



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA.

EL MEJORAMIENTO FÍSICO DEL ADOBE PARA FINES

CONSTRUCTIVOS

Tesis

Que para optar por el grado de:

MAESTRO EN ARQUITECTURA

P r e s e n t a

LEONIDES ALEJANDRO DÍAZ TENORIO

Tutor:

Mtro. En Arq. Jorge Rangel Dávalos
Arquitectura UNAM.

Comité Tutor:

Dr. Luis Fernando Guerrero Baca.
CyAD. UAM-X

Dr. Alejandro Gerardo Solano Vega
Arquitectura UNAM.

Mtro. En Arq. Ernesto Ocampo Ruiz
Arquitectura UNAM.

Mtro. En Arq. Francisco Reyna Gómez
Arquitectura UNAM.

Ciudad de México, Junio de 2016



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA.

El mejoramiento físico del adobe para fines constructivos.

Tesis para optar por el grado de maestro en arquitectura

P r e s e n t a

Leonides Alejandro Díaz Tenorio.

UNAM
POSGRADO 
arquitectura



Agradecimientos.

Quiero agradecer a mi esposa la **Mtra. Guadalupe Poblano Castro** por su dedicación paciencia y amor, por todo el apoyo recibido para terminar este documento para cerrar un círculo más, por todas las enseñanzas de vida que me ha dado y alentarme a avanzar cada día más, venciendo cualquier reto que se nos presenta.

Infinito agradecimiento al **Mtro. Jorge Rangel Dávalos** por todo el apoyo por animarme a concluir este documento, sacarlo del letargo en el que se encontraba y lidiar con mis ideas necias.

Al **Dr. Luis Fernando Guerrero Baca**, muchas gracias por todos esos aportes para realización de este documento, por todos sus consejos, ayuda bibliográfica, estoy infinitamente agradecido y espero seguir contando con su amistad y apoyo para seguir avanzando en este mundo de la arquitectura de tierra que consideramos está iniciando en la investigación.

Mi agradecimiento para el **Dr. Alejandro Solano Vega** que a lo largo de este tiempo me apoyó en los semestres de la maestría y después en retomar la tesis para terminarla, muchas gracias por las revisiones y las pertinentes correcciones, compartimos el gusto por el trabajo con materiales de bajo impacto ambiental, con esta gran experiencia de trabajo ha sido un gran aporte para cerrar este círculo de mi vida.

A mis amigos y profesores **Mtro. Juan Ricardo Alarcón Martínez, Mtro. Juan Manuel Everardo Carballo Cruz**, por su apoyo invaluable por su amistad, gracias por todos los años que hemos compartido una bonita amistad, espero que tengamos muchos años más de unión en el grupo del Laboratorio de Investigación Tecnológica.

Un agradecimiento muy especial para la **Mtra. María de Jesús Gómez Cruz**, Directora de la División de Ciencias y Artes para el Diseño de la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Xochimilco por el apoyo infinito que me ha brindado a nivel personal, fue de mucha ayuda para terminar este documento y avanzar en mis logros académicos. ¡¡¡MUCHAS GRACIAS CHUY!!!!

Muchas gracias a mis compañeros **Mtra. Noemí Bravo Reyna, D.I. Diemel Hernández Unzueta, Arq. Eduardo Paulino Almaraz**, gracias por su apoyo por su comprensión y sobre todo por su amistad.

A mi familia, a mis papás **Elvira y Juan** por su ejemplo de trabajo, a mis hermanos, a mi familia de Xochimilco Jojo y Chale, a todos ellos muchas gracias por estar cuando más se necesitan.

Todo mi agradecimiento a la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Xochimilco, al Laboratorio de Investigación Tecnológica, que ahí pase largos fines de semana trabajando las muestras, experimentando para lograr terminar este documento.

Resumen.

El tema de la investigación del sistema constructivo con tierra es relativamente nuevo, pocos han incursionado en él, ha habido muchos aciertos todos muy valiosos para los que continuamos en esto retomando este camino andado para no empezar de cero, la preocupación que da motivo a esta investigación es el comportamiento del adobe como parte de este sistema constructivo, la poca resistencia que presenta al probarlo a la compresión, la nula fortaleza a la humedad y su vulnerabilidad ante el ataque de los insectos por estar hechos con materia orgánica, trabajamos estas tres debilidades obteniendo muy buenos resultados, pasamos por la formulación de una hipótesis, objetivos general y particulares, conformamos una fórmula de trabajo llegamos a la fabricación de las muestras y a la experimentación, trabajamos con diferentes dosificaciones de los diferentes estabilizadores, hicimos un análisis previo de la calidad de la tierra, que llamamos caracterización de tierra, donde analizamos granulometría y humedad natural, todo esto para aplicar la prueba Eades & Grim para estabilizar con cal, logrando así un trabajo correcto. El paso siguiente fue la fabricación de las probetas ya una vez listas pues pasamos a la fase de pruebas donde obtuvimos muy buenos avances.

En la prueba de resistencia a la compresión el resultado fue bastante bueno ya que nos dimos cuenta que no toda la tierra se puede mejorar, que podemos modificar, que podemos mejorar la tierra modificando sus proporciones de arena o arcilla, la resistencia a la humedad se mejoró muchísimo ya que ahora podemos sumergir las piezas en agua sin temor a que haya alguna pérdida de material y esto ocasioné que se pierdan piezas en un muro en caso de una inundación.

Todos estos resultados se pusieron en práctica con los alumnos con alumnos de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) en el Laboratorio de Investigación Tecnológica, de la Unidad Xochimilco, en varios eventos como son la semana de la tecnología y algún congreso para la presentación de temas de investigación, con el resultado se logró diseñar un mortero para el junteo de Bloques de Tierra Comprimida (BTC), una muestra de este mortero se mantiene sumergido en agua por casi un año sin tener alguna modificación o alteración física.

Abstract.

The theme of the research building system with soil is relatively new, few have dabbled in it, there have been many successes all very valuable for those who continue in this retaking the path taken not to start from zero, the concern which gives reason to this research is the behavior of adobe as part of this construction system, low resistance presented to prove to compression, no strength to moisture and their vulnerability to insect attack to be made with organic matter, we work these three weaknesses very good results, we passed through the formulation of a hypothesis, overall objectives and individuals, we formed a working formula we use in the manufacture of samples and experimentation, work with different dosages of the various stabilizers, we did a preliminary analysis of the quality land, we call characterization of land, where we analyze particle size and natural moisture, all to apply the test to stabilize Eades & Grim lime, achieving a proper job. The next step was the manufacture of test specimens and once ready as we move on to the testing phase where we got very good progress.

In testing compressive strength the result was pretty good because we realized that not all land can be improved, we can change, we can improve the soil modifying their proportions of sand or clay, resistance to moisture he improved a lot since we can now immerse the pieces in water without fear that there is some loss of material and this causes that parts are lost on a wall in case of a flood.

All these results were implemented with students with students from the Autonomous Metropolitan University (UAM) in the Laboratory of Technological Research of Xochimilco, at various events as are the week of technology and a congress for the presentation of topics research, with the result it was possible to design a mortar for jointing of Compressed Earth Blocks (BTC), a sample of this mortar is kept immersed in water for almost a year without any modification or physical alteration.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	10
ESTADO DEL ARTE	16
Arquitectura y Construcción con Tierra en Iberoamérica: Pasado, Hoy y Futuro	16
La Construcción con Tierra en Zonas Húmedas Caso Tampico	17
Propiedades Físicas y Mecánicas de Materiales de Arcilla	18
CAPÍTULO I LA ARQUITECTURA DE TIERRA	20
1.1 Bajareque.	20
1.1.1 Fabricación del bajareque.	20
1.2 Tapial.	21
1.2.1 Fabricación del Tapial.	21
1.3 Adobe.	24
1.3.1 Fabricación de adobe	24
1.3.2 Pruebas de campo para los adobes.	28
1.3.3 Fallas en las construcciones de adobe.	28
1.3.4 Resistencia a la compresión	28
1.4 Bloque de Tierra Comprimida (BTC).	29
CAPITULO II ESTABILIZADORES DE LA TIERRA	31
2.1 La cal.	32
2.2. El Cemento como estabilizador.	32
2.3 Arena y Arcilla.	33
2.4 Paja, Fibras de Vegetales.	33
2.5 Jugos de Plantas	34
2.6 Cenizas de Madera	34
2.7 Excremento de Animal.	35
2.8 Otros Productos Animales	35
2.9 Yeso	35
2.10 Asfalto	36
2.11 Estabilizadores Comerciales	37
2.12 Resinas	38
2.13 Sueros	38
2.14 Melaza	38
CAPÍTULO III TRATAMIENTO DEL SUELO CON CAL	40
3.1 Factores potencialmente adversos.	40
3.1.1 Contenido de sulfatos solubles.	40
3.2 Diseño de Tratamiento	40

3.3	Análisis previo de los suelos	41
3.3.1	Cálculo del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad:	41
3.3.2	Análisis Granulométrico:	46
3.3.3	Humedad Natural:	50
3.4	Control de calidad de estabilizaciones con cal.	52
3.5	Prueba eades & grim.	52
3.6	Fórmula de trabajo	56
CAPITULO IV ELABORACIÓN Y PRUEBA DE LAS MUESTRAS		58
4.1	Variables.	58
4.2	Proceso de elaboración de las muestras.	59
4.2.1	Pasos a seguir para elaborar las muestras.	59
4.3	Pruebas a las que serán sometidas las muestras.	63
4.3.1	Pruebas de carga a compresión.	63
4.3.2	Prueba de absorción de agua.	66
Conclusiones.		70
REFERENCIAS:		74
ANEXOS.		77
Anexo 1.		77
Método de prueba estándar para El uso de pH para estimar las necesidades de suelo-cal		
Proporción de Estabilización de Suelos 1		77
Anexo 2.		81
Método de prueba estándar para Análisis de tamiz fino y grueso en Agregados 1		81
Anexo 3.		85
NMX-C-037-0NNCCE-2005 Determinación de la absorción de agua en bloques de concreto y ladrillos.		85
Anexo 4.		92
NMX-C-441-0NNCCE-2005 Bloques, Tabiques o Ladrillos y Tabicones Para Uso no Estructural.		
Especificaciones.		92
Anexo 5.		100
Cales Para La Construcción. Definiciones, especificaciones y criterios de conformidad.		100

INTRODUCCIÓN



INTRODUCCIÓN

El derecho a la vivienda en México, tiene sustento además de en su reconocimiento jurídico en LA CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS en el Título Primero, Capítulo I de las garantías individuales expresa que, toda familia tiene derecho a disfrutar de vivienda digna y decorosa. La ley establecerá los instrumentos y apoyos necesarios a fin de alcanzar tal objetivo. (Adicionado mediante decreto publicado en el diario oficial de la federación el 07 de febrero de 1983. el decreto dice que es reforma) en los compromisos internacionales que el gobierno federal ha contraído con fines de proteger los derechos humanos de los habitantes de la nación. En primer término se ubica, naturalmente, La Declaración Universal de Derechos Humanos (DUDH), que en su artículo 25 estipula el derecho de toda persona y su familia a un nivel de vida adecuado que le asegure la salud y el bienestar, y en especial la alimentación, el vestido y la vivienda²¹.

Según el Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales (PIDESC-1966).

ARTÍCULO

11

*1. Los Estados Partes en el presente Pacto reconocen el derecho de toda persona a un nivel de vida adecuado para sí y su familia, incluso alimentación, vestido y vivienda adecuados, y a una mejora continua de las condiciones de existencia. Los Estados Partes tomarán medidas apropiadas para asegurar la efectividad.*²²

El cuidado en la selección de los materiales con los que se construirá una futura vivienda, es fundamental para conseguir nuestros objetivos de construir una vivienda sana. La calidad de está es un factor básico para el bienestar de los habitantes de la ciudad. El proporcionar a la población una vivienda digna y de buena calidad no implica necesariamente elevar los costos de construcción.

Desde la elección de los materiales de construcción pueden hacerse aportaciones para mejorar las condiciones de la vivienda de interés social, así como la preservación del equilibrio ecológico

Teniendo en cuenta que *la vivienda es esencial y de una importancia vital en el desarrollo biológico, cultural, social, espiritual, psicológico y económico de la población*²³, no puede ser considerada como un simple espacio o lugar, porque este género arquitectónico es el escenario principal de la vida cotidiana de cualquier ser humano, *es el elemento fundamental en el conjunto del hábitat humano*²⁴, y es aquí donde interactúan los aspectos humanos así como los aspectos materiales que constituyen el eje principal del estudio de la vivienda.

El tema de la vivienda es un problema generalizado y Naciones Unidas estima que hoy viven en tugurios 1,100 millones de personas y que la tendencia indica un incremento de esa cifra en

21 Guillermo Olivera Lozano, El Derecho a la Vivienda, Pág. 276, Urbanismo y Vivienda, 2004.

22 <http://www.ordenjuridico.gob.mx/TratInt/Derechos%20Humanos/D50.pdf>

23 Salgado Gómez Antonio, La Vivienda, en busca del sentido perdido, pág. 24.

24 Salgado Gómez Antonio, La Vivienda, en busca del sentido perdido, pág. 22

600 millones más para el 2020²⁵. , entre uno y dos tercios de las familias urbanas no tienen fondos suficientes para comprar una casa en el mercado, y aunque los arquitectos hablan de viviendas de bajo costo, la mayoría de la población necesita vivienda casi sin costo alguno.

Es posible entonces que la una solución práctica que tengamos sea fijarnos en la tradición de los antiguos sistemas constructivos que hemos heredado y entre ellos el uso del adobe, material barato y de gran durabilidad como lo demuestran incontables obras que han perdurado durante siglos.

Esta es una investigación con enfoque experimental, en donde manipularemos las variables, que serán las diferentes muestras que analizaremos, el efecto que provoca a la materia prima con el uso de diferentes estabilizadores.

Equivalencias estadísticas: reuniremos las probetas en grupos equivalentes para que de esta forma las diferencias en los resultados no sean provocados, formaremos grupos de 6 elementos para cada prueba con las mismas características.

Comparación de grupos: es necesario que haya un mínimo de dos grupos de probetas para establecer comparaciones entre ellas, usaremos un grupo de control que será fabricado sin ninguna alteración y dos o más grupos donde se aplicaran las variables, dentro de las cuales tendremos la cal y el cemento.

Manipulación directa de la variable independiente: un experimento consiste en manipular variables independientes para observar su efecto en las variables dependientes, las variables serán manipuladas, es decir experimentaremos con las dosificaciones para lograr nuestros resultados, recurriremos a algún método para iniciar la propuesta de proporcionamiento y partiremos de ese punto.

Medición de cada una de las variables dependientes: deben poder asignarse valores numéricos a las variables dependientes. Si el resultado de la investigación no puede ser medido ni cuantificado de este modo, difícilmente hablaremos de una investigación experimental. En el caso de las pruebas para la resistencia de las cargas a compresión, usaremos una maquina universal para pruebas de compresión para morteros, estas muestras tendrán las medidas y especificaciones requeridas por la norma ASTM C 109 / C109M-95 método de prueba estándar para la resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico (usando especímenes de 2 pulgadas o de [50 mm])

Uso de la estadística inferencial: la estadística inferencial nos permite hacer generalizaciones a partir de las muestras de sujetos analizadas. Ocuparemos muestras de 6 elementos cada una, después de someterlos a los pruebas descartaremos el resultado más alto, el más bajo y de los restantes casaremos un promedio así podremos hacer una generalización con los resultados de nuestras muestras analizadas

25 Fuente: Extracto del discurso de Enrique Ortiz Flores, Pdte. de la HIC en la sesión inaugural del 3er Foro Urbano Mundial

Control máximo de variables extrañas: de esta manera nos aseguramos que este tipo de variables no influyen en la variable dependiente, o si influyen, lo hacen de un modo homogéneo en todos los grupos. Para evitar que tengamos alguna variable extraña para cada grupo de especímenes usaremos la materia prima del mismo banco con las mismas condiciones de humedad, de temperatura, etc. Los mismos tiempos de mezclado de fraguado en los moldes, y de secado, también la misma calidad de los agregados.



a l
ya

Ilustración. Murallas de Jericó. Img. Murallas de Jericó. Recuperado de <http://www.traveladventures.org/>

economía se continuó usando el adobe, y gracias a esto ha llegado a nuestros días.

Debido a la escasez de materiales y a los buenos resultados que ha cosechado el proyecto de construcción de viviendas de bajo costo, se asegura que el estudio e investigación de cualquier técnica constructiva o material de construcción que pueda constituir un material de bajo costo, constituye un avance de incalculable valor para solventar el problema de la vivienda.

Como el adobe posee como materia prima la tierra o el barro, para prevenir las grietas que se originan el proceso de secado y endurecimiento, como material de refuerzo se utiliza la paja. En muchas excavaciones se han encontrado testimonio del uso de paja como material de refuerzo.

La aparición de este material data desde la antigua Cultura Egipcia, según el Antiguo Testamento, en el siglo XIII A.C. el Faraón Ramsés II, ordeno al pueblo Hebreo, en cautiverio la elaboración de adobe, sin utilizar refuerza de paja. Los hebreos consideraban que no era factible la elaboración de buenos adobes, sin utilizar refuerzo de paja, y Moisés, al frente del pueblo, huyó de Egipto.

Tanto en el valle de Chicama, Perú y la Mesopotamia de Eridú (Actualmente en Iraq) se inventó la caja de molde en el tercer milenio A.C. Los dos principales métodos de la edificación de tierra están basados sobre esas técnicas, la formación del adobe y la construcción mediante la tierra apisonada.

Las pirámides fueron construidas por la civilización pre-incaica en el Perú; los aztecas y los Toltecas en México, la gran masa de tierra con delgadas coberturas de protección con material duro.

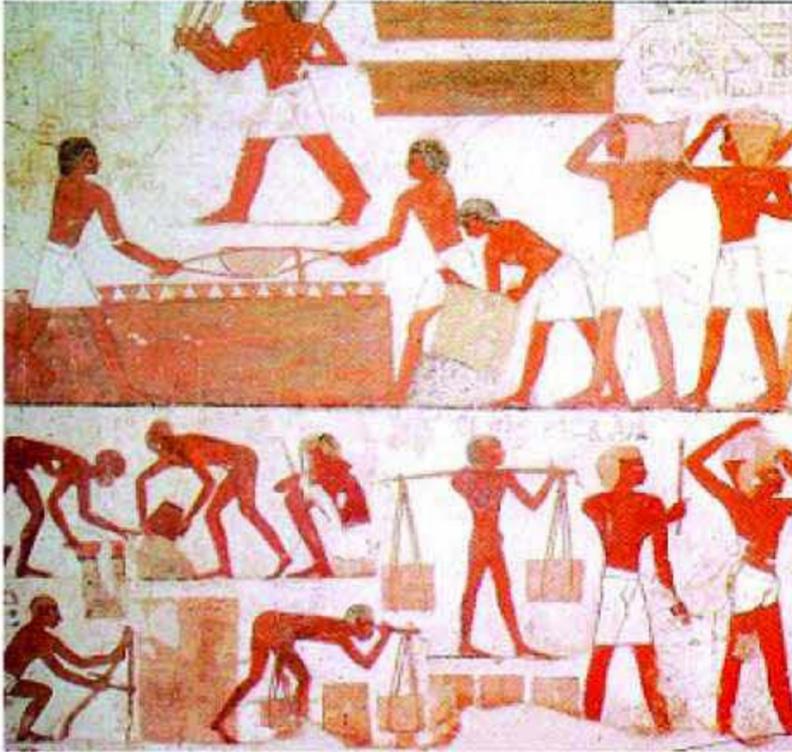


Ilustración del Mural que muestra la fabricación de ladrillos para la construcción de viviendas. Recuperado de <http://www.socialhizo.com/historia/edad-antigua/egipto-sociedad-y-vida-cotidiana>

A través de la historia de la humanidad, desde las murallas de Jericó o de la época de la gran cultera egipcia de los faraones, Hebreos y Moisés; pasando por las culturas que florecieron en Asia, África y Europa, hasta Norte América, casas de 4 a 5 pisos que aún se mantienen en pie; así como de las grandes casonas e iglesias peruanas de la época colonial, el hombre ha utilizado la tierra para erigir sus edificios, y es por eso el material más antiguo de construcción sigue siendo el más popular, y nos sorprende si escuchamos que un tercio de la humanidad habiten en viviendas hechas con tierra. Como es natural, la tierra como material ha sido sometida a diferentes experimentos y como resultado hoy ya podemos contar con los adelantos de la moderna tecnología al servicio de la construcción de adobe, nos referimos a la técnica del suelo estabilizado.



Ilustración. Valle de Chicama. Recuperado de <http://archaeomorsa.blogspot.mx/2005/12/nuevo-museo-en-trujillo.html>

Las murallas de Jericó (palestina) es el asiento de más temprana evidencia en la construcción con barro secado al sol amasado a mano, 9 mil antes de Cristo.

Esta es una investigación experimental que propone a manera de hipótesis que al aprovechar las propiedades físicas de la tierra y habilitándole las propiedades de otro material por medios artificiales podemos encontrar la manera de mejorar los adobes con los que se construye en algunas partes de la república mexicana incrementando su capacidad para resistir las cargas a compresión que en la actualidad es de 6 a 8 kilogramos por centímetro cuadrado y la resistencia a la humedad que es una de las desventajas que tiene este material con respecto a otros de uso común en la construcción de viviendas.

Para llevar a cabo esta investigación tendremos que definir los objetivos tanto el general como los particulares, en este momento nos ocupa el objetivo general que es poner en manos de la población una técnica de autoconstrucción de bajo costo ante la problemática de vivienda en México, no dejando de lado el aspecto sustentable con el menor impacto ambiental ya que al adicionarle algún otro material podemos afectar su carácter de ecológico. Nos apoyaremos en objetivos particulares, de estos el primero es demostrar la eficiencia del adobe como sistema constructivo y de bajo costo accesible en casi todo el territorio nacional, como segundo tendremos que alcanzar un uso sustentable del adobe estabilizado y su tecnología con la posibilidad de adaptación a las condiciones climáticas de cada región de México, el tercero será que una vez lograda la investigación se pondrá en marcha por medio de prácticas en el Laboratorio de Investigación Tecnológica de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco, y por ultimo debemos tener el cuidado de seleccionar materiales constructivos que por su bajo impacto ambiental ayude a mejorar el confort interior-externo de las viviendas, pero además de tener cualidades tecnológicas ambientales tengan cualidades estéticas que mejoren el entorno urbano del lugar.

En la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), Lima, Perú, se han realizado múltiples investigaciones en edificaciones de adobe reforzadas con caña (Blondet y otros, 2002). El primer proyecto de investigación desarrollado en la PUCP en 1972 consistió en el estudio experimental de varias alternativas, con materiales disponibles en zonas rurales, para el refuerzo estructural de casas de adobe. Los modelos fueron contruidos sobre una plataforma de concreto. El ensayo consistió en inclinar lentamente la plataforma y medir el ángulo de inclinación en el momento del colapso. La componente lateral del peso del modelo fue usada para cuantificar la máxima fuerza sísmica. La conclusión principal fue que un refuerzo interior logrado con caña vertical, combinado con caña horizontal aplastada colocada cada cuatro hiladas, aumentaba considerablemente la resistencia de los modelos.

La ingeniera civil, María Dolores Servín Lugo, realiza una investigación con los suelos de diferentes municipios, la finalidad es que las personas de bajos recursos sean capaces de elaborar adobes de buena calidad que no contaminen y crear una alternativa factible para que puedan tener una vivienda digna. Los municipios elegidos para esta investigación son los que INEGI señala con menor bienestar en el Estado de Querétaro y son: Arroyo Seco, Jalpan de Serra, Landa de Matamoros, Peña Miller, San Joaquín, Cadereyta y Pinal de Amoles; este último cuenta con el menor nivel de bienestar y sin embargo es el que ha obtenido mejores resultados.

Los suelos pertenecientes a cada municipio fueron clasificados mediante el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Después de obtener esta clasificación, María Dolores Servín prosiguió a la primera fase de la experimentación que es la elaboración de los adobes con cada tipo de suelo y observar su comportamiento a lo largo de veintiocho días, que es lo que dura aproximadamente en secarse completamente el adobe. En algunos casos utilizó cal y cemento para aumentar la resistencia; usó estos ingredientes pues son fáciles de conseguir pero fue muy cuidadosa en el porcentaje aplicado pues si excedía cierta cantidad ya no era factible para que la gente de escasos recursos tuviera acceso a este tipo de adobe. Sin embargo, María Dolores Servín concluyó que estas sustancias no son recomendables por el costo y el comportamiento inestable que presentaron los tipos de suelo.

La segunda fase consiste en someter a los adobes que se procesaron, satisfactoriamente, a una prueba de resistencia, es decir cuánto peso es capaz de soportar el adobe sin romperse. El mejor evaluado en esta fase fue el de Pinal de Amoles, ya que excede el estándar que impone la Norma Oficial Mexicana(NOM) para ladrillos y bloques que es de un mínimo de 50 kg/cm² y este adobe obtuvo una resistencia de 59 kg/cm². Lo interesante es que al suelo natural de Pinal de Amoles no se le agregó ni cal ni cemento y fue el mejor de los siete suelos estudiados pues fue el único que cumplió con el nivel de resistencia necesaria.

La última fase que actualmente se encuentra elaborando, es exponer a los adobes que obtuvieron mejores resultados a condiciones climáticas comunes y corrientes dependiendo de su región; esta fase permitirá tener un estudio completo acerca de la resistencia de cada adobe a determinados cambios climáticos.

ESTADO DEL ARTE

Arquitectura y Construcción con Tierra en Iberoamérica: Pasado, Hoy y Futuro

Se discute actualmente la Arquitectura y la Construcción con Tierra bajo nuevas ópticas, debido principalmente a sus adecuaciones a las necesidades actuales de la Sociedad para el afronto el desgaste del ambiente construido que las tecnologías tradicionales tienen provocándole al ambiente natural. Instituciones y profesionales diversos buscar revisar los “paradigmas” del proceso de edificar y de morar de modo a reconciliar el concepto de sustentabilidad ecológica en la construcción y las posibilidades de construcción menos impactante y de bajo costo.

El uso de la tierra en la construcción se puede clasificar de tres niveles:

- La supervivencia de los sistemas constructivos más primitivos generados por la carencia en que viven algunas poblaciones, comprobando que la Arquitectura y Construcción con Tierra es una tecnología “viva” y que, en algunas situaciones, es la única opción del individuo o de comunidades para construir su cobijo;

- Las investigaciones e incentivos de profesionales e instituciones comprometidas con el tema para el uso de técnicas innovadoras coherentes, caracterizadas por la simplicidad, eficiencia y bajo costo;

- Y, más recientemente, la búsqueda y la oferta para formación, entrenamiento y capacitación, probablemente estimulada por los nuevos paradigmas de la construcción sostenible.

El hecho de que estas técnicas no sean masivas y hoy se presenten marginalmente se debe a las exigencias del mercado de materiales y al sistema de producción industrializado del hábitat, aunque, en el presente siglo, la tierra como material crudo haya tomado gran importancia dentro de la valoración de la arquitectura y la construcción ecológicas y sostenibles, la formación y la transmisión del conocimiento sigue siendo una suma de voluntades.

- El principio se pasa a reconocer la Arquitectura y Construcción con Tierra como una de las tecnologías más coherentes con el momento actual: ella sale de un estado de hibernación y se torna agente de modernidad, en respuesta a la sustentabilidad del ambiente construido y a los anhelos de la sociedad en adoptar tecnologías de bajo impacto ambiental. (Neves, 2007)

La Construcción con Tierra en Zonas Húmedas Caso Tampico²¹

En este trabajo se expresan los resultados de la investigación realizada en Tampico Tamaulipas, México, con relación a los trabajos de edificación de la vivienda a base de BTC y sus comportamientos con el clima, cálido húmedo, en el se muestran los efectos que durante los primeros 6 meses de construcción de humedad ha tenido sobre el BTC. Los cuales fueron previamente ensayados bajo condiciones severas de humedad, con lo cual se determino el tipo de estabilizante y su porcentaje.

En los últimos años la vivienda en la región de la zona sur de Tamaulipas ha generado diversos problemas, uno de ellos se relaciona directamente con la utilización de los materiales, con los que es identificada, específicamente la materia prima que se utiliza para la fabricación de ésta, es traída de lugares lejanos, motivo que hace elevar el costo de adquisición del material y por ende de la vivienda.

Esta situación fue el móvil para tratar sobre el particular en la presente investigación cuyo resultado se consideran importantes para los profesionales al ramo de la construcción y en especial al ramo de la vivienda, destaca entre otros detalles un producto barato, con las características técnicas adecuadas para ser utilizado en la zona conturbada de la Desembocadura del río Pánuco en especial lo referente a la resistencia a la humedad.

