

## INTERFAZ DE GRAVILLA DE LOS FRISOS DE CAL DE LAS CASAS DEL CENTRO HISTÓRICO DE MARACAIBO, VENEZUELA

### GRAVEL INTERFACE OF LIME RENDERING OF THE HOUSES OF HISTORICAL CENTRE OF MARACAIBO, VENEZUELA

S. Pineda Muñoz (1), R. Bustamante (2)

(1) Associate Professor, Universidad del Zulia de Maracaibo, Venezuela

(2) Associate Professor, Universidad Politécnica de Madrid.

#### Resumen

Se analizan los frisos o revocos de las pocas viviendas construidas a fines del siglo XIX, y que aún existen, en el casco histórico de Maracaibo, cuya característica peculiar es que se componen de dos capas, con una gravilla en la interfaz de contacto entre ambas. Los granos proceden de la desagregación de la misma piedra con la cual se ha levantado la mampostería de estas construcciones, una arenisca lutítica ferruginosa conocida como "piedra de ojo", cuya formación está ligada a la sedimentación del lago Maracaibo.

Estos revocos amasados con agua salada son de cal y una carga inerte compuesta de arena, arcilla, óxidos de depósitos fluviales y adiciones de fibras vegetales. A partir del análisis granulométrico se ha determinado aproximadamente la composición en volumen de cal/arena-arcilla de las muestras analizadas, con una alta proporción de agregados. Son muy porosos y con baja resistencia mecánica, habiéndose determinado solamente en una de las muestras el módulo de elasticidad dinámico.

**Palabras claves:** arenisca lutítica ferruginosa, "piedra de ojo", interfaz de gravilla, revoco de cal, adiciones, fibras vegetales, agua salada,  $E_{din}$ .

#### Introducción

En la Ciudad de Maracaibo ha surgido una preocupación por la pérdida acelerada de las viviendas situadas en el centro histórico, lo cual motivó que en 1992 fueran declaradas patrimonio arquitectónico regional para protegerlas de posibles demoliciones (fig. 1). Las fachadas están construidas con mampostería de la arenisca "piedra de ojo" o con bahareques de caña, revestimientos con frisos de cal y pintura en colores intensos.

#### Summary

Renderings of a few still standing houses, built around the end of the XIX Century, and located in Maracaibo Historical Center were analyzed, and it was noted, as a particular characteristic, that said renderings are made up of two layers, having a gravel interface between both layers. Grains come from the disintegration of the same stone used in building the masonry of these constructions, which is a lutitic (shaley) sandstone with ferruginous matrix known as "eye stone sandstone", which is intimately linked to the sedimentation of the Lake of Maracaibo.

These lime renderings were mixed with salt water, and they are made of lime and an inert charge composed of sand, clay, fluvial oxide deposits and vegetable fiber additions. From samples grain size analysis the volumetric composition of the lime/sand-clay has been approximately determined, having a high proportion of aggregates. They are quite porous and have low mechanical resistance, and the dynamic elasticity modulus was determined only in one of the samples.

**Key words:** sandstone "eye stone", gravel interface, lime rendering, additions, vegetable fibers, salt water, dynamic elasticity modulus.

#### Introduction

There has been some concern in Maracaibo for the accelerated loss and deterioration of houses located in the City's Historical Center, which were declared regional architectural patrimony in 1992, in order to protect them from possible demolitions (Figure 1). The facades of these houses are built with "eye stone" sandstone masonry, or with walls made up with "bahareques" (plaited cane and mud), lime rendering coatings and are painted in very bright and intense colors.



Fig. 1. Viviendas del casco histórico de Maracaibo.  
Houses located in Maracaibo Historical Centre.

Habiendo sido desfavorables las reparaciones de los revestimientos con cemento Pórtland, en lugar de usar morteros de cal, por lo que este estudio aporta más conocimientos a los morteros tradicionales de Maracaibo.

Since coating repairs made with Portland Cement, instead of lime mortars, were unsuccessful, the purpose of this study is to provide more knowledge about traditional mortars used in Maracaibo.

**1. Objetivo del estudio**

**1. Object of the Study**

El objetivo del estudio es el análisis del sistema constructivo de los muros y sus revestimientos, por lo que la metodología abarca varias fases, aunque en el presente artículo se analizan principalmente las características de los frisos, aspecto sobre el cual existen pocas publicaciones (1).

The object of the study is the analysis of walls and their coatings construction, therefore the methodology has several phases within its scope, even though this article specifically analyzes the characteristics of the renderings, which is a subject not often seen in many publications. (1).

