

Efecto de los recubrimientos de pintura sobre la resistividad al vapor en yesos

Effect of paint on vapour resistivity in plaster

L. de Villanueva^(*)

Recepción/Received: 12-II-06
Aceptación/Accepted: 3-X-07
Publicado online/Online publishing: 1-XII-2008

RESUMEN

Se estudia el fenómeno de la resistividad al vapor de los de yeso y el efecto impermeabilizante que producen los recubrimientos de pintura sobre diversos tipos de yeso y escayola. Para ello, se ensayan probetas desnudas y recubiertas con distintos tipos de pintura, así como coloreados en masa. Se obtienen valores experimentales de la difusividad o permeabilidad al vapor o su inverso la resistividad al vapor de agua.

Los datos obtenidos son muy útiles para valorar el fenómeno del intercambio de humedad entre el yeso y el ambiente, tanto durante el proceso de su secado inicial, como en el transcurso de su vida. Así como para disponer soluciones adecuadas para la evacuación del vapor de agua a través de los cerramientos, para utilizar la capacidad de regulación de la humedad, que proporciona el entramado poroso de los productos de yeso, o para impedir el paso del vapor de agua y evitar condensaciones.

Como resumen de la investigación, se puede decir que la coloración en masa y las pinturas al agua, así como los hidrofugantes de silicona aumentan muy poco la resistencia al vapor. Por el contrario las pinturas plásticas y en mayor medida los esmaltes y las lacas aumentan un promedio de 5, 10 y 20 veces respectivamente esta resistividad al vapor.

Palabras clave: yeso, pastas de yeso, permeabilidad al vapor, pinturas, cálculos termodinámicos.

SUMMARY

The vapour resistivity of plaster coatings such as paint and their effectiveness as water repellents were studied in several types of plaster. To this end, painted, unpainted and pigmented specimens were tested. Experimental values were collected on diffusion and vapour permeability, or its inverse, water vapour resistivity.

The data obtained were very useful for evaluating moisture exchange between plaster and the surrounding air, both during initial drying and throughout the life of the material. They likewise served as a basis for ensuring the proper evacuation of water vapour in walls, and use of the capacity of the porous network in plaster products to regulate moisture content or serve as a water vapour barrier to avoid condensation.

Briefly, the research showed that pigments, water-based paints and silicon-based water repellents scantily raised vapour resistance. Plastic paints, enamels and lacquers, however, respectively induced five-, ten- and twenty-fold increases in vapour resistivity, on average.

Keywords: gypsum, plaster, vapour permeability, paints, thermodynamic calculations.

^(*) E.T.S. Arquitectura de la Universidad Politécnica de Madrid (Madrid, España).

Persona de contacto/ Corresponding author: luis.devillanueva@upm.es

1. INTRODUCCIÓN

1.1. El yeso como regulador de la humedad

Los guarnecidos y los prefabricados de yeso son materiales porosos, con capacidad de absorber vapor de agua del aire cuando la humedad relativa es alta y, de devolverlo al ambiente, cuando baja el contenido de humedad. Se puede decir que transpiran y que se comportan, dentro de ciertos límites, como reguladores de humedad.

En el entramado poroso del yeso fraguado, la humedad se equilibra con la del ambiente exterior. Para cada condición ambiental, o sea para cada valor de temperatura y humedad relativa del aire, el yeso alcanza una humedad de equilibrio. La humedad de equilibrio tiene un periodo muy largo de estabilización, que según Dupont puede superar el año (1). En atmósferas consideradas como normales, con humedad relativa entre 60 y 80% y según diversas investigaciones dicha humedad de equilibrio se alcanza, según García Morales, entre el 0,1 y el 4,5% de su peso en seco. Se suele admitir como valor promedio un 1,0% (2).

El yeso en polvo siempre se amasa con más agua de la estrictamente necesaria para la reacción química de hidratación. Incluso, en el caso teórico de poder amasar con el agua estrictamente necesaria para la reacción química, el rehidrato formado también tendría una porosidad, que se puede calcular mediante los pesos moleculares y las densidades de los componentes. Así resulta una porosidad del 7% para la hidratación del semihidrato y de un 9,3%, para la de la anhidrita (3).

Después del fraguado, el exceso de agua se evapora y se produce una estructura más o menos porosa, en función de la cantidad de agua empleada en el amasado. Habitualmente según sean los diferentes tipos de yeso se obtienen porosidades entre el 30 y el 70%.

Los poros existentes en el yeso fraguado forman una compleja red capilar comunicada, ramificada y bastante abierta, por la que pueden introducirse moléculas de vapor de agua procedentes del aire exterior. Este vapor de agua puede permanecer almacenado e intercambiarse con el ambiente. En función de la humedad del aire en contacto con el yeso, el intercambio se realizará en un sentido o el contrario y así los yesos son capaces de transpirar y de actuar como reguladores de humedad. El S.N.I.P. ha evaluado estos parámetros resultando valores muy significativos.

También se debe considerar la velocidad de absorción de vapor y de desorción o secado por el entramado poroso del yeso. Dupont, estudio el fenómeno sobre probetas

1. INTRODUCTION

1.1. Plaster as a moisture regulator

Rough and precast plasters are porous materials that can absorb water vapour from the air when the relative humidity is high and return it to the atmosphere when the moisture content in the air declines. Within certain limits, they can be said to transpire and behave like moisture regulators.

Moisture in the pore network of set plaster reaches an equilibrium with the outside environment. For each environmental condition, i.e., for each temperature and relative humidity, equilibrium moisture is reached in plaster, which has a very long stabilization period: over a year, according to Dupont (1). Under what are regarded to be normal conditions, i.e., with a relative humidity of from 60 to 80%, equilibrium moisture ranges from 0.1 to 4.5% of the dry weight (García Morales). The accepted mean value is 1.0% (2).

Powdered plaster is always mixed with more water than strictly necessary to account for chemical hydration. But even if it were mixed with the amount of water strictly necessary for the chemical reaction to take place, the rehydrate formed would also exhibit porosity, which can be calculated from the densities and molecular weights of the components. After hydration, the porosity in plaster of Paris is 7%, for instance, and in anhydrite 9.3% (3).

After setting, the excess water evaporates and the remaining structure is more or less porous, depending on the amount of mixing water used. The usual porosity values for different types of plaster range from 30 to 70%.

