

POSIBILIDADES DE LA TIERRA CRUDA EN LA CONSTRUCCIÓN EN LA ZONA PAMPEANA. USO DE LA ENERGÍA SOLAR. (*)

A. CORTÉS

Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura de la U.N. Rosario
e Instituto de Física Rosario

Av. Pellegrini 250 - 2000, Rosario, Argentina

Fax: 41-264008 - E.Mail: cortes@bibfei.edu.ar

RESUMEN - Se discute la posibilidad del empleo de suelo limoso de la región pampeana para la construcción, sin y con estabilización. Se describen y dan resultados de ensayos de compresión y abrasión de probetas, estabilizadas en algunos casos con cemento y cal, e incluyendo curado solar. Se discuten costos energéticos y monetarios del suelocemento.

INTRODUCCIÓN

Resulta importante el rescate de las tecnologías constructivas basadas en el empleo de la tierra cruda por el menor impacto ecológico de las mismas respecto a otras opciones con mayor grado de industrialización y menor requerimiento de mano de obra. Por otra parte, el déficit habitacional que los "planes de vivienda", basados en gestiones de tipo empresaria, no han logrado resolver, ni aún siquiera paliar, indica además la necesidad de potenciar la autoconstrucción (por ayuda mutua o esfuerzo individual), para la cual las citadas tecnologías pueden resultar aún de mayor interés.

En la zona Pampeana, de clima húmedo, amplitudes térmicas no muy grandes y suelos predominantemente limosos, la tradición en este tipo de construcciones es mucho menor que en el NOA argentino y países vecinos. La combinación del empleo de dichos materiales con la utilización de la energía solar resulta interesante por varios motivos: 1) Sus propiedades térmicas (y su bajo costo, que permite espesores importantes sin encarecimiento excesivo) los hacen particularmente aptos para la edificación de edificios solares y con criterios de ahorro energético. 2) La posibilidad de usar técnicas económicas y no contaminantes de secado, como el secado solar, para acelerar los tiempos de secado en climas húmedos. 3) En ciertas condiciones se pueden mejorar las propiedades de estabilizantes como la cal y el cemento mediante temperaturas moderadamente superiores a las ambientales durante el fraguado (Houben y Guillaud, 1984), obtenibles a bajo costo con sistemas solares sencillos.

Actualmente se está erigiendo en la ciudad de Rosario un edificio solar con empleo de estas tecnologías como experiencia demostrativa (Di Bernardo, Cortés y Margenet, 1994).

ENSAYOS DE SUELOS CON Y SIN ESTABILIZACIÓN

Se realizaron una serie de pruebas de caracterización de muestras de suelo acopiado con destino a la obra precitada. A partir de las mismas se estableció un criterio para la optimización técnico-económica de la granulometría, mediante el agregado de arena (Cortés, 1996). Llamaremos suelo I al original y II al mejorado (46 % de arena, en peso).

Se realizaron luego una ensayos de propiedades constructivas de ambos suelos y de combinaciones con cal y cemento portland como estabilizantes. Se describen aquí pruebas de: a) Resistencia a la compresión; b) Abrasión.

a) Resistencia a la compresión: Se sometió cada probeta cilíndricas estandarizada (0,05 m de diámetro y 0,10 de altura), a una fuerza de compresión creciente entre sus bases midiendo la necesaria para romperla. El grueso de los ensayos se hizo a los 28 días del moldeo y en algunos casos se repitieron a los 90 para verificar el avance del fraguado. Las pruebas fueron de dos tipos: seco y húmedo. En estas últimas las probetas fueron sumergidas en agua durante 24 hs. antes de la medición.

b) Abrasión: Se prepararon dos o tres placas de 0,10 m x 0,10 m x 0,02m de cada material. Este ensayo, muy riguroso en comparación con las situaciones reales, consiste en 50 ciclos de cepillado (con cepillo de acero, peso 6 kgf), midiendo pérdida de materia por unidad de área (Houben y Guillaud, 1984). Las placas fueron ensayadas a los 35 días del moldeo.

CURADOS CONVENCIONAL Y SOLAR

Las preparaciones con cemento requieren durante los primeros días disponibilidad de agua para su hidratación, esencial para un buen fraguado y resistencia posterior. Se construyó una cámara húmeda en la cual se colocó la mayor parte de las muestras con cemento, manteniéndolas allí durante 7 días, en el interior del laboratorio, verificándose que la humedad permaneciera permanentemente en el 100 %. La temperatura también se mantuvo estable en unos 28 C.

