

**RED IBEROAMERICANA PROTERRA**  
**REDE IBERO-AMERICANA PROTERRA**

Célia M. Martins Neves  
Obede Borges Faria  
Rodolfo Rotondaro  
Patrício Cevallos Salas  
Márcio V. Hoffmann

# **SELECCIÓN DE SUELOS Y MÉTODOS DE CONTROL EN LA CONSTRUCCIÓN CON TIERRA PRÁCTICAS DE CAMPO**

Traducción:  
Dra. Arq. Eugenia Maria Azevedo Salomao

OCTUBRE 2009

**Célia M. Martins Neves  
Obede Borges Faria  
Rodolfo Rotondaro  
Patrício Cevallos Salas  
Márcio V. Hoffmann**

# **SELECCIÓN DE SUELOS Y MÉTODOS DE CONTROL EN LA CONSTRUCCIÓN CON TIERRA - PRÁCTICAS DE CAMPO**

Traducción:  
Dra. Arq. Eugenia Maria Azevedo Salomao

Documento original publicado en portugués en mayo de 2005 por el Proyecto de Investigación PROTERRA del CYTED - Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, en el Subprograma XIV HABYTERRA - Viviendas de Interés Social.

***Sugestión para citación de este documento:***

NEVES, Célia Maria Martins; FARIA, Obede Borges; ROTONDARO, Rodolfo; CEVALLOS, Patricio S.; HOFFMANN, Márcio Vieira. (2009). Selección de suelos y métodos de control en la construcción con tierra – prácticas de campo. Disponible en <http://www.redproterra.org>. Acceso en *día/mes/año*.

**Octubre/2009**



# terra

# BR

# PA

PROTERRA fue creado en octubre de 2001 como un Proyecto de Investigación del CYTED – Programa de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. En febrero de 2006, se concluye el proyecto de investigación y se inicia la Red Iberoamericana PROTERRA, una colectividad de cooperación técnica que promueve la arquitectura y construcción con tierra en Iberoamérica a través de actividades de capacitación y transferencia de tecnología, además de otras acciones y la generación de diversas publicaciones.

**Coordinación PROTERRA 2001 – 2008: M. Sc. Ing. Célia Maria Martins Neves**  
(CEPED – Brasil)

**Coordinación PROTERRA 2008 – 2011: Dr. Arq. Luis Fernando Guerrero Baca**  
(UAM-Xochimilco – México)

**Consejo Consultivo:** (2009 – 2012)  
M. Sc. Ing. Célia Maria Martins Neves (Rede TerraBrasil -Brasil)  
Dr. Ing. Julio Vargas Newman (PUCP - Perú)  
Arq. Lucía J. E. C. Garzón (TECNOTERRA - Colombia)  
M. Sc. Arq. Mariana Correia (ESG - Portugal)  
Arq. Rodolfo Rotondaro (FADU/UBA - Argentina)

**Consejo Científico:** (2009 – 2012)  
**Miembros de PROTERRA**  
Dr. Ing. Marcial Blondet (Escuela de Posgrado, PUCP – Perú)  
Dr. Ing. Obede Borges Faria (FEB/UNESP – Brasil)  
Prof. Arq. Rafael Mellace (FAU/UNT – Argentina)  
**Instituciones Amigas de PROTERRA**  
Prof. Arq. Hubert Guillaud (CRATerre/EAG – Francia)  
M. Sc. Jeanne-Marie Teutónico (Instituto Getty – USA)  
Dr. Arq. Silvio Ríos (Universidad Nacional de Asunción – Paraguay)  
**Especialistas externos**  
Ing. Mónica Bahamondez (ICOMOS/ISCEAH – Chile)  
Rest. Carolina Castellanos (Consultora UNESCO – México)  
Dra. Nuria Sanz (Oficina de Patrimonio Mundial - España)

# SUMARIO

<b>Resumen</b> .....	<b>5</b>
<b>Resumo</b> .....	<b>5</b>
<b>DEL SUELO A LA TIERRA</b> .....	<b>6</b>
Composición granulométrica .....	6
Plasticidad .....	8
Retracción .....	10
Humedad y compactación .....	11
<b>SELECCIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE LA TIERRA</b> .....	<b>11</b>
<b>DEL LABORATORIO AL CAMPO</b> .....	<b>15</b>
Muestreo .....	15
Identificación de la muestra de tierra .....	15
Tests Téctil-Visuales .....	15
Reconocimiento de los diferentes tipos de tierra .....	17
Test de caída de la bola .....	17
Test del vidrio .....	18
Test del cordón .....	20
Test de la cinta .....	21
Test de exudación .....	22
Test de resistencia seca .....	23
Identificación de técnicas constructivas en función de los resultados de los tests .....	24
Test del rollo (verificación de la tierra adecuada para la tapia) .....	26
Test de la caja .....	26
<b>ALGUNOS MÉTODOS DE CONTROL RECOMENDADOS EN LA CONSTRUCCIÓN CON TIERRA</b> .....	<b>27</b>
Dosificación .....	28
Homogeneización .....	28
Humedad .....	28
Compactación .....	29
Mantenimiento .....	30
<b>COMENTARIOS</b> .....	<b>30</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>31</b>
<b>NOTAS DE LOS AUTORES</b> .....	<b>32</b>
<b>ANEXO – Ejemplo de planilla para registro y evaluación de los tests</b> .....	<b>33</b>

## SELECCIÓN DE SUELOS Y MÉTODOS DE CONTROL EN LA CONSTRUCCIÓN CON TIERRA – PRÁCTICAS DE CAMPO

Célia M. Martins Neves<sup>1</sup>  
Obede Borges Faria<sup>2</sup>  
Rodolfo Rotondaro<sup>3</sup>  
Patrício Cevallos Salas<sup>4</sup>  
Márcio V. Hoffmann<sup>5</sup>

### RESUMEN

Este trabajo presenta las propiedades más importantes de los suelos para su empleo en la arquitectura y construcción con tierra, y los respectivos métodos de ensayo utilizados para su determinación en laboratorio. Relaciona los diferentes tipos de suelo con las posibilidades de su empleo y comenta sobre la adición de agentes estabilizadores, tanto de productos naturales como industrializados, para mejorar las propiedades físicas y mecánicas. Menciona los criterios adoptados para la selección de los mejores suelos, el tipo de aglomerante y las técnicas de construcción. Describe, sucintamente, los tests expeditos más usuales para la selección de suelos y relaciona los resultados obtenidos por los tests con las técnicas constructivas más apropiadas. Comenta también sobre los métodos adoptados para el control durante la ejecución de obra. Resalta las condiciones en que se debe optar por ensayos de laboratorio o tests de campo. Concluye confirmando la validez de los tests expeditos para la selección de suelos y el control de ejecución de la construcción con tierra.

### RESUMO

*Este trabalho apresenta as propriedades mais importantes do solo para seu uso na arquitetura e construção com terra e os respectivos métodos de ensaios utilizados para sua determinação em laboratório. Relaciona os diferentes tipos de solo com as possibilidades de seu uso e comenta sobre a adição de agentes estabilizadores, tanto produtos naturais como industrializados, para a melhoria de propriedades físicas e mecânicas. Cita os critérios adotados para a seleção dos melhores solos, o tipo de aglomerante e as técnicas de construção. Descreve, sucintamente, os testes expeditos mais usuais para a seleção de solos e relaciona os resultados obtidos nos testes com as técnicas construtivas mais apropriadas. Comenta também sobre métodos adotados para o controle durante a execução. Ressalta as condições em que se deve optar por ensaios de laboratório ou testes de campo. Conclui confirmando a validade de testes expeditos para a seleção de solos e o controle de execução da construção com terra.*

<sup>1</sup> Ing. Civil, Maestro en Ingeniería Ambiental Urbana, ex-coordinadora del Proyecto de Investigación PROTERRA/HABYTED/CYTED y de la Red Iberoamericana PROTERRA, coordinadora de la Rede TerraBrasil, ex-investigadora del CEPED - Centro de Pesquisas e Desenvolvimento, Universidade do Estado da Bahia; Alameda Praia de São Vicente, 40 Vilas do Atlântico 42700-000 Lauro de Freitas-BA – Brasil Tel: (55 71) 3379 3506 Fax: (55 71) 3632 2095 cneves@superig.com.br

<sup>2</sup> Ing. Civil; Maestro en Arquitectura, Doctor en Ciencias de la Ingeniería Ambiental, miembro del Proyecto de Investigación PROTERRA/HABYTED/CYTED y de la Red Iberoamericana PROTERRA, profesor de la Fac. de Engenharia de Bauru/UNESP; Av. Eng. Luiz E. C. Coube, 14-01; 17033-360 Bauru-SP – Brasil Tel: (55 14) 9792 5525 obede@feb.unesp.br y obede.faria@gmail.com

<sup>3</sup> Arquitecto, miembro del Proyecto de Investigación PROTERRA/HABYTED/CYTED y de la Red Iberoamericana PROTERRA, investigador y consultor en tecnología y arquitectura de tierra, profesor de la Fac. de Arquitectura/UBA; Pabellón III, 4to piso, Ciudad Universitaria C1428EHA, Buenos Aires, Argentina Tel.: (54 11) 45740398 rotondar@telecentro.com.ar

<sup>4</sup> Ing. Civil, miembro del Proyecto de Investigación PROTERRA/HABYTED/CYTED y de la Red Iberoamericana PROTERRA, consultor en tecnologías alternativas INGENIERIA ALTERNATIVA; Av. 6 de Diciembre 2130 y Av. Colón, Edificio Antares, Oficina 604, Casilla Postal 17-15-442C, Quito – Ecuador Tel/fax: (593 2) 2 502 268 p.cevallos@yahoo.es

<sup>5</sup> Arquitecto, Maestro en Preservación y Restauración de Patrimonios Históricos, miembro del Proyecto de investigación PROTERRA/HABYTED/CYTED, de la Red Iberoamericana PROTERRA y de la Rede TerraBrasil, asociado del taller FATO arquitetura; Rua 13 de Maio, 1816, 13 419-270, Piracicaba, SP – Brasil. www.fatoarquitetura.com.br Tel: (55 19) 3433 1573 ou 3402 4902 marcio@fatoarquitetura.com.br

## DEL SUELO A LA TIERRA

En el ámbito de la Ingeniería, suelo es el término aplicado a todo material de la corteza terrestre proveniente de la descomposición de rocas, constituido por elementos minerales y/o orgánicos, que dependen de la composición química y mineralógica de la roca de origen, de las características del relieve, de los diferentes climas y del tiempo de exposición a las intemperies. La clasificación de los suelos, a través de sus propiedades físicas, químicas y mineralógicas es tratada de acuerdo con los fundamentos de la Ciencia de los Materiales, tanto en el campo de la Geología, de la Mecánica de Suelos y Cimentaciones, de la Agronomía, como de la Vías Terrestres.

Conforme el área que lo estudia, el suelo recibe designaciones diversas y puede ser denominado como:

- clasificación genética - suelo pedogenético, suelo saprolítico, suelo transportado;
- clasificación granulométrica - arenoso, arcilloso, limoso;
- clasificación pedológica - horizontes - superficial, subsuelo y roca madre.

