

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO.

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS

**EFFECTOS MECÁNICOS DE LA ESTABILIZACIÓN VOLUMÉTRICA DE MONTMO-
RILLONITA CON CASO4**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL.

PRESENTA:

MARIO ALBERTO OLGUÍN DOMÍNGUEZ

ASESOR DE TESIS

DR. ELIA MERCEDES ALONSO GUZMÁN

MORELIA, MICH., ABRIL DEL 2008.

ÍNDICE

Pag.

Capítulo I: Introducción	1
I.1 Antecedentes	5
I.2.1 Generalidades	6
I.2.2 Árbol genealógico: los silicatos	7
I.2.3 Las arcillas y su estructura cristalina	10
I.2.4 Estructura cristalina de las arcillas formando láminas	11
I.2.2 Clasificación de la arcilla de acuerdo a su estructura reticular	14
I.2.3 Estructuras formadas por láminas de tipo 1:1 y de tipo 2:1	15
I.2.3.1 Caolines	15
I.2.3.2 Smectitas	18
I.3 Química de las arcillas	19
I.3.1 Intercambio catiónico	21
I.3.2 Tipos de nexos entre átomos y moléculas	22
 Capítulo II: Materiales y diseño de mezclas	 24
II.1 yeso	24
II.2 Historia de la utilización del yeso	25
II.3 Elaboración del yeso	26
II.3.1 Estado natural	26
II.4 proceso de obtención del yeso	28
II.5 Usos	31
II.6 Tipos de yeso de construcción	32
II.6.1 Yesos artesanales	32
II.6.2 Yesos industriales o de horno mecánico	32
II.6.3 Yesos con aditivos	32
II.7 potencial geológico minero	33
II.8 Agua	34
II.9 Diseño de mezclas	34
Capítulo III: Pruebas	38
III.1 Determinación del límite líquido (LL)	37
III.2 Determinación del límite plástico (LP)	39

III.3 Determinación del índice plástico (IP) -----	40
III.4 Determinación de la contracción lineal (CL) -----	40
III.5 Determinación de la contracción volumétrica (LC) -----	41
III.6 Prueba granulométrica de la arcilla-----	43
III.7 Prueba de fluidez en mezclas de arcilla-----	46
III.8 compresión simple en especímenes de arcilla-----	48
III.9 Tensión en briquetas de arcilla.-----	50
III.IV.1 Determinación de la resistencia a la flexión en vigas de arcilla----	52
III.IV.2 Módulo de elasticidad dinámico en especímenes prismáticos por medio de la frecuencia resonante (método de prueba no destructivo)---	54
III.IV.3 Ámbito de aplicación-----	55
III.IV.4 Resumen del método de prueba-----	55
III.IV.5 Importancia y uso-----	55
III.IV.6 Principio de medición del aparato grindosónico-----	56
III.IV.7 Cálculo del módulo de elasticidad, por medio de la frecuencia resonante, con el aparato grindosónico-----	58
Capítulo IV: Resultados-----	64
IV.1Ejemplo de memoria de cálculo para encontrar los Límites de consistencia (límites de attemberg) -----	63
IV.2 Comparación entre la contracción lineal y la volumétrica-----	64
IV.3 Análisis granulométrico-----	64
IV.4 Clasificación de la arcilla en la carta de plasticidad-----	65
IV.5 Pruebas mecánicas-----	66
IV. 5.1 Prueba de compresión (Cubos 0% muestra testigo) -----	66
IV. 5.2 Prueba de compresión (Cubos 4% yeso) -----	68
IV. 5.3 Prueba de compresión (Cubos 6% yeso) -----	70
IV. 5.4 Prueba de flexión (vigas 0% muestra testigo) -----	73
IV. 5.5 Prueba de flexión (vigas 4% yeso) -----	74
IV. 5.6 Prueba de flexión (vigas 6% yeso) -----	77
IV. 5.7 Prueba de tensión (briquetas 0% muestra testigo) -----	79
IV. 5.8 Prueba de tensión (briquetas 4% yeso) -----	82
IV. 5.9 Prueba de tensión (briquetas 6% yeso) -----	84
IV. 6 Módulos de elasticidad -----	86
IV. 7 Peso de briquetas con respecto a la edad (yeso) -----	89
IV. 8 Estadística e ingeniería-----	91
IV. 9 Introducción -----	91

IV. 10 población y muestra-----	91
IV. 11 Tipos de muestras -----	92
IV. 12 Presentación de datos -----	93
IV. 13 Definiciones -----	94
IV. 14 Cálculo de los parámetros estadísticos de una muestra-----	96
IV. 15 graficas edad-resistencia-----	100
IV. 15 graficas edad-peso volumétrico-----	103
IV. 16 Informe estadístico -----	106
IV. 17 histogramas de los datos obtenidos -----	108
IV. 18 Correlaciones de los datos obtenidos-----	116
IV. 19 Resumen de los datos obtenidos-----	118
IV. 21 Ecuaciones obtenidas -----	122
Capítulo V: Discusión y Conclusiones-----	124

OBJETIVO

La importancia de este trabajo es llegar a obtener propiedades mecánicas más altas en la arcilla montmorillonita estabilizada con CaSO_4 como son: Resistencia a la compresión, tensión, flexión y módulo de elasticidad, y a la misma vez tratar de correlacionar estos parámetros mecánicos, de modo que sea posible obtener cualquiera de estas propiedades mecánicas de los sólidos con el simple hecho de conocer el esfuerzo a compresión.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente a **Dios** por darme la fe, fuerza y esperanza de llegar a tener profesión.

A mis padres **Mario Olguín y Celina Domínguez** por haberme dado la oportunidad de llagar a ascender un escalón más en la meta de la vida.

A mis hermanos por el grande apoyo y atención que me brindaron, especialmente a mi hermano **Omar Olguín** que nunca me dejo abajo.

A la **Dr. Elia Mercedes Alonso Guzmán** por su grandísimo apoyo, tiempo, consejos, confianza y oportunidad de que me dio para realizar esta tesis.

Al **Laboratorio de materiales “Ing. Luis Silva Rúelas ” de la U.M.S.N.H** por brindarme el apoyo de sus instalaciones, material y confianza.

A la **facultad de ingeniería civil** por haber sido el gimnasio de la formación profesional.

A mis **maestros** que me transmitieron sus conocimientos sin interés particular.

A mi novia **Azucena Villaseñor** por el cariño y comprensión en esos tiempos difíciles que pasamos.

A compañeros y amigos de la facultad, que compartimos momentos inolvidables, aquellos en los que siempre pude confiar.

Al los señores y amigos **Rubén Hernández**, por su buen humor y forma de ver la vida, **Jorge García** por sus sabios consejos y **Jaime Chora** por su fuerza y ayuda en el laboratorio de mecánica de suelos, gracias amigos siempre los recordare.

A todas aquellas personas que colaboraron directa y indirectamente en mi formación profesional.

AL PROYECTO FONDOS MIXTOS DE NICHUACAN 2005-CO1-028
DEL CONACYT, Titulado “Estudio de calidad del aire en las ciudades
de Morelia, Zitácuaro, Uruapan y Lázaro Cárdenas del Estado de Mi-
choacán y propuestas de remediación en el caso de contaminación”

Capítulo I: INTRODUCCIÓN

La estabilización de las arcillas, prácticamente se ha venido dando más en las vías terrestres, pero particularmente en este trabajo la estabilización o mejoramiento de las condiciones mecánicas de las arcillas del grupo de las esmectitas, específicamente motmorilloníticas (aluminio-silicatos) hidratados muy sensibles que son referidas a la elaboración de adobes (ladrillos de arcilla secados a temperatura ambiente) estabilizados con minerales. Buscando así un contenido óptimo de estabilizante mineral.

En este caso estabilizadas con yeso (CaSO_4), ya que se toma en cuenta sus características físico-químicas de los diferentes minerales al igual que su costo energético de producción. Por ejemplo se tiene que para cocer la piedra de cal se debe de emplear una temperatura con un rango de 900°C a 1100°C con un consumo de 3200 KJ/Kg (760 Kcal/Kg). Que a diferencia de la calcinación de la piedra de yeso para convertirla en hemihidrato o polvo. Que necesita una temperatura de más o menos de 163°C y con un consumo energético de 590 KJ/kg equivalente a 140 kcal/kg muy inferior al del consumo energético para la producción de la cal. Reflejándose así un menor costo de producción del mineral [1].

Este mejoramiento de la arcilla tiene la finalidad de implementar un mejoramiento a sus condiciones físicas. Como son optimizar el comportamiento de esfuerzo deformación de los suelos. De modo que al mejorar estas arcillas se tiene una mayor resistencia al esfuerzo cortante, una mayor resistencia a la deformabilidad o esfuerzo a la compresión, una mayor estabilidad volumétrica de estas arcillas ante la presencia del agua. Entre algunos otros parámetros.

En terrenos arcillosos, donde el clima es muy extremo se tienen estos problemas ya que cuando el clima se encuentra frío y húmedo se tienen problemas de expansión de la arcillas, y cuando se encuentra el clima en su otro extremo se tiene una pérdida de agua por la temperatura elevada, dando como resultado una contracción de las arcillas, que da lugar a muchos problemas, tanto en los terrenos arcil-

llosos como en las construcciones (casas de adobes sin un previo trabajo de estabilización), apareciendo grietas en los terrenos arcillosos, y además en las fachadas de las construcciones de adobe.

En la actualidad se ha venido dando durante el transcurso de varias décadas una serie de métodos y de materiales para la estabilización de las arcillas con un gran potencial de expansión y contracción. Estos son algunos de los materiales que se han venido utilizando [7].

Cal.

Ácidos orgánicos.

Resinas y polímeros.

Cemento pórrtland.

Sales (cloruro de sodio, cloruro de potasio, cloruro de magnesio, cloruro de bario, cloruro de calcio, nitrato de sodio, carbonato de sodio entre otros).

Productos asfálticos.

Yeso (nuestro trabajo).

La costa del Pacífico en el Continente Americano es la parte joven del planeta. La última en emerger por violentos movimientos telúricos, entonces las arcillas presentes son minerales jóvenes del grupo de las Smectitas, específicamente Montmorillonitas. Alumino-Silicatos hidratados muy sensibles, higroscópicamente hablando, que presentan grandes cambios volumétricos. La estructura cristalográfica laminar típica de estos minerales ha sido estudiada con Difracción de Rayos X, y al calcularse la distancia interlaminar entre las hojuelas de arcilla, se comprueba que dichos minerales tienen espacio geométrico para las moléculas de agua, pero al alojarse las moléculas de agua en las arcillas provocan que haya expansiones volumétricas que no pueden ser contenidas por las estructuras de las que forman parte, pero al mismo tiempo cuando esta estructura por cambios ambientales ya no contiene moléculas de agua en su estructura, se colapsará, es decir se contraerá volumétricamente, resultando en agrietamientos en la superficie, que deberán ser restaurados cotidianamente [22].

Los constructores trataron de controlar el problema de los agrietamientos con temperatura y horneado; las arcillas amasadas, se secaban al sol para eliminar la humedad superficial y disminuir el gasto de combustible y posteriormente se horneaban para convertirlos en materiales cerámicos, estables volumétricamente pero frágiles. Los adobes presentan aislamiento térmico, óptico y acústico, no solo por su densidad sino por las dimensiones de su geometría, los adobes son piezas macizas que tienen (10 x 24 x 34)cm aprox.(4" x 10" x 14"); requieren por tanto terrenos amplios para su empleo, las casas de los Purhépecha presentan una distribución específica, las construcciones de adobe son amigables con el entorno, pues no requieren energía térmica para su consolidación; el consolidante, el yeso, sí requiere energía para ser llevado a 163 °C y que se produzca disociación, pero es menor el consumo, que el caso de la producción de cemento Pórtland, sobre todo pensando en el problema del calentamiento global por las emisiones antropogénicas [22].

Michoacán está localizado en una zona de alta sismicidad, la energía liberada por los movimientos tectónicos debe ser absorbida por los materiales constructivos que conforman las estructuras, entonces el sentido común de los grupos étnicos que habitaban la zona, se observó que para elaborar materiales cerámicos se requería más "tecnología" como hornos, temperatura, combustible y muchas piezas se obtenían dañadas, además de ser frágiles; entonces la experiencia les dictó continuar usando al antecesor de los materiales cerámicos que es el adobe [22].

Las piezas de adobe son más elásticas que los materiales cerámicos de arcilla recocida. Por su geometría tienen mejor respuesta bajo sollicitaciones horizontales, los muros de adobe no suelen ser esbeltos, ni formar parte de estructuras muy altas, pueden ser reparados fácil y económicamente, la materia prima abunda en la región, y el conocimiento empírico de los grupos étnicos que los empleaban, les enseñó a agregar diferentes aditivos orgánicos y minerales para estabilizar las arcillas [22].

En Michoacán existen construcciones de tierra en climas muy diferentes; las hay en zonas secas como los alrededores de Morelia, Charapan, Paracho; en zonas húmedas como Pátzcuaro y Uruapan; en zonas frías como Ciudad Hidalgo, Zitácuaro; en zonas costeras como Lázaro Cárdenas. En cada una de ellas se emplearon aditivos diferentes, regularmente los que abundaban en la región [22].

En zonas frías y altas, más de 1800 msnm, el aditivo han sido las ahujas de pino (huinumo); en la rivera de los lagos se ha usado arena fina (cantos rodados o aluviales), un suelo rojo coloquialmente llamado charanda, residuos de caña de maíz o rastrojo, heces de ganado bovino y caballar, y por supuesto en casi todos los casos tienen residuos de yeso (CaSO_4) y cal (CaCO_3), no solo como constituyente en las piezas, también como recubrimiento o mortero de suelo. El yeso mejora la plasticidad y las propiedades mecánicas en los adobes y estabilizan el volumen. El yeso empleado es de grado industrial, el yeso es un β sulfato de calcio hemihidratado ($\beta\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$).

Las arcillas han sido empeladas como materia prima con diferentes fines, en el campo de la ingeniería civil existe un Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) donde pueden clasificarse a los suelos como materiales expansivos o arcillas y materiales “inertes” o limos, y dentro de cada uno hay diferentes grados: de baja y alta compresibilidad.

Las arcillas que nos ocupan provienen de Santiago Undameo, un banco en las inmediaciones de Morelia.



Fig. 1. Banco de arcilla en la comunidad de Santiago Undameo mich.

I.1 ANTECEDENTES

Para la construcción de su hábitat, el hombre siempre ha buscado como primera fuente los materiales más cercanos a su entorno, empleándolos y transformándolos según las necesidades ocupacionales. En este caso de la tierra como principal material de construcción de los adobes. Ya que se tiene el dato de una tradición histórica que remota desde una edad aproximada de 6000 años. Por lo que una numerosa cantidad de culturas la utilizaron en esos tiempos y las han seguido utilizando [8].

Se aproxima que un 30% de la población mundial. Aún vive en casas hechas de tierra. Ya sea de barro con estructuras de cañas o varas. Que sirven para dar soporte. O de algún otro material hecho de tierra [8].

Los adobes como principal material de construcción han tenido una gran historia constructiva entre los pueblos antiguos, ya que datan desde el VII milenio antes de Cristo, fueron usados por la ciudad de Çatal Höyük. Una ciudad antigua de Asia menor cuyo yacimiento neolítico está ubicado en la llanura de Konya, en el sur de la actual Turquía. Se han desenterrado al menos quince niveles. La ciudad estaba compuesta por casas adosadas que formaban un único bloque continuo, interrumpido por algunos patios. No existían calles y se accedía a las viviendas a través del tejado. Las casas estaban construidas sobre una estructura de madera con paredes de adobe y tejado. Por esa razón es que se le atribuye a esta ciudad como la primera en utilizar adobe para la construcción de su hábitat [10].

Por lo que en América no fue la excepción de las construcciones en adobe. Ya que en Perú existió la ciudad de Chan Chan perteneciente a la cultura chimú (1200-1480 d.C.). La cual es considerada como la ciudad más grande de América construida de adobe [10].

En la actualidad, los países como España, México, Argentina Chile y en tierras semidesérticas de África, las construcciones se suelen cubrir con una capa del mismo material con el que elaboran los adobes dándoles la apariencia típica de las casas de campo [5].

Particularmente en México, en Argentina y en el sur y norte de Chile las casas de adobe siguen siendo patrimonio de muchas familias humildes, que conservan esta tradición desde hace mucho tiempo [5].

I.2.1 GENERALIDADES

El adobe es un material de arcilla, arena, agua y algún aditivo estabilizador. Difundido y utilizado en todo el mundo desde hace miles de años. Su colado se hace en moldes de madera o de lámina de metal con dimensiones (10 x 24 x 34) cm aprox. (4" x 10" x 14") con un peso promedio de unos 14 kilos. Tales que sean de fácil manejo para la persona que lo va a trabajar (albañil). Es secado al sol y al aire libre. Por lo que es caracterizado como un material que se emplea sin cocción previa [5].

El adobe es un material de construcción mucho muy económico ya que los materiales que se utilizan para su elaboración son simplemente arcilla, arena (en nuestro caso solamente se encuentra presente en una pequeña cantidad), agua y algún estabilizador que puede ser: paja de trigo, paja de cebada, crin de caballo, pasto seco, algunos minerales como yeso (CaSO_4) y cal (CaCO_3) [5].

Es un material que a lo largo de los siglos ha demostrado ser el mejor remedio natural contra las extremadas condiciones climáticas. Tiene una gran inercia térmica, por lo que sirve de regulador de la temperatura interna; en tiempo caluroso es fresco y tibio durante el invierno.

El inconveniente que tiene este material es de no ser resistente a la lluvia. Por lo que hay que recubrirlo con una capa de barro. O con el mismo material del que han sido elaborados los adobes, también se puede hacer una mezcla de arcilla con cal, creando una mezcla pastosa para así poderla aplicar sobre la superficie construida con adobe y

si hay agrietamiento podemos aplicarle una cantidad considerable de arena.

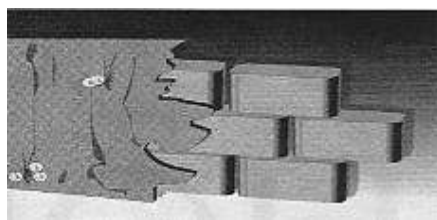


Fig. 2.) Recubrimiento del adobe.

No es recomendable cubrirla con capas de mortero de cemento, ya que se crea una capa muy impermeable al vapor de agua, la cual haría que se deshicieran los adobes dentro de este encofrado de mortero.

I.2.2 EL ÁRBOL GENEALÓGICO: LOS SILICATOS

No fue sino hasta el año de 1912 cuando, gracias a los físicos W. L. Bragg y M. Laue, que descubrieron las propiedades de los Rayos X, fue posible desentrañar la estructura interna de los minerales. Estos son compuestos cristalinos, es decir, que a escala molecular están formados por planos y caras muy bien definidos, los cuales tienen la propiedad de dispersar los Rayos X y producir así patrones de interferencia, los cuales nos proporcionan información muy valiosa sobre los arreglos cristalinos de las sustancias minerales [9].

Después, con el microscopio electrónico, desarrollado por primera vez por E. Ruska en 1931, fue posible observar directamente los cristales minerales, su forma y su geometría [9].

La investigación de las propiedades mineralógicas de estos sedimentos, comenzó en épocas de (1930). Ya contando con la ayuda del microscopio electrónico y la dispersión de los Rayos X, ya que presenta gran importancia en cuestiones de ingeniería, pues, a diferencia del comportamiento de los suelos gruesos, el comportamiento mecánico de las arcillas se ve decisivamente influido por su estructura en general y constitución mineralógica en particular [3].

Mediante las técnicas descritas anteriormente, se sabe que los silicatos están formados por cristales regulares y, si vamos a una escala más pequeña, veríamos que estos cristales tienen a su vez una unidad básica: el tetraedro (en, griego “cuatro caras”), tal y como se ilustra en la figura 3. Ya que esta es la parte principal, que da lugar a la formación de las estructuras moleculares llamados los filosilicatos [9].

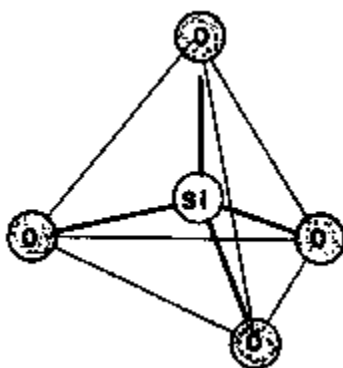


Fig. 3. El tetraedro elemental (silicato) [9].

El tetraedro sílico de la Figura 3 está compuesto por un átomo central de silicio (Si) y cuatro átomos de oxígeno en sus vértices (O_2). Si cada átomo de silicio tiene cuatro cargas eléctricas positivas (Si^4), mientras que cada átomo de oxígeno tiene dos cargas negativas (O^{-2}), es necesario que cada uno de los átomos de oxígeno use una de sus cargas para atraer a una de las cargas del silicio, quedando así saturado el átomo central (Si), mientras que las esquinas todavía tienen una carga negativa para enlazarse a otro átomo con carga positiva. Cuando esto último ocurre, entonces tenemos que se puede formar una cadena de tetraedros, mediante los enlaces del tipo: $\dots\text{-O-Si-O-Si-O-Si-O}\dots$ [9].

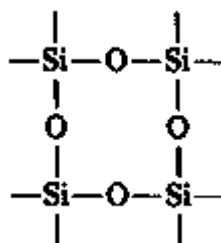


Fig. 4. Equilibrio de los iones de silicio y oxígeno [9]

De igual manera, mediante este mecanismo podemos formar cadenas en las dos direcciones (x-y), para así poder formar redes, y a la vez sobreponerlas una encima de la otra para así poder formar arreglos tridimensionales [9].

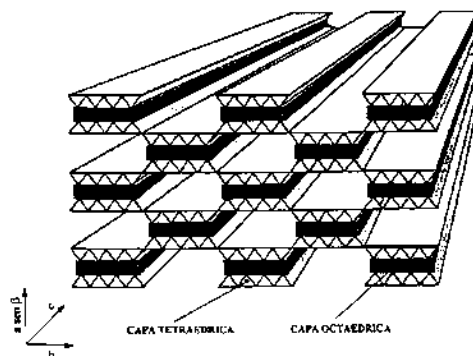


Fig. 5. Arreglos tridimensionales de silicatos [2].

También podemos sustituir uno de los átomos de silicio por otro átomo, por ejemplo de aluminio (**Al**), pero tratando de que la estructura cristalina quede balanceada, ya que el aluminio tiene tres cargas eléctricas positivas. La carga eléctrica desbalanceada, puede ser equilibrada por un catión, que puede ser potasio o sodio [9].

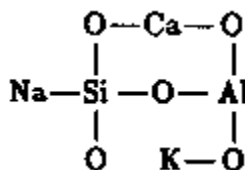


Fig. 6. equilibrio de los iones de silicio y oxígeno [9].

Todos estos arreglos de las estructuras tetraédricas seguidas por las leyes de Pauling. Que nos dicen lo siguiente: [9].

- 1) La suma de las cargas negativas debe ser igual a la suma de las cargas positivas, de manera que la estructura sea eléctricamente neutra.
- 2) Todos los elementos con carga positiva (cationes) pueden enlazarse o rodearse de elementos cargados negativamente, coordinándose con ellos de modo que los arreglos coordinados dependen únicamente de los tamaños entre el catión (+) y el anión (-) respectivo.

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 [9].

1.2.3 Las arcillas y su estructura cristalina:

El término arcilla se usa habitualmente con diferentes significados: [2].

- Desde el punto de vista mineralógico, abarca un grupo de minerales (minerales de la arcilla), filosilicatos en su mayor parte, cuyas propiedades físico-químicas dependen de su estructura y de su tamaño de grano, muy fino (inferior a 2 mm).
- Desde el punto de vista petrológico la arcilla es una roca sedimentaria, en la mayor parte de los casos de origen detrítico, con características bien definidas. Para un sedimentólogo, arcilla es un término granulométrico, que abarca los sedimentos con un tamaño de grano inferior a 2 mm.
- Para un ceramista una arcilla es un material natural que cuando se mezcla con agua en la cantidad adecuada se convierte en una pasta plástica. Desde el punto de vista económico las arcillas son un grupo de minerales industriales con diferentes características mineralógicas y genéticas y con distintas propiedades tecnológicas y aplicaciones.

Por lo que, el término arcilla no sólo tiene connotaciones mineralógicas, sino también de tamaño de partícula, en este sentido se conside-

ran arcillas todas las fracciones con un tamaño de grano inferior o igual 2 mm (malla No. 200 ASTM según SUCS). De acuerdo a esto todos los filosilicatos pueden considerarse verdaderas arcillas si se encuentran dentro de dicho rango de tamaños, incluso minerales no pertenecientes al grupo de los filosilicatos (cuarzo, feldespatos, etc.) pueden ser considerados partículas arcillosas cuando están incluidos en un sedimento arcilloso y sus tamaños no superan los 2 mm [2].

Las arcillas son constituyentes esenciales de gran parte de los suelos y sedimentos debido a que son, en su mayor parte, productos finales de la meteorización de los silicatos que, formados a mayores presiones y temperaturas, en el medio exógeno se hidrolizan. Las rocas ígneas estuvieron a merced de los fenómenos medioambientales (meteoricos) que propiciaron su metasomatismo convirtiéndolas en minerales accesorios o secundarios metamórficos como las arcillas [2].

I.2.4 Estructura cristalina de las arcillas formando láminas

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 tales láminas: la sílica y la alumínica [3].

Estos tetraedros se agrupan en unidades hexagonales, sirviendo un átomo de oxígeno de nexo entre cada dos tetraedros. Las unidades hexagonales repitiéndose indefinidamente, constituyen una retícula laminar tipo (T) [3].

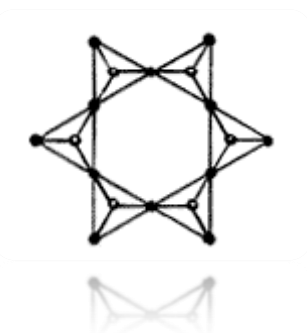


Fig. 7. Tetraedros agrupados en forma hexagonal [9].

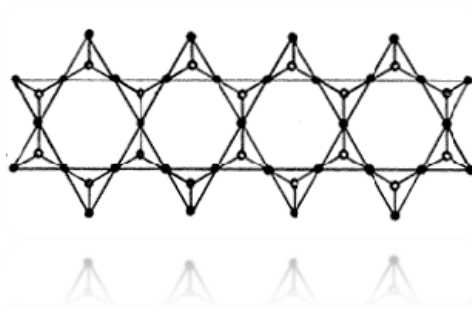


Fig. 8. Tetraedros agrupados en forma hexagonal [9].

De igual manera, existen otros cuerpos poligonales que podemos unir entre sí para formar cadenas, tal y como ocurre con el octaedro (octa, ocho; edros, cara), representado en la (Figura 9), formación típica de los compuestos de aluminio, por ejemplo $\text{Al}(\text{OH})_6$, o del magnesio. Este arreglo es una *hoja octaédrica* (tipo O) [9].

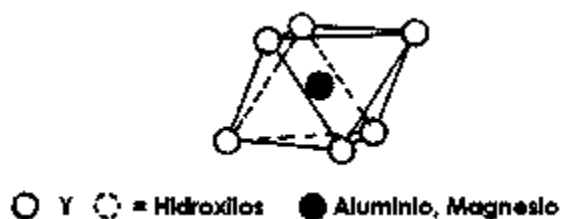


Fig. 9. Octaedros de aluminio [9].

Las láminas alumínicas están formadas por retículas de octaedros, dispuestos con un átomo de aluminio al centro y 6 de oxígeno alrededor. Tal como se muestra en la figura 10. También ahora es el oxígeno el nexo entre cada dos octaedros vecinos, para construir la retícula [3].

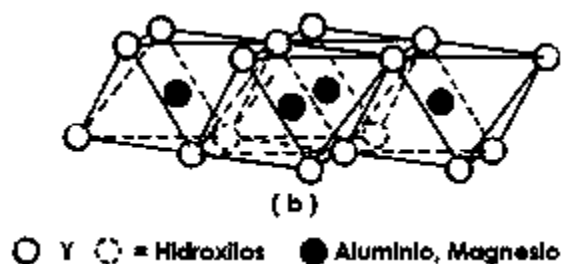


Fig. 10. Una hoja de octaedros (O) [9].

Ahora bien, la unión entre una lámina tipo **T**, con otra lámina del tipo **O**, genera una *lámina T- O*, o también la podemos nombrar *lámina 1:1*, tal y como lo podemos observar en la (figura 11). La coincidencia, entre los oxígenos de las hojas tipo **T** y las hojas tipo **O**, no es perfecta cuando se trata de hojas tipo **O** formadas por aluminio-oxígeno-oxhidrilo, lo cual crea un efecto de esfuerzo entre las hojas que es de gran importancia para algunas de las aplicaciones de las arcillas que presentan este tipo de láminas (**T-O**), un ejemplo de esto puede ser el caolín [9].

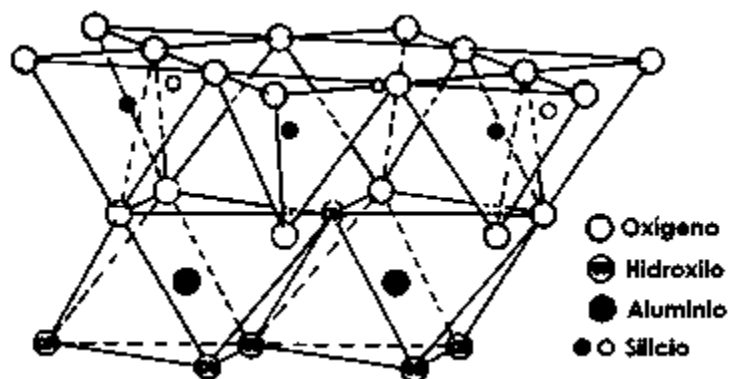


Fig. 11. Lámina de tipo (T-O) [9].

Otro arreglo podría ser. Que a la lámina de tipo (**T-O**) le agregamos una lámina tipo (**T**). Dando como resultado una lamina del tipo (**T-O-T**). la cual se muestra en resultado en la figura 9. Llamada también por algunos investigadores como: la estructura de sándwich, debido a que dos hojas tipo T se asemejan a los panes del sándwich, mientras que

el jamón correspondería a la hoja tipo **O**. Esta lámina tiene pues dos hojas T y una hoja **O**, o sea la lámina es del tipo 2:1[9].

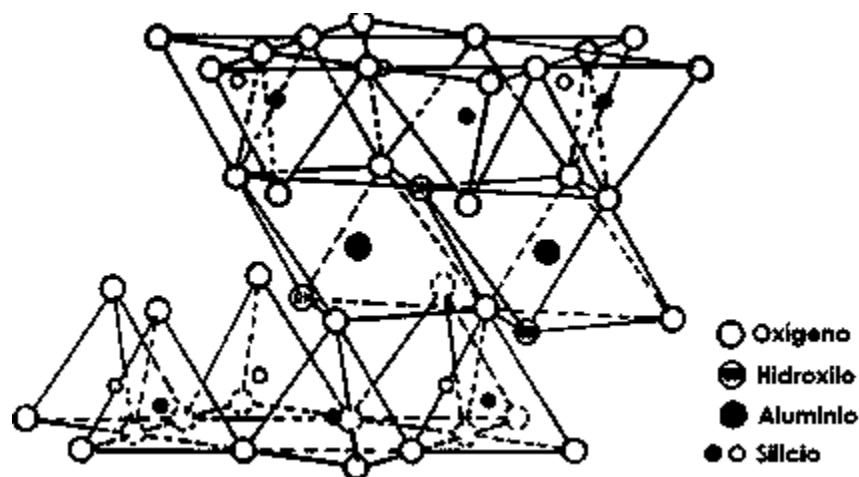


Fig. 12. Lámina de tipo (T-O-T) [9].

Aquí terminamos con estos arreglos estructurales, ya que la lámina de tipo **(T-O-T)** es la más completa. No acepta una nueva adición debido a que sus enlaces están saturados. La estructura de sándwich es la parte esencial de las arcillas [9].

1.2.2 Clasificación de la arcilla de acuerdo a su estructura reticular

De acuerdo con su estructura reticular, los minerales de arcilla se encasillan en tres grandes grupos: caolinitas, montmorillonitas e illitas. Las caolinitas ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Su nombre caolín proviene de la voz china Kau-Ling, nombre del cerro de una región que se encuentra al norte de China de donde se extraía esta arcilla desde el siglo VIII d.C., para la fabricación de la porcelana [9].

Las montmorilloníticas $[(\text{OH})_4\text{Si}_8\text{Al}_4\text{O}_{20} \cdot n\text{H}_2\text{O}]$, que su nombre fue dado en el año de 1874 a un mineral arcilloso encontrado en Montmorillon, Francia [4].

Esta pertenece al grupo de las esmectitas, por lo que pertenece al grupo (2:1). Están formados por una lámina alumínica entre dos sílicas, superponiéndose indefinidamente [3].

El enlace interlaminar está constituido principalmente por las fuerzas de Van der Waals y es en consecuencia muy débil si se compara con los enlaces de hidrógeno u otros iones [4], por lo que las moléculas de agua pueden introducirse en la estructura con relativa facilidad, a causa de las fuerzas eléctricas generadas por la naturaleza dipolar. Lo anterior produce un incremento en el volumen de los cristales, lo que traduce macro físicamente en una expansión. Las arcillas montmorilloníticas, especialmente en presencia de agua, presentarán fuertes tendencias a la inestabilidad. Las bentonitas son arcillas del grupo montmorillonítico, originadas por la descomposición química de la ceniza volcánica y presentan la expansividad típica del grupo en forma particularmente aguda lo que las hace sumamente críticas en su comportamiento mecánico. Estas arcillas aparecen, desdichadamente, con frecuencia en los trabajos de campo; por otra parte en ocasiones, ayudan al ingeniero en la resolución de ciertos problemas prácticos [3].

Las illitas $[(\text{OH})_4 \cdot K_y (\text{Si}_{8-y} \cdot \text{Al}_y)(\text{Al}_4 \cdot \text{Fe}_4 \cdot \text{Mg}_4 \cdot \text{Mg}_6)\text{O}_{20}]$. Están estructuradas análogamente que las montmorillonitas, pero su constitución interna manifiesta tendencia a formar grumos de materia, que reduce el área expuesta al agua por unidad de volumen; por ello su expansividad es menor que el de las montmorillonitas y, en general, las arcillas ílticas se comportan mecánicamente en forma más favorable para el ingeniero [3].

I.2.3 Estructuras formadas por láminas de tipo 1:1 y de tipo 2:1

Grupo 1:1

I.2.3.1 Los caolines

La unidad fundamental de la estructura del caolín es la lámina **T-O**, mencionada anteriormente. Formada por una hoja de tetraedros de silicio-oxígeno unida a otra hoja de octaedros de aluminio-oxígeno-**OH** (lámina sílica y otra alumínica). Que se superponen indefinidamente. La sustitución del silicio por otro elemento, como el aluminio, o bien la sustitución del aluminio en la hoja tipo **O** por otro elemento de menor

carga, por ejemplo el magnesio, causa un cambio químico en el material pero mantiene esencialmente la misma estructura [9]. La unión entre todas las retículas es lo suficientemente firme para no permitir la penetración de moléculas de agua entre ellas (absorción). Estas sustituciones dan origen a la familia de los caolines (Figura 13) [3].

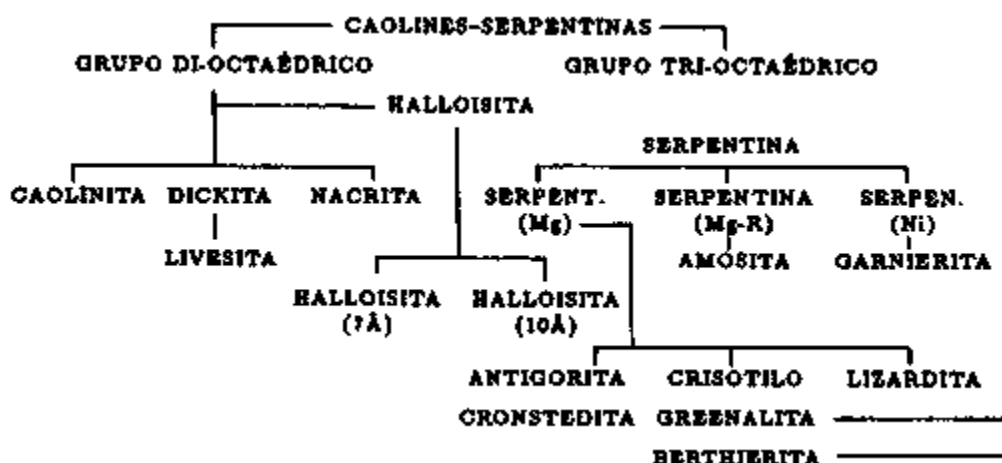


Fig. 13. El árbol de los caolines [9].

La primera rama del árbol de los caolines comprende aquellos minerales que tienen la misma composición química por cada unidad estructural. Estos minerales son: nacrita, livesita, dickita, anauxita, halloisita y el alofano, los cuales difieren solamente por su arreglo laminar. Imaginemos un paquete de naipes en el que todas las cartas se encuentran ordenadas perfectamente como la estructura de la nacrita (figura 14) [9].

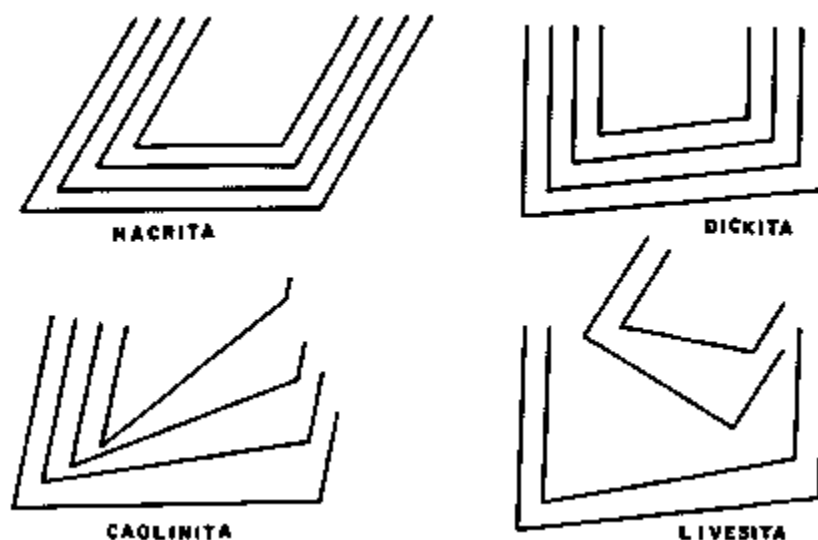


Fig. 14. La baraja de los caolines [9].