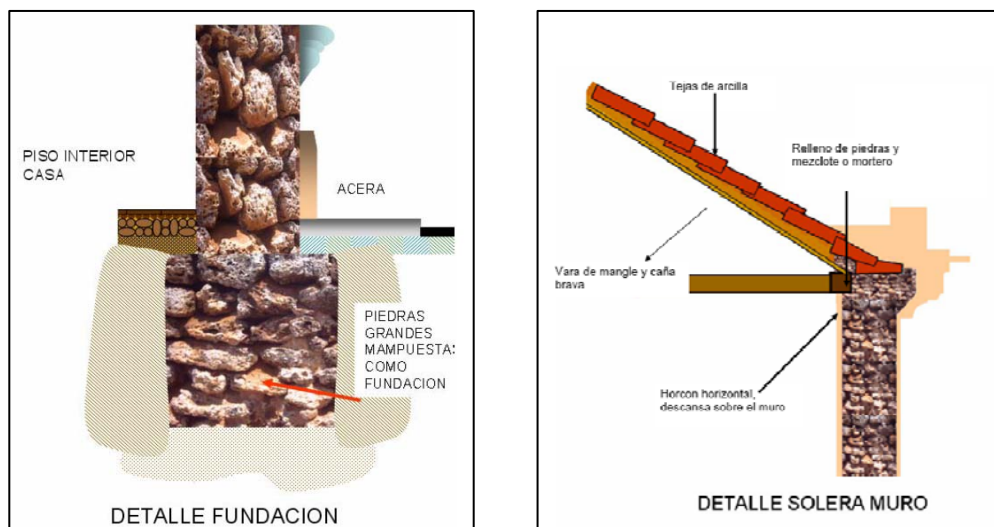


Fig. 2: a) Detalle de la cimentación. b) Sección de la mampostería del cerramiento.  
a) Foundation detail. b) Section of the masonry of the enclosure wall.

## 2. Descripción de la mampostería

La mampostería está construida en base a la arenisca piedra de ojo, que es extraída de la cantera y labrada, haciendo los cortes para que las capas de sedimentación sean perpendiculares a la dirección de las fuerzas a las que son sometidas

La cimentación está conformada por un basamento de piedras unidas por un mortero de cal y arena (fig. 2.a), las cuales son irregulares y de mayor tamaño, con un leve incremento de sección en la base de los muros, con el fin de aislarlos de la humedad debido al nivel freático alto, por la cercanía del lago.

Los muros son elementos portantes, de cerramiento y de particiones interiores, con buenas uniones en esquinas y encuentros, y vanos verticales con dinteles de madera. Además presentan verdugadas de lajas o ladrillos, para asentar mejor la colocación de la piedra.

El forjado es de viguetas de madera cubiertas con enea o palma. En la fig. 2b se observa la unión y el descanso del horcón sobre el muro, luego se colocaba el armazón de madera del tejado, sobre él las varas de mangle y caña brava, y finalmente las tejas.

## 3. Selección de edificios

Las fachadas de las viviendas estudiadas son angostas, miden de 7 a 11 m (sin espacios de separación), con ventanas a ambos lados o a un costado de la puerta de entrada (fig. 3). Las viviendas ocupaban toda el área de las parcelas dispuestas de manera muy peculiar con fondos muy largos, con el fin de aprovechar cada metro cuadrado de terreno ya que la densidad de población era muy alta: La ventilación se realizaba a través de patios interiores, y la distribución de los ambientes de la vivienda dependía del ancho de la parcela. Para la realización de esta investigación se tomaron datos y muestras de nueve viviendas que están situadas dentro de la poligonal que delimita el casco histórico, todas las cuales tenían fachadas de mampostería de piedra local con los revestimientos deteriorados.

## 4. Metodología de trabajo

Las lesiones que presentaban los frisos son básicamente desprendimientos y erosiones. Se detectó una pérdida de adherencia en un 70% de la fachada, a causa de daños provocados por falta de drenajes o insuficientes, y ausencia de zócalos, provocando la penetración de humedades.

## 2. Masonry description.

Masonry, in these cases, is built using "eye stone" sandstone, which is extracted from a quarry and is cut and molded as a block so that sedimentation layers are perpendicular to the direction of the forces to which they are subjected.

Foundation is made up by a basement of irregular and larger stones joined by a sand and lime mortar (Figure 2 a), with a slight increase towards the wall base section, in order to provide humidity insulation due to a high water table level, because of the proximity to the Lake of Maracaibo.

Walls are self-supporting, enclosing and with interior partitions, with good corner unions and meeting points, vertical bays and wooden lintels. Besides that they have layers of bricks with either stone slabs or bricks, in order to better support the placement of the stone.

The framework is of wooden beams covered with straw or palm leaves. In figure 2b we can see the union and resting point of the wooden column on the wall, followed by the placement of the wooden frame of the roof, mangrove tree branches and reeds, and finally the curved roof tiles on top of the roof.

## 3. Selection of the buildings

The facades of buildings studied are narrow, measuring from 7 to 11 meters (without any separation spaces between the houses), with windows on either side of the door or at only one of the sides of the entrance door (fig. 3). The dwellings studied occupied the whole area of the lots arrangement disposed in a very peculiar manner with very long depths in order to take advantage of every square meter of the terrain because of the high population density in the area. Ventilation was provided through interior patios, and the distribution of the house depended very much on the width of the lot of land. For this specific research, data and samples were collected from nine different dwellings located within the polygonal limiting the historic center of the city, and all these buildings had facades made with local stone masonry with much deteriorated coatings.