En la Arquitectura y Construcción con Tierra – denominación dada a toda la producción arquitectónica que emplea el suelo como la principal materia prima – él recibe denominaciones diversas tales como tierra cruda, tierra sin cocer, tierra para construir, pero, lo usual y adoptado en este trabajo, es el término **tierra**<sup>6</sup>. El término suelo es usado principalmente cuando involucra clasificaciones y caracterizaciones, que también son adoptadas en otros campos de la Ingeniería, así como son los términos suelo cemento, suelo cal y suelo estabilizado, entre otros.

Los suelos apropiados a la construcción generalmente están ubicados en el subsuelo, también llamado de *horizonte B*, libres de materia orgánica. En las zonas semiáridas y áridas, es posible encontrar suelos adecuados en la superficie, después de eliminar piedras, raíces y todo material orgánico presente.

Las propiedades más importantes de los suelos visando su uso en la construcción son:

- en la selección: composición granulométrica, plasticidad y retracción;
- en el control de la ejecución: humedad y grado de compactación.

### Composición Granulométrica

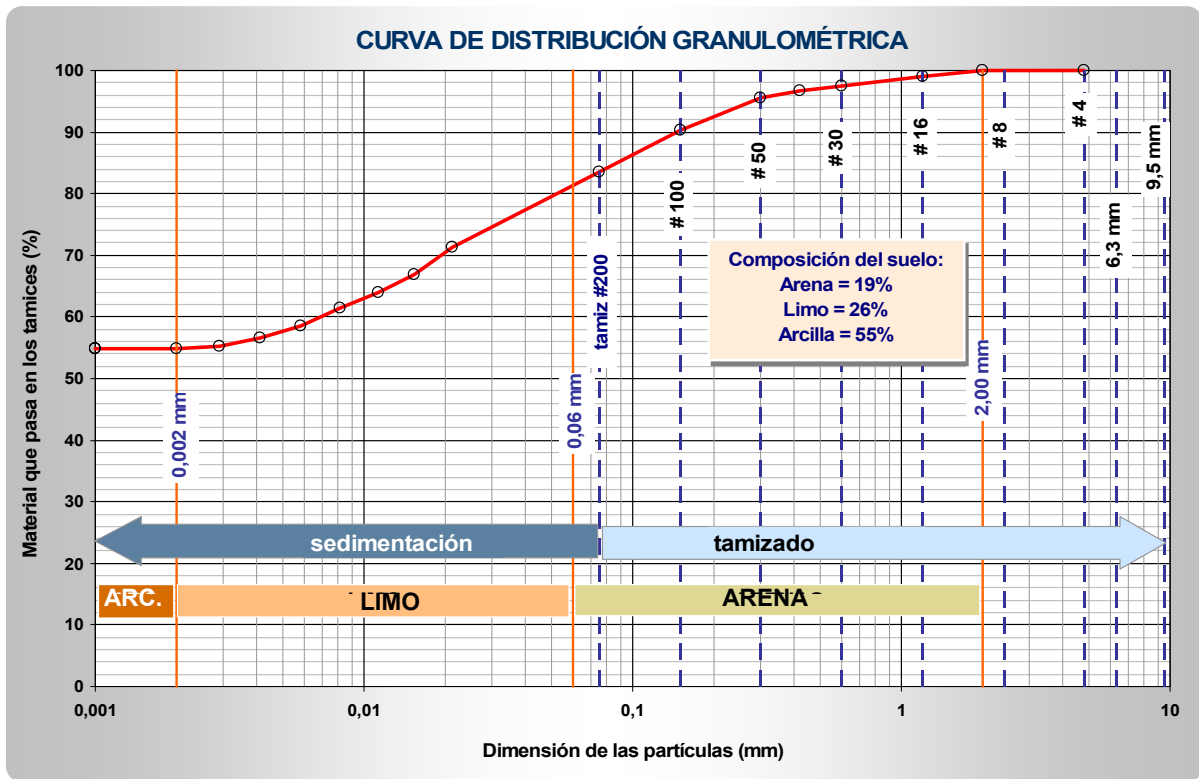
El suelo es constituido básicamente por partículas que pueden ser agrupadas de acuerdo con las dimensiones de los granos. Cada grupo, o franja de dimensiones, presenta características propias que indican su comportamiento como material de construcción.

Las partículas contenidas en determinada franja son clasificadas como grava, arena, limo y arcilla; siendo que la arena también puede ser subdividida y calificada como gruesa, mediana y fina.

En general, la composición granulométrica del suelo es representada a través del diagrama denominado curva de distribución granulométrica (conforme ejemplo mostrado en la figura 1), que muestra la relación entre la cantidad y dimensión de las partículas presentes. Ella es determinada a través de dos ensayos: para las partículas más grandes – grava y arena – se utiliza el proceso de tamizado (figura 2) y, para las partículas más finas – limo y arcilla – el análisis es hecho por sedimentación (figura 3). En el *ensayo de tamizado*, se determina la cantidad porcentual de las partículas que pasan o que son retenidas en los tamices de

<sup>6</sup> corresponde a el suelo apropiado para construcción

calibres normalizados; en el *ensayo de sedimentación*, se mide la velocidad de decantación de las partículas dispersas en el agua, en función de la variación de la densidad de la solución, calculándose sus proporciones en la muestra.



**Figura 1** – Ejemplo de la curva de distribución granulométrica, con indicación de las fracciones que componen el suelo, además de las franjas para ensayo de tamizado y de sedimentación (adaptado de FARIA, 2002)

**Figura 2** – Ensayo de tamizados: serie de tamices patrón y equipo eléctrico de tamizado



Obede B. Faria



**Figura 3** – Ensayo de sedimentación: aparato dispersor; transferencia del suelo disperso para la probeta de 1 litro, y homogeneización de la temperatura del densímetro

Los límites de las fajas de dimensiones das partículas son definidos en normas técnicas y presentan pequeñas variaciones entre los diversos países. Como ejemplo, la tabla 1 presenta el sistema de clasificación granulométrica adoptado en Brasil, establecido en la NBR 6502 (ABNT, 1995) y las principales características de cada grupo.

**Tabla 1** – Clasificación granulométrica de los constituyentes del suelo (ABNT, 1995)

Dimensión de los granos d (mm)	Clasificación de las partículas	Características principales
$2 \leq d \leq 20$	grava	elemento inerte y resistente
$0,06 \leq d < 2$	arena	elemento inerte, sin cohesión
$0,002 \leq d < 0,06$	limo	sin cohesión, disminuí la resistencia de la arena
$d < 0,002$	arcilla	posee fuerte cohesión, sin estabilidad volumétrica, expande en la presencia del agua; presenta propiedades físicas y químicas bastante variadas según su origen

### Plasticidad

Según su grado de humedad, el suelo puede ser *líquido*, *plástico* o *sólido*. El aspecto y la consistencia de los suelos y, en particular de las arcillas presentes, varían de manera muy nítida conforme la cantidad del agua que contiene. Atterberg (apud Caputo, 1978) desarrolló ensayos que consisten en medir el grado de humedad del suelo en los diversos estados de consistencia (figura 4).



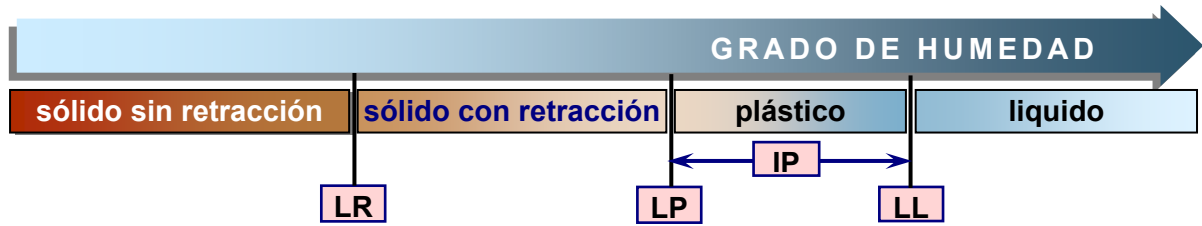


Figura 4 – Estado del suelo en función de su grado de humedad

La plasticidad del suelo y los límites de consistencia son determinados a través de dos ensayos: límite de liquidez y límite de plasticidad. Los ensayos de plasticidad son realizados solamente con la parte fina del suelo, representada por el material que pasa en el tamiz de abertura 0,42 mm.

El *límite de liquidez* (LL) es el grado de humedad determinado por el *aparejo de Casagrande*. Él es constituido por una concha metálica unida a una manivela que la mueve, haciéndola caer sobre una base sólida, un cierto número de veces, hasta el cerramiento de 1 cm de la ranura estándar, hecha previamente en el suelo colocado en la concha. El límite de liquidez corresponde al tenor de humedad en que la ranura se cierra con 25 golpes (figura 5).

El *límite de plasticidad* (LP) es el grado de humedad necesario y suficiente para deslizar una porción de suelo humedecido sobre una placa de vidrio, hasta formar un pequeño cordón con 3 mm de diámetro y 12 a 15 cm de longitud (figura 6). La diferencia entre los límites de liquidez y de plasticidad determina el *índice de plasticidad* ( $IP = LL - LP$ ).



Obede B. Faria

Figura 5 – Ensayo de determinación del límite de liquidez (LL), observándose el aparejo de Casagrande, con sus accesorios



Figura 6 – Ensayo de determinación del límite de plasticidad (LP)

Los límites de liquidez y de plasticidad dependen, generalmente, de la cantidad y del tipo de la arcilla presente en el suelo. El índice de plasticidad, entretanto, es únicamente dependiente de la cantidad de arcilla. En la práctica, se puede caracterizar el suelo por su índice de plasticidad y su límite de liquidez, como muestra la tabla 2.

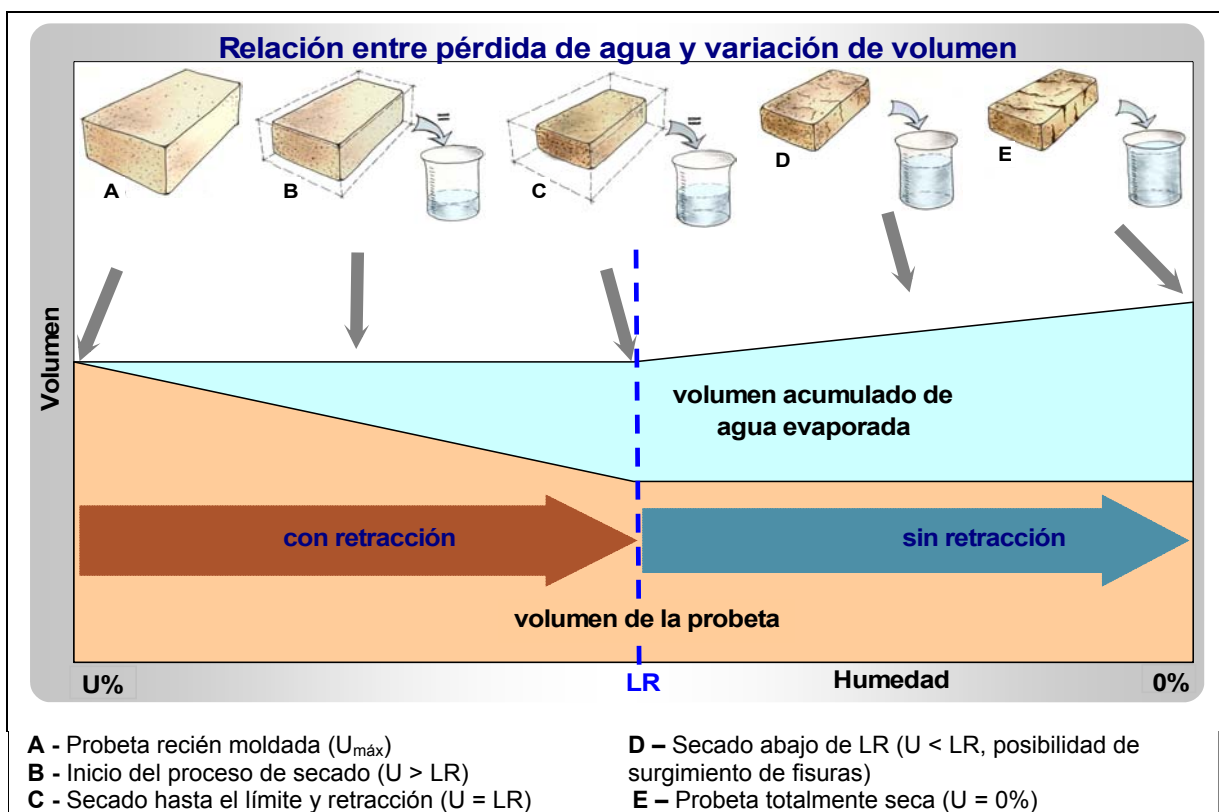
**Tabla 2** – Clasificación de los suelos en función de los índices de plasticidad (CRATerre, 1979)