The pores in set plaster form a complex, intercommunicating, branched and fairly open capillary network that can be penetrated by water vapour molecules in the outside air. This water vapour may remain in the plaster and later exchanged with the environment. The direction of this exchange depends on the moisture content of the air in contact with the plaster, which can therefore act as a moisture regulator.

Another parameter to bear in mind is the water vapour absorption and desorption rate in the pore network in plaster. Studying the question in industrial plaster speci-

de yeso industrial. Observó que la velocidad de humectación disminuye con el tiempo transcurrido, debido probablemente a la obturación de los poros por el agua absorbida. Sin embargo la desecación se realiza en períodos de tiempo mucho más breves y su velocidad es muy similar, en el transcurso del tiempo. El fenómeno observado también se puede deber al tamaño y la estructura de los poros. Así un entramado macroporoso, como es el caso del yeso, intercambia vapor con más facilidad que un material microporoso, aunque la porosidad abierta total sea igual. Esto produce diferentes valores de la difusión del vapor en los distintos materiales porosos utilizados en la construcción, como se muestra en la Tabla 1.

La medida de la permeabilidad se realiza mediante el coeficiente de difusividad al vapor o de su inverso la resistividad al vapor, tal como se define, por ejemplo, en la Norma Básica de la Edificación sobre Condiciones Térmicas (NBE-CT 79) (4). Y de lo que en la normativa europea se conoce como el factor μ que relaciona la resistencia a la difusión de vapor a través de un material poroso con la que opone el aire en reposo.

1.2. Datos de partida: hipótesis sobre el efecto impermeabilizador de los recubrimientos de pintura

Se conocía la hipótesis, defendida por el arquitecto Enrique Queirolo Varela (5), de suponer que todas las pinturas con la que se recubre el yeso son, en mayor o menor grado, un impedimento para su transpiración, tanto en la desecación de la obra, como en su acción de regulador de la humedad. Por lo tanto, se recomendaba que, para mantener la permeabilidad de los revestimientos y prefabricados de yeso, lo mejor es su coloración en masa.

Para comprobar experimentalmente la mencionada hipótesis se realizó un primer trabajo sobre el efecto de barrera de vapor que produce la pintura sobre guarnecidos y prefabricados de yeso. Los resultados confirmaron parcialmente la hipótesis y se comprobó el efecto impermeabilizante de diferentes tipos de pinturas (6). Las pinturas al esmalte reducen el paso del vapor de agua entre 5 y 10 veces más que las pinturas al temple o las plásticas.

Con una intención completamente contraria, o sea para evitar el paso del vapor de agua a través de los cerramientos de modo que se impidan las condensaciones capilares, el Departamento de Energía de Estados Unidos ha realizado un estudio sobre los retardadores de difusión de vapor y las barreras de aire (7). En él se indica que la mayoría de los revestimientos de pinturas retardan la difusión de vapor, pero no especifica valores concretos para los diferentes tipos de pintura.

mens, Dupont found that vapour uptake declined with time, probably due to pore obstruction by the water absorbed. Drying took place much more rapidly, however, at a rate that remained essentially unchanged over time. These findings may also be explained by pore size and structure. The macropore network in plaster, for instance, exchanges vapour more readily than a microporous material with the same total effective porosity. This explains the variation in vapour diffusion values for the different porous materials used in construction, as shown in Table 1.

Permeability is measured in terms of the vapour diffusion coefficient or its inverse, vapour resistivity, as defined in the Spanish building standard on thermal conditions (NBE-CE 79) (4), for instance, and by what is known in European codes as factor μ , which relates the resistance to vapour diffusion in a porous material to the resistance in still air.

1.2. Starting data: hypothesis on the waterproofing properties of paint

According to the hypothesis defended by architect Enrique Queirolo Varela, all paints covering plaster obstruct its transpiration to a greater or lesser degree, affecting both worksite drying and moisture regulation. This author consequently recommended the use of coloured plaster to maintain in situ and precast plaster permeability.

The results of an initial study conducted to determine the possible waterproofing effect of different types of paints partially confirmed the above hypothesis, for several paints created a vapour barrier (6). Enamel paints reduced water vapour exchange from five to ten times more than water-based or plastic paints.

Seeking the exact opposite effect, namely to prevent water vapour from permeating walls to avoid capillary condensation, the United States Department of Energy conducted a study on vapour diffusion retarders and air barriers (7). According to this report, most paints retard vapour diffusion, but no specific values were given for the various types of materials.

1.3. Valores de permeabilidad en la bibliografía

Se ha indagado en diversas publicaciones, así como en la normativa, sobre los valores comúnmente aceptados para las constantes higrométricas de diversas fábricas de albañilería y de sus revestimientos.

La permeabilidad al vapor o su inverso la resistencia al paso de vapor de agua a través de un elemento constructivo puede medirse de diferentes formas y con distintos parámetros. Conviene en este punto decir que no hay unanimidad para fijar los coeficientes más representativos, en especial en las unidades de medida utilizadas, lo que dificulta la comparación de los datos aportados por la bibliografía y dificulta la memorización de valores estandarizados, como es habitual en otros parámetros físicos de los materiales.

Para salvar este obstáculo, se utilizan los parámetros indicados en la Norma NBE-CT-79, en sus tablas 4.2 y 4.3. O sea, la resistividad al vapor de agua y la resistencia al vapor de agua. En cuanto a los dos sistemas de unidades utilizados en dichas tablas se ha elegido el de mmHg m² día / g cm, para la medida de la resistividad y el correspondiente mmHg m² día / g, para la de la resistencia, ya que resulta más sencillo obtener el valor de la diferencia de presiones, en el experimento realizado, expresado en mmHg que en MN / m².

En otros países europeos, especialmente en Alemania se utiliza el valor de la resistividad relativa al vapor de agua μ , que es la resistividad del paso del vapor de agua en relación con la resistividad que produce el aire en reposo. Al tratarse de un valor relativo no tiene unidades.

Con objeto de poder comparar los datos obtenidos de la bibliografía sobre el tema, se han pasado todos a resisti-

1.3. Permeability values in the literature

A number of papers, as well as codes and standards, were reviewed to determine the values generally accepted for masonry and masonry coating moisture constants.