En cambio, la dickita está formada de tal manera que el paquete de naipes se abre más de un lado que del otro, entre 6 y 7 grados, mientras que la caolinita se abre hasta 15 grados [9].

Existe un mineral asociado (livesita) que presenta una abertura a un lado que es siempre regular, mientras que la carta siguiente se abre de forma irregular hacia el otro lado, dando origen a una estructura laminar muy desordenada y muy inestable [9].

Y por el otro lado de los caolines se encuentran los tri-octaédricos, que es de igual importancia, y presenta el mismo tipo de estructura laminar, pero con una sustitución del aluminio de la hoja tipo **O** por otro catión, por ejemplo el hierro (Fe^{2+} , Fe^{3+}) o el magnesio (Mg^{2+}). Sin embargo, al sustituir el aluminio por el magnesio se contraen ligeramente las dimensiones de la hoja tipo **O**, originando una pequeña distorsión en la lámina **T-O**, la cual permite acomodar el esfuerzo pero ocasiona que la forma externa de los cristales de este tipo sea fibrosa o corrugada, tal es el caso de los asbestos (crisotilo) y la antigorita, respectivamente [9].

En las estructuras de estos derivados del caolín se ve que sus hojas se ensamblan naturalmente unas sobre otras, como las cartas de una baraja [9].

GRUPO 2:1

I.2.3.2 Las esmectitas

La familia de las esmectitas está formada por todas aquellas arcillas que presentan una estructura de tipo ¡sándwich!, es decir, que está constituida por dos hojas de tipo **T** y por otra intermedia de tipo (**O**) [9].

Esta estructura es eléctricamente neutra debido a que todas las posiciones en la hoja **T** se encuentran ocupadas por átomos de silicio, al igual que todas las posiciones de la capa **O** contienen aluminio [9].

Existen numerosas ramas en el árbol de las arcillas, las cuales presentan la misma estructura de sándwich, (Figura 15) excepto que algunas veces el aluminio sustituye al silicio parcialmente en la capa **T**, o bien el magnesio o el hierro sustituyen al aluminio en la capa **O**, e inclusive el flúor (**F**) pudiera sustituir al oxígeno de la capa **O**. Luego, estas diferencias de composición química hacen que las propiedades de cada arcilla mineral sean distintas [9].

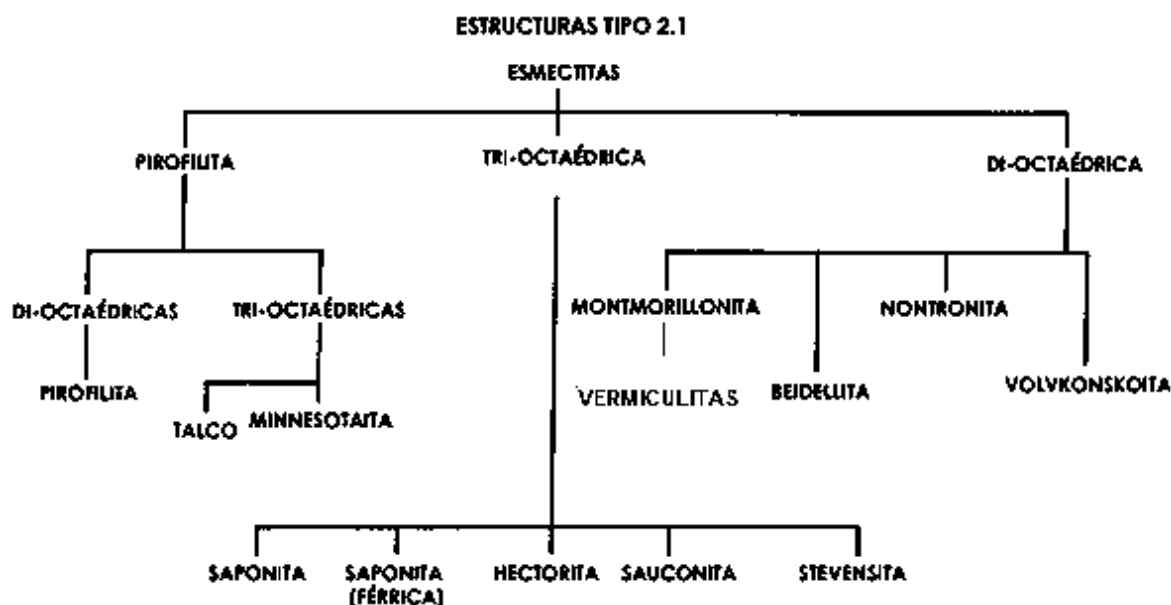


Fig. 15. El árbol de las esmectitas [9].

Entre todas las esmectitas, la rama de las arcillas di-octaédricas presenta propiedades muy interesantes, derivadas por supuesto de su estructura laminar, de su espacio interlaminar y de la carga residual [9].

Existe otra familia de arcillas que se asemeja a la de las montmorillonitas: las vermiculitas, que tienen la misma estructura de sándwich, pero que pueden presentar un grado de sustitución mayor en la hoja octaédrica, originando una carga residual mayor que las montmorillonitas y, por eso mismo, la atracción entre las láminas es mayor también, por lo que la estructura no es tan expansible [9].

1.3 Química de las arcillas

En los suelos de grano muy fino, sin embargo, fuerzas de otros tipos ejercen acción importantísima; ello es debido a que en estos granos, la relación de área a volumen alcanza valores de consideración y fuerzas electromagnéticas desarrolladas en la superficie de los compuestos minerales. 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) [3].

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. Por lo que su intensidad de 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 cual conduce a la conclusión 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 absorbida) [3].

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 absorbida por cada catión aumenta con la carga eléctrica de éste y con 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 cationes atraídos [3].

La magnitud de las presiones existentes en la película de agua que rodea a un cristal de arcilla, fue reportada por Winterkorn y baver, quienes dan un valor quienes dan un valor de 20000 kg/cm^2 . Brigman estudió la variación del punto de congelación del agua, cuando estás sujeta a grandes presiones, encontrando que dicho punto corresponde a temperaturas cada vez mayores respecto al valor normal de 0°C , a medida que la presión se incrementa a partir de 6000 kg/cm^2 ; en particular, señaló que a 10000 kg/cm^2 la congelación del agua ocurre a más de 30°C [3].

De lo anterior puede deducirse que a las temperaturas a las que se encuentra normalmente en las masas de suelo, la película de agua adsorbida por los cristales de arcilla, tendrá las propiedades similares a las del hielo sólido (capa sólida). Más alejadas del cristal, otras moléculas se encuentran sometidas a presiones gradualmente menores; esta agua tiene propiedades intermedias entre el hielo y el agua en estado líquido normal, pudiendo decirse que su comportamiento es de un fluido de alta viscosidad (capa viscosa). Las moléculas de agua no sujeta al cristal por fuerzas de superficie mantienen sus características usuales (agua libre o gravitacional) [3].

Terzaghi y Peck estiman que la capa sólida y viscosa puede tener un espesor de .005 micras [3].

I.3.1 Intercambio catiónico

Los cristales de arcilla pueden cambiar los cationes adsorbidos en su película superficial; por ejemplo, una arcilla hidrógena (con cationes H^+) puede transformarse en sódica, si se hace que circule a travez 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 $(\text{NH}_4)^+$ [3].

Las Caolinitas son menos susceptibles de intercambiar sus cationes que las montmorillonitas y las illitas poseen la propiedad en grado intermedio [3].

La capacidad de intercambio crece con el grado de acidez de los cristales, es decir es mayor si el pH del suelo es menor que 7. La capacidad de intercambio también crece con la velocidad y concentración de la solución que circule por la masa de suelo [3].

Las propiedades mecánicas de una arcilla pueden variar al cambiar los cationes contenidos en sus complejos de adsorción, pues a diferentes cationes ligados corresponden distintos espesores de la pelícu-

la adsorbida, lo que 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 [3].

Durante mucho tiempo se creyó que los minerales de la arcilla eran de naturaleza amorfa, pero todas las investigaciones de detalle realizadas hasta ahora han demostrado, por el contrario, que son cristalinos y altamente estructurados [3].

Las relaciones entre los cristales que componen la arcilla y el agua que los rodea han adquirido últimamente una importancia cada vez con más significado. De la cual se hace un uso reciente para explicar los comportamientos macrofísicos de las arcillas en las obras ingenieriles. El comportamiento macrofísico a gran escala, de las arcillas de interés ingenieril, no es más que un reflejo de la estimulación de toda una serie de fenómeno microfísicos, que ocurre en lo más íntimo de los suelos finos. Así, el estudio de estas relaciones a pequeña escala, por así decirlo, cobra cada vez mayor interés [3].

1.3.2 Tipos de nexos entre átomos y moléculas

Parece conveniente mencionar sobre los tipos de nexos entre los átomos que constituyen a los cristales de arcilla y el agua. Ya que ayudara más a la comprensión de estos fenómenos. ³

Existen nexos que unen a los átomos y nexos que unen a las moléculas. Los primeros se denominan primarios y suelen ser de alta energía; los segundos llamados secundarios, los cuales hace uso de niveles de energía mucho más bajos [3].

Nexos primarios [3].

Los nexos primarios que ocurren entre los átomos de un cristal de arcilla son principalmente los siguientes:

a) Nexos iónicos

Se establecen entre 2 átomos que tengan incompleto el número de los electrones en sus bandas más exteriores. Así, un átomo pierde los electrones faltantes en la banda extrema, que pasan a ocupar los lugares de los electrones faltantes en la banda extrema del otro. El ejemplo clásico que ilustra este mecanismo es el cloruro de sodio; con un solo electrón en su última orbita, lo cede al cloro, que tiene únicamente siete electrones en su órbita extrema, completando el número ocho, lo que transforma al cloruro de sodio en una molécula estable.

Los átomos que pierden o ganan uno o más electrones por este tipo de mecanismo se denominan iones y poseen carga eléctrica desbalanceada, positiva o negativa según que hayan perdido (catión) o ganado (anión) electrones. El nexo iónico es precisamente debido a las fuerzas eléctricas originadas entre esas cargas desbalanceadas.

b) Nexos covalentes

Ocurren entre dos átomos a cada uno de los cuales les falta uno o más electrones en sus bandas extremas; en estos casos dichos átomos pueden combinarse para compartir un par o más de electrones de manera que un átomo suple con alguno de sus electrones la deficiencia de el vecino, en tanto que éste completa al primero compartiendo con él algunos de sus propios electrones. Como ejemplo de este nexo pueden citarse la molécula del oxígeno (O_2) y la de el agua (H_2O). En el primer caso, dos átomos de oxígeno, diferentes en dos electrones cada uno, comparten dos pares de electrones para formar la molécula estable; en el caso de el agua, un átomo de hidrógeno, a los que falta un electrón en su órbita, en tal forma que el átomo de oxígeno comparte finalmente un par de electrones, con cada átomo de hidrógeno.

c) nexo a través de un núcleo de hidrógeno

En ocasiones un átomo de hidrógeno se puede combinar con un átomo de oxígeno, de flúor o de nitrógeno principalmente, cediendo su único electrón al átomo más pesado. De esta manera, el núcleo del átomo de hidrógeno, con su carga positiva, puede ejercer fuerzas de cierta consideración sobre átomos, iones o moléculas vecinos. Esta

liga así establecida a través del núcleo de hidrógeno resulta mucho más débil que la iónica o que la covalente, estudiada más atrás y cuando se establece entre dos láminas de las que constituyen un cristal de arcilla, produce nexos de unión relativamente débiles y no tan estables.

Nexos secundarios [3].

Como se ha indicado, se conoce por este nombre aquellos nexos que se establecen entre las moléculas y a ellos corresponden niveles de energía relativamente bajos en comparación con los que ocurren entre los átomos.

De los nexos que ahora se trata el más importante es el que resulta de la existencia de las llamadas fuerzas de Van der Waals. Estas fuerzas son hasta cierto punto una consecuencia de la naturaleza polar moléculas de muchas sustancias, entre ellas las del agua; en estas moléculas, los centros de carga positiva y negativa no coinciden, de manera que la molécula en conjunto funciona como un pequeño dipolo permanente. Cuando dos moléculas están próximas, el campo de cada una orienta a la otra de manera que el centro de carga positiva de una queda próximo al contrario de la otra, ejerciendo entre ambas moléculas una fuerza neta de atracción. ³

CAPITULO II: MATERIALES Y DISEÑO DE MEZCLAS

El material principal empleado en nuestro trabajo fue la arcilla descrita en el capítulo anterior.

II.1 YESO

El yeso es un producto preparado básicamente de una piedra natural llamada aljez, que significa en castellano yeso, piedra de yeso, yeso crudo o yeso natural. Elaborado mediante deshidratación de la piedra, al cual pueden añadirse en fábrica determinadas adiciones para modificar sus características de fraguado, adherencia, resistencia, retención de agua, y densidad, el cual una vez amasado con agua,

puede ser utilizado directamente. También, puede ser empleado para la elaboración de elementos prefabricados [5].



Fig. 16. Yeso natural [5].

El yeso como producto industrial es sulfato de calcio hemihidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$), también llamado vulgarmente "yeso cocido". Su comercialización se hace en forma de polvo, es decir molido [5].

II.2 Historia de la utilización del yeso

El yeso es uno de los materiales de antaño empleado en construcción. Se tiene el dato de que en el período Neolítico, con el dominio del fuego, comenzó a elaborarse yeso y utilizarse para guarnecidos, unir las piezas de mampostería y sellar las juntas de los muros de las viviendas, sustituyendo al mortero de barro. En Çatal Höyük, durante el milenio IX AC, se encontraron guarnecidos de yeso y cal, con restos de pinturas al fresco. En la antigua Jericó, en el milenio VI AC, se usó yeso moldeado. [5]

En Egipto, durante el tercer milenio AC, se utilizó yeso para sellar las juntas de la Gran Pirámide de Giza, y en muchas tumbas como revestimiento y soporte. El palacio de Cnosos contiene revestimientos y suelos elaborados a base de yeso. [5]

El escritor griego Teofrasto, en su tratado sobre la piedra, describe el yeso (gipsos), sus yacimientos y sus modos de empleo como enlucido y para ornamentación. También escribieron sobre las aplicaciones

del yeso Catón y Columela. Plinio el Viejo describió su uso con gran detalle. Vitruvio, arquitecto y tratadista romano, en sus Diez libros sobre arquitectura, describe el yeso (gypsum), aunque los romanos emplearon normalmente morteros de cal y cementos naturales. ^[5]

La cultura musulmana difundió en España el empleo del yeso, y fue ampliamente adoptada en el valle del Ebro y sur de Aragón, dejando como resultado hermosas muestras de su empleo decorativo en el arte de las regiones de Aragón, Toledo y Sevilla. ^[5]

Durante la Edad Media, principalmente en la región de París, se empleó el yeso en revestimientos, forjados y tabiques. En el Renacimiento se utilizó para decoración. También en el período Barroco fue muy utilizado el estuco de yeso ornamental y la técnica del staff. ^[5]

En el siglo XVIII el uso del yeso para la construcción se generaliza en Europa. Lavoisier presenta el primer estudio científico del yeso en la Academia de Ciencias. Posteriormente Van t'Hoff y Le Chatelier aportaron estudios describiendo los procesos de deshidratación del yeso, sentando las bases científicas del conocimiento del yeso. ^[5]

II.3 Elaboración del yeso

II.3.1 Estado natural

En estado natural el aljez, piedra de yeso o yeso crudo, contiene 79,07% de sulfato de calcio anhidro y 20,93% de agua y es considerada como una piedra sedimentaria, incolora o blanca en estado puro, sin embargo, en ocasiones presenta impurezas que le aportan variadas coloraciones, entre las que encontramos la arcilla, óxido de hierro, sílice, piedra caliza, etc. ^[5]

En la naturaleza se encuentra la *anhidrita*, o karstenita, sulfato cálcico, Ca SO_4 , presentando una estructura compacta y sacaroidea (semejante a la de un terrón de azúcar), que absorbe muy rápidamente el agua, dando como resultado un incremento en su volumen hasta de 30% o 50%, siendo el peso específico 2,9 y su dureza es de 3 en la escala de Mohs. ^[5]

También se puede encontrar en estado natural la basanita, sulfato cálcico semihidrato, $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \cdot \text{H}_2\text{O}$, aunque en muy rara vez, por ser un mineral más inestable. ^[5]



Fig. 17. Dunas de Yeso en CuatrociénegaCoah [6].

II.4 PROCESO DE OBTENCIÓN DEL YESO

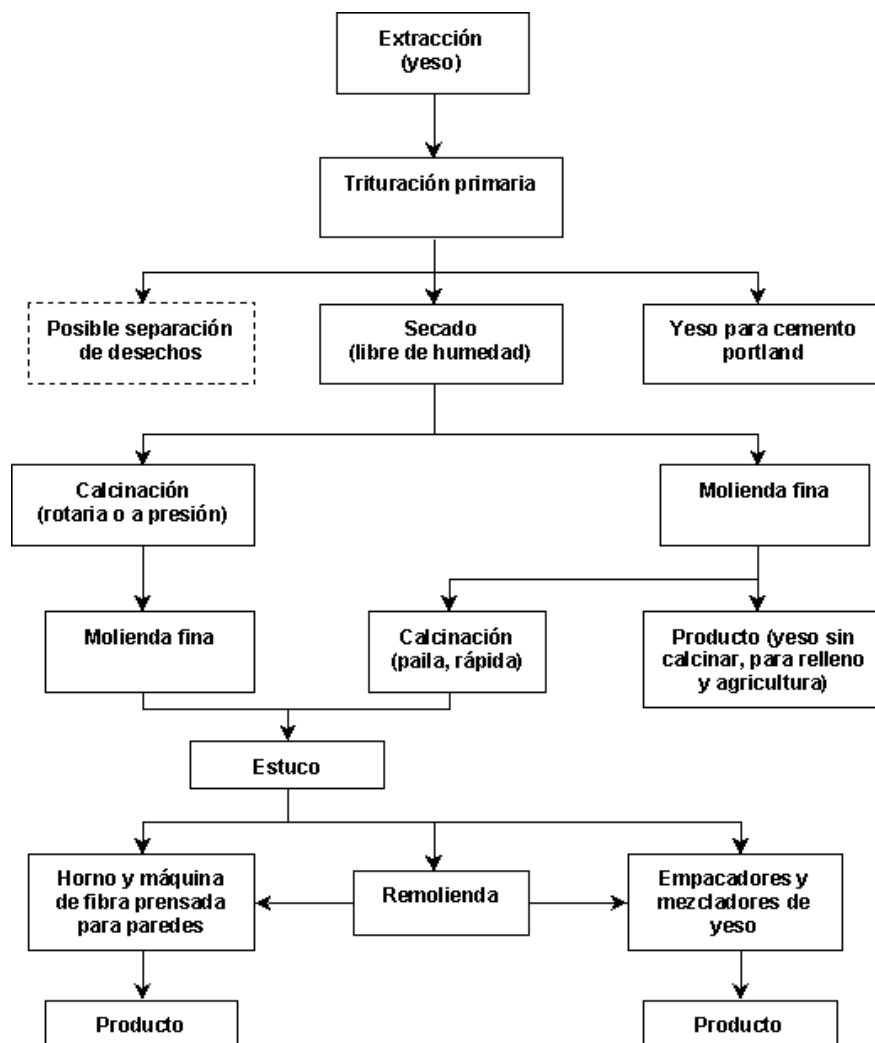


Fig. 18. Diagrama del proceso de obtención del yeso [13].

Extracción

Se desmonta el área a trabajar y se lleva a cabo el descapote, posteriormente se barrena aplicando el plan de minado diseñado, se realiza la carga de explosivos y se procede a la voladura, posteriormente se lleva a cabo la extracción y acarreo a planta de trituración [13].

Trituración

Se realiza con trituradoras y usualmente se utilizan cribas vibrando en el circuito, en parte para maximizar la eficiencia de la trituración y para reducir la producción de ultrafinos. En esta etapa se puede recuperar yeso para la fabricación de cemento. El beneficio se realiza cuando se tienen los más altos requerimientos de calidad de los productos finales en el mercado. La porción de desechos es separada [13].

Secado

Se realiza con el objeto de remover la humedad y asegurar el libre flujo de material en los siguientes pasos [13].

Calcinación

Es el paso para reducir el sulfato de calcio dihidratado a formas hemihidratadas o anhidras. Los hemihidratos usualmente son llamados estuco [13].

El proceso de calcinación puede realizarse por pailas o en calcinación rápida. Esta última no es tan controlable como la calcinación en paila y donde no son requeridos estucos de alta calidad [13].

Molienda

La molienda de finos para yeso calcinado y sin calcinar se hace para tener un mejor control del tamaño de la partícula [13].

Manufactura

El estuco casi siempre es usado con algún procesamiento adicional tal como molienda, aditivos mezclados o rehidratación y vaciado en bloques o tablas de fibra prensada para paredes. El tiempo de fraguado puede ser retardado o acelerado a límites de tiempo muy exacto mezclando con el estuco algunos materiales como goma y almidón (retardadores) y sales metálicas, pasta de yeso fraguada y anhidrita (aceleradores) [13].

El estuco es llevado al horno y máquina de tablas de fibra prensada para paredes o bien a empacadoras y mezcladoras de yeso. A menu-

do es re-molido después de la calcinación para impartirle calidades especiales y cuando es usado como agregado. Después de estos últimos procesos se obtienen los productos finales deseados [13].

El yeso natural, o sulfato cálcico bihidrato $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, está compuesto por sulfato de calcio con dos moléculas de agua [12].

Si aumentamos la temperatura hasta lograr que se desprendan totalmente las dos moléculas de agua, fuertemente combinada, se obtienen durante este proceso diferentes yesos empleados en la construcción, los que de acuerdo con las temperaturas crecientes de deshidratación pueden ser: [

Temperatura ordinaria: piedra de yeso, o sulfato de calcio bihidrato: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

107 °C: formación de sulfato de calcio hemihidrato: $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$.

107 - 200 °C: desecación del hemihidrato, con fraguado más rápido que el anterior: yeso comercial para estuco.

200 - 300 °C: yeso con ligero residuo de agua, de fraguado lentísimo y de gran resistencia.

300 - 400 °C: yeso de fraguado aparentemente rápido, pero de muy baja resistencia

500 - 700 °C: yeso Anhidro o extra cocido, de fraguado lentísimo o nulo: yeso muerto. Con resistencia nula debido a la falta de fraguado

750 - 800 °C: empieza a formarse el yeso hidráulico que se endurece muy lentamente, pero dando superficies duras y muy resistentes [11].

800 - 1000 °C: yeso hidráulico normal, o de pavimento. Este yeso no tiene expansión ni retracción, alcanza gran resistencia a la compresión gran dureza y puede ser pulido. Con este yeso se fabrican baldosas y se imitan mármoles [11].

1000 - 1400 °C: yeso hidráulico con mayor proporción de cal libre y fraguado más rápido con resistencia alta [12].

II.5 Usos

El yeso es profundamente utilizado en construcción como:

- 1.- Pasta para guarnecidos, enlucidos y revocos; como pasta de agarre y de juntas. También se utiliza para obtener estucados y en la preparación de superficies de soporte para la pintura artística al fresco.

En la elaboración de materiales prefabricados, como paneles de yeso (Dry Wall o Sheet rock) para tabiques, y escayolados para techos, etc.

- 2.- Es usado como aislante térmico, ya que el yeso es mal conductor de calor.

- 3.-Para la confección de moldes de dentaduras, en Odontología. Para usos quirúrgicos.

- 4.-En la fabricación de moldes utilizados para preparación y reproducción de esculturas.

En la elaboración de tizas para escritura en pizarrones [5].

Yeso natural triturado

Para mejorar las tierras agrícolas, pues su composición química, rica en azufre y calcio, hace del yeso un elemento de gran valor como fertilizante de los suelos, aunque en este caso se emplea el mineral pulverizado y sin fraguar para que sus componentes se puedan dispersar más fácilmente en el terreno [5].

Una de las aplicaciones más recientes del yeso es la "remediación ambiental" en suelos, esto es, la eliminación de elementos contaminantes de los mismos, especialmente metales pesados [5].

De igual manera, el polvo de yeso crudo se emplea en los procesos de producción del cemento Portland, actuando como elemento retardador del fraguado [5].

También es utilizado para obtener ácido sulfúrico.

También se usa como material fundente en la industria cerámica.

II.6 Tipos de yeso de construcción

Los yesos de construcción se pueden clasificar en:

Yesos artesanales, tradicionales o multi-fases (yesos industriales o de horno mecánico) y con aditivos

II.6.1 Yesos artesanales

El yeso negro es el producto que contiene más impurezas, de grano grueso, color gris, y con el que se da una primera capa de enlucido.

El yeso blanco con pocas impurezas, de grano fino, color blanco, que se usa principalmente para el enlucido más exterior, de acabado.

El yeso rojo, muy apreciado en restauración, que presenta ese color rojizo debido a las impurezas de otros minerales.

II.6.2 Yesos industriales o de horno mecánico

Yeso de construcción (bifase)

Grueso

Fino

Escayola, que es un yeso de más calidad y grano más fino, con pureza mayor del 90%.

II.6.3 Yesos con aditivos

Yeso controlado de construcción

Grueso

Fino

Yesos finos especiales

Yeso controlado aligerado
Yeso de alta dureza superficial
Yeso de proyección mecánica
Yeso aligerado de proyección mecánica
Yesos-cola y adhesivos.

II.7 Potencial Geológico Minero

La distribución de yeso en México se localiza en varias provincias geológicas. Actualmente la región con mayor potencial productor y principal exportador de yeso es Baja California Sur, en donde se explota la mayor parte del yeso del país aportando el 85% de la producción nacional, del cual prácticamente el 100% se exporta [13].

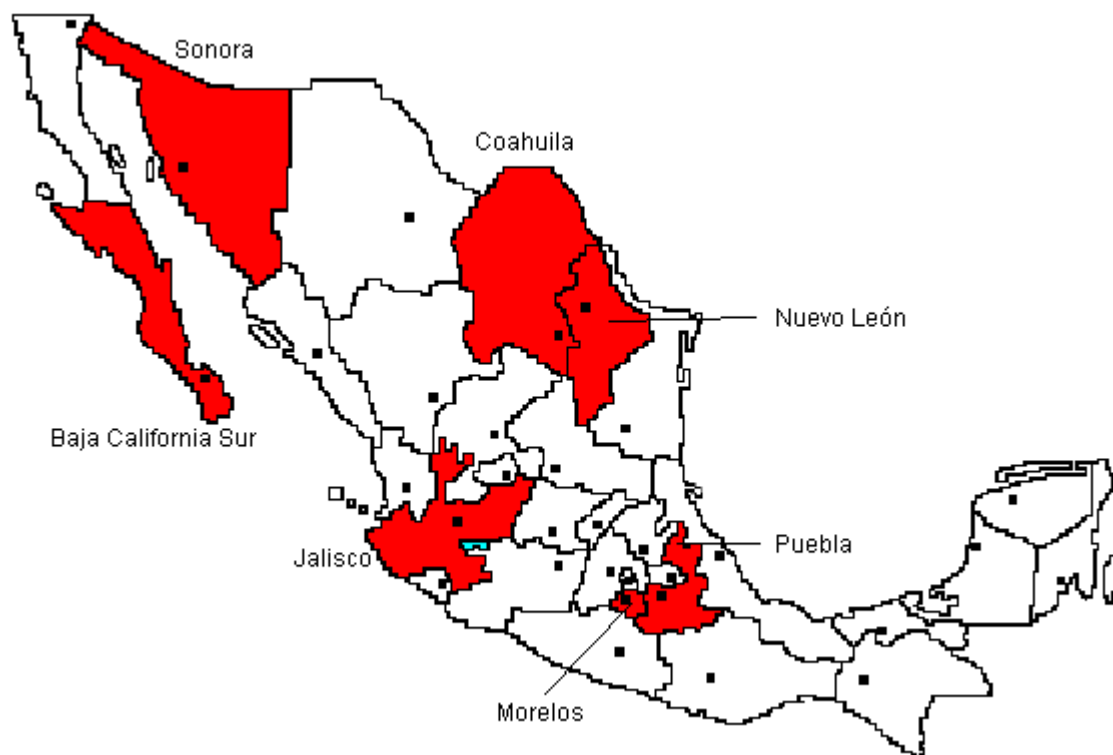


Fig. 19. Estados productores de yeso [13].

La segunda entidad productora es Nuevo León que participa con el 4.3% y la siguiente es Puebla que colabora con el 4.0%. Jalisco, Coahuila y Sonora son productores menores con 2.9%, 2.5% y 1.0% respectivamente. Sin embargo, existen evidencias de presencia de yeso en otros estados, entre éstos se encuentran San Luis Potosí, Guerrero

y Morelos. Cabe mencionar que en este último estado resalta la actividad de pequeños mineros dedicados a la explotación del yeso [13].

II.8 AGUA

El agua es un compuesto formado por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. Su fórmula molecular es H_2O [5].

El punto de ebullición del agua a la presión de una atmósfera, que suele ser la que hay al nivel del mar, es de 100°C , y su punto de congelación es de 0°C . La densidad máxima del agua líquida es 1 g/cm^3 , alcanzándose este valor a una temperatura de $3,8^\circ\text{C}$; la densidad del agua sólida es menor que la del agua líquida a la misma temperatura, $0,917\text{ g/ml}$ [5].

El agua es considerada un disolvente universal, ya que es el líquido que más sustancias disuelve, por ser una molécula polar. Las moléculas de agua están unidas por puentes de hidrógeno [5].

II.9 Diseño de mezclas

Calculando el porcentaje de fluidez.

La cantidad de agua se tomo aleatoriamente para la primera prueba de fluidez.

prueba 1						
arcilla	500 grs					
agua	195 ml					
Diametros	1	2	3	4	5	6
	4.6	4.5	4.9	4.9	4.9	4.1
	81.40	%	fluidez			

Fig. 20. Tabla de fluidez

En esta primera prueba se obtuvo una manejabilidad muy mala, ya que quedaban muchos huecos en la mezcla, a la hora de colocarla en los moldes. Por lo que se siguió probando con una poco más de agua.

prueba 2						
arcilla	500 grs					
agua	200 ml					
Diametros	1	2	3	4	5	6
	6.9	6.7	7	6.8	6.9	7
72.47			%	fluidez		

Fig. 21. Tabla de fluidez

Los diámetros seguían creciendo pero aún no eran suficientes la mezcla seguía muy sólida.

prueba 3							
arcilla	410.8	grs					
agua	195	ml					
Diámetros	1	2	3	4	5	6	
	20.6	20.2	20	20.9	21	20.8	
	17.93	%	fluidez				

Fig. 22. Tabla de fluidez

En esta prueba la mezcla se comportaba mejor, pero cuando se colaban en moldes de acrílico transparentes, se observaban muchas burbujas, por lo que se le agrego más agua.

prueba 4							
arcilla	500 grs						
agua	250 ml						
	Diametros	1	2	3	4	5	6
		23.3	23.6	22.2	22.9	23	22.5
		8.07	%	fluidez			

Fig. 23. Tabla de fluidez

En esta última prueba se obtuvo una manejabilidad muy buena, era más fácil de colar los moldes, y las burbujas eran muy pequeñas, la cual se optó por elaborar los especímenes con este ultimo porcentaje de fluidez.

Capitulo III: PRUEBAS

Prueba de plasticidad (Attemberg) [21].

OBJETIVO.

Determinar los límites de plasticidad, así poder clasificar el material.

EQUIPO.

Malla N° 40

Capsula de porcelana

Copa de Casagrande con su respectivo ranurador.

Espátula.

Molde metálico para las contracciones lineales

Molde metálico para las contracciones volumétricas

Vidrio de reloj.

Charola de plástico con recipiente para determinar volúmenes.

Balanza con precisión de .01gr. y capacidad de 800 grs.

Mercurio.

PROCEDIMIENTO.

III.1) Determinación del límite líquido (LL).

El límite líquido fue definido por Attemberg como la frontera entre los estados semilíquido y plástico, nombre que hasta hoy se conserva [3].

1.-El material que se trae del campo se seca a temperatura ambiente y se disgrega.

2.-Ya seco el material se criba por la malla N° 40 y se toma en una capsula de porcelana de 250 a 300 gr. del material que pasó la malla.

3.-Una vez colocado el suelo en la cápsula de porcelana se le agrega agua y se mezcla hasta formar una pasta homogénea (con sus respectivos porcentajes de yeso). La muestra se deja reposar durante 24 hrs. como se muestra en la siguiente figura.



Fig. 24. Mezcla preparada para calcular los limites de attemberg.

4.-Se inician los tanteos en la copa de casagrande dándole al suelo diferentes humedades. Se deben de hacer tres tanteos y obtener la humedad de cada uno de ellos.

5.-Se coloca la pasta en la copa casagrande, llenándola a la mitad, y analizándola para obtener un espesor máximo de 1cm. Se ranura el centro con un ranurador de dimensiones de 1mm. en la parte superior y 2mm. en la parte inferior, debiendo tener los bordes redondeados para evitar deformaciones en el acomodo del suelo. Se debe de ranurar la pasta según el eje de simetría del aparato, manteniendo el ranurador perpendicular a la superficie de la copa Fig. 25.



Fig. 25. Tanteos en la copa de casagrande.

6.-Una vez llenada la copa y ranurado el material, el golpe se hace girando la manivela a la velocidad de 2 rev/seg. Y se cuenta el número de golpes necesarios para que la ranura cierre $\frac{1}{2}$ " (1.3), aproximadamente, la ranura debe de cerrarse por el flujo del suelo, y no por deslizamiento de la pasta respecto de la copa.

7.-En una capsula de vidrio de reloj, se extrae una muestra representativa de aproximadamente 10 gr. del centro de la copa, cerca de donde cerró la ranura para obtener la humedad. Se pesa la cápsula con el material húmedo al centésimo de gramo (.01 gr). Se deja secar en el horno durante 24 hrs. A 110 ± 5 °C, se saca y se obtiene el peso seco.

8.-Con el N° de golpes y el contenido de agua correspondiente se dibuja la curva de fluidez en escala semi-log, y así se obtiene el Límite líquido. Ejemplo Fig.7876

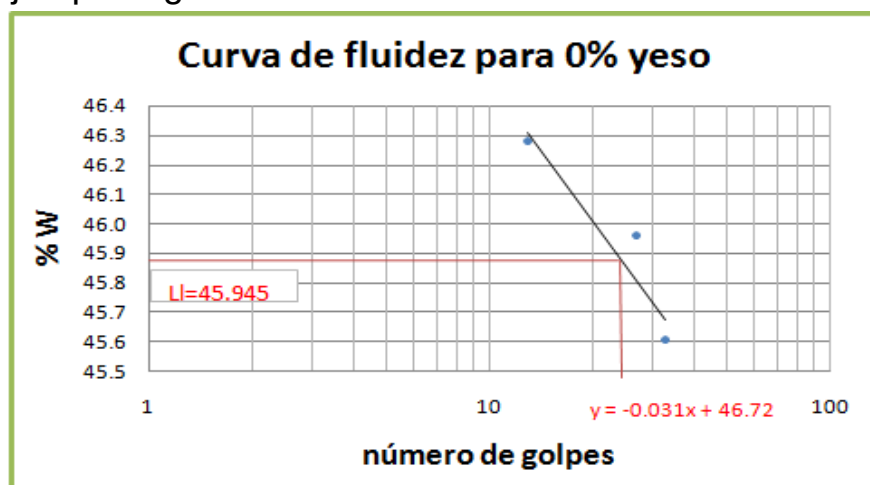


Fig. 26. Cálculo gráfico del Límite líquido.

III.2 DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO (LP) [21].

Es el estado del suelo en el cual se tiene una consistencia comprendida entre el estado plástico y el semisólido. Se define como el contenido de humedad expresado en % del peso seco, en el cual se rompe un rollito de 1/8" de diámetro al ser rodado bajo una pequeña presión que le imprime la mano [20].

PROCEDIMIENTO.

- 1.- Se Amasan aproximadamente 25 gr. De suelo húmedo.
- 2.- Se forman con las palmas de la mano rollitos de 1/8" (3 aproximadamente de diámetro apoyándose en la placa de vidrio.



Fig 26. Rollitos de 1/8" para determinar el límite plástico.

- 3.-Se repite este procedimiento hasta que el rollito empieza a agrietarse o desmoronarse al estarlo agrietando.
- 4.-Se colocan en una capsula de vidrio de reloj y se pesan al .01 gr. y se meten al horno durante 24 hrs. a una temperatura de 110 ± 5 °C.
- 5.-Se saca del horno y se pesan para determinar el contenido de humedad de los cilindros.
- 6.-Se repite todo el proceso anterior para obtener 3 determinaciones que pueden promediarse para valuar el límite plástico.
- 7.-Finalmente se obtiene el límite plástico mediante la fórmula:

$$Lp = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

Donde:

Lp =Límite Plástico

W_w =Peso de la muestra húmeda.

W_s =Peso de la muestra seca.

III.3 Determinación del índice plástico (IP) [20].

Comprende todas las humedades para las cuales un suelo es plástico. Es la diferencia aritmética entre el contenido de humedad en el límite líquido y el límite plástico.

$$IP = LL - LP$$

Donde:

IP= índice plástico.

LL= Límite líquido

LP=Límite plástico

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN. (CL Y LC)

III.4 DETERMINACIÓN DE LA CONTRACCIÓN LINEAL [21].

PROCEDIMIENTO

1.- Se hace esta prueba con el material que sobra del ensaye del LL, con una humedad ligeramente mayor en un 10%.

2.-Con el material, mezcla de suelo y agua en las condiciones indicadas se procede a llenar el molde de prueba, previamente engrasado para evitar que el material se adhiera a las paredes. El material se coloca en tres capas, procurando en cada capa dar unos ligeros golpes contra una superficie dura.

Para realizar esta operación deberá tomarse el molde de sus dos extremos y golpearlo, procurando que el impacto lo reciba en toda la base, la cual se consigue manteniendo, durante la caída, paralela la base del molde a la superficie sobre la cual se golpea. Esta operación se debe de realizar hasta expulsar el aire incrustado. Y finalmente se engrasa el molde con una espátula.

3.-Se debe de dejar secar el molde con el maerial a una temperatura ambiente, hasta que su color cambie de obscuro a claro y se coloca en el horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$. de 18 a 24 hrs.

4.-Se saca del horno y se determina la longitud de la barra y la longitud inferior del molde.

5.-Se calcula la CL de la siguiente manera:

$$CL = \frac{(L1 - L2)}{L1} \times 100$$

Donde:

CL=Contracción lineal.