Las actividades de investigación se iniciaron en el año 1989 en el laboratorio de materiales de la Facultad de Arquitectura, que facilito las instalaciones y el equipo necesario para tal efecto.

Desarrollo: En la primera etapa de la investigación se procedió a determinar el procedimiento de estabilización de los BTC, experimentándose con la cal y el cemento como los más viables.

PRUEBAS	PROCEDIMIENTO	RESULTADOS
A LA COMPRESIÓN	Según normas ASTM-C 140-75	26 kg/cm ²
A LA RESISTENCIA AL IMPACTO DE AGUA	Se aplico un chorro de agua a una distancia de 50 cm., durante 15, 30,60, 90, y 120 minutos.	Se produjo una perforación de 6 cm. De diámetro y 5 mm. De profundidad.
RESISTENCIA A LA HUMEDAD	Se sumergieron los tabiques en agua durante 3 semanas.	Se redujo la resistencia a compresión en un 20%
RESISTENCIA AL INTEMPERISMO	Se fabricaron paredes de 2.0 mts. De alto y se dejaron al intemperie durante 6 meses.	Sin deterioro
A LA CONTRACCIÓN POR SECA-DO	Por medición directa del producto	Deformación.

Tabla 1. Resultados obtenidos en la estabilización con cal.

Roux, R. (2010). Los Bloques de Tierra Comprimida (BTC)

21 Rubén Salvador Roux Gutiérrez, Los Bloques de Tierra Comprimida (BTC), Pag 27 Arquitectura y Urbanismo mayo 2010.

Como conclusiones de este trabajo se obtuvo lo siguiente:

1. El modo de estabilización más adecuado para estas condiciones climáticas de la región de Tampico es el cemento Portland.
2. El proceso de fabricación más adecuado es el de prensado hidráulico, para una mejor compactación del tabique.
3. El BTC cumple con los requerimientos de la norma oficial Mexicana NOM-C-6-1976, en lo referente a la resistencia y en lo que se refiere a la absorción de agua también. (Roux, Espuna, García y Aranda, 2007).

Propiedades Físicas y Mecánicas de Materiales de Arcilla

En este trabajo se caracterizaron las arcillas que componen los adobes, así como las propiedades físicas y mecánicas de la muestra testigo de arcilla, comparados con los especímenes elaborados con estabilizantes como cal ó yeso de proporciones de 2, 4, 6, 8 y 10% en peso de la arcilla, en condiciones de laboratorio. Las pruebas realizadas son las indicadas por el SUCS y los reglamentos de construcción vigente, para su uso como material de construcción estructural en muros para obra de tipo civil.

La cal y el yeso empleados para el presente trabajo son de grado industrial. El mineral de yeso es un sulfato de calcio semihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$).

Este trabajo hace una comparación entre las propiedades índices de los adobes estabilizados con yeso y cal y un material testigo sin estabilizante, y su nivel de estabilización volumétrica, en función de las proporciones diferentes del estabilizante y con Arcillas provenientes de la región donde actualmente se explotan para uso como material cerámico: ladrillos, tejas, baldosas.

Con las mezclas se elaboraron especímenes cúbicos, briquetas, vigas o prismas, para evaluar las propiedades mecánicas según los estándares de la ASTM (2000)

Se realizó también una mezcla testigo de arcilla sin estabilizantes minerales para fines de comparación con los valores incluidos en los reglamentos de construcción vigentes.

Como conclusiones de este trabajo se obtuvo lo siguiente:

1. Mayor estabilidad volumétrica y resistencia mecánica en los adobes que fueron estabilizados con cal y yeso, mejor que con los que no fueron estabilizados.
2. Se destacan las proporciones de 4 y 8 por ciento en proporción en peso de estabilizante mineral como cal y yeso en función de la arcilla.
3. El empleo de arenas como, parte integral de la arcillas, incrementa también la resistencia mecánica.
4. Las proporciones mayores al 10% en peso de yeso o cal difumina el color de las arcillas y porcentajes altos no permiten su optima compactación.

Capítulo

I

LA ARQUITECTURA DE TIERRA



CAPÍTULO I LA ARQUITECTURA DE TIERRA

En la tradición de construcción con barro existen numerosas técnicas con una infinidad de variantes que traducen la identidad de los lugares y su cultura.

Entre ellos, cuatro resurgen como técnicas de mayor uso.

1.1 Bajareque.

1.1.1 Fabricación del bajareque.

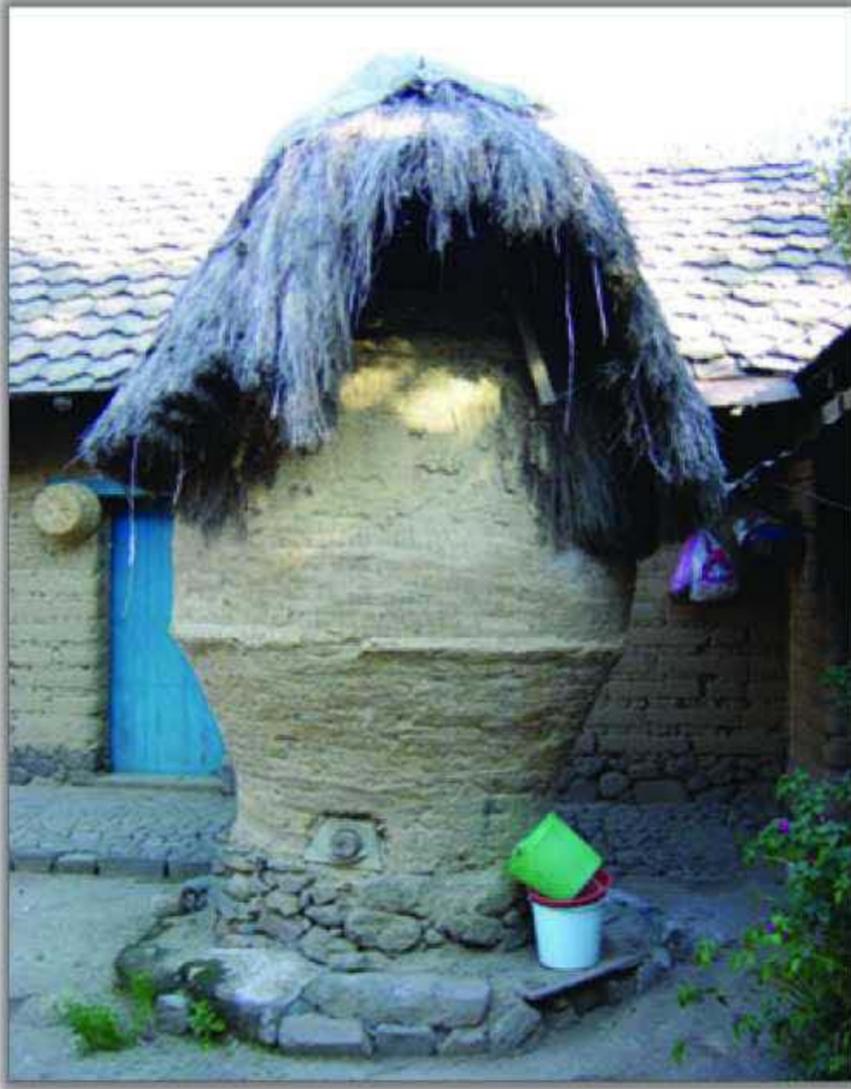
La técnica consiste en el agregado de lodo arcilloso mezclado con fibras vegetales o estiércol en capas de 3 a 6 cm de espesor, en una o ambas caras de una estructura muraria armada a base de carrizos, cañas o varas flexibles que forman una retícula trenzada la cual se va amarrando a postes clavados en el suelo .

Para evitar deformaciones o agrietamientos en los muros, antes de iniciar la aplicación del barro, la estructura portante de la construcción hecha generalmente a base de horcones de madera, se arma por completo, procediéndose al techado de modo que existía una protección ante la intemperie viento, lluvia y sol durante la ejecución del embarrado, pues podrían generarse deformaciones o agrietamientos en los muros.

Posteriormente se procede a cubrir las superficies embarradas con una mezcla aguada del mismo barro, a veces enriquecido con cal, que finalmente se pinta para su mejor aspecto y protección.



Img. Bajareque con armadura de acero, http://www.marcelocortes.cl/proyectos/proyecto_descripcion.php?id=207



Img.Cuescomate

funciones principalmente: la de cimentación, la de aislamiento de la estructura contra la humedad del suelo y la protección de los muros contra los roedores.

La pared perimetral está constituida de un armazón de varas entretejidas cuidadosamente y recubierta por ambos lados con lodo mezclado con paja finalmente cortada.”²¹

En su libro “La arquitectura de Tierra en México” el Dr. Guerrero Baca comenta sobre los cuescomates

“Dentro del concepto de construcción con bajareque es necesario destacarlos “cuexcomatl” o cuescomates.

Estos pequeños silos, cuyo origen se remonta a la época prehispánica, presentan dimensiones generalmente adecuada para la conservación de la cosecha de maíz obtenida por una parcela familiar.

El cuescomate original, el de más pura tradición prehispánica, se encuentra ya únicamente en el estado de Morelos, especialmente en el sureste y colindancia con Guerrero y Puebla. Es de forma ahuesada, con base cilíndrica de unos 2 a 3 metros de diámetro que se ensancha en su parte media y termina con un truncado.

La base se de piedra mamposteada y cumple tres fun-

1.2 Tapial.

1.2.1 Fabricación del Tapial.

El Dr. Guerrero Baca define al tapial como:

“Se conoce también como tierra apisonada, pisón o tierra entibada y consiste en la construcción de bloques seccionales de muro de dos o tres metros de alto y cincuenta centímetros de ancho, con tierra compactada dentro de una cimbra o encofrado, que se va desplazando una vez concluida cada sección, ya sea de modo horizontal construyéndose hiladas completas, o de modo vertical para terminar secciones con la altura total que tendrá el muro.”²²

21 GUERRERO L.F, (1994) “Arquitectura de Tiera en México” México (1ª Edición) UAM-A, Pag. 32

22 GUERRERO L.F, (1994) “Arquitectura de Tiera en México” México (1ª Edición) UAM-A, Pag. 35

En función de las dimensiones del molde; los más habituales son de 1.5 m de largo, 1 m de



Img. Tapial construido por alumnos de la carrera de Arquitectura de la UAM-X, fuente fototeca del autor.

altura y 0.5 m de espesor. Pueden emplearse estabilizadores como la paja, la cal, el estiércol, etc.

Sobre el proceso de fabricación del tapial nos platica el Dr. Guerrero Baca lo siguiente:

“La cimbra se coloca sobre la cimentación o sobre la hilada inferior y es llenada con tierra que contenga más arena que limo y arcilla, para evitar contracciones posteriores al secado y va siendo compactada capa por capa mediante



Img. Vivienda hecha con el sistema constructivo de tapias. fuente <http://hombresdemaiz.com.mx/v2/wp-content/uploads/2014/11/la-compresión-de-la-tapia> hasta terminarse cada bloque.”²³

23 GUERRERO L.F, (1994) “Arquitectura de Tierra en México” México (1ª Edición) UAM-A, Pag. 36

Como no tiene demasiada humedad el material empleado, se puede retirar la cimbra poco tiempo después de haberse compactado la última capa y ser desplazada vertical u horizontalmente para iniciarse el siguiente bloque, de modo que la construcción se realiza con bastante rapidez.

Presenta nobles ventajas sobre las otras técnicas al referir poco uso de agua, no presenta pudrimientos ni parásitos por no incluir vegetales en las mezclas de tierra ni en la estructura, además de que no se contraen ni deforman los muros al ir secando la construcción.²⁴

En España se conoce y utiliza desde hace siglos la tecnología de tierra apisonada bajo la denominación de tapia. Esta variante, que incorpora cal a la mezcla de barro, opera basándose en el uso de moldes modulares de madera denominados "tapiales" que permiten construir paños de paredes con material comprimido (ajustándose previamente al ancho deseado) y que luego se solapan en bordes angulados para lograr su unión definitiva. Tradicionalmente se identifican dos tipos de tapia: la tapia real que incorpora cal mezclada con barro y la tapia común que opera basada en barro únicamente. La materia prima utilizada en la construcción de tapia y, en general, de todos los sistemas constructivos que hacen uso de tierra, debe ser cuidadosamente cernida a objeto de eliminar impurezas vegetales que, al pudrirse, pueden originar cavidades y deformaciones en el interior del producto acabado. Igualmente, deben eliminarse guijarros cuando su tamaño afecte las condiciones de coherencia de la pasta del material a ser producido.

En los últimos años, la actualización de la tecnología de tierra apisonada en lo relativo a sus aspectos ingenieriles y de mecanización, incorporando técnicas y maquinaria moderna a su proceso de construcción, ha contribuido poderosamente a su reincorporación competitiva en el mundo de las tecnologías de construcción. Abanderadas en la recuperación de dicha tecnología figuran, al igual que en adobe, los países de Nueva Zelanda y Australia.²⁵



Img.Acabados en una casa construida con Tapial.

Fuente: <http://www.unacasaecologica.com/interiores/adobe/2016>

24 GUERRERO L.F, (1994) "Arquitectura de Tierra en México" México (1ª Edición) UAM-A, Pag. 36

25 http://maoatuesta.blogspot.mx/2009_11_01_archive.html

Las paredes construidas con tierra apisonada continuarán endureciéndose durante el primer año de su construcción.

Resistencia a la compresión:

- tapial sin refuerzo 19.27 kg/cm²
- tapial con refuerzo de paja 15.32 kg/cm²
- tapial con refuerzo de pino 14.97 kg/cm²

Resistencia al corte:

- tapial sin refuerzo 3.46 Kg/cm²
- tapial con refuerzo de paja 3.32 kg/cm²
- tapial con refuerzo de pino 2.43 kg/cm²²⁶

1.3 Adobe.

Esta técnica consiste en la fabricación de bloques de tierra totalmente saturada de agua, para su moldeo se utiliza una adobera hecha de madera con diferentes dimensiones y esto corresponde a los diferentes climas donde son utilizados, es importante señalar que estos bloques son secados al sol sin utilizar otro tipo de energía, a esto se le define como tierra cruda el secado puede llevar hasta cuatro semanas para ser utilizados en la construcción



Img. Adobe tradicional fresco.
Fotografía tomada de la fototeca del autor

1.3.1 Fabricación de adobe

Búsqueda de la tierra adecuada:

La tierra con la que se elabora el adobe, debe estar limpia, sin piedras ni desperdicios. Debe tener un balance apropiado de arena y arcilla. Suelos arcillosos ocasionan demasiado encogimiento y rajaduras. Suelos arenosos no tienen suficiente unión entre partículas los adobes se desmoronan. Suelos con excesivo contenido de material orgánica no son aptos para la construcción, por su baja resistencia y poca duración ante la humedad. Los suelos con sales solubles, atrae la humedad. Se debe rechazar esta clase de suelo.

Selección de la tierra.

26 <http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/732/3/Vaca%20Merino%20Lorena.pdf>

Se puede tomar como referencia, la procedencia de los suelos ya utilizados en la construcción del adobe, y pedir datos a los pobladores ya asentados.

En la selección de las minas, deberá hacerse primero un reconocimiento de la zona vecina, en una distancia fijada por la facilidad de transporte.

Se deberá elegir el lugar donde se abra de moldear los adobes, y para esto se requiere de la disponibilidad de agua.



Img. Ilustración 11 Tierra libre de piedras y partículas plásticas

Para determinar si el suelo es apropiado, deberá fabricarse adobes de prueba, de diferentes minas, observar su comportamiento y elegir la más apta.

o Preparación del barro.

Seleccionada la tierra, deberán extraerse las piedras y elementos extraños.

La tierra deberá ser humedecida totalmente y permanecer en reposo 1 ó 2 días antes de moldear.

o Mezclado.

El método más simple es por medio del pozo de remojo. El material se puede mezclar a mano (o con los pies) o con medios mecánicos.

Si se agregan estabilizadores se debe establecer algún método de medición cuantitativo para controlar la calidad y uniformidad.

La medición del agua se puede usar como medio de control para aditivos. Es agua prácticamente de cualquier procedencia es adecuada, pero deberá ser baja en sales disueltas.

Medir el tiempo también puede ayudar al proceso de mezclado, permitiendo que la arcilla absorba el



Img. Preparación de la tierra.

Fotografía tomada de la fototeca del autor

agua.

También se puede usar mezcladora de concreto. La mezcladora de concreto hace dar vueltas al material en lugar de revolverlo y se debe considerar únicamente para la mezcla de varias cantidades.

El transporte de la mezcla de barro para moldeado de los adobes se debe hacer por medio de una carretilla o con equipo mecánico de manejo de material.

Moldeado.

El proceso de moldeo permite la utilización de moldes sin fondo o con fondo.

El uso de molde sin fondo permite un mayor avance, pero se logra una menor compactación y una mayor fatiga del trabajador al hacerse el moldeo en el suelo.

El uso del molde con fondo, si bien el rendimiento es menor, se logra una mayor compactación y el moldeo se realiza de pie, disminuyendo la fatiga del trabajador.

En ambos casos el molde se complementa con una regla empleada para cortar los excesos de barro.

Después de cada uso, el molde deberá limpiarse y rociarse con arena para evitar que el barro se pegue.

El tiempo de secado depende del clima pudiendo tardar de 2 a 4 semanas.

Si el clima es muy caluroso, puede ser necesario secar los adobes a la sombra durante los primeros días para evitar un secado brusco que podría originar un alto porcentaje de desperdicios por agrietamiento.

Cuando la consistencia de los adobes lo permita (3 a 5 días) deben colocarse de canto para asegurar un secado más rápido y uniforme, posteriormente podrán apilarse de manera que circule aire entre los adobes, hasta completar su secado.

La elaboración de piezas de adobe tiene grandes similitudes en casi cualquier lugar del mundo. Incluso en las dimensiones de los bloques, a pesar de variar, tienden a ser parecidas ya



Img. Se puede hacer el mezclado a mano o con el pie.

Fotografía tomada de la fototeca del autor.



Img. Moldeo de las piezas de Adobe.

Fotografía tomada de la fototeca del autor.

que su tamaño va ligado lógicamente con su peso final.

Con adobes grandes se podría levantar un muro con menos piezas pero su gran peso haría difícil su maniobrabilidad, además de que tardaría mucho en secarse.

Compactación.

La resistencia mecánica de la tierra no siempre tiene que ver con la compactación, aunque es un punto muy importante en la fabricación de adobes, y esto es para eliminar cualquier oquedad que es donde se podría generar una grieta al presentarse un movimiento o carga accidental.

Otras condiciones necesarias para lograrlo son la presencia adecuada de agua en la mezcla y de suficiente presión de apisonamiento. El agua tiene como función la lubricación de las partículas para su mejor desplazamiento, mientras que la compactación agiliza la sedimentación y penetración entre las partículas disminuyéndolas adecuadamente.

Para la fabricación de adobes tradicionales solo basta usar los dedos para compactar el lodo, siempre y cuando este fresco y con la correcta cantidad de agua.

Zonas de Secado.

La zona de secado deberá ser limpia, nivelada y lo suficientemente extensa para albergar la producción de varios días.

Para evitar la adherencia entre el adobe y el suelo de la zona de secado se colocara una capa de arena fina, papel u otro material que pueda ser fácilmente separado del adobe.

El tiempo de secado puede ser de dos a tres días en el calor de verano y de varias semanas durante el invierno

Los ladrillos son muy vulnerables a la lluvia. Que puede ser desgastar la superficie y las esquinas o disolverlos completamente si llega a inundarlos, se puede proteger a los ladrillos con lonas o plásticos.

Vuelta y limpieza

Cuando se haya establecido que están lo suficientemente secos para ser manejados, se ladean y apoyan sobre el canto, exponiendo el otro lado grande para que se seque.

Mientras están ladeados se les debe limpiar, quitando cualquier exceso o salpicadura de los adobes blandos. Esto se puede hacer muy fácilmente en este punto.

Se puede comprobar la sequedad insertando la hoja de una navaja.

Apilado

Los adobes no quedan totalmente curados después de darle vueltas, pero esto se puede completar en la pila, ya que son extremadamente frágiles hasta que estén totalmente secos. Los

adobes deben quedar apilados sobre el canto para protegerlos de rupturas.

Se debe tener en cuenta que los adobes tienen baja resistencia a la tensión y mucho peso. Si se los apila sobre una superficie ancha y se apilan mas adobes encima, las irregularidades de la superficie de los adobes pueden desatar tensión y romperse.

1.3.2 Pruebas de campo para los adobes.

Las pruebas de campo simples que vienen a continuación, darán por lo menos una indicación preliminar del desempeño del adobe aunque también podrían bastar para juzgar, sin hacer más pruebas.

Pruebas de humedad.

Se puede determinar, hasta cierto punto, la resistencia del adobe a la humedad, frotando con un dedo sobre los puntos humedecidos.

Prueba de penetración de la navaja.

Se puede meter la punta de una navaja de bolsillo común de hoja pequeña (9 mm x 5 cm) en un lado del adobe. Si el adobe está seco y bien hecho, la navaja no entrara más de 3 mm. Si no está seco aunque superficialmente lo parezca, la navaja penetrara profundamente.

Pruebas de caída.

Se puede dejar caer un adobe seco, sobre una esquina, sobre un piso firme y desde una altura aproximada de un metro. El choque del golpe en la esquina desencadenará tensión en el adobe e indicará debilidades internas, o la humedad lo hará hacerse pedazos. En el caso de los buenos adobes, si hay daños serán pocos; si acaso una pequeña desportilladura de la esquina. Si el adobe no está totalmente seco, o tiene planos estructurales débiles debido a la falta de homogeneidad en la mezcla, se hará pedazos o romperá a lo largo de los planos de debilidad.

1.3.3 Fallas en las construcciones de adobe.

En nuestro país existe un gran número de comunidades que utilizan la tierra correctamente y las características de su geografía permiten su propia conservación. Sin embargo, existen muchos otros sitios de México en los que las viviendas de tierra han sido incorporadas solamente por su bajo costo y que la falta de conocimientos técnicos y una inadecuada tradición conservativa aunadas a ubicaciones poco propicias, las han transformado en construcciones insalubres y hasta peligrosas, como sucede en los climas muy húmedos o en regiones de alta sismicidad.

1.3.4 Resistencia a la compresión

Sus resistencias a la compresión son bajas (de 3 a 5 Kg. por cm²) cuando está seco y pueden considerarse nulas a los esfuerzos de tracción. Por esas mismas características su manipulación

se vuelve más difícil, los adobes se quiebran al no haber sido curados de manera que puedan resistir su manejo para colocación en su lugar.

Ventajas de la construcción con tierra.

Es el material más abundante que hay.

Se consigue en casi cualquier lugar.

No genera escombros durante la construcción.

Es biodegradable.

Confiere mayor confort térmico (son cálidas en el frío y frescas en el calor)

Confiere mayor confort acústico.

Es armónica con su entorno natural.

Es más saludable (por usar materiales naturales).

Presenta mayor resistencia sísmica.

Es ideal para la autogestión y procesos autoconstructivos.

Desventajas de la construcción con tierra

Es difícil conseguir personal cualificado.

La composición de los suelos nunca es uniforme.

Puede ser más lenta.

Lo que se ahorra en material se gasta en mano de obra.

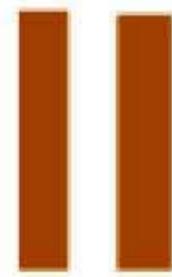
Es más susceptible a la humedad.

Requiere mayor mantenimiento.

1.4 Bloque de Tierra Comprimida (BTC).

Los bloques de tierra, o bloques de tierra comprimida (BTC), son simplemente adobes hechos a máquina, una variación moderna a un material de construcción antiguo. Los bloques de tierra son tan viejos como la original “Cimba Ram”, la primera máquina de prensar tierra, inventada en Bogotá, Colombia, por Raúl Ramírez a mediados de la década de los 50’s.

Capítulo



ESTABILIZADORES DE LA TIERRA



CAPITULO II ESTABILIZADORES DE LA TIERRA

En prácticamente todos los sitios en que se ha construido con tierra, con el fin de mejorarla aún más las propiedades de la materia prima, se le han agregado algunos otros elementos que sirven como una forma de apoyo al componente activo del sistema que es la arcilla. Estos materiales se les conocen sistemáticamente como estabilizadores y los hay de dos tipos.

a) Los estabilizantes estructurales, que ayuda a la arcilla en su labor de liga para evitar modificaciones de la forma, tamaño y resistencia. Se conocen dos formas de ligar físicamente la tierra, una por fraguado, siendo los estabilizantes más utilizados la cal y el cemento; y la otra es por fricción, que sin duda es el sistema más difundido geográficamente a lo largo de la historia y consiste en el agregado de fibras vegetales (paja, cáñamo y carrizo o el estiércol de bovino o equino) o de fibras animales (pelo y plumas).

b) Los impermeabilizantes, que mantienen fuera de contacto a la arcilla de la humedad, como sucede con las sabias de algunos vegetales como el cactus y el nopal, la orina de bovino o equino, el asfalto o chapopote y las modernas resinas plásticas.

Los estabilizadores disponibles en la naturaleza más comúnmente utilizados en construcciones tradicionales son:

- Arena y arcilla.
- Paja y fibras de plantas
- Jugos de plantas (savia látex, aceites).
- Cenizas de madera.
- Excremento de animal (principalmente estiércol y orina de caballo).
- Otros productos de animales (sangre, pelo, cola, hormigueros).

Los estabilizadores manufacturados ms comunes, (por ejemplo, productos y subproductos de las industrias locales o de los grandes procesos industriales) son:

- Cal y puzolana.
- Cemento Portland.
- Yeso.
- Asfalto.
- Estabilizadores de suelo comerciales.
- Silicato de sodio (“vidrio soluble”)
- Resinas
- Sueros (caseína).
- Melaza.

Estos estabilizadores son descritos brevemente más adelante. La elección del estabilizador más adecuado depende principalmente de los costos y de la disponibilidad local, pero también en cierto grado de la aceptación local. Para efecto de conocer los estabilizadores hemos realizado muestras de los más importantes y que conseguimos muy fácilmente, estas muestras no tienen un riguroso control experimental, se respetaron las proporciones de cada uno de los estabilizadores

y son solo para tener el primer contacto con cada uno de ellos.

2.1 La cal.

La cal es el producto que se obtiene calcinando la piedra caliza pura (CaCO_3) a la acción de temperatura ($880-900^\circ\text{C}$) por debajo de la necesaria para la descomposición. En ese estado el producto resultante es óxido de calcio (CaO) se le denomina comúnmente cal viva. Al someterla a un nuevo proceso llamado de apagamiento, sometiéndola a hidratación por medio de agua, se obtiene hidróxido de calcio (Ca(OH)_2) conocida como cal apagada.



Img. Óxido de Calcio (CaO)
Fotografía tomada de la fototeca del autor

Durante miles de años, la arcilla, el yeso y la cal fueron los aglomerantes más usados. Se tienen registros de la existencia de cal desde las primeras épocas (ejemplo, la cultura Neolítica, la Antigua Grecia, Egipto, incluyendo la cultura Inca y Maya). La fácil disponibilidad y ductilidad hicieron de esta materia prima el principal componente para morteros, revoques y pinturas aptas para una variedad de funciones que iban desde la protección a la decoración. En algunos lugares su empleo desarrollo niveles de sofisticación tan altos que las piezas adquirieron formas artísticas con acabados de finas artesanías.

2.2. El Cemento como estabilizador.

En principio cualquier cemento puede usarse en la estabilización de suelos. El cemento Portland normal tipo I es el más utilizado, aunque también se han usado muchos de los de alta resistencia inicial, del tipo III. Existen trabajos de investigación que concluyen que el cemento Portland tipo I permite a la mezcla a alcanzar mayor resistencia pues tiene mayor cantidad de aluminato tricálcico y sulfato de calcio²¹, pero el tipo II es preferible al tipo I cuando se



Img. Muestra Elaborada con Cal
Fotografía tomada de la fototeca del autor

21 Noble. D.

trata de reducir el agrietamiento²². Los cementos expansivos han demostrado ser muy efectivos en los suelos granulares gruesos para minimizar el agrietamiento. Cuando se trata suelos con cantidades apreciables de finos plásticos los cementos expansivos de tipo Chem Comp se han mostrado eficaces para disminuir el agrietamiento que se produce²³.

Los sulfatos ejercen mucha influencia en la durabilidad y resistencia a la compresión simple.

2.3 Arena y Arcilla.

- Estas son empleadas para corregir la calidad de la mezcla de suelo, esto es, se añade arena al suelo arcilloso o se añade arcilla al suelo arenoso.

- La mezcla deber hacerse en seco, de lo contrario no ser uniforme.

- La arcilla seca usualmente se encuentra en forma de terrones duros, que tienen que ser bien triturados antes del mezclado.



