	29.06	10.63	2.73
	25	0.64	0.71	45.1	0.0451	36.40	10.64	3.42
	30	0.76	0.85	54.8	0.0548	44.23	10.66	4.15
	35	0.89	0.99	63.9	0.0639	51.58	10.67	4.83
	40	1.02	1.13	57.3	0.0573	46.25	10.69	4.33
	45	1.14	1.27	54.8	0.0548	44.23	10.70	4.13
	50	1.27	1.41	41.4	0.0414	33.42	10.72	3.12
Especimen 3	5	0.13	0.14	9.2	0.0092	7.43	10.58	0.70
	10	0.25	0.28	18.2	0.0182	14.69	10.60	1.39
	15	0.38	0.42	28.4	0.0284	22.92	10.61	2.16
	20	0.51	0.56	38.4	0.0384	31.00	10.63	2.92
	25	0.64	0.71	48.8	0.0488	39.39	10.64	3.70
	30	0.76	0.85	59.1	0.0591	47.71	10.66	4.48
	35	0.89	0.99	69.8	0.0698	56.34	10.67	5.28
	40	1.02	1.13	55.6	0.0556	44.88	10.69	4.20
	45	1.14	1.27	40.6	0.0406	32.77	10.70	3.06
	50	1.27	1.41	30.3	0.0303	24.46	10.72	2.28
Especimen 4	5	0.13	0.14	2.2	0.0022	1.78	10.58	0.17
	10	0.25	0.28	5.1	0.0051	4.12	10.60	0.39
	15	0.38	0.42	10.8	0.0108	8.72	10.61	0.82
	20	0.51	0.56	17.2	0.0172	13.88	10.63	1.31
	25	0.64	0.71	24.1	0.0241	19.45	10.64	1.83
	30	0.76	0.85	33.5	0.0335	27.04	10.66	2.54
	35	0.89	0.99	42.9	0.0429	34.63	10.67	3.24
	40	1.02	1.13	53.1	0.0531	42.86	10.69	4.01
	45	1.14	1.27	63.4	0.0634	51.18	10.70	4.78
	50	1.27	1.41	39.4	0.0394	31.80	10.72	2.97

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2, 3 y 4.

Esfuerzo Prom. = 4.89

## Ensaye a Compresión Simple

### Arcilla con 10% de cal (7 días)

	Deformaciones			Esfuerzo				
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon = \delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c = A_o/(1-\epsilon)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Especímen 1	5	0.13	0.14	5.5	0.0055	4.44	10.58	0.42
	10	0.25	0.28	14.6	0.0146	11.79	10.60	1.11
	15	0.38	0.42	22.8	0.0228	18.40	10.61	1.73
	20	0.51	0.56	30.4	0.0304	24.54	10.63	2.31
	25	0.64	0.71	37.4	0.0374	30.19	10.64	2.84
	30	0.76	0.85	44.7	0.0447	36.08	10.66	3.39
	35	0.89	0.99	50.5	0.0505	40.76	10.67	3.82
	40	1.02	1.13	54.8	0.0548	44.23	10.69	4.14
	45	1.14	1.27	56.3	0.0563	45.45	10.70	4.25
	50	1.27	1.41	39.0	0.0390	31.48	10.72	2.94
Especímen 2	5	0.13	0.14	3.4	0.0034	2.74	10.58	0.26
	10	0.25	0.28	11.2	0.0112	9.04	10.60	0.85
	15	0.38	0.42	18.5	0.0185	14.93	10.61	1.41
	20	0.51	0.56	26.2	0.0262	21.15	10.63	1.99
	25	0.64	0.71	33.6	0.0336	27.12	10.64	2.55
	30	0.76	0.85	40.3	0.0403	32.53	10.66	3.05
	35	0.89	0.99	46.2	0.0462	37.29	10.67	3.49
	40	1.02	1.13	49.3	0.0493	39.79	10.69	3.72
	45	1.14	1.27	35.1	0.0351	28.33	10.70	2.65
	50	1.27	1.41	29.5	0.0295	23.81	10.72	2.22
Especímen 3	5	0.13	0.14	8.8	0.0088	7.10	10.58	0.67
	10	0.25	0.28	18.5	0.0185	14.93	10.60	1.41
	15	0.38	0.42	26.7	0.0267	21.55	10.61	2.03
	20	0.51	0.56	35.0	0.0350	28.25	10.63	2.66
	25	0.64	0.71	41.3	0.0413	33.34	10.64	3.13
	30	0.76	0.85	47.5	0.0475	38.34	10.66	3.60
	35	0.89	0.99	52.4	0.0524	42.30	10.67	3.96
	40	1.02	1.13	53.9	0.0539	43.51	10.69	4.07
	45	1.14	1.27	48.2	0.0482	38.91	10.70	3.64
	50	1.27	1.41	24.3	0.0243	19.61	10.72	1.83
Especímen 4	5	0.13	0.14	7.5	0.0075	6.05	10.58	0.57
	10	0.25	0.28	16.5	0.0165	13.32	10.60	1.26
	15	0.38	0.42	23.3	0.0233	18.81	10.61	1.77
	20	0.51	0.56	32.5	0.0325	26.23	10.63	2.47
	25	0.64	0.71	38.9	0.0389	31.40	10.64	2.95
	30	0.76	0.85	45.1	0.0451	36.40	10.66	3.42
	35	0.89	0.99	49.0	0.0490	39.55	10.67	3.71
	40	1.02	1.13	39.3	0.0393	31.72	10.69	2.97
	45	1.14	1.27	30.0	0.0300	24.22	10.70	2.26
	50	1.27	1.41	24.4	0.0244	19.70	10.72	1.84

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2, 3 y 4.

Esfuerzo Prom. = 3.94

## Ensaye a Compresión Simple

### Arcilla con 10% de cal (14 días)

	Deformaciones			Esfuerzo				
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon = \delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c = A_o / (1 - e)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Especímen 1	5	0.13	0.14	16.7	0.0167	13.48	10.58	1.27
	10	0.25	0.28	32.9	0.0329	26.56	10.60	2.51
	15	0.38	0.42	47.6	0.0476	38.42	10.61	3.62
	20	0.51	0.56	59.2	0.0592	47.79	10.63	4.50
	25	0.64	0.71	68.4	0.0684	55.21	10.64	5.19
	30	0.76	0.85	78.0	0.0780	62.96	10.66	5.91
	35	0.89	0.99	85.1	0.0851	68.69	10.67	6.44
	40	1.02	1.13	25.3	0.0253	20.42	10.69	1.91
	45	1.14	1.27	17.7	0.0177	14.29	10.70	1.33
	50	1.27	1.41	10.2	0.0102	8.23	10.72	0.77
Especímen 2	5	0.13	0.14	5.5	0.0055	4.44	10.58	0.42
	10	0.25	0.28	20.8	0.0208	16.79	10.60	1.58
	15	0.38	0.42	34.9	0.0349	28.17	10.61	2.65
	20	0.51	0.56	45.6	0.0456	36.81	10.63	3.46
	25	0.64	0.71	55.7	0.0557	44.96	10.64	4.22
	30	0.76	0.85	63.3	0.0633	51.10	10.66	4.79
	35	0.89	0.99	69.4	0.0694	56.02	10.67	5.25
	40	1.02	1.13	74.1	0.0741	59.81	10.69	5.60
	45	1.14	1.27	57.8	0.0578	46.66	10.70	4.36
	50	1.27	1.41	51.6	0.0516	41.65	10.72	3.89
Especímen 3	5	0.13	0.14	15.2	0.0152	12.27	10.58	1.16
	10	0.25	0.28	27.8	0.0278	22.44	10.60	2.12
	15	0.38	0.42	41.0	0.0410	33.10	10.61	3.12
	20	0.51	0.56	52.7	0.0527	42.54	10.63	4.00
	25	0.64	0.71	61.8	0.0618	49.88	10.64	4.69
	30	0.76	0.85	70.4	0.0704	56.83	10.66	5.33
	35	0.89	0.99	78.0	0.0780	62.96	10.67	5.90
	40	1.02	1.13	67.9	0.0679	54.81	10.69	5.13
	45	1.14	1.27	59.9	0.0599	48.35	10.70	4.52
	50	1.27	1.41	48.1	0.0481	38.83	10.72	3.62
Especímen 4	5	0.13	0.14	11.6	0.0116	9.36	10.58	0.88
	10	0.25	0.28	22.3	0.0223	18.00	10.60	1.70
	15	0.38	0.42	31.9	0.0319	25.75	10.61	2.43
	20	0.51	0.56	42.5	0.0425	34.31	10.63	3.23
	25	0.64	0.71	50.2	0.0502	40.52	10.64	3.81
	30	0.76	0.85	56.0	0.0560	45.20	10.66	4.24
	35	0.89	0.99	58.2	0.0582	46.98	10.67	4.40
	40	1.02	1.13	52.1	0.0521	42.06	10.69	3.93
	45	1.14	1.27	39.9	0.0399	32.21	10.70	3.01
	50	1.27	1.41	35.8	0.0358	28.90	10.72	2.70

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2, 3 y 4.

Esfuerzo Prom. = 5.59

## Ensaye a Compresión Simple

### Arcilla con 10% de cal (30 días)

	Deformaciones			Esfuerzo				
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon = \delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c = A_o / (1 - e)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Especímen 1	5	0.13	0.14	5.3	0.0053	4.28	10.58	0.40
	10	0.25	0.28	16.6	0.0166	13.40	10.60	1.26
	15	0.38	0.42	29.4	0.0294	23.73	10.61	2.24
	20	0.51	0.56	43.2	0.0432	34.87	10.63	3.28
	25	0.64	0.71	53.9	0.0539	43.51	10.64	4.09
	30	0.76	0.85	68.4	0.0684	55.21	10.66	5.18
	35	0.89	0.99	80.1	0.0801	64.66	10.67	6.06
	40	1.02	1.13	65.8	0.0658	53.11	10.69	4.97
	45	1.14	1.27	52.3	0.0523	42.22	10.70	3.94
50	1.27	1.41	46.1	0.0461	37.21	10.72	3.47	
Especímen 2	5	0.13	0.14	4.3	0.0043	3.47	10.58	0.33
	10	0.25	0.28	12.8	0.0128	10.33	10.60	0.98
	15	0.38	0.42	26.7	0.0267	21.55	10.61	2.03
	20	0.51	0.56	42.2	0.0422	34.06	10.63	3.21
	25	0.64	0.71	56.6	0.0566	45.69	10.64	4.29
	30	0.76	0.85	70.7	0.0707	57.07	10.66	5.35
	35	0.89	0.99	85.4	0.0854	68.93	10.67	6.46
	40	1.02	1.13	78.0	0.0780	62.96	10.69	5.89
	45	1.14	1.27	60.5	0.0605	48.84	10.70	4.56
50	1.27	1.41	53.4	0.0534	43.10	10.72	4.02	
Especímen 3	5	0.13	0.14	2.7	0.0027	2.18	10.58	0.21
	10	0.25	0.28	3.4	0.0034	2.74	10.60	0.26
	15	0.38	0.42	8.5	0.0085	6.86	10.61	0.65
	20	0.51	0.56	16.6	0.0166	13.40	10.63	1.26
	25	0.64	0.71	29.4	0.0294	23.73	10.64	2.23
	30	0.76	0.85	43.8	0.0438	35.36	10.66	3.32
	35	0.89	0.99	58.2	0.0582	46.98	10.67	4.40
	40	1.02	1.13	72.6	0.0726	58.60	10.69	5.48
	45	1.14	1.27	54.9	0.0549	44.32	10.70	4.14
50	1.27	1.41	45.8	0.0458	36.97	10.72	3.45	
Especímen 4	5	0.13	0.14	5.9	0.0059	4.76	10.58	0.45
	10	0.25	0.28	18.7	0.0187	15.09	10.60	1.42
	15	0.38	0.42	32.0	0.0320	25.83	10.61	2.43
	20	0.51	0.56	45.4	0.0454	36.65	10.63	3.45
	25	0.64	0.71	57.1	0.0571	46.09	10.64	4.33
	30	0.76	0.85	68.8	0.0688	55.54	10.66	5.21
	35	0.89	0.99	80.1	0.0801	64.66	10.67	6.06
	40	1.02	1.13	64.7	0.0647	52.23	10.69	4.89
	45	1.14	1.27	50.8	0.0508	41.01	10.70	3.83
50	1.27	1.41	40.5	0.0405	32.69	10.72	3.05	

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2, 3 y 4.

Esfuerzo Prom. = 6.02

## Ensaye a Compresión Simple

**Arcilla con 10% de cal (60 días)**

Deformaciones			Esfuerzo					
Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon = \delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c = A_o / (1 - e)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	
			10.57					
Especimen 1	5	0.13	0.14	9.9	0.0099	7.99	10.58	0.76
	10	0.25	0.28	18.7	0.0187	15.09	10.60	1.42
	15	0.38	0.42	29.6	0.0296	23.89	10.61	2.25
	20	0.51	0.56	42.8	0.0428	34.55	10.63	3.25
	25	0.64	0.71	55.9	0.0559	45.12	10.64	4.24
	30	0.76	0.85	69.7	0.0697	56.26	10.66	5.28
	35	0.89	0.99	81.2	0.0812	65.54	10.67	6.14
	40	1.02	1.13	67.6	0.0676	54.57	10.69	5.11
	45	1.14	1.27	61.5	0.0615	49.64	10.70	4.64
	50	1.27	1.41	48.7	0.0487	39.31	10.72	3.67
Especimen 2	5	0.13	0.14	4.4	0.0044	3.55	10.58	0.34
	10	0.25	0.28	9.9	0.0099	7.99	10.60	0.75
	15	0.38	0.42	20.9	0.0209	16.87	10.61	1.59
	20	0.51	0.56	34.0	0.0340	27.44	10.63	2.58
	25	0.64	0.71	48.3	0.0483	38.99	10.64	3.66
	30	0.76	0.85	59.3	0.0593	47.87	10.66	4.49
	35	0.89	0.99	72.4	0.0724	58.44	10.67	5.48
	40	1.02	1.13	83.4	0.0834	67.32	10.69	6.30
	45	1.14	1.27	64.0	0.0640	51.66	10.70	4.83
	50	1.27	1.41	49.1	0.0491	39.63	10.72	3.70
Especimen 3	5	0.13	0.14	3.2	0.0032	2.58	10.58	0.24
	10	0.25	0.28	10.5	0.0105	8.48	10.60	0.80
	15	0.38	0.42	18.1	0.0181	14.61	10.61	1.38
	20	0.51	0.56	27.5	0.0275	22.20	10.63	2.09
	25	0.64	0.71	37.4	0.0374	30.19	10.64	2.84
	30	0.76	0.85	49.4	0.0494	39.88	10.66	3.74
	35	0.89	0.99	62.0	0.0620	50.05	10.67	4.69
	40	1.02	1.13	75.2	0.0752	60.70	10.69	5.68
	45	1.14	1.27	61.0	0.0610	49.24	10.70	4.60
	50	1.27	1.41	51.3	0.0513	41.41	10.72	3.86
Especimen 4	5	0.13	0.14	11.5	0.0115	9.28	10.58	0.88
	10	0.25	0.28	23.6	0.0236	19.05	10.60	1.80
	15	0.38	0.42	36.8	0.0368	29.70	10.61	2.80
	20	0.51	0.56	48.3	0.0483	38.99	10.63	3.67
	25	0.64	0.71	61.5	0.0615	49.64	10.64	4.66
	30	0.76	0.85	77.0	0.0770	62.15	10.66	5.83
	35	0.89	0.99	70.4	0.0704	56.83	10.67	5.32
	40	1.02	1.13	55.9	0.0559	45.12	10.69	4.22
	45	1.14	1.27	41.4	0.0414	33.42	10.70	3.12
	50	1.27	1.41	37.0	0.0370	29.87	10.72	2.79

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2, 3 y 4.