## 4. Work Methodology

Damages of the renderings are basically erosions and detachments. An adherence loss was detected in 70% of the façade due to damages caused by lack of drainage, or, insufficient

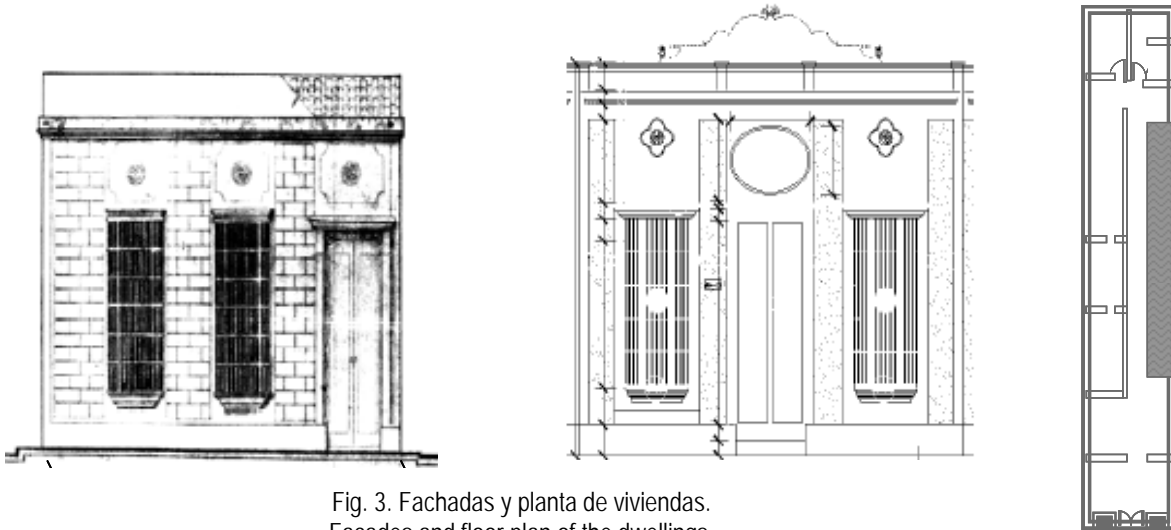


Fig. 3. Fachadas y planta de viviendas.  
Facades and floor plan of the dwellings.

También se observaron parcheados de mortero de cemento, con poca adherencia a la piedra de mampostería o al revoco antiguo.

*a. Fase de toma de muestras:* paralelamente a la toma de datos y de muestras se realizó un registro documental, fotográfico y planimétrico de las fachadas, en base a unas fichas previamente preparadas. Se continuó con la extracción de las muestras, y con el levantamiento de datos de las lesiones que presentaban.

*b. Fase de investigación:* las muestras fueron sometidas a diferentes análisis y ensayos de laboratorio para caracterizar el conglomerante y agregados a través de la composición mineralógica, granulometría y tamaño máximo de las fracciones finas y gruesas, las propiedades físicas y mecánicas, proporción de los componentes, y datos constructivos.

*c. Fase diagnóstica:* etapa de comparación de datos e interpretación de los mismos.

#### 4.1. Toma de muestras

Se tomaron las muestras en fachadas no intervenidas, es decir que no presentaban reparaciones con morteros de cemento, para asegurar la antigüedad y autenticidad del mortero, en número de tres por cada vivienda, en distintas partes, y de dos maneras, unas compactas y otras fragmentadas, aproximadamente 200 g por muestra. Se colocaron en bolsas plásticas debidamente identificadas y se seleccionaron las más compacta, capaces de resistir los ensayos.

drainage, and also the lack of baseboards which in turn provoked humidity seepage. Some cement mortar patches were also observed, having little adherence to the masonry stone or to the old renderings.

*a. Sample taking phase:* at the same time data and samples were taken, a documentary, photographic and survey registries of the facades were also made, based on some previously prepared index cards. Sample taking was continued, along with data of the damages presented.

*b. Research phase:* samples were submitted to different analysis and laboratory tests in order to characterize the bonding or adhesive material through their mineralogical, grain size and maximum size of fine and coarse fraction characteristics, physical and mechanical properties, amount of the components and constructive data.

*c. Diagnostic phase:* stage used for comparison and interpretation of data collected.

#### 4.1. Sample taking

Samples were taken in those facades which did not have any interventions, that is, did not have any mortar cement repairs, in order to ensure the authenticity and antique of the mortar. Three samples of approximately 200 grams each were collected per dwelling, in different areas, and in two different manners, compacted and fragmented. These were placed in plastic bags duly identified and those that were more compact were selected, because they were deemed to be stronger to resist the tests.

También se tomaron muestras de la piedra de los muros de mampostería (fig. 4).

A nivel macroscópico, los frisos presentan una primera capa o enfoscado adherido al muro de piedra, con mayor cantidad de tierra que en la capa de acabado, una interfaz de gravilla, y la segunda capa con una masa más limpia, ambas con adiciones de caña, paja, partículas de madera, y fragmentos de cerámica.

