

DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE MORTEROS DE LA ENVOLVENTE DEL MUSEO DE CIENCIAS NATURALES DE LA CIUDAD DE LA PLATA

DETERMINATION OF MORTAR COMPOSITION ON THE EXTERNAL COATING OF THE NATURAL SCIENCE MUSEUM, LA PLATA CITY.

L.P. Traversa¹, F.H. Iloro² y S. Marquez³

1.- Investigador Emerito CIC-LEMIT. patrimonio@lemit.gov.ar

2.- Personal de Apoyo CIC-LEMIT

3.- Personal de Apoyo CIC-LEMIT

RESUMEN

En tareas de restauración de edificios de valor patrimonial, es necesario conocer la composición de los morteros existentes para emplear en la sustitución y/o reparación de los sectores afectados un material de composición y comportamiento elástico-resistente semejante al original, sumado esto a otras características como color, rugosidad, etc. En este trabajo se presentan los estudios y experiencias realizadas para la evaluación de los morteros endurecidos correspondientes a los revoques de las fachadas del Museo de Ciencias Naturales de la ciudad de La Plata. La evaluación de los morteros endurecidos tiende a determinar mediante ensayos, la proporción entre el ligante y el árido empleado como así también el tipo de ligante utilizado y la mineralogía y el tamaño de las partículas de los áridos empleados.

Palabras clave: *morteros, proporciones, ligante, arenas.*

ABSTRACT

In the restoration of heritage buildings, it is necessary to know the composition of original mortars, in order to employ, for its replacement and/or repair, materials with similar composition and elastic resistance, added to other features such as color, roughness, etc. This work presents the studies and experiences performed in the evaluation of hardened mortars from the external walls and niches of the Natural Science Museum in the city of La Plata. Through specific tests, the evaluation of hardened mortars has the aim of determining the ratio between the binder and aggregate used, as well as the type of binder and the mineralogy and particle size of aggregates.

Keywords: *mortars, ratio, binder, sands.*

INTRODUCCIÓN

El mortero es una masa compuesta fundamentalmente por material ligante, arena y agua, que se ha empleado y se utiliza actualmente para unir piedras o ladrillos, alisar superficies y proteger a las mamposterías. El conocimiento profundo de los morteros se remonta al Imperio Romano, siendo, sin embargo, diversas las civilizaciones que los han empleado con anterioridad. En excavaciones realizadas en Jericó se han encontrado casas construidas con ladrillos y pisos ejecutados con morteros de cal. Granos de cereales presentes en el mortero han permitido datarlo alrededor de 7.000 años antes de Cristo (técnica de ^{14}C) [1].

Cuando los albañiles de la antigua Roma hablaban del mortero (*mortarius*) se referían a la gaveta en la que se mezclaba y transportaba la cal y la arena, sin embargo, poco a poco la palabra fue designando no al recipiente sino a su contenido. En la fabricación de los morteros de cal se han seguido las enseñanzas que Marco Vitruvio Polión estipuló en el Libro II de Arquitectura, Capítulos 4 y 5. Vitruvio, arquitecto y tratadista romano del siglo I a.C., plantea que después de apagar la cal el mortero se debe ejecutar de la siguiente forma: “si la arena fuere de mina (se explota subterráneamente entre las formaciones geológicas), a tres partes de ella se pondrá una de cal, y si fuere de río ó mar a dos partes de arena, una de cal: esta es la regla que debe seguirse en la composición del mortero. Si a la arena de mar o río se añadiese una tercera parte de polvo de ladrillo cocido, hará una mezcla de mucho mejor calidad” [1]. Estas recomendaciones son las que se han seguido para la elaboración de los morteros por muchos años, prácticamente hasta la actualidad.

Puede definirse a la cal como un material calcinado capaz de reaccionar con el agua, constituido por óxido e hidróxido de calcio y/o magnesio con cantidades moderadas de compuestos silíceos o aluminosos. Según la naturaleza y cantidad de los compuestos formados durante su cocción la

cal será capaz de endurecer en el aire y/o en el agua, lo cual permite su clasificación en aéreas e hidráulicas respectivamente [2]. Desde principio del siglo XX el ligante en los morteros puede ser también el cemento Portland o una mezcla de cal y cemento lo cual da origen a los morteros denominados híbridos.