Esfuerzo Prom. = 5.99

## Apéndice J

### FORMATOS DE LAS PRUEBAS DE COMPRESION SIMPLE DE PROBETAS REMOLDEADAS ARCILLA-CAL 8% CON ENERGÍA DE COMPACTACIÓN DE 15 kg-cm/cm<sup>3</sup>.

#### Ensayo a Compresión Simple

##### Arcilla con 8% de cal (7 días)

	Deformaciones			Esfuerzo				
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon = \delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c = A_o/(1-e)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Especímen 1	5	0.13	0.14	87.0	0.1740	70.23	10.58	6.64
	10	0.25	0.28	102.0	0.2040	82.33	10.60	7.77
	15	0.38	0.42	115.0	0.2300	92.83	10.61	8.75
	20	0.51	0.56	127.0	0.2540	102.51	10.63	9.65
	25	0.64	0.71	137.0	0.2740	110.59	10.64	10.39
	30	0.76	0.85	149.0	0.2980	120.27	10.66	11.29
	35	0.89	0.99	158.0	0.3160	127.54	10.67	11.95
	40	1.02	1.13	168.0	0.3360	135.61	10.69	12.69
	45	1.14	1.27	176.0	0.3520	142.07	10.70	13.27
	50	1.27	1.41	178.0	0.3560	143.68	10.72	13.41
	55	1.40	1.55	113.0	0.2260	91.21	10.73	8.50
60	1.52	1.69	103.0	0.2060	83.14	10.75	7.73	
Especímen 2	5	0.13	0.14	81.0	0.1620	65.38	10.58	6.18
	10	0.25	0.28	96.0	0.1920	77.49	10.60	7.31
	15	0.38	0.42	110.5	0.2210	89.20	10.61	8.41
	20	0.51	0.56	123.0	0.2460	99.29	10.63	9.34
	25	0.64	0.71	135.0	0.2700	108.97	10.64	10.24
	30	0.76	0.85	146.0	0.2920	117.85	10.66	11.06
	35	0.89	0.99	156.0	0.3120	125.92	10.67	11.80
	40	1.02	1.13	166.0	0.3320	134.00	10.69	12.54
	45	1.14	1.27	174.5	0.3490	140.86	10.70	13.16
	50	1.27	1.41	178.0	0.3560	143.68	10.72	13.41
	55	1.40	1.55	173.0	0.3460	139.65	10.73	13.01
60	1.52	1.69	103.0	0.2060	83.14	10.75	7.73	
Especímen 3	5	0.13	0.14	85.0	0.1700	68.61	10.58	6.48
	10	0.25	0.28	96.0	0.1920	77.49	10.60	7.31
	15	0.38	0.42	108.0	0.2160	87.18	10.61	8.22
	20	0.51	0.56	118.0	0.2360	95.25	10.63	8.96
	25	0.64	0.71	128.0	0.2560	103.32	10.64	9.71
	30	0.76	0.85	138.0	0.2760	111.39	10.66	10.45
	35	0.89	0.99	152.0	0.3040	122.69	10.67	11.50
	40	1.02	1.13	155.0	0.3100	125.12	10.69	11.71
	45	1.14	1.27	158.0	0.3160	127.54	10.70	11.92
	50	1.27	1.41	123.0	0.2460	99.29	10.72	9.26
	55	1.40	1.55	92.0	0.1840	74.26	10.73	6.92
60	1.52	1.69	82.5	0.1650	66.59	10.75	6.20	
Especímen 4	5	0.13	0.14	86.0	0.1720	69.42	10.58	6.56
	10	0.25	0.28	97.0	0.1940	78.30	10.60	7.39
	15	0.38	0.42	109.0	0.2180	87.98	10.61	8.29
	20	0.51	0.56	120.0	0.2400	96.86	10.63	9.11
	25	0.64	0.71	131.0	0.2620	105.74	10.64	9.94
	30	0.76	0.85	141.0	0.2820	113.82	10.66	10.68
	35	0.89	0.99	151.0	0.3020	121.89	10.67	11.42
	40	1.02	1.13	157.5	0.3150	127.13	10.69	11.90
	45	1.14	1.27	154.5	0.3090	124.71	10.70	11.65
	50	1.27	1.41					
	55	1.40	1.55					
60	1.52	1.69						

El Promedio se realizó de los especímenes 1 y 2.

Esfuerzo Prom. = 13.41

## Ensaye a Compresión Simple

Arcilla con 8% de cal (14 días)

	Deformaciones			Esfuerzo				
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon=\delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c=A_o/(1-e)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Especímen 1	5	0.13	0.14	151.5	0.3030	122.29	10.58	11.56
	10	0.25	0.28	167.0	0.3340	134.80	10.60	12.72
	15	0.38	0.42	188.0	0.3760	151.75	10.61	14.30
	20	0.51	0.56	206.0	0.4120	166.28	10.63	15.65
	25	0.64	0.71	220.0	0.4400	177.58	10.64	16.69
	30	0.76	0.85	235.0	0.4700	189.69	10.66	17.80
	35	0.89	0.99	247.0	0.4940	199.38	10.67	18.68
	40	1.02	1.13	260.0	0.5200	209.87	10.69	19.64
	45	1.14	1.27	269.0	0.5380	217.14	10.70	20.29
	50	1.27	1.41	274.5	0.5490	221.58	10.72	20.67
	55	1.40	1.55	269.0	0.5380	217.14	10.73	20.23
60	1.52	1.69	177.0	0.3540	142.87	10.75	13.29	
Especímen 2	5	0.13	0.14	165.0	0.3300	133.19	10.58	12.59
	10	0.25	0.28	183.0	0.3660	147.72	10.60	13.94
	15	0.38	0.42	201.0	0.4020	162.25	10.61	15.29
	20	0.51	0.56	214.0	0.4280	172.74	10.63	16.26
	25	0.64	0.71	227.0	0.4540	183.23	10.64	17.22
	30	0.76	0.85	239.0	0.4780	192.92	10.66	18.10
	35	0.89	0.99	249.5	0.4990	201.40	10.67	18.87
	40	1.02	1.13	255.0	0.5100	205.84	10.69	19.26
	45	1.14	1.27	249.0	0.4980	200.99	10.70	18.78
	50	1.27	1.41	230.0	0.4600	185.66	10.72	17.32
	55	1.40	1.55	227.5	0.4550	183.64	10.73	17.11
60	1.52	1.69	227.0	0.4540	183.23	10.75	17.05	
Especímen 3	5	0.13	0.14	159.0	0.3180	128.34	10.58	12.13
	10	0.25	0.28	179.0	0.3580	144.49	10.60	13.64
	15	0.38	0.42	195.5	0.3910	157.81	10.61	14.87
	20	0.51	0.56	211.0	0.4220	170.32	10.63	16.03
	25	0.64	0.71	225.0	0.4500	181.62	10.64	17.07
	30	0.76	0.85	240.5	0.4810	194.13	10.66	18.22
	35	0.89	0.99	254.5	0.5090	205.43	10.67	19.25
	40	1.02	1.13	267.0	0.5340	215.52	10.69	20.17
	45	1.14	1.27	276.0	0.5520	222.79	10.70	20.82
	50	1.27	1.41	281.5	0.5630	227.23	10.72	21.20
	55	1.40	1.55	275.0	0.5500	221.98	10.73	20.68
60	1.52	1.69	253.0	0.5060	204.22	10.75	19.00	
Especímen 4	5	0.13	0.14	159.0	0.3180	128.34	10.58	12.13
	10	0.25	0.28	174.0	0.3480	140.45	10.60	13.25
	15	0.38	0.42	190.5	0.3810	153.77	10.61	14.49
	20	0.51	0.56	204.0	0.4080	164.67	10.63	15.50
	25	0.64	0.71	216.5	0.4330	174.76	10.64	16.42
	30	0.76	0.85	229.0	0.4580	184.85	10.66	17.35
	35	0.89	0.99	238.5	0.4770	192.52	10.67	18.04
	40	1.02	1.13	252.0	0.5040	203.41	10.69	19.03
	45	1.14	1.27	265.0	0.5300	213.91	10.70	19.99
	50	1.27	1.41	274.0	0.5480	221.17	10.72	20.64
	55	1.40	1.55	279.5	0.5590	225.61	10.73	21.02
60	1.52	1.69	277.0	0.5540	223.59	10.75	20.80	

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2, 3 y 4.

Esfuerzo Prom. = 20.54

## Ensayo a Compresión Simple

**Arcilla con 8% de cal (30 días)**

	Deformaciones			Esfuerzo					
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon = \delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c = A_o / (1 - e)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	
Especímen 1	5	0.13	0.14	222.5	0.4450	179.60	10.58	16.97	
	10	0.25	0.28	225.5	0.4510	182.02	10.60	17.18	
	15	0.38	0.42	235.0	0.4700	189.69	10.61	17.88	
	20	0.51	0.56	250.0	0.5000	201.80	10.63	18.99	
	25	0.64	0.71	264.5	0.5290	213.50	10.64	20.06	
	30	0.76	0.85	280.0	0.5600	226.02	10.66	21.21	
	35	0.89	0.99	294.5	0.5890	237.72	10.67	22.27	
	40	1.02	1.13	309.5	0.6190	249.83	10.69	23.38	
	45	1.14	1.27	324.0	0.6480	261.53	10.70	24.44	
	50	1.27	1.41	340.0	0.6800	274.45	10.72	25.61	
	55	1.40	1.55	352.0	0.7040	284.13	10.73	26.47	
	60	1.52	1.69	364.0	0.7280	293.82	10.75	27.33	
	65	1.65	1.83	362.5	0.7250	292.61	10.76	27.18	
	70	1.78	1.98	360.5	0.7210	291.00	10.78	26.99	
75	1.91	2.12	350.5	0.7010	282.92	10.80	26.21		
Especímen 2	5	0.13	0.14	236.0	0.4720	190.50	10.58	18.00	
	10	0.25	0.28	256.0	0.5120	206.64	10.60	19.50	
	15	0.38	0.42	275.0	0.5500	221.98	10.61	20.92	
	20	0.51	0.56	290.0	0.5800	234.09	10.63	22.03	
	25	0.64	0.71	308.0	0.6160	248.62	10.64	23.36	
	30	0.76	0.85	324.0	0.6480	261.53	10.66	24.54	
	35	0.89	0.99	340.0	0.6800	274.45	10.67	25.72	
	40	1.02	1.13	353.0	0.7060	284.94	10.69	26.66	
	45	1.14	1.27	362.0	0.7240	292.21	10.70	27.30	
	50	1.27	1.41	354.0	0.7080	285.75	10.72	26.66	
	55	1.40	1.55	269.0	0.5380	217.14	10.73	20.23	
	60	1.52	1.69	241.0	0.4820	194.54	10.75	18.10	
	Especímen 3	5	0.13	0.14	234.0	0.4680	188.88	10.58	17.85
		10	0.25	0.28	252.5	0.5050	203.82	10.60	19.23
15		0.38	0.42	271.5	0.5430	219.15	10.61	20.65	
20		0.51	0.56	288.0	0.5760	232.47	10.63	21.88	
25		0.64	0.71	304.0	0.6080	245.39	10.64	23.06	
30		0.76	0.85	319.0	0.6380	257.50	10.66	24.16	
35		0.89	0.99	335.0	0.6700	270.41	10.67	25.34	
40		1.02	1.13	348.5	0.6970	281.31	10.69	26.32	
45		1.14	1.27	359.0	0.7180	289.78	10.70	27.08	
50		1.27	1.41	360.0	0.7200	290.59	10.72	27.11	
55		1.40	1.55	349.0	0.6980	281.71	10.73	26.25	
60		1.52	1.69	254.0	0.5080	205.03	10.75	19.07	
Especímen 4		5	0.13	0.14	224.5	0.4490	181.22	10.58	17.13
		10	0.25	0.28	231.5	0.4630	186.87	10.60	17.63
	15	0.38	0.42	245.0	0.4900	197.76	10.61	18.64	
	20	0.51	0.56	259.0	0.5180	209.06	10.63	19.67	
	25	0.64	0.71	273.0	0.5460	220.37	10.64	20.71	
	30	0.76	0.85	288.0	0.5760	232.47	10.66	21.81	
	35	0.89	0.99	302.0	0.6040	243.77	10.67	22.84	
	40	1.02	1.13	317.0	0.6340	255.88	10.69	23.94	
	45	1.14	1.27	331.5	0.6630	267.59	10.70	25.00	
	50	1.27	1.41	346.0	0.6920	279.29	10.72	26.06	
	55	1.40	1.55	358.0	0.7160	288.98	10.73	26.92	
	60	1.52	1.69	365.0	0.7300	294.63	10.75	27.41	
	70	1.78	1.98	359.0	0.7180	289.78	10.78	26.88	
	75	1.91	2.12	274.0	0.5480	221.17	10.80	20.49	

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2, 3 y 4.