Vapour permeability in a construction element or its inverse, resistance to water vapour diffusion, can be measured in a number of ways using several parameters. Since no consensus has yet been reached on the most representative coefficients or on the units of measure to be used, the data provided in the literature are not immediately comparable and standard values cannot be readily memorized as they are for other physical parameters.

To overcome this difficulty, the parameters specified in Tables 4.2 and 4.3 of Spanish standard NBE-CT-79, i.e., vapour resistivity and resistance, were used. Of the two systems of units recommended in the above tables, mmHg m² day/ g cm was chosen for resistivity and mmHg m² day / g for resistance, for in the experiment conducted the difference in pressure values was easier to obtain in mmHg than in MN / m².

Other European countries, Germany in particular, use relative water vapour resistivity, μ , which is the ratio of the resistivity to water vapour diffusion in the material to the resistivity in still air. As a ratio, μ is dimensionless.

All the data gathered from the literature on the subject were converted to resistivity, resistance and relative

Tabla 1 / Table 1
Valores de resistividad al vapor y resistencia relativa de materiales porosos.
Resistivity and resistance values for plaster products.

Material / Material	Fuente del dato / Source	Resistividad al vapor, r_v , mmHg m ² día/g cm / Vapour resistivity r_v , mmHg m ² day/ g cm	Resistividad relativa al vapor, μ / Relative resistivity μ
Aire en reposo / Still air	NTE-CT-79 y Neila (10) NTE-CT-79 and Neila (10)	0,004	1
Fábrica de ladrillo / Brick wall	NTE-CT-79	0,026-0,048	5,4-10
Cerámica porosa / Porous tile	Peradotto (11)	0,052	10,8
Fábrica de piedra / Stone wall	NTE-CT-79	0,13-0,39	27-79
Enfoscados y revocos / Rough plastering and rough rendering	NTE-CT-79	0,087	18
Hormigón / Concrete	NTE-CT-79	0,026-0,086	5,4-17,9
Hormigón / Concrete	Peradotto	0,015	3,1
Madera / Wood	NTE-CT-79	0,039-0,065	8,1-13,5
Madera / Wood	Peradotto	0,069	14

vidades al vapor y a resistencias relativas. Y en esta última transformación se ha utilizado un valor para la resistividad al vapor en el aire en reposo de 0,0048 mmHg m² día / g cm.

En la Tabla 1 se reflejan valores de resistividad y resistencia relativa al vapor, para diversos materiales de construcción.

En la Tabla 2 se recogen valores de resistividad y resistencia relativa, para diferentes unidades de yeso:

resistance. For the third parameter, the resistivity assumed for still air was 0.0048 mmHg m² day/ g cm.

Table 1 gives the vapour resistivity and relative resistivity values for different plaster elements.

Table 2 gives the vapour resistivity and relative resistivity values for a number of other construction materials, for comparison:

Tabla 2 / Table 2
Valores de la resistividad al vapor y de la resistencia relativa para productos de yeso.
Vapour resistivity and resistance values for porous materials.

Material / Material	Fuente del dato / Source	Resistividad al vapor r_v mmHg m ² día / g cm / Vapour resistivity r_v mmHg m ² day/ g cm	Resistividad relativa al vapor, μ / Relative resistivity μ
Enlucidos de yeso / Fine plaster	NBE-CT-79	0,052	10,8
Cartón-yeso, en placas / Plasterboard, plates	NBE-CT-79	0,039-0,052	8,1-10,8
Panel de yeso / Plaster panel	B.G.G.(8)	0,023	4,8
Mortero de yeso y arena de río 1:1 / Plaster and sand mortar, 1:1	B.G.G.	0,018	3,8
Guarnecido más enlucido de yeso / Rough plus fine plaster	B.G.G.	0,021-0,029	4,4-6,0
Panel de cartón yeso / Plasterboard panel	B.G.G.	0,035	7,3
Mortero de yeso (densidad 1200 kg/m ³) / Plaster mortar (density 1200 kg/m ³)	Eichler (9)	0,045	9,4
Enlucido de yeso (densidad 1000 kg/m ³) / Fine plaster (density 1000 kg/m ³)	Eichler	0,029	6,0
Placas prensadas de escayola con fibra de vidrio (densidad 1200 kg/m ³) / Pressed very fine plaster and fibreglass plates (density 1200 kg/m ³)	Eichler	0,062	13,0

1.4. Objetivos

Con la experiencia indicada, se había comprobado experimentalmente, de modo parcial y relativo el primer aserto de la hipótesis de Queirolo. Pero la falta de algunos datos del experimento impedían calcular los valores absolutos de las características higrométricas de las muestra ensayadas, para poderse comparar con los datos de la normativa y los aportados por la bibliografía, antes recopilados.

También era interesante comprobar el efecto de la coloración en masa, o sea la segunda parte de la hipótesis de Queirolo.

1.4. Objectives

The study mentioned above provided partial and relative experimental proof for the first part of the Queirolo hypothesis. But for want of certain experimental data, the absolute values of the moisture characteristics of the samples tested could not be calculated or therefore compared to the values specified in the standards or reported by other authors.

The effect of pigments in the plaster, i.e., the second part of the Queirolo hypothesis, was another aspect worth exploring.

Por ello se decidió realizar un nuevo trabajo mejorando el método experimental para tomar todos los datos necesarios, que permitieran obtener datos numéricos de las características higrométricas de las probetas.

2. PLAN EXPERIMENTAL

2.1. Materiales empleados

Se emplearon los siguientes productos:

- Yeso grueso de La Maruxiña. YG UNE 102010.
- Yeso fino de La Maruxiña. YF UNE 102010.
- Escayola de Yesos San Martín. E-30 UNE 102010.
- Pigmentos inorgánicos de Bayferrox 130 rojo, 320 negro, 960 ocre, cromo óxido verde y hierro óxido.
- Pintura al temple, blanca.
- Pintura plástica, rojo-Dante mate.
- Esmalte sintético, azul-cobalto.
- Laca de poliuretano, crema.
- Impregnante hidrófugo de silicona de Sika.

These considerations led to a second study in which the experimental method was improved to collect all the data needed to quantify moisture parameters.