Img. Muestra Elaborada con Cemento
Fotografía tomada de la fototeca del autor

2.4 Paja, Fibras de Vegetales.

Estas actúan como refuerzos, especialmente para moderar el agrietamiento en suelos con gran contenido de arcilla.

- Estas también hacen más livianos el suelo, incrementan sus propiedades aislantes (buena en regiones áridas y serrana) y aceleran el proceso de secado (proporcionando canales de drenaje). La paja es universalmente el refuerzo más común del suelo; casi cualquier tipo es aceptable (trigo, centeno, cebada, etc.), también el rastrojo de la mayoría de las cosechas de cereal.



Img. Muestra Elaborada con Arcilla
Fotografía tomada de la fototeca del autor

- Otras fibras vegetales son sisal o henequén, cáñamo, hierba de elefante, estopa (fibra de

22 Diamond, Sidney y Kinter

23 Barksdale, R. y Vergnolle

coco), bagazo (residuo de caña de azúcar), etc.

- Para obtener resultados satisfactorios, la proporción mínima de refuerzos vegetales es 4% por volumen; de 20 a 30 kg. por m³.

- Como los refuerzos vegetales tienden a debilitar el producto final e incrementar la absorción de agua, debe evitarse el uso excesivo.

- La paja y las fibras deben ser cortadas a una longitud no mayor de 6 cm, y mezcladas completamente con el suelo para evitar la formación de pequeños nidos.

2.5 Jugos de Plantas

El jugo de hojas de plátano mezclados con cal mejora la resistencia a la erosión y disminuye la absorción de agua.

- Añadiendo e látex de ciertos arboles (por ejemplo, euphorbia, hevea) o jugo concentrado de sisal en forma de cola orgánica se obtiene una menor permeabilidad.

- Las grasas y aceites vegetales deben secarse rápidamente para que sean efectivas y proporcionen resistencia al agua. Algunos ejemplos son aceites de linaza, coco y algodón; el aceite de ricino es muy efectivo, pero es caro.

- El aceite de miraguano también puede ser efectivo. Este se hace tostando semillas de miraguano, pulverizándolos finamente y mezclándolo con agua (10 kg. de polvo: 20 a 25 litros de agua).

2.6 Cenizas de Madera

La ceniza de madera dura, usualmente es rica en carbonato de calcio y tiene propiedades estabilizadoras, pero no siempre es adecuada para suelos arcillosos. Algunas cenizas incluso pueden ser dañinas al suelo.

- Ms efectivo parece ser añadir de 5 a 10% (por volumen) de cenizas blancas finas, de madera dura completamente quemada. Con esto se mejora la resistencia a la comprensión en



Img. Muestra Elaborada con Paja
Fotografía tomada de la fototeca del autor

seco.

- Las cenizas no mejoran la resistencia al agua.

2.7 Excremento de Animal.

- Principalmente son empleados para estabilizar enlucidos.

- El estiércol es el estabilizador ms común, valioso principalmente por su efecto reforzador (debido a las partículas fibrosas) y característica de repeler los insectos. No se mejora significativamente la resistencia al agua, y se reduce la resistencia a la compresión.

- El estiércol de caballo o camello son alternativas menos empleadas.

- La orina de caballo como sustituto del agua de mezclado elimina efectivamente el agrietamiento y mejora la resistencia a la erosión. Se obtienen mejores resultados añadiendo cal.



Img. Mucilago de Nopal
Fotografía tomada de la fototeca del autor

- A pesar de sus ventajas estos materiales tienen poca aceptación social en las mayores de las regiones, mientras que en otras (principalmente en reas rurales de Asia y África) son materiales tradicionales bien aceptados.

2.8 Otros Productos Animales

- La Sangre fresca de toro combinado con cal puede reducir enormemente el agrietamiento, sin embargo, también tiene poca aceptación social.

- La piel y el pelo animal es empleado usualmente para reforzar enlucidos.

- Las cola (pegamento) de animales, hechos de cuernos, huesos, pezuñas y pellejos, mejora la resistencia a la humedad.

- Los Hormigueros, como se sabe resisten la lluvia, pueden ser pulverizados y empleados como estabilizador para suelos arenosos.

2.9 Yeso

- La estabilización del suelo con yeso no es muy común en la práctica y la información sobre su comportamiento es muy limitada.

- El yeso se encuentra en abundancia en muchos países, ya sea como yeso natural o como un subproducto industrial, y es más barato que la cal o el cemento (se produce con menos energía y equipamiento).

- Como el yeso mezclado con el agua se endurece rápidamente, los bloques de adobe estabilizado con yeso no requieren prolongados períodos de curado, y pueden ser empleados para la construcción de muros tan inmediatamente después de producidos. Un contenido de yeso de alrededor del 10% es mejor.

- Las ventajas de la estabilización con yeso son poca contracción, apariencia lisa y alta resistencia mecánica. Además, el yeso se aglomera bien con las fibras (particularmente con el sisal), es muy resistente al fuego y no es atacado por insectos o roedores.

- La principal desventaja del yeso es su solubilidad en el agua, por lo cual requiere de cuidadosas medidas de protección: protección contra la lluvia en muros exteriores mediante enlucidos, enchapados o techos con aleros amplios; protección de la humedad interna generada, evitando el vapor de agua (en las cocinas) y la condensación; protección contra la absorción capilar mediante membranas impermeables.

2.10 Asfalto

- Para la estabilización del suelo se puede emplear asfalto diluido, (esto es, mezclado con un disolvente como es la gasolina, kerosene o nafta), o como una emulsión (esto es, diluido en agua).

- Después de mezclar el suelo con el asfalto diluido, se debe extender antes de emplear el material en la fabricación de bloques para permitir que el disolvente se evapore. Es mejor mezclar el asfalto diluido con una pequeña cantidad de suelo, para luego mezclarlo con el suelo restante.

- Las emulsiones de asfalto generalmente son muy fluidas y se mezclan fácilmente con suelo húmedo. Se debe evitar mezclar excesivamente para prevenir la descomposición prematura de la emulsión, llevando a incrementar la absorción de agua después del secado. Las emulsiones deben diluirse en el agua de mezclado.

- Las mezclas de suelo para su compactación no deben ser demasiadas húmedas, por ello debe añadirse una menor cantidad de estabilizador.

- El contenido de asfalto debe ser de 2 a 4%. Mayores proporciones producen resistencias a compresión peligrosamente bajas.

- El suelo estabilizado con asfalto debe ser curado en aire seco a una temperatura



Img. Muestra Elaborada con Yeso
Fotografía tomada de la fototeca del autor

aproximadamente de 40C.

- Aunque la estabilización con asfalto no mejora la resistencia de la tierra, s reduce significativamente la absorción de agua. En otras palabras, aunque la resistencia de suelo en seco no es muy alta, esta no se reduce cuando se humedece.

- La estabilización con asfalto es ms efectiva en suelos arenosos y limosos con un límite líquido entre 25 y 35% y un índice de plasticidad entre 2.5 y 13%.

- La presencia de materia orgánica acida, sulfatos y sales minerales puede ser muy dañina. Un posible remedio es añadir 1% de cemento.

2.11 Estabilizadores Comerciales

- Principalmente son productos químicos manufacturados, desarrollados en un principio para estabilizar la tierra empleada en la construcción de carreteras.

- Estos estabilizadores químicos trabajan esencialmente como impermeabilizantes. En general, no mejoran la resistencia a compresión del suelo.

- Las cantidades requeridas de estos estabilizadores varan entre 0.01 y 1% por peso, por ello para obtener una distribución uniforme se necesita un mezclado bastante completo.

- En la Bibl. 02.19. se ofrece una lista de estabilizadores comerciales.
Solución de Silicato de Sodio

- El silicato de sodio, conocido como vidrio soluble, es barato y disponible en muchas partes del mundo.

- Trabaja mejor con suelos arenosos, como arenas arcillosas y arenas limosas, pero no es adecuado para suelos arcillosos.

- El silicato de sodio trabaja como impermeabilizantes y también evita el crecimiento de hongos.

- Si es mezclado con el suelo, la cantidad usual es de 5%.

- Sin embargo. Es mejor emplearlo como recubrimiento superficial hechos de silicato de sodio comercial: agua limpia en una proporción de 1:3.

- Los bloques de suelo son sumergidos en la solución aproximadamente por un minuto, después que se aplica la solución con una brocha dura. Se repite el procedimiento por segunda vez y se dejan secar los bloques en un lugar protegido por siete das como mínimo.

- Se obtiene una penetración ms profunda de la solución, añadiendo una pequeña cantidad de algún agente activo superficial.

2.12 Resinas

- Las resinas son extractos vegetales procesados tales como la savia de los árboles, o subproductos de diversos procesos industriales.
- Se han realizado muchos trabajos de investigación sobre estos materiales y se han obtenido extraordinarios resultados con la estabilización con resina.
- Las principales ventajas son resistencia al agua (aunque no en todos los casos), rápido fraguado y solidificación de suelos muy húmedos.
- Sin embargo, las principales desventajas son el alto costo, tecnología de producción sofisticada y la necesidad de mayores cantidades que los estabilizadores convencionales. Las resinas a menudo son tóxicas y degradables por los agentes biológicos.

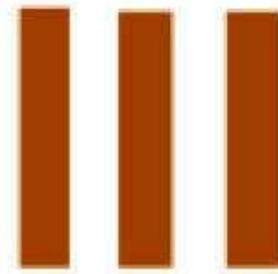
2.13 Sueros

- El suero (caseína) es un líquido rico en proteínas formado al hacer requesón. Su empleo en edificaciones es muy limitado en la mayoría de países en desarrollo, debido a su valor nutritivo. Sin embargo, en regiones en donde se produce suero en exceso, su uso como estabilizador superficial para construcciones de tierra se considera muy valioso.
- Añadiendo suero a un mortero de suelo-cal o a una lechada de cal se obtiene una protección superficial contra los agentes atmosféricos, sin que el suelo pierda la capacidad de respirar.
- Para obtener una buena adherencia y evitar grietas, la lechada de cal deberá aplicarse en dos o tres capas delgadas. Emplear el suero como imprimación también puede dar buenos resultados.

2.14 Melaza

- La melaza es un producto secundario de la industria azucarera.
- Añadiendo melaza al suelo se mejora su resistencia a la compresión y se reduce la capilaridad del suelo.
- Trabaja bien con suelos limosos y arenosos. En el caso de suelos arcillosos, se debe añadir pequeñas cantidades de cal a la melaza.
- La cantidad de melaza añadida normalmente al suelo es aproximadamente de 5% por peso del suelo.

Capítulo



TRATAMIENTO DEL SUELO CON CAL



CAPÍTULO III TRATAMIENTO DEL SUELO CON CAL

3.1 Factores potencialmente adversos.

3.1.1 Contenido de sulfatos solubles.

Dos son los aspectos que negativamente pueden influir en la estabilización de suelos con cal: su contenido en sulfatos solubles y en materia orgánica.

El contenido de sulfatos solubles, bien por su existencia en el propio terreno, o bien por ser aportados por las aguas subterráneas existentes, puede afectar la estabilización mediante la reacción de los sulfatos solubilizados en el agua con los aluminatos cálcicos hidratados, producidos por la reacción puzolánica entre el suelo y la cal, formando Etringita (trisulfoaluminato cálcico), muy expansiva, que puede llegar a romper las capas ya extendidas y compactadas.

En el ataque por sulfatos, el agua constituye un elemento esencial para el mismo. Así, el agua presente en el material estabilizado suelo-cal puede ser insuficiente para disolver la cantidad necesaria de sulfato, de forma que no exista ataque apreciable aún con grandes cantidades de sulfatos, a menos que haya una aportación suficiente de agua desde el exterior.

En este sentido, normalmente en España, los sulfatos contenidos en los terrenos están en forma de yeso, o provienen de este mineral por el efecto de su solubilidad en las aguas, bien de lluvia o subterráneas, que pasan por formaciones yesíferas. Y por otra parte, la solubilidad del yeso es muy pequeña.

Lo anterior significa que, solamente si hay sulfatos solubles en cantidad suficiente, y diluidos en el agua existente en la mezcla suelo-cal, habrá formación de etringita, pudiendo romperse las capas ya ejecutadas y todas las que se hayan dispuesto encima.

También hay que incidir en el hecho de que, en muchas ocasiones, la aparición de altos niveles de sulfatos solubles se produce en zonas muy localizadas, de pequeña extensión y profundidad, y, además, de forma muy heterogénea.

Esto permite que, una vez estudiado y localizadas estas zonas, puede reducirse el porcentaje de sulfatos homogeneizando y mezclando los suelos de la traza en el propio proceso constructivo, con el movimiento de tierras.

Con respecto al contenido de materia orgánica, esta puede inhibir también las reacciones puzolánicas, debiendo limitar el contenido máximo de ésta en un suelo al 1%.

3.2 Diseño de Tratamiento

El objetivo es una vez analizada las características de los suelos al tratamiento con cal, diseñar el tratamiento a realizar en función de las características de estos suelos y de los objetivos a lograr.

Dependerá, por tanto, del efecto perseguido, ya sea el secado de suelos con humedad natural excesiva, una modificación instantánea del suelo y/o una estabilización de la capa a largo plazo.

3.3 Análisis previo de los suelos

El primer paso será identificar completamente las características de los suelos a emplear para decidir si su estabilización con cal es la solución más recomendable.

En este sentido, las campañas de ensayos a realizar serán las siguientes:

3.3.1 Cálculo del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad:

Se entiende por límite líquido, la humedad que tiene un suelo amasado con agua y colocado en una cuchara de Casagrande cuando el surco realizado con un acanalador que divide esta masa en dos mitades se junta a lo largo de su fondo en una distancia de 13mm después de haber dejado caer 25 veces la cuchara desde una altura de 10mm con una cadencia de 2 golpes por segundo. Para realizar este ensayo usamos muestra de tamaño inferior al tamiz 0.5 (básicamente arcillas) y la amasamos usando espátulas, después llenamos la cuchara y le hacemos un surco con el acanalador normalizado. Una vez hemos hecho el surco vamos contando los golpes que le damos a la cuchara mediante la manivela y no paramos de dar golpes hasta que las dos mitades separadas por el surco se toquen, o que el número de golpes sea mayor de 40 (muestras casi secas). Este proceso lo repetiremos 3 veces, y en el primero deberemos obtener un valor de golpes cercano a 20, en el siguiente un valor cercano a 25, y en el último un valor alrededor de 30 golpes. Para cada cuchara llena tomaremos un poco de muestra y la introduciremos en una cápsula por tal de determinar su humedad. Después proyectamos en una gráfica el número de golpes respecto la humedad registrada cada vez y obtendremos una recta en cual interpolaremos los 25 golpes por tal de conocer el límite líquido.



Img.Copa Casagrande
Fotografía tomada de la fototeca del autor

Para calcular el límite plástico usamos el resto de la masa que hemos utilizado para calcular el límite líquido y con esta haremos unos cuantos fideos de barro sobre un cristal esmerilado por tal de secarlos a medida que los vamos amasando. Cuando vemos que el barro de los fideos se empieza a agrietar querrá decir que el barro ya empieza a estar seco y situamos los fideos dentro de una cápsula con el fin de determinar más tarde su humedad. Después de haber llenado las tres capsulas de esta manera y de haber calculado sus respectivas humedades hacemos la media aritmética de los tres valores y obtendremos el límite de plasticidad.

El índice de plasticidad lo obtenemos haciendo la resta del límite líquido y del límite

plástico.

Tamaño de la muestra de ensaye.

La muestra de ensaye debe tener un tamaño igual o mayor que 100(g) del material que pasa por el tamiz de 0.5 (ASTM NO40) obtenido de acuerdo con la norma AASHTO 387-80

Nota: Cuando se efectúa además la determinación del límite de contracción, aumentar el tamaño de muestra requerida para dicho ensaye



Img.Peso de la Muestra

Fotografía tomada de la fototeca del autor

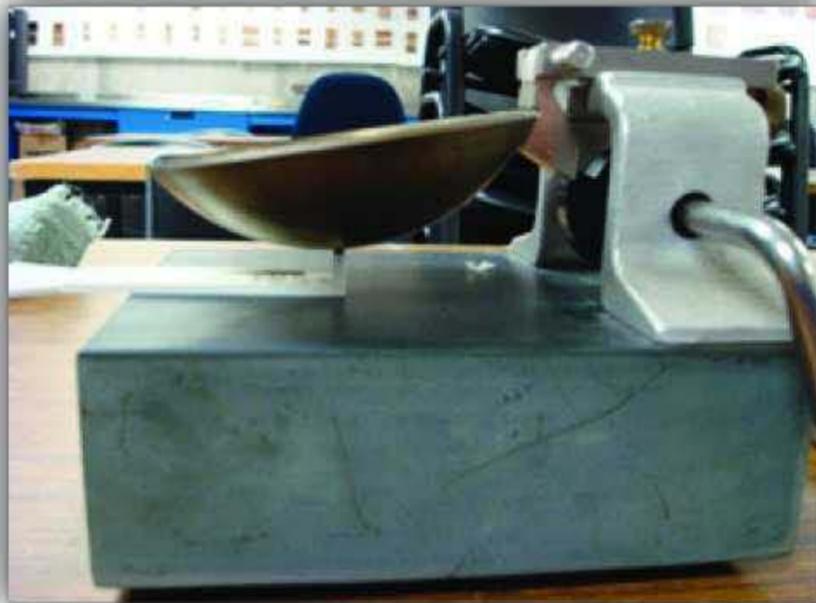


Img. Utensilios para realizar la prueba

Fotografía tomada de la fototeca del autor

Ajuste y control del aparato de límite líquido.

Ajustar la altura de la caída de la taza, se gira la manivela hasta que la tasa se eleve a su mayor altura. Utilizando el calibrador de 10 mm (adosado al ranurador), se verifica que la distancia entre el punto de percusión y la base sea de 10 mm exactamente. De ser necesario, se aflojan los tornillos de fijación y se mueve el ajuste hasta obtener la altura de caída requerida. Si el ajuste es correcto se escuchará un ligero campanileo producido por la leva al golpear el tope de la taza; si la taza se levanta por sobre el calibre o no se escucha ningún sonido debe realizarse un nuevo ajuste.



Img.Ajuste de la Copa Casagrande

Fotografía tomada de la fototeca del autor

Colocar la muestra en el plato de evaporación. Agregar agua destilada y mezclar completamente mediante la espátula. Continuar la operación durante el tiempo y con la cantidad de agua destilada necesaria para asegurar una mezcla homogénea.



Img.Muestra en el plato
Fotografía tomada de la fototeca del autor



Img.Mezcla homogénea
Fotografía tomada de la fototeca del autor

Método Mecánico

Colocar el aparato de límite líquido sobre una base firme.

Cuando se ha mezclado con suficiente agua para obtener una consistencia que requiera aproximadamente 15 a 20 golpes para cerrar la ranura, tomar una porción de la mezcla ligeramente mayor a la cantidad que se someterá a ensaye.

Colocar esta porción en la taza con la espátula, centrada sobre el punto de apoyo de la taza con la base; comprimirla y extenderla mediante la espátula, evitando incorporar burbujas de aire en la mezcla. Enrasar y nivelar a 10 mm en el punto de máximo espesor. Reincorporar el material excedente al plato de evaporación



Img.Colocar la mezcla en la Copa
Fotografía tomada de la fototeca del autor



Img.Ranurar la Muestra
Fotografía tomada de la fototeca del autor

Dividir la pasta de suelo pasando el acanalador cuidadosamente a lo largo del diámetro que pasa por el eje de simetría de la taza de modo que se forme una ranura clara y bien delineada de las dimensiones especificadas. El acanalador de Casagrande se debe pasar manteniéndolo perpendicular a la superficie interior de la taza. En ningún caso se debe aceptar el desprendimiento de la pasta del fondo de la taza; si esto ocurre se debe retirar todo el material y reiniciar el procedimiento. La formación de la ranura se debe efectuar con el mínimo de pasadas, limpiando el acanalador después de cada pasada.

Colocar el aparato sobre una base firme, girar la manivela levantando y dejando caer la taza con una frecuencia de dos golpes por segundo hasta que las paredes de la ranura entren en contacto en el fondo del surco a lo largo de un tramo de 10 mm. Si el cierre de la ranura es



Img.Frecuencia de Dos Golpes por Segundo
Fotografía tomada de la fototeca del autor



Img.Registrar el número de Golpes Requeridos
Fotografía tomada de la fototeca del autor

irregular debido a burbujas de aire, descartar el resultado obtenido. Repetir el proceso hasta encontrar dos valores sucesivos que no difieran en más de un golpe. Registrar el número de golpes requerido (N).



Img.Tomar la Muestra para Determinar Humedad
Fotografía tomada de la fototeca del autor



Img.Muestra en el Horno
Fotografía tomada de la fototeca del autor

Retirar aproximadamente 10 g del material que se junta en el fondo del surco. Colocar en un recipiente y determinar su humedad (w) de acuerdo con NCh 1515 Of 79

Transferir el material que quedo en la taza al plato de evaporación. Lavar y secar la taza y el ranurador.

Repetir las operaciones precedentes por lo menos en dos pruebas adicionales empleando el material reunido en el plato de evaporación. El ensaye se debe efectuar de la condición más húmeda a la más seca. La pasta de suelo se bate con la espátula de modo que vaya secando homogéneamente hasta obtener una consistencia que requiera de 15 a 35 golpes para cerrar la ranura.

Expresión de resultados

Calcular y registrar la humedad de cada prueba (w) de acuerdo con NCh 1515 Of 79.

Construir un gráfico semilogarítmico, con una humedad (w) como ordenada en escala aritmética y el número de golpes (N) como abscisa en escala logarítmica.

Dibujar los puntos correspondientes a los resultados de cada una de las tres (o más) pruebas efectuadas y construir una recta (curva de flujo) que pase tan aproximadamente como sea posible por dichos puntos.

Expresar el límite líquido (WL) del suelo como la humedad correspondiente a la intersección de la curva de flujo con la abscisa de 25 golpes, aproximando al entero más próximo.

Método puntual

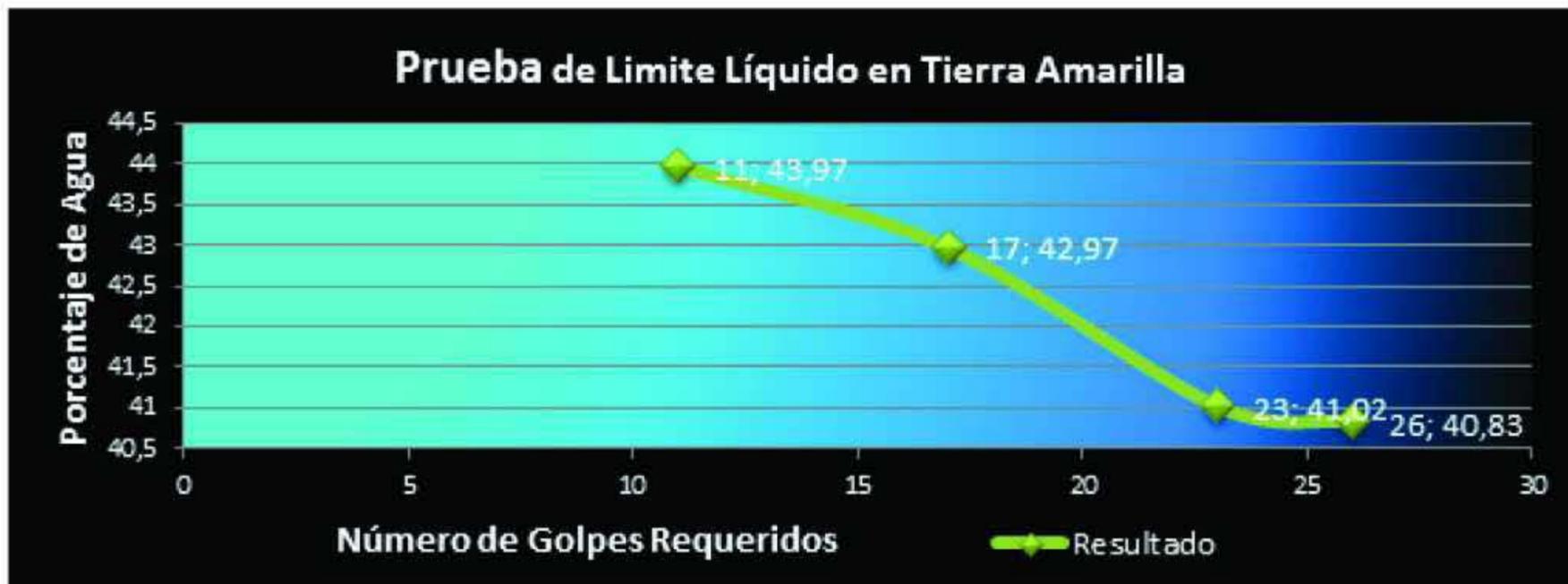
Proceder según lo anterior, excepto que la muestra debe prepararse para obtener una consistencia que requiera 20 a 30 golpes para cerrar la ranura. Deben observarse a lo menos dos resultados consecutivos consistentes antes de aceptar una prueba. Registrar el numero de golpes requerido (N). La muestra para determinar la humedad debe tomarse sólo para la prueba más aceptada. El ensaye debe efectuarse desde la condición más seca del suelo.

Calcular y registrar la humedad de la prueba aceptada (w) de acuerdo con NCh 1515 Of79.

El punto obtenido se debe confrontar con la curva de flujo determinada previamente para el mismo tipo de suelo.



Img.Resultados de Limite Liquido de Tierra negra.



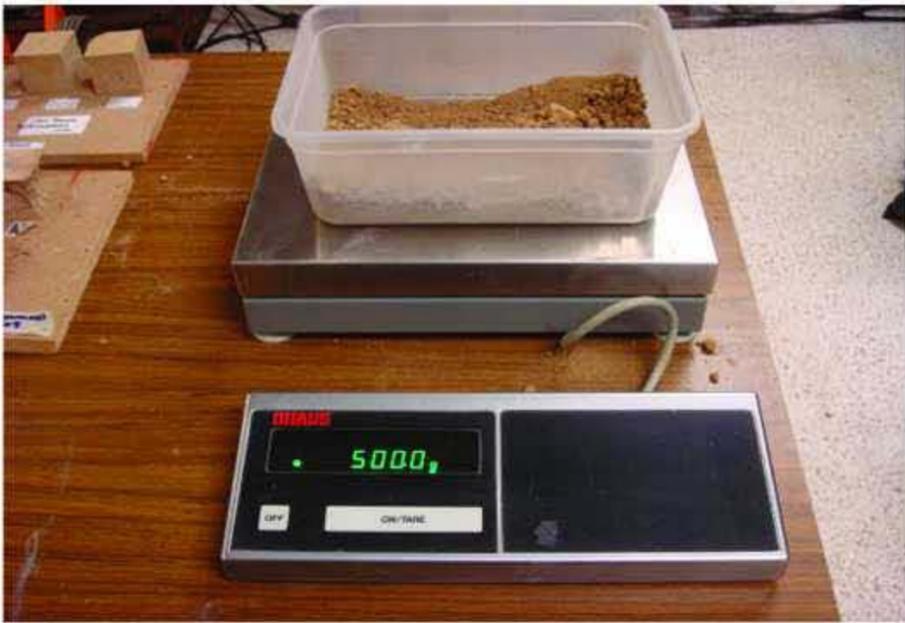
Img.Resultados Limite Liquido Tierra Amarilla

3.3.2 Análisis Granulométrico:

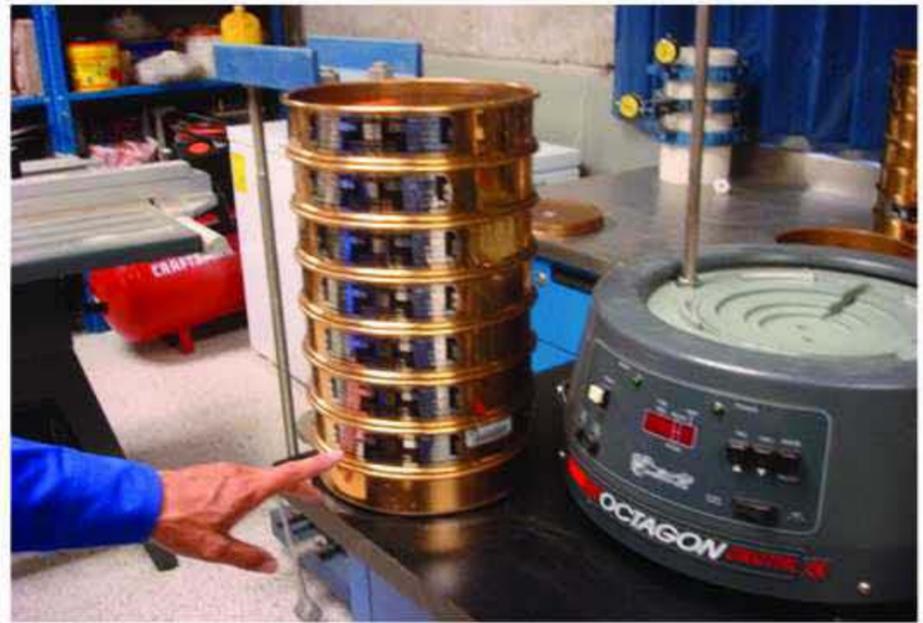
El análisis granulométrico tiene como objetivo determinar la proporción de las diferentes granulometrías que presenta un suelo, es decir, mediante este análisis sabemos qué cantidad de suelo comprende cada intervalo granulométrico.

