

LADRILLOS DE SUELO-CEMENTO: MAMPUESTO TRADICIONAL EN BASE A UN MATERIAL SOSTENIBLE

(COMPRESSED EARTH BLOCKS: TRADITIONAL MASONRY BASED ON A MATERIAL OF SUSTENANCE)

Mariana P. Gatani, Arquitecta-CONICET
Córdoba (ARGENTINA)

Fecha de recepción: 20-I-2000

514-68

RESUMEN

Como base de construcción, la tierra es empleada desde tiempos remotos.

En nuestro medio, no ha trascendido la esfera de pequeños grupos organizados o autoconstructores rurales, sin duda alguna, imputable al desconocimiento de los materiales utilizados tradicionalmente.

Pese a que existe un cúmulo de experiencias y de datos experimentales, los antecedentes sobre desarrollo de materiales resultantes de mezclas de tierra, cal y/o cemento no han sido divulgados suficientemente.

SUMMARY

Like a basic construction material, the soil has been used since the distant past.

In our days, we know very few about country constructors, probably because of our ignorance concerning the traditional materials they have used.

In spite of the existence of a lot of experiences and informations concerning this matter, the antecedents about the development of the materials coming from the mixture of soil, lime and/or concrete, have not been spread enough.

INTRODUCCIÓN

Sin embargo, el suelo-cemento es un material de construcción básico para quienes construyen mamposterías con técnicas vernáculas, particularmente en sectores rurales. Asimismo y desde hace varias décadas, se usa como material confinado entre moldes para la construcción de muros monolíticos, especialmente ligado a vivienda social, y conocido como suelo-cemento tapial.

En un medio próximo y de manera aislada, algunas experiencias puntuales en la construcción de muro tapial, mampostería de adobe y molones de suelo-cemento, han sido realizadas en las provincias de Tucumán y Jujuy (Argentina).

Varias son las técnicas y métodos de utilización de la tierra para la construcción de edificios, particularmente viviendas. Según el lugar y los ámbitos de trabajo, existe al respecto cierta mezcla de términos y denominaciones, por lo que parece oportuno aclarar conceptos en lo relativo a los usos específicos del suelo como material de construcción. En base a nuestra práctica, el relevamiento y sistematización de experiencias aisladas en el empleo de tierra para construcción de viviendas permiten elaborar las primeras conclusiones sobre las formas diversas que ha adoptado el suelo para la construcción, en relación a situaciones temporales y locales:

a) como **adobes**, modelados con suelo abundantemente humedecido

b) **compactado entre moldes**, conformando muros monolíticos

c) como **ladrillos**, moldeados a mano, con cocción de la capa fértil del suelo

d) como **suelo estabilizado**, combinándolo con un agente estabilizador para mejorar sus aptitudes, fundamentalmente de uso vial

e) como **bloques de tierra comprimida**, empleando un estabilizante, en diferentes tamaños y geometrías

La forma tradicional de uso del suelo es como adobe o suelo apisonado, aunque con limitaciones: poca resistencia mecánica y muros de gran espesor, vulnerabilidad a los agentes atmosféricos y a la erosión por acción de agentes externos.

Para mejorar estas características se agrega un agente estabilizador como es el cemento.

El suelo-cemento surge entonces como la mezcla de suelo, cemento y agua, dosificados, mezclados y compactados.

El presente trabajo profundiza en el último de los aspectos enunciados, siendo considerado no sólo por sus aptitudes técnicas, sino también como vehículo de generación de empleo vinculado a la creación de actividades productivas, desde la extracción de la tierra en canteras, hasta la producción, transporte y puesta en obra del componente.

ELSUELO: MATERIAL PARALA CONSTRUCCIÓN

El suelo estabilizado ha demostrado superior calidad técnica y durabilidad respecto al adobe o al suelo simple apisonado.

Coincidimos con apreciaciones de CRATerre¹ en afirmar que desde la década de los años '50, la emergencia de la tecnología de producción de bloques de tierra comprimida, en países de Europa, África y Latinoamérica, y su aplicación en construcción, ha continuado el progreso y experimentación científica así como sus méritos técnicos.

Un abundante cuerpo de conocimiento ha sido desarrollado por centros de investigación, industriales, empresarios y constructores, convirtiendo esta tecnología en alternativa a otras tecnologías de hoy.

La producción de ladrillos y bloques de tierra comprimida encuentra requerimientos científicos para el control de

calidad del producto, desde la identificación, selección y extracción para el uso de tierra, así como para la calidad del bloque terminado, gracias a los procedimientos de ensayo sobre los materiales, los cuales se encuentran normalizados.

Simultáneamente, la experiencia acumulada de constructores trabajando en gran número de sitios ha promovido, también, principios de diseño arquitectónico donde emergen prácticas de trabajo, formando hoy los puntos de referencia para arquitectos y empresarios así como constructores.

El eje del trabajo propuesto consiste en el desarrollo de suelo estabilizado con cemento, moldeado y compactado para ser utilizado en mamposterías.

El interés dado a la continuidad del trabajo de investigación y desarrollo se funda en la certeza de que se trata de un material ecológico, ya que en su composición no interfiere la capa fértil del suelo apta para cultivos, y en el ahorro de productos energéticos, dentro de lo que significa producir materiales sin cocción.

Además, algunas ventajas, aquí señaladas, permiten cimentar el concepto de desarrollo sostenible a partir de un procedimiento para la construcción de viviendas económicas, en su amplia acepción, esto es racionalizadas, con optimización del diseño tipológico, funcional, constructivo, estructural, ahorro de recursos energéticos y empleo de mano de obra local intensivo.

A partir de un trabajo de investigación financiado por el proyecto PID-CONICET 457² en el año 1994, ejecutado en el Área de Investigación del CEVE³, se desarrolló el *know-how* para la realización de piezas comprimidas de suelo-cemento, incluido en un Manual de producción y construcción de mamposterías en suelo-cemento.

El presente artículo describe las características principales de un ladrillo de suelo-cemento, así como los componentes para su fabricación. Se reseñan también los procedimientos necesarios para el análisis de los suelos a emplear, en términos de comportamiento óptimo y realizar el control del contenido de humedad de las mezclas. También se explica la secuencia de producción a seguir y las posibilidades comparativas de las distintas máquinas de moldeo y compactación empleadas durante el desarrollo de los trabajos.