L1 =Long. del molde (inferior), o sea long. de la barra del suelo húmedo

L2 =Long. de la barra del suelo seco.



Fig 27. Barras para determinar la contracción volumétrica.

III.5 Determinación de la contracción volumétrica (LC) [21].

El límite de contracción no es independiente del Límite líquido ni del límite plástico. Para la mayoría de los suelos el límite de contracción puede estimarse burdamente mediante la siguiente expresión:

$$LC = \frac{50 LP}{50 + IP}$$

La determinación directa en el laboratorio permite obtener el límite de contracción con mejor precisión.

PRODEDIMIENTO

El material para esta prueba se obtiene en la misma forma que para el límite líquido.

1.- Se determinan los peso de cápsulas Petri vacías y limpias y se anotan en la columna correspondiente. Se cubre el interior de la cápsula con una capa delgada de aceite.

2.- Se llena la cápsula en 3 capas con la pasta preparada, golpeándola con la parte inferior de esta, de modo que se expulsen las burbujas de aire.

3.- Una vez que se han removido todas las burbujas y que se ha llenado totalmente la cápsula, Se enrasa utilizando la espátula de cuchillo, y se limpia perfectamente.

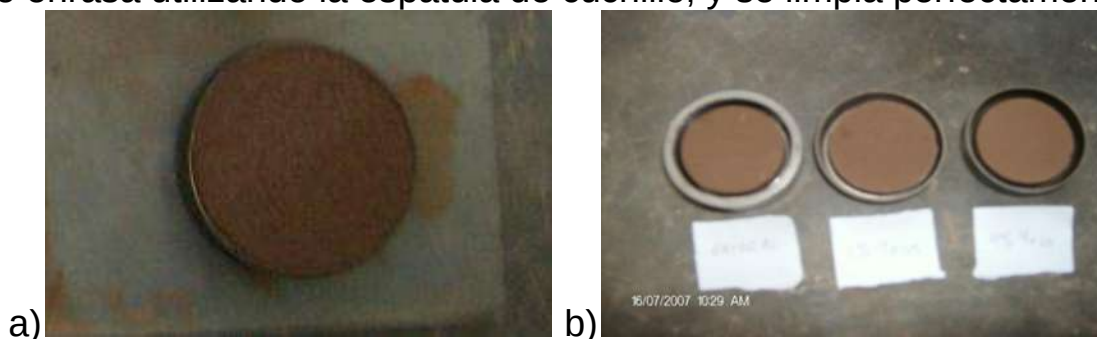


Fig. 28.a) Molde enrasado con arcilla. b) pastillas listas para sumergirlas al mercurio.

4.- Se pesan las cápsulas Petri con el material húmedo; se anotan los datos.

5.- Se dejan los especímenes a temperatura ambiente durante 12 hrs. Posteriormente se dejan secar al aire hasta ver un cambio marcado en el color de las muestras. Finalmente se dejan secar en el horno durante 18 hrs. Estas precauciones son, generalmente suficientes para evitar el agrietamiento de las muestras durante el secado.

6.- Se pesan las cápsulas con las muestras secas y se anotan los valores obtenidos.

7.- Generalmente, las cápsulas tienen un volumen conocido. Para verificar u obtener este dato, basta llenar de mercurio la cápsula hasta derramarlo, y enrasar mediante una placa de vidrio que se presiona hacia abajo, para forzar al excedente a salir de la cápsula. El peso del mercurio requerido para llenar la cápsula dividido entre su densidad (13.55 g/cm^3) es el volumen de la cápsula. Se anotan los volúmenes de las cápsulas es decir; los volúmenes de las muestras húmedas.

8.-Para determinar el volumen de las pastillas secas se procede de la manera siguiente:

Un recipiente se llena de mercurio hasta derramarlo.

Se enrasa mediante un dispositivo especial de lucita, presionándolo hacia abajo para forzar al excedente de mercurio a salir del recipiente.

El mercurio se derrama en una charola de lucita inclinada, y se recoge en la parte inferior de ésta en una cápsula protegida con una cubierta de lucita que impide pérdidas de mercurio.

La charola se limpia perfectamente con una brocha de cerda fina.

9.- En la parte inferior de la charola de lucita se coloca, en el de la anterior, una nueva cápsula limpia y tarada.

10.- Se coloca la pastilla de suelo seco sobre la superficie del mercurio y se sumerge, lentamente, con movimiento de rotación mediante el dispositivo de lucita. Se mantiene sumergido el conjunto mientras se limpia perfectamente el recipiente y la base.

En esta operación, el mercurio desalojado representa el volumen de la muestra seca.

Se pesa el mercurio desalojado, el valor obtenido se anota en el registro.

El límite de contracción se calcula con la fórmula siguiente:

$$LC(\%) = \frac{W_1 - W_s - (V_1 - V_f)}{W_s} \times 100$$

Donde:

LC: Limite de contracción en porcentaje.

W_i: Contenido de agua del suelo antes de contraerse.

V_i : Volumen inicial de la pastilla.

V_f : Volumen final de la pastilla (suelo seco).

W_s: Peso de sólidos.

Las pruebas de tensión compresión y flexión son las que se utilizan en morteros y usadas en nuestros especímenes de arcilla, ya que no existen especificaciones para especímenes de arcilla.

III.6 Prueba granulométrica de la arcilla

En los comienzos de la investigación de las propiedades de los suelos se creyó que las propiedades mecánicas dependían directamente de la distribución de las partículas constituyentes según sus tamaños; por ello era preocupación especial de los ingenieros la búsqueda de métodos adecuados para obtener tal distribución [3].

La distribución por tamaños puede revelar algo de lo referente a las propiedades físicas del material; en efecto la experiencia indica que los suelos gruesos bien graduados, con amplia gama de tamaños, tiene comportamiento ingenieril más favorable, en lo que atañe a algunas propiedades importantes, que los suelos de granulometría muy uniforme [3].

OBJETIVO:

Pasar por una serie de mallas o tamices la muestra representativa de arcilla, para conocer la distribución de los diámetros de las partículas, así como conocer los coeficientes de uniformidad y curvatura del material, ya que con estos parámetros poder identificar y clasificar según el SUCS a la muestra.

EQUIPO:

Un juego de mallas con abertura rectangular o circular del N° 4, 8, 16, 30, 50, 100, 200 y charola con su respectiva tapa.

Una balanza con capacidad de 2160 gramos y aproximación al décimo de gramo.

Charolas, espátulas, y parrillas eléctricas.

Cepillos de cerdas y alambre.

Hojas de papel.

PROCEDIMIENTO.

1.- Se toma una muestra representativa de arcilla de aproximadamente 600 gramos.

2.- Se seca la muestra hasta peso constante, a una temperatura de no mayor de 110 °C.

3.-Cuando el material este seco y frio, se toman 500 gr, pesados al décimo de gramo.

4.-Se colocan las mallas en orden decreciente (4, 8, 16, 30, 50, 100, charola), se coloca la muestra de 500 gramos y se tapa.

5.-Se agita el juego de mallas durante un tiempo de 10 minutos como mínimo, el agitado puede ser a mano o mecánicamente.

6.-En una superficie horizontal y limpia se colocan siete hojas de papel y sobre ellas se coloca el material retenido en cada una de las mallas, para lo cual se invertirá la malla con todo cuidado limpiando con cepillo de alambre las mallas 4, 8, 16, 30 para desalojar el material que se encuentra entre los espacios de la malla, las mallas 50 y 100 se limpiarán con cepillo de cerdas.

7.-se procede a pesar cada uno de los materiales retenidos en las mallas hasta el décimo de gramo anotando los pesos en el registro correspondiente.

1	2	3	4	5
MALLA	PESO RETENIDO PARCIAL GRS	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4				
8				
16				
30				
50				
100				
200				
CHAROLA				

Fig. 29. Tabla granulométrica

CÁLCULO

1.-Se anotan los pesos retenidos en la columna 1

2.-El retenido de la columna dos se calcula de la siguiente manera:

$$\% \text{ retenido de malla N}^\circ 4 = \frac{\text{peso retenido}}{\text{suma peso retenido}} \times 100$$

3.-El porcentaje acumulativo se calcula a partir de los datos de la columna tres como sigue:

$$\% \text{ acumulativo malla 1} = \% \text{retenido malla} + \% \text{ acumulativo malla}$$

Anterior.

4.-El porcentaje que pasa se calcula de la siguiente manera:
% que pasa la malla= 100% acumulativo malla.

III.7 PRUEBA DE FLUIDEZ EN LAS MEZCLAS DE ARCILLA [19].

Ya que no existen especificaciones para la fluidez de las mezclas de arcilla, se toma como referencia la prueba de fluidez en morteros, para así poder calcular el porcentaje de agua. Que de una mayor manejabilidad de la mezcla.

OBJETIVO: Determinar el contenido de agua necesaria para que la mezcla sea manejable, plástico y dúctil.

EQUIPO:

Mesa de fluidez, eléctrica o manual

Aceite SAE-10 o cualquier otro lubricante con la misma densidad

Molde

Calibrador

Varilla para compactar 5/8"



Fig. 30. Mesa y cono para la prueba de fluidez.

PROCEDIMIENTO.

1. Lubricación de la mesa de fluidez. El eje vertical de la mesa de fluidez se mantendrá limpio y lubricado con aceite SAE-10. No debe

de haber aceite entre las caras de apoyo de la saliente del eje y el soporte. El aceite sobre la cara de la leva disminuirá el desgaste y facilitará la uniformidad del funcionamiento, se recomienda levantar la mesa y dejarla caer doce veces.

2. El molde para colocar el espécimen para el ensaye será de bronce o latón con diámetro de la boca superior de 70 mm, las superficies definidas por la base y el borde superior serán perpendiculares entre si y al eje del cono vertical.
3. El calibrador se utilizara para medir el diámetro de la mezcla extendida en la meza de fluidez, tendrá una exactitud tal que la distancia que la distancia entre las quijadas deberá ser de 102 mm cuando el indicador se encuentre en cero.
4. Se debe de humedecer la parte superior de la mesa, se limpiará del material arenoso, y se eliminará el exceso de agua con una franela húmeda, todo para poder realizar el ensaye, se centra el molde en la mesa, después se ajusta y se llena, en dos capas, que en total dan el volumen de el molde se compacta cada una de las capas con 25 golpes, las cuales se distribuyen en la sección transversal, teniendo cuidado de no penetrar la capa anterior, al finalizar se enrasa con una llana el exceso de mortero y se retira, limpiando el área de la mesa que se encuentra al molde, el molde se removerá con un tirón firme hacia arriba. La mesa se eleva y se deja caer 1.3cm, 15 veces durante 15 segundos. Es decir una caída por cada segundo, durante 15 segundos, haciendo girar la leva a una velocidad uniforme, el diámetro del mortero extendido será el promedio de 6 medidas distribuidas simétricamente leídas y redondeadas al 0.5cm.



Fig. 31. Prueba lista para tomar los diámetros.

CÁLCULOS

Se registra como el porcentaje en que se incrementa el diámetro del mortero con respecto al diámetro original de la base de la mezcla moldeada.

$$\text{Fluidez}(\%) = \frac{25\text{cm} - \text{diámetro extendido}}{25\text{cm}} \times 100$$

III.8 COMPRESIÓN SIMPLE EN ESPECÍMENES DE ARCILLA [19]

OBJETIVO. Determinar la resistencia a la compresión en arcilla estabilizadas con yeso (CaSO_4).

EQUIPO.

Máquina universal de pruebas

Una porción de arcilla procurando que sea la cantidad suficiente para llenar los moldes que deseamos llenar.

Un molde con dimensiones de 5 X 5 X 5 cm.

Un pisón de material no absorbente.

Una balanza con aproximación al décimo de gramo.

Una probeta graduada.

Espátulas.

Cantidad de agua calculada en la prueba de fluidez.



Fig. 32. Máquina universal de pruebas.

PROCEDIMIENTO.

1.-Se fabrica una mezcla con la proporción de arcilla estabilizante (CaSO_4) y agua. Procurándose que sea suficiente para el colado de los moldes. Cubrirse ligeramente las caras interiores con aceite o grasa lubricante ligeramente y posteriormente se llena el molde en cuatro capas, aplicando con el pizón ocho golpes a cada capa repartidas en toda su área, se enrasa el molde con la espátula.

2.-Se descimbran los especímenes cuando estén parcialmente secos de modo que puedan ser retirados del molde sin ser deformados por el tacto.

3.- se prueban los especímenes según la edad de prueba necesaria.

4.-se miden las dimensiones del espécimen que va a estar en contacto con la platina móvil de la máquina universal de pruebas. Se llevan las muestras a la máquina debiendo poner en la platina fija una cama de arena fina, colocándose el cubo sobre esta. Sobre la cara superior de la muestra se pondrá también una cama de arena, esto con la finalidad de que la carga se distribuya uniformemente en toda el área y se aplica la carga lenta hasta la falla de la muestra.



a)



b)

Fig. 33a). Obteniendo las dimensiones reales del espécimen. 33 b). Aplicación de la carga

CÁLCULOS.

$$R=W/A$$

Donde:

R= resistencias a la compresión en kg/cm^2

w= carga de ruptura de la muestra en kg

A= área de la muestra en cm^2

III.9 TENSIÓN EN BRIQUETAS DE ARCILLA [19].

OBJETIVO. Determinar la resistencia a la tensión en una arcilla.

EQUIPO.

Un molde para fabricar briquetas.

Espátula, charolas, vidrio, una probeta graduada.

Máquina de pruebas con mordazas especiales para briquetas.

Munición o postas para aplicar la carga.

Una balanza con aproximación al décimo de gramo.

PROCEDIMIENTO.

1.- Realiza la mezcla de arcilla con agua y su respectivo porcentaje de estabilizante en una charola, se procede a llenar los moldes previamente engrasados comprimiendo la mezcla con el dedo índice y se enrasa con la espátula.

2.- Después de que se prevé que las briquetas están listas se pasa a descimbrarlas, como se observa en la siguiente Figura.



Fig. 34. Briquetas coladas y descimbradas.

3.-Se toman las medidas de la sección media (S_m) de la briqueta, se lleva a la máquina que previamente será nivelada, se aplicará la carga lentamente por medio de municiones hasta la falla de las muestras, las municiones serán colocadas en la tolva de la máquina.

4.- Después de la falla de la muestra se retirarán las municiones pesándolas al décimo de gramo. El peso de las municiones (P_m) será considerado como la carga que soporto la sección media de la briqueta.



Fig. 35. Ruptura de la briqueta.

CÁLCULOS.

$$R = \frac{P_m * 50}{S_m}$$

Donde:

R= resistencia a la tensión en kg/cm^2 .

P_m = Peso de las municiones o carga de ruptura en Kg.

S_m = Sección media de la briqueta en cm^2 .

50= Constante de la máquina.



Fig. 36. Máquina de pruebas para tensión en briquetas.

III.IV.1 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN VIGAS DE ARCILLA [19].

OBJETIVO. Conocer el procedimiento de ensaye para determinar la resistencia a flexión del concreto en vigas moldeadas en el laboratorio.

EQUIPO.

Molde para vigas de 5 X 5 X 15 cm.

Un pisón de material no absorbente.

Máquina de prueba.

Accesorios para flexión (apoyos redondos de acero).

Vernier o fluxómetro.

PROCEDIMIENTO.

1.- Realiza la mezcla de arcilla con agua y su respectivo porcentaje de estabilizante en una charola, se procede a llenar los moldes previamente engrasados, apisonando con golpes uniformes en dos capas, y por último se engrasa con la espátula.



Fig. 37. Colado de las vigas de arcilla.

2.-Se toman las dimensiones reales de la muestra.

3.-Se marca la muestra donde va a ser aplicada la carga y donde se apoyara (centro de la muestra y a una pulgada de separación para los apoyos en ambas extremidades) [15].

4.-Se coloca la muestra en la máquina universal, cuidando que los apoyos coincidan con las marcas. Se nivela la máquina.

5.- Se aplica la carga lentamente hasta la fractura, como se muestra en la siguiente figura.



Fig. 38. Aplicación de la carga a la viga.

CÁLCULOS.

Si la fractura ocurre en el tercio medio del claro, el módulo de ruptura se calculará con:

$$R = \frac{PL}{bd^2}$$

Si la fractura ocurre fuera del tercio medio en no más del 5% del claro, el módulo de ruptura se calculará con:

$$R = \frac{3Pa}{bd^2}$$

Donde:

R = Módulo de ruptura en kg/cm^2 .

P = Carga de ruptura en Kg.

L = Claro en cm.

b = Peralte promedio en cm.

d = Ancho de la muestra en cm.

A = Distancia entre la línea de falla y el apoyo más cercano.

Si la fractura ocurre fuera del tercio medio en más del 5% del claro, los resultados deben de descartarse.

III.IV.2 MÓDULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO EN ESPECÍMENES PRISMÁTICOS POR MEDIO DE LA FRECUENCIA RESONANTE (MÉTODO DE PRUEBA NO DESTRUCTIVO)

Norma ASTM C 215 Método de ensayo de frecuencias resonantes para las transversales, longitudinales y Torsional de especímenes de concreto.

III.IV.3 Ámbito de aplicación

Este método de ensayo incluye la medición de la fundamental transversal, longitudinal y torsional frecuencias de prismas y cilindros de concreto a los efectos de calcular el módulo de Young dinámico de elasticidad, el módulo dinámico de rigidez (a veces designadas como "el módulo de elasticidad en cortante") , Y la dinámica de la relación de Poisson.

Documentos referenciados

[C125](#) terminología concretas relativas a los agregados y concreto

[C192/C192M](#) prácticas para la elaboración y curado de concreto de prueba especímenes en el laboratorio

[C31/C31M](#) prácticas para la elaboración y curado de concreto especímenes de prueba en el campo

[C42/C42M](#) método de ensayo y pruebas para la obtención de núcleos

perforados y aserrado de vigas de concreto

[C469](#) Método de ensayo estático Módulo de Elasticidad y de Poisson
Relación de compresión en concreto

[C670](#) práctica de la preparación de precisión y sesgo de las declaraciones de métodos de ensayo para materiales de construcción

[E1316](#) terminología no destructivo para exámenes

III.IV.4 Resumen del método de prueba

Las frecuencias resonantes fundamentales son determinadas usando uno de dos procedimientos alternativos: (1) la resonancia forzada o (2) el método de resonancia de impacto. El mismo procedimiento de la comprobación se usa para todos los especímenes de una serie asociada.

1.- En el método de resonancia forzado, un espécimen apoyado se obliga a vibrar por una unidad tendencia electromecánica. La contestación del espécimen se supervisa por una unidad de recolección (micrófono). La tendencia de la frecuencia es variada hasta que la contestación del espécimen alcance una máxima amplitud. El valor de la frecuencia que causa la contestación máxima es la frecuencia resonante del espécimen. Las frecuencias fundamentales para los tres modos diferentes de vibración son obtenidas por la situación apropiada del martillo que produce el impacto y la unidad de recolección.

2.- En el método de resonancia de impacto, un espécimen apoyado se golpea con un martillo pequeño y la contestación del espécimen es moderada por un acelerómetro ligero en el espécimen. El rendimiento del acelerómetro se graba. La frecuencia fundamental de vibración es determinada usando métodos de procesamientos digitales. Las frecuencias fundamentales para los tres modos diferentes de vibración son obtenidas por la situación apropiada del punto de impacto y el acelerómetro.

III.IV.5 Importancia y uso

Este método de ensayo es, ante todo, para detectar cambios significativos en la dinámica módulo de elasticidad de laboratorio o pruebas de campo que están en la exposición a la erosión u otros tipos de deterioro potencialmente influencias.

El valor del módulo de elasticidad dinámica obtenido por este método de ensayo será, en general, ser mayor que el módulo de elasticidad estático obtenido utilizando Método de ensayo C469. La diferencia depende, en parte, por el nivel de resistencia de las muestras. Las condiciones de fabricación, el contenido de humedad, y otras características de las muestras, influyen los resultados obtenidos.

Si se ensaya con diferentes formas y tamaños de especímenes, los resultados del módulo de elasticidad dinámica pueden variar y dar diferentes frecuencias de resonancia de los especímenes probados. Por lo tanto, no es aconsejable comparar los resultados de muestras de diferentes tamaños o formas.

III.IV.6 PRINCIPIO DE MEDICIÓN DEL APARATO GRINDOSÓNIC

Este instrumento se utiliza como método de ensayo no destructivo en materiales.

El instrumento usa como principio el impulso de excitación. El método consiste en la excitación de los objetos de prueba, por medio de impulsos mecánicos ligeros principalmente. El resultado de la relación tomaría la forma de una vibración amortiguada, la cual depende de la naturaleza del material, de la geometría y la masa de la pieza [15].

La vibración es captada por la unidad de recolección, amplificada, filtrada de ruido, analizada por un circuito eléctrico y por ultimo muestra la frecuencia de resonancia fundamental [18].

El instrumento consiste en los siguientes componentes: [15]

- 1.- Sondas para detectar las vibraciones
- 2.-Circuitos eléctricos de medida

Sonda. Hay dos tipos de sonda: de contacto directo y de micrófono. La sonda de contacto directo usa frecuentemente, tiene la forma de un pequeño lápiz con una punta de metal, esto consiste en una pieza electro-cristalina y dos pasos de preamplificación son empleados para determinar los módulos de elasticidad de pocas probetas o lotes pequeños. Y la sonda de micrófono es usada para grupos de muestras

pequeñas y automatizadas, se encuentra colocado en un punto estratégico del proceso de producción y puede formar un sistema de control de calidad automático [15].

Circuito eléctrico de medida. Después de que se eliminan los primeros periodos, los cuales están distorsionados por las interferencias armónicas, el instrumento probará la señal de ocho periodos subsecuentes. El resultado es mostrado por un dato numérico. Un reloj de cuarzo mide la duración de este, ocho periodos a una velocidad de 2 MHz. [15].

Los Módulos son calculados por el programa de computadora opcional. En nuestro caso el módulo de elasticidad se calculó con un software llamado (EMOD), al igual que el modulo de rigidez y el módulo de poisson, que en nuestro trabajo no fueron necesarios. Antes de que el programa nos calcule el módulo de elasticidad y los demás módulos, es necesario introducir las frecuencias como son: frecuencia de modo transversal, frecuencia de modo longitudinal y frecuencia de modo torsional, las dimensiones y peso. Para que de esta forma el software pueda determinar los valores de módulo de elasticidad (E), el módulo de rigidez (G), y la relación de Poisson (PR). A continuación se muestra en la siguiente figura, los diferentes modos de impactar a la muestra, para así poder obtener las 3 diferentes frecuencias [15].

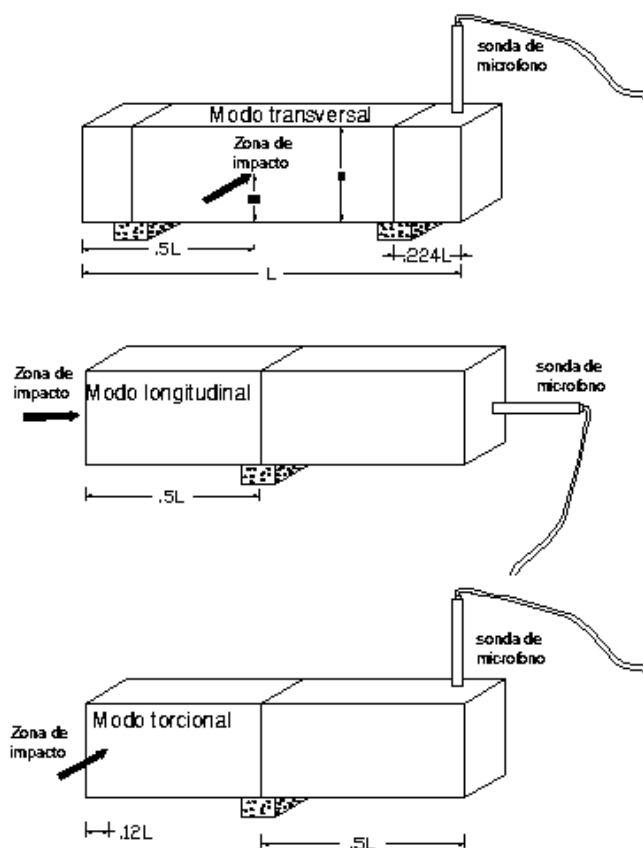


Fig. 39. Aplicación de la carga a la viga.

III.IV.7 CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD, POR MEDIO DE LA FRECUENCIA RESONANTE, CON EL APARATO GRINDOSÓNIC [15].

Objetivo.

Determinar el módulo de elasticidad dinámico en especímenes de forma prismática mediante la frecuencia resonante, usando el aparato grindosonic, mediante pruebas no destructivas en materiales.

Equipo.

Muestra representativa de 5 cm x 5 cm x 15 cm.

Sonda receptora de contacto directo o de micrófono según sea el caso
Martillo con cabeza de balín de 6 mm. de diámetro.

Computadora con software de "EMOD".

Aislantes de polietileno.

Vernier

Balanza

Para nuestro caso se utilizo el micrófono, ya que la sonda de contacto directo se tenía mucha variación entre los datos tomados)

Procedimiento.

1.- se hace el levantamiento de las dimensiones exactas del espécimen ya sea un fluxómetro o un vernier (recomendado para más aproximación)

2.-Se obtiene el peso de la muestra en gr.

3.- Se hace correr el software EMOD en la computadora. Se le da un nombre al archivo y ruta donde se desee guardar el archivo, y posteriormente se prosigue a descargar los datos de la muestra (largo, ancho alto y peso) con sus respectivas unidades (mm y gr). Así como la determinación de la forma del espécimen (viga, cilindro o disco).

4.-una vez listo el software y los datos del espécimen cargados en el programa, se procede a colocar la muestra sobre los aislante de polietileno a una distancia de .224 de la longitud de la muestra (según norma ASTM C215), de forma que al ser impactada la muestra con el martillo se aisle la superficie que soporta los especímenes, con el espécimen de prueba.

5.- Después de tener la muestra en posición correcta de prueba, se procede a impactarla con el martillo de cabeza de balón, por un costado de la parte media de la muestra y se coloca el micrófono en un extremo de la longitud de la viga.

6.- al ser impactada la muestra el grindosonic recibe la frecuencia de resonancia y muestra el resultado en la pantalla del equipo, por lo que este valor se guarda temporalmente, y nuevamente se impacta el espécimen, obteniendo una nueva frecuencia. Si el resultado no varía más del 2% se toma como resultado el promedio de estas 2 mediciones. Y si la variación de estas dos lecturas es mayor que esta tolerancia, se prosigue a realizar otra lectura más, para así poder desechar la frecuencia que tuvo un margen de variación más grande, y así realizar el promedio dos las 2 lecturas más semejantes.



Fig. 40. Lectura del grindosónico [18]

7.- Para obtener la frecuencia longitudinal, solamente se necesita de un apoyo a la mitad de la muestra. Y la posición del impacto se localizarás en la cara extrema de la longitud de la muestra, por lo tanto el micrófono permanece en la misma posición anterior. Así como lo podemos apreciar en la fotografía siguiente.

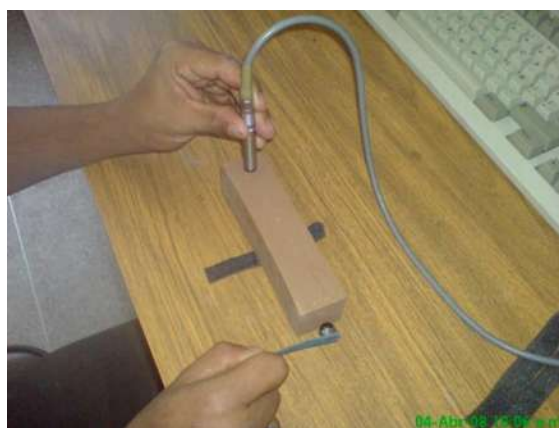


Fig. 41. Modo longitudinal para obtener la frecuencia longitudinal

8.- para obtener la frecuencia torsional es necesario identificar la zona de impacto como lo muestra anteriormente la figura, así como la posición del micrófono. En la siguiente fotografía se muestra la forma y posición del impacto y el micrófono.



Fig. 41. Modo torsional para obtener la frecuencia torsional

La variación de un valor puede dispararse considerablemente debido a: [15].

- Que se golpee con fuerza excesiva y la frecuencia supere los aislantes.
- Que el micrófono haya tenido contacto con la pieza, o en caso de que la sonda sea de contacto directo que no haya contacto entre la sonda y el espécimen.
- Que no haya sido golpeado en la misma zona.

Cálculos.

Esta es la forma en que el grindosónico relaciona la frecuencia resonante y la lectura del aparato.

$$R = 2 \times 10^6 T \quad [15].$$

$$R = \frac{2 \times 10^6}{f} \quad [15].$$

Donde:

R= Lectura del grindosónico

T = Tiempo del periodo de vibración.

f = Frecuencia de la vibración en Hz.

Capítulo IV: RESULTADOS

IV.1 Ejemplo de la memoria de cálculo para encontrar los límites de consistencia (límites de attemberg)

DESCRIPCIÓN		0% DE ESTABILIZANTE				
No GOLPES	LÍMITE LÍQUIDO					
	P CÁP + SH (gr)	P CAP + SS (gr)	P DEL AGUA (gr)	P CAP (gr)	P SS (gr)	W (%)
	13	44.61	38.2	6.41	24.35	13.85
	27	38.9	32.36	6.54	18.13	14.23
	33	39.82	33.18	6.64	18.62	14.56
LÍMITE PLÁSTICO						
	27.57	26.22	1.35	20.15	6.07	22.2
LÍMITE DE CONTRACCIÓN VOLUMÉTRICA						
	45.21	36.79	8.42	19.59	17.2	49.0
	P Hg desalojado	Vi (cm³)	Vf (cm³)	LC (%)		
	128.45	15.83	9.47	11.99		
LÍMITE DE CONTRACCIÓN LINEAL						
	L BARRA (cm)	L1(cm)	L2(cm)	L3(cm)	L PROM (cm)	CL (%)
	9.98	8.58	8.69	8.75	8.67	13.1
	LL	LP	lp	LC	CL	
	45.9	22.2	23.7	11.99	13.1	

Fig. 42. Memoria de cálculo para calcular los parámetros de attemberg

IV.2 Comparación entre la contracción lineal y la volumétrica

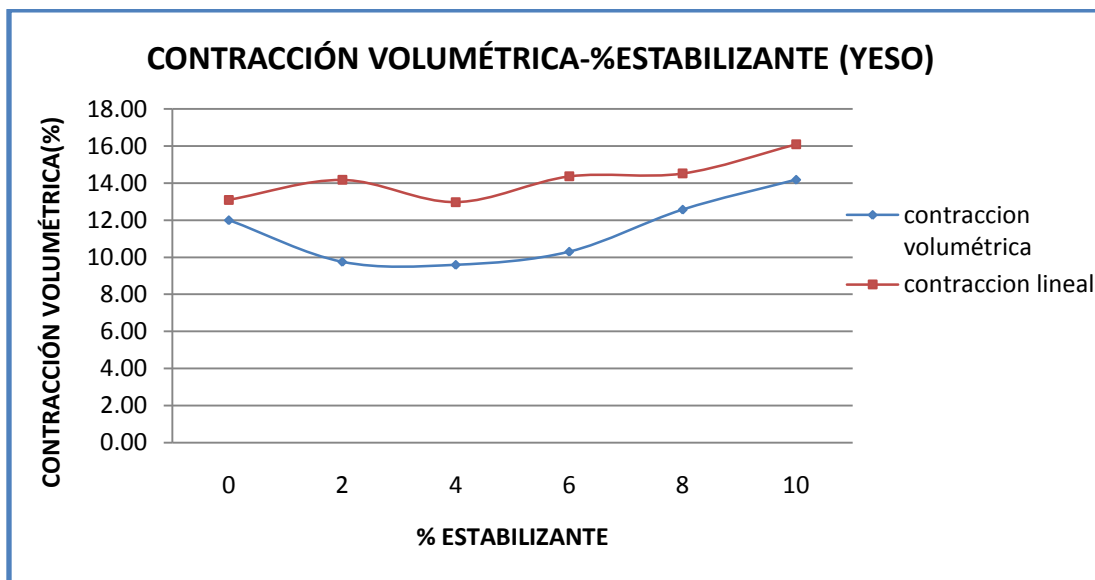


Fig. 43. Contracciones lineales y volumétricas

IV.3 Análisis granulométrico

MALLA	PESO RETENIDO PARCIAL GRS	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
8	0.00	0.00	0.00	100.00
16	1.00	0.20	0.20	99.80
30	131.20	26.24	26.44	73.56
50	120.70	24.14	50.58	49.42
100	78.90	15.78	66.36	33.64
200	70.70	14.14	80.50	19.50
CHAROLA	97.50	19.50	100.00	0
SUMA	500.00	100.00		

Fig. 44. Tabla granulométrica

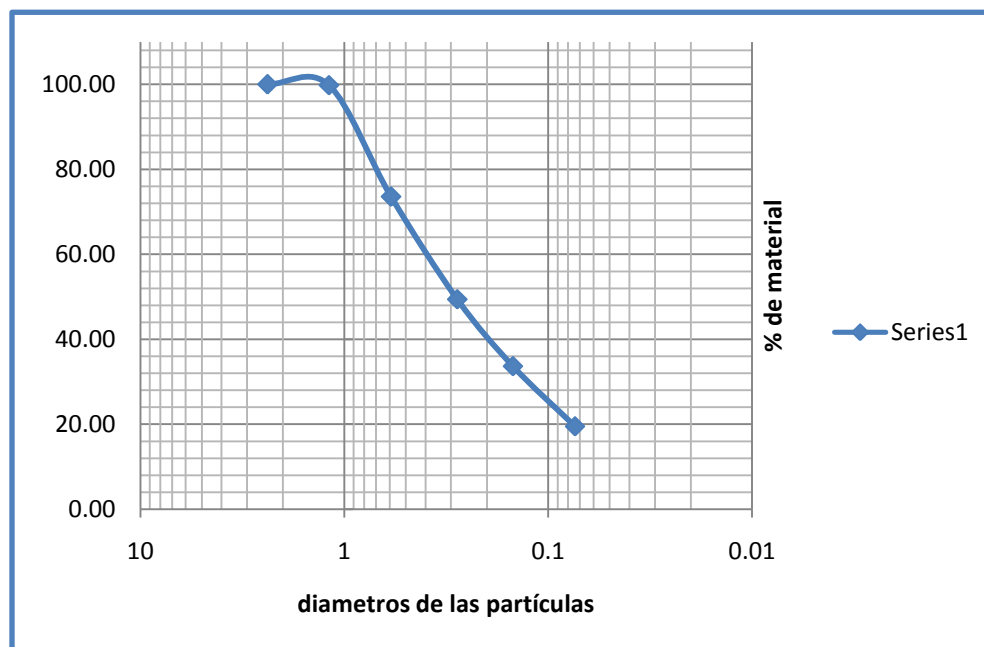


Fig. 45. Gráfica granulométrica

IV.4 Clasificación de la arcilla en la carta de plasticidad

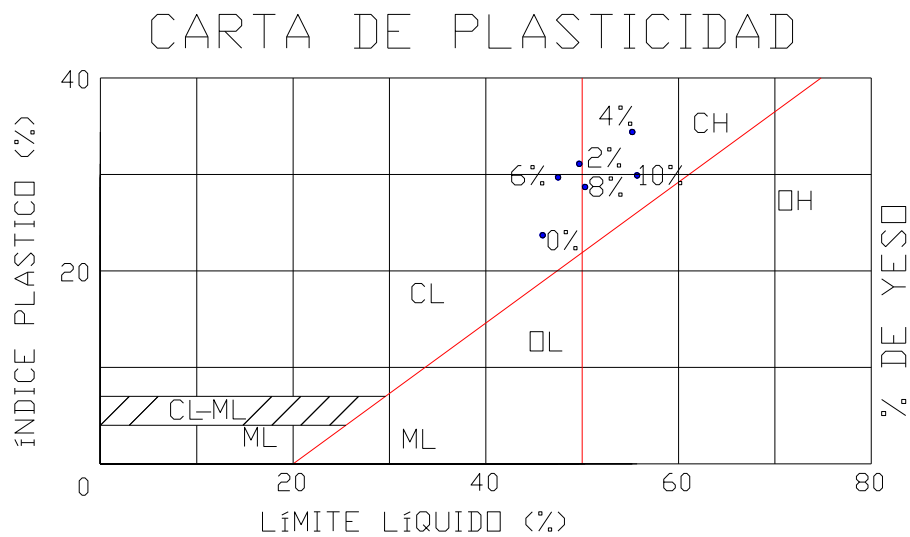
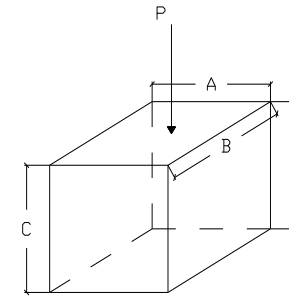


Fig. 46. Clasificación del material en la carta de plasticidad

Según la clasificación del (sucs) la arcilla en su estado natural, pertenece a una arcilla inorgánica de alta plasticidad.