Esfuerzo Prom. = 27.29

## Ensaye a Compresión Simple

### Arcilla con 8% de cal (60 días)

	Deformaciones			Esfuerzo				
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon = \delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c = A_o / (1 - e)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Especímen 1	5	0.13	0.14	299.0	0.5980	241.35	10.58	22.81
	10	0.25	0.28	311.0	0.6220	251.04	10.60	23.69
	15	0.38	0.42	325.0	0.6500	262.34	10.61	24.72
	20	0.51	0.56	339.0	0.6780	273.64	10.63	25.75
	25	0.64	0.71	356.0	0.7120	287.36	10.64	27.00
	30	0.76	0.85	373.0	0.7460	301.09	10.66	28.25
	35	0.89	0.99	391.0	0.7820	315.62	10.67	29.57
	40	1.02	1.13	408.0	0.8160	329.34	10.69	30.81
	45	1.14	1.27	425.0	0.8500	343.06	10.70	32.05
	50	1.27	1.41	442.0	0.8840	356.78	10.72	33.29
55	1.40	1.55	462.0	0.9240	372.93	10.73	34.74	
60	1.52	1.69	475.0	0.9500	383.42	10.75	35.67	
65	1.65	1.83	485.0	0.9700	391.49	10.76	36.37	
70	1.78	1.98	478.0	0.9560	385.84	10.78	35.79	
Especímen 2	5	0.13	0.14	308.0	0.6160	248.62	10.58	23.49
	10	0.25	0.28	325.0	0.6500	262.34	10.60	24.76
	15	0.38	0.42	343.0	0.6860	276.87	10.61	26.09
	20	0.51	0.56	360.0	0.7200	290.59	10.63	27.34
	25	0.64	0.71	377.0	0.7540	304.31	10.64	28.60
	30	0.76	0.85	395.0	0.7900	318.84	10.66	29.92
	35	0.89	0.99	412.0	0.8240	332.57	10.67	31.16
	40	1.02	1.13	430.0	0.8600	347.10	10.69	32.48
	45	1.14	1.27	446.0	0.8920	360.01	10.70	33.64
	50	1.27	1.41	463.0	0.9260	373.73	10.72	34.87
55	1.40	1.55	478.0	0.9560	385.84	10.73	35.95	
60	1.52	1.69	486.0	0.9720	392.30	10.75	36.50	
Especímen 3	5	0.13	0.14	310.0	0.6200	250.23	10.58	23.65
	10	0.25	0.28	327.0	0.6540	263.95	10.60	24.91
	15	0.38	0.42	346.0	0.6920	279.29	10.61	26.32
	20	0.51	0.56	364.5	0.7290	294.22	10.63	27.69
	25	0.64	0.71	384.0	0.7680	309.96	10.64	29.13
	30	0.76	0.85	403.0	0.8060	325.30	10.66	30.52
	35	0.89	0.99	423.0	0.8460	341.45	10.67	31.99
	40	1.02	1.13	440.0	0.8800	355.17	10.69	33.23
	45	1.14	1.27	458.0	0.9160	369.70	10.70	34.54
	50	1.27	1.41	473.0	0.9460	381.81	10.72	35.62
55	1.40	1.55	483.0	0.9660	389.88	10.73	36.32	
60	1.52	1.69	473.0	0.9460	381.81	10.75	35.52	
Especímen 4	5	0.13	0.14	297.0	0.5940	239.74	10.58	22.66
	10	0.25	0.28	302.5	0.6050	244.18	10.60	23.04
	15	0.38	0.42	313.0	0.6260	252.65	10.61	23.81
	20	0.51	0.56	325.0	0.6500	262.34	10.63	24.69
	25	0.64	0.71	338.0	0.6760	272.83	10.64	25.64
	30	0.76	0.85	355.0	0.7100	286.56	10.66	26.89
	35	0.89	0.99	373.0	0.7460	301.09	10.67	28.21
	40	1.02	1.13	392.0	0.7840	316.42	10.69	29.61
	45	1.14	1.27	411.0	0.8220	331.76	10.70	31.00
	50	1.27	1.41	428.0	0.8560	345.48	10.72	32.23
	55	1.40	1.55	445.0	0.8900	359.20	10.73	33.47
	60	1.52	1.69	464.0	0.9280	374.54	10.75	34.84
	65	1.65	1.83	481.0	0.9620	388.26	10.76	36.07
70	1.78	1.98	497.0	0.9940	401.18	10.78	37.22	
75	1.91	2.12	508.0	1.0160	410.06	10.80	37.98	
80	2.03	2.26	509.0	1.0180	410.86	10.81	38.00	

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2 y 3.

Esfuerzo Prom. = 36.40

## Apéndice K

### FORMATOS DE LAS PRUEBAS DE COMPRESION SIMPLE DE PROBETAS REMOLDEADAS ARCILLA-CAL 8% CON ENERGÍA DE COMPACTACIÓN DE 18 kg-cm/cm<sup>3</sup>.

#### Ensayo a Compresión Simple

##### Arcilla con 8% de cal (7 días)

	Deformaciones			Esfuerzo				
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon = \delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c = A_o/(1-e)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Especímen 1	5	0.13	0.14	104.0	0.2080	83.95	10.58	7.93
	10	0.25	0.28	119.0	0.2380	96.06	10.60	9.06
	15	0.38	0.42	132.0	0.2640	106.55	10.61	10.04
	20	0.51	0.56	144.0	0.2880	116.24	10.63	10.94
	25	0.64	0.71	154.0	0.3080	124.31	10.64	11.68
	30	0.76	0.85	166.0	0.3320	134.00	10.66	12.57
	35	0.89	0.99	175.0	0.3500	141.26	10.67	13.24
	40	1.02	1.13	185.0	0.3700	149.33	10.69	13.97
	45	1.14	1.27	193.0	0.3860	155.79	10.70	14.56
	50	1.27	1.41	195.0	0.3900	157.40	10.72	14.69
	55	1.40	1.55	130.0	0.2600	104.94	10.73	9.78
60	1.52	1.69	120.0	0.2400	96.86	10.75	9.01	
Especímen 2	5	0.13	0.14	98.0	0.1960	79.11	10.58	7.48
	10	0.25	0.28	113.0	0.2260	91.21	10.60	8.61
	15	0.38	0.42	127.5	0.2550	102.92	10.61	9.70
	20	0.51	0.56	140.0	0.2800	113.01	10.63	10.63
	25	0.64	0.71	152.0	0.3040	122.69	10.64	11.53
	30	0.76	0.85	163.0	0.3260	131.57	10.66	12.35
	35	0.89	0.99	173.0	0.3460	139.65	10.67	13.08
	40	1.02	1.13	183.0	0.3660	147.72	10.69	13.82
	45	1.14	1.27	191.5	0.3830	154.58	10.70	14.44
	50	1.27	1.41	195.0	0.3900	157.40	10.72	14.69
	55	1.40	1.55	173.0	0.3460	139.65	10.73	13.01
60	1.52	1.69	120.0	0.2400	96.86	10.75	9.01	
Especímen 3	5	0.13	0.14	102.0	0.2040	82.33	10.58	7.78
	10	0.25	0.28	113.0	0.2260	91.21	10.60	8.61
	15	0.38	0.42	125.0	0.2500	100.90	10.61	9.51
	20	0.51	0.56	135.0	0.2700	108.97	10.63	10.25
	25	0.64	0.71	145.0	0.2900	117.04	10.64	11.00
	30	0.76	0.85	155.0	0.3100	125.12	10.66	11.74
	35	0.89	0.99	169.0	0.3380	136.42	10.67	12.78
	40	1.02	1.13	172.0	0.3440	138.84	10.69	12.99
	45	1.14	1.27	175.0	0.3500	141.26	10.70	13.20
	50	1.27	1.41	140.0	0.2800	113.01	10.72	10.54
	55	1.40	1.55	109.0	0.2180	87.98	10.73	8.20
60	1.52	1.69	99.5	0.1990	80.32	10.75	7.47	
Especímen 4	5	0.13	0.14	103.0	0.2060	83.14	10.58	7.86
	10	0.25	0.28	114.0	0.2280	92.02	10.60	8.68
	15	0.38	0.42	126.0	0.2520	101.71	10.61	9.58
	20	0.51	0.56	137.0	0.2740	110.59	10.63	10.41
	25	0.64	0.71	148.0	0.2960	119.47	10.64	11.23
	30	0.76	0.85	158.0	0.3160	127.54	10.66	11.97
	35	0.89	0.99	168.0	0.3360	135.61	10.67	12.71
	40	1.02	1.13	174.5	0.3490	140.86	10.69	13.18
	45	1.14	1.27	171.5	0.3430	138.43	10.70	12.93
	50	1.27	1.41	168.0	0.3360	135.61	10.72	12.65
	55	1.40	1.55	142.0	0.2840	114.62	10.73	10.68
60	1.52	1.69	116.0	0.2320	93.64	10.75	8.71	

El Promedio se realizó de los especímenes 1 y 2.

Esfuerzo Prom. = 14.69

## Ensayo a Compresión Simple

### Arcilla con 8% de cal (14 días)

	Deformaciones			Esfuerzo				
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon = \delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c = A_o / (1 - e)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Espécimen 1	5	0.13	0.14	183.5	0.3670	148.12	10.58	14.00
	10	0.25	0.28	199.0	0.3980	160.63	10.60	15.16
	15	0.38	0.42	220.0	0.4400	177.58	10.61	16.73
	20	0.51	0.56	238.0	0.4760	192.11	10.63	18.08
	25	0.64	0.71	252.0	0.5040	203.41	10.64	19.11
	30	0.76	0.85	267.0	0.5340	215.52	10.66	20.22
	35	0.89	0.99	279.0	0.5580	225.21	10.67	21.10
	40	1.02	1.13	292.0	0.5840	235.70	10.69	22.05
	45	1.14	1.27	301.0	0.6020	242.97	10.70	22.70
	50	1.27	1.41	306.5	0.6130	247.41	10.72	23.08
	55	1.40	1.55	301.0	0.6020	242.97	10.73	22.64
60	1.52	1.69	209.0	0.4180	168.70	10.75	15.69	
Espécimen 2	5	0.13	0.14	197.0	0.3940	159.02	10.58	15.03
	10	0.25	0.28	215.0	0.4300	173.55	10.60	16.38
	15	0.38	0.42	233.0	0.4660	188.08	10.61	17.72
	20	0.51	0.56	246.0	0.4920	198.57	10.63	18.69
	25	0.64	0.71	259.0	0.5180	209.06	10.64	19.65
	30	0.76	0.85	271.0	0.5420	218.75	10.66	20.53
	35	0.89	0.99	281.5	0.5630	227.23	10.67	21.29
	40	1.02	1.13	287.0	0.5740	231.67	10.69	21.68
	45	1.14	1.27	281.0	0.5620	226.82	10.70	21.19
	50	1.27	1.41	262.0	0.5240	211.49	10.72	19.73
	55	1.40	1.55	259.5	0.5190	209.47	10.73	19.52
60	1.52	1.69	259.0	0.5180	209.06	10.75	19.45	
Espécimen 3	5	0.13	0.14	191.0	0.3820	154.18	10.58	14.57
	10	0.25	0.28	211.0	0.4220	170.32	10.60	16.07
	15	0.38	0.42	227.5	0.4550	183.64	10.61	17.30
	20	0.51	0.56	243.0	0.4860	196.15	10.63	18.46
	25	0.64	0.71	257.0	0.5140	207.45	10.64	19.49
	30	0.76	0.85	272.5	0.5450	219.96	10.66	20.64
	35	0.89	0.99	286.5	0.5730	231.26	10.67	21.67
	40	1.02	1.13	299.0	0.5980	241.35	10.69	22.58
	45	1.14	1.27	308.0	0.6160	248.62	10.70	23.23
	50	1.27	1.41	313.5	0.6270	253.06	10.72	23.61
	55	1.40	1.55	307.0	0.6140	247.81	10.73	23.09
60	1.52	1.69	285.0	0.5700	230.05	10.75	21.40	
Espécimen 4	5	0.13	0.14	191.0	0.3820	154.18	10.58	14.57
	10	0.25	0.28	206.0	0.4120	166.28	10.60	15.69
	15	0.38	0.42	222.5	0.4450	179.60	10.61	16.92
	20	0.51	0.56	236.0	0.4720	190.50	10.63	17.93
	25	0.64	0.71	248.5	0.4970	200.59	10.64	18.85
	30	0.76	0.85	261.0	0.5220	210.68	10.66	19.77
	35	0.89	0.99	270.5	0.5410	218.35	10.67	20.46
	40	1.02	1.13	284.0	0.5680	229.24	10.69	21.45
	45	1.14	1.27	297.0	0.5940	239.74	10.70	22.40
	50	1.27	1.41	306.0	0.6120	247.00	10.72	23.05
	55	1.40	1.55	311.5	0.6230	251.44	10.73	23.43
60	1.52	1.69	309.0	0.6180	249.42	10.75	23.20	

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 3 y 4.

