

Evaluación de las propiedades físicas del adobe reforzado y de sus materiales componentes y su influencia en el comportamiento electroquímico

Evaluation of the physical and electrochemical properties of adobe reinforced and of its component materials

G. PÉREZ, R. MELO, H. ROJAS, L. CASTRO, R. MALAVÈ, E. ANZOLA, G. LÓPEZ

Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado". Decanato de Ingeniería Civil Barquisimeto

Persona de contacto/Corresponding author: rosamalave@cantv.net

Fecha de recepción: 25-II-03

Fecha de aceptación: 18-VII-03

VENEZUELA

RESUMEN

*La búsqueda de soluciones a la crisis de vivienda que existe en Latinoamérica ha favorecido al uso del suelo-cemento-sisal en muros portantes de adobe reforzado como material alternativo de construcción. En tal sentido, resulta imperante determinar la vulnerabilidad de una construcción de este tipo, es por ello que, la caracterización de las propiedades físicas, mecánicas y electroquímicas de los materiales que la componen, ayuda a relacionar las causas externas de deterioro con las internas. En este caso particular se estudió la permeabilidad, la porosidad, la absorción capilar, los potenciales de Cu/CuSO₄ y la velocidad de corrosión del adobe reforzado, de los componentes y de los muros. En el aspecto metodológico, se utilizó un permeabilímetro de Figg, modificado para determinar la permeabilidad al agua y el método de Fagerlund para medir la absorción capilar, la porosidad se determinó siguiendo métodos tradicionales, los potenciales se midieron utilizando un multímetro y las velocidades de corrosión con el corrossómetro, Gecor 6. Se ensayaron dos grupos de probetas: un primer grupo de los materiales componentes: adobe, mortero para friso y mortero de refuerzo, siendo el adobe suelo-cemento-sisal con 5% de cemento, **morteros para friso: MFA** con 12% de cemento y **MFB** con 16% de cemento y **mortero interno de refuerzo: MRD**, de relación agua/cemento 0,50. Un segundo grupo de los materiales compuestos, conformado por dos tipos de muro de adobe en donde se combinan todos los componentes individuales: mortero de friso, adobe y mortero interno: (**MFA-adobe-MRD**) y (**MFB-adobe-MRD**). Con este segundo grupo se hicieron probetas que se expusieron al ambiente natural urbano durante 200 días, siendo rociadas con agua, previamente a las medidas de los potenciales y de las velocidades de corrosión, las cuales se midieron semanalmente durante los días de exposición.*

SUMMARY

*The search of solutions to the habitacional crisis that exists in Latin America has favored to the use of the soil-cement-sisal, adobe reinforced like alternative material of building, in such sense, prevailing to determine the vulnerability of a building of this type, is for that reason that, the characterization of the physical, mechanical and electrochemical properties of the materials that composes it, helps to relate causal the external ones of deterioration to the internal ones. In this particular case it was studied, the permeability, the porosity, the capillary absorption, the corrosion potentials (referring to Cu/CuSO₄) and the corrosion rates of adobe reinforced, of its components and their interfaces. In the methodological aspect, permeabilimeter of modified Figg, was used to determine the permeability to the water. The porosity and capillary absorption were determined following methods traditional, the corrosion potentials were determined using multimeter and the corrosion rates was made by means of the equipment Gecor 6. Two groups was tried, a first group of the component materials: adobe, mortar for stucco and mortar of reinforcement. The **adobe** with 5% of cement, **mortars for stucco: MFA** with 12% of cement and **MFB** with 16% of cement and **internal mortar of reinforcement: MRD**, of relation water/cement 0,50. A second group of the composed materials, conformed by 3 specimens test of each one of both types of wall of adobe in where all the individual components are combined: mortar of stucco, adobe and internal mortar: (**MFA-Adobe-MRD**) and (**MFB-adobe-MRD**). The coefficients of permeability to the water of the component materials oscillate between 5.2·10⁻⁵ for adobe up to 9.71·10⁻⁹ for the internal mortar of reinforcement **MRD** (a/c=0.50), in mortars for stucco (**MFA** and **MFB**) this in the 10⁻⁷ order. For the case of the composed materials oscillates*

Los coeficientes de permeabilidad al agua de los componentes oscilaron entre $5.2 \cdot 10^{-5}$ para el adobe hasta $9.71 \cdot 10^{-9}$ para el mortero de refuerzo MRD ($a/c=0.50$), en los morteros para friso (MFA y MFB) estuvieron en el orden de 10^{-7} . Para el caso del material compuesto osciló entre $9.38 \cdot 10^{-8}$ para (MFA-adobe-MRD) hasta $3.28 \cdot 10^{-8}$ para (MBA-adobe-MRD). Los resultados de las propiedades físicas, en términos de durabilidad indican que el mayor beneficio en este tipo de sistemas y con el menor costo se obtiene mejorando la calidad del mortero que se emplea como friso. Igualmente se concluyó, según los valores de Porosidad y Absorción capilar, superiores a 19% y $2.23 \cdot 10^{-4}$ respectivamente, que los muros analizados no son adecuados para ambientes agresivos si se toma como referencia el hormigón, pues estas propiedades están muy por debajo de los estándares establecidos, aun cuando los valores de potencial y de velocidad de corrosión arrojados por los mismos materiales estuvieron en el rango de pasividad.

PALABRAS CLAVE: porosidad, permeabilidad, absorción capilar, durabilidad, adobe.

1. INTRODUCCIÓN

En Latinoamérica y especialmente en Venezuela, la crisis de vivienda y el aumento desmesurado del costo de las mismas ha incentivado el uso del suelo-cemento-sisal en muros portantes de adobe reforzado, justificado por su facilidad de fabricación, abundancia de materiales y bajo costo. En tal sentido resulta imperante determinar la vulnerabilidad de estas construcciones y, para ello, el caracterizar los materiales que los componen es un paso inicial, con miras a identificar las causas internas que inciden en la durabilidad.

En ese contexto se puede establecer que, la corrosión constituye una de las formas de agresión del medio sobre las construcciones civiles armadas con estructuras de acero y en muchas investigaciones previas se ha comprobado que los mecanismos de transporte de masas son determinantes en lo que se denomina período de iniciación de la corrosión (1).

Con base a lo expuesto, si se considera que en sistemas constructivos de adobe reforzado, al igual que en el hormigón armado, es necesario que el agresivo llegue hasta la armadura y la despasive para que se inicie el proceso de corrosión, los mecanismos que siguen los agresivos deben ser similares en ambos materiales, siendo los tres principales: difusión, absorción y permeabilidad (2).