IV. 5 Pruebas mecánicas



IV. 5.1 Prueba de compresión (Cubos 0% muestra testigo)

0% de yeso con respecto al peso de la arcilla			Lados de aplicación de la carga		Altura del espécimen		cubos				
Edad de prueba	Fecha de elaboración	Fecha de prueba	A	B	C	D	Peso (gr)	Carga (kg)	Area (cm ²)	P. Volumétrico (gr/cm ³)	Resistencia en (kg/cm ²)
7	18-ene-08	25-ene-08	4.51	4.51	4.47	4.46	169.13	813	20.34	1.86	39.97
8	22-oct-07	30-oct-07	4.47	4.39	4.09	4.2	144.99	750	19.62	1.78	38.22
9	16-oct-07	25-oct-07	4.46	4.46	4.08	4.21	173.3	74	19.89	2.10	3.72
10	05-nov-07	15-nov-07	4.36	4.55	4.1	4.03	155.6	1072.5	19.84	1.93	54.06
11	10-oct-07	21-oct-07	4.44	4.4	4.1	4.07	146.54	597.5	19.54	1.84	30.58
12	10-oct-07	22-oct-07	4.36	4.47	3.99	3.95	142.89	509.5	19.49	1.85	26.14
13	10-oct-07	23-oct-07	4.44	4.46	4.14	4.14	151.6	553	19.80	1.85	27.93
14	10-oct-07	24-oct-07	4.47	4.46	4.35	4.37	142.61	499.5	19.94	1.64	25.05
15	10-oct-07	25-oct-07	4.5	4.5	4.46	4.47	158.3	643.5	20.25	1.75	31.78
16	12-sep-07	28-sep-07	4.56	4.49	4.19	4.21	145.46	824	20.47	1.69	40.25
17	05-nov-07	22-nov-07	4.44	4.49	4.05	4.05	140.05	546.00	19.94	1.73	27.39
18	05-nov-07	23-nov-07	4.34	4.49	4.21	4.08	142.69	477.50	19.49	1.77	24.50
19	12-sep-07	01-oct-07	4.4	4.42	4.23	4.17	151.29	535.5	19.45	1.85	27.53
20	10-oct-07	30-oct-07	4.5	4.49	4.1	4.15	146.43	749.5	20.21	1.76	37.09
21	10-oct-07	31-oct-07	4.48	4.49	4.37	4.37	147.45	630	20.12	1.68	31.32
22	05-nov-07	27-nov-07	4.46	4.39	4.02	4	142.22	672	19.58	1.81	34.32
23	17-dic-07	09-ene-08	4.46	4.46	4.21	4.22	148.37	524	19.89	1.77	26.34
24	17-dic-07	10-ene-08	4.26	4.28	4.19	4.18	146.3	563.5	18.23	1.92	30.91
25	17-dic-07	11-ene-08	4.35	4.39	4.28	4.3	145.34	679	19.10	1.77	35.56
26	17-dic-07	12-ene-08	4.53	4.54	4.47	4.49	157.34	523.5	20.57	1.71	25.45
27	12-sep-07	09-oct-07	4.49	4.58	4.07	4.2	152.74	397.5	20.56	1.80	19.33
28	21-nov-07	19-dic-07	4.5	4.3	4.42	4.39	157.2	601.5	19.35	1.84	31.09

Efectos mecánicos de la estabilización volumétrica de Montmorillonita con CaSO_4

U.M.S.N.H

29	12-sep-07	11-oct-07	4.5	4.44	4.2	4.08	145.31	695	19.98	1.76	34.78
30	10-oct-07	09-nov-07	4.52	4.21	4.12	4.09	138.4	743.5	19.03	1.77	39.07
31	09-oct-07	09-nov-07	4.5	4.5	4.46	4.47	155.67	606	20.25	1.72	29.93
32	17-dic-07	18-ene-08	4.5	4.5	4.21	4.22	151.66	594	20.25	1.78	29.33
33	10-oct-07	12-nov-07	4.42	4.89	4.08	4.07	149.53	884	21.61	1.70	40.90
34	12-sep-07	16-oct-07	4.24	4.45	4.21	4.13	145.77	501	18.87	1.85	26.55
35	12-sep-07	17-oct-07	4.37	4.46	4.1	4.1	141.75	375.5	19.49	1.77	19.27
36	10-oct-07	15-nov-07	4.48	4.47	4.09	4.14	143.48	625	20.03	1.74	31.21
37	19-dic-07	25-ene-08	4.47	4.48	4.18	4.23	147.31	453	20.03	1.75	22.62
38	14-dic-07	21-ene-08	4.48	4.46	4.23	4.23	144.9	864.5	19.98	1.71	43.27
39	10-oct-07	18-nov-07	4.46	4.47	4.31	4.29	146.3	580	19.94	1.71	29.09
40	12-sep-07	22-oct-07	4.44	4.5	4.15	4.15	145.51	426.5	19.98	1.75	21.35
41	11-oct-07	21-nov-07	4.43	4.46	4.03	4.25	145.59	330.5	19.76	1.78	16.73
42	10-oct-07	21-nov-07	4.44	4.4	4.1	4.07	142.54	597.5	19.54	1.79	30.58
43	10-oct-07	22-nov-07	4.4	4.46	3.93	3.99	137.91	442.5	19.62	1.77	22.55
44	10-oct-07	23-nov-07	4.41	4.59	3.97	3.99	142.58	400	20.24	1.77	19.76
45	10-oct-07	24-nov-07	4.43	4.4	4.27	4.09	145.96	543.5	19.49	1.79	27.88
46	07-dic-07	22-ene-08	4.3	4.51	3.95	3.95	141	667.5	19.39	1.84	34.42
47	01-dic-07	17-ene-08	4.47	4.47	4.18	4.19	145.31	542	19.98	1.74	27.13
48	10-oct-07	27-nov-07	4.5	4.4	4.3	4.07	147.65	668.5	19.80	1.78	33.76
49	10-oct-07	28-nov-07	4.51	4.47	4.5	4.3	157.34	741	20.16	1.77	36.76
50	10-oct-07	29-nov-07	4.4	4.43	4.37	4.01	147.45	758	19.49	1.81	38.89
51	10-oct-07	30-nov-07	4.45	4.54	4.04	4.09	145.3	835.5	20.20	1.77	41.36
52	05-oct-07	26-nov-07	4.49	4.5	4.47	4.47	153.56	445	20.21	1.70	22.02
53	05-oct-07	27-nov-07	4.38	4.48	4.16	3.96	142.83	520.5	19.62	1.79	26.53
54	10-oct-07	03-dic-07	4.35	4.35	3.93	4	137.23	275	18.92	1.83	14.53
55	10-oct-07	04-dic-07	4.46	4.44	4.21	4.13	144.9	917.5	19.80	1.75	46.33
56	10-oct-07	05-dic-07	4.5	4.49	4.46	4.45	153.45	567	20.21	1.70	28.06
57	10-oct-07	06-dic-07	4.43	4.43	4.39	4.38	157.46	545.5	19.62	1.83	27.80
58	10-oct-07	07-dic-07	4.45	4.46	4.43	4.4	156.34	456	19.85	1.78	22.98
59	16-oct-07	14-dic-07	4.44	4.45	4.39	4.41	157.45	676	19.76	1.81	34.21
60	15-oct-07	14-dic-07	4.5	4.5	4.43	4.41	157.65	459	20.25	1.76	22.67
61	14-oct-07	14-dic-07	4.46	4.45	4.31	4.33	150.23	534	19.85	1.75	26.91
62	14-oct-07	15-dic-07	4.46	4.46	4.5	4.45	154	563	19.89	1.73	28.30
63	15-oct-07	17-dic-07	4.43	4.41	4.34	4.31	147.45	634	19.54	1.75	32.45
64	15-oct-07	18-dic-07	4.5	4.51	4.47	4.48	156.34	456	20.30	1.72	22.47
65	15-oct-07	19-dic-07	4.51	4.53	4.47	4.45	158.12	500	20.43	1.74	24.47
66	15-oct-07	20-dic-07	4.47	4.46	4.41	4.43	154.34	534	19.94	1.75	26.79
67	15-oct-07	21-dic-07	4.56	4.57	4.49	4.48	157.37	678	20.84	1.68	32.53

Efectos mecánicos de la estabilización volumétrica de Montmorillonita con CaSO_4

U.M.S.N.H

68	16-oct-07	23-dic-07	4.67	4.6	4.34	4.36	168.3	741	21.48	1.80	34.49
69	10-oct-07	18-dic-07	4.4	4.5	4.3	3.97	146.72	688	19.80	1.79	34.75
70	10-oct-07	19-dic-07	4.38	4.55	3.92	3.87	137.61	582.5	19.93	1.77	29.23
71	11-oct-07	21-dic-07	4.34	4.37	3.92	3.87	145.76	582.5	18.97	1.97	30.71
72	10-oct-07	21-dic-07	4.49	4.47	4.02	4.02	146.46	400	20.07	1.82	19.93
73	26-oct-07	07-ene-08	4.5	4.52	4.49	4.47	159.45	543	20.34	1.75	26.70
74	25-oct-07	07-ene-08	4.51	4.51	4.47	4.46	158.34	456.5	20.34	1.74	22.44
75	24-oct-07	07-ene-08	4.49	4.51	4.47	4.46	162.34	567	20.25	1.80	28.00
76	24-oct-07	08-ene-08	4.51	4.53	4.47	4.46	169.34	534	20.43	1.86	26.14
77	24-oct-07	09-ene-08	4.46	4.46	4.47	4.42	157.23	453.5	19.89	1.78	22.80
78	24-oct-07	10-ene-08	4.7	4.72	4.41	4.41	171.44	375	22.18	1.75	16.90
79	24-oct-07	11-ene-08	4.53	4.52	4.43	4.42	157.45	456	20.48	1.74	22.27
80	19-oct-07	07-ene-08	4.48	4.48	4.35	4.37	157.45	447	20.07	1.80	22.27

IV. 5.2 Prueba de compresión (Cubos 4% yeso)

4% de yeso con respecto al peso de la arcilla			Lados de aplicación de la carga		Altura del espécimen		cubos				
Edad de prueba	Fecha de elaboración	Fecha de prueba	A	B	C	D	Peso (gr)	Carga (kg)	Area (cm ²)	P. Volumétrico (gr/cm ²)	Resistencia en (kg/cm ²)
4	24-ago-07	28-ago-07	4.13	3.12	4.38	4.34	165	436	12.89	2.94	33.84
5	22-oct-07	27-oct-07	4.45	4.41	4.26	4.2	154.46	796.5	19.62	1.86	40.59
6	17-oct-07	23-oct-07	4.47	4.41	4.22	4.27	154.26	890	19.71	1.84	45.15
7	22-oct-07	29-oct-07	4.45	4.41	4.3	4.27	155.73	861	19.62	1.85	43.87
8	17-oct-07	25-oct-07	4.47	4.41	4.22	4.27	154.26	890	19.71	1.84	45.15
9	27-ago-07	05-sep-07	4.45	4.44	4.24	4.25	165.03	863	19.76	1.97	43.68
10	24-ago-07	03-sep-07	4.15	4.4	4.32	4.38	157	1685	18.26	1.98	92.28
11	24-ago-07	04-sep-07	4.46	4.36	4.2	4.2	153.47	1226.5	19.45	1.88	63.07
12	21-nov-07	03-dic-07	4.41	4.45	4.43	4.47	153.31	797	19.62	1.76	40.61
13	28-sep-07	11-oct-07	4.42	4.39	4.15	4.12	148.52	1166	19.40	1.85	60.09
14	17-oct-07	31-oct-07	4.39	4.42	4.23	4.23	146.17	675	19.40	1.78	34.79
15	01-oct-07	16-oct-07	4.36	4.22	4.05	4.07	146.97	480	18.40	1.97	26.09
16	22-oct-07	07-nov-07	4.42	4.42	4.22	4.22	144.7	78.5	19.54	1.76	4.02
17	28-sep-07	15-oct-07	4.33	4.35	4.13	4.19	144.97	273	18.84	1.85	14.49
18	23-nov-07	11-dic-07	4.42	4.42	4.26	4.26	151.29	800	19.54	1.82	40.95
19	21-nov-07	10-dic-07	4.43	4.43	4.2	4.24	149.65	753.5	19.62	1.81	38.40

Efectos mecánicos de la estabilización volumétrica de Montmorillonita con CaSO_4

U.M.S.N.H

20	05-sep-07	25-sep-07	4.29	4.4	4.2	4.23	145.1	1017.5	18.88	1.82	53.90
21	13-nov-07	04-dic-07	4.42	4.5	4.29	4.3	153.79	796.5	19.89	1.80	40.05
22	01-oct-07	23-oct-07	4.43	4.41	4.29	4.2	149.68	913	19.54	1.80	46.73
23	05-sep-07	28-sep-07	4.49	4.3	4.19	4.2	148.47	770	19.31	1.83	39.88
24	01-oct-07	25-oct-07	4.37	4.35	4.21	4.22	146.54	1165	19.01	1.83	61.29
25	05-oct-07	30-oct-07	4.36	4.44	4.31	4.29	150	1029	19.36	1.80	53.16
26	05-sep-07	01-oct-07	4.39	4.35	4.31	4.22	145.6	342.5	19.10	1.79	17.94
27	05-sep-07	02-oct-07	4.34	4.42	4.42	4.19	149.58	755	19.18	1.81	39.36
28	01-oct-07	29-oct-07	4.45	4.43	4.4	4.23	145.73	796.5	19.71	1.71	40.40
29	01-oct-07	30-oct-07	4.46	4.43	4.26	4.25	146.16	973	19.76	1.74	49.25
30	27-ago-07	26-sep-07	4.4	4.38	4.4	4.25	156.46	1399	19.27	1.88	72.59
31	13-nov-07	14-dic-07	4.46	4.46	4.27	4.27	151.81	786.5	19.89	1.79	39.54
32	07-dic-07	08-ene-08	4.41	4.41	4.3	4.3	145.34	1162.5	19.45	1.74	59.77
33	05-dic-07	07-ene-08	4.41	4.4	4.33	4.37	147.39	862	19.40	1.75	44.42
34	05-sep-07	09-oct-07	4.34	4.38	4.17	4.17	145.51	976	19.01	1.84	51.34
35	03-dic-07	07-ene-08	4.41	4.4	4.28	4.29	152.06	957.5	19.40	1.83	49.35
36	05-sep-07	11-oct-07	4.32	4.38	4.34	4.24	146.91	1153	18.92	1.81	60.94
37	27-ago-07	03-oct-07	4.41	4.42	4.16	4.2	154.05	1250	19.49	1.89	64.13
38	27-ago-07	04-oct-07	4.41	4.42	4.16	4.2	154.05	1250	19.49	1.89	64.13
39	01-oct-07	09-nov-07	4.43	4.43	4.22	4.23	146.66	1395	19.62	1.77	71.08
40	05-sep-07	15-oct-07	4.41	4.38	4.23	4.23	151.51	1033	19.32	1.85	53.48
41	05-sep-07	16-oct-07	4.48	4.32	4.33	4.33	148.94	1176	19.35	1.78	60.76
42	05-sep-07	17-oct-07	4.32	4.45	4.26	4.2	150.5	828.5	19.22	1.85	43.10
43	25-nov-07	07-ene-08	4.4	4.4	4.27	4.28	148.29	798	19.36	1.79	41.22
44	24-nov-07	07-ene-08	4.39	4.49	4.35	4.33	152.3	886.5	19.71	1.78	44.97
45	23-nov-07	07-ene-08	4.39	4.41	4.39	4.39	153.51	1191	19.36	1.81	61.52
46	05-sep-07	21-oct-07	4.27	4.3	4.1	4.1	147.4	668	18.36	1.96	36.38
47	05-sep-07	22-oct-07	4.43	4.43	4.29	4.19	149.95	1070	19.62	1.80	54.52
48	05-sep-07	23-oct-07	4.32	4.38	4.23	4.17	147.15	641	18.92	1.85	33.88
49	05-sep-07	24-oct-07	4.39	4.41	4.07	4.09	154.07	1075	19.36	1.95	55.53
50	05-sep-07	25-oct-07	4.53	4.42	4.18	4.18	146.9	1029	20.02	1.76	51.39
51	05-sep-07	26-oct-07	4.85	4.41	4.14	4.24	148.78	1001	21.39	1.66	46.80
52	05-sep-07	27-oct-07	4.27	4.31	4.1	4.12	151	1339.5	18.40	2.00	72.78
53	05-sep-07	28-oct-07	4.3	4.31	4.01	4.07	142.49	802.5	18.53	1.90	43.30
54	05-sep-07	29-oct-07	4.45	4.41	4.3	4.27	145.73	931	19.62	1.73	47.44

Efectos mecánicos de la estabilización volumétrica de Montmorillonita con CaSO_4

U.M.S.N.H

55	05-sep-07	30-oct-07	4.48	4.19	4.36	4.31	148.26	1157	18.77	1.82	61.64
56	23-nov-07	18-ene-08	4.45	4.43	4.21	4.23	150.7	1000	19.71	1.81	50.73
57	17-nov-07	13-ene-08	4.39	4.33	4.48	4.39	153.34	1087.5	19.01	1.82	57.21
58	17-nov-07	14-ene-08	4.33	4.32	4.41	4.39	154.76	1013.5	18.71	1.88	54.18
59	17-nov-07	15-ene-08	4.31	4.31	4.42	4.27	151.45	890.5	18.58	1.88	47.94
60	17-nov-07	16-ene-08	4.3	4.31	4.41	4.26	159.4	1292	18.53	1.98	69.71
61	17-nov-07	17-ene-08	4.41	4.42	4.35	4.35	153.12	1193	19.49	1.81	61.20
62	16-nov-07	17-ene-08	4.4	4.4	4.37	4.36	147.23	1348	19.36	1.74	69.63
63	16-nov-07	18-ene-08	4.32	4.31	4.23	4.26	153.67	1478.5	18.62	1.94	79.41
64	05-sep-07	08-nov-07	4.43	4.41	4.32	4.32	154.68	959.3	19.54	1.83	49.10
65	05-sep-07	09-nov-07	4.39	4.4	4.24	4.23	142.66	1400	19.32	1.74	72.48
66	04-sep-07	09-nov-07	4.4	4.42	4.34	4.38	149.95	1234	19.45	1.77	63.45
67	03-sep-07	09-nov-07	4.4	4.4	4.24	4.38	149.95	1234	19.36	1.80	63.74
68	05-sep-07	12-nov-07	4.45	4.43	4.25	4.27	147.68	1231.5	19.71	1.76	62.47
69	21-ago-07	29-oct-07	4.31	4.31	4.3	4.3	143.67	764	18.58	1.80	41.13
70	21-ago-07	30-oct-07	4.4	4.36	4.29	4.25	147.47	1300	19.18	1.80	67.76
71	01-oct-07	11-dic-07	4.39	4.4	4.35	4.33	148.13	980	19.32	1.77	50.74
72	01-oct-07	12-dic-07	4.37	4.38	4.34	4.34	149.23	1100	19.14	1.80	57.47
73	26-oct-07	07-ene-08	4.41	4.4	4.37	4.36	150.33	1230	19.40	1.77	63.39
74	26-oct-07	08-ene-08	4.4	4.41	4.35	4.35	147.3	1013	19.40	1.75	52.21
75	01-oct-07	15-dic-07	4.41	4.41	4.35	4.37	150.35	927	19.45	1.77	47.67
76	01-oct-07	16-dic-07	4.38	4.39	4.36	4.38	151.23	1000	19.23	1.80	52.01
77	01-oct-07	17-dic-07	4.35	4.37	4.38	4.37	150.45	1130	19.01	1.81	59.44
78	01-oct-07	18-dic-07	4.41	4.42	4.35	4.31	147.58	1120	19.49	1.75	57.46
79	20-oct-07	07-ene-08	4.33	4.34	4.31	4.32	145.36	896	18.79	1.79	47.68
80	21-oct-07	09-ene-08	4.4	4.42	4.34	4.38	149.95	1234	19.45	1.77	63.45

IV. 5.3 Prueba de compresión (Cubos 6% yeso)

6% de yeso con respecto al peso de la arcilla			Lados de aplicación de la carga		Altura del espécimen		cubos				
Edad de prueba	Fecha de elaboración	Fecha de prueba	A	B	C	D	Peso (gr)	Carga (kg)	Área (cm ²)	P. Volumétrico (gr/cm ²)	Resistencia en kg/cm ²
4	11-oct-07	15-oct-07	4.51	4.53	4.45	4.47	163.23	657.5	20.43	1.79	32.18
5	11-oct-07	16-oct-07	4.32	4.43	3.19	3.09	139.1	440.5	19.14	2.31	23.02
6	07-dic-07	13-dic-07	4.43	4.44	4.27	4.28	152.18	680.5	19.67	1.81	34.60
7	26-sep-07	03-oct-07	4.52	4.38	4.28	4.22	158.12	1026	19.80	1.88	51.82

Efectos mecánicos de la estabilización volumétrica de Montmorillonita con CaSO_4

U.M.S.N.H

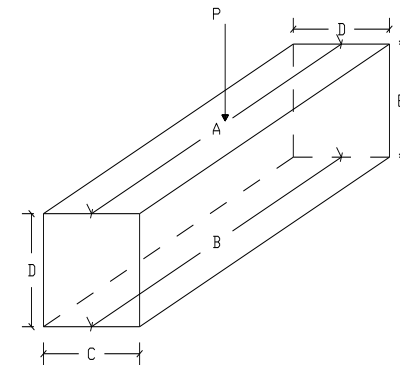
8	22-oct-07	30-oct-07	4.49	4.48	4.4	4.37	158.8	726.5	20.12	1.80	36.12
9	06-nov-07	15-nov-07	4.47	4.47	4.31	4.32	163.25	962	19.98	1.89	48.15
10	03-dic-07	13-dic-07	4.45	4.46	4.46	4.42	157.48	1073	19.85	1.79	54.06
11	26-nov-07	07-dic-07	4.39	4.35	4.3	4.3	158.2	1050	19.10	1.93	54.98
12	29-nov-07	11-dic-07	4.39	4.38	4.35	4.34	156.24	1000	19.23	1.87	52.01
13	11-sep-07	24-sep-07	4.42	4.44	4.25	4.24	164.67	1605	19.62	1.98	81.78
14	11-sep-07	25-sep-07	4.35	4.41	4.09	4.09	150.88	876.5	19.18	1.92	45.69
15	04-nov-07	19-nov-07	4.5	4.43	4.42	4.37	155.73	920	19.94	1.78	46.15
16	11-sep-07	27-sep-07	4.41	4.4	4.26	3.31	158.07	705	19.40	2.15	36.33
17	11-sep-07	28-sep-07	4.46	4.44	4.32	3.31	151.07	895	19.80	2.00	45.20
18	22-oct-07	09-nov-07	4.46	4.46	4.44	4.44	153.87	743	19.89	1.74	37.35
19	26-oct-07	14-nov-07	4.36	4.35	4.15	4.32	143.3	736.5	18.97	1.78	38.83
20	26-sep-07	16-oct-07	4.43	4.43	3.35	3.31	154.18	899.5	19.62	2.36	45.83
21	26-sep-07	17-oct-07	4.45	4.44	3.31	3.29	152.65	1255	19.76	2.34	63.52
22	07-nov-07	29-nov-07	4.44	4.49	4.25	4.32	151.09	526	19.94	1.77	26.38
23	29-sep-07	22-oct-07	4.43	4.43	4.29	4.29	154.17	496	19.62	1.83	25.27
24	06-nov-07	30-nov-07	4.43	4.54	4.4	4.35	155.83	1070.5	20.11	1.77	53.23
25	24-nov-07	19-dic-07	4.43	4.41	4.35	4.35	154.29	832	19.54	1.82	42.59
26	07-nov-07	03-dic-07	4.44	4.51	4.37	4.29	159.99	1188	20.02	1.85	59.33
27	26-dic-07	22-ene-08	4.41	4.4	4.25	4.26	152.58	927.5	19.40	1.85	47.80
28	11-sep-07	09-oct-07	4.49	4.41	3.97	3.96	134.19	362.5	19.80	1.71	18.31
29	26-sep-07	25-oct-07	4.41	4.42	4.29	4.3	150.48	1020	19.49	1.80	52.33
30	11-sep-07	11-oct-07	4.39	4.39	3.21	3.21	151.17	1028	19.27	2.44	53.34
31	05-nov-07	06-dic-07	4.44	4.44	4.42	4.41	140	708.5	19.71	1.61	35.94
32	26-nov-07	28-dic-07	4.4	4.36	4.28	4.27	143	1030.5	19.18	1.74	53.72
33	11-sep-07	14-oct-07	4.38	4.62	3.95	3.94	135.04	263.5	20.24	1.69	13.02
34	13-dic-07	16-ene-08	4.5	4.54	4.49	4.47	152.37	649	20.43	1.66	31.77
35	11-sep-07	16-oct-07	4.38	4.58	4.1	3.94	140.05	577.5	20.06	1.74	28.79
36	03-nov-07	09-dic-07	4.43	4.43	4.41	4.39	156.42	895	19.62	1.81	45.61
37	07-nov-07	14-dic-07	4.41	4.4	4.32	4.29	147.73	639	19.40	1.77	32.93
38	06-nov-07	14-dic-07	4.43	4.45	4.43	4.33	155.95	987.5	19.71	1.81	50.09
39	11-sep-07	20-oct-07	4.36	4.47	3.98	3.88	137.84	648	19.49	1.80	33.25
40	30-nov-07	09-ene-08	4.39	4.4	2.29	2.28	152.51	1441.5	19.32	3.46	74.63
41	11-sep-07	22-oct-07	4.31	4.45	4.03	3.92	136.4	569	19.18	1.79	29.67
42	03-dic-07	14-ene-08	4.5	4.5	4.44	4.47	151.66	1100	20.25	1.68	54.32

Efectos mecánicos de la estabilización volumétrica de Montmorillonita con CaSO_4

U.M.S.N.H

43	06-nov-07	19-dic-07	4.49	4.41	4.39	4.4	155.01	939.5	19.80	1.78	47.45
44	26-sep-07	09-nov-07	4.38	4.39	4.29	4.25	145.64	1044.5	19.23	1.77	54.32
45	29-nov-07	13-ene-08	4.36	4.42	4.27	4.39	153.33	929	19.27	1.84	48.21
46	30-nov-07	15-ene-08	4.5	4.47	4.42	4.43	156.46	957.5	20.12	1.76	47.60
47	26-sep-07	12-nov-07	4.45	4.34	4.27	4.25	145.92	473.5	19.31	1.77	24.52
48	26-sep-07	13-nov-07	4.41	4.42	4.26	4.35	146.19	1176	19.49	1.74	60.33
49	10-dic-07	28-ene-08	4.51	4.53	4.47	4.49	151.72	1070	20.43	1.66	52.37
50	26-sep-07	15-nov-07	4.46	4.42	4.03	3.92	155.4	1550	19.71	1.98	78.63
51	29-oct-07	19-dic-07	4.49	4.44	4.41	4.34	155.84	953.5	19.94	1.79	47.83
52	25-nov-07	16-ene-08	4.36	4.37	4.27	4.26	149.83	1220	19.05	1.84	64.03
53	15-nov-07	07-ene-08	4.5	4.48	4.31	4.3	153.82	827	20.16	1.77	41.02
54	11-sep-07	04-nov-07	4.42	4.39	4.24	4.19	149.58	985.5	19.40	1.83	50.79
55	13-nov-07	07-ene-08	4.57	4.51	4.3	4.31	148.02	1163	20.61	1.67	56.43
56	22-nov-07	17-ene-08	4.5	4.49	4.4	4.41	155.3	1234	20.21	1.74	61.07
57	27-nov-07	23-ene-08	4.47	4.47	4.25	4.32	145.91	1191	19.98	1.70	59.61
58	03-dic-07	30-ene-08	4.47	4.52	4.38	4.41	149.39	1092.5	20.20	1.68	54.07
59	21-nov-07	19-ene-08	4.44	4.43	4.36	4.37	153.24	1123	19.67	1.78	57.09
60	22-nov-07	21-ene-08	4.38	4.41	4.3	4.3	137.84	956.5	19.32	1.66	49.52
61	22-nov-07	22-ene-08	4.5	4.51	4.41	4.41	157.89	1231	20.30	1.76	60.66
62	22-nov-07	23-ene-08	4.36	4.35	4.33	4.31	150.78	935.5	18.97	1.84	49.33
63	22-nov-07	24-ene-08	4.52	4.48	4.38	4.36	149.45	1014.5	20.25	1.69	50.10
64	22-nov-07	25-ene-08	4.47	4.46	4.41	3.4	151.3	1129.5	19.94	1.94	56.66
65	12-nov-07	16-ene-08	4.4	4.42	4.17	4.2	145.34	1123	19.45	1.79	57.74
66	12-nov-07	17-ene-08	4.45	4.43	4.32	4.31	150.34	1124	19.71	1.77	57.02
67	22-nov-07	28-ene-08	4.43	4.41	4.37	4.37	153.23	1234	19.54	1.79	63.16
68	22-sep-07	29-nov-07	4.4	4.41	4.3	4.31	149.58	837.5	19.40	1.79	43.16
69	22-sep-07	30-nov-07	4.38	4.39	4.36	4.32	150.4	1134.5	19.23	1.80	59.00
70	21-nov-07	30-ene-08	4.41	4.42	4.37	4.37	157.45	1123	19.49	1.85	57.61
71	12-nov-07	22-ene-08	4.35	4.35	4.31	4.32	147.24	1141	18.92	1.80	60.30
72	12-nov-07	23-ene-08	4.33	4.34	4.29	4.29	157.3	1136.5	18.79	1.95	60.48
73	12-nov-07	24-ene-08	4.41	4.42	4.37	4.39	151.56	1243	19.49	1.78	63.77
74	12-nov-07	25-ene-08	4.5	4.5	4.42	4.34	156.23	1479	20.25	1.76	73.04
75	12-nov-07	26-ene-08	4.41	4.42	4.13	4.16	147.25	947.5	19.49	1.82	48.61
76	13-nov-07	28-ene-08	4.46	4.46	3.38	4.37	153.4	1123	19.89	1.99	56.46
77	13-nov-07	29-ene-08	4.46	4.47	4.38	4.38	150.45	1167	19.94	1.72	58.54

78	13-nov-07	30-ene-08	4.48	4.46	4.45	4.48	145.7	856.5	19.98	1.63	42.87
79	13-nov-07	31-ene-08	4.47	4.45	4.36	4.39	146.34	1321.5	19.89	1.68	66.44
80	13-nov-07	01-feb-08	4.51	4.53	4.45	4.42	150.23	1112.5	20.43	1.66	54.45



IV. 5.4 Prueba de flexión (vigas 0% muestra testigo)

0% de yeso con respecto al peso de la arcilla											vigas			
Edad	Fecha de elaboración	Fecha de prueba	A	B	C	D	E	F	Peso (gr)	Carga (kg)	Area. (cm ²)	P. Volumétrico (gr/cm ²)	Resistencia en (kg/cm ²)	Cortante(kg/cm ²)
7	16-oct-07	23-oct-07	13.83	14.03	3.44	3.34	3.25	3.31	290.4	5	11.12	1.87	4.57	0.67
8	16-oct-07	24-oct-07	14.02	14.02	3.43	3.43	3.29	3.25	315	21	11.22	2.00	19.27	2.81
10	16-oct-07	26-oct-07	14.03	14.01	3.45	3.36	3.28	3.27	311	18	11.15	1.99	16.49	2.42
11	14-ene-08	25-ene-08	14.05	14.21	3.46	3.38	3.27	3.32	311	21.5	11.27	1.95	19.58	2.86
12	28-ago-07	09-sep-07	13.75	14.9	3.39	3.47	3.26	3.17	307	38	11.03	1.94	35.46	5.17
13	10-oct-07	23-oct-07	13.83	14.03	3.44	3.34	3.25	3.31	289.4	22	11.12	1.87	20.12	2.97
14	16-oct-07	30-oct-07	14.04	14.2	3.42	3.42	3.2	3.22	277	19	10.98	1.79	17.76	2.60
15	16-oct-07	31-oct-07	14.2	14.21	3.32	3.45	3.35	3.32	305	16	11.29	1.90	14.39	2.13
16	10-sep-07	26-sep-07	14.23	14.3	3.32	3.45	3.3	3.29	288.1	19	11.15	1.81	17.30	2.56
17	05-nov-07	22-nov-07	14	14.17	3.46	3.46	3.3	3.29	291	19.5	11.40	1.81	17.75	2.57
18	05-nov-07	23-nov-07	14.01	14.14	3.53	3.51	3.2	3.2	285	16	11.26	1.80	15.00	2.13
19	19-dic-07	07-ene-08	14.02	14.03	3.45	3.46	3.21	3.2	299	36.5	11.07	1.93	34.17	4.94
20	10-oct-07	30-oct-07	13.91	14.1	3.45	3.43	3.25	3.24	251	36	11.16	1.61	33.28	4.84
21	10-sep-07	01-oct-07	14.95	14.28	3.47	3.34	3.22	3.18	273	13.75	10.90	1.71	12.89	1.89
22	05-nov-07	27-nov-07	14.05	14.23	3.45	3.45	3.4	3.29	292	29.5	11.54	1.79	26.46	3.83
23	05-nov-07	28-nov-07	14.03	14.25	3.44	3.44	4.4	4.4	282.91	21.5	15.14	1.32	14.66	2.13

Efectos mecánicos de la estabilización volumétrica de Montmorillonita con CaSO_4

U.M.S.N.H

24	05-nov-07	29-nov-07	14.07	14.23	3.46	3.46	3.18	3.27	282	38.5	11.16	1.79	35.81	5.18
25	05-nov-07	30-nov-07	13.91	14.1	3.53	3.53	3.22	3.23	289	35	11.38	1.81	32.56	4.61
26	27-dic-07	22-ene-08	14.07	14.09	3.37	3.38	3.3	3.39	245	27.5	11.29	1.54	24.66	3.65
27	10-oct-07	06-nov-07	13.4	14.04	3.43	3.41	3.28	3.21	279	8.5	11.10	1.83	7.86	1.15
28	28-ago-07	25-sep-07	14.3	14.28	3.49	3.51	3.14	3.17	271.79	35	11.04	1.72	33.28	4.75
29	27-ago-07	25-sep-07	14.1	14.17	3.49	3.61	3.12	3.17	290.48	38.75	11.16	1.84	36.96	5.21
30	28-ago-07	27-sep-07	13.82	14.01	3.34	3.34	3.15	3.22	289.3	14	10.64	1.95	13.19	1.97
31	28-ago-07	28-sep-07	13.78	13.93	3.56	3.5	3.18	3.17	284.4	17	11.21	1.83	16.06	2.28
32	05-nov-07	07-dic-07	14.03	14.15	3.48	3.49	3.17	3.15	312	8	11.01	2.01	7.59	1.09
33	14-dic-07	16-ene-08	14.07	14.21	3.41	3.39	3.29	3.29	276	13	11.19	1.74	11.85	1.74
34	14-dic-07	17-ene-08	13.97	13.95	3.56	3.57	3.41	3.43	278	31	12.1923	1.63	27.19	3.81
35	10-oct-07	14-nov-07	13.92	13.88	3.4	3.4	3.23	3.24	279	20.5	11.00	1.82	19.01	2.80
36	14-dic-07	19-ene-08	13.94	13.95	3.5	3.51	4.43	3.42	293	14	13.76	1.53	10.70	1.53
37	19-dic-07	25-ene-08	13.76	14.18	3.59	3.49	3.39	3.39	292	12.5	12.00	1.74	11.06	1.56
38	19-dic-07	26-ene-08	14.03	14.01	3.47	3.47	3.38	3.39	287	10.5	11.75	1.74	9.31	1.34
39	14-dic-07	22-ene-08	14	14.01	3.56	3.57	4.45	4.42	291	17	15.81	1.31	11.50	1.61
40	07-dic-07	16-ene-08	13.96	13.95	3.31	3.31	3.19	3.2	270	28.5	10.58	1.83	26.76	4.04

IV. 5.5 Prueba de flexión (vigas 4% yeso)

4% de yeso con respecto al peso de la arcilla											vigas			
Edad	Fecha de elaboración	Fecha de prueba	A	B	C	D	E	F	Peso (gr)	Carga (kg)	Área (cm ²)	P. Volumétrico (gr/cm ²)	Resistencia en (kg/cm ²)	Cortante (kg/cm ²)
6	16-oct-07	22-oct-07	14.12	14.13	3.65	3.64	3.56	3.55	307	38	12.96	1.68	32.07	4.40
7	16-oct-07	23-oct-07	14.12	14.12	3.67	3.7	3.63	3.64	305	43	13.39	1.61	35.49	4.82
8	16-oct-07	24-oct-07	14.14	14.12	3.67	3.65	3.56	3.58	301	56	13.07	1.63	47.06	6.43
9	16-oct-07	25-oct-07	14.16	14.04	3.45	3.47	3.23	3.33	307	38	11.35	1.92	34.76	5.02
10	24-ago-07	03-sep-07	13.88	14.1	3.48	3.41	3.54	3.53	314	47	12.18	1.84	39.89	5.79
11	28-sep-07	09-oct-07	14.16	14.23	3.51	3.49	3.46	3.39	325	42.5	11.99	1.91	37.23	5.32
12	24-ago-07	05-sep-07	13.63	14.02	3.49	3.43	3.35	3.33	318	74.5	11.56	1.99	66.92	9.67
13	28-ago-07	10-sep-07	13.75	14.9	3.43	3.39	3.26	3.17	295	60	10.96	1.88	55.99	8.21
14	24-ago-07	07-sep-07	13.74	14.2	3.5	3.5	3.24	3.47	297	55.5	11.74	1.81	49.63	7.09
15	10-sep-07	25-sep-07	13.82	13.89	3.48	3.46	3.28	3.25	294.6	27.5	11.33	1.88	25.27	3.64