Tipo de suelo	IP (%)	LL (%)
Arenoso	0 a 10	0 a 30
Limoso	5 a 25	20 a 50
Arcilloso	> 20	> 40

### Retracción

La cantidad y el tipo de la arcilla presente en el suelo, representados esencialmente por los minerales arcillosos, son responsables por los movimientos de retracción y expansión, que se observan cuando hay variación de la humedad. En los muros de tierra, los movimientos de retracción y expansión de la arcilla provocan fisuras, que pueden generar lesiones internas y/o superficiales, permitiendo la penetración del agua y la ocurrencia de manifestaciones patológicas que, consecuentemente, contribuyen para la pérdida de resistencia del material y la degradación del muro.

El *límite de retracción* (LR) marca el cambio del estado sólido con retracción para el estado sólido sin retracción, y es determinado por el grado de humedad a partir del cual el volumen del suelo permanece constante, cuando se procesa la evaporación del agua. La evaporación del agua abajo del límite de retracción mantiene el volumen de suelo, pero la retracción sucede con el surgimiento de fisuras (figura 7).



**Figura 7** – Diagrama representativo de la relación entre el límite de retracción (LR) y las variaciones del volumen, de la tierra y del agua evaporada, durante el proceso de secado

Una forma muy interesante para determinar la retracción del suelo es a través del "test de la caja", lo cual será comentado posteriormente.

### Humedad y Compactación

La resistencia del suelo está directamente relacionada con su grado de compactación cuando es apisonado por un determinado esfuerzo. Para cada tipo de suelo y para cada esfuerzo de compactación existe una determinada humedad, denominada humedad óptima de compactación, en la cual ocurren las condiciones en que se puede obtener la mejor compactación, o sea, la mayor masa específica seca. En esta condición, el suelo también presenta menor porosidad, caracterizando así un material más durable y más resistente mecánicamente.

La *humedad óptima de compactación* es determinada en laboratorio a través de la medida de la masa específica del suelo en diferentes humedades, cuando él es compactado en un determinado molde (*cilindro de Proctor*). Las masas específicas son representadas en gráfico, en función de la humedad, y la máxima masa específica, obtenida en la curva, define la humedad óptima de compactación del suelo, como muestra la figura 8.

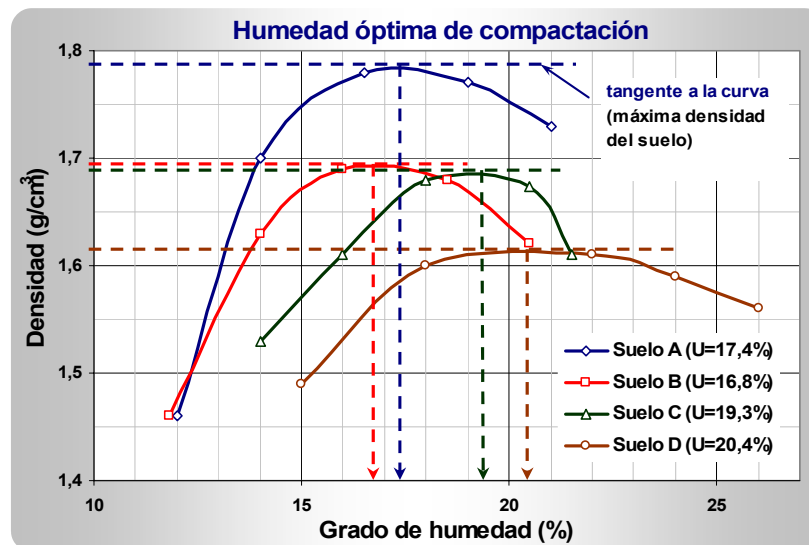


Figura 8 – Ensayo de compactación para cuatro diferentes tipos de suelo

El *grado de compactación* corresponde a la relación entre la masa específica de una muestra retirada del trabajo ejecutado en el campo y la máxima masa específica determinada en laboratorio.

Para algunas técnicas constructivas – por ejemplo, para producción de adobes - la mezcla de suelo y agua es usada en estado de consistencia plástica, con grados de humedad superiores a la humedad óptima de compactación, que no exige energía para su apisonado. Después de secar, el suelo alcanza la masa específica, de valor diferente de la máxima masa específica obtenida por compactación.

### SELECCIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE LA TIERRA

La tierra como material de construcción es utilizada, básicamente, de dos modos: embebida en agua, constituyendo una masa plástica o **barro**; o una mezcla húmeda, compactada o prensada, denominada **tierra comprimida**.

En el primero caso, el producto resultante posee una porosidad elevada debido a la evaporación del agua adicionada en la preparación del barro. Presenta propiedades mecánicas y de impermeabilidad diferentes y menores que las del material obtenido en el segundo procedimiento.

Cualquier suelo, con excepción de los altamente orgánicos o con presencia predominante de arcillas expansivas, caso de la montmorilonita, puede ser utilizado como material de construcción. No obstante, existen limitaciones al uso de determinados suelos por razones de la capacidad de trabajo y otras características no deseables al uso propuesto: tierras muy arcillosas, por ejemplo, son difíciles de ser mezcladas y apisonadas, debido a la retracción elevada, producen superficies mal acabadas.

Es habitual que sean priorizados el empleo de la tierra del propio local donde se hará la construcción y la utilización de un solo tipo de tierra. Sin embargo, algunas veces, la tierra resultante de una mezcla de dos o más tipos de suelo produce mejores resultados. En general, la mezcla de diferentes tipos de suelo ocurre cuando la tierra del local es muy arcillosa, o muy arenosa, y cuando la incorporación de menor cantidad de otro suelo mejora las propiedades que le hacen falta.

El reconocimiento preciso de suelos adecuados a la construcción se hace a través de diversos ensayos en laboratorio. La gran ventaja de éstos ensayos es que son normalizados, obteniéndose resultados cuantitativos de sus características que facilitan la comparación con los resultados de otras experiencias y la identificación de la "tierra ideal" para su reproducción.

Los criterios para selección, en general, consideran la granulometría, la maleabilidad y, en algunos casos, la retracción y compactación; tomando en cuenta las relaciones existentes entre composición granulométrica/plasticidad/retracción/compactación, es posible elaborar recomendaciones, con razonable nivel de seguridad, a partir de un solo resultado.

No existe un criterio único adoptado en el medio técnico que relacione las características de la tierra con las técnicas constructivas<sup>7</sup> porque, en general, los factores de decisión están más relacionados con la cultura y tradición en el proceso de construcción de que con el tipo de suelo disponible. La responsabilidad del constructor, entonces, es seleccionar las tierras más adecuadas, entre aquellas disponibles en la región.

Algunos autores relacionan la composición granulométrica y las posibilidades de empleo de la tierra, indicando inclusive el sistema constructivo y la necesidad de adicionar aglomerante. Easton (1996), por ejemplo, agrupa los diversos tipos de suelos en tres categorías (*Silt-Clay Soils*, *Gravel Soils* y *Sand Soils*), en que cada una es subdividida en varios tipos de suelos y, para cada uno de éstos son presentados los resultados de 5 tests básicos, más uno test adicional (cuando necesario), con comentarios sobre su adecuación a la construcción de casas, el tipo de estabilizador recomendado y comentarios especiales.

<sup>7</sup> Son diversas las técnicas constructivas con tierra y, en cada región, ellas tienen una denominación propia que, muchas veces, confunde hasta los más estudiosos. Como referencia, los autores adoptan tres sistemas que agrupan la mayoría de las técnicas constructivas: albañilería, monolítico, y técnicas mixtas. En el sistema de albañilería están notadamente las técnicas de ladrillos y bloques, compactados o prensados, denominados BTC, y adobe; en monolítico se encuentran las técnicas de tierra compactada, generalmente en moldes, con las denominaciones más conocidas como tapia, tapial, *taipa de pilão*, y paneles de suelo cemento; en técnicas mixtas se agrupan las técnicas constructivas que utilizan principalmente la madera como estructura portante y la tierra como material de relleno de los entramados, éstos son generalmente de madera, en forma de varas, carrizos o piezas de pequeña sección. Independiente del proceso de fabricación, las denominaciones ladrillo y bloque son definidas en función de las dimensiones y área líquida de los componentes, en conformidad con las normas técnicas de cada país.

En general, las propiedades mecánicas y de permeabilidad de la tierra pueden ser mejoradas significativamente por la adición de algunos productos estabilizadores. De ese modo, la mezcla de fragmentos de paja, u otras fibras vegetales, reduce acentuadamente el efecto de la retracción en el secado del barro; la adición de aceites vegetales y emulsiones asfálticas, tanto en el barro como en la tierra comprimida, tiene el efecto de disminuir significativamente la permeabilidad, mejorando las condiciones de durabilidad. La mezcla de aglomerantes<sup>8</sup> – cemento, cal u otros productos cementantes - puede producir aumentos considerables de la resistencia mecánica, principalmente en la tierra comprimida.

La expresión estabilización de suelos se refiere, en su sentido más amplio, a todo proceso a través del cual el suelo mejora sus características, adquiriendo así las propiedades necesarias a la finalidad que se destina. La estabilización de suelos para adecuarlos al uso que se pretende no es uno procedimiento reciente. Como se conoce, la adición de asfalto natural o paja en la producción de adobes, para disminuir la permeabilidad o reducir la retracción, es una práctica milenaria. El apisonado, por compactación o prensado, la mezcla con otros suelos para mejorar sus características granulométricas (denominada estabilización granulométrica) y la adición de aglomerantes son tipos de estabilización de uso muy frecuente en el campo de la Ingeniería.

