



ESTUDIO DE REVESTIMIENTOS DE TIERRA ELABORADOS CON CASEÍNA

Cecilia López Pérez

Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá. Colombia, lopez.c@javeriana.edu.co

Palabras clave: comportamiento, mezclas, dosificaciones, ensayos a humedad

Resumen

Los aditivos de origen orgánico (vegetal y animal) fueron usados hasta el siglo XVIII, para mejorar las características de los revestimientos de tierra. En Colombia, los aditivos eran generalmente subproductos o excedentes de las actividades agrícolas y ganaderas, principal medio de subsistencia de las comunidades, sobre las que conocían tanto sus propiedades como características por ser materiales con los cuales se trabajaba a diario. Uno de los aditivos documentados en la elaboración de los revestimientos es la caseína. El presente artículo muestra los resultados de morteros de tierra al cual se le ha añadido como aditivo la caseína en tres diferentes proporciones. Para la realización de las probetas se recopilaron estudios previos, identificando las dosificaciones, resultados de laboratorio. Se le hicieron pruebas de granulometría, peso, densidad, absorción y límites de Atterberg. A la arena se le realizaron pruebas de presencia de carbonatos y sulfatos. A la mezcla de tierra se le hizo prueba de presencia de cloruros. Los primeros resultados muestran que se obtiene cambios en el comportamiento del revestimiento cuando se le aplica este tipo de aditivo, mejorando su desempeño frente a factores de intemperismo y goteo.

1. INTRODUCCIÓN

Los revestimientos cumplen la función de proteger al muro de soporte de los agentes exógenos que lo puedan afectar y degradar. Posee distintas denominaciones dependiendo de la región donde se aplique: revestimiento, enlucido, acabado, pañete, repello, mortero o revoque (Bails, 1802).

En construcción puede ser clasificado por: componentes, textura, grabados, estarcidos y estucados entre otros. Dependiendo de su lugar de aplicación se pueden clasificar por internos y externos y de acuerdo con su uso en industriales, domésticos, patrimoniales, etc. teniendo para cada una de estas características diversas.

En Colombia en el ámbito del patrimonio, uno de los morteros más usados hasta finales del siglo XVIII, era el revestimiento con base a tierra o barro; el cual estaba formado por tierra, y componentes de origen orgánico e inorgánico. Estos revestimientos servían de protección para muros construidos en el mismo material como la tapia, el adobe o el bahareque, con el que se considera están construidos por lo menos el 90% de los centros históricos de nuestro país (López; Ruiz Valencia, 2015). A nivel práctico, cuando a un restaurador se le encomienda la tarea de restaurar una edificación una parte importante de la presentación final de la edificación le corresponde al revestimiento o “piel del edificio”.

A través de algunos tratados de construcción, relatos de cronistas y contratos de obra se ha podido determinar la forma en que estos revestimientos se elaboraban. Por ejemplo, se sabe que al suelo se le agregaban fibras y aditivos de origen vegetal o animal, con el objeto de mejorar distintas características de los revestimientos como la durabilidad, manejabilidad, tiempo de fraguado y color. En Colombia, durante la colonia y hasta bien entrado el siglo XIX las principales actividades económicas de las comunidades eran de producción agrícola y ganadera. Los subproductos o excedentes de estas actividades se usaban y añadían a las construcciones en tierra, por tres motivos: el primero, porque conocían las propiedades y características de los productos con los cuales a diario trabajaban; segundo, como se mencionó, para mejorar las propiedades de la tierra y tercero para aprovechar los excedentes de producción de la actividad económica principal como: extractos vegetales,

queso, vino, albumina, requesón, goma animal, estiércol, engrudo, manteca, miel y jugos de frutas entre otros (Useche, 1993; Adam, 1996). Para darle color a la mezcla se empleaban tintes naturales de origen mineral, vegetal y tierras de colores (Garate Rojas, 1998; Arendt, 2009).

Los textos mencionados establecen las dosificaciones usadas en cuanto a cal, arena y tierra; sin embargo, es muy poco lo que se conoce sobre la proporción de los aditivos y los efectos que estos tenían sobre las características finales de los morteros.

Trabajos realizados por Minke (2008), Garate Rojas (1998), Useche (1993) y Vissac, Fontaine y Anger (2012) evidencian el uso de cuatro grandes grupos de aditivos: polisacáridos (celulosas, ligninas, jugos vegetales), lípidos (aceites y ceras), proteínas (colágenos, albuminas) y otras moléculas (taninos y resinas). Uno de los aditivos naturales más documentados en la elaboración de los revestimientos es la caseína; motivo por el cual, se escogió para el desarrollo del presente estudio.

La caseína, es un subproducto de la industria lechera denominada de forma común “cuajo”. Es una proteína que al contacto con la cal forma el aluminato de calcio, el cual no es soluble en agua, mejorando la calidad del revestimiento ante la erosión y presencia de humedad. (Minke, 2008).