No obstante, convencidos de las particularidades de los suelos locales, se considera indispensable, previo al diseño de la secuencia de producción de componentes y posterior puesta en obra, el análisis de las condiciones del

⁽¹⁾ Vincent Rigassi, The International Center for Earth Construction-EAG Compressed Earth Blocks. Vol. I. manual of Production, 1995.

⁽²⁾ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, Argentina.

⁽³⁾ Centro Experimental de la Vivienda Económica. CONICET-Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas.

empleo de suelo local, la capacidad de la mano de obra disponible, así como el equipamiento e infraestructuras necesarios. Un estudio económico financiero determinará los rangos y las condiciones de producción, y finalmente el sondeo de "marketing" y comercialización definirá la factibilidad de la realización.

LADRILLOS DE SUELO-CEMENTO

El ladrillo de suelo-cemento es un ladrillo con idénticas dimensiones que el ladrillo cocido común: 12,5 x 25,5 x 5,5 cm, empleado en la tradicional ejecución de mamposterías.

La diferencia entre la producción de un ladrillo cocido tradicional y un ladrillo de suelo-cemento radica en el procedimiento de obtención. En el segundo de los casos, éste es realizado mediante estabilización y prensado del suelo, utilizando la tierra no fértil como materia prima; a diferencia del proceso de extracción de la capa superficial del suelo, amasado, moldeo y cocción de los mismos con un elevado consumo energético.

Esto nos lleva a afirmar que el ladrillo propuesto es un "ladrillo ecológico": la tierra no se cuece sino que es estabilizada a partir de la adición de cemento; éste actúa sobre el suelo, modificando el comportamiento de sus partículas y mejorando su estabilidad, transformando la masa resultante en una estructura difícil de alterar y de mejor resistencia con respecto a un suelo natural.

Sus principales características son:

- Se pueden utilizar para la realización de mamposterías de ladrillos con igual técnica que la mampostería tradicional de ladrillos a la vista, con junta enrasada o para revocar.
- En su composición no interviene tierra proveniente de la capa fértil (tierra negra), ya que ésta no resulta apta para la reacción con el cemento y posterior endurecimiento. Al contrario, son más adecuadas aquéllas que, en su composición, contienen un alto porcentaje de arena, escasa cantidad de limo y nulo contenido de humus.
- Su fabricación es similar a la de bloques de cemento, ya que las etapas de producción se asemejan.
- El coste del ladrillo, es reducido. Se limita al coste del cemento, si es realizado por autoconstructores, con apoyo de Municipios, ONGs, Cooperativas, etc.
- Cada ladrillo de suelo-cemento es ligeramente más pesado que un ladrillo cocido tradicional.
- Presentan menor capacidad higroscópica que un ladrillo común: un ladrillo de suelo-cemento absorbe 10 veces menos agua que un ladrillo cocido tradicional.

COMPONENTES DEL SUELO-CEMENTO

El conjunto de suelo, cemento y agua, dosificados y compactados, constituye el suelo-cemento.

SUELO

El suelo adecuado para ser estabilizado con cemento es el que da una resistencia elevada y poca contracción al secarse. Esto significa tener aptitud para ser compactado.

Este suelo debe tener presencia de arena, limo y arcilla, aunque estos últimos en escasa proporción, a fin de que den la necesaria cohesión a la mezcla y completen la porción de contenido de fino en la curva de composición granulométrica.

Si alguno de estos componentes estuviera ausente en la composición genuina de la muestra de suelo, o estando presentes no lo hicieran en la proporción deseada, éstos deben ser adicionados hasta acercarse a la composición óptima de trabajo de la tierra para suelo-cemento. Este paso es de vital importancia para evitar que se produzcan comportamientos no deseados de la mezcla por excesiva presencia de arena.

Debido a la sobrecarga de costes que provoca el traslado y acopio de grandes volúmenes de tierra, se debe considerar como condición óptima de producción el empleo de tierra local, donde debe ser extraída a una profundidad mayor, a 30 ó 40 cm de la superficie, o a una profundidad tal que no existan vestigios de capa vegetal.

Para reconocer la composición de la muestra de suelo existen pruebas de campo, de sencilla realización, que indicarán cuál es la más indicada para la realización de suelo-cemento.

En el caso que las pruebas demuestren ineptitud de la tierra para elaborar suelo-cemento debe evaluarse la posibilidad de agregar arena a la mezcla.

Tendrán prioridad los suelos arenosos, en función de que producen mejores resultados de compactación y resistencia al ser estabilizados con cemento.

No obstante, la arena de un suelo constituye su estructura pero requiere de la presencia de arcilla para conglomerar su masa.

En el otro sentido, para la estabilización de suelos arcillosos es indispensable la incorporación de arena.

En nuestra experiencia, y en función de los suelos locales y las maquinarias empleadas, la proporción óptima de componentes de un suelo es 75 % del total constituido por arena y 25 % de limo y arcilla, medido en volúmenes.

Si bien no constituyen recetas excluyentes, puesto que éstas serían imposibles de determinar, debido a las particularidades propias de cada suelo, es importante tener en cuenta que toda variación que se produzca en el porcentaje de contenido de suelo implicará nuevas relaciones con respecto a la cantidad de cemento a emplear y con el uso de uno o de otro tipo de máquinas de compactación y moldeo.

CEMENTO

Constituye el medio estabilizante. El agregado de cemento mejora las condiciones del suelo respecto a la acción de agentes como la humedad, dándole características de estabilidad y resistencia.

Se emplea generalmente el gris normal, denominado "portland", provisto por la industria, no excluyendo la posibilidad del empleo de otros tipos de cemento.

La dosificación del aglutinante debe ser realizada en unidades de peso en relación a la cantidad de suelo empleado para la mezcla. Ésta depende, en gran medida, del sistema de compactación adoptado:

- . A menor compactación, mayor presencia de cemento
- . A mayor compactación, menor presencia de cemento

AGUA

La función del agua es hidratar el cemento y hacerlo "reaccionar" y contribuir a la máxima compactación del suelo.

El agua a añadir a la mezcla debe ser limpia y no contener materiales en suspensión o en disolución tales como sulfatos o cloruros, o materias orgánicas.