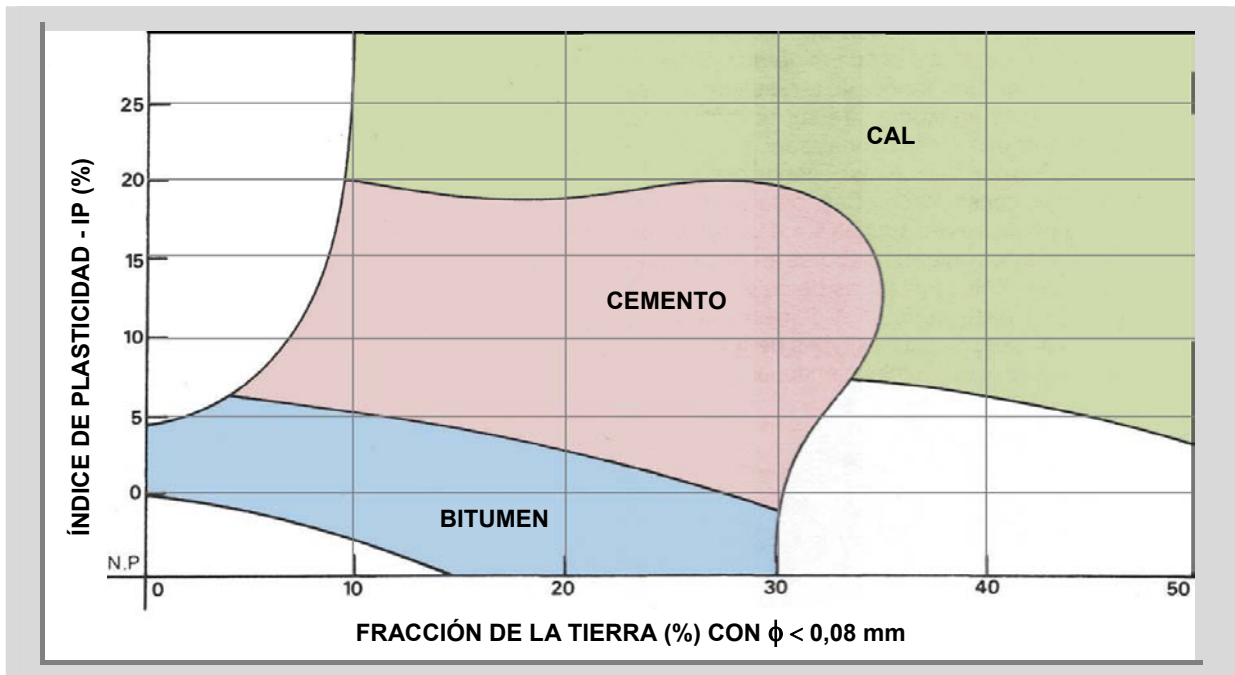
Además de la corrección granulométrica ya citada, Bardou y Arzoumanian (1979) clasifican la estabilización del suelo en cuatro categorías, con las siguientes denominaciones y características:

- a) **Estabilización por cimentación:** consiste en adicionar al suelo una sustancia capaz de solidificar los granos de arena y las partículas arcillosas de forma a obtener un esqueleto interno que haga oposición a la capacidad de absorción de agua por la arcilla. Los estabilizadores más conocidos son: el cemento Portland; la cal, virgen o hidratada; la mezcla de cal y cemento; o también una mezcla de cal con cenizas (de coque, de hulla, etc).
- b) **Estabilización por armazón:** consiste en agregar al suelo un material de cohesión (granos o fibras), que permita asegurar, por fricción con las partículas de arcilla, una mayor firmeza al material. Según Bardou y Arzoumanian (1979), la resistencia mecánica final del material es reducida, mas se gana en estabilidad y durabilidad. No hay determinación específica para los materiales a ser empleados, pues depende de la disponibilidad y de las adaptaciones locales. Pueden ser citadas, principalmente, las fibras vegetales.
- c) **Estabilización por impermeabilización:** consiste en envolver las partículas de arcilla por una capa impermeable, volviéndolas estables y más resistentes a la acción del agua. El material más conocido (desde los tiempos bíblicos) para este fin es el asfalto (o betumen), utilizado en emulsión que, a pesar de la gran superficie específica de la arcilla, requiere una cantidad muy pequeña para obtener buenos resultados. Uno de los inconvenientes del uso de este material es la pérdida de plasticidad, a pesar de ganar en cohesión, lo que requiere la utilización de mayor cantidad de agua para amasar y limita las técnicas constructivas a ser utilizadas. Pueden ser utilizadas otras sustancias, tales como el aceite de coco, savias de algunas plantas oleaginosas, el látex y los residuos del prensado del aceite de oliva.
- d) **Estabilización por tratamiento químico:** consiste en agregar al suelo diversas sustancias capaces de formar compuestos estables con los elementos de la arcilla. Los productos químicos varían de acuerdo con la composición química de la propia arcilla. Por lo tanto, en ese caso, es necesario un análisis químico de la misma. La cal, además de agente cementante, funciona como estabilizador químico, actuando con los minerales

<sup>8</sup> Material generalmente pulverulento que, al adicionar agua, tiene las propiedades de solidificar y endurecer.

amorfos o arcillosos del suelo, formando los compuestos pozolánicos. Otras sustancias de bajo costo también pueden ser usadas, por ejemplo, la sosa cáustica y la orina de ganado.

En relación a la adición de estabilizantes, uno de los criterios bastante usado es el que relaciona la plasticidad del suelo con el tipo de aglomerante. Otro criterio relaciona la plasticidad y la granulometría con el tipo de aglomerante (figura 9).



**Figura 9** – Selección del tipo de estabilizante en función del Índice de Plasticidad (IP) y de la granulometría de la tierra (adaptado de Houben & Guillaud, 1995)

Además del tipo de tierra, se debe considerar que existe una fuerte interacción entre los aspectos socio-culturales, de eficiencia tecnológica (en que se evalúa la arquitectura, costos y mantenimiento), del diseño arquitectónico y del impacto ambiental que definen, con prioridad, la tipología del edificio, la técnica constructiva y el tipo de intervención.

Independiente de la calificación del suelo a través de ensayos en laboratorio, el conocimiento popular en el arte de construir con tierra puede indicar decisiones, mismo empíricas, tan eficientes cuanto la cuantificación resultante de ensayos normalizados, ejecutados en laboratorios. Los tests de campo, que resultan de una saludable combinación entre el saber popular y el conocimiento del medio técnico, son, muchas veces, las únicas pruebas que se pueden hacer para seleccionar la tierra y construir.

## **DEL LABORATORIO AL CAMPO**

Hay diversas recomendaciones en lo que se refiere a los procedimientos para selección de la tierra en el campo. En general, se prueban diversas tierras y, en función de los resultados y de la técnica constructiva apropiada, se selecciona, por comparación, la más adecuada.

A través del tacto y observación visual, se hace la clasificación inicial que es mejorada a través de otros tests expeditos, convenientemente denominados tests del vidrio, del cordón, de la cinta, de exudación, de la resistencia seca, de la caja, entre otros. Estos tests, que indirectamente evalúan la granulometría, la capacidad de trabajo y la retracción del suelo, verifican la textura y el comportamiento de la tierra en diversas situaciones e identifican las técnicas constructivas más adecuadas. (CEPED, 1984; CONESCAL 1982; CRATerre, 1979; França, 1975; Hernández y Márquez, 1983; Houben y Guillaud, 1984; Keable, 1996; Merrill, 1949; Minke, 2001; Rigassi, 1995).

### **Muestreo**

Antes de los tests, se debe preparar la muestra de la tierra que se pretende analizar, de modo que ella sea representativa de las características de la tierra que será usada en la construcción. Para eso, se colectan porciones de tierra en varios puntos del lugar en donde se pretende extraer la tierra para la construcción, totalizando aproximadamente 30 kg. En seguida, se mezclan las porciones y se prepara la muestra para el test de la siguiente forma:

- hacer una porción de la tierra colectada y homogeneizada en forma de cono y, cuidadosamente, dividir en cuatro porciones iguales (por división del cono en cuatro cuadrantes);
- juntar dos porciones opuestas en una única muestra y descartar las otras dos;
- repetir la operación hasta obtener la cantidad necesaria para el test.

### **Identificación de la muestra de tierra**

Es importante hacer un esbozo de los lugares que se obtuvieron las muestras, registrar en una planilla los resultados de los ensayos realizados y la evaluación de los resultados. Además de eso, el registro debe informar la fecha, el local, la identificación de la muestra de tierra y los responsables por el muestreo, ensayos y evaluación. En anexo, se presenta un ejemplo de planilla para registro y evaluación de los tests.

### **Tests Táctil-Visuales**

La apariencia puede revelar algunos datos muy importantes sobre el tipo y las características de la tierra.

#### *1 – Caracterización por tamaño de las partículas*

La tierra puede ser preliminarmente clasificada a través del siguiente procedimiento:

- esparcir la muestra de tierra seca en una fina camada sobre una superficie plana;
- con las manos, separar las partículas visibles a simple vista.

Las partículas visibles a simple vista corresponden a la arena y grava; el que resta, el material fino, corresponde al limo y arcilla (figura 10).

Entonces:

- ▶ si la cantidad de limo y arcilla es mayor que la de arena y grava, la tierra es clasificada como limosa o arcillosa;

- ▶ al contrario, la tierra es arenosa.

En el caso de tierra arenosa, tomar un pequeño puñado de la muestra entera (no apenas la parte de arena y grava), humedecer, sin colocar mucha agua, y apretar formando una bola. Dejar secar al sol. Si la bola desintegrarse al secar, la tierra no es apropiada para construcción, a menos que ella sea mezclada con otros materiales.



**Figura 10** – Aspectos de las partículas que componen la tierra después del tamizado, se observa las fracciones retenidas en cada una de las tamices de la serie normal

## 2 – Caracterización por color

Otra característica de la tierra puede ser revelada en función de su color:

- ▶ los colores claros y brillantes son característicos de suelos inorgánicos;
- ▶ los colores café oscuro, verde oliva o negro son características de suelos orgánicos.

## 3 – Caracterización por brillo

La presencia de arcilla puede ser evaluada a través del brillo, aunque la arena con cuarzo o con determinado grado de mica presenta apariencia brillante también. Entonces:

- tomar un poco de material bien fino y amasar con agua hasta formar una bola compacta del tamaño de la mano;
- cortar por la mitad y observar las superficies.



Si:

- ▶ las superficies son brillantes o hay mucho brillo, la tierra es arcillosa;
- ▶ las superficies presentan poco brillo, la tierra es limosa;
- ▶ las superficies son opacas, la tierra es arenosa.

#### 4 – Tacto

Al restregar, entre los dedos, una porción de la tierra seca, se puede identificar los tipos de partículas presentes por la su textura de la siguiente forma:

- ▶ la arena raspa;
- ▶ el limo cubre los dedos con partículas suaves, como se fuera un talco.

Para verificar la presencia de arcilla, humedecer una porción de la tierra y moldear una bola – cuanto más arcilla presente, más fácil será formar la bola.

#### **Reconocimiento de los diferentes tipos de tierra**

La tabla 3 indica genéricamente aspectos táctil y visual y las características de cada una.