2. EXPERIMENTAL

2.1. Materials used

The following products were used:

- *Spanish standard UNE 102010-compliant La Maruxiña YG rough plaster.*
- *Spanish standard UNE 102010-compliant La Maruxiña YF fine plaster.*
- *Spanish standard UNE 102010-compliant San Martín E-30 very fine plaster.*
- *Inorganic pigments: Bayferrox 130 red, 320 black, 960 ochre, green chromium oxide and iron oxide.*
- *White water-base paint.*
- *Red Dante matte plastic paint.*
- *Cobalt blue synthetic enamel.*
- *Off-white polyurethane lacquer.*
- *Sika silicon-base water repellent.*

Tabla 3 / Table 3
Plan experimental de la primera serie (incidencia de la coloración en masa).
Experimental schedule for the first series (effect of pigments).

Yeso / Plaster	A/Y / w/p	Color / Colour	% pigmento / % pigment
YF	0,8	Sin color / No colour	0
YF	0,8	Ocre 960 / Ochre 960	3
YF	0,8	Ocre 960 / Ochre 960	1
YF	0,8	Negro 320 / Black 320	3
YF	0,8	Negro 320 / Black 320	1
YF	0,8	Rojo 130 / Red 130	3
YF	0,8	Rojo 130 / Red 130	1
YF	0,8	Cromo óxido verde / Green chromium oxide	3
YF	0,8	Cromo óxido verde / Green chromium oxide	1
YF	0,8	Hierro óxido amarillo / Yellow iron oxide	3
YF	0,8	Hierro óxido amarillo / Yellow iron oxide	1

Se hicieron dos de series de ensayos:

La primera serie se destinó a comprobar el efecto de la coloración en masa, en la resistencia al vapor de revestimientos de yeso. Para ello, se confeccionaron probetas, en forma de placas de 10 x 10 cm y 1 cm de espesor, de yeso grueso, yeso fino y escayola 30, que se amasaron con una relación de agua/yeso de 0,8, con adición de pigmentos de diversos colores- ocre, negro, rojo, verde y

Two series of tests were conducted:

The first series was designed to verify the effect of pigments on the vapour resistance in plaster finishing. To this end, one centimetre thick plate specimens measuring 10 x 10 cm were made by mixing rough, fine or (30) very fine plaster with water at a water/plaster ratio of 0.8. Ochre,

amarillo- en proporciones de 1 y 3%, y sin adición de colorantes.

La segunda serie se realizó, con los mismos productos anteriores y una relación agua/yeso de amasado de 0,7. Se hicieron probetas sin tratar, coloreadas en masa o pintadas con pintura al temple, plástica, esmalte, laca y a la silicona.

Las Tablas 3 y 4 recogen el plan experimental.

black, red, green and yellow pigments were added to the mix in proportions of 1 and 3%, with no other dyes.

The second series was run with the above products and a water/plaster ratio of 0.7. Untreated, coloured and coated (with water-base, plastic and enamel paint, lacquer and silicone) specimens were prepared.

The experimental schedule is given in Tables 3 and 4.

Tabla 4 / Table 4
Plan de ensayo de la segunda serie.
Experimental schedule for the second series.

Tratamiento / Treatment	YG A/ Y =0,7	YF A/Y= 0,7	E-30 A/Y= 0,7
Sin tratamiento / <i>Untreated</i>	2 probetas	2 probetas	2 probetas
Pintura plástica mate / <i>Plastic paint</i>	2 probetas	2 probetas	2 probetas
Esmalte sintético / <i>Synthetic enamel</i>	2 probetas	2 probetas	2 probetas
Laca de poliuretano / <i>Polyurethane lacquer</i>	2 probetas	2 probetas	2 probetas
Pintura al temple / <i>Water-base paint</i>	2 probetas	2 probetas	2 probetas
Impregnante hidrófugo de silicona / <i>Sika silicon-base water repellent</i>	2 probetas	2 probetas	2 probetas
Coloración en masa 1% / <i>1% pigment</i>	3 probetas	3 probetas	3 probetas
Coloración en masa 3% / <i>3% pigment</i>	3 probetas	3 probetas	3 probetas
Coloración en masa 5% / <i>5% pigment</i>	3 probetas	3 probetas	3 probetas

2.2. Método de ensayo

2.2.1. Preparación de las probetas

Las probetas se hacen con los productos y la cantidad de agua y, en su caso de pigmento, indicadas, utilizando moldes de madera previamente lubricados. Terminado el fraguado se desmoldan las probetas y se someten a un proceso de secado natural, en atmósfera de laboratorio durante aproximadamente un mes, hasta peso constante en la primera serie, y a 30 °C, durante dos días en la segunda. Una vez secas las probetas se tratan superficialmente con los diversos tipos de pinturas o esmaltes indicados. Por último, una vez secado este tratamiento superficial en atmósfera de laboratorio, se procede a realizar el ensayo de permeabilidad al vapor.

2.2.2. Ensayo de permeabilidad al vapor

El ensayo de permeabilidad al vapor es un procedimiento conocido que está normalizado, por ejemplo en la ASTM E-99 (1990) o en la UNE 53.312 para materiales plásticos y la UNE-EN 1015-19:1999, para morteros de albañilería. Existen diversas variantes en función de que el vapor de agua entre o salga de un recipiente en condiciones higrométricas más secas o más húmedas que el ambiente exterior.

2.2. Test method

2.2.1. Specimen preparation

The powder products, amount of water and, as appropriate, pigment specified were mixed and poured into pre-lubricated wooden moulds. After they set, the first series specimens were removed from the moulds and dried naturally to a constant weight under laboratory conditions for approximately one month, while the second series was dried for two days at 30 °C. The dry specimens were then coated with the paint, enamel or other surface treatments. Lastly, after the surface treatment was dried under ambient laboratory conditions, the vapour permeability test was conducted.

2.2.2. Vapour permeability test

The vapour permeability test is a well known procedure standardized, for instance, in U.S. standard ASTM E-99 (1990) or Spanish standard UNE 53.312 for plastic materials and Spanish and European standard UNE-EN 1015-19:1999 for masonry mortars. The variations in place differ in whether the test induces water vapour entry into or exit from a vessel with a higher or lower moisture content than the outside air.