Se construyó además una cámara húmeda solar. La conformaba una caja de chapa galvanizada recubierta internamente con 0,05 m de poliestireno expandido con una tela absorbente empapada en el fondo que aseguraba la saturación del ambiente, y

(*) Trabajo parcialmente financiado por la Subsecretaría de Cultura de la Provincia de Santa Fe.

un par de centímetros por encima una chapa de hierro perforada, soporte de las probetas. Por arriba se cerraba con tres láminas de polietileno: una negra y dos transparentes (tratamiento UV), con una separación de 1 cm entre láminas.

El sistema fue ensayado en enero. Durante las horas de sol se tenían temperaturas de 25 a 42 C mayores que las ambientales, llegando hasta 75 C. Al principio y final del día, sin radiación directa, por efecto de la radiación difusa y la inercia térmica, de 7 a 12 C por encima de la ambiente. Debido a una fuga de vapor de agua desde la parte inferior hacia la cubierta más externa, por falta de hermeticidad, se producía condensación en la cubierta exterior, generando una fuga de calor imprevista, que reducía la temperatura del colector. Aún así, ésta resultó muy elevada, con deterioro progresivo del plástico negro.

Se observó que la superficie de algunas probetas se secaba, especialmente a la tarde. Ello se debía a que al ir declinando la radiación las probetas se encontraban más calientes que el aire, por efecto de la inercia térmica. Por ello, a pesar de tenerse permanente humedad del 100 % (según se midió); cerca de las probetas, la HR descendía, permitiendo el secado superficial. Este fenómeno, podría interferir con el fraguado, sobre todo si se produjera en las primeras horas del mismo.

VARIANTES ENSAYADAS

La Tabla 1 muestra los resultados y las densidades de las probetas.

Tabla 1. Resultados de los ensayos de compresión y abrasión

Nº	Suel	Agreg.	Dosis (%)	Técnica Prepara	Técnica Curado	Edad (días)	Densid. (kg/m ³)	Esfuerzo Seco (kgf/cm ²)	Esfuerzo Húmedo (kgf/cm ²)	Esfuerzo Seco/Húmed.	Hum.de Moldeo (% b.h.)	Abrasión Pérd./Area (g/cm ²)
i	I			Plást.	No	28	1727	28.5	Destruídas		26.5	0.097
ii	II			Plást.	No	28	1899	15.9	Destruídas		17.7	0.257
iii	II	Cemento	2	Plást.	Cámara	28	1711	0.9	Destruídas		19.9	Desintegradas
iv	II	Cemento	5	Plást.	Cámara	28	1692	3.9	1.8	2.2	19.2	1.235
v	II	Cemento	10	Plást.	Cámara	28	1621	7.2	3.2	2.3	20	0.373
						90		5.7	2.3	2.5		0.461
vi	II	Cemento	5	Compac	Cámara	28	1510	1.1	0.8	1.3	15.1	Mold.Imposible
						90		1.3	0.6	2.0		Desintegradas
vii	II	Cemento	5	Compac	Solar	28	1588	2.0	1.7	1.2	15.1	Mold.Imposible
viii	I	Cemento	5	Plást.	Cámara	28	1508	1.6	0.6	2.7	28.2	0.449
ix	I	Cal	5	Plást.(1)	No	28	1428	0.7	Destruídas		29.9	Desintegradas
x	I	Cal	5	Plást.(1)	Solar	28	1351	0.6	Destruídas		30.6	Desintegradas
xi	I	Cal	5	Plást.(2)	No	28	1459	1.9	s/d		26.7	s/d
xii	I	Paja	0.9	Plást.		28	1723	13.8	Destruídas		19.6	0.052
xiii	II	Paja	0.9	Plást.		28	1905	13.5	Destruídas		27.2	s/d

(1) Mezcla en reposo 24 hs antes de moldear. (2) Moldeo inmediato. (3) Con NaOH (0,6 %) para aumentar reactividad arcilla.

La densidad del suelo aumentó al incorporarse arena (suelo II), tal como se preveía, pero esto no redundó en una mejora sino en un deterioro de las propiedades mecánicas cayendo la resistencia a la compresión a la mitad y aumentando en un 150 % el desgaste por abrasión. El intento de mejorar el suelo agregando arena, presupone un suelo con elevada proporción de finos. Sin embargo, al discriminar éstos entre limo y arcilla, se ve que en este caso el alto tenor de finos sólo está implicando la suficiente arcilla para lograr una cohesión satisfactoria. Así, el agregado de proporciones importantes de arena pueden estar haciendo caer en demasía su tenor, afectando la cohesión, y finalmente la resistencia mecánica.