**Tabla 3** – Identificación de la tierra por inspección táctil-visual.

Clasificación	Textura y apariencia del suelo
Arena	Textura granular. Se puede visualizar el tamaño de los granos. Fluye libremente se está seca
Tierra arenosa	Textura granular pero con suficiente limo y arcilla para observar su cohesión. Predominan las características de la arena
Tierra limosa	Textura fina. Contiene una cantidad moderada de arena fina y una pequeña cantidad de arcilla. Sucia los dedos como talco. En estado seco tiene una apariencia compacta. Pulveriza con facilidad
Tierra arcillosa	Textura fina. Cuando está seca, se fractura en pedazos resistentes; en estado húmedo, es plástico y se agarra a los dedos. Es difícil de pulverizar
Tierra orgánica	Textura esponjosa. Olor característico de materia orgánica que es más acentuado al humedecer o calentar

Las denominaciones arena limo-arcillosa, arcilla limo-arenosa, limo areno-arcillosa, etc. Es en consecuencia de la cantidad de cada componente en la tierra cuya primera designación corresponde siempre al componente de mayor grado.

#### **Test de caída de la bola**

Este test (figura 11) indica el tipo de la tierra en función de su propiedad de cohesión y consiste en:

- tomar una porción de la tierra seca;
- juntar agua y hacer una bola con diámetro aproximado de 3 cm;
- dejar la bola caer, en caída libre, de la altura aproximada de un metro.

Identificar el tipo de tierra evaluando la forma de su esparcimiento:

- ▶ tierras arenosas se esparcen disgregándose;
- ▶ tierras arcillosas se esparcen menos y con mayor cohesión.



**Figura 11** – Test de la caída de la bola: aspectos del esparcimiento, en función del tipo de tierra (arcillosa a la izquierda y arenosa a la derecha)

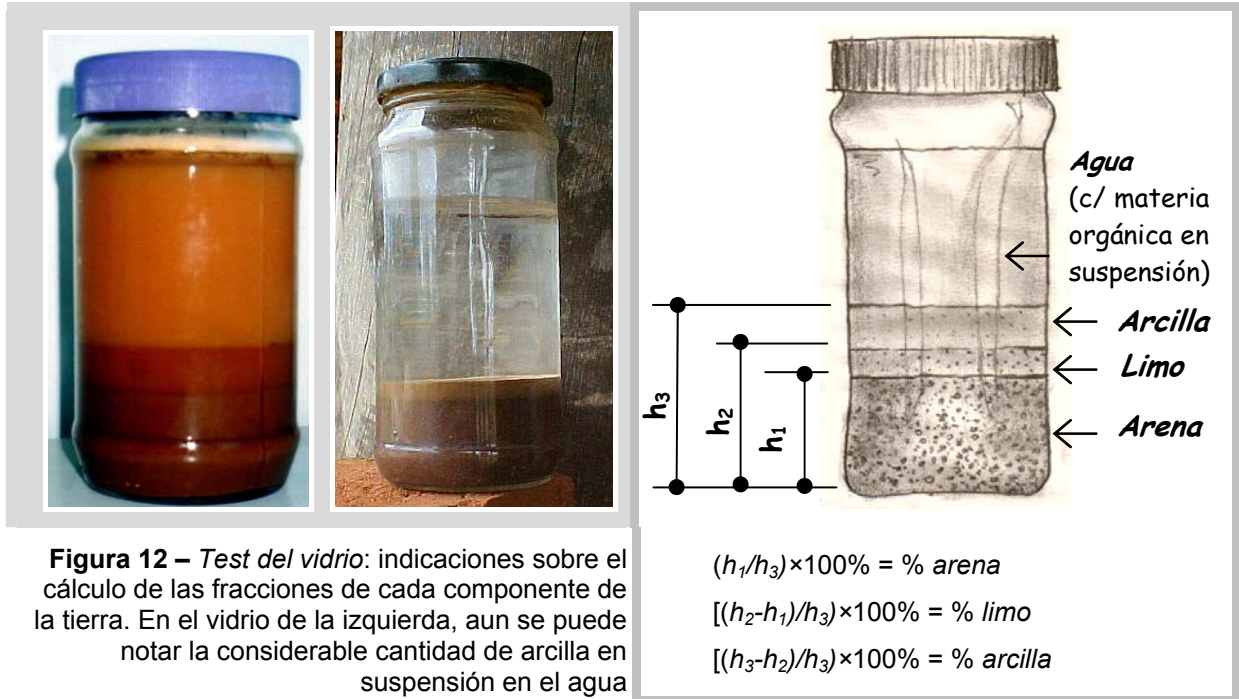
### Test del vidrio

Este test es fundamentado en la sedimentación diferenciada de los constituyentes de la tierra (figura 12) y consiste en:

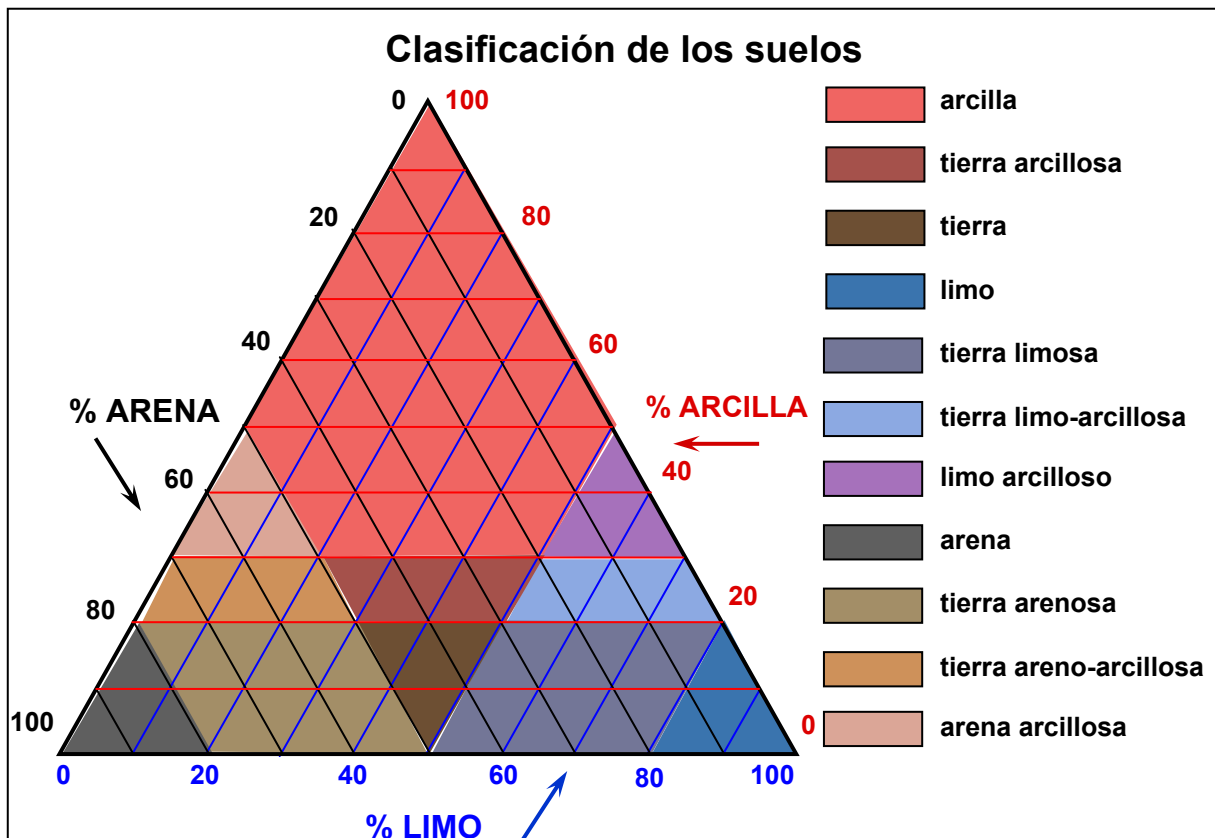
- colocar una porción de tierra, seca y desmenuzada, en un vidrio cilíndrico, liso y transparente, hasta cerca de 1/3 de su altura;
- adicionar agua hasta 2/3 de la altura del vidrio, acrecentando una poca de sal (la sal ayuda a desunir – o separar - las partículas de arcilla, pero, si es utilizada en demasía puede actuar de forma contraria);
- tapar el vidrio y agitar vigorosamente la mezcla para que haga la dispersión del suelo en el agua;
- dejar en reposo por 1 h y, en seguida, promover nueva agitación;
- colocar el vidrio en reposo, sobre una superficie horizontal;

*Cada uno de los componentes de la tierra decanta en tiempos diferentes, formando distintas capas que se puede visualizar. La grava y la arena decantan primero, por ser las partículas más pesadas, seguido del limo y por último la arcilla. Si el suelo contiene materia orgánica, ésta flota en la superficie del agua.*

- cuando el agua esté limpia, medir la altura de las distintas capas.



Con los resultados obtenidos, se puede confirmar la clasificación realizada por medio de los tests táctil y visual e identificar la técnica más adecuada para la tierra analizada, con auxilio de los cuadros presentados en las figuras 13 y 14.