Es determinante el control de la cantidad de agua de la mezcla, ya que ésta actúa como lubricante de las partículas de la mezcla. Si resulta excesivamente húmeda o, por el contrario, seca, ambos estados se reflejan en la trabajabilidad del material y, posteriormente, en el acabado superficial, la resistencia y durabilidad del mismo.

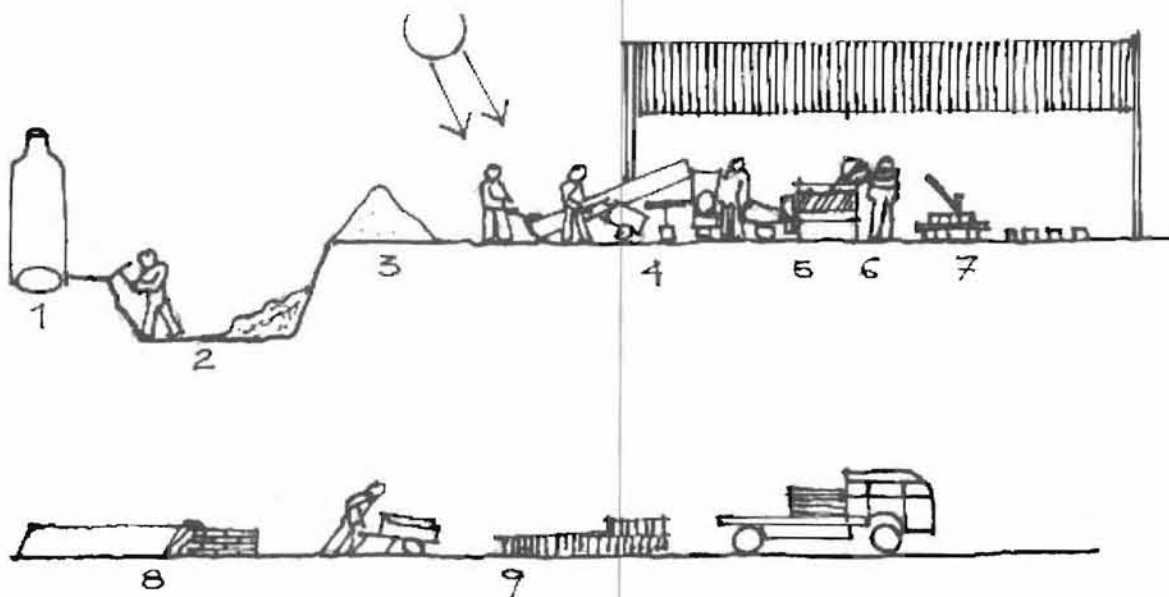
Si no existe suficiente lubricación entre partículas, éstas difícilmente podrán ocupar los vacíos intersticiales de la mezcla en el momento de la compactación; en tanto que una mezcla por demás plástica dificultará procedimientos de compactación mecánicos y su acabado final será más parecido al adobe.

ELABORACIÓN

En función del producto a elaborar se organizan las etapas de producción en relación a la técnica seleccionada. Esto es, diseño de los métodos, disponibilidad de materiales, mano de obra y del equipamiento técnico necesario.

Para la elaboración de ladrillos de suelo-cemento las etapas generales del procedimiento de elaboración consisten en :

1. Selección del suelo
2. Extracción del suelo
3. Secado
4. Tamizado



5. Mezclado de componentes en seco
6. Adición de agua
7. Compactación y moldeo
8. Acopio y curado
9. Estiba y transporte

1. Selección del suelo

Para la etapa de selección del suelo, el método experimental más sencillo y eficaz es el método de decantación conocido como "método de la botella".

Realizado con una botella transparente o una probeta calibrada, arroja resultados casi inmediatos sobre los contenidos y proporciones de la tierra considerada.

Básicamente consiste en la precipitación de una mezcla acuosa de una muestra de suelo (75 % de agua, 25 % de suelo).

Luego, se bate muy bien el recipiente, dejándolo reposar durante por lo menos 45' (a).

Lo primero en identificar es el contenido de arena, de granos gruesos, que decantará en primer lugar. Sobre ésta se asentará el limo y la arcilla, de partículas más pequeñas.

El tiempo de decantación variará en función de la cantidad de contenido fino de la mezcla. Cuanto más pequeñas y livianas sean las partículas en suspensión, más tardarán en precipitar (b).

Esta prueba permite comparar rápidamente distintas muestras de suelo, para optar por alguna de ellas o, simplemente, permite ir evaluando la modificación del contenido porcentual de la muestra a medida que se adiciona arena.