Antiguamente, la caseína se producía por la mezcla con un ácido como el limón y el vinagre y actualmente sigue siendo usada de manera activa en industrias como la lechera, de pegamentos, producción de plásticos, detergentes, botones, como alimento humano, en envolturas y procesos agrícolas bien sea en presentación líquida o granulada. Este aditivo es referenciado para su uso en morteros en los trabajos de Ruskulis (1991), Useche (1993) Álvarez, Martín y García (1995), Garate Rojas (1998), Castilla, (2004), Minke, (2008), Centro de los Oficios (1998), Vissac, Fontaine y Anger (2012) y Cayetano y Ghazal (2014).

El artículo tiene como objetivo mostrar el comportamiento del revestimiento de tierra con aditivo de caseína, identificando sus características a nivel cualitativo y cuantitativo que permitan determinar si existe una mejora del revestimiento frente a la humedad.

2. MATERIALES Y ESTRATEGIA METODOLÓGICA

En este apartado se describirán los materiales empleados, las actividades realizadas para la caracterización del suelo y la evaluación de la caseína en el comportamiento físico-mecánico de la argamasa de tierra como la flexión, compresión, goteo y absorción de agua.

2.1 Material utilizado

Para la realización del estudio se trabajó con una argamasa base a la cual se le añadieron diferentes porcentajes de caseína. Para la mezcla base se usó: tierra arcillosa y arena (extraídas de Tausa- Cundinamarca, Colombia), cascarilla de arroz, cal apagada y agua. La caseína, la cal y la cascarilla se compraron en tiendas de expendio de productos para construcción. Para este estudio no se realizaron análisis biológicos de las características de la cascarilla porque se observó que tenían características similares, considerándose un material homogéneo. El agua empleada en los ensayos proviene de la red municipal de Bogotá, es decir agua apta para consumo humano.

Es importante aclarar que en Colombia no existen normas específicas para el estudio de morteros con tierra, por lo que se adaptaron las normas para análisis de suelos, morteros de concreto o tomadas de estudios desarrollados previamente.

Para las pruebas de campo se siguió el procedimiento descrito en el Manual de selección de suelos y métodos de control en la construcción con tierra (Neves et al., 2009). A la mezcla se le realizaron pruebas de olor, bola, rollito, frotado y lavado.

A la arena se le realizó el ensayo de determinación de distribución granulométrica según la norma I.N.V. E- 213-13 (s.f.), el peso unitario de acuerdo con la norma I.N.V. E- 217-07 (s.f.),

la densidad y absorción con la norma I.N.V. E- 222-13 y la gravedad específica se trabajó bajo la norma I.N.V. E- 128-13 (s.f)

La tierra arcillosa se expuso a la luz y la energía solar para que se activaran sus propiedades y el color del pigmento. Para ello se dejó secar por ocho días, removiéndolo periódicamente. Luego se pasó por el tamiz número 10 hasta formar un material homogéneo. Se le realizó los límites de Atterberg de acuerdo con la norma I.N.V. E- 125-13 (s.f.) y I.N.V. E- 126-13 (s.f.).

Se trabajó con cuatro tipos de mezclas: mezcla base, mezcla base con 3 porcentajes distintos de caseína: 3%,15% y 25% del peso total. Para determinar el porcentaje de caseína se tomó como referencia el documento Proterra (2003) donde se determina que los aditivos se pueden añadir a la mezcla con un mínimo de 3% y un máximo de 25% del volumen. Para el tercer porcentaje se tomó un valor medio entre estos dos.

La mezcla de caseína se trabajó de acuerdo con lo reportado por Minke (2008) como “caldo de caseína” en proporción en volumen de 1:1 (caseína:agua). La cal se trabajó en la misma proporción mencionada y a la que llamó “cal total” (1 de cal y 1 de agua).

Las condiciones del laboratorio, en el momento de elaboración de las probetas eran de 18°C y una humedad de 64%. El proceso seguido en la ejecución y secado fue el de plasticidad normalizada y curadas en la cámara de secado a 26°C y 57% de humedad. Los ensayos de flexión y compresión fueron realizados en una maquina universal de la marca “Shimadzu” modelo UH, con capacidad de carga de 1000 kN.

Para el ensayo de flexión se trabajó con la norma I.N.V. E 324- 07 (s.f.); para la prueba de compresión con la norma I.N.V. E 323-07 (s.f.). Para los ensayos de retracción, goteo, absorción de agua por capilaridad e intemperismo se procedió como se describen en el numeral c, d, e y f.

A nivel químico a la arena se le realizaron pruebas para descartar la presencia de carbonatos, sulfatos y cloruros que pudiera afectar la mezcla de morteros de tierra. Para ello se sometió a tres pruebas, dos con ácido clorhídrico (HCl) y una con una mezcla de ácido nítrico (HNO₃) y nitrato de plata (AgNO₃).