Es conocido que todos los materiales presentan distintos procesos de alteración a través de su vida en servicio. Este proceso se acentúa como consecuencia del emplazamiento de las construcciones, ya que su alteración depende no sólo de la calidad original de los materiales empleados sino también y fundamentalmente de las condiciones ambientales en las que se encuentran expuestos. Cuando se ha empleado cal o un material cementíceo, su degradación ocurre cuando existe humedad ascendente o descendente, por lo cual los productos hidratados se lixivian, generando un material deleznable.

Cuando las aguas ascendentes contienen sulfatos pueden ocurrir procesos físicos y/o químicos de alteración. El proceso físico por cristalización de sales incrementa las tensiones de tracción en el material, en tanto que el químico, origina sulfoaluminatos que tienen un mayor volumen que los productos originales y, en consecuencia, también, se fisura y se altera el material (Imagen1).



Imagen 1: Vista de revoques alterados por circulación de aguas sulfatadas.

En los revoques de cal de los paramentos, el hidróxido de calcio se carbonata en contacto con la atmósfera, situación que origina un medio con un pH menor o próximo a 10, que resulta ideal para ser colonizado por líquenes de diversas especies que los afectan tanto química como físicamente (Imagen 2). Los morteros ubicados en atmósferas industriales o urbanas con un alto grado de contaminación, principalmente de compuestos de azufre y óxido de nitrógeno, también, presentan alteraciones por reacciones químicas.



Imagen 2: Vista de un macetero, con sectores colonizados por líquenes.

En los morteros de cal, puede ocurrir que los mismos presenten luego de un período de vida en servicio, reventones generalizados de pequeño diámetro, originados en la hidratación lenta del óxido de magnesio presente como contaminante en algunas calces. En las calizas puede existir como impureza CO_3Mg , en pequeñas cantidades pero al sobrecalentarse en la calcinación a 900°C , la hidratación del óxido de magnesio se dilata en el tiempo aproximadamente 3 meses. Esta situación genera que cuando se hidrata dentro de una masa cálcica endurecida se generen tensiones de tracción que provocan reventones y fisuras en el revoque.

MORTEROS DE CAL

Los morteros de cal se obtienen mezclando cal, arena, agua y en algunos casos otras sustancias en menor proporción, siendo la relación cal/arena, en peso, más empleada en morteros antiguos de 1:3 [1]. En la Argentina, particularmente para las construcciones en la región próxima al Río de La Plata, la cal fue primero importada desde Europa y, con posterioridad, traída desde el interior del país por ejemplo de Córdoba; debe mencionarse que desde el siglo XVII y hasta muy entrado el siglo XX existen antecedentes de explotación de caleras y yacimientos de conchillas en los albardones hacia los bañados de Ensenada, cuyo procesamiento se efectuaba en hornos instalados en la actual zona del Bosque y sus alrededores [3].

La calcinación de las calizas se ha realizado originalmente en hornos verticales que consisten en construcciones circulares u ovoides de aproximadamente 2 o 3 m de diámetro y 8 m de altura, las cuales son cargadas alternativamente con rocas trituradas con tamaños comprendidos entre 6 y 8 cm y con el combustible que puede ser carbón o leña. En la actualidad se emplean hornos rotativos, tecnología adoptada de la industria del cemento Portland.

La cal fue utilizada en Córdoba, antes de 1586, pero en Buenos Aires, su uso comienza a difundirse en el siglo XVII, como consecuencia de la construcción

de grandes obras como el Cabildo y la Catedral. Existen antecedentes sobre la utilización de tres tipos diferentes de cales: la de conchilla, de la zona de Magdalena, la de Montevideo y la isla Martín García, y la Córdoba. En el año 1887, existían 5 fábricas en la zona de la ciudad de Buenos Aires[3].

En el año 1884, el Dr. Juan Biolet Massé construyó el horno “La Primera Argentina”, para la fabricación de parte de las cales hidráulicas que se utilizaron para la construcción del muro del dique San Roque, Córdoba, el cual fue demolido en parte para la construcción del nuevo dique, sin embargo todavía puede observarse durante las bajadas del embalse los restos del primitivo paredón, lo cual indica la aceptable vida útil del material (Imagen3). En la Provincia de Buenos Aires las principales productoras de cales a principios del siglo XX estaban ubicadas en la localidad de Sierras Bayas, Olavarría, las cuales actualmente conforman un circuito turístico industrial (Imagen 4).