Esfuerzo Prom. = 23.37

## Ensaye a Compresión Simple

Arcilla con 8% de cal (30 días)

	Deformaciones			Esfuerzo					
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon=\delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c=A_o/(1-e)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	
Especímen 1	5	0.13	0.14	274.5	0.5490	221.58	10.58	20.94	
	10	0.25	0.28	277.5	0.5550	224.00	10.60	21.14	
	15	0.38	0.42	287.0	0.5740	231.67	10.61	21.83	
	20	0.51	0.56	302.0	0.6040	243.77	10.63	22.94	
	25	0.64	0.71	316.5	0.6330	255.48	10.64	24.01	
	30	0.76	0.85	332.0	0.6640	267.99	10.66	25.15	
	35	0.89	0.99	346.5	0.6930	279.69	10.67	26.21	
	40	1.02	1.13	361.5	0.7230	291.80	10.69	27.30	
	45	1.14	1.27	376.0	0.7520	303.51	10.70	28.36	
	50	1.27	1.41	392.0	0.7840	316.42	10.72	29.52	
	55	1.40	1.55	404.0	0.8080	326.11	10.73	30.38	
	60	1.52	1.69	416.0	0.8320	335.80	10.75	31.24	
	65	1.65	1.83	414.5	0.8290	334.58	10.76	31.08	
	70	1.78	1.98	412.5	0.8250	332.97	10.78	30.89	
75	1.91	2.12	402.5	0.8050	324.90	10.80	30.10		
Especímen 2	5	0.13	0.14	288.0	0.5760	232.47	10.58	21.97	
	10	0.25	0.28	308.0	0.6160	248.62	10.60	23.46	
	15	0.38	0.42	327.0	0.6540	263.95	10.61	24.87	
	20	0.51	0.56	342.0	0.6840	276.06	10.63	25.98	
	25	0.64	0.71	360.0	0.7200	290.59	10.64	27.31	
	30	0.76	0.85	376.0	0.7520	303.51	10.66	28.48	
	35	0.89	0.99	392.0	0.7840	316.42	10.67	29.65	
	40	1.02	1.13	405.0	0.8100	326.92	10.69	30.59	
	45	1.14	1.27	414.0	0.8280	334.18	10.70	31.22	
	50	1.27	1.41	406.0	0.8120	327.72	10.72	30.58	
	55	1.40	1.55	321.0	0.6420	259.11	10.73	24.14	
	60	1.52	1.69	293.0	0.5860	236.51	10.75	22.00	
	Especímen 3	5	0.13	0.14	286.0	0.5720	230.86	10.58	21.82
		10	0.25	0.28	304.5	0.6090	245.79	10.60	23.19
15		0.38	0.42	323.5	0.6470	261.13	10.61	24.61	
20		0.51	0.56	340.0	0.6800	274.45	10.63	25.83	
25		0.64	0.71	356.0	0.7120	287.36	10.64	27.00	
30		0.76	0.85	371.0	0.7420	299.47	10.66	28.10	
35		0.89	0.99	387.0	0.7740	312.39	10.67	29.27	
40		1.02	1.13	400.5	0.8010	323.28	10.69	30.25	
45		1.14	1.27	411.0	0.8220	331.76	10.70	31.00	
50		1.27	1.41	412.0	0.8240	332.57	10.72	31.03	
55		1.40	1.55	401.0	0.8020	323.69	10.73	30.16	
60		1.52	1.69	306.0	0.6120	247.00	10.75	22.98	
Especímen 4		5	0.13	0.14	276.5	0.5530	223.19	10.58	21.09
		10	0.25	0.28	283.5	0.5670	228.84	10.60	21.60
	15	0.38	0.42	297.0	0.5940	239.74	10.61	22.59	
	20	0.51	0.56	311.0	0.6220	251.04	10.63	23.62	
	25	0.64	0.71	325.0	0.6500	262.34	10.64	24.65	
	30	0.76	0.85	340.0	0.6800	274.45	10.66	25.75	
	35	0.89	0.99	354.0	0.7080	285.75	10.67	26.77	
	40	1.02	1.13	369.0	0.7380	297.86	10.69	27.87	
	45	1.14	1.27	383.5	0.7670	309.56	10.70	28.92	
	50	1.27	1.41	398.0	0.7960	321.27	10.72	29.97	
	55	1.40	1.55	410.0	0.8200	330.95	10.73	30.83	
	60	1.52	1.69	417.0	0.8340	336.60	10.75	31.31	
	70	1.78	1.98	411.0	0.8220	331.76	10.78	30.78	
	75	1.91	2.12	326.0	0.6520	263.15	10.80	24.38	

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2, 3 y 4.

Esfuerzo Prom. = 31.20

## Ensaye a Compresión Simple

Arcilla con 8% de cal (60 días)

	Deformaciones			Esfuerzo				
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon = \delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c = A_o / (1 - e)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Especímen 1	5	0.13	0.14	365.0	0.7300	294.63	10.58	27.84
	10	0.25	0.28	377.0	0.7540	304.31	10.60	28.72
	15	0.38	0.42	391.0	0.7820	315.62	10.61	29.74
	20	0.51	0.56	405.0	0.8100	326.92	10.63	30.76
	25	0.64	0.71	422.0	0.8440	340.64	10.64	32.01
	30	0.76	0.85	439.0	0.8780	354.36	10.66	33.25
	35	0.89	0.99	457.0	0.9140	368.89	10.67	34.57
	40	1.02	1.13	474.0	0.9480	382.61	10.69	35.80
	45	1.14	1.27	491.0	0.9820	396.34	10.70	37.03
	50	1.27	1.41	508.0	1.0160	410.06	10.72	38.26
Especímen 2	5	0.13	0.14	374.0	0.7480	301.89	10.58	28.53
	10	0.25	0.28	391.0	0.7820	315.62	10.60	29.78
	15	0.38	0.42	409.0	0.8180	330.14	10.61	31.11
	20	0.51	0.56	426.0	0.8520	343.87	10.63	32.36
	25	0.64	0.71	443.0	0.8860	357.59	10.64	33.60
	30	0.76	0.85	461.0	0.9220	372.12	10.66	34.92
	35	0.89	0.99	478.0	0.9560	385.84	10.67	36.15
	40	1.02	1.13	496.0	0.9920	400.37	10.69	37.46
	45	1.14	1.27	512.0	1.0240	413.29	10.70	38.61
	50	1.27	1.41	529.0	1.0580	427.01	10.72	39.84
Especímen 3	5	0.13	0.14	376.0	0.7520	303.51	10.58	28.68
	10	0.25	0.28	393.0	0.7860	317.23	10.60	29.94
	15	0.38	0.42	412.0	0.8240	332.57	10.61	31.34
	20	0.51	0.56	430.5	0.8610	347.50	10.63	32.70
	25	0.64	0.71	450.0	0.9000	363.24	10.64	34.13
	30	0.76	0.85	469.0	0.9380	378.58	10.66	35.52
	35	0.89	0.99	489.0	0.9780	394.72	10.67	36.99
	40	1.02	1.13	506.0	1.0120	408.44	10.69	38.22
	45	1.14	1.27	524.0	1.0480	422.97	10.70	39.52
	50	1.27	1.41	539.0	1.0780	435.08	10.72	40.59
Especímen 4	5	0.13	0.14	363.0	0.7260	293.01	10.58	27.69
	10	0.25	0.28	368.5	0.7370	297.45	10.60	28.07
	15	0.38	0.42	379.0	0.7580	305.93	10.61	28.83
	20	0.51	0.56	391.0	0.7820	315.62	10.63	29.70
	25	0.64	0.71	404.0	0.8080	326.11	10.64	30.64
	30	0.76	0.85	421.0	0.8420	339.83	10.66	31.89
	35	0.89	0.99	439.0	0.8780	354.36	10.67	33.20
	40	1.02	1.13	458.0	0.9160	369.70	10.69	34.59
	45	1.14	1.27	477.0	0.9540	385.03	10.70	35.97
	50	1.27	1.41	494.0	0.9880	398.76	10.72	37.20

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2, 3 y 4.

Esfuerzo Prom. = 41.56

## Apéndice L

### FORMATOS DE LAS PRUEBAS DE COMPRESION SIMPLE DE PROBETAS REMOLDEADAS ARCILLA-CAL 8% CON ENERGÍA DE COMPACTACIÓN DE 21 kg-cm/cm<sup>3</sup>.

#### Ensayo a Compresión Simple

##### Arcilla con 8% de cal (7 días)

	Deformaciones			Esfuerzo				
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon=\delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c=A_o/(1-e)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Especímen 1	5	0.13	0.14	111.0	0.2220	89.60	10.58	8.47
	10	0.25	0.28	126.0	0.2520	101.71	10.60	9.60
	15	0.38	0.42	139.0	0.2780	112.20	10.61	10.57
	20	0.51	0.56	151.0	0.3020	121.89	10.63	11.47
	25	0.64	0.71	161.0	0.3220	129.96	10.64	12.21
	30	0.76	0.85	173.0	0.3460	139.65	10.66	13.10
	35	0.89	0.99	182.0	0.3640	146.91	10.67	13.77
	40	1.02	1.13	192.0	0.3840	154.98	10.69	14.50
	45	1.14	1.27	200.0	0.4000	161.44	10.70	15.08
	50	1.27	1.41	202.0	0.4040	163.05	10.72	15.21
	55	1.40	1.55	137.0	0.2740	110.59	10.73	10.30
60	1.52	1.69	127.0	0.2540	102.51	10.75	9.54	
Especímen 2	5	0.13	0.14	105.0	0.2100	84.76	10.58	8.01
	10	0.25	0.28	120.0	0.2400	96.86	10.60	9.14
	15	0.38	0.42	134.5	0.2690	108.57	10.61	10.23
	20	0.51	0.56	147.0	0.2940	118.66	10.63	11.17
	25	0.64	0.71	159.0	0.3180	128.34	10.64	12.06
	30	0.76	0.85	170.0	0.3400	137.22	10.66	12.88
	35	0.89	0.99	180.0	0.3600	145.30	10.67	13.61
	40	1.02	1.13	190.0	0.3800	153.37	10.69	14.35
	45	1.14	1.27	198.5	0.3970	160.23	10.70	14.97
	50	1.27	1.41	202.0	0.4040	163.05	10.72	15.21
	55	1.40	1.55	193.0	0.3860	155.79	10.73	14.51
60	1.52	1.69	127.0	0.2540	102.51	10.75	9.54	
Especímen 3	5	0.13	0.14	109.0	0.2180	87.98	10.58	8.31
	10	0.25	0.28	120.0	0.2400	96.86	10.60	9.14
	15	0.38	0.42	132.0	0.2640	106.55	10.61	10.04
	20	0.51	0.56	142.0	0.2840	114.62	10.63	10.79
	25	0.64	0.71	152.0	0.3040	122.69	10.64	11.53
	30	0.76	0.85	162.0	0.3240	130.77	10.66	12.27
	35	0.89	0.99	176.0	0.3520	142.07	10.67	13.31
	40	1.02	1.13	179.0	0.3580	144.49	10.69	13.52
	45	1.14	1.27	182.0	0.3640	146.91	10.70	13.73
	50	1.27	1.41	147.0	0.2940	118.66	10.72	11.07
	55	1.40	1.55	116.0	0.2320	93.64	10.73	8.72
60	1.52	1.69	106.5	0.2130	85.97	10.75	8.00	
Especímen 4	5	0.13	0.14	110.0	0.2200	88.79	10.58	8.39
	10	0.25	0.28	121.0	0.2420	97.67	10.60	9.22
	15	0.38	0.42	133.0	0.2660	107.36	10.61	10.12
	20	0.51	0.56	144.0	0.2880	116.24	10.63	10.94
	25	0.64	0.71	155.0	0.3100	125.12	10.64	11.76
	30	0.76	0.85	165.0	0.3300	133.19	10.66	12.50
	35	0.89	0.99	175.0	0.3500	141.26	10.67	13.24
	40	1.02	1.13	181.5	0.3630	146.51	10.69	13.71
	45	1.14	1.27	178.5	0.3570	144.09	10.70	13.46
	50	1.27	1.41	164.0	0.3280	132.38	10.72	12.35
	55	1.40	1.55	143.0	0.2860	115.43	10.73	10.75
60	1.52	1.69	128.0	0.2560	103.32	10.75	9.61	

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2, 3 y 4.

Esfuerzo Prom. =14.47

## Ensaye a Compresión Simple

Arcilla con 8% de cal (14 días)

	Deformaciones			Esfuerzo				
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon = \delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c = A_o/(1-e)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Especímen 1	5	0.13	0.14	197.5	0.3950	159.42	10.58	15.07
	10	0.25	0.28	213.0	0.4260	171.93	10.60	16.22
	15	0.38	0.42	234.0	0.4680	188.88	10.61	17.80
	20	0.51	0.56	252.0	0.5040	203.41	10.63	19.14
	25	0.64	0.71	266.0	0.5320	214.72	10.64	20.18
	30	0.76	0.85	281.0	0.5620	226.82	10.66	21.28
	35	0.89	0.99	293.0	0.5860	236.51	10.67	22.16
	40	1.02	1.13	306.0	0.6120	247.00	10.69	23.11
	45	1.14	1.27	315.0	0.6300	254.27	10.70	23.76
	50	1.27	1.41	320.5	0.6410	258.71	10.72	24.14
	55	1.40	1.55	315.0	0.6300	254.27	10.73	23.69
	60	1.52	1.69	223.0	0.4460	180.01	10.75	16.75
Especímen 2	5	0.13	0.14	211.0	0.4220	170.32	10.58	16.10
	10	0.25	0.28	229.0	0.4580	184.85	10.60	17.44
	15	0.38	0.42	247.0	0.4940	199.38	10.61	18.79
	20	0.51	0.56	260.0	0.5200	209.87	10.63	19.75
	25	0.64	0.71	273.0	0.5460	220.37	10.64	20.71
	30	0.76	0.85	285.0	0.5700	230.05	10.66	21.59
	35	0.89	0.99	295.5	0.5910	238.53	10.67	22.35
	40	1.02	1.13	301.0	0.6020	242.97	10.69	22.73
	45	1.14	1.27	295.0	0.5900	238.12	10.70	22.25
	50	1.27	1.41	276.0	0.5520	222.79	10.72	20.79
	55	1.40	1.55	273.5	0.5470	220.77	10.73	20.57
	60	1.52	1.69	273.0	0.5460	220.37	10.75	20.50
Especímen 3	5	0.13	0.14	205.0	0.4100	165.48	10.58	15.64
	10	0.25	0.28	225.0	0.4500	181.62	10.60	17.14
	15	0.38	0.42	241.5	0.4830	194.94	10.61	18.37
	20	0.51	0.56	257.0	0.5140	207.45	10.63	19.52
	25	0.64	0.71	271.0	0.5420	218.75	10.64	20.56
	30	0.76	0.85	286.5	0.5730	231.26	10.66	21.70
	35	0.89	0.99	300.5	0.6010	242.56	10.67	22.73
	40	1.02	1.13	313.0	0.6260	252.65	10.69	23.64
	45	1.14	1.27	322.0	0.6440	259.92	10.70	24.28
	50	1.27	1.41	327.5	0.6550	264.36	10.72	24.66
	55	1.40	1.55	321.0	0.6420	259.11	10.73	24.14
	60	1.52	1.69	299.0	0.5980	241.35	10.75	22.45
Especímen 4	5	0.13	0.14	205.0	0.4100	165.48	10.58	15.64
	10	0.25	0.28	220.0	0.4400	177.58	10.60	16.76
	15	0.38	0.42	236.5	0.4730	190.90	10.61	17.99
	20	0.51	0.56	250.0	0.5000	201.80	10.63	18.99
	25	0.64	0.71	262.5	0.5250	211.89	10.64	19.91
	30	0.76	0.85	275.0	0.5500	221.98	10.66	20.83
	35	0.89	0.99	284.5	0.5690	229.65	10.67	21.52
	40	1.02	1.13	298.0	0.5960	240.55	10.69	22.51
	45	1.14	1.27	311.0	0.6220	251.04	10.70	23.46
	50	1.27	1.41	320.0	0.6400	258.30	10.72	24.10
	55	1.40	1.55	325.5	0.6510	262.74	10.73	24.48
	60	1.52	1.69	323.0	0.6460	260.73	10.75	24.26

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2, 3 y 4.