Para el ensayo de goteo se tomó como referencia lo reportado por Minke (2008) y Romeral, Guinea y Salas (1986) y se ensayaron a los 28 días, considerando que ya se tenía un fraguado final. Para las pruebas de intemperismo por la variedad de climas y condiciones atmosféricas que se encuentran en Colombia se optó por construir dos grupos de muestras para ser colocados en dos climas distintos. El primer grupo se dejó en Bogotá con una temperatura promedio de 13,5°C y humedad que oscila entre 77% y 83%¹; otro grupo de muestras se dejó en Anapoima, municipio cercano a Bogotá con una temperatura que oscila entre los 22°C y 32°C y humedad entre 21% a 74%². Las probetas se dejaron expuestas a temperatura ambiente durante 30 días colocadas a 45° con respecto a la horizontal. Las horas de radiación solar tanto para Bogotá como para Anapoima es de 12 horas en promedio al día.

2.2 Selección de la dosificación

En cuanto a la dosificación a emplear en la argamasa, estudios como los de Leroy, Bertone y Wheeler (2010), Duchert (2012) y Vissac, Fontaine y Anger (2012), que han sido aplicados Colombia³, recomiendan preparar la mezcla con tierra arcillosa, de forma que se garantice su comportamiento homogéneo. Los autores recomiendan realizar una mezcla base formada por tierra arcillosa, agregado y fibra en proporción 1:3:1,5 a la cual se le agrega

¹ <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21789/1Sitios+turisticos2.pdf/cd4106e9-d608-4c29-91cc-16bee9151ddd>

² <https://es.weatherspark.com/y/23327/Clima-promedio-en-Anapoima-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o>

³ Informado por el arquitecto Oscar Becerra en el Encuentro internacional Biocasa, realizado en Cali, Colombia, en Octubre 20-23, 2010

agua hasta obtener la densidad deseada. Para el presente estudio el agua fue reemplazada por “cal total” en el revestimiento base. Para las otras mezclas la “cal total” fue reemplazada de acuerdo con el peso por el “caldo de caseína”.

2.3 Ensayos en laboratorio con la argamasa

Para determinar el comportamiento de los revestimientos se realizaron pruebas en campo y en laboratorio: físicas, mecánicas, de comportamiento ante la humedad y químicas.

a. Determinación del contenido de humedad de la mezcla

Para determinar la humedad con la que se trabajaría los morteros, se estableció primero el contenido de humedad de la mezcla base. Se tomaron 1000 g de la mezcla base, que se pesó a temperatura ambiente y se introdujo en estufa, a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, hasta obtener masa constante durante 24 horas. Cuando estuvo seca, se pesó en balanza con una precisión 1 g. El peso desecado fue de 934 g; la humedad resultante del suelo fue de 36,79%.

Una vez se determinó la humedad natural, se tomaron 500 g del material y se fue añadiendo “cal total” con la ayuda de una cubeta de precipitado de forma progresiva hasta obtener una masa trabajable. La diferencia entre la “cal total” inicial depositada en la cubeta y la cantidad de “cal total” que quedó en el recipiente se tomó como la cantidad de cal requerida para la mezcla. Se fijó el contenido de humedad en 25% del peso de la tierra para las distintas mezclas. Luego se realizó una verificación observando que el contenido de humedad se encontrara entre el límite líquido (LL) y límite plástico (LP) de la tierra arcillosa.

b. Construcción de probetas

Se construyeron 3 probetas para pruebas de flexión (4 x 4 x 16 cm) y 2 probetas para compresión (4 x 4 x 16 cm), que se probaron a los 7, 14 y 28 días, 3 probetas para goteo y 3 probetas para intemperismo (15 x 15 x 2 cm) para cada una de las mezclas. Los resultados se procesaron estadísticamente para obtener los valores representativos del esfuerzo permisible a la compresión y flexión del material.

Una vez realizadas las probetas, se llevaron a la cámara de curado y se cubrieron con plástico, para evitar una pérdida rápida del agua de amasado. Al cuarto día se retiraron del molde y se dejaron en la cámara de curado hasta el momento de la prueba. Antes de cada ensayo a cada una de las probetas se le realizó el peso volumétrico y se promedió entre el número de piezas ensayadas. Igualmente, se midió cada una de las caras y se prepararon para los distintos ensayos.

c. Ensayo de retracción

La retracción en un mortero es la reducción de volumen que sufre el mortero debido a la evaporación del agua de amasado que se produce antes, durante y después del fraguado.