El tamizado se suele realizar con una tamizadora automática, que puede ser de diferentes modelos. Actualmente se conocen dos maneras de conocer si nuestra tierra cumple con la granulometría ideal para fabricar adobes o bloques de tierra comprimidos, realizaremos las dos pruebas para así de esta manera estar seguros que estamos trabajando con tierra que cumple las normas.

La primera de ellas es la siguiente, tamizamos la muestra con la serie que va del 3/8 hasta el 0.15. Una vez conocemos la cantidad de suelo (en peso) que cae en cada intervalo granulométrico, es decir la cantidad de suelo retenida por cada tamiz, hacemos una gráfica donde representamos la cantidad de suelo respecto el tamaño de grano lo que nos dará una curva más o menos recta en función de las características del suelo. De esta forma suelos con curvas similares tendrán un comportamiento granulométrico similar.



Img. Pesado de la muestra de tierra seca.
Fotografía tomada de la fototeca del autor



Img. Ordenar los tamices por número de malla.
Fotografía tomada de la fototeca del autor



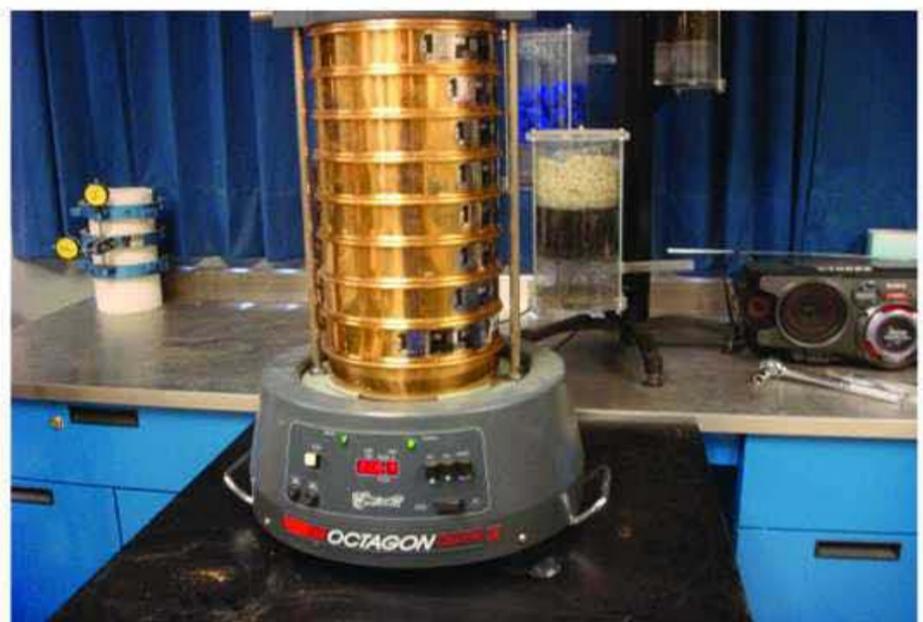
Img. Diferentes tamices, en buen estado y limpios.
Fotografía tomada de la fototeca del autor



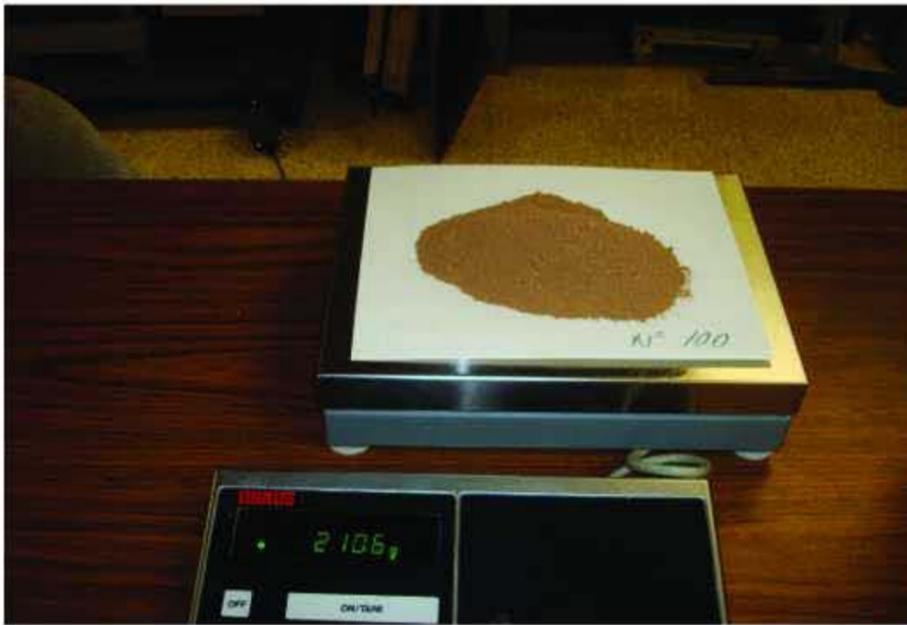
Img. Al depositar la muestra en los tamices debemos tener cuidado de no derramarla.
Fotografía tomada de la fototeca del autor



Img. Muestra ya en los tamices.
Fotografía tomada de la fototeca del autor

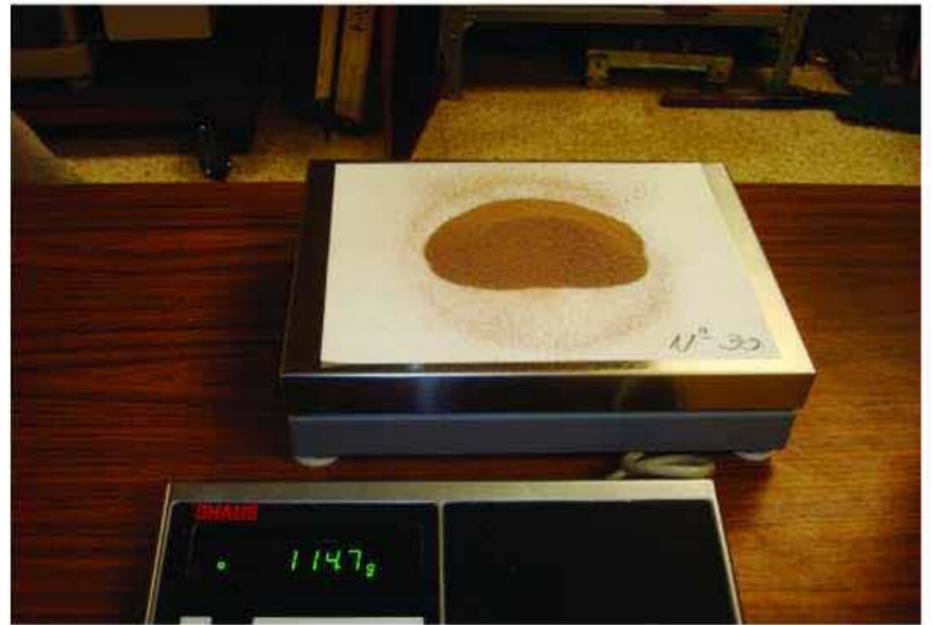


Img. Se vibra la muestra por tres minutos según norma ASTM C 136 – 01.
Fotografía tomada de la fototeca del autor



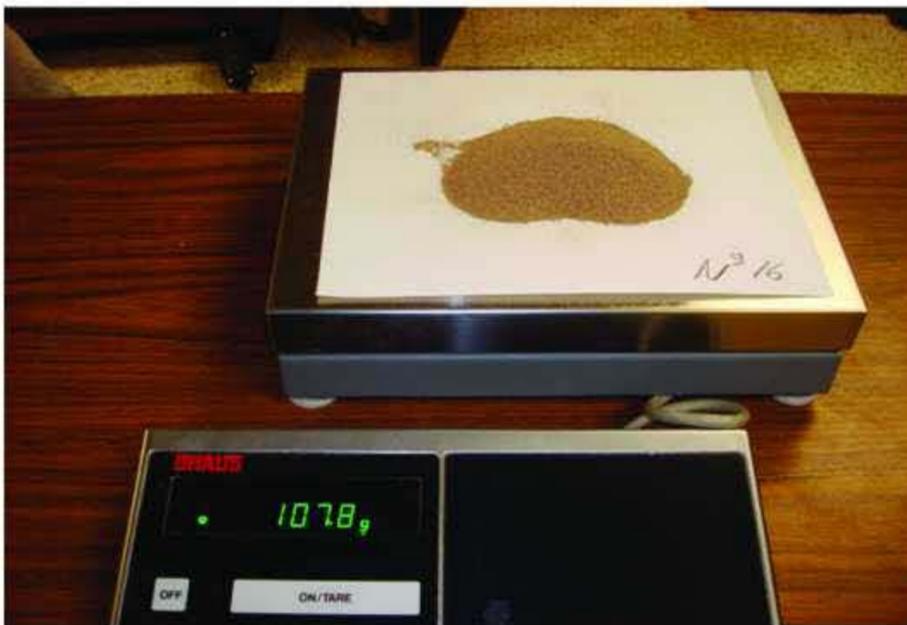
Img. Colocar el material que se depositó en los tamices.

Fotografía tomada de la fototeca del autor



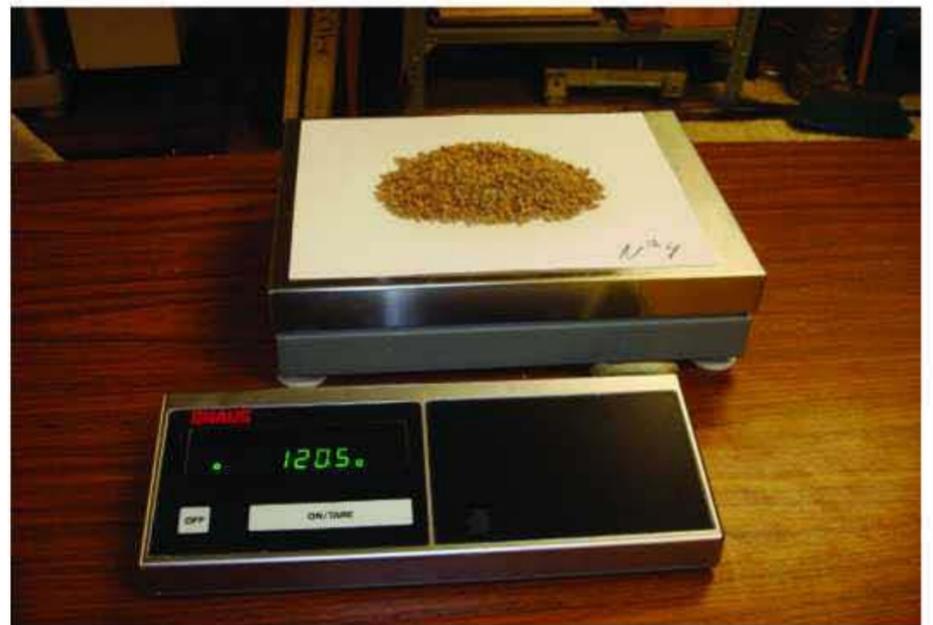
Img. Se debe rotular todas las muestras para evitar equivocaciones.

Fotografía tomada de la fototeca del autor



Img. Tomar el peso exacto de cada una de las muestras.

Fotografía tomada de la fototeca del autor



Img. Las pérdidas de material no deben ser mayor al 5%.

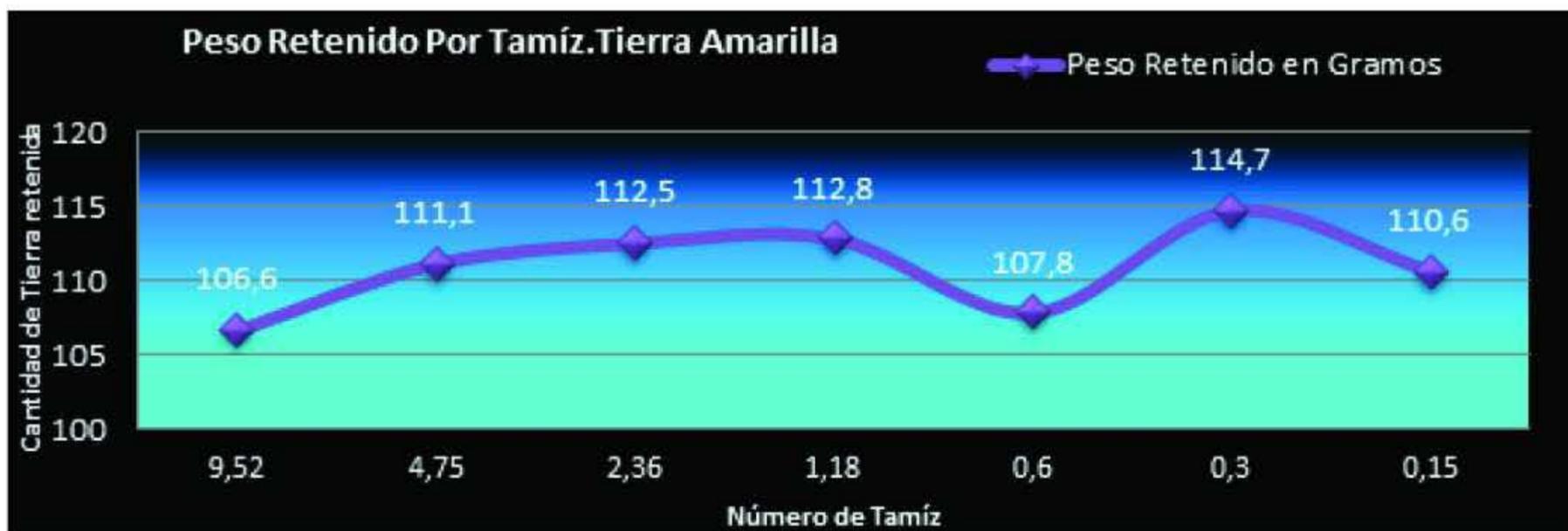
Fotografía tomada de la fototeca del autor

Tamaño de la malla	Porcentaje que PASA (peso)
9.52 mm 3/8	880.1 - 88.01% 100%
4.75 mm N° 4	769.2 - 76.90% 95 a 100%
2.36 mm N° 8	656.5 - 65.65% 80 a 100%
1.18 mm N° 16	543.79 - 54.37% 50 a 85%
0.60 mm N° 30	435.99 - 43.59% 25 a 60%
0.30 mm N° 50	321.22 - 32.12% 10 a 30%
0.15 mm N° 100	210.69 - 21.06% 2 a 10%

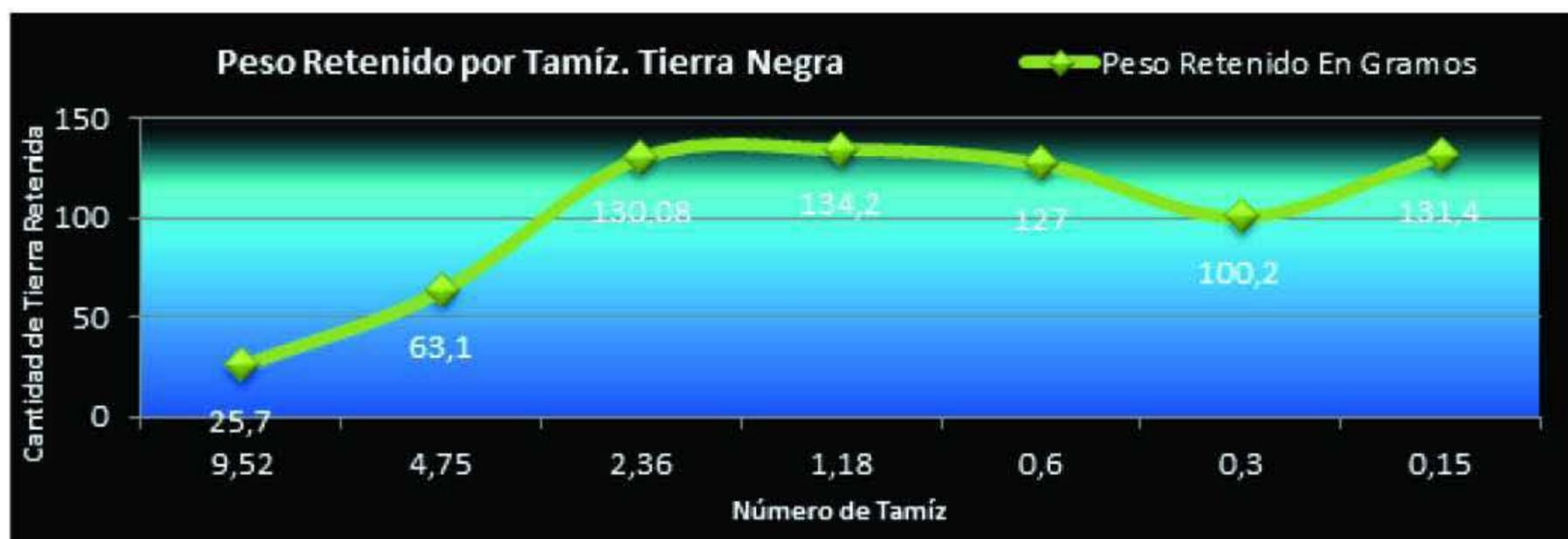
1000 - 100%
210 -

Img. Presentar los resultados en una tabla.

Fotografía tomada de la fototeca del autor



Img.Resultado de Granulometría, Tierra Amarilla



Img.Resultado de Granulometría, Tierra Negra

El manual de "Tratamientos de Suelos con Cal" editado por la ANCADE (Asociación Nacional de Fabricantes de Cales y Derivados de España), en su página 14 dice: "En general, puede decirse que aquellos suelos con un porcentaje de finos superiores al 5% en masa (Tamiz 0.063 o No 230 ASTM) y/o índice de Plasticidad igual o superior a 10, son susceptibles de mejorar sus propiedades por acción de la cal" es por esto que se realizó la siguiente prueba

"El alto contenido de finos nos encausará a la producción de mezclas con resistencias inferiores a las supuestas, según tablas de dosificación para morteros y concretos con resistencia establecida".

3.3.3 Humedad Natural:

Objetivo: diferenciar con facilidad la tierra que contenga un elevado contenido de agua o tierra que contenga un porcentaje inferior a lo recomendado para poder elaborar mezclas con plasticidad adecuada. De esta manera sabremos qué cantidad de agua adicionar para poder trabajar con una mezcla con plasticidad adecuada.

El método por el cual se hace la prueba es la siguiente: tomamos una muestra representativa de la tierra a usar, la pesamos y registramos el peso, la colocamos sobre una plancha caliente a 250 grados centígrados, hasta que el material pierda totalmente la humedad esto es hasta que cambia su color y densidad, se retira de la plancha y se deja enfriar, esto es más que nada para no causar accidentes por quemaduras, una vez fría se pesa de nuevo y se registra el número para aplicar la siguiente fórmula que nos como resultado el porcentaje de agua que contiene nuestro material.

$$x=(W-Wd)/Wd \times 100$$

Donde W es el peso inicial de la muestra de material, Wd representa el peso final de la muestra es decir, ya que se ha retirado de la plancha caliente y esta fría.



Img.Toma de la Muestra
Fotografía tomada de la fototeca del autor



Img.Peso de la Muestra
Fotografía tomada de la fototeca del autor



Img.Muestra seca.
Fotografía tomada de la fototeca del autor



Img.Muestra en la plancha a 250 grados
Fotografía tomada de la fototeca del autor



Img.Muestra seca y Fría
Fotografía tomada de la fototeca del autor

Resultados de las Pruebas de Humedad Natural				
Tipo de Muestra	Peso inicial de la muestra	Peso de la Muestra Seca y Fría	Gramos Perdidos.	Porcentaje que Representa.
Tierra Negra	400 g	287,5 g	112,5	39,13%
Tierra Amarilla	400 g	371,4 g	28,60	7,70%

Img.Resultados de la prueba de humedad natural.

3.4 Control de calidad de estabilizaciones con cal.

El objetivo de las medidas a adoptar en el Control de Calidad es el de asegurar la correcta ejecución de los distintos elementos y fases estudiados anteriormente. Para ello, este control se basará en:

a) Características de los materiales, tanto de los suelos a tratar como de la cal a emplear.

Si esta última permanece almacenada más de dos meses, es conveniente comprobar nuevamente sus características antes de emplearla.

b) Correcto diseño del tratamiento a realizar en función de los parámetros anteriores y de los objetivos a lograr. Dependerá, por tanto, del efecto perseguido, ya sea el secado de suelos con humedad natural excesiva, una modificación instantánea del suelo y/o una estabilización de la capa a largo plazo.

c) Correcta ejecución de la obra. Se deberán controlar tanto las dosificaciones especificadas como las técnicas y elementos constructivos aplicados, así como la homogeneidad y calidad del mezclado final.

d) Comprobación y análisis final. Es importante, tanto desde el punto de vista de la estabilización ejecutada como desde el de las próximas a realizar, analizar todo el proceso seguido y los resultados obtenidos durante la vida útil de la obra, con el objetivo de poder avanzar en el desarrollo de esta técnica.

3.5 Prueba eades & grim.

La prueba Eades and Grim está referida en la ASTM D6276 y permite calcular el porcentaje óptimo de cal para lograr la estabilización completa de un suelo arcilloso

Esta prueba emplea el concepto de pH para detectar el punto de saturación de cal, el cual asegura una estabilización correcta de la tierra

Equipo:

- o Horno para secado
- o Balanza (cap. Mín. 600 g, Precisión; 0.018)
- o Tamíz con malla N° 40 (425 micras).
- o Recipientes plásticos con tapa roscada de 250 ml.
- o Medidor de pH
- o Espátulas y Agitadores

Material:

- o Muestras de suelo a tratar
- o Cal viva y/o cal hidratada
- o Agua destilada o de la zona
- o Solución amortiguadora de pH 12

Procedimiento:

- 1.- Preparar siete muestras representativas del suelo.
 - a) Secar el material mediante aireación y cribarlo por la malla No.40 (0.125mm)
 - b) Tomar siete muestras de 20 g de material pesadas con precisión de ± 0.1 g
- 2.- Colocar cada una de las 7 muestras dentro de recipientes transparentes de plástico que tengan 150ml de capacidad, previamente etiquetado con etiquetas adheridas que digan 2,3,4,5,6,7 y 8%, respectivamente y puedan taparse herméticamente con su tapón.
- 3.- Pesar 7 porciones de cal hidratada que correspondan a los porcentajes señalados en el inciso anterior del peso seco de las muestras del suelo precisión ± 1.01 g.
- 4.- Añadir cada una de las porciones de cal al correspondiente frasco.
- 5.- Agitar los frascos para que se mezcle el suelo y la cal en seco.
- 6.- Incorporar 100ml de agua destilada libre de CO_2 a 21°C , a cada frasco, conviene hacer pruebas con el agua que va usarse en la obra, si es factible conseguirla.
- 7.- Agitar los frascos conteniendo suelo-cal-agua, hasta que no haya evidencia de material seco, mínimo 30 segundos.
- 8.- Agitar los frascos durante 30 segundos cada 10 minutos hasta cumplir una hora.
- 9.- Pasada la hora, poner una muestra del producto en una capsula y medir el pH.
- 10.- Para medir el pH utilizar un electrodo de vidrio del tipo de bajo error de sodio, previamente estandarizado a pH de 12.45 con una lechada agitada de hidróxido de calcio a temperatura 25°C , el electrodo puede calibrarse con una solución reguladora (buffer) de pH 10.
- 11.- Regularizar el pH de cada mezcla.
- 12.- La mezcla que a menor porcentaje de cal alcance en pH de 12.4 a 21°C , es el porcentaje necesario de cal para estabilizar el suelo.



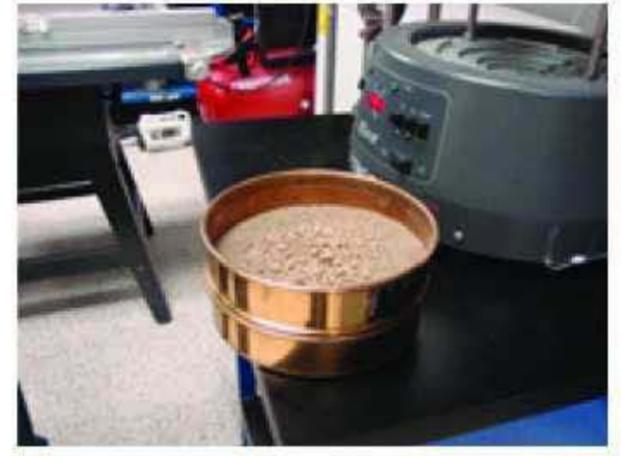
Img.muestra de tierra a la que aplicamos la prueba.

Fotografía tomada de la fototeca del Laboratorio de Investigación Tecnológica UAM-X



Img.Secado de la tierra

Fotografía tomada de la fototeca del Laboratorio de Investigación Tecnológica UAM-X



Img.Tamizado de la muestra en la malla del número 40.

Fotografía tomada de la fototeca del Laboratorio de Investigación Tecnológica UAM-X



Img.Material ya pasado por el tamiz del No. 40.

Fotografía tomada de la fototeca del Laboratorio de Investigación Tecnológica UAM-X



Img.Pesado de los 20 gramos de material.

Fotografía tomada de la fototeca del Laboratorio de Investigación Tecnológica UAM-X



Img.Depositando el material en los 7 recipientes.

Fotografía tomada de la fototeca del Laboratorio de Investigación Tecnológica UAM-X



Img.Pesando el estabilizador que vamos a usar.

Fotografía tomada de la fototeca del Laboratorio de Investigación Tecnológica UAM-X



Img.Depositando el estabilizador en los 7 recipientes con el suelo seleccionado.

Fotografía tomada de la fototeca del Laboratorio de Investigación Tecnológica UAM-X



Img.Recipientes con el estabilizador.

Fotografía tomada de la fototeca del Laboratorio de Investigación Tecnológica UAM-X



Img. Agregándole 100 mililitros de agua destilada a la muestra.
Fotografía tomada de la fototeca del Laboratorio de Investigación Tecnológica UAM-X



Img. Se agitan los recipientes por treinta segundos cada 10 minutos, hasta completar una hora.
Fotografía tomada de la fototeca del Laboratorio de Investigación Tecnológica UAM-X



Img. El potenciómetro se debe calibrar para tomar una lectura correcta del pH.
Fotografía tomada de la fototeca del Laboratorio de Investigación Tecnológica UAM-X

Observaciones:

Con esta prueba se obtuvo que el porcentaje de cal que se requiere para el suelo tepetate es del 6%.

RECIPIENTES	PH
2%	10.59
3%	11.03
4%	11.93
5%	12.34
6%	12.54
7%	12.65
8%	12.66

Img. Resultado de la prueba



Img. Tabla de resultados de la prueba.

3.6 Fórmula de trabajo

Una vez considerado que el suelo es apto para su tratamiento con cal, se pasa a determinar la fórmula de trabajo para la mezcla suelo-cal que permita conseguir los objetivos propuestos.

La dosificación óptima de cal, en el caso de buscar la modificación inmediata, será aquella que logre reducir e incluso, anular, la plasticidad del suelo, reducir el hinchamiento potencial, y aumentar hasta un valor aceptable la capacidad portante del suelo (CBR).

Para ello, la fórmula de trabajo se obtiene a partir del análisis de los parámetros y ensayos anteriores realizados con distintas muestras representativas del terreno mezcladas con distintos porcentajes de cal. De esta forma, se podrá comprobar el efecto de la cal y así determinar el porcentaje necesario para alcanzar los objetivos buscados.