La absorción capilar es un fenómeno que ocurre al poner en contacto un líquido con un sólido poroso, la masa por unidad de superficie que penetra depende del

between $9.38 \cdot 10^{-8}$ for (MFA-Adobe-MRD) until $3.28 \cdot 10^{-8}$ for (MBA-adobe-MRD). The specimens test tubes were exposed to the natural environment during 200 days, being there been dew with water previous to the measures, the corrosion potentials and the corrosion rate were moderate weekly during the days of exhibition. These results in durability terms indicate that the greater benefit in this type of systems and with the smaller cost is obtained improving the quality of the mortar that is used like stucco. Also one concluded according to the values of Porosity and Capillary Absorption the greater than to 19% and $2.23 \cdot 10^{-4}$ respectively, that the analyzed walls of adobe reinforced are not adapted for aggressive atmospheres if it is taken like reference because these properties are very below the established standards.

KEYWORDS: porosity, permeability, capillary absorption, durability, adobe.

1. INTRODUCTION

In Latin America and specially in Venezuela, the habitacional crisis and the increase of the cost of the houses have stimulated the use of the soil-cement-sisal, in walls of adobe reinforced, justified by their facility of manufacture, abundance of materials and low cost. In such sense, is important to determine the vulnerability of these buildings and characterize the materials that compose them it is an initial step, with a view to identifying causal the internal ones that affects the durability.

In that context it is possible to be established that, the corrosion constitutes one of the forms of aggression of means on the civil constructions and in many previous investigations has been verified that the mechanisms of transport of masses are determining in which period of initiation of the corrosion is denominated (1).

With base to the exposed thing, if it is considered that in constructive systems of it adobe, like in the reinforced concrete, is necessary that the aggressive one arrives until the steel and despasive so that the corrosion process begins, the mechanisms that follow the aggressive ones must be similar in both materials, being the three main ones: diffusion, absorption and permeability (2).

The capillary absorption is a phenomenon that happens when putting in contact a liquid with a porous solid, the mass by surface unit that penetrates depends

tamaño de los poros, de la viscosidad y de la temperatura. Fagerlund (3) propuso un método de determinación de la absorción capilar del concreto, definiendo a m como la resistencia de penetración del agua, siendo la relación entre la profundidad de penetración (z) y el tiempo (t) transcurrido para alcanzar esa penetración, m es una función de la estructura de los poros, pero no de la porosidad total:

$$m = \frac{t}{z^2}$$

También definió el coeficiente de absorción capilar K_{ab} ($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{1/2}$), el cual es función de la porosidad total, de la humedad cuando comienza la succión y de la estructura de los poros.

$$K_{ab} = \frac{Wf - Wo}{A t^{1/2}} \quad [2]$$

En esta expresión, $Wf - Wo$ es el agua succionada durante un tiempo t , a través de un área transversal A . Finalmente, Fagerlund (3) propuso que el proceso de absorción capilar del hormigón puede describirse por tres coeficientes: m , K_{ab} y ϵ (porosidad efectiva).

En cuanto a la permeabilidad como mecanismo de penetración de agresivos, es mucho menos común ya que la fuerza impulsora depende de la diferencia de presión. Ya en 1856 Henry Darcy realizó estudios para explicar el flujo de agua a través de filtros formados por materiales pétreos y encontró que para velocidades suficientemente pequeñas el coeficiente de permeabilidad se expresa:

$$K_w = \frac{Q \cdot x}{A \cdot \Delta h}$$

En donde A corresponde al área total de la sección transversal del filtro, Q es la velocidad de flujo o volumen por unidad de tiempo, x es el desplazamiento y Δh es la caída de presión.

Sin embargo, si los materiales tienen coeficiente de permeabilidad muy bajos, la penetración del agua a través del espécimen es muy lenta, pudiendo durar varios días o meses, en este caso, la aplicación práctica de la ecuación de Darcy se hace difícil, de allí que Valente (4), estableció una modificación de la ecuación en función de la medida de la penetración del agua, en donde el coeficiente se expresa:

$$K_v = \frac{x^2 \cdot v}{2 \cdot \Delta h \cdot t} \quad [4]$$

Siendo x la profundidad de penetración, v volumen de huecos llenos de agua en la zona penetrada, t tiempo transcurrido y Δh caída de presión.

pores as large as, of viscosity and the temperature. Fagerlund (3) proposed a method of determination of the capillary absorption of the concrete, defining "m" like the resistance to the water penetration, the relation between the depth of penetration (z) and the time (t) time passed to reach that penetration, m is only a function of the pore structure but not of the total porosity:

[1]

Also it defined the coefficient of capillary absorption Kab ($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{1/2}$), the value of K is therefore a function of the total porosity, of the moisture state before suction started and of the structure of pores.

In this expression, $Wf - Wo$ is the total amount of water that is taken up per unit suction surface A , after time t . Fagerlund (3) proposed that the capillary absorption process of the concrete can thus be approximately described by the three coefficients: m , Kab and ϵ (effective porosity).

As far as the permeability like mechanism of penetration of aggressive, it is much less common since the impelling force depends on the pressure differential. In 1856 Henry Darcy made studies to explain the water flow through filters formed by stony materials and already found that for sufficiently small speeds the permeability coefficient is expressed:

[3]

In where A it corresponds to the total area of the cross-sectional section of the filter; Q is the rate of flow or volume by time unit, x is displacement and Δh is the water pressure gradient.

However, if the materials have very low coefficient of permeability, the penetration of the water through the specimen is very slow being able to last several days or months, in this case the practice application of the equation of Darcy becomes difficult, from which Valente (4), established a modification of the equation based on the measurement of the penetration of the water; in where the coefficient is expressed:

Being x the depth of penetration, v volume of full of water emptiness in the penetrated zone, t time and Δh pressure gradient.

Con base a lo expuesto, destacando que los muros portantes de adobe reforzado están constituidos por materiales de tierra sin ningún proceso de cocción, cuyo contenido de cemento como aglomerante es bajo, alrededor de un 5% en el adobe propiamente dicho, hasta un 20% en el mortero de friso y hasta un 28% en el mortero de refuerzo. Siendo así es importante conocer propiedades físicas y electroquímicas, tales como: porosidad, absorción capilar, permeabilidad al agua, potencial y velocidad de corrosión, de manera que se pueda predecir su comportamiento en ambientes agresivos con alta humedad atmosférica ($>65\%$). Posteriormente, con base a este comportamiento, se podrán recomendar dosificaciones optimizadas tanto del mortero que recubre el acero de refuerzo como del mortero de recubrimiento del adobe (de friso), que garantice que la corrosión se retardará.