Efectos mecánicos de la estabilización volumétrica de Montmorillonita con CaSO_4

U.M.S.N.H

16	24-nov-07	10-dic-07	14.01	14	3.7	3.75	3.5	3.47	296	49	12.98	1.63	42.18	5.66
17	28-sep-07	15-oct-07	13.79	13.78	3.5	3.51	3.3	3.29	295	62	11.55	1.85	56.45	8.05
18	28-sep-07	16-oct-07	13.92	14.05	3.47	3.47	3.59	3.41	295.3	48	12.15	1.74	41.14	5.93
19	24-ago-07	12-sep-07	13.74	14.2	3.5	3.5	3.24	3.45	297	55.5	11.71	1.82	49.78	7.11
20	23-nov-07	13-dic-07	13.78	13.86	3.39	3.37	3.46	3.47	294	49.5	11.71	1.82	42.86	6.34
21	04-sep-07	25-sep-07	13.75	13.98	3.52	3.52	3.29	3.16	287	25.5	11.35	1.82	23.72	3.37
22	22-oct-07	13-nov-07	13.98	13.85	3.4	3.41	3.47	3.49	293	21	11.85	1.78	18.10	2.66
23	04-sep-07	27-sep-07	13.89	14.09	3.4	3.34	3.22	3.31	287	23	11.00	1.86	21.13	3.14
24	04-sep-07	28-sep-07	13.78	14.02	3.46	3.46	3.36	3.33	281	12	11.57	1.75	10.76	1.56
25	22-oct-07	16-nov-07	13.98	14.12	3.47	3.44	3.36	3.37	289	16.5	11.63	1.77	14.71	2.13
26	22-oct-07	17-nov-07	13.76	13.74	4.36	3.436	3.34	3.33	284	49	13.00	1.59	44.08	5.65
27	04-sep-07	01-oct-07	13.85	14.02	3.38	3.39	3.14	3.24	272	20	10.80	1.81	18.81	2.78
28	04-sep-07	02-oct-07	13.75	14.34	3.56	3.58	3.24	3.25	294	48.7	11.58	1.81	45.02	6.31
29	04-sep-07	03-oct-07	13.83	13.82	3.45	3.44	3.46	3.43	286	53	11.87	1.74	46.15	6.70
30	27-ago-07	26-sep-07	14.93	14.95	3.53	3.5	3.28	3.27	302	35	11.51	1.76	32.06	4.56
31	27-ago-07	27-sep-07	13.86	13.89	4.48	3.47	3.35	3.38	293	45	13.38	1.58	40.12	5.05
32	22-oct-07	23-nov-07	13.94	14.09	3.5	3.47	3.44	3.44	297	26	11.99	1.77	22.67	3.25
33	05-dic-07	07-ene-08	13.92	13.89	3.46	3.47	3.38	3.39	294	28	11.73	1.80	24.82	3.58
34	04-dic-07	07-ene-08	13.85	13.83	3.43	3.44	3.46	3.43	292	51	11.83	1.78	44.41	6.46
35	04-sep-07	09-oct-07	13.95	14.09	3.47	3.4	3.32	3.34	282	28.5	11.44	1.76	25.68	3.74
36	22-oct-07	27-nov-07	13.81	13.95	3.55	3.85	3.32	3.32	292	40.5	12.28	1.71	36.60	4.95
37	03-dic-07	09-ene-08	13.74	13.71	3.46	3.47	3.5	3.51	291	57.5	12.14	1.75	49.22	7.10
38	10-oct-07	17-nov-07	13.9	13.97	3.43	3.43	3.38	3.38	280	18	11.59	1.73	15.98	2.33
39	07-dic-07	15-ene-08	14.09	14.07	3.39	3.37	3.46	3.45	292	59.5	11.68	1.78	51.66	7.64
40	07-dic-07	16-ene-08	14.05	14.04	3.47	3.45	3.45	3.45	291	47.5	11.94	1.74	41.30	5.97
41	07-dic-07	17-ene-08	13.96	14.06	3.54	3.45	4.43	3.45	296	50	13.77	1.53	38.07	5.45
42	07-dic-07	18-ene-08	13.92	13.98	3.52	3.53	3.43	3.49	296	49	12.20	1.74	42.49	6.03
43	06-dic-07	18-ene-08	13.95	14.04	3.4	3.4	3.38	3.39	286	55	11.51	1.78	48.74	7.17
44	24-nov-07	07-ene-08	13.84	13.85	3.47	3.46	3.33	3.37	291	47.5	11.61	1.81	42.54	6.14
45	23-nov-07	07-ene-08	13.75	13.74	3.55	3.52	3.31	3.3	291	51.5	11.68	1.81	46.75	6.61
46	23-nov-07	08-ene-08	13.74	14.1	3.44	3.44	3.41	3.4	292	47	11.71	1.79	41.41	6.02
47	06-dic-07	22-ene-08	14.05	14.03	3.5	3.56	3.48	3.46	297	58	12.25	1.73	50.14	7.10
48	06-dic-07	23-ene-08	13.94	13.92	3.56	3.52	3.46	3.67	279	41	12.62	1.59	34.50	4.87
49	06-dic-07	24-ene-08	13.96	13.99	3.48	3.53	3.47	3.49	286	56	12.20	1.68	48.28	6.89
50	21-nov-07	10-ene-08	13.81	13.8	3.43	3.41	3.53	3.53	292	60.5	12.07	1.75	51.42	7.52
51	24-nov-07	14-ene-08	13.81	13.83	3.31	3.32	3.39	3.37	289	38	11.20	1.87	33.73	5.09

Efectos mecánicos de la estabilización volumétrica de Montmorillonita con CaSO_4

U.M.S.N.H

52	24-nov-07	15-ene-08	13.97	13.96	3.43	3.41	3.51	3.53	297	67.5	12.04	1.77	57.53	8.41
53	23-nov-07	15-ene-08	13.23	13.27	3.45	3.54	3.33	3.48	289	56.5	11.90	1.83	49.78	7.12
54	23-nov-07	16-ene-08	13.82	13.91	3.43	3.44	3.47	3.5	291	26.5	11.97	1.75	22.81	3.32
55	23-nov-07	17-ene-08	13.74	13.8	3.39	3.41	3.37	3.36	280	55	11.44	1.78	49.03	7.21
56	27-ago-07	22-oct-07	14.02	14.01	3.56	3.53	3.46	3.45	291	56	12.25	1.70	48.63	6.86
57	27-ago-07	23-oct-07	13.81	13.83	3.34	3.35	3.33	3.34	293	57	11.16	1.90	51.27	7.66
58	23-nov-07	20-ene-08	13.91	13.9	3.57	3.56	3.47	3.49	324	58	12.41	1.88	50.00	7.01
59	23-nov-07	21-ene-08	13.97	13.95	3.52	3.49	3.48	3.48	289	49	12.20	1.70	42.24	6.03
60	23-nov-07	22-ene-08	14.01	14	3.56	3.53	3.49	3.5	296	62	12.39	1.71	53.22	7.51
61	23-nov-07	23-ene-08	14	14	3.57	3.6	3.47	3.5	291	46.5	12.49	1.66	40.03	5.58
62	23-nov-07	24-ene-08	13.94	13.92	3.5	3.51	3.42	3.42	294	51	11.99	1.76	44.74	6.38
63	23-nov-07	25-ene-08	13.89	13.92	3.53	3.52	3.46	3.49	287	47	12.25	1.68	40.58	5.76
64	23-nov-07	26-ene-08	13.93	13.95	3.46	3.48	3.43	3.47	282	57	11.97	1.69	49.57	7.14
65	04-sep-07	08-nov-07	13.97	13.98	3.49	3.5	3.43	3.45	289	49	12.02	1.72	42.73	6.11
66	04-sep-07	09-nov-07	14.04	14.05	3.56	3.54	3.46	3.47	294	58	12.30	1.70	50.22	7.07
67	07-sep-07	13-nov-07	14.01	14.02	3.52	3.52	3.47	3.44	297	47.5	12.16	1.74	41.24	5.86
68	07-sep-07	14-nov-07	13.95	13.97	3.6	3.58	3.51	3.5	282	57.5	12.58	1.61	49.22	6.85
69	04-sep-07	12-nov-07	13.99	14	3.54	3.57	3.45	3.42	284	41	12.21	1.66	35.81	5.04
70	04-sep-07	13-nov-07	14.02	14.03	3.39	3.4	3.36	3.37	293	56	11.42	1.83	49.93	7.35
71	24-ago-07	03-nov-07	13.95	13.96	3.5	3.47	3.45	3.46	293	61	12.04	1.74	52.97	7.60
72	24-ago-07	04-nov-07	14.05	14.03	3.64	3.63	3.53	3.54	298	49	12.85	1.65	41.58	5.72
73	24-ago-07	05-nov-07	14	14.02	3.5	3.52	3.47	3.45	258	56.5	12.14	1.52	48.99	6.98
74	24-ago-07	06-nov-07	13.96	13.94	3.51	3.49	3.43	3.45	269	53	12.04	1.60	46.22	6.60
75	24-ago-07	07-nov-07	14.03	14.01	3.63	3.64	3.51	3.47	272	67	12.69	1.53	57.59	7.92
76	24-ago-07	08-nov-07	14.01	14	3.53	3.58	3.46	3.45	282	49.5	12.28	1.64	42.98	6.05
77	24-ago-07	09-nov-07	13.98	13.96	3.6	3.57	3.47	3.46	289	50.1	12.42	1.67	43.38	6.05
78	24-ago-07	10-nov-07	13.96	13.97	3.56	3.53	3.45	3.43	290	46.5	12.19	1.70	40.55	5.72
79	24-ago-07	11-nov-07	13.93	13.95	3.52	3.56	3.43	3.35	292	56	12.00	1.75	49.56	7.00
80	24-ago-07	12-nov-07	14.05	14.04	3.54	3.56	3.47	3.5	294	60	12.37	1.69	51.65	7.27

IV. 5.6 Prueba de tensión (vigas 6% yeso)

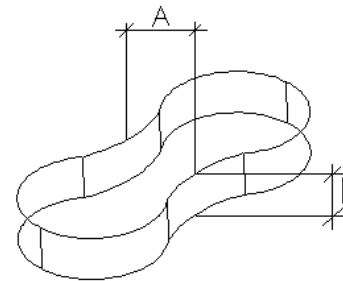
6% de yeso con respecto al peso de la arcilla											vigas			
Edad	Fecha de elaboración	Fecha de prueba	A	B	C	D	E	F	Peso (gr)	Carga (kg)	Área. (cm ²)	P. Volumétrico (gr/cm ²)	Resistencia en (kg/cm ²)	Cortante (kg/cm ²)
7	26-nov-07	03-dic-07	13.98	14.1	3.44	3.44	3.5	3.47	360	47.5	11.99	2.14	40.89	5.94
8	21-nov-07	29-nov-07	14.33	14.45	3.59	3.54	3.67	3.61	362	51	12.98	1.94	42.03	5.90
9	21-nov-07	30-nov-07	13.91	14.02	3.5	3.51	3.7	3.9	360	33	13.32	1.94	26.05	3.72
10	27-nov-07	07-dic-07	13.77	13.93	3.5	3.5	3.49	3.39	326	92.5	12.04	1.95	80.67	11.52
11	26-nov-07	07-dic-07	13.96	13.31	3.44	3.43	3.4	3.54	315	70	11.92	1.94	60.52	8.81
12	23-oct-07	04-nov-07	13.93	14.15	3.53	3.49	3.29	3.29	303	24.5	11.55	1.87	22.34	3.18
13	11-sep-07	24-sep-07	13.98	14.3	3.67	3.5	3.38	3.27	307	38	11.92	1.82	34.29	4.78
14	27-nov-07	11-dic-07	13.83	13.96	3.46	3.36	3.56	3.49	312	53.5	12.02	1.87	45.53	6.68
15	11-sep-07	26-sep-07	14.25	14.1	3.46	3.34	3.5	3.42	304	9	11.76	1.82	7.80	1.15
16	27-nov-07	13-dic-07	13.87	13.97	3.42	3.45	3.48	3.5	302	51.5	11.99	1.81	44.27	6.44
17	27-nov-07	14-dic-07	13.97	14.02	3.54	3.52	3.42	3.41	285	52	12.05	1.69	45.68	6.47
18	20-dic-07	07-ene-08	13.88	13.76	3.56	3.57	3.49	3.49	317	55	12.44	1.84	47.28	6.63
19	20-dic-07	08-ene-08	13.87	13.83	3.56	3.52	3.24	3.23	287	56	11.45	1.81	51.93	7.34
20	23-oct-07	12-nov-07	13.97	13.84	3.33	3.44	3.46	3.47	281	35	11.73	1.72	30.30	4.48
21	23-oct-07	13-nov-07	13.92	13.85	3.43	3.49	3.35	3.35	280	20.5	11.59	1.74	18.36	2.65
22	23-oct-07	14-nov-07	13.91	13.93	3.32	3.31	3.35	3.34	282	47	11.09	1.83	42.15	6.36
23	23-oct-07	15-nov-07	13.91	13.94	3.35	3.37	3.37	3.37	297	57	11.32	1.88	50.74	7.55
24	23-oct-07	16-nov-07	14.02	14.03	3.43	3.44	3.46	3.45	289	51	11.87	1.74	44.28	6.45
25	13-dic-07	07-ene-08	14.19	14.21	3.49	3.5	3.54	3.51	295	50	12.32	1.69	42.55	6.09
26	12-dic-07	07-ene-08	14.01	14.02	3.46	3.43	3.5	3.51	294	57	12.07	1.74	48.79	7.08
27	11-dic-07	07-ene-08	14.01	14	3.46	3.46	3.5	3.5	292	42	12.11	1.72	36.00	5.20
28	20-dic-07	17-ene-08	14.02	14.07	3.39	3.4	3.47	3.47	295	61	11.78	1.78	52.74	7.77
29	11-dic-07	09-ene-08	14.08	14.07	3.48	3.51	3.52	3.53	289	56	12.32	1.67	47.66	6.82
30	11-dic-07	10-ene-08	14.01	14.01	3.49	3.46	3.5	3.5	287	49	12.16	1.68	42.00	6.04
31	11-dic-07	11-ene-08	14.02	14.2	3.43	3.45	3.51	3.5	296	64	12.06	1.74	54.78	7.96
32	13-dic-07	14-ene-08	13.98	13.96	3.45	3.47	3.54	3.53	293	61	12.23	1.71	51.77	7.48
33	20-dic-07	22-ene-08	13.99	14	3.45	3.45	3.5	3.5	284	31	12.08	1.68	26.57	3.85
34	13-dic-07	16-ene-08	13.98	13.97	3.59	3.57	3.45	3.46	293	54	12.37	1.70	46.89	6.55
35	11-dic-07	15-ene-08	13.84	13.83	3.47	3.47	3.45	3.46	296	28	11.99	1.78	24.31	3.50
36	13-dic-07	18-ene-08	13.97	13.96	3.54	3.53	3.45	3.47	295	56	12.23	1.73	48.55	6.87
37	12-dic-07	18-ene-08	14.02	14.02	3.65	3.64	3.56	3.59	287	61	13.03	1.57	51.19	7.02

Efectos mecánicos de la estabilización volumétrica de Montmorillonita con CaSO_4

U.M.S.N.H

38	13-dic-07	20-ene-08	14.1	14.02	3.54	3.52	3.54	3.52	290	46	12.46	1.66	39.09	5.54
39	13-dic-07	21-ene-08	13.99	14	3.56	3.52	3.49	3.48	289	53	12.34	1.67	45.62	6.44
40	07-dic-07	16-ene-08	14.04	14.03	3.66	3.66	3.45	3.44	293	64.5	12.61	1.66	56.17	7.67
41	07-dic-07	17-ene-08	14.04	14.03	3.66	3.66	3.45	3.44	293	64.5	12.61	1.66	56.17	7.67
42	07-dic-07	18-ene-08	14.01	14.01	3.56	3.57	3.49	3.5	291	61	12.46	1.67	52.36	7.34
43	10-dic-07	22-ene-08	13.98	13.99	3.55	3.56	3.47	3.48	287	47	12.35	1.66	40.58	5.71
44	10-dic-07	23-ene-08	13.97	13.97	3.6	3.54	3.51	3.52	283	54	12.55	1.61	46.09	6.45
45	23-sep-07	07-nov-07	13.98	14.13	3.47	3.46	3.38	3.35	289	23.5	11.66	1.76	20.95	3.02
46	10-dic-07	25-ene-08	14.03	14.01	3.54	3.52	3.49	3.48	296	48	12.30	1.72	41.32	5.85
47	21-nov-07	07-ene-08	13.94	13	3.57	3.54	3.51	3.48	293	53	12.42	1.75	45.49	6.40
48	21-nov-07	08-ene-08	13.98	13.98	3.54	3.53	3.44	3.46	294	54	12.20	1.72	46.96	6.64
49	10-dic-07	28-ene-08	13.97	13.94	3.56	3.57	3.45	3.47	294	60	12.33	1.71	52.02	7.30
50	10-dic-07	29-ene-08	13.98	13.97	3.6	3.59	3.51	3.51	293	54	12.62	1.66	46.15	6.42
51	10-dic-07	30-ene-08	14.01	14	3.51	3.53	3.47	3.48	295	53	12.23	1.72	45.76	6.50
52	10-dic-07	31-ene-08	14.01	14.02	3.55	3.56	3.53	3.53	291	47	12.55	1.65	39.94	5.62
53	23-nov-07	15-ene-08	13.96	13.98	3.54	3.52	3.49	3.47	293	60	12.28	1.71	51.72	7.33
54	21-nov-07	14-ene-08	14.02	14.1	3.54	3.52	3.48	3.47	293	62	12.27	1.70	53.53	7.58
55	11-sep-07	05-nov-07	13.97	13.95	3.57	3.56	3.52	3.53	279	34	12.57	1.59	28.94	4.06
56	11-sep-07	06-nov-07	13.89	13.9	3.49	3.49	3.46	3.45	282	63	12.06	1.68	54.70	7.84
57	11-sep-07	07-nov-07	14.01	14.04	3.56	3.52	3.46	3.47	281	52.5	12.27	1.63	45.45	6.42
58	11-sep-07	08-nov-07	13.97	13.95	3.52	3.54	3.49	3.5	292	48.5	12.34	1.70	41.63	5.90
59	11-sep-07	09-nov-07	13.98	13.95	3.54	3.52	3.48	3.49	294	56	12.30	1.71	48.21	6.83
60	23-sep-07	22-nov-07	13.97	13.96	3.53	3.54	3.49	3.5	289	57	12.35	1.68	48.93	6.92
61	23-sep-07	23-nov-07	13.98	13.96	3.53	3.53	3.48	3.46	283	53	12.25	1.65	45.82	6.49
62	11-sep-07	12-nov-07	13.99	13.98	3.54	3.53	3.46	3.48	291	59	12.27	1.70	51.01	7.21
63	11-sep-07	13-nov-07	13.97	13.97	3.6	3.59	3.51	3.52	294	47	12.64	1.67	40.11	5.58
64	11-sep-07	14-nov-07	14.01	14.02	3.5	3.52	3.48	3.49	287	57	12.23	1.67	49.07	6.99
65	11-sep-07	15-nov-07	14.01	14.03	3.45	3.46	3.41	3.42	293	53	11.80	1.77	46.56	6.74
66	11-sep-07	16-nov-07	13.96	13.95	3.54	3.52	3.47	3.49	291	62	12.28	1.70	53.45	7.57
67	23-sep-07	29-nov-07	14.03	14.01	3.56	3.53	3.49	3.49	289	52	12.37	1.67	44.70	6.30
68	11-sep-07	18-nov-07	14.01	14.02	3.55	3.54	3.51	3.53	286	48	12.48	1.64	40.91	5.77
69	23-sep-07	01-dic-07	14.02	14.04	3.55	3.54	3.51	3.49	296	65	12.41	1.70	55.71	7.86
70	24-sep-07	03-dic-07	14.03	14.01	3.55	3.56	3.51	3.52	291	63	12.50	1.66	53.77	7.56
71	23-sep-07	03-dic-07	13.98	13.97	3.54	3.55	3.47	3.49	287	50	12.34	1.66	43.10	6.08
72	23-sep-07	04-dic-07	13.96	13.97	3.56	3.57	3.51	3.51	289	54	12.51	1.65	46.15	6.47
73	23-sep-07	05-dic-07	14.01	14.02	3.56	3.57	3.47	3.48	293	65	12.39	1.69	56.12	7.87

74	23-sep-07	06-dic-07	14.03	14.02	3.6	3.58	3.54	3.52	286	53	12.67	1.61	45.04	6.27
75	23-sep-07	07-dic-07	13.95	13.95	3.5	3.54	3.47	3.48	289	58	12.23	1.69	50.07	7.11
76	23-sep-07	08-dic-07	13.96	13.97	3.56	3.57	3.46	3.45	293	54	12.32	1.70	46.89	6.58
77	12-nov-07	28-ene-08	14.03	14.02	3.54	3.53	3.49	3.5	286	54	12.35	1.65	46.35	6.56
78	12-nov-07	29-ene-08	13.98	13.7	3.52	3.54	3.47	3.48	287	65	12.27	1.69	56.12	7.95
79	12-nov-07	30-ene-08	14.02	14.02	3.54	3.56	3.45	3.47	284	53	12.28	1.65	45.95	6.47
80	12-nov-07	31-ene-08	13.98	13.95	3.57	3.56	3.45	3.48	288	57.5	12.35	1.67	49.78	6.98



IV. 5.7 Prueba de tensión (briquetas 0% muestra testigo)

0% de yeso con respecto al peso de la arcilla			Ancho	Alto	Briquetas		
Edad de prueba	Fecha de elaboración	Fecha de prueba	A	B	Carga (kg)	Area (cm2)	Resistencia en (kg/cm2)
4	05-nov-07	09-nov-07	2.21	2.12	0.6637	4.69	7.08
5	17-ene-08	22-ene-08	2.29	2.13	0.13	4.88	1.37
6	16-oct-07	22-oct-07	2.29	2.16	0.06811	4.95	0.69
7	10-oct-07	17-oct-07	2.24	2.01	0.07	4.50	0.78
8	05-nov-07	13-nov-07	2.25	2.04	0.1199	4.59	1.31
9	06-nov-07	15-nov-07	2.19	1.98	0.3273	4.34	3.77
10	28-ago-07	07-sep-07	2.25	2.06	0.2890	4.64	3.12
11	14-ene-08	25-ene-08	2.21	2.19	0.335	4.84	3.46
12	10-oct-07	22-oct-07	2.29	2.04	0.12003	4.67	1.28
13	10-oct-07	23-oct-07	2.22	2.01	0.2796	4.46	3.13
14	10-sep-07	24-sep-07	2.31	2.05	0.096	4.74	1.01
15	10-sep-07	25-sep-07	2.18	2.18	0.1115	4.75	1.17
16	14-ene-08	30-ene-08	2.2	2.05	0.57	4.51	6.35

Efectos mecánicos de la estabilización volumétrica de Montmorillonita con CaSO_4

U.M.S.N.H

17	10-sep-07	27-sep-07	2.2	1.9	0.6494	4.18	7.77
18	16-oct-07	03-nov-07	2.28	2.14	0.357	4.88	3.66
19	11-ene-08	30-ene-08	2.31	2.32	0.1464	5.36	1.37
20	19-dic-07	08-ene-08	2.23	2.02	0.2100	4.50	2.33
21	17-dic-07	07-ene-08	2.23	2.04	0.4191	4.55	4.61
22	10-sep-07	02-oct-07	2.29	2.12	0.6847	4.85	7.05
23	17-dic-07	09-ene-08	2.21	2.17	0.4517	4.80	4.71
24	17-dic-07	10-ene-08	2.21	2.01	0.4784	4.44	5.38
25	14-dic-07	08-ene-08	2.21	2.05	0.1600	4.53	1.77
26	14-dic-07	09-ene-08	2.23	2.15	0.3456	4.79	3.60
27	19-dic-07	15-ene-08	2.21	2.04	0.4517	4.51	5.01
28	14-dic-07	11-ene-08	2.24	2.15	0.4562	4.82	4.74
29	13-dic-07	11-ene-08	2.32	2.26	0.3521	5.24	3.36
30	19-dic-07	18-ene-08	2.23	2.07	0.4678	4.62	5.07
31	21-dic-07	21-ene-08	2.23	2.14	0.4325	4.77	4.53
32	20-dic-07	21-ene-08	2.24	2.15	0.4567	4.82	4.74
33	19-dic-07	21-ene-08	2.25	2.16	0.3568	4.86	3.67
34	19-dic-07	22-ene-08	2.24	2.13	0.3452	4.77	3.62
35	19-dic-07	23-ene-08	2.23	2.03	0.2167	4.53	2.39
36	19-dic-07	24-ene-08	2.24	2.05	0.3263	4.59	3.55
37	19-dic-07	25-ene-08	2.21	2.15	0.3542	4.75	3.73
38	14-dic-07	21-ene-08	2.34	2.23	0.4532	5.22	4.34
39	14-dic-07	22-ene-08	2.31	2.15	0.4532	4.97	4.56
40	07-dic-07	16-ene-08	2.21	2.1	0.4532	4.64	4.88
41	13-dic-07	23-ene-08	2.25	2.16	0.4532	4.86	4.66
42	14-dic-07	25-ene-08	2.23	2.15	0.4532	4.79	4.73
43	13-dic-07	25-ene-08	2.17	2.05	0.4532	4.45	5.09
44	16-dic-07	29-ene-08	2.23	2.15	0.4532	4.79	4.73
45	16-dic-07	30-ene-08	2.24	2.12	0.4532	4.75	4.77
46	13-dic-07	28-ene-08	2.23	2.13	0.4532	4.75	4.77
47	15-dic-07	31-ene-08	2.23	2.15	0.4532	4.79	4.73
48	13-dic-07	30-ene-08	2.22	2.13	0.4532	4.73	4.79
49	27-nov-07	15-ene-08	2.21	2.14	0.4532	4.73	4.79
50	13-dic-07	01-feb-08	2.23	2.15	0.4532	4.79	4.73
51	10-sep-07	31-oct-07	2.26	2.12	0.4532	4.79	4.73
52	08-sep-07	30-oct-07	2.22	2.14	0.4532	4.75	4.77

Efectos mecánicos de la estabilización volumétrica de Montmorillonita con CaSO_4

U.M.S.N.H

53	08-sep-07	31-oct-07	2.21	2.04	0.4532	4.51	5.03
54	16-oct-07	09-dic-07	2.23	2.13	0.4532	4.75	4.77
55	16-oct-07	10-dic-07	2.21	2.12	0.4532	4.69	4.84
56	10-sep-07	05-nov-07	2.25	2.25	0.4532	5.06	4.48
57	10-sep-07	06-nov-07	2.23	2.12	0.4532	4.73	4.79
58	08-sep-07	05-nov-07	2.22	2.15	0.4532	4.77	4.75
59	08-sep-07	06-nov-07	2.34	2.18	0.4532	5.10	4.44
60	08-sep-07	07-nov-07	2.21	2.12	0.4532	4.69	4.84
61	08-sep-07	08-nov-07	2.23	2.23	0.4532	4.97	4.56
62	08-sep-07	09-nov-07	2.22	2.14	0.4532	4.75	4.77
63	16-oct-07	18-dic-07	2.21	2.13	0.4532	4.71	4.81
64	16-oct-07	19-dic-07	2.24	2.13	0.4532	4.77	4.75
65	16-oct-07	20-dic-07	2.21	2.14	0.4532	4.73	4.79
66	16-oct-07	21-dic-07	2.24	2.12	0.4532	4.75	4.77
67	08-sep-07	14-nov-07	2.23	2.12	0.4532	4.73	4.79
68	08-sep-07	15-nov-07	2.3	2.16	0.4532	4.97	4.56
69	08-sep-07	16-nov-07	2.22	2.14	0.4532	4.75	4.77
70	28-ago-07	06-nov-07	2.22	2.12	0.4532	4.71	4.81
71	28-ago-07	07-nov-07	2.22	2.13	0.4532	4.73	4.79
72	28-ago-07	08-nov-07	2.24	2.12	0.4532	4.75	4.77
73	28-ago-07	09-nov-07	2.23	2.15	0.4532	4.79	4.73
74	05-nov-07	18-ene-08	2.24	2.14	0.4532	4.79	4.73
75	08-sep-07	22-nov-07	2.3	2.14	0.4532	4.92	4.60
76	08-sep-07	23-nov-07	2.23	2.13	0.4532	4.75	4.77
77	05-nov-07	21-ene-08	2.24	2.14	0.4532	4.79	4.73
78	05-nov-07	22-ene-08	2.23	2.13	0.4532	4.75	4.77
79	05-nov-07	23-ene-08	2.25	2.14	0.4532	4.82	4.71
80	05-nov-07	24-ene-08	2.23	2.16	0.4532	4.82	4.70

IV. 5.8 Prueba de tensión (briquetas 4% yeso)

4% de yeso con respecto al peso de la arcilla			Ancho	Alto	Briquetas		
Edad de prueba	Fecha de elaboración	Fecha de prueba	A	B	Carga (kg)	Area (cm ²)	Resistencia en kg/cm ²
3	22-oct-07	25-oct-07	2.29	2.19	1.2527	5.02	12.49
4	11-oct-07	15-oct-07	2.25	2.1	0.9397	4.73	9.94
5	22-oct-07	27-oct-07	2.23	2.1	1.0155	4.68	10.84
6	03-oct-07	09-oct-07	2.28	2.07	0.60352	4.72	6.39
7	01-oct-07	08-oct-07	2.2	2.1	0.71382	4.62	7.73
8	13-nov-07	21-nov-07	2.21	2	0.148	4.42	1.67
9	13-nov-07	22-nov-07	2.23	2.15	0.2317	4.79	2.42
10	24-ago-07	03-sep-07	2.24	2.06	0.2875	4.61	3.12
11	24-ago-07	04-sep-07	2.32	2.12	0.29009	4.92	2.95
12	24-ago-07	05-sep-07	2.26	2.13	0.29509	4.81	3.07
13	10-sep-07	23-sep-07	2.41	2.05	0.2124	4.94	2.15
14	28-ago-07	11-sep-07	2.27	2.18	0.96241	4.95	9.72
15	11-sep-07	26-sep-07	2.29	2.04	0.5303	4.67	5.68
16	01-oct-07	17-oct-07	2.17	2.08	0.97621	4.51	10.81
17	28-sep-07	15-oct-07	2.23	2.16	0.261	4.82	2.71
18	28-sep-07	16-oct-07	2.2	2.17	0.83041	4.77	8.70
19	28-sep-07	17-oct-07	2.22	2.11	0.89371	4.68	9.54
20	13-nov-07	03-dic-07	2.26	2.18	0.6893	4.93	7.00
21	04-sep-07	25-sep-07	2.44	2.15	0.6494	5.25	6.19
22	04-sep-07	26-sep-07	2.25	2.1	0.9397	4.73	9.94
23	04-sep-07	27-sep-07	2.25	2.11	0.6494	4.75	6.84
24	23-nov-07	17-dic-07	2.21	2.2	0.6529	4.86	6.71
25	23-nov-07	18-dic-07	2.21	2.16	0.3705	4.77	3.88
26	23-nov-07	19-dic-07	2.24	2.11	0.8764	4.73	9.27
27	04-sep-07	01-oct-07	2.27	2.14	1.0353	4.86	10.66
28	04-sep-07	02-oct-07	2.33	2.21	0.9675	5.15	9.39
29	04-sep-07	03-oct-07	2.21	2.11	0.7895	4.66	8.47
30	04-sep-07	04-oct-07	2.23	2.13	0.8967	4.75	9.44
31	04-sep-07	05-oct-07	2.32	2.19	1.1083	5.08	10.91
32	24-ago-07	25-sep-07	2.31	2.23	0.9678	5.15	9.39
33	05-dic-07	07-ene-08	2.21	2.18	1.0262	4.82	10.65

Efectos mecánicos de la estabilización volumétrica de Montmorillonita con CaSO_4

U.M.S.N.H

34	05-dic-07	08-ene-08	2.23	2.1	0.5672	4.68	6.06
35	03-dic-07	07-ene-08	2.25	2.19	1.0503	4.93	10.66
36	13-nov-07	19-dic-07	2.32	2.18	0.5438	5.06	5.38
37	03-dic-07	09-ene-08	2.2	2.13	1.0632	4.69	11.34
38	13-nov-07	21-dic-07	2.21	2.16	0.7724	4.77	8.09
39	21-nov-07	30-dic-07	2.27	2.15	0.7896	4.88	8.09
40	07-dic-07	16-ene-08	2.21	2.1	0.7694	4.64	8.29
41	24-ago-07	04-oct-07	2.23	2.14	0.8573	4.77	8.98
42	24-ago-07	05-oct-07	2.21	2.11	0.7896	4.66	8.47
43	04-sep-07	17-oct-07	2.24	2.16	0.9678	4.84	10.00
44	03-dic-07	16-ene-08	2.24	2.14	0.7678	4.79	8.01
45	04-sep-07	19-oct-07	2.31	2.21	0.9199	5.11	9.01
46	28-sep-07	13-nov-07	2.13	2.11	1.0346	4.49	11.51
47	28-sep-07	14-nov-07	2.24	2.13	0.9784	4.77	10.25
48	26-oct-07	13-dic-07	2.23	2.14	0.4407	4.77	4.62
49	28-sep-07	16-nov-07	2.32	2.21	1.1023	5.13	10.75
50	27-ago-07	16-oct-07	2.24	2.13	1.0321	4.77	10.82
51	27-ago-07	17-oct-07	2.23	2.13	1.3456	4.75	14.16
52	27-ago-07	18-oct-07	2.24	2.14	1.0344	4.79	10.79
53	27-ago-07	19-oct-07	2.21	2.11	1.3432	4.66	14.40
54	05-sep-07	29-oct-07	2.24	2.14	1.1234	4.79	11.72
55	05-sep-07	30-oct-07	2.24	2.12	1.4322	4.75	15.08
56	05-sep-07	31-oct-07	2.32	2.23	1.2334	5.17	11.92
57	03-sep-07	30-oct-07	2.23	2.13	1.04	4.75	10.95
58	03-sep-07	31-oct-07	2.31	2.18	0.9756	5.04	9.69
59	07-sep-07	05-nov-07	2.23	2.13	0.8673	4.75	9.13
60	07-sep-07	06-nov-07	2.24	2.14	0.9867	4.79	10.29
61	07-sep-07	07-nov-07	2.23	2.12	0.7893	4.73	8.35
62	07-sep-07	08-nov-07	2.23	2.16	0.8567	4.82	8.89
63	05-sep-07	07-nov-07	2.25	2.14	1.065	4.82	11.06
64	05-sep-07	08-nov-07	2.21	2.11	0.6833	4.66	7.33
65	05-sep-07	09-nov-07	2.23	2.13	0.7697	4.75	8.10
66	01-oct-07	06-dic-07	2.21	2.16	0.8956	4.77	9.38
67	01-oct-07	07-dic-07	2.28	2.15	0.8787	4.90	8.96
68	05-sep-07	12-nov-07	2.23	2.12	0.9865	4.73	10.43
69	05-sep-07	13-nov-07	2.24	2.13	1.0567	4.77	11.07

70	05-sep-07	14-nov-07	2.25	2.17	0.9875	4.88	10.11
71	27-ago-07	06-nov-07	2.33	2	0.1531	4.66	1.64
72	05-sep-07	16-nov-07	2.23	2.14	0.9675	4.77	10.14
73	11-sep-07	23-nov-07	2.21	2.23	0.9567	4.93	9.71
74	17-sep-07	30-nov-07	2.22	2.12	0.9876	4.71	10.49
75	27-ago-07	10-nov-07	3.35	1.99	0.6095	6.67	4.57
76	01-oct-07	16-dic-07	2.28	2.09	0.2977	4.77	3.12
77	17-sep-07	03-dic-07	2.24	2.14	0.9543	4.79	9.95
78	17-sep-07	04-dic-07	2.21	2.14	0.8752	4.73	9.25
79	17-sep-07	05-dic-07	2.23	2.12	0.8657	4.73	9.16
80	17-sep-07	06-dic-07	2.21	2.12	0.9157	4.69	9.77

IV. 5.9 Prueba de tensión (briquetas 6% yeso)

6% de yeso con respecto al peso de la arcilla			Ancho		Alto	Briquetas		
Edad de prueba	Fecha de elaboracion	Fecha de prueba	A	B		Carga (kg)	Área (cm2)	Resistencia en kg/cm2
5	07-nov-07	12-nov-07	2.27	2.14		0.2385	4.86	2.45
6	10-ene-08	16-ene-08	2.23	2.16		0.5442	4.82	5.65
7	23-oct-07	30-oct-07	2.29	2.22		0.9365	5.08	9.21
8	23-oct-07	31-oct-07	2.24	2.14		0.9754	4.79	10.17
9	21-nov-07	30-nov-07	2.24	2.19		0.1054	4.91	1.07
10	16-oct-07	26-oct-07	2.24	2.06		0.4113	4.61	4.46
11	16-oct-07	27-oct-07	2.27	2.06		0.3432	4.68	3.67
12	29-nov-07	11-dic-07	2.23	2.18		1.1417	4.86	11.74
13	29-nov-07	12-dic-07	2.24	2.17		0.7685	4.86	7.91
14	16-oct-07	30-oct-07	2.3	2.03		0.2	4.67	2.14
15	07-nov-07	22-nov-07	2.26	2.16		0.4401	4.88	4.51
16	07-nov-07	23-nov-07	2.24	2.19		0.9471	4.91	9.65
17	23-oct-07	09-nov-07	2.26	2.15		0.7868	4.86	8.10
18	20-dic-07	07-ene-08	2.23	2.19		0.8114	4.88	8.31
19	29-nov-07	18-dic-07	2.23	2.16		0.7482	4.82	7.77
20	23-oct-07	12-nov-07	2.33	2.18		0.6139	5.08	6.04

Efectos mecánicos de la estabilización volumétrica de Montmorillonita con CaSO_4

U.M.S.N.H

21	23-oct-07	13-nov-07	2.23	2.15	0.6826	4.79	7.12
22	23-oct-07	14-nov-07	2.21	2.15	0.7863	4.75	8.27
23	24-nov-07	17-dic-07	2.24	2.17	1.0196	4.86	10.49
24	26-nov-07	20-dic-07	2.24	2.18	0.7248	4.88	7.42
25	13-dic-07	07-ene-08	2.24	2.19	0.9467	4.91	9.65
26	13-dic-07	08-ene-08	2.23	2.07	0.7435	4.62	8.05
27	13-dic-07	09-ene-08	2.21	2.15	1.0169	4.75	10.70
28	11-dic-07	08-ene-08	2.21	2.12	0.8255	4.69	8.81
29	11-dic-07	09-ene-08	2.21	2.2	0.7606	4.86	7.82
30	11-dic-07	10-ene-08	2.21	2.17	0.8757	4.7957	9.13
31	11-dic-07	11-ene-08	2.23	2.15	0.7643	4.79	7.97
32	02-nov-07	04-dic-07	2.23	2.17	0.7798	4.84	8.06
33	12-dic-07	14-ene-08	2.23	2.13	0.7864	4.75	8.28
34	04-dic-07	07-ene-08	2.23	2.21	0.8745	4.93	8.87
35	04-dic-07	08-ene-08	2.25	2.16	1.0068	4.86	10.36
36	04-dic-07	09-ene-08	2.26	2.23	0.8499	5.04	8.43
37	11-dic-07	17-ene-08	2.23	2.13	0.9867	4.7499	10.39
38	11/12/2007	18/01/2008	2.22	2.15	0.828	4.77	8.67
39	07-oct-07	15-nov-07	2.23	2.14	0.2751	4.77	2.88
40	07-dic-07	16-ene-08	2.24	2.19	0.0419	4.91	0.43
41	27-nov-07	07-ene-08	2.21	2.18	1.005	4.82	10.43
42	26-nov-07	07-ene-08	2.21	2.13	1.0896	4.71	11.57
43	27-nov-07	09-ene-08	2.21	2.18	1.0751	4.82	11.16
44	26-nov-07	09-ene-08	2.03	2.18	0.5751	4.43	6.50
45	03-dic-07	17-ene-08	2.18	2.11	0.8499	4.60	9.24
46	03-dic-07	18-ene-08	2.21	2.11	0.9854	4.66	10.57
47	23-nov-07	09-ene-08	2.21	2.15	0.9675	4.75	10.18
48	13/12/2007	30/01/2008	2.25	2.23	0.4817	5.02	4.80
49	23-nov-07	11-ene-08	2.23	2.13	1.076	4.75	11.33
50	23-oct-07	12-dic-07	2.24	2.17	1.0562	4.86	10.86
51	26-nov-07	16-ene-08	2.23	2.13	0.5011	4.75	5.27
52	26-nov-07	17-ene-08	2.21	2.14	0.8965	4.73	9.48
53	26-nov-07	18-ene-08	2.23	2.13	0.9536	4.75	10.04
54	24-oct-07	17-dic-07	2.21	2.13	1.0862	4.71	11.54
55	23-oct-07	17-dic-07	2.23	2.12	0.8682	4.73	9.18
56	23-oct-07	18-dic-07	2.22	2.17	0.9862	4.82	10.24