Esfuerzo Prom. = 24.00

## Ensaye a Compresión Simple

Arcilla con 8% de cal (30 días)

	Deformaciones			Esfuerzo				
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria $\epsilon = \delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c = A_o/(1-e)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Especímen 1	5	0.13	0.14	293.5	0.5870	236.91	10.58	22.39
	10	0.25	0.28	296.5	0.5930	239.33	10.60	22.59
	15	0.38	0.42	306.0	0.6120	247.00	10.61	23.28
	20	0.51	0.56	321.0	0.6420	259.11	10.63	24.38
	25	0.64	0.71	335.5	0.6710	270.82	10.64	25.45
	30	0.76	0.85	351.0	0.7020	283.33	10.66	26.59
	35	0.89	0.99	365.5	0.7310	295.03	10.67	27.64
	40	1.02	1.13	380.5	0.7610	307.14	10.69	28.74
	45	1.14	1.27	395.0	0.7900	318.84	10.70	29.79
	50	1.27	1.41	411.0	0.8220	331.76	10.72	30.95
	55	1.40	1.55	423.0	0.8460	341.45	10.73	31.81
	60	1.52	1.69	435.0	0.8700	351.13	10.75	32.67
	65	1.65	1.83	433.5	0.8670	349.92	10.76	32.51
70	1.78	1.98	431.5	0.8630	348.31	10.78	32.31	
Especímen 2	5	0.13	0.14	307.0	0.6140	247.81	10.58	23.42
	10	0.25	0.28	327.0	0.6540	263.95	10.60	24.91
	15	0.38	0.42	346.0	0.6920	279.29	10.61	26.32
	20	0.51	0.56	361.0	0.7220	291.40	10.63	27.42
	25	0.64	0.71	379.0	0.7580	305.93	10.64	28.75
	30	0.76	0.85	395.0	0.7900	318.84	10.66	29.92
	35	0.89	0.99	411.0	0.8220	331.76	10.67	31.09
	40	1.02	1.13	424.0	0.8480	342.25	10.69	32.02
	45	1.14	1.27	433.0	0.8660	349.52	10.70	32.66
	50	1.27	1.41	425.0	0.8500	343.06	10.72	32.01
	55	1.40	1.55	340.0	0.6800	274.45	10.73	25.57
	60	1.52	1.69	312.0	0.6240	251.85	10.75	23.43
	Especímen 3	5	0.13	0.14	305.0	0.6100	246.20	10.58
10		0.25	0.28	323.5	0.6470	261.13	10.60	24.64
15		0.38	0.42	342.5	0.6850	276.47	10.61	26.05
20		0.51	0.56	359.0	0.7180	289.78	10.63	27.27
25		0.64	0.71	375.0	0.7500	302.70	10.64	28.44
30		0.76	0.85	390.0	0.7800	314.81	10.66	29.54
35		0.89	0.99	406.0	0.8120	327.72	10.67	30.71
40		1.02	1.13	419.5	0.8390	338.62	10.69	31.68
45		1.14	1.27	430.0	0.8600	347.10	10.70	32.43
50		1.27	1.41	431.0	0.8620	347.90	10.72	32.46
55		1.40	1.55	420.0	0.8400	339.02	10.73	31.59
60		1.52	1.69	325.0	0.6500	262.34	10.75	24.41
Especímen 4		5	0.13	0.14	295.5	0.5910	238.53	10.58
	10	0.25	0.28	302.5	0.6050	244.18	10.60	23.04
	15	0.38	0.42	316.0	0.6320	255.08	10.61	24.04
	20	0.51	0.56	330.0	0.6600	266.38	10.63	25.07
	25	0.64	0.71	344.0	0.6880	277.68	10.64	26.09
	30	0.76	0.85	359.0	0.7180	289.78	10.66	27.19
	35	0.89	0.99	373.0	0.7460	301.09	10.67	28.21
	40	1.02	1.13	388.0	0.7760	313.19	10.69	29.30
	45	1.14	1.27	402.5	0.8050	324.90	10.70	30.36
	50	1.27	1.41	417.0	0.8340	336.60	10.72	31.40
	55	1.40	1.55	429.0	0.8580	346.29	10.73	32.26
	60	1.52	1.69	436.0	0.8720	351.94	10.75	32.74
	70	1.78	1.98	430.0	0.8600	347.10	10.78	32.20
75	1.91	2.12	345.0	0.6900	278.48	10.80	25.80	

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2, 3 y 4.

Esfuerzo Prom. = 32.63

## Ensaye a Compresión Simple

Arcilla con 8% de cal (60 días)

	Deformaciones			Esfuerzo				
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon=\delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c=A_o/(1-e)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Especímen 1	5	0.13	0.14	392.0	0.7840	316.42	10.58	29.90
	10	0.25	0.28	404.0	0.8080	326.11	10.60	30.77
	15	0.38	0.42	418.0	0.8360	337.41	10.61	31.80
	20	0.51	0.56	432.0	0.8640	348.71	10.63	32.81
	25	0.64	0.71	449.0	0.8980	362.43	10.64	34.06
	30	0.76	0.85	466.0	0.9320	376.16	10.66	35.30
	35	0.89	0.99	484.0	0.9680	390.68	10.67	36.61
	40	1.02	1.13	501.0	1.0020	404.41	10.69	37.84
	45	1.14	1.27	518.0	1.0360	418.13	10.70	39.07
	50	1.27	1.41	535.0	1.0700	431.85	10.72	40.29
	55	1.40	1.55	555.0	1.1100	448.00	10.73	41.74
60	1.52	1.69	568.0	1.1360	458.49	10.75	42.65	
65	1.65	1.83	578.0	1.1560	466.56	10.76	43.34	
70	1.78	1.98	571.0	1.1420	460.91	10.78	42.76	
Especímen 2	5	0.13	0.14	401.0	0.8020	323.69	10.58	30.59
	10	0.25	0.28	418.0	0.8360	337.41	10.60	31.84
	15	0.38	0.42	436.0	0.8720	351.94	10.61	33.16
	20	0.51	0.56	453.0	0.9060	365.66	10.63	34.41
	25	0.64	0.71	470.0	0.9400	379.38	10.64	35.65
	30	0.76	0.85	488.0	0.9760	393.91	10.66	36.96
	35	0.89	0.99	505.0	1.0100	407.64	10.67	38.20
	40	1.02	1.13	523.0	1.0460	422.17	10.69	39.50
	45	1.14	1.27	539.0	1.0780	435.08	10.70	40.65
	50	1.27	1.41	556.0	1.1120	448.80	10.72	41.87
	55	1.40	1.55	571.0	1.1420	460.91	10.73	42.94
60	1.52	1.69	579.0	1.1580	467.37	10.75	43.48	
Especímen 3	5	0.13	0.14	403.0	0.8060	325.30	10.58	30.74
	10	0.25	0.28	420.0	0.8400	339.02	10.60	31.99
	15	0.38	0.42	439.0	0.8780	354.36	10.61	33.39
	20	0.51	0.56	457.5	0.9150	369.29	10.63	34.75
	25	0.64	0.71	477.0	0.9540	385.03	10.64	36.18
	30	0.76	0.85	496.0	0.9920	400.37	10.66	37.57
	35	0.89	0.99	516.0	1.0320	416.52	10.67	39.03
	40	1.02	1.13	533.0	1.0660	430.24	10.69	40.26
	45	1.14	1.27	551.0	1.1020	444.77	10.70	41.56
	50	1.27	1.41	566.0	1.1320	456.88	10.72	42.63
	55	1.40	1.55	576.0	1.1520	464.95	10.73	43.32
60	1.52	1.69	566.0	1.1320	456.88	10.75	42.50	
Especímen 4	5	0.13	0.14	390.0	0.7800	314.81	10.58	29.75
	10	0.25	0.28	395.5	0.7910	319.25	10.60	30.13
	15	0.38	0.42	406.0	0.8120	327.72	10.61	30.88
	20	0.51	0.56	418.0	0.8360	337.41	10.63	31.75
	25	0.64	0.71	431.0	0.8620	347.90	10.64	32.69
	30	0.76	0.85	448.0	0.8960	361.63	10.66	33.93
	35	0.89	0.99	466.0	0.9320	376.16	10.67	35.25
	40	1.02	1.13	485.0	0.9700	391.49	10.69	36.63
	45	1.14	1.27	504.0	1.0080	406.83	10.70	38.01
	50	1.27	1.41	521.0	1.0420	420.55	10.72	39.24
	55	1.40	1.55	538.0	1.0760	434.27	10.73	40.46
60	1.52	1.69	557.0	1.1140	449.61	10.75	41.83	
65	1.65	1.83	574.0	1.1480	463.33	10.76	43.04	

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2, 3 y 4.

Esfuerzo Prom. = 43.30

## Apéndice M

### FORMATOS DE LAS PRUEBAS DE COMPRESION SIMPLE DE PROBETAS REMOLDEADAS ARCILLA-CAL 8% CON ENERGÍA DE COMPACTACIÓN DE 24 kg-cm/cm<sup>3</sup>.

#### Ensayo a Compresión Simple

##### Arcilla con 8% de cal (7 días)

	Deformaciones			Esfuerzo				
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon=\delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c=A_o/(1-e)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Especímen 1	5	0.13	0.14	124.0	0.2480	100.09	10.58	9.46
	10	0.25	0.28	140.0	0.2800	113.01	10.60	10.66
	15	0.38	0.42	155.0	0.3100	125.12	10.61	11.79
	20	0.51	0.56	168.0	0.3360	135.61	10.63	12.76
	25	0.64	0.71	179.0	0.3580	144.49	10.64	13.58
	30	0.76	0.85	192.0	0.3840	154.98	10.66	14.54
	35	0.89	0.99	202.0	0.4040	163.05	10.67	15.28
	40	1.02	1.13	214.0	0.4280	172.74	10.69	16.16
	45	1.14	1.27	222.0	0.4440	179.20	10.70	16.74
	50	1.27	1.41	179.0	0.3580	144.49	10.72	13.48
55	1.40	1.55	153.0	0.3060	123.50	10.73	11.51	
Especímen 2	5	0.13	0.14	117.0	0.2340	94.44	10.58	8.92
	10	0.25	0.28	133.0	0.2660	107.36	10.60	10.13
	15	0.38	0.42	150.0	0.3000	121.08	10.61	11.41
	20	0.51	0.56	164.0	0.3280	132.38	10.63	12.46
	25	0.64	0.71	177.0	0.3540	142.87	10.64	13.43
	30	0.76	0.85	189.0	0.3780	152.56	10.66	14.32
	35	0.89	0.99	200.0	0.4000	161.44	10.67	15.13
	40	1.02	1.13	211.0	0.4220	170.32	10.69	15.94
	45	1.14	1.27	220.5	0.4410	177.99	10.70	16.63
	50	1.27	1.41	225.0	0.4500	181.62	10.72	16.95
55	1.40	1.55	232.0	0.4640	187.27	10.73	17.45	
60	1.52	1.69	141.0	0.2820	113.82	10.75	10.59	
Especímen 3	5	0.13	0.14	121.0	0.2420	97.67	10.58	9.23
	10	0.25	0.28	133.0	0.2660	107.36	10.60	10.13
	15	0.38	0.42	147.0	0.2940	118.66	10.61	11.18
	20	0.51	0.56	158.0	0.3160	127.54	10.63	12.00
	25	0.64	0.71	169.0	0.3380	136.42	10.64	12.82
	30	0.76	0.85	180.0	0.3600	145.30	10.66	13.63
	35	0.89	0.99	196.0	0.3920	158.21	10.67	14.82
	40	1.02	1.13	199.0	0.3980	160.63	10.69	15.03
	45	1.14	1.27	202.0	0.4040	163.05	10.70	15.23
	50	1.27	1.41	164.0	0.3280	132.38	10.72	12.35
55	1.40	1.55	129.0	0.2580	104.13	10.73	9.70	
Especímen 4	5	0.13	0.14	122.0	0.2440	98.48	10.58	9.31
	10	0.25	0.28	135.0	0.2700	108.97	10.60	10.28
	15	0.38	0.42	148.0	0.2960	119.47	10.61	11.26
	20	0.51	0.56	160.0	0.3200	129.15	10.63	12.15
	25	0.64	0.71	172.0	0.3440	138.84	10.64	13.05
	30	0.76	0.85	183.0	0.3660	147.72	10.66	13.86
	35	0.89	0.99	195.0	0.3900	157.40	10.67	14.75
	40	1.02	1.13	202.0	0.4040	163.05	10.69	15.26
	45	1.14	1.27	204.5	0.4090	165.07	10.70	15.42
	50	1.27	1.41	183.0	0.3660	147.72	10.72	13.78
55	1.40	1.55	159.0	0.3180	128.34	10.73	11.96	

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2, 3 y 4.