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1. Materiales y métodos

Los muros portantes evaluados están constituidos por bloques de suelo-cemento-sisal denominados **adobes**, cuyas dimensiones son 10 cm de alto, 20 cm de ancho y 40 cm de longitud, los cuales tienen huecos de 5 cm de diámetro, en donde se incorpora el refuerzo vertical metálico de 3/8 pulg de diámetro. Alrededor de este refuerzo se adiciona un mortero líquido, denominado **mortero de refuerzo**, que debe garantizar la adecuada y necesaria pasivación del acero. Finalmente y como acabado, el muro es revestido con un mortero de arena amarilla, denominado **mortero de friso**, cuyo espesor oscila entre 1,0 cm y 1,5 cm.

Los adobes utilizados en este trabajo se adquirieron en las fábricas artesanales que proveen estos elementos para las construcciones populares y cuya dosificación fue optimizada por trabajos previos realizados en el laboratorio de materiales de ingeniería civil de la UCLA-Venezuela (5).

Los morteros de friso estudiados, fueron utilizados por Pérez G. et.al (6), su selección se basó en consultas realizadas a albañiles calificados en la elaboración de estos frisos, quienes recomendaron una relación 3:1 de arena amarilla por cemento, por lo tanto se evaluaron dos mezclas con bajo contenido de cemento para reducir costos y evaluar su desempeño, denominadas **MFA**, con 12% de cemento y **MFB** con 16% de cemento. En el caso de los morteros de refuerzo se evaluó una sola dosificación denominada **MRD**, en la cual se trabajó con arena lavada y relación agua/cemento 0,50. El diseño se presenta en la Tabla 1

Se diseñaron probetas con los componentes individuales, morteros de friso: **MFA** y **MFB**, mortero

With base to the exposed thing, emphasizing that the walls reinforced adobe are constituted by soils materials submissive no process of baking whose cement content as binder is low, around a 5% in itself adobe, until 20% in the mortar of stucco and until a 28% in the reinforcement mortar. Being thus it is important to know physical and electrochemical properties, such as: porosity, capillary absorption, permeability to the water, corrosion potential and corrosion rate, way to predict its aggressive atmosphere behaviour with high relative humidity in the ambient ($>65\%$). Later, with base to this behavior, optimised meterings so much of the mortar will be able to be recommended that covers the reinforcement steel bars as of the mortar of covering of it adobe (of stucco), that guarantees that the corrosion will be slowed down.

2. EXPERIMENTAL PART

2.1. Materials and methods

*The evaluated wall reinforced adobe are constituted by cement-sisal blocks called **adobe**, whose dimensions are 10 cm of stop, 20 cm wide and 40 cm in length, and have hollows of 5 cm of diameter, in where the steel bar of 3/8pulg in diameter were embedded in each specimens. Around this reinforcement a liquid mortar is added, denominated **mortar of reinforcement (MRD)**, that must guarantee the suitable and necessary the steel passivation . Finally and like finished, the wall is covered with a yellow sand mortar, denominated **mortar of stucco**, whose thickness oscillates between 1.0 cm and 1.5 cm.*

The adobes used in this work were acquired artisan factories that provides these elements for the popular constructions and whose metering was optimised by previous works made in the laboratory of materials of civil engineering of UCLA-Venezuela, Bonilla et al. (5).

*Studied mortars of stucco, were used by Perez G. and Melo R. (6) in their work of degree and its selection was based on consultations made to bricklayers described in the elaboration as these stuccos, that recommended a yellow sand relation 3:1 by cement, therefore two mixtures with low cement content were evaluated to reduce costs and evaluate their performance, denominated **MFA**, with 12% of cement and **MFB** with 16% of cement. In the case of reinforcement mortars a single metering denominated **MRD** was evaluated, in which it worked with washed sand and ratio water/cement 0,50. The design appears in the Table 1*

*The specimens tests with the individual components were designed: mortars of stucco: **MFA** and **MFB**,*

de refuerzo, **MRD** y el **adobe** para hacer los ensayos de porosidad, permeabilidad, absorción y absorción capilar. También se hicieron dos tipos de probetas simulando el muro reforzado de adobe con cada una de las interfas: **MFA-adobe-MRD** y **MFB-adobe-MRD**. En la Figura 1 se observa el detalle de la probeta.

Para evaluar las propiedades electroquímicas se elaboraron dos tipos de probetas, según el método propuesto por Castro L. y Rojas H. (7), esto es un bloque de adobe tipo canaleta o "U", incorporándole internamente las barras de acero que se recubren con el mortero reforzado **MRD**, simulando el muro reforzado de adobe con cada una de las interfas: **MFA-adobe-MRD** o **MFB-adobe-MRD**. Las probetas se expusieron por triplicado al ambiente natural urbano (AN), rociando semanalmente con agua potable durante 200 días, previo a las mediciones.

mortar of internal reinforcement MRD, and adobe, to make the tests of porosity, permeability, absorption and capillary permeability. Also two types were made of specimens test simulating the wall reinforced of adobe with each one of the interphas: MFA-Adobe-MRD and MFB-Adobe-MRD. In the Figure 1 the detail of specimen test is observed.

In order to evaluate the electrochemical properties two types of specimens test used were, elaborated by Castro L. and Rojas H. (7), with a block of adobe type U, incorporating internally the steel bars that are covered with reinforced mortar MRD, simulating the wall reinforced of adobe with each one of the interphas: MFA-Adobe-MRD and MFB adobe-MRD. The specimens test were exposed by triplicate to the natural atmosphere (AN), there being dew weekly with potable water during 200 days, previous to the measurements.