Se prepararon las mezclas con las condiciones descritas en el laboratorio. En el momento de retirar del molde se registró el peso inicial y se midió la longitud mediante el calibrador pata del rey. Luego se volvió a llevar a la cámara de secado y nuevamente se volvieron a pesar y tomar la longitud de las probetas a los 7, 14 y 28 días.

d. Goteo

El ensayo buscaba determinar el comportamiento de los morteros frente al contacto continuo de gotas de agua en una de las caras de la probeta, simulando una lluvia fuerte y prolongada. Para el ensayo se dejó caer desde una altura de dos metros, gotas a un ritmo de 50 a 60 por minuto (aproximadamente 0,40 l/h). Se tomaron datos de tiempo de aparición de huella, diámetro, profundidad, tiempo de perforación total, roturas, degradaciones, alteraciones de los bordes de perforación.

Cada hora, durante las primeras seis horas se registraron los datos mencionados. Si al cabo de las seis horas no se producía la perforación total; se mantuvo el ensayo hasta completar 24 horas. De acuerdo con el estudio de Romeral, Guinea y Salas (1986) se establecieron tres niveles cualitativos de comportamiento: “bajo”, si se producía la perforación total de la

baldosa antes de 4 horas; “medio” si la perforación total se producía entre 4 y 24 horas y “alto” si la perforación total no aparecía en el transcurso de 24 horas de ensayo.

e. Absorción de agua por capilaridad

El ensayo buscaba establecer cuál de las cuatro proporciones de morteros absorbía más agua en el mismo periodo de tiempo. La mayor cantidad de agua absorbida está relacionada con una mayor porosidad y permite establecer cuál es el material más susceptible de perder material en el mismo lapso de tiempo.

Para el ensayo se colocó una serie de cuñas de neopreno para que las probetas no tocaran la superficie de la bandeja. Se llenó de agua el recipiente hasta que las probetas quedaron sumergidas 5 mm. Se mantuvo constante este nivel durante los 10 minutos que duró el ensayo. Se registró el peso inicial y el peso final con el agua absorbida; igualmente, se registró la altura de ascensión máxima y mínima y se registró con el apoyo de un acetato como lo muestra la figura 1.

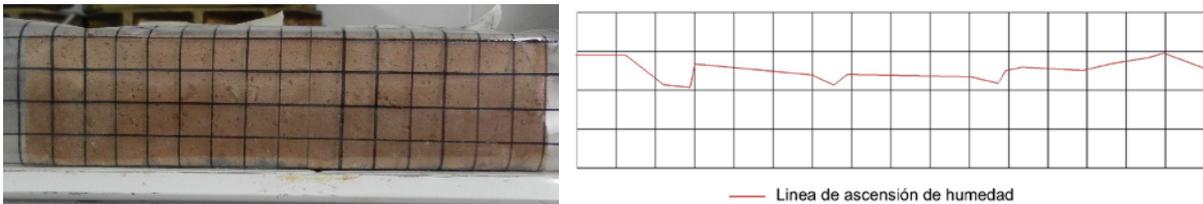


Figura 1. Vista de ensayo de absorción y registro de ascensión de la humedad

Después del ensayo se colocaron nuevamente las probetas durante 24 horas a una temperatura de 90°C apoyado sobre la cara seca en la cámara de secado. Luego se pesaron para verificar la cantidad de material perdido y se realizó nuevamente la prueba de flexión y compresión para establecer si el comportamiento había variado después de la absorción de humedad.

e. Intemperismo

Con este ensayo se buscaba establecer el impacto de los agentes externos sobre los morteros. Las probetas se colocaron a la intemperie con una inclinación de 45° orientado en sentido oriente-occidente donde se observa una mayor radiación solar. Durante 30 días se observó los cambios en las probetas como cambio de color, microfisuras, fisuras, grietas, derrumbamiento parcial y aparición de manchas. Estos resultados se compararon con los encontrados en laboratorio para obtener un estado global de comportamiento de las probetas.

f. Pruebas químicas

A la arena antes de realizar la mezcla se le realizaron las pruebas para la presencia de carbonatos, sulfatos y cloruros.

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Se presentan los resultados de las pruebas realizadas a los materiales y las argamasas.

3.1 Pruebas de campo

En cuanto a los resultados de las pruebas de campo, la prueba de olor para la tierra arcillosa no evidenció ningún olor a materia orgánica o moho. Para la prueba de bola, se prepararon tres bolas de 4 a 5 cm de diámetro y se dejaron caer desde una altura de 1 m. Las cuatro mezclas mostraron pocas o ninguna fisura, lo cual indicaba que tenían suficiente cantidad de arcilla para ser empleada en las pruebas (figura 2).