Efectos mecánicos de la estabilización volumétrica de Montmorillonita con CaSO_4

U.M.S.N.H

57	23-oct-07	19-dic-07	2.23	2.12	1.032	4.73	10.91
58	23-oct-07	20-dic-07	2.21	2.13	1.0986	4.71	11.67
59	23-oct-07	21-dic-07	2.21	2.11	0.8765	4.66	9.40
60	25-oct-07	24-dic-07	2.23	2.14	0.9876	4.77	10.35
61	25-oct-07	25-dic-07	2.21	2.14	0.9678	4.73	10.23
62	25-oct-07	26-dic-07	2.21	2.11	1.045	4.66	11.20
63	25-oct-07	27-dic-07	2.24	2.12	0.9865	4.75	10.39
64	25-oct-07	28-dic-07	2.2	2.07	0.7651	4.55	8.40
65	05-sep-07	09-nov-07	2.23	2.13	0.8783	4.75	9.25
66	01-oct-07	06-dic-07	2.23	2.11	0.9823	4.71	10.44
67	01-oct-07	07-dic-07	2.21	2.11	0.6762	4.66	7.25
68	05-sep-07	12-nov-07	2.24	2.13	1.0123	4.77	10.61
69	05-sep-07	13-nov-07	2.32	2.18	1.078	5.06	10.66
70	05-sep-07	14-nov-07	2.24	2.14	0.9864	4.79	10.29
71	05-sep-07	15-nov-07	2.31	2.23	1.1267	5.15	10.94
72	05-sep-07	16-nov-07	2.31	2.21	0.9864	5.11	9.66
73	10-sep-07	22-nov-07	2.21	2.11	0.8645	4.66	9.27
74	10-sep-07	23-nov-07	2.23	2.14	0.9753	4.77	10.22
75	19-sep-07	03-dic-07	2.21	2.13	0.9675	4.71	10.28
76	19-sep-07	04-dic-07	2.23	2.15	0.8655	4.79	9.03
77	19-sep-07	05-dic-07	2.23	2.06	0.9453	4.59	10.29
78	19-sep-07	06-dic-07	2.21	2.11	0.8964	4.66	9.61
79	19-sep-07	07-dic-07	2.23	2.13	0.6536	4.75	6.88
80	18-sep-07	07-dic-07	2.24	2.16	0.9875	4.84	10.20

IV. 6 Módulos de elasticidad

% de yeso con respecto al peso de la arcilla											
% de yeso	# de especimen	# de caras probadas	Edad (días)	A	B	C	D	E	F	peso (gr)	Ed (kg/cm2)
6	1	1	55	13.86	14.01	3.39	3.3	3.51	3.42	283.5	26900

U.M.S.N.H

Página 86

Efectos mecánicos de la estabilización volumétrica de Montmorillonita con CaSO_4

U.M.S.N.H

				Promedio							4055
4	9	1	56	13.97	14.03	3.39	3.39	3.43	3.41	284.7	4020
4	9	2	56								4150
				Promedio							4085
4	10	1	58	13.97	14	3.55	3.56	3.4	3.42	300.3	4110
4	10	2	58								4039
4	10	3	58								4019
4	10	4	58								4012
											Promedio
0	11	1	55	13.96	14	3.44	3.45	3.44	3.43	288.4	1050
0	11	2	55								3870
0	11	3	60								3990
											Promedio
0	12	1	56	14.05	14.22	3.43	3.43	3.39	3.39	290.7	2680
0	12	2	56								2650
											Promedio
0	13	1	59	14.06	14.21	3.47	3.47	3.48	3.37	292.7	2180
0	13	2	59								2580
											Promedio
0	14	1	58	14.07	14.22	3.44	3.44	3.41	3.41	292.7	2530
0	14	2	58								2430
											Promedio
0	15	1	57	14.15	14.18	3.48	3.48	3.44	3.44	294.6	2510
0	15	2	57								2690
0	15	3	57								2540
Promedio											2580

IV. 7 Peso de briquetas con respecto a la edad (yeso)

edad en días	pesos vigas (grs) % 0	4%	6%	pesos cubos (gr) % 0 (grs)	4%	6%	pesos briquetas % 0 (grs)	4%	6%	temperatura °C
3							88.92	92.3	94.3	20
4				184.66	194.28	183.48	81.85	84.5	85.2	21
5				176.34	185.8	173.94	76.77	80.6	80.7	19
6	357.2	383	378	165.95	173.7	161.51	73.34	76.39	76.3	23
7	333.12	351	356.12	157.32	169.9	156.7	72.45	73.4	75.4	21
8	320.2	343	338.45	154.3	158.8	151.7	71.4	72.3	74.3	22
9	310.1	332	325.87	150.13	156.8	149.35	70.5	71.9	73.3	23
10	299.14	323	319	148.3	155.3	148.79	69.58	71.39	72.51	21
11	293.12	315.6	315	145.2	154.5	147.3	69.48	70.1	72.4	21
12	287	308	312	144.6	152.39	146.04	68.73	70.47	72.11	22
13	281.8	302	307.2	143.65	151.3	145.1	68.1	70.3	72	24
14	276.9	298.2	300.5	142.7	150.3	143.9	68	70	71.6	23
15	272.2	294.3	297.2	141.5	149.3	142.9	67.1	69.6	71	22
16	272.2	294.8	296.5	141.6	149.12	142.9	67.8	69.7	70.9	21
17	272	293.8	296.3	141.8	148.8	141.9	67.2	69.6	71.2	23
18	271.2	292.9	295.4	141.35	146.7	135.3	67.7	69.6	71	22
19	271	292.6	295.3	140.7	148.5	142.5	67.3	70	71	22
20	270.5	291.4	294.45	140.5	148.2	142.5	67.4	69.4	70.5	22
21	268.6	291.7	294.2	140.8	148.3	142.6	67.5	69.5	71.4	21
22	270	291.3	294.1	140.6	148.2	142.4	67.2	69.4	70.8	23

La gráfica de la edad- peso se realizó únicamente para las vigas, ya que son las que tienen una mayor cantidad de material, y por consiguiente un mayor tiempo de sacado.

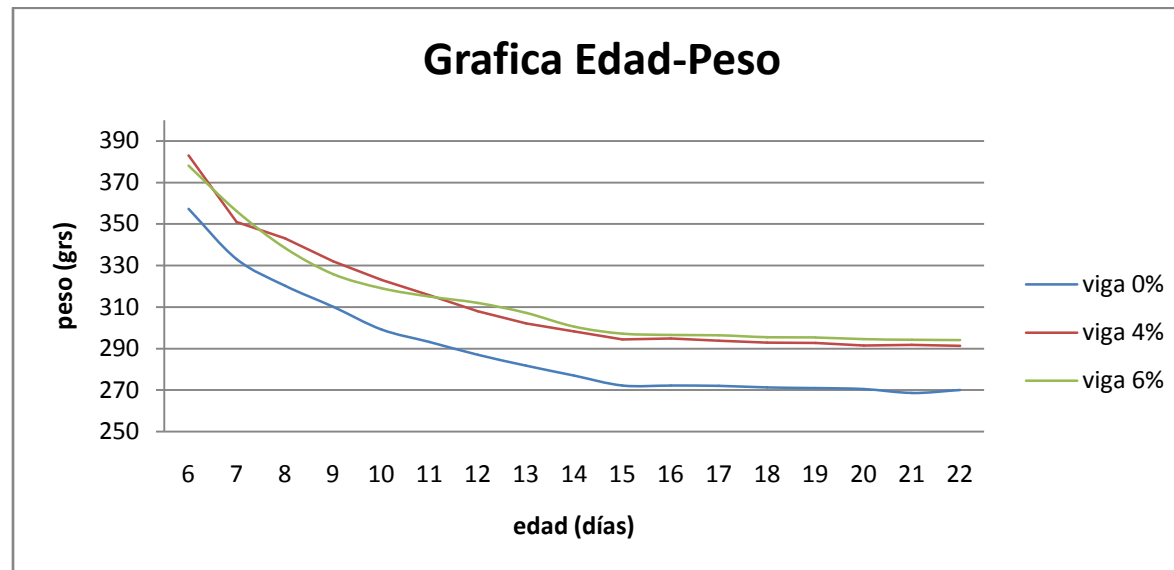


Fig. 47. Pérdida de peso con respecto a la edad

IV. 8 ESTADÍSTICA E INGENIERÍA

Pocas áreas han experimentado tan poderosamente el impacto del desarrollo reciente de la estadística como la ingeniería y la administración industrial. Ciertamente, sería difícil sobreestimar las contribuciones de la estadística a los problemas de la producción, al uso eficaz de materiales y fuerza de trabajo, a la investigación básica y al desarrollo de nuevos productos. Como en el caso de las demás ciencias, la estadística se ha convertido en herramienta vital para los ingenieros, ya que les permite comprender fenómenos sujetos a variación y predecirlos o controlarlos eficazmente.

IV. 9 INTRODUCCIÓN

Las técnicas estadísticas se utilizan en casi todos los aspectos de la vida. Mediante las encuestas se recaba toda clase de información que se desee para ser procesada estadísticamente lo cual es muy importante para conocer y predecir resultados [15].

La estadística según New Collegiate Dictionary de Webster se define como “una rama de las matemáticas que trata de la recopilación, análisis, la interpretación y la presentación de una gran cantidad de datos numéricos”. Kendall y Stuart afirman: “la estadística es la rama del método científico que trata de los datos reunidos al contar o medir las propiedades de una población”. La estadística trata los métodos para obtener conclusiones a partir de los resultados de los experimentos o procesos [15].

IV. 10 POBLACIÓN Y MUESTRA

En el trabajo estadístico es importante saber cuándo estamos tratando con una población completa de observaciones, o con una muestra de observaciones seleccionadas de una población específica [16].

Una población se define como la totalidad de valores posibles (mediciones o conteos) de una característica particular de un grupo especificado de objetos. Tal grupo especificado de objetos se llama un uni-

verso. Obviamente, un universo puede tener varias poblaciones asociadas con él. Estos son algunos ejemplos de universos y poblaciones:

- 1) Los empleados de la Universidad Michoacana De San Nicolás
De Hidalgo, alrededor tal hora y tal año.
- 2) Asociados con el universo anterior, Hay muchas poblaciones de
Tipos de sangre, población de pesos de los empleados, población
de pesos de los empleados, la población de los empleados, etc.

Este solamente fue un ejemplo para indicar la importancia de definir claramente la población en investigación [16].

El concepto de muestra, correspondiente a una población, seleccionada de acuerdo con una regla o plan. Las cosas importantes que debemos saber son: 1) que estamos tratando con una muestra y 2) qué población ha sido muestreada [16].

Si tratamos con toda la población, nuestro trabajo estadístico será principalmente descriptivo. Por el contrario, si tratamos con una muestra. El trabajo estadístico no únicamente describe la muestra, sino que también proporciona información respecto a la población muestreada [16].

IV. 11 TIPOS DE MUESTRAS

En la práctica se han encontrado varias clases de o tipos de muestras. Las características que distinguen a un tipo de otro son: 1) la manera de obtención de la muestra, 2) el número de variables consideradas, 3) el fin para el que fue extraída la muestra. La manera de obtener la muestra es muy importante y será discutida posteriormente [16].

Las muestras pueden agruparse en dos grandes clases, cuando se considera su método de selección, a saber, las que seleccionan por criterio y las que se seleccionan por medio de un mecanismo casual.

Las muestras elegidas de acuerdo con un mecanismo casual, son llamadas muestras de probabilidad, si cada elemento de la población tiene una probabilidad conocida de pertenecer a la muestra. En particular, si cada elemento tiene la misma probabilidad de pertenecer a la muestra, entonces esta es conocida como una muestra al azar [16].

¿Por qué se prefieren las muestras al azar a las muestras elegidas subjetivamente? Una contestación a esta pregunta puede formularse de la siguiente manera: una buena muestra es aquella a partir de la cual pueden hacerse generalizaciones respecto a la población; mientras que una mala muestra es aquella que no permite tales generalizaciones[16].

Para generalizar de las muestras a la población necesitamos estar capacitados para deducir, a partir de cualquiera de las suposiciones respecto a la población, cuando la muestra observada está dentro del rango de variación del muestreo que puede ocurrir para dicha población, bajo el método dado de muestreo. Tales deducciones pueden hacerse, si y sólo si, se aplican las leyes de la probabilidad matemática. El objetivo de la naturaleza al azar de este tipo de muestreo, es asegurar que esas leyes son aplicables. Si tuviésemos leyes igualmente estables y bien definidas de las tendencias personales, se podría usar el muestreo subjetivo [16].

IV. 12 PRESENTACIÓN DE DATOS

Una vez obtenida una muestra al azar de una población específica, se recurre a una manera de reducirla a una manera más entendible ya que en una forma amplia de datos. No es fácil de apreciar ningún patrón o norma en los valores observados, ni es fácil estimar el tiempo de funcionamiento. Es conveniente ordenar los valores en una distribución de frecuencias. Para efectuar esto primero hacemos el arreglo de valores por el orden de magnitud, y así establecemos el rango de nuestros datos, y además podemos estimar burdamente el promedio de la función [16].

IV. 13 DEFINICIONES

ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

Recopilación y análisis de los datos. Pueden ser datos referentes a toda la población, o solo una muestra, pero en este último caso no se pretende sacar conclusiones acerca de la población a la que pertenece la muestra [17].

ESTADÍSTICA INFERENCIAL O DEDUCTIVA

Utiliza la información que se desprende del análisis de una muestra para realizar una estimación de las propiedades de la población de la que se extrajo [17].

GRÁFICOS.

Un gráfico es una representación de de una relación entre variables. Muchos tipos de gráficos aparecen en estadística, según la naturaleza de los datos involucrados y el propósito de los gráficos [15].

DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS

FILA DE DATOS.

Una fila de datos consiste en datos recogidos que no han sido organizados numéricamente [15].

ORDENACIONES.

Una fila de datos consiste en datos recogidos que no han sido organizados numéricamente [15].

ORDENACIONES.

Es un conjunto de datos numéricos de orden creciente o decreciente, la diferencia entre el mayor y el menor se llama rango de ese conjunto de datos [15].

DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS.

Es una disposición organizada de los datos recogidos en un estudio. Contiene un listado de las distintas modalidades del fenómeno considerado, con la frecuencia absoluta, relativa y acumulada de cada una.

Cuando el número de modalidades es demasiado grande (esto siempre ocurre con las escalas continuas) se agrupan en clases [17].

FRECUENCIA ABSOLUTA

La frecuencia absoluta de una modalidad es el número de veces que se repite esa modalidad como resultado de ese experimento [17].

FRECUENCIA RELATIVA

Es la frecuencia absoluta partida por el número total de observaciones [17].

FRECUENCIA ACUMULADA (Absoluta o Relativa).

Igual que en cada uno de los anteriores casos pero sumado, no solo, los resultados de la modalidad de que se trate, sino también las de todas las precedentes [17].

HISTOGRAMA Y POLÍGONOS DE FRECUENCIA.

Son dos representaciones gráficas de las distribuciones de frecuencias [15].

1.- Histograma de frecuencias, consiste en un conjunto de rectángulos con base en el eje horizontal, centros en las marcas de clase y longitudes iguales a los tamaños de los intervalos de clase; y áreas proporcionadas a las frecuencias de clase.

Si los intervalos de clase tienen todas las mismas anchuras, las alturas de los rectángulos son proporcionales a las frecuencias de clase, entonces es costumbre tomar las alturas iguales a las frecuencias de clase.

2.- UN polígono de frecuencias es un gráfico de trozos de frecuencia de clase con relación a la marca de clase. Puede obtenerse conectando los puntos medios de las partes superiores de los rectángulos del histograma.

CURVAS DE FRECUENCIA

Los datos recogidos pueden considerarse usualmente como pertenecientes a una muestra de una población grande. Ya que son posibles muchas observaciones sobre esa población, es teóricamente po-

sible escoger intervalos de clase muy pequeños y tener todavía números razonable de observación de cada clase [15].

TIPOS DE CURVAS DE FRECUENCIAS [15].

- 1.- Las curvas de frecuencias simétricas o de campana de Gauss, se caracterizan por las observaciones equidistantes del máximo central. Tienen la misma frecuencia.
- 2.- Las curvas de frecuencias sesgadas, la cola de la curva a un lado del máximo central es más larga que el otro lado. Si la cola mayor está a la derecha la curva es asimétrica y positiva y viceversa.
- 3.- Una curva de frecuencias en forma de U tiene 2 máximos en ambos extremos.
4. Una curva de frecuencia bimodal tiene dos máximos.
- 5.-Una curva de frecuencia multimodal tiene más de dos máximos.

IV. 14 CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS ESTADÍSTICOS DE UNA MUESTRA.

Si se va a describir una muestra en una forma razonable, es de desear que se calculen ciertos valores representativos que resuman un gran volumen de información [16].

LA MEDIA ARITMÉTICA.

No es de extrañar que la media aritmética sea el más común de estos valores representativos. La media de la muestra representada con $\bar{X}$, se define como el promedio aritmético de todos los valores de la muestra [16].

$$\text{Media aritmética } \bar{X} = \frac{(X_1 + \dots + X_n)}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} = \sum X/n \quad [16].$$

Donde n es el número de observaciones en la muestra.

En el ejemplo anterior, se ilustra el método de cálculo de la media aritmética. Debe notarse que la media aritmética está afectada por cada elemento de la muestra y principalmente por los valores extremos. Dos propiedades interesantes de la media aritmética son: 1) la

suma de las desviaciones a partir de la media aritmética es cero y 2) la suma de los cuadrados de la desviación a partir de la media aritmética es menor que la suma de los cuadrados de las desviaciones a partir de cualquier otro valor [16].

Como era de esperarse, la media tiene ventajas y desventajas. Las ventajas son: 1) es el promedio más comúnmente empleado, 2) es fácil de calcular, 3) se entiende fácilmente, 4) se presta a manipulaciones algebraicas. La mayor desventaja de la media aritmética es que está desproporcionalmente afectada por los valores extremos, y que por consiguiente puede estar muy lejos de ser una representación de la muestra [16].

MEDIA GEOMÉTRICA.

La media geométrica de G de un conjunto de N números positivos es la raíz N-ésima del producto de esos números y se denota como:

$$G = \sqrt[N]{X_1 X_2 X_3 \dots X_N} \quad [15].$$

MEDIANA.

La mediana de un conjunto de números ordenados en magnitud es el valor central o la media de los dos valores centrales. Para datos agrupados, la mediana obtenida por interpolación viene dada por:

$$M = L_1 + \left[\frac{\frac{N}{2} - (\Sigma f)_1}{f_{\text{mediana}}} \right] c \quad [15].$$

Donde

L_1 = frontera inferior de la clase de la media.

N = número de datos (frecuencia total)

$(\Sigma f)_1$ = suma de frecuencias de la clase de la mediana.

f_{mediana} = frecuencia de la clase mediana.

C = rango del intervalo de clase de la mediana.

LA MODA

Otro valor útil en la descripción de una muestra es la moda. La moda se define como el valor que ocurre más frecuentemente en la

muestra. La moda de la muestra se representa con MO. Es obvio que la moda no siempre ocurrirá con un valor central, si no, como ocurre a menudo, puede ser un valor extremo. Así mismo una muestra puede tener más de una moda. Desde ahora aremos distinción entre la moda absoluta o moda relativa. Una moda absoluta es la que hemos definido (por supuesto que puede haber más de una moda absoluta) ; una moda relativa es el valor que ocurre con mayor frecuencia que sus valores vecinos aún si no es una moda absoluta [16].

$$MO \cong L_m + \left[\frac{d_1}{d_1 + d_2} \right] (C) \quad [17].$$

Donde

L_{MO} = Límite inferior de la clase modal,

d_1 = la diferencia (sin consideración de signo) entre la frecuencia de la clase modal y la frecuencia de la clase precedente.

d_2 = la diferencia (sin consideración de signo) entre la frecuencia de la clase modal y la frecuencia de la clase siguiente.

C = amplitud de la clase modal.

Ya que la moda, por definición, es el valor más representativo, a menudo se le considera como el valor más representativo de los valores representativos discutidos. Sin embargo, su importancia disminuye a medida que el número de observaciones llega a ser limitado [16].

LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR Y LA VARIANZA

Tal vez, la medida de variabilidad mejor conocida y más ampliamente empleada, es la desviación estándar. Casi de igual importancia es el cuadrado es el cuadrado de la desviación estándar, cantidad que es conocida como la varianza [16].

Desviación estándar $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{(n-1)}} \quad [15].$

Varianza $\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_j - \bar{X})^2}{(n-1)} \quad [15].$

COEFICIENTE DE VARIACIÓN.

El coeficiente de variación ha sido explicado en diferentes formas por los estadísticos. Sin embargo, se llama la atención al hecho, ya evidente, de que cosas con grandes valores tienden a variar ampliamente, mientras que cosas con pequeños valores manifiestan pequeña variación. Así, para proporcionar una comparación válida entre la variación de pequeños valores, tales como la variación entre salarios de ejecutivos industriales y salarios de obreros, la variación se expresa como la variación de la media, y frecuentemente como un porcentaje. Esta medida de variación relativa es llamada, el coeficiente de variación y se define como:

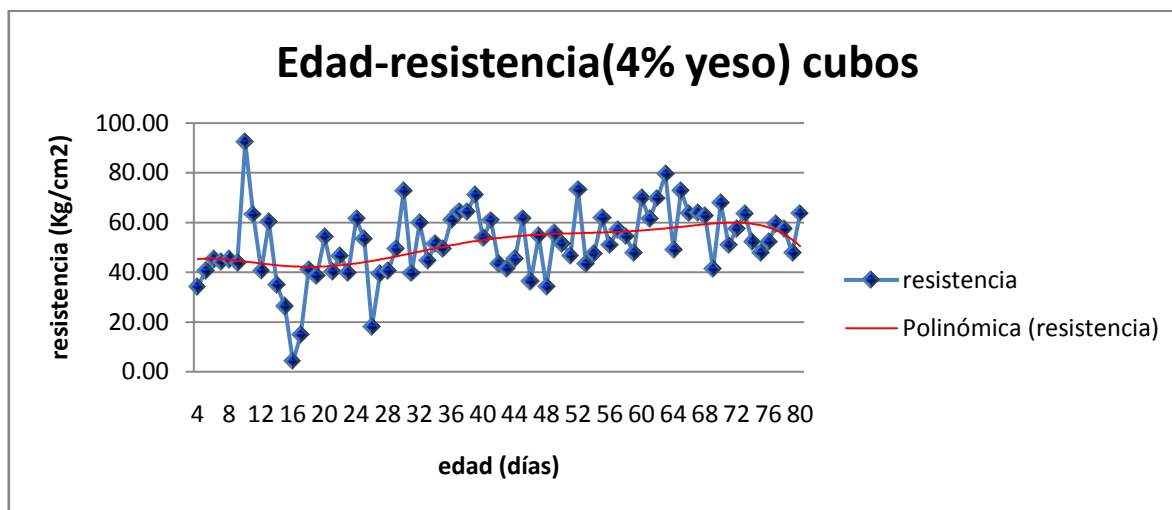
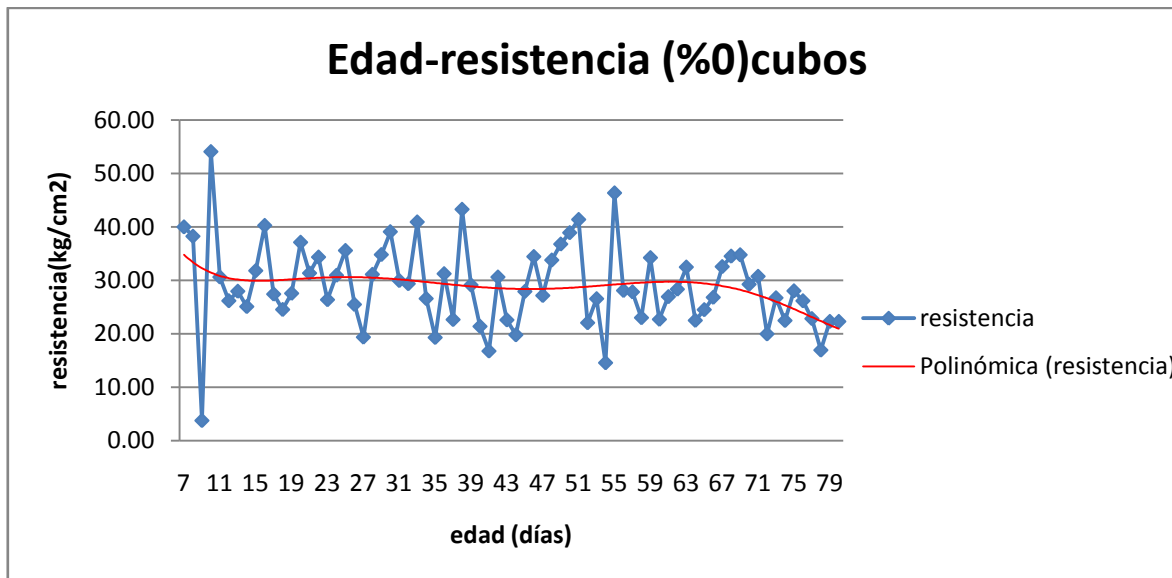
$$CV = s / \bar{X} \quad [16].$$

En forma de porcentaje

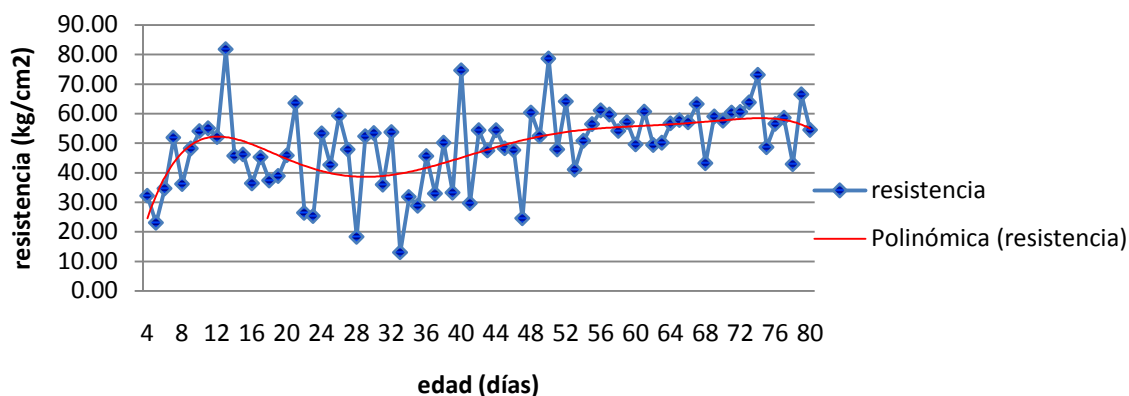
$$CV = (s / \bar{X}) \text{ por ciento} \quad [16].$$

El coeficiente de variación es, por supuesto, el recurso ideal para comparar la variación en dos series de datos que están medidos en diferentes unidades, por ejemplo, una comparación entre estatura y variación en peso [16].

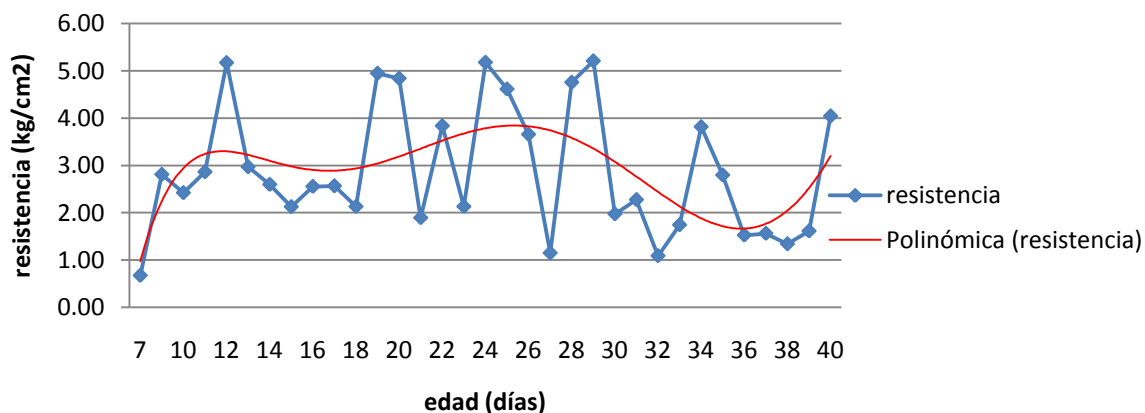
IV. 15 GRAFICAS EDAD-RESISTENCIA



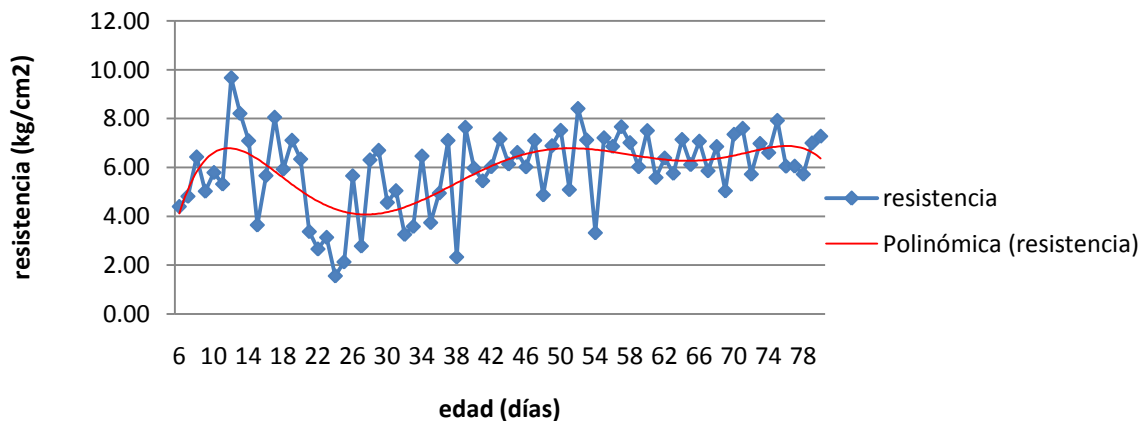
Edad-resistencia(6% yeso)cubos



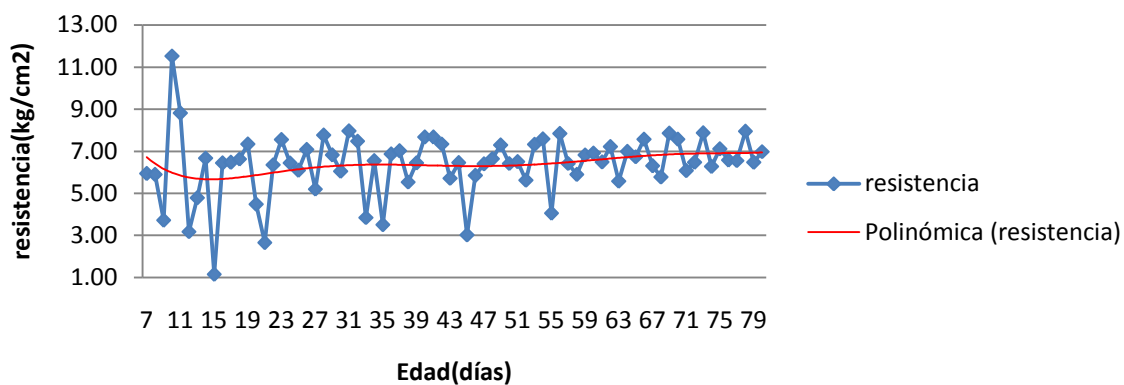
Edad-resistencia(0% yeso)vigas



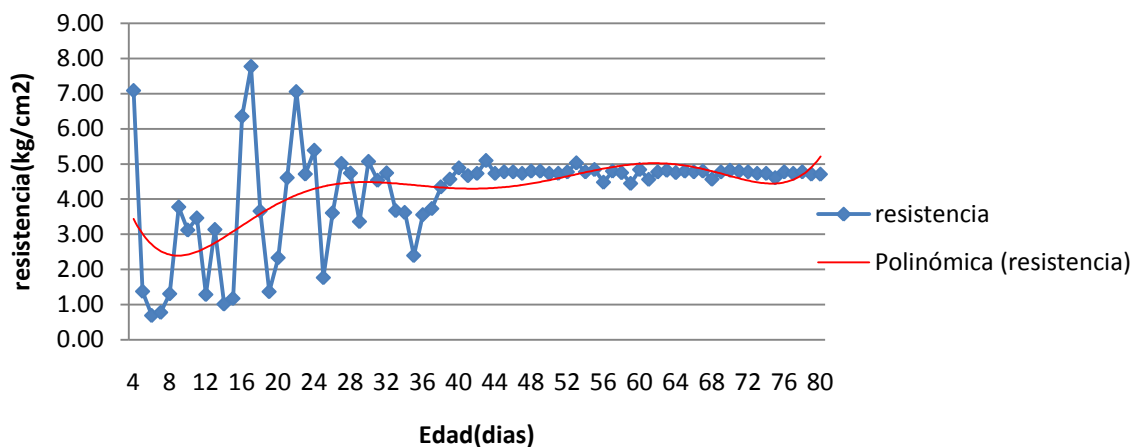
Edad-resistencia(4% yeso)vigas

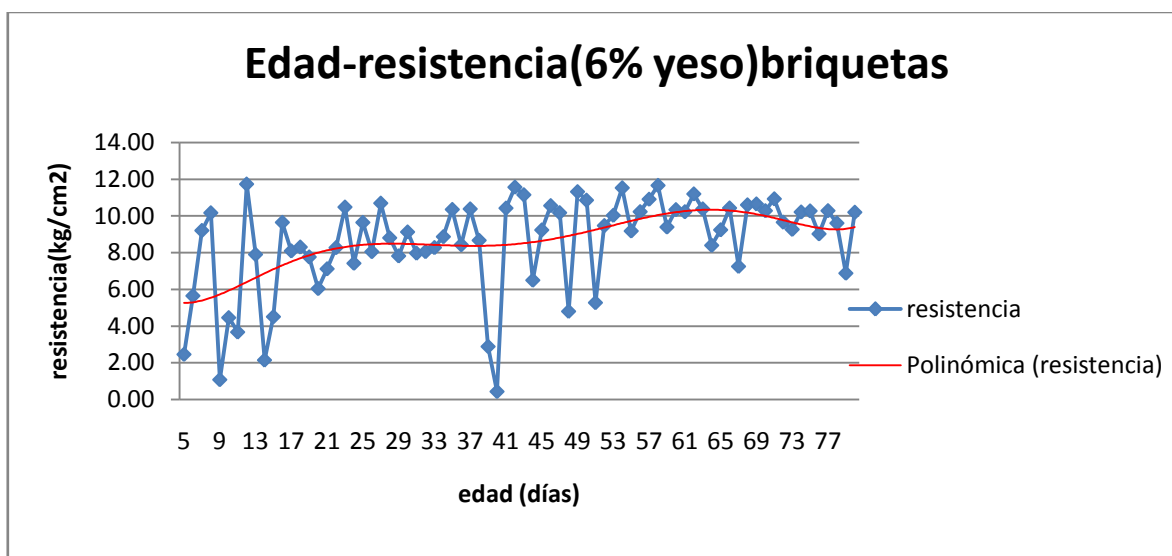
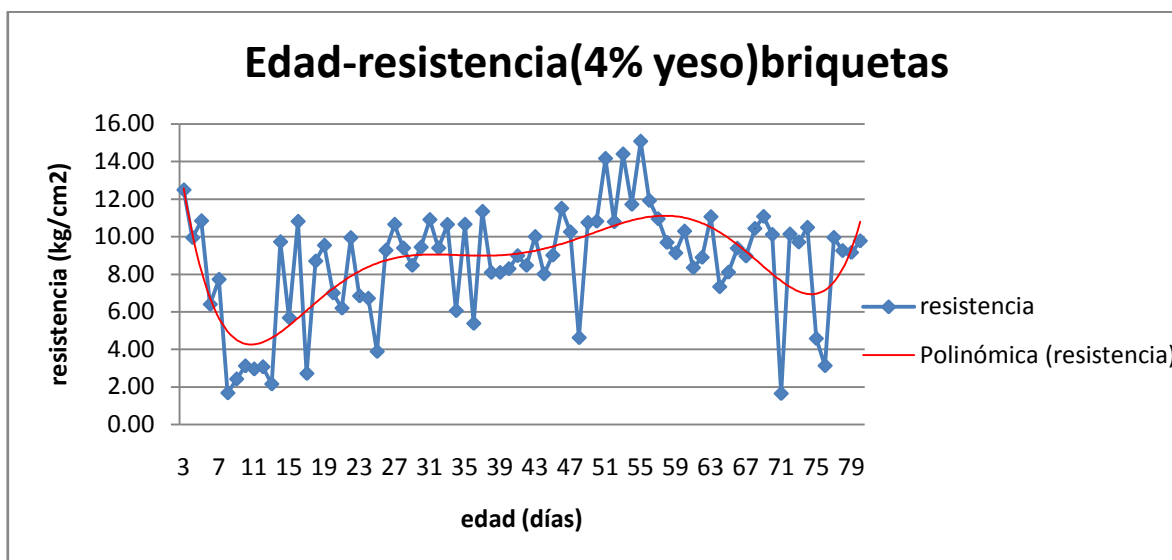


Edad-resistencia(6% yeso)vigas



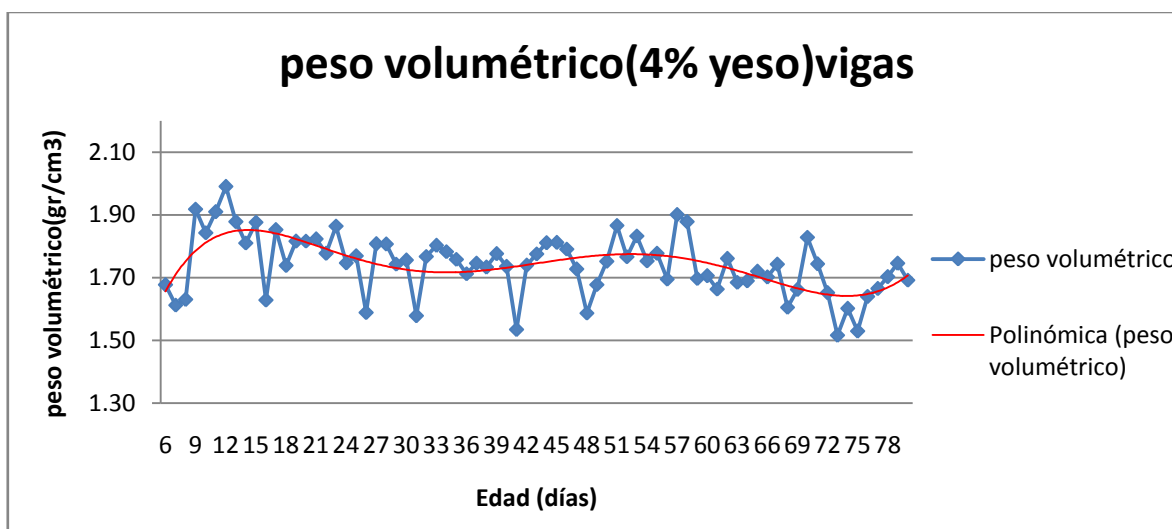
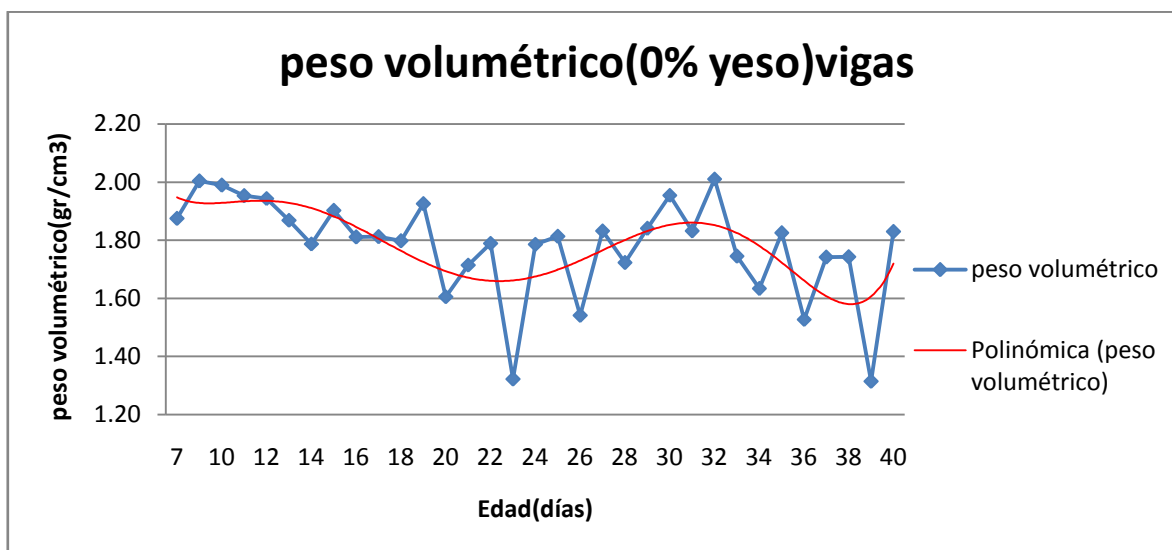
Edad-resistencia(0% yeso)briquetas

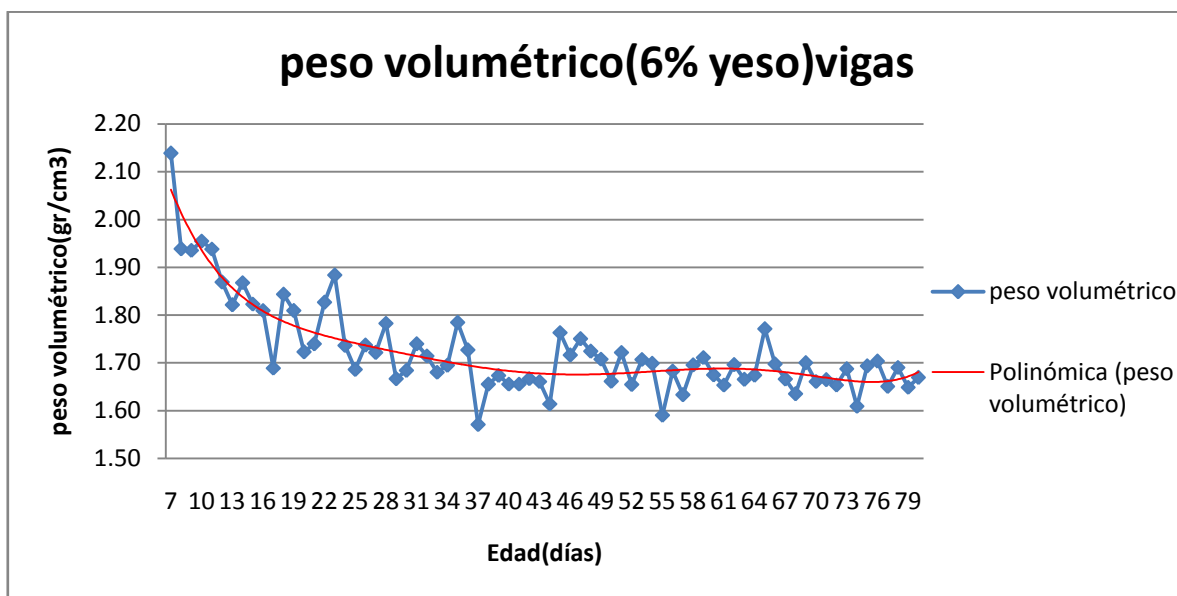




IV. 15 GRÁFICAS EDAD-PESO VOLUMÉTRICO

Se tomó como referencia el peso específico de las vigas ya que son las que contienen el mayor volumen de material, respecto a cubos y briquetas.