TABLA 1/TABLE 1

Diseños de los tres componentes evaluados del muro portante: adobe, mortero del friso y mortero del refuerzo
Designs of the three evaluated components of the wall reinforced adobe: adobe, mortar of stucco and mortar of the reinforcement

Material <i>Material</i>	Cemento <i>Cement</i> (kg/m ³)	Árido <i>Aggregate</i> (kg/m ³)	Aqua <i>Water</i> (l)	Relación a/c <i>Ratio w/c</i>
Adobe <i>Adobe</i>	50,00 (5%)	947,80 (suelo/soil) + 2,20 (fibra/fiber)	180,00	3,60
Mortero de friso <i>Stucco mortar</i>	221,20 (12%)	1253,50 (arena amarilla) (yellow sand)	350,00	1,58
	294,92 (16%)	1204,75 (arena amarilla) (yellow sand)	350,00	1,19
Mortero del refuerzo <i>Reinforcement mortar</i>	543,65 (25%)	1373,45 (arena lavada) (washed sand)	271,83	0,50
MRD				

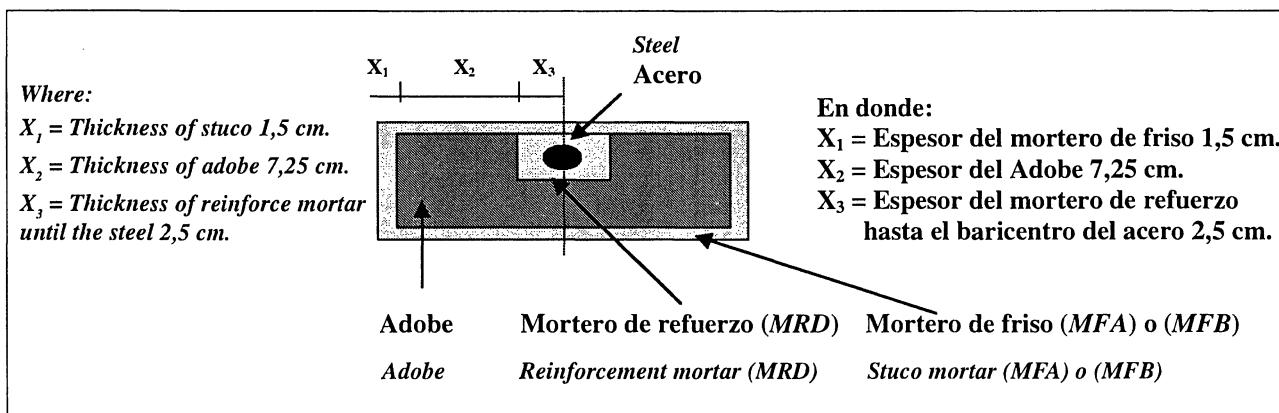


Figura 1.- Interfase del sistema de muros portantes de adobe reforzado.

Figure 1.- Interphase of the walls reinforced adobe.

2.2. Ensayos

Porosidad

Se elaboraron tres probetas cubicas de 5 cm de lado, con cada uno de los siguientes componentes del muro portante de adobe, morteros de friso: **MFA** y **MFB**, y mortero de refuerzo **MRD**, luego se les determinó la porosidad siguiendo el procedimiento establecido en el manual DURAR-CYTED (8). Al adobe no se le midió la porosidad, ya que pierde adhesión y se desliza completamente al sumergirlo en agua por 24 horas.

Absorción capilar

Se siguió el procedimiento recomendado por Fagerlund (3), se elaboraron tres probetas cilíndricas de 5 cm de alto y 10 cm de diámetro para cada uno de los diferentes componentes del muro portante de adobe: mortero de friso **MFA** y **MFB**, **mortero de refuerzo MRD** como para los dos tipos de probetas trifásicas, **MFA-adobe-MRD** y **MFB-adobe-MRD**. El coeficiente de absorción capilar K_{ab} , se calculó como la pendiente de la región lineal del grafico W/A en función de $t^{1/2}$:

$$K_{ab} = \frac{(W_t - W_0)/A}{t^{1/2}} \quad (\text{kg/m}^2 \text{ sg}^{1/2}) \quad [5]$$

La resistencia de penetración del agua m se calculó para el momento que $z=h$ y se denomina sorción capilar

$$S = \frac{t}{h^2} \quad (\text{s/m}^2) \quad [6]$$

Permeabilidad del agua

Se elaboraron probetas tronco cónicas de 10,20 cm de diámetro superior y 4,80 cm de altura, sometiéndolas a un período de curado por 28 días. La permeabilidad se midió tanto para los componentes individuales, esto es: **adobe**, **mortero de friso MFA y MFB**, y **mortero de refuerzo MRD**, como para los dos tipos de probetas trifásicas, **MFA-adobe-MRD** y **MFB-adobe-MRD**. El estudio de la permeabilidad de estas probetas representa la permeabilidad del muro de adobe comenzando la exposición por la cara recubierta con friso que se encuentra en contacto directo con el ambiente. En este trabajo, para lograr una adecuada correspondencia entre los valores de permeabilidad de laboratorio y los del muro a escala real, se mantuvieron las proporciones de las dimensiones del muro a escala real con respecto a las dimensiones de los componentes de la probeta de laboratorio.

La permeabilidad se determinó utilizando un permeabilímetro de Figg (9), el cual ha sido usado con ciertas variantes por Bamforth (10). Se les hizo vacío

2.2. Tests

Porosity

Three test samples were elaborated cube of 5 cm of side, with each one of the following components of the wall reinforced adobe, mortars of stucco: MFA and MFB, and mortar of internal reinforcement MRD, then, it was determined the porosity to them following the procedure established in DURAR-CYTED (8). The adobe porosity was not evaluate, since it loses adhesion and completely when it is submerged it in water by 24 hours.

Capillary absorption

Followed the procedure recommended by Fagerlund (3) (1986), three cylindrical test tubes of 5 cm of stop and 10 cm of diameter were elaborated for each one of the different components from the wall reinforced of adobe: mortar of stucco: MFA and MFB, mortar of reinforcement MRD. The coefficient of capillary absorption Kab it's, calculated like the slope of the linear region of the graphic W/A in function of $t^{1/2}$:

The resistance of penetration of water m it's calculated for the moment that $z=h$ and it's denominates absorption capillary

Permeability of water

Were elaborated conical test specimens trunk of 10.20 cm of superior diameter and 4.80 cm of height, putting under a period of cured by 28 days. The permeability was so much for the individual components, this is: adobe, mortar of stucco MFA and MFB, and mortar of internal reinforcement MRD, like for both types of three-phase specimen test, MFA-adobe MRD and MFB-adobe MRD. The study of the water permeability of these specimens test represents the permeability of the wall of adobe beginning the exhibition by the face covered with stucco that is in direct bonding with the environment. In this work to obtain a suitable correspondence between the values of laboratory permeability and those of the accommodation ladder wall, the proportions of the dimensions of the accommodation ladder wall stayed with respect to the dimensions of the components of the specimens test of laboratory.