Para el ensayo de frotado, se tomó el barro húmedo se pasó por la superficie de la mano hasta formar un guante y luego se procedió a lavarlo con agua. El barro se pegó con fuerza

a la mano y fue necesario lavarla varias veces indicando un alto contenido de arcilla como se observa en la figura 2



Figura 2. Ensayo de la bolita y del frotado

Para la prueba del rollito se formó un rollito de 15 mm de largo y 2 mm de grueso sin que presentara ruptura. Ninguna de las muestras se rompió o mostro fisuras o agrietamientos mostrando que tenían una adecuada cantidad de arcilla en su composición.

3.2 Pruebas de laboratorio

La distribución granulométrica mostró que correspondía a un suelo arenoso por tener un 78,5% de este componente, el resto correspondía a gravas (Neves et al., 2009). En cuanto al índice de plasticidad el resultado fue de 15% correspondiendo a una plasticidad media, que Sanchez y Angel (1990) mencionan que debe estar entre 7% a 18%, por lo que se considera aceptable. El límite líquido (LL) arrojó un 34%; el mismo texto recomienda que debe estar entre 30 a 35%. Con respecto al límite plástico (LP) el análisis determinó que se encontraba en 19%; el límite recomendado por Sanchez y Angel (1990) es de 12% a 22 %, por lo que se asume como aceptable. La densidad aparente de la tierra, o masa unitaria, fue de 2630 kg/m³.

a. Resistencia a la flexión

Usualmente la resistencia a la flexión no se tiene en cuenta en estado seco para edificaciones en tierra. Sin embargo, para establecer la calidad del mortero y la rigidez de los bordes es importante este factor. Los resultados evidencian diferentes resistencias de acuerdo con el porcentaje de caseína adicionado al mortero. Para argamasas sin aditivo el valor promedio fue de 0,48 N/mm²; para mezclas con 3% la resistencia fue de 0,65 N/mm²; las argamasas con 15% tuvieron una resistencia de 0,64 N/mm² y las de 25% una resistencia de 0,51 N/mm². Minke (2008) reporta que la resistencia debe ser de 0,16 N/mm² para arcillas con caolinita; 21,86 N/mm² para arcillas con montmorilonita y para otras arcillas 0,17 N/mm² y 9,18 N/mm². Por su parte el estudio de (González S., 2015) muestra que para morteros mejorados con aditivos químicos se obtienen resistencias entre 0,38 N/mm² y 1,36 N/mm². Por lo que se considera que los resultados de compresión están dentro de lo admisible para este tipo de acabados.

Con un porcentaje de 3% y 15% de caseína adicionado a la mezcla base, la resistencia a flexión mejoró en un 35% aproximadamente; mientras que un porcentaje de 25% de caseína mejoró solo un 6%. Se evidencia, que no se deben adicionar un porcentaje mayor al 15% de aditivo ya que no mejora la resistencia de la mezcla.

b. Resistencia a compresión

Los resultados promedio de compresión se muestran en la figura 3; para mezclas sin aditivo fue 1,29 N/mm²; las que tenían 3% de aditivo resistieron 1,61 N/mm²; las argamasas con 15% de caseína 1,68 N/mm² y los morteros con 25% resistieron 1,24 N/mm².

La norma DIN 18954 citada por (Minke, 2008) menciona como resistencia aceptable de 0,19 N/mm² y 0,49 N/mm²; Sanchez y Angel (1990) mencionan el 0,20 N/mm² para la tierra estabilizada con cal en 2,94 N/mm² a 7,84 N/mm²; con productos químicos entre 1,96 N/mm² a 3,92 N/mm² y finalmente González (2015) menciona que la resistencia para mortero con cal en pasta, cal aérea o cemento resisten entre 1,29 N/mm² a 1,82 N/mm².

Por lo que se deduce que, aunque mejoró la resistencia a la compresión con 3% y 15% de caseína; sigue siendo baja la resistencia si se compara con lo reportado por Sanchez y Angel (1990) y aceptable a lo reportado por González (2015). Los resultados a compresión muestran un comportamiento similar a lo que sucede a flexión. A la mezcla que se le añade entre 3% y 15% de caseína aumenta su resistencia en un 15%, mientras que para los morteros con 25% de caseína disminuye su resistencia a compresión en 10,8 %