En nuestro caso se optó por el método del vaso húmedo. Consiste en tapar un vaso con agua con la probeta a ensayar y sellar la junta con silicona. Luego se introdujo el vaso y la probeta en una cámara climática Weis Tecmmit con controlador digital programable, de la temperatura y la humedad, para establecer una diferencia de presión de vapor entre el ambiente interior del vaso con una humedad relativa del 100% y el exterior, que en este caso es del 33% de humedad relativa, ambos a 40 °C. Lo que produce una diferencia de presión de 41 mmHg.

Se pesaron las probetas, en una balanza automática, con precisión de centésimas de gramo, solas así como montadas sobre el vaso con agua, tanto antes como después del ensayo. Por diferencia de pesadas se obtuvo la disminución de peso del conjunto, así como el aumento de peso de la probeta, que sumados aportan el flujo de vapor que sale del vaso y atraviesa la probeta. Por las condiciones del ensayo: de 0,00441 m² de superficie de la boca del vaso, 1 cm de espesor de la probeta, 3 días de tiempo empleado, y 41 mmHg de diferencia de presión de vapor, se obtiene el coeficiente de difusividad o permeabilidad al vapor d_v (g.cm/mmHg.m².día) o su inverso el de resistividad al vapor r_v (mmHg.m².día/g.cm).

Si comparamos el valor obtenido de la resistividad, con el del aire en reposo que es 0,00477 mmHg.m².día/g.cm, se obtiene el factor m o resistividad relativa respecto al aire.

En la Figura 1 se muestra el esquema del ensayo

In the moist vessel method used in this study, the specimens were placed on top of vessels containing water and sealed with silicone around the edges. Vessel and specimen were then stored in a Weis Tecmmit climatic chamber with digitally controlled programmable temperature and humidity to establish a vapour pressure difference between the environment inside the vessel, where the relative humidity was 100%, and the outside environment: in this case, with a relative humidity of 33%. The temperature was 40 °C both inside and outside the vessel. The difference in pressure recorded was 41 mmHg.

The specimens were weighed on an automatic scales with a precision to one hundredth of a gram, both alone and with the vessel, before and after the test. The overall decline in weight and the increase in specimen weight were summed to find the vapour flowing from the vessel. The test conditions were: area of the vessel opening, 0.00441 m²; specimen thickness, 1 cm; time, 3 days; vapour pressure difference, 41 mmHg. These values were used to find the diffusion coefficient or vapour permeability, d_v (g.cm/mmHg.m².day), or its inverse, vapour resistivity r_v (mmHg.m².day/g.cm).

Comparing the resistivity value obtained to the value for still air, 0.00477 mmHg.m².day/g.cm, gives the m factor or relative resistivity with respect to air.

The test procedure is depicted in Figure 1.

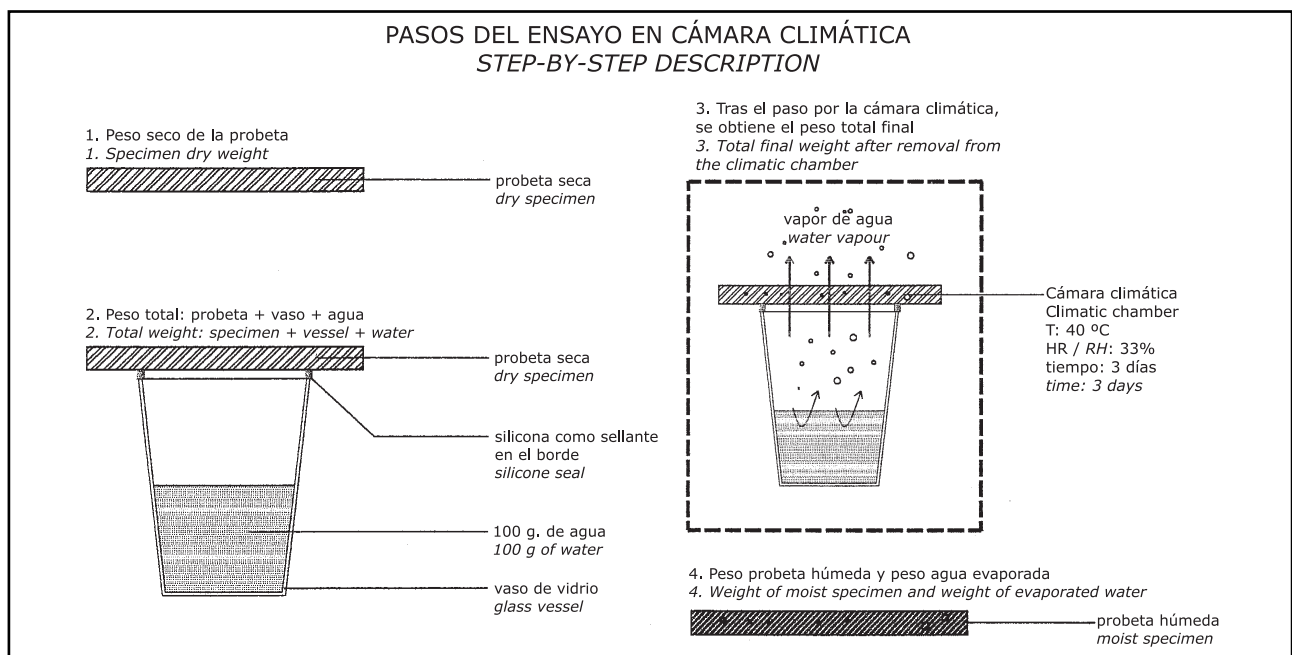


Figura 1. Esquema del ensayo.

Figure 1. Test procedure.

2.2.3. Otros ensayos

En la primera serie y con objeto de averiguar la posible influencia de la adición de pigmento en algunas propiedades físicas de las muestras, se realizaron ensayos de dureza superficial Shore C. Además, mediante el método gravimétrico de pesar las muestras secas, saturadas y sumergidas en agua se determinó el volumen aparente, el coeficiente de absorción y la porosidad abierta. Por último, se determinó el volumen real por medio de un volumenómetro. Y, a partir de estos datos, se obtuvieron las densidades real y aparente y la porosidad real, el coeficiente de absorción y las porosidades total y relativa o abierta.

2.2.3. Other tests

Shore C surface hardness tests were conducted in the first series to determine the possible effect of the pigment on some of the physical properties of the samples. In addition, the gravimetric method, consisting in weighing dry, saturated and submerged samples, was used to determine bulk volume, the absorption coefficient and effective porosity. Lastly, the real volume was found with a volumeter. These data were used to obtain the bulk and real densities, real porosity, absorption coefficient and total and relative or effective porosity.