The permeability was determined using the permeability apparatus of Figg (9), which has been used with certain variants by Bamforth (10). It is done vacum with a pump

con una bomba a las probetas y se estableció un tiempo de ensayo de dos horas, si el agua atravesaba el espesor de la probeta antes de las dos horas se calculaba el coeficiente de permeabilidad del agua aplicando la ecuación de Darcy. Si el agua no atravesaba la probeta en dos horas, el coeficiente se calculaba aplicando la ecuación modificada de Valenta (4).

Potencial y velocidad de corrosión

Transcurrido el período de curado de 28 días, las probetas que simulaban al muro reforzado **MFA-adobe-MRD** y **MFB-adobe-MRD**, fueron expuestas en ambiente natural urbano durante 200 días y rociadas con agua potable cada quince días. Las probetas se humedecían con una esponja de manera homogénea, sin lavar la superficie, durante un día previo a la medida del potencial y durante dos horas antes de la medición. Las medidas fueron efectuadas con un multímetro digital WAVETEK DM27XT y el electrodo de referencia Cu/CuSO₄, siguiendo la norma ASTM C876-87, en cinco puntos del adobe reforzado por la cara superior. Para medir la velocidad de corrosión se utilizó el corrosómetro GECOR 6, con la misma frecuencia y preparación usada para medir los potenciales.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Porosidad

Los valores de porosidad obtenidos son relativamente altos, oscilaron desde 19,19%, para el mortero de refuerzo **MRD** de relación a/c=0,50, hasta 26,91% para el mortero de friso **MFA** de relación a/c=1,58 y 12% de cemento. En la Figura 2 se presentan los resultados de porosidad de los componentes individuales del muro de adobe reforzado. Cabe destacar que las probetas fueron ensayadas 28 días después de su elaboración, tiempo en el cual continúa desarrollándose los procesos de

to the specimens test and a time of test of two hours it is settled down, if the water crosses the thickness of the specimens test before the two hours calculates the coefficient of permeability of the water applying the equation of Darcy. If the water does not cross the test tube in two hours, the coefficient calculated applying the modified equation of Valenta (4).

Corrosion potential and corrosion rate

*Passed the cured period of 28 days, the specimen test that simulated to the reinforced wall **MFA-Adobe-MRD** and **MFB-Adobe-MRD**, were exposed in natural atmosphere during 200 days and every fifteen days were sprinkled with potable water, humidification of the specimen test with a sponge of homogenous way without washing the surface, during a previous day to the measurement of the potential and during two hours before the measurement. The measures were carried out with multímetro digital WAVETEK DM27XT and the electrode of Cu/CuSO₄ reference, following norm ASTM C876-87, in five points of adobe reinforced by the superior face. In order to measure corrosion rate corrosómetro GECOR 6 was used, with the same frequency and preparation to measure the corrosion potentials.*

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Porosity

*The obtained values of porosity are relatively high, oscillated from 19.19%, for the mortar of internal reinforcement **MRD** of relation w/c=0.50, to 26.91% for the mortar of stucco **MFA** of relation w/c=1.58 and 12% of cement. In the Figure 2 appears the results of porosity of all the individual components of the reinforced adobe wall. It is possible to emphasize that the specimen test were tried 28 days after their elaboration, time in which continues being developed the cement hidratation processes. However if we*

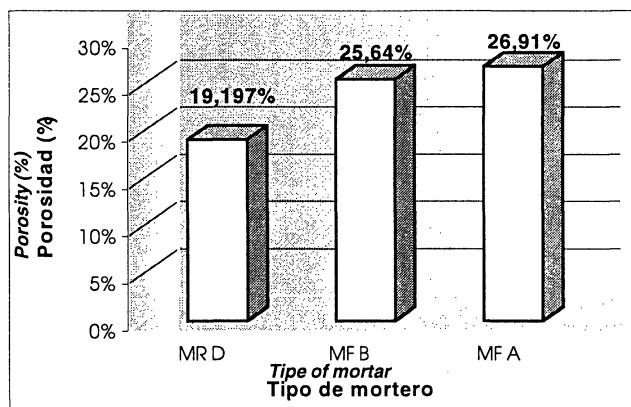


Figura 2.- Porosidad de los materiales componentes de los muros.

Figure 2.- Porosity of the materials component of the walls.

hidratación. Sin embargo, si comparamos esta propiedad con la de un hormigón, los resultados están fuera de los patrones de calidad establecidos para la durabilidad.

3.2. Absorción capilar

Los coeficientes de absorción capilar K_{ab} se obtuvieron de las pendientes de los gráficos de absorción capilar, en ellos se observa que la etapa inicial del gráfico (calificada así por Fagerland), se supera en menos tiempo mientras más bajo sea el contenido de cemento, así el **adobe** tiene un tiempo de 0,16 h, los **morteros de friso (MFA y MFB)** de 2 h y el **mortero de refuerzo (MRD)** de 24 h, lo cual se corresponde con los valores de coeficientes K_{ab} obtenidos, ya aportados en trabajos previos (6). En el caso del adobe, el coeficiente es 30 veces mayor que el de mortero de refuerzo y cinco veces mayor que los morteros de friso. Los coeficientes de absorción de los muros están en el mismo orden que en los morteros de friso. En la Figura 3 se presentan los coeficientes de absorción de los componentes y de los muros.

En la Tabla 2 se presentan los valores que resumen los índices del proceso de absorción capilar para los materiales componentes, estos son el coeficiente de absorción capilar K_{ab} , la resistencia a la penetración m , la porosidad capilar ϵ y la succión capilar S .

Cabe destacar que se verificó la alta capilaridad del adobe el cual reportó una baja resistencia a la penetración del agua $m=0,522 \cdot 10^6 \text{ s/m}^2$, una succión capilar muy alta $S=13,83 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}^{1/2}$, de lo cual se infiere que un recubrimiento y protección adecuados son necesarios para garantizar la durabilidad de los muros portantes de adobe. También se observa que los morteros de friso **MFA** y **MFB** tienen valores de m y de S que pueden favorecer la permeabilidad, ya que de acuerdo a lo recomendado en el manual de DURAR-CYTED (8), valores de $S < 10^{-4} \text{ m/s}^{1/2}$ son recomendables para ambientes menos severos y para ambientes severos se recomiendan valores de $S < 5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^{1/2}$

3.3. Permeabilidad

En la Figura 4 se presenta el coeficiente de permeabilidad al agua de los componentes del muro portante de adobe, observándose lo ya esperado, al aumentar el contenido de cemento el coeficiente de permeabilidad disminuye, oscilando desde $9,371 \cdot 10^{-9} \text{ cm/s}$ para el mortero de refuerzo **MRD** hasta $5,238 \cdot 10^{-5} \text{ cm/s}$ para el **adobe**. En la Figura 5 se presenta el coeficiente de permeabilidad de las probetas trifásicas : **MFA-adobe-MRD** y **MFB-adobe-MRD**. Se puede observar que en muros portantes de adobe que tienen morteros de refuerzo **MRD**

compared this property with the one of a concrete with the same conditions, this it is a material of inadequate durability; however the durability depends of the control of this variable.