En la ciudad de La Plata para la construcción de los grandes edificios (Departamento de Ingenieros, Ministerio de Gobierno, Ministerio de Hacienda, Casa de Gobierno y Legislatura) la cal empleada corresponde cerca de un 95% a cal apagada y el resto a cal viva. También, en los citados edificios se emplearon cementos citándose cuatro variedades: tierra romana, puzolana, cemento Portland y cemento hidráulico, representando el primero de ellos cerca del 80% del total [3].

En Argentina la primera experiencia para la fabricación de cemento fue en el año 1872 en Punta Barraca, en Alberdi sobre el Río Paraná, donde Tomás N. Furth instaló una fábrica de cemento, obteniendo un producto denominado “Tierra Romana” a partir del empleo de tosca y tosquilla de las barrancas del río. Este primer intento fue abandonado sin trascendencia, no se sabe si por falta de calidad o por dificultades de comercialización.

En el horno de cal tiene lugar el proceso de descarbonatación de la piedra caliza o dolomía en



Imagen 3: Vista del horno “La Primera Argentina” construido en el año 1884. Provincia de Córdoba.



Imagen 4: Vista de ruinas de la calera Victoria. Sierras Bayas. Provincia de Buenos Aires.

óxido de calcio o magnesio (cal viva) y dióxido de carbono. Para apagar la cal se agrega agua, formándose hidróxido de calcio (portlandita) o de magnesio (brucita). Este material se mezcla con agua y arena para conformar el mortero. La evaporación de parte del agua de mezclado y la reacción del hidróxido de calcio formado en primera etapa con el anhídrido carbónico del aire, regenera el material de origen y el mortero adquiere lentamente resistencia. La formación en la superficie del mortero de una capa de carbonato de calcio hace que el mismo sea prácticamente insoluble, ya que el hidróxido de calcio original tiene una solubilidad 40 veces mayor que el carbonato, por lo cual es fácilmente lixiviado. Debe recordarse que la solubilidad en agua del hidróxido de calcio es de 1,3 g/litro mientras que la del carbonato es de 0,03 g/litro.

Si la piedra caliza original contiene impurezas (sílice, aluminio, hierro), en el horno se generan aluminatos y silicatos que son similares a los del cemento Portland, dando origen a una cal hidráulica, cuya mayor o menor hidraulicidad dependerá del porcentaje presente de aluminatos y silicatos. Las cales hidráulicas se obtienen de rocas constituidas por carbonato de calcio y silicatos de aluminio hidratado ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$), en una proporción mayor al 5%.

La calcinación de este tipo de rocas alcanza los 1200°C, ocurriendo procesos diferenciados a distintas temperaturas; la sílice y la alúmina, productos de la descomposición de las arcillas, entre 500 y 650°C se combina con el óxido de calcio disociado a 900°C. El apagado de estas cales es un proceso crítico ya que durante el mismo pueden hidratarse los compuestos silico aluminosos cálcicos perdiendo el producto sus propiedades.

En este tipo de cales el contenido de arcilla influye en la duración del fraguado y en la resistencia de rotura a compresión que puede alcanzar el mortero. En una cal aérea con 0% de arcilla, el fraguado se alcanza recién a los 6 meses, mientras

que una débilmente hidráulica (5-8% de arcilla), medianamente hidráulica (8-14% de arcilla), hidráulica (14-19% de arcilla) o eminentemente hidráulica (20-22% de arcilla) se alcanza a los 15-30 días, 10-15 días, 2-4 días y menos de 2 días respectivamente.

En la Figura 1 se representa esquemáticamente el proceso de obtención de cales aéreas cálcicas e hidráulicas.