El cemento y aún más la cal producen disminución de la densidad resultante, mientras que la paja (en las proporciones ensayadas) prácticamente no la afecta.

La adición de cemento a este suelo (suelo II), no incrementa sino que reduce la resistencia mecánica, que luego se va recuperando, al aumentar el tenor de cemento, sin llegar, para el máximo ensayado (10 %), más que a la mitad de la resistencia del suelo solo. Los resultados del ensayo de abrasión son coincidentes. En cambio, la adición de cemento produce un sustancial mejoramiento del comportamiento frente al agua: Mientras las probetas de suelo se desintegraron bajo agua, las de suelocemento en general subsistieron, aunque con reducción de la resistencia, a algo menos de la mitad. Las de menor

tenor (2 %) aunque resistieron más que el suelo solo, tras 24 hs bajo el agua estaban demasiado erosionadas y frágiles como para ensayarlas.

El agregado de arena mejoró el efecto de la estabilización con cemento para la resistencia a la compresión (al doble en seco y al triple en húmedo). En cambio, la prueba de abrasión arrojó mejor resultado para el suelo sin arena, tal como para los suelos sin estabilizante.

La comparación de los casos iv y vi parecería indicar que el suelo-cemento compactado es menos resistente que el moldeado plástico. Sin embargo, este resultado se debe tomar con mucha precaución debido a que la energía de compactación obtenida en el laboratorio al moldear muestras pequeñas, probablemente sea bastante inferior a la empleada en los ensayos Proctor, y a la que se alcanzaría en obra. La baja densidad de las probetas tiende a corroborar esta hipótesis.

A pesar de esto, las variante compactadas resultaron de utilidad para verificar el efecto de las temperaturas logradas con el sistema solar sobre el fraguado del cemento. La resistencia prácticamente se duplicó, abriendo una interesante perspectiva para la utilización de la energía solar, que tal vez no se limite a la estabilización de suelos con cemento, sino a otras aplicaciones del mismo como ejemplo fabricación de bloques de hormigón que podría permitir alcanzar iguales resistencias con menor tenor de cemento, permitiendo así reducir costos y también impacto ecológico.

Los ensayos con cal mostraron resultados pobres. No se observó diferencia significativa entre las fraguadas con energía solar y las curadas en cámara. Todo esto parecería indicar que no se logró activar una reacción puzolánica buscada en la estabilización con cal. Esto puede haberse debido a: a) Convendría haber moldeado las probetas inmediatamente, sin dejar reposar la mezcla. La comparación entre los casos ix y xi (se triplicó la resistencia en seco a la compresión, al moldear inmediatamente), parecerían abonar esta posibilidad, aunque las densidades resultantes en los dos casos fueron similares y se encuentran entre las más bajas. b) Se deben incrementar los dosajes de cal. c) La cal empleada en este caso no era adecuada para este suelo. d) Esta arcilla no reacciona con la cal. Aunque es un tema complejo, el muy bajo tenor de aluminio mostrado por el análisis químico apoya esta posibilidad, dada la importancia de ese metal en la reacción buscada (Bhatnagar, Goswami & Singh, 1988).

Es de preveer que empleo de compactación mejoraría los resultados tanto para el suelo-cal como para el suelo-cemento (Houben y Guillaud, 1984).

El agregado de paja no alteró la resistencia a la compresión del suelo II, pero hizo caer a la mitad el del suelo I, que era de todas maneras la más elevada de todas.

El análisis de los resultados del examen de abrasión indica que la adición de arena debilita la resistencia a la erosión seca aún más que lo que lo hace con la resistencia a la compresión. La adición de paja, en cambio mejora notablemente las propiedades frente a la abrasión.

COSTOS ENERGÉTICOS Y MONETARIOS

La Tabla 2 muestra la comparación entre costos energéticos y monetarios de paredes convencionales y de suelocemento. Se aprecia que, a igualdad de espesor el suelocemento permite un ahorro económico del 30 al 65 %. La magnitud precisa del ahorro depende no sólo del punto de comparación, sino principalmente del tenor de cemento del suelocemento. Por otra parte, la validez de la comparación, está sujeta a que sea conveniente y posible edificar paredes de igual espesor.

Desde el punto de vista energético, en cambio, el elevado valor de la energía base del cemento (7,9 MJ/kg) hace a la opción suelocemento menos interesante que el ladrillo, aunque sigue superando al bloque, también fabricado en base a cemento. Desde el punto de vista ecológico, la ventaja del material residiría en la protección de la capa de humus, al prescindir del ladrillo cocido.