3.2. Capillary absorption

The coefficients of capillary absorption K_{ab} were obtained from slopes of the graphs of capillary absorption, in them is observed that the initial stage of the graph (described by Fagerland), is surpassed in less time while lower it is the cement content, therefore it adobe has a time of 0.16 h, mortars of stucco (MFA and MFB) of 2 h and the mortar of internal reinforcement (MRD) of 24 h, which corresponds it with the values of coefficients obtained K_{ab} . In the case of the adobe, the coefficient is 30 times greater than of the mortar of internal reinforcement and five times greater than those of mortars of stucco, in the Figure 3.

*In the Table 2 it shows the values of coefficient of capillary absorption K_{ab} , the resistance to penetration m , the efective porosity and capillary suction S , for the components of the walls reinforced adobe. It is possible to emphasize that the high capillarity was verified of adobe which reported a low resistance to the penetration of the water $m=0,522 \cdot 10^6 \text{ s/m}^2$, a capillary suction very high $S=13,83 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}^{1/2}$, of which it is inferred that a suitable covering and protection are necessary to guarantee the durability of the wall reinforced of adobe. Also it is observed that mortars of stucco **MFA** and **MFB** have values of m and of S that can favor the permeability, so according to the recommended for CYTED book (8) values of $S < 10^{-4} \text{ m/s}^{1/2}$ are recommendable for less severe atmospheres and for severe environment is recommended values of $S < 5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^{1/2}$*

3.3. Permeability

*In the Figure 4 appears the coefficient of permeability to the water of the components of the wall reinforced adobe, observing already hoped, for cement content greater coefficient of permeability oscillating from $9,371,10^{-9} \text{ cm/s}$ for the mortar of internal reinforcement **MRD** to $5,238 \cdot 10^{-5} \text{ cm/s}$ for **adobe**, when it diminishes the ratio w/c and increases the content of cement diminishes the permeability. In the Figure 5 it shows the coefficient of permeability of the three-phase specimens test: **MFA-adobe-MRD** and **MFB adobe-MRD**. It can watch*

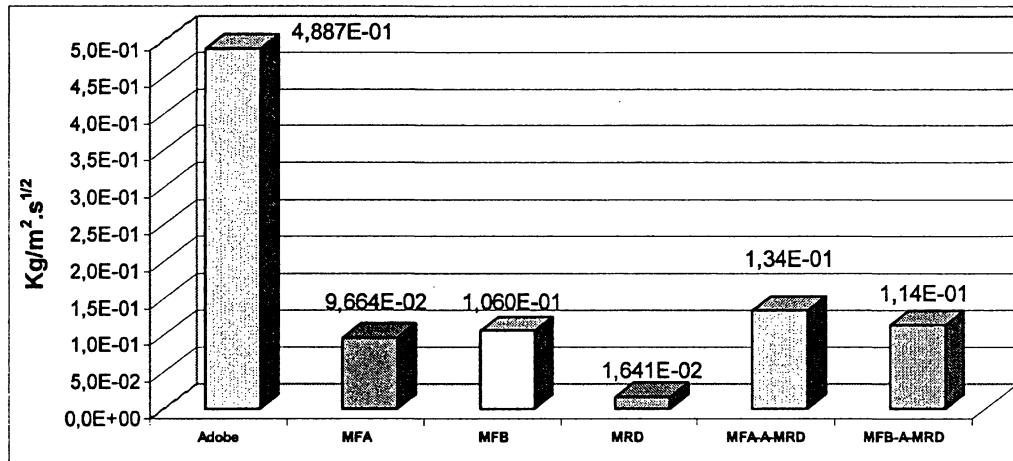


Figura 3.- Coeficiente de absorción capilar.

Figure 3.- Coefficient capillary absorption.

TABLA 2/TABLE 2

Resultados de Absorción capilar de los componentes del muro portante de adobe
Results of capillary absorption of the components of the wall

Material <i>Material</i>	m s/m ²	K _{ab} kg/m ² · s ^{1/2}	ε	S m/s ^{1/2}	
Adobe <i>Adobe</i>	0,522.10 ⁶	48,87. 10 ⁻²	0,3532	13,83. 10 ⁻⁴	
MFA(12%) Mortero de friso/ <i>Stucco mortar</i> MFB(16%)	5,039. 10 ⁶	9,664. 10 ⁻²	0,2169	4,45. 10 ⁻⁴	
	7,73. 10 ⁶	10,60. 10 ⁻²	0,2724	3,56. 10 ⁻⁴	
Mortero de refuerzo (a/c = 0,50) <i>Reinforcement mortar</i> (w/c = 0,50)	MRD <i>MRD</i>	20,01. 10 ⁶	1,641. 10 ⁻²	0,1347	2,23. 10 ⁻⁴

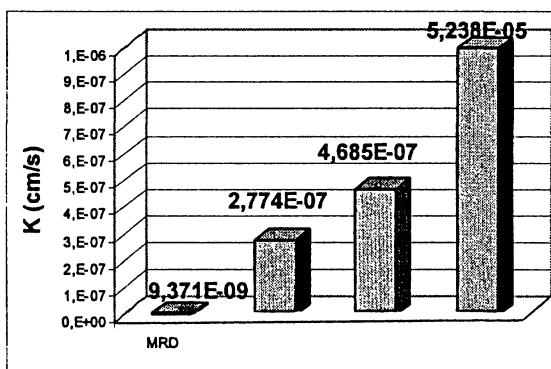


Figura 4.- Coeficiente de permeabilidad de los componentes del muro.

Figure 4.- Coefficient of permeability of the components..

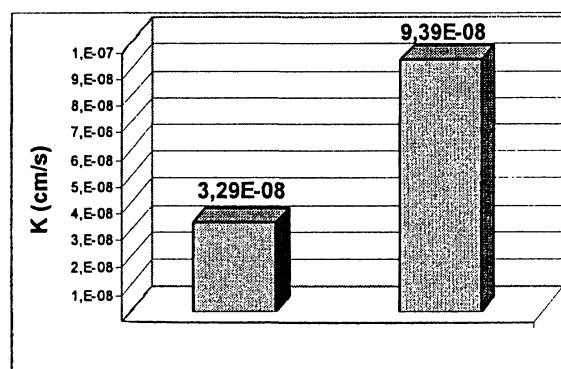


Figura 5.- Coeficiente de permeabilidad de los muros.