**Figura 13 – Diagrama de clasificación de los suelos, por test del vidrio** (adaptado de Aid at al (s/d) y Moran, 1984)

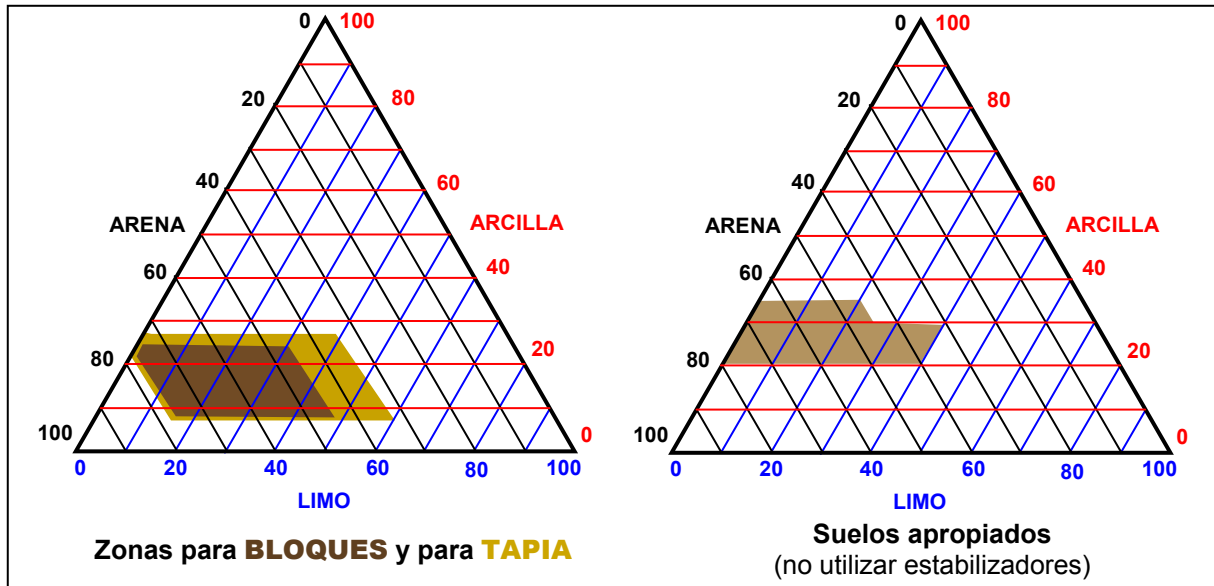
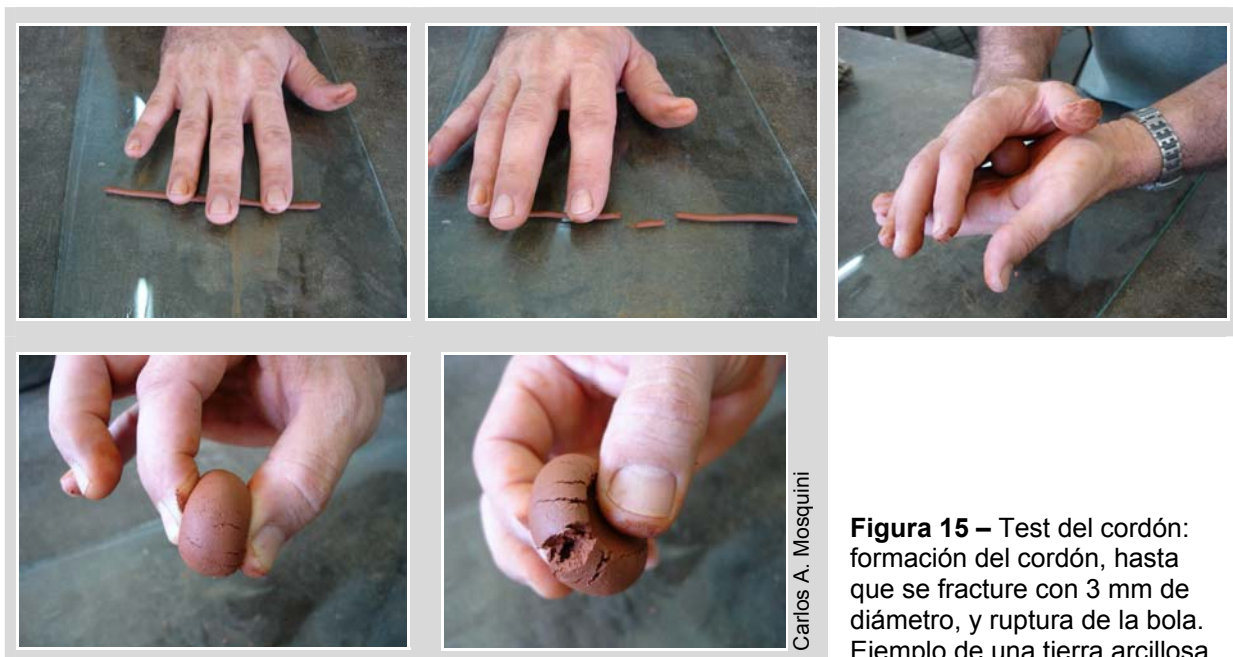


Figura 14 – Diagramas indicativos de uso de la tierra por test del vidrio (adaptado de Aidat al (s/d) y Moran, 1984)

### Test del cordón

Este test evalúa la resistencia de la tierra en un determinado estado de humedad y la relaciona con el tipo más probable de la tierra (figura 15). Él consiste en:

- tomar una porción de la tierra seca y adicionar agua hasta que, resbalando sobre una superficie lisa y plana, sea posible formar un cordón que se rompa con 3 mm de diámetro;
- formar una bola de la tierra en esa humedad y verificar la fuerza necesaria para aplastarla entre el pulgar y el indicador;



Carlos A. Mosquini

Figura 15 – Test del cordón: formación del cordón, hasta que se fracture con 3 mm de diámetro, y ruptura de la bola. Ejemplo de una tierra arcillosa

La evaluación es hecha de acuerdo con las indicaciones contenidas en la tabla 4.

**Tabla 4** – Evaluación del test del cordón

Tipo del cordón	Ruptura de la bola	Clasificación y interpretación
Duro	Solo se puede quebrar la bola con mucho esfuerzo o no se quiebra	Demasiada arcilla; tierra de alta plasticidad
Suave	Poco resistente. Fisura y desmorona fácilmente	Tierra arcillo limosa, arenosa o areno-arcillosa; plasticidad mediana
Frágil	Frágil. No se puede remoldar la bola debido a su fragilidad	Bastante limo o arena y poca arcilla; baja plasticidad
Suave y esponjoso	Esponjosa y suave. Si es comprimida, vuelve a esponjarse	Suelo orgánico. No es apto para ningún tipo de construcción

### Test de la cinta

Este test relaciona la plasticidad con el tipo de la tierra (figura 16) a través del siguiente procedimiento:

- tomar una porción de la tierra y, con la misma humedad del test del cordón, hacer un cilindro del tamaño de un cigarrillo;
- amasar el cilindro de modo a formar una cinta, con 3 a 6 mm de espesura y de mayor largo posible.



Carlos A. Mosquini

**Figura 16** – Test de la cinta: formación del “cigarrillo” y de la cinta, con una tierra arcillosa (tres imágenes superiores); tentativa de formación del “cigarrillo” con una tierra muy arenosa (imagen de la izquierda)

Se hace la evaluación conforme las indicaciones contenidas en la tabla 5.

**Tabla 5 – Evaluación del test de la cinta**

Tipo de la cinta	Comportamiento de la cinta	Clasificación y interpretación
Larga	Es posible formar una cinta de 25 a 30 cm sin dificultad	Mucha arcilla; tierra de alta plasticidad
Corta	Es posible formar una cinta de 5 a 10 cm con dificultad	Tierra arcillo-limosa, arenosa o areno-arcillosa; plasticidad mediana
	No se hace la cinta	Bastante limo o arena y poca arcilla; sin plasticidad

### Test de exudación

Evalúa la plasticidad de la tierra en función de la su capacidad de retener agua de la siguiente forma (figura 17):

- tomar una porción de la tierra bastante húmeda y colocarla en la palma de la mano;
- golpear esta mano con la otra, de modo que el agua salga a la superficie de la muestra, dándole un aspecto liso y brillante.



**Figura 17 – Test de exudación:** diferencia entre una tierra arcillosa (a la izquierda) y una tierra arenosa (a la derecha)

La evaluación es hecha de acuerdo con las indicaciones contenidas en la tabla 6.

**Tabla 6 – Evaluación del test de exudación**

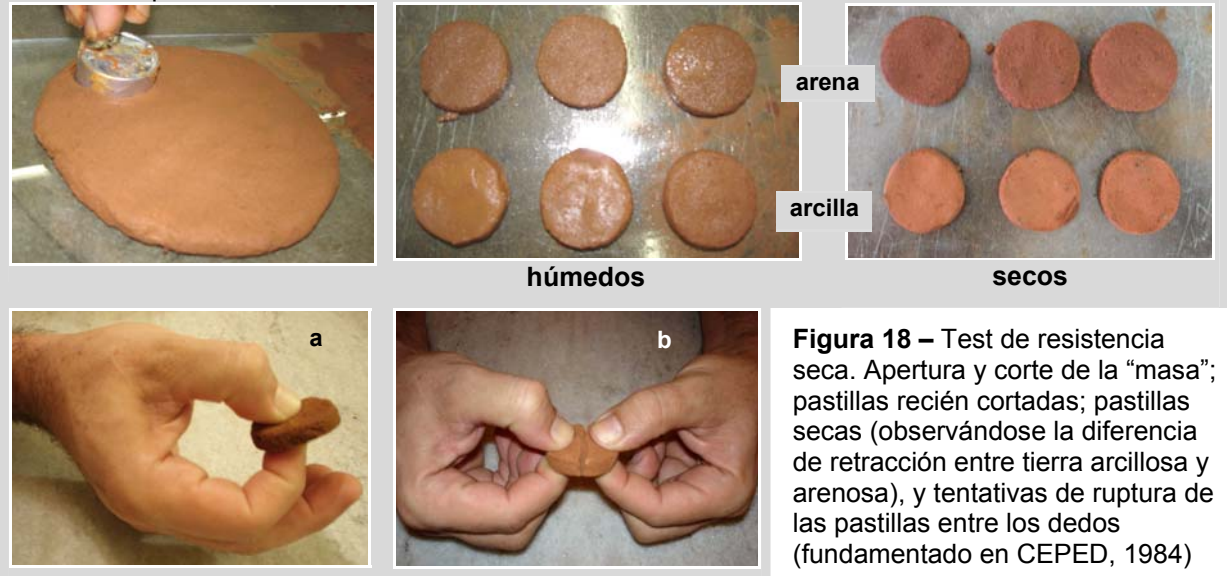
Tipo de reacción	Número de golpes	Efectos en la muestra	Clasificación y interpretación
Rápida	5 – 10	El agua aflora a la superficie de la muestra; la presión de los dedos hace el agua desaparecer inmediatamente y una presión más fuerte aplasta la torta	Poca plasticidad. Arena fina inorgánica o limo grueso inorgánico, tierra arenosa o limosa
Lenta	20 – 30	El agua aparece y desaparece lentamente; la presión de los dedos hace con que la torta se deforme como una masa de caucho	Limo ligeramente plástico o limo-arcilloso
Muy lenta	Más de 30	No hay cambio notable	Tierra de alta plasticidad. Arcilla

### Test de resistencia seca

El test identifica el tipo de la tierra en función de su resistencia y, como se muestra en la figura 18, consiste en:

- moldear dos o tres pastillas de tierra bien húmeda, con cerca de 1 cm de espesor y 2 a 3 cm de diámetro;
- dejar las pastillas secar al sol por dos o más días;
- tentar aplastar (o romper) cada pastilla entre el indicador y el pulgar.

Carlos A. Mosquini



Su comportamiento es clasificado de acuerdo con las indicaciones contenidas en la tabla 7. En la figura 18 (a y b), notase que no es posible romper una pastilla de tierra arcillosa de la manera recomendada, ella solo se rompe por flexión y con el uso de las dos manos.

Tabla 7 – Evaluación del test de resistencia seca

resistencia	Esfuerzo de ruptura	Comportamiento	Clasificación y interpretación
Grande	Resistente	No se pulveriza	Suelo inorgánico de alta plasticidad; arcilla
Mediana	poco resistente	Es posible reducir los pedazos a polvo	Tierra arcillo limosa, tierra arcillo arenosa o arena arcillosa. Si es arcilla orgánica, no usar
Poca	No resiste	Fácil disgregación	Falta de cohesión. Suelo arenoso, limoso inorgánico u otro con poca arcilla

### Identificación de técnicas constructivas en función de los resultados de los tests

Para cada tipo de tierra, se puede estimar las técnicas constructivas más adecuadas en función de los resultados de los tests del cordón, de la cinta, de exudación y de la resistencia seca, conforme presentado en la tabla 8.