IV. 16 INFORME ESTADÍSTICO

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS DE LOS CUBOS, ESFUERZO A COMPRESIÓN (kg/cm^2)									
% YESO	Máximo	Mínimo	Media aritmética	Media geométrica	Mediana	moda	varianza	Desviación	Coef. Variación (%)
0%	26.14	31.32	29.8166	28.3123	28.0624	54.0629	79.0825	8.8928	29.83
4%	47.44	39.36	51.3853	48.4475	51.3436	63.4513	205.9336	14.3504	27.93
6%	13.02	81.78	49.1455	46.9405	50.7890	No disp.	181.4444	13.4701	27.41

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS DE LAS BRIQUETAS ESFUERZO A TENSION (kg/cm^2)									
% YESO	Máximo	Mínimo	Media aritmética	Media geométrica	Mediana	moda	varianza	Desviación	Coef. Variación (%)
0%	4.77	4.77	4.2192	3.8535	4.7262	4.7262	1.9346	1.3909	32.97
4%	15.08	9.13	8.5719	7.8149	9.3260	9.9439	8.9662	2.9944	34.93
6%	11.74	0.43	8.6112	7.8700	9.2575	No disp.	6.6399	2.5768	29.92

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS DE LAS VIGAS, MÓDULO DE RUPTURA (kg/cm^2)									
% YESO	Máximo	Mínimo	Media aritmética	Media geométrica	Mediana	moda	varianza	Desviación	Coef. Variación(%)
0%	36.96	4.57	19.8336	17.5988	17.7542	No disp.	88.6070	9.4131	47.46
4%	18.10	66.92	41.4106	39.3866	42.8571	No disp.	128.2639	11.3254	27.35
6%	60.52	3.85	43.8727	41.4325	46.0882	46.8886	117.8840	10.8574	24.75

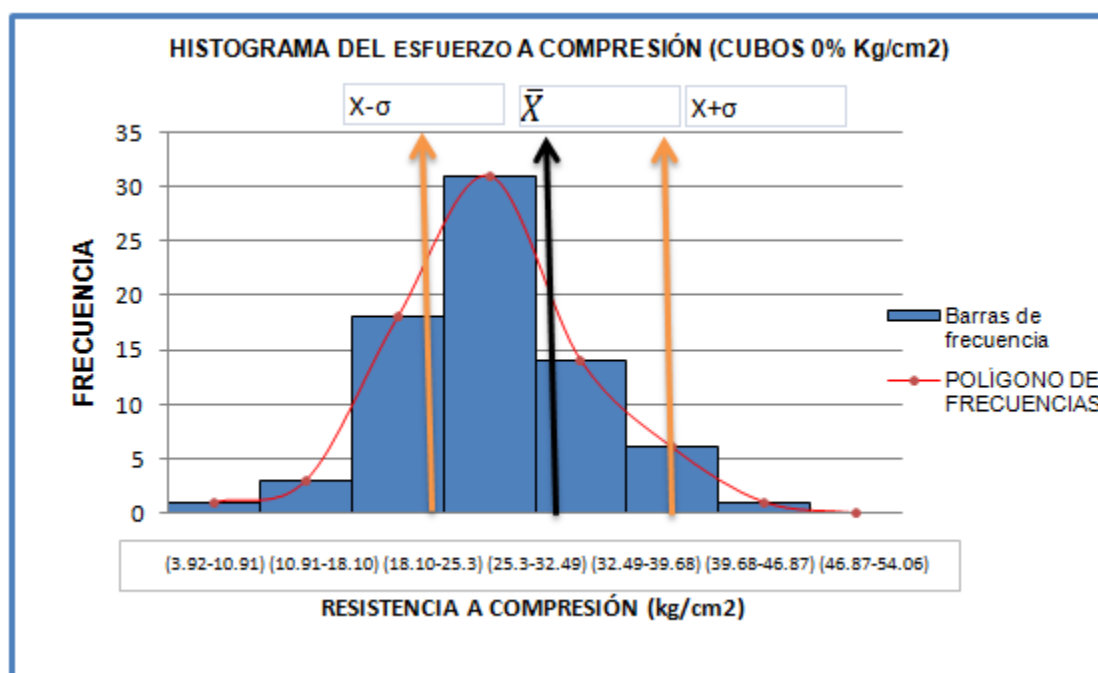
PARÁMETROS ESTADÍSTICOS DE LAS VIGAS, ESFUERZO CORTANTE (kg/cm^2)									
% YESO	Máximo	Mínimo	Media aritmética	Media geométrica	Mediana	moda	varianza	Desviación	Coef. Variación (%)
0%	5.21	0.67	2.8012	2.5528	2.5656	No disp.	1.8289	1.3524	48.28
4%	8.41	2.13	5.8995	5.6137	6.0497	No disp.	2.6443	1.6261	27.56
6%	11.52	2.65	6.3804	6.1389	6.4948	7.6733	2.2649	1.5050	23.59

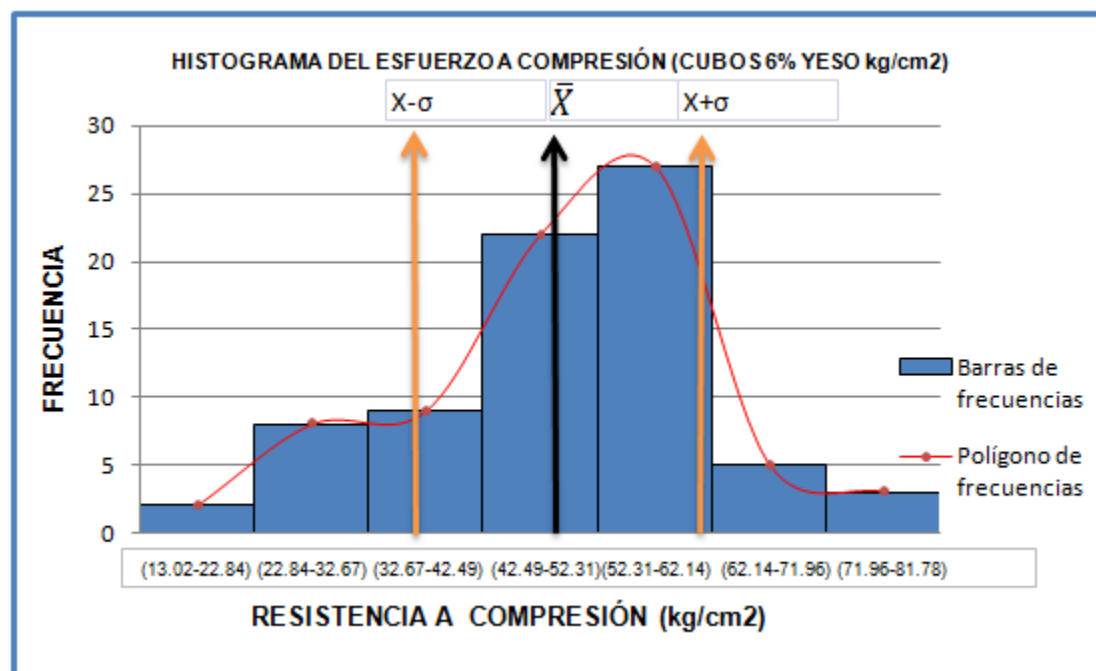
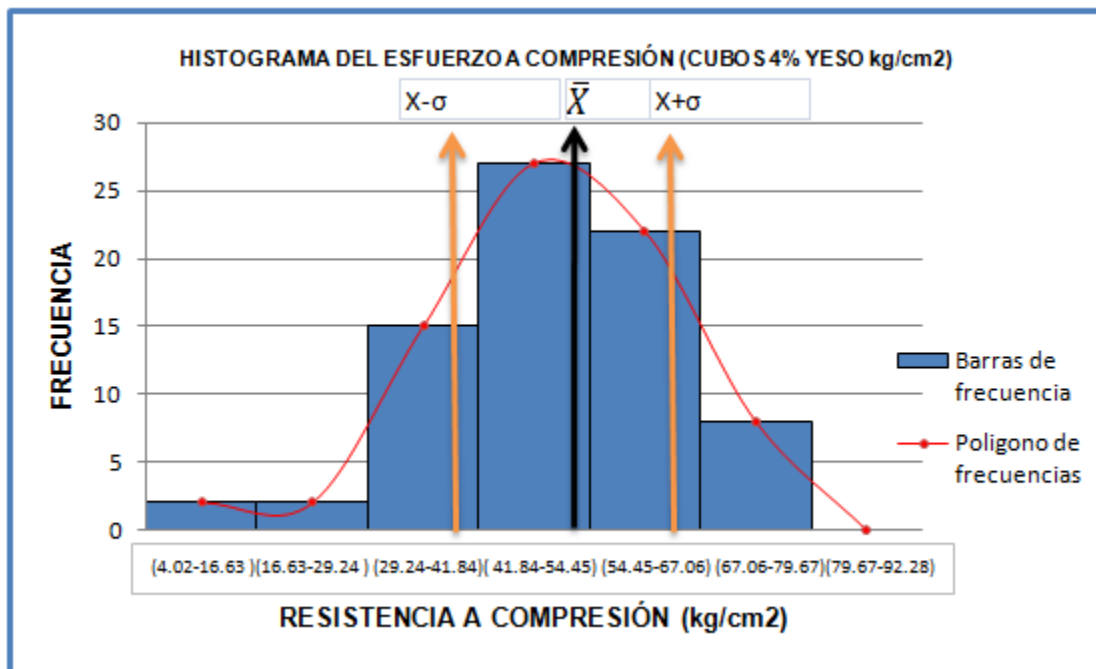
Se tomó como referencia a las vigas, ya que su volumen de material es mayor con respecto a los cubos y briquetas. Por lo que el porcentaje de error es más pequeño que cualquiera de los dos últimos especímenes mencionados.

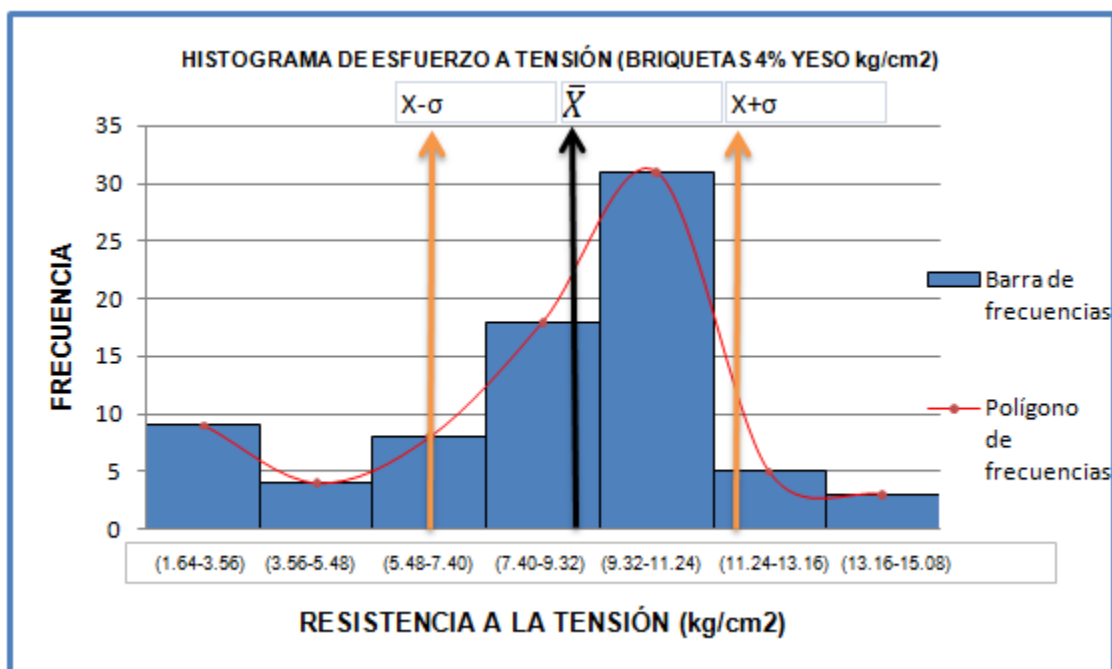
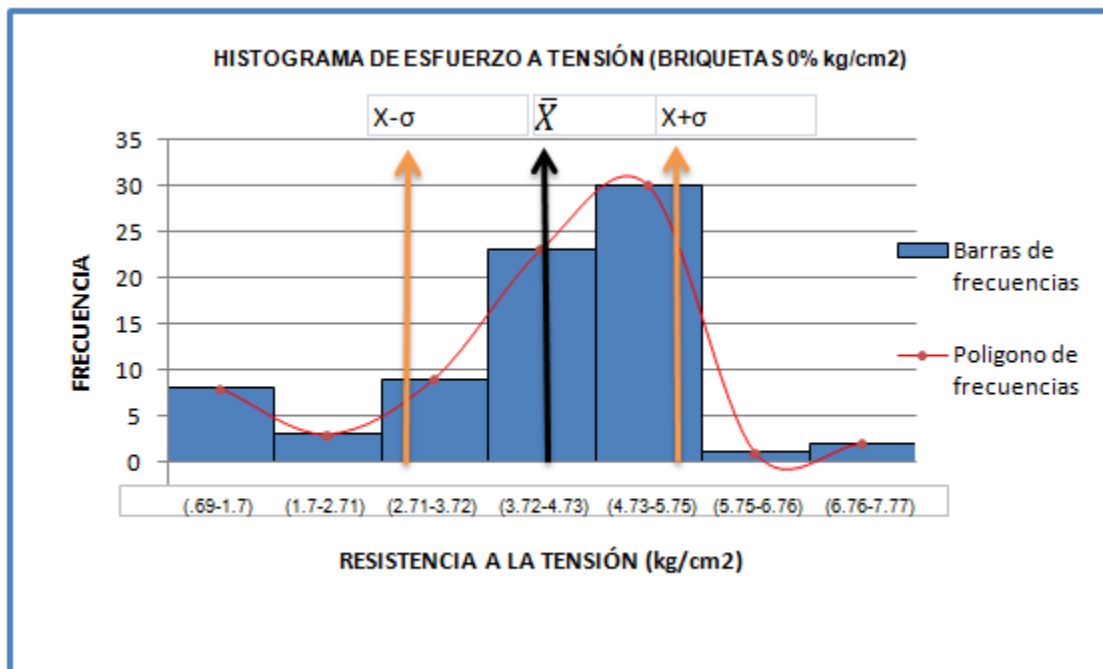
PARÁMETROS ESTADÍSTICOS DE LAS VIGAS, PESO VOLUMÉTRICO (kg/cm^2)									
% YESO	Máximo	Mínimo	Media aritmética	Media geométrica	Mediana	moda	varianza	Desviación	Coef. Variación (%)
0%	2.01	1.31	1.7815	1.7729	1.8122	No disp.	0.0286	0.1691	9.49
4%	1.99	1.53	1.7115	1.7092	1.6915	No disp.	0.0082	0.0906	5.29
6%	2.14	1.57	1.7259	1.7233	1.6969	1.6557	0.0093	0.0964	5.59

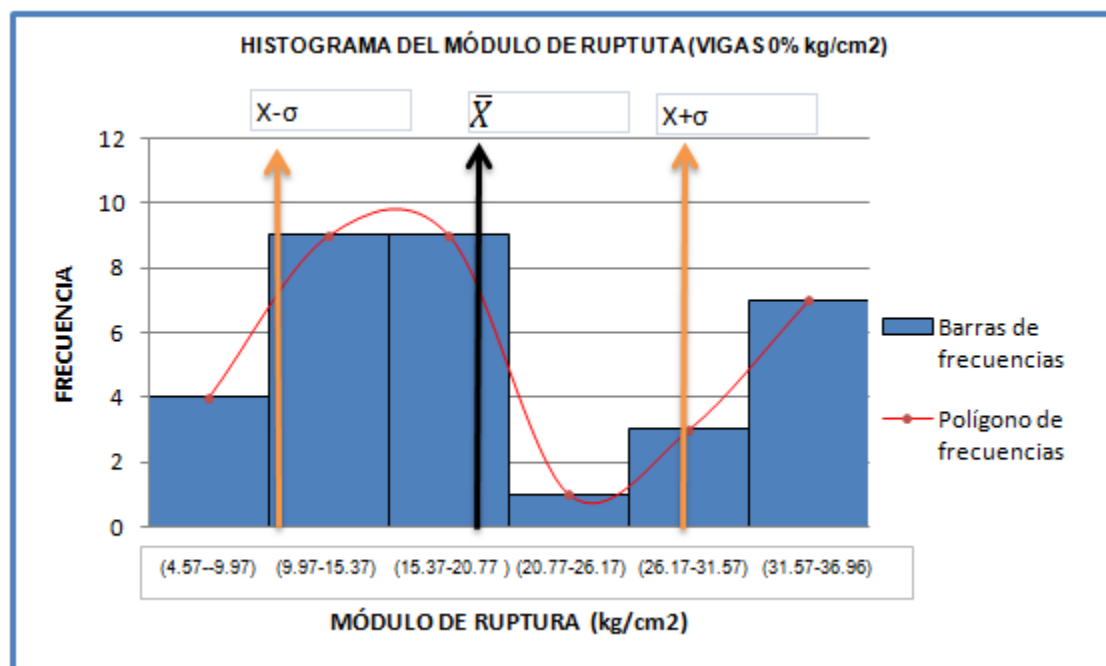
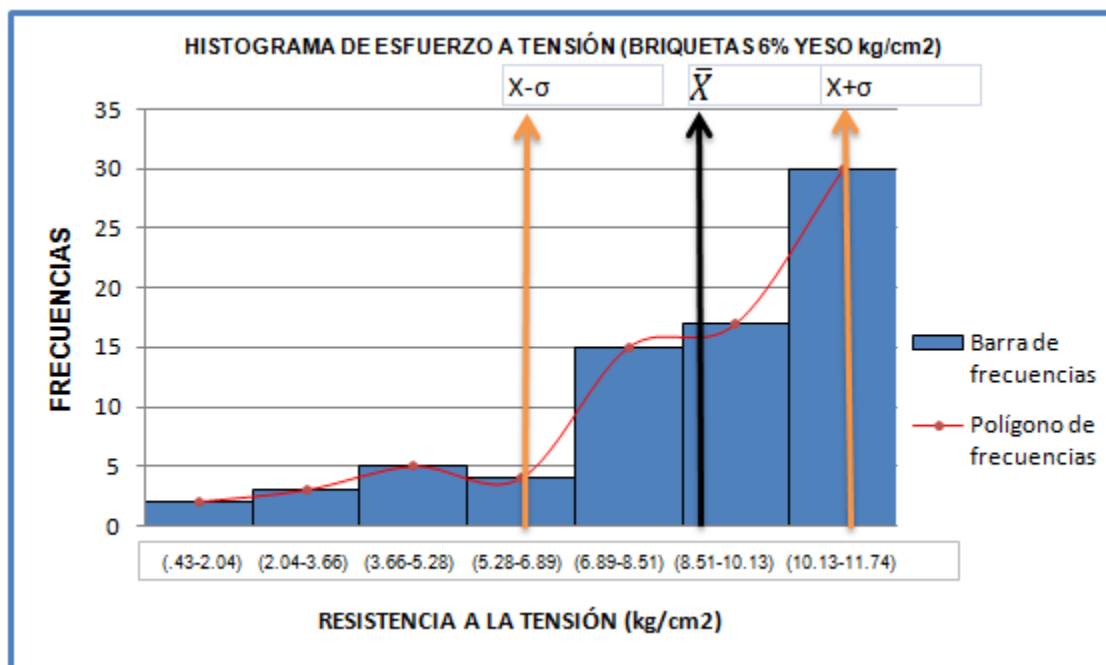
PARÁMETROS ESTADÍSTICOS DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD EN VIGAS (kg/cm^2)								
% YESO	Máximo	Mínimo	Media aritmética	Media geométrica	Mediana	varianza	Desviación	Coef. Variación (%)
0%	2970.00	2380.00	2615.0000	2607.4765	2580.0000	50800.0000	225.3886	8.62
4%	4330.00	3820.00	4067.0000	4063.7833	4055.0000	32782.5000	181.0594	4.45
6%	28210.00	20275.00	24457.4000	24296.6576	24225.0000	9651976.3000	3106.7630	12.70

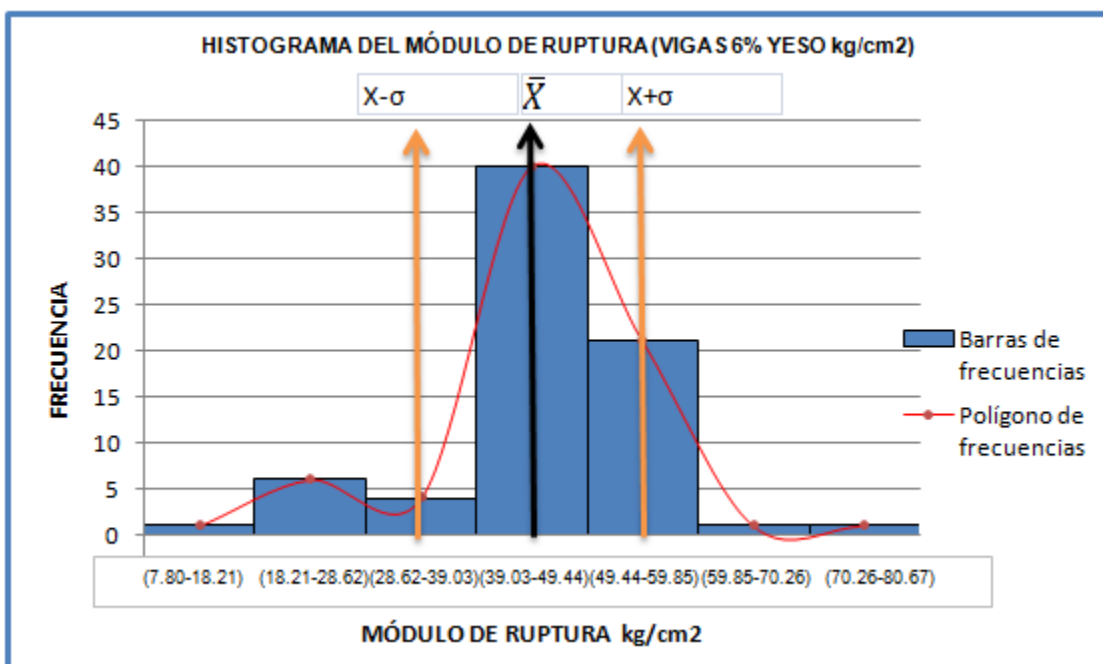
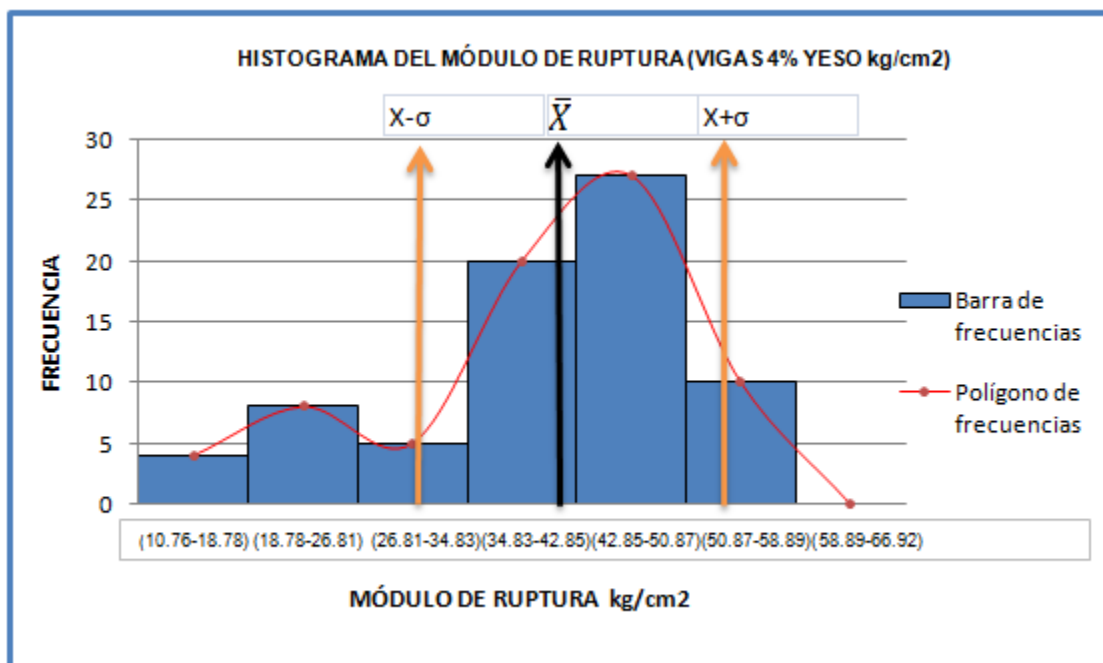
IV. 16 HISTOGRAMAS DE LOS DATOS OBTENIDOS

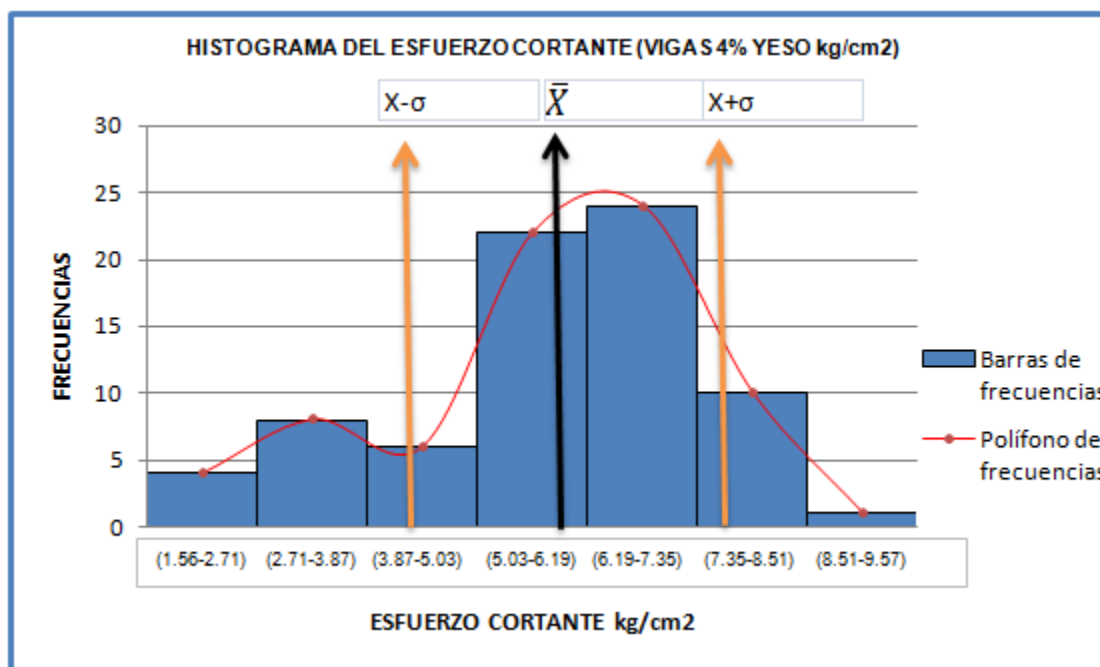
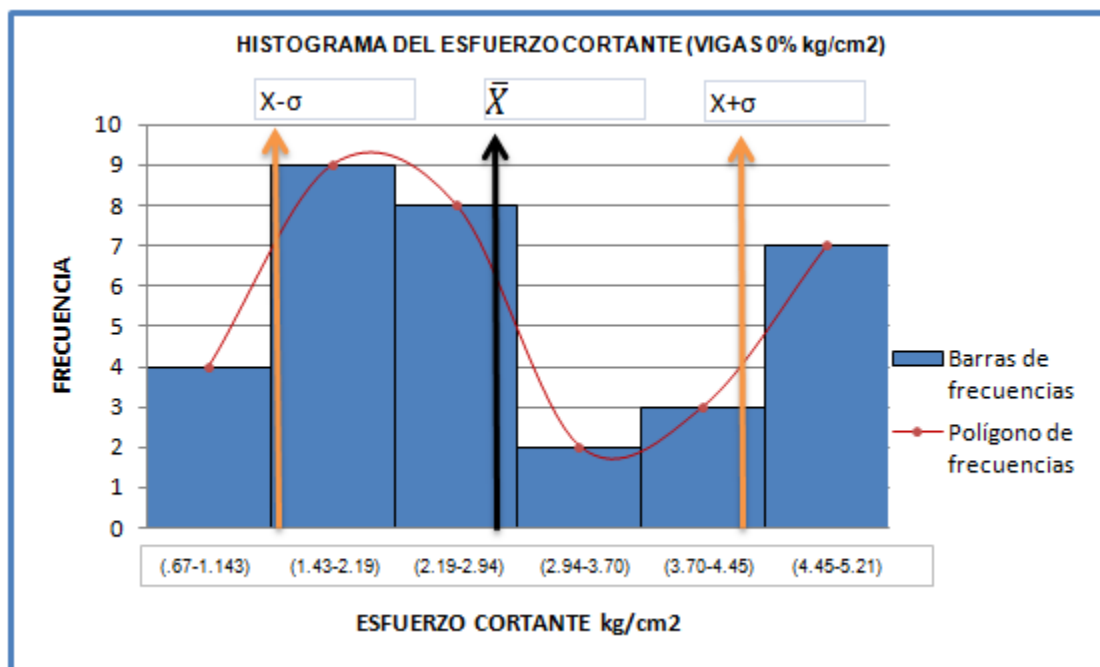


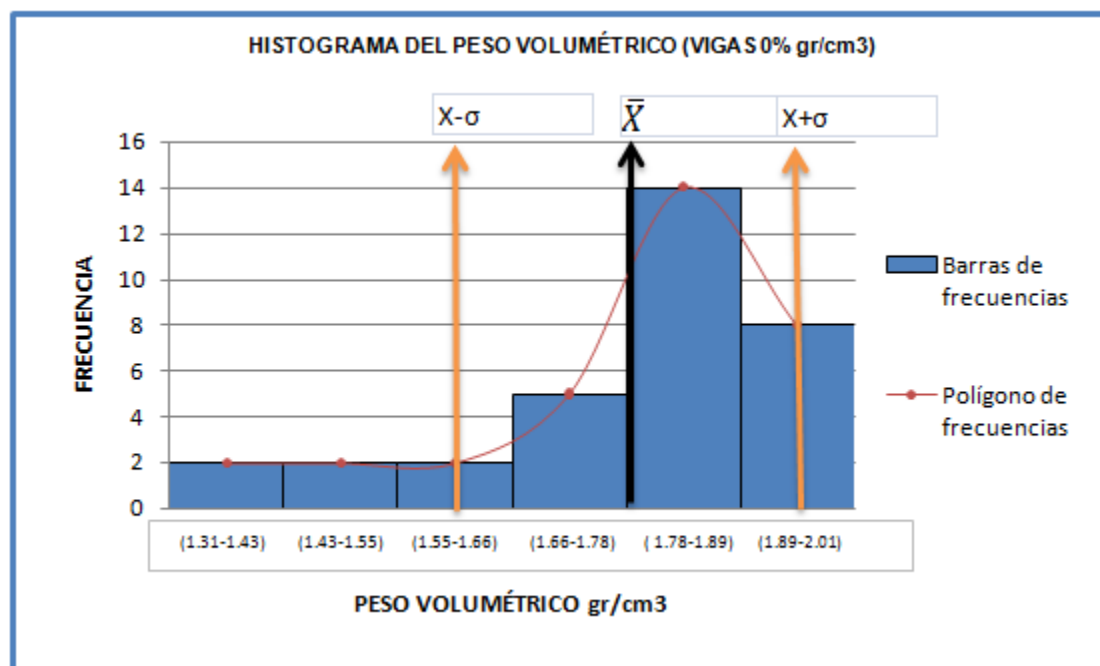
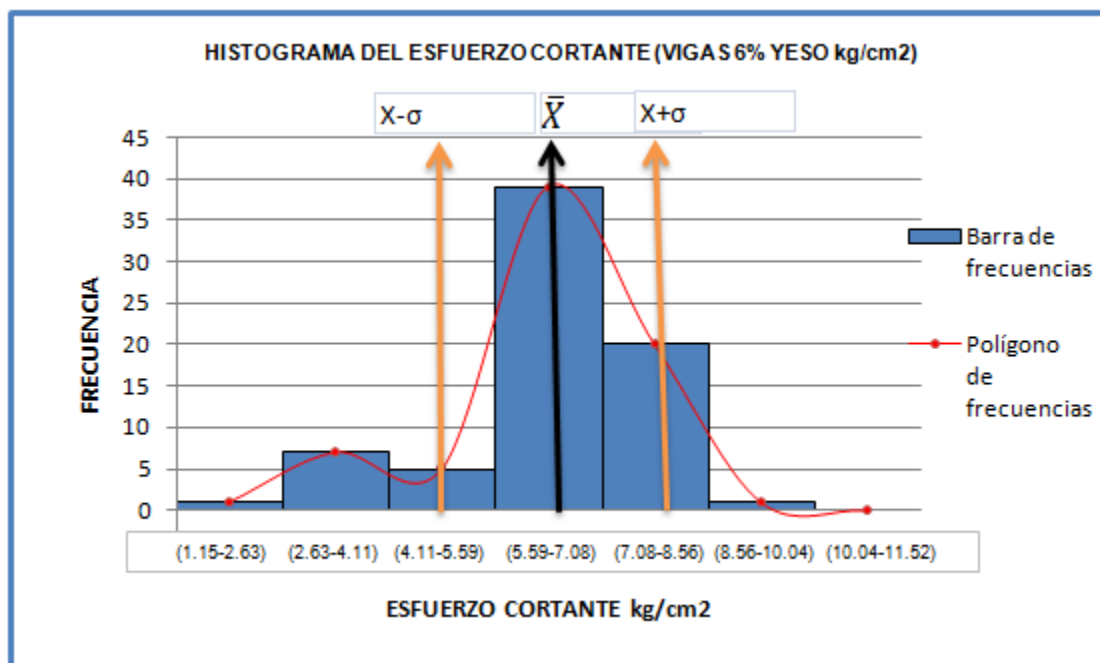