### 5. Características de la arenisca “piedra de ojo”

De acuerdo al análisis petrográfico, es una arenisca lutítica ferruginosa, con abundante porosidad móldica (geológicamente correspondería a una subgrauvaca -areniscas líticas con matriz ferruginosa). Se ha detectado además que está intercalada con conglomerados silíceos polimícticos, de mayor cohesión y dureza que la propia roca subgrauváquica. La redondez de los clastos es una evidencia de que se ha desarrollado en ambientes fluviales.

La composición química según la espectrometría por difracción de rayos X (EDX), arroja una composición de 70 % de óxido férrico  $Fe_2O_3$ , como elemento principal de la piedra, de allí su color rojizo oscuro, 25,92 % de sílice, y en menores proporciones, óxidos de manganeso, potasio y calcio. Debido a su naturaleza silícea y matriz cementante arcillosa, es muy fácil que los cationes intersticiales sean fácilmente removilizados, por lo que es bastante normal que tiñan las paredes y las manos en presencia de humedad. Por lo que necesita ser revestida para evitar que el agua exude y arrastre los óxidos de hierro.

Esta piedra tiene una densidad aparente de 2,13  $g/cm^3$ , y un coeficiente de absorción de 9%. La gravilla procede de la desagregación de la matriz cementante de la arenisca y del machaqueo de los clastos.

### 6. Análisis de los morteros de los frisos

Los resultados del análisis por difracción de rayos X (EDX) de los morteros, confirmaron la naturaleza caliza del conglomerante, óxido de calcio (Tabla 1), y de los componentes mayoritarios de las arenas, arcillas, y piedras ferruginosas, como sílice, óxido férrico, de titanio, potasio, y trióxido de azufre. La presencia de manganeso está asociada principalmente a los elementos orgánicos, pero la de los demás óxidos y elementos químicos, por ejemplo, oro, zirconio, cobre y zinc, obedecería a la

Some stone samples from the masonry walls were also taken (Figure 4).

At a macroscopic level renderings show a first mortar layer adhered to the stone wall, with a larger amount of sand than in the finishing layer, a gravel interface, and a second layer with a cleaner mass, both of them having additions of straw, reeds, wooden particles and ceramic fragments.

### 5. Characteristics of the “eye stone sandstone”

According to the petrographic analysis this is a ferruginous *lutitic* (shaley) sandstone, with abundant molded porosity (geologically it would correspond to a subgrauwacke – lutitic (shaley) sandstone with ferruginous matrix). Moreover, it has been detected that it is interlinked with polymictic siliceous conglomerate of more cohesion and strength than the subgrauwacke rock. The roundness of the clasts is proof of their fluvial environmental development.

According to X Ray Diffraction Spectrometry (EDX) the chemical composition shows 70% ferric oxide ( $Fe_2O_3$ ) as principal element of the stone, as indicated by its dark red color, a 25, 92 % de silica, and amounts of manganese, potassium and calcium oxide in smaller proportions. Due to its siliceous nature and shaley cementing matrix, it is very easy for interstitial cations to be moved again, dyeing walls and hands whenever there is humidity in the environment. Therefore it needs to be covered in order to avoid water seepage and iron oxide carry-overs.

This stone has a 2.13  $g/cm^3$  apparent density and a 9% absorption coefficient. Gravel comes from the disintegration of the cementing sandstone matrix and the pounding of the clasts.

### 6. Mortar renderings Analysis

Results of mortars X Ray Diffraction analysis (EDX) confirmed the limestone nature of the bonding or adhesive material, calcium oxide (Table 1), and the principal components of the sands, clays, ferruginous stones, such as silica, ferric, sulfur and potassium oxide and titanium trioxide. The presence of manganese is mainly associated with the organic elements, but the presence of other chemical and oxide elements, such as gold, zirconium, copper and zinc would be due to the origin of fluvial inert material deposits from the Maracaibo soil.

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
CaO	64,963	80,626	59,673	65,316	56,493	48,625	56,869	68,971	60,883
SiO <sub>2</sub>	23,122	10,544	27,128	24,555	25,427	31,840	29,222	23,183	29,155
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,712	1,932	8,096	3,497	4,727	7,244	4,492	4,716	6,172
SO <sub>3</sub>	0,900	0,938	0,473	1,043	4,235	0,887	6,575	0,000	0,890
Cl	3,625	4,632	1,505	2,891	6,497	2,039	1,272	1,863	1,110
K <sub>2</sub> O	3,027	1,035	2,431	2,119	1,605	2,598	0,966	1,091	1,245
TiO <sub>2</sub>	0,536	0,226	0,693	0,399	0,541	0,000	0,334	0,000	0,514
SrO	0,050	0,035	0,000	0,090	0,072	0,036	0,037	0,044	0,031
MnO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,119	0,000	0,000	0,132	0,000
ZnO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,231	0,063	0,198	0,000	0,000
Au <sub>2</sub> O	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,035	0,000	0,000
ZrO <sub>2</sub>	0,000	0,032	0,000	0,090	0,053	0,000	0,000	0,000	0,000
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	6,667	0,000	0,000	0,000
Cu <sub>2</sub> O	0,065	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	100,00	100,00	99,00	100,00	99,881	99,999	100,00	100,00	100,00

Tabla 1. Composición química de las muestras analizadas por EDX.  
Chemical composition of the samples analyzed by EDX.

procedencia del material inerte, de los depósitos fluviales del suelo de Maracaibo. El contenido de cloruros se explica por el amasado con agua del lago y la presencia de partículas volátiles del aire.