Figure 5.- Coefficient of permeability of the wall reinforced.

con relación $a/c=0,50$, al disminuir el contenido de cemento en el mortero de friso de 16% **MFB** a 12% **MFA**, el coeficiente de permeabilidad se incrementa en un 65%, esto es de $3,29 \cdot 10^{-8}$ cm/s a $9,39 \cdot 10^{-8}$ cm/s. Estos resultados indican que una mejora en la calidad del friso al aumentar el contenido de cemento, conduce a una reducción de la permeabilidad en un tercio de su valor inicial. Sin embargo, si se compara la probeta trifásica con menor coeficiente de permeabilidad **MFB-adobe-MRD** ($3,29 \cdot 10^{-8}$ cm/s) con el mortero **MRD** de relación $a/c=0,50$ ($9,371 \cdot 10^{-9}$ cm/s) en la primera su coeficiente de permeabilidad es 30 veces mayor, lo cual indica que el uso de este material debe evaluarse cuidadosamente en ambientes marinos y de alta humedad atmosférica, ya que el riesgo de corrosión es mucho mayor que en el hormigón.

3.4. Propiedades electroquímicas

En la Figura 6 se presentan los potenciales de corrosión de los muros **MFA-adobe-MRD** y **MFB-adobe-MRD**, se puede observar que durante los 200 días de exposición, el refuerzo de acero de ambos muros se mantiene en el rango de valores de pasividad, revelando una mayor tendencia hacia los valores de incertidumbre en el muro cuyo friso contiene más cemento (16%) y **MFB-adobe-MRD**.

La velocidad de corrosión de los muros se ve en la Figura 7, apreciándose que la velocidad desarrollada por las probetas durante el período de exposición arroja valores altos durante los primeros 30 días, mayores a $0,1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ para ambos muros, siendo más altos en el muro con mayor contenido de cemento **MFB-adobe-MRD**. A partir de ese momento las velocidades están por debajo de $0,1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$, indicando niveles de corrosión despreciables, lo cual coincide con los resultados de potenciales.

Es importante mencionar que se realizó una inspección visual a todas las probetas expuestas en el ambiente natural urbano desde el mismo momento que fueron expuestas, ésta se llevó a cabo en la superficie de los muros y al final de la exposición en el acero de refuerzo, una vez destruidas las probetas. Durante los primeros 15 días todas las probetas evidenciaron agrietamiento de 0,2 mm de ancho a través de toda la superficie, estas grietas fueron acentuándose en el tiempo y llegando a medir 0,8 mm promedio al final del ensayo, sin embargo, una vez destruida la probeta el agrietamiento solamente estaba presente en el mortero de friso, el acero de refuerzo estaba sano para cualquiera de los muros con 12 o con 16% de cemento en el friso.

*is that in wall reinforced adobes that they have mortars of internal reinforcement **MRD** with relation $a/c=0,50$, if the cement content is diminished in the mortar of stucco from 16% **MFB** to 12% **MFA**, the permeability coefficient is increased in a 65%, $3.29 \cdot 10^{-8}$ cm/s to $9.39 \cdot 10^{-8}$ cm/s. These results indicate that an improvement in the quality of stucco when increasing the content of cement, leads to a reduction of the permeability in a third of its initial value. However, if the three-phase specimens test with smaller coefficient of permeability is **MFB-Adobe-MRD** ($3.29 \cdot 10^{-8}$ cm/s) compared with the mortar of internal reinforcement **MRD** w/c=0,50, ($9.371 \cdot 10^{-9}$ cm/s) in the first, its coefficient of permeability is 30 times greater, which indicates that the use of this material must be evaluated carefully in marine environment and of high atmospheric humidity, since the corrosion risk is much greater than in the concrete materials.*

3.4. Electrochemical properties

*In the Figure N°6 appears the potentials of corrosion of the walls reinforced adobe **MFA- adobe-MRD** and **MFB- adobe-MRD**, is possible to be observed that during the 200 days of exhibition, the steel reinforcement of both walls stays in the rank of values of passivity, revealing a greater tendency towards the values of uncertainty in the wall whose stucco contains more cement (16%), **MFB-Adobe-MRD**.*

*Corrosion rate of the walls is reported in the Figure 7, in the same one is appraised that the corrosion rate developed by the specimen test during the period of exhibition throws high values during the first 30 days, greater to $0.1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ for both walls, being higher in the wall with greater cement content **MFB-adobe-MRD**. In that moment the corrosion rate are below $0.1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$, indicated despicable levels of corrosion, which agrees with the results of potentials corrosion.*

It is important to mention that a visual inspection to all the specimen test exposed in the natural atmosphere from the same moment that they were exposed, this was made to the surface of the walls and at the end of the exhibition in the reinforcement steel, once destroyed the specimen test. During the first 15 days all the specimens test demonstrated cracking of 0.2 mm wide through all the surface, these cracks were being accentuated in the time and getting to measure 0.8 mm average at the end of the test, nevertheless once destroyed the specimens test the cracking was only present in the mortar of stucco, the reinforcement steel was healthy for anyone of the walls with 12 or 16% of cement in stucco.

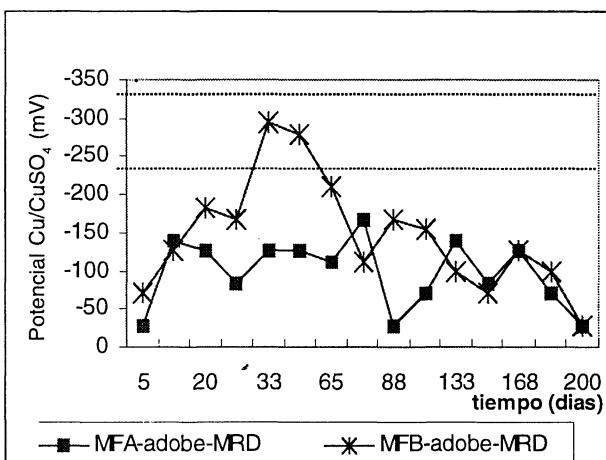


Figura 6.- Potenciales de corrosión de los muros expuestos en ambientes naturales.

Figure 6.- Potential corrosion of the wall reinforcements in natural atmosphere.