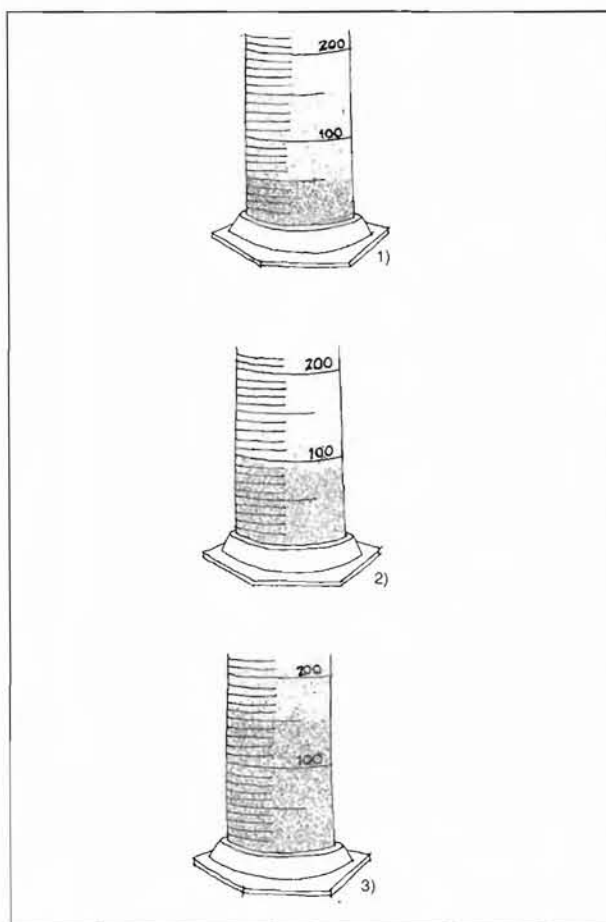
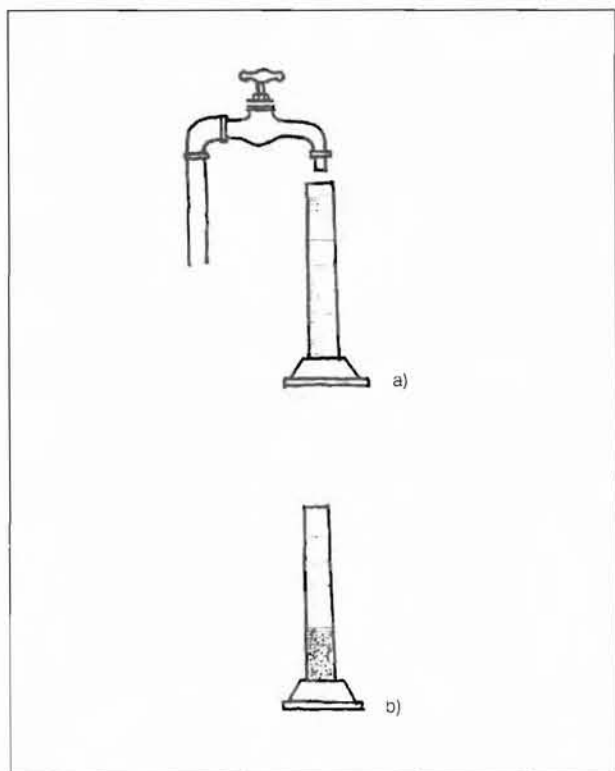
A continuación se comparan los resultados de 3 muestras de suelo de la ciudad de Córdoba (Argentina) analizadas: en dos de ellas, el contenido de arena no alcanza a ser suficiente, y en el último, la muestra examinada cumple con las condiciones predeterminadas.

La muestra sólo contiene arena en el 20 % del contenido total. Se propone incrementar la cantidad de arena por adición de la misma hasta alcanzar el 70 % deseado (1)

La muestra sólo contiene arena en el 40 % del contenido total. Esto es, 60 % de limo y arcilla. Se propone incrementar la cantidad de arena por adición de la misma hasta alcanzar el 70 % deseado (2).

La muestra contiene arena en el 70 % del contenido total. La cantidad total de limo y arcilla alcanza el 30 % del volumen (3).

La primera capa identificable estará constituida por el material más grueso, generalmente arena, donde se podrá



identificar los diferentes tamaños de grano. Sobre ésta se asentará la arcilla, con su característico color rojizo. La última capa estará constituida por el material más polvoriento que es el limo, y de color más pardo que la arcilla. De existir presencia de humus en la muestra seleccionada para el ensayo, éste quedará en suspensión por un par de días, hasta asentarse finalmente.

Esta prueba permite comparar rápidamente modificaciones en las propiedades sobre distintas muestras de suelo; por ejemplo, con la adición de arena.

2. Extracción del suelo

La tierra a emplear para la elaboración de suelo-cemento puede ser comprada en canteras y trasladarse hasta el obrador o planta de elaboración de piezas de suelo-cemento comprimido. O bien puede extraerse tierra del lugar donde se va a efectuar el moldeo, con el consiguiente ahorro en costes del material, traslado y descarga.

Al extraer tierra del lugar, es necesario desechar la primera capa vegetal y asegurarse de no extraer material orgánico.

El límite de la profundidad de extracción estará dado por la densidad de rocas de gran tamaño y por el alcance de las herramientas y técnicas empleadas.

3. Secado

Especialmente si la tierra ha sido extraída del lugar y a profundidad considerable es posible que contenga un gran porcentaje de humedad.

Con excesiva humedad resulta muy difícil realizar el tamizado, debido a la cohesión entre partículas; para lo cual es necesario esparcir la tierra uniformemente, con un espesor no mayor de 30 cm para que el aire y el sol penetren en la totalidad del volumen de tierra, sobre una superficie plana y seca, como, por ejemplo, una platea de hormigón.

Cuanto más seco y más granular sea el suelo, la mezcla será más homogénea, favoreciendo así la estabilización.

4. Tamizado

Con el objeto de eliminar partículas superiores a 5 mm, es recomendable pasar la tierra por una criba o tamiz. Esta tarea no sólo asegurará una eficiente compactación sino que promoverá el correcto uso y mantenimiento de los equipos mecánicos empleados.

No obstante, el tamizado más corriente que se realiza en obra es en forma manual. La observación sobre la cantidad de horas/hombre empleadas en esta tarea rutinaria alentó

al equipo de trabajo al desarrollo de una máquina trituradora de terrones y tamizadora de tierra, de sencilla ejecución y manejo.



5. Máquina tamizadora y trituradora de terrones

Básicamente consiste en una tolva dentro de la cual se vuelca la tierra, donde 3 martillos locos giran sobre un eje aplastando los terrones de tierra.

En la parte inferior se aloja una malla con perforaciones, por donde necesariamente debe pasar la tierra pulverizada para llegar a la carretilla en espera y ser trasladada hacia la etapa de mezclado con el agente aglutinante.



6. Dosificación y mezclado de componentes en seco

La cantidad de aglutinante necesario para la estabilización, en este caso cemento, dependerá de las características del suelo y del mecanismo de compactación seleccionado.

En nuestra experiencia, con suelos base de contenidos próximos a 75% de arena y 25 % de limo y arcilla, el estabilizante ascendió a un porcentaje entre el 5 y 10% de la cantidad de suelo medido en peso, con empleo de técnicas mecánicas de compactación, dando como resultado componentes de las características descritas.

Es muy importante que el suelo y el cemento sean premezclados en seco, previo a la adición de agua, hasta obtener una mezcla de color uniforme.

Es conveniente realizar la operación de mezclado de los componentes en una mezcladora mecánica conocida como pastonera o mezcladora de eje horizontal. Éstas, son máquinas sencillas, que consisten, esencialmente, en un eje con paletas mezcladoras, que barren las paredes laterales de una batea, impulsadas por un motor

En la preparación de suelo-cemento, al trabajar con mezclas no plásticas, se recomienda usar mezcladoras de eje horizontal debido a que evitan la formación de grumos por efecto del escaso contenido de humedad de la mezcla.