**6.1. Granulometría de los morteros**

Para determinar la granulometría de los componentes de los morteros se ha aplicado la norma venezolana COVENIN 255-98 (2). Empleándose los tamices para la fracción granular gruesa N° 3/8" (9,52 mm), N° 4" (4,75mm) y para la fracción granular fina, tamices N° 10 (2,00mm), N° 20 (850 µm), N° 40 (425 µm), N° 60 (250 µm), N° 100 (150 µm), y N° 200 (75 µm).



Fig. 4. Mampostería de "piedra de ojo" sobre la que se aplica el enfoscado o capa previa.  
"Eye Stone" masonry upon which a previous coating or plastering is applied.

Chloride content is explained by mixing the material with water from the lake, and the presence of volatile particles in the air.

**6.1. Grain size analysis of the mortars**

Venezuelan Standard COVENIN 255-98 (2) has been used in order to determine the grain size analysis of the components of the mortars using N° 3/8" (9,52 mm), and N° 4" (4,75mm) sieves for the coarse size fraction and N° 10 (2,00mm), N° 20 (850 µm), N° 40 (425 µm), N° 60 (250 µm), N° 100 (150 µm), and N° 200 (75 µm) sieves for the fine size fraction.



Fig. 5. Gravel interface on top of the plastering or first rendering coat.  
Interfaz de gravilla sobre el enfoscado o primera capa del friso.

Mortero	Arena gruesa o gravilla	Arena fina	Cal y arcilla	Retenido acumulado (%)	Fracción gruesa (arenas) (%)	Fracción fina (cal-arcilla) (%)	Dosificación Cal:arcilla-arcilla (en volumen)
Tamiz	Nº 4	Nº 200	Nº 200				
M1	7,20	78,20	14,60	100	85,40	14,60	1:2
M2	8,80	82,90	8,30	100	91,70	8,30	1:3 2/3
M3	3,40	92,70	3,90	100	96,10	3,90	1:8
M4	12,10	84,80	3,10	100	96,90	3,10	1:10
M5	2,00	93,80	4,20	100	95,80	4,20	1:7 1/2
M6	3,50	94,60	1,90	100	98,10	1,90	1:17
M7	25,00	53,10	21,90	100	78,10	21,90	1:1 1/5
M8	1,20	89,10	9,70	100	90,30	9,70	1:3 1/8
M9	1,00	86,10	12,90	100	87,10	12,90	1:2 1/4

Tabla 2. Resultados del análisis granulométrico (retenidos acumulados en %) en base a los tamices Nº 4 (fracción gruesa) y Nº 200 (fracción fina). Resultados de la dosificación en volumen base a estos retenidos.

Table 2. Results from grain size analysis (% of accumulated retentions) based on Nº 4 sieves (coarse fraction) and Nº 200 ones (fine fraction). Proportion results in volume are based on these retentions.

Con la finalidad de determinar la composición volumétrica de los morteros, se han agrupado las fracciones gruesas (arenas), para proceder en base a la densidad media de éstas ( $\gamma=1,50 \text{ g/cm}^3$ ) y de las fracciones finas ( $\gamma= 0,50 \text{ g/cm}^3$ ), obtener las dosificaciones cal/arena-arcilla (Tabla 2). Los resultados demuestran que los morteros son bastante pobres, con alta proporción de arenas finas.

Por ejemplo, la muestra M6 tendría 17 partes de agregados para 1 parte de cal, poco resistente como revestimiento, por lo que ésta y las muestras 3, 4, 5 no podrían resistir acciones erosivas. Tratándose de morteros envejecidos, la única explicación es que han sufrido un proceso de deslavado con pérdida del conglomerante.

Si comparamos estos resultados con los de la Tabla 1, la muestra M6 tiene además menos proporción de carbonato cálcico y una alta proporción de escandio entre sus componentes, del que carecen las demás muestras, y que como se ha mencionado, proceden del entorno del lago Maracaibo.

## 6.2. Caracterización físico-mecánica de los morteros

Los mismos morteros fueron caracterizados para determinar su densidad aparente, obteniéndose una media de  $1,74 \text{ g/cm}^3$ , densidad relativa de  $2,26 \text{ g/cm}^3$ , y el coeficiente de absorción en función de estas densidades (3).

In order to determine mortars volumetric composition coarse sized fractions have been grouped in order to proceed based on their medium density ( $\gamma=1,50 \text{ g/cm}^3$ ) and for the fine sized grains ( $\gamma= 0,50 \text{ g/cm}^3$ ), thus obtaining lime/sand-clay proportions (Table 2). Results show that mortars are quite poor, having a high fine sand proportion.