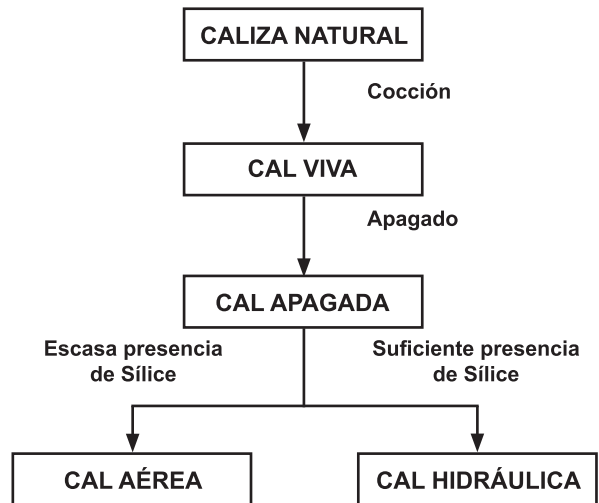


Figura 1: Esquema de elaboración de cales aéreas e hidráulicas a partir de piedra caliza.

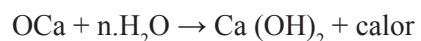
En el proceso de calcinación de la roca caliza ocurre la siguiente reacción química:



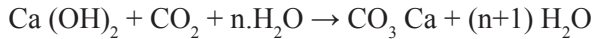
Si la roca que se calcina corresponde a una dolomita el proceso de calcinación es el siguiente



En el proceso de apagado con el cual se obtiene la cal viva, ocurre para una cal cálcica el siguiente proceso, que es similar al de una cal magnésica en el cual el hidróxido de calcio se reemplaza por hidróxido de magnesio.



En el endurecimiento de una cal área cálcica ocurre el siguiente proceso químico, para el cual es necesario la presencia de anhídrido carbónico aportado por el medio ambiente y agua de mezclado.



En el área de influencia de la ciudad de Buenos Aires los agregados empleados en una primera etapa han sido las arenas naturales sílice-feldespáticas del Río Uruguay y con posterioridad las síliceas del Río Paraná. En las zonas productoras de piedra partida granítica, en particular Olavarría, se ha utilizado en las mezclas de asiento arenas de trituración remanentes del proceso de obtención de los agregados gruesos.

En las construcciones ubicadas sobre el litoral del Río de la Plata, por ejemplo las edificaciones monumentales de la ciudad de La Plata, entre los años 1883-1910, como así también en las viviendas familiares, se han empleado arenas naturales con porcentajes variables de conchillas obtenidas de yacimientos existentes en sus proximidades originados en la última ingresión marina del Pleistoceno-holoceno. Estos yacimientos están constituidos por arenas y fragmentos de valvas de moluscos marinos en proporciones que varían si el lugar de extracción corresponde a la fase de cordones o a la de la llanura de marea. Los depósitos de conchillas están en parte cementados y la edad de los mismos sería del orden de 4000 A.P. [4]. En lo que respecta a las cales, las mismas eran en parte traídas desde la localidad de Victoria, Entre Ríos, zona productora de cales hasta mediados del siglo XX.

DETERMINACIÓN DE LAS PROPORCIONES DE LOS COMPONENTES EN MORTEROS ENDURECIDOS

Para determinar en morteros endurecidos las proporciones del ligante y de los agregados se pueden seguir los lineamientos generales, especificados en la Norma DIN 52170 [5]. Esta

norma especificada para evaluar hormigones de cemento Portland se basa fundamentalmente en que el cemento es soluble en ácido clorhídrico, situación que también puede generalizarse cuando el ligante es una cal aérea o hidráulica. Para su aplicación el agregado no debe contener elementos solubles en el citado ácido. La Norma ASTM C 1084-97 (Standart Test Method for Portland-Cement Content of Hardened Hydraulic-Cement Concrete) especifica la metodología para la determinación del contenido de cemento Portland en hormigón endurecido, siendo el criterio similar al indicado en la Norma DIN antes mencionada.

Algunos de los constituyentes de los morteros pueden interferir en el análisis del ligante. Las rocas, los minerales o las mezclas minerales presentes en los agregados pueden interferir en la determinación de las proporciones, dependiendo de la solubilidad ante el método de disolución empleado. Esta solubilidad también puede depender de la finura de la muestra a ensayar, de la relación agua-ligante y del grado de hidratación. Cuando se emplea para separar el agregado de la matriz cálcica el ácido clorhídrico diluido y frío se pueden originar errores cuando el agregado contiene mármol, piedra dolomítica, arenisca calcárea, ftanita (“chert”) calcárea, y rocas incrustadas con caliche o recubiertas con calcita o dolomita.