De esta manera, la mezcla es removida -y no golpeada-, como en la mezcladora común de hormigón o "perita", evitando la formación de grumos que son difícilmente eliminados con la compactación, con las consecuencias previsibles en el acabado superficial de las piezas.

Este tipo de máquina se comercializa en diferentes tamaños: 100, 250 y 500 l. La elección del tamaño de la máquina mezcladora depende del tamaño de la unidad de producción. En cada caso se cargará con una cantidad proporcional de material.

7. Adición de agua

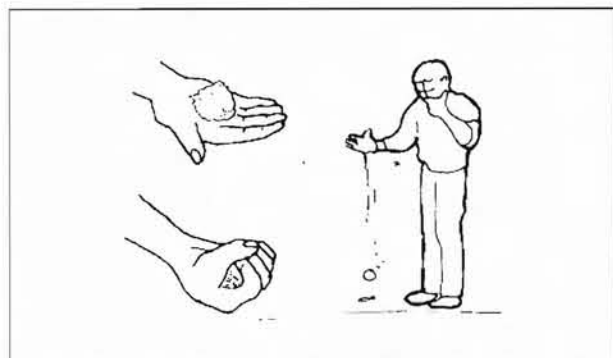
La incorporación de agua es necesaria porque activa la acción cohesiva de las arcillas. Actúa como lubricante para mejorar la compresión y activa la reacción con el cemento.

Una vez lograda la mezcla íntima de suelo y cemento en seco, se le agrega agua en forma de lluvia con una regadera o similar, hasta conseguir que la humedad se distribuya uniformemente en la mezcla.

Se continúa mezclando por unos minutos en la máquina y, mediante un sencillo ensayo de campo, conocido como la "prueba de la muñeca", se determina, en forma práctica, la humedad óptima de la mezcla:

Se toma un puñado de tierra humedecida y se aprieta con la mano.

Se deja caer desde la altura de 1 metro.

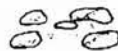


El resultado de la observación puede determinar las siguientes situaciones:

a) la mezcla no se rompe y, al caer, se aplasta, dejando parte de la mezcla pegada en la mano, hay EXCESO DE AGUA.



b) la mezcla se desintegra, en una cantidad considerable de terrones, semejante a la mezcla original, LA HUMEDAD ES ÓPTIMA.



c) la mezcla se desmorona sin conservar la forma de la mano, hay INSUFICIENCIA DE AGUA.



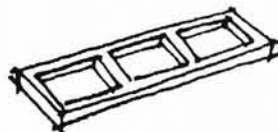
8. Compactación y moldeo

Mediante la operación de compactación, la mezcla suelta se comprime hasta un cierto límite, disminuyendo su volumen inicial y transformándose en una masa más compacta y con un mínimo de vacíos.

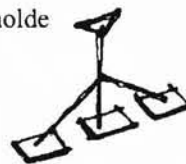
Existen diversas maneras de realizar la compactación, ya se trate de moldes manuales o máquinas moldeadoras.

En el primer caso se refiere a un conjunto de :

Molde



Artefacto de desmolde



Pisón



El procedimiento se asemeja más a una técnica tradicional de moldeo de "adobe" que a una producción con calidad técnica de mampuestos de suelo-cemento, debido a lo artesanal de su procedimiento: baja compactación, baja productividad y calidad discontinua.

Entre las máquinas moldeadoras existe la conocida CIMVA-RAM, de fabricación individual de molones de suelo-cemento. Esta máquina produce ladrillos y bloques de suelo-cemento de excelente calidad, cuyo esquema de funcionamiento está basado en la fuerza de compresión que produce un hombre a través de una palanca.

Con el objetivo de aumentar la productividad de ladrillos moldeados en suelo-cemento, como una de las etapas necesarias del proceso de investigación, se adaptó una máquina colocadora de bloques, modificando el sistema de moldes y agregando un pisón para que aplique la fuerza de compresión necesaria.

Este tipo de prensa es accionada manualmente por un operario y utiliza la fuerza del hombre combinada con una palanca que, por impactos sucesivos, aplica sobre los ladrillos moldeados una fuerza de compresión de 8 toneladas. Permite moldear 6 ladrillos por carga, con lo que se llegan a producir 1.000 ladrillos, en una jornada de trabajo donde intervienen 2 operarios.

9. Curado y acopio

Para asegurar el fraguado eficiente de los ladrillos, éstos deben ser almacenados con una adecuada protección frente al sol y la lluvia.

Al igual que las piezas moldeadas en cemento u hormigón, durante las primeras 24 horas de fabricación de los ladrillos debe controlarse que no se produzcan pérdidas bruscas de humedad.

Ello se logra cubriendo la producción del día de la siguiente manera:

Se coloca un manto de polietileno de modo tal que se asegure que no se va a producir infiltración de aire por los bordes, apoyando ladrillos secos en el perímetro.

Al día siguiente se trasladan los ladrillos a la pila de estiba, recomendándose humedecer éstos con una regadera y volver a tapar con polietileno. Es conveniente mantener el riego hasta los 8 días de edad, formando con polietileno una cámara de curado.

Los ladrillos podrán ser empleados en construcción a partir de los 21 días de fabricación. Al término de ese tiempo habrán alcanzado una resistencia muy cercana a la máxima.

10. Estiba y transporte

Una vez que ha transcurrido el periodo total de curado, esto es, a los 21 días de edad, los ladrillos estarán en condiciones de poder ser estibados a la intemperie.

Se recomienda hacer pilas de igual cantidad de ladrillos, indicando su fecha de producción, con el objetivo de transportar las piezas de mayor data.

En el momento de transportarlos se recomienda tener especial cuidado en la manipulación y ubicación en el vehículo de transporte. Esto se logra estibándolos firmemente para evitar que posibles movimientos durante el traslado lleguen a descolocarlos y a golpearse unos contra otros y provocar, así, la rotura de aristas y ángulos de los ladrillos, caracterizados por la regularidad dimensional de su geometría.