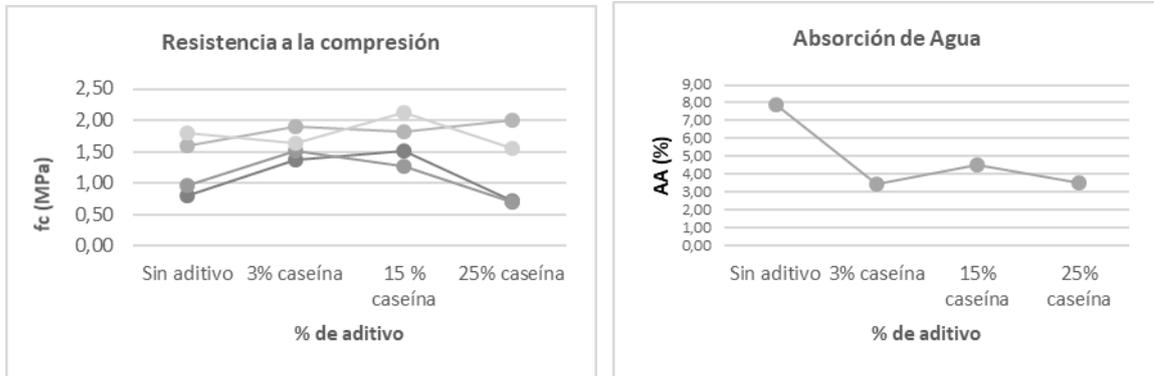


Figura 3. Resultados de la resistencia a compresión (izquierda) y de absorción de agua (derecha)

c. Ensayo de retracción y absorción de agua

El resultado de la prueba de retracción mostró una retracción de 0,5 % para las argamasas sin aditivos; 0,5 % para los suelos con 3% de caseína; 0,25 % para mezclas con 15% de caseína y sin retracción para mezclas de 25% de caseína. La retracción lineal de las muestras estudiadas se encontraba dentro del coeficiente de trabajo recomendado para las tierras arcillosas de 2mm/m.

Sobre los valores medios de reducción de peso en porcentaje en probetas de 4 x 4 x 16 cm fue de 4,28% para mezclas sin aditivos; 2,0% a 2,94% para mezclas de 3% y 15% de caseína y 3,92% para mezclas con 25% de caseína.

Durante la prueba de absorción, las argamasas sin aditivo absorbieron en promedio 7,91%, con 3 % de caseína 3,46% de agua; con 15% de aditivo absorbió 4,5 % y con 25% absorbió 3,54 de agua. Para morteros sin aditivo la altura de ascensión mínima fue de 1,5 cm y la máxima de 3 cm; para 3 % de aditivo la ascensión mínima fue de 0,5 y 2 cm; em argamasas con 15% de caseína la ascensión mínima fue de 1,2 y la máxima de 3 cm y para revestimientos con 25% de caseína la ascensión mínima de agua fue de 1,5 y 2,8 cm.

En los ensayos de goteo ninguna de las probetas se perforo. En la figura 4 se observa el proceso de huella y saturación de una probeta con 25 % de caseína.

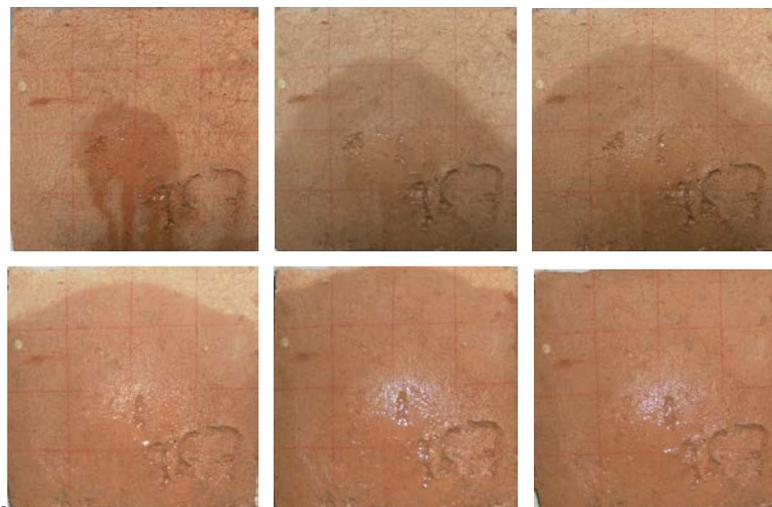


Figura No. 4 Secuencia de saturación de probetas de goteo

De acuerdo con la clasificación propuesta las cuatro probetas presentaron un comportamiento “alto”, ya que ninguna presentó perforación, ni fisuras, ni agrietamientos durante las 6 primeras horas, ni después de 24 horas de ensayo de goteo. El tiempo de saturación en promedio para las baldosas sin aditivo fue de 5 horas; mientras las baldosas con aditivo demoran entre 7 y 10 horas para llegar a la saturación de la superficie.

Pruebas realizadas previamente por Minke (2008) en Colombia mostraban que con mezclas de 1 de cal y 4 de caseína se presentaba erosión a los 50 minutos; con 6% de caseína a los 35 minutos y con 1 cal y 8 de caseína a los 90 minutos.

Los resultados obtenidos difieren de los obtenidos por Minke (2008), sin embargo, en la literatura no se menciona el tipo de suelo o mezcla empleada para obtener estos resultados por lo cual no se puede realizar una comparación objetiva o tener una conclusión más certera.