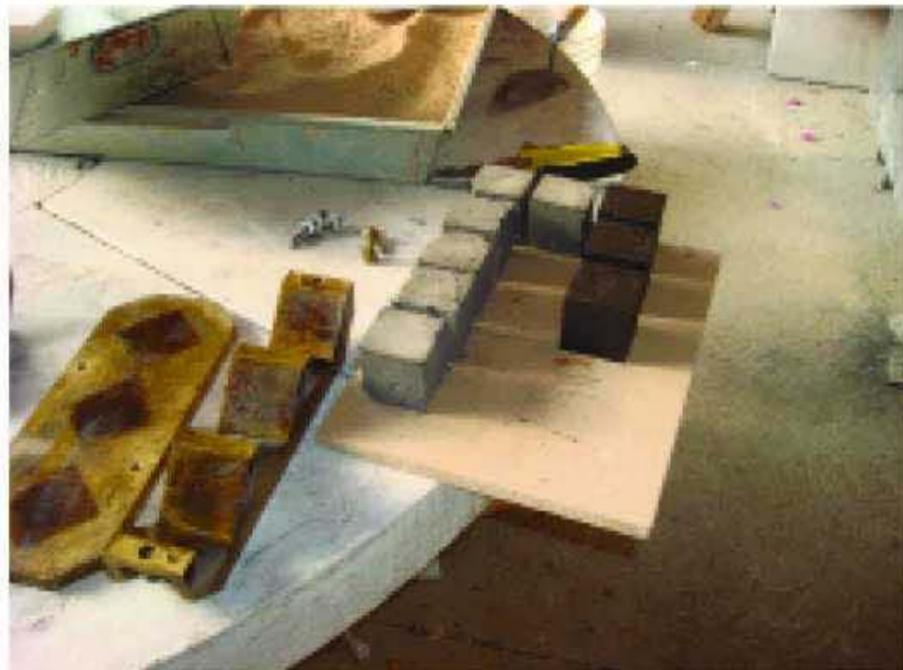
En el caso de buscar, además, la estabilización a largo plazo, deberán analizarse el resto de parámetros más detalladamente. Además de los señalados anteriormente, se determinarán las Resistencias

Mecánicas sobre probetas confeccionadas con los moldes del CBR. Estas probetas se romperán por compresión a distintas edades, según se determine previamente.

Capítulo

IV

ELABORACIÓN Y PRUEBA DE LAS MUESTRAS



CAPITULO IV ELABORACIÓN Y PRUEBA DE LAS MUESTRAS

4.1 Variables.

Se inicia la elaboración de las muestras para la experimentación en las cuales se tienen dos variables en lo que se refiere a tierra, tengo una cantidad igual de estabilizadores, las cantidades en las que esté va a ser dosificado se muestra en la siguiente tabla, cabe señalar que las cantidades serán del peso en seco de la tierra a estabilizar.

VARIABLES DE ESTABILIZADORES						
VARIABLES DE TIERRA		SIN ESTABILIZAR	CAL HIDRATADA		CEMENTO GRIS	
			10.00%	15.00%	10.00%	15.00%
	TIERRA AMARILLA	6 PIEZAS	6 PIEZAS	6 PIEZAS	6 PIEZAS	6 PIEZAS
	TIERRA NEGRA	6 PIEZAS	6 PIEZAS	6 PIEZAS	6 PIEZAS	6 PIEZAS

Tabla de variables de las pruebas.

Comencé con la elaboración de las muestras sin estabilizar, que me servirán como parámetro, de ahí partiré para superar los resultados que este nos arroje.

Cada una de las muestras consta de 6 piezas que serán empleadas de la siguiente manera, 4 para aplicarle la carga a compresión, 1 para prueba de humedad y 1 para prueba de congelamiento.



Img. Muestras elaboradas de tierra
Fotografía tomada de la fototeca del autor

4.2 Proceso de elaboración de las muestras.

4.2.1 Pasos a seguir para elaborar las muestras.

La elaboración de las muestras tomó un tiempo considerable ya que se tenían que fraguar por espacio de una hora los adobes antes de desmoldar, todas las cantidades son controladas y rigurosamente pesadas, fueron compactadas con la misma cuchara para que no quedaran huecos en la parte media que nos provocaran grietas. A continuación daré una explicación de cómo fueron elaboradas las piezas.

La tierra se deberá cernir para quitar todas las piedras y partículas plásticas que podrían afectar a nuestros modelos, de ahí podrían surgir las fallas cuando sean probadas con cargas a compresión.



Img. Tierra cernida

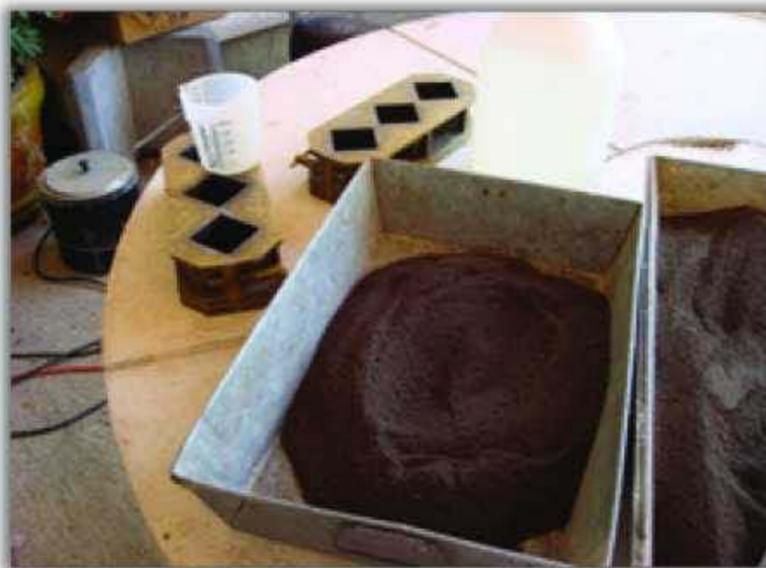
Fotografía tomada de la fototeca del autor



Img. Quitar piedras y partículas plásticas

Fotografía tomada de la fototeca del autor

Una vez pesada la tierra se procede a hacer la mezcla, en esta muestra no ocupamos estabilizador para así podremos saber el comportamiento de la tierra de manera natural, los resultados que me arrojen me servirán de punto de comparación con los resultados que obtenga de las muestras estabilizadas con cal o cemento.



Img. Tierra ya pesada y preparada

Fotografía tomada de la fototeca del autor



Img. Preparación de la Mezcla.

Fotografía tomada de la fototeca del autor

Cuando tenemos hecha la mezcla procedemos al relleno de los moldes, compactamos con la cuchara para que no queden huecos en la parte media, una vez terminado esperamos 1 hora para poder sacarlos de los moldes, lo haremos con mucho cuidado para no deformarlos y tengamos como resultado unas piezas con superficies muy regulares ya que así lo requiere la maquina que los probara a compresión.



Img. Compactación de las piezas.
Fotografía tomada de la fototeca del autor



Img. Descimbrado de las piezas.
Fotografía tomada de la fototeca del autor

Después de desmoldarlas las colocaremos en una superficie plana de preferencia y a la sombra para que no pierdan humedad demasiado rápido y se agrieten, y esperar al menos 30 días para comenzar con las pruebas.

Una vez que termine las piezas sin estabilizar procedí a la fabricación de las piezas estabilizadas, pesando todos los agregados correctamente para que no tener errores en los resultados.

Este es el caso de las muestras estabilizadas con cal, a continuación les explicare el proceso de fabricación.



Img. Tierra negra ya pesada.
Fotografía tomada de la fototeca del autor



Img. Cal como estabilizador.
Fotografía tomada de la fototeca del autor

Una vez pesados los agregados se procede a hacer la mezcla, esto se hace en seco para una correcta integración de los elementos, la cantidad de agua que se agregara es de 30% del peso del material en seco, o sea si tenemos 1000 gramos de material usaremos solo 300 mililitros, se agrega lentamente hasta obtener una mezcla homogénea, en algunos casos podríamos utilizar menos agua, por la humedad ya contenida en la tierra



Img. Mezcla de los agregados.
Fotografía tomada de la fototeca del autor



Img. Mezcla ya lista.
Fotografía tomada de la fototeca del autor

Una vez que tenemos la mezcla lista procedemos a llenar los moldes, cabe mencionar que los moldes utilizados cumplen con las normas (ASTM C87, C109, C141, C593; AASHTO T106) que son para la prueba de carga a compresión de cubos de mortero, llenamos los moldes en tercios y lo compactamos con la misma cuchara y así hasta que ya están completamente llenos y los enrazamos con una llana.



Img. Moldes ya llenos.
Fotografía tomada de la fototeca del autor



Img. Desmolde de los cubos.
Fotografía tomada de la fototeca del autor

Después de una hora podemos proceder al desmolde de las piezas, lo hacemos con mucho cuidado para no deformarlas, y dejarlos secar por un mes para poder hacer las pruebas a las que serán sometidos.

Así como fabricamos muestras con tierra negra, hicimos con la otra variable que es la tierra amarilla, a continuación explicare breve mente como fueron fabricados.



Img. Pesado de la Tierra.
Fotografía tomada de la fototeca del autor



Img. Estabilizador al 15%.
Fotografía tomada de la fototeca del autor



Img. Tierra y Estabilizador.
Fotografía tomada de la fototeca del autor



Img. Mezcla preparada.
Fotografía tomada de la fototeca del autor



Img. Molde lleno.
Fotografía tomada de la fototeca del autor



Img. Desmolde de los cubos.
Fotografía tomada de la fototeca del autor

Cuando se termino de elaborar todas las muestras se dejaron reposar por un mes completo, a la sombra para que no perdieran humedad demasiado rápido y así obtener un curado perfecto que es uno de los puntos importantes en lo que se refiere a la fabricación de especímenes para pruebas de carga a compresión.



Img. Muestras de Tierra Negra.
Fotografía tomada de la fototeca del autor



Img. Muestras de Tierra Amarilla.
Fotografía tomada de la fototeca del autor

4.3 Pruebas a las que serán sometidas las muestras.

4.3.1 Pruebas de carga a compresión.

Para estas pruebas ocuparemos una maquina universal para pruebas a compresión a especímenes de mortero, las muestras tendrán el tamaño estándar para estas pruebas, el resultado nos lo dará en Libras sobre Pulgada cuadrada (Lb/Pg².), se tendrá que hacer la conversión a Kilos sobre Centímetro cuadrado (Kg/Cm².), expresaremos el resultado haciendo un promedio de carga.



Img. Maquina Universal.
Fotografía tomada de la fototeca del autor



Img. Ejemplo de Funcionamiento.
Fotografía tomada de la fototeca del autor

A continuación expondremos los resultados de las pruebas de las diferentes variables, comenzando con la tierra negra.



Img. Prueba Iniciando.
Fotografía tomada de la fototeca del autor



Img. Resistencia total.
Fotografía tomada de la fototeca del autor

De esta manera sometí a la prueba de carga a compresión, presento a continuación los resultados.

Tipo de Tierra	Estabilizador	No. De Pieza	Resultado Lb/Pg 2	Kg / Cm2	Promedio Kg / Cm2
Tierra Negra.	Sin Estabilizar	1	0.00	0.00	0.00
		2	0.00	0.00	
		3	0.00	0.00	
		4	0.00	0.00	
Tierra Negra.	15 % Cal	1	0.00	0.00	0.00
		2	0.00	0.00	
		3	0.00	0.00	
		4	0.00	0.00	
Tierra Negra.	15 % Cemento	1	0.00	0.00	0.00
		2	0.00	0.00	
		3	0.00	0.00	
		4	0.00	0.00	
Tierra Negra.	10 % Cal	1	0.00	0.00	0.00
		2	0.00	0.00	
		3	0.00	0.00	
		4	0.00	0.00	
Tierra Negra.	10 % Cemento	1	0.00	0.00	0.00
		2	0.00	0.00	
		3	0.00	0.00	
		4	0.00	0.00	

Resultados de pruebas a compresión de las muestras de tierra negra.

Tipo de Tierra	Estabilizador	No. De Pieza	Resultado Lb/Pg 2	Kg / Cm2	Promedio Kg /Cm2
Tierra Amarilla.	Sin Estabilizar	1	0,00	0,00	7,88
		2	630,00	11,44	
		3	685,00	12,44	
		4	420,00	7,63	
Tierra Amarilla.	15 % Cal	1	909,00	16,51	12,20
		2	610,00	11,08	
		3	709,00	12,88	
		4	460,00	8,35	
Tierra Amarilla.	15 % Cemento	1	1325,00	24,06	22,47
		2	1405,00	25,51	
		3	1050,00	19,07	
		4	1170,00	21,25	
Tierra Amarilla.	10 % Cal	1	0,00	0,00	0,00
		2	0,00	0,00	
		3	0,00	0,00	
		4	0,00	0,00	
Tierra Amarilla.	10 % Cemento	1	310,00	5,63	5,61
		2	325,00	5,90	
		3	260,00	4,72	
		4	340,00	6,17	

Resultados de pruebas a compresión de las muestras de tierra amarilla.

En las dos tablas anteriores podemos observar los resultados de las pruebas a cargas de compresión a las que fueron sometidas nuestras muestras, en las muestras hechas con tierra negra tuvimos una nula capacidad de carga, esta información lejos de tomarla como mala es una fuente de información muy importante porque al observarla podemos darnos cuenta que la tierra negra con un alto grado de materia orgánica es imposible estabilizarla con cal o cemento, en la segunda tabla podemos observar que si se estabilizó, como resultado obtuvimos que subió de 7.88 kilogramos por centímetro cuadrado que nos dio como resultado de resistencia a la compresión en promedio a 12.20 kilogramos por centímetro cuadrado con 15% de cal como estabilizador en las muestras de tierra negra y de 22.47 kilogramos sobre centímetro cuadrado con 15% de cemento como estabilizador en las muestras de tierra amarilla.

4.3.2 Prueba de absorción de agua.

En este caso usaremos tres especímenes uno sin estabilizar que va a ser nuestro paramento de arranque, uno estabilizado a 10% y otro a 15% hechos a base de tierra amarilla y como estabilizador utilizaremos cal, una báscula y un cronometro.

La prueba consiste en colocar los especímenes en un recipiente con al menos 8 mm de agua constante, se establece un intervalo de tiempo, se coloca la pieza en el recipiente y se registra el peso cada vez que se termina ese intervalo de tiempo para saber qué cantidad de agua absorbe y se observa que pasa con la pieza físicamente.

Empezaremos la prueba con el espécimen si estabilizar, el peso inicial fue de 130.1 gramos, nuestro intervalo de tiempo será de 10 segundos, colocaremos la pieza en el recipiente, a los 120 segundos tenemos un aumento de 11.7 gramos que representa el 8.99%, a los 160 segundos llego a su máximo peso que fue de 142.5 gramos después de esto su peso fue en decremento porque se estaba perdiendo material a los 300 segundos el peso que registro es de 141.6, aquí se detuvo la prueba porque la pérdida del material ya era considerable.



Img. Espécimen con pérdida de material.
Fotografía tomada de la fototeca del autor

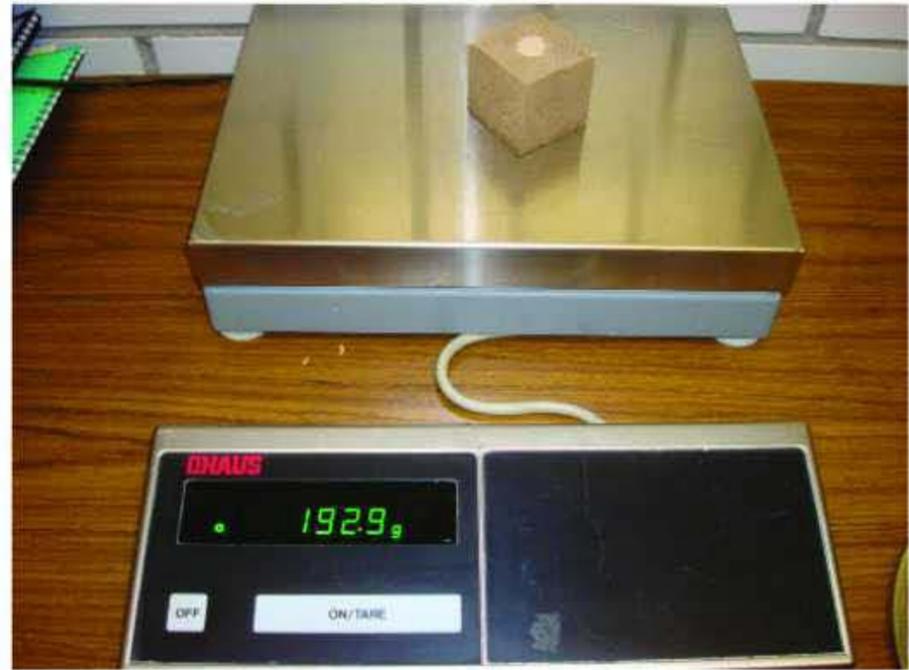


Img. Se registra el peso del espécimen.
Fotografía tomada de la fototeca del autor

El espécimen estabilizada al 10% el cual tuvo un peso inicial de 132.8 gramos a los 120 segundos tenemos un peso registrado de 161.5 gramos, 28.7 gramos más que representa el 21.61%, a los 300 segundos se registró un peso de 182.2 gramos, 49.4 gramos más que representa el 37.19% a los 480 se saturo y registro un peso sin cambio de 193 gramos y se detuvo la prueba a los 510 segundos al no presentar ningún cambio el peso registrado, el espécimen no perdió material durante la prueba.



Img. El espécimen no pierde material al saturarse.
Fotografía tomada de la fototeca del autor



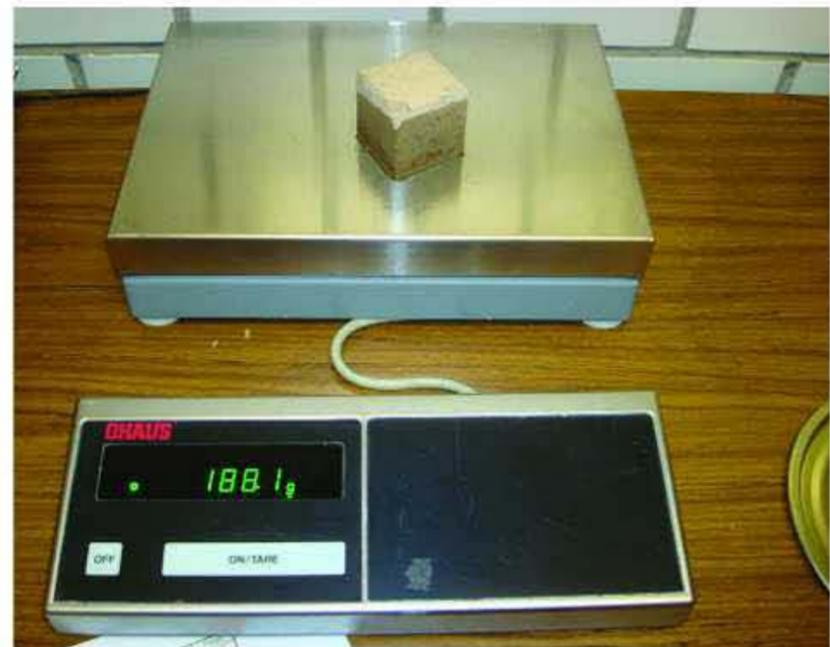
Img. El espécimen llega a la saturación de 100%
Fotografía tomada de la fototeca del autor

La pieza estabilizada al 15% registro un peso inicial de 138.1 gramos, a los 120 segundos registro un peso de 160.8 gramos, 22.7 gramos más que representan el 16.43% los 400 segundos tenía un peso de 181.7 gramos, 43.6 gramos más que representan el 31.57%, terminamos la prueba a los 600 segundos registro un peso de 192.4 gramos es decir 54.3 gramos más que representan el 39.3% y no presento perdida de material.

La muestra de tierra estabilizada con 10% de cemento presento un peso inicial de 140.1 gramos, más pesada en relación a las muestras fabricadas con tierra y cal, a los 120 segundos el peso se incrementó en 162.3 gramos, 22.2 gramos más que representa el 15.84%, a los 300 segundos registro un peso de 177.9 gramos, 37.8 gramos más, que es el 26.9% a los 600 segundos termino la prueba y presento un peso de 195.6 gramos, 56.4 gramos que es el 40.25% no presento perdida de material.

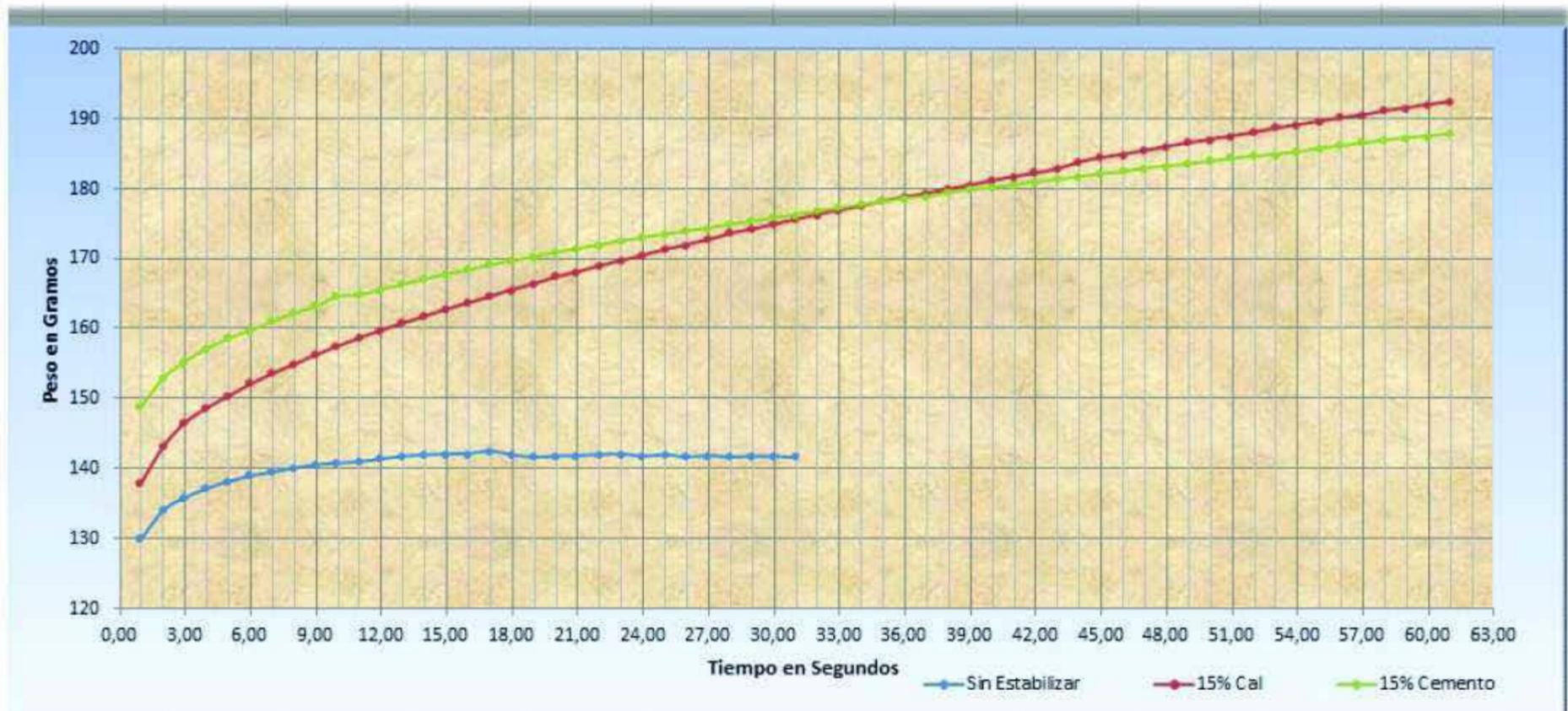


Img. Espècimen saturandose.
Fotografía tomada de la fototeca del autor

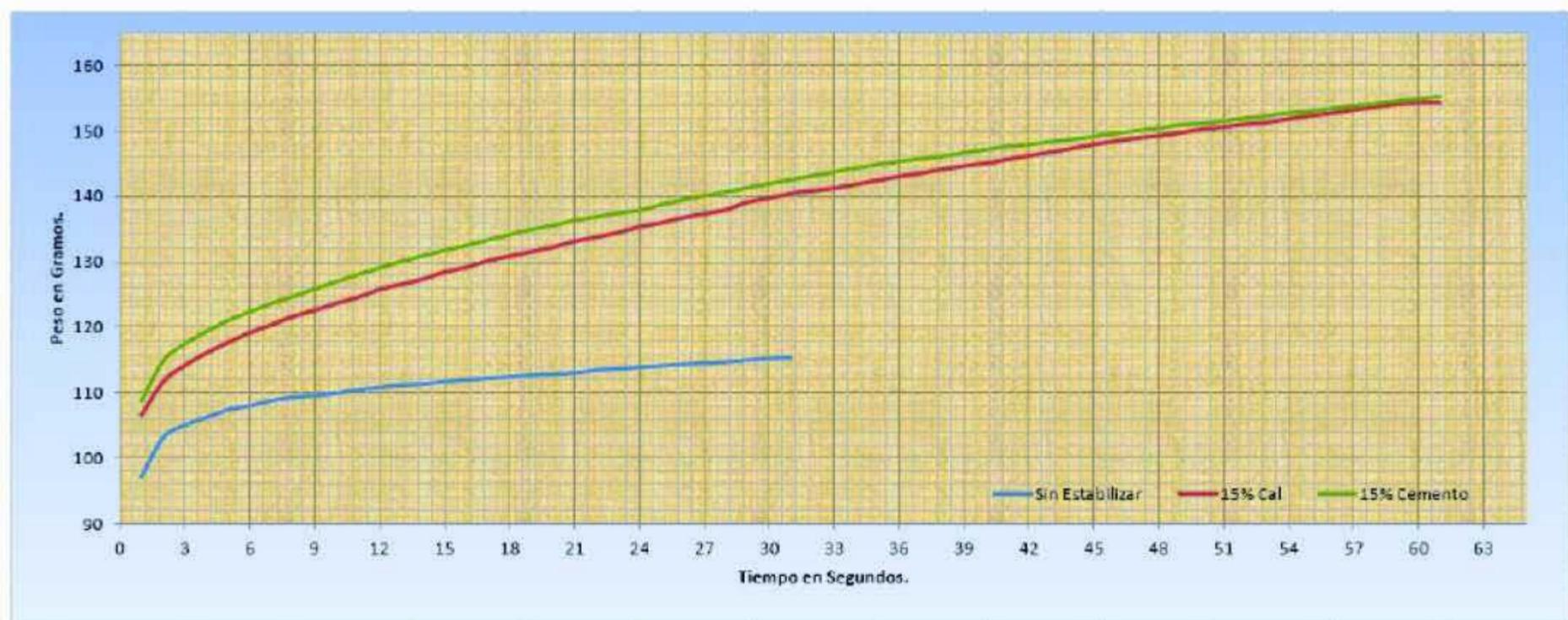


Img. Peso del espècimen saturandose.
Fotografía tomada de la fototeca del autor

Por último la pieza de tierra estabilizada con cemento al 15% presento un peso inicial de 148.9 gramos a los 120 segundos presento un peso de 166.3 gramos, 17.4 gramos, a los 300 segundos tenía un peso de 176.3 gramos, 27.4 gramos más que representa el 18.4%, al término de la prueba ya en los 600 segundos el peso registrado fue de 187.8 gramos, 38.9 gramos más que representa el 26.12%, todo esto fue sin pérdida de material.



Img. Graficas de comportamiento de especímenes en la prueba de absorción de agua hechos de tierra amarilla.



Img. Graficas de comportamiento de especímenes en la prueba de absorción de agua hechos de tierra negra.

CONCLUSIONES



Conclusiones.

La tierra como sistema constructivo identificamos dos importantes desventajas, la primera de estas es la poca resistencia que tiene a resistir cargas a compresión a que son sometidos los elementos de tierra, hablaremos de dos casos el adobe y el bloque de tierra comprimido (BTC), el adobe no alcanza más de 7 a 8 kilos sobre centímetro cuadrado, tratándose de adobes tradicionales, estabilizados con paja natural o estiércol, el segundo caso que es el BTC su resistencia va de los 30 a 40 kilogramos por centímetro cuadrado, la otra gran desventaja que también hemos identificado es su resistencia a la humedad, tiene una nula resistencia a la degradación del material por estar en contacto directo con agua o peor aún sumergido por un largo periodo, nos enfocamos en estas dos desventajas para realizar esta investigación, tomando en cuenta el punto de partida la hipótesis, que aprovechando las propiedades físicas de la tierra y habilitándole las propiedades de otro material por medios artificiales, podemos encontrar la mejor manera de estabilizar la tierra y así mejorar sus propiedades físicas.