Esfuerzo Prom. = 16.17

## Ensaye a Compresión Simple

### Arcilla con 8% de cal (14 días)

Deformaciones		10.57		Esfuerzo				
Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon = \delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c = A_o/(1-\epsilon)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	
Especímen 1	5	0.13	0.14	220.0	0.4400	177.58	10.58	16.78
	10	0.25	0.28	237.0	0.4740	191.31	10.60	18.05
	15	0.38	0.42	260.0	0.5200	209.87	10.61	19.78
	20	0.51	0.56	280.0	0.5600	226.02	10.63	21.27
	25	0.64	0.71	295.0	0.5900	238.12	10.64	22.38
	30	0.76	0.85	312.0	0.6240	251.85	10.66	23.63
	35	0.89	0.99	325.0	0.6500	262.34	10.67	24.58
	40	1.02	1.13	340.0	0.6800	274.45	10.69	25.68
	45	1.14	1.27	350.0	0.7000	282.52	10.70	26.40
	50	1.27	1.41	356.0	0.7120	287.36	10.72	26.81
55	1.40	1.55	350.0	0.7000	282.52	10.73	26.32	
Especímen 2	5	0.13	0.14	235.0	0.4700	189.69	10.58	17.93
	10	0.25	0.28	254.0	0.5080	205.03	10.60	19.35
	15	0.38	0.42	274.0	0.5480	221.17	10.61	20.84
	20	0.51	0.56	289.0	0.5780	233.28	10.63	21.95
	25	0.64	0.71	302.0	0.6040	243.77	10.64	22.91
	30	0.76	0.85	317.0	0.6340	255.88	10.66	24.01
	35	0.89	0.99	329.0	0.6580	265.57	10.67	24.88
	40	1.02	1.13	334.0	0.6680	269.60	10.69	25.23
	45	1.14	1.27	328.0	0.6560	264.76	10.70	24.74
	50	1.27	1.41	307.0	0.6140	247.81	10.72	23.12
55	1.40	1.55	293.0	0.5860	236.51	10.73	22.03	
Especímen 3	5	0.13	0.14	228.0	0.4560	184.04	10.58	17.39
	10	0.25	0.28	250.0	0.5000	201.80	10.60	19.04
	15	0.38	0.42	268.0	0.5360	216.33	10.61	20.39
	20	0.51	0.56	285.0	0.5700	230.05	10.63	21.65
	25	0.64	0.71	301.0	0.6020	242.97	10.64	22.83
	30	0.76	0.85	319.0	0.6380	257.50	10.66	24.16
	35	0.89	0.99	334.0	0.6680	269.60	10.67	25.26
	40	1.02	1.13	350.0	0.7000	282.52	10.69	26.43
	45	1.14	1.27	356.0	0.7120	287.36	10.70	26.85
	50	1.27	1.41	364.0	0.7280	293.82	10.72	27.41
55	1.40	1.55	357.0	0.7140	288.17	10.73	26.85	
60	1.52	1.69	332.0	0.6640	267.99	10.75	24.93	
Especímen 4	5	0.13	0.14	228.0	0.4560	184.04	10.58	17.39
	10	0.25	0.28	245.0	0.4900	197.76	10.60	18.66
	15	0.38	0.42	263.0	0.5260	212.29	10.61	20.01
	20	0.51	0.56	278.0	0.5560	224.40	10.63	21.12
	25	0.64	0.71	292.0	0.5840	235.70	10.64	22.15
	30	0.76	0.85	306.0	0.6120	247.00	10.66	23.18
	35	0.89	0.99	317.0	0.6340	255.88	10.67	23.98
	40	1.02	1.13	331.0	0.6620	267.18	10.69	25.00
	45	1.14	1.27	345.0	0.6900	278.48	10.70	26.02
	50	1.27	1.41	356.0	0.7120	287.36	10.72	26.81
55	1.40	1.55	362.0	0.7240	292.21	10.73	27.22	

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2, 3 y 4.

Esfuerzo Prom. = 26.67

## Ensaye a Compresión Simple

Arcilla con 8% de cal (30 días)

		Deformaciones			Esfuerzo				
		10.57							
		Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon = \delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c = A_o / (1 - e)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Especímen 1	5	0.13	0.14	326.0	0.6520	263.15	10.58	24.87	
	10	0.25	0.28	329.0	0.6580	265.57	10.60	25.06	
	15	0.38	0.42	340.0	0.6800	274.45	10.61	25.86	
	20	0.51	0.56	357.0	0.7140	288.17	10.63	27.12	
	25	0.64	0.71	373.0	0.7460	301.09	10.64	28.29	
	30	0.76	0.85	390.0	0.7800	314.81	10.66	29.54	
	35	0.89	0.99	406.0	0.8120	327.72	10.67	30.71	
	40	1.02	1.13	423.0	0.8460	341.45	10.69	31.95	
	45	1.14	1.27	439.0	0.8780	354.36	10.70	33.11	
	50	1.27	1.41	457.0	0.9140	368.89	10.72	34.42	
	55	1.40	1.55	470.0	0.9400	379.38	10.73	35.35	
	60	1.52	1.69	483.0	0.9660	389.88	10.75	36.27	
	65	1.65	1.83	453.0	0.9060	365.66	10.76	33.97	
Especímen 2	5	0.13	0.14	341.0	0.6820	275.26	10.58	26.01	
	10	0.25	0.28	363.0	0.7260	293.01	10.60	27.65	
	15	0.38	0.42	384.0	0.7680	309.96	10.61	29.21	
	20	0.51	0.56	401.0	0.8020	323.69	10.63	30.46	
	25	0.64	0.71	422.0	0.8440	340.64	10.64	32.01	
	30	0.76	0.85	439.0	0.8780	354.36	10.66	33.25	
	35	0.89	0.99	457.0	0.9140	368.89	10.67	34.57	
	40	1.02	1.13	471.0	0.9420	380.19	10.69	35.57	
	45	1.14	1.27	483.0	0.9660	389.88	10.70	36.43	
	50	1.27	1.41	464.0	0.9280	374.54	10.72	34.94	
	55	1.40	1.55	377.0	0.7540	304.31	10.73	28.35	
Especímen 3	5	0.13	0.14	340.0	0.6800	274.45	10.58	25.94	
	10	0.25	0.28	360.0	0.7200	290.59	10.60	27.42	
	15	0.38	0.42	381.0	0.7620	307.54	10.61	28.98	
	20	0.51	0.56	398.0	0.7960	321.27	10.63	30.23	
	25	0.64	0.71	417.0	0.8340	336.60	10.64	31.63	
	30	0.76	0.85	433.0	0.8660	349.52	10.66	32.80	
	35	0.89	0.99	451.0	0.9020	364.05	10.67	34.11	
	40	1.02	1.13	466.0	0.9320	376.16	10.69	35.20	
	45	1.14	1.27	477.0	0.9540	385.03	10.70	35.97	
	50	1.27	1.41	485.0	0.9700	391.49	10.72	36.53	
	55	1.40	1.55	435.0	0.8700	351.13	10.73	32.71	
60	1.52	1.69	361.0	0.7220	291.40	10.75	27.11		
Especímen 4	5	0.13	0.14	329.0	0.6580	265.57	10.58	25.10	
	10	0.25	0.28	334.0	0.6680	269.60	10.60	25.44	
	15	0.38	0.42	352.0	0.7040	284.13	10.61	26.78	
	20	0.51	0.56	367.0	0.7340	296.24	10.63	27.88	
	25	0.64	0.71	383.0	0.7660	309.16	10.64	29.05	
	30	0.76	0.85	399.0	0.7980	322.07	10.66	30.22	
	35	0.89	0.99	414.0	0.8280	334.18	10.67	31.31	
	40	1.02	1.13	431.0	0.8620	347.90	10.69	32.55	
	45	1.14	1.27	448.0	0.8960	361.63	10.70	33.79	
	50	1.27	1.41	463.0	0.9260	373.73	10.72	34.87	
	55	1.40	1.55	477.0	0.9540	385.03	10.73	35.87	
60	1.52	1.69	485.0	0.9700	391.49	10.75	36.42		
70	1.78	1.98	478.0	0.9560	385.84	10.78	35.79		

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2, 3 y 4.

Esfuerzo Prom. = 36.41

## Ensaye a Compresión Simple

### Arcilla con 8% de cal (60 días)

Deformaciones			Esfuerzo						
Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon = \delta/L$ (%)	10.57						
			Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c = A_o / (1 - e)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )		
Especímen 1	5	0.13	0.14	436.0	0.8720	351.94	10.58	33.26	
	10	0.25	0.28	449.0	0.8980	362.43	10.60	34.20	
	15	0.38	0.42	464.0	0.9280	374.54	10.61	35.29	
	20	0.51	0.56	480.0	0.9600	387.46	10.63	36.46	
	25	0.64	0.71	499.0	0.9980	402.79	10.64	37.85	
	30	0.76	0.85	518.0	1.0360	418.13	10.66	39.23	
	35	0.89	0.99	538.0	1.0760	434.27	10.67	40.69	
	40	1.02	1.13	557.0	1.1140	449.61	10.69	42.07	
	45	1.14	1.27	576.0	1.1520	464.95	10.70	43.44	
	50	1.27	1.41	594.0	1.1880	479.48	10.72	44.73	
	55	1.40	1.55	617.0	1.2340	498.04	10.73	46.40	
	60	1.52	1.69	631.0	1.2620	509.34	10.75	47.39	
	65	1.65	1.83	645.0	1.2900	520.64	10.76	48.37	
	70	1.78	1.98	583.0	1.1660	470.60	10.78	43.66	
Especímen 2	5	0.13	0.14	446.0	0.8920	360.01	10.58	34.02	
	10	0.25	0.28	464.0	0.9280	374.54	10.60	35.34	
	15	0.38	0.42	484.0	0.9680	390.68	10.61	36.82	
	20	0.51	0.56	504.0	1.0080	406.83	10.63	38.28	
	25	0.64	0.71	522.0	1.0440	421.36	10.64	39.59	
	30	0.76	0.85	543.0	1.0860	438.31	10.66	41.13	
	35	0.89	0.99	561.0	1.1220	452.84	10.67	42.43	
	40	1.02	1.13	581.0	1.1620	468.98	10.69	43.88	
	45	1.14	1.27	608.0	1.2160	490.78	10.70	45.85	
	50	1.27	1.41	618.0	1.2360	498.85	10.72	46.54	
	55	1.40	1.55	634.0	1.2680	511.76	10.73	47.68	
	60	1.52	1.69	651.0	1.3020	525.49	10.75	48.89	
	Especímen 3	5	0.13	0.14	448.0	0.8960	361.63	10.58	34.17
		10	0.25	0.28	467.0	0.9340	376.96	10.60	35.57
15		0.38	0.42	488.0	0.9760	393.91	10.61	37.12	
20		0.51	0.56	509.0	1.0180	410.86	10.63	38.66	
25		0.64	0.71	530.0	1.0600	427.82	10.64	40.20	
30		0.76	0.85	551.0	1.1020	444.77	10.66	41.73	
35		0.89	0.99	573.0	1.1460	462.53	10.67	43.34	
40		1.02	1.13	591.0	1.1820	477.06	10.69	44.64	
45		1.14	1.27	613.0	1.2260	494.81	10.70	46.23	
50		1.27	1.41	629.0	1.2580	507.73	10.72	47.37	
55		1.40	1.55	640.0	1.2800	516.61	10.73	48.13	
60		1.52	1.69	629.0	1.2580	507.73	10.75	47.24	
Especímen 4		5	0.13	0.14	433.0	0.8660	349.52	10.58	33.03
		10	0.25	0.28	440.0	0.8800	355.17	10.60	33.52
	15	0.38	0.42	451.0	0.9020	364.05	10.61	34.31	
	20	0.51	0.56	464.0	0.9280	374.54	10.63	35.24	
	25	0.64	0.71	479.0	0.9580	386.65	10.64	36.33	
	30	0.76	0.85	497.0	0.9940	401.18	10.66	37.64	
	35	0.89	0.99	518.0	1.0360	418.13	10.67	39.18	
	40	1.02	1.13	539.0	1.0780	435.08	10.69	40.71	
	45	1.14	1.27	560.0	1.1200	452.03	10.70	42.23	
	50	1.27	1.41	579.0	1.1580	467.37	10.72	43.61	
	55	1.40	1.55	598.0	1.1960	482.71	10.73	44.97	
	60	1.52	1.69	619.0	1.2380	499.66	10.75	46.48	
	65	1.65	1.83	638.0	1.2760	514.99	10.76	47.84	

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2, 3 y 4.

Esfuerzo Prom. = 48.31

## Apéndice N

### FORMATOS DE LAS PRUEBAS DE COMPRESION SIMPLE DE MUESTRAS LABRADAS DE PIEZAS DE MAMPOSTERÍA COMERCIALES.

#### Ensaye a Compresión Simple

##### SILLAR

		Deformaciones				
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon = \delta/L$ (%)	Carga (kg)	Área corr. $A_c = A_o / (1 - \epsilon)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Especimen 1					24.908	
	11	0.28	0.31	200.0	24.99	8.00
	16	0.41	0.45	400.0	25.02	15.99
	20	0.51	0.56	600.0	25.05	23.95
	25	0.64	0.70	800.0	25.08	31.89
	28	0.71	0.79	950.0	25.11	37.84
Especimen 2					25.867	
	4	0.10	0.11	100.0	25.90	3.86
	6	0.15	0.17	200.0	25.91	7.72
	8	0.20	0.22	300.0	25.93	11.57
	9.5	0.24	0.27	400.0	25.94	15.42
	11	0.28	0.31	500.0	25.95	19.27
	13.4	0.34	0.38	600.0	25.96	23.11
	17	0.43	0.48	700.0	25.99	26.93
	29	0.74	0.81	750.0	26.08	28.76
48	1.22	1.35	600.0	26.22	22.88	
74	1.88	2.08	300.0	26.42	11.36	
Especimen 3					24.853	
	12	0.30	0.35	100.0	24.94	4.01
	18	0.46	0.52	200.0	24.98	8.01
	18.5	0.47	0.54	300.0	24.99	12.01
	21.5	0.55	0.62	400.0	25.01	15.99
	24	0.61	0.70	500.0	25.03	19.98
	26.5	0.67	0.77	600.0	25.05	23.96
36	0.91	1.05	700.0	25.12	27.87	

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2 y3.