A modo de síntesis se resume el proceso de fabricación, con sus respectivas ilustraciones



1.- En una mezcladora de eje horizontal se vierte la tierra tamizada.



2.- Luego, se agrega cemento, según el dosificación pre-establecida.



3.- Los componentes, tierra y cemento, son mezclados en seco.



4.- Cuando esta mezcla adquiere un color uniforme, se agrega el agua.



5 y 6.- La mezcla de suelo, cemento y agua cae por una compuerta abierta en la parte inferior de la mezcladora, a una carretilla, la cual alimenta a la máquina colocadora de ladrillos.





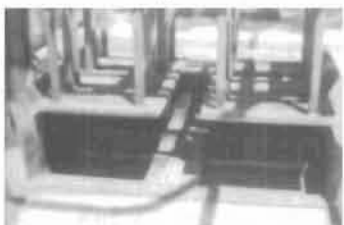
7.- Se rellenan los moldes con igual cantidad de mezcla para que los ladrillos resulten de igual tamaño.



8.- Se sueltan los pisonos, que caen libremente y, por medio de una palanca, son levantados para ejercer 4 ó 5 golpes más.



9.- El juego de moldes y pisonos tiene capacidad para moldear 6 ladrillos de suelo-cemento simultáneamente.



10 y 11.- Los pisonos estampan pequeñas semiesferas sobre la cara superior de los ladrillos. De esta manera se consigue mejorar la adherencia del mortero en el momento de realizar la mampostería.



12.- La máquina colocadora va depositando, sobre la plataforma nivelada, 6 ladrillos por postura.

COSTES

Realizar un análisis comparativo de costes entre el ladrillo cocido tradicional y el ladrillo de suelo-cemento supone plantear una serie de condiciones para poder medir variables mensurables.

Es escasa la información sobre la estructura de costes de cualquier horno productor de ladrillos de tierra cocida en Latinoamérica y, por el contrario, mucho en lo concerniente los a bajos y paupérrimos salarios que se pagan por mano de obra, casi nulos costes de tierra, infraestructura y mantenimiento edilicio, sin cumplimiento de obligaciones impositivas y de servicios, etc.

Sin embargo, la tradición constructiva del ladrillo, instalada en nuestro medio y difícilmente igualada por otro producto empleado la en construcción, podría resumirse así: excelente aceptación y muy buena resolución en su aspecto modular de color y de textura y de respuesta a un estilo de construir vigente, particularmente relevante en la edificación de viviendas.

El ladrillo de suelo-cemento pretende, no sólo igualar, sino mejorar aquellos atributos cualitativos.

El siguiente análisis aborda el aspecto cuantitativo, en lo referente a coste del producto, tomando en consideración las variables que intervienen en la fabricación de un producto de alcance masivo.

Es importante destacar que, debido a las características del ladrillo de suelo-cemento, se ha tomado como

parámetro comparativo el ladrillo cocido conocido como "semi-visto", a efectos de evaluar productos de calidad similar.

Al analizar los costes de ladrillos de suelo-cemento es posible hacer algunas consideraciones acerca del posible destino que tendrá dicha producción y, en consecuencia, cuales son sus condiciones de producción:

1) Si se trata de una producción de ladrillos de suelo-cemento destinada a un grupo de autoconstructores, apoyada por municipios u ONGs, solamente incidirá el coste del cemento empleado, ya que la tierra deberá ser producto de la excavación del lugar, la mano de obra, aportada por el grupo y los gastos de infraestructura y equipos, solventados por la entidad patrocinadora.

En estas condiciones el coste de la producción de 1.000 ladrillos de suelo-cemento significará un ahorro del 75 % respecto a la compra de igual cantidad de ladrillos cocidos.

2) La relación de costes varía si la producción se debe a una cooperativa de trabajo formada para la construcción de las viviendas de sus integrantes y, a la vez, pretende ser fuente de trabajo al comercializar el exceso de producción. Los gastos de terreno e infraestructura edilicia forman parte del patrimonio del grupo, amortizados con el coste de las viviendas, por lo cual pueden no ser considerados como inversión a la hora de realizar el costeo de la unidad productiva de ladrillos de suelo-cemento.

En este caso, el coste de la producción de 1.000 unidades

de suelo-cemento asciende al 90,7% del valor respecto a los de tierra cocida.

3) Por otro lado, si la producción de ladrillos de suelo-cemento se orienta a una producción autosostenida, en el análisis de la composición de costos intervendrán todas las variables que involucra el proceso productivo: terreno, edificio, equipos y máquinas, materiales, mano de obra, gastos generales, etc., agrupados en 4 variables según grupos de indicadores: inversiones, costes variables de producción, depreciaciones de uso y costes fijos mensuales. En estas condiciones, una evaluación apresurada arrojará valores similares de producción entre ladrillos cocidos y ladrillos de suelo-cemento (\$180 y \$181,9 por cada 1.000 unidades, respectivamente)⁴

Ahora bien, tanto mayor será la amortización de costes de instalación y fijos de una pequeña planta productora cuanto más intensa y permanente sea la demanda de producción.

Es por lo que, a través de la determinación analítica del punto de intersección de costes, quedará definida la **cantidad mínima de producción mensual** para que la productividad de ladrillos de suelo-cemento comience a ser, en términos financieros, comparativamente ventajosa respecto a la compra de ladrillos cocidos tradicionales.

La relación coste/cantidad de ladrillos mensuales determina que, a partir de la producción sostenida de 19.701 ladrillos de suelo-cemento al mes, los costes de esta producción compiten en precios de mercado con su homólogo, el ladrillo de tierra cocida. Esta cantidad equivale a medio horno de ladrillos, o la cantidad necesaria para construir 2 viviendas de 50 m². Esto significa que a partir de la producción mensual sostenida de 19.700 ladrillos de suelo-cemento, la relación de costes será tanto más favorable para estos últimos cuanto más se incremente su producción.

Cabe aclarar, que es muy posible que la relación existente en términos de valor dólar en Argentina difiere en otros países latinoamericanos, y seguro que no se produce en países europeos, donde la diferencia es significativamente mayor en pos de ladrillos alternativos, debido a la tecnificación introducida en los procesos de producción donde el "ladrillo artesanal", prácticamente en extinción y empleado casi exclusivamente para la restauración de edificios de valor patrimonial, se comercializa a valores muy superiores a los descritos en este trabajo.