Para iniciar una correcta dosificación de los estabilizadores, hablando de la cal y el cemento usamos el método EADES & GRIM, esta prueba permite calcular el porcentaje óptimo para lograr una estabilización completa, emplea el concepto del PH para detectar el punto de saturación del estabilizador usado, otro control de calidad que aplicamos es la prueba de medición de la granulometría, que no es otra cosa que saber qué tipo y cantidad de diferentes granos hay en una muestra de tierra, contenido de humedad, pruebas que se pueden hacer en campo no solo en el laboratorio, cuando terminamos con estas pruebas de control de calidad fabricamos las muestras, respetando las variables dependientes e independientes, fabricamos muestras con 6 elementos cada una con diferentes proporciones cada muestra, a diferentes edades fueron probadas para saber su resistencia a la compresión los resultados obtenidos fueron más allá de lo esperado en adobe tradicional llegamos a registrar hasta 22.47 kilogramos por centímetro cuadrado, en el estabilizando con cemento al 15%, en los bloques de tierra comprimida el registro máximo ha sido de más de 85 kilogramos por centímetro cuadrado. Con lo que respecta a la resistencia a la humedad se presentó absorción de agua pero con la ventaja que no hubo pérdida de material en ninguno de los dos casos es decir con la cal y el cemento usados como estabilizador.

Todos estos resultados fueron obtenidos con muestras fabricadas con tierra adquirida en tiendas de materiales de construcción que conocemos como tepetate fue una de las variables utilizadas, la otra variable es la que denominamos como tierra negra, la cual no tuvo resultados muy alentadores no presento resistencia alguna en las pruebas de resistencia a cargas de compresión y sacamos en conclusión que al ser una tierra con un alto nivel de materia orgánica su estabilización es muy difícil, no así los resultados de su resistencia a la humedad, presento un buen comportamiento estabilizada con cal o cemento no tuvo pérdida de material, creemos que al modificar su contenido de arena y usando otra técnica que no sea adobe o bloque de tierra comprimida, vamos a tener un excelente resultado.

Las pruebas de granulometría fueron muy importantes en estos resultados, así supimos que es muy necesario saber las cantidades de arena, limo y arcilla que posee la tierra que vamos a estabilizar, la prueba granulométrica solo se hace en un laboratorio, pero al estar en campo podemos sustituirla por una sencilla prueba de sedimentación, que podemos confiar en sus resultados porque son muy aproximados.

Con estos productos que hemos obtenido se construyó un módulo de prueba, es un conjunto de habitaciones en el cual se usaron los bloques para hacer muros capuchinos reforzados con través de concreto armado y una losa del mismo tipo, los muros solo han presentado agrietamientos muy pequeños que no comprometen la seguridad de la estructura, es algo que nos llena de satisfacción reconocemos que no es la mejor forma de cómo se usó el material pero su respuesta ha sido muy satisfactoria.

Para la fabricación del bloque de tierra comprimida o adobe se deben tener en cuenta varios aspectos:

El primero es saber su contenido de arena, arcilla y limo para hacer una correcta selección del material estabilizador.

El segundo aspecto tiene que ver con la calidad de la materia prima, la tierra no debe contener piedras, terrones, materia orgánica o plásticos, etc., el agua debe ser potable y si no se tienen acceso a ella por lo menos debe dejarse en reposo un tiempo considerable para que se así se sedimente la ,materia orgánica, por último el estabilizador, en el caso de usar cal o cemento no deben de estar caducos, el querer estabilizar tierra con cemento caducado vamos a afectar la resistencia de la pieza tanto como si no hubiéramos usado ningún estabilizador o en casos puede ir más abajo que la resistencia de la tierra sin estabilizar.

Tercer aspecto, tiene que ver con las proporciones de tierra, agua y estabilizador, siempre deben de respetarse si alteramos alguna de ella los resultados no serán los deseados, si no se cuenta con una báscula en campo debemos preparar algunos recipientes que previamente comprobamos que el contenido corresponde al peso o cantidad que vamos a utilizar.

Cuarto aspecto, en la fabricación del bloque de tierra comprimida en específico la máquina que seleccionamos tiene mucho que ver con los resultados, esto debido a la presión que ejerza sobre la tierra para formar un bloque por ejemplo la Cimbarram ejerce poca presión de unos cuantos kilos, sus bloques al salir son muy endebles y poco resistentes así que deben de tener un considerable tiempo de secado para poder usarse, si lo comparamos con la maquina Adopres 2000 de la fábrica Italmexicana tenemos una enorme diferencia sus bloques al salir son más resistentes y el ritmo de trabajo es rápido, si tenemos la posibilidad de usar alguna máquina de mecanismo hidráulico tendremos mejores resultados.

Quinto aspecto. Los sistemas constructivos no deben mezclarse se deben de respetar y debemos de trabajar con sistemas constructivos compatibles, la tierra como sistema constructivo es compatible con la piedra y la madera, al tener un comportamiento similar ante un sismo o simplemente para soportar cargas de compresión, el concreto y el acero no son compatibles con este sistema constructivo, al haber responder a las sollicitaciones de cargas la tierra resultaría afectada por el concreto por la diferencia de peso volumétrico, el problema con el acero radica en que no tendría la correcta adherencia con el material.

Sexto aspecto. Se debe cuidar el orden y la limpieza, si no se tienen el cuidado los materiales se pueden contaminar fácilmente al estar en contacto con el suelo, trabajar con tierra es un tanto

difícil es tan delicado como lo es cuando se trabaja con concreto.

Aportación.- Con base en los resultados obtenidos en esta investigación concluyo que hacemos las siguientes aportaciones:

1. Cualquier tipo de tierra se puede estabilizar.
2. Analizando sus características físicas podemos mejorarlas para alcanzar resistencias que no se habían alcanzado con la fabricación tradicional de las piezas.
3. Usando cualquier tipo de estabilizador por fraguado vamos a evitar la pérdida de material al estar las piezas en contacto constante con el agua por un tiempo prolongado.
4. Los resultados de las pruebas para resistir cargas a compresión que obtuvimos mejoraron en un 100%.

En el quehacer de la investigación del sistema constructivo con tierra hay mucho camino por andar, si bien podemos decir que este sistema tiene más de 4000 años usándose en Latinoamérica sin temor a equivocarnos y hay datos que nos indican que en el mundo hay vestigios de construcciones de más de 8000 años, pero la investigación no vas más allá de 100 años en los cuales ha habido bastantes avances pero no han sido suficientes para regresar a la tierra como el sistema constructivo de más uso a nivel nacional, comparado con la investigación de otros materiales como el concreto o la madera estamos en los primeros pasos, tenemos que trabajar más, llevar esto a la sistematización llevarlo a nivel industrial y de los prefabricados hay mucho por hacer por el bien del planeta y de la humanidad desde el punto de vista ecológico y sustentable.

BIBLIOGRAFÍA



REFERENCIAS:

Bardou, P. (1981) Arquitecturas de adobe. (1a ed.) España: Gustavo Gili.

Blaxter, L. (2007) Cómo se hace una investigación (2a ed.) México: Gedisa

Barksdale, R. () R.R. Expansive cement stabilization of bases”- HRR 255-1968.

Cegarra Sanchez José, “Metodología de la investigación científica y tecnológica”. Ed. Díaz Santos, España 2004.

Hernández Sampieri Roberto, Fernández Collado Carlos, Baptista Lucio Pilar, “Metodología de la Investigación”. Ed. Mc Graw Hill Interamericana. México, 2006

Lara García Baudelio, “El protocolo de investigación–Guía para su elaboración”. Universidad de Guadalajara, México, 1997.

Centro de Estudios y Prevención de Desastres (PREDES).. Construcción de vivienda económica en adobe estabilizado. Lima, PE; s.f

Cutis, W. () Determination of cement content of soil cement mixtures. Alberta Department of Highways- Canada.

Department of Public Works. State of California. Determination of cement or lime content treated aggregates, by titration method Test Method No. Calif. 338-D – EUA- 1968.

Diamond, S. () Adsorption of calcium hydroxide by montmorillonite. journal Colloid. Sci.- 1969.

Guerrero, L.(1994) Arquitectura de tierra en México.(1a ed.) México : UAM-A.

Maldonado, L. (1999) Curso de construcción con tierra – Cuadernos del Instituto Juan Herrera – ETS Arquitectura- Madrid – Cuadernos 51.01, 54.01 y 103.01

McHenry, P. (1996) Adobe : cómo construir fácilmente.(ed) México : Trillas.

Neves, C, (2007), Arquitectura y construcción con Tierra en Iberoamérica: Pasado, Hoy y Futuro en Anuario de Investigación de construcción con Tierra y del Diseño Sustentable. Facultad de Arquitectura, Diseño Y Urbanismo. Universidad Autónoma de Tamaulipas. Tampico. México

Noble D. () Reactions and strength development in portland cement clay mixtures—H.R.R. 86- EUA.

Pereira, H. (1995) Habiterra: Exposición Iberoamericana de construcciones de tierra.(ed.) Colombia: Escala.

Roux, R. (2007), La Construcción con Tierra en Zonas Húmedas Caso Tampico en Anuario de Investigación de construcción con Tierra y del Diseño Sustentable. Facultad de Arquitectura, Diseño Y Urbanismo. Universidad Autónoma de Tamaulipas. Tampico. México

Rubén Salvador Roux Gutiérrez, Los Bloques de Tierra Comprimida (BTC), Arquitectura y Urbanismo mayo 2010.

Salas, J. (1992) Contra el Hambre de Vivienda: Soluciones Tecnológicas Latinoamericanas. Bogotá, Colombia: Escala

Sherwood P.T. "EFFECTS OF SULFATES ON CEMENT AND LIME STABILIZED SOILS."-HRB 353-196

Sherwood, P.T. 2 The properties of cement stabilized materials – RRL report LR 205 –The Roads Research Laboratory –Crowthorne, Berks. Inglaterra – 1968.

Sitios Web:

Secretaria de Gobernación
<http://www.ordenjuridico.gob.mx>

Tecnologías Ecológicas para la vivienda en la Parroquia Bilcabamba de la Ciudad de Loja.
<http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/732/3/Vaca%20Merino%20Lorena.pdf>

ANEXOS



ANEXOS.

Anexo 1.

Método de prueba estándar para El uso de pH para estimar las necesidades de suelo-cal Proporción de Estabilización de Suelos 1

Designation: D 6276 – 99a

Standard Test Method for
Using pH to Estimate the Soil-Lime Proportion Requirement for
Soil Stabilization¹

This standard is issued under the fixed designation D 6276; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (e) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This test method provides a means for estimating the soil-lime proportion requirement for stabilization of a soil. This test method is performed on soil passing the –425- μ m (No. 40) sieve. The optimum soil-lime proportion for soil stabilization is determined by tests of specific characteristics of stabilized soil such as unconfined compressive strength or plasticity index.

1.2 Some highly alkaline by-products (lime kiln dust, cement kiln dust, and so forth) have been successfully used to stabilize soil. This test method is not intended for these materials and any such product would need to be tested for specific characteristics as indicated in 1.1.

1.3 This test method is used to determine the lowest percentage of lime that results in a soil-lime pH of 12.4.

1.4 Lime is not an effective stabilizing agent for all soils. Some soil components such as sulfates, phosphates, organics, and so forth can adversely affect soil-lime reactions and may produce erroneous results using this test method.

1.5 This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

C 51 Terminology Relating to Lime and Limestone (as used by the industry)²

C 977 Specification for Quicklime and Hydrated Lime for Soil Stabilization²

D 421 Practice for Dry Preparation of Soil Samples for Particle-Size Analysis and Determination of Soil Constants³

D 653 Terminology Relating to Soil, Rock, and Contained Fluids³

D 1193 Specification for Reagent Water⁴

Current edition approved June 10, 1999. Published September 1999. Originally published as D 6276 – 98. Last previous edition D 6276 – 99.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.01.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.08.

D 1293 Test Methods for pH of Water⁴

D 2216 Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock³

D 3740 Practice for Minimum Requirements for Agencies Engaged in the Testing and/or Inspection of Soil and Rock as Used in Engineering Design and Construction³

D 4753 Specification for Evaluating, Selecting, and Specifying Balances and Scales for Use in Testing Soil, Rock, and Related Construction Materials³

E 11 Specification for Wire-Clot h Sieves for Testing Pur- poses⁵

E 145 Specification for Gravity-Convection and Forced- Ventila- tion Ovens⁵

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.2 Refer to Terminology C 51 for definitions of terms relating to lime.

3.3 Refer to Terminology D 653 for terms relating to soil.

3.4 Definitions of Terms Specific to This Standard:

3.4.1 buffer solution—a solution of specific pH value used to calibrate the pH meter.

3.4.2 free lime—lime in a soil-lime mixture that has not dissociated into calcium and hydroxyl ions.

3.4.3 hydrated lime—lime that is predominately calcium hydroxide (Ca(OH)₂) or a mixture of calcium hydroxide and magnesium oxide (MgO) or magnesium hydroxide (Mg(OH)₂).

3.4.4 lime—a general term which, for the purpose of this test method, includes hydrated lime and quicklime.

3.4.5 lime content—the ratio expressed as a percentage of the mass of lime to the dry mass of soil.

3.4.6 lime stabilization—addition of lime to a soil in sufficient quantities to promote long-term pozzolanic reactions that result in strength gain and permanent improvement in stability. Textural improvement alone, such as reduced plasticity, is often referred to as “modification.” Modification can be effected by lime addition rates less than those required for stabilization and may not be permanent.

3.4.7 pH—the negative logarithm of the effective hydrogen-ion concentration or hydrogen-ion activity, in gram equivalents per litre. The pH values range from 0 to 14; where pH 7

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol 11.01.

⁵ Annual

Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D-18 on Soil and Rock and is the direct responsibility of Subcommittee D18.15 on Stabilization and Admixtures.

represents neutrality, pH values less than 7 indicate increasing acidity, and pH values greater than 7 indicate increasing alkalinity.

3.4.8 quicklime—lime that is predominately calcium oxide (CaO) or calcium oxide in association with magnesium oxide (MgO).

3.4.9 stabilization—a process to improve the engineering properties of soils at a site.

4. Summary of Test Method

4.1 A series of specimens is prepared containing a range of percentages of lime content in soil. Measurements of pH are made on slurries of the specimens to determine the minimum lime content of the soil-lime mixture to obtain a pH of at least 12.4.

4.2 The pH of at least 12.4 achieved in this test method results from free lime remaining in the soil-lime mixture. Normally, the pH of the specific lime being used for soil stabilization should be determined and used as the indicator pH.

5. Significance and Use

5.1 The soil-lime pH test is performed as a test to indicate the soil-lime proportion needed to maintain the elevated pH necessary for sustaining the reactions required to stabilize a soil. The test derives from Eades and Grim.⁶

5.2 Performance tests are normally conducted in a laboratory to verify the results of this test method.

5.3 This test method will not provide reliable information relative to the potential reactivity of a particular soil, nor will it provide information on the magnitude of increased strength to be realized upon treatment of this soil with the indicated percentage of lime.

5.4 This test method can be used to estimate the percentage of lime as hydrated lime or quicklime needed to stabilize soil.

5.5 Agricultural lime (crushed limestone) will not stabilize soil.

NOTE 1—Notwithstanding the statements on precision and bias contained in this test method: The precision of this test method is dependent on the competence of the personnel performing it and the suitability of the equipment and facilities used. Agencies that meet the criteria of Practice D 3740 are generally considered capable of competent and objective testing. Users of this test method are cautioned that compliance with Practice D 3740 does not itself ensure reliable testing. Reliable testing depends on several factors; Practice D 3740 provides a means of evaluating some of those factors.

6. Apparatus

6.1 Balance or Scale:

6.1.1 A balance or scale for determining the mass of soil and lime having a minimum capacity of 600 g and meeting the requirements of Specification D 4753 for a balance or scale of 0.01 g readability.

6.2 Sieve—A 425- μ m (No. 40) sieve, conforming to the requirements of Specification E 11.

6 Eades, J.L., and Grim, R.E., A Quick Test to Determine Lime Requirements for Lime Stabilization, Highway Research Record No. 3, 1996, National Academy of Sciences, National Research Council, Highway Research Board, Washington, DC.

6.3 Plastic Bottles—Six 150-mL (or larger) plastic bottles with tight-fitting screw caps.

6.4 A pH Meter—A pH meter equipped with reference electrode and low-sodium error glass pH-sensitive electrodes (or combination electrode) and a meter capable of displaying 0.01 units pH at 0.2 pH accuracy over a range from 0 to 14.

6.5 Drying Oven—Oven conforming to requirements of Specification E 145.

6.6 Miscellaneous Equipment—An airtight, moisture-proof container for preserving the moisture content of the soil; mixing tools and scoops for use in preparing test specimens.

7. Reagents and Materials

7.1 Water—Reference to water shall be understood to mean Type II reagent water conforming to Specification D 1193. Store the water in a tightly capped container; boil and cool the water immediately before use.

NOTE 2—If the pH of the site water to be used is highly acidic (<6) or highly basic (>9) test results should be checked against a specimen made up with site water rather than Type II water.

7.2 Buffer Solution—Use a buffer solution having a pH of 12, either commercially available or prepared in accordance with Test Methods D 1293.

7.3 Hydrated Lime—Only fresh lime meeting the requirements of Specification C 977 may be used.

7.4 Quicklime—Only fresh lime meeting the requirements of Specification C 977 may be used.

8. Safety Hazards

8.1 Quicklime becomes hot when mixed with water. Use protective gloves when handling containers of soil-quicklime-water mixtures.

8.2 Hydrated lime and quicklime are strong caustics and may cause severe irritation of skin, eyes, and mucous membranes. Appropriate safety equipment such as heavy rubber gloves, protective eye wear, and a plastic apron should be worn when handling lime. Ensure that adequate ventilation (or a respirator) is provided.

9. Technical Hazards

9.1 Lime readily absorbs water and carbon dioxide from the air, therefore, store lime in tightly closed containers.

9.2 The soil-lime-water mixture is alkaline and will react with metal and glass; therefore, use plastic bottles and beakers.

10. Specimens

10.1 Prepare a representative sample of air-dried soil in accordance with Practice D 421. Soil may be oven-dried at a temperature # 60°C.

10.2 Pass 350 g of material through the 425- μ m (No. 40) sieve.

10.3 Thoroughly mix the material passing the 425- μ m (No. 40) sieve.

10.4 Determine the water content, in accordance with Test Method D 2216, of a representative specimen of the material obtained in 10.3. Place the remaining material obtained in 10.3 in an airtight container to preserve the moisture content until the procedure described in Section 12 is performed.

11. Calibration and Standardization

11.1 Calibrate the pH meter in accordance with the manufacturer's instructions using a pH 12 buffer solution at 25 ± 1°C. The calcium hydroxide reference buffer solution described in 11.1.2 of Test Methods D 1293 may also be used as a calibration standard.

12. Procedure

12.1 Specimen Preparation:

12.1.1 Using the air-dried sample in accordance with Section 10, obtain five specimens, each equivalent to 25.0 g of oven-dried soil. Splitting or other appropriate means should be used to obtain each of the five specimens.

12.1.2 Determine the mass of each air-dried soil specimen equivalent to 25.0 g of oven-dry soil as follows:

$M_a = 25.3 \pm 1.0 \text{ g}$ (1)

where:

M_a = mass of air-dried soil specimen, and

W = water content, %, of air-dried sample determined in

10.4.

12.1.3 Place each specimen into dry plastic bottles and cap tightly.

12.1.4 Obtain six representative specimens of lime meeting the requirements of Specification C 977. Five specimens are

13.2 If the highest measured pH is 12.3 or less, then additional test samples using higher percentages of lime should be prepared and tested.

NOTE 5—There may be some soils where the pH of the soil-lime mixture will not go above 12.3. This phenomenon is thought to occur with soil (that is, clays) that are holding univalent ions such as sodium in exchange positions. As these ions are exchanged with calcium ions from lime, the pH electrode becomes sensitive to the sodium ions as well as the hydrogen ions.

13.3 If the highest measured pH is 12.3 and at least two successive specimens at increasing lime percentages yield values of 12.3, the lowest percentage of lime to give a pH of 12.3 is the approximate optimum lime percentage for stabilizing the soil.

13.4 If the highest measured pH is less than 12.3, the test is invalid due to equipment or material error or due to insufficient lime having been added. Check the pH electrode in the pH 12 buffer solution and the lime-water solution for possible equipment error or repeat the test using higher percentages of lime, or both.

14. Calculation

14.1 Convert percentage of lime as hydrated lime $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ to percentage of lime as quicklime (CaO) as follows:

representative of 2, 3, 4, 5, and 6 % of the equivalent 25-g oven-dried soil mass. The sixth specimen of 2.0 g of lime represents a saturated lime solution. Place the 2.0 g of lime into

where:

$LQ = 5 LH$

$3.56/74$ (2)

a dry plastic bottle and cap tightly.

NOTE 3—The range of lime percentages for soil-lime mixtures may be adjusted to meet the requirements of Section 13.

NOTE 4—The appendix of Specification C 977 notes that if quicklime is used, rapidly crush to pass a 3.35-mm (No. 6) sieve.

12.1.5 Add one of the first five lime specimens to one of the soil specimens in plastic bottles, cap tightly, mark the percentage on the bottle, and mix thoroughly by shaking. Repeat this procedure for the remaining four lime and soil specimens.

12.1.6 Add 100 mL of water to each of the soil-lime mixtures and to the bottle containing 2.0 g lime.

12.1.7 Cap the bottles and shake each of the soil-lime-water and lime-water mixtures for a minimum of 30 s or until the specimens are thoroughly mixed. Continue to shake the specimens for 30 s every 10 min for 1 h.

12.2 If necessary, heat or cool the specimen as needed to bring the temperature of the specimen to 25 ± 1°C.

12.3 Within 15 min of the end of the 1-h shaking period, determine the pH of each soil-lime-water and the lime-water mixture of 0.01 pH units. Maintain the temperature of the mixture at 25 ± 1°C when determining pH.

12.4 Record the pH value for each soil-lime-water mixture and for the lime-water mixture.

13. Soil-Lime Proportion and pH Relationship

13.1 The lowest percentage of lime in soil that gives a pH of 12.4 is the approximate lime percentage for stabilizing the soil. There may be some soils in which the pH is greater than 12.4. If this occurs, select the lowest percentage of lime where the higher pH value does not rise for at least two successive test samples at increasing lime percentages.

LQ = percentage of quicklime, %,

LH = percentage of hydrated lime, %,

56 = molecular weight CaO, and

74 = molecular weight $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

14.2 Convert percentage of lime as quicklime (CaO) to percentage of lime as hydrated lime $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ as follows:

$LH = 5 LQ \cdot 74/56$ (3)

where:

LH = percentage of hydrated lime, %,

LQ = percentage of quicklime, %,

74 = molecular weight $\text{Ca}(\text{OH})_2$, and

56 = molecular weight CaO.

15. Report

15.1 Report the following information:

15.1.1 The estimated lime percentage required for stabilization to the nearest 1 % and the lime percentage and measured pH of each of the soil-lime-water mixtures tested.

15.1.2 The type of lime used to determine the estimated lime content for soil stabilization.

16. Precision and Bias

16.1 Precision—The precision of this test method is being determined by an interlaboratory test program on three types of soils.

16.2 Bias—The bias of this test method cannot be determined because no accepted reference material exists.

17. Keywords

17.1 lime content; lime proportion; pH; soil-lime; soil stabilization

SUMMARY OF CHANGES

In accordance with Committee D-18 policy, this section identifies the location of changes to this standard since the last edition that may impact the use of this standard.

- | | |
|--|---|
| <p>(1) Paragraph 1.2 was added and the remainder of Section 1 was renumbered as needed.</p> <p>(2) The phrase "and may produce erroneous results using this test method" was added to the end of 1.4.</p> <p>(3) The language of the safety caveat in paragraph 1.5 (renumbered).</p> <p>(4) Lime stabilization definition, 3.4.6, was changed from "addition of limt to a soil in sufficient quantities to decrease the</p> | <p>plasticity index (PI) of the soil resulting in a soil that is less sticky, more tillable, more permeable, and with potentially greater bearing strength" to "addition of lime to a soil in sufficient quantities to promote long-term pozzolanic reactions that result in strength gain and permanent improvement in stability. Textural improvement alone, such as reduced plasticity, is often referred to as "modification." Modification can be effected by lime addition rates less than those required for stabilization and may not be permanent."</p> <p>(5) In 5.4 change "indicate" to "estimate."</p> <p>(6) Change the title of Section 14 from "Conversions" to "Calculation" to agree with standard headings.</p> <p>(7) Add Summary of Changes.</p> <p>(8) Miscellaneous editorial changes.</p> |
|--|---|

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428.

This standard is copyrighted by ASTM, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-

Anexo 2.

Método de prueba estándar para Análisis de tamiz fino y grueso en Agregados 1

Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates¹

This standard is issued under the fixed designation C 136; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope*

1.1 This test method covers the determination of the particle size distribution of fine and coarse aggregates by sieving.

1.2 Some specifications for aggregates which reference this method contain grading requirements including both coarse and fine fractions. Instructions are included for sieve analysis of such aggregates.

1.3 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values in parentheses are provided for information purposes only. Specification E 11 designates the size of sieve frames with inch units as standard, but in this test method the frame size is designated in SI units exactly equivalent to the inch units.

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

C 117 Test Method for Materials Finer Than 75- μm (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing²

C 125 Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates²

C 670 Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials²

C 702 Practice for Reducing Field Samples of Aggregate to Testing Size²

D 75 Practice for Sampling Aggregates³

E 11 Specification for Wire-Cloth and Sieves for Testing Purposes⁴

2.2 AASHTO Standard:

AASHTO No. T 27 Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates⁵

3. Terminology

3.1 *Definitions*—For definitions of terms used in this standard, refer to Terminology C 125.

4. Summary of Test Method

4.1 A sample of dry aggregate of known mass is separated through a series of sieves of progressively smaller openings for determination of particle size distribution.

5. Significance and Use

5.1 This test method is used primarily to determine the grading of materials proposed for use as aggregates or being used as aggregates. The results are used to determine compliance of the particle size distribution with applicable specification requirements and to provide necessary data for control of the production of various aggregate products and mixtures containing aggregates. The data may also be useful in developing relationships concerning porosity and packing.

5.2 Accurate determination of material finer than the 75- μm (No. 200) sieve cannot be achieved by use of this method alone. Test Method C 117 for material finer than 75- μm sieve by washing should be employed.

6. Apparatus

6.1 *Balances*—Balances or scales used in testing fine and coarse aggregate shall have readability and accuracy as follows:

6.1.1 For fine aggregate, readable to 0.1 g and accurate to 0.1 g or 0.1 % of the test load, whichever is greater, at any point within the range of use.

6.1.2 For coarse aggregate, or mixtures of fine and coarse aggregate, readable and accurate to 0.5 g or 0.1 % of the test load, whichever is greater, at any point within the range of use.

6.2 *Sieves*—The sieve cloth shall be mounted on substantial frames constructed in a manner that will prevent loss of material during sieving. The sieve cloth and standard sieve

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C09 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.20 on Normal Weight Aggregates.

Current edition approved June 10, 2001. Published August 2001. Originally published as C 136 – 38 T. Last previous edition C 136 – 96a.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.03.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

⁵ Available from American Association of State Highway and Transportation Officials, 444 North Capitol St. N.W., Suite 225, Washington, DC 20001.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.

frames shall conform to the requirements of Specification E 11. Nonstandard sieve frames shall conform to the requirements of Specification E 11 as applicable.

NOTE 1—It is recommended that sieves mounted in frames larger than standard 203.2-mm (8 in.) diameter be used for testing coarse aggregate to reduce the possibility of overloading the sieves. See 8.3.

6.3 Mechanical Sieve Shaker—A mechanical sieving device, if used, shall create motion of the sieves to cause the particles to bounce, tumble, or otherwise turn so as to present different orientations to the sieving surface. The sieving action shall be such that the criterion for adequacy of sieving described in 8.4 is met in a reasonable time period.

NOTE 2—Use of a mechanical sieve shaker is recommended when the size of the sample is 20 kg or greater, and may be used for smaller samples, including fine aggregate. Excessive time (more than approximately 10 min) to achieve adequate sieving may result in degradation of the sample. The same mechanical sieve shaker may not be practical for all sizes of samples, since the large sieving area needed for practical sieving of a large nominal size coarse aggregate very likely could result in loss of a portion of the sample if used for a small sample of coarse aggregate or fine aggregate.

6.4 Oven—An oven of appropriate size capable of maintaining a uniform temperature of $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9^\circ\text{F}$).

7. Sampling

7.1 Sample the aggregate in accordance with Practice D 75. The size of the field sample shall be the quantity shown in Practice D 75 or four times the quantity required in 7.4 and 7.5 (except as modified in 7.6), whichever is greater.

7.2 Thoroughly mix the sample and reduce it to an amount suitable for testing using the applicable procedures described in Practice C 702. The sample for test shall be approximately the quantity desired when dry and shall be the end result of the reduction. Reduction to an exact predetermined quantity shall not be permitted.

NOTE 3—Where sieve analysis, including determination of material finer than the 75- μm sieve, is the only testing proposed, the size of the sample may be reduced in the field to avoid shipping excessive quantities of extra material to the laboratory.