Esfuerzo Prom. = 31.49

## Ensaye a Compresión Simple

### ADOBE

Deformaciones						
		Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon = \delta/L$ (%)	Carga (kg)	Área corr. $A_c = A_o / (1 - \epsilon)$ (cm <sup>2</sup> )
Especimen 1	10	0.25	0.28	200.0	24.98	8.01
	19	0.48	0.53	400.0	25.04	15.97
	22	0.56	0.62	650.0	25.06	25.93
	25	0.64	0.70	510.0	25.08	20.33
	28	0.71	0.79	350.0	25.11	13.94
Especimen 2	12	0.30	0.34	200.0	25.95	7.71
	15	0.38	0.42	400.0	25.98	15.40
	19	0.48	0.53	600.0	26.01	23.07
	23	0.58	0.65	670.0	26.03	25.73
	26	0.66	0.73	500.0	26.06	19.19
Especimen 3	12	0.30	0.35	200.0	24.94	8.02
	18	0.46	0.52	400.0	24.98	16.01
	18.5	0.47	0.54	600.0	24.99	24.01
	21.5	0.55	0.62	630.0	25.01	25.19
	24	0.61	0.70	490.0	25.03	19.58
	26.5	0.67	0.77	320.0	25.05	12.78

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2 y3.

Esfuerzo Prom. = 25.62
------------------------

## Ensaye a Compresión Simple

### LADRILLO

		Deformaciones				
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon = \delta/L$ (%)	Carga (kg)	Área corr. $A_c = A_o / (1 - \epsilon)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Especimen 1	18	0.46	0.50	200.0	25.69	7.78
	23	0.58	0.64	400.0	25.73	15.55
	25	0.64	0.70	600.0	25.74	23.31
	28	0.71	0.78	800.0	25.77	31.05
	30	0.76	0.84	1000.0	25.78	38.79
	31	0.79	0.87	1200.0	25.79	46.53
	32	0.81	0.89	1400.0	25.79	54.27
	36	0.91	1.01	1600.0	25.82	61.96
	38	0.97	1.06	1800.0	25.84	69.66
	40.5	1.03	1.13	2000.0	25.86	77.35
	42	1.07	1.17	2200.0	25.87	85.05
	45	1.14	1.26	2400.0	25.89	92.70
	47	1.19	1.31	2600.0	25.90	100.37
	53	1.35	1.48	3250.0	25.95	125.25
Especimen 2	20	0.51	0.56	400.0	25.25	15.84
	22	0.56	0.62	800.0	25.27	31.66
	23.5	0.60	0.66	1200.0	25.28	47.47
	26	0.66	0.73	1600.0	25.30	63.25
	27.5	0.70	0.77	2000.0	25.31	79.03
	29	0.74	0.82	2400.0	25.32	94.80
	29.5	0.75	0.83	2800.0	25.32	110.58

El Promedio se realizó de los especímenes 1 y 2.

Esfuerzo Prom. = 117.92
-------------------------

## Ensaye a Compresión Simple

**TABICON**

		Deformaciones				
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon = \delta/L$ (%)	Carga (kg)	Área corr. $A_c = A_o/(1-e)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Especimen 1					25.271	
	28	0.71	0.78	400.0	25.47	15.70
	31	0.79	0.87	800.0	25.49	31.38
	34	0.86	0.95	1200.0	25.51	47.03
	37	0.94	1.04	1600.0	25.54	62.66
	38	0.97	1.06	2000.0	25.54	78.30
	39	0.99	1.09	2400.0	25.55	93.93
	40	1.02	1.12	2800.0	25.56	109.56
	42	1.07	1.18	3200.0	25.57	125.14
	44	1.12	1.23	3600.0	25.59	140.70
	44.5	1.13	1.25	3800.0	25.59	148.50
Especimen 2					26.502	
	22	0.56	0.62	400.0	25.43	15.73
	25	0.64	0.70	800.0	25.45	31.44
	28	0.71	0.78	1200.0	25.47	47.11
	31	0.79	0.87	1600.0	25.49	62.76
	33	0.84	0.92	2000.0	25.51	78.41
	37	0.94	1.04	2400.0	25.54	93.99
	38	0.97	1.06	2800.0	25.54	109.62
	39	0.99	1.09	3200.0	25.55	125.24
	41	1.04	1.15	3600.0	25.56	140.82
	43.5	1.10	1.22	3800.0	25.58	148.54
	46	1.17	1.29	3900.0	25.60	152.34

El Promedio se realizó de los especímenes 1 y 2

Esfuerzo Prom. = 150.42

## Apéndice O

### FORMATOS DE LAS PRUEBAS DE COMPRESION SIMPLE DE PROBETAS CUBICAS REMOLDEADAS ARCILLA-CAL 8% CON ENERGÍA DE COMPACTACIÓN DE 21 kg-cm/cm<sup>3</sup>.

#### Ensayo a Compresión Simple

		Arcilla-Cal 8 % (7 días)						
		Deformaciones		25.00	Esfuerzo			
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon = \delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c = A_o/(1-\epsilon)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Espécimen 1	10	0.25	0.51	311.0	0.3110	251.04	25.13	9.99
	20	0.51	1.02	348.0	0.3480	280.91	25.26	11.12
	30	0.76	1.52	415.0	0.4150	334.99	25.39	13.20
	40	1.02	2.03	504.0	0.5040	406.83	25.52	15.94
	50	1.27	2.54	563.0	0.5630	454.45	25.65	17.72
	60	1.52	3.05	608.0	0.6080	490.78	25.79	19.03
	70	1.78	3.56	659.0	0.6590	531.94	25.92	20.52
	80	2.03	4.06	692.0	0.6920	558.58	26.06	21.44
	90	2.29	4.57	713.0	0.7130	575.53	26.20	21.97
	100	2.54	5.08	737.0	0.7370	594.91	26.34	22.59
	110	2.79	5.59	772.0	0.7720	623.16	26.48	23.53
	122	3.10	6.20	811.0	0.8110	654.64	26.65	24.56
	130	3.30	6.60	761.0	0.7610	614.28	26.77	22.95
	140	3.56	7.11	703.0	0.7030	567.46	26.91	21.08
	150	3.81	7.62	664.0	0.6640	535.98	27.06	19.81
	160	4.06	8.13	613.0	0.6130	494.81	27.21	18.18
	170	4.32	8.64	586.0	0.5860	473.02	27.36	17.29
	180	4.57	9.14	528.0	0.5280	426.20	27.52	15.49
Espécimen 2	10	0.25	0.51	324.0	0.3240	261.53	25.13	10.41
	20	0.51	1.02	374.0	0.3740	301.89	25.26	11.95
	30	0.76	1.52	449.0	0.4490	362.43	25.39	14.28
	40	1.02	2.03	543.0	0.5430	438.31	25.52	17.18
	50	1.27	2.54	607.0	0.6070	489.97	25.65	19.10
	60	1.52	3.05	657.0	0.6570	530.33	25.79	20.57
	70	1.78	3.56	710.0	0.7100	573.11	25.92	22.11
	80	2.03	4.06	746.0	0.7460	602.17	26.06	23.11
	90	2.29	4.57	771.0	0.7710	622.35	26.20	23.76
	100	2.54	5.08	796.0	0.7960	642.50	26.34	24.39
	110	2.79	5.59	833.0	0.8330	672.40	26.48	25.39
	124	3.15	6.30	876.0	0.8760	707.11	26.68	26.50
	130	3.30	6.60	822.0	0.8220	663.52	26.77	24.79
	140	3.56	7.11	760.0	0.7600	613.47	26.91	22.79
	150	3.81	7.62	716.0	0.7160	577.96	27.06	21.36
	160	4.06	8.13	661.0	0.6610	533.56	27.21	19.61
	170	4.32	8.64	633.0	0.6330	510.96	27.36	18.67
	180	4.57	9.14	569.0	0.5690	459.30	27.52	16.69
Espécimen 3	10	0.25	0.51	314.0	0.3140	253.46	25.13	10.09
	20	0.51	1.02	364.0	0.3640	293.82	25.26	11.63
	30	0.76	1.52	432.0	0.4320	348.71	25.39	13.74
	40	1.02	2.03	528.0	0.5280	426.20	25.52	16.70
	50	1.27	2.54	592.0	0.5920	477.86	25.65	18.63
	60	1.52	3.05	637.0	0.6370	514.19	25.79	19.94
	70	1.78	3.56	688.0	0.6880	555.35	25.92	21.42
	80	2.03	4.06	725.0	0.7250	585.22	26.06	22.46
	90	2.29	4.57	751.0	0.7510	606.21	26.20	23.14
	100	2.54	5.08	771.0	0.7710	622.35	26.34	23.63
	110	2.79	5.59	812.0	0.8120	655.45	26.48	24.75
	120	3.05	6.10	850.0	0.8500	686.12	26.62	25.77
	130	3.30	6.60	793.0	0.7930	640.11	26.77	23.91
	140	3.56	7.11	741.0	0.7410	598.14	26.91	22.22
	150	3.81	7.62	702.0	0.7020	566.65	27.06	20.94
	160	4.06	8.13	644.0	0.6440	519.84	27.21	19.10
	170	4.32	8.64	615.0	0.6150	496.43	27.36	18.14
	180	4.57	9.14	555.0	0.5550	448.00	27.52	16.28

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2 y 3.

Esfuerzo Prom. = 25.61

Ensayo a Compresión Simple

Arcilla-Cal 8 % (14 días)

	Deformaciones			Esfuerzo				
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon = \delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c = A_o / (1 - \epsilon)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Especímen 1	10	0.25	0.51	360.0	0.3600	290.59	25.13	11.56
	20	0.51	1.02	418.0	0.4180	337.41	25.26	13.36
	30	0.76	1.52	497.0	0.4970	401.18	25.39	15.80
	40	1.02	2.03	603.0	0.6030	486.74	25.52	19.07
	50	1.27	2.54	674.0	0.6740	544.05	25.65	21.21
	60	1.52	3.05	731.0	0.7310	590.06	25.79	22.88
	70	1.78	3.56	789.0	0.7890	636.88	25.92	24.57
	80	2.03	4.06	832.0	0.8320	671.59	26.06	25.77
	90	2.29	4.57	857.0	0.8570	691.77	26.20	26.41
	100	2.54	5.08	885.0	0.8850	714.37	26.34	27.12
	110	2.79	5.59	927.0	0.9270	748.27	26.48	28.26
	120	3.05	6.10	971.0	0.9710	783.79	26.62	29.44
	128	3.25	6.50	993.0	0.9930	801.55	26.74	29.98
	140	3.56	7.11	841.0	0.8410	678.86	26.91	25.22
	150	3.81	7.62	795.0	0.7950	641.72	27.06	23.71
	160	4.06	8.13	732.0	0.7320	590.87	27.21	21.71
	170	4.32	8.64	705.0	0.7050	569.08	27.36	20.80
	180	4.57	9.14	628.0	0.6280	506.92	27.52	18.42
Especímen 2	10	0.25	0.51	389.0	0.3890	314.00	25.13	12.50
	20	0.51	1.02	449.0	0.4490	362.43	25.26	14.35
	30	0.76	1.52	536.0	0.5360	432.66	25.39	17.04
	40	1.02	2.03	650.0	0.6500	524.68	25.52	20.56
	50	1.27	2.54	725.0	0.7250	585.22	25.65	22.81
	60	1.52	3.05	789.0	0.7890	636.88	25.79	24.70
	70	1.78	3.56	851.0	0.8510	686.93	25.92	26.50
	80	2.03	4.06	896.0	0.8960	723.25	26.06	27.75
	90	2.29	4.57	923.0	0.9230	745.05	26.20	28.44
	100	2.54	5.08	958.0	0.9580	773.30	26.34	29.36
	110	2.79	5.59	1006.0	1.0060	812.04	26.48	30.67
	116	2.95	5.89	1056.0	1.0560	852.40	26.57	32.09
	130	3.30	6.60	985.0	0.9850	795.09	26.77	29.70
	140	3.56	7.11	912.0	0.9120	736.17	26.91	27.35
	150	3.81	7.62	862.0	0.8620	695.81	27.06	25.71
	160	4.06	8.13	795.0	0.7950	641.72	27.21	23.58
	170	4.32	8.64	748.0	0.7480	603.79	27.36	22.07
	180	4.57	9.14	680.0	0.6800	548.90	27.52	19.95
Especímen 3	10	0.25	0.51	377.0	0.3770	304.31	25.13	12.11
	20	0.51	1.02	435.0	0.4350	351.13	25.26	13.90
	30	0.76	1.52	520.0	0.5200	419.74	25.39	16.53
	40	1.02	2.03	635.0	0.6350	512.57	25.52	20.09
	50	1.27	2.54	712.0	0.7120	574.73	25.65	22.41
	60	1.52	3.05	762.0	0.7620	615.09	25.79	23.85
	70	1.78	3.56	827.0	0.8270	667.55	25.92	25.75
	80	2.03	4.06	876.0	0.8760	707.11	26.06	27.13
	90	2.29	4.57	902.0	0.9020	728.09	26.20	27.79
	100	2.54	5.08	928.0	0.9280	749.08	26.34	28.44
	110	2.79	5.59	976.0	0.9760	787.83	26.48	29.75
	122	3.10	6.20	1023.0	1.0230	825.77	26.65	30.98
	130	3.30	6.60	948.0	0.9480	765.23	26.77	28.59
	140	3.56	7.11	879.0	0.8790	709.53	26.91	26.36
	150	3.81	7.62	836.0	0.8360	674.82	27.06	24.94
	160	4.06	8.13	770.0	0.7700	621.54	27.21	22.84
	170	4.32	8.64	738.0	0.7380	595.71	27.36	21.77
	180	4.57	9.14	666.0	0.6660	537.60	27.52	19.54

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2 y 3.