4. CONCLUSIONES

Las propiedades físicas estudiadas para los dos tipos de diseño de muro evaluados, **MFA-adobe-MRD** y **MFB-adobe-MRD**, indican que algunos de estos valores y los de sus componentes están fuera de los rangos recomendados para construcciones de hormigón durable: porosidad $\leq 15\%$, permeabilidad al agua $K \leq 10^{-14} \text{ cm/s}$, absorción capilar con valores de $S < 5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^{1/2}$. En términos de durabilidad el mayor beneficio en este tipo de sistemas se obtiene optimizando la calidad del mortero que se emplea como friso. Se debe trabajar en proporcionar valores referenciales para materiales de adobe.

Cabe destacar que, a pesar de estos valores, en las propiedades físicas, el acero no evidenció signos de corrosión durante el tiempo de exposición, según los resultados electroquímicos. Se está evaluando aumentar el tiempo de exposición, otros diseños de muros y exponerlos en ambientes más severos, ya que los parámetros reportados en las propiedades físicas indican que el adobe es muy sensible a los mecanismos de absorción y permeabilidad.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico (CDCHT) de la Universidad Centroccidental “Lisandro Alvarado”, por el financiamiento otorgado para la prosecución de este proyecto. Al igual que a los técnicos del laboratorio de Química de los Materiales y de Materiales de Construcción del Decanato de Ingeniería Civil.

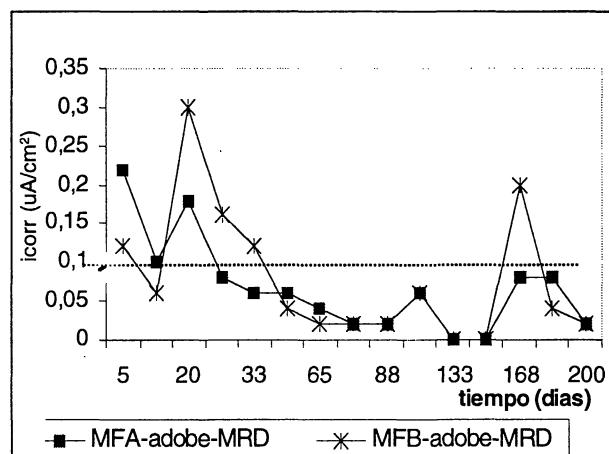


Figura 7.- Velocidad de corrosión de los muros expuestos en ambientes naturales.

Figure 7.- Corrosion rates of the wall reinforcements in natural atmosphere.

4. CONCLUSIONS

*the studied physical properties for both types of evaluated design of wall reinforced adobe, **MFA-Adobe-MRD** and **MFB-Adobe-MRD**, indicate that their values and the ones of their components are outside the ranks recommended for constructions of concrete durable: porosity $< 15\%$, permeability to the water $K < 10^{-14} \text{ cm/s}$, capillary absorption with values of $S < 5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^{1/2}$. In durability terms the greater benefit in this type of systems is obtained optimizing the quality of the mortar that is used like stucco, is due to work in providing referential values for materials of adobe.*

However, in spite of these values the reinforcement steel did not demonstrate corrosion signs during the time of exhibition. It is being evaluated for greater time of exhibition these walls, other designs of mixtures and walls and in more severe atmospheres, because the parameters reported in the physical properties indicate that the material is very sensible to the mechanisms of diffusion, absorption and permeability.

ACKNOWLEDGEMENTS

To the Council of Scientific Development (CDCHT) of the Centroccidental “Lisandro Alvarado”, by the financing granted for the continuation of this project. Like to the technicians of the laboratory of Chemistry of the Materials and Construction equipments of the Deanship of Civil Engineering.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) P. Helene: *Introducao da durabilidade no projeto das estruturas de concreto*. Workshop Durabilidade Das Construcoes ANAI S, pp. 31-42 Sao Paulo Brasil, 1997.
- (2) C. Andrade: *Vida útil de las estructuras de hormigón armado: obras nuevas y deterioradas*. Instituto de la Ciencia de la Construcción Eduardo Torroja CSIC. Seminario Reparación de Estructuras de Hormigón Dañadas Por Corrosión. CEMCO-95 Madrid, 1995.
- (3) G. Fagerlund: *On the Capillarity of Concrete*. Nordic Concrete Research, N° 1, Oslo (1982), p.6.
- (4) O. Valenta O. *The permeability and durability of concrete in aggressive conditions*. Proceedings of 10 the international Congress on large Dams. Montreal, 1970
- (5) J. M. Bonilla, L. Diaz, A. J. Garcia. *Evaluación de los morteros a base de suelo-cemento usados como friso de muros del mismo material. Caso barrio La Lucha*. Tesis de grado DIC-UCLA Barquisimeto. Venezuela, 1995.
- (6) G. Pérez, R. Melo, R. E. Malavé. *Caracterización de la permeabilidad, porosidad y absorción capilar de los muros portantes de adobe reforzado y sus materiales componentes*. Memorias del Colloquia 2002, LUZ-UCLA Maracaibo-Venezuela, 2002
- (7) L. Castro, H. Rojas: *Estudio de la durabilidad de muros portantes de adobe reforzado, tomando como base propiedades electroquímicas, fisicoquímicas y mecánicas*. Tesis de grado DIC-UCLA Barquisimeto, Venezuela, 2001
- (8) Red DURAR-CYTED. *Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en estructuras de Hormigón armado*. CYTED, p. 121, España, 2^{da}. edición 1998.
- (9) J. W. Figg: *Method of measuring the air and water permeability of concrete*. Magazine of Concrete V. 25 N° 85, dic. (1973), pp. 213-219.
- (10) P. B. Bamforth: *Relations between permeability coefficients for concrete obtained using liquid and gas*. Magazine of Concrete V. 39 N° 138, march (1987), pp.3-11.

* * *

SEMINARIOS TORROJA '2004 Ciclo nº 45

Tema:

”TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN Y DE SUS MATERIALES”

Actuarán como ponentes:

Álvaro García Meseguer, sobre:
”Ciencia, Tecnología y Creatividad”
(29 de abril)

Carlos Ferrater Lambarri y José María Valero Suárez, sobre:
”Estación del Ave en Zaragoza”
(13 de mayo)

Juan José Arenas de Pablo, sobre:
”Proyectos recientes de puentes y edificios singulares”
(27 de mayo)

Mike Schlaich, sobre:
”Estructuras ligeras”
(10 de junio)

Manuel Fernández Cánovas, sobre:
”Torres vigías y fortificaciones en la costa del antiguo Reino de Granada”
(24 de junio)