7.3 Fine Aggregate—The size of the test sample, after drying, shall be 300 g minimum.

7.4 Coarse Aggregate—The size of the test sample of coarse aggregate shall conform with the following:

Nominal Maximum Size, Square Openings, mm (in.)	Test Sample Size, min, kg (lb)
9.5 (3/8)	1 (2)
12.5 (1/2)	2 (4)
19.0 (3/4)	5 (11)
25.0 (1)	10 (22)
37.5 (1 1/2)	15 (33)
50 (2)	20 (44)
63 (2 1/2)	35 (77)
75 (3)	60 (130)
90 (3 1/2)	100 (220)
100 (4)	150 (330)
125 (5)	300 (660)

7.5 Coarse and Fine Aggregate Mixtures—The size of the test sample of coarse and fine aggregate mixtures shall be the same as for coarse aggregate in 7.4.

7.6 Samples of Large Size Coarse Aggregate—The size of sample required for aggregate with 50-mm nominal maximum

size or larger is such as to preclude convenient sample reduction and testing as a unit except with large mechanical splitters and sieve shakers. As an option when such equipment is not available, instead of combining and mixing sample increments and then reducing the field sample to testing size, conduct the sieve analysis on a number of approximately equal sample increments such that the total mass tested conforms to the requirement of 7.4.

7.7 In the event that the amount of material finer than the 75- μm (No. 200) sieve is to be determined by Test Method C 117, proceed as follows:

7.7.1 For aggregates with a nominal maximum size of 12.5 mm (1/2 in.) or less, use the same test sample for testing by Test Method C 117 and this method. First test the sample in accordance with Test Method C 117 through the final drying operation, then dry sieve the sample as stipulated in 8.2-8.7 of this method.

7.7.2 For aggregates with a nominal maximum size greater than 12.5 mm (1/2 in.), a single test sample may be used as described in 7.7.1, or separate test samples may be used for Test Method C 117 and this method.

7.7.3 Where the specifications require determination of the total amount of material finer than the 75- μm sieve by washing and dry sieving, use the procedure described in 7.7.1.

8. Procedure

8.1 Dry the sample to constant mass at a temperature of $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9^\circ\text{F}$).

NOTE 4—For control purposes, particularly where rapid results are desired, it is generally not necessary to dry coarse aggregate for the sieve analysis test. The results are little affected by the moisture content unless: (1) the nominal maximum size is smaller than about 12.5 mm (1/2 in.); (2) the coarse aggregate contains appreciable material finer than 4.75 mm (No. 4); or (3) the coarse aggregate is highly absorptive (a lightweight aggregate, for example). Also, samples may be dried at the higher temperatures associated with the use of hot plates without affecting results, provided steam escapes without generating pressures sufficient to fracture the particles, and temperatures are not so great as to cause chemical breakdown of the aggregate.

8.2 Select sieves with suitable openings to furnish the information required by the specifications covering the material to be tested. Use additional sieves as desired or necessary to provide other information, such as fineness modulus, or to regulate the amount of material on a sieve. Nest the sieves in order of decreasing size of opening from top to bottom and place the sample on the top sieve. Agitate the sieves by hand or by mechanical apparatus for a sufficient period, established by trial or checked by measurement on the actual test sample, to meet the criterion for adequacy or sieving described in 8.4.

8.3 Limit the quantity of material on a given sieve so that all particles have opportunity to reach sieve openings a number of times during the sieving operation. For sieves with openings smaller than 4.75-mm (No. 4), the quantity retained on any sieve at the completion of the sieving operation shall not exceed 7 kg/m^2 of sieving surface area (Note 5). For sieves with openings 4.75 mm (No. 4) and larger, the quantity retained in kg shall not exceed the product of $2.5 \times$ (sieve opening, mm \times (effective sieving area, m^2)). This quantity is shown in Table 1 for five sieve-frame dimensions in common

TABLE 1 Maximum Allowable Quantity of Material Retained on a Sieve, kg

Sieve Opening Size, mm	Nominal Dimensions of Sieve ^a				
	203.2-mm dia ^b	254-mm dia ^b	304.8-mm dia ^b	350 by 350 mm	372 by 580 mm
	Sieving Area, m ²				
	0.0285	0.0457	0.0670	0.1225	0.2158
125	c	c	c	c	67.4
100	c	c	c	30.6	53.9
90	c	c	15.1	27.6	48.5
75	c	8.6	12.6	23.0	40.5
63	c	7.2	10.6	19.3	34.0
50	3.6	5.7	8.4	15.3	27.0
37.5	2.7	4.3	6.3	11.5	20.2
25.0	1.8	2.9	4.2	7.7	13.5
19.0	1.4	2.2	3.2	5.8	10.2
12.5	0.89	1.4	2.1	3.8	6.7
9.5	0.67	1.1	1.6	2.9	5.1
4.75	0.33	0.54	0.80	1.5	2.6

^a Sieve frame dimensions in inch units: 8.0-in. diameter, 10.0-in. diameter, 12.0-in. diameter, 13.8 by 13.8 in. (14 by 14 in. nominal), 14.6 by 22.8 in. (16 by 24 in. nominal).

^b The sieve area for round sieve frames is based on an effective diameter 12.7 mm (½ in.) less than the nominal frame diameter, because Specification E 11 permits the sealer between the sieve cloth and the frame to extend 6.35 mm (¼ in.) over the sieve cloth. Thus the effective sieving diameter for a 203.2-mm (8.0-in.) diameter sieve frame is 190.5 mm (7.5 in.). Some manufacturers of sieves may not infringe on the sieve cloth by the full 6.35 mm (¼ in.).

^c Sieves indicated have less than five full openings and should not be used for sieve testing except as provided in 8.6.

use. In no case shall the quantity retained be so great as to cause permanent deformation of the sieve cloth.

8.3.1 Prevent an overload of material on an individual sieve by one of the following methods:

8.3.1.1 Insert an additional sieve with opening size intermediate between the sieve that may be overloaded and the sieve immediately above that sieve in the original set of sieves.

8.3.1.2 Split the sample into two or more portions, sieving each portion individually. Combine the masses of the several portions retained on a specific sieve before calculating the percentage of the sample on the sieve.

8.3.1.3 Use sieves having a larger frame size and providing greater sieving area.

NOTE 5—The 7 kg/m² amounts to 200 g for the usual 203.2-mm (8-in.) diameter sieve (with effective sieving surface diameter of 190.5 mm (7.5 in.)).

8.4 Continue sieving for a sufficient period and in such manner that, after completion, not more than 1 % by mass of the material retained on any individual sieve will pass that sieve during 1 min of continuous hand sieving performed as follows: Hold the individual sieve, provided with a snug-fitting pan and cover, in a slightly inclined position in one hand. Strike the side of the sieve sharply and with an upward motion against the heel of the other hand at the rate of about 150 times per minute, turn the sieve about one sixth of a revolution at intervals of about 25 strokes. In determining sufficiency of sieving for sizes larger than the 4.75-mm (No. 4) sieve, limit the material on the sieve to a single layer of particles. If the size of the mounted testing sieves makes the described sieving motion impractical, use 203-mm (8 in.) diameter sieves to verify the sufficiency of sieving.

8.5 In the case of coarse and fine aggregate mixtures, the portion of the sample finer than the 4.75-mm (No. 4) sieve may be distributed among two or more sets of sieves to prevent overloading of individual sieves.

8.5.1 Alternatively, the portion finer than the 4.75-mm (No. 4) sieve may be reduced in size using a mechanical splitter according to Practice C 702. If this procedure is followed, compute the mass of each size increment of the original sample as follows:

$$A = \frac{W_1}{W_2} \times B \quad (1)$$

where:

A = mass of size increment on total sample basis,

W_1 = mass of fraction finer than 4.75-mm (No. 4) sieve in total sample,

W_2 = mass of reduced portion of material finer than 4.75-mm (No. 4) sieve actually sieved, and

B = mass of size increment in reduced portion sieved.

8.6 Unless a mechanical sieve shaker is used, hand sieve particles larger than 75 mm (3 in.) by determining the smallest sieve opening through which each particle will pass. Start the test on the smallest sieve to be used. Rotate the particles, if necessary, in order to determine whether they will pass through a particular opening; however, do not force particles to pass through an opening.

8.7 Determine the mass of each size increment on a scale or balance conforming to the requirements specified in 5.1 to the nearest 0.1 % of the total original dry sample mass. The total mass of the material after sieving should check closely with original mass of sample placed on the sieves. If the amounts differ by more than 0.3 %, based on the original dry sample mass, the results should not be used for acceptance purposes.

8.8 If the sample has previously been tested by Test Method C 117, add the mass finer than the 75-µm (No. 200) sieve determined by that method to the mass passing the 75-µm (No. 200) sieve by dry sieving of the same sample in this method.

9. Calculation

9.1 Calculate percentages passing, total percentages retained, or percentages in various size fractions to the nearest 0.1 % on the basis of the total mass of the initial dry sample. If the same test sample was first tested by Test Method C 117, include the mass of material finer than the 75-µm (No. 200) size by washing in the sieve analysis calculation; and use the total dry sample mass prior to washing in Test Method C 117 as the basis for calculating all the percentages.

9.1.1 When sample increments are tested as provided in 7.6, total the masses of the portion of the increments retained on each sieve, and use these masses to calculate the percentages as in 9.1.

9.2 Calculate the fineness modulus, when required, by adding the total percentages of material in the sample that is coarser than each of the following sieves (cumulative percentages retained), and dividing the sum by 100: 150-µm (No. 100), 300-µm (No. 50), 600-µm (No. 30), 1.18-mm (No. 16), 2.36-mm (No. 8), 4.75-mm (No. 4), 9.5-mm (¾-in.), 19.0-mm (¾-in.), 37.5-mm (1½-in.), and larger, increasing in the ratio of 2 to 1.

10. Report

10.1 Depending upon the form of the specifications for use of the material under test, the report shall include the following:

10.1.1 Total percentage of material passing each sieve, or

10.1.2 Total percentage of material retained on each sieve, or

10.1.3 Percentage of material retained between consecutive sieves.

10.2 Report percentages to the nearest whole number, except if the percentage passing the 75- μm (No. 200) sieve is less than 10 %, it shall be reported to the nearest 0.1 %.

10.3 Report the fineness modulus, when required, to the nearest 0.01.

11. Precision and Bias

11.1 *Precision*—The estimates of precision for this test method are listed in Table 2. The estimates are based on the results from the AASHTO Materials Reference Laboratory Proficiency Sample Program, with testing conducted by Test Method C 136 and AASHTO Test Method T 27. The data are based on the analyses of the test results from 65 to 233 laboratories that tested 18 pairs of coarse aggregate proficiency test samples and test results from 74 to 222 laboratories that tested 17 pairs of fine aggregate proficiency test samples (Samples No. 21 through 90). The values in the table are given for different ranges of total percentage of aggregate passing a sieve.

11.1.1 The precision values for fine aggregate in Table 2 are based on nominal 500-g test samples. Revision of this test method in 1994 permits the fine aggregate test sample size to be 300 g minimum. Analysis of results of testing of 300-g and 500-g test samples from Aggregate Proficiency Test Samples 99 and 100 (Samples 99 and 100 were essentially identical) produced the precision values in Table 3, which indicate only minor differences due to test sample size.

NOTE 6—The values for fine aggregate in Table 2 will be revised to reflect the 300-g test sample size when a sufficient number of Aggregate Proficiency Tests have been conducted using that sample size to provide reliable data.

TABLE 2 Precision

	Total Percentage of Material Passing		Standard Deviation (1s), % ^A	Acceptable Range of Two Results (d2s), % ^A
Coarse Aggregate[#]				
Single-operator precision	<100	≥95	0.32	0.9
	<95	≥85	0.81	2.3
	<85	≥80	1.34	3.8
	<80	≥60	2.25	6.4
	<60	≥20	1.32	3.7
	<20	≥15	0.96	2.7
	<15	≥10	1.00	2.8
	<10	≥5	0.75	2.1
	<5	≥2	0.53	1.5
	<2	>0	0.27	0.8
	Multilaboratory precision	<100	≥95	0.35
<95		≥85	1.37	3.9
<85		≥80	1.92	5.4
<80		≥60	2.82	8.0
<60		≥20	1.97	5.6
<20		≥15	1.60	4.5
<15		≥10	1.48	4.2
<10		≥5	1.22	3.4
<5		≥2	1.04	3.0
<2		>0	0.45	1.3
Fine Aggregate:				
Single-operator precision	<100	≥95	0.26	0.7
	<95	≥60	0.55	1.6
	<60	≥20	0.83	2.4
	<20	≥15	0.54	1.5
	<15	≥10	0.36	1.0
	<10	≥2	0.37	1.1
	<2	>0	0.14	0.4
	Multilaboratory precision	<100	≥95	0.23
<95		≥60	0.77	2.2
<60		≥20	1.41	4.0
<20		≥15	1.10	3.1
<15		≥10	0.73	2.1
<10		≥2	0.65	1.8
<2		>0	0.31	0.9

^A These numbers represent, respectively, the (1s) and (d2s) limits described in Practice C 670.

[#] The precision estimates are based on aggregates with nominal maximum size of 19.0 mm (¾ in.).

11.2 *Bias*—Since there is no accepted reference material suitable for determining the bias in this test method, no statement on bias is made.

12. Keywords

12.1 aggregate; coarse aggregate; fine aggregate; gradation; grading; sieve analysis; size analysis

Anexo 3.

NMX-C-037-ONNCCE-2005 Determinación de la absorción de agua en bloques de concreto y ladrillos.

**ORGANISMO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN Y
CERTIFICACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN Y LA EDIFICACIÓN, S.C.**

**NORMA MEXICANA
NMX-C-037-ONNCCE-2005**

(Esta norma cancela y sustituye a la NMX-C-037-1956)

Declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación el día 25 de abril de 2005

**"INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN – BLOQUES, LADRILLOS O TABIQUES Y
TABICONES – DETERMINACIÓN DE LA ABSORCIÓN DE AGUA Y ABSORCIÓN INICIAL
DE AGUA"**

**"BUILDING INDUSTRY – CONCRETE – BLOCKS, BRICKS OR PARTITION MASONRY
WITS UNITS DETERMINATION OF ABSORBENT WATER AND DETERMINATION OF
INITIAL ABSORBENT"**

Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.
Constitución # 50 Col. Escandón C.P. 11800 México, D.F. Tel. 52 73 18 91 Fax: 52 73 34 31
Email: normas@mail.onncce.org.mx
© Derechos reservados MMV ONNCCE, S.C.



<p>NORMA MEXICANA</p> <p>NMX-C-037-ONNCCCE-2005</p> <p>Esta norma cancela y sustituye a la NMX-C-037-1986</p> <p>Declaratoria de vigencia publicada en el D.O.F. el día 25 de abril de 2005</p>	<p>"INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN - CONCRETO - BLOQUES, LADRILLOS O TABIQUES Y TABICONES DE CONCRETO - DETERMINACIÓN DE LA ABSORCIÓN DE AGUA Y ABSORCIÓN DE AGUA"</p> <p>"BUILDING INDUSTRY - CONCRETE - BLOCKS, BRICKS OR PARTITION MASONRY WITH UNITS DETERMINATION OF ABSORBENT WATER AND DETERMINATION OF INITIAL ABSORBENT"</p>
--	---

Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.
Constitución # 50 Col. Escandón C.P. 11900 México, D.F. Tel: 52 73 19 91 Fax: 52 73 34 31
Email: normas@mat.onnccce.org.mx
© Derechos reservados MMV ONNCCCE, S.C.



COMITÉ TÉCNICO DE NORMALIZACIÓN DE
MATERIALES, PRODUCTOS Y SISTEMAS PARA LA CONSTRUCCIÓN C/ N-1

0. PREFACIO

Se contó con el valioso apoyo de las siguientes Empresas e Instituciones:

- ASOCIACIÓN NACIONAL DE LABORATORIOS INDEPENDIENTES AL SERVICIO DE LA CONSTRUCCIÓN, A. C. (ANALISEC)
- CENTRO NACIONAL PARA LA PREVENCIÓN DE DESASTRES (CENAPRED)
- INDUSTRIAL BLOQUERA MEXICANA, S. A. DE C. V.
- INSTITUTO MEXICANO PARA EL DESARROLLO DEL BLOQUE Y PRODUCTOS VIBROCOMPRESIDOS DE CONCRETO, A. C. (IDEC)
- KAPRA, S. A. DE C. V.
- LA NACIONALISTA, S. A. DE C. V.
- LANG, S. C./LABORATORIOS DE ALTO NIVEL EN CALIDAD
- NOVACERAMIC, S. A. DE C. V.
- RESISTENCIAS SAN MARINO, S. A. DE C. V.

ÍNDICE

	Página
0. PREFACIO.....	2
1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN.....	3
2. REFERENCIAS.....	3
3. DEFINICIONES.....	3
3.1. Absorción máxima inicial.....	3
3.2. Absorción volumétrica.....	3
3.3. Bloque.....	3
3.4. Bloques cerámicos.....	4
3.5. Celdas.....	4
3.6. Ladrillo o tabique.....	4
3.7. Lote.....	4
3.8. Tabicón.....	4
4. EQUIPO, APARATOS E INSTRUMENTOS.....	4
4.1. Para absorción total en 24 h.....	4
4.2. Para absorción inicial.....	4
5. MATERIALES AUXILIARES.....	4
6. MUESTREO.....	5
7. PREPARACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE LAS MUESTRAS.....	5
7.1. Para absorción total en 24 h.....	5
7.1.1. Secado.....	5
7.2. Para absorción inicial.....	5
8. CONDICIONES AMBIENTALES.....	5
9. PROCEDIMIENTO.....	5
9.1. Para absorción total en 24 h.....	5

9.1.1.	Masa del espécimen sumergido	5
9.2.	Masa absorción máxima inicial	6
10.	CÁLCULOS Y EXPRESIÓN DE RESULTADOS.....	7
10.1.	Para absorción total en 24 h	7
10.2.	Absorción en porcentaje.....	7
10.2.	Masa absorción máxima inicial.....	7
11.	PRECISIÓN.....	7
12.	IFORME DE LA PRUEBA.....	7
13.	BIBLIOGRAFÍA.....	8
14.	CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES.....	8
A	APÉNDICE INFORMATIVO	8
A.1.	Vigencia.....	8

1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma mexicana establece el método de prueba para la determinación de la cantidad de agua que absorben los bloques, ladrillos o tabiques y tabicones de concreto, cerámicos o de cualquier otro material para la construcción, en las condiciones que se especifican. Así como la absorción máxima inicial de los tabiques y bloques de cerámica o arcilla.

2. REFERENCIAS

Esta norma mexicana se complementa con las siguientes normas mexicanas vigentes:

NMX-C-404-ONNOCOE Industria de la Construcción - Bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso estructural - Especificaciones

NMX-C-411-ONNOCOE Industria de la Construcción - Bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso no estructural - Especificaciones

3. DEFINICIONES

Para los efectos de esta norma se establecen las siguientes definiciones:

3.1. Absorción máxima inicial

Es la cantidad de agua que absorbe un espécimen por una de sus caras bajo determinadas condiciones durante 10 min de inmersión en agua potable donde esta lo cubra 5 mm, manteniendo el nivel de agua constante en el recipiente y se expresa por un coeficiente de absorción.

3.2. Absorción volumétrica

Cantidad de agua absorbida en litros por unidad de volumen aparente de la pieza en m³. El volumen aparente es aquel que corresponde a la geometría de la pieza y que incluye sus poros interiores, pero excluye el de las celdas.

3.3. Bloque

Es un componente de forma prismática que se obtiene por moldeo de concreto y otros materiales siendo siempre hueco.

3.4. Bloques cerámicos

Son elementos de construcción, de forma prismática rectangular, obtenidos por moldeo, secado y cocción de pastas cerámicas de barro, arcilla o similares extrudidos o comprimidos.

3.5. Celdas

Espacios vacíos que se dejan en el interior de bloques, ladrillos y tabicones con el fin de aligerar y mejorar las condiciones de aislamiento térmico, al mismo tiempo que sirven para alojar los elementos de refuerzo de los muros.

3.6. Ladrillo o Tabique

Es un componente de forma prismática fabricado con arcillas comprimidas o extruidas, mediante un proceso de cocción.

3.7. Lote

Es la cantidad de piezas de un mismo tipo fabricadas bajo las mismas condiciones en un día de trabajo o en su caso la cantidad de piezas de un tipo recibidas en un día de trabajo de un solo fabricante.

3.8. Tabicón

Es un componente de forma prismática que se obtiene por moldeo de concreto y otros materiales siendo siempre macizo.

4. EQUIPO, APARATOS E INSTRUMENTOS

4.1. Para absorción total en 24 h

4.1.1. Balanza con capacidad adecuada y sensibilidad no menor de 0.1 % de la masa de la pieza que se ensaye, provista de un sistema que permita la determinación de la masa del espécimen sumergido.

4.1.2. Horno con control de temperatura capaz de mantenerse entre 373 K y 353 K (100 °C y 110 °C).

4.2. Para absorción inicial

4.2.1. Horno ventilado capaz de mantener una temperatura de 291.1 K \pm 5 K (70 °C \pm 5 °C).

4.2.2. Instrumentos de medición (con precisión métrica).

4.2.3. Báscula con capacidad mínima de 60 kg y precisión mínima de 20 g.

4.2.4. Recipiente de metal inoxidable de forma rectangular y área no menor a 1 936 cm² y con una profundidad mínima de 1,3 cm.

4.2.5. Dos barras de metal inoxidable de longitud entre 12,7 cm y 15,3 cm cuya altura debe ser de aproximadamente 6 mm de sección transversal rectangular, triangular o semicircular.

4.2.6. Geodetico.

4.2.7. Frasco de 250 mL para regular el agua a nivel constante.

5. MATERIALES AUXILIARES

Agua potable y material común de laboratorio de pruebas.

6. MUESTREO

El muestreo debe ser aleatorio, tomando una muestra de cinco especímenes para absorción total y tres especímenes para absorción máxima inicial por cada lote.

Los especímenes que se usen para la prueba deben ser representativos del lote de entrega, no deben tener ningún material extraño o depositado en sus caras; en este caso se deben eliminar.

7. PREPARACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE LAS MUESTRAS

7.1. Para absorción total en 24 h

7.1.1. Secado

Los especímenes se secan en el horno a temperatura entre 373 K y 383 K (100 °C y 110 °C); se sacan periódicamente y se pesan hasta que en dos pesadas sucesivas, la diferencia en masa no sea mayor de 0,2% de la masa de las piezas.

7.2. Para absorción inicial

7.2.1. Conservar los bloques durante 24 h en el laboratorio donde la temperatura debe ser de 20 °C ± 3 °C y con una humedad de 75 %.

7.2.2. Desechar los bloques hasta llegar a un peso constante, el peso se considera constante cuando dos pesadas sucesivas efectuadas a un intervalo de 24 h denotan una disminución de peso de 0,1% con respecto a la pesada anterior.

7.2.3. Dejar los bloques estabilizándose (reposando) dentro del laboratorio durante 6 h.

8. CONDICIONES AMBIENTALES

Este método de prueba se realiza de acuerdo a las condiciones ambientales del lugar en que se realice la prueba.

9. PROCEDIMIENTO

9.1. Para absorción total en 24 h

Se registran las masas de los 5 especímenes ya secos y se sumergen en agua a temperatura entre 290 K y 296 K (17 °C y 23 °C) por un período de 24 h, terminado este período se sacan y se elimina el agua superficial con un paño o papel absorbente; se seca también el interior de las celdas, y se vuelve a determinar su masa.

9.1.1. Masa del espécimen sumergido

El espécimen se ata con un alambre (de preferencia inoxidable, o hilo de nylon, ambos de poco diámetro, cuya masa no sea mayor de 0,5% de la masa de la pieza) y se cuelga de la horquilla del brazo de la balanza.

Se registra la masa del espécimen sumergido en agua sin tocar las paredes y el fondo del recipiente.

Se procede de igual manera con los 5 especímenes.

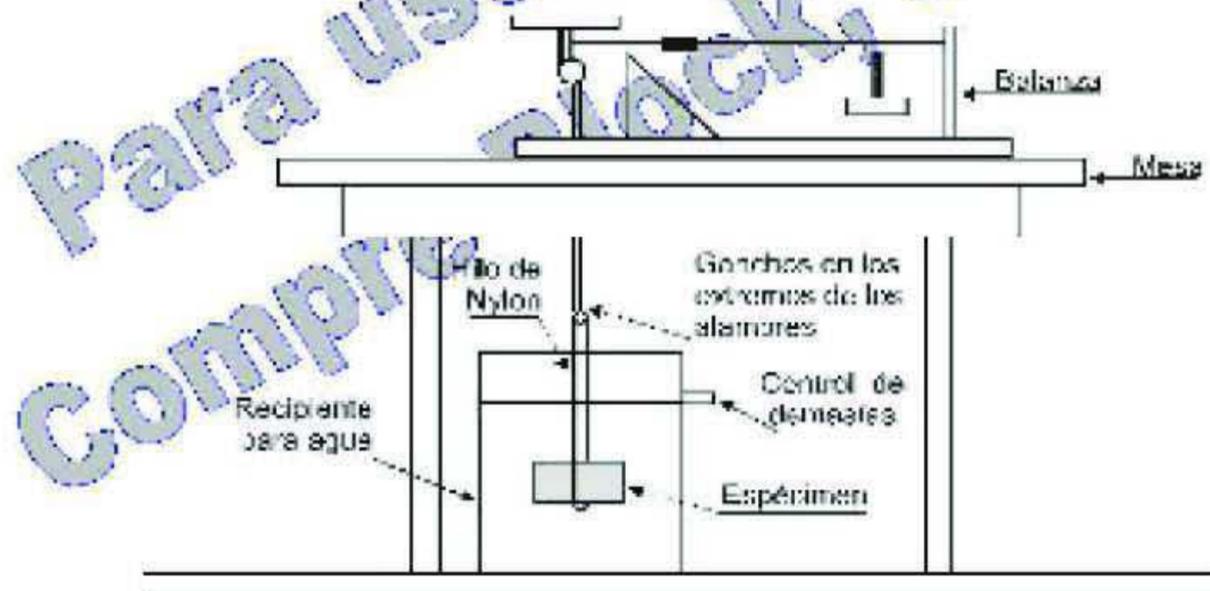


FIGURA 1.- Masa del espécimen sumergido

9.2. Para absorción máxima inicial

9.2.1. Mida las dimensiones del espécimen con precisión milimétrica.

9.2.2. Pesar cada bloque siendo esta lectura P_0 (en gramos) sumergir una cara de acabado liso de manera tal que quede 5 mm por debajo del nivel del agua.

9.2.3. En un recipiente de metal inoxidable, de forma rectangular con ancho y largo tales que su area no resulte menor de $1\ 000\text{ cm}^2$ y con una profundidad interior minima de 1.3 cm, coloque como soportes de espécimen dos barras de metal inoxidable. La longitud de cada barra debe encontrarse entre 12,7 cm y 15,3 cm y su altura debe ser de aproximadamente 6 mm. La sección transversal de las barras puede ser de forma rectangular, triangular o semicircular.

9.2.4. Llène el recipiente con agua potable de manera que el nivel del agua se encuentre entre 2 mm y 3,5 mm arriba del nivel superior de los apoyos de metal inoxidable. Ajuste la posición de los soportes y del nivel de agua, requerido con un alfiler de referencia en estado saturado.

9.2.5. Ponga en contacto con el agua el espécimen de prueba sumergiendo una cara de acabado liso de manera tal que quede 5 mm por debajo del nivel de agua por un periodo de 10 min, contando el tiempo de contacto desde el momento que el espécimen toca la superficie del agua. Durante el periodo de contacto, manténgase el nivel del agua dentro de los límites prescritesos, colocando un envase lleno de agua.

9.2.6. Pasado el tiempo de contacto, retire el espécimen, removiendo el exceso de agua de las superficies expuestas con un trapo húmedo, no utilizando más de 10 s en esta operación. Pese nuevamente el espécimen en la báscula utilizada anteriormente con la misma precisión, siendo esta lectura P_1 (en gramos). Este procedimiento no debe dilatar más de 2 min después del periodo de contacto.