**Tabla 8** – Tipo de suelo y técnica constructiva indicada por tests expeditos (adaptación de CEPED, 1984)

Test del cordón	Test de la cinta	Test de exudación	Test de la resistencia seca	Tipo de tierra	Técnica constructiva
Cordón frágil o resistencia nula	Cinta corta o no se consigue hacer la cinta	Reacción rápida a lenta, pero jamás muy lenta	Poca a nula, generalmente nula	Arenosa; areno-limosa; areno-arcillosa; limo-arcillosa	ladrillos prensado, adobe y tierra compactada
Cordón frágil a blando	Cinta corta	Reacción lenta a muy lenta	Poca a mediana	Limosa	Utilización más difícil que las tierras anteriores, mas posible con el uso de aglomerante
Cordón blando	Cinta corta a larga	Reacción muy lenta o sin reacción	Mediana a grande	Arcillosa con grava, arcillo-arenosa y arcillo-limosa	Posible usar para la tierra compactada o ladrillo prensado, con aglomerante
Cordón duro	Cinta larga	Sin reacción	Grande	Arcillosa	Posible usar para fabricación de adobe con adición de fibras y embarrado de técnicas mixtas

Patricio Cevallos usa, particularmente, las recomendaciones presentadas en la tabla 9, para analizar los resultados obtenidos en los tests. Estas sugieren, inclusive, los estabilizantes más adecuados para cada tipo de tierra.



**Tabla 9 – Recomendaciones para selección de la técnica de construcción y del estabilizante en función de los tests de campo (adaptado de CRATerre, 1979)**

Identificación	Teste do cordón	Teste de exudación	Teste da resistencia seca	Técnica recomendada	Estabilizante más apropiado
<b>TIERRA ARCILLOSA Y TIERRA LIMOSA</b>					
Limo y limo arcilloso	Cordón frágil; no hace la bola	Reacción rápida a lenta, mas no demasiado lenta	Poca a nula, generalmente nula	Apto para todo tipo de técnica, particularmente BTC	Cemento Portland; puede ser afectado por temperaturas bajas
Limo	Cordón blando de resistencia mediana; bola muy frágil	Reacción lenta a nula	Poca a mediana	Evitar usar, si es necesario, adiconar aglomerante y revestir la superficie	Cemento Portland o emulsión asfáltica de baja viscosidad
Arcilla c/ grava, arcilla arenosa y arcilla limosa	Cordón blando de resistencia mediana; bola frágil, se fisura	Reacción muy lenta a nula	Mediana a grande	Apropiado para BTC y tapia; necesita aglomerante	Corregir granulometría Usar impermeabilizante
Arcilla y arcilla plástica	Cordón duro; bola no se fisura	Sin reacción	Grande	Apropiado para adobe y técnicas mixtas	Paja o otro tipo de fibras
Limo orgánico y arcilla limosa orgánica	Cordón frágil y esponjoso; bola esponjosa	Lenta	Poca a mediana	No usar	
Arcilla orgánica		Reacción muy lenta a nula	Mediana a grande		
<b>TIERRA ARENOSA</b>					
Arena limosa	Cordón frágil; no hace la bola	Reacción rápida	Poca a nula, generalmente nula	Apto para todo tipo, particularmente BTC; si tiene mucha arena, agregar arcilla y estabilizar con aglomerante	Cemento Portland o cal, o los dos combinados. Corregir granulometría, si es necesario
Arena arcillosa	Cordón blando de resistencia mediana; bola muy frágil	Reacción lenta a muy lenta	Mediana	Apto para todo tipo, particularmente BTC; si tiene mucha arena, adiconar arcilla	Cemento Portland o cal, o los dos combinados. Corregir granulometría, si es necesario
Arena	No funcionan estos tests			Nao es apto	
<b>TIERRA CON GRAVA</b>					
Grava limoso, mezcla de gravas, arena y limo	No hace el cordón	Rápida	Nula	Conveniente si la grava no es muy gruesa; usar para adobe y monolíticos	Cemento Portland; usar cal como impermeabilizante
Grava arcilloso, mezcla de gravas, arena y limo	No hace el cordón	Lenta a muy lenta	Mediana	Adobe y monolíticos	Cal; usar emulsión asfáltica como impermeabilizante
Grava	No funcionan estos tests o estas pruebas			No es apto	

### Test del rollo (verificación de la tierra adecuada para la tapia)

Este test verifica la cantidad de arcilla (material cohesivo) contenida en la tierra para la construcción con tapia y consiste en (figura 19):

- tomar una porción de tierra, humedecida y amasada, deslizar sobre una superficie plana hasta la obtención de un cordón con 200 mm de largo y diámetro de 25 mm;
- deslizar suavemente el cordón sobre la superficie de una mesa, hasta la orilla para quedar en saledizo, hasta que ocurra la ruptura de la parte que queda volando.



**Figura 19** – Test del rollo: en la ilustración, una tierra arcillosa (ruptura con más de 120 mm)

Carlos A. Mosquini

En función del largo del segmento que se rompió se tiene un indicio de la cantidad de arcilla ideal para la tapia:

- ▶ si romper el cordón con menos de 80 mm, no hay arcilla suficiente;
- ▶ si la ruptura tiene un largo entre 80 mm y 120 mm, la cantidad de arcilla es la ideal;
- ▶ largos mayores o superiores a 120 mm indican arcilla en exceso

### Test de la caja

Este test mide la retracción lineal del suelo que, indirectamente, indica su comportamiento cuanto a la retracción volumétrica. Él es usado principalmente para la selección de tierra para BTC y muros monolíticos con cemento y consiste en (figura 20):

- tomar una porción de suelo y adicionar agua poco a poco hasta que la mezcla comience a adherirse en la lámina de la cuchara de albañil;
- colocar la mezcla en la caja, alisando la superficie con la cuchara de albañil;
- dejar la caja protegida del sol y lluvia durante siete días;
- después de este período, medir la retracción lineal.

**Figura 20** – Ensayo de retracción (el test de la caja): la caja de la ilustración permite el ensayo de cinco muestras, simultáneamente, facilitando la comparación entre los resultados de retracción (cada compartimiento tiene 8,5 cm de ancho, 3,5 cm de altura y 60 cm de largo). Dispositivo propuesto por Faria (2002)



Obede B. Faria

Segundo BNH (1985), para la fabricación de ladrillos y bloques de suelo cemento, la retracción total no debe ultrapasar 20 mm.

CEPED (1984) recomienda el uso de la tierra con retracción total de hasta 20 mm en el ensayo de la caja y la proporción de 1 volumen de cemento para 15 volúmenes de tierra, para ejecución de paredes de paneles monolíticos de suelo cemento.

Independiente de la técnica de construcción, Patricio Cevallos, en función de su experiencia, recomienda las proporciones volumétricas presentadas en la tabla 10, para estabilización de la tierra en función de la medida de retracción en el test de la caja.

**Tabla 10** – Relación tierra y cemento para las mezclas de suelo cemento (Recomendado por Patricio Cevallos)

Retracción (en mm)	Cemento (volumen)	Tierra (volumen)
Menor que 12	1	18
Entre 12 y 25	1	16
Entre 25 y 38	1	14
Entre 38 y 50	1	12

## ALGUNOS MÉTODOS DE CONTROL RECOMENDADOS EN LA CONSTRUCCIÓN CON TIERRA

Como toda construcción, la que utiliza la tierra como material de construcción, también debe atender a las exigencias que garanticen su seguridad estructural, durabilidad y protección al agua. Los procedimientos de control son los mismos utilizados para la construcción convencional. Para las paredes, se recomienda observar el plomo, alineamiento, aspecto superficial y la protección de aquellas sujetas a la acción del agua, sea con auxilio de los aleros en la cubierta o con tratamiento superficial adecuado.

Heise (2003) define diversos factores a ser verificados en el control de calidad del proceso de producción de la arquitectura y construcción con tierra. El control inicia con el proyecto arquitectónico y con un espacio organizado para la ejecución de la obra, posteriormente la selección de la tierra y la preparación de la mezcla. Para las técnicas que utilizan moldes, se debe contar con el diseño de éstos y las técnicas de montaje; posteriormente se coloca la mezcla y finalmente el acabado de la pared construida.

Es bastante útil hacer muestras para simulación previa antes de la ejecución de la obra. Por ejemplo, fabricar varios adobes con uno o más tipos de tierra, construir un panel de tapia o de bahareque, fabricar bloques, así como testar diferentes cantidades de estabilizantes. Estos experimentos, que no implican costo elevado, completan el conocimiento sobre el comportamiento de la tierra, ayudan a seleccionar la mezcla y pueden condicionar las decisiones en cuanto al sistema constructivo.

Se resalta también la importancia de la capacitación de los operarios y del responsable por la ejecución de la calidad de la obra.

Durante la obra, los factores considerados importantes en la construcción con tierra son la dosificación (cuando se usan estabilizantes), la homogeneización, la humedad y el apisonado. En la obra, generalmente, no se dispone del apoyo de laboratorio para garantizar las mismas condiciones obtenidas en el laboratorio. Entretanto, existen prácticas simples y métodos expeditos que aseguran su control con razonable precisión.

### **Dosificación**

Se debe evitar el uso de varios criterios de medidas de los materiales, pues pueden suscitar confusiones que difícilmente serán identificadas durante la ejecución. Una buena práctica en el control es establecer volúmenes fáciles de ser utilizados como cajas, carretillas o cubetas. El cuidado básico debe estar entonces en observar si no ocurren variaciones en las características físicas de la tierra que está siendo usada, pues, caso ocurra, será necesaria la adecuación de la dosificación.

Los volúmenes de la mezcla deben ser suficientes para no provocar interrupciones en el trabajo y, en el caso de usar cemento como estabilizante, se debe cuidar que el uso de la mezcla no ocurra después de su período de fraguado (aproximadamente 2 horas).

### **Homogeneización**

Otro factor fundamental en la calidad del producto final es la perfecta homogeneización de la mezcla. El estabilizante en polvo debe ser adicionado a la tierra seca y mezclado hasta que se obtenga una coloración uniforme; la tierra debe estar exenta de grumos, que pueden ser eliminados con la pala o por tamización. El agua debe ser adicionada después de la mezcla de la tierra seca con el estabilizante; en regiones lluviosas, es conveniente prever un abrigo para almacenar la tierra.

En la adicción de la cal hidratada, es usual, además de la homogeneización, dejar la mezcla en reposo durante 12 horas, como mínimo, de modo a obtener mayor capacidad de trabajo y disminuir la retracción. Hofmann (2002) indica que, cuando la cal es usada apenas como aglomerante, para mejoría de la resistencia y durabilidad, la mezcla debe ser utilizada luego después de la adición de la cal. Patricio Cevallos y Rodolfo Rotondaro recuerdan o advierten que, cuando se adiciona paja o estiérco a la tierra para la producción de adobe, el tiempo de reposo de la mezcla llega hasta a los 15 días.

### **Humedad**

La humedad que debe tener la mezcla está en función del tipo de tierra que se utiliza y de la técnica constructiva (adobe, bloque, tapia, técnica mixta, etc.). Para el adobe, por ejemplo, es necesaria una plasticidad tal que permita el llenado del molde con facilidad, ocupando todo su volumen (principalmente las esquinas y aristas), si esto no sucede, puede ocurrir la deformación del adobe al ser desmoldado. Para la técnica mixta, el barro debe ser más plástico, más húmedo, para posibilitar la acomodación entre los elementos del entramado; sin embargo no puede ser muy plástico, a punto de escurrir por entre estos elementos.

En el caso de tierra comprimida, la identificación de la humedad puede ser hecha en el campo con razonable precisión por uno proceso expedito. Consiste en tomar una porción de la mezcla, ya humedecida, y comprimirla con la mano: al abrir la mano, la bola formada debe guardar la marca de los dedos y, cuando se deje caer de la altura de 1,0 metro debe desmoronarse. En caso de que no se consiga formar la bola con la mano, la humedad es insuficiente; si la bola, al caer se mantiene adherida, la humedad es excesiva.