For example, M6 sample would have 17 parts of aggregates to 1 part lime, having therefore little resistance as a coating, and, therefore, this sample, as well as samples 3, 4, and 5 could not resist erosive actions. When we are dealing with old mortars the only explanation that can be provided is that they have suffered a washed up process with the loss of the cohesive or adherent material.

If we compare these results with those shown in Table 1, sample M6 has a smaller proportion of calcium carbonate and a high proportion of scandium among its components, which are lacking in the other samples, and as it has been mentioned before, they come from the environment of the Lake of Maracaibo.

## 6.2. Mortars physical-mechanical characterization

Same mortars were characterized in order to determine their apparent density, obtaining a media of  $1,74 \text{ g/cm}^3$ , a relative density of  $2,26 \text{ g/cm}^3$ , and an absorption coefficient based on these densities (3).

Nº Muestra	Densidad aparente g/cm <sup>3</sup>	Densidad relativa g/cm <sup>3</sup>	Coefficiente absorción %	Velocidad ultrasonido m/s	E <sub>dinámico</sub> GPa	Dosificación Cal:arcilla-arena
2	1,66	2,39	18,40	870,00	0,125	1:3 2/3
8	1,67	2,30	16,40	610,00	0,062	1:3 1/8
7	1,68	2,40	17,80	703,33	0,083	1:1 1/5
1	1,73	2,09	10,00	1933,33	0,646	1:2
9	1,73	2,13	10,90	676,66	0,079	1:2 ¼
4	1,76	2,26	12,60	596,66	0,063	1:10
6	1,77	2,25	12,10	330,00	-	1:17
3	1,79	2,34	13,20	966,66	0,167	1:8
5	1,83	2,16	8,30	686,66	0,086	1:7 ½

Tabla 3: Resultados físicos y ultrasónicos y su comparación con la dosificación de los componentes en base a los resultados del análisis granulométrico

Table 3: Physical and ultrasonic results and their comparison with components proportions based on grain size analysis results.

Se observa que la tendencia es a menor densidad aparente mayor es el coeficiente de absorción ( $C_a$ ), que dependiendo de la cantidad de agua de amasado, varía de 18,40% a 8,30%. A mayor densidad aparente, mayor presencia de arenas en la dosificación y menor coeficiente de absorción (Ver Tabla 3).

It is also observed that when there is a smaller apparent density trend absorption coefficient ( $C_a$ ) is larger, and depending on the amount of mixing water it varies from 18.40% to 8.30%. With a larger apparent density there is a larger presence of sands in the proportion and a smaller absorption coefficient (See Table 3).

Respecto a los datos obtenidos en la medición ultrasónica, solamente fue dado por válido el de la muestra M1, pues los demás valores son menores a la velocidad del sonido en agua de mar =1400 m/s (4), e inclusive el valor medido para la muestra M6 es de 330 m/s, menor que la propagación del sonido en el aire = 340 m/s. El módulo de elasticidad dinámico ( $E_{din}$ ) de la muestra N° 1, es de 0,646 MPa para una dosificación 1:2, que se determinó en base al análisis granulométrico.

Regarding data obtained by means of ultrasonic measurement, only the one given by sample M1 was taken as valid, due to the fact that all other values are smaller at the sound of speed in sea water = 1400 m/s, and even the value measured by the M6 sample is of 330 m/s, less than the propagation of sound in the air = 340 m/s. The dynamic elasticity modulus ( $E_{din}$ ) of sample N° 1, is 0,646 MPa for a 1:2 proportion which was determined based on the grain size analysis.

Por otro lado, excepto la muestra 1, las muestras con una dosificación hasta 1:3 tienen un alto coeficiente de absorción que indica mayor agua de amasado y una red capilar fina por la presencia de más óxido de Calcio y menor presencia de sílice, como se aprecia en la composición química de la muestra 2 (Tabla 1). Solamente la muestra M5 tiene un  $C_a$  menor que la piedra de la mampostería, y además tiene más cantidad de agregados en su composición (ver Tabla 1).

On the other hand, with the exception of sample 1, samples with a 1:3 proportion have a high absorption coefficient which indicates a higher content of water used during the mixing process and a fine capillary network due to the presence of more Calcium oxide and a smaller presence of Silica, as can be seen in the chemicals composition of sample 2 (Table 1). Only M5 sample has a  $C_a$  amount smaller than for the masonry stone, and it has more quantity of aggregates in its composition. (see Table 1).

### 7. Sistema constructivo de los frisos

### 7. Rendering constructive system

Sin embargo, esta aparente falta de solidez de los morteros, está compensada por la presencia de una interfaz de gravilla que define el sistema constructivo de estos frisos. Luego de colocar el mampuesto de piedra de los muros con un mortero 2:6 (cal:arena), se deja secar durante dos días.

Nevertheless, this apparent lack of solidity of the mortars is compensated by the presence of a gravel interface which defines the constructive system of these renderings. After placing the rough or uncut stone of the walls with 2:6 mortar (lime: sand), it is left to dry during two days.