En aquellos casos en que se presenta alguna duda respecto al ligante empleado por desconocerse el momento histórico en el cual se ha ejecutado el mortero o si el mismo corresponde a intervenciones posteriores, debe cuantificarse la presencia de óxido de sílice y óxido de calcio, y verificar la proporción en que se encuentran en la mezcla. La muestra debe ser triturada hasta pasa tamiz N°80 ya que una mayor finura del material triturado originará una mayor lixiviación de los compuestos síliceos y de calcio de los agregados. El contenido de óxido de sílice se determinará de acuerdo a la Norma IRAM 1504 [6] y el contenido de Calcio por titulación con EDTA. Es conocido que si el mortero está ejecutado con cemento, la relación

óxido de calcio / óxido de sílice es del orden de 3, mientras que si se trata de una cal área, el porcentaje de sílice es mínimo, ya que la sílice determinada corresponde solamente a la que solubilizan los agregados frente al ataque con ácido. Si se trata de una cal hidráulica el porcentaje será algo mayor, dependiendo del índice de hidraulicidad de la misma.

En los agregados la sílice se encuentra generalmente, en estado de cuarzo, calcedonia o silicatos más o menos complejos, los cuales son muy difícilmente atacables por el ácido clorhídrico mientras que en las cal hidráulicas se encuentra casi totalmente como silicatos. Por lo cual, para las mezclas con agregados cuarzosos los componentes solubles en el ataque por ácido clorhídrico corresponden al ligante hidratado y el residuo insoluble a los agregados empleados [7]. El ligante hidratado se calcula con la expresión (1).

$$\text{Ligante hidratado(\%)} = 100 - \text{Residuo Insoluble(\%)} \quad (1)$$

Para determinar las proporciones del mortero se necesita conocer el contenido de ligante sin hidratar para lo cual debe considerarse la pérdida en peso entre 100°C y 1000°C (pérdida por calcinación) la cual es igual al agua adsorbida y de hidratación más el anhídrido carbónico fijado en los productos carbonatados. El porcentual de ligante se calcula mediante la expresión (2).

$$\text{Ligante(\%)} = 100 - \text{Residuo Insoluble(\%)} - \text{pérdida por calcinación (\%)} \quad (2)$$

En el caso que se detecte durante la observación al microscopio la presencia de agregados cálcicos o con componentes cálcicos (mármol triturado, arenas con valvas marinas, etc.) las expresiones antes indicadas pierden validez. En estos casos se debe cuantificar ópticamente el porcentaje de los citados componentes para realizar las correcciones necesarias.

Cuando se observa que el mortero presenta algún tipo de coloración, se deben profundizar los

estudios para determinar la presencia de colorantes mediante observaciones al microscopio y/o la realización de ensayos de infrarrojo.

ESTUDIOS PARA DETERMINAR LA COMPOSICIÓN DE LOS MORTEROS ENDURECIDOS CORRESPONDIENTES A LA ENVOLVENTE MURARIA DEL MUSEO

Se presentan a continuación una serie de estudios realizados según lo descrito anteriormente sobre morteros correspondientes a revoques gruesos y finos de la envolvente muraria ejecutada con ladrillos cerámicos asentados también en morteros. Complementariamente se evaluaron los morteros internos de las hornacinas ubicadas en el frente del edificio. En la Imagen 5 se indican los lugares de extracción de las muestras analizadas. Los lugares fueron seleccionados luego de un análisis visual de la envolvente, seleccionándose aquellos que no presentaban signos externos de alteración.

Para la extracción de las muestras se empleó una broca diamantada de 55 mm de diámetro accionada por una perforadora. El calado se realizó hasta alcanzar la mampostería, por lo cual las muestras se componen exclusivamente del revoque fino, de muy pequeño espesor, y del revoque grueso (Imagen 6).

En la Tabla 1 se detallan la identificación, los sectores y las alturas de extracción de las muestras desde el nivel de vereda.

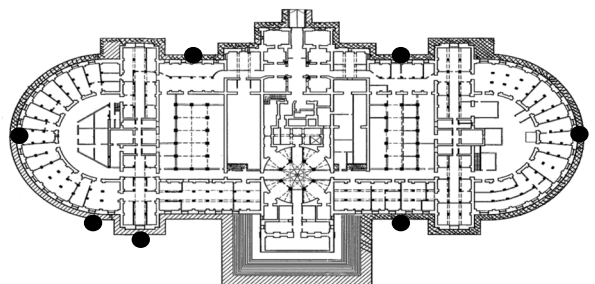


Imagen 5: Lugares de extracción de muestras.