Esfuerzo Prom. = 31.02

Ensayo a Compresión Simple

Arcilla-Cal 8 % (30 días)

	Deformaciones			Esfuerzo				
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon = \delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c = A_o / (1 - \epsilon)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Especímen 1	10	0.25	0.51	390.0	0.3900	314.81	25.13	12.53
	20	0.51	1.02	453.0	0.4530	365.66	25.26	14.48
	30	0.76	1.52	540.0	0.5400	435.89	25.39	17.17
	40	1.02	2.03	656.0	0.6560	529.52	25.52	20.75
	50	1.27	2.54	733.0	0.7330	591.68	25.65	23.07
	60	1.52	3.05	791.0	0.7910	638.50	25.79	24.76
	70	1.78	3.56	854.0	0.8540	689.35	25.92	26.59
	80	2.03	4.06	882.0	0.8820	711.95	26.06	27.32
	90	2.29	4.57	927.0	0.9270	748.27	26.20	28.56
	100	2.54	5.08	960.0	0.9600	774.91	26.34	29.42
	110	2.79	5.59	1005.0	1.0050	811.24	26.48	30.64
	120	3.05	6.10	1052.0	1.0520	849.17	26.62	31.90
	130	3.30	6.60	990.0	0.9900	799.13	26.77	29.85
	140	3.56	7.11	915.0	0.9150	738.59	26.91	27.44
	150	3.81	7.62	859.0	0.8590	693.38	27.06	25.62
	160	4.06	8.13	795.0	0.7950	641.72	27.21	23.58
	170	4.32	8.64	764.0	0.7640	616.70	27.36	22.54
	180	4.57	9.14	683.0	0.6830	551.32	27.52	20.04
Especímen 2	10	0.25	0.51	422.0	0.4220	340.64	25.13	13.56
	20	0.51	1.02	487.0	0.4870	393.11	25.26	15.56
	30	0.76	1.52	582.0	0.5820	469.79	25.39	18.51
	40	1.02	2.03	707.0	0.7070	570.69	25.52	22.36
	50	1.27	2.54	790.0	0.7900	637.69	25.65	24.86
	60	1.52	3.05	854.0	0.8540	689.35	25.79	26.73
	70	1.78	3.56	923.0	0.9230	745.05	25.92	28.74
	80	2.03	4.06	970.0	0.9700	782.98	26.06	30.05
	90	2.29	4.57	1005.0	1.0050	811.24	26.20	30.97
	100	2.54	5.08	1036.0	1.0360	836.26	26.34	31.75
	110	2.79	5.59	1086.0	1.0860	876.62	26.48	33.11
	117	2.97	5.94	1140.0	1.1400	920.21	26.58	34.62
	130	3.30	6.60	1062.0	1.0620	857.25	26.77	32.03
	140	3.56	7.11	985.0	0.9850	795.09	26.91	29.54
	150	3.81	7.62	930.0	0.9300	750.70	27.06	27.74
	160	4.06	8.13	859.0	0.8590	693.38	27.21	25.48
	170	4.32	8.64	822.0	0.8220	663.52	27.36	24.25
	180	4.57	9.14	740.0	0.7400	597.33	27.52	21.71
Especímen 3	10	0.25	0.51	406.0	0.4060	327.72	25.13	13.04
	20	0.51	1.02	477.0	0.4770	385.03	25.26	15.24
	30	0.76	1.52	562.0	0.5620	453.65	25.39	17.87
	40	1.02	2.03	687.0	0.6870	554.55	25.52	21.73
	50	1.27	2.54	770.0	0.7700	621.54	25.65	24.23
	60	1.52	3.05	828.0	0.8280	668.36	25.79	25.92
	70	1.78	3.56	891.0	0.8910	719.22	25.92	27.75
	80	2.03	4.06	948.0	0.9480	765.23	26.06	29.37
	90	2.29	4.57	973.0	0.9730	785.41	26.20	29.98
	100	2.54	5.08	1002.0	1.0020	808.81	26.34	30.71
	110	2.79	5.59	1059.0	1.0590	854.82	26.48	32.28
	120	3.05	6.10	1105.0	1.1050	891.96	26.62	33.50
	130	3.30	6.60	1031.0	1.0310	832.22	26.77	31.09
	140	3.56	7.11	966.0	0.9660	779.76	26.91	28.97
	150	3.81	7.62	915.0	0.9150	738.59	27.06	27.29
	160	4.06	8.13	834.0	0.8340	673.20	27.21	24.74
	170	4.32	8.64	792.0	0.7920	639.30	27.36	23.36
	180	4.57	9.14	722.0	0.7220	582.80	27.52	21.18

El Promedio se realizó de los especímenes 2 y 3.

Esfuerzo Prom. = 34.06

Ensayo a Compresión Simple

Arcilla-Cal 8 % (60 días)

	Deformaciones			Esfuerzo				
	Lectura del Micrómetro de Deformación (Divisiones)	Deformación (mm)	Dformación Unitaria $\epsilon = \delta/L$ (%)	Lectura del anillo de Carga (Divisiones)	Deformación del anillo de Carga (mm)	Carga (kg)	Área corr. $A_c = A_o / (1 - \epsilon)$ (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
Especímen 1	10	0.25	0.51	522.0	0.5220	421.36	25.13	16.77
	20	0.51	1.02	606.0	0.6060	489.16	25.26	19.37
	30	0.76	1.52	723.0	0.7230	583.61	25.39	22.99
	40	1.02	2.03	876.0	0.8760	707.11	25.52	27.71
	50	1.27	2.54	975.0	0.9750	787.02	25.65	30.68
	60	1.52	3.05	1055.0	1.0550	851.60	25.79	33.03
	70	1.78	3.56	1148.0	1.1480	926.67	25.92	35.75
	80	2.03	4.06	1203.0	1.2030	971.06	26.06	37.26
	90	2.29	4.57	1241.0	1.2410	1001.74	26.20	38.24
	100	2.54	5.08	1283.0	1.2830	1035.64	26.34	39.32
	110	2.79	5.59	1344.0	1.3440	1084.88	26.48	40.97
	120	3.05	6.10	1415.0	1.4150	1142.19	26.62	42.90
	130	3.30	6.60	1325.0	1.3250	1069.54	26.77	39.96
	140	3.56	7.11	1226.0	1.2260	989.63	26.91	36.77
	150	3.81	7.62	1147.0	1.1470	925.86	27.06	34.21
	160	4.06	8.13	1067.0	1.0670	861.28	27.21	31.65
	170	4.32	8.64	1020.0	1.0200	823.34	27.36	30.09
	180	4.57	9.14	920.0	0.9200	742.62	27.52	26.99
Especímen 2	10	0.25	0.51	564.0	0.5640	455.26	25.13	18.12
	20	0.51	1.02	651.0	0.6510	525.49	25.26	20.81
	30	0.76	1.52	782.0	0.7820	631.23	25.39	24.86
	40	1.02	2.03	945.0	0.9450	762.80	25.52	29.89
	50	1.27	2.54	1057.0	1.0570	853.21	25.65	33.26
	60	1.52	3.05	1140.0	1.1400	920.21	25.79	35.69
	70	1.78	3.56	1238.0	1.2380	999.31	25.92	38.55
	80	2.03	4.06	1305.0	1.3050	1053.40	26.06	40.42
	90	2.29	4.57	1343.0	1.3430	1084.07	26.20	41.38
	100	2.54	5.08	1385.0	1.3850	1117.95	26.34	42.45
	110	2.79	5.59	1453.0	1.4530	1172.86	26.48	44.29
	118	3.00	5.99	1527.0	1.5270	1232.59	26.59	46.35
	130	3.30	6.60	1432.0	1.4320	1155.91	26.77	43.18
	140	3.56	7.11	1325.0	1.3250	1069.54	26.91	39.74
	150	3.81	7.62	1248.0	1.2480	1007.39	27.06	37.22
	160	4.06	8.13	1146.0	1.1460	925.05	27.21	33.99
	170	4.32	8.64	1102.0	1.1020	889.53	27.36	32.51
	180	4.57	9.14	995.0	0.9950	803.16	27.52	29.19
Especímen 3	10	0.25	0.51	547.0	0.5470	441.54	25.13	17.57
	20	0.51	1.02	634.0	0.6340	511.76	25.26	20.26
	30	0.76	1.52	752.0	0.7520	607.01	25.39	23.91
	40	1.02	2.03	920.0	0.9200	742.62	25.52	29.10
	50	1.27	2.54	1035.0	1.0350	835.45	25.65	32.57
	60	1.52	3.05	1116.0	1.1160	900.84	25.79	34.94
	70	1.78	3.56	1198.0	1.1980	967.03	25.92	37.31
	80	2.03	4.06	1262.0	1.2620	1018.69	26.06	39.09
	90	2.29	4.57	1309.0	1.3090	1056.62	26.20	40.33
	100	2.54	5.08	1347.0	1.3470	1087.30	26.34	41.28
	110	2.79	5.59	1408.0	1.4080	1136.54	26.48	42.92
	125	3.18	6.35	1486.0	1.4860	1199.50	26.70	44.93
	130	3.30	6.60	1386.0	1.3860	1118.78	26.77	41.80
	140	3.56	7.11	1291.0	1.2910	1042.10	26.91	38.72
	150	3.81	7.62	1224.0	1.2240	988.01	27.06	36.51
	160	4.06	8.13	1122.0	1.1220	905.68	27.21	33.28
	170	4.32	8.64	1073.0	1.0730	866.13	27.36	31.65
	180	4.57	9.14	966.0	0.9660	779.76	27.52	28.34

El Promedio se realizó de los especímenes 1, 2 y 3.

Esfuerzo Prom. = 44.73

## **Apéndice P**

**FORMATOS DE LAS PRUEBAS MODULO DE RUPTURA Y RESISTENCIA A LA PRIMER GRIETA DE LAS PIEZAS DE MAMPOSTERÍA.**

TABIQUE

Carga de Ruptura (kg) P	Claro entre apoyos (cm) L	Ancho (cm) B	Espesor(cm) D	Modulo de Ruptura (kg/cm2) MR
50	18	12	5	4.50
50	18	11.7	5.2	4.27
55	18	11.8	5.1	4.84
<b>Promedio</b>				<b>4.54</b>

BLOCK SÓLIDO

Carga de Ruptura (kg) P	Claro entre apoyos (cm) L	Ancho(cm) B	Espesor(cm) D	Modulo de Ruptura (kg/cm2) MR
85	23	14	10.1	2.05
85	23	14	10.1	2.05
85	23	14	10.2	2.01
<b>Promedio</b>				<b>2.04</b>

SILLAR

Carga de Ruptura (kg) P	Claro entre apoyos (cm) L	Ancho (cm) B	Espesor(cm) D	Modulo de Ruptura (kg/cm2) MR
40	35	19.5	30	0.12
40	35	20	29.5	0.12
45	35	19.8	30	0.13
<b>Promedio</b>				<b>0.12</b>

ADOBE

Carga de Ruptura (kg) P	Claro entre apoyos (cm) L	Ancho(cm) B	Espesor(cm) D	Modulo de Ruptura (kg/cm2) MR
20	14	10	5	1.68
20	14	10.2	5	1.65
20	14	10	5.1	1.61
<b>Promedio</b>				<b>1.65</b>

TABIQUE

Carga aplicada (kg) P	Área promedio (cm <sup>2</sup> ) Am	Resistencia a la primer grieta (kg/cm <sup>2</sup> )
5200	150	34.67
3800	128.7	29.53
4250	141.6	30.01
<b>Promedio</b>		<b>31.40</b>

BLOCK SÓLIDO

Carga aplicada (kg) P	Área promedio (cm <sup>2</sup> ) Am	Resistencia a la primer grieta (kg/cm <sup>2</sup> )
11000	182	60.44
10100	168	60.12
11400	189	60.32
<b>Promedio</b>		<b>60.29</b>

SILLAR

Carga aplicada (kg) P	Área promedio (cm <sup>2</sup> ) Am	Resistencia a la primer grieta (kg/cm <sup>2</sup> )
8900	380	23.42
9500	380	25.00
9200	376.2	24.46
<b>Promedio</b>		<b>24.29</b>

ADOBE

Carga aplicada (kg) P	Área promedio (cm <sup>2</sup> ) Am	Resistencia a la primer grieta (kg/cm <sup>2</sup> )
1200	95	12.63
1500	102	14.71
1300	100	13.00
<b>Promedio</b>		<b>13.45</b>

Apéndice Q

## FORMATOS DE LAS PRUEBAS MODULO DE RUPTURA Y RESISTENCIA A LA PRIMER GRIETA DEL PROTOTIPO CERÁMICO.

PROTOTIPO A 7 DÍAS

Carga de Ruptura (kg) P	Claro entre apoyos (cm) L	Ancho (cm) B	Espesor(cm) D	Modulo de Ruptura (kg/cm2) MR
10	14	10	5.2	0.78
15	14	10	5.3	1.12
10	14	10	5	0.84
<b>Promedio</b>				<b>0.91</b>

PROTOTIPO A 14 DÍAS

Carga de Ruptura (kg) P	Claro entre apoyos (cm) L	Ancho (cm) B	Espesor(cm) D	Modulo de Ruptura (kg/cm2) MR
20	14	10	5.1	1.61
20	14	10	5	1.68
20	14	10	5.1	1.61
<b>Promedio</b>				<b>1.64</b>

PROTOTIPO A 30 DÍAS

Carga de Ruptura (kg) P	Claro entre apoyos (cm) L	Ancho (cm) B	Espesor(cm) D	Modulo de Ruptura (kg/cm2) MR
35	14	10	5	2.94
40	14	10	5.1	3.23
40	14	10	5.1	3.23
<b>Promedio</b>				<b>3.13</b>

PROTOTIPO A 60 DÍAS

Carga de Ruptura (kg) P	Claro entre apoyos (cm) L	Ancho (cm) B	Espesor(cm) D	Modulo de Ruptura (kg/cm2) MR
45	14	10	5.1	3.63
45	14	10	5.1	3.63
50	14	10	5	4.20
<b>Promedio</b>				<b>3.82</b>

PROTOTIPO A 7 DÍAS

Carga aplicada (kg) P	Área promedio (cm <sup>2</sup> ) Am	Resistencia a la primer grieta (kg/cm <sup>2</sup> )
1200	83	14.46
1400	80	17.50
1350	85	15.88
<b>Promedio</b>		<b>15.95</b>

PROTOTIPO A 14 DÍAS

Carga aplicada (kg) P	Área promedio (cm <sup>2</sup> ) Am	Resistencia a la primer grieta (kg/cm <sup>2</sup> )
2100	83	25.30
2150	80	26.88
2100	85	24.71
<b>Promedio</b>		<b>25.63</b>

PROTOTIPO A 30 DÍAS

Carga aplicada (kg) P	Área promedio (cm <sup>2</sup> ) Am	Resistencia a la primer grieta (kg/cm <sup>2</sup> )
2800	83	33.73
2900	84	34.52
2850	85	33.53
<b>Promedio</b>		<b>33.93</b>

PROTOTIPO A 60 DÍAS

Carga aplicada (kg) P	Área promedio (cm <sup>2</sup> ) Am	Resistencia a la primer grieta (kg/cm <sup>2</sup> )
3350	86	38.95
3400	90	37.78
3350	84	39.88
<b>Promedio</b>		<b>38.87</b>