3. RESULTADOS OBTENIDOS

En las Tablas 5, 6 y 7, así como en las Figuras 2 y 3, se expresan los resultados obtenidos:

3. RESULTS

Tables 5, 6 y 7 and Figures 2 and 3 show the results obtained:

Tabla 5 / Table 5
Resultados de resistividad al vapor r_v y resistividad relativa μ de la serie 1ª.
Vapour resistivity (r_v) and relative resistivity (μ) values for series one specimens.

Probeta / Specimen	- Δ Peso total g / - Δ Total weight g	Δ Peso Prob. g / Δ Spec. wt g	Flujo de vapor total g Total vapour flow g	r_v mmHg.m ² .día/cm.g	μ
YF Sin coloración / Uncoloured YF	23,54	0,27	23,81	0,0228	4,78
YF Ocre 3 % / 3% ochre YF	23,02	0,31	23,33	0,0233	4,88
YF Ocre 1 % / 1% ochre YF	22,64	0,44	23,08	0,0250	5,24
YF Negro 3 % / 3% black YF	22,52	0,23	22,75	0,0238	4,99
YF Negro 1 % / 1% black YF	22,49	0,30	22,79	0,0238	4,99
YF Rojo 3 % / 3% red YF	23,76	0,51	24,27	0,0223	4,68
YF Rojo 1 % / 1% red YF	22,17	0,26	22,43	0,0242	5,07
YF Verde 3 % / 3% green YF	24,50	0,19	24,69	0,0220	4,61
YF Verde 1 % / 1% green YF	24,65	0,21	24,86	0,0218	4,57
YF Amarillo 3 % / 3% yellow YF	24,16	0,16	24,32	0,0223	4,68
YF Amarillo 1 % / 1% yellow YF	24,19	0,17	24,36	0,0223	4,68
Promedio / Mean	23,42	0,28	23,70	0,0230	4,82

Tabla 6 / Table 6
Valores de porosidad y dureza de probetas de la primera serie.
Series one specimen porosity and hardness values.

Probeta / Specimen	Coefficnt. absorción % Absorp. coeff. %	Densidad aparente kg/cm ³ / Bulk density kg/cm ³	Porosidad abierta % Effective porosity %	Dureza Shore C Shore C hardness
YF Sin coloración / Uncoloured YF	41,6	0,99	41	66,4
YF Negro 3 % / 3% black YF	38,7	1,04	40	71,3
YF Negro 1 % / 1% black YF	40,8	1,01	41	68,1
YF Rojo 3 % / 3% red YF	40,0	1,03	41	69,4
YF Rojo 1 % / 1% red YF	40,2	1,00	40	68,6
YF Verde 3 % / 3% green YF	39,5	1,04	41	67,5
YF Verde 1 % / 1% green YF	40,2	1,03	41	66,8
YF Amarillo 3 % / 3% yellow YF	40,1	0,97	39	63,6
YF Amarillo 1 % / 1% yellow YF	40,1	1,02	41	58,8
Promedio / Mean	40,1	1,01	40,6	66,7

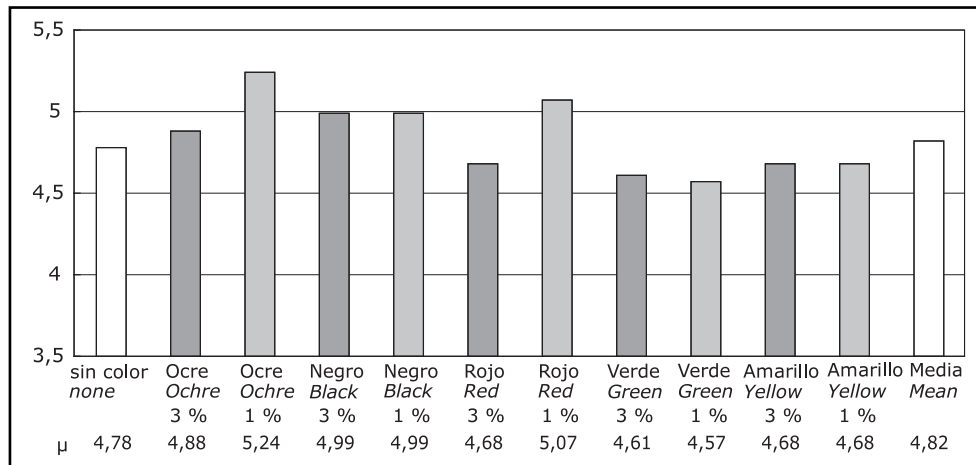


Figura 2. Resistividad relativa para muestras de YF amasadas con A/Y= 0,8.
 Figure 2. Relative resistivity for FP samples with a W/P ratio of 0.8.

Tabla 7 / Table 7

Valores de resistividad relativa para diferentes yesos con distintos tratamientos (valores promedios de dos o tres probetas).
 Relative resistivity values for plaster specimens subjected to different treatments (means for two or three specimens).

Probetas / Specimen	YG con A/Y= 0,7 YG with w/p=0.7		YF con A/Y= 0,7 / YF with w/p=0.7		E-30 con A/Y= 0,7 E-30 with w/p=0.7	
	r _v mmHg.m2.dia/cm.g	μ	r _v mmHg.m2.dia/cm.g	μ	r _v mmHg.m2.dia/cm.g	μ
Sin color / No colour	0,0323	6,77	0,0202	4,23	0,0183	3,84
En masa 5% / 5% coloured plaster	0,0350	7,34	0,0269	5,64	0,0331	6,94
En masa 3% / 3% coloured plaster	0,0377	7,90	0,0318	6,67	0,0325	6,81
En masa 1% / 1% coloured plaster	0,0424	8,89	0,0310	6,50	0,0408	8,55
Hid. silicona / Silicone w-r	0,0415	7,74	0,0277	5,81	0,0369	7,74
Pin. temple / Wat-b. paint	0,0474	9,94	0,0280	5,87	0,0382	7,74
Pin. plástica / Plast. paint	0,1911	40,06	0,1063	22,29	0,0432	9,06
Esmalte sint. / Synth. enamel	0,2470	51,78	0,2842	59,58	0,3201	67,11
Laca poliuret. / Polyu. lacquer.	0,4534	95,05	0,5053	105,93	0,4630	97,06