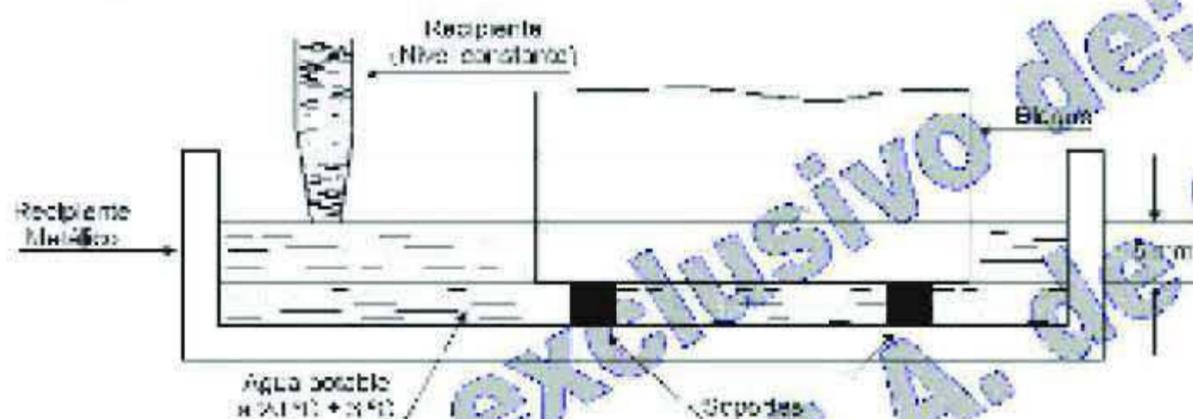


FIGURA 2.- Absorción inicial (capilaridad)

10. CÁLCULO Y EXPRESIÓN DE RESULTADOS

10.1. Para absorción total en 24 h

$$A = \frac{M_{ss} - M_s}{M_{ss} - P_a} \times 1000$$

En donde:

A es el volumen de agua absorbida referido al volumen aparente de espécimen en dm^3/m^2 .

M_s es la masa seca del espécimen en kg.

M_{ss} es la masa saturada y superficialmente seca en kg.

P_a es la masa saturada y superficialmente seca en kg.

10.2. Absorción en porcentaje

$$A = \frac{M_{ss} - M_s}{M_s} \times 100$$

En donde:

A es la absorción en %.

M_s es la masa seca del espécimen en kg.

M_{ss} es la masa saturada y superficialmente seca en kg

NOTA 1: Se agrega este cálculo para tener absorción en por ciento (%) y poder comparar con la tabla 3 de la NMX-C-404-ONNOCCE (véase Capítulo 2)

10.3. Para absorción máxima inicial

10.3.1. Calcule la absorción máxima inicial (gramos / minutos) como sigue:

$$C_b = \frac{100M}{S\sqrt{t}} - \frac{100(P_1 - P_0)}{S\sqrt{10}}$$

Donde:

- C_b es la absorción máxima inicial en g/min
- M es el peso del agua en gramos absorbido por el bloque durante el ensayo en gramos
- S es la superficie de la cara sumergida en cm²
- t es el tiempo de inmersión en minutos.

Los resultados obtenidos por estos métodos no deben exceder los límites establecidos en las normas C-404-ONNOCCE y NMX-C-441-ONNOCCE (véase Capítulo 2) de acuerdo a la clasificación de la pieza.

NMX-

11. PRECISIÓN

Se reporta la absorción en porcentaje con un decimal.

La absorción máxima inicial se reporta en gramos/minuto en enteros.

12. INFORME DE LA PRUEBA

El informe de la prueba debe incluir por lo menos los siguientes datos:

- Compañía
- Obra
- Localización
- Tipo de pieza
- Muestra
- Número de ensayo
- Ubicación
- Fecha de informe
- Número de pieza
- Dimensiones
- Se reporta la absorción total individual y la absorción promedio de las 5 piezas.
- En absorción máxima se reporta la absorción individual y la absorción promedio de las 3 piezas.

13. BIBLIOGRAFÍA

- ASTM-C-67-03a Standard test methods for sampling and testing brick and structural clay tile
- ASTM-C-140-03 Standard test methods for sampling and testing concrete masonry units and related units.

14. CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES

Esta norma no es equivalente con ninguna norma internacional por no existir referencia alguna en el momento de su elaboración.

A. APÉNDICE INFORMATIVO

A.1. Vigencia

Anexo 4.

NMX-C-441-ONNCCE-2005 Bloques, Tabiques o Ladrillos y Tabicones Para Uso no Estructural. Esécificaciones.

**ORGANISMO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN Y
CERTIFICACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN Y LA EDIFICACIÓN, S. C.**

**NORMA MEXICANA
NMX-C-441-ONNCCE-2005**

(Esta norma cancela a la NMX-C-000-1970 y a la NMX-C-010-1985)

Declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación el día 25 de abril de 2005.

**"INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN - BLOQUES, TABIQUES O LADRILLOS Y
TABICONES PARA USO NO ESTRUCTURAL - ESPECIFICACIONES"**

**"BUILDING INDUSTRY -BLOCKS, PARTITION OR BRICKS AND MASONRY
UNITS FOR NO STRUCTURAL USE- SPECIFICATIONS"**

Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.
Constitución 250, Col. Escandón C.P. 11300, México, D.F. Tel. 52 73 19 01 Fax. 52 73 31 31
Correo electrónico: normas@mall.onncce.org.mx Internet: <http://www.onncce.org.mx>
©COPYRIGHT. DERECHOS RESERVADOS ONNCCE. S.C.. MÉXICO 1985



<p>NORMA MEXICANA</p> <p>NMX-C-441-ONNOCCE-2005</p> <p>Esta norma deroga y sustituye a las NMX-C-008-1978 y NMX-C-010-1988</p> <p>Declaratoria de vigencia publicada en el D.O.F. el día 25 de abril de 2005</p>	<p>"INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN - BLOQUES, TABIQUES O LADRILLOS Y TABICONES PARA USO NO ESTRUCTURAL- ESPECIFICACIONES"</p> <p>"BUILDING INDUSTRY -BLOCKS, PARTITION OR BRICKS AND MASONRY UNITS FOR NO STRUCTURAL USE- SPECIFICATIONS"</p>
---	---

Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación S.C.
 Constituida en el C. de L. Escandón C.P. 11800, México, D.F. el 22/01/1991 en el 22/01/1991
 Correo electrónico: normas@onncce.org.mx | Internet: http://www.onncce.org.mx
 ©COPYRIGHT. DERECHOS RESERVADOS ONNOCCE S.C., MÉXICO 2005



COMITÉ TÉCNICO DE NORMALIZACIÓN DE
 MATERIALES, PRODUCTOS Y SISTEMAS PARA LA CONSTRUCCIÓN CTN-1

0. PREFACIO

En la elaboración de esta norma participaron las siguientes Empresas e Instituciones:

- ASOCIACIÓN NACIONAL DE TRABAJADORES INDEPENDIENTES AL SERVICIO DE LA CONSTRUCCIÓN, A.C. (ANALISECI)
- ASEGURAMIENTO DE CALIDAD Y LABORATORIO, S.A. DE C.V.
- CENTRO NACIONAL PARA LA PREVENCIÓN DE DESASTRES (CENAPRED)
- INDUSTRIAL BLOQUERA MEXICANA, S.A. DE C.V.
- KAPPA, S.A. DE C.V.
- LA NACIONALISTA, S.A. DE C.V.
- LABORATORIOS DE ALTO NIVEL, S.C.
- NOVACERAMIC, S.A. DE C.V.
- RESISTENCIAS SAN MARINO, S.A. DE C.V.

INDICE

	Página	
0	PREFACIO	2
	INTRODUCCIÓN	2
1.	OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN	3
2.	REFERENCIAS	3
3.	DEFINICIONES	4
3.1	Área neta (rea)	4
3.2	Área total (bruta)	4
3.3	Bloque	4
3.4	Celda	4
3.5	Celosis	4
3.6	Defectos superficiales (fluorescencia)	4
3.7	Ligadura seca	4
3.8	Ligadura	4
3.9	Módulo nominal	4
3.10	Mostrador	4
3.11	Paredes exteriores (máxima)	4
3.12	Paredes interiores	5
3.13	Pastas cerámicas	5
3.14	Pieza hueca	5
3.15	Pieza maciza	5
3.16	Tabicón	5
3.17	Tabique (ladrillo)	5
3.18	Unidad de producto o pieza	5
4.	CLASIFICACIÓN	5
4.1	Tipo de piezas	5
4.1.1	Pieza maciza	5
4.1.2	Pieza hueca	5
4.1.3	Celosis	6

7.1.4.	Piezas hechas a mano.....	7.1.4.
5.	ESPECIFICACIONES.....	5.
5.1.	Dimensiones.....	5.1.
5.2.	Resistencia a la compresión.....	5.2.
5.3.	Absorción.....	5.3.
5.4.	Acabados.....	5.4.
5.4.1.	Unidades seccionadas.....	5.4.1.
5.4.2.	Defectos superficiales.....	5.4.2.
5.4.3.	Velus.....	5.4.3.
5.4.4.	Apariencia.....	5.4.4.
5.4.5.	Disgregación.....	5.4.5.
5.4.6.	Adherencia.....	5.4.6.
6.	MUESTREO.....	6.
6.1.	Alcance.....	6.1.
6.2.	Procedimiento.....	6.2.
7.	MÉTODOS DE PRUEBA.....	7.
7.1.	Dimensiones.....	7.1.
7.2.	Determinación de la absorción.....	7.2.
7.3.	Resistencia a la compresión.....	7.3.
8.	CARGA DE TIQUE AJO, ENVASE Y EMBALAJE.....	8.
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	9.
10.	CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES.....	10.
A.	APÉNDICE INFORMATIVO.....	A.
A.1.	Asociación.....	A.1.
A.2.	Vigencia.....	A.2.

C O M I T É T É C N I C O D E E S T Á N D A R D I Z A C I Ó N D E C O N S T R U C C I Ó N

INTRODUCCIÓN

La presente norma mexicana fue promovida con el fin de cancelar las normas NMX-C-038-976 y NMX-C-038-1058, de tal forma que con el cumplimiento de los requisitos de esta nueva norma se pretende regular las especificaciones de los tabiques, bloques, azules, tabicónes y celosías fabricados con concreto, cerámicos de barro, arcilla o similares o cualquier otro material para uso no estructural.

1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma mexicana establece las especificaciones que deben cumplir bloques, azules tabiques, celosías y tabicónes, hechos en máquina o a mano. Los cuales se utilizan en la construcción de muros de relleno, para revestimiento, muros y exteriorización o cualquier otro uso no estructural.

2. REFERENCIAS

Esta norma se complementa con las siguientes normas mexicanas vigentes:

NMX-C-030-ONNORCE	Industria de la construcción - Bloques tabiques o ladrillos, tabicónes y atochines - Resistencia a la compresión - método de prueba
NMX-C-037-ONNORCE	Industria de la construcción - Bloques, ladrillos o tabiques y tabicónes de concreto - Determinación de la absorción de agua-Método de prueba
NMX-C-038-ONNORCE	Industria de la construcción - Determinación de las dimensiones de ladrillos tabiques bloques y las cunas para la construcción

3. DEFINICIONES

Para los efectos de esta norma se establece las siguientes definiciones:

3.1. Área neta (real)

Es la superficie efectiva de la pieza, que se obtiene de restar el área de las celdas del área total

3.2. Área total (bruta)

Es resultado de multiplicar el largo por ancho de la pieza.

3.3. Bloque

Es un componente de forma prismática, que se obtiene por medio del extrusionado de otros materiales, puede ser macizo o hueco.

3.4. Celda

Son los espacios vacíos que se dejan en el interior de los bloques o tabiques, con el fin de aligerarlos.

3.5. Calzas

Es un componente de forma prismática hueca cuyo uso principal es estructural.

3.6. Defectos superficiales (eflorescencia)

Son depósitos de sales usualmente de color blanco que pueden desarrollarse sobre la superficie de la mampostería. Este fenómeno es originado por la penetración de humedad al interior de la mampostería, la cual al salir arrastra sales solubles y salinas presentes en el interior.

3.7. Liga cerámica

Es el estado físico-químico de los componentes cerámicos, logrado por fusión incipiente sin llegar a la vitificación pero sí suficiente para que soporte, sin desintegrarse, un esfuerzo.

3.8. Lote

Es la cantidad de piezas de un mismo tipo fabricadas bajo las mismas condiciones en un día de trabajo o en su caso la cantidad de piezas de un tipo recibidas en un día de trabajo de un solo fabricante.

3.9. Medida nominal

Es aquella que considera las dimensiones del producto más el exceso de la junta de albañilería.

3.10. Muestra

Es el conjunto de unidades de producto que se extraen de un lote y sobre las que se hacen las pruebas o determinaciones.

3.11. Paredes exteriores (cáscara)

Son las partes exteriores de la pieza hueca, comprendida entre sus caras y los huecos o perforaciones.

3.12. Paredes interiores

Son las partes interiores comprendidas entre los huecos o las perforaciones.

3.13. Pastas cerámicas

Son aquellas constituidas por materiales naturales, que contengan sustancias aluminosas, tales como barro, arcilla, pizetas y/o similares.

3.14. Pieza hueca

Es aquella que en su diseño tiene cavidad o cuya área neta cumple con los requisitos establecidos en el inciso 4.1.2.

3.15. Pieza maciza

Es aquella que es sólida o cuya área neta cumple con los requisitos establecidos en el inciso 4.1.1.

3.16. Tablón

Es un componente de forma prismática fabricado de concreto u otros materiales.

3.17. Tabique (ladrillo)

Es un componente de forma prismática, fabricado con arcillas comprimidas o extruídas, mediante un proceso de cocción o de otros materiales con procesos similares.

3.18. Unidad de producto o pieza

Es cada uno de los bloques, bloques, ladrillos, ladrillos y celosías fabricados con concreto, o cerámicos de barro, arcilla o similares o cualquier otro material para uso en estructura.

4. CLASIFICACIÓN

Los productos objeto de esta norma se clasifican en tres tipos y de acuerdo a los materiales con que se fabrican de acuerdo a lo especificado en la tabla 1.

TABLA 1.- Clasificación de piezas de acuerdo a los materiales empleados en su fabricación

Tipo de pieza	Materiales	Forma
Bloque Medio Hueco	Grava-Cemento Arena-Cemento Barro extruído	Rectangular
	Arcilla cocida Otras	Otras
Tabique Medio (Ladrillo) Hueco y multiperforado	Silicio calcinado Barro extruído Arcilla cocida Otras	Rectangular Otras
	Grava-Cemento Arena-Cemento Ladrillo-Cemento Otras	Rectangular Otras

4.1. Tipo de piezas

4.1.1. Pieza maciza

Es aquella cuya área hueca es menor al 25% de su área total. Son piezas hechas en máquina, compuestas en toda su masa. Deben quedar sus lados por lo menos a 15 mm de distancia del borde exterior de la pieza.

4.1.2. Pieza hueca

Son aquellas que tienen perforaciones perpendiculares a las caras mayores, donde el área de las perforaciones debe ser superior al 25% e inferior o igual al 50% del área total de la pieza. Su distribución sobre la superficie debe ser lo más uniforme posible. El espesor de las paredes exteriores e interiores debe ser igual o mayor a 5 mm.

4.1.3. Celosía

Son piezas huecas en las cuales el área de los huecos es mayor a 50% del área total de la pieza. Las paredes exteriores e interiores deben tener un espesor igual o mayor a 5 mm.

4.1.4. Piezas hechas a mano

Son piezas fabricadas rudimentariamente.

5. ESPECIFICACIONES

Los productos objeto de esta norma deben cumplir con las siguientes especificaciones:

5.1. Dimensiones

Las dimensiones de las piezas objeto de esta norma son las especificadas en la tabla 2.

TABLA 2.- Clasificación de piezas de acuerdo a los materiales empleados en su fabricación

Pieza	Ancho (cm)	Altura (cm)	Largo (cm)
Bloques de concreto	10 a 30	10 a 30	más de 30
Ladrillos, tabiques y tabicónes	10 a 30	hasta 10	hasta 30

Las tolerancias en las dimensiones de las piezas son de +1 mm en la altura y +2 mm en el largo y en el ancho según lo establecido en la tabla 2, para cada tipo de pieza.

Esto se verifica de acuerdo al método de prueba indicado en el inciso 7.1.

5.2. Resistencia a la compresión

Los productos objeto de la presente norma deben cumplir con los valores de resistencia a la compresión mínima que se establecen en la tabla 3.

Estos valores mínimos pueden ser inferiores si el requerimiento de construcción local lo permite.

Esto se verifica de acuerdo al método de prueba especificado en el inciso 7.2.

TABLA 3.- Resistencia a la compresión

Tipo de pieza	Resistencia mínima promedio N/mm ² (kgf/cm ²)	Resistencia mínima individual N/mm ² (kgf/cm ²)
Bloques y tabicónes	3,0 (30)	3,0 (30)
Tabique fabricado	3,0 (30)	3,0 (30)
Tabique, Ladrillo extruido	3,0 (30)	2,5 (25)
Celosía	2,5 (25)	2,0 (20)
Piezas hechas a mano	2,5 (25)	2,0 (20)

NOTA 1: El promedio se considera de 5 piezas.

5.3. Absorción

Los productos objeto de la presente norma deben cumplir con los valores de absorción máxima de agua que se establecen en la tabla 4.

Esto se verifica de acuerdo al método de prueba especificado en el inciso 7.3.

TABLA 4.- Absorción de agua

Tipo de pieza	Absorción máxima de agua en % durante 24 h	
	Máxima promedio	Máxima individual
Bloques y Tabicónes	25	27
Ladrillo fabricado a mano	22	25

Tabique, Ladrillo celular	22	25
Cerámico	25	30
Piezas hechas a mano	25	30

5.4. Acabados

Los bloques, listones y tabiques no deben presentar, por inspección visual en condiciones normales de luz, los siguientes defectos:

5.4.1. Unidades seccionadas

Se puede aceptar que al momento de ser depositados en la obra de construcción cada lote contenga piezas partidas en 2 o más secciones de cualquier volumen hasta de 5% y hasta el 10% para las hechas a mano.

5.4.2. Defectos superficiales

No se aceptan grietas, ampollas y otros defectos visibles que afecten la resistencia de la pieza.

5.4.3. Velos

Se acepta la existencia de velos blanqueados o de un color marcadamente diferente al color original de las piezas que al ser cepiadas en seco no dejen marcas visibles, observados a simple vista desde una distancia de 1 m.

5.4.4. Apariencia

No deben tener otras imperfecciones que afecten la apariencia de muro terminado visto desde una distancia de 3 m.

5.4.4.1. Eflorascencia

No se aceptan los cues cásmicos y hechos a mano en que las eflorascencias hayan cubierto más del 25% de su superficie total, antes de ser colocadas en las albañilerías.

5.4.5. Disgregación

Los tabiques cerámicos y hechos a mano no deben presentar disgregaciones al tacto o al ser sumergidos en agua.

5.4.6. Adherencia

Depende tanto de la dureza de la pieza y de su porosidad (indicada por la absorción de agua, como del mortero adecuado y de su aplicación correcta. Por lo tanto, es necesario especificar el mortero adecuado en relación con las características de la pieza y observar cuidadosamente su aplicación a colocarla.

6. MUESTREO

6.1. Alcance

El muestreo debe hacerse de común acuerdo entre fabricante y comprador.

6.2. Procedimiento

De forma aleatoria se toma una muestra de 10 piezas por cada 10 millares o fracción.

7. MÉTODOS DE PRUEBA

Los métodos de prueba a seguir para la verificación de las especificaciones del producto objeto de esta norma son:

7.1. Dimensiones

La evaluación de las dimensiones se debe realizar con el método de prueba establecido en la NMX-C-038-ONNORCE (véase Capítulo 2).

7.2. Determinación de la absorción

La evaluación de la absorción se debe realizar con el método de prueba establecido en la NMX-C-037-ONNORCE (véase Capítulo 2).

7.3. Resistencia a la compresión

La evaluación de la resistencia a la compresión se debe realizar con el método de prueba establecido en la NMX-C-039-ONNORCE (véase Capítulo 2).

8. MARCADO, ETIQUETADO, ENVASE Y EMBALAJE

El marcado, que indica el control de calidad del producto, debe contener el registro de fecha y número de la última certificación de control de calidad, además de los datos siguientes:

- Nombre del producto
- Marca registrada o logotipo
- Tipo y Subtipo
- Dimensiones (en mm)
- Resistencia a la compresión (en N/mm^2)
- Densidad volumétrica (aproximada) en kg/m^3
- Certificado (optativo)
- Nombre o razón social del fabricante
- Leyenda: Hecho en México o lugar de origen

En el caso de que no sea posible el marcado en el cuerpo del producto, esta información debe especificarse en la factura correspondiente.

9. BIBLIOGRAFÍA

NOM-006-SGF-2002	Sistema general de unidades de medida.
NMX Z C13-1987	Guía para la redacción, estructuración y presentación de las normas mexicanas.
ASTM C 65-03	Standard Specification for concrete brick.
ASTM C-67-03	Standard test methods of sampling and testing brick and structural clay tile.
ASTM C-88-99a	Standard test method soundness of aggregates by use of sodium sulfate or magnesium sulfate.
ASTM C-140-91	Standard test methods for sampling and testing concrete masonry units and related units.
ASTM C 90-03	Standard specification for load-bearing concrete masonry units.
	Reglamento de construcciones para el Distrito Federal.

10. CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES

Esta norma no es equivalente con ninguna norma internacional por no existir referencia alguna en el momento de su elaboración.

A. APÉNDICE INFORMATIVO

A.1. Aclaración

El uso de la unidad de kgf es sólo indicativo en la presente norma, ya que su uso está restringido por la NOM-006-SGF "Sistema General de Unidades de Medida".

A.2. Vigencia

La presente norma mexicana entra en vigor a los sesenta días naturales posteriores al aviso de declaratoria de vigencia publicado por la Secretaría de Economía en el Diario Oficial de la Federación.

Anexo 5.

Cales Para La Construcción. Definiciones, especificaciones y criterios de conformidad.
NORMA ESPAÑOLA.

Septiembre 2011

TITULO	<p>Cales para la construcción</p> <p>Parte 1: Definiciones, especificaciones y criterios de conformidad</p> <p><i>Building lime. Part 1: Definitions, specifications and conformity criteria.</i></p> <p><i>Chaux de construction. Partie 1: Définitions, spécifications et critères de conformité.</i></p>
CORRESPONDENCIA	<p>Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN 459-1:2010.</p>
OBSERVACIONES	<p>Esta norma anula y sustituye a las Normas UNE-EN 459-1:2002 y UNE-EN 459-1/AC:2002.</p>
ANTECEDENTES	<p>Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 80 <i>Cementos y cales</i> cuya Secretaría desempeña OFICEMEN.</p>

Editada e impresa por AENOR
Depósito legal: M 35884:2011

© AENOR 2011
Reproducción prohibida

LAS OBSERVACIONES A ESTE DOCUMENTO HAN DE DIRIGIRSE A:

AENOR

Asociación Española de
Normalización y Certificación

Genova, 6
28004 MADRID-España

info@aenor.es
www.aenor.es

Tel.: 902 102 201
Fax: 913 104 032

49 Páginas

Grupo 30

Versión en español

Cales para la construcción

Parte 1: Definiciones, especificaciones y criterios de conformidad

Building lime. Part 1: Definitions, specifications and conformity criteria.

Chaux de construction. Partie 1: Définitions, spécifications et critères de conformité.

Baukalk. Teil 1: Begriffe, Anforderungen und Konformitätskriterien.

Esta norma europea ha sido aprobada por CEN el 2010-07-30.

Los miembros de CEN están sometidos al Reglamento Interior de CEN/CENELEC que define las condiciones dentro de las cuales debe adoptarse, sin modificación, la norma europea como norma nacional. Las correspondientes listas actualizadas y las referencias bibliográficas relativas a estas normas nacionales pueden obtenerse en el Centro de Gestión de CEN, o a través de sus miembros.

Esta norma europea existe en tres versiones oficiales (alemán, francés e inglés). Una versión en otra lengua realizada bajo la responsabilidad de un miembro de CEN en su idioma nacional, y notificada al Centro de Gestión, tiene el mismo rango que aquéllas.

Los miembros de CEN son los organismos nacionales de normalización de los países siguientes: Alemania, Austria, Bélgica, Bulgaria, Chipre, Croacia, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Islandia, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Rumanía, Suecia y Suiza.

CEN
COMITÉ EUROPEO DE NORMALIZACIÓN
European Committee for Standardization
Comité Européen de Normalisation
Europäisches Komitee für Normung
CENTRO DE GESTIÓN: Avenue Marnix, 17-1000 Bruxelles

© 2010 CEN. Derechos de reproducción reservados a los Miembros de CEN.

	Página
PRÓLOGO	6
INTRODUCCIÓN	7
1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN	7
2 NORMAS PARA CONSULTA	7
3 TÉRMINOS Y DEFINICIONES	7
4 CALES AÉREAS	9
4.1 Generalidades	9
4.2 Subfamilias de las cales aéreas	9
4.2.1 Cales cálcicas (CL)	9
4.2.2 Cales dolomíticas (DL)	9
4.3 Formas de las cales aéreas	9
4.3.1 Cales vivas (Q)	9
4.3.2 Cales hidratadas (S, S PL o S ML)	9
4.4 Cales cálcicas	9
4.4.1 Clasificación de las cales cálcicas	9
4.4.2 Requisitos químicos para la cal cálcica	10
4.4.3 Requisitos físicos y otras propiedades físicas para la cal viva	10
4.4.4 Requisitos físicos y otras propiedades físicas para la cal hidratada y la cal en pasta	11
4.4.5 Propiedades adicionales	12
4.4.6 Requisitos de durabilidad	12
4.4.7 Criterios de conformidad de las cales cálcicas	12
4.4.8 Designación normalizada de las cales cálcicas	15
4.5 Cales dolomíticas	15
4.5.1 Clasificación de las cales dolomíticas	15
4.5.2 Requisitos químicos para la cal dolomítica	15
4.5.3 Requisitos físicos y otras propiedades físicas para la cal dolomítica	16
4.5.4 Requisitos físicos y otras propiedades físicas para la cal hidratada dolomítica	17
4.5.5 Propiedades adicionales	17
4.5.6 Requisitos de durabilidad	17
4.5.7 Criterios de conformidad de las cales dolomíticas	18
4.5.8 Designación normalizada de las cales dolomíticas	19
5 CALES CON PROPIEDADES HIDRÁULICAS	20
5.1 Generalidades	20
5.2 Subfamilias de las cales con propiedades hidráulicas	20
5.2.1 Cales hidráulicas naturales (NHL)	20
5.2.2 Cales formuladas (FL)	20
5.2.3 Cales hidráulicas (HL)	20
5.3 Cales hidráulicas naturales	21
5.3.1 Clasificación de las cales hidráulicas naturales	21
5.3.2 Requisitos químicos para la cal hidráulica natural	21
5.3.3 Requisitos físicos y otras propiedades físicas para la cal hidráulica natural	21
5.3.4 Propiedades adicionales	22
5.3.5 Requisitos de durabilidad	22

5.4	Cales formuladas.....	22
5.4.1	Clasificación de las cales formuladas.....	22
5.4.2	Composición de las cales formuladas.....	23
5.4.3	Requisitos químicos para la cal formulada.....	23
5.4.4	Requisitos físicos y otras propiedades físicas para la cal formulada.....	24
5.4.5	Propiedades adicionales.....	25
5.4.6	Requisitos de durabilidad.....	25
5.5	Cales hidráulicas.....	25
5.5.1	Clasificación de las cales hidráulicas.....	25
5.5.2	Requisitos químicos para la cal hidráulica.....	25
5.5.3	Requisitos físicos y otras propiedades físicas para la cal hidráulica.....	26
5.5.4	Propiedades adicionales.....	27
5.5.5	Requisitos de durabilidad.....	27
5.6	Criterios de conformidad de las cales hidráulicas naturales, de las cales formuladas y de las cales hidráulicas.....	27
5.6.1	Requisitos generales.....	27
5.6.2	Requisitos de conformidad.....	27
5.7	Designación normalizada de las cales con propiedades hidráulicas.....	29
5.7.1	Designación normalizada de las cales hidráulicas naturales.....	29
5.7.2	Designación normalizada de las cales formuladas.....	29
5.7.3	Designación normalizada de las cales hidráulicas.....	29
ANEXO A (Normativo)	MÉTODOS DE EVALUACIÓN ESTADÍSTICA APLICABLES A LA RESISTENCIA MECÁNICA Y A LAS PROPIEDADES QUÍMICAS Y FÍSICAS.....	30
ANEXO B (Informativo)	PROPIEDADES ADICIONALES PARA LAS CALES DE CONSTRUCCIÓN.....	36
ANEXO C (Informativo)	REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LOS TIPOS DE CAL Y LOS CAMPOS DE APLICACIÓN.....	38
ANEXO D (Normativo)	DECLARACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE LAS CALES FORMULADAS.....	39
ANEXO ZA (Informativo)	CAPÍTULOS DE ESTA NORMA EUROPEA RELATIVOS A LOS REQUISITOS ESENCIALES DE LA DIRECTIVA DE PRODUCTOS DE CONSTRUCCIÓN DE LA UE.....	41
	BIBLIOGRAFÍA.....	49