Con escasas interpretaciones positivas, el ladrillo cocido sigue constituyendo el modo más difundido de construcción en nuestras latitudes.

⁽⁴⁾ En Argentina, mayo 1999, se considera la paridad peso/dólar = 1

ANÁLISIS COMPARATIVO CON LADRILLOS DE TIERRA COCIDA

Al iniciar la investigación sobre suelo-cemento nos propusimos hacerlo en base a un producto similar a aquél que estuviera en mercado. Las razones fueron varias:

- 1) Mayor aceptación por parte de potenciales usuarios: "...es como un ladrillo común, pero de cemento"
- 2) Generalizado conocimiento de la técnica del mampuesto
- 3) Mayor peso específico del suelo-cemento, lo que, en dimensiones mayores, generaría un componente de gran peso y, en consecuencia, de difícil manipulación.

Es por ello, que se adoptaron las dimensiones de un ladrillo cocido tradicional: 12,5 x 5 x 26,5 cm.

A continuación se exponen los resultados de un análisis comparativo efectuado a distintas muestras de ladrillos de suelo-cemento, tomando como parámetro de referencia un ladrillo cocido tradicional con buen nivel de cocción.

Las variables analizadas fueron las siguientes: aspecto/regularidad dimensional/textura/color/peso específico/resistencia a la compresión/absorción de humedad y proceso de secado.

Aspecto

En términos de aspecto, existe similitud entre ladrillos de suelo-cemento compactados por presión o por impacto (ver punto 7 del proceso de fabricación: compactación y moldeo)

LADRILLO DE "SC" COMPACTADO POR PRESIÓN

Regularidad dimensional: estable

Textura: suave al tacto

Color: gris tierra (depende del color de la tierra empleada y ésta, de sus componentes)



LADRILLO DE "SC" COMPACTADO POR IMPACTO

Regularidad dimensional: estable

Textura: áspera al tacto

Color: gris tierra (depende del color de la tierra empleada y ésta, de sus componentes)



LADRILLO DE TIERRA COCIDA

Regularidad dimensional: inestable
Textura: rugosa
Color: rojizo ladrillo



PESO ESPECÍFICO

Compactación promedio por presión

$P = 2,89 \text{ kg}$

$V = 0,00156 \text{ m}^3$

$Pe = 1.851 \text{ kg/m}^3$

Compactación promedio por impacto

$P = 2,60 \text{ kg}$

$V = 0,00156 \text{ m}^3$

$Pe = 1.665 \text{ kg/m}^3$

Ladrillo común

$P = 2,37 \text{ kg}$

$V = 0,00156 \text{ m}^3$

$Pe = 1.519 \text{ kg/m}^3$

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

LSC (presión) = $121,80 \text{ kg/cm}^2$

LSC (impacto) = $76,80 \text{ kg/cm}^2$

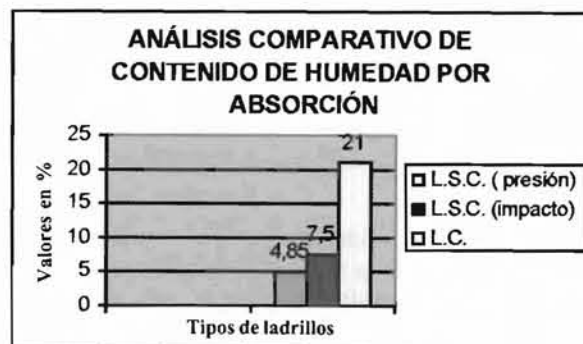
LC = $78,00 \text{ kg/cm}^2$

CONTENIDO DE HUMEDAD

La comparación se realiza entre ladrillos de suelo-cemento compactados por máquina CIMVA-Ram (compactación por presión) y de máquina colocadora (compactación por impacto), realizados con la misma dosificación de componentes, y un buen ladrillo común.

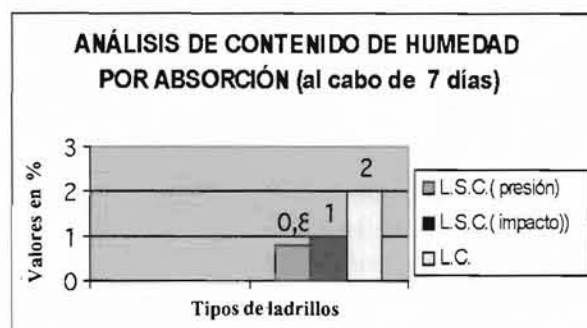
Los valores iniciales de absorción de humedad son los siguientes, expresados en porcentaje de peso en contenido de humedad (gráfica 1):

GRÁFICA 1



Al cabo de 7 días. La observación de las muestras durante la siguiente semana, arrojó los siguientes resultados (gráfica 2):

GRÁFICA 2



CONTROL DE CALIDAD

Existe abundante bibliografía respecto a los ensayos necesarios para la determinación de calidad de un producto de suelo-cemento, particularmente divulgada por CRATerre⁵. Por esta razón sólo se propone un breve enunciado de los ensayos pertinentes.

Los estudios referidos a control de calidad pueden dividirse haciendo referencia a dos etapas en la producción de suelo-cemento: ensayos de laboratorio de identificación de suelos y controles de calidad de proceso y producto.

Los primeros plantean como objetivo la constatación de la aptitud de la tierra, estudiando una muestra de suelo en términos de llegar a un primer resultado de factibilidad. Consisten en diversos ensayos de laboratorio y de campo.

⁽⁵⁾ CRATerre. Centro Nacional de la Construcción en tierra. Escuela de Arquitectura de Grenoble, Francia.