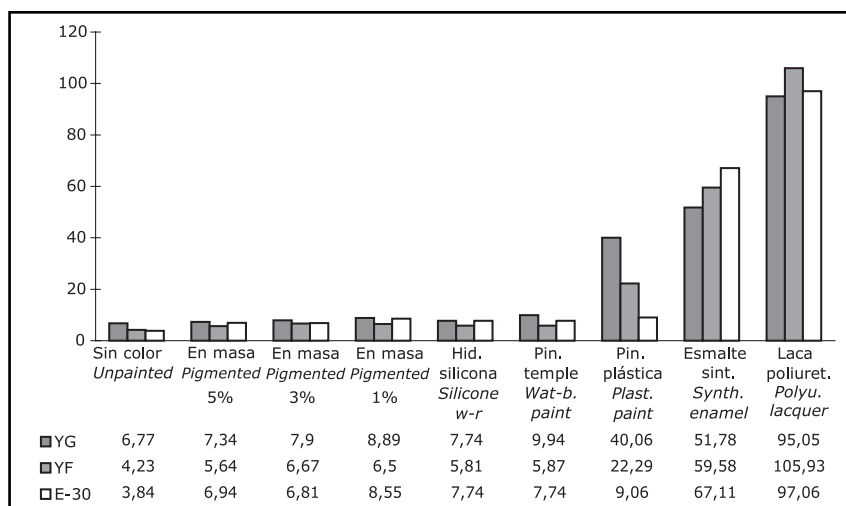


Figura 3. Resistividades relativas para distintos productos y tratamientos.
 Figure 3. Relative resistivity values for different products and treatments.

4. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

El ensayo de permeabilidad utilizado permite obtener valores de resistividades, que han resultado estar en el entorno de los datos proporcionados por la bibliografía. En la primera serie los resultados, que muestran la Tabla 7 y la Figura 2, han tenido una dispersión muy aceptable, ya que aunque sólo había una probeta por cada diferente tratamiento, todos los resultados han sido muy similares, con la resistividad relativa oscilando entre 6,68 y 5,07, con un valor promedio de 4,82 y un valor para la probeta no tratada de 4,78. Hay cinco valores en probetas pigmentadas por encima y cinco por debajo del valor de la probeta no tratada. Esto indica que en el caso ensayado (yeso fino amasado con una relación A/Y de 0,8) el pigmento no parece incidir en la resistividad.

Sin embargo los resultados de la segunda serie han tenido más dispersión, como se observa en la Tabla 7 y la Figura 3. No obstante se confirma la tendencia, que se observaba en ensayos anteriores.

Durante la realización del ensayo de permeabilidad, como se advierte en la Tabla 5, la cantidad de agua que han tomado las probetas es muy pequeña, casi despreciable, en comparación con el flujo total (en casi todos los casos no supone más de 1g de agua). El valor es tan bajo que se puede deber a simples errores de ensayo o a alguna cantidad de silicona que haya quedado en la probeta al desmoldarla. El hecho de que las probetas no hayan cogido humedad se puede deber a que las condiciones impuestas en el interior de la cámara climática eran muy extremas (33% de humedad relativa). Por este motivo en la tabla 6, para simplificar, se han omitido los valores de la diferencias de pesadas y de ha indicado directamente los resultados de las resistividades.

La diferencia entre los valores de resistividad para el yeso fino pigmentado en masa, que ha sido el mismo, en las dos series, puede producirse, además de en posibles errores de ensayo, por la diferente relación de agua utilizada en el amasado. Una relación agua/yeso de 0,8 en la primera serie y de 0,7 en la segunda. La mayor cantidad de agua utilizada puede influir en la porosidad, aunque faltan datos para confirmar esta posibilidad, ya que por los resultados obtenidos en la primera serie parece que hay cierta influencia de la adición de colorante, que no se aprecia en los resultados de la segunda.

Los ensayos de densidades, coeficientes de absorción y porosidades realizados sobre probetas de la primera serie, con yeso fino amasado con una relación agua/yeso de 0,8 dan valores muy similares para las diferentes pigmentaciones, lo que confirma la falta de influencia de la pigmentación en masa sobre estas propiedades tan relacionadas con la resistividad al vapor.

4. DISCUSSION

The values found with the permeability test used were in keeping with the data published in the literature. The results for the first series, given in Table 5 and Figure 2, exhibited acceptable dispersion, since although there was only one specimen for each treatment, all the findings were similar, with relative resistivity ranging from 6.68 to 5.67; the mean value was 4.82, compared to the 4.78 for the untreated specimen. Five pigmented specimens had higher and five lower values than the untreated specimen. This is an indication that in the case tested (fine plaster with a w/p ratio of 0.8), the pigment did not appear to affect resistivity.

The results for the second series were more widely dispersed, however, as can be seen in Table 7 and Figure 3. The findings nonetheless confirmed the trend observed in the foregoing tests.

As Table 5 shows, during the permeability test the specimens took up only a small, nearly negligible, amount of water compared to the total flow (less than 1 g of water in nearly all cases). Such a low value might have been due to test errors or to silicone residue clinging to the specimen when it was removed from the vessel. The fact that the specimens were not moist might be attributed to the extreme conditions prevailing inside the chamber (33% relative humidity). For this reason and for the sake of simplification, the weight differences are not given in Table 6, which shows the resistivity values only.

The difference between the resistivity values in the two series of specimens, made with the same pigments and fine plaster, may be due not only to possible testing errors, but to the differences in the water/plaster ratio used in the mixes: 0.8 in the first series and 0.7 in the second. Although the data are insufficient to confirm this possibility, a higher water content may affect porosity, for the first series results appear to have been affected by the addition of the pigment, while the second series was not.

The density, absorption coefficient and porosity tests conducted on the first series of specimens, in which the water/plaster ratio was 0.8, yielded similar values for all the pigments, confirming that they had no effect on vapour resistivity-related properties.

5. CONCLUSIONES

La resistividad al vapor aumenta un poco con la coloración en masa y con pinturas al agua (temple). Es más notable el aumento en la pintura plástica y sube de modo muy considerable con la pintura al esmalte y la laca.