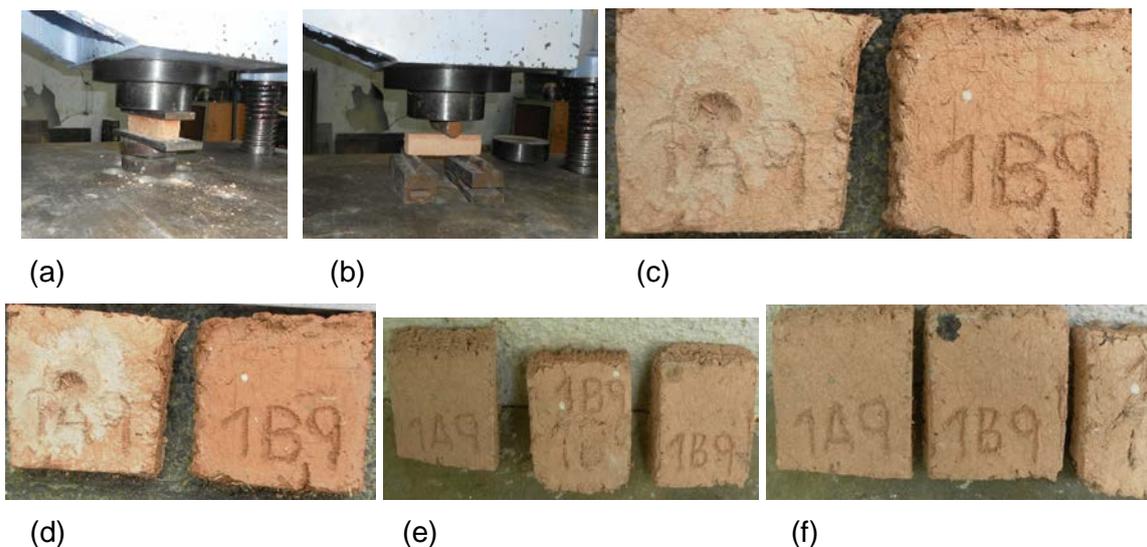


Figura No. 5. (a) y (b) Prueba de compresión y flexión (c) y (d) Resultado de pruebas a la intemperie en Bogotá Febrero y Junio de 2018 (e) y (f) Resultado de pruebas en Anapoima Febrero y Junio de 2018

d. Propiedades químicas

Los ensayos químicos a la arena para detectar presencia de carbonatos, sulfatos y cloruros fueron negativos.

e. Propiedades cualitativas

Durante el lapso de desarrollo del proyecto no se evidencio cambio de color en las probetas, ni en las de laboratorio, ni las expuestas a la intemperie. Una de las probetas dejada en Bogotá presentaba una pequeña perforación la cual alcanzo una longitud de 1,6 cm y una profundidad de 0,5 cm, generando una mancha de color más claro alrededor de la misma. Con lo que se evidencia que no deben permitirse fracturas, fisuras o agrietamientos en el mortero, porque facilitan la perdida de material y la aparición de alteraciones en la superficie y de color.

Las mezclas que contenían caseína presentaron un fuerte olor, seco y penetrante que se incrementaba con los diferentes porcentajes añadidos a la mezcla. Este olor no desapareció con el tiempo, como se pensó inicialmente, que una vez obtuviera su tiempo de fraguado desaparecería, pero después de 30 días el olor persistía.

La textura que se obtiene con la caseína es suave y homogénea y durante el proceso de elaboración se evidencio la facilidad para trabajar la mezcla, permitiendo ser fácilmente esparcida en una superficie.

Durante el estudio se preparó 50 baldes con la mezcla base, obteniendo un rendimiento promedio de 35 m² de superficie de recubrimiento.

4. CONCLUSIONES

A partir del presente estudio se puede concluir que los reportes de cronistas y la tradición popular que indicaban la mejora de las características de los revestimientos a partir de la adición de caseína es cierta ya que, como se evidenció, mejora las características a flexión, compresión y disminuyendo la absorción de humedad.

Sin embargo, acorde con lo reportado por otros autores el porcentaje de aditivo no debe superar el 15 % del peso total ya que en cantidades superiores se pierden las características de mejora que se obtiene con el aditivo.

Igualmente, el estudio evidenció que se debe continuar analizando factores como el de goteo; alteraciones a nivel microbiológico por el componente orgánico adicionado, pruebas de rendimientos y un estudio con un mayor lapso de exposición de las muestras a la intemperie sobre todo si se piensan aplicar en países con estaciones. Igualmente, es importante realizar pruebas de adherencia que son fundamentales para los revestimientos. Todo ello, hace pensar que el presente estudio es una base para el desarrollo y conocimiento de futuros estudios con este mismo aditivo o para muchos otros aditivos documentados y reseñados en estudios históricos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Adam, P. (1996). La construcción romana, materiales y técnicas. León, España: Editorial de los Oficios.