*Este test es similar al test de caída de la bola, pero cada uno tiene su finalidad. El primero es realizado para la selección de la tierra y determina su tipo por la forma de esparcir de la bola al caer, cuya evaluación se hace, en general, por comparación entre varias muestras de tierras. Ese último verifica la humedad óptima para compactación de la tierra ya seleccionada para técnicas constructivas que emplean la tierra comprimida, por aplastamiento o por compactación, y evalúa su aspecto tanto al comprimir la muestra en la mano como al esparcir en la caída.*

Obede Faria usa, en vez de dejar caer, quebrar la bola con las dos manos. La bola debe estar compactada lo suficiente para romperse en dos, sin desmoronarse. Caso desmorone, la humedad es insuficiente; si se deforma con la presión de los dedos y se rompe a la mitad, entonces hay mucha humedad (figura 21).



**Figura 21** – Test de humedad: compactación de la tierra con la mano y ruptura de la “galleta”, sin desmoronarse. Ejemplo de una tierra arenosa, con la humedad adecuada

Para determinar la humedad ideal, el mejor y más eficiente test es experimentar el uso de la tierra en la propia técnica, ya que el grado de humedad puede ser fácil y rápidamente corregido, con la adición de más agua, o de más tierra. El propio operador, en poquísimo tiempo, tendrá condiciones de evaluar si la mezcla está en la consistencia ideal, con base en el método de “ensayo y error”.

### Compactación

El control de la compactación es muy simple e intuitivo. El sonido emitido por el compactador se modifica durante la compactación y, al final, él es “casi metálico”; el término es identificado fácilmente por el operador, pues el compactador no deja más marcas sobre la superficie compactada. A partir de ahí, todo esfuerzo de compactación es prácticamente inútil.

Al respecto de la compactación, otro factor fundamental de control es el espesor de las capas de la mezcla suelta: éstas, antes de la compactación, no deben ser superiores a 20 cm.

Otro aspecto relativo a la compactación corresponde a la masa del compactador: algunos autores sugieren el peso máximo de 3 kg, otros de 10 kg. El importante es que siempre se utilice compactadores con misma masa de modo que la energía de compactación sea uniforme.

Ni todas las técnicas constructivas exigen compactación mecánica. Cuando se usa la mezcla de suelo y agua en estado de consistencia plástica, para fabricación de adobe y relleno de entramados, por ejemplo, no hay necesidad de energía para su compactación.

### **Mantenimiento**

Faria (2002) resalta que la necesidad de mantenimiento no es exclusiva de las construcciones con tierra. Independiente del material utilizado, el hábito de mantener, tanto de carácter preventivo como correctivo, preserva la construcción. Otro aspecto muy importante, relacionado con la manutención (el mantenimiento) y durabilidad de las construcciones, está relacionado a los detalles constructivos, o sea, se debe invertir tiempo en detallar cada elemento constructivo, de cada aspecto de la construcción y de todas sus etapas.

En las casas de tierra, debe-se tener cuidados especiales con las instalaciones hidro-sanitarias y la protección de las aguas pluviales, pues el contacto directo y continuo con el agua puede comprometer el desempeño y durabilidad de la construcción.

### **COMENTARIOS**

Para evaluar las características de la tierra disponible y la posibilidad de su empleo en la construcción de viviendas, los “maestros de la construcción” procuraran, de alguna forma, desarrollar sus métodos y transmitir su experiencia para las generaciones siguientes. Generalmente dirigidos a una técnica constructiva específica, cada uno contaba, seguramente, con la perspicacia y la habilidad desarrolladas durante años de trabajo en la práctica de la construcción. Los que hacían adobes y muros de tapia, por ejemplo, sabían muy bien como encontrar la tierra apropiada para fabricar el adobe y la tapia.

Los técnicos, en el instante que necesitaran difundir las técnicas de construcción con tierra de una región para otra, principalmente a través de la escritura, fueron obligados a comprender las recetas transmitidas de padre para hijo, de maestro para aprendiz, y transformarlas en palabras y dibujos que representasen los procedimientos desarrollados por estos sabios constructores.

De alguna forma, algunas pruebas fueron más apreciadas que otras, probablemente porque eran fácilmente asimiladas y transmitidas. Así, estos procedimientos aparecen en la mayoría de los libros y manuales que tratan de los procedimientos y métodos para selección de la tierra para construcción.

Los técnicos procuraran también desarrollar métodos expeditos para el control de ejecución, como se hace en cualquier construcción convencional. Éstos también existían con los “maestros de la construcción”, que eran repasados a los aprendices en la propia práctica.

Mientras que los ensayos realizados en laboratorios son generalmente cuantitativos, con resultados numéricos, los tests expeditos realizados en el campo tienen resultados básicamente cualitativos y son apropiados para comparar las características entre las tierras

disponibles en la región de modo a elegir la más apropiada al sistema constructivo pretendido.

El apoyo de un laboratorio de ensayos es recomendado en programas masivos de construcción, cuando el volumen de tierra es significativo y principalmente cuando se usan aglomerantes como el cemento, por ejemplo, que representa un valor significativo en el costo de la construcción. En este caso, además de los ensayos para la selección del suelo, se debe programar:

- el estudio de yacimientos de modo a evaluar la cantidad del suelo disponible en la región;
- los ensayos de caracterización del suelo para control e identificación de posibles alteraciones que puedan modificar su comportamiento.

Exceptuando los casos anteriormente mencionados, los tests expeditos, como los aquí presentados, son perfectamente factibles para seleccionar suelos apropiados y, en conjunto con el conocimiento técnico del especialista, para proyectar y acompañar la obra, garantizando el desempeño y durabilidad de la “casa de tierra”.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (1995). **NBR 6502 – Rochas e solos. Terminologia**. Rio de Janeiro: ABNT. 18 p.

PERU. AID Y Ministerio de Vivienda y Construcción de Peru. **Indigenous Building Techniques of Perú and their potential for improvement to better with and earthquakes**. Lima: [s.n.], [197-?].

BARDOU, Patrick; ARZOUMANIAN, Varoujan (1979). **Arquitecturas de adobe**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili. 165p. (Tecnología y arquitectura)

BNH – Banco Nacional da Habitação (1985). **Uniformização das técnicas de aplicação do solo-cimento na construção habitacional**. Rio de Janeiro: DEPEA/BNH. 14 p.

CAPUTO, Homero Pinto. (1978). **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 3.ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos. v.1, 242p.

CEPED – Centro de Pesquisas e Desenvolvimento. THABA (1984). **Manual de construção com solo-cimento**. 3 ed.atual. São Paulo: CEPED/ BNH/ URBIS/ CONDER/ PMC/OEA/ CEBRACE/ ABCP. 147 p.

CONESCAL, (1982). **Tecnología de construcción de tierra sin cocer**. Revista Especializada en Espacios Educativos N° 59-60. México: CONESCAL. 90p.

CRATerre – Centre International de la Construction en Terre. (1979). **Construire en terre**. Paris: CRATerre. 270 p.

EASTON, David. (1996). **The rammed earth house**. Totnes: Chelsea Green. 272p.

FARIA, Obede Borges (2002). **Utilização de macrófitas aquáticas na produção de adobe: um estudo no reservatório de Salto Grande (Americana-SP)**. São Carlos, 200p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (também disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-10022003-103821/> ).

FRANÇA. Ministère des Affaires Culturelles. Unité Pedagogique d'Architecture de Grenoble (1975). **Minimôme découvre la terre**. Grenoble, França.

HEISE, André Falleiros (2003). **Desenho do processo e qualidade na construção do painel monolítico de solo cimento em taipa de pilão**. Campinas, 117p. Dissertação de mestrado – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas.

HERNANDEZ RUIZ, Luis Enrique; MARQUEZ LUNA, José Antonio (1983). **Cartilla de campo para selección de tierras en la fabricación de adobes**. México: CONESCAL. 72p.

HOFFMANN, Márcio Vieira (2002). **Efeito dos argilo-minerais do solo na matéria prima dos sistemas construtivos com solo cal**. Salvador, 78 p. Dissertação de mestrado – Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia.

HOUBEN, Hugo; GUILLAUD, Hubert. (1995). **Traité de construction en terre**. 2.ed. Marseille: Editions Parenthèses / CRATerre, 355p.

KEABLE, Julian. (1996). **Rammed Earth Structures: a code of practice**. London: Intermediate Technology Publications, 114p.

MERRIL, Anthony F. (1949). **Casas de tierra apisonada y suelo cemento**. Traducción y adaptación J.L.Moia. Windsor, Buenos Aires.204p.

MINKE, Gernot. (2001). **Manual de construcción em tierra: la tierra como material de construcción y sus aplicaciones en la arquitectura actual**. Montevideo: Nordan-Comunidad. 222p.

MORAN, Eduardo (1984). **Uso del Terrocemento en la Construcción de Vivienda de Bajo Costo**. Tesis de Grado (Facultad de Ingeniería Civil. Pontificia Universidad Católica del Ecuador). Quito. 149p.

RIGASSI, Vincent (1995). **Compressed earth blocks.Volume I.Manual of production**. Alemanha: GATE-GTZ-BASIN. 104p.

### NOTA DE LOS AUTORES

Este documento fue preparado a partir de la experiencia de los autores cuyas prácticas se desarrollaran fundamentadas en la bibliografía ya consagrada sobre la arquitectura y construcción con tierra. Como se tratan de tests expeditos, éstos son adaptados de acuerdo con las habilidades y su interpretación depende particularmente de los materiales disponibles y técnicas más usuales en cada región. Los autores, provenientes de Argentina, Ecuador y de dos diferentes regiones de Brasil, estados de Bahia y de São Paulo, cuentan cada uno con su práctica desarrollada tanto en el ámbito de la academia, como en actividades de capacitación y en construcción. Compatibilizar las informaciones de profesionales de cuatro diferentes regiones fue una experiencia innovadora y gratificante: todos los autores perfeccionaron los conocimientos en función de las prácticas de campo para selección de suelos y métodos de control de ejecución. Con este documento, los autores esperan contribuir, un poco más, para el avance de la tecnología de Arquitectura y Construcción con Tierra, principalmente en Iberoamérica.

Octubre de 2009



## ANEXO – EJEMPLO DE PLANILLA PARA REGISTRO Y EVALUACIÓN DE LOS TESTS

### IDENTIFICACIÓN DE LA TIERRA – TESTS DE CAMPO

Nombre de la muestra	
Localización	
Operador	
Fecha de colecta	
Fecha de ejecución	
Observaciones	

Teste		Interpretación
Táctil-visual	Tamaño de partículas	
	Color	
	Brillo	
	Tacto/textura	
Identificación de la tierra por inspección táctil-visual		
Caída de la bola		
Vidrio - % de arena, limo y arcilla		
Indicación de técnicas constructivas por teste del vidrio		
Cordón		
Cinta		
Exudación		
resistencia seca		
Identificación de la tierra y de técnicas constructivas – tabla 8		
Identificación de la tierra y de técnicas constructivas – tabla 9		
Rollo		
Caja		

#### Conclusión:

Hacer el esbozo del local del muestreo en el reverso

**Cara:** Arreglo con varios tipos de suelos de Brasil, en foto de Obede B. Faria