La experiencia de utilizar un hidrófugo de silicona ha resultado muy interesante, ya que en los tres casos ensayados aumenta muy poco la resistividad sobre los valores de las probetas sin tratamiento.

La permeabilidad en probetas coloreadas en masa no varía ni con el tipo de pigmento ni con el porcentaje empleado.

5. CONCLUSIONS

Vapour resistivity increased slightly in pigmented or water-base painted plaster. This rise was more visible in specimens painted with plastic paint and much more intense in enamelled and lacquered specimens.

The results for the silicone water repellent test were revealing, for in all three cases resistivity increased very little with respect to the untreated specimens.

Permeability in pigmented specimens did not vary either with the type or the percentage of pigment added.

Tabla 8 / Table 8
Comparación de resultados promedios de la resistividad relativa al vapor de agua μ .
Comparison of mean relative vapour resistivity (μ) values.

Tipo de yeso / Type of plaster	YG	YF	YF	E-30	Media / Mean
A/Y de amasado / w/p ratio	0,7	0,7	0,8	0,7	
Sin adición / No additions	6,8	4,2	4,8	3,8	4,9
Pigmentado en masa 5% / 5% coloured plaster	7,3	5,6		6,9	6,6
Pigmentado en masa 3% / 3% coloured plaster	7,9	6,7	4,8	6,8	6,6
Pigmentado en masa 1% / 1% coloured plaster	8,9	6,5	4,9	8,6	7,2
Recubierto con hidrófugo de silicona / Coated with silicon-base water repellent	7,7	5,8		7,7	7,1
Recubierto con pintura al temple / Coated with water-base paint	9,9	5,9		7,7	7,8
Recubierto con pintura plástica / Coated with plastic paint	40,1	22,3		9,1	23,8
Recubierto con esmalte sintético / Coated with synthetic enamel	51,8	59,6		67,1	59,5
Recubierto con laca de poliuretano / Coated with polyurethane lacquer	95,1	105,9		97,1	99,4

Como resumen en la Tabla 8, se recogen los valores promedios de la resistividad relativa al vapor en comparación con la resistividad en el aire en reposo, para las dos series de ensayos realizados. Se advierte que con estos se puede confirmar de modo relativo la hipótesis de partida, ya que la coloración en masa y las pinturas al agua así como los hidrofugantes de silicona aumentan muy poco la resistencia al vapor. Sin embargo, las pinturas plásticas y en mayor medida los esmaltes y las lacas aumentan en un promedio de 5, 10 y 20 veces respectivamente esta resistividad al vapor de agua.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar al arquitecto Enrique Queirolo Varela, con una vida dedicada al desarrollo y utilización del yeso en el Uruguay que, debido a su experiencia y de forma intuitiva formuló la hipótesis que ha servido de base para este trabajo.

By way of summary, Table 8 shows the mean values of vapour resistivity compared to the resistivity of still air for the two series of tests conducted. These data confirm the initial hypothesis, relatively speaking, for while the pigments, water-based paints and silicon-based water repellents scantily raised vapour resistance, the plastic paints, enamels and lacquers raised the resistance to water vapour on average five, ten and twenty times, respectively.

ACKNOWLEDGEMENTS

Firstly, the author would like to thank architect Enrique Queirolo Varela, who has devoted his entire career to the development and use of plaster in Uruguay and who, on the grounds of his experience and intuition, formulated the hypothesis that served as the basis for this study.

También se agradece su colaboración a los alumnos de la asignatura de Seminario en Laboratorio de Materiales de la E.T.S. Arquitectura de la Universidad Politécnica de Madrid, J. Abenza, R. Barneto, Asier Barredo, D. Cobo, G. Gozález Badillo, I. Méndez, N. Polvorinos, F. Rubio y al alumno de doctorado, en el Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas de la misma universidad, L. Montiel .

Thanks also go to J. Abenza, R. Barneto, Asier Barredo, D. Cobo, G. Gozález Badillo, I. Méndez, N. Polvorinos and F. Rubio, students enrolled in the Materials Laboratory seminar at the Polytechnic University of Madrid's School of Architecture, and L. Montiel, Architectural Construction and Technology Department doctorate student.

BIBLIOGRAFÍA / BIBLIOGRAPHY

- (1) Dupont, N.: "Absorption et reset d'humidité dans les enduits a base de plâtre". *Revue des Materiaux de Construction*, nº 667 (1971) pp. 99-101.
- (2) Atedy (Asociación Técnica y Empresarial del Yeso) Villanueva Domínguez, L. de y García Santos, A. Manual del yeso. pp. 63-66, Cie Dossat 2000. Madrid (2001).
- (3) S.N.I.P. (Syndicat National des Industries du Plâtre). Le plâtre. pp. 323-325, Eyrolles. París (1982).
- (4) NBE-CT 79 Norma Básica de la Edificación.- Condiciones Térmicas. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Madrid (1979).
- (5) Queirolo Varela, E.: Yeso de proyección coloreado en masa, bajo el nombre de YESOLITE. Patente nº 10.186 del Uruguay, de 25 de mayo de (1971).
- (6) Villanueva, L de, Lara, G., Vivanco, B., Pérez Ramos, F. J., E. M., Sánchez Gutiérrez, E. M.: "Incidencia de la pintura en la regulación de la humedad por el yeso. Efecto Queirolo" VII Jornada sobre aplicaciones arquitectónicas de materiales. Dep. Construcción. ETSAM. UPM. Madrid (2003).
- (7) Departamento de Energía de los Estados Unidos "Retardadores de difusión de vapor y barreras de aire". http://www.lowes.com/lowes/lkn?action=noNavProcessor&sec=spanish/Energy/conserv_vapfusret.html.
- (8) Vorkart, K.: Bauen mit Gips B.G.G. (Bundesverband der Gips und Gipsbauplattenindustrie). Darmstadt (1978).
- (9) Eichler, E.: Patología de la construcción. pp. 386-387, Ed. Blume. Barcelona (1975).
- (10) Neila, J y Bedoya, C.: Patología de los elementos constructivos. Las condensaciones. Tratado de Rehabilitación. Tomo 5. p. 34, Ed. Munilla-Iería. Madrid (1999).
- (11) Peradotto, A.: Gesso: salute e sicurezza. pp. 252-269, Tesis doctoral realizada en el Politécnico de Turín bajo la dirección del Dr. A. Negro. (1977).

* * *