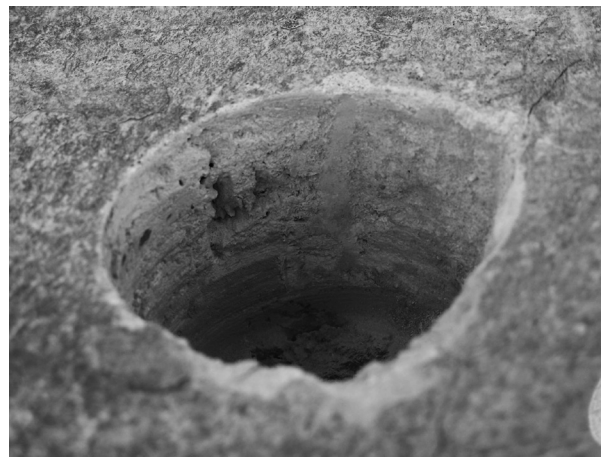


Imagen 6: Vista del proceso de extracción, muestras obtenidas y del pequeño orificio residual.

En las muestras extraídas de la envolvente, se aprecian visualmente dos morteros fuertemente adheridos entre sí, el revoque fino de un espesor no mayor a 3 mm y el revoque grueso de mayor espesor. Se observan diferencias respecto a los materiales empleados en los revoques gruesos, siendo en los finos en todos los casos similares. Las muestras se observaron bajo lupa binocular permitiendo agrupar aquellas que presentaban características similares en los materiales componentes, surgiendo que las muestras 1, 3 y 4 (grupo A) y las muestras 2 y 5 (grupo B) poseen características similares respectivamente. La muestra 6 posee una composición diferenciada del resto.

Tabla 1: Sectores y alturas de extracción de las muestras

Muestra N°	Sector de Extracción	Altura (cm)
1	Fachada Frontal Derecha	200
2	Fachada Lateral Derecha	50
3	Fachada Trasera derecha	170
4	Fachada Trasera Izquierda	140
5	Fachada Lateral Izquierda	240
6	Fachada Frontal Izquierda	200
7	Moldura Ventana Fachada Frontal Derecha	180
8	Hornacina de frente	---

Los testigos del grupo A presentan conchillas en la matriz del revoque grueso mientras que los del grupo B poseen conchillas y fragmentos de ladrillo (Imagen 7). En la muestra 6 no se observan los citados componentes. En la muestra de mortero de la moldura (muestra 7) se aprecia únicamente la presencia de clastos de ladrillos de mayor tamaño que los del grupo B (Imagen 8).

Para cuantificar en los morteros gruesos el contenido de conchilla y clastos de ladrillos, se disgregaron las diferentes muestras y se observaron bajo lupa binocular. En los morteros gruesos y finos se cuantificó el contenido de residuo insoluble y de los óxidos de Calcio y de Sílice.

Para realizar los estudios mineralógicos del residuo insoluble mediante observación bajo lupa binocular, las muestras de mortero fueron atacadas con ácido clorhídrico a fin de eliminar el material ligante. Las arenas de los revoques finos y gruesos de los grupos A, B y de la muestra 6, están compuestas por clastos angulosos y plagioclasas límpidas (oligoclasa-andesina). Además, se observa muy escasa calcedonia microcristalina fibrosa, piroxeno (augita), anfíboles (hornblenda-lamprobolita) y laminas de mica (biotita). Los minerales opacos son poco frecuentes y corresponden a magnetita,

parcialmente alterada en hematita. Se observan bioclastos correspondientes a valvas de moluscos marinos y litoclastos pertenecientes a pastas de rocas volcánicas. También, se verifica la presencia de vidrio volcánico incoloro y fresco, con canículas y burbujas gaseosas. Como contaminación en los residuos insolubles de los revoques gruesos se observan pequeños clastos de ladrillo. Las arenas deben calificarse como sílico feldespática.