Álvarez G., J. I.; Martín P., A.; García C., P. J. (1995). Historia de los morteros. Revista PH 13, p. 52-59. España: Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico.

Arendt, H. (2009). Producción de pinturas naturales y su aplicación. Munich, Alemania: Vogt-Schild Druck Derendingen.

Bails, B. (1802). Diccionario de arquitectura civil. Madrid, España: Imprenta de la viuda de Ibarra.

Cayetano, S.; Ghazal, K. (2014). Estudio de revestimientos de tierra con fibras vegetales de cebada. Barcelona, España: Universidad politécnica de Cataluña.

Castilla, F. (2004). Estabilización de morteros de barro para la protección de muros de tierra. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.

Centro de los Oficios (1998). Guía práctica de la cal y el estuco. León, España: Editorial de los oficios.

Duchert, D. (2012). Die Erde ist bunt-Atelierarbeit mit lehm. Berlin: Verlag das netz.

Garate Rojas, I. (1998). Artes de la cal. Madrid, España: Ed. Munilla-Lería.

González Serrano, A. M. (2015). Revocos de tierra cruda. Especificaciones técnicas para el empleo de morteros preparados de arcillas en construcción. Sevilla, España: Universidad de Sevilla.

I.N.V. E – 125 – 13 (s.f.). Determinación del límite líquido de los suelos. Colombia: Instituto Nacional de Vías

I.N.V. E – 126 – 13 (s.f.). Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos. Colombia: Instituto Nacional de Vías

I.N.V. E – 128 – 13 (s.f.). Determinación de la gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos y del llenante mineral, empleando un picnómetro con agua. Colombia: Instituto Nacional de Vías

I.N.V. E – 213 – 13 (s.f.). Análisis granulométrico de los agregados grueso y fino. Colombia: Instituto Nacional de Vías

I.N.V. E – 217 – 07 (s.f.). Densidad bulk (peso unitario) y porcentaje de vacíos de los agregados compactados o sueltos. Colombia: Instituto Nacional de Vías

I.N.V. E – 222 – 13 (s.f.). Gravedad específica y absorción de agregado fino. Colombia: Instituto Nacional de Vías

I.N.V. E – 323 – 07 (s.f.). Resistencia a la compresión morteros de cemento hidráulico. Colombia: Instituto Nacional de Vías

- I.N.V. E – 324 – 07 (s.f.). Resistencia a la flexión de morteros de cemento hidráulico. Colombia: Instituto Nacional de Vías
- Leroy, V.; Bertone, P.; Wheeler, S., (2010). Les enduits façade. Chaux, plâtre, terre. Paris: Eyrolles.
- López, C.; Ruiz Valencia, D. (2015). Seismic rehabilitation of sixteenth-and seventeenth-century rammed earth-built chueches in the andean highlands: field and laboratory study. *Journal of performance of constructed facilities*, 1-17.
- Minke, G. (2008). Manual de construcción en tierra. Uruguay: Editorial Fin de Siglo.
- Neves, C. M. M.; Faria, O. B.; Rotondaro, R.; Cevallos, P.; Hoffmann, M. V. (2009). Manual de selección de suelos y métodos de control de la construcción con tierra. Disponible en: <http://www.redproterra.org/>
- Proterra (2003). Técnicas mixtas de construcción con tierra. Brasil: Coordinación del proyecto XIV.6 CYTED.
- Romeral, J. D; Guinea, M. D; Salas, J. (1986). Primeros resultados del trabajo de investigación sobre la tierra como material de construcción, en el IETcc. *Informes de la construcción* v. 37, n. 377, 5-22.
- Ruskulis, O. (1991). Aditivos para arcilla. Aditivos organicos: Derivados de fuentes naturales. Disponible en: <http://answers.practicalaction.org/our-resources/item/additives-to-clay-organic>
- Sanchez, C. E.; Angel Ospina, C. (1990). Construir con tierra. Bogotá: Fondo Rotatorio Editorial.
- Useche, L. (1993). Estudio de morteros y pañetes antiguos para la conservación de monumentos históricos. Tesis. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Vissac, A.; Fontaine, L. Anger, R. (2012). Recettes traditionnelles & classification des stabilisants d'origine animale ou végétale. Grenoble, Francia: CRAterre.

AGRADECIMIENTOS

La autora agradece al Departamento de Arquitectura y la Vicerrectoría de Investigación de la Pontificia Universidad Javeriana-Bogotá por el apoyo para el desarrollo del estudio presentado.

AUTORA

Cecilia López Pérez, doctoranda de la UTP, con magister en Restauración de monumentos, profesora investigadora de tiempo completo de la Pontificia Universidad Javeriana- Bogotá. Coordinadora del grupo de investigación GRIME (Grupo de investigación en materiales y estructuras) de la misma institución. Miembro de la Red Iberoamericana PROTERRA