A continuación se prepara un enfoscado o friso de nivelación de proporciones 2:7, al que se le agregan pequeñas piedritas o gravilla de arenisca ferruginosa, de espesor variado, entre 0,5 mm a 2 mm aproximadamente, que se amasa adecuadamente. La rugosidad de la piedra facilita la buena adherencia del enfoscado. Luego la gravilla de arenisca se proyecta sobre el enfoscado y se repreta con una llana, se alisa y se deja secar. Finalmente se aplica la segunda capa o revoque que tiene menos arena que la primera capa, y se deja secar. Las lechadas de pintura se preparaban con polvo de óxidos de metales amasados con cal y agua, en diferentes colores, intensos y variados.

### 7.1. Función de la interfaz de gravilla

El árido de la interfaz tiene un tamaño variado que oscila entre 4 y 10 milímetros. Son granos que se rompen con el impacto del cincel, aunque se observaron de mayor tamaño usados como rellenos en algunas partes del muro. En la sección de la muestra obtenida, fig. 6, se observa el color más oscuro del enfoscado, por la mayor presencia de granos ferruginosos y arcilla, la interfaz de gravilla, la segunda capa más blancuzca o friso, y la capa de pintura al temple. Ambas capas tienen nódulos de cal sin hidratar, con presencia de fibras vegetales, que sirven para armar el mortero y reducir su permeabilidad.

La gravilla aplicada es un puente de adherencia que proporcionar rugosidad y dureza al enfoscado que no ha terminado de endurecer totalmente, y para poder aplicar la segunda capa. Teniendo en cuenta los datos ambientales de Maracaibo, también contribuye a regular el lento endurecimiento del enfoscado. Considerando que el clima a orillas del lago es cálido húmedo, con una temperatura diaria anual que oscila entre 25°C y 32°C, humedad relativa de 70%, y una precipitación pluvial anual de 510 mm más bien escasa. Esta gravilla, impide la evaporación rápida del agua de amasado, evita la formación de fisuras de retracción y favorece la consiguiente estabilidad dimensional frente a los cambios térmicos. Cumple la misma función que las cubriciones para proporcionar sombra cuando se aplican los revocos en verano con temperaturas superiores a 30°C.

Por otro lado, esta gravilla forma una especie de columna vertebral que le da más solidez al friso. La posibilidad de tinter la masa es menor, porque la matriz cementante tiene mayor capacidad de tinción, como se ha comprobado en laboratorio. Los morteros poseen un color rosa pero en ningún caso son rojizas. Actualmente, se continúa aplicando esta gravilla en la restauración de los frisos (5).

Later a 2:7 first layer is prepared, adding small stones or a ferruginous sandstone gravel, of a varied width, between 0.5 mm to 2 mm, approximately, which is adequately mixed. The roughness of the stone facilitates the adherence of the plastering. After this the sandstone gravel is projected upon the plastering and it is applied with a flat one, it is smoothed and left to dry. A second coat or plastering is finally applied with less sand than the first coat, and it is left to dry. Painting grouts were prepared with oxide metal powders mixed with lime and water, in different intense and varied colors.

### 7.1. Function of the gravel interface

The arid interface has a size oscillating between 4 and 10 millimeters. These are grains broken with the impact of the chisel, even though some larger size ones were observed used as fillings in some areas of the wall. In the section of the sample obtained, figure 6, a darker color is observed in the plastering, due to a higher presence of ferruginous grains and clay, a gravel interface, a second whiter rendering coating and the paint coat. Both coats have lime nodules without hydration, with vegetable fibers which serve to make up the mortar and reduce its permeability.

The applied gravel is an adherence bridge which provides roughness and hardness to the plastering which has not hardened totally, in order to apply a second coat. Taking into account Maracaibo environmental data, they also contribute to regulate the hardening of the plastering. Considering that the climate at the lake's shore is humid and warm, with an annual daily temperature ranging between 25° C and 32° C, a 70% relative humidity, and an annual rainfall of scarcely 510 mm, this gravel prevents quick evaporation of the mixing water, avoids the formation of retraction fissures and favors the resulting dimensional stability regarding these ambient changes. It fulfills the same function as the mortar covers (mixtures of sand, lime and water) providing shade when the renderings are applied in the summer when temperatures are higher than 30°C.

On the other hand, this gravel forms a kind of spine which provides more strength to the rendering. The possibility of tinting the mass is lesser, because the cementing matrix has a larger dyeing capacity, as has been proven in the laboratory. Mortars have a pink color, but in no case are red. This type of gravel is applied nowadays in the restoration of renderings (4).



Fig. 6. Interfaz de gravilla del friso.  
Gravel interface of the rendering.



Fig. 7. Presencia de fibras vegetales en la masa.  
Presence of vegetable fibers in the mass.

### 8. Conclusiones

a) Se concluye que las dosificaciones (cal:arcilla-arena) de los morteros de los frisos de las casas de Maracaibo es muy variada. Es posible que fuera una cuestión poco considerada, o bien, que por el proceso de envejecimiento y erosión, se haya producido un deslavado que ha afectado a la matriz de óxido de calcio.