La arena del mortero de las molduras (muestra 7), es relativamente equigranular, de mayor a menor proporción está compuesta por cuarzo de clastos redondeados a subredondeados con extinción homogénea y ricos en inclusiones fluidas y sólidas, se observa escaso cuarzo policristalino; feldespatos de clastos subredondeados, castaños claros, con microestructura fibrosa; minerales accesorios, clastos diminutos de circón. Como impureza en el revoque grueso se observa la existencia de clastos de ladrillo. La clasificación de la muestra corresponde a una arena silícea.

En la Tabla 2 se indica la relación, en peso, ligante-inertes totales, estimados a partir de los análisis efectuados, los contenidos de clastos de ladrillo, de valvas marinas (conchillas) y el tipo mineralógico de la arena empleada. El ligante de acuerdo a los

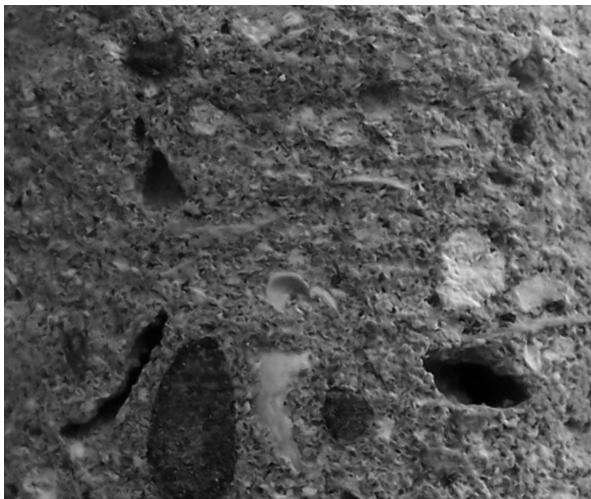


Imagen 7: Detalle de una muestra del grupo B. Se observan fragmentos de conchillas en la matriz del mortero.

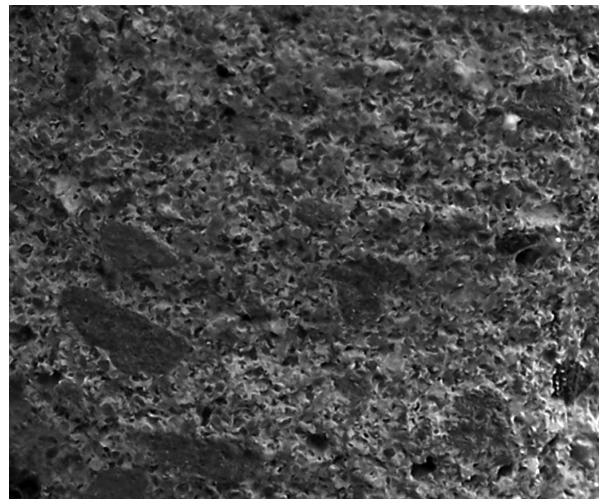


Imagen 8: Detalle de la muestra 7. Se observan la matriz del mortero con los clastos de ladrillo.

Tabla 2: Tipo de ligante y arena, clastos de ladrillos, conchillas, vidrio volcánico y proporción ligante:árido.

Identificación	Revoques gruesos				Revoques finos			
	A	B	6	7	A	B	6	7
Ligante	Cal cálcica				Cal cálcica			
Arena	ASF			AS	ASF			AS
Clastos de ladrillo	2±1	4±1	--	9±1	---	---	---	---
Vidrio volcánico	SI			NO	SI			NO
Conchilla	4±1	7±1	1,5 ± 1	---	4±1	7± 1	1,5±1	---
Proporción en peso ligante:árido	1:2	1:3	1:3	1:3	1:1	1:1	1:1	1:2

ASF: Arena sílico feldespática

AS: Arena sílicea

análisis químicos efectuados corresponde a una cal cálcica, situación confirmada también por el momento histórico en el cual fue ejecutado el edificio.