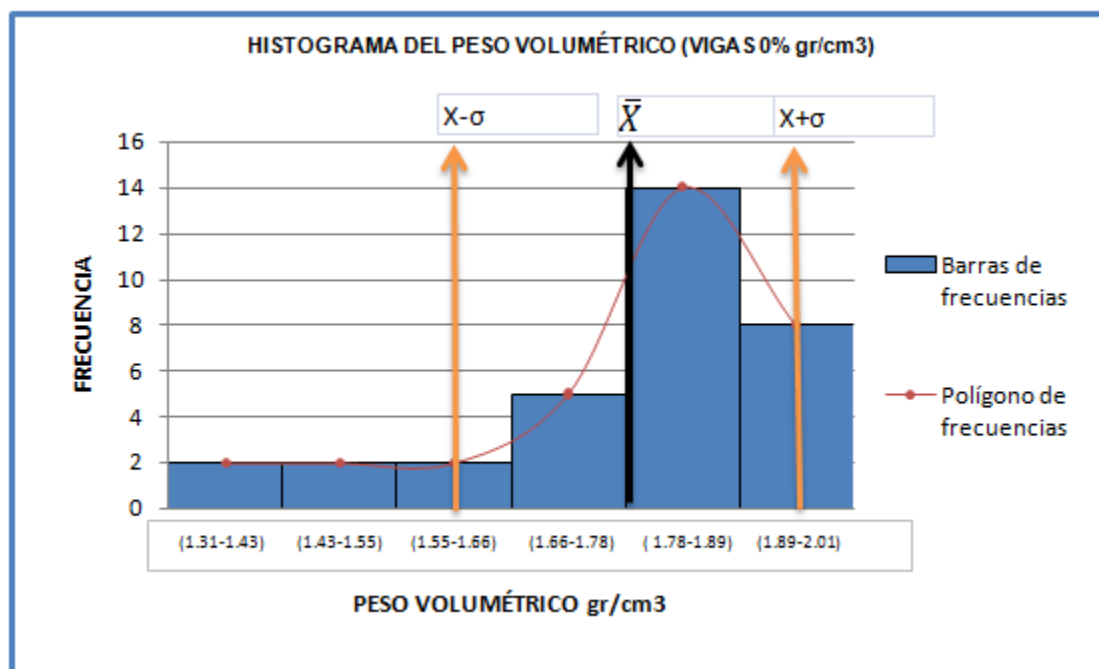
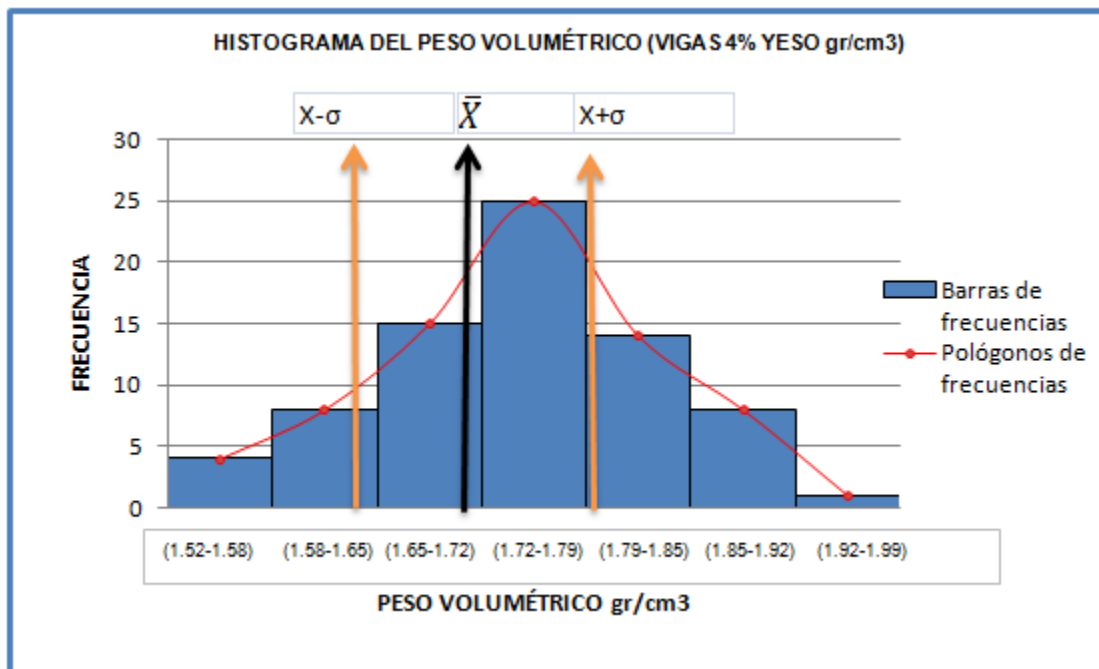






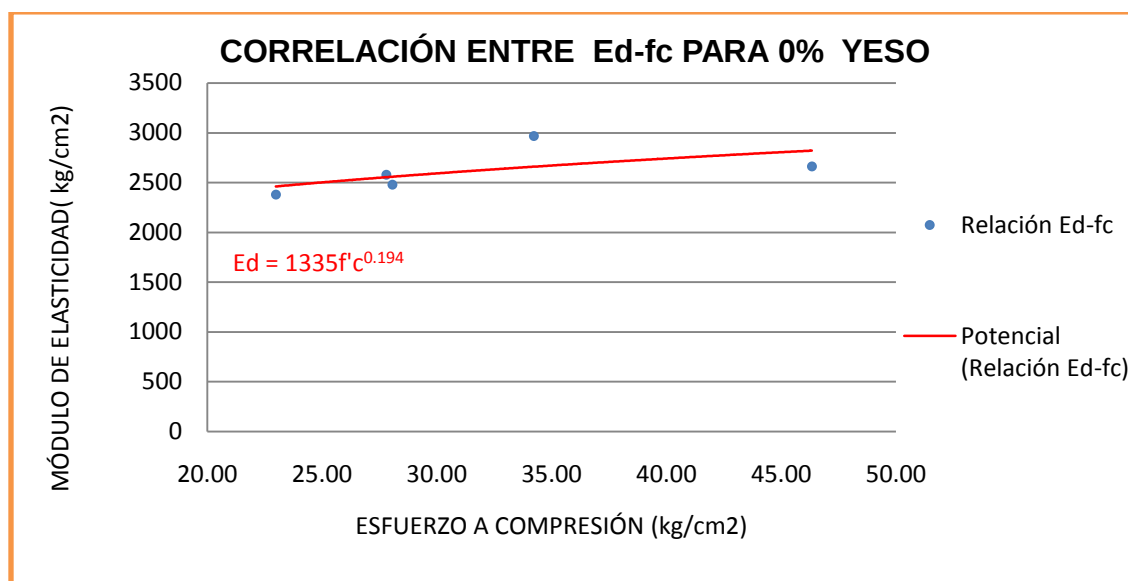


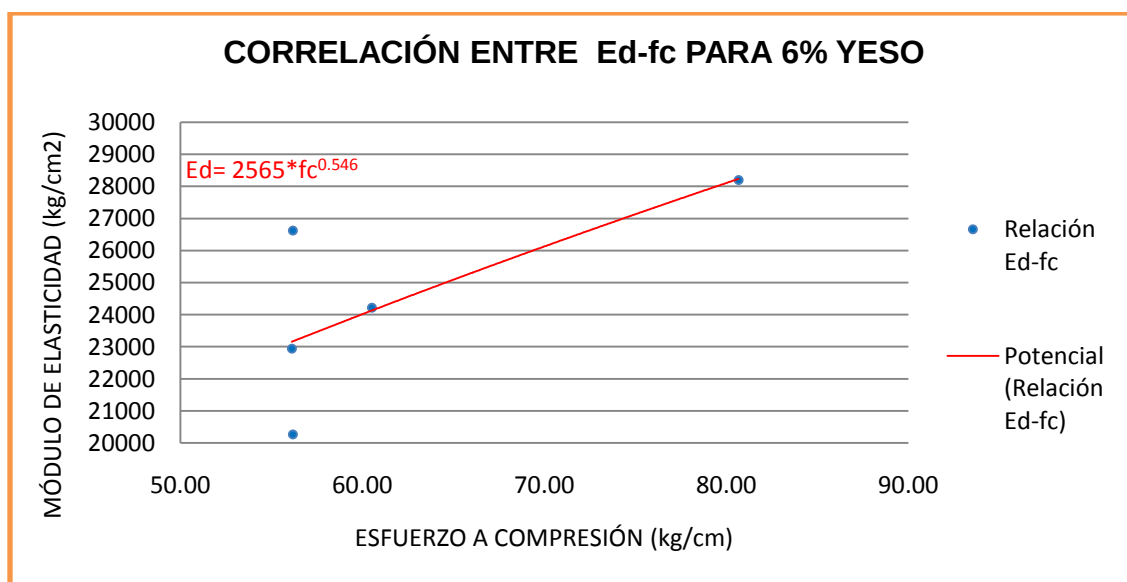
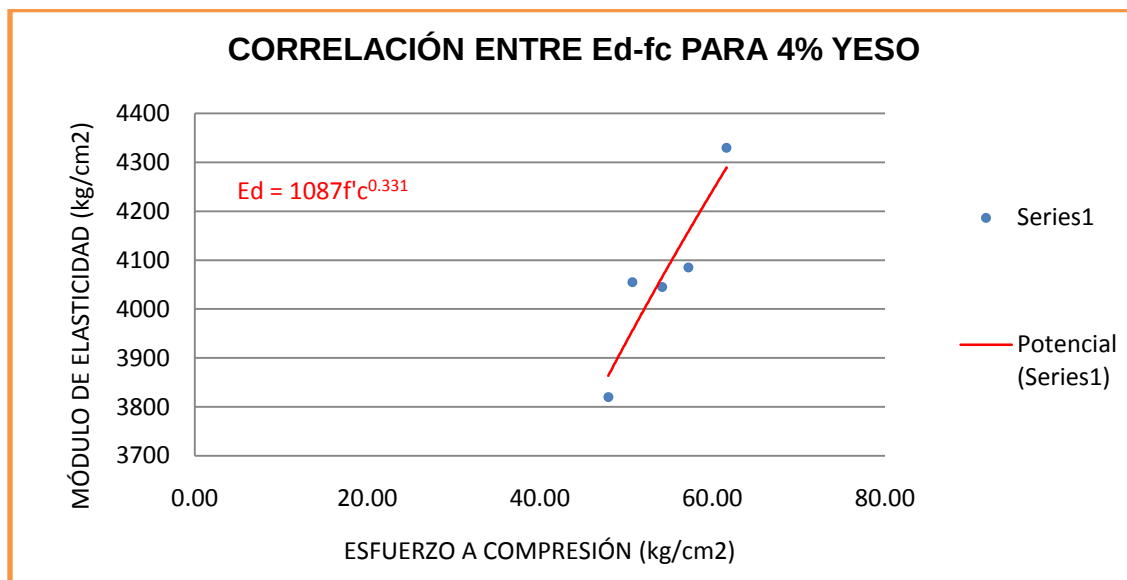


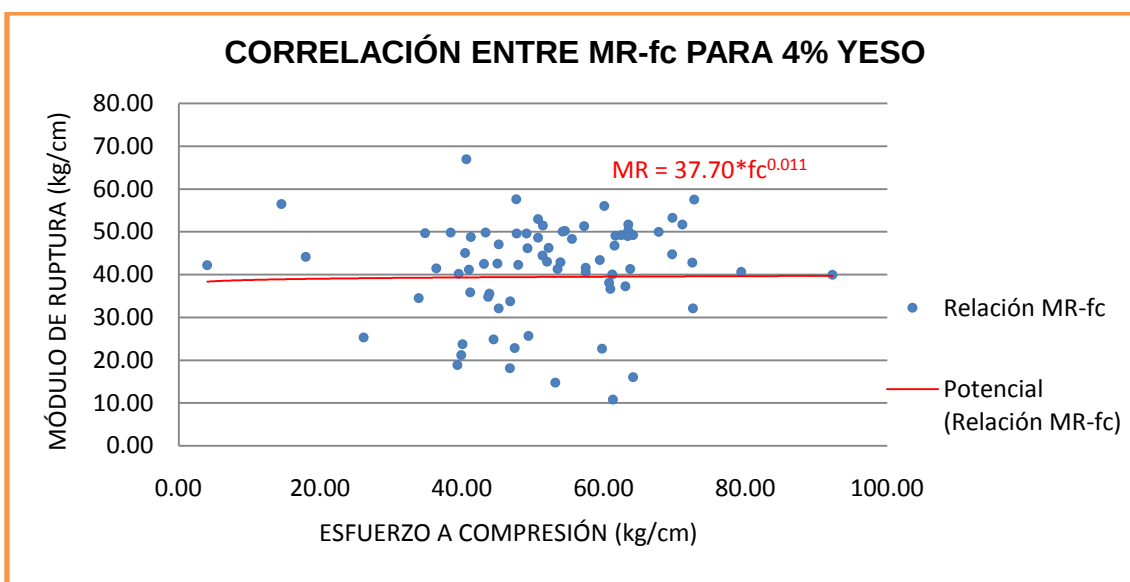
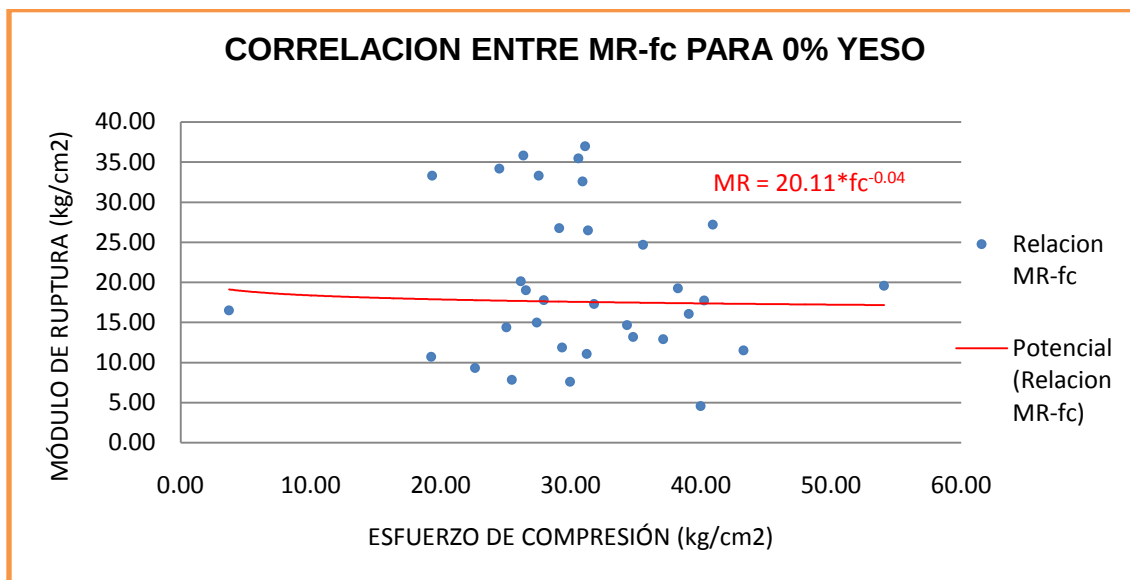


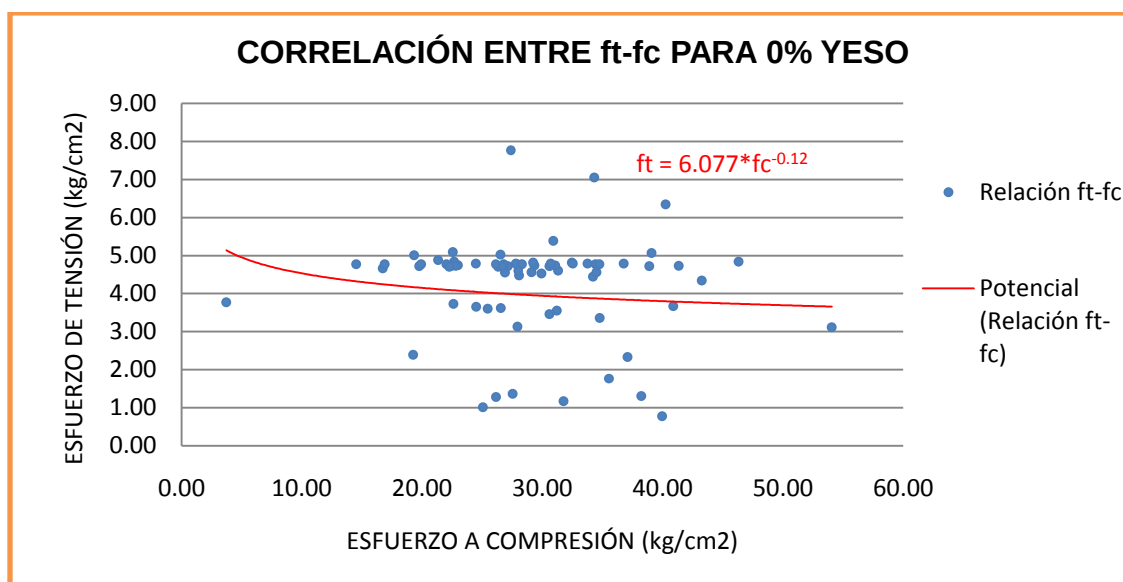
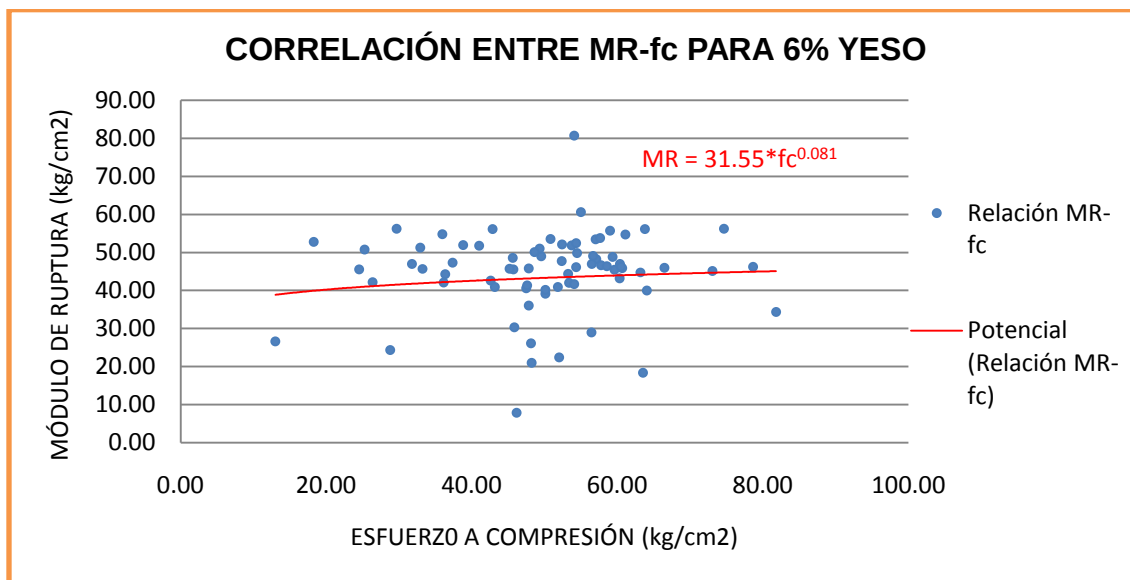
IV. 18 CORRELACIÓN DE LOS DATOS OBTENIDOS

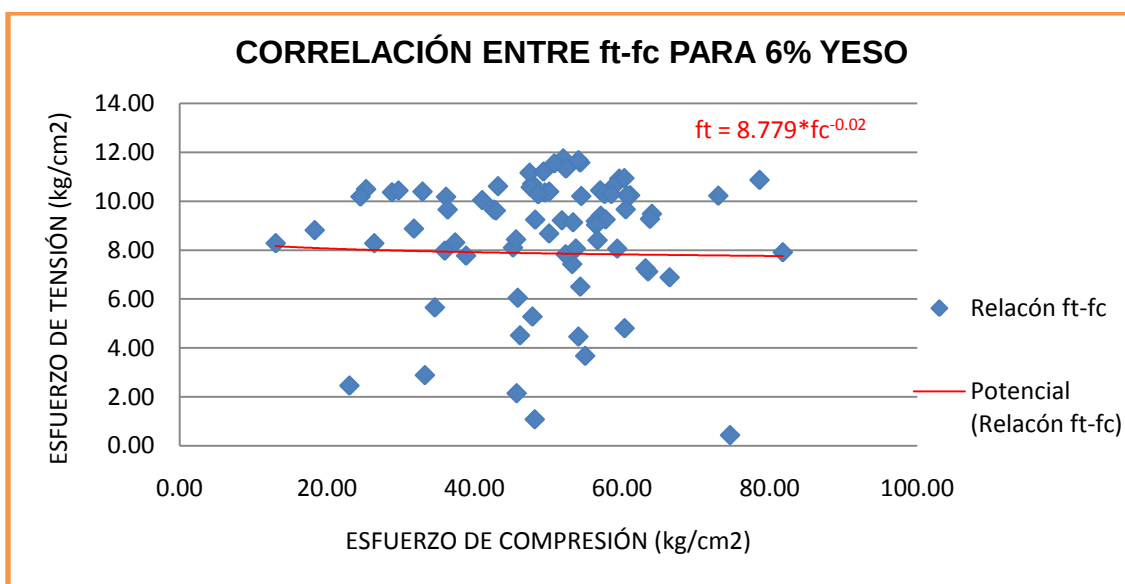
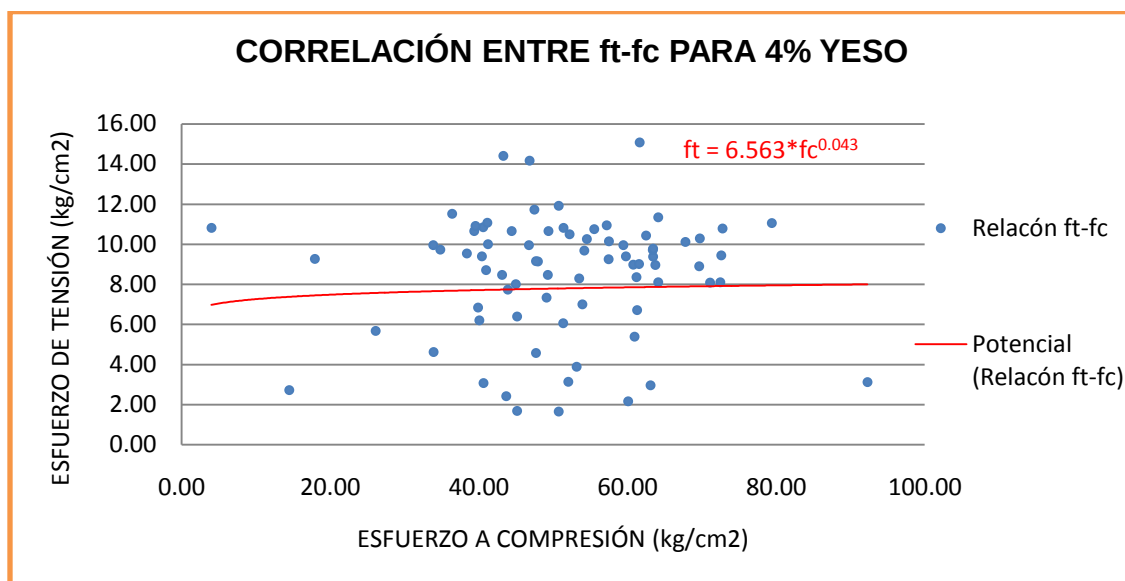
Para hacer la correlación del módulo de elasticidad con el esfuerzo a compresión, se tomaron los valores del módulo de ruptura que corresponde a la edad de los especímenes usados para determinar el módulo de elasticidad.

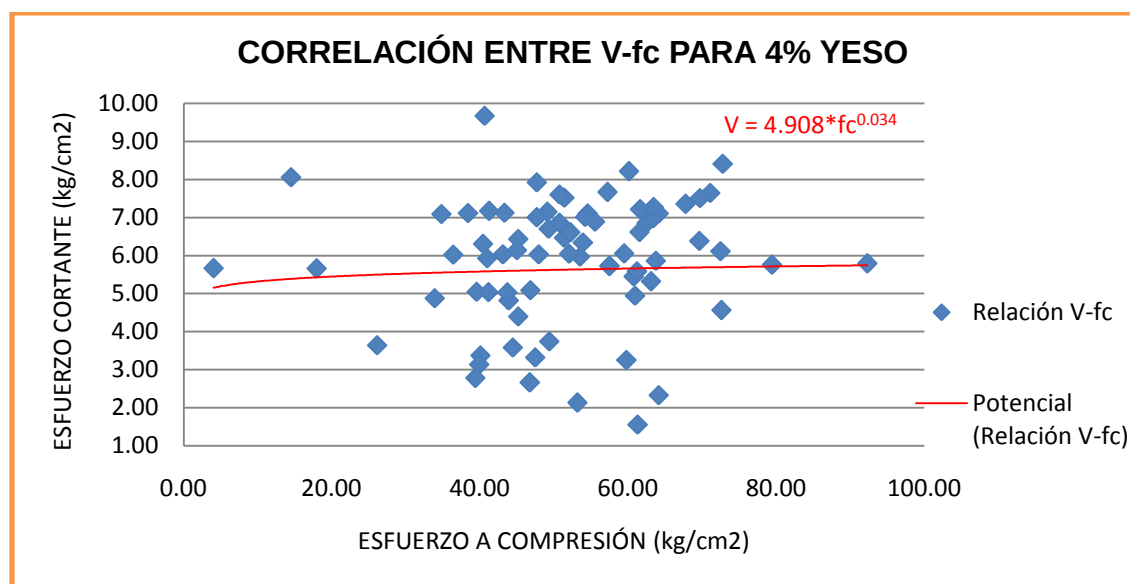
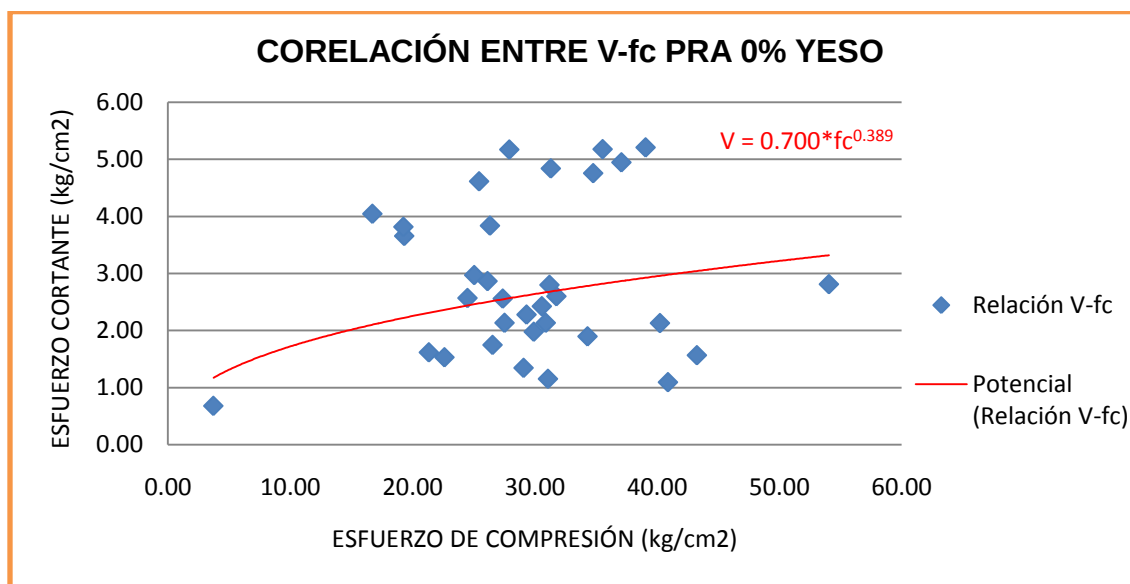


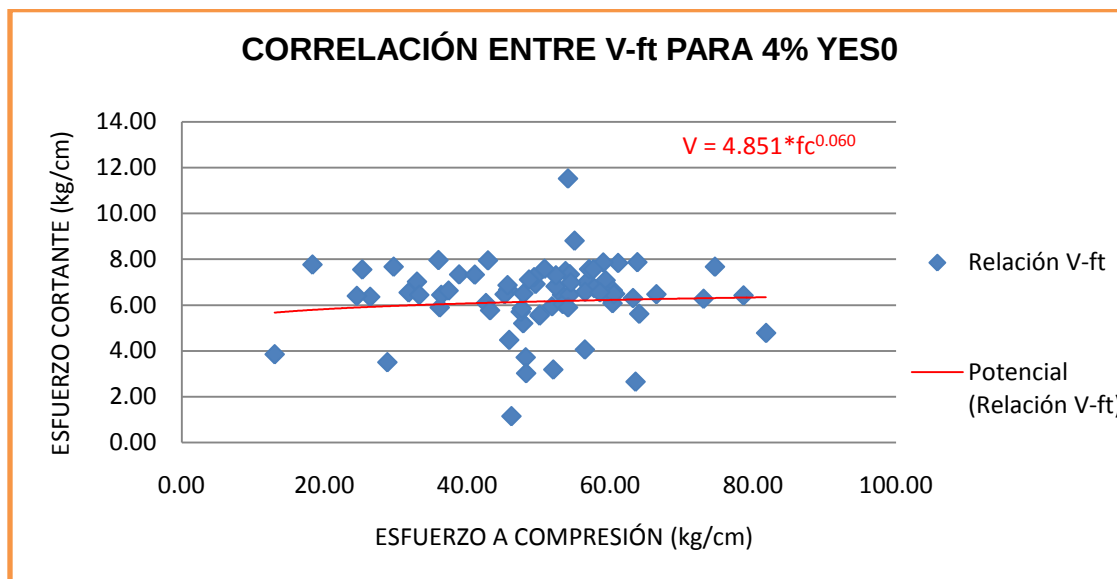












IV. 19 Resumen de los datos obtenidos

prueba	(testigo) 0%	2%	4%	6%	8%	10%
fc	29.8166	51.3853	49.1455			
ft	4.2192	8.5719	8.6112			
Mr	19.8336	41.4106	43.8727			
IP	23.7	31.1	34.4	29.7	28.7	29.9
LL	45.9	49.7	55.2	47.5	50.3	55.7
LP	22.2	18.6	20.8	17.8	21.6	25.8
CL	13.1	14.2	13	14.4	14.5	16.1
LC	11.99	9.75	9.59	10.3	12.56	14.18
Color (yeso)						
Color (Cal)						

Se observa que en el color de las muestras con porcentaje de yeso no cambia notoriamente en comparación con el color de los especímenes con porcentajes de cal.

IV. 19 ECUACIONES OBTENIDAS

Resumen de ecuaciones que correlacionan el f_c, f_t, E_d, M_r y V				
Ecuaciones para diferentes porcentajes de estabilizante (CaSO_4)				
	0%	4%	6%	
$E_d = f[f_c]$	$E_d = 1335 * f_c^{.194}$	$E_d = 1887 * f_c^{.331}$	$E_d = 2565 * f_c^{.546}$	
$M_R = f[f_c]$	$M_R = 20.11 * f_c^{(-0.04)}$	$M_R = 37.70 * f_c^{(.011)}$	$M_R = 31.55 * f_c^{(.081)}$	
$f_t = f[f_c]$	$f_t = 6.077 * f_c^{(-0.12)}$	$f_t = 6.563 * f_c^{(.043)}$	$f_t = 8.779 * f_c^{(-0.02)}$	
$V = f[f_c]$	$V = .700 * f_c^{(.389)}$	$V = 4.908 * f_c^{(.034)}$	$V = 4.851 * f_c^{(.060)}$	

Capítulo V: Discusión y Conclusiones

La estabilización de la arcilla montmorillonita con CaSO_4 se ha mejorado notoriamente con porcentajes de alrededor de 4% en peso, al igual que las propiedades mecánicas. Es por eso que se optó por trabajar con muestra en porcentajes de 0, 4 y 6%, de igual manera se podría haber trabajado con especímenes elaborados con 2%, ya que su porcentaje de contracción es menor que los elaborados con porcentajes de 6%, pero sus propiedades mecánicas son muy superiores con un porcentaje de 6%, es por eso que se tomó la decisión de elaborar especímenes con porcentajes de 6% en lugar de 2%

Para los especímenes elaborados de arcilla natural sin previa estabilización, se ha observado que la resistencia a la compresión disminuye conforme aumenta la edad del espécimen. Mientras que en la resistencia a la tensión se mantiene constante a una edad mayor de 36 días. Y el módulo de ruptura no sigue una tendencia en función de la edad ya que oscila mucho, en una forma muy aleatoria. El módulo de elasticidad es relativamente bajo con respecto al porcentaje de 6% de CaSO_4 .

Para la arcilla estabilizada con un porcentaje de 4% CaSO_4 . La resistencia comienza a ascender durante la edad de 15 y 16 días hasta su resistencia máxima. Por otra parte la resistencia a la tensión se incrementa a la edad aproximada de 11 a 12 días, teniendo algunas fluctuaciones a la edad de 60 días. Su módulo de ruptura se mantiene constante a partir de los 46 días en adelante. El módulo de elasticidad se incrementa aproximadamente un 44.5% respecto de los especímenes con porcentajes de 0%.

El comportamiento del esfuerzo a compresión de los especímenes con un porcentaje de 6% es muy semejante al de 4%, la diferencia es que la resistencia comienza a incrementarse alrededor de los 28 días en adelante. Su resistencia a la tensión tiene un comportamiento prácticamente ascendente con respecto al tiempo, desde los primeros días

de descimbrado. El módulo de ruptura comienza a acender ligeramente alrededor de los 12 a 15 días de edad. Y su módulo de elasticidad se incrementa aproximadamente en un 850% más con respecto a la arcilla sin estabilizar. Entonces se puede concluir en este trabajo que para maximizar el módulo de elasticidad sin cambiar drásticamente su color de la arcilla se recomienda un porcentaje de 6% CaSO_4 en peso, y para disminuir el porcentaje de contracción es necesario un porcentaje de 4% CaSO_4 .

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1.- MATTONE
- 2.- LAS ARCILLAS: PROPIEDADES Y USOS
Emilia García Romero: Universidad Complutense (Madrid)
Mercedes Suárez Barrios: Universidad de Salamanca
- 3.- EULALIO JUÁREZ BADILLO Y ALFONSO RICO RODRÍGUEZ 1978.
MECÁNICA DE SUELOS. EDITORIAL LIMUSA
- 4.-JOSEPH E. BOWLES 1982.
PROPIEDADES GEOFÍSICAS DE LOS SUELOS

EDITORIAL MCGRAW-HILL
- 5.-WWW.WIKIPEDIA.COM
- 6.-ESCUELA SECUNDARIA TÉCNICA # 3 DE MONCLOVA, COAHUILA "ROCAS Y MINERALES" OTOÑO 2000. (IMÁGENES)
- 7.-Garnica A. P., Pérez S.A., Gómez L.J.A., Ovil V.E.Y., Estabilización de suelos con cloruro de sodio para su uso en las vías terrestres. Publicación técnica No. 201 Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila Qro, 2002.
- 8.- www.la-almenara.com/agenda/cultura_popular/7_cultura_popular/7_cultura_popular.htm
- 9.-bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/109/html/sec_6.html
- 10.- Enciclopedia Encarta 2006
- 11.- www.monografías.com
- 12.-Godoy Milagros, Marcianesi Walter, López Soledad, Palacio Cristian, Rezinovsky Alfredo., Materiales de construcción industrias y servicios, Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de ingeniería, 2007.
- 13.- <http://www.economia.gob.mx/?P=1062> (secretaría de economía)
- 14.- Miller y Freund 1997. Probabilidad y Estadística para Ingenieros. Editorial Prentice-Hall
- 15.- Méndez M. B. A., Tesis Profesional "Módulo De Elasticidad Dinámico En Morteros De Cal Y Su Correlación Con El Módulo de Ruptura". Facultad de Ingeniería Civil. Pág. 65-x. U.M.S.H., México. 2007.
- 16.- Estadística aplicada. (Pendiente investigar bibliografía)

- 17.- Manuel J. Galán Moreno., "Apuntes De Estadística Descriptiva" E.T.S.A
- 18.- http://www.getottenassociates.com/test_equip/grindo_index.shtml
- 19.-L. M. Navarro., W. Martínez., J. Mandujano., "Análisis De Materiales". Págs. 113-115, 151-152. U.M.S.N.H., México. 2000.
- 20.-Estrada M. A., Tesis Profesional "Procedimiento De Construcción Y Control De Calidad En El Revestimiento Del Canal Porfirio Díaz, Valle Del Yaqui". Facultad de Ingeniería Civil. Pág. 75. U.M.S.H., México. 1992.
- 21.-Villaseñor F. V., Tesis Profesional "Estudio De Mecánica De Suelos Y Cálculo Estructural, De Los Cinemas Gemelos Plaza Hidalgo en León Gto.". Facultad de Ingeniería Civil. Pág. 29-34.U.M.S.H., México. 1996.
- 22.- W. Martínez^{1*}, E. Alonso¹, J. C. Rubio¹, H. L. Chávez¹, L. F. Guerrero², F. Velasco¹, C. Chávez³, M. Ávalos⁴, M. Olguín⁵, C. Morales⁵ y B. Méndez⁵., "ESTABILIZACIÓN VOLUMÉTRICA CON YESO Y CAL DE ARCILLAS MONTMORILLONÍTICAS PARA EMPLEO EN ADOBES EN ESTRUCTURAS PATRIMONIALES EN MICHOACÁN, MÉXICO",México 2007.