Tabla 2. Costos Energéticos y Monetarios

Material	Espesor (cm)	Dosaje de cemento (% en peso)	Contenido Energético por m (MJ)	Costo Monetario por m (\$)	Contenido Energético por m (MJ)	Costo Monetario por m (\$)
Ladrillo común	12		153	8,87	975	59,58
Bloques de Hormigón	13		273	6,49	2100	49,94
Suelocemento	30	5	267	8,49	891	21,22
Suelocemento	30	7,5	385	11,21	1283	28,03
Suelocemento	30	10	503	13,94	1676	34,84

Desde el punto de vista energético, en cambio, el elevado valor de la energía base del cemento (7,9 MJ/kg) hace que la opción suelocemento sea menos interesante que el ladrillo común, aunque sigue superando al bloque de hormigón, también

fabricado en base a cemento. Desde la óptica ecológica, la única ventaja del material residiría en la protección de la capa de humus, al prescindir del ladrillo cocido.

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Si bien el tipo de suelo predominante en la región, juntamente con sus características climáticas generan problemáticas particulares para la construcción con tierra cruda, se considera que la misma es factible, y además conveniente desde el punto de vista ecológico (A. Agarwal, 1981). También puede serlo desde la óptica económica para los procesos de autoconstrucción. Esto es más difícil para la construcción industrializada, por el elevado aporte de mano de obra que requiere (R. Rotondaro, 1995).

Los estudios realizados indican que la estabilización con cemento portland de este suelo no resulta adecuada, excepto desde el ángulo de la resistencia bajo agua (al menos sin mediar compactación). Todas las demás propiedades ensayadas empeoraron con el agregado de cemento, al menos hasta el máximo dosaje ensayado (10%). Dosajes superiores serían problemáticos desde el punto de vista económico.

Los intentos de estabilización con cal resultaron aún mucho menos exitosos, si bien cabe la posibilidad de explorar aún algunas alternativas tales como el curado solar de muestras moldeadas inmediatamente, y el empleo de tenores mayores.

El suelo original sin ningún tipo de agregados, en moldeo plástico fue el que ofreció máxima resistencia a la compresión y en valores bastante importantes. La incorporación de paja a la misma dio los mejores resultados frente a la abrasión, y además fue la mezcla de mejor respuesta al problema de la fisuración (con excepción de la mezcla suelo-arena-paja, pero más pobre en relación a abrasión)(Cortés, 1996). Si bien el agregado de paja redujo a la mitad la resistencia a la compresión, ésta conserva aún valores aceptables (aproximadamente 1,5 veces la que se requiere de los ladrillos).

Dada la elevada contracción de esta mezcla al secarse sería adecuado emplearla en forma de bloques o adobes para permitir que el cambio volumétrico tenga lugar antes de la colocación en obra. Es obvia la conveniencia económica de esta solución, con la condición de disponer en las proximidades de la obra de la suficiente cantidad de suelo y de paja.

Dado que el comportamiento en húmedo es la principal debilidad de esta alternativa la principal atención debe volcarse hacia el estudio de los revoques y revestimientos que permitan impedir el acceso del agua al bloque. Esto sin perjuicio de los detalles constructivos tales como evitar la localización de los edificios en zonas que sean inundables, sobrecimientos en hormigón, provisión de techos con aleros, etc.

Agradecimientos: - El autor desea expresar su reconocimiento por la colaboración prestada al: personal del IMAE y del Grupo de Energía Solar del IFIR y al Arq. R. Rotondaro.

REFERENCIAS

H. Houben and H. Guillaud, *Earth Construction Primer. International Colloquium on "Earth Construction Technologies Appropriate to Developing Countries"*, Ministerio de Cooperación para el Desarrollo de Bélgica y el Centro de las Naciones Unidas para Asentamientos Humanos, Bruselas (1984).

E. Di Bernardo, A. Cortés y O. Margenet, *Edificio solar pasivo en tierra cruda en la zona pampeana*, 17ª Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energía Solar. Rosario (1994).

A. Cortés, *Ensayos para el aprovechamiento de tierra cruda en la construcción con utilización de energía solar en la zona pampeana*, enviado a publicación en "Energías Renovables y Medio Ambiente" (1996).

A. Agarwal (Centro para la Ciencia y el Medio Ambiente, Nueva Delhi, India), *Barro, barro! Las posibilidades que ofrecen los materiales a base de tierra para la vivienda terciarista*, Earthscan, Londres (1981).

R. Rotondaro, *Fichas sobre detalles constructivos, costos y tiempos de ejecución de muros en adobe y tapial, con y sin estabilización*, Publicación interna, Centro de Biología de Altura, Jujuy (1995).