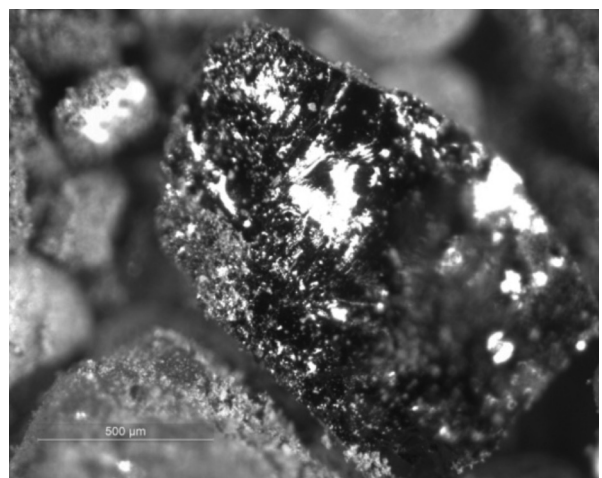
La muestra obtenida del fondo de la hornacina, presenta una tonalidad gris oscura, observándose que la arena es similar a las empleadas en los revoques (arena sílico feldespática) con la incorporación de un material granulado de color negro brillante, que por sus características se identifica como grafito. En la Tabla 3 se informa la composición del residuo insoluble mientras que en la Imagen 9 se observa la hornacina y una partícula de grafito.

CONSIDERACIONES FINALES

De acuerdo a los resultados de los ensayos y estudios realizados sobre los revoques finos y gruesos pertenecientes a los muros de las fachadas

Tabla 3: Composición del residuo insoluble.

Componente	%
Arena sílico feldespática	77,5
Grafito (partículas de carbón)	20,0
Fragmentos biogénicos (conchillas)	1,5
Limo-arcilla	1,0

**Imagen 9:** Vista de la hornacina y detalle de una partícula de grafito incorporado al agregado fino empleado.

exteriores y de la hornacina del Museo de Ciencias Naturales de la ciudad de La Plata, surgen las siguientes consideraciones:

a) La totalidad de los morteros están elaborados con una arena sílico feldespática con porcentajes variables de valvas marinas. El mortero de las molduras está elaborado con una arena natural silíceo (arena argentina de río).

b) El ligante empleado corresponde en todos los casos a una cal con la incorporación de porcentajes de un material puzolánico en los revoques gruesos. Esta combinación, que era habitual durante la época de construcción del edificio, da origen a la presencia de vidrio volcánico lo cual fue verificado en los morteros estudiados.

c) La presencia de porcentajes variables de conchillas en las arenas indica que las mismas han sido extraídas de los cordones litorales de la última ingresión marina. También, se observa en estos morteros la incorporación de ladrillos molidos. En

la muestra de la moldura se detectan fragmentos de ladrillos de mayor tamaño incorporados para dar carga al mortero.

d) Teniendo en cuenta la etapa histórica en la cual se construyó el edificio, puede plantearse que era habitual para la elaboración de los morteros de cal incorporar a las mezclas puzolanas naturales que por lo general correspondían a cenizas volcánicas y/o artificiales como polvo de ladrillo, componentes que le confieren al mortero una mayor resistencia y plasticidad.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Ing. Zicarelli, Silvia, al Téc. Parodi, Víctor y al Tec. Canosa, Maximiliano y al Lic. Pavlicevic, Roberto y al Lic. Ribot, Alejandro por la colaboración y participación en la realización de los ensayos químicos y petrográficos, respectivamente.

REFERENCIAS

- 1.- Álvarez Galindo, J.I., Pérez, A.M., García Casado, P.J. Historia de los morteros. Boletín informativo del IAPH, 13 (1995), pp. 52-59.
- 2.- Colinas, J.F., Wainsztien M. y Batic O.R., Cales aéreas e hidráulicas hidratadas en polvo para construcción. Análisis de los resultados de ensayos realizados en el LEMIT entre 1956 y 1964. Anales LEMIT. Serie II, N°103. 1966
- 3.- Amarilla, B. Edificios fundacionales de La Plata: El costo de sus insumos básicos. Partes 1 y 2. Publicación LINTA, 2000. ISBN 987-97021-8-2
- 4.- Fidalgo, F., Colado, U.R., Defrancesco, F.O. Sobre ingresiones marinas cuaternarias en los Partidos de Castelli, Chascomús y Magdalena (Provincia de Buenos Aires). Actas del 5to. Congreso Geológico Argentino.

5.- Norma DIN 52170 “Proporciones de mezclas y dosis de aglomerantes en morteros y hormigones endurecidos”.

6.- Norma IRAM 1504-1986. Cemento Portland. Análisis químico.

7.- A. Hummel Prontuario del Hormigón, Capítulo XI “Determinación de la composición del hormigón (análisis de la mezcla)”. Editor ETA S.A., España. 1966.