Los parámetros de ponderación se reducen a bueno, regular y malo y dependen de la experiencia del técnico evaluador y del entrenamiento que éste tenga. Pueden agruparse de la siguiente manera:

Ensayos de laboratorio de identificación de suelos:

- Distribución del tamaño del grano
- Análisis de sedimentación
- Límites de Atterberg
- Ensayo de Proctor
- Análisis químicos

Los controles de calidad de proceso y producto tiene como objetivo evaluar las condiciones de producción y serie prototipo de ladrillos. En función de lo efectuado en la etapa precedente, se decide sobre equipos de moldeo a emplear, dosificación de componentes, así como dimensiones mínimas en términos de producto. Estos ensayos se agrupan así:

Controles de calidad

- Control de calidad del equipamiento
- Test del cigarrillo
- Reacción del agua
- Ensayo de la salinidad del agua
- Control de cemento
- Medición del tiempo de mezclado
- Ensayo de gota
- Peso del bloque
- Fuerza de penetración
- Ensayo de destrucción
- Fuerza de comprensión
- Control de curado húmedo
- Absorción de capilaridad

La necesidad de estos ensayos dependerá de las condiciones de producción y de contexto general en el cual se inserta esta tecnología.

Un elemento de juicio muy importante a valorar es el tamaño (largo, ancho, alto) del mampuesto que se pretenda utilizar, puesto que de ello dependerán los valores exigidos en los controles de calidad, ya que serán distintos los condicionantes pedidos. Distinta incidencia de esfuerzos tendrá un bloque de aproximadamente 0,12 x 0,20 x 0,40, un ladrillo de 0,05 x 0,25 x 0,12 o una teja de 0,03 x 0,12 x 0,25 (medidas en m).

MAMPOSTERÍA DE SUELO-CEMENTO

Respecto a la utilización de los ladrillos de suelo-cemento en mamposterías, cabe aclarar que es básicamente similar a la realización del aparejo de una pared de ladrillos cocidos. Las dimensiones, trabas, espesores de pared, encuentros con carpintería, se realizan de igual manera.

La diferencia radica en el comportamiento monolítico de una pieza moldeada en suelo-cemento con la junta realizada con mortero de suelo.

No obstante existe una íntima dependencia de las condiciones de composición del suelo, enfatizada cuando es alto el contenido de arcilla, ya que, entonces, los comportamientos de retracción varían



Nuestra experiencia nos dice que un mortero de asiento de ladrillos de suelo-cemento debe cumplir con las siguientes condiciones:

Que sea trabajable, es decir, suficientemente plástico como para deslizar y ubicar el mampuesto con facilidad y permita tomar o rehundir juntas.

Que tenga un aspecto homogéneo y que no fisure.

Que tenga buen comportamiento frente a la erosión, esto es, que no se desgaste por envejecimiento.

Que sea impermeable. Tratándose de ladrillos de suelo-cemento, con muy bajo índice de permeabilidad, debe evitarse la penetración de humedad por las juntas del mampuesto.

Finalmente, el coste no debe superar al de los mampuestos.

Debido a problemas de fisuración por retracción durante los ensayos de dosificación de morteros en aquéllos que poseían bajo porcentaje de arena, es menester asegurarse de que los morteros de suelo a emplear contengan entre el 70 % y el 80 % de material granular (arena).

De la experiencia realizada, surge la recomendación de utilizar como mortero de asiento una combinación de cemento, cal y material inerte (suelo y arena) (a) en una proporción 1/2: 1: 10, donde el porcentaje real de material granular oscile entre el 70% y 80%.

Para el revestimiento de dichos muros, es posible realizar un bolseado con mortero de cal y arena en proporciones 1:5, o una pintura cementicia, previa aplicación de material hidrófugo (b).

También llegaron a ejecutarse alternativas a la placa Beno⁶, reemplazando las tejas o bovedillas de tierra cocida que intervienen en la composición de la placa, por sus similares de suelo-cemento (c).

Con procedimientos semejantes a los descritos se obtuvieron piezas de suelo estabilizado muy delgadas (125 x 55 x 20 mm), que fueron moldeadas en placas con juntas de hormigón armado.

La respuesta de estas placas fue satisfactoria en relación a los efectos de contracción y resistencia al impacto con respecto a las placas originales de tierra cocida.

La importancia de las placas en base a suelo-cemento es el encuentro entre dos tecnologías: la prefabricación y la técnica vernácula del mampuesto, y un ejemplo de "prefabricación posible"⁷ para nuestros países, donde la construcción industrializada es aún un sueño alcanzable.

⁽⁶⁾ Placa BENO, pat. N°: 203.382, Arq. H. Berretta.

⁽⁷⁾ Dr. Julián Salas Serrano (en prensa).

BIBLIOGRAFÍA

Des Architectures de Terre ou l'Ávenir d'une Tradition Millénaire, Centre Georges Pompidou, 1982.

Compressed earth blocks. Volume I, Vincent Rigassi, CRATerre-EAG, 1995.

Compressed earth blocks. Volume II, Hubert Guillaud, Thierry Joffroy, Pascal Odul, CRATerre-EAG, 1995.

Building with Earth, A handbook, Norton J., IT Publications, London, United Kingdom, 1986.

Guide of Compressed Earth Blocks, Standars, Boubekour S. AND Houben H., Centre for the Development of Industry-CRATerre-EAG BASIN, 1998.

Compendio de información sobre materiales seleccionados de bajo costo - Traducción del libro original "*A compendium of information on selected low-cost building materials*", Centro de las Naciones Unidas para los asentamientos humanos, Hábitat, Centro Técnico de la Vivienda y el Urbanismo (CTVU), Instituto Nacional de la Vivienda (INV), La Habana, Cuba, 1995.



(a)



(b)



(c)

Suelo-cemento, su aplicación en la edificación, Augusto Enteiche, Centro Interamericano de Vivienda y Planeamiento, Bogotá, 1963.

HABITERRA-Exposición Iberoamericana de construcciones de tierra-Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el desarrollo Proyecto CYTED XIV.1 -Coord.. J. Salas Serrano, H. Pereira Gigogne, C. Escobar, Santafé de Bogotá, 1995.

La tierra sin cocer como alternativa arquitectónica y tecnológica, Rodolfo Rotondaro, San Salvador de Jujuy, 1992.

Preservación de las Construcciones de adobe en Áreas Lluviosas, Julio Vargas Newman, E. Zavoni, J. Bariola Bernales, P. Mehta, Universidad Pontificia Católica del Perú, Departamento de Ingeniería, Lima, 1986.

Ensayos sobre Morteros de asiento y Revoques en muros de suelo cemento, Arq. Noemí Brañes, Mimeo, Córdoba, 1987.