### 8. Conclusions

a. It is concluded that mortar proportions (lime: clay – sand) used in the renderings of the houses of Maracaibo are very varied. It is possible that the question was not well thought out, or maybe, due to the process of aging and erosion a washing effect has been produced which has affected the calcium oxide matrix.

Mortars	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
CaO	64,963	80,626	59,673	65,316	56,493	48,625	56,869	68,971	60,883
SiO <sub>2</sub>	23,122	10,544	27,128	24,555	25,427	31,840	29,222	23,183	29,155
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,712	1,932	8,096	3,497	4,727	7,244	4,492	4,716	6,172
Proportions	1:2	1:3 2/3	1:8	1:10	1:7 1/2	1:17	1:1 1/5	1:3 1/8	1:2 1/4

Tabla 4. Composición y dosificación de los morteros.  
Composition and proportion mortars.

b) Se ha verificado que existe una correlación entre el análisis por difracción de rayos X y las dosificaciones obtenidas en base al análisis granulométrico, que se manifiesta en que la presencia de óxido de Ca alrededor de 60-65% y un máximo de sílice-óxido férrico de 30-35%, corresponde a una dosificación en volumen 1:2 ó 1:3 (Ver Tabla 4).

b. It has been verified that there is a correlation between the X Ray Diffraction Analysis and the proportions obtained based on grain size analysis, shown as a 60-65% Ca oxide presence, and a maximum of 30-35% silica-ferric oxide, corresponding to a volume proportion of 1:2 or 1:3 (See Table 4).

c) Se ha verificado también que existe una correspondencia entre los resultados de caracterización física y mecánica por medición ultrasónica (m/s) para determinar el E<sub>din</sub>, en las muestras M1 y M6, con la proporción de los componentes mineralógicos, así como respecto a la densidad aparente, densidad relativa y coeficiente de absorción. Aunque, no se puede concluir lo mismo, respecto a los demás resultados.

c. It has been verified that there is also a correspondence between physical and mechanical results obtained by means of ultrasonic measurement (m/s) to determine E<sub>din</sub>, in M1 and M6 samples, with the proportion of mineralogical components, as well as in regards to apparent density, relative density and absorption coefficient. We can not arrive at the same conclusions regarding other results.

En cualquier caso, la tendencia es de que a mayor densidad aparente, menor coeficiente de absorción, y mayor cantidad de agregados.

d) Finalmente, la interfaz de piedra ferruginosa se justificaría no solamente para aumentar la rugosidad del enfoscado o capa previa, sino para darle más rigidez a la masa y para protegerlo de una desecación rápida, dadas las condiciones ambientales exteriores superiores a 30°C.

e) Estos resultados han permitido aportar más conocimientos a los revocos de cal del casco histórico de Maracaibo y aunque no se pretende recomendar que la composición de la muestra M1 sea la más adecuada, por tratarse de morteros históricos que ya no se fabrican, sí es un referente en las obras de restauración sobre las cualidades que deben tener, puesto que se adaptan a las deformaciones de las mamposterías de arenisca.

In any case, the trend is towards a larger apparent density, a smaller absorption coefficient and a larger amount of aggregates.

d. Finally, the ferruginous stone interface would be justified, not only to increase roughness of the previous coating but also to increase rigidity of the mass, and to protect it from rapidly drying, given exterior environmental conditions above 30°C.

e. These results have provided more knowledge about lime renderings used in houses located in Maracaibo Historical Center, and even though the intention is not to recommend M1 sample as the most adequate, due to the fact that these mortars are no longer made, it is a reference point for restoration works and their qualities, because they adapt themselves to deformations in sandstone masonry.

#### References:

- (1) Pineda S. and Bustamante R. (2008), *Lime rendering of the houses of historical core of Maracaibo, Venezuela. Historical Mortars Conference, HMC 08. Lisboa.*
- (2) COVENIN 255 (1998). *Agregados. Determinación de la composición granulométrica*. FONDONORMA: Caracas. *Aggregates. Determination of grain size composition.*
- (3)  $C_a = 1/\text{apparent density} - 1/\text{relative density} \times 100$
- (4) Burdic W. S. (1991), *Underwater Acoustic System Analysis*. 2<sup>nd</sup> ed. Prentice Hall.
- (5) Henneberg de Leon, Andrea Mara. 2008 *"Rehabilitación de Muros de Baharaque en el estado Zulia. Capilla San Antonio y casa natal de Rafael Urdaneta"*. Revista PORTAfolio, Volumen 2, número 18, julio-diciembre 2008.

---

Susana Eugenia Pineda Muñoz, E-mail: [spmven@hotmail.com](mailto:spmven@hotmail.com), Architect, Associate Professor of the Universidad del Zulia de Maracaibo. (LUZ), Venezuela. At present time she is preparing a Thesis for a PhD titled: "Study of the materials composing the constructive system of the houses located in Maracaibo Historical Center", under the direction of Rosa Bustamante, PhD in Architecture, Universidad Politécnica de Madrid, [mpe.arquitectura@upm.es](mailto:mpe.arquitectura@upm.es)